Research Article

Open Access

대청호 상류유역의 기 개발된 유달부하량 산정식의 적용성 평가

이준배,¹ 김갑순,¹ 이규승,² 윤영삼,³ 임병진,¹ 정재운,^{1*}

¹국립환경과학원 영산강물환경연구소, ²충남대학교 응용생명과학과, ³국립환경과학원

Evaluation of Application to Pre-Developed Delivery Load Equation at Upper Watershed of the Daechung Reservoir

Jun-Bae Lee,¹ Kap-Soon Kim,¹ Kyu-Seung Lee,² Young-Sam Yoon,³ Byung-Jin Lim¹ and Jae-Woon, Jung¹(¹Yongsan River Environment Research Center, 1110-8 Oryong-dong, Buk-gu, Gwangju 500-480, Republic of Korea, ²Department of Applied Biology & Chemistry, College of Agriculture & Life Science, Chungnam Nat'l Univ., 99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Republic of Korea, ³Environmental Research Complex, Kyungseong-dong, Seo-gu, Incheon 404-170, Republic of Korea)

Received: 12 March 2012 / Accepted: 26 March 2012

© 2012 The Korean Society of Environmental Agriculture

Abstract

BACKGROUND: To improve the Daechung reservoir water quality, a quantitative estimation of the delivery load from upper watershed need to be conducted prior to others. To do so, an intensive monitoring is necessary because of the complexity and uncertainty of the delivery load from upper watershed. However, intensive monitoring need to invest much time, cost, and effort. So, many researcher have developed an equation to estimate the delivery loads. But, relatively little research has been conducted on the applicability of pre-developed equation using other sites. Therefore, the objective of this study was to evaluate application of the equation for BOD, T-N and T-P delivery load.

METHODS AND RESULTS: To verify the applicability of the equation, the following equation was used; $\text{Delivery loads(kg/day)} = \text{generated pollutant loads} \times (1-\alpha) \times (\text{daily outflow}/\beta)^{\gamma}$. The equations could be calculated the daily delivery loads of streams without any data of water quality, only with the data of daily runoff of study sites. The equations were applied to Youngdogcheon, Chogangcheon,

Bocheongcheon, Sookcheon to examine its applicability using monitoring data. The results showed that the estimated delivery loads were in a good agreement with the observed data and indicated reasonable applicability of the equations.

CONCLUSION(s): Overall, the equations were satisfactory in estimation of delivery loads at upper watershed of the Daechung reservoir. Therefore, the equations could be contributed to better water quality management in the Daechung reservoir.

Key Words: BOD, Delivery load, Equations, T-N, T-P

서론

대전 청주권의 중요한 식수원인 대청호의 수질변화는 대청호를 생활 용수원으로 하는 중부권 전지역에 직접적으로 영향을 미칠 뿐만 아니라, 금강수계의 하류에 위치한 충청권 전역에 간접적으로 영향을 미치게 되므로, 대청호 수질변화는 충청권 전 지역에 영향을 미치고 이에 따른 종합적인 수질개선 대책이 요구되고 있다.

다목적 저수지의 수질개선 대책 수립을 위해서는 우선 호소 유입수의 오염부하량을 보다 정확하게 산정 할 수 있어야 할 것이다. 이러한 다목적 호소의 효율적인 수질관리를 위해서는 호소 상류 유역별로 발생하는 오염원의 양을 구체적으

교신저자(Corresponding author),
Phone: +82-62-970-3918; Fax: +82-62-970-3959;
E-mail: sustainwater@korea.kr

로 파악하는 작업이 필요하고, 다음으로 이들 각종 오염원에서 배출된 오염물질이 호소에 유입되는 과정에서 영향을 받게 되는 유역의 각종 요인들(강우, 식생의 분포, 유역의 토지 이용 상태 등)의 변화를 조사·분석하는 것이 필요하다.

