

낙동강 유역관리를 위한 부하량 유황곡선의 적용 가능성

한수희 · 신현석* · 김상단†

부경대학교 환경시스템공학부

*부산대학교 토목공학과

Applicability of Load Duration Curve to Nakdong River Watershed Management

Han, Suhee · Shin, Hyun Suk* · Kim, Sangdan†

Department of Environmental System Engineering, Pukyong National University

*Department of Civil Engineering, Pusan National University

(Received 25 July 2007, Accepted 3 September 2007)

Abstract

In this study a general analysis method for watersheds with the entire runoff conditions and corresponding water quality is proposed and its applicability based on the currently available information is investigated. Using the 8-day-interval data set of runoff and water quality observed by Nakdong River Environment Research Center, the flow duration curve and discharge-load relation curve for each unit watershed are established, then the load duration curve is finally constructed. This paper discusses how the load duration curve can be used in the assessment of TMDL. The entire Nakdong river watershed is also divided into prior managing areas of point sources or non-point sources in a way of general management. It is thought that LDC can be a great tool for visualizing overall probabilities of current water quality and thus for the TMDL management.

keywords : Load duration curve, TMDL, Watershed management

1. 서 론

수질오염총량관리제란 “과학적 토대 위에서 수계구간별 목표수질을 설정하고, 그 목표수질을 달성, 유지하기 위한 허용 부하량을 산정하여, 해당 총량관리 단위유역 내에서 배출되는 오염물질의 총량이 목표수질을 달성할 수 있는 허용 부하량 이내로 규제 또는 관리하는 제도”라고 정의되고 있다(환경부, 2004). 환경부의 수질오염총량관리 업무편람(2004)에 따르면 2004년부터 오염총량관리제를 도입함에 있어 대상물질은 BOD, 기준유량은 10년 평균 저수량으로 한다고 명시하고 있다.

즉, 현재 시행 중인 오염총량관리제의 기준유량은 장기간의 유량 자료 또는 유량 모의 결과를 기반으로 설정된 단순 평균적인 저수량 개념으로, 최근 유역의 수자원 환경은 점오염원뿐만 아니라 비점 오염원에 의해서도 크게 영향을 받는 점을 감안하면, 저수량을 기준유량으로 할 경우 비점 오염원에 의한 영향을 고려할 수 없다는 약점을 지니게 된다(Novotny, 2004). 또한, 특정 기준유량을 이용한 부하량의 할당과 관리는 해당 유량에서의 목표수질 달성이라는 일종의 규제 기준으로서의 역할은 만족하고 있지만, 오염총량관리를 통한 유역의 수자원 환경의 건전성 회복이라는 유역관리수단으로서의 역할은 미흡할 수밖에 없다.

따라서 이에 대한 개선방안으로 전체 유량 조건을 반영할 수 있는 오염총량관리기법의 개발과 적용성에 대한 검토가 요구되는데, 여기서 전체 유량 조건을 반영한다는 것은 자연 현상인 강우-유출과정에 의해 다양하게 발생하는 유량과 상류의 댐이나 유역의 물 이용상태에 따른 인위적인 조절 유량 등을 고려한 장기간의 일유량에 관한 정보와 이에 대응하는 일 수질에 관한 정보가 필요함을 의미한다. 그러나 우리나라의 하천 유량자료의 경우 그동안 주로 홍수방어를 목적으로 구축되어진 관계로 대부분 홍수기에만 의미있는 자료를 갖추고 있으며, 환경관리에 필요한 저갈수기 유량자료는 그 신뢰도가 매우 낮으며(김 등, 2007a), 수질자료의 경우 월평균 수질 정도만 측정되어 온 관계로 그 활용성이 매우 떨어지고 있는 실정이다. 다행히 지난 2004년 하반기부터 4대강 물환경연구소에서 직접 오염총량관리 단위유역 말단부에서 8일 간격으로 유량과 수질을 동시에 측정하기 시작하였으며, 사업의 결과 건기 우기의 구별 없이 연중 일정한 간격으로 하천유량 및 수질의 변동여부를 확인하는 것이 가능하게 되었으나, 이 또한 하천의 전체적인 유량 조건 및 그에 대응하는 수질조건을 반영하기에는 부족한 면이 없지 않다.

본 연구에서는 현재 가용한 자료의 수준을 바탕으로 전체 유량 조건과 그에 대응하는 수질조건을 반영하여 현재 유역의 상황을 개략적으로 평가할 수 있는 기법을 제안하고 그에 대한 적용 가능성을 살펴보고자 한다. 이를 위해

* To whom correspondence should be addressed.

skim@pknu.ac.kr

낙동강물환경연구소에 의해 낙동강 오염총량관리 단위유역 발달부에서 8일 간격으로 관측해오고 있는 하천 유량 및 수질자료를 이용하여 각 단위유역별 유량 유황곡선 및 유량-부하량 관계곡선을 작성한 후, 이를 바탕으로 부하량 유황곡선을 구축하게 된다. 이를 통하여 각 단위유역별 목표수질 달성 여부를 평가해 보고, 개략적인 유역관리의 방향으로서 낙동강 전체 유역을 점오염원 우선관리 단위유역과 비점오염원 우선관리 단위유역으로 분할해 보고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 유량 유황곡선(Flow Duration Curve: FDC)

전체 유량 조건을 반영한다는 것은 자연 현상인 강우-유출과정에 의해 다양하게 발생하는 유량뿐만 아니라 상류댐이나 환경기초시설의 방류수, 하천의 취수량 등 인위적으로 조절되는 유량에 대한 고려가 필요하다. 이러한 하천의 전체적인 유량조건을 확률적으로 파악하기 위한 방법으로는 유량 유황곡선(Flow Duration Curve: FDC) 기법이 있다 (김 등, 2005; Dingman, 2002; Vogel et al., 1994). FDC는 하천수계 상 어떤 지점에서의 하천유량의 전체적인 규모와 변동성을 평가하기 위한 수단으로 작성되는데, 이 곡선의 작성을 위해서는 해당 지점에서의 기록 연한 동안의 전 기간 일 유량자료를 사용하여 초과백분율별 일 유량을 결정하고 이를 도시하면 된다(Fig. 1 참조). Fig. 1에서 □ 표시는 좌측부터 각각 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량에 해당하는 위치이다.

