

총설

물환경 종합평가의 현황과 선진화 방안

최지용\* · 이지현 · 이재관\* · 김창수\*

한국환경정책·평가연구원  
\*국립환경과학원

Status and its Improvement of Comprehensive Water Quality Evaluation

Ji Yong Choi\* · Jee Hyun Lee · Jae Kwan Lee\* · Chang Su Kim\*

Korea Environment Institute

\*National Institute of Environmental Research

(Received 26 June 2006, Accepted 16 August 2006)

Abstract

Accurate and timely information on status and trends in the environment is necessary to shape sound water quality management policy and to implement water quality improvement programs efficiently. One of the most effective ways to communicate information on water quality trends to policy-makers, scientists, and the general public is with comprehensive water quality indices. The derivation and structure of a water quality index (WQI) for the classification of surface water quality is discussed. The WQI generally developed through the selection, transformation and weighting of determinants with rating curves based on legal standards and quality directives or guidelines. The representative pollutants should be included in the index, and the relationship between the quantity of these pollutants in the water and the resulting quality of the water should be based on scientific results. The WQI be simply and meaningfully formulated that nonscientifically trained users can easily become familiar with the framework of the system and use the output data to evaluate their own pollution problems.

keywords : Comprehensive water quality evaluation, Surface water quality, Water Quality Index (WQI)

1. 서론

우리나라에서는 공공수역의 전반적 오염상태를 나타내기 위해 BOD와 COD 같은 유기오염지표 단일항목을 오염의 일반적인 지표로서 사용하고 있다. 현재 수질에 관한 각종 물리적, 화학적, 생물학적 자료가 양산되고 있지만 이들은 수질의 상태를 단편적으로만 나타내고 있을 뿐 수질의 종합적인 상태에 대한 지식을 제공하지 못하고 있다. 현 수질의 상태를 종합적으로 표시할 수 있는 지표가 없다면, 단편적인 수질측정자료만 가지고는 수질의 상태를 명확히 설명하는 것에는 한계가 있다. 특히 다양한 용도의 용수요구가 동일한 지점에서 일어나는 국내 실태와 최근 확산되고 있는 수생태계 보존의 중요성을 고려할 때, 이를 반영한 종합적인 지표를 개발하여 물환경 평가에 활용할 필요가 있다.

수질상태의 종합적인 평가는 수질관리에 있어서 가장 중요한 요소이며 이를 바탕으로 각종 수질관리정책이 계획되고 집행되어야 한다. 따라서 현 수질상태를 포괄적으로 표현할 수 있는 방법, 즉 수질에 관한 이화학적 및 생물학적 항목의 수질자료를 가공하여 하나의 지표로 표시할 수 있는 종합수질지표의 개발이 필요하다. 이를 위해 본 고에서

는 수질평가지표의 종류 및 각국의 이용상태를 분석, 1996년 국내에서 개발된 한국형 종합수질지표(Korea-Water Quality Index: K-WQI)의 검토 및 개선방안에 이를 반영하여, 이화학 및 생물학적 항목, 용수이용 및 사람의 건강항목까지 고려한 새로운 종합수질지표를 구상하였다. 본 종합수질지표 구상을 통해 하천의 전반적 수질오염상태를 정확히 제시하고, 국민의 체감 수질오염도를 반영하는 동시에 일반국민이 쉽게 이해할 수 있는 종합수질지표 개발 방향을 모색하려 한다.

2. 수질평가지표의 종류 및 이용상태

2.1. 수질평가지표의 종류

환경지표는 현상해석을 위한 지표와 가치평가를 위한 지표의 두 종류로 나눌 수 있다. 전자는 어떤 현상을 객관화시켜 표현하는 것이고, 후자는 객관적 측정치를 통계적 상관관계나 경험적 판단에 의해 대표값으로 산출해서 지표화한 것이다. 지표를 이용한 수질구분에 대한 최초의 시도는 독일에서 1848년 수중미생물의 수와 물의 청정도를 연결하는 연구를 수행함으로써 시작되었다. 오늘날까지 개발된 수질평가지표는 크게 단일항목지표, 종합수질지표 및 생태계평가지표로 구분이 가능하다.

\* To whom correspondence should be addressed.  
jychoi@kei.re.kr

2.1.1. 단일항목 지표

단일항목지표는 BOD, COD와 같이 대표적인 단일항목으로 수질을 평가하기 때문에 수질상황을 충분히 반영하지 못하는 어려움이 있으나, 적용의 용이성으로 인해 아직까지 상당한 국가들이 공식적인 수질평가 방법으로 단일지표를 사용하고 있다. 그러나 미국을 중심으로 한 일부 국가에서는 단일항목 평가의 불확실성으로 인해 종합수질지표 개발을 70년대 이후부터 활발히 추진한 바 있다.

2.1.2. 종합수질지표

수질의 악화정도를 표현하기 위해 수치적인 범위를 사용한 경우로는 1964년에 소련에서 최초로 사용된 GI (Generalized Index)가 있고 이듬해인 1965년에 미국에서 Horton's Index가 개발됨으로서 본격적으로 시작되었다. 이때까지 개발된 수질지표는 다음 Table 1과 같이 물리·화학적 수질측정치들 그대로 이용한 단일항목지표와 이들 측정치를 일정한 원칙에 의해 종합화한 종합수질지표 및 수증생물을 이용한 생태지표로 대별할 수 있다.

Table 1. Classification of water quality index

Index	Variables and indices
Individual items	· BOD, COD, ...
General water indices	· General water quality indices · Specific-Use indices · Planning indices
Biological indices	· IEPA/DOC, BSC · FISH/Index of biotic integrity(IB/AIBI) · BENTHOS/Macroinvertebrate biotic index(MBI) · STREAM potential index of HABITAT/Biotic integrity(PIBI) · STREAM IEPA stream sediment SEDIMENT /Classification

1) 일반수질지표(General Water Quality Indices)

물은 생활용수(음용수), 관개수, 위락용수, 그리고 물고기와 야생동물의 서식처의 유지수 등 다양한 용도로 사용된다. 이와 같은 용도에 따라 수질기준도 다양하며 이러한 용도를 모두 고려한 수질수준을 하나의 지수로 표현한 것을 "일반수질지표(GI)"라고 한다. 일반수질용도를 위한 지수로는 Horton이 1965년에 현대적인 수질지표를 제안하였고, 수질지표를 수질관련사업의 평가와 수질정보를 공공에 알리는 도구로 사용하였다. 이전의 수질오염도에 대한 단위항목별 분류의 단점으로는 일정 농도 이상 또는 이하로 구분함으로써 농도사이에 단절이 생기고, 기관마다 분류기준이 상이하며, 객관적 타당성 미비 및 농도기준간의 융통성 부재가 문제로 지적되었다. 이러한 문제를 피하기 위해, Horton은 상대적인 기초위에서 서로 비교할 수 있는 수질지표시스템을 개발하였다.