이러한 오염물질의 양을 조사·분석하는 방법들은 다양한데, 이중 유달부하량의 산정방식은 유역에서의 유량과 부하량의 실측치를 통계적 분석을 통하여 하나의 식으로 나타내는 유량-부하량 관계식에 의한 계산법과 수학적인 모형을 이용하여 유역에서의 발생 부하량으로부터 간접적으로 추정하는 방법 등이 있으며, 유량-부하량 방법은 유역의 특성이 우리나라와 비슷한 이웃 일본에서 비교적 많이 이루어졌다. Gunnerson(1967)은 오염부하량과 유량의 관계식을 $L=aQ^b$ (L:유달부하량, Q:유량, a,b:상수)로 제안하였는데, 이는 실측 데이터를 기초로 구한 회귀식으로서, 수문모델에서 유량을 구하고 이를 Q-L식에 대입하여 오염부하량을 구하는 방법이다. 또한 Tabuchi와 Kuroda(1993)는 유량과 강우량을 관계시킨 $L=aQ^2+f(R)$ (L:유달부하량, Q:유량, f(R):강우량 함수, a:상수)의 식을 통해 유달부하량을 구할 수 있는 방법을 제안하였으며, Tabuchi와 Hiroshi(1987)는 유량-부하량 관계식의 신뢰성에 관한 고찰에서 곡선형 식이 직선형보다 실측치에 대한 오차가 적으며, T-N성분이 다른 오염물질보다 실측치에 대한 오차가 작다는 연구결과를 발표하였다. 한편, 오염부하량의 산정에 관한 국내 연구로는 Yoon 등(2007)이 낙동강 유역을 대상으로 일별 유달부하량 산정식을 개발하였으며,

Park 등(2008)은 팔당호 상류유역에 지형인자와 배출부하량을 매개변수로 하는 경험론적 유달관계식을 이용하여 유달부하량을 산정하였으며, Kim 등(2009)은 낙동강 오염총량관리단위유역에 유달을 경험공식을 개발하여 적용한 바 있다. 하지만, 오염부하량 산정에 관한 연구는 대부분 모니터링을 통해 관측된 데이터를 이용하여 산정식을 개발하고 그 지역에 다시 적용하는 방식으로 이루어져 왔으며 이 식을 미세측 유역에 적용하여 그 적용성을 검토한 연구는 매우 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 Yoon 등(2007)이 개발한 유달부하량 산정식을 이용하여 대청호 상류유역인 영동천, 초강천, 보청천, 소옥천에 적용함으로써 기 개발된 유달부하량의 적용성을 평가하고 향후, 대청호 수질관리를 위한 기초자료를 제공하는 데 목적이 있다.

재료 및 방법

조사지역

본 연구의 조사지점은 대청댐 상류에 위치한 보청천(BCC), 초강천(CGC), 영동천(YDC), 소옥천(SOC)이며 각각의 측정위치는 보청천의 경우 북위 36°17'911", 동경 127°41'308", 초강천은 북위 36°14'194", 동경 127°43'276", 영동천은 북위 36°13'115", 동경 127°42'595", 소옥천은 북위 36°19'379", 동경 127°33'199"에 위치해 있으며(Fig. 1), 각각 유역의 지형특성은 Table 1과 같다.

Fig. 1. Location of study site.

Table 1. The topography factors of study watersheds.

Basin	Area (km ²)	Length of Main Stream (km)	Total Length of Stream (km)	Perimeter (km)	Center Length of River (km)	Max. EL. (m)	Min. EL. (m)	Slope (%)
YDC	144.1	24.0	175.0	67.2	20.2	943.0	123.6	6.8
CGC	665.7	66.0	739.9	181.6	18.5	1241.7	119.8	4.4
BCC	552.5	66.3	676.8	141.3	16.5	1057.7	108.5	4.0
SOC	185.5	26.0	229.7	74.5	6.0	704.8	99.5	4.4

수질 및 유량조사

본 연구의 수질 및 유량은 2000년에 조사한 자료를 이용하였으며, 수질 및 유량조사 방법은 환경부 수질오염공정시험기준에 준하여 실시하였으며, 수질 및 유량조사 횟수는 CGC와 YDC는 12회, BCC는 30회 SOC는 22회 측정하였다.

하천별 발생부하량

본 연구의 발생부하량은 금강수질보전대책 시군 별 오염원 자료를 기초로 산정하였으며, 하천 및 오염원별 발생부하량은 Table 2와 같다. BCC의 BOD, T-N, T-P의 발생부하량이 가장 높게 나타났으며, CGC, YDC, SOC의 순으로 발생부하량이 높게 조사되었다.

