

수질환경척도

박재홍^{*,****} · 최의소^{**} · 공동수^{***}

^{*}고려대학교 환경기술 · 정책연구소

^{**}고려대학교 사회환경시스템공학과

^{***}국립환경연구원 수질총량관리센터

Environmental Indicators of Water Quality

Jae-Hong Park^{*,****} · Euiso Choi^{**} · Dong-Soo Kong^{***}

^{*}Research Institute for Environmental Technology and Sustainable Development, Korea University

^{**}Department of Civil and Environmental Engineering, Korea University

^{***}Watershed Management Research Division, National Institute of Environmental Research

(Received 8 September 2004, Accepted 28 January 2005)

Abstract

Understanding the condition of our nation's water resources, identifying what caused problems, and determining how to solve these problems are essential but difficult undertakings. The natural water cycle is itself intricate, and the addition of human activities increased this complexity. Consequently, answering the basic question "How clean and safe is our water?" is not easy. One way to present the condition of our water resources and the impacts of related human activities is to develop understandable measures, or indicators, that singly or in combination provide information on water quality. Managers and scientists can then use this information to develop effective solutions and make sound decisions to protect our water resources. It is important to note that environmental indicators can be used to measure a variety of phenomena. Indicators can present information on status or trends in the state of the environment, can measure pressures or stressors that degrade environmental quality, and can evaluate society's responses aimed at improving environmental conditions.

keywords : Environmental indicators, Water quality, Water resources

1. 서론

정부는 환경보전 및 보호를 위한 정책방향(goals)을 제시하고 있는데 이 목표에는 수질분야에서 맑은 물 공급과 안심하고 마실 수 있는 물 공급이 포함되어 있다. 정부는 안심하고 마실 수 있는 맑은 물 공급을 위해 1993-1997년까지 맑은 물 공급대책 5개년 계획을 추진하여 수행하였고, 1996년 정부합동으로 물 문제의 근원적인 해결을 위해 향후 15년간을 내다본 장기적인 수자원확보와 수질오염 방지 대책으로 물관리종합대책(milestones)을 수립하여 2011년(수질부분은 2005년)까지 모든 상수원을 II급수 이상으로 개선한다는 목표하에 세부계획을 마련하여 추진하고 있다.

맑은물과 안심하고 마실 수 있는 물 공급이라는 정책방향(goals)을 만족시키기 위해 5가지의 목표(objectives)가 채택될 수 있고, 이들 목표(objectives)들의 결과를 측정하기 위해 일련의 척도(indicators)들이 설정될 수 있다.

정책방향(goals), 대책(milestones), 목표(objectives), 척도(indicators)사이의 상관관계를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Relationship of water quality goals, objectives, milestones, and indicators

<p>National Goals : Two of the goals relate to water</p> <p>(1) Safe Drinking Water - Every public water system will provide water that is consistently safe to drink.</p> <p>(2) Clean Waters - Rivers, lake, and coastal waters will support healthy communities of fish, plants, and other aquatic life, and will support uses such as fishing, swimming, and drinking water supply for people. Wetlands will be protected and rehabilitated to provide wildlife habitat, reduce floods, and improve water quality. Ground waters will be cleaner for drinking and other beneficial uses.</p> <p>Milestones : Ministry of Environment was proposed milestones as 5-year targets in its national goals report.</p> <p>Objectives : They have adopted five water quality objectives that further specify how to meet the national goals.</p> <p>(1) Conserve and enhance public health</p> <p>(2) Conserve and enhance ecosystems</p> <p>(3) Support uses designated by the states in its water quality standards</p> <p>(4) Conserve and improve ambient conditions</p> <p>(5) Prevent or reduce pollutant loadings and other stressors</p> <p>Indicators : Indicators measure progress toward water quality goals, milestones, and objectives. Indicators provide information on environmental and ecosystem quality or give reliable evidence of trends in quality.</p>

[†] To whom correspondence should be addressed.

jhong@korea.ac.kr

우리나라의 수자원상태의 이해와, 문제를 일으키는 원인의 파악, 이 문제들을 어떻게 해결해야 할 것인가를 결정하는 것은 어렵다. 자연적인 물의 순환자체도 복잡하지만 거기에 인간의 활동이 첨가되면서 이것을 더욱 복잡하게 만든다. 수자원의 상태와 인간활동과 관계된 영향을 나타내는 하나의 방법은 수질에 관한 독자적이거나 복합적인 정보를 제공하는 척도(indicators)나 수단(measures)을 개발하는 것이다.

환경척도는 수 환경상태의 현황이나 추이를 나타낼 수 있고, 환경질을 악화시키는 스트레스요인을 측정할 수 있으며, 환경조건을 향상시키고자 하는 사회의 반응을 평가할 수 있다.

2. 수질목표와 척도

수질척도는 각각의 수질목표 즉 공중보건, 수상 생태계 보전, 수질기준유지, 주변상태들의 보전, 오염물질 부하량의 감소등에 따라서 논의 될 수 있다.

2.1. 목표 1 : 공중보건의 보전 및 향상

수자원은 음용수뿐만 아니라 recreation이나 소비를 위한 어류나 어패류양식을 위해 사용된다. 그러나 때때로 수질악화로 인해 각각의 사용목적에 제한이 되기도 한다.

물은 질병을 일으키는 세균의 매개 경로가 된다. 세균은 각종 수인성 전염병을 유발할 수 있고 물을 부패하게 만드는 원인이 되기도 한다. 세균들은 주로 감염된 동물과 사람의 배설물을 통해 물에 유입된다. 따라서 처리되어야 할 폐수가 제대로 소독 처리되지 않거나 처리시설이 제대로 작동되지 않을 때 여러 경로를 통해 유입된다.

어패류의 소모량은 매년 증가하고 있으나 수질오염의 가중으로 오염된 어패류 식용으로 인해 인체에 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 또한 수영, 수상스키, 보트등의 recreation에 이용되는 수자원의 오염이 인체에 위해를 줄 수 있다.

우리나라는 수원으로서 하천표류수가 43.6%로 가장 많은 부분을 차지하고 있어 상수도의 원수를 표류수에 크게 의존함에 따라 각종 수질오염물질의 유입 및 수질오염사고에 취약한 구조적 특징을 지니고 있다(환경부, 1998).

