부하지속곡선을 이용한 중랑천의 유량 조건별 수질특성 평가

최경완 · 신경용* · 이형진 · 전상호*†

국립환경과학원 한강물환경연구소, *강원대학교 환경과학과

Assessment of the Water Quality of Jungnang Stream by Flow Conditions Using Load Duration Curve

Kyungwan Choi, Kyungyong Shin*, Hyungjin Lee, and Sangho Jun*†

Han-River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Yangpyeong, Korea

**Department of Environmental Science, Kangwon National University, Chuncheon, Korea*

ABSTRACT

Objective: The objective of this study was to suggest a method through which load duration curve was used to assess the achievement of water quality targets in accordance with the criteria for pollutant load depending on flow rate variation.

Methods: The stage-discharge curve and flow duration curve of Jungnang Stream were deduced. Using water quality targets and measurement of the stream, the flow duration curve was also drawn. Based on these, the feasibility of achievement of water quality targets in respect to flow rate was assessed.

Results: In terms of the load duration curve of the stream, it was observed that excess of criteria for concentrations of BOD₅, COD_{Mn} and SS frequently occurred. On the other hand, when the flow rate was low, the concentrations of T-N and T-P exceeded the criteria.

Conclusions: Through the load duration curve, the overall water quality of Jungnang Stream was understood. When the flow rate is high, management of point source of BOD₅, COD_{Mn} and SS is needed to achieve water quality targets for Jungnang Stream. On the other hand, when the flow rate is low, the management of non-point source T-N and T-P is necessary to attain the water quality goal.

Keywords: jungnang stream, load duration curve, pollutant load, water quality

I. 서 론

수질오염총량관리제도는 유역의 수질 회복 및 관리를 위해 현재 여러 나라에서 수립되어 적용되고 있다. 현재 수질오염총량관리제도는 장기 유량 조건을 기반으로 하여 일 평균 부하량으로 환산하는 단순화된 개념으로 적용되고 있어 수질오염총량관리 제도를 바탕으로한 유역의 수질 회복과 평가 및 특성 분석을 통한 근본적인 유역관리에 적지않은 어려움이

있다.¹⁾ 또한 수질오염총량관리 제도는 현재의 수질을 전제로 목표가 설정되는 현실에서 보면 오염원이 적고 삭감 여력도 부족한 청정지역에서는 지역개발 여지가 줄어들고 있으나, 기 개발된 지역은 향후 지속적인 삭감과 함께 개발을 추구할 수 있어 오염배출 기득권이 인정되는 상황을 내포하고 있으며, 이로 인해 총량의 목표 설정에 대한 근본적인 형평성 문제, 지역 간의 균형적인 개발과 보전의 유도는 앞으로 해결해 나가야 할 과제로 제기되고 있는 실정이다.²⁾

†Corresponding author: Department of Environmental Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea, Tel: +82-33-250-8573, Fax: +82-33-251-3991, E-mail: junsang@kangwon.ac.kr

Received: 3 September 2012, Revised: 27 September 2012, Accepted: 15 October 2012

현재 미국에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 효과적인 유역 관리를 위한 수질오염총량관리제도의 기준유량 설정에 있어 부하지속곡선(LDC, Load Duration Curve)의 활용이 증가되고 있다.¹⁾ 부하지속곡선법은 다양한 유량 조건의 수질 모니터링 자료를 이용하여 부하지속곡선에 해당 기간의 관측 수질 및 유량 자료를 도식하여 전체 유량규모에 대한 모니터링에 분포를 확인할 수 있으며, 이를 이용하여 하천 및 유역관리를 위한 최적의 유량 및 수질 모니터링 계획을 수립하기 위한 방안 제시 등의 다양한 활용성과 장점을 가지고 있는 기법이다.³⁾

