

## 농촌유역 유량-유달을 단순회귀식을 이용한 주암호 상류유역의 유달을 추정가능성 평가

정재운 · 임병진 · 최동호<sup>1)</sup> · 최유진<sup>2)</sup> · 이경숙<sup>1)</sup> · 김영주<sup>3)</sup> · 김갑순 · 장남익<sup>4)</sup> · 윤광식<sup>1)\*</sup>

국립환경과학원 영산강물환경연구소, <sup>1)</sup>전남대학교 지역·바이오시스템공학과

<sup>2)</sup>국립환경과학원 수질총량관리센터, <sup>3)</sup>전북대학교 지역건설공학과, <sup>4)</sup>국립환경과학원 대기환경연구과  
(2012년 7월 7일 접수; 2012년 8월 20일 수정; 2012년 10월 5일 채택)

## Evaluation of Flow-Pollutant Load Delivery Ratio Equations on Main Subwatersheds within Juam Lake

Jae-Woon Jung, Byung-Jin Lim, Dong-Ho Choi<sup>1)</sup>, Yu-Jin Choi<sup>2)</sup>, Kyoung-Sook Lee<sup>1)</sup>,  
Young-Joo Kim<sup>3)</sup>, Kap-Soon Kim, Nam-Ik Chang<sup>4)</sup>, Kwang-Sik Yoon<sup>1)\*</sup>

Yeongsan River Environment Research Laboratory, Gwangju 500-489, Korea

<sup>1)</sup>Department of Rural & Bio-systems Engineering, Chonnam National University

(Institute of Agricultural Science & Technology, Chonnam National University), Gwangju 500-757, Korea

<sup>2)</sup>National Institute of Environment Research, Incheon 404-708, Korea

<sup>3)</sup>Department of Community Construction Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

<sup>4)</sup>Air Quality Research Division, National Institute of Environment Research, Incheon 404-708, Korea

(Manuscript received 7 July, 2012; revised 20 August, 2012; accepted 5 October, 2012)

### Abstract

The objective of this study is to evaluate Flow-Pollutant load delivery ratio equations developed from rural watershed on main subwatersheds within Juam Lake. Two regression equations for BOD and three equations for T-P were evaluated on Bosung cheon, Dongbok cheon, Songgwang cheon, Naenam cheon, and Sinpyeon cheon. The results show that estimation of BOD delivery ratio using flow-delivery equation is reliable when relative composition of discharge load of pollutant sources of a watershed is similar to those of watershed where the equation developed. On the other hand, application of regression equation for T-P was feasible when the landuse pattern and relative composition of discharge load of pollutant sources of a watershed is similar to those of watershed where the equation developed.

**Key Words** : Regression equation, Flow-delivery, Pollutant source

### 1. 서론

광주·전남의 최대 상수원인 주암호는 약 250만명에게 생활용수를 공급하고 있어 그 수질 변화 추이가

매우 중요하다(국립환경과학원, 2008b). 주암호 유역은 섬진강의 제1지류인 보성천 중류에 위치해 있으며, 행정구역상 순천시와 보성군, 장흥군, 담양군, 화순군에 걸쳐 있다. 유역면적은 1,029.4 km<sup>2</sup>로 주변이 대부분 산림으로 둘러싸여 있어, 점오염원에 의한 오염우려는 적다. 그러나 외부에서 유입되는 오염물질로 매년 대규모 조류발생이 일어나고 있어(국립환경과학원, 2008b), 이에 대한 수질관리대책이 필요하다. 수질관

\*Corresponding author : Kwang-Sik Yoon, Department of Rural & Bio-Systems Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea  
Phone: +82-62-530-2158  
E-mail: ksyoon@jnu.ac.kr

리대책 수립을 위해서는 유역에서 발생하는 수질오염의 원인과 현황을 정량적으로 규명하고 유역말단에서의 유달부하량 산정이 매우 중요하다(박 등, 2007).

유달부하량 산정방법에는 실측에 의한 방법, 유역모형을 이용한 방법, 유달율을 이용하는 방법 등 다양하다(김 등, 2009; 정 등, 2009; 최 등, 2012). 이 중 현재 오염원으로부터 하천으로 유입되는 배출부하량과 해당 유역의 출구까지 도달한 부하량인 유달부하량과의 관계를 나타내는 유달율에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다(박 등, 2007; 손 등, 1995; 윤 등, 2007a, 2007b; 하와 배, 2003; 김 등, 2010; 최 등, 2012). 이 유달율 산정방법은 다시 만능토양침식 공식을 이용하는 방법, 합리식의 유출계수를 이용하는 방법, 유역모형을 이용한 방법, 실측치에 의한 방법, 경험식을 이용하는 방법으로 구분되어지는데(김 등, 2009), 유역모형을 이용한 방법은 입력자료의 구축이 어렵고, 전문지식이 필요하기 때문에 보편적으로 사용하지 못하는 한계점이 있다(박 등, 2007). 이러한 한계점을 극복하기 위해 실측자료를 통해 유달부하량을 배출부하량으로 나누는 단순 부하량비 기법이 널리 사용되어 왔으나(손 등, 1995), 이 방법은 유량과 수질을 동시에 측정해야 되고 미세측 유역에는 사용이 불가능하는 단