2.1.1. 척도 1 : 상수도 보급현황과 수질의 안전성

2002년 12월 말 현재 933개 급수구역내에 전체인구의 88.7%인 약 4,302만명이 상수도를 공급받고 있으며, 상수도 시설용량은 1일 2,856만톤으로서 1일 1인당 급수량은 374 L이다. 간이상수도를 이용하는 인구는 전체의 4.0%인 194만명, 소규모급수시설 이용인구는 1.5%인 707천명, 전용상수도인구는 0.6%인 288천명, 그 외 우물 등 기타시설 이용인구는 2,556천명으로 전체인구의 5.3%를 차지하고 있다(환경부, 2003a).

먹는물의 수질기준은 미생물관련 4항목, 유해영양무기물질 11항목, 심미적 영향물질 16항목, 휘발성 유기물 16항

목, 소독 부산물 8항목으로 구분하여 총 55개 항목으로 엄격하게 통제되고 있다(환경부, 2003b).

2002~2003년에 실시한 먹는 물 수질확인검사 결과(환경부, 2003b), 전체 검사대상 시설의 2.6%가 수질기준을 초과하였고, 그 중에서도 간이상수도의 기준초과율이 상당히 높게 나타나고 있으며, 기준 초과시설의 상당부분이 유리잔류염소, 탁도, 대장균군 및 알루미늄(Al) 등에 의한 것으로 나타났다.

Fig. 1은 먹는 물 수질검사 결과(환경부, 2002~2003)를 정수장, 수도전(수도꼭지), 간이상수도로 구분하여 세부사항을 나타내었다.

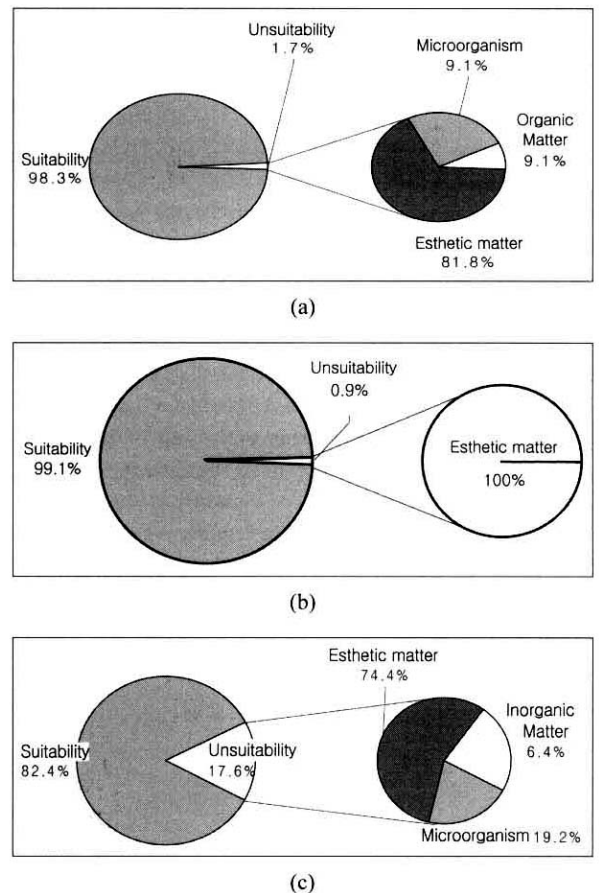


Fig. 1. Percent of drinking water system violating health based requirements.

(a: drinking water treatment plant, b: tap water, c: simple water supply facilities).

정수장의 경우 873개 측정개소중 기준을 초과한 곳은 15 개소로 대부분 탁도, 알루미늄(Al)등 심미적요소들이 주종을 이루었으며, 수도전의 경우 2,322개 측정개소중 20개소가 기준치를 초과하였으며 유리잔류염소의 소독부산물이 가장 많은 비중을 차지하였다. 한편, 간이상수도의 경우는 329개 측정개소중 58곳이 기준치를 초과하여 정수장과 수도전의 경우에 비해 기준을 초과하는 비율이 높았으며 유리잔류염소와 탁도의 오염이 가장 큰 비중을 차지하였다.

2.1.2. 척도 2 : 음용수의 미생물오염

지표수로부터 공급되는 상수는 때때로 질병을 유발하는 미생물학적인 오염물질을 인체에 위해한 수준으로 함유한 물을 배수할 수 있다. 음용수에 대한 수질조사 결과 2002년에는 정수장 1,004개소 중 2개소, 간이상수도 388개소 중 14개소가 2003년에는 정수장 390개소 중 0개소, 수도전 1,116개소 중 0개소, 간이상수도 160개소 중 3개소가 일반 세균 및 대장균군에 오염되어 있었으며 전체기준초과 대상 중 미생물에 의한 것이 정수장 9.1%, 수도전 0%, 간이상수도 15.4%로 간이상수도의 미생물 오염이 상당한 수준임을 나타내고 있다.

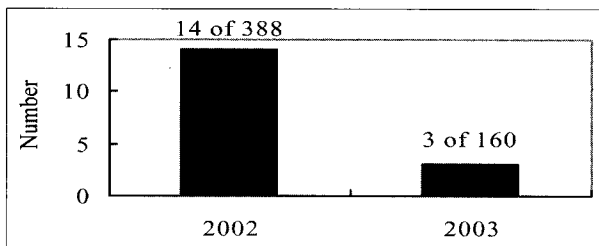


Fig. 2. Number of water system(simple water supply facilities) at risk from microbiological pollution.

2.1.3. 척도 3 : 상수관 현황과 음용수의 금속오염

인체는 음용수에 포함되어 있는 상당량의 금속류에 노출되어 있는 것으로 추정되고 있는데 이는 음용수의 분배 system 관망에 기인한다. 현재 우리나라 상수관망의 약 28%가 노후화(16년 이상) 되어있어(환경부, 2003), 이에 대한 영향이 우려되며 또한 관망의 재질에 따라서도 큰 영향이 있을 것으로 사려된다.

2002년 말 현재 우리나라 수도관 총연장중 설치 후 21년 이상 경과된 관은 11.7%, 16 - 20년 사이는 16.4%, 11 - 15년 사이는 25.5%, 6 - 10년 사이는 25.2%, 5년 이내는 21.2%이다. 관종별로는 주철관 33.7%, 합성수지관 19.8%, 스테인레스관 16.6%의 순으로 나타나며, 아연도강관, 강관, 동관이 11.4%를 차지하고, 기타 콘크리트, 시멘트관 등이 18.5%이다(환경부, 2003a).

