

## 이원천 유역의 하천수질에 미치는 지형요인

이 호 준 · 방 제 용

건국대학교 자연과학부 생명과학전공

**적 요:** 지형요인이 어떻게 수질에 영향을 주는가를 연구하고자 1993년 3월 부터 1998년 3월까지 조사를 실시하였다. 조사는 충북 옥천군 이원면의 경작지가 주류를 이루는 개심저수지와 산지유역으로 특성지워지는 장찬저수지 유역을 대상으로 하였다. 조사유역을 11개 소집수역으로 세분하고 지형학적 특성과 하천수질과의 상관성, 하천 유역의 오염원 동태를 생태학적 관점에서 규명하고자 조사를 실시하였다.

개심저수지 유역의 형상계수는 0.030~0.210(평균 0.090), 장찬저수지 유역의 형상계수는 0.217~0.452(평균 0.325)로 장찬저수지 유역의 형상계수가 3.61배 더 높다. 개심저수지의 E(지정리와 미동리), F(윤정리) 소집수역은 금강유역 전체의 형상계수 0.063과 비슷하여 홍수유속시간이 금강과 유사하였다. 하천길이와 유역면적의 관계식은  $L=1.44A^{0.6}$ 로 보정되었다. 환상율은 개심저수지 유역 17.114, 장찬저수지 유역 7.444로, 강수도달시간은 금강 전체 유역보다 5배 빠른 것으로 추정되었다. 세장율은 개심저수지 유역 0.357(금강 0.282), 장찬저수지 0.636으로 나타나 장찬저수지 유역에서 강수집합시간이 1.54배 더 빠른 것으로 나타났다. 각 집수역별 강수도달시간은 장찬저수지 유역의 A' 소집수역이 337.53 min.로 가장 느렸으며 개심저수지 유역의 H 소집수역은 49.26 min.로 가장 빠른 것으로 나타났는데, 대체적으로 하류로 갈수록 강수집합시간이 빠른 것으로 나타났다. 곡의 밀도는 0.500~1.337범위에 있었으며 강수침투와는 역의 상관을 나타낸다. 따라서 인위적으로 하천을 막거나 개절(開切), 직선배수로화는 홍수를 유발할 가능성이 많고, 하천의 자정능력을 떨어뜨리는 결과를 낳을 것으로 판단되었다. 개심저수지와 장찬저수지의 수계빈도(Df)와 곡의 밀도(Dd)의 관계는 개심저수지 유역  $Df=0.023Dd^2$ , 장찬저수지유역  $Df=0.189Dd^2$  으로 산정되었다. 평균경사는 개심 14.03, 장찬 16.9로서 장찬저수지가 유량이 많아지기 쉬운 것으로 조사 되었다. 경사가 증가하면 용존산소량은 증가하지만, 증가폭은 크지 않은 것으로 나타났다. COD와 평균경사는 유의한 상관이 없었으나 BOD는 평균경사와 유의한 상관이 있는 것으로 조사되었다. 형상계수와 환상률 및 총질소와의 관계는 형상계수( $Y_{TKN}=0.7271X+0.0967$ )와 환상률이 커질수록 TKN이 증가하였다 ( $Y_{TKN}=0.1577X-0.1501$ ). BOD와 COD는  $1BOD/1.2COD$ 의 관계가 있었다.

**검색어:** 강수도달시간, 배수밀도, 세장율, 수질, 저수지, 지형요인, 환상율, 형상계수

### 서 론

유역생태계는 기후, 토양, 모암, 생물상 그리고 생태계 형성과정에서 중요한 위치를 차지한다 (Jenny 1962). 유역생태계는 지표수가 모여지는 수계에 의해 구성되며, 분수계(分水系)로 다른 유역생태계와 나누어져 자연지리학적 기초단위가 된다. 공간단위로서 유역생태계는 집수역이라는 기능적 특징과 공간적 다층성이 있다. 따라서 유역생태계는 물을 중심으로 하는 물질계의 순환과 동질적 단위로서 구분되기 때문에 많은 환경요인과 연결되어 있다 (Lowe-McConnel 1973). Osborne과 Wiley(1988)는 조사지 유역을 표고별로 나누고 토지이용과 수질관계를 밝힌 연구에서 수질오염원의 거리와 물 속의 오염물질 농도와는 역상관이 있다고 하였다. Marsh(1874)는 식생과 유출량, 침식, 침전량은 토성, 경사에 따라 변하고, 식생을 부분적으로 제거하면 온도, pH, Mg, Ca, K, Na, Fe, Cu, Zn, Mn,  $NH_4-N$ 에 영향을 주기 때문에 질산태 질소와 인의 농도를 증가시킨다고 하였다. 유량의 많고 적음은 홍수와 지표면의 침식

에 직접 연관되고, 유출량은 지표식생의 특성, 강우, 지형과 토양특성에 지배를 받는다. 따라서 나지(裸地)에서의 강우량과 유출량은 강우의 밀도와 강우강도에 직선상관을 보인다고 하였다 (이 1977).

한편, 지금까지 금강의 상수원인 대청호에 대한 연구는 주로 육수학적 관점에서 이루어진 조사들이다. 그러나 이 지역의 지형요인에 따른 수질의 영향에 대한 종합적인 연구는 없다. 수질은 여러 환경요인에 의해 복합적인 충격을 받고 있기 때문에 지형, 식생, 토지이용, 토양 등에 대해 생태학적으로 상관성을 규명하는 것은 중요한 의미를 갖는다. 따라서 본 조사는 이원천유역의 하천수질에 미치는 환경요인중 지형적 요인에 따른 하천수질과의 상관성을 규명하는데 초점을 맞추어 조사를 실시하였다.

