

## 이원천 수질에 미치는 삼림식생과 토양환경요인

방 제 용\* · 양 금 철<sup>1</sup>

서울여자대학교 환경생명과학부, <sup>1</sup>공주대학교 건설환경공학부

### A Study on the Forest Vegetation and Soil-environmental Factors Affecting the Water Quality of Iwonchŏn Stream

Je-Yong Bang\* and Keum-Chul Yang<sup>1</sup>

Faculty of Environment and Life Sciences, Seoul Women's University,  
Seoul 139-774, Korea

<sup>1</sup>Division of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University,  
Cheonan 330-717, Korea

**Abstract** – Characterization of the analysis of forest vegetation, soil environmental conditions and water quality were performed from March 2003 to March 2007. The two basins were characterized by cultivated area (Kaesim reservoir) and mountain area (Jangchan reservoir), and divided into eleven small basins, where dynamics of pollutants, forest vegetation and soil environmental conditions were surveyed. The vegetation can be divided into 10 types by Zürich-Montpellier school's method. Pearson coefficients between vegetation type and water quality were correlated with dissolved oxygen (DO) in the *Quercus variabilis* community at the 5% level and total phosphorus (T-P) in the *Larix leptolepis* plantation at the 1% level. Especially total phosphorous and total nitrogen increased in small basins where the proportion of cultivated and residential area increased. The analysis of influences of pollutant discharge on water quality showed that pollutant charge was very low in forest land area ( $Y_{T-P} = -0.0017X + 0.2215$ ,  $r=0.16$ ,  $Y_{COD} = -0.0395X + 8.5051$ ,  $r=0.47$ ). The soil types of western area were comparatively simple, but those of eastern area were complicated with regosols, red-yellow soils, lithosoles, etc. The pH, total solid (TS) and volatile substance (VS) of the forest and agricultural land soils collected in each site were 5.4~6.9, 75.8~80.2%, and 3.80%~5.80%, respectively. According to the analytical result of soil environmental conditions, heavy metal contents fell short to the mean value of natural conditions. Runoff amount (Y) and depth of topsoil (X) were negatively correlated,  $Y_{ron} = -1.0088X_{top} + 35.378$  ( $r=0.68$ ). The correlation was much lower in up-stream but much higher in down-stream, because permeation into soil particle was larger on down-stream due to its more or less gentle slope. Pearson coefficients between soil pH and water pH were statistically significant at 1% level.

**Key words** : forest vegetation, runoff amount, soil environmental conditions, water quality

\* Corresponding author: Je-Yong Bang, Tel. 016-207-5048,  
Fax. 02-6909-5947, E-mail. jeyongb@empal.com

## 서 론

최근 급속한 산업화와 더불어 유역권에 인구집중, 오염물의 대량유출 등이 수질을 심각할 정도로 악화시키고 있다(Jenny 1962). 수질에 영향을 미치는 요소는 자연조건, 토지이용, 오염원의 분포 등 여러 가지가 있기 때문에 환경요인과의 관계를 규명하려면 다각적인 접근이 필요하다(Osborne and Wiley 1988).

삼림속에서 수관(crown)은 강우를 일시적이거나 차단하여 토양침식을 약화시키는 기능이 있다. 일반적으로 수관에 의한 강우차폐율은 약 20% 정도로 알려져 있으나 실제차단율은 식물종, 임분구조, 강우시간과 강우강도, 계절 등에 따라 다르다고 한다(Marsh 1874; Kittredge 1944). 유량의 많고 적음은 홍수와 지표면의 침식에 직접 연관되고, 유출량은 지표식생의 특성, 강우, 지형과 토양특성에 지배를 받는다. 따라서 나지(open space)에서의 강우량과 유출량은 강우의 밀도와 강우강도에 정의 상관관을 보인다고 하였다(Reynolds *et al.* 1991).

수질은 여러 환경요인에 의해 복합적인 영향을 받고 있다. 이 때문에 지형, 식생, 토지이용, 토양(Ciravolo 1979) 등에 대해 생태학적으로 상관성을 규명하는 것은 중요한 의미를 갖는다. 이렇게 되면 유역생태계가 지니고 있는 자연자원을 평가할 수 있으며 인간활동에 따른 자연의 반응을 정성적, 정량적으로 분석가능하게 된다.

조사지역으로 선정된 곳은 충청북도 옥천군 이원면에 있는 개심저수지와 장찬저수지 일대이다. 개심저수지 유역은 해발표고가 비교적 낮은 지형을 이루고 있기 때문에 농경지의 분포면적이 넓으며, 비점오염원의 확산이 우려되는 지역이다. 따라서 삼림을 통과한 물이 모여지는 장찬저수지 유역과는 달리 개심저수지 유역은 완만한 구릉성의 산지와 경작지가 집중적으로 분포하여 과도한 농약살포, 축산분뇨 등 오염에 대한 인위적 영향정도가 심한 지역으로 생각되어 실험구로 설정하였다. 대조구는 비교적 수질이 양호할 것으로 판단되는 장찬저수지 유역을 선정하였다.