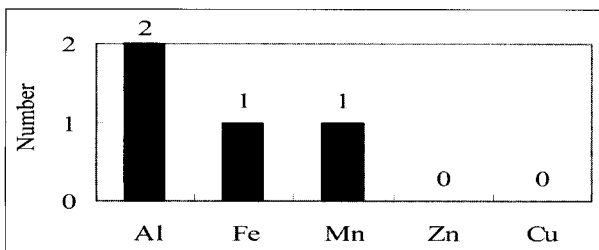


Fig. 3. Number of drinking water system(tap water) exceeding metals action levels.

2.1.4. 척도 4 : 상수원보호

우리나라는 상수원보호를 위해 상수원 관리 대책을 수립하였는데 그 주 내용은 (1)상수원 보호구역의 지정, (2)특별대책지역의 선정, (3)특정호소관리 구역의 선정, (4)배출시

Table 2. Source water protection

I	Delineations
D	(1)Establishment of drinking water protection area
E	(2)Establishment of drinking water quality conservation area
N	(3)Establishment of lake management area
T	(4)Establishment of discharge facilities limiting area
I	Source Inventories
Y	(1)Identifying non-point source
I	(2)Establish pollution source DB and GIS
N	Contingency Planning
T	(1)Establish a supervisory organization of source water
G	(2)Inspection and supervision
A	(3)Establish a law on environmental crime
K	(4)Permission limits of pollutant discharge facilities
I	(5)water quality analysis
N	Source Management
G	(1)Total Maximum Daily Load(TMDL)
A	(2)Establish watershed area
C	(3)Establish water management program

설 허가제한, (5)수도법에 의한 수질관리 등이다. 또한 상수원으로서 지하수의 이용이 증가함에 따라 관련 법을 제정·보완하거나 오염유발시설에 대한 관리를 강화하는 등 지하수원의 보호에 힘쓰고 있다. 그리고 1996년부터 물관리 종합대책을 수립하여 2005년까지 수자원의 지속적인 개발로 물 부족 문제를 해결하고, 환경기초시설 등을 확충하여 모든 상수원을 2급수 이상으로 개선한다는 목표하에 세부계획이 마련·추진되고 있다.

이러한 상수원관리 대책은 다음의 4가지 범주로 크게 나눌 수 있다. 즉, (1)상수원 주변구역의 보호, (2)오염원 목록을 통한 확인된 또는 잠재적인 오염원의 파악, (3)사전대책수립을 통한 상수원의 위협요소에 대한 대응 안 개발, (4)오염원관리를 통해 잠재적인 오염원을 제어하기 위한 오염원관리계획의 개발

2.1.5. 척도 5 : 어류섭취에 대한 권고

유해물질로 오염된 강이나 호소로부터 포획한 물고기를 섭취함으로써 인한 위험을 알리기 위해 물고기 섭취권고안을 설정할 수 있는데 다음과 같이 세부화 할 수 있다.

- (1) 특정 지역에서 잡은 어떠한 물고기도 섭취금지
- (2) 제한된 양만 섭취
- (3) 특별한 전처리 후 섭취

우리나라의 경우는 수질환경기준의 수산용수로서의 적합성 여부로만 구분되고 있으며 수질오염 정도에 따른 세부적인 지침은 마련되어 있지 않으나 1992년 한강하류 물고기 폐죽음 사건등 수질오염사고로 인한 물고기 폐사사건이 종종 일어났던 것을 감안할 때 수계에 대한 지속적인 monitoring이 요구된다. 강과 호수에 대해서 전체적인 대표 등급으로만 관리하기 보다는 구간 또는 구획별로 세분화하여 수질을 관리하는 것이 보다 합리적이라 사려된다.

2.1.6. 척도 6 : 갑각류 서식지로서의 수계

연안의 갑각류(새우, 조개, 개 등)가 서식하는 수계는 다음의 한가지로 분류될 수 있다. 즉 (1)허용, (2)조건적 허용, (3)제한, (4)조건적 제한, (5)금지. 우리나라의 연안수질은 1991년 이후 계속해서 II등급(COD기준 2 mg/L이하)수질을 유지하고 있다. 전체 연안의 평균오염도는 대체로 개선되고 있으나, 적조발생의 주요 원인 물질로 지적되고 있는 총질소, 총인등 영양염류의 오염도는 해수 수질기준을 크게 초과하고 있어 질소·인 제거시설을 갖춘 하수처리장, 축산 폐수처리장 등 환경기초시설의 신·증설이 시급한 문제로 대두되고 있다.

어·패류의 생식을 선호하는 우리나라의 경우 어패류섭취에 의한 미생물 감염등이 자주 일어나고 있지만 소극적인(미생물감염이 발견된 후 섭취를 금하도록 홍보) 후속조치만 이루어지고 있을 뿐이다. 따라서 어패류의 섭취에 따른 미생물 감염을 사전에 예방할 수 있는 보다 적극적인 대책이 마련되어야 할 것이다.

한편, 갯벌은 어패류를 비롯한 수산자원의 산란 번식·생육에 적합한 입자성 퇴적물로 구성되어 생산성이 높고, 오염물질의 분해 및 생체물질로의 전환을 포함한 자연정화기능도 하는 등 보전가치가 높은 지역으로 알려져 있다. 이러한 갯벌은 공업 및 농업용지 확보를 위한 토지조성의 목적으로 꾸준히 간척 매립이 진행되고 있다.

1998년 현재 우리나라의 갯벌면적은 2,393 km²이며 1997년 대비 약 15%가 감소되었다(환경부, 1998).

2.2. 목표 II : 수중생태계의 보전 및 개선

깨끗한 물은 인간뿐 아니라 대부분의 식물과 동물종의 생존과 생육에 중요하다. 수질은 단지 물의 화학적성상 뿐만 아니라 물리적·생물학적 특성을 수반한다. 수생서식지의 손상은 수생생물종을 감소시키는 원인이 되기도 하며 심지어는 멸종시키기도 한다. 생물학적 군집들의 특성은 수계의 모든 화학적·물리적 스트레스 요인들의 축적된 영향의 척도로서 사용될 수 있다.