점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 회귀식을 이용하여 유달율을 추정하는 방법이 많이 이용되고 있는데, 김 등(2009)은 지형특성 정보와 유량의 관계를 이용하여 유달율 산정 회귀식을 개발한 후 분석한 결과 유량이 유달율 산정에 미치는 기여도가 높다고 보고하였고, 국립환경과학원(2008a), 김 등(2010), 최 등(2012)도 유량과 유달율의 통계적 유의성이 높다고 보고한 후, 유량-유달율 회귀식을 개발하여 제시하였다. 따라서 본 연구는 주암호 주요지천 실측 모니터링 자료를 통해 산정된 유달율과 국립환경과학원(2008a), 김 등(2010), 최 등(2012)의 논문에서 제안한 유량-유달율 회귀식을 통해 추정된 유달율과의 비교 분석을 통해 유량-유달율의 적용성을 평가함으로써, 향후, 주암호의 효율적 수질관리를 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 시험지구

#### 2.1.1. 유량-유달율 개발 회귀식 대상지구

유량-유달율 회귀식 (a)국립환경과학원(2008a), (b) 최 등(2012), (c)김 등(2010) 이 개발된 지구는 Fig. 1

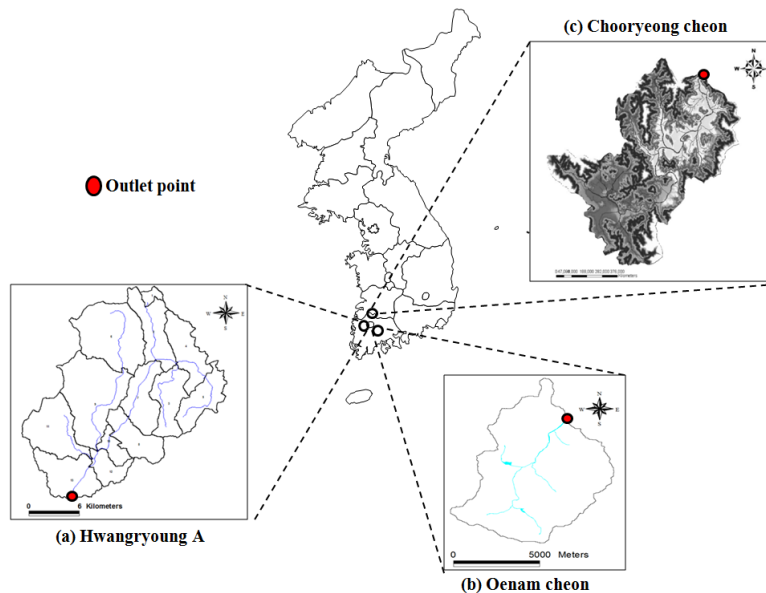


Fig. 1. Location of study sites where regression equations developed.

**Table 1.** Landuse pattern of watershed where discharge-delivery relationship developed

Unit : km<sup>2</sup>

Sites	Paddy	Upland	Forest	Lot	Etc.	Total
Hwangryoung A	41.7(5.6)	20.4(11.4)	258.1(70.7)	19.3(5.3)	25.6(7.0)	356.1
Oenam cheon	2.1(3.5)	5.6(9.1)	49.3(80.5)	1.5(2.4)	2.8(4.6)	61.3
Choryeong cheon	16.7(11.0)	11.1(7.3)	117.2(76.9)	4.2(2.8)	3.1(2.0)	152.3

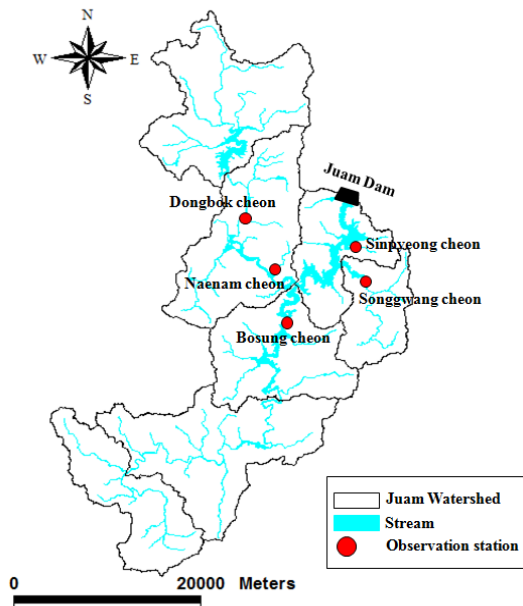
※ ( ) : %

과 같고, 토지이용현황은 Table 1과 같다. 황룡 A유역의 토지이용은 논 5.6%, 밭 11.4%, 임야 70.7%, 대지 5.3%, 기타 7.0%였으며, 외남천 유역의 토지이용은 전체 토지이용 중 논 3.5%, 밭 9.1%, 임야 80.5%, 대지 2.4% 기타 4.6%를 차지하고 있는 것으로 조사되었고, 추령천 유역의 경우 논 11.0%, 밭 7.3%, 임야 76.9%, 대지 2.8%, 기타 2.0%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 외남천과 추령천 유역의 토지이용은 대부분 임야와 농경지로 나타났으며, 이는 외남천과 추령천 유역이 전형적인 농촌유역임을 의미한다. 반면 황룡 A유역의 토지이용은 대지 및 기타의 토지이용이 차지하는 비율이 외남천과 추령천 유역보다 높게 나타났다. 이는 황룡 A 유역의 경우 장성군이라는 비교적 큰 도시가 포함되어 있기 때문이다.

