

## 유황분석과 수질변화 평가를 통한 비점오염원 관리대상지역 선정방법 연구

정우혁<sup>†</sup> · 이상진 · 김건하\* · 정상만\*\*

충남발전연구원  
\*한남대학교 건설시스템공학과  
\*\*공주대학교 건설환경공학부

### Watershed Selection for Diffuse Pollution Management Based on Flow Regime Alteration and Water Quality Variation Analysis

Woohyeuk Jung<sup>†</sup> · Sangjin Yi · Geonha Kim\* · Sangman Jeong\*\*

Chungnam Development Institute

\*Department of Civil & Environment Eng., Hannam University

\*\*Department of Civil & Environment Eng., Kongju National University

(Received 14 November 2010, Revised 15 March 2011, Accepted 15 March 2011)

#### Abstract

The goal of water quality management on stream and watershed is to focus not on discharged loads management but on a water quality management. Discharged loads management is not goal of water quality management but way for perform with total maximum daily loads management. It is necessary to estimate the relation between non-point source with stormwater runoff (NPSSR) and water quality to select a watershed where it is required to manage NPSSR for water quality improvement. To evaluate the effects of NPSSR on stream's water quality, we compare the aspects of water quality in dry and wet seasons using flow duration curve analysis based on flow rate variation data by actual surveying. In this study we attempt to quantify the variation characteristic of water quality and estimate the Inflow characteristic of pollution source with water quality and flow rate monitoring on 10 watersheds. We try to estimate water quality and flow rate by regression analysis and try again regression analysis with each high and low water quality data more than estimations. An analysis of relation between water quality and flow rate of 10 watersheds shows that the water quality of the Nonsan and the Ganggyeong streams had been polluted by NPSSR pollutants. Other eight streams were important point source more than NPSSR. It is wide variation range of BOD<sub>5</sub> also high average concentration of BOD<sub>5</sub>. We have to quantify water quality variation by cv1 in wet season and cv365 in dry season with comparing the estimate of high water quality and low water quality. This method can be used to indicator for water quality variation according to flow rate.

**keywords** : Flow regime alteration, Non-point source, Stormwater runoff, Total maximum daily loads, Water quality variation, Watershed management

## 1. 서론

우리나라는 산업화로 인한 경제성장과 더불어 심각한 환경오염에 직면하였다. 이에 대한 대책으로 『4대강 물관리 종합대책』을 수립하였으나, 하천 생태계 건전성 회복에 많은 어려움을 겪고 있다. 이를 보완하기 위하여 1999년 수질오염총량관리제도(이하 총량관리제도)를 도입하였다. 대상항목은 금강·낙동강·영산강 수계에 대하여 BOD<sub>5</sub>이며 2단계부터 지역에 따라 T-P를 포함하여 시행하고 한강수계는 2013년부터 의무제로 시행한다(박재홍 등, 2006). 총량관리 제도는 대강의 수계를 단위유역으로 구분하고 단위유역의 분류경계지점마다 목표수질을 설정하여 이를 만족할 수 있

는 배출부하량을 할당하고 할당범위 내에서 유역의 개발과 보전을 유지하도록 하고 있다(환경부, 2009).

총량관리제도의 도입으로 인하여 기존의 점오염원에 대한 농도규제 방식에서 총량규제 방식으로 전환됨으로써 강우유출수에 의한 비점오염원(Non-point source with stormwater runoff : NPSSR)도 주요 관리대상이 되었다(김영일 등, 2008). 비점오염원 관리를 위하여 관련지침이 수립되고 비점저감시설 사업이 추진중에 있다(환경관리공단, 2007; 환경부, 2006). 그러나 비점오염원 관리 목표가 부정확하고 관리 지역과 방법의 선정에 있어서 객관적인 기준이 뒷받침되지 못하고 있어 그 실효성에 의문이 제기되고 있다(이혜숙 등, 2006).

이와 같이 비점오염원 관리 목표지역과 방법 설정에 어려움을 겪고 있는 첫째 이유는 비점오염원 관리대상을 하천의 수질 관점이 아닌 오염원 배출저감을 기준으로 결정

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.

mjjwh@cdi.re.kr

하였기 때문이다. 총량관리는 하천의 수질개선에 목표를 두고 있다. 따라서 특정 오염물질이 배출된다 하더라도 하천의 수질을 악화시키지 않을 때에는 관리대상 오염물질이 될 수 없다. 그럼에도 불구하고 배출부하량 저감 계획을 수립시 유역 전체 배출부하량의 60~80%에 달하는 비점오염원은 실제 하천수질 악화에 큰 영향을 미치는지에 대한 정확한 평가가 이루어지지 못한 채로 주요 저감 목표가 되고 있다(이상진 등, 2008).

둘째는 인위적인 제어가 어려운 범위의 비점오염물질에 대한 배출총량을 법으로 제한하기 때문이다. 하수, 폐수는 법적 기준을 만족하여 하천으로 방류한다 할지라도 하천수질보다 높은 농도가 지속적으로 유입되기 때문에 하천에 미치는 오염물질의 충격을 제한하기 위하여 배출총량을 관리하는 것이 타당하다. 또한 이러한 시설들은 시설용량의 제한이 있어 유량변화가 적으며, 수처리 현황에 따른 방류수질변동성을 잠재하고 있다. 그러나 유역 전체 배출부하량의 구성은 제어 가능하며 비교적 일정한 점배출부하량이 적은 반면에, 제어가 어렵고 증·감 폭이 큰 비점배출부하량이 대부분을 차지하고 있다. 이러한 비점오염원은 강우와 유량에 의해 좌우되는 요소로서 수질을 악화시키는 원인으로 판단되는 경우에 한하여 수질목표의 달성을 위한 관리가 필요하다고 볼 수 있다.

