

# 허용 부하량 산정을 위한 저수유량 산정 방안

정 윤 민\* · 권 재 혁\*\* · 강 상 혁\*\*\*

## Calculation of low flow for estimating TMDL

Yoon-Min Jung\* · Jae-Hyuk Kwon\*\* · Sang-Hyuk Kang\*\*\*

### 요 약

우리나라 중소규모의 대부분 하천의 경우 유량 자료의 부족 또는 미계측 지역으로 인하여 효율적인 저수유량 산정이 어려운 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 수계별 환경용량을 고려한 허용부하량 산정을 위해 면적 함수 관계식을 이용한 저수유량의 산정방안을 제시하는 것이다. 이를 위해 남한강 상류 지역의 유역면적 606km<sup>2</sup>인 주천강 유역과 미계측 유역면적 4,551km<sup>2</sup>인 옥동천 합류 후인 한강 유역을 시험하천으로 선정하였다. 적용결과, 주천 하류부의 저수 유량은 1.9 m<sup>3</sup>/s로, 미계측 유역인 옥동천과 한강의 합류 후의 저수유량은 20.7 m<sup>3</sup>/s로 계산되었다. 이를 영월군에서 고려하고 있는 BOD목표치 1.0-1.2mg/l로 계획하면 허용부하량은 각각 164-197kg/day 및 1,788-2,146kg/day로 추정되었다. 본 연구에서 제시한 허용부하량 산정방법은 자료가 충분하지 않은 유역이나 미계측 유역에 대해 유용하게 이용될 것으로 기대한다.

**주요어** : 오염총량제, 유역관리, 저수량, 미계측 유역

**ABSTRACT** : The low flow analysis for small-mid sized river basins is very difficult because of insufficient flow data or ungauged basins. The objective of this study is to suggest effective method of low flow using area function method for calculating Total Maximum Daily Loads (TMDL) by considering environmental carrying capacity. Two watersheds which are Juchon watershed having 606km<sup>2</sup> areas and ungauged watershed having 4,551km<sup>2</sup> areas were selected for this study. As a result of application, the low flow in the downstream of Juchon River and the Han River after confluence of Okdong River were 1.9m<sup>3</sup>/s and 20.7m<sup>3</sup>/s, respectively. Then we consider the target BOD of 1.0-1.2mg/l in Youngwol prefecture, the TDML was estimated 164-197kg/day and 1,788-2,146kg/day, respectively. This approach will useful for estimating TDML to insufficient watershed of flow data and ungauged watershed of flow data.

**Keywords** : TMDL, low flow, area specific flow rate, ungauged watershed

### 1. 서 론

우리나라는 최근 농도 단위의 수질관리 정책에서 유역단위의 수질관리의 한 방법으로 오염 총량관리 제도를 도입하게 되었다. 이는 기존의 농도 단위의 규제방식으로는 시간적, 공간적으로 오염원의 분포 및 유출이 다른 유역에 일괄적으로 농도 규제를 설정

하는데 한계를 가지는데 기인한다. 그동안 본 제도는 1999년 한강수계 상수원 수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률을 제정함으로써 임의제 형태의 수질오염 총량관리제를 도입하였으며 낙동강, 금강 및 영산강의 3개 수계는 3대강 특별법에 의해 총량관리 단위 유역별 오염부하량을 할당하도록 하고 있다(환경부, 2002).

\*강원대학교 방재전문대학원, 박사과정

\*\*강원대학교, 건설공학부, 교수

\*\*\*교신저자, 한라건설 기술연구소(kang7231@hanmail.net)

오염 총량제도는 목표 수질이 설정된 해당 수계에 환경관련 기초조사를 통해 수질 및 유량을 실측하고 해당 수계내의 오염원 현황을 조사하여 오염부하량을 산정한다. 산정한 오염 부하량을 이용하여 수질에 측을 통해 해당수계의 목표 수질 달성 여부에 따라 삭감계획을 수립하도록 하고 있다.

