유량-부하량관계식을 이용한 주암호 외남천 유역의 유황별 유달을 산정

최동호 · 정재운¹⁾ · 이경숙 · 최유진²⁾ · 윤광식* · 조소현¹⁾ · 박하나¹⁾ · 임병진¹⁾ · 장남익³⁾

전남대학교 지역바이오시스템공학과, ¹⁾국립환경과학원 영산강물환경연구소,

²⁾국립환경과학원 수질총량관리센터, ³⁾국립환경과학원 기후대기연구부 대기환경연구과

(2011년 8월 11일 접수; 2011년 9월 19일 수정; 2012년 1월 5일 채택)

Estimation of Pollutant Load Delivery Ratio for Flow Duration Using L-Q Equation from the Oenam-cheon watershed in Juam Lake

Dong-Ho Choi, Jae-Woon Jung¹⁾, Kyoung-Sook Lee, Yu-Jin Choi²⁾, Kwang-Sik Yoon*,
So-Hyun Cho¹⁾, Ha-Na Park¹⁾, Byung-Jin Lim¹⁾, Nam-Ik Chang³⁾

Department of Rural & Bio-Systems Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

¹⁾Yeongsan River Environment Research Laboratory, National Institute of Environmental Research,
Gwangju 500-480, Korea

²⁾National Institute of Environment Research, Water Pollution Cap System Division, Incheon 404-708, Korea

³⁾National Institute of Environment Research, Air Quality Research Division, Gwangju 500-480, Korea

(Manuscript received 11 August, 2011; revised 19 September, 2011; accepted 5 January, 2012)

Abstract

The objective of this study is to provide pollutant loads delivery ratio for flow duration in Oenam-cheon watershed, which is upstream watershed of Juam Lake. To calculate the delivery ratio by flow duration, rating curves and discharge-loads curves using measured data were established, then Flow Duration Curve(FDC) and pollutant loads delivery ratio curves were constructed. The results show that the delivery ratios for BOD₅ for abundant flow(Q₉₅), ordinary flow(Q₁₈₅), low flow(Q₂₇₅), and drought flow(Q₃₅₅) were 23.9, 12.7, 7.1, and 2.9%, respectively. The delivery ratios of same flow regime for T-N were 58.4, 31.2, 17.2 and 7.1%, respectively. While, the delivery ratios T-P were 17.3, 7.5, 3.4, and 1.1% respectively. In general, delivery ratio of high flow condition showed higher value due to the influence of nonpoint source pollution. Based on the study results, generalized equations were developed for delivery ratio and discharge per unit area, which could be used for ungaged watershed with similar pollution sources.

Key Words : BOD₅, Delivery ratio, Flow duration, Pollutant load, T-N, T-P

1. 서론

주암호는 250만 광주·전남의 상수원으로서 생활

용수는 물론 광양만원권의 산업단지에 공업용수를 공급하고 있으며, 수력발전, 홍수조절 등 다목적댐의 역할을 하고 있다. 주암호 유역은 섬진강의 제1지류인 보성강 중류에 위치해 있으며 행정구역상 순천시와 보성군, 장흥군, 담양군, 화순군에 걸쳐있고, 인구는 약 6만 명이며, 유역면적은 1029.41 km²로 유역의 74.6%는 산림이고, 농경지는 17.4%를 차지하고 있다.

*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

주암호는 주변이 대부분 산림으로 둘러싸여 있으며 유역 내에 소규모 농공단지 이외에는 산업시설이 없으므로 산업체에 의한 오염우려는 적다. 그러나 내·외부에서 유입되는 오염물질로 호소의 수질은 점점 악화되고 있는 실정이며, 특히, 매년 심화되고 있는 호소의 부영양화로 인해 여름마다 조류가 과잉 번식할 뿐만 아니라 여름철에 연녹색의 조류가 호소표면에 넓게 떠있을 때는 시각적으로 불쾌감을 주어 상수원에 대한 시민들의 신뢰도를 저하시키게 된다.