셋째는 유역의 이용형태와 비점오염물질의 발생특성을 고려하지 않은 채 모든 유역을 동일한 관리 방안으로 접근한 것이다. 우리나라 하천은 대부분 경사가 급한 산지에서 하천이 발원하여 경사가 완만한 농경지역으로 유입되고, 지역적 특성에 따라 하천 인근에 도시가 형성되어 있어 하천은 다양한 유역이용 형태를 띠고 있는 지역을 통과하게 된다. 도시지역의 초기우수는 관리가 필요한 비점오염원이지만 산림, 초지, 농경지 등의 강우유출수는 하천의 생태계를 유지하는데 요구되는 기저유기물과 영양염류의 공급원이며, 자정작용이 뛰어난 유역이용 형태로서 수질개선 역할을 하고 있다. 그럼에도 불구하고 비점오염원관리지정제도에서 ‘비점오염원 관리지역’으로 지정된 특수 지역을 제외한 국토 대부분의 산림, 초지, 농경지를 도시지역과 동일한 방식으로 비점오염원을 관리하는 것은 효율적이지 못하다.

이와 같이 총량관리제도 안에서 비점오염원 관리는 목표수질을 달성하기 위한 수단으로서 관리가 필요한 지역에 이루어져야 함에도 불구하고, 개발에 요구되는 할당부하량을 확보하기 위해 무분별한 비점오염원 삭감계획이 수립될 수 있다. 따라서 비점오염원 관리는 배출부하량 저감에 목표를 두는 것이 아닌 하천수질 개선에 초점을 맞추고 하천 또는 유역이 비점오염원관리 요구지역인지 선행 평가가 이루어져야 할 것이다.

수질의 변화는 오염원 배출부하량(kg/d)에 비례하고 유량(m<sup>3</sup>/d)에 반비례한다. 따라서 배출부하량이 급격히 증가한다 할지라도 유량의 증가율이 배출부하량의 증가율을 초과하면 수질은 낮아지고, 그 배출 패턴이 일정한 경우에는 수질변동 폭도 작아 질 수 밖에 없다. 이러한 특성을 통하여 하천의 수질변화에 따른 오염원 유입특성의 분석이 가

능하다. 풍수기에 수질이 악화되는 것은 강우유출과 동반한 비점오염물질에 기인한 것으로 볼 수 있다. 그리고 풍수기 수질변동 폭이 적은 경우는 강우유출과 함께 비교적 일정한 형태로 유출되는 비점오염물질이나 유량증가율을 초과할 만큼의 상당량의 점오염물질이 일정하게 유출되고 있는 것으로 추정할 수 있다. 그리고 평수기 미만의 유량이 적은 시기에는 강우유출과 동반한 비점오염물질의 유입이 없으므로 대부분의 오염원인은 점오염물질에 기인하는 것으로 추정할 수 있으며, 수질변동 폭이 큰 경우에는 수질관리의 사각지대에서 오염물질이 유입되고 있음을 추측해 볼 수 있다. 또한 저수기에는 적은 양의 오염물질유입 만으로도 급격한 수질악화를 초래하기도 한다.

본 논문은 향후 비점오염원 관리지역 선정에 필요한 가이드라인의 참고자료가 될 수 있도록 하천의 유량, 수질, 유달부하량의 관계를 유황분석을 바탕으로 분석하였다. 그리고 강우에 의해 유량이 증가되고 비점오염물질이 빈번하게 유출되는 풍수기, 강우유출과 동반한 비점오염물질의 영향을 받지 않는 평수기 및 저수기를 비교하여 수질의 변화양상을 분석하였다. 또한 수질변화 정도를 정량화하여 하천의 비점오염원에 의한 수질변화 특성을 구체적으로 표현할 수 있는 지표를 제안하였다.

## 2. 연구방법

하천의 수질-유량관계 분석을 위하여 논산천(Nonsan stream), 유구천(Yugu stream), 병천천(Byeongcheon stream), 정안천(Jeongan stream), 석성천(Seogseong stream), 강경천(Ganggyeong stream), 두계천(Dugye stream), 대교천(Daegyo stream), 어천(Eo stream), 용두천(Yongdu stream) 이상 10개의 지류하천과 지류하천의 유역을 연구 대상으로 하였다. 이 하천들은 대한민국 중서부 지역에 위치한 금강수계에 포함된다. 금강수계의 총유역 면적은 9,810 km<sup>2</sup>이며 유로연장은 397.3 km이고 상류지역에 저수용량 1,490×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>의 대청댐과 저수용량 815×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>의 용담댐이 위치하고 있으며, 연구대상인 10개의 지류하천과 유역은 금강수계의 중·하류 지역에 위치하고 있다. 각각의 유역의 명칭은 하천명과 동일하게 명명하였으며, 위치는 Fig. 1에 나타난 바와 같으며, 유역의 특성은 Table 1과 같다. 가장 큰 유역은 논산천 유역으로 유역면적은 666.3 km<sup>2</sup>에 달하며, 가장 작은 유역은 용두천 유역으로 23.8 km<sup>2</sup>이다.