따라서 허용부하량을 산정하는데 있어서 가장 중요한 요소는 신뢰할만한 유량과 오염부하량을 산정하는데 있다. 유량인 경우 환경부에서 10년 평균 저수량(Q275)으로 설정하고 있으나 현재 우리나라는 홍수자료는 비교적 풍부한 관측자료를 보유하고 있으나 저수량은 국가 하천의 일부 수질 기준점을 제외한 대부분의 하천은 충분한 자료가 축적되어 있지 않다. 또한 오염부하량 산정에 있어서도 많은 불확실성을 포함하고 있어 유역 내 발생된 배출 부하량이 실측된 부하량과 근접하지 않는 것이 대부분이라는 지적도 있다(이승철과 하성룡, 2009; 하성룡 외, 2007).

미국인 경우 1972년부터 점 오염원에 대해 달성 가능한 최소배출량을 지정하여 수질을 관리하여 왔으나 수질이 개선되지 않아 1992년부터는 수질기준을 초과하는 수계를 파악하여 설정된 수질기준을 달성할 수 있도록 수계의 일일 최대 오염 부하량을 설정하여 점오염원 및 비점오염원을 할당하고 개별 오염원은 할당된 오염부하량을 충족시킬 수 있도록 법적, 재정적 계획을 수립, 달성여부를 지속적으로 평가하도록 하고 있다(US EPA).

일본의 경우는 폐쇄성 수역을 대상으로 실행 가능한 삭감목표량 및 달성년도를 정하고 이를 각 지자체에 발생 오염원을 할당하여 이행하도록 하고 있으며 유럽연합은 점 오염원을 중심으로 수질 기준을 인체 및 환경에 유해하지 않는 수준으로 설정하도록 하는 수질목표 근접법(WQQ, Water Quality Objective Approach)을 시행하고 있다.

그러나 이와 같은 목표수질 관리방안은 기본적으로 수질 및 수량 자료가 충분히 축적되어 있는 경우에 효율적으로 운영할 수 있다. 유량에 의한 허용 오염 부하량 산정 방식은 유량이 실제 하천 유량보다 많게 산정되면 허용오염총량 또한 과대하게 산정될 수 있으며 반대로 유량이 적게 계산되면 허용 오염 부하량 역시 적게 산정될 수 있다(양해근 외, 2005;

정은성 외, 2008)

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 인식하여 총량 오염관리 제도에서 제시한 저수유량의 정량적인 산정을 통하여 목표 수질지점의 허용 부하량을 설정하는 방법에 대해 고찰해 보기로 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 저수유량 산정

저수유량은 하루 동안의 하천 유출량으로 유황 곡선 상에서 275일에 해당하는 유량으로 환경부에서는 10년 평균 관측유량을 이용하는 것으로 규정하고 있다(환경부, 2002). 기준유량 산정에 있어 목표 수질 기준점이 국토 해양부에서 운영하고 있는 유량 관측점과 일치하는 경우는 이를 토대로 산정하고 일치하지 않는 미계측 유역에 대해서는 동일 수계 내 기존 유량관측소의 자료를 이용하여 면적 함수 관계식으로부터 산정하였다.

