

기술자료

다양한 평가기법을 이용한 금강 대권역의 수질 및 목표수질기준 달성도 평가

이재운 · 정혜성 · 윤정희 · 천세억
환경부 국립환경과학원 금강물환경연구소
(2008년 7월 17일 접수, 2008년 11월 21일 승인)

Review on Water Quality and Achievement of Water Quality Goal by Various Evaluation Methods in Geum River

Jae-Woon Lee · Hye-Sung Jeong · Jung-Hee Yoon · Se-Uk Cheon

Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Ministry of Environment
(Manuscript received 17 July 2008; accepted 21 November 2008)

Abstract

The Ministry of Environment plans to improve quality of water which is achieved over 85% in rivers and 94% in lakes of the whole country as "Good Water" until 2015. Also, the law of evaluation of water quality and water quality goal were made newly. So, the water quality has evaluated by using new law since 2007. This study evaluated whether "Good Water" and "Water Quality Goal" were achieved or not in 22 middle-sized districts and major 10 lakes of Geum river.

The achievement rates of rivers decreased and the achievement rates of lakes mostly were the same for 5 years. In 2007, the achievement rates of "Good Water" were 50% in rivers and 50% in lakes. The achievement rate of "Water Quality Goal" were 59.1% in rivers and 20% in lakes. The water quality in 2007 was evaluated worse than last year in case of rivers. The evaluations of Korea-Comprehensive Water Quality Index(K-CWQI) showed that achievement rates of "Water Quality Goal" were 81.8% in rivers and 0% in lakes. The statistical correlation analysis showed that correlations between BOD and COD were meaningful at the downstream, compared to upstream, generally. In case of lakes, correlations between COD and temperature were meaningful. Also, correlations between COD and Chl-a were meaningful. The Trophic State Index (TSI_{KO}) showed that the half of lakes are major over eutrophic status in lakes.

These analytical methods such as K-CWQI, TSI_{KO}, statistical correlation analysis could be additionally helpful for evaluation of water quality and provide basis data for understanding characteristics of watershed in Geum river.

Keywords : Geum river, Water quality goal, K-CWQI, TSI_{KO}, Statistical correlation analysis

1. 서론

환경부에서는 “물환경관리 기본계획”을 마련하여 2015년까지 전국 하천의 85%, 호소의 94% 이상을 “좋은물”로 개선하고자 한다. 또한 ‘물고기가 뛰놀고 아이들이 먹 감을 수 있는 물환경 조성’을 정책목표로 잡고 생태계적으로 건강한 하천, 유해물질로부터 안전한 물, 자연과 인간이 함께하는 쾌적한 수변공간을 조성하려 계획하고 있다(환경부, 2006).

새로운 수질보전계획에 따라 수질기준 및 수질평가 지침에 대한 검토가 요구되어진다. 수질환경기준은 국가의 수질상태를 반영하고 지역, 산업, 인구 등 특징들을 반영하여 설정되어야 한다. 각국의 수질환경기준은 항목과 기준에는 차이가 있겠으나 크게 “인간의 건강보호 및 생활환경에 대한 내용”과 “인간 외의 생물을 포함하는 생태계 보호”를 위한 기준으로 나뉘어져 있다(환경부, 2006). 우리나라에서는 하천, 호소별 생활환경기준의 등급이 변경되고 『중권역별 수질 및 수생태계 목표기준과 달성기간(환경부 고시 제2006-227호)』과 『수질 및 수생태계 목표기준 평가규정(환경부 고시 제 2008-21호)』이 고시되어 2007년부터 하천은 BOD, 호소는 COD로 연간 산술평균하여 목표수질기준 달성여부를 판단하고 있다. 하지만 BOD 및 COD 단일항목에 의한 평가는 수질변화에 잘못된 해석을 야기시킬 가능성(정세웅, 2005)이 제기되고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 종합적이고 객관적인 평가를 위해 단일항목을 이용한 수질평가, 다른 항목적용을 통한 수질평가, 통계분석, 부영양화평가를 행하여 다양한 시각으로 수질상태를 파악하고자 한다. 또한 목표기준을 미달성 한 중권역에 대해 원인분석 및 유역특성을 살펴봄으로서 목표기준 달성을 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

II. 연구범위 및 방법

『중권역별 수질 및 수생태계 목표기준과 달성기간(환경부고시 제2006-227호(2006.1.10))』과 『수질 및 수생태계 목표기준 평가규정(환경부고시 제

