

대청호 유역의 수질평가를 위한 종합수질지수의 적용

정세웅[†] · 박재호

충북대학교 환경공학과

Application of Korean Water Quality Index for the Assessment of River Water Quality in the Basin of Daecheong Lake

Se Woong Chung[†] · Jae Ho Park

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University

(Received 8 March 2005, Accepted 23 May 2005)

Abstract

The Korean Water Quality Index (K-WQI) was applied to the rivers located in the watershed of Daecheong Lake to assess the status of river water quality, and propose potential target constituents for better water quality management in the watershed. The estimated K-WQI value for each river was varied from 70 to 90, and Youngdongcheon showed the worst score while Mujunamdeachen showed the best score. The total nitrogen (TN) and total coliform bacteria were identified as the most significant constituents that degrade the K-WQI values in the rivers. The correlation coefficients (r) were determined between K-WQI and the delivered specific load ($\text{kg}/\text{km}^2/\text{yr}$) of BOD, TN, and TP to justify potential target constituents that have a great influence on the improvement of K-WQI values. The results showed that TN ($r=-0.86$) and TP ($r=-0.85$) have a strong negative relationships with K-WQI, but BOD have almost no effect. This implies that BOD, the surrogate parameter for organic pollutants, is no more a feasible water quality variable for the water quality management in the study site.

keywords : Water quality index, Korea water quality index(K-WQI), Water quality management, River water quality, Daecheong lake

1. 서론

수용 수체의 환경용량을 고려한 목표수질 달성을 기준으로 하는 수질관리제도인 오염총량관리제도가 낙동강수계에 본격적으로 시작되면서 우리나라의 수질관리정책은 큰 전환점을 맞고 있다(이, 2004). 대청호가 위치한 금강수계의 경우 광역자치단체에서는 이미 기본계획을 수립하여 승인 단계에 있거나 승인요청 중에 있어 오염총량관리제도는 이제 법적·행정적 테두리 안에서 본격적인 가동단계에 들어섰다. 그러나 현행의 오염총량관리제도는 실질적인 유역의 수질개선 효과를 둘러싼 여러 가지 기술적인 논란이 산재한 것도 사실이다. 특히 1단계 오염총량관리계획 기간인 2010년까지 대상물질을 생물학적산소요구량인 BOD에 국한하여 시행하는 것은 대청호와 같이 부영양화가 심각한 호소유역에서는 적절한 수질관리대책이 될 수 없을 뿐만 아니라, 막대한 시간과 비용의 투자에도 불구하고 뚜렷한 수질개선을 기대하기 힘든 실정이다.

지금까지 우리나라의 수질관리 행정은 BOD를 대위항목으로 설정한 유기오염물질 제어에 치중하여 왔으며, 그 동안 환경기초시설의 지속적인 건설과 방류수 수질농도 규제,

수질보호 대상지역에 대한 입지 제한 등을 통해 전국 하천의 BOD 농도는 상당히 개선된 것이 사실이며 대청호와 상류유역 하천의 경우에도 BOD 농도는 감소추세를 보이고 있다(정 등, 1997; 정, 2004). 그러나 호소 수질의 경우 난분해성유기물질을 포함하는 COD의 수치는 증가추세를 보이거나 개선되지 않고 있으며 제대로 처리되지 않은 질소와 인의 영양염류 부하로 인해 오히려 부영양화가 가속되고 있는 실정이다(한국수자원공사, 2004). 따라서 오염총량관리제도를 비롯한 하천수질관리제도에서 수질기준을 BOD 단일항목으로 평가하는 것은 이제 적절하지 않으며 유역의 하천과 호소 수질 특성을 종합적으로 평가하여 수질관리항목을 결정하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

종합수질지수는 선정된 수질지표항목들의 측정치를 적절히 통합하여 100점 만점의 점수로 표현함으로써 평가자의 주관을 최대한 배제하고 비전문가도 쉽게 하천의 수질오염 상태를 알 수 있도록 표현하는 방법이다(Dojildo et al., 1994; Smith, 1989; Tyson et al., 1989; USEPA, 1996). 또한 종합수질지수는 BOD와 같은 단일항목으로 수질오염 상태를 평가하는 단점을 보완하고 물의 상태를 종합적으로 나타낼 수 있으며 유역의 실질적인 수질개선을 위한 관리항목의 선정에도 유용하게 활용될 수 있는 도구이다(방 등, 2002; 이 등, 1996; 최, 1996). 본 연구의 목적은 대청호

[†] To whom correspondence should be addressed.
schung@chungbuk.ac.kr

상·하류 유역에 위치한 하천을 대상으로 한국환경기술개발원(최, 1996)에서 개발한 종합수질지수(K-WQI)를 적용하여 유역의 수질환경을 종합적으로 평가하고 산정된 K-WQI와 대상하천의 BOD, TN, TP 유달부하량의 상관성을 분석함으로써 대청호 유역의 하천수질보전과 종합수질지수 개선을 위한 적절한 수질관리 항목을 제시하는데 있다.