2) 용도별 수질지표(Specific-Use Indices)

일반적인 수질의 개념을 수용하지 않는 수질전문가들은

수질지표가 각각의 특별한 수용도에 맞추어 만들어져야 한다고 제안하였다. 대표적인 용도별 지표로는 물고기와 야생동물, 공공용수공급을 위한 O'Connor지수; 공공용수공급을 위한 Deininger와 Landwehr의 PWS(Public Water Supply) 지수; 위락용수를 위한 Walski와 Parker 지수; 공공용수공급, 관개용수를 위한 Stoner의 지수; 위락용수를 위한 Nemerow and Sumitomo의 지수 등이 있다. 이들 특별용도 지수는 그 구조와 모양이 일반수질지표와 특별하게 차이가 없다.

3) 계획지수(Planning Indices)

수질지표의 또 다른 형태는 "계획지수"로 수질관리를 위해 특별히 설계된 것이다. 일반적 수질지표 및 용도별 지표와는 달리, 이들 지표는 현수질 상황을 설명하는데 그치지 않고 사용자가 특별한 문제를 해결하는데 있어 도움이 될 수 있도록 작성한 것이다. 계획지수는 정기적으로 측정되는 수질오염항목 뿐만 아니라 이외의 수질에 영향을 끼치는 여러 항목들로 구성된다. 예를 들면, 수질오염방지제원을 확충하기 위해 설계된 계획지수는 "폐수처리시설의 비용"을 포함한다. 계획지수의 예로서 Zoeteman의 PPI (Pollution Potential Index)가 1973년에 개발되었는데 이는 수질항목측정에 기초한 것이 아니고, 오염의 원인이 되는 간접적인 인자에 기초한 것이다. PPI는 주어진 배수지역에서 인구크기와, 경제적인 활동정도(인구 당 GNP로 측정되는), 그리고 그 강의 평균유량에 기초한 식으로 구성된다. Zoeteman은 독일 라인강의 시계열적인 자료를 분석한 결과 수질측정치 중 인산염, 질산염, 염소, BOD<sub>5</sub>, 철 등이 PPI와 상관관계를 가진다는 사실을 발견하였다. 따라서 수질관리를 위해 PPI를 계획적으로 배분하고 관리하면 수질관리가 가능하다고 제안하였다.

4) 통계적 지표(Statistical Approches)

상당수의 통계적 접근도 수질자료의 평가방법으로 제안되어 왔다. 통계적 접근방법은 문헌상 이미 사용되고 있는 통계기법을 사용하며, 다른 기법보다 주관적 가정이 적은 장점을 가지나, 복잡하고 적용에 어려움이 있다. 통계적 접근의 한 방법은 상호관계도출을 위한 인자분석을 실시하여 수질악화에 대한 항목간의 상호 중요도를 파악하는 것이다. 미국 네바다주에서는 Carson계곡으로부터 얻은 수질자료를 이용해 수질지표를 개발하기 위해 10개의 항목에 대해 인자분석을 실시하였고 상관관계를 이용해 여분의 항목들을 제외시키면서 5개 항목(DO, BOD<sub>5</sub>, T-P, 온도, 전도도)을 선정하여 지표를 만들었다. 가까운 일본과 태국의 경우도 이와 비슷한 방법으로 수질지표를 작성한 바 있으나 앞에서 제시한 약점 때문에 널리 이용되지는 않는 방법이다.

2.1.3. 생태계 평가지표

생태계 평가지표의 초기형태인 생물학적 수질지표는 1800년대 후반에 시작되었으나 1900년대 물리·화학적 분석기술의 발달로 크게 각광받지 못하다가 1980년 이후 미

국을 중심으로 다시 주요수질지표로서 활발히 연구되고 있다. 수생태계에 바탕을 둔 평가방법은 장기간의 방대한 자료의 축적이 있어야 가능하므로 대부분의 국가에서는 널리 적용하지는 못하고 있다. 생태계 평가지표는 일반적으로 수질상태에 따른 수중생물에 미치는 영향정도를 평가하며, 여기에는 세 가지의 기본적인 접근방법이 있다.

첫 번째 접근방법은 지표유기체의 종류와 수에 기초하는 방법으로 saprobic 분류시스템과 같이 하천을 유기체의 존재형태에 따라 하천을 오염영역으로 구분하는 방법과 fecal coliform과 같이 온혈동물의 내장에 기생하는 지표유기체의 존재를 이용한 분변물질에 의한 오염정도로 이용하는 경우가 여기에 속한다. 두 번째의 접근방법은 유기체의 생물학적 군집에서 종의 분산을 수학적 분석에 의해 평가하는 방법이며, 세 번째 접근방법은 오염에 대한 특정유기체의 생리적 또는 행동반응을 이용한 것이다. 예를 들면, 살충제는 물고기의 뇌에서 혈압강하효소와 같은 작용을 함으로 물고기 뇌의 혈압강하효소의 활동을 분석해 살충제 오염의 모니터로서 사용하는 경우이다. 또 독성물질에 대한 반응으로 물고기의 활동이나 움직임이 증가하는 등의 일부 종의 행동변화를 평가해 수질오염의 지표로서 이용하는 경우도 여기에 속한다.

생태학적 지표는 오염을 종합적으로 평가할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 물고기와 기타 유기체들은 물의 오염상황에 따라 반응하므로 일부 독성물질이 일시적으로 배출되어 정규적인 수질측정에서는 검출되지 않았다 하더라도, 수중유기체 평가를 통해 이들 오염물질의 영향 유무를 파악할 수 있다. 이와 같이 유기체의 생태적 상황을 분석함으로써 통상의 물리-화학적 측정에 의한 평가보다는 다양한 환경변화를 평가할 수 있으며 이는 수생생물이 수많은 물리적, 화학적, 생물학적 수질항목들에 총체적으로 반응하기 때문이다.

## 2.2. 각국의 수질지표 개발과 이용 실태

### 2.2.1. 한국

우리나라에서 가장 최근에 개발된 지표는 한국형 종합수질지표(K-WQI)이다(최, 1996). 이 지표는 일반적인 수질종합지표로서 개발은 항목의 설정, 항목별, 용도별 가중치 설정, 부지수 함수계산, 항목의 종합화 순으로 작성되었으며 구체적 사항은 다음과 같다.

#### 1) 항목선정

수질종합지표에 포함될 항목의 선정은 지표의 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, 중복 평가되지 않는 항목이어야 한다. 이와 같은 조건을 고려하여 최종적으로 선정된 항목은 pH, DO, BOD<sub>5</sub>, COD, SS, T-N, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, T-P, T-Coliform로 10개 항목이다.