### 조사지의 개황

조사지인 개심저수지 유역(Fig. 1)은 해발표고가 비교적 낮은 지형을 이루고 있기 때문에 농경지의 분포면적이 넓으며, 비점오염원의 확산이 우려되는 지역이다. 따라서 삼

림을 통과한 물이 모여지는 장찬저수지 유역과는 달리 지형적으로 볼 때 오염에 대한 인위적 영향 정도가 심한 지역으로 생각되어 실험구로 설정하였다. 개심저수지는 행정구역상 충청북도 옥천군 이원면 개심리에 있는 제방호, 담수호이다. 지리적으로는 36°12'00"N, 127°37'00"E이고, 유역의 총 면적은 30.08 km<sup>2</sup>로서 7개의 소집수역으로 세분된다. 장찬저수지는 장찬리에 0.23 km<sup>2</sup>의 면적을 점유하며 서쪽에 장용산(640 m), 남쪽에 매봉(580 m) 등의 연봉으로 둘러싸여 있다. 행정구역상으로 보면 이원면의 서단에 속하고 북쪽에는 옥천읍, 서쪽에 군서면, 남쪽에 북면이 위치하고 있다. 장찬저수지 유역(Fig. 1)은 3개의 소집수역으로 세분된다. 위도상으로는 북위 36°10'03"~36°15'10", 동경 127°31'~127°39'05"에 해당한다. 장찬저수지로부터 북서쪽으로 6 km 지점에는 옥천읍이 위치하고 있으며, 저수지의 서쪽 1.5 km 지점의 장용산(640 m)을 경계로 옥천군 군서면과 경계를 이루고 있다.

조사지역의 강수량은 1,242 mm이고 평균증발량은 1,174.3 mm로 물부족은 없으며 연중 최소증발량은 1월과 12월에 걸쳐 32.5 mm에서 56.1 mm 범위에서 일어나고 있다. 월 평균기온은 최한월인 1월이 -1.5°C이고, 최난월인 8월은 24.8°C이며 연평균기온은 12.6°C이다 (Fig. 2). 본 조사지역의 평균 연강수량은 전국 평균보다 약 83 mm 정도 높다. 이로 부터 산정된 수자원 보존량은 0.56억 m<sup>3</sup>로 나타났다 (금강 122.78억 m<sup>3</sup>의 0.46%). 이 중에서 하천에 유출되는 양은 0.29억 m<sup>3</sup>(금강 63.5억 m<sup>3</sup>의 0.46%), 홍수시의 유출량은 0.22억 m<sup>3</sup>(금강 48.6억 m<sup>3</sup>의 0.45%)로 홍수시에 유출량이 전체 0.56억 m<sup>3</sup>의 39.3%에 이른다. 또한, 비가 여름에 집중적으로 내리기 때문에 여름에는 물이 풍부하고 가을과 봄에는 물이 부족한 편이다 (건설부 1978).

**조사 방법**

저수지별로 개심저수지는 8개 소집수역(A: 평리, B: 의평리, C: 개심리 동단, D: 개심리 서단, E: 지정리, F: 윤정리, G: 미동리, H: 윤정리 북단), 장찬저수지는 3개 소집수역(A': 장찬리, B': 건봉리, C': 강청리)으로 세분하였다. 그리고 1: 50,000의 국립지리원 발행 지형도 (1987)를 근거로 형상계수, 환상율, 세장율 (中野 1976), 곡밀도 (Gardiner 1979)를 구했다. 수계빈도는 Horton (1945)의 법에 따라 산정했으며, 홍수 도달시간의 추정에는 角屋, 福島の 방법 (中野 1976)을 이용하였다. 식은  $t_p = CA^{0.22} \gamma e^{0.35}$ 이다. 여기서  $t_p$ 는 홍수 도달시간(min.), A는 면적(km<sup>2</sup>),  $\gamma$ 는 홍수도달시간 동안의 평균강우강도(mm/h)이며, 계수 C는 토지이용상태에 따라 다르므로 Linsley 등(1949)의 기준에 따랐다. 수질조사는 집수역을 고려하여 총 11개 지점에서 채수하였다 (Fig. 1). 채수는 1994년부터 1997년까지는 매년 장마가 시작되기 전인 6월에 4회에 걸쳐 조사하였다. 이를 평균수질로 하였으며, 1997년 6월부터 1998년 3월까지는 계절별로 조사하였다. 수온, 용존산소와 pH는 Horiba water analyzer(Model U-7)를 사용하여 현장에서 측정하였다. 생화학

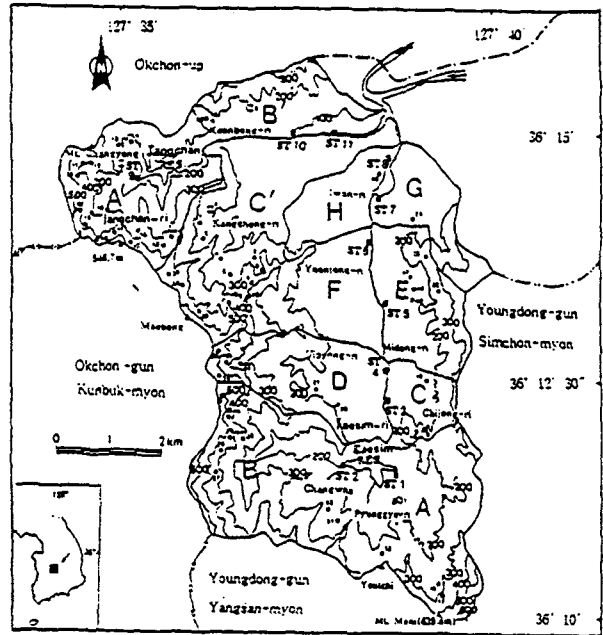


Fig. 1. Topography of the eleven branched-stream basins on the study sites (A~H: Kaesim reservoir basin, A'~C': Jangchan reservoir basin) (■, ST. 1~11 are water sampling sites).

