

## 도암호에서 하절기 수질의 장기적인 경향

곽성진 · 발데브 · 이창근 · 허우명\*

(강원대학교 환경공학과)

Long-term Trends of Summer Season of Water Quality in Lake Doam. Kwak, Sungjin, Bal Dev Bhattra, Changkeun Lee and Woomyung Heo\* (Department of Environmental Engineering, Kangwon National University, Samcheok 245-711, Korea)

In the summer season (June~August) during the study period of Lake Doam, average concentrations of major water quality parameters, COD, SS, TN, and TP were 4.0, 16.2, 3.129 and 0.077 mg L<sup>-1</sup>, respectively, and Chl-*a* was 11.8 mg m<sup>-3</sup>. The result has indicated that Lake Doam was a meso-eutrotrophic lake. Lake Doam data from the summer season (June~August), precipitation from 2001 to 2012, and water quality (COD, SS, TN, TP, Chl-*a* etc.) of seven years (2001, 2002, 2004 and 2009~2012), were statistically analyzed for long-term trends by Mann-Kendall test and Sen's slope estimator methods. The statistical results showed that precipitation, SD, COD, TN, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>3</sub>-N and Chl-*a* had decreasing trends, and EC, turbidity, SS, TP and DIP had increasing trends. Suspended solids and total phosphorus were directly affected by precipitation. In the case of suspended solids, more aggressive and constructive plans need to be implemented than the current turbidity reduction project to achieve the targeted water quality (5 mg L<sup>-1</sup> of SS) in Lake Doam. In particular, we need to specify a project that considers the steep topographic characteristics of high, land farming areas and precipitation conditions of the Lake Doam watershed, which can increase the efficiency of a turbidity reduction project.

**Key words :** trend analysis, Mann-Kendall test, Sen's slope estimator, Lake Doam

### 서 론

호수에서 수질자료의 장기적인 경향 분석은 호수관리 및 정책을 위한 중요한 정보를 얻을 수 있으며, 특히 영양염류와 생산성의 관계와 같은 호수의 생태학적 과정을 과학적으로 이해하는 데 중요하다 (Bekele and McFarland, 2004; Casey, 2011). 보통 자연수계에서 측정되는

수질자료는 강수 등의 변수 때문에 특정분포를 따르지 않으며 결측치도 종종 발생하므로 통계적 기법을 이용하여 분석하고 해석하는 것이 필요하다 (Hirsch and Slack, 1984; Drapela and Drapelova, 2011). 맨-켄달 검정법 (Mann-Kendall test)은 월별 자료 수가 ≤40일 때 종종 사용된다 (Gilbert 1987; Reckhow *et al.*, 1993). 센 기울기 검정법 (Sen's slope test)은 수질자료에 대한 경향의 크기를 반영하며 신뢰한계에 따른 유의수준의 경향성을 결정

\* Corresponding author: Tel: +82-33-570-6573, Fax: +82-33-574-7262, E-mail: woo@kangwon.ac.kr

한다.

도암호 상류는 고랭지 농업이 발달해 있으며, 축산 및 리조트(용평리조트, 알펜시아 등) 시설 등이 입지해 있다. 고랭지 경작면적은 전체 유역면적의 35.3%인 42.1 km<sup>2</sup>이며 객토 등의 영향으로 증가 추세에 있다(Park, 2006; Wonju Regional Environmental office, 2012). 따라서 주 오염원은 농경지에서 발생하는 비점오염물질(탁수, 영양염류 등)이며, 축산폐수 및 생활하수가 그 다음을 차지하고 있다. BOD, TN 및 TP의 오염원별 배출부하량은 토지계가 각각 75.3, 75.8 및 67.3%, 축산계가 각각 19.9, 17.7 및 23.3%로 대부분 농경지에서 발생하고 있다(Wonju Regional Environmental office, 2012). Kwak *et al.* (2012)은 도암호 유역의 경작지 면적당 유출부하량이 COD, SS, TN 및 TP가 각각 34,263, 1,250,254, 2,673 및 933 kg yr<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>으로 국내 다른 지역(Moon *et al.*, 1999; Park *et al.*, 2005; Won *et al.*, 2009, 2011)에 비해 많다고 하였다. 도암호는 여름철에 5 m 내외의 수심에서 수온약층이 강하게 형성되며 표층과 심층의 혼합이 일어나는 겨울철에 파괴된다. 여름철 강우시에 경작지로부터 유출된 탁수가 호수내의 중층으로 유입되어 중층 탁수층을 형성하고 늦가을 혼합시기에 전층에 영향을 미친다(Kim *et al.*, 1995; KHNP, 2002; Wonju Regional Environmental office, 2009~2012). 여름철 성층이 형성되면 표층에서는 광합성 증가로 식물플랑크톤이 대량 증가하게 되어 수질을 악화시키며, 심층에서는 용존산소 부족으로 탈질화 및 인의 용출과 같은 수환경의 변화가 일어난다(Nurnberg, 1994; Wetzel, 2001; Liboriussen *et al.*, 2009). 도암호 유역의 강수량은 조사기간 동안 연간 1,217.3~2,697.6 mm로 연간 변이가 크며, 하절기(6~8월)의 강수량은 평균 50% 이상으로 이시기에 유역으로부터 많은 양의 오염부하가 발생하는 것으로 사료된다(Kwak *et al.*, 2012).