2. 연구 방법

2.1. 대상 유역 수질특성

대청호(Fig. 1)는 금강유역의 최대 상수원으로써 대전과 청주를 비롯한 충청지역에 연간 약 3.7억 m³의 생활 및 공업용수를 공급하고 있다(한국수자원공사, 2002). 그러나 소양호와 비교할 때 대청호는 단위유역면적당 인구밀도와 가축밀도가 각각 4배와 10배 정도 높아 호수의 수질악화가 가속화 될 우려가 있는 것으로 평가되고 있다(한국수자원공사, 2004). 반면에 정부의 행정복합도시 이전 계획이 확정됨에 따라 장차 이 지역의 인구나 용수수요는 계속 증대할 전망이므로 유역의 수질관리는 매우 중요한 과제이다.

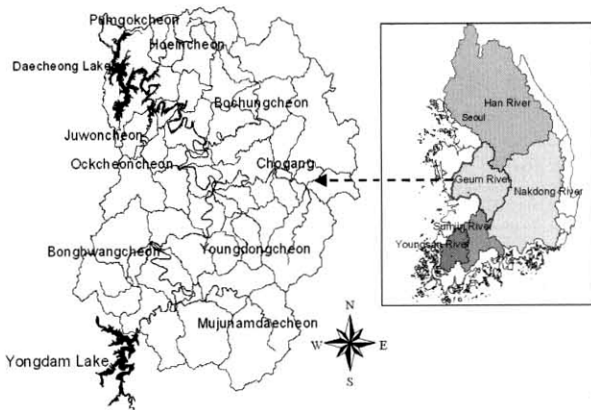


Fig. 1. Location of study site and major rivers in the basin of Daecheong lake.

대청호 상류인 금강 본류로 유입하는 주요 하천은 무주남대천(MJ), 봉황천(BH), 영동천(YD), 초강(CG), 보청천(BC) 등이며 대청호로 직접 유입하는 주요 지천은 옥천천(OC), 회인천(HI), 주원천(JW), 품곡천(PG) 등이 있으며 이들 하천의 유역면적과 유로연장은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of major rivers in the basin of Daecheong lake

River	Symbol	Watershed area (km ²)	Length (km)
Mujunamdaechon	MJ	464.2	52.1
Bonghwangcheon	BH	247.3	31.2
Youngdongcheon	YD	144.9	31.1
Chogang	CG	665.2	66.3
Bochungcheon	BC	553.4	72.1
Ockcheoncheon	OC	191.6	41.7
Hoeincheon	HI	56.1	29.0
Pumgokcheon	PG	9.5	12.0

대청호의 수질은 COD와 총인 (TP)의 호소수질 기준을 적용할 때, 전반적으로 상수원수 II 급수 수준을 유지하고 있지만, 최근에는 하절기 동안 호우사상 등에 의해 상류 오염물질이 집중 유입될 때에는 식물성 플랑크톤인 조류가 다량 증식하는 녹조현상이 자주 발생하고 있다. 이로 인해 대청호에서 취수하여 수도물을 공급하는 대전권과 청주권의 수도물에서 맛과 냄새 문제를 유발하는 등 장기적으로 상수원수로서의 질적 저하가 우려되고 있는 실정이다. 특히, 주목할 만한 사실은 정부의 물관리종합대책(정부합동, 2000)이 수립된 이후 지속적인 하수종말처리장 등 환경기초시설의 확충으로 생활계오염원의 배출부하량이 점진적으로 삭감되고 있음에도 불구하고, 대청호와 유입 지류하천에서의 COD 농도는 오히려 증가하는 경향을 보이고 있어 난분해성 비점오염원의 문제가 수질오염의 심각한 원인으로 작용하고 있는 것으로 판단된다(Fig. 2). 이와 같은 현상은 기존의 하수처리장에서 호기성 미생물에 의해 쉽게 분해되는 생분해성 유기물질은 충분히 저감시키지만 난분해성 유기물질과 영양염류의 처리가 미흡하기 때문으로 지적되어 왔으며, 또한 유역에 산재해 있는 농경지, 축사, 임야, 합류식하수관거의 월류 및 배제부하 등 복합적인 요인의 작용 때문으로 판단된다. 총인 농도는 강우사상에 영향을 많이 받으므로 경향과악이 어려우며 주로 홍수기 집중 호우시 높은 침투농도를 보이고 있으며, 탁수와 함께 다량의 인이 유역으로부터 호소내로 유입되는 경향이 있다.