#### 2) 항목별, 용도별 가중치

수질종합지표에 사용된 각 항목의 중요도에 따라 각 가중치를 주어야 하며, 가중치는 물이용 용도, 수질항목의 기여도에 따라 다양하다. 용도별 구분은 현재 우리나라에서 공공수역의 용수로 보편적으로 분류할 수 있는 생활용수, 공업용수, 농업용수, 위락·친수기능용수, 생태계유지용수의 5가지 용도로 구분하여 10개 수질항목에 대한 가중치를 전문가 설문을 통해 결정하였다. 항목별 가중치에 용도별 가중치를 적용한 종합가중치와 이를  $\sum W_i=1(W_i:환산가중치)$ 가 되도록 환산한 가중치를 구해본 결과 각 항목별로 종합적인 중요도는 pH, BOD<sub>5</sub>, COD 등이 중요한 것으로 나타났다.

#### 3) 부지수 함수

부지수 함수의 작성은 항목 선정후 측정단위가 다른 각 항목을 공통가치량으로 변화시켜 각 항목들을 동일한 기준점에서 비교하기 위한 공통 척도화 단계이다. 오염물질의 개별 변수치가 ppm, °C 등의 다양한 단위로 계측되고 있으며, 같은 ppm단위라도 그 농도차이가 날 수 있으므로 타 항목과의 종합화를 도모하기 위해 공통단위로 환산하여 각각의 농도에 따라 적절한 점수로 표현하기 위한 것이 부지수 함수이다(Table 2).

Table 2. Subindex Equations for K-WQI

Items	Subindex equation
BOD <sub>5</sub>	• $M(BOD_5) = 106.68 - 5.84(BOD_5)$
pH	• $6.5 \sim 8.5 : M(pH) = 100$
	• $<6.5 : M(pH) = 52.74(pH) - 239.68$
	• $>8.5 : M(pH) = 551.42 - 52.74(pH)$
DO	• $100 \sim 150\% : M(DO) = 123.3 - 0.298(DO)$
	• $100\% \text{ below} : M(DO) = 1.055(DO)0.987$
COD	• $M(COD) = 96.30 - 4.41(COD)$
SS	• $M(SS) = 96.13 - 0.79(SS)$
T-N	• $M(T-N) = 102.01 - 0.068(T-N)$
NH <sub>3</sub> -N	• $M(NH_3-N) = 101.93 - 0.086(NH_3)$
NO <sub>3</sub> -N	• $M(NO_3-N) = 101.96 - 0.036(NO_3)$
T-P	• $M(T-P) = 101.94 - 0.098(T-P)$
T-Coli	• $M(T-Coli) = 181.1(T-Coli) - 0.164$

#### 4) 항목의 종합화

수질종합지표의 산정의 마지막 단계가 종합화과정으로서 이 단계에서는 정보의 양을 단순화시킴으로 인해 정보의 손실이 발생할 소지가 있는 과정이다. 본 고에서 선정된 각 수질항목의 부지수함수가 감소형 지수임을 고려하여 가중된 곱의 형태(weighted product)로 종합화하였다. 종합화식은  $WQI = \prod_{i=1}^{10} I_i^{W_i}$  로, 여기서 WQI는 수질종합지표이며, I는 부지수 함수, W는 각 부지수항목별 수용도를 고려한 가중치이다.

2.2.2. 미국

1) NSFQI

종합수질지표가 가장 많이 연구된 곳은 미국이다. 1965년 Horton은 수온, pH, 포화용존산소량, 전도도, 알카리도, 탄소, 염소, 분변성대장균 및 폐수처리효율 등 8개 항목을 선정하여 현대적인 수질지표를 제안하였다(과학기술처, 1989). Horton 이후에 일반수질지표에 대한 개발이 활성화되어 미국 National Sanitation Foundation의 Water Quality Index, Prati의 Implicit Pollution Index, McDuffie의 River Pollution Index, Dinius의 Social Accounting System 등의 지표가 개발되었다. 이중에서도 1970년에 Brown, McClelland, Deininger, Tozer 등은 Horton의 지수와 유사한 구조의 수질지표를 제시하였는데 이 연구는 National Sanitation Foundation(NSF)에 의해 지원되었기 때문에 NSFQI로 알려졌다(최, 1996). NSFQI의 수질평가항목은 수온, pH, DO, BOD<sub>5</sub>, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, 분변성대장균, TS(Total Solids), 탁도 등 총 9개 항목(Wilkes University Center for Environmental Quality Environmental Engineering and Earth Sciences, 2006)으로 WQI의 산정식은 다음의 식과 같다.

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^9 W_i \cdot I_i$$

여기서,  $W_i$  = 최종가중치,  $I_i$  = 등급곡선에 의한 부지수,  $i$  = 조사항목이다. 항목별 가중치는 델파이기법을 이용하여 미국전역의 수질전문가 상당수의 의견을 조합해 산출되었다.

2) 노스캐롤라이나주

노스캐롤라이나주의 Mecklenburg County에서는 상당량의 수질자료를 단일한 값으로 전환한 종합수질지표를 사용하는데, 여기에는 BOD, DO, 분변성대장균, pH, 수온, TN, TP, TS, 탁도 등 9개의 수질항목을 그 대상으로 하고 있다. 이 항목들은 지역 수질전문가의 의견을 종합하여 결정되었다. 한편, 호수에 대해서는 Chlorophyll a, DO, pH, Secchi Disk Depth, 전도도, 수온, 총알칼리도, TN, TP의 9개 항목을 대상으로 하고 있다. MCDEP에 의해 매월 40개의 샘플을 하천에서, 17개의 샘플을 호수에서 채취하여 분석하고 있으며, 분석된 결과들을 토대로 연간 수질지표를 산출해내고 있으며, 종합수질지표는 0~100점까지로 하여 지도에 표시하여 공개하고 있다(North Carolina Department of Environment and Natural Resources, 2006).

3) 아이오와주

Des Moines River Water Quality Network(DMRWQN)는 Iowa주를 흐르는 Des Moines River의 수질관리 프로젝트로 아이오와주립대에서 미육군공병단의 지원을 받아 수행하고 있다. 1967년부터 실시되어온 이 프로젝트는 상류의 댐이 강의 하류에 미치는 영향을 평가하는 것을 목적으로 하고 있으며 30여년 동안 수질을 분석하고 있다(Des Moines River Water Quality Network, 2006). 본 프로젝트

에서는 DMRWQN내에 있는 강의 수질상태를 일반대중들이 쉽게 알아볼 수 있도록 DMRWQI(Des Moines River Water Quality Index)를 산정하였는데 그 방법과 절차는 NSFQI에 근거하고 있다. 즉, 각 지점에서 DO, pH, BOD, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>3</sub>-N, 탁도, SS 등을 측정하고 등급곡선을 이용하여 얻은 각각의 부지수합수값을 종합한 점수로 수질상태를 표시하고 있는 것이다. 수질상태는 0~100점 사이의 수치로 나타내며 91점 이상이면 “우수”, 71~90점은 “양호”, 51~70점은 “보통”, 26~50점은 “나쁨”, 25점 이하는 “매우 나쁨”으로 판정된다(Department of the Army Rock Island District Corps of Engineers, 2002).