그러나 낙동강물환경연구소에서 오염총량관리 단위유역 발달부에서 측정된 유량자료는 8일 간격이므로 이를 이용하여 직접 FDC를 작성할 수 없다는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 김 등(2007b)에 의해 적용된 수정 TANK 모형을 이용하여 관측된 8일 간격 일 유량자료로부터 2006년 일 년 동안의 일 유량자료를 모의하였다. 참고로, 수정 TANK 모형의 유역 분할도를 Fig. 2에 도시하였다.

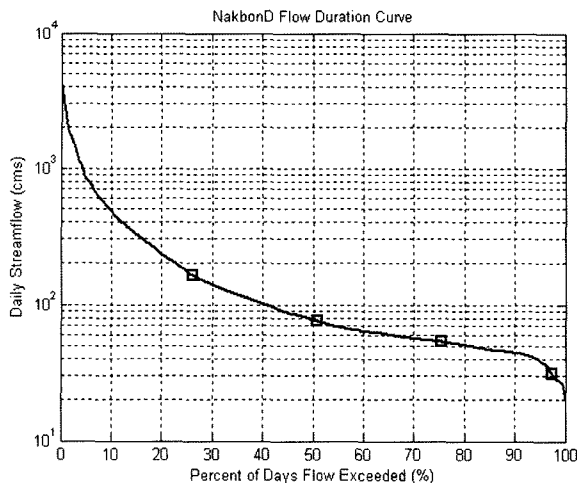


Fig. 1. Flow duration curve.

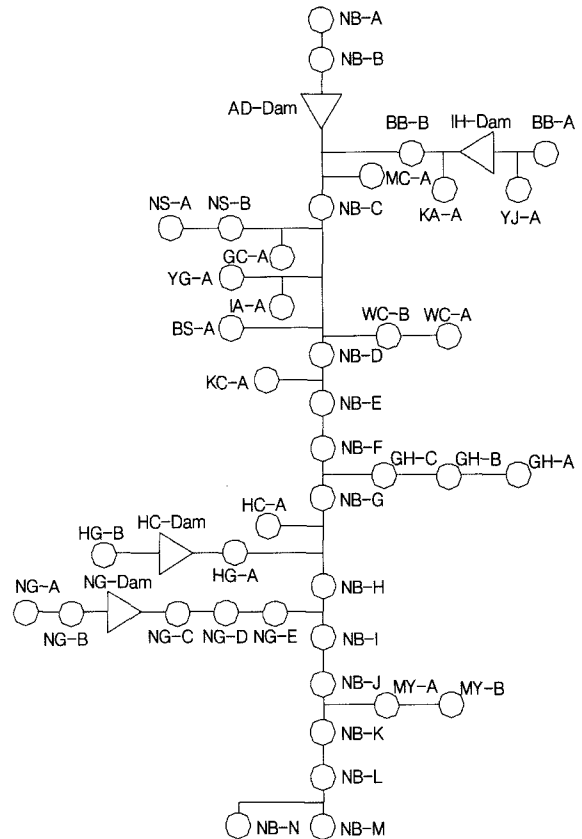


Fig. 2. Subbasins for TANK-Nakdong river model (Kim et al., 2007b).

2.2. 유량-부하량 관계곡선

본 연구에서는 한 등(2007)이 소개한 방법을 기반으로 하여 유량-부하량 관계곡선을 구축하였으며, 적용된 수질항목은 BOD, COD, TN, TP, SS이다. 본 연구에 적용된 유량(Q)-수질농도(C) 관계곡선은 기본적으로 아래 식 (1)을 따르는 것으로 가정하였다.

$$C = b_0 Q^{b_1} \quad (1)$$

이로부터 부하량을 계산하는 통계학적 기법을 소개하면 아래와 같다.

2.2.1. 단순 회귀 분석 기법(Simple Linear Regression)

Estimator: SL)

단순 회귀분석 기법은 가장 보편적으로 사용되고 있는 유량-부하량 관계곡선 작성 기법이다.

$$L_{SL} = \sum_{i=1}^N \exp[\ln b_0 + b_1 \ln Q_i] \cdot Q_i \quad (2)$$

여기서 b_0 는 절편, b_1 은 전대수 좌표에서 Q와 C 사이 선형 회귀식의 기울기이며, L_{SL} 은 단순 회귀 분석 기법으로 도출된 부하량이다. 그러나 부하량을 대수 좌표에서 정규 좌표로 재변환할 때 편의(bias)가 발생하게 되고, 이를

보정하기 위한 대표적인 세 가지 방법은 아래와 같다.

2.2.2. 유사 최우도 추정 기법(Quasi-Maximum Likelihood Estimator: QMLE)

Ferguson(1986)은 단순회귀분석 기법에서 발생하는 오류를 고려하기 위하여 아래와 같은 유사 최우도 추정 기법을 고안하였다.

$$L_{QMLE} = L_{SL} \cdot \exp\left(\frac{s^2}{2}\right) \quad (3)$$

여기서 s^2 은 회귀식의 제곱 평균 오차로서, 다음과 같다.

$$s^2 = \frac{\sum_{t=1}^N [\ln C_t - (b_1 \ln Q_t + \ln b_0)]^2}{N-2} \quad (4)$$

2.2.3. Smearing Estimator

비매개변수기법인 Smearing 기법은 Duan(1983)에 의해 고안된 방법으로 아래와 같다.