주암호의 수질에 큰 부하를 주는 요인은 강우시 대량 유입되는 하천수에 포함된 오염물질이며 주암호의 가장 큰 잠재적 오염원은 주변 농경지, 산림 그리고 비점오염원처럼 분포하는 인구와 소규모 축산, 위생 접객업소 등이라고 할 수 있다. 따라서 중요 관리대상인 주요 하천과 잠재적인 하천 오염원으로 작용할 수 있는 소규모 하천의 효율적인 수질관리가 필요하며 이를 위해서는 유역에서 발생하는 수질오염의 원인과 현황을 정량적으로 규명하고, 유역 말단에서의 유달 부하량 산정이 매우 중요하다.

현재 유달부하량 산정방법에는 실측에 의한 방법, 유역모형을 이용한 방법, 유달을 이용하는 방법 등 매우 다양하다. 이 중 임의 유역의 배출부하량이 해당유역의 말단에 도달하는 비를 말하는 유달율에 대한 연

구가 많이 이루어지고 있다(박 등, 2007; 손 등, 1995; 윤 등, 2007a, 2007b; 하와 배, 2003). 유달을 산정에 관한 연구는 김과 권(1993)이 북한천 상류유역의 유달율을 산정하여 제안한 이래로, 최 등(2009)은 SWAT 모형, 류 등(2008)은 BASIN/winHSPF 모형, 김 등(2009)은 Tank 모형을 이용하여 유달율을 산정하였다. 유 등(2006), 손 등(2009), 김 등(2010)은 실측유량과 수질자료를 이용하여 유달율을 산정하였고, 박 등(2007)과 정 등(2009)은 지형정보를 추출하여 회귀식을 개발한 후 유달율을 추정하는 연구를 수행한 바 있다.

본 연구는 외남천 유역에서 2007년부터 2008년까지 모니터링 자료를 이용하여 유황곡선작성, 유량-부하량 관계식을 개발하여 이를 부하량 산정에 적용한 후 외남천 유역의 유황별 유달을 산정함으로써, 주암호 상류유역의 효율적 수질관리를 위한 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 유역 현황

주암호 소유역중 하나인 외남천 유역은 섬진강 수계 지방하천으로 전남 화순군 한천면 고시리에서 발원하여 전남 화순군 남면 사평리에서 보성강으로 합

Fig. 1. Location and boundary of the Oenam-cheon watershed.

류한다. 유역의 총 면적은 58.41 km²이며, 유로연장은 15.65 km이며, 토지이용 형태는 산림은 81 %, 논 10 %, 밭 5 %, 주거 및 기타 4 % 로 임야를 제외한 논, 밭의 비율이 높은 전형적인 농촌유역이다(Fig 1).

2.2. 강우량 및 수문조사

외남천 유역의 수문자료와 유량을 측정하기 위해서 2007년 4월부터 2008년 11월까지 현장모니터링을 실시하였다. 시험유역의 강우량측정은 광주지방기상청의 자료를 이용하였고, 유역의 말단에 독일 OTT사의 공기방울 압력식 전자수위계인 Orphimedes 수위데이터 로거를 설치하여 수위자료를 획득하였다. 또한 유량자료를 확보하기 위해서 강우시 및 비강우시 유속을 측정한 후 수위-유량관계곡선식을 도출하여 유량으로 환산하였다. 강우시와 비강우시 수질 샘플을 채취하였으며, 수질공정시험법에 따라 분석하였다.

2.3. 오염원 발생, 배출, 유달부하량

외남천 유역에서의 발생부하량 및 배출부하량은 국립환경과학원 수계오염총량관리 기본계획 생활계, 토지계, 매립계, 토지계, 환경기초시설로 구분하였으며, 전국오염원자료(환경부, 2007)와 국토해양부 통계연보, 제 2단계 수질오염 총량관리 기본계획에 적용된 자료를 이용하였다. 유역내 발생부하량 및 배출부하량은 수계오염총량관리지침에 따라 산정하였으며, 유달부하량은 실제 유역에서 유량과 수질을 측정하여 외남천 유역의 유달부하량을 산정하였다.

2.4. 유량-유황곡선

하천의 전체 유량조건을 확률적으로 파악하는 방법으로 유량-유황곡선(Flow Duration Curve : FDC) 기법이 있다(한 등, 2007; 윤, 2007; 김 등, 2005; Dingman, 2002; Vogel 등, 1994). FDC는 하천 어떤 지점에서의 가용 하천유량의 규모와 변동성을 평가하기 위한 수단으로 작성되며(윤, 2007), 해당지점 일 유량자료를 이용하여 초과확률별 일 유량을 결정하고 도시화 한 후(윤, 2007), 유황별 확률을 구하면 된다. 정 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 확률

을 각각 26%, 51%, 75%, 97% 적용하였다.