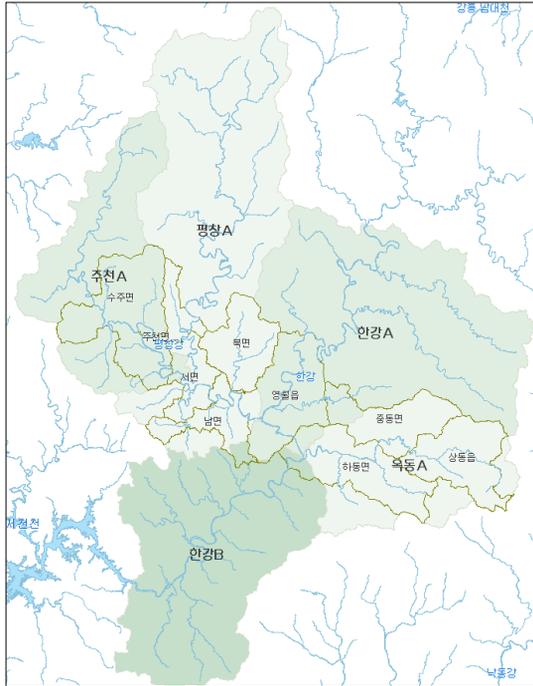
### 2.2 허용부하량 산정

허용부하량은 원단위를 적용한 배출부하량에서 기준 수질을 만족시키기 위해 삭감 부하량을 제외한 부하량이 배출부하량보다 크게 관리하고자 개념적으로 설정한 값이다. 본 연구에서는 먼저 각 오염 총량기준점에 대해 저수 유량을 산정하여 BOD범위를 상정하여 허용부하량을 계산하였다.

## 3. 대상유역

수질오염총량제를 위한 한강수계의 총량단위유역(안)은 49개로, 강원도는 총량단위유역 22개(동해안 제외)를 포함하고 있다. 이 중 영월군은 그림 1과 같이 옥동A, 주천A, 평창A, 한강A, 한강B의 5개 단위유역을 포함하고 있다.

해당 단위유역의 면적은 평창A 유역이 1,165.1km<sup>2</sup>으로 가장 넓으며 한강A 1,075.2km<sup>2</sup>, 한강B 813.5km<sup>2</sup>, 주천A 607.5km<sup>2</sup>, 옥동A 494.4km<sup>2</sup> 이다. 이 중 영월군이 차지하는 점유율은 표 1과 같이 옥동A 76.6%, 주천A



[그림 1] 영월군 총량관리 단위구역 행정경계도

<표 1> 영월군 점유 유역 면적

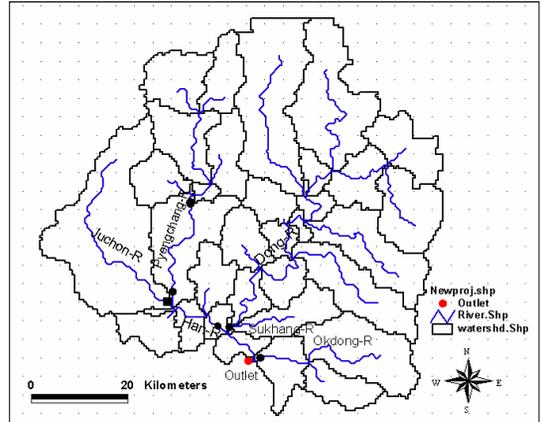
단위유역	유역면적(km <sup>2</sup> )	점유면적(km <sup>2</sup> )	점유율(%)
옥동A	494.4	378.7	76.6
주천A	607.5	227.2	37.4
평창A	1165.1	294.8	25.3
한강A	1075.2	200.0	18.6
한강B	813.5	23.6	2.9
옥동A합류후	4,551	4,551	-

37.4%, 평창A 25.3%, 한강A 18.6%, 한강B 2.9%를 차지한다. 해당 단위유역 면적은 옥동A 유역이 378.7km<sup>2</sup>으로 가장 넓으며 평창A 294.8km<sup>2</sup>, 주천A 227.2km<sup>2</sup>, 한강A 200.0km<sup>2</sup>, 한강B 23.6km<sup>2</sup>이다.

#### 4. 저수량 산정방법 및 유량분석

##### 4.1 저수량 산정방법

하천의 목표수질 기준점과 국가 유량 관측소와는 일치하지 않는 경우가 있을 수 있다. 일반적으로 유



[그림 2] 대상 유역내 유량 관측망 현황

량을 산정하는 주요 방법으로 물수지법, 면적 비유량 전이법 그리고 유역면적 함수법 등이 있다(김남원 외, 2007). 이 중 물수지법은 상류의 유량과 단위유역 구간에 유입하는 지류의 유량을 합하여 목표수질 지점의 유량을 산정하는 방법이다. 즉 유출점의 유량을  $Q_{out}$  이라 하면 총 유량은 상류의 임의 관측유량  $i$ 에서 하류의 유량 관측점  $k$ 까지의 합으로 나타낼 수 있다.