4) 콜로라도주

콜로라도 Boulder county에서는 지역주민들이 환경정보에 쉽게 접근할 수 있도록 EPA EMPACT(Environmental Monitoring for Public Access and Community Tracking) program의 지원을 받아 BASIN(Boulder Area Sustainability Information Network)이라는 지역 서비스를 제공하고 있다. BASIN에서는 NSFQI를 적용하여 Boulder Creek Watershed의 수질상태를 지역주민들에게 제시하고 있다. 이를 통해 지역주민들은 지역에서 수질 때문에 일어날 수 있는 문제들을 이해할 것으로 기대하고 있다. 수질종합지표를 A, B, C, D, F로 표시하고 이 구분은 NSFQI에 근거하고 있다(Boulder Community Network of Colorado, 2006).

5) 일리노이주

미국에서는 각 주에서 지정한 물의 용도에 대해 종합수질지표의 적합성을 평가하여 이를 중앙정부에 보고하도록 하고 있다. 이에 따라 각 주는 수중생태계 보존, 물고기 섭취, 수영 등의 위락용도, 음용수 용도 등과 같이 용도를 분류하여 그 적합성을 평가하고 있다. 평가기법은 주별로 차이가 있으며 일리노이주의 경우, 하천을 수중생태계, 물고기 소비, 수영, 음용수공급, 이차적인 수접촉 등의 용도로 분류하고 적합성정도를 Full(충분적합), Full/Threatened(적합), Partial/Minor Impairment(부분적합), Partial/Moderate Impairment(부분부적합), Nonsupport(부적합)로 평가하고 있다.

6) 오레건주

오레건 주가 채택한 지표는 NSFQI(National Sanitation Foundation's Water Quality Index)를 참고하여 DO, BOD, pH, NH<sub>3</sub>/NO<sub>3</sub>-N, TS, 대장균의 6개에서 나중에 추가된 수온과 T-P까지 총 8개가 있다. 하천의 손상정도는 각 지표를 이용하여 용존산소부족, 부영양화, 물리적 특성, 용존물질, 위해성으로 나누고 그 정도를 판단하고 있다. 오레건주 지표는 지역적 특성을 고려하여 꾸준히 수정되어온 지역맞춤형 지표로 타 지역에 적용하기 위해서는 신중한 고려가 필요하다.

각 지표는 원래 델파이 분석을 통해 가중치를 부여하여 총합하였으나 가중치를 주지 않는 것이 지표의 변화에 따

른 일반적인 수체의 변화를 살펴보면 유리하다는 판단 하에 현재는 가중치 없이 총합하는 방법을 이용하고 있다 (Table 3). 점수배분은 100점 만점에 90점 이상은 매우 좋음, 60점 이하는 매우 나쁨으로 평가하고 있다.

**Table 3.** Aggregation Function of OWQI

Time	Function
Past (weighted linear sum)	$OWQI = \prod_{i=1}^n SI_i^{w_i}$
Present (weighted geometric mean)	$OWQI = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}} = \sqrt{\frac{8}{\frac{1}{SI_1^2} + \frac{1}{SI_2^2} + \frac{1}{SI_{10}^2} + \frac{1}{SI_{11}^2} + \frac{1}{SI_{12}^2} + \frac{1}{SI_{13}^2} + \frac{1}{SI_{14}^2} + \frac{1}{SI_{15}^2}}}$

**2.2.3. 캐나다**

캐나다에서 개발된 수질지표는 2000년대 전후로 하며 큰 변화가 있었다. 2000년대 이전의 종합지표는 간단하며 대장균, pH, 온도, 탁도의 4개 항목을 이용하고 있으며 대장균에 가장 큰 비중을 두고 있다. 종합식은 다음과 같은 두 가지 형태중 하나를 선택하고 있다

$$\text{Water Quality index} = \sum q_i w_i$$

$$\text{Water Quality index} = \prod q_i^{w_i}$$

여기서 q는 개별 항목의 수질값이고 w는 각 항목의 가중치이다. 각 항목별 부지수함수는 그래프를 이용한 내삽함수로 표시하였으며 항목별 가중치는 4가지 항목중 대장균에 가장 많은 점수를 주었다. 종합지수의 산정은 각 항목별 내삽함수에서 산정한 값(오염도에 따라 0점에서 100점까지)에 따라 가중치를 부여해 종합화하였고 수질판정기준은 6단계로 하였다.

한편, 2000년 이후 캐나다에서는 CCMEWQI(Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index)를 개발하여 일반인들도 수질의 전반적인 상황을 쉽게 이해할 수 있도록 하고 있다. CCMEWQI 이전에도 Center St. Laurent, Quebec, British Columbia, Manitoba, Alberta, Ontario 등에서 WQI를 사용하고 있었지만 캐나다의 수질을 단일한 지표로 나타내기 위해 CCMEWQI를 개발하였다. CCMEWQI는 세 가지 factor로 계산된다. Factor 1(Scope)은 관찰기간 동안 수질 가이드라인을 벗어나는 정도, Factor 2(Frequency)는 목표(objective)를 만족시키지 못한 조사수(failed test)의 백분율, Factor 3(Amplitude)는 목표를 만족시키지 못한 failed test의 정도를 나타내며 위에서 구한 세 요소(F1, F2, F3)를 이용한 CCMEWQI는 다음과 같이 계산된다.

$$CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

CCMEWQI는 0에서 100 사이의 값을 가지며 CCMEWQI

는 캐나다 전역에 걸쳐 적용되고 있다. Ontario지역의 경우 CCMEWQI에 포함된 변수(variables)는 Al, As, Cd, Cr, Cu, DO, 분변성대장균, Ni, pH, 페놀, P, Zn 등이다 (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001a, 2001b).

**2.2.4. 일본**

일본은 우리나라와 같이 중요한 몇 가지의 항목으로 수질을 평가하고 있으며 종합지표는 정부차원에서 개발되거나 이용되고 있지는 않고 연구자들이 연구용으로 개발하여 이용하는 경우는 있다. 지표의 개발 예로는 많은 수질측정 항목들이 서로 강한 상관관계를 가지고 있는 것을 이용해 통계적 기법을 적용하여 개발하였다. 예를 들면 BOD의 경우 다른 수질항목과 밀접한 관계가 있으며 이 경우 BOD가 수질을 대표하는 것으로 보고 BOD와 같이 수질을 대표하는 수 개의 항목을 이용해 지표를 개발하였다. 대표항목의 선정은 통계적인 방법에 의해 이루어지며 주로 주성분 분석에 의해 선정하는 방법이 이용된다. 그 예로 神奈川縣내 27개 하천을 대상으로 많은 수질항목을 주성분 분석법으로 집약해, 수질에 가장 큰 영향을 끼치는 DO, BOD, PO<sub>4</sub>-P, NH<sub>3</sub>-N의 4항목을 이용해 종합수질지표(WQI)를 다음과 같이 산정하였다(최, 1996).

$$\begin{aligned} WQI = & 0.162 \times DO + 1.34 \times \log(BOD + 0.90) \\ & + 1.54 \times \log(PO_4 - P + 0.094) \\ & + 1.22 \times \log(NH_3 - N + 0.49) + 0.146 \end{aligned}$$

**2.2.5. 영국**

영국에서 종합수질지표는 공식적으로 사용하지는 않지만 연구자들이 관심을 가지고 개발하고 있다. House는 수질지표를 일반수질지표와 용도관련지수로 구분하여 개발하였다. 일반수질지표(WQI)는 잠재적인 수용도의 범위에서 수질을 반영하는 것으로 영국에서 정기적으로 모니터링되는 9개의 물리·화학적 그리고 생물학적 항목에 기초하고 있다. 용도별 지수로는 원수의 적합성 반영정도를 나타내는 PWSI (Public Water Supply Index), 독성에 대한 지수로서 ATI (Aquatic Toxicity Index), 공공용수공급용으로의 적합성이나 수생태계 유지를 위해 영향 정도를 파악하기 위한 PSI(Potable Sapidity Index)가 있다.