$$L_{SMEAR} = L_{SL} \cdot \frac{\sum_{t=1}^N \exp(e_t)}{N} \quad (5)$$

여기서, e_t 는 아래와 같으며, 관측값의 대수치와 모의값의 대수치의 차이이다.

$$e_t = \ln C_t - (b_1 \ln Q_t + \ln b_0) \quad (6)$$

2.2.4. 최소분산 비편향 추정기법(Minimum Variance Unbiased Estimator: MVUE)

Finney(1941)의 연구를 기반으로 하여 Bradu 등(1970)은 최소분산 비편향 추정기법을 제안하였다. 이 기법은 다른 기법들보다 다소 복잡하기는 하나 이론적으로는 재변형 과정에서 발생하는 편의를 완벽하게 제거해주는 방법으로 알려져 있으며, 부하량 산정 식은 아래와 같다.

$$L_{MVUE} = \sum_{t=1}^N \left[\exp[\ln b_0 + b_1 \ln Q_t] \cdot Q_t \cdot \Delta \tau \cdot g_m \left(\frac{m+1}{2m} \cdot (1-V) \cdot s^2 \right) \right] \quad (7)$$

여기서 m 은 회귀식의 자유도이며, g_m 은 Finney g_m 으로 (Finney, 1941) 아래와 같다.

$$g_m(z) = \sum_{p=0}^{\infty} \frac{m^p (m+2p)}{m(m+2) \cdots (m+2p)} \left(\frac{m}{m+1} \right)^p \left(\frac{z^p}{p!} \right) \quad (8)$$

Finney의 g_m 에 관련된 프로그램 코딩은 한 등(2007)을 참조할 수 있다.

2.3. 부하량 유황곡선(Load Duration Curve: LDC)

단위유역별로 유량 유황곡선이 작성되고 나면, 유량에 목표수질을 곱하여 유량을 부하량으로 전환함으로써 목표 부하량 유황곡선(Target LDC)을 작성할 수 있다. 또한, 실측 유량과 수질 자료를 이용하여 실측 유량의 초과확률에 대응하는 부하량을 목표 부하량 유황곡선 위에 도시함으로써 해당 유역의 경우 어느 정도 목표수질이 달성되고 있는지에 대한 개략적인 평가가 가능하게 된다(Fig. 3 참조).

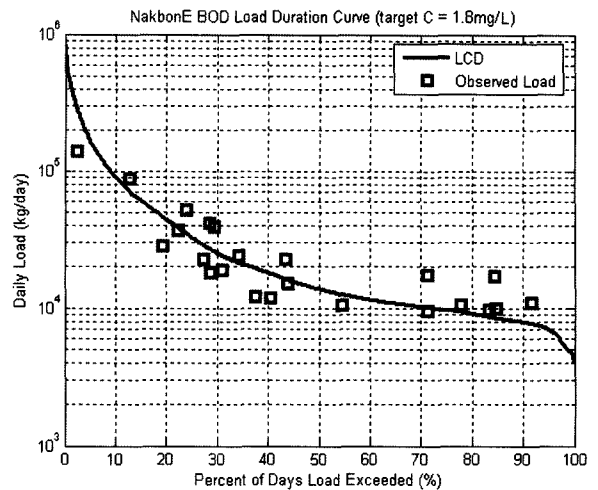


Fig. 3. Load duration curve.

Fig. 3에서 실선은 목표 LDC이며 □ 표시는 2006년 관측 결과로서, □ 표시가 LDC 위쪽에 있는 경우는 해당 관측 시에 목표수질이 초과된 경우이며, □ 표시가 LDC 아래쪽에 있는 경우는 해당 관측 시에 목표수질이 만족된 경우를 의미한다.

Cleland(2003)는 초과 유량 확률에서 10%까지는 고유량, 10~40%는 습한 상태, 40~60%는 중간 유량, 60~90%는 건조 상태, 그리고 마지막으로 90% 이상은 저유량으로 정의하고 있다. 우리나라에서 사용하고 있는 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량을 이와 같이 확률로 나타내면 각각 26%, 51%, 75%, 97%이다. 비점오염원에 의한 하천 오염의 경우를 고려하기 위해서는 유량이 상대적으로 많은 경우를 간주해야 한다. 따라서 Fig. 3의 저수량 이하의 유량범위에서 LDC 위쪽의 □ 표시는 주로 점오염원에 의해 목표수질이 초과된 것이라 볼 수 있으며, 평수량 이상의 유량범위에서 LDC 위쪽의 □ 표시는 주로 비점오염원에 의해 목표수질이 초과된 것이라 판단할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유량 유황곡선 작성결과

낙동강 44개 단위유역을 대상으로 2005년과 2006년 일강수량, 월별 pan 증발량 자료 및 8일 간격 관측 유량 자료를 이용하여 김 등(2007b)이 제안한 수정 TANK 모형의 매개변수를 추정한 후, 이 중 2006년 단위유역 낙본C와 낙본F의 유량 모의 결과를 Fig. 4에 도시하였다. Fig. 4에

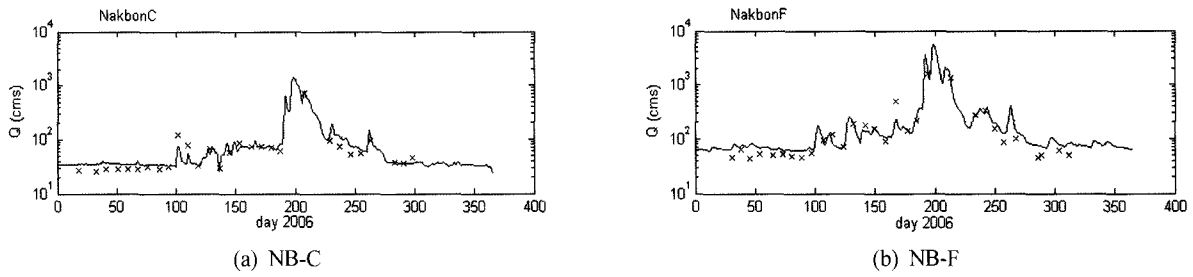


Fig. 4. Results for river flow rate simulation (x: observed data, -: simulated data).