따라서 본 연구에서는 도암호 수질의 장기적인 경향을 파악하고자 하였다. 이를 위하여 2001, 2002, 2004 및 2009~2012년 하절기(6~8월)에 조사된 COD, SS, EC, 영양염류(TN, TP 등) 및 Chl-*a* 등의 표층(0~5 m 평균) 자료를 이용하였으며, 맨-켄달 검정법(Mann-Kendall test)과 센 기울기 검정법(Sen's slope test)을 적용하여 통계적 수치를 제시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상지역 및 자료

도암호는 국내에서 제일 표고가 높은(EL. 712.0 m) 지

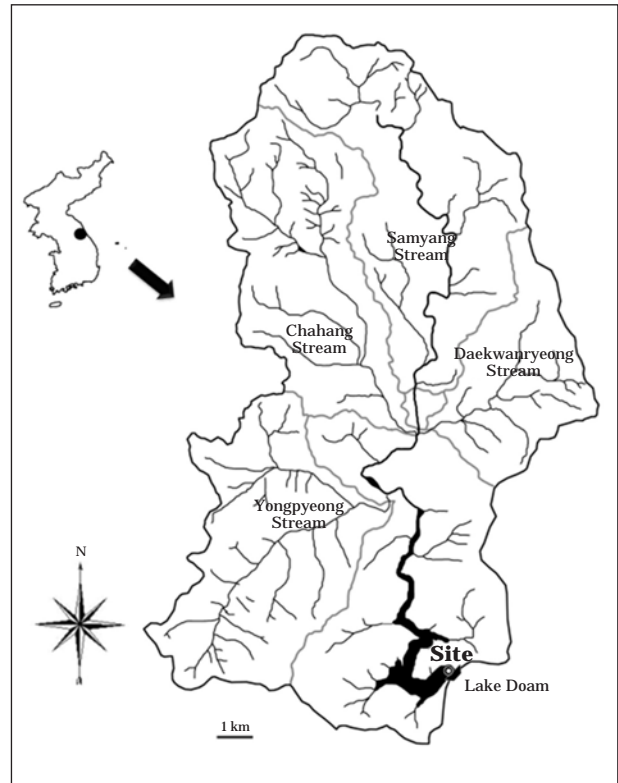


Fig. 1. Map showing the watershed area and sampling site in Lake Doam.

역인 남한강 최상류인 송천에 위치하고 있으며, 행전구역 상 강원도 평창군 대관령면 수하리에 속한다(Fig. 1). 도암호는 1987년 5월부터 축조를 시작하여 1990년 5월에 완공하였으며, 8월에 담수를 완료하고 12월부터 발전을 개시하였다. 도암호의 유역면적은 144.9 km<sup>2</sup>, 만수면적은 2.2 km<sup>2</sup>, 최대수심은 62 m, 댐 길이는 300 m, 댐 높이는 72 m, 총 저수용량은 5,140만톤, 유효저수량은 3,970만톤이다. 발전은 670 m에 위치한 총연장 15.649 km의 터널을 통과하여 강릉남대천으로 유역변경한 후 최대 낙차 640 m를 이용하여 이루어지고 있으며, 총 발전용량은 1억 8천만kWh yr<sup>-1</sup>이다(Gangwon Province & KHNP, 2005). 도암호는 탁수 및 수질오염문제 등으로 인해 2001년 3월부터 발전이 중단되었으며, 방류는 현재 댐체의 수문을 통해 송천 하류수계로 만 이루어지고 있다.

