

연구논문

부하시속곡선을 이용한 유량 조건별 수질특성 평가 - 영본A 유역을 대상으로 -

박진환 · 김갑순 · 정재운 · 황경섭 · 문명진 · 함상인 · 임병진

국립환경과학원 영산강물환경연구소
(2013년 6월 8일 접수, 2013년 7월 31일 승인)

Water Quality Characteristics Evaluation by Flow Conditions Using Load Duration Curve - in Youngbon A Watershed -

**Jinhwan Park · Kapsoon Kim · Jaewoon Jung · Kyungsup Hwang ·
Myungjin Moon · Sangin Ham · Byungjin Lim**

Yeongsan River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research
(Manuscript received 8 June 2013; accepted 31 July 2013)

Abstract

This study was conducted to identify runoff characteristics of pollutants using flow duration curve(FDC) and load duration curve(LDC) in Youngbon A watershed during 2009~2011. A flow rate and pollutant load in the study watershed were estimated by equation of stage-discharge and discharge-loads rating curve. From these methods, BOD, T-N, and T-P have evaluated whether water quality standards would have attained. Results showed that BOD loads of about 50% plotted above the LDC, while T-N and T-P loads of about 50% plotted below the curve. It means that BOD of about 50% have exceeded the water quality criteria, while T-N and T-P of about 50% have complied with the water quality standards. Meanwhile, BOD, TN and T-P loads plotted above the LDC of low flows, implying that they were more affected by point pollution sources than non-point pollution sources in the study watershed.

Keywords : Flow Duration Curve (FDC), Load Duration Curve (LDC), Total Maximum Daily Load (TMDL), Water Quality Variation, Yeongsan River Basin

I. 서론

수질오염총량관리제의 운영에 필요한 자료를 만들기 위하여 지난 2004년 하반기부터 4대강 물환경연구소에서 직접 오염총량관리 단위구역 말단부에서 8일 간격으로 수질과 유량을 동시에 측정하기 시작하였다. 제1단계 오염총량관리 기본계획에서 기준유량은 10년 평균 저수량으로 명시하고 있으며, BOD를 관리대상물질로 하여 2011년 부터는 총인을 추가한 후 2015년을 목표로 제2단계 오염총량관리 기본계획을 수립하고 단위구역별 수질정도에 따라 총량관리 시행계획 또는 수질개선사업계획을 수립하여 이행하는 과정에 있다(환경부, 2010). 그 결과 건기 우기의 구별 없이 연중 일정한 간격으로 하천유량 및 수질의 변동여부를 확인하는 것이 가능하게 되었으나, 이 역시 하천의 전체적인 유량조건 및 이에 대응하는 수질조건을 반영하기에는 부족한 점이 있다. 이에 유량-부하량 관계식을 통해 유량지수와 결정계수를 이용하여 유출특성을 해석하는 연구가 수행된 바 있으며(김태근, 2006; 박지형 등, 2011; 박진환 등, 2012; 이형진 등, 2007; 이상욱, 2010; 최한규 등, 2002, 최현구 등, 2011), 이러한 연구는 유출특성을 해석하기 위한 방법으로 적절하였지만 해당 구역의 전체적인 흐름에 대한 조건별 흐름의 파악은 현실적으로 부족한 면이 없지 않다.

하천유량의 조건에 따른 밀접한 유출특성을 파악하기 위해서는 먼저 해당 지점의 유황분석이 제대로 이루어 져야 한다. 김재철과 김상단(2007)은 4대강에서 실측된 자료를 각 단위구역별 유황곡선을 작성할 목적으로 8일 간격 유량자료만을 사용할 경우 유황곡선을 작성할 수 없다는 단점이 있다고 보고하였으며, 이를 보완하기 위해 TANK 모형을 이용하여 8일 간격의 유량자료를 일유량으로 확장하여 가능성을 확인하였다. 이와 같이 모형을 통해 8일 간격 유량자료를 일유량으로 확장하여 적용성을 평가한 연구(강현우 등, 2012; 김민규, 2008; 김상단 등, 2007; 정재운 등, 2012)를 비롯하여 국외의 경우 유역모형을 통해 장기유출해석 뿐만 아니라 기후변화에 따른 수자원변화, 미래 토지이용변화에 따른 수문

변화, 비점오염예측 등의 다양한 분야에 대한 과학적 해석 도구로 활용되고 있다(Cleland, 2003; Eisele *et al.*, 2001; Francos *et al.*, 2001; Gallagher and Doherty, 2005; Sugawara, 1995; Tsihrinzis and Hamid, 1998).

