

## 회귀식을 이용한 황룡A 유역에서의 유황별 유달을 산정

### Estimation of Pollutant Loads Delivery Ratio by Flow Duration Using Regression Equation in Hwangryong A Watershed

정재운\* · 윤광식\*\*† · 주석훈\*\*\* · 최우영\*\* · 이용운\*\*\*\* · 류덕희\*\*\*\*\* · 이수웅\*\*\*\*\* · 장남익\*\*\*\*\*  
Jung, Jae Woon\* · Yoon, Kwang Sik\*\*† · Joo, Seuk Hun\*\*\* · Choi, Woo Young\*\* ·  
Lee, Yong Woon\*\*\*\* · Rhew, Doug Hee\*\*\*\*\* · Lee, Su Woong\*\*\*\*\* · Chang, Nam Ik\*\*\*\*\*

#### ABSTRACT

In this study, pollutant loads delivery ratio by flow duration in Hwangryong A watershed was estimated. The delivery ratio was estimated with measured data by Ministry of Environment(MOE) and the regression equation based on geomorphic parameters. Eight day interval flow data measured by the MOE were converted to daily flow to calculate daily load and flow duration curve by correlating data of neighboring station which has daily flow data. Regression equation developed by previous study was tested to study watershed and found to be satisfactory. The delivery ratios estimated by two methods were compared. For the case of Biochemical oxygen demand(BOD), the delivery ratios of low flow condition were 7.6 and 15.5% by measured and regression equation, respectively. Also, the delivery ratios of Total phosphorus(T-P) for normal flow condition were 13.3 and 6.3% by measured and regression equation, respectively.

**Keywords:** BOD(Biochemical oxygen demand); delivery ratio; Pollutant load; regression equation; T-P(Total phosphorus)

## 1. 서 론

우리나라의 수질오염총량관리제는 유역단위 수질관리를 기본으로 하고 있으며, 이 제도에서는 유역 말단에서의 오염부하량 산정이 중요하다. 이를 위해서 임의 유역의 배출부하량이 해당 유역의 말단에 도달하는 비를 말하는 유달을 많이 사용하고 있다. 유달은 해당 유역의 오염물질 유출특성 지표로서 수질 오염총량관리제와 같은 유역관리계획에서 목표수질 설정 및 할

당부하량을 결정하는데 중요한 요소이다.

현재 수질오염총량관리제의 오염총량관리 대상물질은 BOD이며, 기준유량은 10년 평균 저수량으로 한다고 명시되어 있다(MOE, 2004). 하지만, 저수량 등의 특정유량을 기준유량으로 설정하여 유역에서 부하량의 할당과 관리는 목표수질 달성이라는 규제 기준으로서의 역할은 만족하지만 유역의 수환경 개선을 위한 관리수단으로서의 역할은 미흡하다(Han et al., 2007). 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 전체 유량 변동에 따른 유달부하량의 변화를 파악할 수 있는 유황별 유달을 산정이 필요하다(Han et al., 2007; Kim et al., 2009).

유달을 산정하는 방법은 침식토양을 이용하는 방법, 통계적인 이론을 이용하는 방법, 실측을 통한 방법, 유역모형을 이용하는 방법 등이 있다(Kim et al., 2009). 그 중 유역모형을 이용하는 방법에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으나(Moon and Kim, 2006), 유역모형은 입력자료의 구축이 어렵고 전문지식이 필요하기 때문에 보편적으로 사용되지 못하고 있다(Park et al., 2007). 이러한 문제점을 해결하기 위해서 많은 수계에서는 환

\* 한국농어촌공사 농어촌연구원  
\*\* 전남대학교 생물산업공학과  
\*\*\* 한국농어촌공사 새만금개발처  
\*\*\*\* 전남대학교 건설지구환경공학부  
\*\*\*\*\* 국립환경과학원 수질총량연구과  
\*\*\*\*\* 국립환경과학원 기후대기연구부 대기환경연구과  
† Corresponding author. Tel.: +82-62-530-2158  
Fax: +82-62-530-2159  
E-mail address: ksyoon@jnu.ac.kr