수질조사 지점은 Fig. 1에서 제시한 댐 앞(최심점)을 선정하여 2001년과 2002년, 2004년 그리고 2009년부터 2012년까지의 6, 7, 8월에 실시하였다. 채수는 고무보트를 이용하여 최심점으로 이동하여 PVC Van Dorn 채수기를 사용하였다. 채수된 시료는 냉장보관하여 가능한 빠르게 실험실로 운반하여 전처리를 걸친 후 수질분석에 이용하

였다.

시료는 Standard method (APHA, 1992)와 수질오염공정시험법 (NIER, 1999)을 이용하여 분석하였다. TP는 시료를 persulfate 분해 후에 ascorbic acid 법으로 측정하였고, DIP는 여과한 시료를 ascorbic acid 법으로 측정하였다. TN은 원시료를 alkaline persulfate 분해 후에 cadmium reduction법, NO<sub>3</sub>-N은 cadmium reduction법, NH<sub>3</sub>-N는 phenate법을 이용하여 분석하였다. SS는 GF/C로 여과 후 105°C에서 2시간 건조하여 건조 전후무게차로 계산하였다. COD는 과망간산칼륨법 (산성)으로 분석하였다. Turbidity는 HACH 2100N으로, EC는 Multiprobe (YSI-556MPS)로 측정하였다.

강수량은 기상청 대관령기상관측소의 자료를 이용하였다. 수질과 강수량의 관계를 분석하기 위해서 수질조사 일지에서 10일 전까지의 강수량을 사용하였다. 이는 강수에 의해 발생된 탁류는 도암호 상층과 중층으로 유입되며, 이 중에서 상층의 탁류는 수문을 통해 방류되기 때문이다. 한수원 강릉수력발전소의 자료에 의하면 조사기간 동안 매일 수문 방류를 하였다.

## 2. 통계분석

### 1) Sen's Slope Test

Sen (1968)에 의해서 제한된 비매개변수적 방법으로, 특이값에 영향을 받지 않고, 자료가 누락된 경우에도 분석이 가능하다.  $Y_i (i=1, 2, \dots, N)$ 에 대하여 다음과 같이 새로운 변수  $Z_k$ 를 정의한다.

$$Z_k = \frac{Y_j - Y_i}{j - i} \quad (1)$$

여기서 모든  $i$ 와  $j$ 에 대해서  $j > i$ 이고,  $Z_k$ 를 다시 크기로 정렬한 값을  $X_k$ 로 정의하면 Sen's slope에 대한 검정통계량은 다음과 같이 주어진다 (Gilbet, 1987).

$$M \text{이 홀수일 때, } S = X_{\frac{M+1}{2}}$$

$$M \text{이 짝수일 때, } S = \frac{1}{2} \left[ X_{\frac{M}{2}} + X_{\frac{M+2}{2}} \right]$$

여기서  $M = \frac{N(N-1)}{2}$ 로 위 식에서 구한 검정통계량이 다음의 신뢰한계 안에 있게 되면 유의수준  $\alpha$ 에서 경향을 갖는다고 할 수 있다.

$$[X_{M_L} + X_{M_U}] \quad (2)$$

여기서,

$$M_L = \frac{M - u_{1-\frac{\alpha}{2}} [V(S)]^{\frac{1}{2}}}{2} \quad (3)$$

$$M_U = 1 + \frac{M + u_{1-\frac{\alpha}{2}} [V(S)]^{\frac{1}{2}}}{2} \quad (4)$$

이고,  $V(S)$ 는 다음과 같다.

$$V(S) = \frac{1}{18} [N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^N E_i(E_i-1)(2E_i+5)] \quad (5)$$

그러므로 하 한계  $X_{M_L}$ 은  $X$ 값 중에서 가장 작은 값으로부터  $M_L$ 번째 값이고, 상 한계  $X_{M_U}$ 는  $M_U$ 번째 값이 된다.

### 2) Mann-Kendall Test

Mann-Kendall Test는 Non-parametric Test의 하나로 장기적인 시계열자료의 경향성을 분석하는 데 이용된다 (Mann, 1945; Kendall, 1975). 표본자료의 특성에 민감하지 않고 결측치나 분석한계를 벗어나는 자료에 대해서도 적용이 가능하다.