2.5. 유량-유달부하량

일별 유달부하량을 산정하기 위해서는 일별 유량 및 수질자료가 필요하다. 하지만 일별 수질자료를 수집하고 분석하는 것은 시간, 비용, 노동력 등의 경제성의 이유로 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 일 유달부하량을 산정하기 위해서 유량(Q)과 유달부하량(L)의 관계식을 개발한 후 이를 적용하여 일 부하량을 산정하였으며, 이러한 방법은 다양한 연구자들에 의해 시도되었다(김 등, 2001; 정 등, 2009; 김 등, 2010; 장 등, 2010).

하천의 유량과 유달부하량은 경험적으로 식 (1)의 관계를 가진다. 이를 변환하면 식 (2)가 되며, 여기서 계수 b의 값이 1보다 크면 유량증가에 따른 농도의 증가를, b가 1이면 농도변화가 없으며, b가 1보다 작으면 유량증가에 따른 농도의 감소를 의미한다(김 등, 2001, 장 등, 2010).

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

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

여기서, L은 유달부하량, Q는 하천유량, a와 b는 계수이다.

2.6. 유달을 산정방법

현행 유달율은 해당유역에서의 배출부하량과 수질 및 유량측정지점에서의 유달부하량의 비로 정의되고 있으며, 측정된 유량과 수질 자료가 있는 경우 유달을 산정은 식(3)과 같이 산정하며 수질자료가 없는 일자에는 유량-유달 부하량 관계식을 이용 유달 부하량을 산정하고 유달율을 계산하였다.

$$K = \frac{C_e \times Q_e}{L_i} \quad (3)$$

여기서, K=유달율, C_e=대상물질농도(kg/m³), Q_e=하단부에서의 유량(m³/day), L_i= 해당구역에서의 배출부하량(kg/day)

3. 결과 및 고찰

3.1. 수문조사결과

2007년 및 2008년 조사기간동안 외남천 유역에서의 강우량 자료는 광주지방기상청 자료를 이용하였으며, 총 강우량은 각각 1,254 mm, 951 mm 였고, 총 유출량은 각각 926 mm, 577 mm 였다. 2007년, 2008년 모두 7월부터 8월까지 강우가 집중됨을 보였으며, 두 기간모두 강우에 대한 유출량 변화를 잘 나타내었다 (Fig. 2).

3.2. 오염원 현황 및 발생 및 배출부하량

2007년기준으로 외남천 유역의 인구는 2,216명으로 조사되었으며, 토지이용 현황은 밭 2.1 km², 논 5.6 km², 임야 49.3 km², 대지 1.5 km², 기타 2.8 km² 으로 임야가 전체 토지이용의 80%를 차지하고 있었으며, 그 다음으로 논 9%, 밭 4% 순 이었다. 외남천 유역의 가축은 2004년부터 2007년까지 각각 1,173마리, 41,688마리, 51,611마리, 53,049마리로 꾸준히 증가하였고, 특히 가금류에서 많은 증가를 보였다.

BOD₅의 총 발생부하량은 1,136.7 kg/day 중 축산계의 기여율이 71.0 % 로 가장 컸으며, 그 다음으로 토지계 16.7 %, 생활계 11.7 %, 양식계 0.6 % 였으며, 매립계 부하량은 발생하지 않았다. BOD₅ 배출부하량은 302.2 kg/day였고, 토지계의 기여율이 62.9 % 로 가장 높았으며, 축산계 24.0 %, 생활계 10.8 %, 양식계 2.3 % 였으며, 산업계와 매립계는 배출되지 않았다. T-N의 총 발생부하량은 413.1 kg/day 였으며, 토지계 45.2 % 로 가장 큰 기여율을 보였으며 축산계 45.6 %, 생활계 8.8 %, 양식계 0.3 % 였으며, 산업계와 매립계는 오염부하량이 발생하지 않았다. T-N 배출부하량은 234.6 kg/day 였으며, 토지계의 기여율이 79.7 % 로 가장 컸으며, 축산계 12.3 %, 생활계 7.5 % 였으며, 산업계와 매립계는 배출되지 않았다. T-P의 총 발생부하량은 82.1 kg/day였으며, 축산계의 77.8 % 로 기여율이 가장 컸으며, 토지계 17.0 %, 생활계 4.8 %, 양식계 0.4 % 였으며, 매립계는 부하량이 발생하지 않았다. T-P배출부하량은 20.1 kg/day였으며, 토지계가 69.5 % 로 가장 큰 기여율을 보였으며, 축산계 19.0%, 생활계

Fig. 2. Daily precipitation and discharge at the Oenam-cheon watershed.