하천수질과 환경요인에 대한 조사는 우리나라 인구가 대부분 집중하고 있는 한강유역을 중심으로 오 등(1978)의 한강 주요 지천 조사연구, 이와 홍(1987)의 한강에서 하천수와 지하수오염에 가축폐기물이 미치는 영향, 임 등(1972)의 한강수계 ABS오염도에 관한 연구, 조(1968)의 한강수계 3개 인공호의 육수학적 연구, 홍 등(1974)의 조종천의 육수학적 연구, 홍(1969)의 남한강과 북한강의 육수학적 연구 등이 있다. 그러나 중부권의 젓줄인 금강유역은 대청호 등지에서의 국지적 연구(오 등 1995),

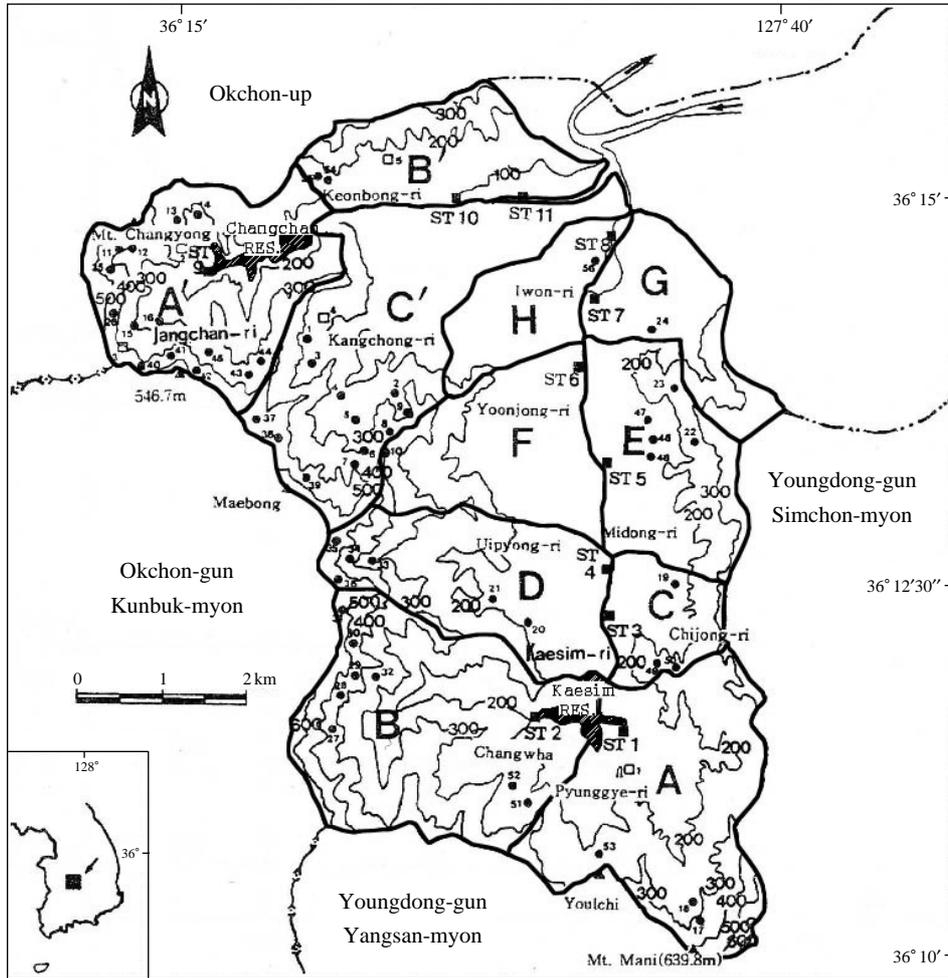
임과 윤(1987)의 부여 구룡천 유역에 대한 연구 등이 있었으나 식생이나 토양요인에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

이에 본 연구는 옥천군 이원천유역의 하천수질에 미치는 환경요인(이 등 1999; 이와 방 1999)에 관해 조사된 1993~1997년, 2003~2007년 자료를 기초로 식생요인, 토양요인에 따른 하천수질과의 상관성을 규명하고자 하였다.

## 조사지역의 환경요인

본 조사지역인 옥천군 이원면은 위도로 볼 때 온대중부에 속하며(이와 임 1978), 1997년 이전에는 연평균 기온 12.6°C, 평균연강수량 1,242.0 mm이었으나 2003년에서 2006년까지(옥천군 2007)의 평균을 보면 기온이 11.6°C (10.9~12.1°C), 강수량 1,734.2 mm (1,223.7~1,956.2 mm)로 단기간으로 볼 때 연변동이 있는 지역으로 특히 강우량의 변동 폭이 심하였는데 이는 2003년의 경우 1956.2 mm의 호우집중이 있었기 때문이다. 평균 연강수량은 전국 평균보다 약 83 mm 정도 높는데 6~9월에 연강수량의 62%가 집중되며, 10월~익년 3월까지 6개월 동안은 연강수량의 21%, 4월과 5월에 17%가 강하고 있다. 옥천군의 전체면적인 537.08 km<sup>2</sup> 중 12.4%에 해당하는 66.33 km<sup>2</sup> (조사지역의 면적은 44.91 km<sup>2</sup>)가 이원면으로 총 2,137세대 5,190명의 인구가 분포하며(옥천군 2007), 경관지구, 이관지구, 고도지구 등(용도지구)이 전혀 지정이 되어 있지 않은 전형적인 농촌경관 생태계형을 보이는 지역이다. 인구는 1997년 이전에 9,800여 명을 유지하였으나 지속적인 이농으로 감소추세에 있다. 토지이용별 현황을 보면 임야가 42.22 km<sup>2</sup>로 가장 많고, 담 8.04, 전 6.02의 순이며 기타 과수원 및 목장용지(0.07 km<sup>2</sup>) 등이 분포한다. 본 지역의 수계에 영향을 미치는 축산농가는 총 275가구로 한우 1,204마리, 젓소 68마리, 돼지 550마리, 닭 11,530마리 등으로 주로 이원리인 G 소집수역에 집중되고 있다. 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 8개의 소집수역으로 세분된다. 장찬저수지는 이원면 장찬리에 0.23 km<sup>2</sup> 면적을 점유하며, 행정구역상 이원면의 서단에 해당하고 3개의 소집수역으로 세분되며, 위도상 36° 10'03"~36° 15'10"N, 127° 31'00"~127° 39'05"E에 해당한다. 홍수시와 갈수시의 수고차는 6.5 m이며 금강의 분류인 심천으로 유입된다(국립지리원 2005, Fig. 1).