$$Q_{out} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + \sum_{i=1}^k Q_k \quad (1)$$

현재 영월지역의 목표수질 달성 지점은 그림 2에 나타난 바와 같이 주천강 하류 1개소와 옥동천 합류 후(Outlet) 1개소를 포함하여 2지점이 설정되어 있다. 그 밖의 본 유역 내 국토해양부에서 운영하는 유량 관측지점은 평창강 중류지점의 판운, 동강 하류의 영월 1, 한강 본류의 영월 수위표 그리고 옥동천 1개 관측소 등 총 6개 지점이 운영되고 있다.

비유량 전이법은 하천정비 기본계획을 수립할 경우 일반적으로 쓰는 방법으로 어느 지점의 비유량이 면적 크기와 관계없이 일정한 비유량을 가진다는 가정으로 각 유황성분은 위치와 무관하다는 전제로 다음 식(2)와 같이 정의한다.

$$q_1 = \frac{Q_{275}}{A_1} = q_2 \quad (2)$$

여기서,  $q_1$ 와  $q_2$ 는 각각 계산지점과 관측지점의 비유

량( $m^3/s/km^2$ )  $Q_{275}$ 은 관측 지점의 저수량( $m^3/s$ ),  $A_1$ 은 관측지점의 유역면적( $km^2$ )이다.

다음으로는 유역면적의 함수로 표현하는 방법으로 이는 건설교통부의 대규모 저수기의 유량을 분석하여 얻은 결과로 다음 식(3)과 같이 표시된다.

$$Q = aA^b \quad (3)$$

여기서  $a$ ,  $b$ 는 유역 특성 계수를 나타낸다.

## 4.2 저수량 산정

### <기존 자료분석>

현재 옥동천은 유량 자료가 존재하지 않고 더욱이 본류의 유량자료는 주천밖에 없으므로 물 수지법에 의한 유량 수지식은 충족할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 면적 비유량법과 유량 면적관계식에 대해 검토하기로 한다.

하천 유형(flow regime)을 산정하기 위한 자료는

국토해양부 한강홍수 통제소의 국가수자원 관리 종합정보시스템(WAMIS, [www.wamis.go.kr/](http://www.wamis.go.kr/))에서 운영하는 관측소 자료를 이용하였으며 이 중에서 자료 축적이 가용한 관측소의 유량자료를 정리하면 표 2와 같다. 본 유량측정법은 수위-유량 관계(discharge rating curve)곡선을 도출하여 수위변동에 따라 유량을 산정하는 방법이다. 산정된 유량자료를 보면 대체로 유역면적이 넓고 유량이 클수록 표준편차는 큰 특징을 보이고 있다. 또한 비교적 자료 축적이 풍부하여 비유량 전이법에 이용되는 댐 자체의 자료에도 큰 편차를 포함하고 있으므로 허용부하량 산정 시 유의할 필요가 있다.

### <면적 비유량 전이법 및 면적함수 관계식>

면적 비유량 산정시 기준이 되는 유량관측소는 기존 자료가 비교적 풍부한 충주댐의 관측유량을 참조로 식(2)를 이용하여 구하였다.