본 연구에서는 전체 유량 조건과 그에 대응하는 수질조건을 반영하여 현재 유역의 상황을 개략적으로 평가할 수 있는 기법을 제안하고 그에 대한 적용가능성을 살펴보고자 한다. 환경부에서 한강의 수질오염총량관리를 위해 단위유역말단에서 평균 8일 간격으로 관측해오고 있는 하천 유량 및 수질자료를 이용하여 이중 인구가 밀집된 도시를 관통하는 한강의 제1지류인 중랑천의 수위-유량관계 곡선식을 개발하고, 이를 이용하여 유량지속곡선 및 목표수질을 적용한 부하지속곡선을 작성하고, 이를 통하여 중랑천의 유량 조건별 목표수질 달성 여부 평가기법을 제안하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 조사지 개요

한강수계 수질오염총량제 단위유역 중 중랑천 단위유역은 의정부시와 서울시의 경계로 선정되어있으며 경계점에 가장 가깝고 유량측정에 용이한 지형지물인 서울 노원구에 위치한 상도교가 조사지점으로 선정되어 있다. 중랑천의 유역 수계지도와 조사지점의 위치를 Fig. 1에 나타내었다.

중랑천은 경기도 양주시 불국산에서 그 수원을 발하여 의정부시의 중심부를 지나 남류하고 하류부인 성동구 송정동에서 서류하여 사근동에 이르러서 유역의 최대지류인 청계천이 합류하고 한강본류의 성수대교 직하류 우안측으로 한강본류에 유입하는 하천으로 행정구역상 경기도와 서울특별시 지역으로 구분된다.⁴⁾

중랑천 유역은 면적 296.87 km², 유로연장 34.80 km, 유역평균폭 8.53 km로서 서울특별시와 의정부시가 전체 유역의 3/4 이상을 점하고 있는 고밀도의 도심지 및 인구밀집지역이고 농경지는 주로 상류부 제1,

Fig. 1. Overview of Jungnang stream watershed.

2지류 연안에 다소 분포하고 있다. 전체 유역면적중 도시지역이 44.4%를 점유하고 있으며 임야와 농경지가 각각 43.0%, 6.4%를 차지하고 있다. 유역의 평균경사는 11.3%로 비교적 완만한 유역이며, 유역의 평균고도는 EL.103.7 m이고 중하류부에 50 m 이하의 저지대가 다수 분포하고 있다.⁴⁾

2. 연구내용 및 방법

1) 유역 평균 강수량 환산

유역의 유출특성은 지질, 지리 및 강수 등 기상조건에 의하여 결정되고 이 중에서 주된 역할을 하는 것은 강수량에 의한다.

본 연구에서는 연구대상 중랑천 유역을 대상으로 점 강수량 분석이 아닌 면적평균 강수량 산정을 위하여 Thiessen의 가중법(Thiessen's weights method)을 이용하였다.

2) 조사지점

본 연구의 대상유역은 한강 오염수질총량관리 대비 중랑천 단위유역말단부에서 평균 8일 간격으로 관측해오고 있는 하천 유량 및 수질자료를 이용하여 이중 인구가 밀집된 도시를 관통하는 한강의 제1지류인 중랑천이며, 대상 수계 구간은 중랑천 발원지부터 경기도-서울시 경계점까지 이고, 수질 및 유

Fig. 2. Diagram of Jungnang stream watershed.

량 조사지점은 서울특별시 노원구 상계동 상도교이며 중랑천의 하천 모식도를 그림 Fig. 2에 나타내었다.

3. 수질조사

중랑천 지점에 대한 시료채취 및 수질분석은 수계 오염총량관리 기본방침 및 수질환경보전법 제7조의 규정에 의한 수질오염공정시험방법에 의거하여 수행하였고, 현장 측정항목인 수온, pH, DO, 전기전도도를 포함하여 BOD₅, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P 등 총 9개 항목을 조사 및 분석하였다.⁵⁾