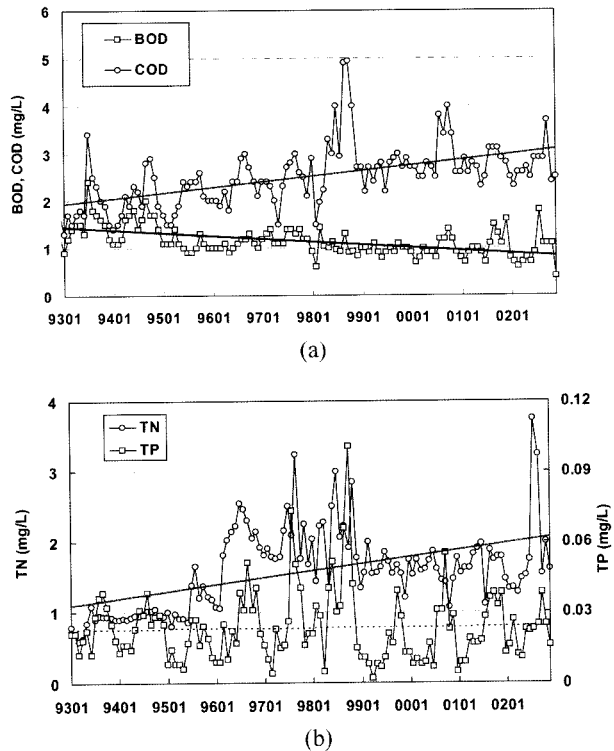


Fig. 2. Time series data showing the trend of water quality variations of organic constituents (a) and nutrients (b) in Daecheong lake.

2.2. 종합수질지수

하천의 수질환경을 종합적으로 평가하기 위한 종합수질지수는 항목의 선정, 항목별 용도별 가중치 산정, 부지수함수의 산정, 항목의 종합화 단계를 거쳐 개발된다. 종합수질지수에 포함될 항목의 선정은 지수의 개발에 있어 가장 기본이 되는 단계로 대상 항목이 갖추어야 할 조건은 우리나라에서 보편적이고 정규적으로 측정되는 항목, 우리나라의 수질기준항목, 수생태계와 관련성이 큰 항목, 인위적 오염원으로 수질오염변화에 민감하게 반응하는 항목, 환경개선노력에 의해 조절될 수 있는 항목, 중복평가 되지 않는 항목 등이다. 수질관련항목의 선정은 현실적으로 이용 가능한 자료의 제약을 고려해야 하며 대부분의 경우 개발목적에 따라 어떤 항목을 선택하는 것이 필요 충분한 것인지에 대한 판단기준 도출을 위해 전문가 및 일반 국민의 의견을 수렴하는 설문조사를 수행한다.

부지수함수는 각각의 개별수질항목에 대해 이를 상호비교가 가능도록 공통의 가치로 변환시키는 함수식을 말하며, 특별한 오염항목의 환경적 특성을 대표하므로 이들 함수식에는 각 수질항목에 따라 선형함수, 부분선형함수, 비선형함수, 부분 비선형함수 등이 사용될 수 있다(최, 1996). 공통단위로 환산하는 방법은 기존의 가치기준에서 공통척도에 투영한 상대비교에 의해 무차원화한 지수화와 가치기준

을 도입해 가치척도에 따라 변화하는 함수화의 두가지 방법이 있다. 항목의 종합화는 각 수질항목별로 공통 척도화한 부지수함수를 집약하는 과정을 말하며, 정보의 손실이 최소화 되면서 수질지표의 특성이 반영되도록 함수를 구성해야 한다.

본 연구에서는 대청호 유역의 수질평가를 위해 최(1996)가 우리나라 수질전문가 30인의 의견을 Delphi기법을 이용하여 설문한 수질항목과 각 항목별 가중치, 그리고 부지수함수 산정 결과를 종합하여 개발한 한국형 종합수질지수인 K-WQI를 사용하였다(식 (1)). K-WQI의 산정을 위해 전문가에 의해 선정된 수질항목은 pH, DO, BOD, COD, SS, TN, NH₃-N, NO₃-N, TP, Total Coliform (총대장균군수)의 10개 항목이며, K-WQI 개발 과정은 Fig. 3과 같다. K-WQI 산정을 위해 사용한 각 수질항목별 부지수함수와 가중치는 Table 2와 같으며 보다 상세한 설명은 최(1996)를 참고할 수 있다.

$$K-WQI = \prod_{i=1}^{10} I_i^{W_i} \quad (1)$$

여기서 I_i 는 각 수질항목의 부지수함수 계산값, W_i 는 3차에 걸친 설문결과의 평균가중치를 나타내며 합계는

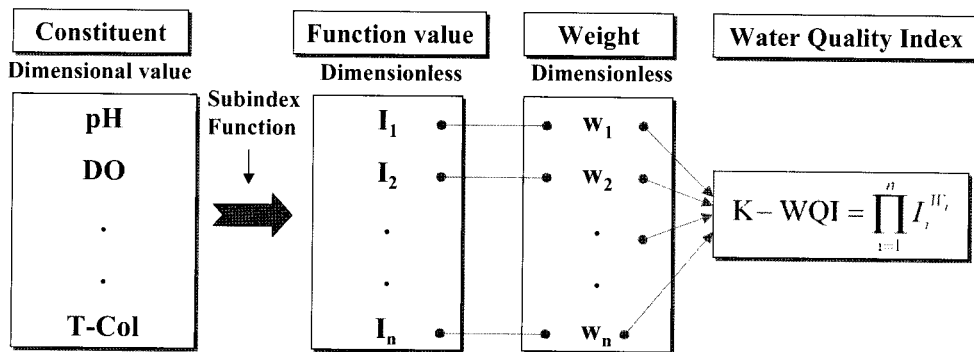


Fig. 3. Schematic depiction of the processes of K-WQI development.