2.2.1. 척도 7 : 생물종들의 서식지로서의 적합성

수생생태계의 생물학적 군집들의 건강성평가는 다음의 두 단계로 파악할 수 있다.

- 1 단계 : 수생생물의 서식지로서의 수계의 역량
- 2 단계 : 생물학적 다양성

수계에 대한 생물학적 보전 평가는 매우 복잡한 과정이지만 한편으로는 수계 내 다양한 스트레스 요인들의 복합적인 영향을 평가할 수 있는 중요한 인자이기도 하다.

생물학적 보전은 어류, 대형무척추동물(게, 가재, 강도래 등), 식물(조류 포함)을 사용하여 측정할 수 있다. 생물학적 보전의 범위는 바람직한 특성들을 보이는 대조지역과 관측지역을 비교하여 결정할 수 있다.

생물종들의 서식지로서 적합한지의 판단기준으로 수산용수로서의 기준항목을 모두 만족하는지 여부로써 살펴본 결

과 하천수는 10개 수계 29지점 중 72.4%, 호소수는 20개 지점 중 70%가 적합한 특성을 나타냈으며 연안수의 경우는 20개 지점 모두 TN과 TP가 기준을 초과하여 부적합한 것으로 나타났다(환경부, 2003d).

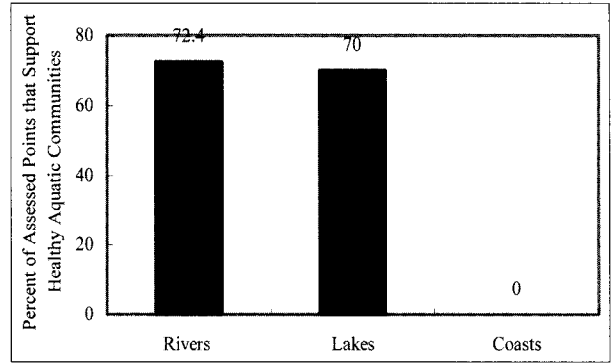


Fig. 4. Biological integrity.

2.2.2. 척도 8 : 보호대상 생물종

생물학적 다양성 과 수질보전의 평가에 있어서 특정종이 자연적으로 그 수계에 추정되는 군집크기 만큼 존재하는지의 결정이 중요하다. 이는 자연적으로 존재하는 종들의 감소는 수질의 악화와 서식지의 손실과 같은 요소들에 기인할 수 있기 때문이다.

Fig. 5는 한국산 생물종에 대한 멸종위기 및 보호야생동·식물 현황을 나타내었다(환경부, 2003d). 개발에 의한 서식지의 파괴, 포획, 환경오염에 의해 그 종수는 계속해서 증가할 전망이다.

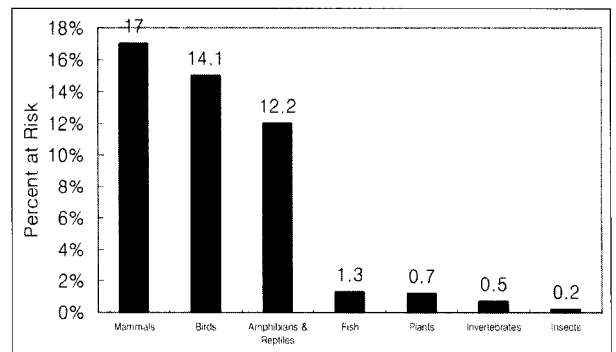


Fig. 5. Aquatic and wetland species at risk.

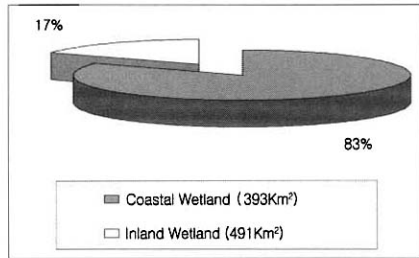
2.2.3. 척도 9 : 습지현황

습지는 각종 어패류, 동식물 등이 서식하고 있는 생물종 다양성의 보고이며, 오염물질정화, 홍수조절등 환경적으로나 사회·경제적으로 매우 가치 있는 자산이다.

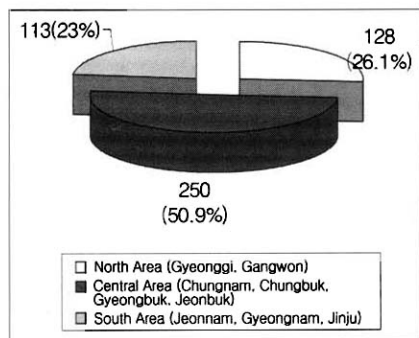
우리나라의 주요습지의 분포는 IUCN과 세계자연기금이 목록화한 1)화진포, 송진호, 청송호, 경포호 2)칠원분지 3)대성동, 판문점 4)한강어귀 5)신도 6)강화도 남부와 영정도 북부 갯벌지역 7)영종도 남부 갯벌 인근 소도 8)한강밤섬 9)양수리저수지 10)남양만 11)아산만 12)천수만 13)금강하류어귀 14)금강, 만경강, 당진강어귀 15)서대구 달성늪지

16)우포늪지 17)대평, 질남, 유진늪지 18)주남저수지 19)낙동강하구 20)화동만 21)성산포습지등이다(환경부, 1998).

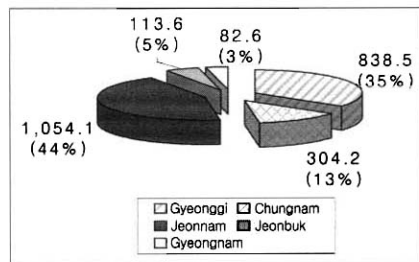
우리나라의 습지현황은 다음과 같다(IUCN, 1989).



(a)



(b)



(c)

Fig. 6. Wetland area(km²) (a: total area, b: inland wetland, c: coastal wetland).

Fig. 6에서 보는 바와 같이 우리나라 총 습지의 면적은 2,884 km²로 연안습지가 약 83%로 대부분을 차지하고 있다. 그렇지만 내륙습지의 경우 논을 제외시킨 면적으로 우리나라 전체 논면적 12,602 km²를 고려할 때는 내륙습지의 총면적은 전체습지의 84.5%에 이르게 된다. 지역별로는 내륙습지의 경우 중부권이 전체의 50.9%로 가장 많은 부분을 차지하고 있으며, 연안습지의 경우는 전남 44%, 경기 35%로 지역적으로 편중되어 있다.