2009년 9월 10일 투고  
2009년 10월 28일 심사완료  
2009년 11월 1일 게재확정

경부 8일간 유량 및 수질측정 자료를 일 자료로 확장하여 유달을 산정하는 방법과 GIS(Geographic Information System)를 이용하여 지형특성 정보를 추출하여 회귀식을 도출하여 유달을 산정하는 연구들이 수행되고 있다. 실제로 Park et al. (2008) 팔당호 상류유역에 지형인자와 배출부하량을 매개변수로 하는 경험론적 유달관계식을 이용하여 유달부하량을 산정한 바 있으며, Kim et al.(2009)은 낙동강 오염총량관리 단위유역에 유달을 경험공식을 개발하여 적용한 사례가 있다. 하지만, 현재까지 환경부 단위유역인 황룡A 유역에서는 이러한 방법들을 이용하여 유달을 산정한 연구는 부족하다.

본 연구는 황룡A 유역에서 환경부 8일간 유량 및 수질 자료를 이용하여 BOD, T-P 유달부하량과 유달을 산정하였고, 산정된 유달부하량을 이용하여 경험론적 회귀식(이하 회귀식)의 적용성을 검토한후 유달을 산정하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 대상지구

영산강 수계 상류부에 위치한 황룡강 유역은 영산강 수계 제1지류로서 유역말단은 영산강 수계의 중앙 북단부인 동경 126° 36' 41" ~ 126°56' 50", 북위 35° 05' 50" ~ 35° 29' 00" 사이에 위치하고, 북쪽으로는 노령산맥의 말단 부로서 전라북도와 전라남도의 도경계를 형성하면서 동진강 유역과 접하

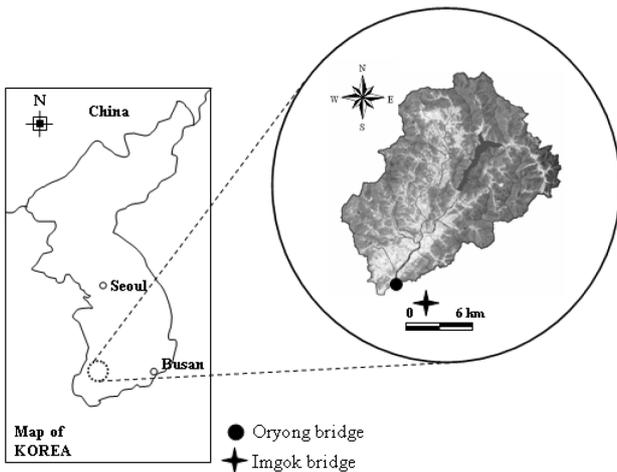


Fig. 1 Location of the study site

Table 1 Status of landuse(2006)

Watershed	Landuse (km <sup>2</sup> )				
	Total	Paddy	Upland	Forest	etc
Hwangryoung A	367.0	43.0	21.0	256.6	46.4

고 있다.

조사지구(이하 황룡A 유역)는 황룡강 유역 출구로부터 약 4 km 상류에 위치해 있으며, 환경부 지정 단위 유역으로 국립환경과학원 영산강 물환경연구소에서 8일간격으로 유량과 수질을 측정하는 지점이다(Fig. 1). 황룡A 유역면적은 367 km<sup>2</sup>, 유로연장은 약 51 km이다. 황룡A 유역의 토지이용현황은 Table 1과 같다.

### 2. 실측 유달부하량 산정 방법

#### 가. 기상 및 유량

황룡A 유역의 유량자료는 국립환경과학원 영산강물환경연구소에서 2006년 3월 3일부터 2008년 9월 30일까지 측정된 유량자료를 이용하였다. 하지만, 환경부(Ministry of Environment: MOE) 측정 단위유역인 황룡A 유역의 경우 8일 간격 유량측정 자료만 있기 때문에 일 유량으로의 확장이 필요하다. 이를 위해서 환경부 측정지점(오룡교)에서 약 4km 하류에 위치한 국토부(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs: MLTM) 측정지점(임곡교)의 일 유량자료를 이용하여 환경부 유량과의 유량관계식을 도출하였으며, 그 결과는 Fig. 2와 같다.

#### 나. 유달부하량

본 연구에서는 수질오염총량 관리대상물질인 BOD와 T-P만을 대상으로 유달부하량을 산정하였다. 황룡A 유역에서의 실측 유달부하량을 산정하기 위해서 영산강물환경연구소에서 2006년 3월 3일부터 2008년 9월 30일까지 8일간격으로 측정된 수질자료를 이용하였다. 관측된 자료를 이용하여 오염부하량을 산정하기 위해서 유량과 오염부하량 사이의 관계식을 도출하였으며(Fig. 3), 도출된 관계식을 이용하여 1일 간격 오염부하량을 산정하였다.