한편 최경완 등(2012a, 2012b)은 오염총량관리 대상지점의 인근에 위치한 (T/M)수위국에서 실시간으로 관측된 일평균 수위와 실측된 유량자료를 활용하여 수위-유량 관계곡선식을 개발하여 8일 간격 유량을 일유량으로 확장하였다. 유역모델과 회귀식의 방법들을 이용하여 일유량을 확장한 후 황하선 등(2011)은 부하지속곡선의 적용성에 대한 연구를 수행하였으며, 한수희 등(2007)과 최경완 등(2012a)은 부하지속곡선을 이용하여 단위구역별 목표수질 달성 여부를 평가하였다. 이처럼 다양한 수계에서 실측된 수질과 유량자료를 이용하여 유량-부하량 관계곡선 및 유량지속곡선을 작성한 후, 이를 바탕으로 부하지속곡선을 이용하여 각 단위구역별로 수질의 특성을 파악하고 해석하는 연구가 많이 수행되고 있지만 아직까지 영산강수계를 대상으로 이러한 방법을 통해 수행된 연구는 매우 부족하다.

본 연구에서는 영산강 최상류에 위치한 영본A 단위구역 말단지점을 대상으로 실측된 수질과 유량자료를 활용하여 유량 조건별 오염물질유출 특성을 해석하여, 효율적인 수질관리를 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구 대상 유역

본 연구의 대상유역은 영산강 최상류 유역으로 영산강의 발원지부터 담양군과 광주광역시 북구 경계점 전까지 전구간 및 유역으로써 유역면적 427.8 km²이다(Fig. 1). 영본A 유역의 토지이용형태는 임야가 전체 토지이용의 50.2%를 차지하고, 논과 대지는 각각 19.9%, 15.2%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다(Table 1).

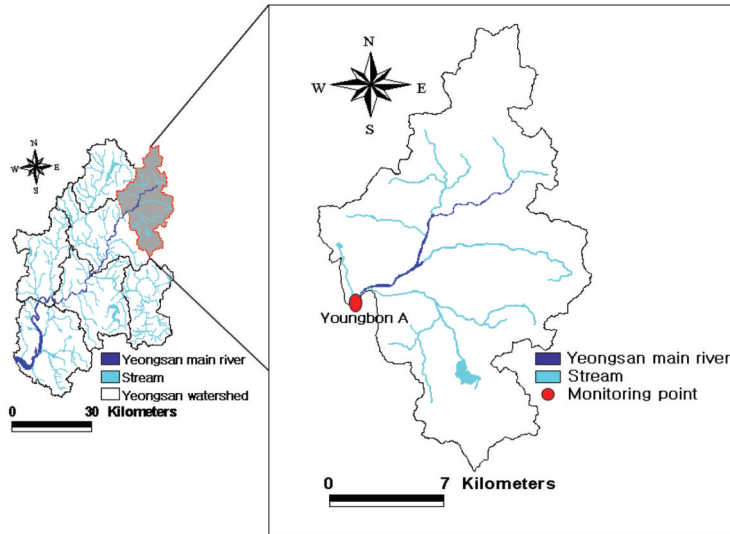


Fig. 1. Location of the Youngbon A watershed in Yeongsan river basin.

Table 1. Characteristics of land use in the Youngbon A watershed (Unit : km²)

Watershed	Upland	Paddy	Forest	Lot	Etc.	Total
Youngbon A	26.9 (6.3%)	85.0 (19.5%)	214.8 (50.2%)	65.0 (15.2%)	36.1 (8.4%)	427.8 (100%)

2. 수질 및 유량조사 방법

수질 및 유량 자료는 2009년 1월부터 2011년 12월 까지 3년간 평균 8일 간격으로 유역 출구지점에서 실측한 자료를 이용하였다. 수질시료 채취와 분석은 수질오염공정시험기준(환경부, 2008)에 준하여 수행하였고, 하천유량의 측정은 수문관측 매뉴얼(건설교통부, 2004)을 준하여 유속-면적법(Velocity-Area Method)으로 측정하였다. 측정에 사용된 유속계는 회전식유속계(Price USGS Type AA, LV, 와 USGS Pygmy 및 Valeport 002, 106)를 사용하여 도섭법과 추내림을 이용한 교량법을 적용하고, 유량측정기준은 등유량 5% 내의 측선배분 및 유속이 0.2 m/s 미만일 때는 120초, 이상일 때는 40초 이상으로 측정하였다.