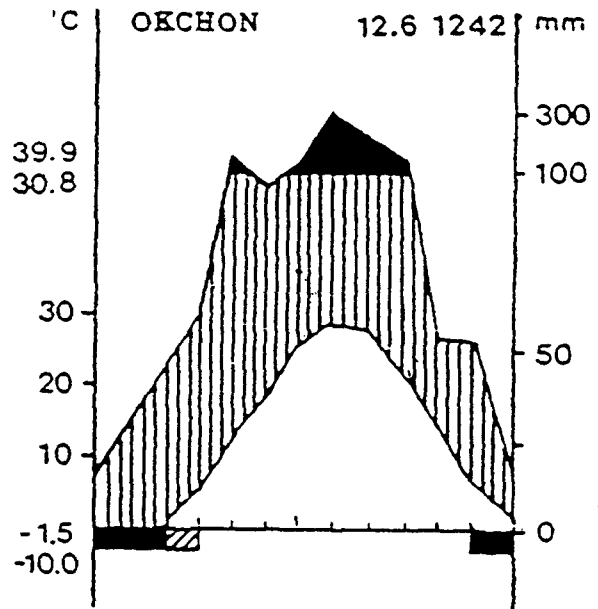


Fig. 2. The climate diagram of Okchon-gun (Data from Meteorological Station for 34 years from 1962 to 1996, Meteorological Station 1996).

적 산소요구량(bio-chemical oxygen demand, BOD), 화학적 산소요구량(chemical oxygen demand, COD), 총질소

(total Kjeldahl nitrogen, TKN), 총인, 부유물질 등은 시료를 실험실로 운반한 후 APHA(1992)의 방법으로 분석하였다. 통계분석은 SAS(version 6.04)프로그램을 이용하여 지형과 수질과의 상관분석을 하였고, 유의성 검정을 실시하였다.

### 결 과

#### 지형학적 특성

**유역의 형상계수:** 유량이 많고 적음에 관계가 있는 형상계수는 개심저수지 집수역(A~H)이 0.030~0.210로 평균 0.090이고 장찬저수지 집수역(A'~C')은 0.217~0.452로 평균 0.325를 나타내고 있다. 평균형상계수로 볼 때 개심저수지 집수역이 장찬저수지 집수역 보다 무려 3.61배 낮은 것으로 나타났다.

**환상율(circularity ratio, Cr):** 환상율이 클수록 강수 도달시간이 느려지는 특성이 있다. 환상율은 개심저수지 유역이 17.114(15.3%), 장찬저수지 유역이 7.444(6.7%), 두 유역의 합은 24.558로써 금강의 환상율 111.791의 22.0%에 불과하다.

**수계밀도:** 단위 면적당 수계(watershed)의 수인 수계빈도(Df)는 개심저수지와 장찬저수지 유역이 각각 0.021, 0.177로 계산되었으며 이로부터 산정된 수계밀도와의 관계식은 개심저수지  $Df=0.023Dd^2$ , 장찬저수지  $Df=0.189Dd^2$ 이었다 (Fig. 3).

**홍수 도달시간(rainfall reaching time,  $t_r$ ):** 홍수 도달시간이 가장 빠른 곳은 H 소집수역으로 49.26분이었으며 가장 느린 곳은 A' 소집수역 337.53분이었고 B' 소집수역이 301.69분으로 산정되었다 (Table 1). 개심저수지 유역의 도달시간 범위는 49.26~279.79분이었고, 장찬저수지 유역은 107.93~337.53분의 범위로 각각 나타났다.

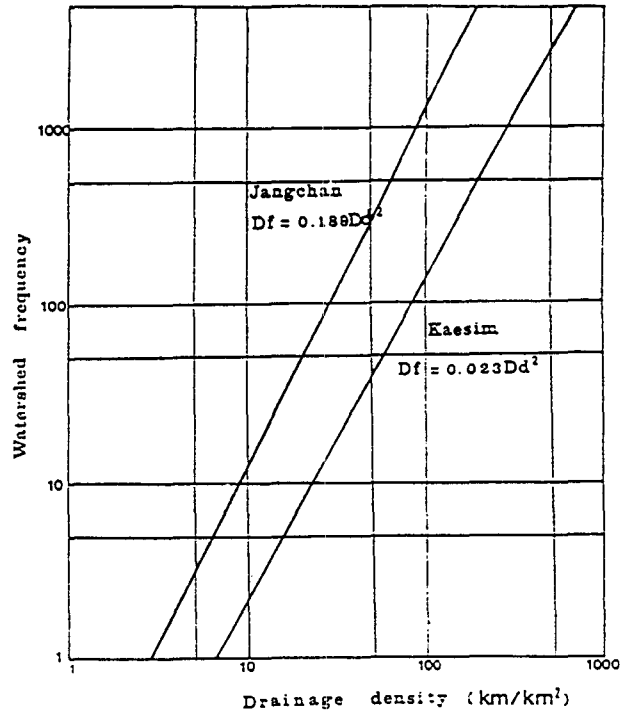


Fig. 3. The relationship between watershed frequency (Df) and drainage density (Dd) of Kaesim and Jangchan reservoirs.

#### 하천수질

1994년에서 1997년까지 5년에 걸친 6월 상순의 수질자료 (Table 2)와 1997년 9월부터 1998년 3월까지 계절별 수질 (Table 3)을 비교한 결과, 계절에 따라 큰 차이는 없었으나 DO, BOD, COD, pH, TKN, T-P, SS, 중금속 등에서 여름의 오염도가 대체적으로 낮게 측정되었다.

Table 1. Rainfall reaching time on the study sites

Sites	C	A	$f_p$	$\gamma_c$	$t_r$ (min.)	Remark
A	290	5.14	0.63	1.0	261.91	Undulating mountainous district
B	290	6.94	0.63	1.0	279.79	Undulating mountainous district
C	290	1.65	0.63	1.0	203.98	Undulating mountainous district
D	150	4.13	0.60	1.0	122.96	Flat small stream
E	290	3.88	0.63	1.0	246.20	Undulating mountainous district
F	150	3.57	0.60	1.0	119.08	Flat small stream
G	100	2.61	0.53	0.5	51.35	Flat agricultural land
H	100	2.16	0.53	0.5	49.26	Flat agricultural land
A'	290	4.65	0.83	1.0	337.53	Acute slope mountainous district
B'	290	3.30	0.80	1.0	301.69	Mountainous stream
C'	150	6.88	0.60	0.5	107.93	Flat small stream
Mean	217.3	4.08	0.64	0.86	189.24	-

Remark; C: Coefficient of land use, A: Basin area (km<sup>2</sup>),  $f_p$ : Peak of run-off coefficient,  $\gamma_c$ : Mean rainfall intensity within rainfall reaching time,  $t_r$ : Rainfall reaching time (min.)