Table 2. Subindex function and weight for each constituent that used for K-WQI estimation

Constituent	Subindex function	R ²	Weight
BOD	$M(BOD) = 106.68 - 5.84(BOD)$	0.93	0.107
pH	$6.5 \sim 8.5 : M(pH) = 100$	-	0.110
	$< 6.5 : M(pH) = 52.74(pH) - 239.68$	0.88	
	$> 8.5 : M(pH) = 551.42 - 52.74(pH)$	0.88	
DO	$100 \sim 150\% : M(DO) = 123.3 - 0.298(DO)$	0.96	0.103
	$\sim 100\% : M(DO) = 1.055(DO)^{0.987}$	0.96	
COD	$M(COD) = 96.30 - 4.41(COD)$	0.97	0.106
SS	$M(SS) = 96.13 - 0.79(SS)$	0.99	0.104
TN	$M(T-N) = 10^{2.01 - 0.068(T-N)}$	0.98	0.095
NH ₃ -N	$M(NH_3-N) = 10^{1.93 - 0.086(NH_3-N)}$	0.96	0.095
NO ₃ -N	$M(NO_3-N) = 10^{1.96 - 0.036(NO_3-N)}$	0.95	0.089
TP	$M(T-P) = 10^{1.94 - 0.098(T-P)}$	0.94	0.096
T-Coli	$M(T-Coli) = 181.1 (T-Coli)^{-0.164}$	0.99	0.094

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \text{를 만족한다.}$$

K-WQI는 배수형 함수를 사용하여 부지수함수들을 종합화 한 값으로써 각 부지수함수를 가중곱(weighted product)의 형태로 나타낸다. K-WQI에서는 한 부지수라도 0이면 종합지수는 0이 되므로, 어떤 한 항목이라도 악화된 수질 조건이면 전 지수는 나쁜 수질환경으로 평가된다. 또한 만약 각 부지수의 최대치가 100이라면, 1의 최대값은 100이 된다.

2.3. 수량과 수질자료

K-WQI를 적용하기 위해 1996년 3월부터 2002년 12월까지 10년간의 대청호 상류 9개 하천의 환경부 수질측정망의 월별 자료를 사용하였다. 각 하천별로 사용한 수질 측정망 지점은 하천의 최고 말단부로 하였다. 각 하천별 단위유역 면적당 유달부하량을 산정하기 위한 유량자료는 한국수자원공사의 다목적댐실무편람(한국수자원공사, 2003)에 제시된 대청호의 월별 유입량 자료를 이용하여 비유량법에 의한 소유역별 유역면적비례식을 이용하여 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 대청호유역 수질평가

대청호 상류 금강 본류로 유입하는 무주남대천(MJ), 봉황천(BH), 영동천(YD), 초강(CG), 보청천(BC)과 대청호로 직접 유입하는 옥천천(OC), 회인천(HI), 주원천(JW), 품곡천(PG)을 대상으로 K-WQI를 산정한 결과는 Fig. 4에 제시되

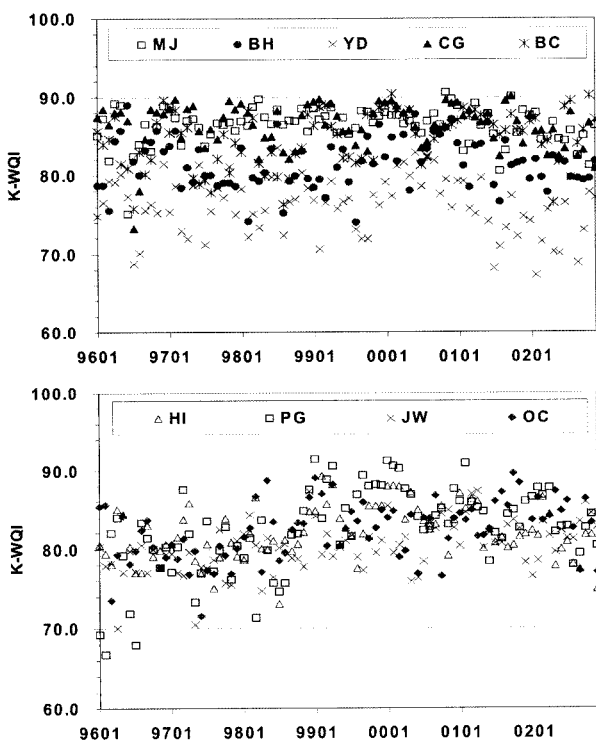


Fig. 4. Estimated K-WQI values for the rivers in the basin of Deacheong lake from 1996 to 2002.