3. 유량-부하량 관계식

영본A 지점에서의 유량에 따른 수질의 변동을 파악하기 위해 식(1)을 이용하였다. 유량과 부하량은 경험적으로 식(1)의 관계를 가지며, 이를 변환하면 식(2)가 된다. 여기서 계수 b의 값이 1보다 크면 유량증

가에 따른 농도의 증가를, b가 1이면 농도변화가 없으며, b가 1보다 작으면 유량증가에 따른 농도의 감소를 의미한다(김진수 등, 2001; 박지형, 2007; 박지형 등, 2011; 박진환 등, 2012; 이형진 등, 2007; 최동호 등, 2012).

$$L = a \times Q^b \quad (1)$$

$$\frac{L}{Q} = a \times Q^{(b-1)} \quad (2)$$

여기서, L은 유달부하량(kg/day), Q는 하천유량(m³/day), a와 b는 계수이다.

4. 유량지속곡선

본 연구에서는 영본A 지점의 하류 100 m 이내에 위치한 동일한 지점으로 볼 수 있는 영산강홍수통제소 광주 (T/M)관측소의 실시간 수위를 이용하여 일 평균 수위를 산출하고, 실측된 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.

정재운 등(2009)에 의하면, 우리나라의 풍수량(Q₉₅), 평수량(Q₁₈₅), 저수량(Q₂₇₅), 갈수량(Q₃₅₅)에 해당하는 확률은 각각 26%, 51%, 75%, 97%라고 보고하였으며, 본 연구에서도 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량에 해당하는 확률을 각각 26%, 51%, 75%, 97% 적용하였다. 아래 식 (3)은 유량 배열순을 백분율로 나타내는 식이다.

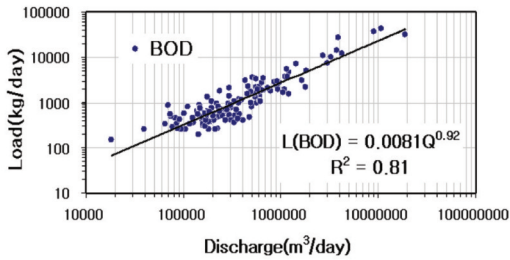
$$\begin{aligned} \text{Percent of Days Flow Exceeded}(\%) \\ = \text{Rank}/\text{Number of data} \times 100 \end{aligned} \quad (3)$$

5. 부하지속곡선

영본A 지점의 유량지속곡선을 작성하고, 그 결과에 목표수질을 곱하여 부하지속곡선(Load Duration Curve, LDC)을 작성할 수 있으며, 실측한 수질 및 유량 자료를 이용하여 실측한 결과에 대응하는 부하량을 부하지속곡선 위에 도식함으로써 해당 영역의 목표수질 달성 여부에 대한 평가가 가능하게 된다.

부하지속곡선 작성은 일유량 자료와 수질기준 자료를 이용하여 식 (4)에 의해 부하지속곡선을 작성한다.

$$\begin{aligned} \text{Load}(\text{kg}/\text{day}) = \\ \text{Flow}(\text{m}^3/\text{s}) \times \text{Water Quality Standard}(\text{mg}/\text{L}) \times 86.4 \end{aligned} \quad (4)$$



(a)

III. 결과 및 고찰

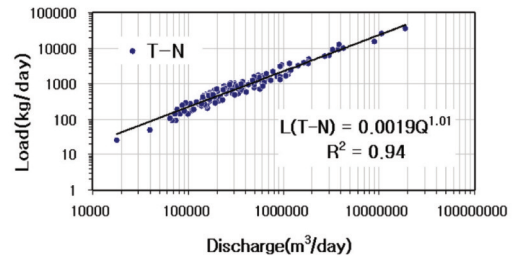
1. 유량-부하량 관계식 작성결과

영본A 지점의 실측된(2009~2011) 유량(Discharge)과 부하량(Load)의 관계로부터 각 인자간의 유출특성을 나타내었다(Fig. 2, Table 2). 박진환 등(2012)에 의하면 탐진강수계를 대상으로 한 유량-유달부하량 관계식에서 결정계수가 0.7이상이면 상관성이 높다고 보고한 바 있다.