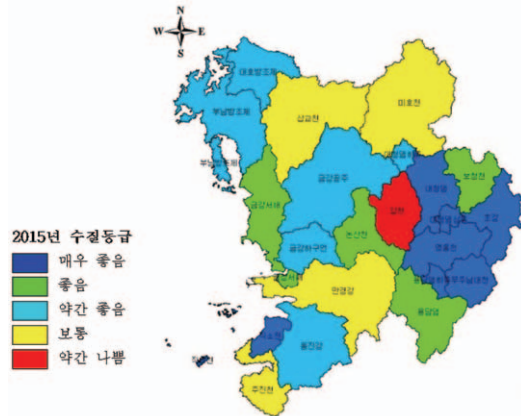


그림 1. 금강 대권역 중권역별 목표기준

2008-21호(2008.1.30)』을 근거로 2007년 수질을 달성, 미달성으로 평가하였다. 연구범위는 금강 대권역으로, 하천은 각 22개 중권역의 최하류 지점(수질측정망 대표지점)을, 호소는 주요 10개 지점을 연구대상으로 하며 하천은 금강수계(14개 중권역), 만경강수계(1개 중권역), 동진강수계(1개 중권역), 삼교천수계(1개 중권역), 기타수계(5개 중권역)로 구성된다. 여기서 무주남대천, 감천, 대청댐하류, 미호천, 논산천, 금강하구언, 대호방조제, 주진천 중권역의 대표지점은 2007년에 기존측정망지점보다 하류 지점에 신설되어져 최근 5년 자료 분석에서는 인접 지점의 자료('03년부터 '06년까지)를 이용하였다(『환경부 고시 제2008-21호 제4조』근거). 호소는 대청호, 탑정지, 용담호, 금강하구, 경천지, 대아지, 삼교호, 예당지, 부안호, 보령호이다(환경부, 2007).

1. 종합수질지표

종합수질지표는 선정된 수질지표항목들의 측정치를 적절히 통합하여 100점 만점의 점수로 표현함으로써 평가자의 주관을 최대한 배제하고 비전문가도 쉽게 수질오염상태를 알 수 있게 표현하는 기법이다(정세웅, 2005). 국립환경과학원에서는 1996년에 개발된 Korea Water Quality Index(K-WQI)을 모태로 전문가의 의견수집 및 수질항목을 재산정하고 부지수함수값 및 범위를 조정하는 등, 과거 10년간의 물에 대한 의식을 반영하여 Korea Comprehensive Water Quality Index(K-

CWQI)를 개발하였다. K-CWQI에서 부지수함수는 수질항목 선정 후 측정단위가 다른 각 항목을 공통 가치량으로 변화시켜 각 항목들을 동일한 기준점에서 비교하기 위한 공동척도화단계이며, 가중치는 수질항목간의 중요도를 비교하기 위해 설정되어진 항목이다. 각 항목별 부지수함수와 가중치는 표 1과 표 2에 명시하였다. K-CWQI는 각 항목별로 부지

표 1. 부지수함수(하천)

항 목	부지수함수	가중치
pH	- <11: $M(pH) = -3.6797(pH)^2 + 48.115(pH) - 53.83$ - >11: $M(pH) = 280.92e^{-0.2027(pH)}$	0.04
BOD	- <2: $M(BOD) = -10(BOD) + 100$ - >2: $M(BOD) = 88.958e^{-0.0755(BOD)}$	0.51
SS	- <100: $M(SS) = 0.0053(SS)^2 - 1.0332(SS) + 100.76$ - >100: $M(SS) = 122.82e^{-0.0092(SS)}$	0.06
DO	- $M(DO) = 32.208 \ln(DO) + 21.438$	0.22
분원성 대장균군	- <1000: $M(Fecal) = -6.942 \ln(Fecal) + 107.59$ - >1000: $M(Fecal) = -36.304 \ln(Fecal) + 310.72$	0.17

출처 : 환경부(2006)

표 2. 부지수함수(호소)