4. 유량조사

본 연구에서는 측정대상지점에서 하상 특성에 적합하게 일정구간을 구획하여 구간별 유속을 측정하고, 대상지점에서의 하상단면을 작성하여 실측한 유속과 하상단면 값을 이용, 유량을 산정하였으며 도섭 측정시 유량산정은 중간단면법으로 하였고 풍수기 및 홍수기에는 도플러방식을 이용한 초음파유속계인 ADP(Acoustic Doppler Profiler) 및 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)를 이용하였다.⁶⁾

5. 유량지속곡선 (Flow Duration Curve, FDC)

관측수위(h)와 유량(Q)과의 관계를 나타낸 곡선이 수위-유량 관계곡선(h-Q)이며, 이 수위-유량 관계곡선을 이용하여 연속적으로 측정되는 수위에서 유량을 산출 할 수 있다.⁷⁾

본 연구에서는 한강홍수통제소 중랑교 수위관측소의 실시간 수위를 이용하여 일평균 수위를 산출하고,

환경부의 평균 8일 간격의 유량 자료를 토대로 수위-유량 관계 곡선식을 작성하여 일유량을 산정한 후 하천의 전체적인 유량조건을 확률적으로 파악하기 위해 유량지속곡선(Flow Duration Curve, FDC)을 작성하였다.⁸⁻¹¹⁾

일유량 자료를 최대유량에서 최소유량 순으로 배열하여 특정 유량을 초과하는 일수를 백분율로 계산하면 기본적인 유량 유행곡선은 X축을 따라 위에서 아래로 내려오는 형태를 갖는다. X축은 누적도수분포와 같이 지속기간 또는 “시간백분율”을 나타낸다. Y축은 “시간백분율”(또는 지속시간)에 해당하는 유량(예: m³/sec)을 나타낸다. 최대유량에서 최소유량 순으로 배열한 후 95번째, 185번째, 275번째, 355번째 유량은 각각 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량에 해당하는 위치이다. 아래 식 1은 유량 배열 순을 백분율로 나타내는 식이다.

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

6. 부하지속곡선(Load duration curve, LDC)

단위유역별로 유량지속곡선을 작성하고, 그 결과에 목표수질을 곱하여 부하지속곡선을 작성할 수 있고, 실측한 수질 및 유량 자료를 이용하여 실측한 결과에 대응하는 부하량을 부하지속곡선 위에 표시함으로써 해당 유역의 목표수질 달성 여부에 대한 평가가 가능하게 된다.¹¹⁾

Fig. 3은 기준수질에 대한 부하지속곡선(LDC)과 관측수질에 대한 부하량을 유행별 비교가 쉽게 나타낸 그래프로서, 관측부하량이 LDC 위쪽에 표시되어

Fig. 3. Load duration curve.

있는 경우는 해당 항목의 오염부하량이, 즉 기준수질이 초과된 경우이며, 관측부하량이 LDC 아래쪽에 표시되어 있는 경우는 해당 관측 시에 기준수질이 만족된 경우를 의미한다.¹¹⁾

비점오염원에 의한 하천 오염의 경우를 고려하기 위해서는 유량이 상대적으로 많은 경우를 간주해야 한다. 비점오염원과 점오염원의 유출 기준점은 전체 유량의 중간에 해당되는 평수량(Q_{185})을 기준으로 하고 있으므로 Fig. 3의 저수량 이하의 유량범위에서 관측부하량이 LDC 위쪽에 표시되어 있는 경우는 주로 점오염원에 의해 목표수질이 초과된 것이라 볼 수 있으며, 평수량 이상의 유량범위에서 관측부하량이 LDC 위쪽에 표시되어 있는 경우는 주로 비점오염원에 의해 목표수질이 초과된 것이라 판단할 수 있다.¹¹⁾

III. 연구 결과

1. 유역 내 강우 현황 및 환산강수량

중랑천 유역에서 기상학적 특성 파악에 용이한 자료를 가지고 있는 기상관측소는 동두천과 서울관측소 2개

Fig. 4. Monthly precipitation by Thiessen weights method on the watershed.