조사지역의 토양은 암쇄토(퇴적암)가 대부분을 차지



**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, □ indicate soil environmental factor survey sites, and 1~56 (●) indicate vegetation survey sites).

하고 있으며 적황색토, 암쇄토, 충적토, 범람지토 등 총 17개형이다. 암쇄토는 조사지역의 B, D, F, H, A', B' 소집수역에 분포하는데 이들 지역은 모두 조사지역의 서편에 해당한다. 한편, 동측의 토양형은 매우 복잡한 양상을 띠어 암쇄토, 적황색토, 퇴적토 등이 주류를 이루고 있다. 또한 하천변을 따라 충적토, 범람지 및 충적토로 대부분 펼쳐져 있다. 조사지 서편은 중성토양, 동쪽은 산성암, 남동단은 염기성암이 분포하고 있다.

## 연구 방법

### 1. 하천수질조사

수질조사는 집수역을 고려하여 총 11개 지점에서 채수하였다(Fig. 1). 채수는 장마가 시작되기 전인 매년 6월에 1회 채수하여 조사하였으며 1993~1997년의 자료

에 2003~2007년의 현장조사자료를 평균수질로 검토하였다. 2003년 이후의 수질은 본 조사지역에서 개심리(처리용량 45 m<sup>3</sup> 일<sup>-1</sup>, D 소집수역)와 건진리(처리용량 579 m<sup>3</sup> 일<sup>-1</sup>)에 하수종말처리장이 설치 운영된 후 각 항목의 수질이 약간 개선되는 경향을 보이고 있다. 수온과 pH는 Horiba water analyzer (Model U-7)를 사용하여 현장에서 측정하였으며, 생화학적 산소요구량(biochemical oxygen demand, BOD), 화학적 산소요구량(chemical oxygen demand, COD), 총질소(total Kjeldahl nitrogen, TKN) 등 15개 항목에 대해서는 시료를 실험실로 운반한 후 APHA (1992)의 방법으로 분석하였다.

### 2. 식생조사

식생요인과 수질과의 상호관계를 검토하기 위하여 식생자료는 1993~1997년의 조사자료(방 1998)를 근거로

**Table 1.** Area of different vegetation and others on the study sites (km<sup>2</sup>, %)

Sites	<i>Q.m</i>	<i>P.d</i>	<i>Q.a</i>	<i>Q.v</i>	<i>L.l</i>	<i>P.t</i>	Orchard	R.F	H.s	Res.	Total
A	—	2.15	0.21	—	—	—	1.00	1.59	0.19	—	5.14
B	2.38	3.00	0.48	0.54	0.03	0.06	—	0.38	0.07	—	6.94
C	—	1.07	0.23	—	—	—	—	0.31	0.04	—	1.65
D	0.66	1.55	0.20	0.17	—	—	—	1.35	0.20	—	4.13
E	0.05	2.37	0.21	—	—	—	—	1.06	0.19	—	3.88
F	0.03	2.44	0.02	0.15	—	—	—	0.80	0.13	—	3.57
G	0.15	1.77	0.11	—	—	—	—	0.50	0.08	—	2.61
H	—	0.29	—	—	0.03	—	—	1.84	0.13	—	2.16
A'	1.64	2.50	—	—	—	—	—	0.25	0.03	0.23	4.65
B'	—	2.06	—	—	0.14	—	—	1.07	0.03	—	3.30
C'	1.97	0.40	0.45	0.59	0.10	—	—	2.27	1.10	—	6.88
Total	6.88	19.60	1.91	1.44	0.30	0.06	1.00	11.42	2.19	0.23	44.91
(%)	(15.0)	(44.0)	(4.0)	(3.0)	(0.5)	(1.0)	(2.0)	(25.0)	(5.0)	(0.5)	(100.0)

Remarks; *Q.m*: *Quercus mongolica*, *P.d*: *Pinus densiflora*, *Q.a*: *Quercus acutissima*, *Q.v*: *Quercus variabilis*, *L.l*: *Larix leptolepis*, *P.t*: *Populus tomentiglandulosa*, R.F: Rice paddy and field area, H.s: Homestead, Res.: Reservoir

## 선 넣어야 하나요??

이전의 조사시기가 하계이었던 점을 감안하여 2007년 7, 8월에 현장 조사를 실시하여 일부 수정하였으나 거의 변동이 없는 것으로 나타났다. 기 언급한 바와 같이 본 지역은 인구의 유입보다 유출이 많아 개발에 대한 압력이 거의 없어 비교적 안정된 토지이용이 유지되고 있는 지역이다. 조사는 Z-M (Braun-Branquet 1964)법에 따라 층위별로 우점도와 군도(dominance and sociability, D.S)를 기록하고, 군락구조를 정량적으로 분석하였으며(Curtis and McIntosh 1951), 상관(physiognomy)과 종조성에 의해 군락을 구분하고 현존식생도를 작성하였다.