도시된 바와 같이 연간 40회 정도의 유량관측 횟수를 바탕으로 매개변수를 추정하였으며, 특히 주기적으로 8일 간격으로 측정함에 따라 강우 시에도 유량관측이 시행되었음을 알 수 있다. 적용된 수정 TANK 모형을 통한 낙동강 단위유역별 모의 결과에 대한 보다 상세한 검보정 결과는 김등(2007b)을 참조할 수 있다.

관측 자료의 재현 여부를 보다 정량적으로 판단하기 위하여 모의자료와 관측자료 사이의 통계적 상관성을 관측자료와 모의 자료 사이의 회귀분석 결과 도출된 결정계수 R^2 와 Nash 등(1970)에 의해 제안된 계수인 NSC (Nash-Sutcliffe Coefficient)로 살펴볼 수 있으며, 그 결과 단위유

역별로 편차는 있으나 평균적으로 결정계수 R^2 는 0.83, NSC는 0.78 정도로 우수하게 관측유량자료를 재현하고 있음을 알 수 있다. 상기 모의결과를 바탕으로 낙동강 단위유역마다 FDC를 작성하였으며, 그 결과의 일부를 Fig. 5에 도시하였다.

3.2. 유량-부하량 관계곡선 작성결과

국립환경과학원 낙동강물환경연구소에서 2006년 관측한 8일 간격 유량과 수질자료를 바탕으로 전술한 네 가지 회귀분석기법을 이용하여 단위유역별로 일별 부하량을 모의하였다. Fig. 6은 각 회귀분석기법 사이의 차이를 도시한

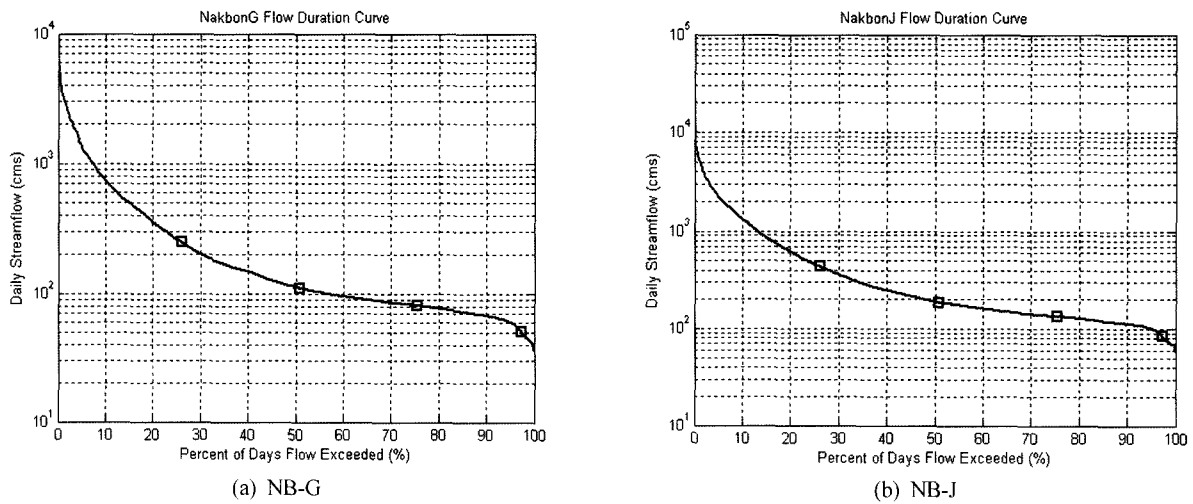


Fig. 5. Flow duration curves for unit watersheds in Nakdong river.

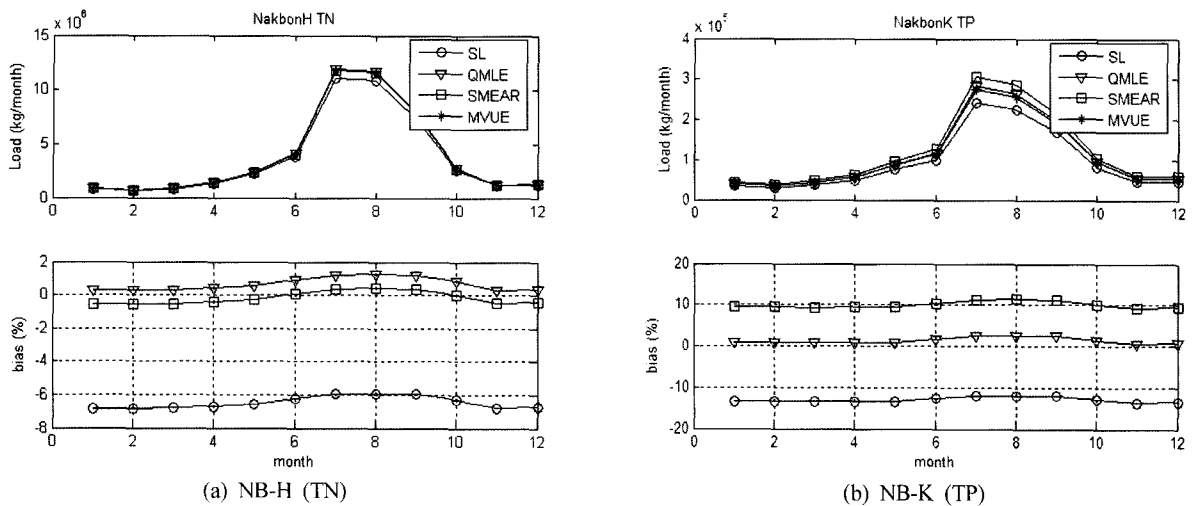


Fig. 6. Comparison of water pollutant loads estimated by four regression techniques.