2.1.2. 유량-유달을 회귀식 검토지구

기존에 개발된 회귀식의 검토를 위한 주암호내 적용 소유역은 Fig. 2와 같다. 조사대상 유역은 보성천(Bosung cheon), 동북천(Dongbok cheon), 송광천(Songgwang cheon), 내남천(Naenam cheon), 신평천(Sinpyeong cheon)의 5개 유역이며, 5개 유역의 토지이용 특성은 Table 2와 같다. 조사대상 하천 중 유역면적은 보성천이 441.4 km<sup>2</sup>로 가장 컸고, 신평천이 9.7 km<sup>2</sup>로 유역면적이 가장 작았다. 토지이용의 경우 임

야 비율은 내남천이 85.1%로 가장 높았고, 논, 밭, 대지는 보성천이 각각 6.4%, 15.0%, 4.9%로 타 소유역에 비해 높은 비율을 차지하고 있었다(Table 2).



**Fig. 2.** Location of application sites for regression equations.

**Table 2.** Landuse of subwatersheds within Juam watershed

Unit : km<sup>2</sup>

Sites	Paddy	Upland	Forest	Lot	Etc.	Total
Bosung cheon	28.4(6.4)	66.4(15.0)	297.3(67.4)	21.6(4.9)	27.7(6.3)	441.4
Dongbok cheon	15.1(5.8)	19.7(7.6)	202.2(77.5)	6.6(2.5)	17.1(6.5)	260.7
Songgwang cheon	4.0(5.7)	7.9(11.3)	52.9(76.2)	1.8(2.6)	2.9(4.2)	69.5
Naenam cheon	0.5(3.4)	0.8(4.7)	13.6(85.1)	0.3(1.7)	0.8(5.0)	16.0
Sinpyeong cheon	0.3(2.9)	0.8(8.3)	8.0(82.5)	0.3(3.0)	0.3(3.2)	9.7

※ ( ) : %

## 2.2. 수질, 유량 및 유달부하량

본 연구를 위해 2008년 3월~11월 까지 대상 소유역 출구에서 수질 및 유량측정을 월 1회 실시하였으며, 수질조사항목은 수질오염총량 관리대상물질인 BOD, T-P를 대상으로 실시하였다. 수질분석은 환경부 수질오염공정시험방법에 준하여 분석하였으며, 유량측정은 수질오염공정시험법의 하천유량측정방법과 수문관측매뉴얼(국토해양부, 2004)에 준하여 측정하였다. 유달부하량의 경우 조사지점 말단에서 관측된 유량과 수질의 곱으로 산정하였다.

## 2.3. 배출부하량 및 유달을 산정 방법

배출부하량 산정은 오염원 자료를 이용하여 오염원별(생활계, 산업계, 양식계, 축산계, 매립계 및 토지계) 발생 규모를 파악하여 제 2단계 수계오염총량관리기술지침(국립환경과학원, 2008)에 따라 산정하였다. 한편, 유달율은 해당유역에서의 배출부하량과 수질측정지점에서의 유달부하량의 비로 정의되고 있으며, 유달을 산정은 식 (1)과 같이 산정하였다.

$$K = \frac{C_e \times Q_e}{L_i} \quad (1)$$

여기서,  $K$  =유달율,  $C_e$ =대상물질농도(kg/m<sup>3</sup>),  $Q_e$ =하단부에서의 유량(m<sup>3</sup>/day),  $L_i$  = 해당구역에서의 배출부하량(kg/day).

## 2.4. 기 개발된 유량-유달을 회귀식

개발된 유량-유달을 회귀식의 형식은 Table 3과 같다. 여기서, Equation 1과 3은 최 등(2012)의 논문에서 인용하였으며, Equation 2와 5는 국립환경과학원(2008), Equation 4는 김 등(2010)의 논문에서 인용하

였다. 외남천 유역과 황룡A 유역에서는 유량과 BOD, T-P 유달을 회귀식이 모두 제시되었지만 추령천유역은 유량-BOD 유달을 회귀식이 제시되지 않아 본 연구에서는 추령천 유역의 유량-BOD 유달을 회귀식의 적용성은 제외하였다.