이다. 해당 관측소의 과거 10년간 평년강수량과 2008~2010년도 강수량을 티센(Thiessen)계수를 산정하여 유역 강수량 산정 후 연도별 강수량 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 평년과 2008~2009년에는 우리나라의 계절적 특성과 유사하게 7~8월에 강우가 집중 되었지만, 2010년에는 7월보다 8~9월에 더 많은 강우가 집중되었다.

2. 수위-유량 관계 곡선식 작성결과

본 연구의 조사기간은 2008년~2010년이며 서울시 노원구 상계동에 위치한 상도교 지점을 대상으로 환경부의 매월 평균 4회 측정된 실측유량과 국토해양부의 실시간 수위(T/M)를 이용하여 각각의 연도별로 수위-유량 관계곡선식을 개발하였다(Table 1).

3. 유량지속곡선 작성결과

개발된 관계식을 이용하여 중랑천의 일유량을 산정하였고, 이를 이용하여 Fig. 5와 같은 유량 지속곡선을 도출하고 그 결과를 토대로 중랑천의 유출 특성을 파악하기 위해 유황별 유량을 산정한 결과를 Table 2에 제시하였다. 조사대상 기간의 유량조건별 유량을 분석한 결과, 저수량(Q_{275}), 갈수량(Q_{355})

Table 1. Development of stage-discharge rating curve in Jungnang stream

year	application level	stage range	stage-discharge curve	remarks
2008	A-level	$0.420 \leq h \leq 0.823$	$Q = 12.3115 \times (h + 0.079)^{2.4796}$	0.420 m below extrapolation 0.823 m above extrapolation
2009	A-level	$0.390 \leq h \leq 1.020$	$Q = 15.7621 \times (h - 0.041)^{2.0403}$	0.390 m below extrapolation 1.020 m above extrapolation
2010	L-level	$0.420 \leq h \leq 0.620$	$Q = 13.326 \times (h - 0.250)^{1.0675}$	0.420 m below extrapolation 1.720 m above extrapolation
	H-level	$0.620 \leq h \leq 1.720$	$Q = 30.233 \times (h - 0.295)^{1.7409}$	0.420 m below extrapolation 1.720 m above extrapolation

Fig. 5. Flow duration curve in Jungnang stream. (a) 2008 year (b) 2009 year (c) 2010 year.

Table 2. Comparison of flow classified by flow condition (Unit : cms)

flow classification	2008	2009	2010
Q_{95}	3.285	3.868	5.341
Q_{185}	2.240	2.856	3.268
Q_{275}	2.037	2.383	2.663
Q_{355}	1.782	1.922	2.020

과 같은 평수기(Q_{185}) 이하의 유량에서는 소폭의 변화가 있었으나 평수량(Q_{185}) 이상의 고유량에서는 유량값이 저유량시 보다 큰 폭의 변화를 보였다.

4. 부하지속곡선 작성결과

Fig. 5에서 구축한 유량지속곡선을 이용하고, 목표수질 및 평균수질을 적용하여 부하지속곡선을 작성하였고, 유량 조건별로 5가지로 분류하여 분석하였다.

Cleland¹²⁾는 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 분석하였고 유량조건별 분류 방법을 Table 3에 나타내었다.

본 연구의 수질분석 항목 중 BOD_5 와 T-P의 경우에는 “서울, 경기, 인천 한강수계 경계지점 총량관리 목표수질 확정고시”에서 고시한 목표수질을 적용하

Table 3. Hydrologic condition class

flow duration curve		hydrologic condition class
range (%)	median (%)	
0 - 10	5	High flows
10 - 40	25	Transitional flows Moist conditions
40 - 60	50	Typical flows Mid-Range conditions
60 - 90	75	Dry flows Dry conditions
90 - 100	95	Low flows

여 BOD₅(8.6 mg/L)와 T-P(0.575 mg/L)에 대한 부하지속곡선을 작성하였으며, 나머지 수질항목(COD_{Mn}, SS, TN)의 경우에는 수질오염총량제 목표수질 대상항목이 아니므로 해당년도 관측 수질의 산술 평균값을 목표수질로 임의로 설정하였다.¹³⁾ 그리고 여기에 실측된 유량 및 수질 자료로부터 산정된 부하량을 각 실측유량에 대응하는 초과 백분율의 값을 결정하여 부하지속 곡선에 도식화 하였으며 그 결과를 Fig. 6~Fig. 8에 나타내었다.