Table 1. The values of MVUE R^2 for each unit watershed in case of BOD and SS

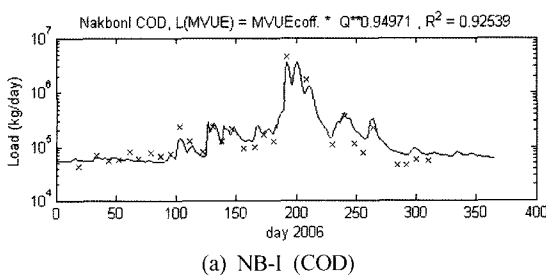
Unit watershed		BOD	SS	Unit watershed		BOD	SS
NakbonA	NB-A	0.3234	0.6652	GeumhoA	GH-A	0.7428	0.8847
NakbonB	NB-B	0.9133	0.9229	GeumhoB	GH-B	0.7551	0.8482
BanbyeonA	BB-A	0.9335	0.9099	GeumhoC	GH-C	0.6901	0.8361
BanbyeonB	BB-B	0.9419	0.9601	NakbonG	NB-G	0.8286	0.8456
YongjeonA	YJ-A	0.8520	0.8952	HoicheonA	HC-A	0.7407	0.8364
KilanA	KA-A	0.8112	0.9272	HwangangA	HG-A	0.7998	0.8597
MicheonA	MC-A	0.8978	0.9146	HwangangB	HG-B	0.7832	0.8409
NakbonC	NB-C	0.7510	0.8856	NakbonH	NB-H	0.9230	0.9544
NaeseongA	NS-A	0.6549	0.8147	NamgangA	NG-A	0.6429	0.6915
NaeseongB	NS-B	0.8748	0.8768	NamgangB	NG-B	0.7838	0.9021
GeumcheonA	GH-A	0.9058	0.9053	NamgangC	NG-C	0.8979	0.9381
YoungangA	YG-A	0.8326	0.9223	NamgangD	NG-D	0.7803	0.9130
IanA	IA-A	0.8318	0.7428	NamgangE	NG-E	0.7817	0.9138
ByeongseongA	BS-A	0.8787	0.8961	NakbonI	NB-I	0.7230	0.8903
WicheonA	WC-A	0.8131	0.8088	NakbonJ	NB-J	0.7668	0.8167
WicheonB	WC-B	0.8725	0.9466	MilyangA	MY-A	0.8410	0.8791
NakbonD	NB-D	0.8013	0.8869	MilyangB	MY-B	0.7886	0.8067
KamcheonA	KC-A	0.7827	0.8200	NakbonK	NB-K	0.8139	0.8735
NakbonE	NB-E	0.8035	0.8875	NakbonL	NB-L	0.8068	0.8773
NakbonF	NB-F	0.7954	0.6623	NakbonM	NB-M	0.8573	0.9476

결과로서, 대수 역변환 시에 편의되지 않는 결과를 주는 최소분산 비편향 추정기법과 다른 방법들을 비교해 볼 때 단순회귀분석기법의 경우 부하량을 과소추정하고 있으며, 유사 최우도 추정기법의 경우는 과대추정, Smearing 추정기법은 건기에는 과소추정되는 경향을 우기에는 과대추정되는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. Table 1에 최소분산 비편향 추정기법을 이용한 BOD와 SS 부하량 추정 시의 회귀분석 정확도를 결정계수 R^2 를 통하여 제시하였다. COD의 경우는 R^2 를 기준으로 0.77~0.99, TN은 낙본A(0.16)를 제외하고 0.71~0.96, TP의 경우는 낙본A(0.41), 금천A(0.67), 낙본E(0.53), 남강D(0.66)을 제외하고 0.72~0.97로서 Table 1에서 살펴본 BOD와 SS 추정 시의 정확도와 전반적으로 비슷한 경향을 보이고 있다. Fig. 7에 2006년 단위유역 낙본I(COD)와 낙본L(SS)의 부하량 모의 결과를 도시하였다.

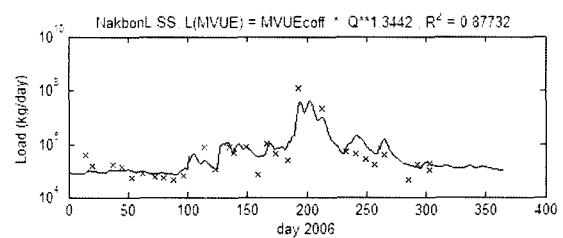
3.3. 부하량 유행곡선 작성결과

상기 구축된 FDC와 유량-부하량 관계곡선을 이용하여 단위유역별로 LDC를 작성할 수 있다. LDC를 작성하기 위해서는 각 단위유역별로 수질항목별 목표수질이 필요하게

되나, 현재 오염총량관리제의 대상수질항목이 BOD임에 따라 BOD에 대한 목표수질만이 설정되어 있을 뿐 COD를 비롯한 TN, TP, SS에 대한 목표수질은 설정되어 있지 않다. 본 연구에서는 BOD의 경우에는 각 단위유역별로 지정 또는 계획되어 있는 목표수질을 적용하여 BOD에 대한 LDC를 작성하였으며, 나머지 수질항목의 경우에는 2006년 관측 수질의 산술 평균값을 목표수질로 임의로 설정하였다. Fig. 8에 2006년 단위유역 금호C(BOD)와 반변B(TP)의 LDC 작성 결과를 관측 자료와 함께 도시하였다. Fig. 8로부터 단위유역 금호C의 BOD의 경우 대부분의 유량규모에서 목표수질을 만족하는 것으로 나타나고 있으나, 극히 연중 최저 유량이 흐르는 기간 동안에는 목표수질을 초과하고 있음을 알 수 있다. 이는 대구광역시로부터의 점오염원 배출 영향이 해당 기간 동안에는 상대적으로 수질에 큰 영향을 미치는 때문인 것으로 분석될 수 있다. 반면에 단위유역 반변 B의 TP의 경우 유량규모가 작은 시기에는 목표수질을 만족하는 것으로 나타나나, 유량규모가 큰 시기에는 목표수질을 초과하고 있음을 알 수 있다. 이는 단위유역 반변 B의 경우 비점오염원의 영향이 상대적으로 크게 작용하고 있음을 시사한다. 단, TP의 경우 전술한 바와 같이



(a) NB-I (COD)



(b) NB-L (SS)

Fig. 7. Results for river water quality simulation (x: observed data, -: simulated data).