## 2.5. 회귀식의 적용성 평가

본 연구의 회귀식의 적용성 평가를 위해 결정계수(coefficient of determination, R<sup>2</sup>), RMAE(Root Mean Absolute Error), 모형의 효율성지수(Efficient Index, EI), %difference를 활용하였다. 모형의 추정 오차를 평가하기 위해 사용되는 결정계수(R<sup>2</sup>)는 0.0~1.0의 범위를 가지며, 1.0에 가까울수록 추정치가 실측치의 경향을 잘 반영한다. 그러나, 결정계수는 단지 무작위 오차만을 평가하는 것으로서 오차의 정도를 나타내지 못한다. 따라서 오차의 정도를 나타내기 위해 RMAE를 사용하고(강과 박, 2003), 이 지표가 0에 가까울수록 회귀식의 성능이 높음을 의미한다.

Nash와 Sutcliffe (1970)가 제안한 EI는 추정치와 실측치가 일치하면 1.0이며, 그 값이 0과 1사이에 있으면, 추정치를 사용하는 것이 실측치의 평균을 이용하는 것보다 좋은 결과를 얻을 수 있으며, EI가 0보다 작으면 모형의 추정결과가 나쁘거나 실측 자료가 일관성이 없음을 의미한다. %difference는 Donigan (2000)이 제안한 방법으로 추정치와 실측치를 비교했을 때, 수질모의치와 실측치의 %difference가 35이하를 만족할 경우 신뢰성이 있는 것으로 제안하였다. 선행연구결과를 살펴보면, Green 등(2006)은 R<sup>2</sup>가 0.5 이상이고 EI가 0.4이상, Ramanarayanan 등(1997)과 Santhi 등(2001)은 R<sup>2</sup>가 0.6 이상이고 EI가 0.5 이상, Chung 등(1999)은 R<sup>2</sup>가 0.5 이상이고 EI가 0.3 이

Table 3. Discharge-Delivery ratio regression equations

Items	No. of Equation	Equations	Sites	Remark
BOD	1	1,626Q <sup>1.056</sup>	Oenam cheon	Choi et al.(2012)
	2	1,440.8Q	Hwangryoung A	NIER(2008)
	3	2,382Q <sup>1.304</sup>	Oenam cheon	Choi et al.(2012)
T-P	4	664.05Q-0.3371	Chooryeong cheon	Kim et al.(2010)
	5	1955.8Q	Hwangryoung A	NIER(2008)

\*Q : Flow(m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>)

상이면 추정치가 실측값을 잘 반영한다고 제안한 바 있다. 본 연구에서는  $R^2$  0.6 이상, EI 0.5이상, %difference 35 이하를 만족하면 회귀식 적용가능성이 있는 것으로 판단하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 수질 및 유량 측정결과

보성천, 동복천, 송강천, 내남천, 신평천의 조사기간 동안의 수질 및 유량은 Fig. 3과 같다. 조사기간 동안 보성천의 BOD는 0.70~3.33 mg/L, 평균 2.06 mg/L로 나타났고, 동복천, 송강천, 내남천, 신평천은 각각 0.34~2.16, 0.23~1.38, 0.16~1.68, 0.12~1.02 mg/L의 범위를 보였으며, 평균은 각각 1.17, 0.79, 0.81, 0.57 mg/L로 조사되었다. 또한 T-P의 경우 보성천의 경우 0.02~0.07 mg/L(평균 0.03 mg/L), 동복천 0.01~0.05 mg/L(평균 0.02 mg/L), 송강천 0.02~0.12 mg/L(평균 0.04 mg/L), 내남천 0.01~0.04 mg/L(평균 0.02 mg/L), 신평천 0.001~0.10 mg/L(평균 0.03 mg/L)의 범위로 나타났다. 조사지점 중 보성

천의 BOD가 가장 높은 것으로 나타났으며, 신평천의 BOD가 가장 낮게 나타났다. 한편, 유량의 경우 보성천의 조사기간 동안 평균 유량이 3.01 m<sup>3</sup>/s로 나타났으며, 동복천, 송강천, 내남천, 신평천의 평균 유량은 각각 1.04, 0.74, 0.16, 0.08 m<sup>3</sup>/s로 조사되었다.

#### 3.2. 배출부하량

BOD의 회귀식이 개발된 황룡A 유역과 외남천 유역의 배출부하량은 각각 3,155.9, 302.2 kg/day였으며 (Table 4), T-P의 회귀식이 개발된 황룡 A, 외남천 유역, 추령천 유역의 배출부하량은 각각 1,854.0, 20.1, 61.8 kg/day였으며, 추령천의 경우 T-P의 배출부하량만 나타내었다(Table 5).