### 3. 토양분석과 하천유량측정

#### 1) 토양분석

토양은 식생조사와 병행하여 각 집수역에서 2007년에 식분이 균일한 삼림과 경작지에서 8개 지점(4개 식물군락에서 각 2지점)을 선정하였다. 토양채취는 A<sub>1</sub>층을 대상으로 하였다. 토양분석은 수질에 직접 영향을 주는 pH, TS, VS으로 3개 항목이었다. 분석방법은 다음과 같이 환경오염 공정시험법 토양편(환경처 1989)에 준하여 실시하였다.

#### 2) 하천의 유량

하천의 유량은 기상자료에 의해 측정하였고, 표토와의 상관성을 파악하기 위해 각 집수역의 표토 깊이(A<sub>1</sub>층)를 측정하였다. 같은 집수역에서도 표토의 깊이가 다를 것이라고 판단되어 임의로 한 집수역에서 3지점을 선정, 측정하여 평균값으로 표토의 깊이를 정하였다.

### 4. 통계분석

SAS (version 6.04)프로그램을 이용하여 삼림군락과 수

질에서는 본 지역의 대표식생으로 판단되는 자연림 4개 군락(신갈나무군락, 굴참나무군락, 상수리나무군락, 소나무군락)과 인공림 1개 식재림(일본잎갈나무식재림)을 선정하여 수질 각 7개 요소 간의 상관성을, 토양요인과 수질에서는 토양분석항목 3개(pH, TS, VS)의 상관분석을 하였고, 이 중에서 유의성이 있는 상관을 선택하여 유의성 검증도 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 식생요인에 따른 하천수질

개심저수지와 장찬저수지 유역의 11개 소집수역에 대한 삼림식생을 식물군락 분류체계를 식물사회학적 방법에 따라 분류한 결과 식생형은 4개의 자연군락과 2개의 식재림, 과수원 등으로 분류되었고, 그 외 주거지 및 경작지, 저수지 등이었다(Table 1).

식물군락은 신갈나무군락(*Quercus mongolica* community), 굴참나무군락(*Quercus variabilis* community), 소나무군락(*Pinus densiflora* community), 상수리나무군락(*Quercus acutissima* community)의 4개 2차림과 일본잎갈나무식재림(*Larix leptolepis* plantation), 은수원사시나무식재림(*Populus tomentiglandulosa* plantation), 과수원으로 구분되었다.

식생형별로 보면, 소나무군락(*Pinus densiflora* community)의 면적이 19.60 km<sup>2</sup>로 전체의 44%이고, 개심저수지 유역에서 14.64 km<sup>2</sup>, 장찬저수지 유역에서 4.96 km<sup>2</sup>이었다. 다음으로는 신갈나무군락(*Quercus mongolica* community) 6.88 km<sup>2</sup>(개심 3.27 km<sup>2</sup>, 장찬 3.61 km<sup>2</sup>) 15%, 상수리나무군락(*Quercus acutissima* community) 1.91 km<sup>2</sup>(개

Table 2. Water quality analysis on the study sites (Hyphen in the data means 'not detected')

Sites	Years	A	B	C	D	E	F	G	H	A'	B'	C'
DO (mg L <sup>-1</sup> )	93~97	9.5	11.4	7.6	7.4	9.8	8.6	9.9	8.7	9.8	11.9	11.2
	03~07	9.7	11.4	8.0	7.6	10.8	8.6	10.3	8.9	11.0	12.1	11.8
	Mean	9.6	11.4	7.8	7.5	10.3	8.6	10.1	8.8	10.4	12.0	11.5
BOD (mg L <sup>-1</sup> )	93~97	3.9	4.8	3.0	3.6	3.9	2.2	19.6	2.5	8.6	2.7	4.6
	03~07	3.7	4.9	2.8	3.2	3.5	2.2	17.6	2.3	8.6	2.5	4.6
	Mean	3.8	4.7	2.9	3.4	3.7	2.2	18.6	2.4	8.6	2.6	4.6
COD (mg L <sup>-1</sup> )	93~97	5.4	4.7	5.7	5.4	4.9	4.1	17.1	3.6	11.7	4.7	8.0
	03~07	5.0	4.5	5.9	5.4	4.3	3.9	10.9	3.6	11.3	4.5	8.2
	Mean	5.2	4.6	5.8	5.4	4.6	4.0	14.0	3.6	11.5	4.6	8.1
SS (mg L <sup>-1</sup> )	93~97	9.9	8.5	12.7	11.1	9.9	6.1	56.5	30.0	19.2	5.7	12.0
	03~07	9.9	8.1	10.1	9.9	9.5	5.9	45.9	25.8	17.4	5.3	11.8
	Mean	9.9	8.3	11.4	10.5	9.7	6.0	51.2	27.9	18.3	5.5	11.9
T-P (mg L <sup>-1</sup> )	93~97	0.02	0.01	0.04	0.05	0.03	-	0.13	0.02	0.10	0.01	0.87
	03~07	0.02	0.03	0.04	0.03	0.01	-	0.11	0.02	0.08	-	0.83
	Mean	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02	-	0.12	0.02	0.09	-	0.85
TKN (mg L <sup>-1</sup> )	93~97	0.33	0.08	0.11	0.21	0.50	0.05	1.98	0.13	0.95	0.10	0.55
	03~07	0.29	0.08	0.09	0.19	0.12	0.05	1.88	0.11	0.93	0.10	0.51
	Mean	0.31	0.08	0.10	0.20	0.36	0.05	1.93	0.12	0.94	0.10	0.53
pH	93~97	6.8	7.4	7.1	6.6	7.1	7.1	7.1	7.4	7.2	7.5	7.4
	03~07	6.8	7.2	7.1	6.6	7.1	6.9	6.9	7.4	7.0	7.5	7.2
	Mean	6.8	7.3	7.1	6.6	7.1	7.0	7.0	7.4	7.1	7.5	7.3