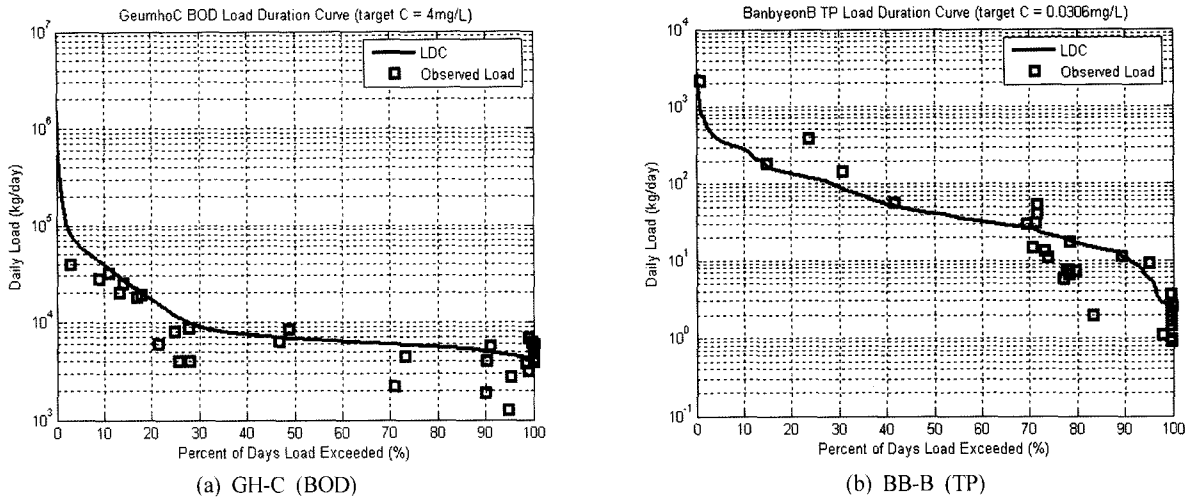


Fig. 8. Load duration curves for unit watersheds in Nakdong river.

이미 지정 또는 계획된 목표수질이 아니라 본 연구를 위하여 임의적으로 가정한 목표수질(2006년 관측수질의 산술평균)임을 다시 한 번 밝혀둔다.

3.4. 부하량 유향곡선의 적용

Fig. 8과 같이 모의된 부하량 자료를 이용하여 유량 유향곡선을 작성하는 것과 같은 방법을 적용하되 유량을 부하량으로 대체할 경우, 현재 하천의 전체적인 수질조건을 확률적으로 파악할 수 있는 관측 부하량 유향곡선(Observed LDC)의 작성이 가능하다. 이와 같이 획득된 관측 LDC와