Fig. 3. Generated and discharge BOD₅ loads at the Oenam-cheon watershed.

Fig. 4. Generated and discharge T-N loads at the Oenam-cheon watershed.

Fig. 5. Generated and discharge T-P loads at the Oenam-cheon watershed.

9.8%, 양식계 1.8%였으며. 산업계와 매립계는 배출되지 않았다. BOD₅, T-N, T-P 모두 축산계에서 발생부하량의 기여율이 가장 컸으나, 배출부하량에서는 토지계의 기여율이 가장 컸다(Fig. 3~Fig. 5).

3.3. 유량-유황곡선

조사기간동안 수위와 유량측정 자료를 이용하여 확률적으로 유황곡선을 작성하였다. 장기간의 자료를 이용하여 유황곡선을 작성해야 하나 장기 실측자료의 부재로 본 연구에서는 2007년부터 2008년 자료를 이용하였다. Fig. 6는 유황곡선으로 외남천 유역에서 일 유량자료를 사용하여 초과백분율별 일 유량을 결정하여 풍수량(Q₉₅), 평수량(Q₁₈₅), 저수량(Q₂₇₅), 갈수량(Q₃₅₅)에 해당하는 유량을 나타낸 것이며, 외남천유역의 풍수량은 1.25 m³/s, 평수량은, 0.63 m³/s, 저수량은 0.34 m³/s, 갈수량은 0.13 m³/s로 조사되었다.

Fig. 6. Flow duration curves at the Oenam-cheon watershed (2007-2008).

3.4. 유량-부하량 관계곡선식

외남천 유역의 2007년부터 2008년까지 실측 유량과 수질자료를 이용하여 유량-부하량 관계식을 개발하였으며 그 결과는 Fig. 7과 Table 1과 같다. BOD₅와 T-N의 경우 유량 지수가 모두 1보다 작아 유량증가에

따라 농도가 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 유량 증가시 농도의 희석효과가 나타나기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 T-P의 경우 유량 지수가 1보다 크게 나타나 유량증가에 따라 농도가 증가하는 것으로 나타났다는데, 이는 강우 시 증가된 유량과 더불어 다량의 토사가 유출되었으며 이 과정에서 토사에 흡착된 인이 다량으로 유출되었기 때문인 것으로 판단된다.

Table 1. Regression equations for discharge and delivery pollutant loads

Pollutant	Equation	R ²
BOD ₅	$L=0.0014 \times Q^{0.9356}$	0.84
T-N	$L=0.0028 \times Q^{0.9345}$	0.96
T-P	$L=0.000002 \times Q^{1.2415}$	0.95

L: kg/day, Q: m³/day

3.5. 유황별 유달율

조사기간동안 유량-부하량 관계식과 배출부하량을 통해 산정된 유황별 BOD₅, T-N, T-P의 유달율은 Fig. 8과 Table 2와 같다. BOD₅ 기준유량인 저수량의 유달율은 7.1% 였으며, 풍수량, 평수량, 갈수량의 유달율은 각각 23.9%, 12.7%, 2.9%로 나타났다. T-N의 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량의 유달율은 각각 58.4%, 31.2%, 17.2%, 7.1%로 나타났으며, T-P의 경우 기준유량인 평수량에서의 유달율은 7.5% 였고, 풍수량, 저수량, 갈수량의 유달율은 각각 17.3%, 3.4%, 1.1%로 나타났다(Table 2). 전반적으로 외남천유역의 유황별 유달율은 하천의 유량이 감소함에 따라 유달율이 감소하는 경향을 보였는데 이는 유량이 감소할수록 유속이 감소하기 때문에 유역말단에 도달하는 오염물질의 이송율이 저감되었기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 결과는 정 등(2009)과 김 등(2009)의 연구결과와도 유사하였다.