었다. 대청호 상류 유역 하천들의 K-WQI는 대부분 70~90 점의 범위를 보이고 있어 수질이 비교적 양호한 것으로 평가되었다. 이중 가장 높은 점수를 받은 하천은 무주남대천이며 가장 나쁜 점수를 받은 하천은 영동천, 봉황천, 주원천 순으로 나타났다. 대청댐으로 직접 유입하는 하천들은 정부의 물관리대책의 일환으로 건설된 환경기초시설과 상수원보호구역 지정 등의 면적규제의 효과 등으로 1999년을 기점으로 대체로 수질이 개선된 것을 확인할 수 있으며 특히, 하수처리율이 85%로 가장 높은 품곡천의 수질이 가장 뚜렷이 개선된 것으로 나타났다.

오염총량관리의 기준년도인 2002년을 대상으로 오염도가 심한 수질항목을 상대적으로 식별하기 위해 Table 2에 제시된 수질항목별 부지수함수를 적용하여 0점부터 100점까지의 무차원 부지수함수값(Subindex function value)을 산정하였다. 산정결과 모든 하천에서 오염도가 심한 항목이 유사하게 나타났으며 지면 관계상 비교적 종합수질지수 K-WQI 값이 낮은 영동천과 봉황천의 결과만을 Fig. 5에 제시하였다.

그림에서 볼 수 있듯이 BOD는 90점 이상의 높은 점수를 보인 반면, 총질소를 포함한 질소계통 항목과 총대장균수가 70점 이하의 낮은 점수를 보였으며 점수의 월별 변동 폭도 매우 크게 나타났다. 대청호 상류에서 질소와 총대장균수가 비교적 높게 나타나는 이유는 댐 상류의 하수처

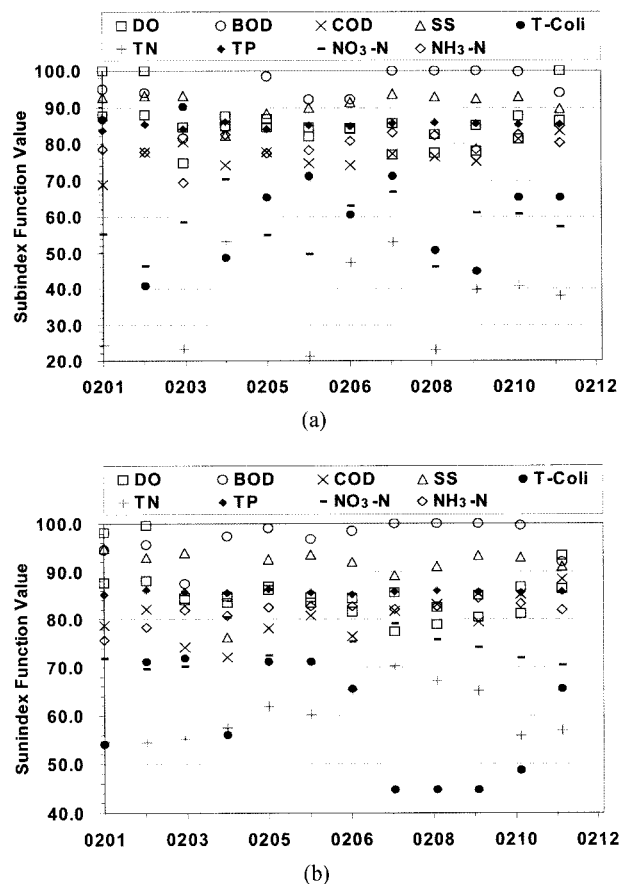


Fig. 5. Estimated monthly subindex function values for each constituent at (a) Youngdongcheon(YD) and (b) Bonghwangcheon(BH) in 2002.

리율이 42% 수준으로써 상대적으로 낮고 강우시 농경지와 축산단지로부터의 비점오염원의 유입이 많기 때문으로 사료된다. 총인은 대체로 평균 85점 수준으로 비교적 높게 나타났는데, 이는 일반적으로 인은 평상시 하천 유출과정에서 부유물질에 흡착되어 침전되는 양이 질소에 비해 많기 때문일 것으로 판단된다. 무주남대천을 비롯한 다른 하천에서도 대부분 BOD는 95점 이상의 높은 점수를 연중 유지하고 있는 것으로 나타나 유기물 제어 중심의 수질관리는 타당하지 않음을 알 수 있다.