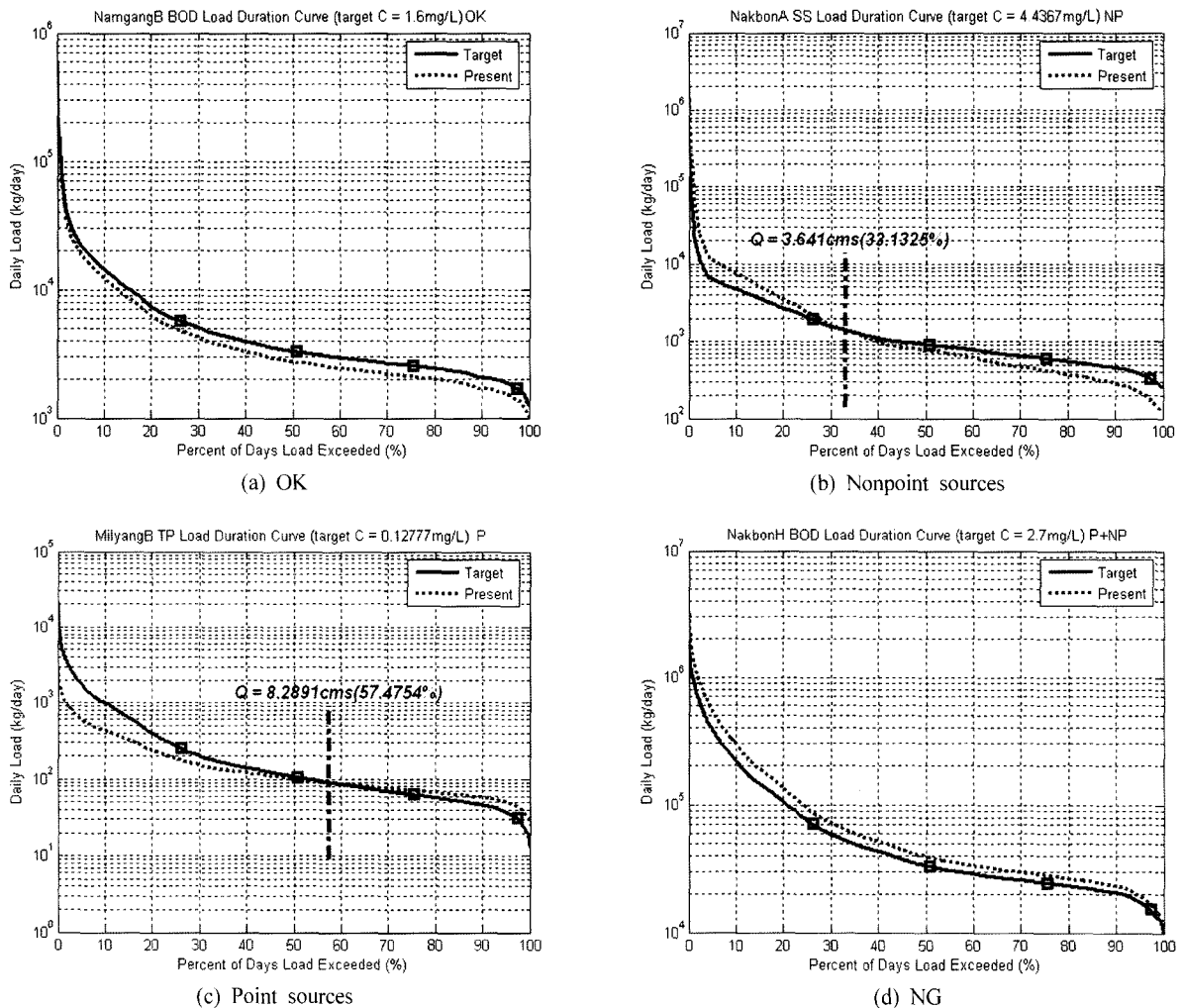


Fig. 9. Analysis of load duration curves.

목표 LDC를 동일 그래프 상에 도시하여 비교하면 목표수질을 초과하는 부하량 및 이에 해당하는 유량과 초과확률 사이의 관계를 분석할 수 있게 된다. Fig. 9는 산정된 LDC를 수질관리 입장에서 4가지 패턴으로 분류한 대표적인 그림을 보여주고 있다.

Fig. 9의 (a)는 단위유역 남강B의 BOD에 대한 LDC 분석결과로서 전체 유량규모에 대하여 설정된 목표수질을 만족하고 있음을 보여주고 있으며, Fig. 9의 (b)는 단위유역 낙본A의 SS에 대한 LDC 분석결과로서 연중 33.13% (약 121일)에 해당하는 3.64 m³/s이상의 유량이 흐르는 경우 가정된 목표수질을 달성할 수 없음을 보여주고 있다. Fig. 9의 (c)는 단위유역 밀양B의 TP에 대한 분석결과로서 연중 57.48% (약 210일)에 해당하는 8.29 m³/s이상의 유량이 흐르는 경우에만 가정된 목표수질을 달성할 수 있음을 보여주고 있으며, Fig. 9의 (d)는 단위유역 낙본H의 BOD에 대한 LDC 분석결과로서 전체 유량규모에 대하여 설정된 목표수질을 달성하지 못하고 있음을 보여주고 있다. Fig. 9에 나타났듯이 LDC 분석으로부터 유역을 1) 전체 유량규모에 대하여 목표수질이 달성되는 단위유역, 2) 유량규모가 작은 경우에만 목표수질을 달성하는 유역(비점오염원이 주 오염원인 유역), 3) 유량규모가 큰 경우에만 목표수질을 달성하는 유역(점오염원이 주 오염원인 유역), 4) 전체 유량규모에 대하여 목표수질을 초과하는 유역으로 분류할 수 있으며, 이를 Fig. 10에 각 수질항목별로 도시하였다. Fig. 10에서도

살펴볼 수 있듯이 BOD의 경우 낙본B, 내성A, 반변B, 이안A, 금천A, 금호B, 남강A, 남강B 등의 단위유역이 목표수질을 연중 달성하는 것으로 나타나고 있으며, 낙본D 상류 단위유역과 황강 유역 등은 유량이 많은 시기에 목표수질을 달성하고 있지 않게 나타나고 있으므로 비점오염원에 대한 관리가 보다 필요할 것으로 분석된다. 나머지 단위유역들은 점 오염원에 대한 관리가 보다 더 우선되어야 할 것으로 판단된다. BOD 이외의 수질항목에 대해서도 단위유역별 평가가 가능하겠으나, BOD의 경우처럼 명확한 목표 수질을 기준으로 하는 것이 아님에 주의할 필요가 있다.

4. 결론

본 연구에서는 현재 가용한 자료의 수준을 바탕으로 전체 유량 조건과 그에 대응하는 수질조건을 반영하여 현재 유역의 상황을 개략적으로 평가할 수 있는 기법을 제안하고 그에 대한 적용 가능성을 살펴보고자 하였다. 이를 위해 낙동강물환경연구소에 의해 낙동강 오염총량관리 단위유역 말단부에서 8일 간격으로 관측해오고 있는 하천 유량 및 수질자료를 이용하여 각 단위유역별 유량 유황곡선 및 유량-부하량 관계곡선을 작성한 후, 이를 바탕으로 부하량 유황곡선을 구축하였으며, 이를 통하여 각 단위유역별 목표수질 달성 여부를 평가해 보고, 개략적인 유역관리의 방향으로서 낙동강 전체 유역을 점오염원 우선관리 단위유역과