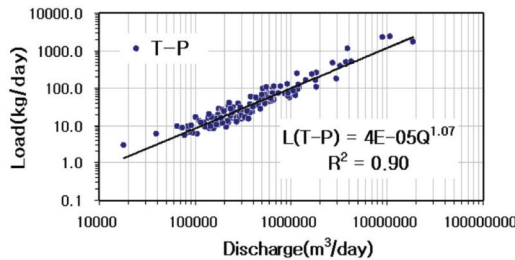
본 연구의 결과에서도 오염물질별 유량-유달부하량 관계식에 의한 수질항목별로 결정계수(Coefficient of Determination, R²)가 모두 0.8이상으로 나타났으며, 영본A 지점은 유량과 오염물질별 부하량의 관계는 유의성이 매우 높은 것으로 나타났다. BOD의 경우 유량 지수가 0.92로 1보다 작게 나타나 유량증가에 따른 농도의 증가현상은 보이지 않았다. 이는 비강우시 하수처리장 방류수 등 점오염원에 의해 저

Table 2. Regression equations for pollutants load at the study site

Sites	Equations		
	BOD	T-N	T-P
Youngbon A	L = 0.0081Q ^{0.92} (R ² = 0.81)	L = 0.0019Q ^{1.01} (R ² = 0.94)	L = 4E-05Q ^{1.07} (R ² = 0.90)



(b)



(c)

Fig. 2. Relationship between discharge and delivery pollutants load at the study site. (a) BOD, (b) T-N, (c) T-P

Table 3. Development of stage-discharge rating curve in Youngbon A

Year	Stage range	Stage-discharge curve	Remarks
2009	0.070 ≤ H ≤ 0.538	$Q = 84.086(H - 0.021)^{1.448}$	0.070 m below extrapolation 0.538 m above extrapolation
2010	0.100 ≤ H ≤ 0.964	$Q = 104.735(H - 0.017)^{1.602}$	0.100 m below extrapolation 0.964 m above extrapolation
2011	0.090 ≤ H ≤ 0.720	$Q = 252.167(H - 0.035)^{1.966}$	0.090 m below extrapolation 0.720 m above extrapolation

하된 하천수질이 유량 증가시 희석되기 때문인 것으로 판단된다(장주형 등, 2010). 즉, 유량지수가 1보다 작으면 비점오염원에 의한 추가적인 수질오염보다는 희석에 의한 효과가 더 크다는 것을 의미하며, 비점오염원 보다는 점오염원이 수질에 더 큰 영향을 미친다는 것으로도 해석될 수 있다(박진환 등, 2012).

한편 T-N은 유량 지수가 1.01로 1보다 크게 나타나 유량증가 시 다소 증가하지만 그 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. T-P의 경우 유량 지수가 1.07로 유량이 증가함에 따라 농도 역시 증가하는 것으로 나타났다. 박준대 등(2010)과 박지형 등(2011)에 의하면 유량지수가 1 이상을 나타내면 비점오염원의 배출증가로 볼 수 있으며, 유량지수가 1 미만을 나타내면 점오염원의 영향을 받는다고 주장하였다. 따라서 영본A 지점은 점오염원과 비점오염원의 영향을 모두 받는 것으로 볼 수 있으며, 유량변화에 따른 오염물질의 의존도를 배열하면 BOD > T-P > T-N 순으로 크다는 것을 알 수 있었다.

2. 수위-유량 관계 곡선식 작성결과

곡선식에 사용된 기간은 2009년부터 2011년 이며, 광주시 북구 우치동에 위치한 영본A 지점을 대상으로 매월 평균 4회 실측된 유량과 영산강홍수통제소의 광주(T/M)수위국에서 실시간으로 제공받은 수위 자료를 이용하여 각각의 연도별로 수위-유량 관계 곡선식을 개발하였다(Table 3). 이러한 방법은 최경완 등(2012a, 2012b)에 의해 시도되었다.

3. 유량지속곡선 작성결과

개발된 수위-유량 관계 곡선식을 이용하여 일유량을 산정하였다. 각각의 연도별로 산정된 3년간

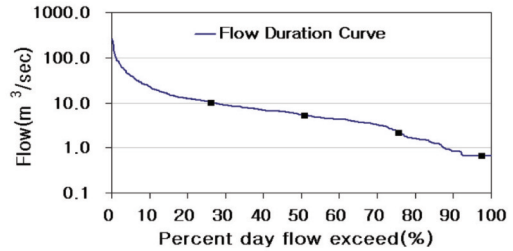


Fig. 3. Flow duration curve at the Youngbon A watershed (2009~2011).