심 1.46 km<sup>2</sup>, 장чан 0.45 km<sup>2</sup>) 4%, 굴참나무군락 (*Quercus variabilis* community) 1.44 km<sup>2</sup>(개심 0.86 km<sup>2</sup>, 장чан 0.59 km<sup>2</sup>) 3%, 과수원 1.00 km<sup>2</sup>(개심 1.00 km<sup>2</sup>) 2%, 일본잎갈나무식재림 (*Larix leptolepis* plantation) 0.30 km<sup>2</sup>(개심 0.06 km<sup>2</sup>, 장чан 0.24 km<sup>2</sup>) 0.5%를 각각 점유하고 있으며 가장 작은 면적을 보인 식생형은 은수원사시나무식재림 (*Populus tomentiglandulosa*)으로 개심저수지 유역에만 0.06 km<sup>2</sup>(0.02%) 분포하는 것으로 나타났다.

본 지역의 식물분포를 표고별로 보면 100~300m에서 교목층에는 일본잎갈나무, 소나무, 오리나무, 서어나무, 상수리나무, 떡갈나무, 졸참나무, 굴참나무 등이 대표적으로 출현하고 300~450m에서는 소나무, 굴참나무, 신갈나무 등이 계곡 주변부에 졸참나무 등이 각각 출현 분포하고 있다.

굴참나무군락은 북동사면에서 출현종수가 많고 남동-남서사면으로 갈수록 종수가 적게 나타나는 경향을 보이고 있었으며, 신갈나무군락에서는 굴참나무군락보다는 종의 다양성이 낮은 것으로 나타났는데, 이는 인위적 간섭이 많아 나타난 결과로 해석된다.

장чан저수지 유역은 해발표고가 500 m 이상이 되는 A'와 C' 소집수역에 신갈나무군락이 각각 1.64 km<sup>2</sup>, 1.97 km<sup>2</sup>의 면적을 점유하고, 소나무군락은 본 조사지역의 각 소집수역에서 고루 분포하고 있는 편이나 상대적으로 농경지가 많은 H 소집수역에서 0.29 km<sup>2</sup>(13.4%)로 가장 작았다.

삼림식생의 분포율이 높은 개심저수지 소집수역(A, B, C 소집수역 등)의 BOD와 COD는 2~4 mg L<sup>-1</sup> 범위를 나타내어 상수원 수질 2등급 수준이었다(Table 2). 이로 볼 때 BOD, COD 등을 비롯한 각 수질항목은 인위적인 간섭에 더 큰 영향을 받는다고 해석할 수 있다.

이는 인구의 집중분포가 표고가 낮은 지역인 경작지에 분포하는 것이 원인이겠으나 G 소집수역의 경우를 보면, 삼림분포 비율이 78.0%로 비교적 높음에도 불구하고 삼림의 층위구조가 빈약하고, 측사능가가 집중되어 있기 때문에 오염도가 높게 나타나고 있다. 따라서 삼림 분포비율도 수질에 영향을 미칠 수 있는 중요한 요소이겠으나 삼림의 층위구조 또한 수질에 영향을 줄 수 있는 요인으로 확인되었다. C 소집수역은 삼림분포비율이 79.3%로 높고, 층위구조 또한 비교적 잘 발달된 지역이기 때문에 오염부하가 다른 소집수역보다는 적은 것으로 판단된다.

굴참나무군락의 pH는 5.8~6.0으로 가장 높고, 상수리나무군락 5.6~5.8, 신갈나무군락 5.5~5.7의 순으로 낮으며 소나무군락에서 pH가 가장 낮은 5.4~5.6 범위를 나타냈다. 고형분(TS)은 상수리나무군락에서 80.2%로 가장 높고 신갈나무군락 75.8%로 가장 낮았다. 휘발성분(VS)은 신갈나무군락에서 각각 5.8%로 가장 높게 나타났다.

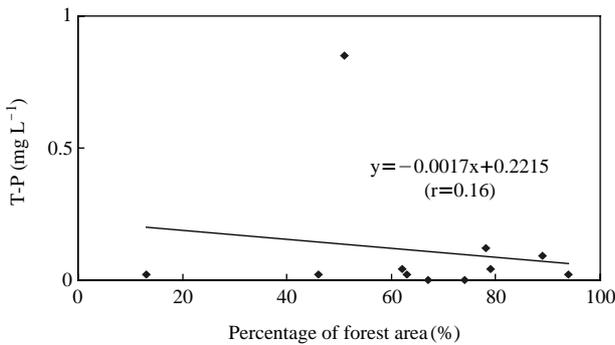
이로 볼 때 본 조사지 활엽수림의 pH는 5.5~6.0, 침엽수림 5.4~5.6 범위로 활엽수림에서의 pH가 높으며,

**Table 3.** Pearson correlation coefficients between vegetation type and water quality on the study sites

Parameter	<i>Q.m</i>	<i>P.d</i>	<i>Q.a</i>	<i>Q.v</i>	<i>L.l</i>
DO	0.6316	0.2660	0.6413	0.9644*	0.6734
BOD	-0.1587	0.1108	-0.1952	0.9159	-0.1746
COD	0.0202	0.0097	-0.1109	0.6036	0.4108
SS	-0.2706	-0.2648	-0.2758	0.4857	-0.5952
T-P	0.3814	-0.4958	0.5128	0.5742	1.0000**
TKN	-0.2014	0.0218	-0.2297	0.5531	0.3051
pH	0.5775	-0.1860	0.5906	0.8496	0.5433