회귀식 적용성을 평가하기 위해 적용된 보성천, 동복천, 송광천, 내남천, 신평천의 BOD 배출 부하량은 각각, 3,656.4, 1,249.7, 452.4, 48.1, 36.7 kg/day였으며, T-P의 배출부하량은 각각 193.7, 77.5, 26.7, 3.6, 2.7 kg/day로 조사되었다. 조사결과 보성천에서 BOD와 T-P의 배출부하량이 가장 크게 나타났으며, 동복천, 송광천, 내남천, 신평천 순으로 나타났다. 적용유

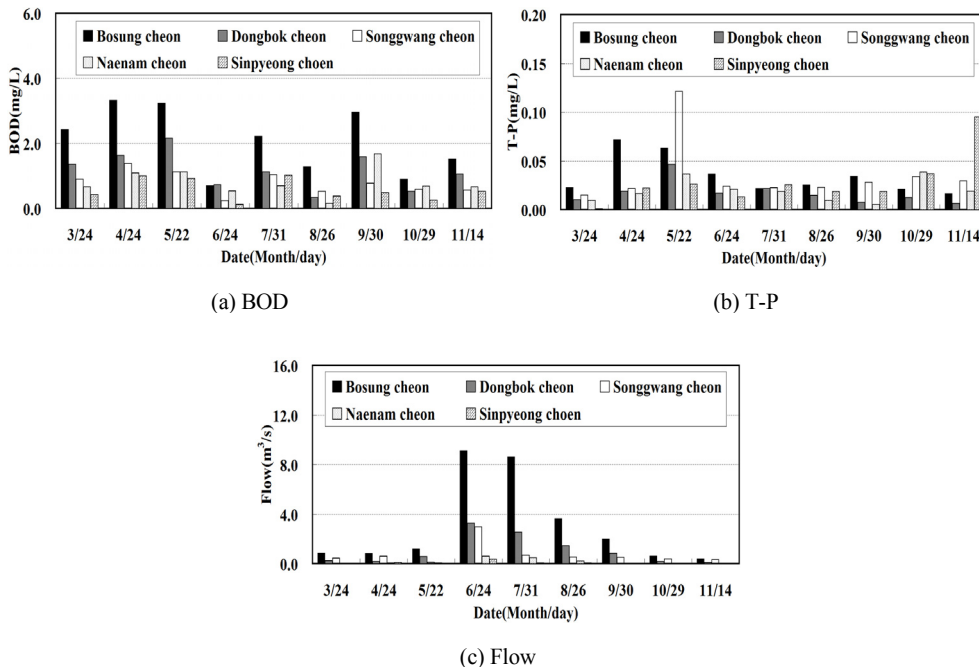


Fig. 3. Observed (a) BOD, (b) T-P concentrations and (c) flow at the monitoring stations.

Table 4. Discharged BOD load from study sites

Unit : kg/day

Sites	Population	Livestock	Industrial activities	Aquaculture	Land use	Landfill	Total
Hwangryoung A	564.6 (17.9)	576.2 (18.3)	26.8 (0.8)	7.1 (0.2)	1,980.8 (62.8)	0.0 (0.0)	3,155.9 (100)
Oenam cheon	32.8 (10.9)	72.5 (24.0)	0.0 (0.0)	6.9 (2.3)	190.1 (62.9)	0.0 (0.0)	302.2 (100)
Bosung cheon	462.6 (12.7)	789.3 (21.6)	10.8 (0.3)	47.2 (1.3)	2,324.2 (63.6)	22.5 (0.6)	3,656.4 (100)
Dongbok cheon	152.8 (12.2)	245.3 (19.6)	0.6 (0.0)	10.7 (0.9)	840.3 (67.2)	0.0 (0.0)	1,249.7 (100)
Songgwang cheon	36.9 (8.2)	93.7 (20.7)	0.0 (0.0)	94.2 (20.8)	227.6 (50.3)	0.0 (0.0)	452.4 (100)
Naenam cheon	2.3 (4.8)	6.0 (12.5)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	39.8 (82.7)	0.0 (0.0)	48.1 (100)
Sinpyeong cheon	1.4 (3.8)	0.0 (0.0)	0.1 (0.3)	0.0 (0.0)	35.2 (95.9)	0.0 (0.0)	36.7 (100)

※ ( ) : %

역 모두 토지계로부터 배출되는 부하량이 가장 많았으며, 축산계, 생활계 순으로 나타났으며, 송광천을 제외하고 산업계, 양식계, 매립계가 차지하는 비중이 낮게 조사되었다.

### 3.4. 회귀식 적용 결과

#### 3.4.1. 유량-BOD 유달을 적용결과

조사기간동안 보성천, 동북천, 송광천, 내남천, 신평천에서 총 9회의 모니터링 자료를 통하여 산정된

Table 5. Discharged T-P load from study sites

Unit : kg/day

Sites	Population	Livestock	Industrial activities	Aquaculture	Land use	Landfill	Total
Hwangryoung A	210.7 (11.4)	273.6 (14.8)	10.6 (0.6)	1.7 (0.1)	1,355.2 (73.1)	2.2 (0.1)	1,854.0 (100)
Oenam cheon	2.0 (10.0)	3.8 (18.9)	0.0 (0.0)	0.4 (2.0)	13.9 (69.2)	0.0 (0.0)	20.1 (100)
Chooryeong cheon	5.1 (8.3)	18.4 (29.8)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	38.2 (61.9)	0.0 (0.0)	61.8 (100)
Bosung cheon	24.3 (12.5)	34.9 (18.0)	0.9 (0.5)	2.5 (1.3)	129.9 (67.1)	1.2 (0.6)	193.7 (100)
Dongbok cheon	9.0 (11.6)	9.7 (12.5)	0.0 (0.0)	0.6 (0.8)	58.2 (75.1)	0.0 (0.0)	77.5 (100)
Songgwang cheon	1.2 (4.5)	4.7 (17.6)	0.0 (0.0)	5.0 (18.7)	15.8 (59.2)	0.0 (0.0)	26.7 (100)
Naenam cheon	0.2 (5.6)	0.3 (8.3)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	3.1 (86.1)	0.0 (0.0)	3.6 (100)
Sinpyeong cheon	0.4 (14.8)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	2.3 (85.2)	0.0 (0.0)	2.7 (100)