### 3. 회귀식을 이용한 부하량 추정 방법

유달부하량 추정에 적합한 회귀식을 찾기 위해서 다양한 문

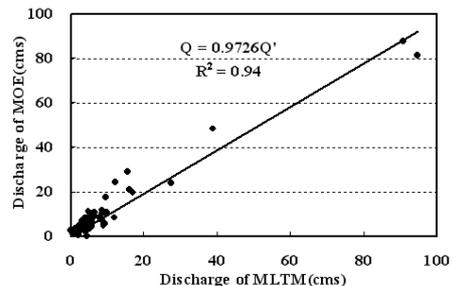


Fig. 2 Relationship between discharge of MOE and MLTM

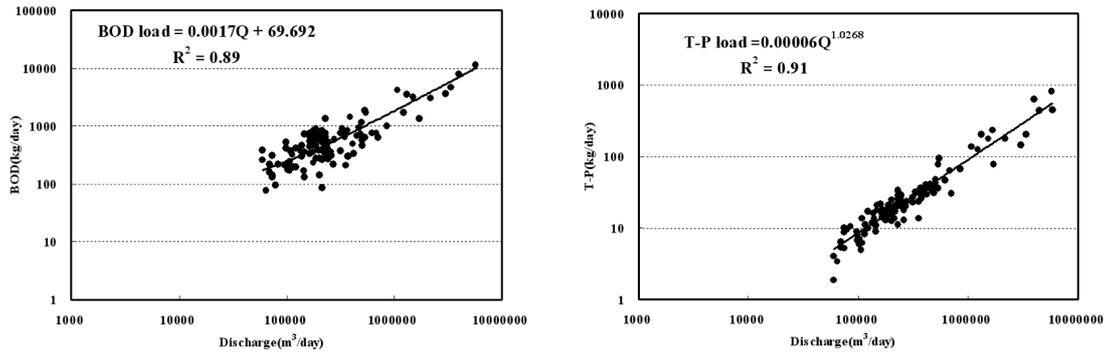


Fig. 3 Relationship between discharge and pollutant load

현자료를 수집 하였으며, 그 중 최근에 적용성이 검증된 식(1)을 이용하였다. 식(1)은 매개변수가 지형인자 등으로 이루어져 있어 매개변수 추정이 용이한 장점이 있다. 식(1)은 Park et al.(2007)이 제안하였으며, 보다 상세한 설명은 Park et al.(2007)의 논문을 참조할 수 있다.

$$L = L_{po}e^{-k'_p l_m} + aL_{nm}\rho^b e^{-(k'_n - \beta)l_m} \quad (1)$$

여기서, L : 유달부하(kg/day)

$L_{po}$  : 점원배출부하(kg/day)

$k'_p$  : 점원으로부터 거리 반응 상수(/km)

$l_m$  : 유역평균길이(km)

a : 비점원 배출부하 유량상수

$L_{nm}$  : 연간 평균 비점원 배출 부하(kg/day)

$\rho$  : 유역수리부하( $m^3/day/ha$ )

b : 비점원 배출부하 유량 지수

$k'_n$  : 비점배출부하 거리 반응 상수(/km)

$\beta$  : 불확정부하 거리 반응 상수(/km)

#### 4. 유달율 및 배출부하량

현행 유달율은 해당유역에서의 배출부하량과 수질측정지점에서의 유달부하량의 비로 정의되고 있으며, 유달율 산정은 식(2)와 같이 산정하였다. 배출부하량은 영산강·섬진강수계 오염총량관리 기본방침(환경부 훈령 제707호, 2007.1.31 개정)에 따라 산정할수 있는데, 본 연구에서 사용된 배출부하량은 국립환경과학원 영산강물환경연구소에서 제공한 자료를 사용하였다.

$$K = \frac{C_e \times Q_e}{L_i} \quad (2)$$

여기서, K = 유달율

$C_e$  = 대상물질농도(kg/ $m^3$ )

$Q_e$  = 하단부에서의 유량( $m^3/day$ )

$L_i$  = 해당구역에서의 배출부하량(kg/day)