BOD₅의 경우 2008년은 주로 평수기 이하의 유량

Fig. 6. Load duration curve in 2008. (a) BOD (b) COD (c) SS (d) T-N (e) T-P

Fig. 7. Load duration curve in 2009. (a) BOD (b) COD (c) SS (d) T-N (e) T-P

조건에서 기준부하량을 초과하는 빈도가 높게 나타났으며, 2009년은 홍수량 조건에서 기준부하량을 초과했고, 2010년에는 대부분의 유량조건에서 기준부하량을 만족하는 결과를 나타내었다. 이는 2008년은 점오염원과 평수기때의 강우에 의한 영향으로 판단되며, 2009년은 강수량이 많았던 여름철에 비점오염원의 유출이 많이 있었던 것으로 판단된다.

COD_{Mn} 항목 역시 BOD₅와 비슷한 기준부하량 초과 패턴을 보였으나, 2010년에는 BOD₅에 비하여 기준 부하량을 초과하는 빈도가 많이 나타났다.

SS는 2008년, 2009년, 2010년 모두 풍수량 이상의 고유량 조건에서 기준부하량 초과가 나타났다. 이는 입자성 물질의 특성상 홍수기에 집중적으로 유입되는 것으로 판단된다.

T-N은 2008년, 2009년, 2010년 모두 평수량 이하의 저유량 조건에서 기준부하량 초과가 나타났다. 이는 비점오염원의 영향 보다는 점오염원의 영향을 많이 받는 것으로 판단된다.

T-P는 2008년에 대부분의 유량조건에서 기준부하량 초과빈도가 높게 나타났고, 2009년은 평수기 이

Fig. 8. Load duration curve in 2010. (a) BOD (b) COD (c) SS (d) T-N (e) T-P

하의 저유량 조건에서 초과빈도가 높게 나타났다. 반면에 2010년은 대부분의 유량조건에서 기준부하량을 만족하는 것으로 나타났다.

IV. 고 찰

본 연구에서는 우리나라를 비롯해 여러 나라에서 수행되고 있는 수질오염총량관리제를 효과적으로 평가하기 위해서 최근 활용이 증가하고 있는 오염부하지속곡선(LDC)을 활용하였다. 오염부하지속곡선은

미국 Kansas주 보건환경국에서 1998년 단일 기준유량의 문제점을 개선하기 위해 전체 유량 범위를 고려한 TMDL평가 기법으로 개발되어 현재 국내외적으로 많이 적용되고 있다.^{10,14,15)}

현행 수질오염총량제에서는 수질변동에 따른 평가의 신뢰성을 높이기 위해 측정 수질을 자연로그로 변환하여 평가하고 있지만 이 방법은 전체 유량조건에 대한 수질 변동을 대변하기에는 어려울 것으로 판단되며 수질변화 중 특히 수질로 인하여 해당 단위유역에 해당 수질 분산성이 커지고 목표수질 또한

높게 산정될 수 있지만¹⁶⁾ 부하지속곡선에 의한 수질 평가는 기준수질에 의한 전체 유량조건에 대응하는 부하량 평가를 하므로 특이수질에 대한 영향이 상대적으로 적게 나타날 수 있다.