하천의 유량에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 강수량이다(Haan, 1977). 강수량의 변동에 따라 하천의 유량은 급격하게 변동된다. 금강수계의 중심부에 위치한 대전기상청 강우자료에 의하면, 연구 대상유역의 모니터링 시기에 10 mm 이상의 유효강우 일수는 연간 31일이었으며, 평년 강수량은 1,394.3 mm이다. 대전기상청의 과거 30년간 평년 강수량이 1,334.2 mm임을 고려하면 일반적인 강수량임을 알 수 있다.

모든 하천의 수질과 유량은 2007년 5월부터 2009년 3월까지 23개월간 실측하였으며, 논산천과 병천천은 국립환경과학원에서 동일 기간에 측정된 자료를 활용하였다. 측정지

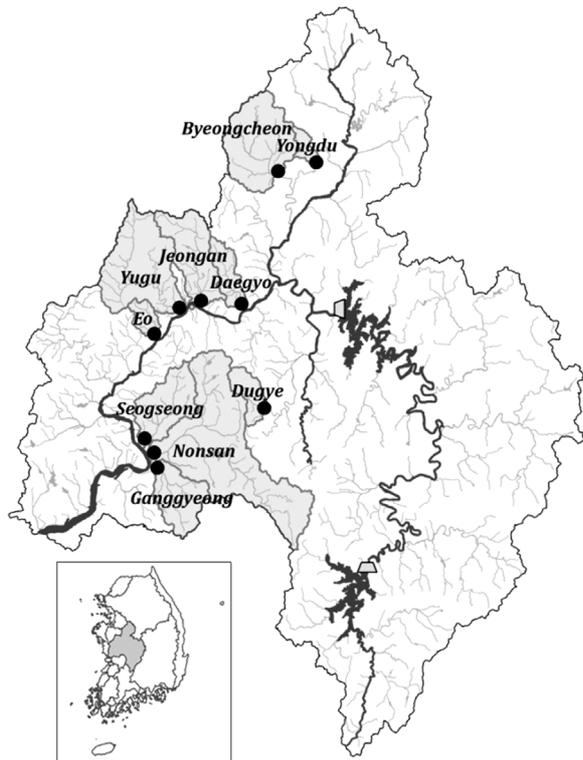


Fig. 1. Study area and observed stations in the Geum river basin.

Table 1. Watershed characteristics

Watershed	Area (A, km <sup>2</sup> )	Stream length (L, km)	Average width (L/A)	Shape factor (L/A <sup>2</sup> )
Nonsan	666.3	57.1	11.67	0.204
Yugu	282.8	40.1	7.05	0.176
Byeongcheon	239.4	10.3	23.25	2.257
Jeongan	164.5	29.7	5.54	0.186
Seogseong	147.1	23.5	6.26	0.266
Ganggyeong	128.2	27.3	4.69	0.172
Dugye	69.7	21.4	3.26	0.152
Daegyo	65.0	21.9	2.97	0.136
Eo	36.8	14.0	2.63	0.188
Yongdu	23.8	9.8	2.42	0.246

점은 지류하천이 금강본류 또는 주요 지류하천과 합류하기 전의 말단지점이고 Fig. 1에 표시하였다. 측정지점은 본류의 수위에 의한 역류(Backwater)의 영향을 받지 않고 유량측정이 용이하며, 유역 전체의 수질과 유량을 대표할 수 있는 지점을 선정하였다. 총 10개의 지류하천을 대상으로 측정주기는 8일 간격을 지향하였으며, 모든 지점은 60회 이상 측정하였다.

조사한 수질항목은 BOD<sub>5</sub>이며 환경부의 수질오염공정시험법에 따라 분석하였고, 유량은 국토해양부 수문관측매뉴얼과 환경부 수질오염공정시험법에 따라 하천횡단면과 유속측정에 의한 방법으로 측정하였으며, 수질과 유량 조사결과는 회귀분석을 통하여 정량화하였다.

### 3. 결과 및 고찰

10개 지점에서 실측한 유량과 수질을 유량크기로 내림차순하여 Fig. 2에 유황곡선으로 나타내었다. 각각의 유량측정 결과는 우리나라 하천의 특성을 전형적으로 나타내는 높은 유량변동계수(Coefficient of river flow regime :  $Q_{max}/Q_{min}$ )를 보이고 있다. 유량변동계수는 연간 유량의 변화 정도를 나타내는 지수로 하천을 흐르는 최소 유량과 최대 유량의 비이며 유량변동계수가 클수록 유황은 불안정하다 (Ackers, 1972; Heritage et al., 2001). 조사된 유역 하천의 유량변동계수는 최대 병천천에서 190.9, 최소 석성천에서 19.7로 나타났다. 석성천, 강경천, 두계천이 상대적으로 유량변동계수가 적은 원인은 자연유량에 비하여 인공유량의 비중이 높기 때문이다. 논산천과 강경천은 중·하류에 인구 13만의 도시가 위치하고 있으며, 두계천은 인구 4만의 도시가 밀집된 형태로 조성되어 있고, 이 지역들은 대청호에서 상수를 공급받아 사용하고 있으며 하수종말처리장이 위치하고 있다. 그리고 석성천은 상류지역에 정수처리시설과 중·하류에 위치한 산업시설의 방류수량으로 인하여 일정량의 인공유량이 지속적으로 유입되고 있다.