#### 5. 유량 유향곡선

하천의 전체 유량이란 자연 현상인 강우-유출과정에 의해 발생하는 유량과 상류댐이나 환경기초시설의 방류수, 하천의 취수량 등 인위적으로 조절되는 유량을 의미하며 이러한 하천의 전체적인 유량조건을 확률적으로 파악하기 위한 방법으로 유량 유향곡선(Flow Duration Curve, FDC) 기법이 있다(Han et al., 2007; Kim and Yoon, 2005; Dingman, 2002; Vogel and Fennessey., 1994). FDC 곡선을 작성하기 위해서는 해당 지점에서의 일 유량자료를 이용하여 초과확률별 일 유량을 결정하고 이를 확률지에 도시한 후(Han et al., 2007), 유향별 확률을 구하면 된다. 우리나라의 풍수량( $Q_{95}$ ), 평수량( $Q_{185}$ ), 저수량( $Q_{275}$ ), 갈수량( $Q_{355}$ )에 해당되는 확률은 각각 26%, 51%, 75%, 97%이며, 외국의 경우 Cleland(2003)가 10%까지는 고유량, 10~40%는 습윤상태, 40~60%는 중간유량, 60~90%는 건조 상태, 90% 이상은 저유량으로 정의하고 있다. 본 연구에서는 유량-유향곡선을 작성후 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량에 해당되는 유달율을 산정하였다.

#### 6. 회귀식 보정 및 검증방법

회귀식 보정은 추정된 유달부하량과 실측 유달부하량과의 비교를 통해서 실시하였다. BOD와 T-P 부하량의 추정기간은 2006년부터 2008년까지이며, 그 중 2006년과 2007년은 보정기간, 2008년은 검증기간으로 하였다. 보정에 사용된 매개변수는 점원시간반응계수( $a_p$ ), 유량조정계수(a), 비점오염유달부하지수(b), 비점원시간반응계수( $a_n$ ), 불확실부하길이반응계수( $\beta$ )이다. 이러한 매개변수들을 이용하여 결정계수(Coefficient of determination,  $R^2$ )가 0.6 이상이 될 때까지 시행착오법을 통

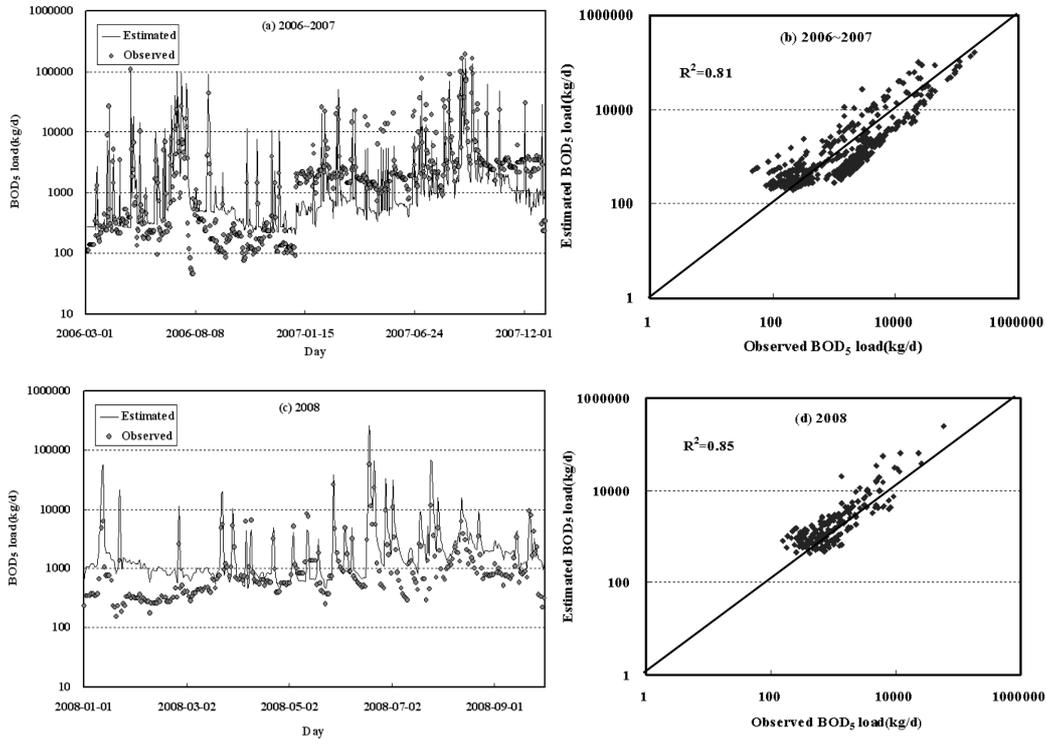


Fig. 4 Comparison of observed and estimated daily BOD load for calibration(a) and validation(c) for Hwangryoung A watershed