US EPA¹⁷⁾에 의하면 TMDL에 부하지속곡선을 이용할 경우 부하지속곡선의 위쪽에 있는 자료는 수질 기준이 초과됨을 나타내고, 부하지속곡선 아래쪽에 있는 자료는 수질기준이 준수됨을 나타낸다. 중랑천 단위유역 실측 자료를 Fig. 3과 같이 도시화하여 부하지속곡선을 기준으로 실측자료의 공간적 분포를 표현한 결과는 Fig. 6~Fig. 8이다. 기존 연구 결과 논문과 비교해 보면^{18,19)} LDC그래프의 경향은 Fig. 5와 같이 유량이 클수록 부하량이 상승하고 유량 작을수록 부하량이 감소하는 동일한 경향을 보였다. 하지만 유량조건에 따라 비교해보면 다른 연구 대상의 유역^{18,20)}과 달리 중랑천은 도시형하천으로 점오염인 하수처리장 방류량과 방류수질이 저갈수기에 더 큰 영향을 더 주기 때문에 강우 강도와 수질의 농도와 비례하는 SS 항목을 제외한 나머지 수질항목인 BOD₅, COD_{Mn}, T-N, T-P에서 점오염의 영향으로 인해 저갈수기에 농도가 다른 시기보다 상대적으로 높다. 또한 도시형 하천은 불투수지역의 비율이 높아 초기 강우 유출에 의해서 더 쉽게 비점오염원의 유출이 발생할 수 있어 저갈수기에 수질농도가 높게 나타났고, 강우시 지표면의 비점오염원이 유출되는 강우 유출수는 다양한 오염물질을 포함하고 있으며, 유출오염부하는 하수처리장에 의한 것보다 높은 것으로 보고된 바 있다.²¹⁾

토사유출은 강우강도가 클수록 더 많은 양이 유출되기 때문에 SS 농도가 높아지며, T-P의 경우 토양 내 유동성이 작아 쉽게 유출이 되지 않다가 강수기 토양입자에 흡착된 형태로 동반 유출되어 인의 농도가 증가하는 것으로 보고되고 있다.²¹⁾ 그러나 중랑천 유역은 기존 연구결과^{15,16)}와 다른 경향으로 T-P는 유량이 적은 조건일때가 상대적으로 높은 농도를 나타냈다. 이는 중랑천의 SS는 유량 의존성이 큰 반면 T-P는 강우에 의한 유출 보다는 하수처리장등 점오염원의 영향이 지배적인 것이라고 판단된다.

중랑천의 수질오염총량관리 지점에 대한 부하지속곡선의 개발을 통하여 전체 유량규모에 대한 수질 자료현황을 파악할 수 있게 되었고, 중랑천의 유황 조건별 BOD₅, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P의 기준부하량

초과 및 달성 빈도를 파악할 수 있게 되어, 홍수기에는 BOD₅, COD_{Mn}, SS 등의 비점오염원 관리 대책이, 저갈수기에는 T-N, T-P 등의 점오염원 관리 대책이 필요한 것으로 부하지속곡선을 통하여 알 수 있게 되었다.¹³⁾

V. 결 론

본 연구에서는 한강수계 오염총량관리대상 지점인 중랑천 상도교 지점을 대상으로 2008년~2010년까지 평균 8일 간격으로 수질과 유량 조사를 실시하고, 환경부에서 고시한 목표수질과 평균수질을 이용하여 유량변동에 따른 기준부하량 초과빈도와 특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 조사기간 중 강수량이 평년보다 적었던, 2008년에는 기준부하량 초과 빈도가 높았고, 평년보다 약 30%정도 강수량이 많았던 2010년에는 기준부하량 초과 빈도가 낮았던 것으로 보아 강수량이 적고 유량이 적을수록 중랑천의 목표수질 관리가 어려운 것으로 판단된다.

2) 중랑천의 총량규제를 위해 설정한 목표수질을 달성하기 위해서는 5개의 유량조건중 풍수기 보다는 유량이 적은 저수기 이하의 관리가 필요하며 특히 T-P항목의 경우 평수기 보다 저갈수기에 많은 관리방안이 필요한 것으로 판단된다.

3) 중랑천은 고유량 조건인 홍수기에 BOD₅, COD_{Mn}, SS 등의 부하량이 급격히 증가하고, 반대로 저수기 이하의 저유량 조건에서는 T-N, T-P의 기준부하량 초과 빈도가 높은 것으로 보아 홍수기에는 BOD₅, COD_{Mn}, SS 등의 비점오염원 관리 대책이, 저갈수기에는 T-N, T-P 등의 점오염원 관리대책이 필요한 것으로 판단된다.