각 유역의 유량, BOD<sub>5</sub>, 유달부하량을 분석한 결과 강경천을 제외하고는 모두 BOD<sub>5</sub> 농도가 풍수량보다 저수량일 때 악화되는 결과를 나타내고 있다. 불투수지역이 밀집된 소규모 유역 또는 오염원이 대규모로 강우와 결합되는 유

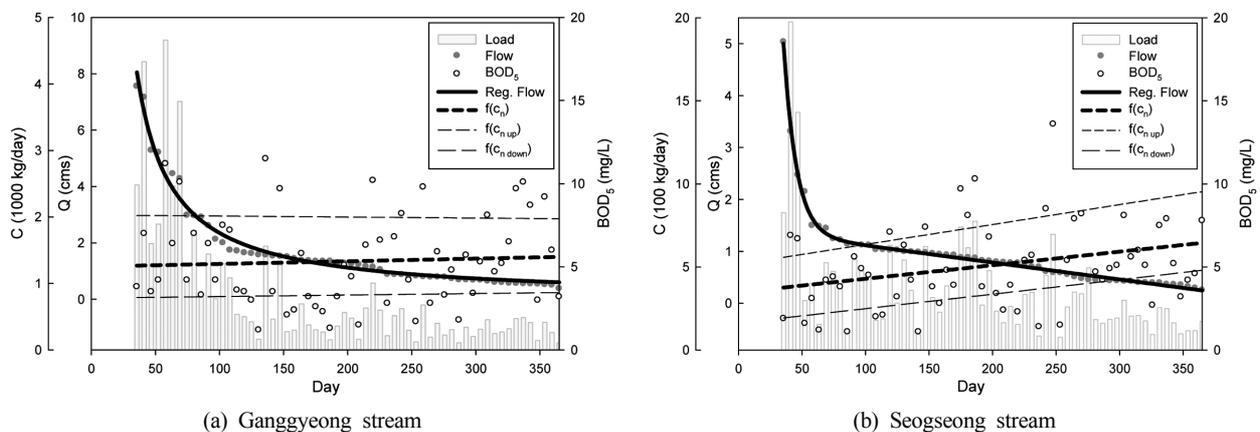
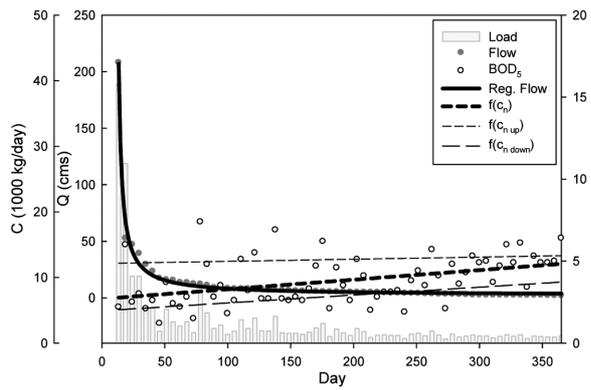
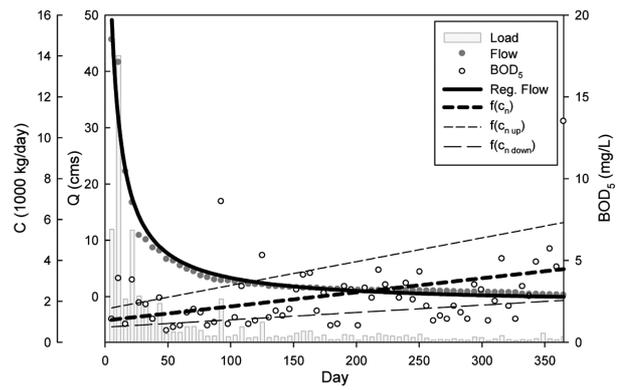


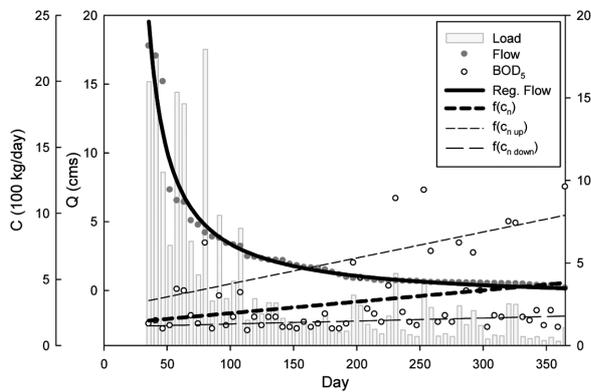
Fig. 2. Flow regime alteration and water quality variation analysis results.