PWSI지수는 음용수 공급 적합성에 대한 수질을 반영하는 것으로 13개의 정기적으로 모니터링되는 항목에 기초한 것이다. 나머지 두개의 지수는, 잠재적으로 사람과 수중생물체에 독성을 끼치는 중금속, 살충제, 그리고 탄화수소 등에 기초한 것이다. 두 지수 중 ATI는 물고기와 야생동물의 종족보호를 위한 물의 적합성을 반영하고, PSI는 공공용수공급을 위한 물의 적합성을 반영한다. 이들 지수들은 9개와 12개의 대표적인 독성항목에 기초하고, 만약 독성지수가 WQI 또는 PWSI보다 열악한 수질을 나타낸다면 독성지수 점수에 기초하여 WQI나 PWSI에서 얻어진 점수를 넘는

용도로 점수가 수정된다. WQI와 PWSI에서는 전문가에 의해 매겨진 각 항목의 가중치들이 사용되었지만 ATI와 PSI에서는 독성항목이 가지는 특성 때문에 가중치를 적용하지 않았다. 이들 지수에서 용도적합성 평가를 위해 선택된 항목은 Table 4와 같다(House et al., 1987).

**Table 4.** Pollutant variables included within the four water quality indices

WQI	ATI	PSI	PWSI
DO	Diss.Cu	Total Cu	WQI + :
NH4	Total Zn	Total Zn	Sulfate
BOD	Diss.Cd	Total Cd	F
SS	Diss. Pb	Total Pb	Color
Nirtate	Diss.Cr	Total Cr	Diss.Fe
pH	Total As	Total As	
Temp	Total Hg	Total Hg	
Cl	Total CN	Total CN	
Total Coliforms	Phenol	Phenol	
		Total HC	
		PHAs	
		Total Pesticide	

**2.2.6. 프랑스**

프랑스는 1971년 하천수질 평가방법을 도입하여 수질보호를 위한 계획과 모니터링, 물이용에 이를 활용하고 있다. 본 5개 수질 등급은 물리·화학적, 수문·생물학적 상태를 반영하는 제한된 인자들에 의해 1A/1B/2/3/등급외로 구분되며 이는 각각 파랑/초록/노랑/주황/빨강의 색으로 대표되었다. 이 “다목적” 그리드는 주된 용수 이용과 어류 보전을 위한 지속가능성에 대한 일반적인 평가에 기반하여 수립되었다(Oudin, 2000).

1990년대에 환경개발부, 그리고 물관리청(water agency)은 하천 수질 평가를 위한 본 접근법을 3개 부분 시스템으로 설계하여 강화하여, 기존 수질 등급을 현대화하기로 결정하였다. S.E.Q.라 명명한 이 새로운 시스템은 ① 물의 물리-화학적 질(Water S.E.Q.: River quality based on Water component), ② 하상 및 독의 인공화 정도(Physical S.E.Q.: River quality based on Physical component), ③ 수로(water course)에서의 생물학적 군락의 상태(Biological S.E.Q.: River quality based on Biological component)를 동시에 평가한다. S.E.Q. 시스템은 물리화학적, 생물학적 변수를 이용하여 수질 등급을 5단계로 구분하며 프랑스 환경개발부와 물관리청이 협력하여 평가법을 개선해나가고 있다.

Water-S.E.Q.는 수생태계 보호, 물의 이용, 위락용수로 활용 등의 다양한 목적별로 다양한 기준을 모두 고려하고 있다. Ver. 1에서는 153개 항목(parameter)으로 이루어진 15개 지표(indicator)를 통해 수질, 수질분류, 사용적합도 등을 판단하고 있으며, 수정된 Ver. 2에서는 적합성 지수(Suitability index)가 수생태계의 적합도를 판단하기 위해 추가되었다. Ver. 1에서 물의 지속가능성은 특히 생물학적 잠재력과 각 물이용에 대해 정의된 5가지 등급 중 최고 등급으로 평가된다. Ver. 1에서 물이용은 이미 다음의 5가지 용도(① 음용수, ② 수상스포츠, ③ 관개용수, ④ 축산용수, ⑤

농업용수)로 평가되게 된다. Ver. 2에서 물이용은 다음 5가지(① 음용수, ② 위락용수, ③ 관개용수, ④ 축산용수, ⑤ 양식)로 조정되게 된다. Water S.E.Q.는 각 지표에 대한 수질 등급과 생물학적 기능 및 잠재적인 물이용에 대한 영향 모두를 밝혀줌으로써, 모니터링 결과를 통합하기 위한 도구를 제공하여 의사결정자와 폭넓은 대중들과의 의사소통이 원활해지도록 돕는다.

Water S.E.Q.는 생물 및 특정한 물이용의 적합성에 대한 중요한 정보를 제공한다. Ver. 2에서 물이용은 음용수, 위락용수, 관개용수, 축산용수, 양식으로 구분되며 여기에 수생생물 부문이 더해져 6가지 용도로 구분되게 되며, 각 용도는 그 용도의 수질을 평가하기에 적합한 지표를 선택하게 된다(Table 5). 6가지 용도에 따른 물이용의 적합도는 5단계(파랑, 초록, 노랑, 주황, 빨강)로 구분하며 물이용의 목적에 따라 구분된다(French Water Agencies, 2000).