항 목	부지수함수	가중치
pH	- <11: $M(pH) = -3.6797(pH)^2 + 48.115(pH) - 53.83$ - >11: $M(pH) = 280.92e^{-0.2027(pH)}$	0.05
COD	- <2: $M(COD) = -5(COD) + 100$ - >2: $M(COD) = -30.648 \ln(COD) + 112.27$	0.25
SS	- $M(SS) = 98.518e^{-0.0302(SS)}$	0.07
DO	- $M(DO) = 31.655 \ln(DO) + 21.942$	0.09
T-P	- $M(T-P) = -20.034(T-P) + 0.3435$	0.19
T-N	- $M(T-N) = -24.264 \ln(T-N) + 49.697$	0.13
Chl-a	- <70: $M(Chl-a) = -19.375 \ln(Chl-a) + 120.52$ - >70: $M(Chl-a) = -56.073 \ln(Chl-a) + 278.23$	0.13
분원성 대장균군	- <1000: $M(Fecal) = -6.942 \ln(Fecal) + 107.59$ - >1000: $M(Fecal) = -36.304 \ln(Fecal) + 310.72$	0.08

출처 : 환경부(2006)

표 3. K-CWQI 점수 구간별 수질등급

등 급		K-CWQI
매우 좋음	Ia	100 ~ 90
좋음	Ib	89 ~ 80
약간 좋음	II	79 ~ 70
보통	III	69 ~ 60
약간 나쁨	IV	59 ~ 50
나쁨	V	49 ~ 40
매우 나쁨	VI	39 ~ 30

출처 : 환경부(2006)

수함수에 가중치를 곱한 형태를 합한 식을 선택하였고, 점수별 수질등급은 표 3과 같다. 이를 참고로 중권역 대표지점과 주요 호소에 적용하였다.

2. 통계학적 분석(상관분석)

통계학적 접근방식은 생태계 및 생태계 구성인자에 미치는 환경요인의 영향을 통계학과 컴퓨터를 이용하여 처리·분석하는 기법으로, 변수와 변수간의 관련성을 알아보는 다변량 상관분석이 있다. 이 기법은 상관계수인 Pearson의 R계수를 사용하여 변수간의 관련유무와 정도를 파악한다. R값의 일반적인 해석에 대하여는 표 4에 명시하였다(강주희, 2007; 김미아, 2007; 김종구, 2002).

표 4. 상관계수와 변수들 간의 관련정도

상 관 계 수	관 련 정 도
1.0 ~ 0.7(-1.0 ~ -0.7)	매우 강한 관련성
0.69 ~ 0.4(-0.69 ~ -0.4)	상당한 관련성
0.39 ~ 0.2(-0.39 ~ -0.2)	약간의 관련성
0.19 ~ 0.0(-0.19 ~ 0.0)	관련성이 거의 없음

출처 : 강주희(2007)

3. 부영양화 지수

부영양화란 정체수역에서 조류의 성장의 제한영양소가 증가하여 조류의 양이 크게 증가하는 현상으로 이를 객관적으로 평가하기 위해 미국에서 TSI (Trophic State Index)가 개발되었고 이를 우리나라 호소에 맞게 TSI_{KO}가 개발되었다.

한국형 부영양화지수인 TSI_{KO}는 유기물 지표인 COD에 50%, 내부생성 유기물인 Chl-a(조류의 밀도지표) 및 T-P(조류의 밀도를 좌우하는 지표)에

표 5. 부영양화 지수평가

$$\begin{aligned} \text{총합 TSI}_{KO} &= 0.5 \text{ TSI}_{KO}(\text{COD}) + 0.25 \text{ TSI}_{KO}(\text{Chl-a}) + 0.25 \text{ TSI}_{KO}(\text{T-P}) \\ \text{TSI}_{KO}(\text{COD}) &= 5.8 + 64.4 \log(\text{COD mg/L}) \\ \text{TSI}_{KO}(\text{Chl-a}) &= 12.2 + 38.6 \log(\text{Chl-a mg/m}^3) \\ \text{TSI}_{KO}(\text{T-P}) &= 114.6 + 43.3 \log(\text{T-P mg/L}) \end{aligned}$$

구분	빈영양호소	중영양호소	부영양호소	과영양호소
TSI _{KO}	30미만	30~50미만	50~70미만	70이상

출처 : 환경부(2006)

각각 25%의 가중치를 부여하고 4단계로 나누어 평가하고 있다(환경부, 2006).

III. 결과 및 고찰

1. 강수량 및 댐방류량

금강 대권역의 티센망도를 구축한 다음, 기상청의 강수자료를 바탕으로 중권역별 최근 5년간의 강수량을 산정하였다. 기록된 강수를 비교한 결과 2007년 태풍이나 집중호우에 의한 큰 영향은 없었으나 2003년 다음으로 많은 강수량이 기록되었으며 전년대비 1.2~1.7배가 증가하였다.