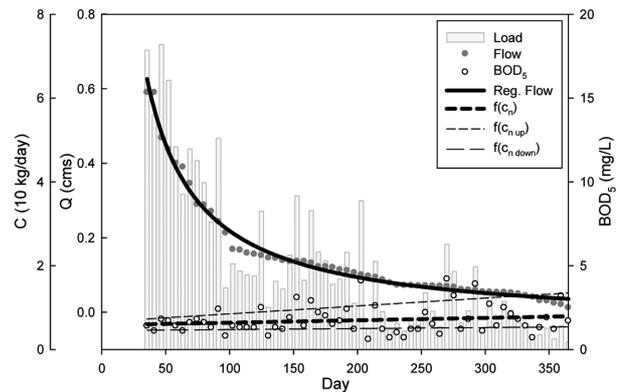
(c) Nonsan stream



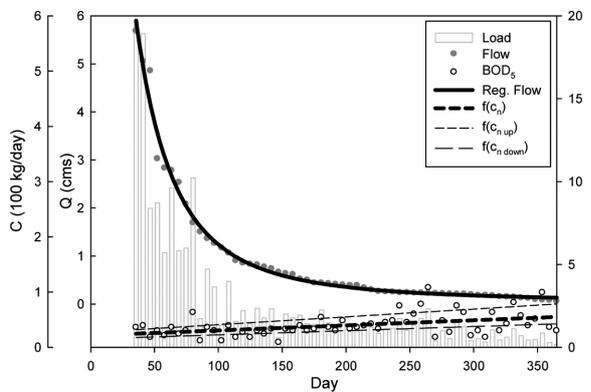
(d) Byeongcheon stream



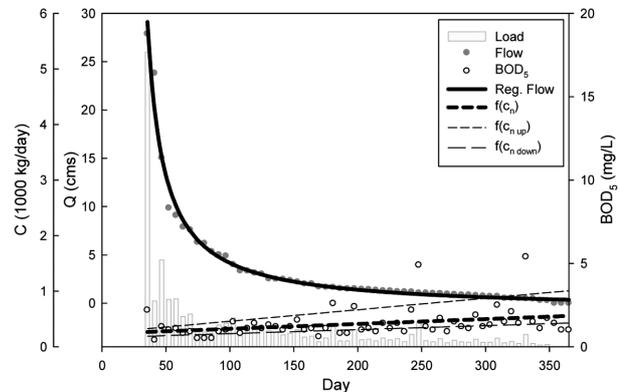
(e) Jeongan stream



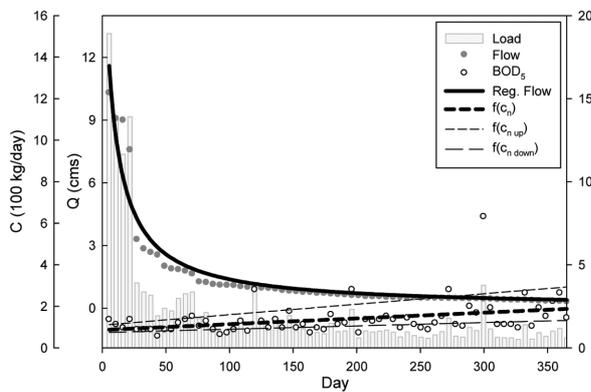
(f) Yongdu stream



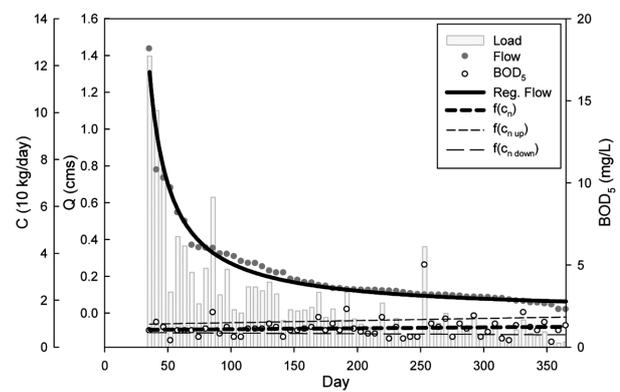
(g) Daegyo stream



(h) Yugu stream



(i) Dugye stream



(j) Eo stream

Fig. 2. Flow regime alteration and water quality variation analysis results. (continued)

역에서 수심분 또는 수시간에 걸쳐 강우유출수가 비점오염원을 수반함으로써 일시적인 수질악화 원인이 될 수 있다. 그러나 수질관리 정책을 수립하기 위해서는 유역차원의 하천수질 변화양상과 특정지역의 하천수질 악화요인을 구분하여 판단할 필요가 있다. 조사된 10개의 유역 중 강경천만이 유일하게 평수위 이상의 유황조건에서 BOD<sub>5</sub> 농도가 악화되는 추세를 나타내고 있으며, 강우 또는 유황증가가 BOD<sub>5</sub> 농도증가와 관계가 있다. 하지만 나머지 9개의 모든 유역은 평수위 이상의 조건에서 유황이 감소할수록 BOD<sub>5</sub> 농도가 증가하고 있으며, 반대로 강우로 인하여 유황이 증가할수록 BOD<sub>5</sub> 농도가 개선되는 결과를 나타내고 있다. 여기서 BOD<sub>5</sub> 농도의 증·감에 대한 인과관계를 강우에 의한 유황변화 또는 강우에 의하지 않은 유황변화로 구분하여 가정할 수 있으나, 하천에 인공유황변화로 인하여 수심배의 하천유황이 증가하는 현상이 발생하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 강우에 의한 1가지 조건만으로 한정하여 판단하는 경우, 강우 발생시 BOD<sub>5</sub> 농도가 개선된다는 결론을 얻게 된다.