Table 2. The BOD, T-N and T-P load for study watersheds

Streams	BOD (kg/day)	T-N (kg/day)	T-P (kg/day)
YDC	4,607	1,481	317.2
CGC	14,320	5,134	1,062.9
BCC	19,437	6,749	1,437.3
SOC	9,188	2,199	341.2

일유량 추정

본 연구의 유달부하량 산정식 적용을 위해서는 일 유출량이 필요하며, 이를 구하기 위해 본 연구에서는 우리나라의 강우와 지형특성을 고려한 일 유출량 모형인 DAWAST(Daily Watershed Stream Model)모형을 적용하여 일 유출량을 추정하였다. DAWAST 모형은 우리 고유의 수문기상, 지상 자료를 이용하여 개발한 개념적 집중형 일 유출 모형이며, 토양층을 불포화층과 포화층으로 구분하여 유역토양 물수지에 의해 토양수분저류능을 일별로 나타내 일 강우, 증발자료를 입력하여 불포화층의 최대토양수분함량(UMAX), 포화층의 최대수분함량(LMAX), 포장용수량(FC), 침투투수계수(CP), 유역증발산계수(CE) 등 5개 매개변수를 조정하여 일 유출을 모의한다(Noh and lee, 2011). DAWAST 모형에 대한 보다 자세한 내용은 Noh와 Lee(2011)의 논문을 참조할 수 있다.

오염원별 유달부하량 산정식

본 연구에서 이용한 유달부하량 산정식의 형식은 식(1)~(3)과 같다. 이 식의 자세한 이론적 개념 및 배경은 Yoon 등

(2007)의 논문을 참조할 수 있다.

$$\text{BOD} \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right) = \text{BOD 발생부하량} \times (1 - \alpha) \left(\frac{\text{일유출량}}{\beta} \right)^{\gamma} \quad (1)$$

$$\text{TN} \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right) = \text{TN 발생부하량} \times (1 - \alpha) \left(\frac{\text{일유출량}}{\beta} \right)^{\gamma} \quad (2)$$

$$\text{TP} \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right) = \text{TP 발생부하량} \times (1 - \alpha) \left(\frac{\text{일유출량}}{\beta} \right)^{\gamma} \quad (3)$$

위의 수식 (1)~(3)에 포함된 상수 α 는 발생된 오염물질의 토양침투, 토양흡착, 식물흡수, 자연에 의한 자정작용, 각종 처리시설에 의한 처리효율 등이 종합적으로 고려된 상수로 실측치에 대한 시행착오법을 통해 유역별, 항목별로 추정해야 하며, β 는 2000년 일별 유출량을 년 평균 유출량으로 나눈 무차원 수로 유역별로는 다르지만 항목에 관계없이 일정한 상수이다. 그리고 γ 는 유달부하량을 실측치에 접근시키는 상관지수이다(Yoon et al., 2007). 따라서, 유달부하량 산정식을 미계측 유역에 적용하기 위해서는 α , β , γ 의 매개변수 추정이 필요하며, 본 연구에서는 매개변수 추정을 위한 방법으로는 시행착오법에 의한 최적적합법을 이용하여 매개변수를 추정하였다.

결과 및 고찰

유량 및 수질 조사결과

영동천(YDC), 초강천(CGIC), 보청천(BCC), 소옥천(SOC)의 월평균 유량 및 수질측정결과는 Fig. 2와 같다. 조사기간 동안 YDC의 유량은 0.7~15.4 m³/s의 범위로 나타났으며, 평균유량은 4.2 m³/s로 나타났다. 또한, CGC, BCC, SOC의 유량범위는 각각 3.0~59.9, 2.6~54.5, 0.9~18.6 m³/s로 나타났으며, 평균유량은 각각 16.3, 15.0, 5.1 m³/s로 조사되었다. 유역면적이 가장 큰 CGC의 평균유량이 가장 크게 조사되었으며, 유역면적이 가장 작은 YDC의 평균유량이 가장 작게 조사되었다. 한편, YDC, CGC, BCC, SOC의 BOD 평균농도는 각각 1.5 mg/L(범위:0.5~2.8 mg/L), 1.3 mg/L(0.5~3.5 mg/L), 1.1 mg/L(0.9~1.3 mg/L), 2.0 mg/L(0.9~4.9 mg/L)로 나타났고, T-N의 경우 5.4 mg/L(3.6~7.0 mg/L), 2.0 mg/L(1.2~3.1 mg/L), 2.3