자료  $Y_i (i=1, 2, \dots, N)$ 에 대하여  $Y_i (i=1, 2, \dots, N-1)$ 과  $Y_i (i=t+1, 2, \dots, N)$ 의 크기를 비교하여 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} Z_k &= 1 & \text{if } & Y_t > Y_{t+1} \\ Z_k &= 0 & \text{if } & Y_t = Y_{t+1} \\ Z_k &= -1 & \text{if } & Y_t < Y_{t+1} \end{aligned}$$

여기서  $k = (t-1)(2N-t) + (t-t)$ 라 하면 Mann-Kendall test의 검정통계량은 다음과 같이 주어진다 (Hirsch et al., 1982).

$$S = \sum_{t=1}^{N-1} \sum_{i=t+1}^N Z_k \quad (6)$$

$$U_c = \frac{S + j}{[V(S)]^{\frac{1}{2}}} \quad (7)$$

여기서,

$$V(S) = \frac{1}{18} [N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^N E_i(E_i-1)(2E_i+5)] \quad (8)$$

$$\begin{aligned} S < 1 & \text{ if } j=1, \\ S = 1 & \text{ if } j=0, \\ S > 1 & \text{ if } j=-1, \end{aligned}$$

$G_N$ 는 같은 값을 갖는 자료군의 총수이며,  $E_j$ 는  $i$ 번째 자료군에 속하는 같은 값을 갖는 자료의 수이다. 아래 식으로 조건이 만족되면 유의수준  $\alpha$ 에서 주어진 자료가 상향

(upward trend) 또는 하향 (downward trend)을 갖는다고 할 수 있다.

$$|U_c| > u_{1-\alpha/2} \quad (9)$$

### 결과 및 고찰

도암호의 장기적인 수질자료의 경향을 분석하기 위하여 2001, 2002, 2004 및 2009~2012년 하절기 (6~8월)에 조사된 표층 (0~5 m 평균)자료를 이용하였다. 7년간 24개월에 걸쳐 조사한 COD, SS, EC, 영양염류 (TN, TP 등) 및 Chl.a 등의 수질자료는 Table 1로 요약 정리하였다. 하절기 강수량 및 주요 수질인자 (COD, SS, TN, TP, Chl.a)의 연도별 변화는 Fig. 2와 같다. COD의 평균 농도는 4.0 mg L<sup>-1</sup>, 범위는 1.3~13.9 mg L<sup>-1</sup>로서 약간의 변이를 보였으며 2012년에 높았다. SS는 평균 16.2 mg L<sup>-1</sup>, 범위는 0.8~124.0 mg L<sup>-1</sup>로서 큰 변이를 보였으며 2004년에 가장 높았는데 이시기에 강수량도 많았다. SS는 주로 강수시 발생되어 호수로 다량 유입되며 (Baca, 2002; Saal, 2005), Kwak *et al.* (2012)은 도암댐 유역의 고랭지 밭의 경사도가 비교적 가파른 지형적 특성 때문에 적은 양의 강수에도 많은 부유물질이 발생한다고 하였다. EC는 평균 108 μS cm<sup>-1</sup>, 범위는 66~696 μS cm<sup>-1</sup>으로 비교적 큰 변이를 보였다. 이는 SS와 마찬가지로 강수에 의한 영향으로 판단된다. TP는 평균 0.077 mg m<sup>-3</sup>, 범위는 0.008~0.358 mg m<sup>-3</sup>로서 2004년에 가장 높았으며 이 시기에 강수량도 많았다. 일반적으로 TP는 SS와 마찬가지로 강수시 높은 농도를 보인다 (Lee and Jones-Lee, 2001; Lee *et al.*, 2002). Baca (2002)는 작은 농업지역에서 강수에 의한 유량과 부유퇴적물의 일시적 변화를 연구한 결과

유량이 증가할 때 부유퇴적물이 급격히 증가한다고 하였다. TN은 평균 3.129 mg L<sup>-1</sup>, 범위는 1.614~7.365 mg L<sup>-1</sup>로 큰 변이를 보이지는 않았으며 2009년에 높았다. Chl.a는 평균 11.8 mg m<sup>-3</sup>, 범위는 0.3~60.5 mg m<sup>-3</sup>로서 2001년 이후 점차 감소하였으나 2012년에는 다소 증가하였다.