**Table 2.** Water quality analysis on the study sites (mean of four times from 1994 to 1997) (Hyphen in the data means 'not detected')

Sites	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	T-P (mg/l)	Water temp. (°C)	TKN (mg/l)	pH
A	9.6±0.2	3.8±0.1	5.2±0.3	9.9±1.2	0.02±0.01	18±0.5	0.31±0.05	6.8±0.1
B	11.4±0.4	4.7±0.2	4.6±0.2	8.3±1.1	0.02±0.01	19±0.5	0.08±0.02	7.3±0.2
C	7.8±0.3	2.9±0.3	5.8±0.2	11.4±1.4	0.04±0.01	18±0.5	0.10±0.01	7.1±0.1
D	7.5±0.2	3.4±0.2	5.4±0.1	10.5±1.4	0.04±0.01	18±0.5	0.20±0.04	6.6±0.1
E	10.3±0.4	3.7±0.2	4.6±0.1	9.7±0.8	0.02±0.01	19±0.5	0.36±0.01	7.1±0.1
F	8.6±1.1	2.2±1.0	4.0±0.5	6.0±1.1	—	19±0.5	0.05±0.01	7.0±0.2
G	10.1±1.5	18.6±3.4	14.0±2.8	51.2±5.8	0.12±0.02	18±0.5	1.93±0.51	7.0±0.3
H	8.8±0.5	2.4±1.1	3.6±0.7	27.9±4.6	0.02±0.01	20±0.5	0.12±0.01	7.4±0.2
A'	10.4±0.2	8.6±0.2	11.5±0.4	18.3±1.0	0.09±0.01	18±0.5	0.94±0.40	7.1±0.2
B'	12.0±0.2	2.6±0.3	4.6±0.2	5.5±0.3	—	19±0.5	0.10±0.01	7.5±0.6
C'	11.5±0.4	4.6±0.2	8.1±0.2	11.9±0.8	0.85±0.15	20±0.5	0.53±0.04	7.3±0.4
Mean±S.D	9.8±1.4	5.2±4.6	6.5±3.2	15.5±12.8	0.11±0.23	18.7±0.8	0.43±0.54	7.1±0.3

**Table 3.** Seasonal changes (1997.6~1998.3) in water quality on the study sites (Hyphen in the data means 'not detected')

Item	Sites	Sites											Mean
		A	B	C	D	E	F	G	H	A'	B'	C'	
DO (mg/l)	Spr.	10.4	10.4	7.5	7.4	9.4	8.4	9.4	7.6	9.8	11.5	11.4	9.4
	Sum.	8.8	9.6	7.6	7.6	10.1	8.4	9.4	8.8	9.7	11.3	11.2	9.4
	Fal.	11.0	11.2	8.1	7.8	10.5	8.7	10.5	9.1	10.3	11.8	12.0	10.1
	Win.	12.8	11.9	8.5	7.7	10.4	8.5	10.2	9.1	10.2	11.8	11.6	10.2
	Mean±S.D	10.8±0.2	10.8±0.9	7.9±0.4	7.6±0.2	10.1±0.4	8.5±0.1	9.9±0.4	8.7±0.6	10.0±0.2	11.6±0.2	11.6±0.3	9.8±0.3
BOD (mg/l)	Spr.	3.9	4.0	2.5	3.4	3.3	2.2	11.4	2.8	7.4	3.0	4.5	4.4
	Sum.	4.0	4.0	2.4	3.6	3.5	1.8	8.6	2.7	6.8	3.0	3.0	3.9
	Fal.	3.5	4.5	2.8	3.7	3.5	2.0	8.8	2.9	7.5	3.4	3.4	4.2
	Win.	3.5	4.4	3.0	3.7	3.7	2.1	8.7	2.9	8.0	3.6	3.4	4.3
	Mean±S.D	3.7±0.2	4.2±0.2	2.7±0.2	3.6±0.1	3.5±0.1	2.0±0.1	9.4±1.2	2.8±0.1	7.4±0.4	3.3±0.3	3.6±0.6	4.2±0.5
COD (mg/l)	Spr.	4.8	4.8	5.2	5.4	4.5	4.7	8.6	3.5	10.4	4.8	7.5	5.8
	Sum.	4.7	4.8	5.5	5.2	4.4	4.5	11.0	3.4	11.0	4.5	5.8	5.9
	Fal.	5.0	4.9	4.8	5.4	4.5	4.2	12.0	3.5	11.1	4.6	5.8	6.0
	Win.	5.0	4.8	5.2	5.4	4.6	4.4	11.5	3.5	11.1	4.6	5.9	6.0
	Mean±S.D	4.9±0.1	4.8±0.1	5.2±0.3	5.4±0.1	4.5±0.1	4.5±0.2	10.8±1.3	3.5±0.1	10.9±0.3	4.6±0.1	6.3±0.7	5.9±0.1
SS (mg/l)	Spr.	10.2	8.5	10.5	10.5	11.5	5.5	11.8	11.6	15.6	4.8	10.8	10.1
	Sum.	11.5	8.8	10.8	10.6	10.8	7.4	20.4	20.8	18.4	5.7	11.5	12.3
	Fal.	11.0	7.8	10.6	11.4	11.2	6.0	20.2	19.4	17.5	5.5	11.2	12.0
	Win.	8.4	8.0	11.5	10.8	8.6	6.0	24.0	18.0	17.4	5.3	11.0	11.7
	Mean±S.D	10.3±1.2	8.3±0.4	10.9±0.4	10.8±0.4	10.5±1.1	6.2±0.7	19.1±4.0	17.5±3.5	17.2±1.1	5.3±0.3	11.1±0.3	11.5±0.9
T-P (mg/l)	Spr.	—	—	0.03	0.02	0.01	—	0.08	0.01	0.08	—	0.70	0.08
	Sum.	0.02	0.02	0.05	0.04	0.02	—	0.10	0.01	0.11	—	0.80	0.11
	Fal.	0.01	0.01	0.03	0.04	0.02	—	0.10	0.04	0.07	—	0.70	0.09
	Win.	—	—	0.02	0.01	0.01	—	0.12	0.02	0.06	—	0.75	0.09
	Mean±S.D	0.01±0.01	0.01±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01	—	0.10±0.01	0.02±0.01	0.08±0.01	—	0.74±0.01	0.09±0.01
TKN (mg/l)	Spr.	0.22	0.22	0.10	0.11	0.24	0.11	1.45	0.15	0.81	0.12	0.64	0.38
	Sum.	0.25	0.25	0.11	0.21	0.34	0.04	1.55	0.14	0.89	0.14	0.60	0.41
	Fal.	0.22	0.22	0.11	0.20	0.30	0.04	1.40	0.14	0.88	0.14	0.64	0.39
	Win.	0.22	0.09	0.11	0.15	0.32	0.06	1.45	0.14	0.94	0.15	0.63	0.39
	Mean±S.D	0.23±0.01	0.20±0.01	0.11±0.01	0.17±0.05	0.30±0.04	0.06±0.06	1.21±0.30	0.14±0.01	0.86±0.05	0.14±0.01	0.63±0.02	0.39±0.01
pH	Spr.	7.4	7.2	6.4	6.4	6.8	6.9	6.8	7.2	7.2	7.3	7.3	7.0
	Sum.	7.1	7.1	6.8	6.4	7.0	7.0	6.8	7.2	7.2	7.2	7.3	7.0
	Fal.	7.1	7.1	7.2	6.8	7.0	7.0	6.8	7.1	7.1	7.3	7.2	7.1
	Win.	7.0	7.2	7.0	7.0	7.0	7.0	6.8	7.1	7.1	7.4	7.2	7.1
	Mean±S.D	7.2±0.2	7.2±0.1	6.9±0.3	6.7±0.3	7.0±0.1	7.0±0.1	6.8±0.0	7.2±0.1	7.2±0.1	7.3±0.1	7.3±0.1	7.1±0.1