**Table 5.** Variables selected for inclusion in each water uses

Variables	Aqua. life	Drin.	Leisu.	Agri.	Catt.	Aqua. Cul.
Organic	■	■				■
N					■	■
Nitrate-N						■
p	■					■
Sus. Materials	■	■	■			■
Color		■				
Water Temp.	■					
Silinity		■		■		■
pH	■					■
Phyto-planton	■					■
Micro organism		■	■	■		
Mineral Poll.	■	■				■
Pesticide	■	■		■	■	F
Micro organic pol.	■	■		F	F	F

close relationship with indices     
  little relationship with indices     
 F : Future research necessary

**2.2.7. 말레이시아**

말레이시아에서는 DO, BOD, COD, SS, NH<sub>3</sub>-N, pH 등의 수질항목을 선정하여 강에 대한 WQI를 개발하여 사용하고 있다. 형식은 각 수질항목별 부지수함수를 개발하고 각 수질항목별 중요도를 고려하여 종합지수를 산정하였다. WQI 계산은 다음의 식과 같다.

$$WQI = 0.22 \times SI_{DO} + 0.19 \times SI_{BOD} + 0.16 \times SI_{COD} + 0.15 \times SI_{NH_3-N} + 0.16 \times SI_{SS} + 0.12 \times SI_{pH}$$

여기에서, SI = 각 수질항목의 subindex를 의미한다. 계산된 WQI는 0~100사이의 값을 가진다(Ministry of Agriculture & Agro-Based Industry of Malaysia, 2006).

### 2.3. 각국 종합수질지표의 구조분석

국내외 사례에서 살펴본 종합수질지표의 형식과 구조는 각국의 이용가능한 자료수, 수질기준 항목 및 수이용 상태에 따라 항목수와 부지수 합수가 다양하지만 보편적인 일반형태는 부지수합수를 산정하여 이를 종합화하는 방식이며, 부지수  $I_i$ 는 개별수질항목  $X_i$ 에 대해 함수  $f_i(X_i)$ 로서 계산[ $I_i = f_i(X_i)$ ]한다. 부지수 함수  $f_1(X_1), f_2(X_2), \dots, f_n(X_n)$ 는 특별한 오염항목의 환경적 특성을 대표하므로 이들 함수식에는 각각 다양한 수학적식이 사용되고, 부지수들이 계산되면, 그들은 일반적으로 최종적인 지수를 산출하기 위해 종합화하며, 종합화 과정에서는 단순평균은 거의 사용하지 않고 대부분이 지수가 가중합(weighted product)의 형식을 택하고 있다. 이상 각국의 수질지표를 검토한 결과 하천에 따라 항목별 중요도가 다양하며, 국가별로 자료수준에 따라 각국의 특성에 적합하게 수질지표를 작성하여 사용한다. 종합지표작성을 위해 사용한 기본항목은 BOD<sub>5</sub>, SS, pH, NH<sub>3</sub>, DO 등의 일반 수질항목이 많이 사용되고 있으며, 대부분 정기적으로 측정이 되어지는 항목을 바탕으로 한다. 한편 캐나다에서 최근의 개발한 지표는 기존에 측정되고 있는 수질항목을 활용해 이를 항목간 가중치 없이 개별 지표를 종합화하는 방식으로 산정하였다.

## 3. K-WQI의 검토 및 개선방안

본장에서는 최근 일반적인 종합지표 개발방식으로 산정한 우리나라의 K-WQI를 심층적으로 검토해 보고 새롭게 종합지표 개발시 고려해야할 개선방안을 검토하고자 한다.

### 3.1. 여건변화를 고려한 용도 및 항목의 재선정

#### 3.1.1. 용도구분

기존 K-WQI은 물에 대한 용도를 생활용수, 공업용수, 농업용수, 위락·친수용수, 생태계유지용수로 5구분하고 이들 모든 용도에 적용되는 공통 항목 10개를 선정하는 식으로 구성되어 있다. 용수이용도는 물이용 상태를 상식선에서 결정된 것으로, 10년이 지난 이 시점에서 용도에 대한 재검토가 필요하다. 특히 물의 용도는 새로이 개발될 종합수질 지표에서 개별 관점의 프레임 역할을 하기 때문에 용도 구분 및 선정은 매우 신중히 결정되어야 한다. 참고로 국가별 용수목적 구분 현황은 Table 6과 같다. 우리나라와 일본에서는 물의 용도를 전체적인 물이용에 대해서 국가가 일률적으로 규정하고 있는 반면, 미국, 캐나다와 같이 많은 주들로 구성되어 있는 나라에서는 연방정부에서 물이용에 대한 국가수준의 준거치를 제시하고, 각 주에서는 지방의 특색에 따라 물의 용도를 구분하고 있다.

Table 6. Comparison of Water Use Classification

Usage \ Class	Nation					
	USA	EU	Japan	Canada	Australia	Korea
	CWA	EU Dire.	WPPA	Canada GL	ANZECC* GL	EPBL ('05)
Water supply	○	○	○	○	○	○
Fishery			○		○	○
Industry	○		○			○
Agriculture	○		○	○	○	○
Natural Con.			○			○
Human life cons.			○			○
Recreation	○			○	○	
Swimming		○	○			○
Aquatic life	○	○		○	○	
Navigation	○					

\* : The Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC)

기존 K-WQI에는 생태계유지용수를 하나의 용도로 택하고 있는데, 이화학적 지표만으로 생태계유지용수를 평가하는 데는 무리가 있다고 사료되므로, 개발될 종합수질지표에서는 생태계유지용수 항목쪽은 제외하고 순수히 물이용 용도만을 다루도록 검토하고자 한다. 또한 생태계 쪽은 물이용 용도와 함께 하나의 용도로 간주 부지수합수화하여 통합하고자 한다.

#### 3.1.2. 항목선정

K-WQI의 경우, 수질전문가의 의견을 반영하여 종합수질지표를 구성하는 pH, DO, BOD<sub>5</sub>, COD, SS, T-N, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, T-P, T-Coli의 10개 항목을 선정하였다. 향후 개정될 환경정책기본법에서, 하천의 생활환경기준은 pH, BOD<sub>5</sub>, SS, DO, 총대장균군, 분원성대장균군, 호소의 생활환경기준은 pH, COD, SS, DO, 총대장균군, 분원성대장균군, 그리고 T-N, T-P, Chl-a이 추가되게 된다. 이를 볼 때, 기존의 종합수질지표 구성 항목도 현재의 생활환경기준을 어느 정도 충실히 반영하고 있으며 향후 큰 변화는 없어 보인다. 그러나 이는 약 10년 전에 만들어진 모델인 만큼, 항목의 확인 및 재선정 과정은 필수적이다. 환경여건과 수환경기준이 변화할 시점에 있고, 국내에서 정규적으로 측정되는 항목도 늘어났으며, 국내외에서 물이용 및 수생태계에 미치는 오염원에 대한 연구도 상당량 축적되었기 때문에 이러한 시간적, 기술적 변화를 반영하여 새로운 종합수질지표의 항목을 재선정할 필요가 있다.

참고로 미국에서 개발한 NSFQI의 수질평가항목은 수온, pH, DO, BOD<sub>5</sub>, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, 분변성대장균, TS(Total Solids), 탁도 등 총 9개 항목이고, 오레건주의 경우, DO, BOD<sub>5</sub>, pH, NH<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>-N, TS, 대장균의 6개에서 나중에 추가된 수온과 T-P까지 총 8개가 있다. 캐나다 전역에 적용되고 있는 CCMEWQI의 경우, 온테리오주에서는 Al, As, Cd, Cr, Cu, DO, 분변성대장균, Ni, pH, 페놀, P, Zn 등을 항목으로 적용하고 있다. 10개 내외의 항목을 적용하고 있

는 이러한 사례들과는 구별되게 프랑스에서는 153개 항목으로 15개의 그룹을 종합지표인 Water-S.E.Q.에 이용하고 있다.