※ ( ) : %

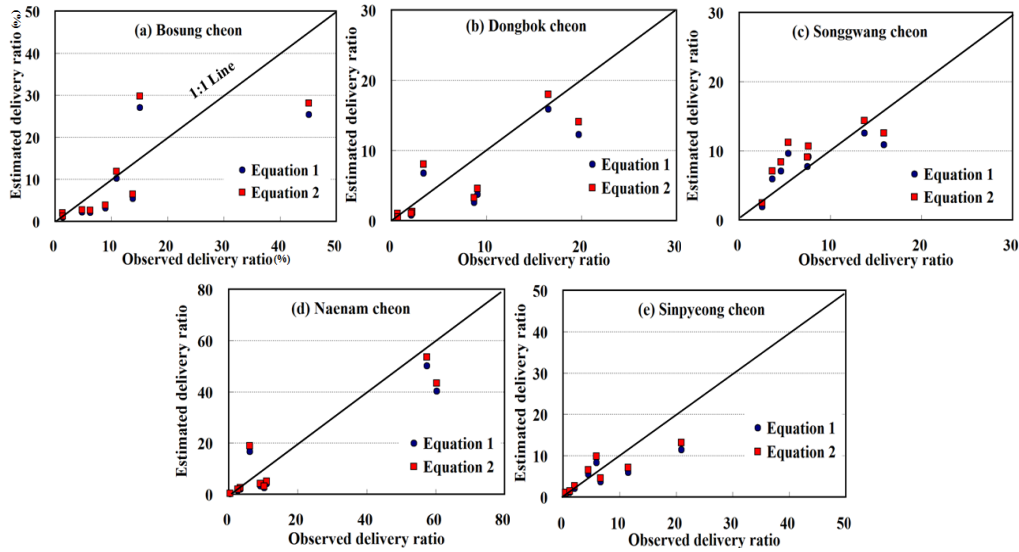


Fig. 4. Comparison of observed and estimated BOD delivery ratio for subwatersheds in Juam Lake.

BOD 유달율과 Equation 1과 Equation 2를 통하여 산정된 BOD 유달율의 비교결과는 Fig. 4와 같고, 실측치와 추정치의 오차의 통계값(RMAE), 효율지수(EI), %difference, 결정계수( $R^2$ )는 Table 6과 같다. Equation 1은 보성천과 동북천, 내남천에서 EI가 0.5 이상, %difference는 35이하를 만족하면서 결정계수( $R^2$ )가 0.6이상을 보여 적용성이 있는 것으로 나타났다. 송광천의 경우 EI가 음의값을 나타내었으며, 송광천과 신평천 모두 %difference는 35를 초과하였으며, 결정계수는 0.6 이하의 값을 보여 Equation 1과 Equation 2의 적용성이 낮게 나타났다. 이러한 이유는 회귀식 개

발 유역인 외남천 유역과 황룡 A유역의 BOD 배출부하량 분포와 적용유역인 보성천, 동북천, 내남천의 BOD 배출부하량의 분포가 대부분 토지계와 축산계의 배출부하량이 85% 이상인 반면, 송광천의 경우 양식계가 20%, 신평천의 경우 토지계가 96%로, 토지계와 축산계의 배출부하 분포가 대부분인 외남천과 황룡 A유역과 다른 배출 형태를 보였다. 따라서 회귀식 개발 대상지구와 BOD 배출부하특성이 비슷한 유역에서의 유량자료만 있다면 기 개발된 유량-유달율 식 적용이 가능할 것으로 판단된다.

Table 6. RMAE, EI, and  $R^2$  values between observed and estimated BOD delivery ratio

Application sites	Equations	RMAE(%)	EI	%difference	R2	Accept
Bosung cheon	Equation1	0.50	0.54	27.65	0.61	○
	Equation2	0.48	0.58	17.75	0.61	x
Dongbok cheon	Equation1	0.41	0.66	30.08	0.76	○
	Equation2	0.38	0.73	18.04	0.77	○
Songgwang cheon	Equation1	0.85	-10.13	66.51	0.26	x
	Equation2	0.95	-10.13	85.78	0.27	x
Naenam cheon	Equation1	0.38	0.84	24.94	0.90	○
	Equation2	0.33	0.87	17.53	0.90	○
Sinpyeong cheon	Equation1	0.37	0.63	40.81	0.15	x
	Equation2	0.36	0.71	57.61	0.16	x