또한 식(3)의 면적함수 관계식을 이용하여 면적 변화에 따른 유량의 관계를 분석한 결과 갈수량( $R^2=$

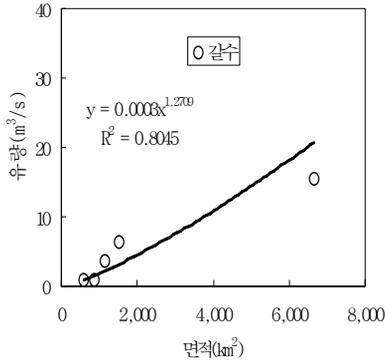
<표 2> 유량 관측망 자료를 이용한 유형 산출 결과

관측소 명	면적 ( $km^2$ )	갈수량 (Q355)	저수량 (Q275)	평수량 (Q185)	홍수량 (Q95)	이용 자료
주천	607	0.8(1.3)	1.9(1.4)	4.2(2.8)	12.8(11.1)	'97-'08
관운	879	0.8(1.0)	4.7(4.7)	6.9(5.5)	12.3(7.2)	'98-'07
평창	1,165	3.7(1.9)	4.4(0.8)	7.1(2.4)	13.9(6.7)	'06-'08
영월1	1,524	6.4(3.6)	7.6(3.6)	19.8(14.1)	31.5(11.3)	'06-'08
충주댐	6,654	15.4(12.1)	29.3(10.8)	56.5(17.6)	118.3(37.9)	'87-'99

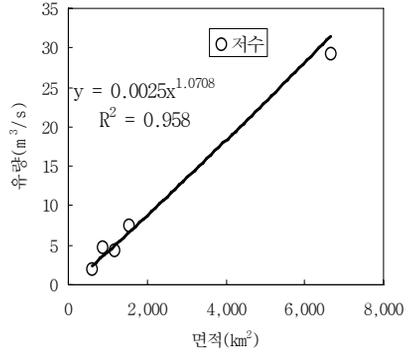
( ) : 이용한 유량자료의 표준편차, 유형단위:  $m^3/s$

<표 3> 관측소별 산정방법에 따른 유형비교

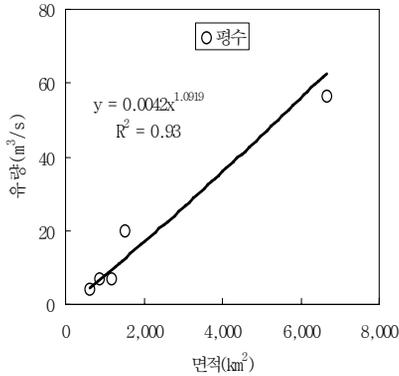
관측소(면적, $km^2$ )	산정법	갈수량	저수량	평수량	홍수량	비고
주천 (607)	비유량전이법	1.4	2.7	5.4	10.8	
	면적함수관계식	1.0	2.4	4.6	10.0	
관운 (879)	비유량전이법	2.0	3.9	7.8	15.6	
	면적함수관계식	1.7	3.6	6.9	14.5	
평창 (1,165)	비유량전이법	2.7	5.1	10.3	20.7	
	면적함수관계식	2.4	4.8	9.4	19.3	
영월1 (1,524)	비유량전이법	3.5	6.7	13.5	27.1	
	면적함수관계식	3.3	6.4	12.6	25.4	
충주댐 (6,654)	수위-유량	15.4	29.3	56.5	118.3	



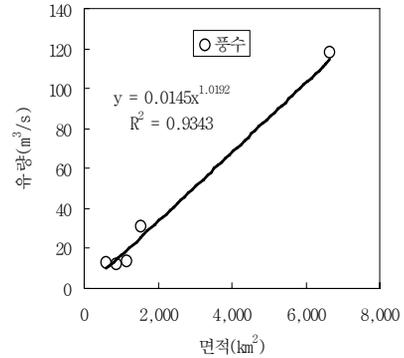
[그림 3] 면적함수 관계식에 의한 갈수량 회귀분석



[그림 4] 면적함수 관계식에 의한 저수량 회귀분석



[그림 5] 면적함수 관계식에 의한 평수량 회귀분석



[그림 6] 면적함수 관계식에 의한 풍수량 회귀분석

0.804)을 제외한 각 유황은 대체로 높은 결정 계수 ( $R^2=0.93$  이상)를 가지는 것으로 나타나 본 영월지역의 미계측 유역에 대한 저수 유량 산정은 유역 면적을 함수로 한 관계식으로부터 산정하여도 큰 무리가 없을 것으로 판단된다. 면적 비유량 전이법과 면적함수 관계식에 의한 각 유황 산정에 대한 결과를 비교해보면 표 3에 나타낸 바와 같이 면적함수 관계식에 의한 값이 적게 계산되었는데 이에 대한 원인의 규명은 추가적인 논의가 필요하다.