mg/L(1.6~3.0 mg/L) 3.9 mg/L(3.1~4.9 mg/L)로 나타났다. T-P의 경우 YDC의 평균농도는 0.10 mg/L(0.04~0.21 mg/L)로 나타났으며, CGC, BCC, SOC의 평균농도는 각각 0.01 mg/L(0.01~0.03 mg/L), 0.03 mg/L(0.001~0.09 mg/L), 0.23 mg/L(0.04~1.64 mg/L)로 나타났다. 전반적으로 SOC의 수질이 나쁜 것으로 나타났는데, 이는 SOC의 경우 계절에 관계없이 꾸준히 옥천군 환경사업소 방류수로부터 오염물질이 유입되었기 때문인 것으로 판단된다.

유달부하량 조사결과

관측된 유량과 수질자료를 이용하여 YDC, CGC, BCC,

SOC의 월평균 BOD, T-N, T-P 유달부하량 산정한 결과는 Fig. 3과 같다. YDC와 CGC의 BOD 평균 부하량은 각각 371.8 kg/day와 1,268.9 kg/day로 나타났으며, BCC와 SOC의 BOD 평균 부하량은 각각 1,317.2 kg/day와 711.3 kg/day로 나타났다. T-N의 경우 YDC, CGC, BCC, SOC의 평균 부하량은 각각 1,824.5, 2,997.8, 3,376.3, 1,579.4 kg/day로 나타났으며, T-P의 경우 YDC는 24.9 kg/day, CGC 14.6 kg/day, BCC 64.2 kg/day, SOC 70.1 kg/day로 조사되었다. 조사지점의 오염물질별 유달부하량은 홍수기(6월~9월)에 전체 부하량의 약 80% 이상이 유출되는 것으로 나타났다.

Fig. 2. Monthly average values for Flow, BOD, T-N, and T-P concentrations.

Fig. 3. Monthly average values for BOD, T-N, and T-P delivery loads.

일유량 추정

YDC, CGC, BCC, SOC의 DAWAST 모형의 매개변수는 Table 3과 같고, 이 매개변수를 DAWAST 모형에 적용하여 유출량을 추정하였다. Fig. 4는 YDC, CGC, BCC, SOC의 실측유량과 DAWAST 모형을 통해 추정된 유출량과의 비교 결과를 나타낸 것이다. 모형의 추정오차를 평가하기 위해 결정계수(Coefficient of determination, R^2)를 이용했으며, Green 등(2006), Ramanarayanan 등(1997)은 R^2 가 0.5이상이면 모의치가 실측치를 잘 반영한다고 제안하였다. 따라서 본 연구에서도 R^2 이 0.5이상일 때까지 DAWAST 모형을 보정하여 일 유출량을 추정하였으며, 각 지점별 실측치와 추정치의 비교결과는 Fig.4와 같고 이를 일유량으로 추정한 결과는 Fig. 5와 같다.

Table 3. The parameters of DAWAST model for study sites

Basins	UMAX mm	LMAX mm	FC mm	CP	CE
YDC	347	27	149	0.017	0.008
CGC	331	21	193	0.009	0.012
BCC	307	22	158	0.016	0.009
SOC	336	25	132	0.017	0.008

유달부하량 산정식의 매개변수 추정 및 적용성 검토

유달부하량 산정식에 포함된 매개변수를 구하는 과정은 먼저 측정된 실측 유달부하량을 평균하고 유달부하량 산정식에 포함된 매개변수를 변화시켜가며 평균 유달부하량에 최대

한 근접시켜 매개변수를 구한다. 이상의 방법을 이용하여 조사지점별 매개변수 산정결과는 Table 4와 같고, Fig. 6~9는 BOD, T-N, T-P의 조사지점별 실측부하량과 추정부하량의 일별 변화와 산포도를 나타낸 것이다. 그 결과 예측식 개발을 통해 추정된 BOD, T-N, T-P의 유달부하량과 실측부하량 값의 R^2 가 모두 0.6이상으로 나타나 본 연구에서 적용한 유달부하량 산정식은 조사지점의 BOD, T-N, T-P의 일별 부하량의 특성을 잘 반영하는 것으로 나타났으며, 이는 유달부하량 산정식의 적용성이 높다는 것을 의미한다. 이와 동시에 일 유출량만 획득할 수 있다면, 시간, 인력, 비용 등의 경제적 비용이 많이 소모되는 현장에서의 지속적인 모니터링을 하지 않고도 간접적인 방법으로 비교적 정확히 BOD, T-N, T-P 유달부하량을 산정할 수 있음을 의미한다.