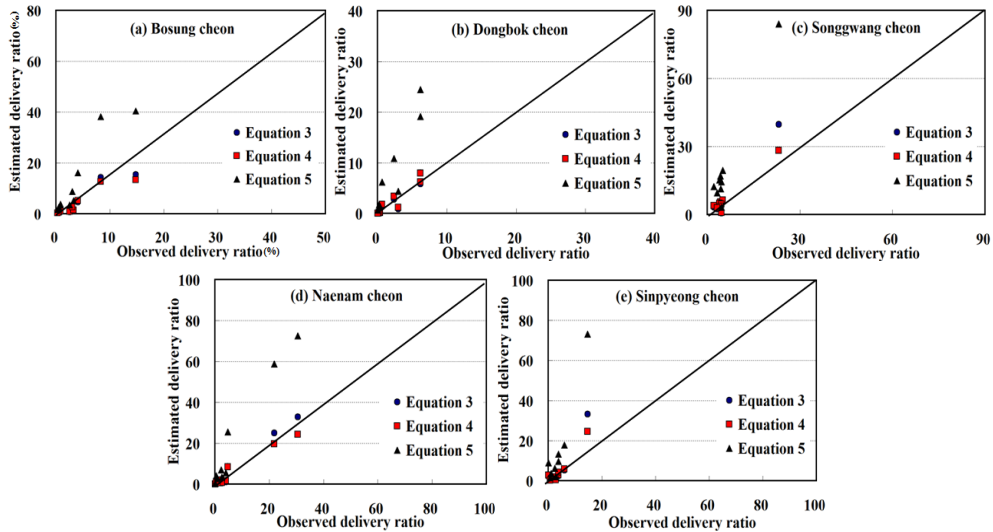


Fig. 5. Comparison of observed and estimated T-P delivery ratio for subwatersheds in Juam Lake.

3.4.2. 유량-T-P 유달을 적용결과

실측 T-P 유달율과 Equation 3, 4, 5를 통해 산정된 유달율과의 비교결과는 Fig. 5와 같고 실측치와 추정치의 오차의 통계값(RMAE), 효율지수(EI), %difference, 결정계수(R<sup>2</sup>)는 Table 7과 같다. Equation 3을 보성천, 동북천, 송광천, 내남천, 신평천에 적용한 결과 신평천을 제외한 나머지 적용유역에 대해서 적용성이 있는 것으로 나타났다. Equation 4의 경우 회귀식 적용대상 지구의 R<sup>2</sup>는 모두 0.8 이상, %difference는 35이하로

나타났지만, EI 값이 음의 값으로 나타나 Equation 4의 적용성은 낮은 것으로 나타났다. 이러한 이유는 추령천유역의 T-P 오염부하량의 주요 공급원은 농경배수에 의한 인산질비료와 축산계 배출부하량을 고려해 볼 때 상당히 설득력이 있다. 우선, Equation 4의 개발 대상지구인 추령천 유역의 경우 전체 토지이용 중 논이 차지하는 비율이 전체의 11%로 적용대상지구의 면적이 차지하는 비율(2.9~6.4%)보다 높고 축산계 배출부하량도 전체 배출부하량의 29.8%로 적용대

Table 7. RMAE, EI, and R<sup>2</sup> values between observed and estimated T-P delivery ratio

Application sites	Equations	RMAE	EI	%difference	R2	Accept
Bongsung cheon	Equation3	0.11	0.74	4.55	0.88	○
	Equation4	0.8	-8.9	0.08	0.87	x
	Equation5	0.10	0.84	218.42	0.87	x
Dongbok cheon	Equation3	0.09	0.83	0.36	0.87	○
	Equation4	0.8	-10.0	6.99	0.88	x
	Equation5	0.10	0.82	261.16	0.88	x
Songgwang cheon	Equation3	0.36	0.10	23.03	0.97	○
	Equation4	1.8	-12.5	8.79	0.95	x
	Equation5	0.20	0.86	236.51	0.95	x
Naenam cheon	Equation3	0.10	0.96	4.97	0.96	○
	Equation4	0.70	-2.8	13.85	0.96	x
	Equation5	0.11	0.93	166.08	0.96	x
Sinpyeong cheon	Equation3	0.14	0.55	37.64	0.84	x
	Equation4	1.6	-23.0	20.59	0.91	x
	Equation5	0.28	0.30	280.16	0.91	x



상지구의 축산계배출부하량이 차지하는 비율(0.0~18.0%)보다 높아 Equation 4의 적용성이 낮은 것으로 판단된다. Equation 5의 경우 황룡 A유역과 적용유역 비슷한 배출특성을 보였지만, %difference가 35를 초과해 모형의 효율성이 낮은 것으로 나타났다. Equation 5를 적용했을 경우 EI와 R<sup>2</sup> 값은 양호하게 나타나 배출부하 특성이 비슷할 경우 경향은 다르지만 회귀식 기울기가 다를수 있음을 보여주고 있다. 따라서 토지이용과 배출부하 특성이 비슷한 유역일지라도 다양한 통계방법을 통해 회귀식을 검증한 후 적용해야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