### 5. 수질기준점의 유량 및 허용부하량

영월지역의 허용부하량 대상 지역은 표 4에 나타낸 바와 같이 건설교통부에서 관리하는 주천강 하류 지역과 미계측 유역인 옥동천 합류 후인 한강 유역의 2개 지점이다. 허용부하량을 산정하기 위한 유량자

료는 주천강 하류 지역인 경우는 수위-유량의 관계식으로부터 도출한 유량을 이용하였고 미계측 유역인 옥동천 합류 후의 저수유량은 면적 함수 관계식에 의해 산정한 결과  $20.7\text{m}^3/\text{s}$ 로 산정되었다.

저수유량이 결정되면 목표 수질을 설정하여 허용부하량을 구할 수 있는데 영월군에서는 한강의 수질을 고려하여 2개 지점의 목표수질을 BOD기준으로  $1.0\text{-}1.2\text{mg/l}$ 로 계획하고 있으므로 본 고에서는 이 범위에 해당하는 허용부하량을 구하고자 한다. 산정 방법으로는 허용부하량( $\text{kg/day}$ )을  $L_i$ 라고 하면 이에 대한 산출식은 다음 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L_i = Q_i \times C_i \quad (4)$$

여기서  $Q_i$ 는 수질 목표 지점  $i$ 의 저수유량( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $C_i$ 는 목표지점의 수질( $\text{mg/l}$ )을 나타낸다.

식(4)의 정의로부터 BOD  $1.0\text{-}1.2$  범위 목표수질에

<표 4> 목표 수질 기준점의 유황 산출 결과 (유황단위: m<sup>3</sup>/s)

지역 명	면적 (km <sup>2</sup> )	갈수량 (Q355)	저수량 (Q275)	평수량 (Q185)	풍수량 (Q95)	산출방법
주천강 하류	607	0.8	1.9	4.2	12.8	수위-유량
옥동천 합류후	4,551	13.4	20.7	41.5	77.6	유역면적합수

&lt;표 5&gt; 수질기준점의 허용부하량 산정 결과

	유역면적 (km <sup>2</sup> )	유량 (m <sup>3</sup> /s)	BOD (mg/l)	허용부하량 (kg/day)	비고
주천강 하류	607	1.9	1.0-1.2	164-197	
옥동천 합류후	4,551	20.7		1,788-2,146	

대한 표 4에서 구한 저수유량을 고려하여 허용부하량을 산정한 결과 표 5와 같이 주천강 하류 지점은 164-197 kg/day로 계산되었고 미계측 유역인 옥동천 합류 후의 지점은 1,788-2,146kg/day로 각각 산정되었다. 설정된 BOD범위에 대해 산정된 허용부하량의 범위가 큰 값을 나타낸 것은 기준 유량이 크기 때문이며 이는 향후 목표 수질을 초과하는 지역에 대해 삭감부하량 수립시 유역규모가 큰 대유역일수록 그리고 인구 이외의 오염부하 원인이 없는 지역일수록 삭감 부하량이 커짐을 시사한다. 또한 수질 모델링을 수행하는 경우 다수의 미계측 유역에 대해 유량을 산정해야 하는데 각 유입 지류의 면적을 구한다면 본 연구에서 제시한 바와 같이 효과적으로 유량을 산정할 수 있다.

## 6. 결론 및 개선방향

오염 총량제를 통하여 효과적인 물관리를 위해서는 먼저 해당 유역 내 수질과 유량을 동시에 측정할 자료의 축적이 선행되어야 한다.

정확한 유량의 산정은 오염 총량제를 시행하는데 있어 가장 기본이 되는 정보이나 기존의 자료는 대부분 홍수 위주로 구축되어 있으며 최근 각 지자체에서 관리하고 있는 유량 자료는 아직 검증할 정도의 충분한 자료축적이 되어 있지 않은 실정이다. 수질 측정에 있어서는 환경부의 국가수질측정망이 운영되고 있으나 각 지자체에서 설정하고 있는 기준점과 상이하고 유량측정망은 구축되어 있지 않은 실정이다.