Table 4. Comparison of flow classified by flow condition(Unit: m³/sec)

Year	Flow classification			
	Q ₉₅	Q ₁₈₅	Q ₂₇₅	Q ₃₅₅
2009~2011	10.242	5.365	2.230	0.681

(2009~2011년)의 일단위 유량을 산술평균하여 Fig. 3에 최대유량에서 최소유량 순으로 데이터를 배열하고 초과하는 일수를 백분율로 계산하여 유량지속곡선을 작성하였으며, 그 결과를 바탕으로 영본A 지점의 유출 특성을 파악하기 위해 산정된 유량별 유량의 결과를 Table 4에 제시하였다.

4. 부하지속곡선 작성결과

부하지속곡선을 작성하기 위해서는 오염물질에 대한 기준수질이 필요하다. 본 연구유역의 수질기준은 수질오염총량관리 계획에서의 1단계(2004~2010년)의 경우 BOD 항목을 대상으로 기준유량(10년 평균 저수량) 조건에서 목표수질을 2.1 mg/L로 설정하여 관리하고 있으며(전라남도, 2005), 2단계(2011~2015년)에서는 BOD 항목의 경우 1단계 목표수질과 동일한 값으로 설정하였으며, 추가적으로 T-P에 대한 기준유량(10년 평균 저수량 및 평수량) 조건에서 목표수질을 0.151 mg/L로 설정하여 관리하고 있으므로(전라남도, 2010), 이에 대한 부하지속곡선을 작

Table 5. 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

상하였다.

나머지 T-N에 대한 수질항목의 경우 수질오염총량제 목표수질 대상항목이 아니므로 각각의 연도별로 실측된 수질의 산술 평균값을 목표수질로 하여 임의로 설정하였다. 또한 여기에 실측된 수질 및 유량 자료로부터 산정된 부하량을 각 실측유량에 대응하는 초과 백분율의 값을 결정하여 부하지속 곡선에 도식하였으며(Fig. 4), 이러한 방법은 다양한 연구자들에 의해 수행 되었다(황하선 등, 2011; 한수희 등, 2007; 황하선 등, 2010).

일반적으로 부하지속곡선의 결과를 해석할 때 Cleland(2003)이 제시한 초과 유량 확률에서 0-10%는 홍수기 조건, 10-40%는 풍수기 조건, 40-60%는 평수기 조건, 60-90%는 저수기 조건, 90-100%는

갈수기 조건으로 구분하여 정의하고 있다. 유량조건별 분류 방법과 이에 해당하는 분석결과를 Table 5와 6에 나타내었다.

한수희 등(2007)에 의하면 목표수질 및 기준수질을 이용한 부하지속곡선 위에 실측된 수질 및 유량자료로부터 산정된 부하량을 도식함으로써 부하지속곡선의 위쪽에 있는 경우는 해당 관측 시에 목표수질이 초과된 경우이며, 아래쪽에 있는 경우는 해당 관측 시에 목표수질이 만족된 경우를 의미한다고 하였다. 또한 저수량 이하의 유량범위에서 부하지속곡선의 위쪽에 있는 경우 주로 점오염원에 의해 목표수질이 초과된 것이라고 볼 수 있으며, 평수량 이상의 유량범위에서 위쪽에 있는 경우 비점오염원에 의해 목표수질이 초과된 것이라 제안한 바 있다. 한편 황하선 등(2011)의 연구에 의하면 부하지속곡선을 기준으로 초과율을 분석하였으며, 초과율 50%를 기준으로 실측자료의 초과율이 50% 이하인 경우 목표수질의 준수, 그 외는 미준수하는 것으로 평가하였다.