금강수계 본류구간에는 생활용수 등의 목적으로 상류에 용담댐, 중류에 대청댐이 있다. 댐방류량은 최근 5년간의 연간 방류량은 점점 감소하고 있는 추세이며, 전년대비 용담댐 방류량은 23백만톤이 증가하였고 대청댐 방류량은 31백만톤이 감소하였다.

2. 좋은물 및 목표수질 달성현황

금강 대권역의 목표기준은 2015년까지 하천의 72.7% 이상, 호소의 80.0% 이상을 좋은물로 개선하는 것으로 설정되어 있는데, 여기서 좋은물이란 함은 수질등급 II(약간좋음)등급 이상으로 하천은 BOD 3mg/L이하, 호소는 COD 4mg/L이하의 물을 의미한다(환경부고시 제2008-21호 제2조 2항). 하천의 BOD농도를 연간산술평균하여 분석한 최근 5년간 좋은물 달성률은 '03년 61.9%, '04년 59.1%, '05년 59.1%, '06년 59.1%, '07년 50.0%

로 점차 달성률이 떨어지는 추세이다. 목표기준에서의 건강보호항목은 100% 달성을 보였고 생활환경기준(BOD)은 '03년 76.2%, '04년 63.6%, '05년 77.3%, '06년 63.6%, '07년 59.1%로 나타났다. 호소의 COD농도를 연간산술평균하여 분석한 좋은물 달성률은 '03년 50.0%, '04년 50.0%, '05년 70.0%, '06년 50.0%, '07년 50.0%의 크게 변화가 없었으며, 목표기준에서의 건강보호항목은 100% 달성률을, 생활환경기준(COD)은 5년간 모두 20%로 낮은 달성률을 보였다.

금강수계는 본류 중상류에 2개의 댐과 하류에 하구둑이 설치되어 하천의 자연적인 흐름이 저해되고 오염물이 축적되는 유역특성을 지니고 있으며, 대전광역시를 지나는 갑천과 청주시를 지나는 미호천이 수계 중앙에 위치하고 있다. 2007년 금강수계의 상류에선 좋은물은 모두 달성하나 목표수질은 무주남대천, 영동천, 대청댐상류권역이 미달성하였다. 무주남대천권역은 5월과 9월의 BOD농도가 연평균에 비해 2.6배, 2배정도 높게 나왔는데, 9월은 연강수량의 70%를 차지하는 강수를 보여 비점오염원이 수질악화에 영향을 주는 것으로 추정된다. 영동천과 대청댐상류는 7월의 과도한 농도증가가 연평균에 영향(영동천:연평균대비 6.8배, 대청댐상류:연평균대비 3.2배)을 크게 미치는데, 전월대비 강수량증가(영동천:연평균대비 1.4배, 대청댐상류:연평균대비 1.5배)와 T-P(영동천:연평균대비 3.6배, 대청댐상류:연평균대비 3.7배)의 증가로 보아 비점오염원의 영향으로 추정된다. 중하류에서의 좋은물은 대부분 미달성이며 목표수질은 논산천과 금강공주에서 미달성을 보였다. 금강공주는 갑천('07년도 BOD 6.7mg/L)과 미호천('07년도 BOD 4.3mg/L) 합류 후 권역으로 갑천과 미호천의 영향을 받으며(합류 전: 0.8mg/L, 합류 후: 3.5mg/L('07년 BOD)) 유역특성상 정체수역 형성되어 조류증식('07년도 Chl-a 24.7mg/m³)이 빈번히 나타난다. 목표수질기준 미달성을 보인 동진강 수계는 본류에서는 정읍천의 영향력이 큰 편으로, 정읍천('07년 BOD 4.3mg/L(정읍천4))은 정읍시의 생활하수 및

표 6. 영향중권역 및 연도별 댐 총방류량

영향 중권역	하천	금강공주, 금강 하구언, 대청댐하류	대청댐상류, 영동천, 용담댐하류
	호소	금강하구언	대청호
연도	대청댐조정지 총방류량 (백만톤)		용담댐 총방류량 (백만톤)
2003	5,221		1,580
2004	2,359		713
2005	2,124		941
2006	2,434		623
2007	2,203		646