Remark; Spr.: Spring, Sum.: Summer, Fal.: Fall, Win.: Winter

**지형과 하천수질과의 관계**

**평균경사와 DO:** 평균경사가 상대적으로 높은 A', B', C' 유역인 장찬저수지 유역의 DO가 10 mg/l를 상회하고 있으며 경사가 대체적으로 낮은 D, E, F, G, H(개심저수지의 하류역에 해당)의 DO는 8~10 mg/l로 낮았다. 상관식은  $Y_{DO}=0.19X_{slope\ degree}+6.5927(r=0.81)$ 로 1% 유의수준에서 유의한 상관이 있었다 (Fig. 4).

**평균경사와 COD:** 평균경사가 커질수록 COD는 작아지고 있는데  $Y_{COD}=-0.2092X_{slope\ degree}+9.7104(r=0.52)$ 의 관계가 있었으나, 5%수준에서 유의하지 않게 나타났다. H 소집수역은 평균경사가 9.5로 가장 낮았고, 평균경사가 H 소집수역과 비슷한 소집수역은 D와 F 11.7, G 10.8이었다.

**평균경사와 BOD:** 평균경사와 BOD의 관계식은 극심히 오염이 진행된 G 소집수역의 18.6 mg/l와 가두리 양식장이 있는 A' 소집수역의 8.6 mg/l를 제외하여 관계식을 구하면,  $Y_{BOD}=0.0875X_{slope\ degree}+1.911(r=0.57)$ 로 나타나 5% 유의수준에서 상관이 있는 것으로 나타났다 (Fig. 5).

**평균경사와 T-P:** 하천의 평균경사와 총인의 농도와의 관계는 평균경사가 증가할수록 총인의 농도가 약간 증가하는 경향을 나타내고 있으나 그 정도는  $Y_{T-P}=0.0116X_{slope\ degree}-0.0862(r=0.29)$ 로 5% 수준에서 유의하지 않으며 경향성

이 나타나지 않았다 (Fig. 6).

**평균경사와 총질소:** 총질소 역시 총인과 마찬가지로( $Y_{TKN}=-0.0008X_{slope\ degree}+0.4433, r=9E-05$ ) 5% 수준에서 유의하지 않으며 상관성이 거의 없었다 (Fig. 7).

**형상계수와 총질소:** 형상계수가 커질수록 TKN의 값이 증가하는 유형을 나타내고 있다 (Fig. 8). 상관식은  $Y_{TKN}=0.7271X_{basin\ shape\ factor}+0.0967(r=0.61)$ 로 5% 수준에서 유의한 상관을 보였다. G 소집수역은 하류에 해당하여 형상계수가 0.036으로 비교적 낮고 TKN은 1.93으로 매우 높게 나타났다.

**환상률과 TKN:** 환상률이 커질수록 TKN의 값도 커지는 경향을 띠어 오차범위에서 매우 벗어난 G와 A' 소집수역을 제외하면,  $Y_{TKN}=0.1577X_{Cr}-0.1501(r=0.51)$ 의 관계로 5%수준에서 유의성이 있는 것으로 나타났다 (Fig. 9).