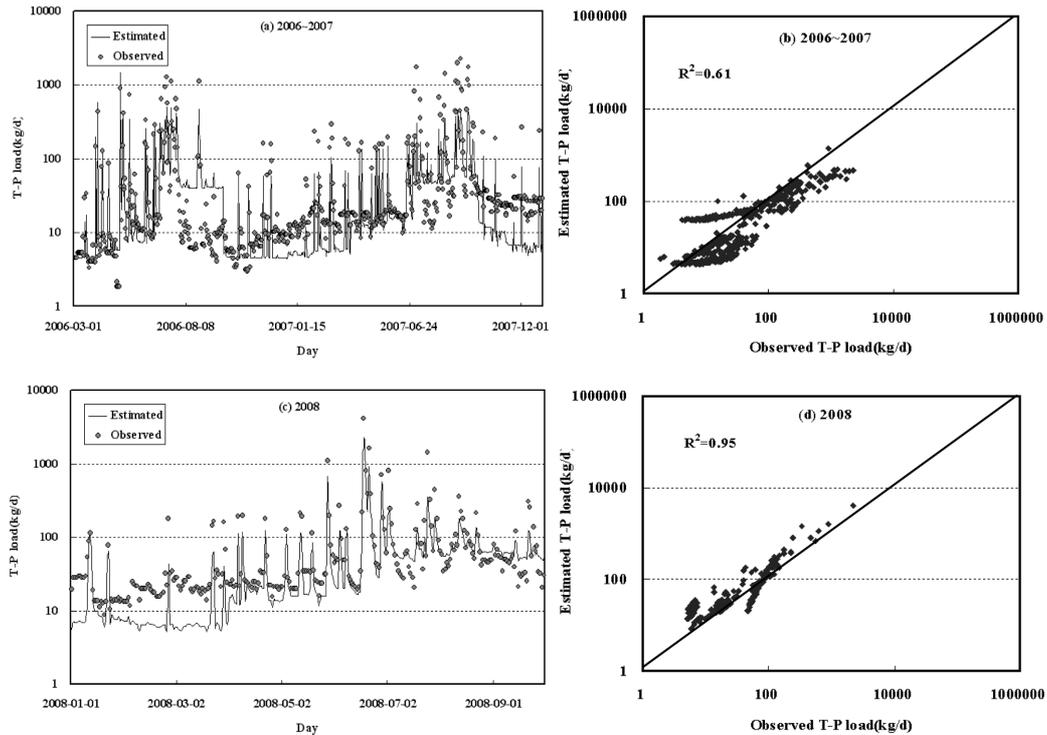


Fig. 5 Comparison of observed and estimated daily T-P load for calibration(a) and validation(c) for Hwangryoung A watershed

하여 매개변수를 조절하여 보정한후, 상대오차(Relative Bias, RB, 식3), RMSE(root mean square error, 식4), RMAE(root mean absolute error, 식5)를 이용하여 모형의 신뢰성을 평가하였다.

$$RB = \frac{M_F - M_o}{M_o} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Q_f(i) - Q_o(i)]^2} \quad (4)$$

$$RMAE = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Q_f(i) - Q_o(i)|}{M_o} \quad (5)$$

여기서  $M_F$ 는 추정치의 평균치(mm),  $M_o$ 는 실측치의 평균치(mm),  $Q_o$ 는 실측값,  $Q_f$ 는 모의값, 그리고  $n$ 은 자료수이다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 회귀식 보정 및 검증

BOD와 T-P 부하량 추정을 위한 회귀식 보정에 사용된 매개변수와 결과 값은 Table 2, 3과 같다. Fig. 4와 5는 보정기간과 검증기간 동안의 BOD와 T-P 실측부하량과 추정부하량의 일별 변화와 산포도를 나타내고 있으며, 그 결과 추정값이 실측값의 일별 변화를 잘 반영하는 것으로 나타났다.