\*: significant at 5% level, \*\*: significant at 1% level

Remarks: *Q.m*: *Quercus mongolica* community, *P.d*: *Pinus densiflora* community, *Q.a*: *Quercus acutissima* community, *Q.v*: *Quercus variabilis* community, *L.l*: *Larix leptolepis* plantation

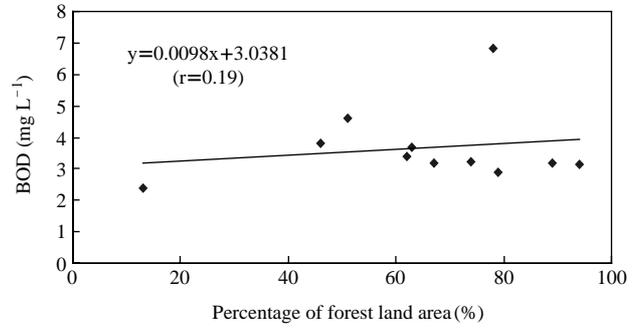


**Fig. 2.** Correlation between percentage of forest land area and total phosphate (T-P) on the study sites.

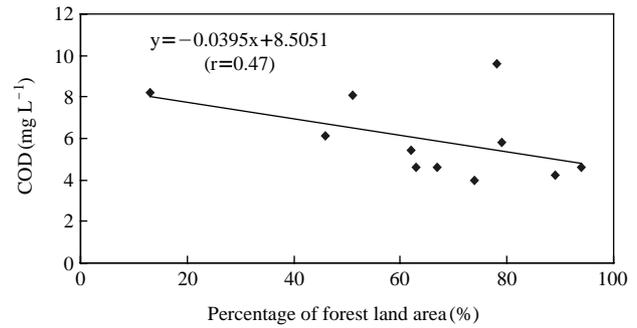
고형분이나 휘발성 성분 또한 활엽수림에서 높게 나타나고 있음을 확인하였다.

신갈나무군락, 소나무군락, 상수리나무군락, 굴참나무군락, 일본잎갈나무식재림의 5개 삼림식생과 각 DO, BOD, COD 등의 수질항목 간 상관성은 신갈나무군락, 소나무군락, 상수리나무군락, 일본잎갈나무식재림에서는 각 항목간에 유의한 상관성이 나타나지 않았으나, 굴참나무군락과 DO는 5% 수준 ( $r=0.98$ )에서, 일본잎갈나무식재림과 T-P는 1% 수준에서 유의한 상관을 나타내고 있었다. 일반적으로 굴참나무군락은 내화성이 커 산불이 났던 입지에도 다수 살아남는 수종인데, 산화적지에 남아 있던 탄소성분이 오염물질을 정화하여 용존산소가 높게 나온다고 사료되는데 검토가 더 필요하다. 그리고 일본잎갈나무식재림에서 T-P와의 상관성이 높게 나온 이유는 주기적인 시비 등 주로 인간활동에 의한 영향 때문으로 판단된다.

그 외 상관성은 DO와 신갈나무군락 0.6316, 상수리나무군락 0.6413, 일본잎갈나무식재림 0.6734로 높게 나타나지만 유의성 검토에서는 상관성이 거의 나타나지 않고 있었다. 또한, BOD와 굴참나무군락 0.9159, COD와 굴참



**Fig. 3.** Correlation between percentage of forest area and biochemical oxygen demand (BOD) on the study sites.



**Fig. 4.** Correlation between percentage of forest area and chemical oxygen demand (COD) on the study sites.

나무군락 0.6036으로 상관성은 높으나 유의성 검토에서는 낮게 나타났다 (Table 3).

토지이용형 중 비삼림지역 (경작지 및 시가지 등) 분포 비율의 상관에 따라 오염정도가 달라질 것이라고 판단되는데 비삼림지역의 분포비율이 가장 높은 곳은 개심저수지 유역의 H 소집수역으로 85.2%, 장чан저수지 유역에서는 49.0%로 각각 조사되었다.

삼림면적과 총인과의 상관을 보면, 총인 ( $Y_{T-P} = -0.0017X + 0.2215$ ,  $r=0.16$ , Fig. 2)은 역의 상관을 나타내고, BOD는  $Y_{BOD} = 0.0098X + 3.0381$  ( $r=0.19$ , Fig. 3)로 거의 상관이 없었으며, COD는  $Y_{COD} = -0.0395X + 8.5051$  ( $r=0.47$ , Fig. 4)로 역의 상관을 보였다.

## 2. 토양환경과 하천수질

### 1) 토양환경

pH는 군락 간에 큰 차이를 보이지 않으나 굴참나무군락이 5.8~6.0으로 가장 높고, 상수리나무군락 5.6~5.8, 신갈나무군락 5.5~5.7의 순으로 낮으며 소나무군락에서 pH가 가장 낮은 5.4~5.6 범위를 나타냈다. 고형분 (TS, %)은 상수리나무군락에서 80.2%로 가장 높고 신갈