도암호에서 2001년부터 2012년까지 하절기 (6~8월) 강수량 자료와 7년간의 하절기 수질자료에 대한 정량적 경향분석을 Mann-Kendall test와 Sen's slope test를 이용하여 실시하였으며 그 결과는 Table 2와 같다. 통계분석 결과 유역으로부터 오염물질의 유입에 직접적으로 영향을 주는 강수량은 기울기가 -0.371, Tau (Kendall's correlation coefficient)는 -0.028, *p*값은 0.810으로 감소 경향을 보였다. 강수시 유역의 토양유실 및 호 내 탁수 유입에 의해 영향을 받는 부유물질 및 탁도는 기울기가 각각 0.141 및 0.301, Tau는 각각 0.111 및 0.261, *p*값은 0.534 및 0.079로 다소 증가하는 경향을 보였다. 그러나 최근 진행되고 있는 비점저감사업에 의한 효과로 부유물질 농도가 2009년 이후 점차 감소하고 있는 것으로 보고되고 있다 (Wonju Regional Environmental office, 2012). 수계내 지질의 이온 농도와 관련이 있는 EC는 기울기가 0.641, Tau 0.211, *p*값 0.157로 증가 경향을 보였다. 호수의 영양조건과 관련이 있는 TP, Chl-a, 및 SD는 기울기가 각각 0.004, -0.344 및 -0.011, Tau는 각각 0.493, -0.214 및 0.457, *p*값은 0.001, 0.150 및 0.457로 Chl-a는 감소, TP는 미약한 증가, SD는 Turbidity와 SS로 인해 약간 증가 경향을 보였다. 도암호는 2008년 이후 최근까지 흙탕물저감 사업을 진행하고 있으며 향후 2017년까지 부유물질 5 mg L<sup>-1</sup>의 목표수질을 달성하기 위해 계속해서 사업을 추진될 것으로 사료된다 (Gangwon Province,

**Table 1.** The range of precipitation and water quality parameters in Lake Doam (2001~2012).

Parameter	Mean	SD <sup>a</sup>	Min	Median	Max	N
Precip. <sup>1</sup>	299.0	234.1	26.5	243.7	1236.4	39
Cond. <sup>2</sup>	108	22	66	105	196	85
Tur. <sup>3</sup>	17.5	25.8	0.5	7.6	147.0	85
SD	0.8	0.3	0.2	0.9	1.5	19
SS	16.2	23.7	0.8	6.7	124.0	57
COD	4.0	2.0	1.3	3.5	13.9	48
TP	0.077	0.075	0.008	0.052	0.358	72
DIP	0.022	0.025	0.000	0.011	0.096	72
TN	3.129	0.818	1.614	3.056	7.365	72
NO <sub>3</sub> -N	2.487	0.485	1.371	2.470	3.350	72
NH <sub>3</sub> -N	0.142	0.275	0.000	0.060	1.290	57
Chl.a	13.8	13.9	0.3	9.1	60.5	72

<sup>1</sup>Precip.: precipitation, <sup>2</sup>Cond.: conductivity, <sup>3</sup>Tur.: Turbidity, <sup>a</sup>SD: standard deviation, Units: μS cm<sup>-1</sup> (Cond.), NTU (Tur.), mg cm<sup>-1</sup> (SS, COD, TN, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>3</sub>-N, TP, DIP), mg m<sup>3</sup> (Chl.a)