갑천과 미호천은 각각 대전과 청주에서 유입하는 대규모 하수처리장의 오염부하량을 수용하는 하천으로써 대청댐 하류에 위치한 하천이지만 본 과제에서 적용한 종합수질지수의 적용성을 광범위하게 평가하기 위해 수질평가를 실시하였으며 적용결과, 부지수함수값은 대체로 매우 낮게 나타났다(Fig. 6). 특히 본격적인 갈수기인 1~4월에 가장 수질이 악화되었으며, 수온이 떨어져 물속에 있는 질산화박테리아의 활동이 둔화되는 겨울철에는 암모니아성질소농도가 급증하여 TN과 NH₃-N의 부지수함수값이 20미만을 보이고 있어 수질개선을 위해서는 대전과 청주의 대형 하수처리장에서 질소의 고도처리가 필요한 것으로 분석되었다.

3.2. 유달부하량과 K-WQI 관계

환경부 오염총량관리제도의 기준년도인 2002년을 대상으

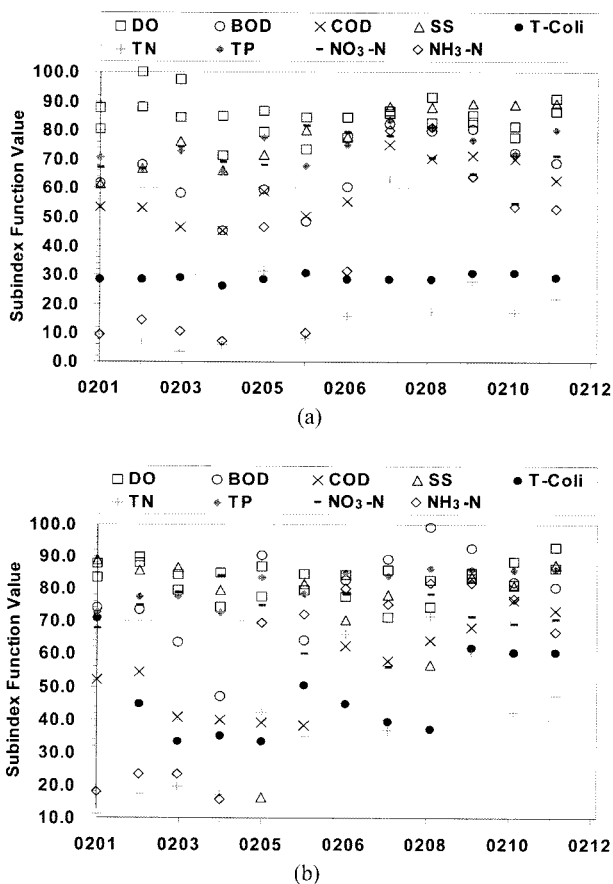


Fig. 6. Estimated monthly subindex function values for each constituent for (a) Gapcheon and (b) Mihocheon in 2002.

로 대청호 유역 하천의 연간 BOD, TN, TP의 유달부하량을 월별 유량자료와 수질농도자료로부터 산정한 결과는 Fig. 7과 같다. 단위유역면적당 BOD 부하량이 가장 높은 하천은 옥천천, 보청천, 주원천, 영동천, 봉황천, 초강, 무주남대천 순으로 나타났으며 회인천과 품곡천은 상대적으로 매우 낮게 나타났다. 단위유역면적당 TN 부하량이 가장 심한 하천은 영동천, 옥천천, 회인천, 봉황천 순으로 나타났으며 TP 부하량은 옥천천, 영동천, 봉황천, 주원천 순으로 나타났다. 옥천천에서 유역면적당 총인과 총질소의 유달부하량이 매우 높게 나타난 이유는 상류의 하수처리장 영향 때문으로 사료된다.

단위유역면적당 유달부하량이 높다는 것은 하천의 유량에 의한 유한한 자정능력을 고려할 때 보다 나쁜 수질을 보일 가능성이 높은 것을 의미한다. 즉, 대청댐 유역과 같이 임야와 농촌지역이 대부분인 조건에서 하천의 환경용량을 지배하는 자연유량은 통상 유역면적에 비례하므로 하천의 수질오염도는 유역으로부터의 단위면적당 부하량이 클수록 더욱 악화된다고 볼 수 있다. 따라서 하천 소유역별 단위유역면적당 특정 오염물질의 부하량은 하천의 수질오염도를 평가하는 종합수질지수와 역 상관관계에 있다고 가정하고 회귀분석을 실시하였다. 2001년과 2002년 동안의 하천별 단위유역면적당 연간 유달부하량과 K-WQI간의 회귀분석 결과는 Fig. 8과 같다. 종속변수인 종합수질지수와 독립변수인 단위면적당 부하량 간의 수질항목별 결정계수값은 TN과 TP가 각각 0.74과 0.73으로써 매우 높게 나타