2.3. 목표 III : 이용목적별 수질기준

우리나라의 수질환경기준은 하천, 호소, 지하수, 해역으로 구분되어 있으며 이용목적별로 상수원수, 수산용수, 수영용수, 공업용수, 농업용수, 자연환경보전, 생활환경보전등으로 세분되어있다. 우리나라의 주요수질 측정지점 즉, 하천수 10개 수계 29개 지점, 호소수 8개 수계 20개 지점, 연안수

20개 지점에 대해 이용목적별 수질기준에 적합한지에 대한 여부를 파악하였다. 각 이용목적별 적합성 여부는 목적별 수질기준 모든 항목을 만족하였을 경우로 규정하였으며 음용수로서의 적합성은 상수원수3급의 III등급, 수산생물등 수산용수로의 적합성은 하천과 호소수의 경우 수산용수2급의 III등급, 연안수의 경우는 II등급, 수영용수로의 적합성은 수영용수기준의 II등급을 적용하였다.

2.3.1. 척도 10a : 음용수 및 수산용수로서의 적합성

하천수의 경우 29개 지점 중 8개 지점이 음용수 및 수산용수로 사용하기에 부적합하였는데 모든 경우에 있어 대장균이 기준치를 초과하였으며, 호소수의 경우는 20개 지점 중 6개 지점이 부적합한 것으로 나타나고 있는데 모두 TP 항목이 기준치를 초과하는 것으로 나타나고 있다(환경부, 2003d). 이는 농지, 축사등 비점오염원에 기인하는 것으로 사려되며 따라서 호소수를 음용수나 수산용수로 사용하거나 수질개선을 위해서는 무엇보다도 영양소제거가 선결과제이다. 한편, 연안수의 경우는 음용수로의 이용목적은 배제되어 있으며 수산용수로의 적합성을 살펴본 결과 20개 지점 중 전지역에서 TN 및 TP 항목이 기준을 초과하고 있으며 3개 지점은 SS의 기준도 초과하는 것으로 나타나고 있다. 연안수의 경우도 호소수와 마찬가지로 영양소가 매우 높게 나타나고 있어 질소·인성분의 제거가 무엇보다도 중요시되고 있다.

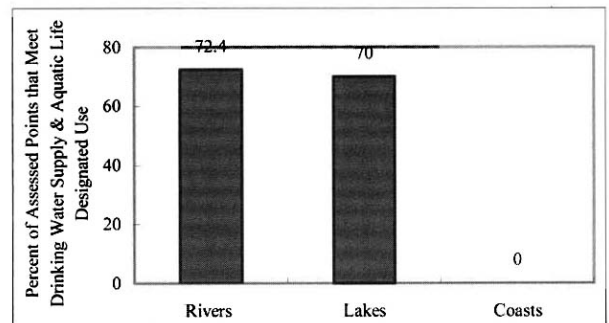


Fig. 7. Drinking water supply and aquatic life designated use.

2.3.2. 척도 10b : 수영용수로서의 적합성

하천수의 경우 29개 지점 중 14개 지점이 수영용수로 사용하기에 부적합하였는데 모든 경우에 있어 대장균이 기준치를 초과하였으며, 호소수의 경우는 20개 지점 중 11개

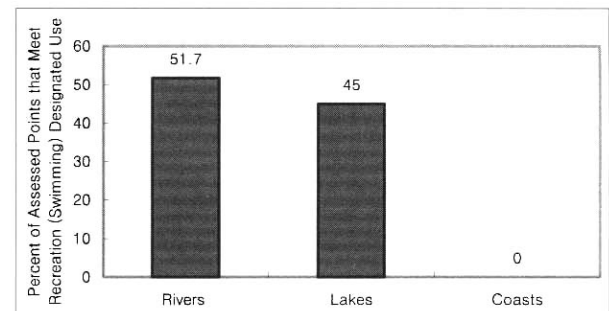


Fig. 8. Recreation(swimming) designated use.

지점이 부적합한 것으로 나타나고 있는데 모두 TP항목이 기준치를 초과하는 것으로 나타나고 있다(환경부, 2003d). 한편, 연안수의 경우는 20개 지점 모두 수영용수로 부적합한 것으로 나타났는데 전지역에서 TN 및 TP 항목이 기준을 초과하고 있으며 3개 지점은 SS의 기준도 초과하는 것으로 나타나고 있다. 따라서 하천수의 경우는 대장균, 호소수와 연안수의 경우는 수질향상을 위해 영양소의 제어가 무엇보다도 중요시 된다.

2.4. 목표 IV : 주변요인의 보호 및 개선

주변수질의 측정은 오염이나 다른 스트레스의 다양한 원천이나 요인의 영향을 파악할 수 있다. 이들 측정자료는 인간이나 생태계에 미치는 잠재적인 위험성에 관한 정보를 제공해준다(목적I,II). 또한 수계가 이용목적에 따른 수질에서 어느 정도 악화되었는지를 파악하기 위해 주변수질의 측정을 수행한다(목적III).

2.4.1. 척도 11 : 질산성질소를 기준으로 한 지하수 수질

우리나라의 지하수 개발은 1970년 이후 계속 증가추세에 있으며, 특히 1980년부터 본격 개발이 이루어졌다.

2002년 말 현재 지하수 이용량은 1,104,698공, 3,468백만 m³/년(제주도 지하염수 사용공 포함시 1,195,683공, 4,870백만 m³/년)에 이르며, 이 중 생활용수는 47%, 공업용수는 6%, 농업용수는 45% 및 기타는 2%에 달한다(건설교통부, 2003).

지하수의 오염은 자연적으로 일어나기도 하지만 인간의 활동으로부터 야기되기도 한다. 2003년 우리나라의 지하수 수질측정망 운영결과(환경부, 2004), 지방환경청 측정지점(오염우려지역)은 전체 조사대상 1,493개중 5.0%인 74건이 지하수 수질기준을 초과 하였으며 측정항목별로는 TCE 36%, NO₃-N 33%, PCE 16%, Cl⁻ 14%, pH 1% 순으로 수질기준을 초과하였다.