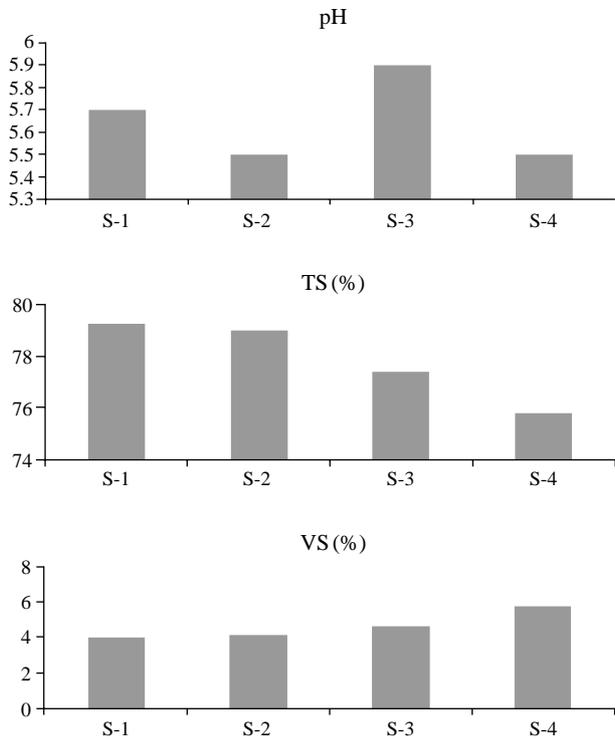


Fig. 5. Soil environmental factors each of the forest community (S-1: *Quercus acutissima* community, S-2: *Pinus densiflora* community, S-3: *Quercus variabilis* community, S-4: *Quercus mongolica* community).

나무군락 75.8%로 가장 낮았다. 휘발성분(VS, %)은 신갈나무군락에서 5.8%로 높게 나타났다(Fig. 5).

2) 표토의 깊이와 유출량

표토의 깊이는 A' 소집수역 20 cm로 가장 깊고, B 소집수역 18 cm, B' 소집수역 13 cm의 순으로 나타났으며 가장 얇은 소집수역은 G와 H로 5 cm이었다. 그러나 유출량은 A 소집수역  $33.4 \times 10^3$  ton으로 가장 많고, H 소집수역이  $11.9 \times 10^3$  ton으로 가장 적었다. 기상자료에 의한 조사지역의 총 유출량은 0.2206억 ton(강수량 0.5577억 ton에서 증발산량 0.3371억 ton을 제외함)으로 나타났다.

Beston and Marius (1969)와 Horton (1945)은 표토의 깊이에 따라 유출유형이 달라질 것이라고 했는데, 본 조사지의 표토깊이와 유출량은  $Y_{\text{run-off}} = -1.0088X + 35.378$  ( $r = 0.68$ )로 여기서 X는 표토(A<sub>1</sub>층)의 깊이(cm)이고 Y는 단위면적당 유출량( $\times 1,000 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2}$ )이다(Fig. 6). 상류지역인 개심저수지 A 소집수역과, 장찬저수지 A' 소집수역은 표토의 깊이와 유출량에 상관이 거의 없으나, 하류집수역으로 갈수록 높은 상관을 보이고 있다. 상류지역의 경우는 평균경사가 높아 표토의 깊이에 관계없이 유출량이 증가하는 데 비하여 하류지역은 높은 부(負)의

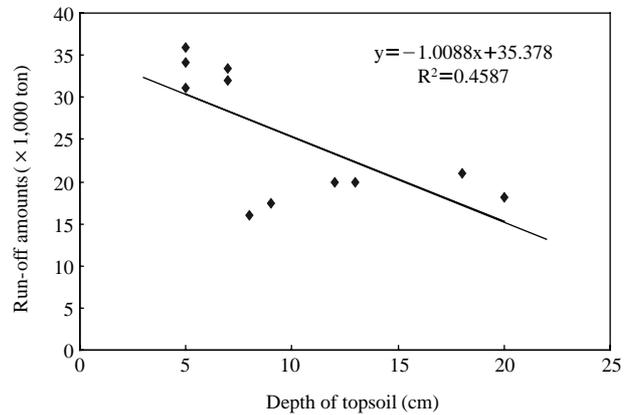


Fig. 6. The relationship between depth of topsoil and run-off amount on the study sites.

Table 4. Pearson correlation coefficients between soil environmental factors and water quality on the study sites

Parameter	pH	TS	VS
DO	0.6410*	0.3618	-0.3117
BOD	-0.1454	0.4044	-0.4155
COD	-0.1418	0.3740	-0.4278
SS	-0.0250	0.3109	-0.3363
TP	0.3081	-0.3276	0.2541
TKN	-0.1595	0.0057	0.0465
pH	1.0000**	0.4135	-0.3617

\*: significant at 5% level, \*\*: significant at 1% level

상관을 보였다. 따라서 상류지역보다는 하류의 표토관리를 철저히 해야 유출량이 일정히 유지될 것으로 보인다.

3) 토양환경과 하천수질

토양분석 결과와 각 수질항목 간의 상관성을 SAS 통계프로그램을 이용하여 검토한 결과(Table 4), 용존산소(DO)와 토양의 pH는 5% 유의수준에서 상관을 나타냈고, 하천의 pH와 토양 pH는 1% 유의수준에서 상관성이 매우 높은 것으로 조사되었다. 그러나 다른 토양환경요인과 각 수질항목 간에는 유의한 상관성을 나타내지 않고 있었다.

적 요

식생요인, 토양환경요인이 수질에 미치는 영향을 연구하고자 1993~1997년의 자료를 토대로 2003~2007년에 걸쳐 조사를 실시하였다. 조사유역을 11개 소집수역으로 세분하고 하천 유역의 오염원 동태, 식생요인과 하천수질, 토양요인과 하천수질의 상관성을 생태학적 관점에서 규명하고자 조사를 실시하였다.