표 7. 중권역 대표지점의 생활환경기준과 K-CWQI 비교

2007년									
중권역 (22개)	대표지점	수질등급		달성여부		K-CWQI		달성여부	
		목표기준	현재등급 (BOD)	목표기준 달성여부	좋은물 달성여부	I	현재등급	목표기준 달성여부	좋은물 달성여부
용담댐	가막	Ib	Ia	달성	달성	92.53	Ia	달성	달성
용담댐하류	용포	Ia	Ia	달성	달성	93.90	Ia	달성	달성
무주남대천	무주남대천-1	Ia	Ib	미달성	달성	90.60	Ia	달성	달성
영동천	영동	Ia	Ib	미달성	달성	88.92	Ib	미달성	달성
초강	초강2	Ia	Ia	달성	달성	90.12	Ia	달성	달성
대청댐상류	우산	Ia	Ib	미달성	달성	87.52	Ib	미달성	달성
보청천	보청천4	Ib	Ib	달성	달성	87.04	Ib	달성	달성
대청댐	현도	Ia	Ia	달성	달성	91.84	Ia	달성	달성
갑천	갑천5-1	IV	IV	달성	미달성	54.74	IV	달성	미달성
대청댐하류	청원-1	II	II	달성	달성	77.47	II	달성	달성
미호천	미호천6-1	III	III	달성	미달성	59.12	IV	미달성	미달성
금강공주	성동	II	III	미달성	미달성	74.92	II	달성	달성
논산천	논산천4	Ib	III	미달성	미달성	74.84	II	미달성	달성
금강하구언	양화-1	III	III	달성	미달성	76.06	II	달성	달성
만경강	김제	III	III	달성	미달성	73.73	II	달성	달성
동진강	동진강3	II	III	미달성	미달성	80.13	Ib	달성	달성
삼교천	삼교호1	III	IV	미달성	미달성	70.29	II	달성	달성
대호방조제	당진천-1	II	III	미달성	미달성	71.75	II	달성	달성
부남방조제	간월호1	II	III	미달성	미달성	71.67	II	달성	달성
금강서해	웅천천2	Ib	Ib	달성	달성	82.27	Ib	달성	달성
직소천	부안댐1	Ia	Ia	달성	달성	95.14	Ia	달성	달성
주진천	주진천-1	III	III	달성	미달성	79.47	II	달성	달성
달성지점수		-	-	13	11	-	-	18	20
달성률(%)		-	-	59.1	50.0	-	-	81.8	90.9

표 8. 호소의 생활환경기준과 K-CWQI 비교

2007년									
중권역 (10개)	호소명	수질등급		달성여부		K-CWQI		달성여부	
		목표기준	현재등급 (COD)	목표기준 달성여부	좋은물 달성여부	I	현재등급	목표기준 달성여부	좋은물 달성여부
대청댐	대청호	Ia	Ib	미달성	달성	71.46	II	미달성	달성
논산천	탑정지	Ib	III	미달성	미달성	64.29	III	미달성	미달성
용담댐	용담호	Ia	Ib	미달성	달성	76.41	II	미달성	달성
금강하구언	금강하구	III	V	미달성	미달성	44.98	V	미달성	미달성
만경강	경천지	II	IV	미달성	미달성	67.82	III	미달성	미달성
만경강	대아지	Ib	Ib	달성	달성	78.73	II	미달성	달성
삼교천	삼교호	III	VI	미달성	미달성	40.45	V	미달성	미달성
삼교천	예당지	II	IV	미달성	미달성	58.94	IV	미달성	미달성
직소천	부안호	Ia	Ib	미달성	달성	78.72	II	미달성	달성
금강서해	보령호	Ia	Ia	달성	달성	78.80	II	미달성	달성
달성지점수		-	-	2	5	-	-	0	5
달성률(%)		-	-	20.0	50.0	-	-	0.0	50.0

표 9. 달성도 변한 지점의 수질항목별등급

변화 (BOD → K-CWQI)	중 권 역	BOD	K-CWQI				
			BOD	DO	분원성대장균	SS	pH
달성 → 미달성	무주 남대천	Ib	Ib	Ib	Ib	Ia	Ia
	금강 공주	III	III	Ib	III	Ib	Ia
	동진강	III	III	Ia	Ia	Ib	Ia
	삽교천	IV	IV	Ia	Ia	II	Ia
	대호 방조제	III	III	Ia	II	Ib	Ia
	부남 방조제	III	III	Ia	Ia	Ib	Ib
미달성 → 달성	미호천	III	III	III	VI	Ib	Ia