한편, 시·도 측정지점(일반지역)의 경우 총 조사시료 2,441개중 2.8%인 68개가 수질기준을 초과하였으며 측정항목별로는 NO₃-N 44%, 대장균 30%, 일반세균 14%, TCE 4%, Cl⁻ 3% 등의 순으로 수질기준을 초과하였다. 조사결과 오염우려지역의 주된 오염항목은 TCE, NO₃-N 및 PCE로써 섬유세척제 및 화학산업 등에서 발생하는 TCE와 PCE는 공단지역에서 많이 초과되었으며 오염우려지역 초과항목의 각각 36%와 16%를 차지하였다. 생활오수와 축산폐수 등에서 발생하는 NO₃-N(질산성질소)는 폐기물매립지와 도시주거지역 및 분뇨처리장인근지역에서 많이 발생하였으며, 오염우려지역 초과항목의 33%를 차지하였고 용도지역별로는 지정폐기물 매립지역(13%)과 공단지역(6%)의 초과율이 높게 나타났다. 일반지역은 NO₃-N과 대장균등이 가장 높은 초과율을 보였는데 이는 분뇨와 생활하수의 발생이 많은 도시지역, 농림지역 및 자연 환경지역으로 이루어진 일반지역의 특성에 따른 것으로 판단된다.

NO₃-N은 주로 단백질 등의 분해에 의해서 생성된 암모니아성 질소가 미생물의 작용에 의하여 산화된 최종 생성물이기 때문에 하·폐수의 처리에 있어서는 오타물질의 정

화 정도를 아는 단서가 된다. 그리고 methemoglobinemia 또는 blue-baby syndrome을 야기하기 때문에 건강과 관련된 중요한 인자이며 또한 수계에서 영양소 과다의 잠재적 원인물질로 작용하기 때문에 환경분야에서 관심의 대상이 되는 물질이다.

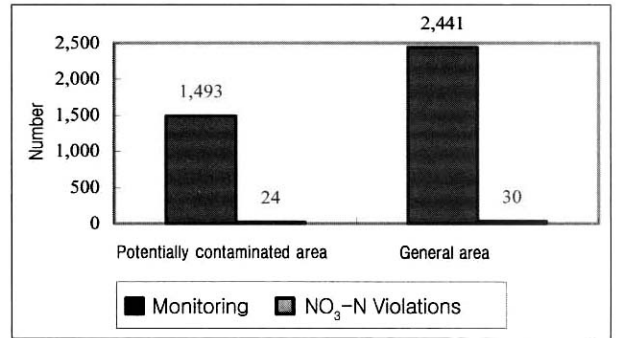


Fig. 9. Ground water pollutants: nitrate.

2.4.2. 척도 12 : 지표수의 수질오염

지표수의 수질오염도 추이를 파악하기 위해 여러가지의 수질오염도지표가 사용되는데 각 항목들의 분석을 통해 현재의 수질상태와 수질보전을 위해 더욱 제어해야 하는 부분의 파악이 가능하다.

Fig. 10은 전국 26개 지점에 대해 1991-2002년까지 하천수에서의 주요 오염물질 즉 DO, COD, BOD, SS, 대장균, ABS의 농도변화추이를 나타내었다(환경부, 2003d).

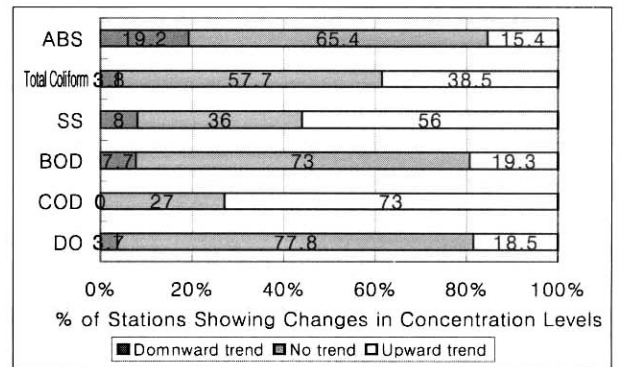


Fig. 10. Surface water pollutants(trend in river and stream water quality(1991-2002)).

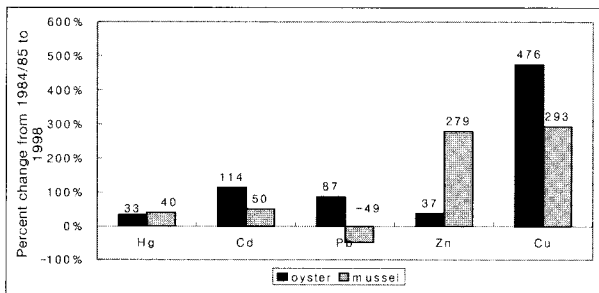
DO농도의 증가는 수질의 향상을 의미하지만 나머지 성분의 농도 증가는 수질의 악화를 의미한다. 주요 측정항목 중 SS, COD의 경우는 지속적으로 향상되는 경향을 보이고 있으나 ABS, 대장균, BOD의 경우는 지속적인 수질개선의 노력에도 불구하고 뚜렷한 개선 효과는 나타나지 않고 있다.

2.4.3. 척도 13 : 갑각류내의 독성물질

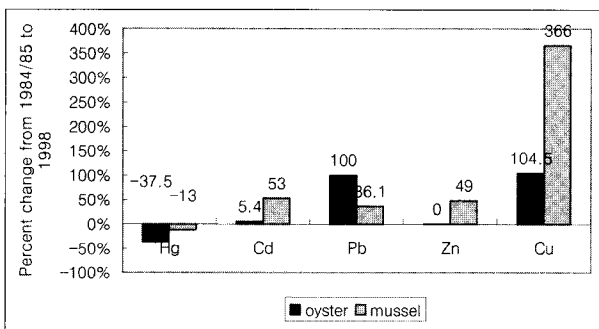
Fig. 11은 1984-1998년 동안 가막만, 자란만, 미륵만에서 갑각류(굴, 홍합)내의 5가지 독성화합물질(Hg, Cd, Pb, Zn, Cu)의 평균농도 변화를 보여주고 있다(국립수산진흥원, 1999).

그림에서 보는 바와 같이 가막만에서 홍합내의 납, 자란만 및 미룩만에서 굴과 홍합내의 수은을 제외하고는 지난 15년 동안 5가지 독성화합물질의 대부분이 증가되었으며 특히 구리의 농도는 급격한 증가를 나타내었다.