유역의 BOD<sub>5</sub> 농도와 부하량의 관계를 분석하기 위해서 측정된 수질과 유황으로 유달부하량을 산정하여 Load 막대 그래프로 도시하였다. 도시한 결과 유달부하량은 BOD<sub>5</sub> 농도·유황 두 가지의 종속변수 임에도 불구하고 유황과 유사한 변동성을 보여주고 있다. 다시 말하면 유달부하량은 BOD<sub>5</sub> 농도보다 변동성이 큰 유황에 의해 좌우 된다고 볼 수 있다.

강경천과 논산천을 제외한 유구천, 병천천, 정안천, 석성천, 두계천, 대교천, 어천, 용두천은 모두 평수량(Q<sub>185</sub>) 또는 저수량(Q<sub>275</sub>) 미만의 유황에서 최고 농도가 측정되었다. 연구기간 동안 유효강우일수가 31일 미만이었으므로 평수량 미만의 유황이 측정된 시기는 모두 무강우일로 볼 수 있다. 즉 무강우시기에 유역의 최고 농도가 기록되었으며, 이 시기의 하천수질에 영향을 미치는 요인은 점오염원 또는 강우유출과 무관한 비점오염원이므로 해당 유역들은 점오염물질의 무단유입에 집중적인 관리보완이 요구된다. 논산천과 강경천은 평수량 이상의 유황에서 최고 농도를 기록했다. 이 결과는 앞서 분석한 평수량 이상에서 강경천이 BOD<sub>5</sub> 농도가 증가한 것과 같은 결과를 나타내고 있다. 논산천도 평수량 이상에서 최고 농도를 나타내고 있지만 최저농도 또한 평수량 이상에서 나타나고 있고, 저수기에 비하여 평수량 이상에서 상대적으로 수질변화 폭이 큰 것으로 나타났다.

하천 수질의 변동성이 클수록 오염물질의 유입이 일정하지 않으며, 자연상태인 기저상태와 오염물질의 유입으로 인한 악화된 상태가 반복적으로 나타나는 하천이므로 자연상태의 복원이 가능하다고 볼 수 있다. 반대로 악화된 상태의 수질이 변동성이 적은 상태로 지속적으로 나타나는 경우는 일정한 경로와 양의 오염물질이 지속적으로 유입되고 있어 하천의 오염 피해가 이미 고착화되어있는 것으로 볼 수 있다. 수질의 변동성이 큰 하천에 영향을 미치는 오염원은 지속적으로 유출되는 오염물질이 아닌 단발적, 불규칙적, 불

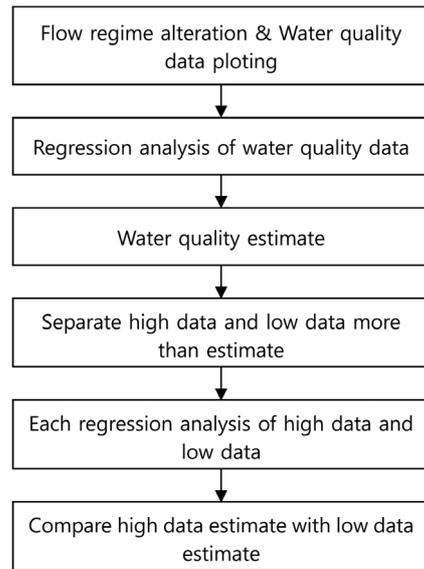


Fig. 3. Flow chart of water quality variation analysis.

연속적인 특성을 띠고 있으므로 보다 적극적인 관리가 수반되어야 수질 환경의 개선이 가능하다.

유역의 특성을 파악하고 수질의 변동성을 정량화 할 수 있는 지표 만들기 위하여 Fig. 3에 나타난 바와 같이 분석을 수행하였다. 유황곡선과 함께 도시한 수질자료를 회귀 분석하여 유황변동에 따른 수질을 추정하고 수질자료를 추정수질보다 큰 수질과 적은 수질로 구분하여 각각의 회귀 분석을 제차 수행하였다. 이는 풍수기와 저수기에 하천 수질을 각각 구분하여 변동성을 정량화하고 하천 수질변화 특성을 분석하여 오염물질 유입양상을 구체적으로 평가할 수 있는 방안이다.

$$f(c_n) = \alpha D_n + \beta \tag{1}$$

if  $C_n > c_n$  then  $C_{n \text{ up}}, D_{n \text{ up}}$   
 $C_n \leq c_n$  then  $C_{n \text{ down}}, D_{n \text{ down}}$

$$f(c_{n \text{ up}}) = \alpha_{\text{up}} D_{n \text{ up}} + \beta_{\text{up}}$$

$$f(c_{n \text{ down}}) = \alpha_{\text{down}} D_{n \text{ down}} + \beta_{\text{down}}$$

$$C_{1 \text{ up}} - C_{1 \text{ down}} = CV_1$$

$$C_{365 \text{ up}} - C_{365 \text{ down}} = CV_{365}$$

식 (1)은 초과일수 Day로 최소자승법에 의한 BOD<sub>5</sub> 회귀 분석 도출에 활용된 식이며, 여기서  $c_n$ 은 회귀식에 따라 추정된 BOD<sub>5</sub>농도이고  $n$ 은 1~365로 Day의 범위로 지정되며  $f(c_n)$ 의 형태를 갖는다.  $\alpha$ 는 직선회귀식의 기울기이며,  $D_n$ 은 유황곡선의 초과일수 Day이고,  $\beta$ 는 직선회귀식의 상수이다. 회귀식에 의한 추정농도를  $c_n$  실측농도를  $C_n$ 이라 할 때, 추정농도보다 큰 실측농도( $C_n > c_n$ )의 BOD<sub>5</sub>와 Day를  $C_{n \text{ up}}, D_{n \text{ up}}$ 으로 다시 정의하였고, 반대로 추정농도 이하인 실측농도( $C_n \leq c_n$ )의 BOD<sub>5</sub>와 Day를  $C_{n \text{ down}}, D_{n \text{ down}}$ 으로 다시 정의하였다. 그리고 추정농도를 초과하는 실측농도와 이하의 실