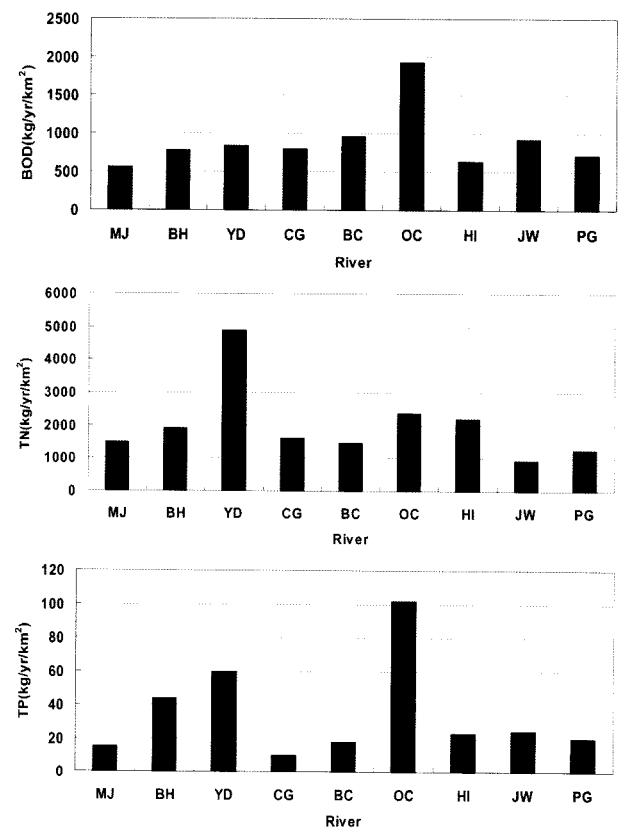


Fig. 7. Estimated specific loading rate of BOD, TN, and TP in the upstream rivers of Daecheong lake (2002).

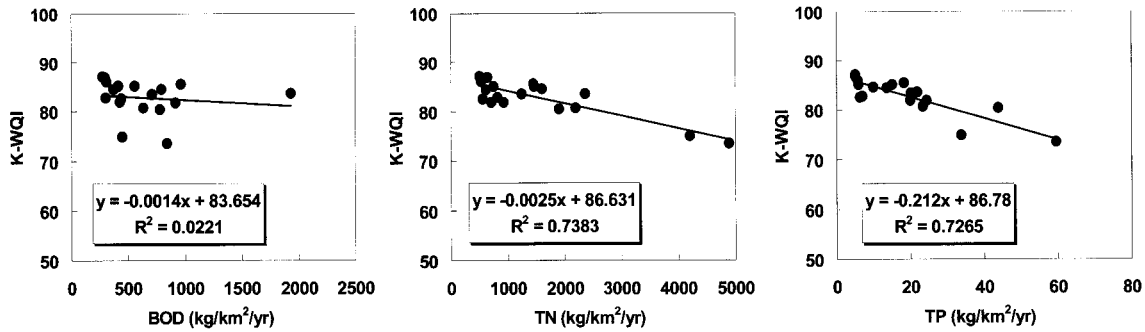


Fig. 8. Correlations between the specific loading rates and K-WQI values for BOD, TN, and TP in the upstream rivers of Daecheong lake (2002).

나 하천별 수질오염도를 결정하는 중요한 독립변수로 평가되었지만, BOD의 경우는 0.02로써 대상하천별 종합수질지수의 변동을 설명하는 데 한계를 보이고 있다.

단위유역면적당 높은 TN과 TP의 오염부하를 보이는 영동천, 봉황천, 옥천천, 주원천은 상대적으로 낮은 K-WQI 값과 매우 잘 일치하고 있으며 대청호로 유입하는 이들 하천의 수질을 개선하기 위해서는 유기오염물질의 대위항목인 BOD 보다는 TN과 TP에 대한 삭감대책이 우선적으로 필요함을 알 수 있다. 이러한 결과는 2장에서 제시한 대청호의 수질오염현상을 잘 반영해 주고 있으며 종합수질지수가 유역의 수질관리를 평가하기 위한 대안으로 충분히 활용가능 함을 보여준다.

종합수질지수와 단위유역면적당 유달부하량의 선형회귀 분석식의 오차를 정량화하기 위해 통계분석을 실시한 결과는 Table 3과 같으며, 선형회귀식의 절편(a_0)과 기울기(a_1) 그리고 이 값들에 대한 95% 신뢰구간과 함께 표준오차 (S_e), 상관계수(r), 결정계수(R^2)가 제시되었다. 선형회귀분석에서 산정된 절편과 기울기 계수 값들은 95% 신뢰도의 범위 외 모두 들어가는 것으로 나타났으며, 추정값에 대한 표준오차는 BOD, TN, TP가 각각 3.74, 1.93, 1.98로 나타났다. 대상하천에서 K-WQI와 BOD 유달부하량의 상관관계는 매우 낮은 것으로 나타났으나, TN과 TP는 -0.86와 -0.85로 매우 높은 역 상관관계를 보였다. BOD 유달부하량과 K-WQI가 낮은 상관관계를 보이는 이유는 대부분의 하천에서 BOD 농도가 매우 낮아 부지수함수값이 95점 이상으로 높기 때문이다.