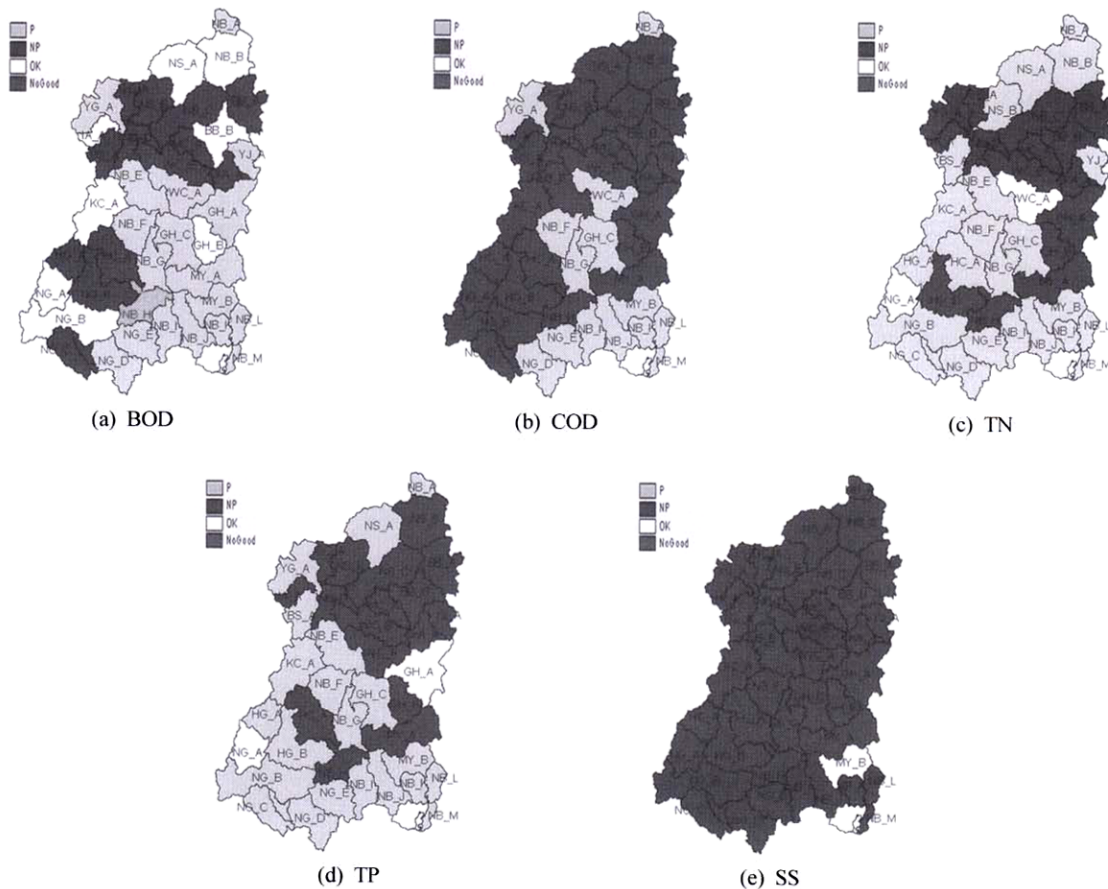


Fig. 10. Illustration of each class for each target criteria.

비점오염원 우선관리 단위유역으로 분할해 보았다.

본 연구를 통하여 파악된 부하량 유황곡선의 활용방안 및 적용 시의 문제점을 분석해 보면 다음과 같다. 부하량 유황곡선은 해당 지점의 현재 전체적인 수질현황을 확률적으로 파악할 수 있음과 동시에 이를 시각적으로 도시할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한, 수질 현황의 파악 시에 유량 특성이 적절히 반영되어 해석할 수 있음에 따라 오염총량관리를 통한 유역관리수단으로서의 역할은 기대해 볼 수 있는 것으로 기대된다. 즉, 점오염원과 비점오염원을 구분하여 해당 단위유역의 문제점을 특성화하고 관리방향을 제시할 수 있는데 활용될 수 있다. 그러나 부하량 유황곡선을 이용한 평가 시 일유량의 정확한 모의 및 유량-부하량 상관관계의 정확성이 사전에 담보되어야 하기 때문에, 이의 적용 시에 유량 모의 모형 및 유량-부하량 관계 설정 기법에 대한 충분한 검토가 필요하며 이러한 모형 및 기법의 적용 시에 필수적인 관측 자료의 지속적인 확보가 요구된다 할 수 있다.

사 사

본 연구의 일부는 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2007-521-D00499).

참고문헌

김건하, 윤재영, 금강에 대한 대장균 부하 지속곡선의 개발 및 적용, *수질보전 한국물환경학회지*, **21**, pp. 516-519 (2005).
 김상단, 강두기, 신현석, 김문수, 유역모형구축을 위한 8일

간격 유량측정자료의 일유량 확장 가능성, *수질보전 한국물환경학회지*, **23**, pp. 94-71 (2007a).
 김재철, 김상단, 오염총량관리 유량측정자료를 이용한 낙동강 유역 유황분석, *수질보전 한국물환경학회지*, **23**, pp. 332-338 (2007b).
 한수희, 강두기, 신현석, 유재정, 김상단, 비편향 회귀분석모형을 이용한 낙동강 본류 부유사량 산정방법의 신뢰도 향상, *수질보전 한국물환경학회지*, **23**(2), pp. 251-259 (2007).
 환경부, 수질오염총량관리 업무편람 (2004).
 Bradu, D. and Mundlak, Y., Estimation in Lognormal Linear Models, *J. Am. Stat. Assoc.*, **65**(329), pp. 198-211 (1970).
 Cleland, B. R., *TMDL Development from the Bottom Up-Part III: Duration Curves and Wet-Weather Assessments*, America Clean Water Foundation (2003).
 Dingman, S. L., *Physical Hydrology* 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey (2002).
 Duan, N., Smearing Estimate: A Nonparametric Retransformation Method, *J. Am. Stat. Assoc.*, **78**(383), pp. 605-610 (1983).
 Ferguson, R. I., River Loads Underestimated by Rating Curves, *Water Resour. Res.*, **22**(1), pp. 74-76 (1986).
 Finney, D. J., On the Distribution of a Variate Whose Logarithm Normally Distributed, *J. R. Stat. Soc. Suppl.*, **7**, pp. 155-161 (1941).
 Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V., River flow forecasting through conceptual models part 1-A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, **10**, pp. 282-290 (1970).
 Novotny, V., Simplified Databased Total Maximum Daily Loads, or the World is Log-Normal, *Journal of Environmental Engineering*, **130**(6), pp. 674-683 (2004).
 Vogel, R. M. and Fennessey, N. M., Flow-duration curves, 1: New interpretation and confidence intervals, *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE*, **120**(4), pp. 485-504 (1994).