**BOD와 COD:** BOD와 COD는 비례관계가 있었으나 BOD와 COD의 기울기가 약 1.2 정도로 BOD보다는 COD가 약 20% 정도 더 높게 산정되었다. 따라서 본 유역의 BOD와 COD는  $1BOD/1.2COD$ 의 관계가 성립되고 있으며 상관식은  $Y_{BOD}=1.2984X_{COD}-3.2004(r=0.91)$ 로 1% 유의수준에서 상관성이 높게 나타났다 (Fig. 10).

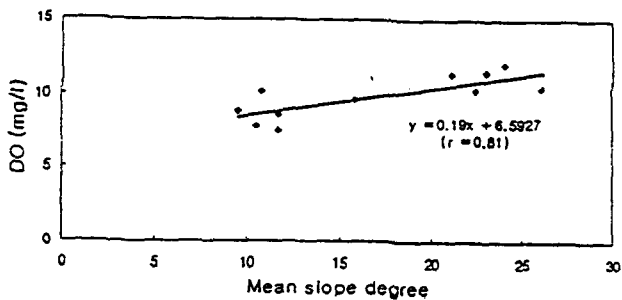


Fig. 4. The relationship between mean slope degree and dissolved oxygen on the study sites.  $Y=0.19X+6.5927 (r=0.81^*)$ . Where Y is the DO value and X is mean slope degree (\* $P<0.05$ ; \*\* $P<0.01$ ).

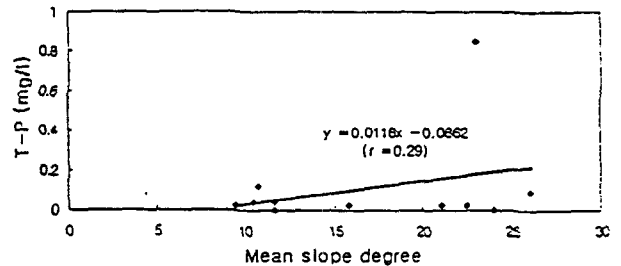


Fig. 6. The relationship between mean slope degree and total phosphate on the study sites.  $Y=0.0116X-0.0862 (r=0.29)$ . Where Y is the T-P value and X is mean slope degree (\* $P<0.05$ ; \*\* $P<0.01$ ).

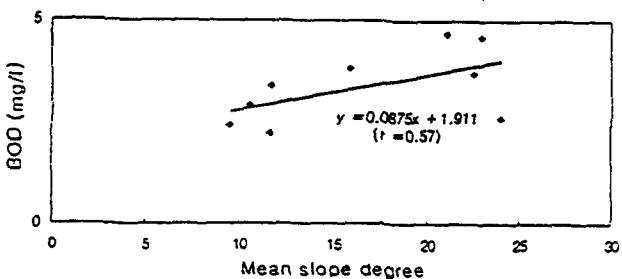


Fig. 5. The relationship between mean slope degree and biochemical oxygen demand on the study sites.  $Y=0.0875X+1.911 (r=0.57^*)$ . Where Y is the BOD value and X is mean slope degree (\* $P<0.05$ ; \*\* $P<0.01$ ).

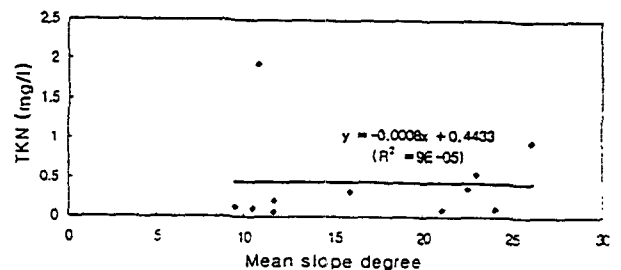
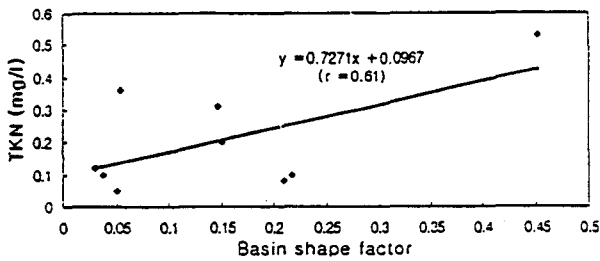
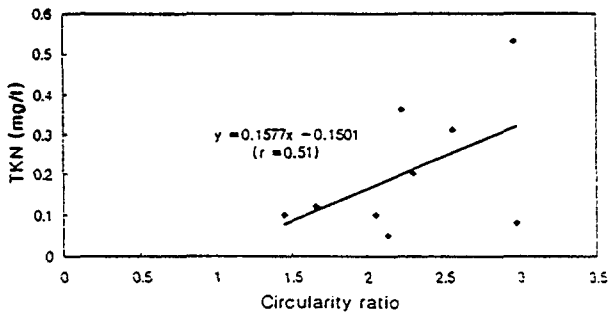


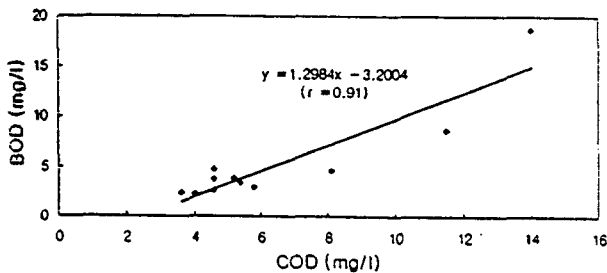
Fig. 7. The relationship between mean slope degree and total nitrogen (TKN) on the study sites.  $Y=-0.0008X+0.4433 (R^2=9E-05)$ . Where Y is the TKN value and X is mean slope degree (\* $P<0.05$ ; \*\* $P<0.01$ ).



**Fig. 8.** The relationship between basin shape factor and total nitrogen (TKN) on the study sites.  $Y=0.7271X+0.0967$  ( $r=0.61^*$ ). Where Y is the TKN value and X is basin shape factor (\* $P<0.05$ ; \*\* $P<0.01$ ).