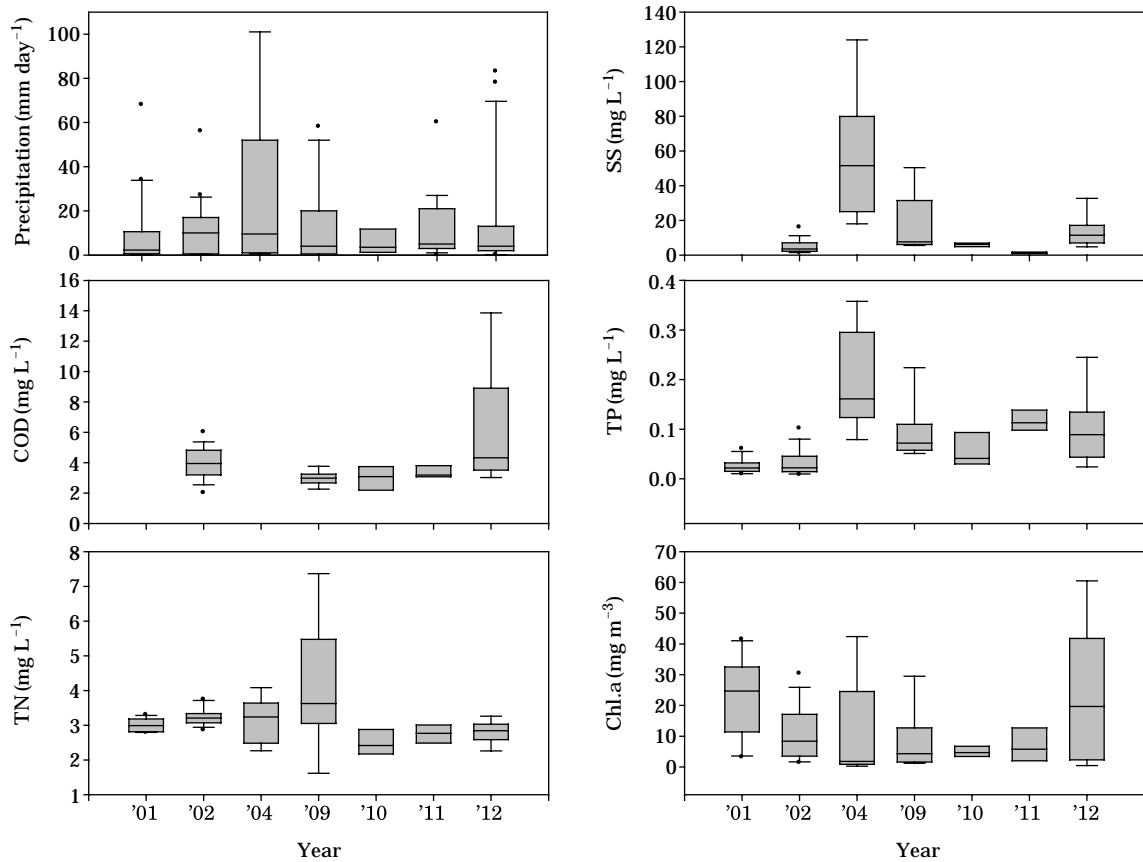


Fig. 2. Seasonal variations in precipitation and water quality parameters of Lake Doam during the study period.

Table 2. Statistical analyses of Sen's Slope Test and Mann-Kendall Test in Lake Doam (2001 ~ 2012).

Parameter	Sen's Slope Test			Mann-Kendall Test		Trend
	Slope	Confidence Boundaries		Tau	p <sup>value</sup>	
Precip. <sup>1</sup>	-0.371	-91.400	87.950	-0.028	0.810	DOWN
Cond. <sup>2</sup>	0.641	-7.744	10.819	0.211	0.157	UP
Tur. <sup>3</sup>	0.301	-11.600	11.845	0.261	0.079	UP
SD	-0.011	-0.300	0.200	-0.134	0.457	DOWN
SS	0.141	-13.685	13.232	0.111	0.534	UP
COD	-0.012	-0.582	1.078	-0.017	0.965	DOWN
TP	0.004	-0.029	0.040	0.493	0.001	UP
DIP	0.001	-0.011	0.014	0.388	0.009	UP
TN	-0.012	-0.281	0.237	-0.159	0.290	DOWN
NO <sub>3</sub> -N	-0.014	-0.280	0.220	-0.101	0.508	DOWN
NH <sub>3</sub> -N	-0.002	-0.130	0.055	-0.141	0.421	DOWN
Chl.a	-0.344	-5.955	5.410	-0.214	0.150	DOWN

<sup>1</sup>Precip.: precipitation, <sup>2</sup>Cond.: conductivity, <sup>3</sup>Tur.: Turbidity

2005). Choi *et al.* (2012)은 강수조건에 따른 도암호 부유물질 거동평가에서 대규모 강수빈도가 발생할 경우 유역 내의 토양유실을 관리하는 데 한계가 있으며, 토양유실

저감시설 설치시 강수조건에 대한 고려가 필요하다고 하였다. 유입 및 내부기원유기물로 표현되는 COD는 기울기 -0.012, Tau -0.017 및 *p*값 0.965로 미약한 감소 경향을

보였다. TN도 기울기가  $-0.012$ 로 미약한 감소 경향을 나타냈으며  $\text{NO}_3\text{-N}$ 와  $\text{NH}_3\text{-N}$ 도 유사한 경향을 보였다.