공단 등의 오염원의 영향을 받는다. 또한 대표지점은 정체수역을 이루고 있으며 '07년 Chl-a 농도가 5~36mg/m³로, 여름철 높은 농도를 보여주었다. 목표수질기준 미달성인 삽교천수계는 중권역 대표지점이 삽교호1지점(방조제 앞)으로 정체되고 조류의 번식('07년 Chl-a 35.5mg/m³)이 빈번히 일어나는 지점이다. 또한 삽교호('07년 BOD 5.3mg/L(삽교호1))로 삽교천('07년 BOD 3.3mg/L(삽교천3))과 곡교천('07년 BOD 6.3mg/L(곡교천2))이 유입되어지며, 곡교천은 천안·아산시를 지나는 천안천('07년 BOD 10.2mg/L(천안천2))의 영향을 받는다. 기타수계에서는 대호방조제와 부남방조제 중권역에서 좋은물, 목표수질 모두 미달성을 보이는데 대호방조제는 당진천이 당진군의 생활하수의 영향을 받으며 상류('07년 BOD 4.3mg/L(상류), 3.4mg/L(하류;대표지점))에서부터 수질이 악화되어있고 영양염류('07년 T-N 6.526mg/L, T-P 0.365mg/L)와 총대장균군('07년 5,142CFU/100mL)이 높은 경향이다. 부남방조제권역은 대표지점이 간월호1(방조제 앞)지점으로 서산시 생활하수 및 농경지의 비점오염원의 영향으로 III등급의 수질인 하천이 간월호로 유입되고, 정체수역이 형성되면서 Chl-a('07년 47.4mg/m³)의 농도 또한 높아져 목표수질기준에 미달성 되었다. 호소의 경우 금강수계의 대청호와 용담호는 좋은물은 달성하지만 목표수질은 미달성을 보이는데 상류 하천에서부터의 높은 COD가 호소까지 영향을 끼치고 있다.

K-CWQI에의한 평가를 살펴보면, 하천에서는 좋은물과 목표수질기준 모두 최근 5년간 80~90%

의 달성률을 보여 BOD 단일항목에 의한 평가보다 높았다. K-CWQI적용시 달성도가 변화한 중권역을 대상으로 가중치를 적용하기 전의 부지수합수값을 수질등급으로 변환하여 표 9에 나타내었다.

표 9를 살펴보면, BOD농도에 의한 평가와 BOD 부지수합수 적용에 의한 평가는 같았으나, 타 수질항목의 등급은 BOD등급보다 높게 나타나 가중치 적용 후의 전체수질등급이 높아졌다. 이는 유기물질 의한 오염도가 강한 하천의 특성을 보여주며, 유기오염원에 비중을 얼마를 두느냐에 따라 수질등급이 변화함을 알 수 있었다. 미호천의 경우는 분원성대장균의 오염도가 높으며, SS와 pH는 양호하나 가중치가 낮아 전체 등급에 많은 영향을 끼치는 못하였다. 호소에서 좋은물은 COD에 의한 평가보다 낮거나 유사했지만 목표수질에선 모두 미달성을 보여 수질을 더 나쁘게 평가하였다. 하천은 유기물의 오염이 다른 수질항목에 비해 높았으며, 호소는 유기물의 영향도 가지지만 다른 수질항목과 내부생성물이 높은 비중을 차지하고 있는 것을 알 수 있다.

3. 수질항목간 상관성 검토

다변량통계분석은 최근 10년간의 수질자료를 바탕으로 행해졌다. 분석결과 각 지점별 특성을 가지고 있으며 일반적으로 금강수계에선 상류보다 오염도가 높은 중·하류에서 BOD와 COD의 상관성뿐만 아니라 타항목들간의 상관성도 높게 나타났다. 특히 갑천권역은 R은 +0.919로 상관성이 높게 나타났으며, T-N과 T-P간의 비례적 관계(R=+0.801)를 보여줬다. 미호천권역도 갑천권역에 비해 R값은 다소 낮으

나 유사한 경향을 보였다. 만경 · 동진강수계는 BOD와 COD간의 높은 상관성뿐만 아니라 BOD와 영양염류간의 상관성도 비례적 관계를 나타냈다.

호소의 경우 대청호, 탑정지, 용담호, 경천지, 예당지, 부안호, 보령호가 COD와 수온의 비례적 관계를 보였다. 삽교호와 부안호를 제외한 8개 호소에서 COD와 Chl-a와의 비례적 상관관계를 보여주었다. 여기서 삽교호는 Chl-a와 BOD간에 R값이 +0.319를 보였으며, 보령호는 Chl-a의 다소 낮은 농도('07년 1.2mg/m³)로 인해 COD농도에 영향을 미치지 않은 것으로 보여진다. 대청호의 경우 대체적으로 항목들간의 비례적 관계를 보이는 경우가 많

으며 특히 T-P가 타항목들간의 통계적으로 의미있는 상관성을 보이는데 금강수계의 다른 주요호소에서 유사한 결과를 보여주었다. 이는 영양염류에 의한 조류증식과 내부기원성 오염원으로 인한 결과로 보여진다.