추정결과의 적합성 평가는  $R^2$ 를 이용하였으며 추정값과 실측값의  $R^2$ 는 Table 4와 같다. Green et al.,(2006)은  $R^2$ 가 0.5 이상, Chung et al.(1999)은  $R^2$ 가 0.5 이상, Ramanarayanan et al.(1997)과 Santhi et al.(2001)은  $R^2$ 가 0.6 이상이면 추정값이 실측값을 잘 반영한다고 제안하였다. 본 연구에서의 BOD와 T-P의 추정값과 실측값의  $R^2$ 가 모두 0.6이상으로 나타나(Table 4) 본 연구에서 사용된 회귀식은 황룡A 유역의 BOD와 T-P의 일별 부하량의 특성을 잘 반영하는 것으로 평가 되었다.

#### 2. 유량-유황곡선(Flow Duration Curve ; FDC)

황룡A 유역의 조사기간동안(2006년 3월 3일부터 2008년 9월 30일) 유량-유황곡선은 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 □ 표시는 좌측부터 각각 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량에 해당하는 위치로서 BOD 기준유량인 저수량의 경우 1.7 m<sup>3</sup>/s로 나타났으며, 풍수량, 평수량, 갈수량의 경우에는 각각 4.4, 2.2 1.3 m<sup>3</sup>/s로 나타났다.

Table 2 Parameters for estimation of delivery load on BOD using regression equation

Period	$\alpha_p$	$\alpha_n$	$\beta$	a	b
Oct ~ Mar	-0.082	0.043	0.046	0.0020	1.96
Apr ~ Jun	-0.078	0.043	0.046	0.0028	1.50
Jul ~ Aug	-0.064	0.043	0.046	0.0041	1.38

Table 3 Parameters for estimation of delivery load on T-P using regression equation

Period	$\alpha_p$	$\alpha_n$	$\beta$	a	b
Oct ~ Mar	-0.20	0.013	0.016	0.001	0.42
Apr ~ Jun	-0.25	0.013	0.016	0.001	1.06
Jul ~ Aug	-0.31	0.013	0.016	0.020	0.42

Table 4 Model performances with observed and estimated data

Period	$R^2$		RB		RMSE (kg/ha/day)		RMAE (kg/ha/day)	
	BOD	T-P	BOD	T-P	BOD	T-P	BOD	T-P
Calibration(2006~2007)	0.81	0.61	-0.41	-0.43	0.14	0.005	0.78	0.65
Validation(2008)	0.85	0.95	-0.47	-0.66	0.11	0.007	0.65	0.66

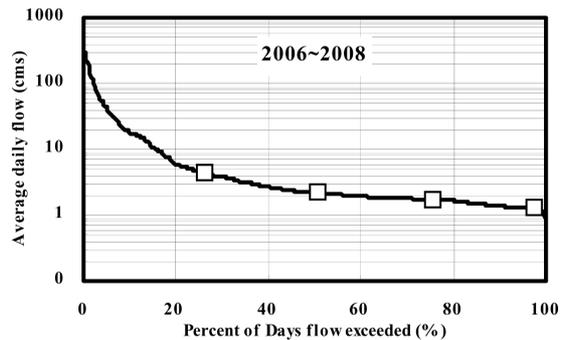


Fig. 6 FDC curve at Hwangryong A watershed

#### 3. 실측 유달율과 회귀식에 의한 유달율

조사기간 동안의 실측자료를 기반으로 산정된 유황별 BOD와 T-P 유달율 곡선은 Fig. 7과 같다. BOD 기준유량인 저수량의 BOD 유달율은 7.6%였으며, 풍수량, 평수량, 갈수량의 경우에는 각각 43.9, 17.9, 2.3%로 나타났고, T-P 경우 기준 유량인 평수량에서의 유달율은 13.3%였으며, 풍수량, 저수량, 갈수량의 경우 각각 30.5, 7.1, 2.8%로 나타났다(Table 5).