## 결 론

도암호에서 2001, 2002, 2004 및 2009~2012년 하절기(6~8월)에 EC, Turbidity, SD 및 영양염류(TN, TP 등)를 조사하였다. 주요 수질인자인 COD, SS, TN 및 TP의 평균농도는 각각 4.0, 16.2, 3.129 및  $0.077 \text{ mg L}^{-1}$ , Chl-a는  $11.8 \text{ mg m}^{-3}$ 이었으며, 이들 결과에 비추어 볼 때 도암호는 중-부영양양호 수준인 것으로 판단된다.

도암호에서 2001년부터 2012년까지 하절기(6~8월) 강수량 자료와 7년(2001, 2002, 2004, 2009~2012)간의 하절기 수질자료에 대한 장기적인 경향을 Mann-Kendall test와 Sen's slope test를 이용하여 통계분석 하였다. 통계분석 결과 강수량, SD, COD, TN,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$  및 Chl-a는 감소, EC, Turbidity, SS, TP 및 DIP는 증가하는 경향을 보였다.

SS과 TP은 강수량에 의한 영향을 직접 받는 것으로 나타났다. SS의 경우 도암호의 목표수질( $5 \text{ mg L}^{-1}$ )을 달성하기 위해서는 현재 추진하고 있는 흙탕물저감 사업을 보다 적극적으로 추진할 필요가 있다. 특히 도암호 유역의 고랭지 밭 경작지의 가파른 지형특성 및 강수조건을 고려하여 흙탕물 저감사업의 효율을 높일 수 있는 사업들의 발굴이 요구된다.

## 인 용 문 헌

APHA. 1992. Standard Method for Examination of Water and Wastewater 18th ed. American Public Health Assn. Washington DC.

Baca, P. 2002. Temporal variability of suspended sediment availability during rainfall-runoff events in a small agricultural basin. ERB and Northern European FRIEND Project 5 Conference, Demänovská dolina, Slovakia, [http://147.213.145.2/svh/ERB-abstracts/Baca\\_upraveny.pdf](http://147.213.145.2/svh/ERB-abstracts/Baca_upraveny.pdf).

Bekele, A. and A. McFarland. 2004. Regression-based flow adjustment procedures for trend analysis of water quality data. *Transactions of the ASABE* **47**(4): 1093-1104.

Casey, R. 2011. Water Quality Conditions and Long-Term Trends in Alberta Lakes. Environmental Policy Division Alberta Environment and Water. <http://environment.gov.ab.ca/info/library/8544.pdf>.

Choi, J.W., D.S. Shin, K.J. Lim, S.S. Lee and M.J. Kang. 2012. Estimation Suspended Solids Concentration of the Doam Reservoir under Dry and Wet Weather Conditions. *Korean Journal of Environmental Agriculture* **31**(2): 113-121. <http://dx.doi.org/10.5338/KJEA.2012.31.2.113>.

Drápela, K. and I. Drápelová. 2011. Application of Mann-Kendall test and the Sen's slope estimates for trend detection in deposition data from Bílý Kříž (Beskydy Mts., the Czech Republic) 1997~2010. *Beskydy* **4**(2): 133-146.

Gangwon Province. 2005. Highland farm muddy water reduction medium term project.

Gangwon Province & KHNP: Korea Hydro & Nuclear Power Co. 2005. Study for Doam-dam Problem Solving.

Gilbert, R.O. 1987. Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Heo, S.G., K.S. Kim, J.H. Ahn, J.S. Yoon, K.J. Lim, J.D. Choi, Y.C. Shin and C.W. Lyou. 2006. Evaluation of Water Quality Impacts of Forest Fragmentation at Doam-Dam Watershed using GIS-based Modeling System. *The Korean Association of Geographic Information Studies* **9**(4): 81-94.

Hirsch, R.M. and J.R. Slack. 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research* **20**(6): 727-732.

Hirsch, R.M., J.R. Slack and R.A. Smith. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research* **18**: 107-121.