Fig. 7. Relationship between discharge and delivery pollutant loads.

Fig. 8. BOD₅, T-N and T-P delivery ratio curves at the Oenam-cheon watershed.

Table 2. Pollutant load Delivery ratio considering flow duration at the Oenam-cheon watershed

Pollutant	Delivery ratio by flow duration			
	Q ₉₅	Q ₁₈₅	Q ₂₇₅	Q ₃₅₅
BOD ₅	23.9%	12.7%	7.1%	2.9%
T-N	58.4%	31.2%	17.2%	7.1%
T-P	17.3%	7.5%	3.4%	1.1%

3.6. 유량-유달율 회귀식 개발

외남천 유역에서 2007년~2008년 실측 유달부하량

과 배출부하량 자료를 이용하여 단위면적당 유량 및 유달율 회귀식을 개발하였다(Fig 9, Table 3) 개발된 회귀식의 적합성 평가는 결정 계수 (R^2)를 이용하였으며, 그 결과는 Table 3과 같다. Green 등(2006) 과 Chung 등(1999)은 R^2 가 0.5 이상, Ramanarayanan 등 (1997)과 Santhi 등(2001)은 R^2 가 0.6 이상이면 회귀 곡선의 추세값을 잘 반영한다고 제안하였다. 본 연구에서의 개발한 단위면적당 유량 및 오염물질 항목별 (BOD₅, T-N, T-P) 유달율 회귀식의 R^2 가 모두 0.8이 상으로 유량과 유달율은 유의성이 매우 높은 것으로 나타났다.

Fig. 9. Regression curve for delivery ratio and daily discharge per unit area.

Table 3. Regression curves for BOD₅, T-N, and T-P delivery ratio and unit flow at the Oenam-cheon watershed

Pollutant	Y: Delivery ratio(%)	R ²
BOD ₅	$Y = 1626X^{1.06}$	0.83
T-N	$Y = 1812X^{0.91}$	0.94
T-P	$Y = 2382X^{1.30}$	0.95

* X: Q(m³/sec/km²)

4. 결론

본 연구는 효율적인 주암호 수질관리에 필요한 유황별 유달율을 산정하기 위해 우선, 유황곡선을 작성하고, 유량-부하량관계식을 통하여 유달부하량을 산정하고 산정된 유달부하량과 배출부하량 자료를 이용하여 유황별 유달율을 산정하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 조사기간동안 외남천유역의 풍수량(Q₉₅), 평수량(Q₁₈₅), 저수량(Q₂₇₅), 갈수량(Q₃₅₅)은 각각 1.25 m³/s, 0.63 m³/s, 0.34 m³/s, 0.13 m³/s 로 나타났다.
- 2) 유량-부하량 관계식 산정결과 유량과 오염물질 항목별(BOD₅, T-N, T-P) 유달부하량과의 결정계수가 각각 0.84, 0.96, 0.95로 나타나 유량-부하량 관계식의 유의성이 있는 것으로 나타났다. 또한, 유량-부하량 관계곡선에 의하면 외남천유역의 경우 BOD₅와 T-N은 유량증가에 따라 농도가 감소하는 것으로 나타났으며, T-P의 경우 유량증가에 따른 농도가 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 조사기간 동안 외남천 유역의 유황별 BOD₅ 유달율은 수질오염총량관리 기준유량인 저수량의 경우 7.1 %, 풍수량, 평수량, 갈수량의 경우 각각 23.9 %, 12.7 %, 2.9 % 로 나타났고 T-P 유달율은 평수량의 경우 7.5 %, 풍수량, 저수량, 갈수량의 경우 각각 17.3 %, 3.4 %, 1.1 % 로 조사되었

다. T-N의 경우 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량의 유달율은 각각 58.4 %, 31.2 %, 17.2 %, 7.1 %로 나타났다.