주암호의 효율적인 수질관리에 필요한 유달을 산정하기 위해 문헌자료를 통해 기 개발된 유량-유달(BOD, T-P) 회귀식(5개 회귀식)을 조사하고 적용성을 검토하였다. 적용성 검토를 위해 주암호 상류 5개 소유역 하천(보성천, 동복천, 송광천, 내남천, 신평천)의 유량과 수질을 측정하였으며, 토지이용특성, 오염원별 BOD, T-P 배출부하량을 조사하였다. 관측된 유량-수질자료를 이용하여 유달을 산정하고, 이를 기 개발된 회귀식을 적용하여 추정된 유달과 비교하였다. 그 결과 유량-BOD 유달을 회귀식의 경우 오염원별 BOD 배출부하량이 비슷할 경우 유량자료만 있다면 회귀식을 이용하여 BOD 유달을 추정 가능한 것으로 나타났고, 유량-T-P 유달을 회귀식의 경우 토지이용과 배출부하량특성이 비슷하면 유량자료와 회귀식을 이용하여 T-P 유달을 추정 할 수 있는 것으로 나타났다. 하지만, 유량-유달을 회귀식의 범용적 사용을 위해서는 다양한 통계방법 통해 회귀식의 검증이 이루어져야 하며, 회귀식 개발대상지구와 적용지구의 유역특성이 정량적으로 얼마나 일치하는지에 대한 추가 연구가 필요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 2012년 영산강·섬진강수계 환경기초조사사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- 강문성, 박승우, 2003, 비점오염모형을 이용한 오염총량모의시스템의 개발 및 적용, 한국수자원학회지, 36(1), 117-128.
- 국립환경과학원, 2008, 제2단계 수계오염총량관리기술 지침.
- 국립환경과학원, 2008a, 영산강·섬진강수계 수질오염총량관리 유형별 유달을 산정방법 연구.
- 국립환경과학원, 2008b, 주암호 수질개선을 위한 상류지역 비점오염원 관리방안 연구(II), 1-2.
- 김문성, 신현석, 박주현, 김상단, 2009, 낙동강 오염총량관리 단위유역 유달을 경험공식, 한국물환경학회지, 25(4), 580-588.
- 김영주, 윤광식, 손재권, 최진규, 장남익, 2010, 추령천 유역의 유형별 유달을 계산, 한국농공학회지, 52(4), 19-26.
- 박지형, 공동수, 민경석, 2007, 유역형상과 수리특성을 고려한 경험론적 유달부하식 개발, 수질보전 한국물환경학회지, 23(6), 913-919.
- 손명기, 서수용, 서동일, 1995, 금강 하류부의 오염물질 발생현황과 유달을 고려한 유입오염부하량 산정, 대한환경공학회 춘계 학술연구발표회 논문집, 401-404.
- 윤영삼, 김문수, 유재정, 이해진, 이준배, 양상용, 2007a, 낙동강 유역에 대한 일별 유달부하량 산정모형 개발 I. 모델식의 보정 및 검증, 한국환경과학회지, 16(2), 203-210.
- 윤영삼, 김문수, 유재정, 이해진, 이준배, 양상용, 2007b, 낙동강 유역에 대한 일별 유달부하량 산정모형 개발 II. 모델식의 활용, 한국환경과학회지, 16(3), 333-345.
- 정재운, 윤광식, 주식훈, 최우영, 이용운, 류덕희, 이수용, 장남익, 2009, 회귀식을 이용한 황룡A 유역에서의 유형별 유달을 산정, 한국농공학회, 51(6), 25-31.
- 최동호, 정재운, 이경숙, 최유진, 윤광식, 조소현, 박하나, 임병진, 장남익, 2012, 유량-부하량관계식을 이용한 주암호 외남천 유역의 유형별 유달을 산정, 한국환경과학회지, 21(1), 31-39.
- 하성룡, 배명순, 2003, 수질모델링을 위한 수리·수문 인자분석, 한강수계관리위원회.
- Chung, S. W., Gassman, P. W., Kramer, L. A., Williams, J. R., Gu, R., 1999, Validation of EPIC for two watersheds in southwest Iowa. Journal of Environmental Quality, 28(3), 971-979.
- Donigian, Jr., A. S., 2000, HSPF Training workshop handbook and CD. Lecture #19. calibration and verification issues, Slide #L19-22, EPA headquarters,

- Washington information center, 10-14 January, 2000, Presented and prepared for U.S. EPA, Office of water, Office of science and technology, Washington, DC., Slide #L19-22.
- Green, C. H., Tomer, M. D., Di Luzio, M., Arnold, J. G., 2006, Hydrologic evaluation of the soil and water assessment tool for a lager tile-drained watershed in iowa, Transactions of the ASAE, 49(2), 413-422.
- Nash, J. E., Sutcliffe, J. V., 1970, Riverflow forecasting through conceptual model, Journal of Hydrology, 10(3), 282-290.
- Ramanarayanan, T. S., Williams, J. R., Dugas, W. A., Heuck, L. M., McFarland, A. M. S., 1997, Using APEC to identify alternative practiced for animal waste management. Minnea-polis, MN. ASAE Paper No. 97-2209.