본 연구의 결과를 살펴보면 BOD의 경우 전체 조건의 초과율이 60,54%로 목표수질을 미준수한 것으로 나타났으며, 특히 저수기(60-90%) 이하의 조건

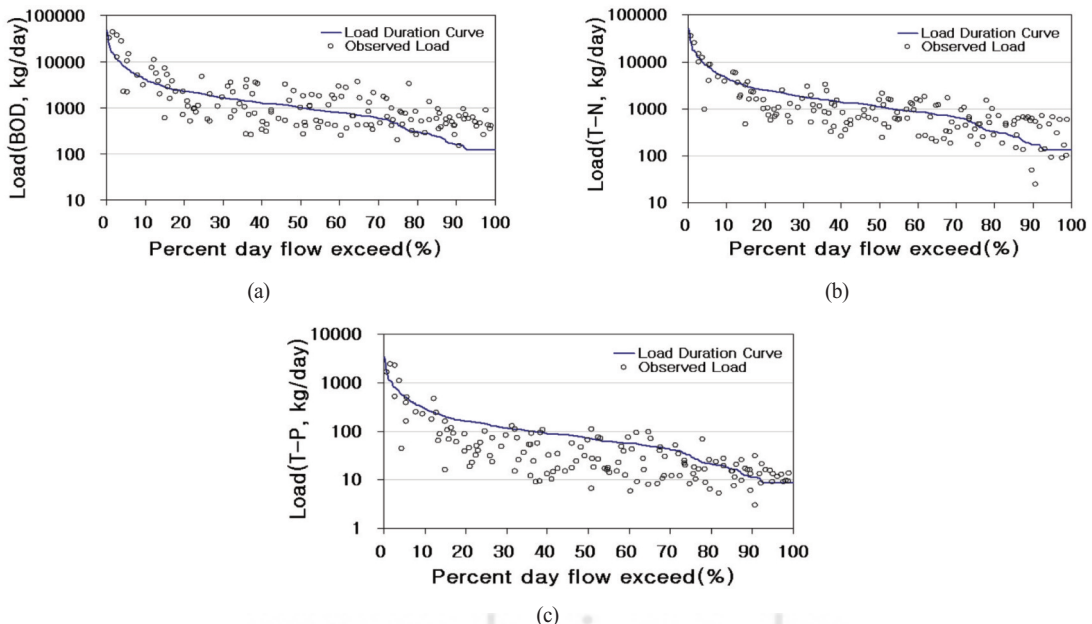


Fig. 4. Load duration curve at the Youngbon A watershed (2009~2011). (a) BOD, (b) T-N, (c) T-P

Table 6. Result of evaluated excess rate of pollutants in comparison with the LDC and the achievement of target water quality using LDC method.

Watershed	Items	No. data	No. upper					Rate upper	Evaluation
			0-10%	10-40%	40-60%	60-90%	90-100%		
Youngbon A	BOD	147	9	19	12	36	14	60.54% (89)	N
	T-N	147	6	11	10	27	10	43.54% (64)	A
	T-P	147	5	6	4	15	13	29.25% (43)	A

No. data: Number of data

No. upper: Number of data upper LDC

Rate upper: Rate of data upper LDC

Evaluation: Evaluation of the achieved the TWQ (Achieve is "A", Not achieve is "N")

에서 초과빈도가 높게 나타났다. 한편 T-N과 T-P의 경우 전체 조건의 초과율이 43.54%와 29.25%로 목표수질을 준수하는 것으로 해석될 수 있으며, BOD와 함께 저수기(60-90%) 이하의 조건에서 초과빈도가 높게 나타났다. 이는 점오염원에 의해 목표수질이 초과된 것이라 판단할 수 있으며, 앞서 언급했듯이 평상시 점오염원에 의해 높은 농도로 수질을 유지하다가 강우시 다량의 유량이 유입되어 희석 효과가 나타났기 때문인 것으로 판단되며, 비점오염원 보다는 점오염원의 영향이 지배적인 것으로 해석될 수 있다.

실제로(김상수 등, 2009; 한수희 등, 2007; 최경완 등, 2012a) 수질오염총량 단위유역에 부하지속곡선을 적용하여 해당 지점의 전체적인 수질현황을 확률적으로 파악할 수 있음과 동시에 이를 시각적으로 도시할 수 있고 수질 현황의 파악 시에 유량 특성을 적절히 반영하여 해석할 수 있을 것으로 판단하였다. 하지만 BOD와 T-P 이외의 수질항목에 대해서도 단위유역별로 평가가 가능하겠으나, T-N의 경우 BOD와 T-P의 경우처럼 명확한 목표 수질 기준으로 하는 것이 아님에 주의할 필요가 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 영산강수계의 영본A 지점을 대상으로 평균 8일 간격의 실측된 수질과 유량자료를 이용하여 유량 조건별 수질특성을 평가함으로써 우리나라 오염총량관리 발전을 위한 기초 연구 자료를 제공하고자 하였다. 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 유량-부하량 관계식을 도출한 결과 BOD의 경

우 유량 지수가 1미만으로 나타나 유량에 따른 농도 감소를 나타냈고, T-N과 T-P의 경우 유량 지수가 1보다 크게 나타나 유량에 따른 농도 증가를 나타냈다. 이는 점오염원과 비점오염원의 영향을 모두 받는 것으로 판단된다.