측농도를 각각 구분하여 회귀분석을 실시하였다. 각각의 구분된 자료들을 회귀분석한 결과 추정된  $c_{1\ up}$ 과  $c_{1\ down}$ 의 차이를  $cv_1$ 이라 하고  $c_{365\ up}$ 과  $c_{365\ down}$ 의 차이를  $cv_{365}$ 라 정의 하였다.  $cv_1$ 은 최대유량에서  $cv_{365}$ 는 최저유량에서 BOD<sub>5</sub>의 변동 폭을 정량화한 수치이다. 즉 추정농도를 초과할 때와 추정농도 이하일 때로 구분하여 최대유량과 최소유량에서 BOD<sub>5</sub>의 변동폭의 평가가 가능하다.

Fig. 2에  $c_{n\ up}$ 과  $c_{n\ down}$ 의 최소자승법에 의한 선형회귀분석 그래프를 도시하였고 Table 2에 평균수질과  $cv_1$ ,  $cv_{365}$ 를 나타내었다. 분석된 그래프는 전반적으로 수질이 악화될수록 수질변동폭이 큰 것으로 나타났다. 평균수질이 2 mg/L를 초과하는 강경천, 석성천, 논산천, 병천천, 정안천에서는  $cv_1$  또는  $cv_{365}$  중에서 하나 이상이 2.0을 초과하는 것으로 나타났다. 그리고 평균수질이 2 mg/L 이하로 조사된 용두천, 대교천, 유구천, 두계천, 어천은  $cv_1$ 과  $cv_{365}$ 가 2.0 이하인 것으로 나타났으며,  $cv_1$ 이  $cv_{365}$ 보다 모두 작고  $cv_1$ 이 1.0 미만으로 조사되었다. 이에 대한 결과를 해석하면, 평균수질이 높은 하천은  $cv$ 수치가 높게 나타났으며 오염물질의 배출 양상에 따라 풍수기에 수질이 악화되는 하천은  $cv_1$ 이 높게 나타났고 저수기에 수질이 악화되는 하천은  $cv_{365}$ 가 크게 나타났다. 강경천, 석성천, 논산천은  $cv_1$ 이 각각 4.9, 3.6, 2.8로 높게 나타나 풍수기 수질관리에 취약함을 나타내고 있으며, 강경천과 석성천은  $cv_1$ 뿐만 아니라  $cv_{365}$ 도 4.4와 4.7로 높게 나타나 풍수기와 저수기 모두 취약함을 나타내고 있다. 반면 병천천과 정안천의  $cv_{365}$ 는 4.8과 6.1로 저수기의 수질관리에 취약함을 나타내고 있다. 그리고 수질이 양호한 하천에서는  $cv_1$ 과  $cv_{365}$ 의 수치가 낮게 나타났지만 상대적으로 갈수기에  $cv_{365}$ 가 높게 나타남으로써 갈수기에 유출된 오염물질에 의해 수질이 악화되고 있는 특성을 보여준다.

**Table 2.** Flow regime alteration and water quality variation analysis results

Watershed	Coef. of river regime	Mean. C (BOD <sub>5</sub> mg/L)	$cv_1$	$cv_{365}$
Ganggyeong	20.0	5.3	4.9	4.4
Seogseong	19.7	5.1	3.6	4.7
Nonsan	26.3	3.8	2.8	1.6
Byeongcheon	190.9	2.9	1.2	4.8
Jeongan	110.4	2.7	1.5	6.1
Yongdu	48.6	1.7	0.7	2.0
Daegyo	94.8	1.7	0.5	1.2
Yugu	100.3	1.4	0.5	1.9
Dugye	33.6	1.3	0.5	2.0
Eo	74.0	1.2	0.5	1.1

$cv_1$  : variation number of BOD<sub>5</sub> concentration in maximum Q,  
 $cv_{365}$  : variation number of BOD<sub>5</sub> concentration in minimum Q

10개의 하천유역에 대하여 수질변화 특성을 분석한 결과  $cv_1$ 이 2.0을 초과한 강경천, 석성천, 논산천은 강우유출과 관련된 비점오염원의 집중적인 관리가 필요하며 오염원으로는 주로 축산분뇨, 퇴비 등의 지표면에 축적된 오염물질

과 합류식관거의 월류수 등으로 추정할 수 있다. 이러한 경우 축산분뇨와 퇴비 등의 하천수질에 치명적인 영향을 미치는 오염원들은 강우와 결합되지 않도록 관리하는 것이 최우선이며, 오염물질의 유출량을 저감시킬 수 있는 비점오염원 저감방안의 도입이 필요하고 하수관거의 개선을 통해 하천으로 유입되는 월류수를 차단함으로써 수질개선이 가능할 것이다. 그리고  $cv_{365}$ 가 2.0을 초과한 강경천, 석성천, 병천천, 정안천은 해당지역의 하수종말처리시설, 오·폐수처리시설, 축산분뇨처리시설의 개선과 증설을 통해 점오염원 관리에 집중할 필요가 있다. 특히 점오염원관리가 잘되고 있음에도 수질이 나쁜 경우에는 제도권에서 관리가 어려운 오염물질들이 하천으로 유입되고 있는 상황이므로 이에 대한 보다 강화된 관리가 필요할 것이다.