Fig. 4. Comparison of observed and Estimated runoff.

Fig. 5. Estimated runoff for study sites.

Table 4. Parameters for estimation of BOD, T-N, T-P delivery load on the study sites

Parameters	BOD				T-N				T-P			
	YDC	CGC	BCC	SOC	YDC	CGC	BCC	SOC	YDC	CGC	BCC	SOC
α	0.84	0.81	0.94	0.96	-1.43	-0.25	0.67	0.44	0.85	0.97	0.97	0.94
β	2.53	2.21	2.35	2.38	2.53	2.21	2.35	2.38	2.53	2.21	2.35	2.38
γ	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Fig. 6. Comparison of observed and estimated daily BOD, T-N, T-P load for YDC.

Fig. 7. Comparison of observed and estimated daily BOD, T-N, T-P load for CGC.

Fig. 8. Comparison of observed and estimated daily BOD, T-N, T-P load for BCC.

Fig. 9. Comparison of observed and estimated daily BOD, T-N, T-P load for SOC.

결론

본 연구는 기 개발된 유달부하량 산정식의 적용성 평가를 위해 영동천, 초강천, 보청천, 소옥천에서 유량 및 수질 모니터링을 실시하였다. 우선, 관측된 유량자료를 일 유량자료로 확장하기 위해서 DAWAST 모델을 통해 추정된 유량과 실측 유량자료와 비교를 통해 적합성을 확인한 후 일 유량자료

로 확장하였다. 확장된 일 유량자료를 기 개발된 유달부하량 산정식의 입력자료로 활용하여 유달부하량을 추정하고 이를 실측부하량과 비교한 후 기 개발된 유달부하량 산정식의 적용성을 평가하였다. 그 결과 유달부하량 산정식을 통해 추정된 BOD, T-N, T-P 유달부하량과 실측 유달부하량의 결정계수(R^2)가 모두 0.6 이상으로 나타나 본 연구에서 적용한 유달부하량 산정식의 적용성을 확인하였다. 이상의 연구결과는 향

후, 효율적 대청호 수질관리에 필요한 유달부하량을 산정하는데 기초자료로 활용될 것으로 기대된다. 하지만 본 연구에서 개발된 예측식의 매개변수 추정에 사용한 자료가 2000년 자료를 이용하였기 때문에 최신 유달부하량 자료를 이용한 매개변수 추정에 대한 연구가 추가로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- Green, C.H., Tomer, M.D., Luzio, M.D., Arnold, J.G., 2006. Hydrologic evaluation of the soil and water Assessment Tool for a large tile-drained watershed in Iowa, *Transactions of the ASAE*. 49, 413-422.
- Gunnerson, C.G., 1967. Stream Flow and Quality in the Columbia River Basin, *ASCE*. 93, 1-16.
- Kim, M.S., Shin, H.S., Park, J.H. Park, J.H., 2009. Empirical Equation for Pollutant Loads Delivery Ratio in Nakdong River TMDL Unit Watersheds, *J. Korean Soc. Wat. Qual.* 25, 580-588.
- Noh, J.K., Lee, J.N., 2011. Comparison of streamflow runoff model in Korea for applying to reservoir operation, *CNU Journal of Agricultural Science*. 38, 513-524.
- Park, J.H., Kong, D.S. Min, K.S., 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 Gyeongang stream, *J. Korean Soc. Wat. Qual.* 24, 750-757.
- 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.
- Tabuchi, T., Hiroshi, H., 1987. Reliability of regression equations for the load and discharge of rivers, *JSIDRE*. 131, 11-18.
- Tabuchi, T., Kuroda, H., 1993. Influence of the Number of Data on the Calculation of Outflow Load by the LQ equation, *JSIDRE*. 164, 1-9.
- Yoon, Y. S., Kim, M.S., Yu, J.J., Lee, H.J., Lee, J.B., Yang, S.Y., 2007. Development of the estimation model on daily pollutant loads for the watersheds in the Nakdong river basin, I. Correction and verification for the model, *Journal of the KENSS*. 16, 203-210.