2) 부하지속곡선을 작성하여 분석한 결과 BOD의 경우 전체 조건에서 초과율이 50%를 초과하여 목표수질을 미준수하고 있는 것으로 나타났으며, T-N과 T-P는 초과율이 50% 이하로써 목표수질을 초과하지 않는 것으로 나타났다. 또한 모든 수질항목이 저수기 이하의 특정 유량조건에서 초과빈도가 높은 것으로 보아 점오염원에 의해 목표수질을 초과하는 것으로 사료된다.

3) 영본A 유역은 비점오염원보다 점오염원에 대한 관리가 시급하며, 특히 저수기 이하의 저유량 조건에서 많은 관리 방안이 필요한 것으로 판단된다. 향후 점오염원과 비점오염원을 구분하여 해당 단위유역의 문제점을 특성화하고 관리방안을 제시 할 수 있을 것으로 기대한다.

하지만, 환경부 8일 간격 유량은 갈수기 및 저수기에 집중적으로 측정된 자료이므로 수위-유량 관계곡선식을 통해 산정된 일유량의 자료에 대한 신뢰성이 낮은 단점이 있으므로 이를 보완하기 위해서는 홍수기에 발생하는 첨두유량에 대한 자료확보가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

강현우, 류지철, 강형식, 최재완, 문종필, 최종대,

- 임경재, 2012, 환경부 8일 유량·수질 자료를 이용한 SWAT 자동보정 모듈 개선 및 적용 평가, 수질보전 한국물환경학회지, 28(2), 247-254.
- 건설교통부, 2004, 수문관측매뉴얼.
- 김민규, 2008, TANK 모형을 이용한 하천기준유량 산정방법 개발 및 적용에 관한 연구, 석사학위논문, 전남대학교.
- 김상단, 강두기, 김문수, 신현석, 2007, 유역모형 구축을 위한 8일 간격 유량측정자료의 일유량 확장 가능성, 수질보전 한국물환경학회지, 23(1), 64-71.
- 김상수, 이동운, 한현진, 오해란, 문병현, 2009, 마산만 유입하천의 수질관리를 위한 오염부하 지속곡선의 개발과 적용, 대한상하수도학회·한국물환경학회 2009공동 추계학술발표회 논문요약집, 대한상하수도학회·한국물환경학회, 547-548.
- 김진수, 오승연, 김규성, 권순국, 2001, 관개기 광역논에서의 오염물질의 농도 특성, 한국농공학회, 43(6), 163-173.
- 김재철, 김상단, 2007, 오염총량관리 유량측정자료를 이용한 낙동강 유역 유형분석, 수질보전 한국물환경학회지, 23(3), 332-338.
- 김태근, 2006, 유량-부하량 관계식을 이용한 용담호 유입하천의 영양염류 유입량 변동특성, 한국영향평가학회지, 15(2), 129-138.
- 박준대, 김진이, 류덕희, 정동일, 2010, 수질오염총량관리 단위유역 수질변화 유형분석 -낙동강수계를 대상으로-, 수질보전 한국물환경학회지, 26(2), 279-288.
- 박진환, 임병진, 정재운, 김대영, 오태운, 이동진, 김갑순, 2012, 유량변동에 따른 탐진 A와 B 유역에서의 오염물질 유출 특성, 한국영향평가학회지, 21(6), 917-925.
- 박지형, 2007, 유역형상과 수리 특성을 고려한 경험론적 유달부하 산정, 박사학위논문, 경북대학교.
- 박지형, 손수민, 류덕희, 2011, 경험식과 요인분석을 통한 오염물질 유출 특성 연구-남한강상·하류 수계 주요 하천을 중심으로-, 수질보전 한국물환경학회지, 27(6), 905-913.
- 이상욱, 2010, 남강댐 유역의 유출량과 오염 부하량 상관관계 해석, 석사학위논문, 경상대학교.
- 이형진, 공동수, 김상훈, 신기식, 박지형, 김병익, 김성미, 장승현, 천세억, 2007, 남한강수계 저수기 수질변동 특성에 관한 연구, 수질보전 한국물환경학회지, 23(6), 889-896.
- 장주형, 이형진, 김현구, 박지형, 김지호, 류덕희, 2010, 점오염원과 비점오염원 부하량 정량화를 위한 수질-유량 모니터링 개선, 수질보전 한국물환경학회지, (26)5, 860-870.
- 전라남도(2005), 전라남도 영산강수계 제1단계 오염총량관리 기본계획.
- 전라남도(2010), 전라남도 영산강수계 제2단계 오염총량관리 기본계획.
- 정재운, 윤광식, 주석훈, 최우영, 이용운, 류덕희, 이수용, 장남익, 2009, 회귀식을 이용한 황룡A 유역에서의 유형별 유달을 산정, 한국농공학회논문집, 51(6), 25-31.
- 정재운, 조소현, 임병진, 오태운, 함상인, 김갑순, 2012, SWAT-CUP을 이용한 8일간격 유량 측정자료의 일유량 확장 가능성 평가, 수질보전 한국물환경학회지, 28(4), 595-600.
- 최경완, 신경용, 이형진, 전상호, 2012a, 부하지속곡선을 이용한 중랑천의 유량 조건별 수질특성 평가, 한국환경보건학회지, 38(5), 438-447.
- 최경완, 이형진, 홍창수, 신경용, 권필상, 방규철, 2012b, 실측유량을 이용한 흑천수계의 부하지속곡선 적용, 한국물환경학회·대한상하수도학회 2012 공동학술발표회 논문집, 한국물환경학회·대한상하수도학회, 804-805.
- 최동호, 정재운, 이경숙, 최유진, 윤광식, 조소현, 박하나, 임병진, 장남익, 2012, 유량-부하량관계식을 이용한 주암호 외남천 유역의 유형별 유달을 산정, 한국환경과학회지 21(1),