4. 부영양화지수

최근 5년간 주요 호소를 대상으로 부영양화정도를 평가한 결과, 중영양과 부영양상태가 변화를 보이긴 하지만 거의 유사한 상태를 나타내었다. 2007년에는 금강하구와 삽교호가 과영양호로 오염도가 높았으며 탑정지, 경천지, 예당지가 부영양호로 나타났다. 기타수계의 보령호만이 빈영양호를 나타내었고 나머지 호소는 중영양호로, 금강대권역의 주요호소 50%정도가 부영양호 이상으로 수질이 악화되어었다.

2007년 부영양화지수와 Chl-a, COD와의 변화 추이를 그림 2에 나타내었는데, COD와 Chl-a간에도 서로 비례적 관계를 보인다. 이는 외부오염원에

표 10. 수질측정 항목간 상관성 분석

〈대청법상류〉							
	수온	DO	BOD	COD	총질소	총인	클로로필라
수온	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	1	-.601**	-.138	-.185*	-.077	-.381**
	N	190	190	190	188	189	60
DO	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	-.697**	1	-.170*	-.017	-.162*	-.287*
	N	190	190	190	188	189	60
BOD	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	.138	-.170*	1	.160*	-.196**	-.079
	N	190	190	190	188	189	60
COD	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	.056	.019	.160*	.027	.007	.280
	N	190	190	190	188	189	60
총질소	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	-.185*	-.162*	-.196**	1	.334**	-.148*
	N	188	188	188	188	188	60
총인	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	.077	-.060	-.079	.148*	.034	1
	N	189	189	189	188	188	60
클로로필라	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	-.381**	-.287*	-.275*	-.148*	.103	.025
	N	60	60	60	60	60	60

** 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다.
* 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의합니다.

〈삽 교 천〉							
	수온	DO	BOD	COD	총질소	총인	클로로필라
수온	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	1	-.200*	-.160	-.129	-.149*	-.049
	N	228	228	228	228	228	60
DO	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	-.200*	1	-.359**	-.301**	.541**	-.112
	N	228	228	228	228	228	60
BOD	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	-.050	-.359**	1	.919**	-.158*	-.215**
	N	228	228	228	228	228	60
COD	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	.002	.000	.000	.000	.000	.000
	N	228	228	228	228	228	60
총질소	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	-.029	-.301**	-.919**	1	-.076	-.152*
	N	228	228	228	228	228	60
총인	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	.662	.000	.000	.254	.021	.003
	N	228	228	228	228	228	60
클로로필라	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	-.149*	-.158*	-.152*	-.076	1	.801**
	N	60	60	60	60	60	60

** 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다.
* 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의합니다.

〈대 청 호〉							
	수온	DO	BOD	COD	총질소	총인	클로로필라
수온	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	1	-.892**	.411**	.770**	.177	.023*
	N	120	120	120	120	120	120
DO	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	-.892**	1	-.411**	-.575**	-.157*	-.539**
	N	120	120	120	120	120	120
BOD	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	.411**	-.411**	1	.487*	.216*	.442**
	N	120	120	120	120	120	120
COD	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	.770**	-.575**	.487*	1	.180*	.619**
	N	120	120	120	120	120	120
총질소	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	.177	-.157*	.216*	.180*	1	.261**
	N	120	120	120	120	120	120
총인	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	.023*	.031	.018	.049	.004	1
	N	120	120	120	120	120	120
클로로필라	Pearson 상관계수 유의확률 (상행)	-.539**	-.539**	.442**	.619**	.261**	1
	N	120	120	120	120	120	120