4. 결론

대청호 상류 유역 하천의 수질관리는 대청호 수질보전을 위해 필수적인 요소이다. 그러나 하천수질관리의 이정표가 되는 오염도 평가의 기준이 유기오염물질의 대위항목인 BOD 중심으로 이루어지고 있고, 더욱이 환경부가 추진하고 있는 제1단계 오염총량관리제에서도 대상수질항목으로 BOD만 사용하고 있어 대청호 유역의 수질오염상태를 종합적으로 판단할 수 없을 뿐만 아니라 장기적으로 대청호의 수질개선을 기대하기 매우 어려운 실정이다. 본 연구에서는 현재의 대청호 유역의 수질상태를 종합적으로 평가하고 적절한 수질관리항목을 선정하기 위해 종합수질지수(K-WQI)를 적용 하였으며, 평가결과 대청호 상류 하천의 종합수질지수를 향상하기 위해서는 질소와 대장균군수의 관리가 시급한 것으로 나타났다. 또한, K-WQI와 유달부하량의 상관관계를 분석한 결과 총질소와 총인의 부하량은 K-WQI와 높은 역상관관계를 보인 반면 BOD와는 무관하게 나타나 대청호와 상류하천의 수질을 개선하기 위해서는 BOD보다는 영양염류인 TN과 TP의 관리가 더욱 중요한 것으로 분석되었다. 본 연구에서 적용한 K-WQI는 정기적인 측정망 자료의 한계성을 고려할 때 유역의 수질상태를 종합적으로 평가하기 위한 대안으로 충분히 활용 가능하지만, 여전히 평가요소가 이화학적인 수질항목만으로 구성되어 있다는 한계점이 있다. 따라서 하천의 생태계 환경을 고려할 수 있는 항목을 추가한 보다 통합적인 종합지수의 개발이 앞으로 필요할 것으로 사료된다.

Table 3. Statistical analysis of regression coefficients between K-WQI and specific loading rates

Month	Linear regression parameters				S_e	r	R^2
	a_0	U bound	a_1	U bound			
		L bound		L bound			
BOD	83.6543	87.2399	-0.0014	0.0034	3.74	0.15	0.02
		80.0687		-0.0062			
TN	86.6313	89.6183	-0.0025	-0.0010	1.93	-0.86	0.74
		83.6441		-0.0041			
TP	86.7796	89.8533	-0.2120	-0.0823	1.98	-0.85	0.73
		83.7059		-0.3418			

* 95% confidence intervals of estimated intercept(a_0) and slope(a_1) of linear regressions

참고문헌

- 방천희, 박재로, 이용수, 복하천 유역의 수질평가를 위한 종합수질지표의 적용성 검토, *대한상하수도학회 · 한국물환경학회 공동추계 학술발표회 논문집*, pp. D39-D42 (2002).
- 이병국, 오염총량관리제의 개선방향, *춘천 물 포럼 2004 논문집*, p. 591 (2004).
- 이홍근, 오경두, 백도현, 신경회로망을 이용한 수질지수 산정 기법, *1996년 한국수질보전학회 학술연구발표회 논문초록집*, p. 49 (1996).
- 정부합동, *대청호등 금강수계 물관리 종합대책*, 환경부, p. 126 (2000).
- 정세웅, 대청호 수질보전 방안, *대청댐주변지역 환경정비 전략 세미나 논문집*, pp. 83-113 (2004).
- 정용, 김종택, 공동수, 최윤희, 이윤균, 금희정, 수질평가를 위한 Water Quality Management System 개발, *1997년 한국수질보전학회 추계 학술발표논문초록집*, 광주과학기술원, pp. 29-32 (1997).
- 최지용, *종합수질지표의 개발*, 한국환경기술개발원, pp. 42-111 (1996).
- 한국수자원공사, *대청다목적댐 관리연보*, pp. 157-174 (2002).
- 한국수자원공사, *다목적댐 운영 실무편람*, pp. 33-72 (2003).
- 한국수자원공사, *대청댐 주변지역 환경정비 기본계획*, pp. 83-113 (2004).
- Dojildo, J., Raniszewski, J. and Woyciechowska, J., Water Quality Index - Application for Rivers in Vistula River Basin in Poland, *Wat. Sci. & Tech.*, **30**(10), pp. 57-64 (1994).
- Smith, D. G., A New Form of Water Quality Index for Rivers and Streams, *Wat. Sci. & Tech.*, **21**(2), pp. 123-127 (1989).
- Tyson, J. M. and House, M. A., The Application of a Water Quality Index to River Management, *Wat. Sci. & Tech.*, **21**, pp. 1149-1159 (1989).
- USEPA, *Guideline for Preparation of the State Water Quality Assessments*, USEPA (1996).