회귀식을 통하여 추정된 유황별 BOD와 T-P 유달율 곡선은 Fig. 8과 같다. 저수량에서의 BOD 유달율은 15.5%로 나타났으며, 평수량에서의 T-P의 유달율은 6.3%로 나타났고, 풍수량, 평수량, 갈수량에서의 BOD 유달율은 각각 46.0, 24.2, 13.3%

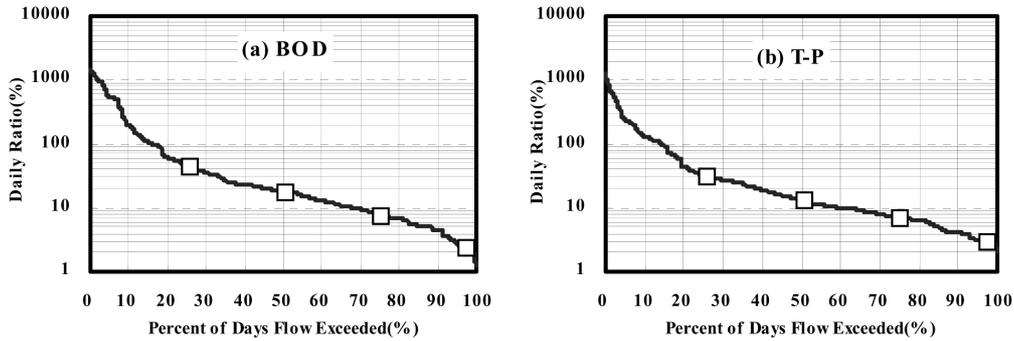


Fig. 7 Derived BOD and T-P delivery ratio curve using measured data

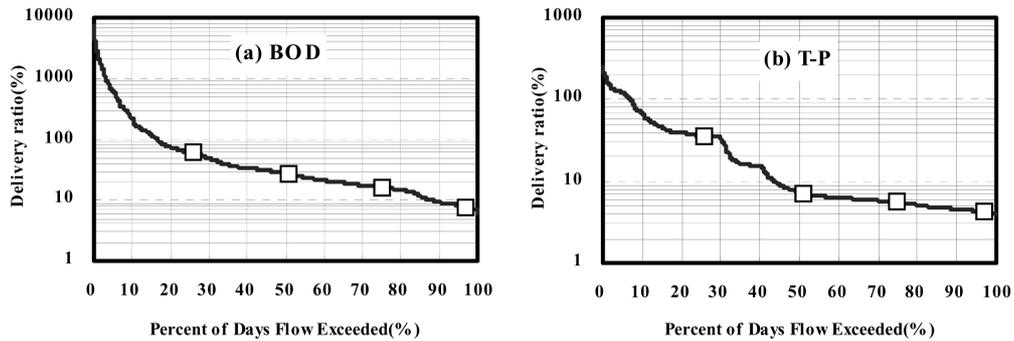


Fig. 8 Estimated BOD and T-P delivery ratio curve using regression equation

Table 5 Delivery ratio by flow duration in Hwangryoung A watershed

Pollutant	Delivery ratio by flow duration							
	Q <sub>35</sub>		Q <sub>185</sub>		Q <sub>275</sub>		Q <sub>355</sub>	
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
BOD	43.9%	46.0%	17.9%	24.2%	7.6%	15.5%	2.3%	13.3%
T-P	30.5%	29.8%	13.3%	6.3%	7.1%	5.3%	2.8%	4.4%

Obs. : Observed, Est.: Estimated

로 나타났고, T-P 유달율은 풍수량, 저수량, 갈수량에서 각각 29.8, 5.3, 4.4%로 나타났다(Table 5). 실측 유달율과 회귀식을 통해 산정된 유달율 모두 유량감소에 따라 유달율 또한 감소하는 것으로 나타났다. 이는 유량감소로 인하여 하천 유속이 감소하고 이에 따라 오염물질의 이송율이 감소하기 때문인 것으로 판단되며, 이와 같은 결과는 Kim et al.(2009)의 연구결과와도 유사하였다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구는 수질오염총량관리에 필요한 유달율을 산정하기 위해 기 구축된 관측자료들과 선형연구자에 의해 제안된 회귀식을 이용하여 유달율을 산정하였다. 2006년 3월 3일부터 2008년