따라서 새로이 개발될 종합수질지표는 국외의 이러한 추세를 검토하여 도입하고자 한다. 그리고 기존의 K-WQI는 수질 용도를 특성화하지 않고 이에 일반적 가중치만을 도출한 것이다. 새로운 종합수질지표에서 구체적인 용도가 확정된 이후, 각 용도에 기반하여 이를 정확히 반영할 수 있는 항목을 선정하는 작업을 진행하고자 한다. 항목은 모든 용도에 해당되지 않아도 좋으며 프랑스 Water-S.E.Q.와 같은 형태를 검토하고자 한다.

### 3.2. 용수중심의 기준 수립 및 여건 반영

#### 3.2.1. 용수 중심의 기준 수립

기존 K-WQI에도 용수는 반영되어 있지만 이것은 일반적인 가중치로 항목에 녹아들어가 있는 형태로, 각 용수에 대한 수치를 개별적으로 도출하는 데 중점을 두지는 않았다. 오히려 용수별 가중치를 반영한 항목간의 가중치에 더 초점을 맞추고 있는데 이러한 접근법은 새로운 지표 개발에서 가장 우선적으로 검토되어야 할 부분으로 보인다. 개발될 지표는 용수를 하나의 관점으로 보고, 각 관점에 따른 값을 도출하는 것을 하나의 중요 단계로 간주해야 한다. 즉, 효과적인 수질관리를 위해서는 각 용도에 따른 개별값을 도출하여 종합화하기 직전의 단계에서 그 수치가 각 용도에 대해 얼마나 적합한지에 대한 정보를 파악할 필요가 있는 것이다. 이에 더해 각 용도의 수질을 저하시키는 주된 항목을 파악하는 것 역시 중요하다. 항목은 각 용도에 모두 사용될 필요가 없으므로, 각 용도 내 우선순위가 떨어지는 항목의 경우 과감히 제하여 분석의 신뢰성을 높일 필요가 있다. 이처럼 새로운 종합수질지표는 용도를 하나의 독립된 관점으로 간주하여, 이를 중심으로 항목을 구성하고, 이에 따라 용도 내에서의 각 항목 값과 항목을 종합한 용도값을 도출하는 과정으로 진행하고자 하며, 이를 모두 한 눈에 구분할 수 있는 매트릭스 형태가 바람직하다.

#### 3.2.2. 새로운 환경정책기본법을 반영한 배점구분

기존 K-WQI는 1996년 당시 환경정책기본법을 반영하여 점수를 5단계로 구분하였다. 향후 도입될 기본법에서 하천 및 호소의 생활환경기준은 수질을 7단계로 구분하여 이의 이해표를 갖게 된다. 따라서 개발될 종합수질지표 역시 본 생활환경기준에 입각하여 점수 범위 및 기준을 재정비할 필요가 있다. 단, 개정될 생활환경기준 내 항목에 대한 등급 구분은 현실상 용도 구분을 고려하지 않은 “행정적 종합수질지표”에 반영해야 한다.

### 3.3. 현실을 최대한 반영한 부지수 합수 도출

#### 3.3.1. 부지수합수에 실측자료 반영

K-WQI에서는 각 부지수 합수를 도출하기 위해 전문가의 의견을 수집하는 Delphi기법에만 전적으로 의존하였다. 그러나 전문가의 의견으로 적합도를 점수화하는 방법은 특히

용도가 변수로 들어갈 때 신중을 기해야 한다. 참고로 이미 소개한 오레건주에서는 하천의 수질을 쉽고 간명하게 나타내기 위해 1970년대 하천관련지표를 개발하여 지금까지 지속적으로 수정해오고 있는데, 지역적 특성을 고려하여 부지수합수를 조정, 현재 지역맞춤형 지표를 운영하고 있다. 오레건주는 실측자료를 종합수질지표에 적극 도입한 대표적인 사례를 보여주고 있다. 따라서 새로운 종합수질지표 역시, 전문가의 의견 외에도 실측자료를 적극 활용해 현실을 최대한 반영하는 과학적 근거 및 결과를 도출해야 한다. 실측자료는 부지수 합수 구성뿐만 아니라 각 용도에 따른 수질 등급에서도 적극 활용해야 한다.

#### 3.3.2. 부지수합수의 하한값 설정

기존 지표에서 부지수합수값은 일정 기준을 넘어서면 하한값 없이 바로 0으로 떨어져 종합수질지표 자체의 값을 0으로 만드는 난점이 발견되었다. 본 연구에서 모의한 결과, 이러한 문제는 주로 부유물질 항목에서 종종 나타났는데 이는 샘플링 시점에서 집중 강우로 인해 갑자기 탁도가 증가했기 때문으로, 사실상 일시적인 현상이기 때문에 한 달 동안의 그 지점의 대표적인 수질이 될 수는 없는 것으로 보인다. 따라서 이러한 오류를 방지하기 위해 본 지표를 모의한 결과치에서는 0 대신 임의로 가장 낮은 자연수인 1을 대입하였다. 1을 대입하였음에도 불구하고 보통의 결과, 수질 결과값은 4등급, 심지어 3등급까지도 올라가는 것을 볼 때, 부지수합수값에서 0이 도출되는 문제는 검토가 필요한 부분이다. 이 경우, 오레건주의 사례를 참고할 수 있는데 오레건주에서는 각 항목의 부지수합수의 최소값을 10으로 고정하여서 그 항목에서 수질이 아무리 낮더라도 최소한 10의 점수는 확보할 수 있는 안전장치를 마련하였다. 개발될 수질지표 역시 특정 하한치를 두어 무조건 0점이 되어 변별력이 떨어지는 오류를 방지하도록 해야 한다.

### 3.4. 생물학적 기준 및 사람의 건강기준 반영

기존 K-WQI 지표는 생태계유지 항목이 용도의 하나로 포함되어 있어서 생물학적 기준을 일부 반영하고 있다고 할 수 있다. 그러나 이는 이화학 항목 10가지에 기준한 것으로, 이것만으로 생태적 건전성을 나타내기엔 무리가 따른다. 현재 환경부에서 추진중인 “물환경종합평가방법 개발조사연구”의 생물분야에서 대장균, 저서성 대형무척추동물, 부착조류, 어류에 대한 연구를 진행 중이며 이를 통해 각 생물군에 대한 수질지수 기준안을 도출하고 있다. 기준안에는 IBI 등 생물 관련 지표가 포함되며, 이들 지표들을 종합적으로 대표할 수 있는 하나의 값을 도출해 부지수형태로 나타낼 수 있다면, 생물학적 기준을 용도의 하나로 종합수질지표에 편입시킬 수 있을 것이다.