#### 4. 결론

하천 및 유역의 관리 목표는 배출부하량 관리 기준이 아닌 수질 개선에 초점을 맞추고, 방법론으로서 배출부하량의 총량관리가 이루어져야 할 것이다. 그리고 수질 개선에 목표를 둔 관리 기준에서 비점오염원 관리가 요구되는 유역을 선정하기 위해서는 비점오염원과 수질에 대한 관계 평가가 이루어져야 할 것이다. 비점오염원이 하천의 수질에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 강수에 의한 하천의 유량변동 실측자료를 바탕으로 유황분석을 통하여 풍수기와 평수기 이상에서 수질 변화 양상을 비교하여 판단할 수 있다. 이와 같이 수질·유량 모니터링을 통한 유역차원의 수질변화양상 평가결과를 바탕으로 선정된 유역에 대하여 특정지역의 수질악화요인에 대한 비점오염원 관리가 필요하다. 또한 이러한 유역의 특성을 파악하기 위해서는 지류하천에 대한 장기적인 모니터링이 꼭 수반되어야 할 것이다.

하천의 수질변화 특성을 정량화하기 위하여 수질자료를 회귀분석하고 추정된 수질보다 높은 수질자료와 낮은 수질자료를 각각 구분하여 회귀분석을 제차 수행하였다. 높은 수질의 추정결과와 낮은 수질의 추정결과 비교를 통하여 수질의 변동폭을 풍수기에서  $cv_1$ , 저수기에서  $cv_{365}$ 로 정량화 하였으며 이는 하천 수질의 유량에 따른 변동성을 표현할 수 있는 지표로 활용할 수 있다.

10개의 유역을 대상으로 수질·유량관계를 분석한 결과 강경천, 석성천, 논산천은  $cv_1$ 이 각각 4.9, 3.6, 2.8로 높게 나타나 풍수기 강우유출과 결합된 비점오염물질로 인하여 BOD<sub>5</sub> 농도가 악화되는 하천으로 나타났으며, 강경천과 석성천은  $cv_1$ 뿐만 아니라  $cv_{365}$ 도 4.4와 4.7로 높게 나타나 풍수기와 저수기 모두 BOD<sub>5</sub> 농도가 악화되는 하천으로 나타났고, 병천천과 정안천의  $cv_{365}$ 는 4.8과 6.1로 저수기에 유출되는 오염물질에 의해 BOD<sub>5</sub> 농도가 악화되는 하천으로 나타났다. 그리고 수질이 양호한 하천에서는  $cv_1$ 과  $cv_{365}$ 의 수치가 낮게 나타났지만 상대적으로 갈수기에  $cv_{365}$ 가 높게 나타남으로써 저수기에 유출된 오염물질에 의해 수질이 악화되고 있는 특성을 보여준다. 또한 각각의 하천들의 평균 BOD<sub>5</sub> 농도와 BOD<sub>5</sub> 변동폭을 비교해본 결과, BOD<sub>5</sub> 변동폭이 큰 경우에는 평균 BOD<sub>5</sub> 농도도 높게 나타났다.

## 참고문헌

- 김영일, 김홍수, 정우혁, 이상진(2008). 수질오염총량관리제의 효율적인 수행을 위한 개선방안. *공동추계 학술발표회 논문집*, 대한상하수도학회·한국물환경학회, pp. 49-50.
- 박재홍, 오승영, 박배경, 공동수, 류덕희, 정동일(2006). 수질오염총량관리를 위한 관리대상물질. *수질보전 한국물환경학회지*, **22**(6), pp. 1004-1013.
- 이상진, 정우혁, 김영일, 김홍수(2008). 수질오염총량관리제의 안전부하량 적용 방안. *공동추계 학술발표회 논문집*, 대한상하수도학회·한국물환경학회, pp. 83-84.
- 이혜숙, 이요상, 이상욱(2006). 용담댐 유역의 비점오염원 저감시설에 의한 오염부하량 저감 효과 분석. *공동추계 학술발표회 논문집*, 대한상하수도학회·한국물환경학회, pp. 747-752.
- 환경관리공단(2007). *한강수계 비점오염저감시설 모니터링 및 유지관리 1차년도 보고서*.
- 환경부(2006). *비점오염원 설치신고 업무처리지침*.
- 환경부(2009). *금강수계 오염총량관리기분방침*.
- Ackers, P. (1972). River regime: research and application. *J. Instit. Water Eng.*, **26**, pp. 257-281.
- Haan, C. T. (1977). *Statistical Methods in Hydrology*. The Iowa State University Press, The United States of America.
- Heritage, G. L., Broadhurst, L. J., and Birkhead, A. L. (2001). The influence of contemporary flow regime on the geomorphology of the Sabie River, South Africa. *Geomorphology*, **33**, pp. 197-211.