Kendall, M. 1975. Rank Correlation Methods. London: Griffin.

KHNP: Korea Hydro & Nuclear Power Co. 2002. Final investigation reports on water quality and aquatic ecosystem of Song River system of Lake Doam.

Kim, B.C., W.M. Heo and G.S. Hwang. 1995. The Eutrophication of Lake Doam. *Korean Journal of Limnology* **28**(2): 233-240.

Kwak, S.J., B.D. Bhattarai, E.J. Kim, C.K. Lee, H.J. Lee and W.M. Heo. 2012. Characteristics of non-point pollution discharge on stormwater runoff from Lake Doam watershed. *Korean Journal of Limnology* **45**(1): 62-71.

Lee, G.F. and A. Jones-Lee. 2001. Assessing the Water Quality Impacts of Phosphorus in Runoff from Agricultural Lands: Expanded Discussion. Presented in part at American Chemical Society Agro Division Symposium, "Environmental Impact of Fertilizer Products in Soil, Air and Water," Chicago, IL, August (2001). Published in part in Symposium Proceedings (Lee and Jones-Lee, 2004). [http://www.gfredlee.com/Nutrients/P\\_Runoff\\_Ag\\_ACS.pdf](http://www.gfredlee.com/Nutrients/P_Runoff_Ag_ACS.pdf).

Lee, H.W., K.G. An and S.S. Park. 2002. Long-Term Annual Trend Analysis of Epilimnetic Water Quality and Their

- Longitudinal Heterogeneities in Lake Soyang. *Korean Journal of Limnology* **35**(1): 36-44.
- Liboriussen, L., M. Søndergaard, E. Jeppesen, I. Thorsgaard, S. Grünfeld, T.S. Jakobsen and H. Kim. 2009. Effects of hypolimnetic oxygenation on water quality: results from five Danish lakes. *Hydrobiologia* **625**: 157-172.
- Mann, H. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* **13**: 245-259.
- Moon, J.P., T.C. Kim and B.G. Ahn. 1999. Load factor of Non-point Source Pollutant owing to Land Use in Bangdong Reservoir Watershed. *Journal of Agricultural Science, Chungnam National University* **26**(2): 61-69.
- NIER. 1999. Standard Method for Examination of Water and Wastewater 1999. Ministry of Environment Republic of Korea. Gwacheon-si.
- Nurnberg, G.K. 1994. Phosphorus release from anoxic sediments: what we know and how we can deal with it. *Limnetica* **10**(1): 1-4.
- Park, H.K. 2006. Environmental Damages and Control Measures by Highland Agriculture-Study on System Improvement. MS. Thesis. Kangwon National University. Korea.
- Park, S.C., C.R. Oh, Y.H. Jin and D.S. Kim. 2005. Study on Runoff Characteristics of Non-point Source in Rural Area of Seomjin Watershed. *Journal of the Environmental Sciences* **14**(11): 1057-1062.
- Reckhow, K.H., K. Kepford and W.W. Hicks. 1993. Methods for the analysis of lake water quality trends. USA-EPA 841-R-93-003.
- Saal, L.B. 2005. Rainfall impacts of suspended sediment concentrations in an urbanized tidal creek, southeastern North Carolina. A Thesis Submitted to the University of North Carolina Wilmington in Partial Fulfillment Of the Requirements for the Degree of Master of Science.
- Sen, P.K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* **63**: 1379-1389.
- Wetzel, R.G. 2001. Limnology: Lake and River Ecosystem. Elsevier.
- Won, C.H., Y.H. Choi, J.Y. Seo, K.C. Kim, M.H. Shin and J.D. Choi. 2009. Determination of EMC and Unit Loading of Rainfall Runoff from Forestry-Crops Field. *Journal of Korean Society on Water Quality* **25**(4): 615-623.
- Won, C.H., Y.H. Choi, M.H. Shin, D.S. Shin, D.G. Kang and J.D. Choi. 2011. Runoff Characteristics of NPS Pollution on Field in Rainy Season. *Journal of Korean Society on Water Quality* **27**(5): 572-579.
- Wonju Regional Environmental office. 2009~2012. Doam dam non-point pollution source management area monitoring and evaluation program.

(Manuscript received 11 January 2013,  
Revised 4 March 2013  
Revision accepted 6 March 2013)