사람의 건강기준의 경우, 종합수질지표에서는 스크리닝 기능을 수행할 수 있도록 통합해야 한다. 먼저 사람의 건강보호기준 항목의 경우, 기준치를 넘는 항목이 발견될 경우, 이는 부적합으로 간주되어야 한다. 따라서 사람의 건강기준 항목은 이 사항을 반영하며 종합수질기준에 포함되어



야 한다. 개정될 환경정책기본법에서 현행 9항목에서 신규로 8항목, 관심 11항목이 추가되게 된다. 신규 8항목은 기준 농도가 있으나 관심 11항목의 경우, 기준 농도가 현재 없으므로 관심 항목의 경우, 향후 기준 농도가 명확히 설정될 때까지 보류할 수 있다. 또한 현재 이화학 분야에서 건강보호기준안의 우선순위를 설정하고 있으므로 이를 참고해서 향후 구체적으로 조정할 수 있다.

#### 4. 새로운 종합수질지표 구상

새로이 추진하는 수질종합지표는 이화학적 항목위주의 지표와 생물학적 기준까지 고려한 지표, 즉 2중 체제로 구상코자 한다. 따라서 생물학적 자료구축의 미흡으로 이화학적 지표만으로 산정할 수도 있고, 이후 생물학적 자료가 구축되면 종합지표의 도출이 가능하도록 하고자 한다. 종합수질지표는 어떻게 보면 물이용과 생물학적 필요를 고려한 이상적인 수질지표라고 할 수 있다. 그 수체의 물이용 및 수질보전 목적에 대해 정확한 정보를 파악하고 있다면 의사결정자가 이를 충분히 반영할 수 있도록 구성된 모듈이다. 따라서 본 “종합수질지표”는 개별적인 수체에 적용해 구체적인 관리방안을 제시하는데 매우 효과적일 수 있다. 위에서 제시된 개선점을 바탕으로 새로운 종합수질지표를 구상할 수 있으며 개발 단계는 다음과 같다.

**[1단계]** 용도(물이용 목적)의 선정: 가장 먼저 해야 할 일로서 생태계건전성(생물학적 기준)을 제외한 순수한 물이용에 대한 용도를 A~E까지 선정한다.

**[2단계]** 용도에 대한 항목의 선정: 각 용도를 가장 잘 반영할 수 있는 항목을 선정한다. 각 용도에 대해 항목을 선정하였다.

**[3단계]** 용도에 따른 항목별 부지수함수 도출(실측자료 및 Delphi기법 이용): 각 용도 내에서 각 항목에 따른 개별 부지수함수를 도출한다. 이 때 각 부지수함수의 하한값을 지정한다.

**[4단계]** 용도에 따른 항목별 배점 구분(실측자료 및 Delphi기법 이용): 5가지 용도(A~E) 각각에 대한 항목별 배점을 구분한다. 단, 행정기준의 경우, 개정될 생활환경기준에 근거하여 배점을 구분한다.

**[5단계]** 각 용도 내에서 항목별 가중치 도출(AHP 이용): 각 용도마다 해당 항목을 쌍별비교해서 각 항목이 그 용도에 대해 갖고 있는 가중치를 도출한다. 각 용도 내에서 항목 간에 쌍별비교를 시행한다.

**[6단계]** 생물학적 기준을 하나의 용도로 통합: 어류, 무척추저서동물, 부착조류 등 생태계의 건전성을 나타낼 수 있는 분야를 통합하여 하나의 값으로 제시한다.

**[7단계]** 용도에 따른 사람의 건강보호기준 항목 선정: 건강항목은 용도에 따라 상이하게 된다. 음용수나 가축이 먹을 물의 경우, 건강보호기준 항목이 까다로워지지만 농업용수나 공업용수의 경우, 이는 완화되거나 아예 적용되지 않을 수 있다.

**[8단계]** 각 용도에 대한 최종값 도출: 각 용도 내 항목

별 가중치에 따라 용도에 대한 수질 상태를 하나의 값으로 표현할 수 있다. 용도가 5가지로 설정될 경우, 용도값이 5가지, 생물지수통합값이 1가지로 도출되게 된다. 이 때, 건강항목으로 산출된 값을 스크리닝하는 단계를 거쳐야 하는데, 해당 건강항목이 하나라도 기준치를 초과할 경우, 그 용도는 부적합해진 것이므로 자동적으로 부적합의 상한값까지 떨어지게 된다.

**[9단계]** 용도별 최종값을 수렴한 종합수질지표 도출(AHP 이용): 각 용도값, 생물지수값을 AHP를 통해 쌍별비교하여 용도별 가중치를 도출한다. 본 가중치를 적용해서 이화학, 생물학, 용도, 사람의건강상을 고려한 종합지표를 최종적으로 도출한다.

#### 참고문헌

- 과학기술처, *환경지표의 종합체계화 기법개발 및 활용방안에 관한 연구(I)*, p. 58 (1989).
- 최지용, *종합수질지표의 개발*, 한국환경기술개발원, pp. 10-45 (1996).
- 환경부·국립환경과학원, *물환경종합평가방법개발조사연구(II) 최종보고서*, pp. 73-80 (2005.10).
- Boulder Community Network of Colorado, <http://bcn.boulder.co.us/basin/data/WQI> (accessed May 2006).
- Canadian Council of Ministers of the Environment, *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*, CCME Quality Index 1.0 Technical Report (2001a).
- Canadian Council of Ministers of the Environment, *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*, CCME Quality Index 1.0 User's Manual (2001b).
- Department of the Army Rock Island District Corps of Engineers, *Water Quality Studies-Red Rock and Saylorville Reservoirs*, Des Moines River, Iowa, annual report, pp. 94-95 (2002).
- Des Moines River Water Quality Network, <http://te-webserver.cce.iastate.edu/research/lutz/dmrwqn/dmrwqn.html>, (accessed May 2006).
- French Water Agencies, *Water quality assessment of water courses: water S.E.Q.(version 1) general principles*, Water agencies studies No.64 (2000.1).
- House, M. A. and Ellis, J. B., The development of Water Quality Indices for Operational Management, *Water Science Technology*, 19(9) pp. 124-131 (1987).
- Ministry of Agriculture & Agro-Based Industry of Malaysia, [http://agrolink.moa.my/did/river/sgklang/sgklang\\_wqi.htm](http://agrolink.moa.my/did/river/sgklang/sgklang_wqi.htm) (accessed May 2006).
- North Carolina Department of Environment and Natural Resources, [http://www.owr.ehnr.state.nc.us/ref/10/09520/soer97\\_water.htm](http://www.owr.ehnr.state.nc.us/ref/10/09520/soer97_water.htm) (accessed May 2006).
- Oudin, L. C., River quality assessment system in France, *Proceedings of international workshop monitoring tailor-made III - information for sustainable water management*, pp. 1-15 (2000).
- Wilkes University Center for Environmental Quality Environmental Engineering and Earth Sciences, <http://www.water-research.net/watqualindex> (accessed May 2006).