- 4) 외남천 유역의 단위면적당 유량 및 BOD₅, T-N, T-P 유달을 회귀식을 개발한 결과 결정계수(R²)가 모두 0.8이상으로 나타나 유량과 유달율은 유의성이 매우 높은 것으로 나타났으며 향후 오염원이 비슷한 미계측 유역의 유달을 추정에도 활용 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서 제시된 연구결과는 주암호 상류유역의 효율적 수질관리를 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다. 하지만, 본 연구는 관측기간이 짧고 특히, 개발된 유량-유달을 회귀식의 경우 적용성이 검증되지 않았기 때문에 추후 장기모니터링 및 회귀식 적용성 검증 등에 대한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 영산강·섬진강 수계 환경기초조사사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 김진하, 윤재영, 2005, 금강에 대한 대장균 부하 지속곡선의 개발 및 적용, 수질보전 한국물환경학회지, 21(5), 516-519.
- 김문성, 신현석, 박주현, 김상단, 2009, 낙동강 오염총량 관리 단위유역 유달율 경험공식, 수질보전 한국물환경학회지, 25(4), 580-588.
- 김영주, 윤광식, 손재권, 최진규, 장남익, 2010, 추령천 유역의 유황별 유달을 계산, 한국농공학회논문집, 52(4), 19-26.
- 김진수, 오승영, 김규성, 권순국, 2001, 광역논에서의 질소·인의 농도와 오염부하량 특성, 한국농공학회, 43(6), 163-173.
- 김한태, 권순국, 1993, 농촌유역에서의 수질오염 특성에 관한 연구, 한국환경농학회지, 12(2), 129-143.
- 류덕희, 박주현, 황하선, 신대윤, 강재홍, 김세름, 2008, 유역모델을 이용한 유달을 산정기법 연구 (I), 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동추계학술발표

- 회 논문집, 385-386.
- 박지형, 공동수, 민경석, 2007, 유역형상과 수리특성을 고려한 경험론적 유달부하식 개발, 수질보전 한국물환경학회지, 23(6), 913-919.
- 손태석, 박재범, 신현석, 2009, 낙동강수계 수질오염총량 관리를 위한 시범소유역 유황별 유달을 산정방법 연구, 수질보전 한국물환경학회지, 25(5), 792-802.
- 손명기, 서수용, 서동일, 1995, 금강 하류부의 오염물질 발생현황과 유달율을 고려한 유입오염부하량 산정, 대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문집, 401-404.
- 유혜은, 김재휘, 박장순, 김순택, 이은영, 천세역, 방규철, 심상보, 김태근, 2006, 유역모형을 이용한 대청호 유역의 오염물질 유달을 산정, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동 추계학술발표회, 12-22.
- 윤영삼, 김문수, 유재정, 이혜진, 이준배, 양상용, 2007a, 낙동강 유역에서 대한 일별 유달부하량 산정모델 개발 I. 모델식의 보정 및 검증, 한국환경과학회지, 16(2), 203-210.
- 윤영삼, 김문수, 유재정, 이혜진, 이준배, 양상용, 2007b, 낙동강 유역에서 대한 일별 유달부하량 산정모델 개발 II. 모델식의 활용, 한국환경과학회지, 16(3), 333-345.
- 윤용남, 2007, 수문학, 청문각, 947-948.
- 장주형, 이형진, 김현구, 박지형, 김지호, 류덕희, 2010, 점오염원과 비점오염원 부하량 정량화를 위한 수질·유량 모니터링 개선, 수질보전 한국물환경학회지, 26(5), 860-870.
- 정재운, 윤광식, 주석훈, 최우영, 이용운, 류덕희, 이수용, 장남익, 2009, 회귀식을 이용한 황룡A 유역에서의 유황별 유달을 산정, 한국농공학회논문집, 51(6), 25-31.
- 최대규, 신현석, 윤영삼, 김상단, 2009, SWAT 모형을 이용한 영양물질 모의 및 유달을 추정에의 적용, 수질보전 한국물환경학회지, 25(3), 375-385.
- 하성룡, 배명순, 2003, 수질모델링을 위한 수리·수문 인자분석, 한강수계관리위원회.
- 한수희, 신현석, 김상단, 2007b, 낙동강 유역관리를 위한 부하량 유황곡선의 적용가능성, 한국물환경학회지, 23(5), 620-627.
- Dingman, S. L., 2002, Physical Hydrology 2nd ed, Prentice Hall, New jersey.
- Vogel, R. M., Fenessey, N. M., 1994, Flow-duration curves 1 new interpretation and confidence intervals. Journal of Water Resources Planning and Management ASCE, 120(4), 485-504.