자동차 연료에 사용되는 Pb는 눈이나 비로 사용량의 70% 가량이 바다에 모인다고 한다. Pb 이외도 Cd, Hg 등과 같은 독성물질도 기름이나 석탄을 연소시킬 때 방출되며 이러한 것들도 바다에 모이게 되어 수생생물이나 어패류등에 농축되게 된다.



(a)



(b)

Fig. 11. Selected coastal surface water pollutants in shellfish (a: Kamark Bay, b: Jaran and Miruk Bay).

24.4. 척도 14 : 연안의 적조

부양화는 질소나 인 같은 영양소가 수중에 과도하게 존재할 때 조류의 증식을 촉진하며, 이들이 사멸하여 바닥에 침전되어 분해될 때 수중의 산소를 고갈시켜 수중생물의 생존에 불리한 환경을 야기시킨다. 특히, 폐쇄성 수역이거나 장기간 바람이 없어 해수나 담수가 정체한 경우 합성세제, 비료등의 오염물질이 유입되고 여름철 일사량 증가와 함께 수온이 상승하면 광합성이 증대하면서 적조현상이 가속화된다. 우리나라에서는 해마다 4월부터 10월까지 바다 뿐만 아니라 소양호같은 내륙의 호수에서도 적조현상이 나타나고 있다.

적조현상의 가장 큰 피해는 기초생산을 저해하여 먹이사슬이나 생육환경 등을 통한 수역생산력이 저하된다는 것이다.

연·해안은 과도한 영양소가 유입되어 부양화가 되는지를 판단하기 위해 monitoring을 하는데 그 변수로는 chlorophyll a, 질소·인등의 영양물질, 유기물, 용존산소, 수중의 식물들을 들 수 있다.

우리나라는 적조의 발생과 적조생물의 서식밀도, 발생 종의 지속적인 파악을 위해 전국의 주요 적조발생해역에 인접한 39개 시·군에 예찰지점 70개소를 설치하여 적조예찰을 수행하고 있으며 적조모니터링 결과를 참고하여 적조주의보와 적조예보를 발령하고 있다. 우리나라의 연안별 적조 발생 현황(해양수산부, 2002)은 2001년에 주요연안 22개소를 관측한 결과 모든 곳에서 적조가 발생되었으며 주요연안의 부양화 상태는 Table 3과 같다.

Table 3. Estuarine eutrophication conditions

Estuarine	TN	TP	
Incheon	V	^	
Gwangyang Bay	-	^	
Yeosu	^	^	^ worse
Chungmu	V	^	V better
Masan Bay	-	^	- no trend
Jinhae Bay	-	-	
Busan	V	^	

Trends observed from 1992 to 2002

24.5. 척도 15 : 침전물로부터의 오염물질 용출

일반적으로 유역에 오염원이 많아 유기성 오염물질이 유입되어 퇴적되거나, 조류, 수초등 수생생물의 고사체가 하상의 침전물(퇴적물)에 축적되거나 각종유해물질이 하상의 침전물속에 고농도로 존재할 때 용해되어 수중으로 다시 환원될 수 있고 독성을 띠거나 하상에서 서식하는 유기체나 어류, 갑각류에 축적되며 먹이연쇄 과정을 거치면서 그 농도는 더욱 상승한다. 결과적으로 어느 경우나 침전물속에 과도하게 존재하는 화합물은 수생생물이나 인간에게 위해가 된다. 따라서 이러한 수계에 대해서는 퇴적물의 준설등을 통해 수질오염을 예방하여야 한다.

팔당호 퇴적물중의 오염물질조사결과 알루미늄, 철등이 비교적 높은 농도로 검출되었으며, As, Cd, Hg등은 소량검출되었고 유기염소계농약(DDT, BHC) 및 PCB등은 검출되지 않아 비교적 양호한 상태를 보였으나 팔당호는 상수원으로서 오염물의 통제가 타 지역보다 엄격하다는 점을 고려해야 할 것이다.

25. 목표 V : 오염물 부하의 저감 및 기타 스트레스 요인

물은 자연이나 인간활동으로부터 야기되는 스트레스요인에 의해 영향을 받는다. 스트레스요인이 어디에서 유래되는지를 파악하는 것은 쉽지 않다. 그러나 지표수와 지하수의 오염원은 점오염원과 비점오염원으로 구분될 수 있다. 점오염원은 생활배수, 산업배수, 축산배수와 같이 관(관거)과 같은 특정 지점에서 수계로 오염물이 배출되는 오염원이며 비점오염원은 도시유출수, 농경지 유출수, 광산유출수등 정확한 배출원을 파악하기 힘들며 빗물등을 통해 토양으로부터 수계로 오염물이 배출되는 오염원이다.

2.5.1. 척도 16 : 점오염원으로 부터의 오염물질 배출

지표수에서 주요 점오염원은 하수처리장, 산업시설, 합류식관거의 우수유통수등이다. Fig. 12는 주요 점오염원에서 연간 오염물질 배출량을 나타내었다(환경부, 2003c,e).

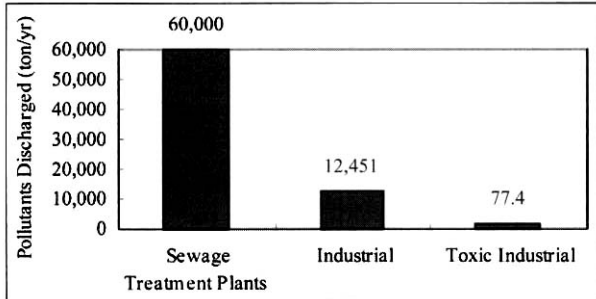


Fig. 12. Annual amount of pollution discharged by selected point source (2002).

하수처리장은 전국 212개 하수종말처리장별 수질시험성적을 토대로 산출한 2002년의 BOD배출량을 나타냈으며, 산업부분은 전국의 산업폐수처리장에서 2002년의 BOD배출량을 나타내었으며, 독성분야는 주요 오염물질로 Cu, Pb, Hg, CN에 대해 산업폐수처리장에서 발생한 2002년 배출량을 나타내었다.