**Fig. 9.** The relationship between circularity ratio (Cr) and total nitrogen (TKN) on the study sites.  $Y=0.1577X-0.1501$  ( $r=0.51^*$ ). Where Y is the TKN value and X is circularity ratio (\* $P<0.05$ ; \*\* $P<0.01$ ).



**Fig. 10.** The relationship between COD and BOD on the study sites.  $Y=1.2984X-3.2004$  ( $r=0.91^{**}$ ). Where Y is the BOD value and X is COD (\* $P<0.05$ ; \*\* $P<0.01$ ).

## 고찰

### 지형학적 특성

본류길이의 비에 대해 폭이 넓은 유역은 형상계수가 작아 홍수 유속시간은 빠르며 최대 유량이 크게 나타나는 경향이 있다고 하였다 (山本 1968). 금강 유역의 형상계수

0.063과 비슷한 개심저수지 E, F 소집수역(각각 0.054, 0.050)에서는 금강과 비슷한 홍수 유속시간과 최대 유량을 보일 것으로 판단된다.

개심저수지 H 소집수역은 형상계수가 0.030으로 가장 작기 때문에 강우시 홍수 유속시간은 빠르며 최대유량이 많게 나타났고, 홍수 도달시간은 49.26분으로 가장 빨랐다. 개심저수지 유역의 대부분은 남북 방향으로 길게 하천이 펼쳐져 있는 반면 장찬저수지 유역은 동서로 하천이 펼쳐져 있고, 하천 유효거리가 개심저수지쪽이 길기 때문에 두 유역간에 형상계수의 차이가 나고 있다. 한편, 하안정비공사와 같이 인위적으로 하천구조를 변경시키거나 배수로를 직선화하면 미관상 좋을지는 모르나 오히려 형상계수가 작아져 홍수를 유발할 가능성도 배제할 수 없다.

山本(1968)은 일본의 하천 형상계수가 농경지 유역인 利根川은 0.16, 石狩川 0.10, 信濃川 0.09, 荒川 0.09, 神通川 0.18, 紀の川 0.11, 最上川 0.16 등으로 각각 나타나고, 산지유역 하천인 富士川과 岩木川은 각각 0.22, 0.32로 나타난다고 하였다. 이와 같이 농경지 유역은 0.09~0.18, 산지유역은 0.22~0.32 정도로 산지유역의 형상계수가 2~3배 높은 것을 알 수 있다. 본 조사지역에서도 이와 유사한 사실로 미루어 볼 때 0.20을 중심으로 이 수치 이하일 때는 농경지 유역, 이상일 때는 산지유역으로 보면 무리가 없을 것으로 판단된다.

Leopold(1964)는 수원지의 거리(km, L)와 유역면적(km<sup>2</sup>, A)과의 관계를  $L=1.4A^{0.6}$ 으로 계산하였는데, 금강은 본류길이 395.9 km, 유역면적 9,810.4 km<sup>2</sup>로  $L=1.6A^{0.6}$ 이다. 전세계 평균은  $L=1.89A^{0.6}$ , 일본 1.4, 미국 0.6~0.7(中野 1976)인데 본 조사지역은 0.68~2.89 범위로 평균 1.44의 값으로 개심저수지 유역의 상·중류 지역은 1.00~2.36이었고, 하류지역은 0.68~0.86으로 상·중류지역에서 높게 나타났다. 이로 볼 때 본 지역의 평균계수는 일본의 값과 유사하며, 개심저수지의 상·중류는 미국의 보정계수 추정치와 유사함을 알 수 있다. 환상울과 세장울은 강수 도달시간이 느려지는 특성이 있는데 본 조사지역의 환상울과 세장울은 각각 금강유역 전체의 22.0%로써 강수가 유역으로 유입되는 시간(강수집합시간)이 금강보다 약 5배나 빠르다. 또한,  $Cr(\text{환상울})/Er(\text{세장울})$ 의 기울기가 낮아질수록 강수가 본류에 다다르는 시간이 빨라졌으며, 배수밀도가 높을수록 각 지류역에서 홍수와 갈수피해가 적게 나타났다.

배수밀도는 Sven-Olof와 Rast(1989)의 범위 0.89~3.37(평균 1.65)와 유사하였다. 수계빈도와 배수밀도와의 관계식은 개심저수지 유역  $Df=0.023Dd^2$ , 장찬저수지 유역  $Df=0.189Dd^2$ 으로 장찬저수지 유역의 수계빈도가 높은 것으로 나타났다. 이는 전세계 평균  $Df=0.694Dd^2$ (Melton 1958)으로 볼 때 개심저수지유역은 3.3%, 장찬저수지유역 27.2%에 해당하는 값으로 세계 평균치에 훨씬 밀도는데, 이는 한반도의 지형이 노년기 지형이기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 강수도달시간 역시 유역의 형상계수 등의 지형요인과 밀접한 관계를 갖는 것으로 조사되었다.

### 지형과 하천수질과의 관계

평균경사와 DO는  $Y_{DO}=0.19X_{slope\ degree}+6.5927(r=0.81)$ 로 평균경사가 클수록 용존산소가 증가하였으나, COD는  $Y_{COD}=-0.2383 X_{slope\ degree}+10.392(r=0.48)$ 로 5%유의수준에서 유의하지 않아 상관성이 거의 없었다. BOD와 평균경사는  $Y_{BOD}=0.0875 X_{slope\ degree}+1.911(r=0.57)$ 로 5%수준에서 유의한 상관을 보이며 평균경사와 T-P, 총질소는 유의한 경향성이 나타나지 않았다.

형상계수가 커질수록 TKN의 값이 증가하고 있다. 이는 형상계수 자체가 본류의 길이에 대한 유역의 평균폭이므로 유역의 평균폭이 커질수록 주변에서 유입되는 질소원이 증가되기 때문이다. 상관식은  $Y_{TKN}=0.7271X+0.0967(r=0.61)$ 이다. G 소집수역은 형상계수가 0.036으로 비교적 낮으나 농공단지과 농경지에서의 오염원 유입으로 TKN은 1.93으로 매우 높았다. 환상물이 커질수록 TKN의 값도 커지는 경향을 띠어  $Y_{TKN}=0.1577X_{Cr}-0.1501(r=0.51)$ 로 5% 유의수준에서 정의 상관성이 있었다 (Fig 9). 그러나 G 소집수역이나 A' 소집수역의 경우에는 Cr의 증가폭에 비해 TKN의 증가폭이 상대적으로 커서 또다른 요인에 의한 것으로 사료된다.