- 31-39.
- 최한규, 백경원, 최용목, 오기호, 2002, 유량변동에 따른 소양강유역 수질의 통계학적 해석, 대한토목학회논문집, 22(2), 117-124.
- 최현구, 한건연, 최승용, 2011, 낙동강 상류 유역에서의 유량변동에 따른 수질의 통계학적 분석, 환경영향평가학회지, 20(6), 833-843.
- 한수희, 신현석, 김상단, 2007, 낙동강 유역관리를 위한 부하량 유향곡선의 적용 가능성, 수질보전 한국물환경학회지, 23(5), 620-627.
- 환경부(2008). 수질오염공정시험법.
- 환경부, 2010, 수질오염총량관리 기본방침.
- 황하선, 박배경, 김용석, 박기중, 천세억, 이성준, 2011, 수질오염총량 단위유역의 목표수질 달성여부 평가를 위한 부하지속곡선 적용성 연구, 수질보전 한국물환경학회지, 27(6), 885-895.
- 황하선, 윤춘경, 김지태, 2010, 수질오염총량 단위유역의 유량조건별 수체 손상평가를 위한 부하지속곡선 적용성 연구, 수질보전 한국물환경학회지, 26(6), 903-909.
- 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.
- Eisete, M., Kiese, R., Kramer, A., and Leibundgut, C., 2001, Application of a catchment water quality model for assessment and prediction of nitrogen budgets, Phys Chem Earth(B), 26(7), 547-551.
- Francos, A., Bidoglio, G., Galbiati, L., Bouraoui, F., Elorza, F. J., Rekolsinrn, S., Manni, K., and Granlung, K., 2001, Hydrological and water quality modelling in a medinu-sized coastal basin, plys Chem Earth(B), 26(1) 47-52.
- Gallagher, M., and Doherty, J., 2005, Parameter estimation and uncertainty analysis for a watershed model, Envi-ronmental Modeling & Software, 1-21.
- Sugawara, M., 1995, Tank model, in Computer models of watershed hydrology, Water Resources Publications, 164-214.
- Tsihrinzis, V. A., and Hamid, R., 1998, Runoff Quality Pre-diction from Small Urban Catchments using SWMM, Hydrological Process, 12, 311-329.

최종원고채택 13. 08. 05