4) 본 연구의 부하지속곡선을 이용하여 중랑천 수질오염총량관리 지점의 전체적인 수질현황을 파악할 수 있으며, 해당 단위유역의 수질유량 동시 측정으로 인한 정확한 부하량 산정을 바탕으로 전체 유량 분포에 대한 수질 및 오염물질의 분포와 유량조건별 수질평가 방법을 제시할 수 있다고 사료된다.

참고문헌

1. Kim JK. A system development of load duration

- curve based on Web for TMDL and basin characteristics analysis. [dissertation]. [Chunchon]: Kangwon University; 2008.
2. Lee KH, A study of reasonable performance assessment for total water pollution loading system, Gyeonggi Research Institute; 2010.
3. Nebraska, "Nebraska's approach for developing TMDLs for streams using load duration curve"; 2002.
4. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. Han river basin water control project(Jungnang stream special zone); 2008.
5. Ministry of Environment. Standard method for examination of water; 2007.
6. Ministry of Construction and Transportation. Hydrological observation manual; 2004.
7. Ministry of Construction and Transportation. stage-discharge curve equation in 2010. Hydrological survey center; 2010.
8. Vogel, R.M, Fenessey N.M. Flow-duration curves, 1: New interpretation and confidence intervals. *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE. 1994; 120(4): 485-504.
9. Dingman, S.L. Physical Hydrology, 2nd ed. New Jersey; Prentice Hall; 2002: 646.
10. Kim KH, Yoon JY, Development and application of coliform load duration curve for the geum river. *Journal of Korean Society on Water Quality*. 2005; 21(5): 516-9.
11. Han SH, Shin HS, Kim SD. Applicability of load duration curve to Nakdong river watershed management. *Journal of Korean Society on Water Quality*. 2007; 23(5): 620-7.
12. Cleland, B.R. TMDL Development from the "Bottom Up"-Part III: Duration Curves and Wet-Weather Assessments, America Clean Water Foundation; 2003: 27.
13. Ministry of Environment. The target water quality for total amount management at boundary point in Seoul, Kyunggi, Incheon of Han-River watershed; 2011.
14. Nebraska, "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; 2002.
15. Kim JG, Park YS, Yoo DS, Eernie E., Kim JS, Lim KJ. Development of Web-based Load Duration Curve for Analysis of TMDL and Water Quality Characteristics. Korean Society on Water Quality; 2009.
16. Park JD, Kim JL, Rhew DH, Jung DI. A Study on the Water Quality Patterns of Unit Watersheds for the Management of TMDLs -in Nakdong River Basin-. *Journal of Korean Society on Water Quality*. 2010; 26(2): 279-88.
17. U.S. EPA Office of Wetlands, Oceans, & Watersheds. An Approach for Using Load Duration Curves in the Development of TMDLs; 2007.
18. Park JH, A Study of Waterbody Health Diagnosis Method using Load Duration Curve[dissertation] [Daegu]: Kyungpook National University; 2010.
19. Shon TS, Joo JS, Park JB, Shin HS. TMDL Evaluation of Nakdong River Using Load Duration Curve and Streamflow-Load Rating Curve. *Korean Society of Civil Engineers*. 2011; 31(5B): 475-81.
20. Hwang HS, Park BK, Kim YS, Park KJ, Cheon SU, Lee SJ. Research on the Applicability of the Load Duration Curve to Evaluate the Achievement of Target Water Quality in the Watershed for a TMDL. *Journal of Korean Society on Water Quality*. 2011; 27(6): 885-95.
21. Sartor, J. D., Buchberger, S. G. Partitioning and First Flush of Metals in Urban Roadway Storm Water. *Journal of Environmental Engineering*. ASCE. 1997; 123(2): 134-43.