이러한 인식으로부터 본 연구에서는 유량자료가 측

적되지 않은 미계측 유역에 대한 저수유량 산정 방법과 이를 토대로 한 허용부하량을 산정하는 방안에 대해 검토하였다. 본 연구대상 유역인 남한강 상류 유역인 영월 지역은 현재 유량 자료가 부족하기 때문에 오염 총량제의 기준 유량인 저수유량을 평가하는데 다소 미진한 부분이 있으나 기존의 수계 자료를 분석한 면적 합수 관계식으로부터 환산한 결과 다음과 같은 사항이 도출되었다.

- (1) 행정구역상 영월군에서 설정하는 주천과 옥동천 합류후의 저수유량은 각각 1.9m<sup>3</sup>/s와 20.7m<sup>3</sup>/s로 이를 토대로 현재 남한강 본류의 수질을 고려하여 영월군에서는 수질 목표를 BOD기준으로 1.0-1.2mg/l로 계획하고 있는 바 이를 허용부하량으로 환산하면 주천은 164-197kg/day로 옥동천 합류 후의 기준점은 1,788-2,146kg/day로 각각 계산되었다.
- (2) 허용부하량 산정 값에서 알 수 있듯이 저수유량이 클수록 설정하고자 하는 BOD의 범위에 따라 허용부하량의 규모가 기하급수적으로 증가함으로써 비교적 대유역을 가지는 지자체는 기준 BOD의 설정이 중요한 요소가 될 것이다.
- (3) 유량산정을 위한 기준점의 설정에 있어서 표 2에 제시한 바와 같이 유역 규모가 증가할수록 표준편차 값이 커지므로 기준점의 선정시 유역 규모를 고려한 기준점의 설정이 무엇보다 중요하다.

이상의 검토로부터 오염 총량제를 도입하는데 있어 기초가 되는 저수유량과 목표수질의 설정 과정을 통해 구체적인 허용부하량을 제시하였다. 다음 수순

으로 수역의 유입점에서 목표 수질을 만족할 경우 수질 기준점에서 수질목표치를 유지할 수 있는지 확인하는 분석이 진행되어야 한다. 이 경우 수질 모의계산을 수행해야 하는데 다수의 유입지류에 대한 유량 산정은 표 4에서 제시한 옥동천 합류 후의 저수유량 산정방법과 동일한 과정을 통하여 계산할 수 있다.

본 연구에서 설정한 오염총량제 관리 시나리오는 현재 유량 관측 자료가 부족하거나 미계측 수계의 유역관리 계획 수립에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

### 감사의 글

본 연구의 일부는 강원대학교 연구지원금(2009)으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사의 뜻을 표합니다.

### 참고문헌

김남원, 이병주, 이정은, 2007, “공간모의유량을 이용한 갈수량 거동 특성에 관한 연구”, 대한토목학회논문집, 제27권(4B), 431-440.

강원도, 1991, 한강 하천정비기본계획

양해근, 최희철, 김준하, 2005, “비유량법에 의한 하천유량 산정”, 대한지리학회지, 제40권(3), 274-284.

이승철, 하성룡, 2009, “환경용량을 만족하는 청주시 도심지역의 개발한계 분석”, 환경영향평가, 제18권(1), 1-9.

정은성, 김경태, 김상욱, 이길성, 2008, “하천유지유량을 이용한 일최대 오염허용부하량 산정방안”, 한국물환경학회지, 제24권(3), 317-327.

하성룡, 박정하, 배명순, 2007, “유역형상과 오염부하배출 특성을 고려한 유달계수 사정”, 환경영향평가, 제16권(1), 79-87

US EPA(<http://www.epa.gov/>)

환경부, 2002, 환경부 훈령 제531호, 낙동강수계 오염총량 관리 기본방침.

---

접수일	(2009년 6월 19일)
최종수정일	(2009년 7월 29일)
게재확정일	(2009년 7월 29일)