Fig. 13은 우리나라의 주요지역 즉 서울, 부산·대구·인천·광주·대전광역시, 경기도, 강원도, 충북, 충남, 전북, 전남, 제주도의 13개 지역에서의 주요 점오염원인 산업폐수와 하수처리장의 BOD 배출량을 1996~2002년의 변화양상을 나타내었다.

분석결과 국내 주요지역의 23%는 BOD가 증가하였으며, 38.5%는 감소하는 경향을 나타내었으며, 급격한 증가양상을 나타내는 곳도 약 8%에 이르는 것으로 나타났다.

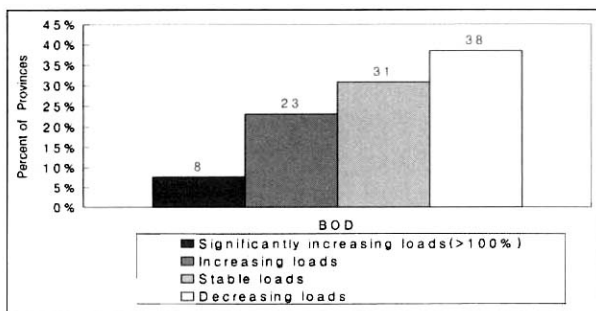


Fig. 13. Selected point source loadings to surface water.

2.5.2. 척도 17 : 비점오염원인 농경지로부터의 오염물 배출

비점오염원은 강우형태나 기후상태가 지역별로 다르기 때문에 정확하게 파악하기가 쉽지 않다. 그러나 비점오염원에 의한 오염이 수질악화의 가장 큰 요인으로 간주되기 때문에 경작지, 가축, 도시유출수등에 대한 통제가 강화되어야 할 것이다.

농경지 및 경작지는 비점오염원의 하나로 수질악화의 주요한 요인이 된다. 현재 농지면적은 20,350 Km²로 우리나라

라 전체 면적의 약 20%를 차지(환경부, 2003d)하고 있어 농경지 유실(침식)에 의한 수질오염을 간과할 수 없다.

Fig. 14는 연간 농경지 유실(침식)량을 나타내고 있는데 농경지의 유실(침식)은 과도한 경작, 식생소멸, 기후변동 등으로 기인되며 그 중에서도 살림벌채와 농업활동 증가가 가장 주된 요인이다. 토양침식은 농지 및 목장용지에서 용적상으로 가장 큰 비점오염원이며 농약, 비료, 경작방법, 수분함유 정도에 따라 진행되는데 특히 작물의 생산성을 높이기 위한 화학비료 사용은 토양의 화학적 특성을 변화시켜 토양침식을 가속시킬 뿐만 아니라 수질오염을 비롯한 복합 환경오염을 일으킨다. 그러므로 농약과 비료 사용은 일시적으로는 생산성을 높여도 결국 토양 황폐화와 토양오염을 일으켜 생산성이 감소하게 되며 수계에 농약, 영양소, 침전물등을 배출시킨다.

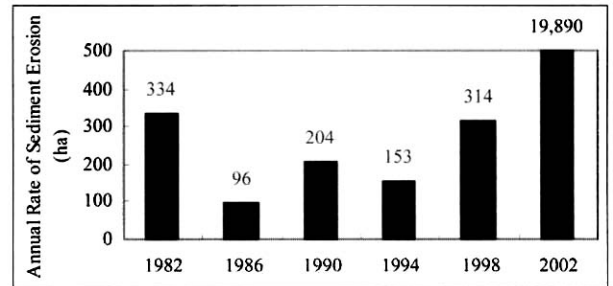


Fig. 14. Annual area of cropland erosion.

Fig. 15는 농경지 유실면적에 따른 오염물 부하량을 보여주고 있다(환경부, 2003d).

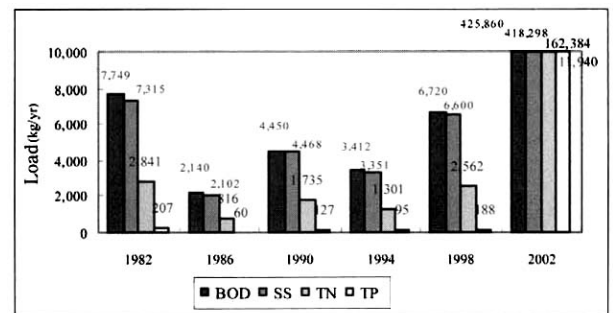


Fig. 15. Nonpoint source sediment loadings from cropland.

3. 결론

앞에서 살펴본 척도(indicators)는 우리의 수계가 “얼마나 깨끗한가”, “어떠한 상태에 있는가” 라는 물음과 나아가 “수질 정화를 위해 어떠한 조치를 취해야 하는가”, “수질정책이 제대로 되고 있는가” 라는 질문에 대한 기초자료 및 해답을 제시하고 있다.

물론 이들 척도들은 수질을 파악하는 척도로서 완벽하지는 않기 때문에 정부, 학계, 관련단체, 민간수준의 공동협력을 통한 지속적인 수정·보완이 필요하며 이를 통해 수질 monitoring, 정보관리에 중요한 자료로 사용되어 궁극적

으로는 공중보건과 환경을 보호하고 향상시키는 정책 프로그램에 기여 하리라 생각된다. 특히 외국의 기준들과 사례들을 대체로 여과 없이 수용하고 있는 국내현실을 감안할 때 우리의 독자적인 기준마련과 정책수립에도 공헌하리라 본다.

참고문헌

- 건설교통부, 수자원공사, 지하수조사연보요약, p. 1 (2003).
 국립수산진흥원, 국립수산진흥원 사업보고서, pp. 411-420 (1999).
 해양수산부, p. 124 (2002).
 환경부, 환경백서, p. 232, 365, 408 (1998).
 환경부, 2002, 2003년 민·관합동 먹는물 수질검사 결과, p. 1 (2002~2003).
 환경부, 상수도통계, pp. 1, 3~4 (2003a).
 환경부, 환경백서, p. 464 (2003b).
 환경부, 하수도통계, pp. 466-481 (2003c).
 환경부, 환경통계연감, pp. 222-329 (2003d).
 환경부, 공장폐수의 발생과 처리, pp. 2-12 (2003e).
 환경부, 2003년 지하수 수질측정 운영결과, pp. 1-5 (2004).
 IUCN, A Directory of Asian Wetlands, p. 1181 (1989).