본 조사지의 BOD와 COD의 관계를 산정해 보면 1BOD/1.2COD로 나타났는데 실제로 BOD와 COD는 정의 상관관계를 갖는 것으로 알려져 있다. 그러나 하천의 오염 정도에 따라 양자의 관계가 다른 것으로 조사되고 있다. 즉, 일본의琵琶湖에서 1976년과 1977년에 조사한 자료로 볼 때 (建設省 1983), 비교적 오염되어 있는 하천의 경우에는 1BOD/1.2COD, 비교적 오염이 되어 있지 않은 하천의 경우에는 1BOD/0.5COD로 나타났다 (半谷과 小倉 1995). 이것은 본 조사지인 11개 소집수역이 일본과 입지조건에서 서로 상당한 차이를 보이지만 BOD와 COD는 상관관계가 있음을 확인해 준 결과이다.

### 인용문헌

- 건설부. 1978. 금강유역조사보고서.  
국립지리원. 1987. 옥천도폭(1: 50,000) 지형도.  
이상환. 1977. 혼효림에서 강우량이 유출량 및 수관차단율에 미치는 영향. 한국임학회지 35: 36-38  
중앙기상대. 1962-1996. 기후예년값.  
建設省. 1983. 流域別下水道整備總合計劃調査-指針と解説.  
半谷高久·小倉紀雄. 1995. 水質調査法. 第3版. 丸善株式會社. 335p.

- 本間義治. 1967. 阿賀縣川水系の水質汚濁の現況と生物群集.  
1. はじめに-新瀉水俣病とのかかりと阿賀野川の水文-人間と環境. pp. 97-111.  
山本莊毅. 1968. 溪流工學. 共立出版. 東京. pp. 67-80.  
中野秀章. 1976. 森林水文學. pp. 36-38.  
APHA. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th ed. APHA-AWWA-WPCF, New York.  
Gardiner, V. 1979. Estimation of drainage density from topological variables. Water Resources Research 15: 909.  
Jenny, H. 1962. Derivation of state factor equations of soils and ecosystems. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 25: 385-388.  
Horton, R.E. 1945. Erosional development of stream and their drainage basins, hydrophysical, approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Amer. 56: 275-370.  
Leopold, L.B. 1964. Fluvial processes in geomorphology. Freeman and Co., 145 p.  
Linsley, R.K., M.A. Kohler and J.L.H. Paulhus. 1949. Applied hydrology. McGraw-Hill Book Company Inc., New York. NY.  
Lowe-McConnel, R.H. 1973. Reservoirs in relation to the man-fisheries man-made lake; Their problems and environmental effects. American Geophysical Union, Washington. D.C.  
Marsh, G.P. 1874. The earth as modified by human action. Scribners, NY.  
Melton, M.A. 1958. Geometric properties of mature drainage systems and their representation in an  $E_4$  phase space. Jour. Geol. 66: 35-64.  
Osborne, L.L. and M.J. Wiley. 1988. Empirical relationships between land use cover and stream water quality in an agricultural watershed. J. Environmental Management 26: 9-27.  
Sven-Olof, R. and W. Rast. 1989. Man and the biosphere series Volume I. The control of eutrophication of lakes and reservoirs. The Parthenon Publishing Group Limited, 314 p.

(1998년 10월 12일 접수)

---

## The Topographical Factors Affecting the Water Quality of Iwonchŏn Basin

Lee, Ho-Joon and Je-Yong Bang

*Department of Biological Sciences, Division of Natural Science, Konkuk University*

**ABSTRACT:** This survey was performed from March 1993 to March 1998, in order to clarify the relationships between water quality and topographical factor. The study sites were two reservoir basins; Kaesim and Jangchan in Iwon-myŏn, Okchŏn-gun, Chungcho'ngbukdo Province. Basin shape factors of Kaesim reservoir were at 0.030~0.210 (mean value 0.090), those of Jangchan reservoir were at 0.217~0.452 (mean value 0.325). The mean basin shape factor of Jangchan reservoir was 3.61 times larger than that of Kaesim reservoir because its stream width was narrower and mean stream length was shorter. In the correlation between distance from the source of stream (L) and basin area (A), Iwonchŏn basin was calculated as  $L=1.44A^{0.6}$ . Circularity ratio was 17.114 in Kaesim (22% of Kŭm River), and 7.444 in Jangchan. Elongation ratio was 0.357 in Kaesim, 0.636 in Jangchan and 0.282 in Kŭm River. Precipitation summation period of Jangchan was 1.54 times slower than that of Kaesim. Rainfall reaching time in each small basin was 337.53 min. in A' (Jangchan-ri) basin of Jangchan and 49.26 min in H (Iwon-ri) basin of Kaesim. In the relationship between watershed frequency (Df) and drainage density (Dd), the regression equation was  $Df=0.023Dd^2$  in Kaesim and  $Df=0.189Dd^2$  in Jangchan reservoir. As slope degree increased, DO became higher ( $Y_{DO}=0.19X+6.5927$ ,  $r=0.81$ ), but COD ( $Y_{COD}=-0.2092X+9.7104$ ,  $r=0.52$ ) became lower. Total nitrogen was increased with the increase of basin shape factor and circularity ratio. Ratio of BOD to COD was  $1/1.2(Y_{BOD}=1.2984 X_{COD}-3.2004)$ ,  $r=0.91$ .

**Key words:** Basin shape factor, Circularity ratio, Drainage density, Elongation ratio, Rainfall reaching time, Reservoir, Topographical factor, Water quality

---