식생형은 총 10개 type으로 구분되었으며 식생형별 수질과의 상관은 특히, 굴참나무군락에서 용존산소(DO)와 5% 수준( $r=0.98$ )에서, 일본잎갈나무식재림과 T-P는 1% 수준( $r=1$ )에서 유의한 상관을 나타내고 있었다. 또한, 삼림면적과 총인( $Y_{T-P} = -0.0017X + 0.2215$ ,  $r=0.16$ ), COD는  $Y_{COD} = -0.0395X + 8.5051$  ( $r=0.47$ )는 역의 상관을 BOD는  $Y_{BOD} = 0.0098X + 3.0381$  ( $r=0.19$ )로 거의 상관이 없는 것으로 나타났다.

조사지역의 토양형은 서쪽의 토양은 단순하지만 동쪽은 암쇄토를 비롯하여 적황색토, 퇴적토 등 매우 복잡한 양상을 띠고 있다. pH는 5.4~6.0의 범위로 나타났는데 전국 토양 pH의 평균치인 5.4~6.9와 거의 비슷하였다. 그러나 TS는 75.8~80.2%, VS는 3.80~5.80%의 범위로 전국의 평균치보다 훨씬 높았다. 표토의 깊이와 유출량과는  $Y_{run-off} = -1.0088X + 35.378$  ( $r=0.68$ )로 부(-)의 상관이 있는데 상류지역에서는 상관이 낮고, 하류 지역으로 갈수록 높은 상관을 나타내고 있다. 이는 상류지역의 경우 평균경사가 높아 표토의 깊이에 관계없이 유출량이 증가하기 때문으로 상류지역보다는 하류지역의 표토 관리를 철저히 해야 유출량이 일정히 유지될 것으로 보인다. 또한, 토양환경요인과 수질항목 간의 유의성은 토양 pH와 하천수질의 pH 간에 유의한 차이가 있는 것으로 확인되었다.

참 고 문 헌

국립지리원. 2005. 옥천도폭 (1:50,000, 1:25,000) 지형도.  
 오광철, 오희목, 이진환, 맹주선. 1995. 대청호 식물성플랑크톤의 일주성 수직이동. 한국육수학회지. 24(2):123-128.  
 오영근, 이규남, 한상운, 채영주, 유방열, 신연희, 박재주. 1978. 한강원수 및 주요지천수의 오염도 조사. 서울시보건연구소보. 14:143-146.  
 옥천군. 2007. 통계연보. 486pp.  
 이길철, 홍사욱. 1987. 하천수 및 지하수 오염에 가축폐기물이 미치는 영향. 한국임학학회지. 20(4):195-211.  
 이우철, 임양재. 1978. 한반도 관속식물의 분포에 관한 연구. 한국식물분류학회지. 8:1-33.  
 이호준, 방제용. 1999. 이원천 유역의 하천수질에 미치는 지형요인. 한국생태학회지. 22(3):101-108.  
 이호준, 방제용, 김용옥. 1999. 토지이용이 이원천 유역의 하천수질에 미치는 영향. 한국생태학회지. 22(5):235-240.  
 임양재, 윤경원. 1987. 부여 구룡천 유역의 생태학적 특성에

대하여. 중앙대학교 기초과학연구소 논문집. 1:43-62.  
 임중기, 홍사욱, 윤수홍. 1972. 한강수계의 ABS오염도에 관한 연구. 한국육수학회지. 5(3-4):3-8.  
 조규승. 1968. 한강수계의 3개 인공호에 대한 육수학적 연구. 한국육수학회지. 1(1):25-32.  
 홍사욱. 1969. 남한강과 북한강의 육수학적 비교연구. 한국육수학회지. 2(3-4):51-67.  
 홍사욱, 이해금, 손기수. 1974. 조종천의 육수학적 연구. 한국육수학회지. 7(3-4):23-28.  
 환경처. 1989. 환경오염 공정시험법 (토양편).  
 환경처. 1991. 한국환경연감. 679pp.  
 환경처. 1992. 한국환경연감. 597pp.  
 환경처. 1993. 한국환경연감. 550pp.  
 환경처. 1996. 한국환경연감. 598pp.  
 APHA. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th ed. APHA-AWWA-WPCF. New York.  
 Beston RP and JB Marius. 1969. Source areas of storm runoff. Water Resources Research 5(3):574.  
 Braun-Blanquet J. 1964. Pflanzensoziologie, 3. Auf, Springer, Wien. New York. 865pp.  
 Ciravolo TG. 1979. Pollutant movement to shallow ground water tables from anaerobic swine waste lagoons. J. Environ. Qual. 8(1):126-130.  
 Horton RE. 1945. Erosional development of stream and their drainage basins, hydrophysical, approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Amer. 56:275-370.  
 Jenny H. 1962. Derivation of state factor equations of soils and ecosystems. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25:385-388.  
 Kittredge, J. 1944. Forest influences. McGraw-Hill. New York. pp.112-113.  
 Marsh GP. 1874. The earth as modified by human action. Scribners. NY.  
 Nilsson C, A Ekblad, M Gardfjell and B Carlberg. 1992. Long-term effects of river regulation on river margin vegetation. Journal of Hydrology 136:155-175.  
 Osborne LL and MJ Wiley. 1988. Empirical relationships between land use cover and stream water quality in an agricultural watershed. J. Environmental Management 26:9-27.  
 Reynolds B, BA. Emmett and C Woods. 1991. Variations in streamwater nitrate concentrations and nitrogen budgets over 10 years in a headwater catchment in mid-Wales. Journal of Applied Ecology 28:963-987.

Manuscript Received: March 2, 2009  
 Revision Accepted: April 7, 2009  
 Responsible Editor: Dong-Ok Lim