9월 30일까지 영산강물환경연구소에서 8일 간격으로 측정된 수질과 유량자료를 이용하여 부하량과 유달율을 산정하였으며, 산정된 자료를 이용하여 회귀식의 적용성을 검토하였다. 그 결과 BOD와 T-P 부하량의 경우 실측치와 추정치의 결정계수가 모두 0.6이상으로 나타나 회귀식이 황룡A 유역에 적용가능한 것으로 나타났지만, 향후 회귀식의 적용성을 높이기 위해서는 용이한 입력자료(지형자료, 배출부하량 등)구축이 필요하며 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 한편, 수질 오염총량관리제의 기준유량(BOD:저수량, T-P:평수량)별 BOD와 T-P의 실측 유달율을 산정한 결과 BOD는 7.6%로 나타났으며, T-P는 13.3%로 나타났고 회귀식을 이용하여 유달율을 추정한 결과 BOD는 15.5%, T-P는 6.3%로 나타났다. 이러한 연구 결과는 향후 황룡A 유역의 효과적인 수질관리를 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다. 하지만, 본 연구에서 산정된 유달율은 황룡A 유역에서의 2006~2008년 자료를 대상으로 산정되었기 때문에 미세측 연도 및 유역에 본 연구 자료를 사용할 경우 세심한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 2008년 국립환경과학원(영산강수계 수질오염 총량관리 유형별 유달율 산정방법 연구)과 농업과학기술연구소에서 지원을 받아 수행된 연구입니다.

## REFERENCES

1. Celand, B. R., 2003, TMDL Development from the Bottom Up-Part III: Duration Curves and Wet-Weather Assessments. *America Clean Water Foundation*.
2. Chung, S. W., P. W. Gassman, L. A. Kramer, J. R. Williams, and R Gu, 1999, Validation of EPIC for two watersheds in southwest Iowa. *Journal of Environmental Quality* 28(3): 971-979.
3. Dingman, S. L., 2002, Physical Hydrology 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey.
4. Green C. H., M. D. Tomer, M.Di Luzio, and J. G Arnold, 2006, Hydrologic evaluation of the soil and water Assessment Tool for a large tile-drained watershed in Iowa. *Transactions of the ASAE* 49(2): 413-422.
5. Han, S. H., H. S. Shin, and S. D. Kim, 2007, Applicability of Load Duration Curve to Nakdong River Watershed Management. *Journal of Korea Society on Water Quality* 23(5): 620-267(in Korean).
6. Kim, G. H. and J. Y. Yoon, 2005, Development and Application of Coliform Load Duration Curve for the Geum River. *Journal of Korea Society on Water Quality* 21(5): 516-519(in Korean).
7. Kim, M. S., H. S. Shin, J. H. Park, and J. H. Park, 2009, Empirical Equation for Pollutant Loads Delivery Ratio in Nakdong River TMDL Unit Watersheds. *Journal of Korea Society on Water Quality* 25(4): 580-588(in Korean).
8. Ministry of Environment, Korea, 2004. TMDL guideline. Incheon Korea(in Korean)
9. Moon, J.P. and Kim, T.C, 2006, Evaluation of SWAT 2000 Model Application for Estimating Delivered Nutrients Load for the Gap Stream Watershed. *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers* 48(6): 89-100(in Korean).
10. Park, J. H., D. S. Kong, and K. S. Min, 2007, Development of the Empirical Model for Estimating the Delivered Pollutant Loads Considering Geomorphic and Hydraulic Characteristics. *Journal of Korea Society on Water Quality* 23(6): 913-919(in Korean).
11. Park, J. H., D. S. Kong, and K. S. Min, 2008, Delivered pollutant loads of point and nonpoint source on the upper watershed of lake paldang : Case study of the watershed of Namhan river and Gyeongan stream. *Journal of Korea Society on Water Quality* 24(6): 750-757(in Korean).
12. Santhi, C., J. G. Arnold, J. R. Williams, W. A. Dugas, R. Srinivasan, and L. Hauck, and W. A. Dugas. 2001, Application of a watershed model to evaluate management effects on point and nonpoint source pollution. *Transactions of the ASAE* 44(6): 1559-1570
13. Vogel, R. M and N, M. Fenessey, 1994, Flow-duration curves, 1: New interpretation and confidence intervals. *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE* 120(4): 485-504.
14. Ramanarayanan, T. S., J. R. Williams, W. A. Dugas, L. M. Heuck, and A. M. S. McFarland, 1997, Using APEC to identify alternative practiced for animal waste management. *Minnea-polis, MN. ASAE Paper No. 97-2209*.