** 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다.
* 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의합니다.

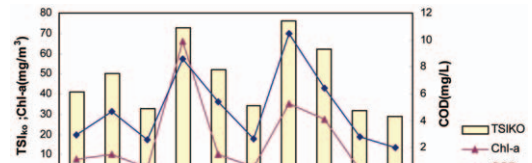


그림 2. 2007년 TSI_{ko}와 다른 항목간의 관계

표 11. 최근 5년간 주요호소 부영양화 평가결과

수계	호소명	'03	'04	'05	'06	'07
금강	대청호	중영양	중영양	중영양	중영양	중영양
	탑정지	부영양	중영양	중영양	중영양	부영양
	용담호	중영양	중영양	중영양	중영양	중영양
	금강하구	부영양	부영양	과영양	부영양	과영양
만경강	경천지	부영양	부영양	중영양	부영양	부영양
	대이치	중영양	중영양	중영양	중영양	중영양
삽교천	삽교호	과영양	부영양	과영양	과영양	과영양
	예당지	부영양	부영양	부영양	부영양	부영양
기타	부안호	중영양	중영양	중영양	빈영양	중영양
	보령호	빈영양	빈영양	빈영양	빈영양	빈영양

의한 오염원증가와 이에 따른 조류증식으로 인해 내부유기물이 증가하는 상관관계를 보여준다.

IV. 결론

2007년도 금강 대권역 하천은 좋은물(II등급이상) 50.0%, 목표수질(BOD) 59.1%의 달성률을 보였다. 금강수계의 전반적인 수질상태는 도시하천인 갑천과 미호천 유입 후인 중·상류부터 나빠졌다. 상류 수질은 양호하나 목표기준 “매우 좋음(Ia)”을 모두 만족하지는 못하였는데 유량이 적은 이 지점들은 강수량 증가 및 용담댐 방류량의 수질악화의 영향을 받는 것으로 보여진다. 하류는 오염원 축적과 정체수역으로 인한 조류증식 등이 수질악화에 영향을 주는 것으로 보이고 전년대비 대청댐방류량 감소 또한 수질악화 영향을 미친 것으로 추정된다. 하천은 갑천, 미호천, 천안천 등이 도심에서 지나면서 오염도가 증가하는 것을 확인할 수 있어 생활하수에 의해 영향을 크게 받는 것으로 추정된다. 또한 조류증식 및 농도축적으로 인한 수질악화와 풍수기에는 비점오염원의 영향을 받아 수질이 개선되지 못하고 있었다. 상관분석에서는 BOD농도가 높은 권역에서 수질항목간의 상관성이 강한 경향을 보였고 BOD와 COD, T-N과 T-P간의 상관계수가 높아 내부생성유기물영양보다 기초시설 및 공단으로부터 유입된 외부오염원의 영향을 크게 받는 것으로 보인다. BOD 단일평가보다 BOD 비중을 50%로 낮춘 K-CWQI평가에서 수질의 등급이 향상되어 생활하수 및 유기물의 영향이 큰 것으로 나타났다.

금강 대권역 주요 호소의 2007년도 좋은물 달성률은 50.0%이며, COD를 기준으로 연간산술평균한 목표수질은 2007년 뿐만아니라 최근 5년간 목표수질 달성률이 20%로 낮게 나타났다. K-CWQI에 의한 평가에서 COD를 25%로 비중을 낮추자 수질이

더 나쁘게 평가되어 유기물에 의한 오염뿐만 아니라 다른 오염원과 내부생성오염원에 의해 오염되어진 것으로 보여진다. 상관분석에선 COD와 수온이 서로 비례적 상관성을 보여주고 Chl-a와의 관계 또한 비례적 상관성을 보였다. 부영양화지수에선 과영양호 이상이 50%정도로 호소가 오염되어 하절기의 유기물관리 및 조류증식에 대한 관리가 수질 개선을 위해 필요하다. 이를 위해서는 상류 하천의 수질을 개선하여 유입수를 통한 유기물 및 영양염류 유입을 막는 것이 요구되어진다.

사 사

본 논문은 금강수계관리위원회·국립환경과학원 금강물환경연구소에서 시행한 환경기초조사사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 환경부, 2006, 물환경종합평가방법 개발 조사연구 (III) 최종보고서, 환경부.
- 환경부, 2007, 수질측정망 운영계획.
- 정세웅, 박재호, 2005, 대청호 유역의 수질평가를 위한 종합수질지수의 적용, 한국물환경학회지, 21(5), 470-476.
- 강주희, 2007, SPSS프로그램을 활용한 따라하는 통계분석, 크라운출판사.
- 김미아, 이재관, 조경덕, 2007, 다변량분석을 이용한 금강 유역의 수질오염특성 연구, 한국물환경학회지, 23(1), 161-168.
- 김종구, 2002, 통계분석기법을 이용한 금강수계의 수질평가, 한국환경과학회지, 11(12), 1281-1289.