

# 지속가능한 수자원 개발과 관리를 평가하기 위한 지표

## Indicators for Evaluation of Sustainable Water Resources Development and Management

최시중\* / 이동률\*\*

Choi, Si Jung / Lee, Dong Ryul

### Abstract

A concept of sustainable development has become a major concern in international debate on water resources development and environmental conservation. Although sustainable water resources development and management takes a significant amount of concern in the development research, its applicability has not been insufficient in practices. The purpose of this study is to address a definition of sustainable water resources development and management and to illustrate relevant indicators. The study has also attempted to develop localized indicators hence to assess an availability of water resources development and management and to evaluate the water resources in Korea with the indicators which have been developed in other countries.

*keywords* : sustainable development, sustainable development indicators, water resources

### 요지

지속가능한 발전의 개념은 국제적으로 개발과 환경의 보전의 논쟁의 중심이 되고 있으며, 수자원 개발과 관리는 이들 논쟁에서 가장 중요한 부분을 차지하고 있다. 지속가능한 발전의 많은 개념이 제시되고 있지만 수자원 분야에서는 그 실행이 미비한 실정이다. 본 연구에서는 지속가능한 수자원개발과 관리에 대한 개념을 정립하고 이를 평가할 수 있는 지표에 대해 알아보았다. 또한 국내실정에 맞는 지표를 개발해 국내 수자원의 지속가능성을 평가하였으며, 국외에서 개발된 지표를 통해 국내 수자원 현황을 평가하였다.

**핵심용어** : 지속가능한 발전, 지속가능발전지표, 수자원

### 1. 서론

과거부터 수자원 문제는 공학적 해법으로 해석되어 왔고, 이를 통한 문제해결은 전체적으로 성공을 거두어 왔다. 그러나 최근 물에 대한 대중들의 관심과 권한의 증대, 환경에 대한 인식의 제고 등으로 공학적 접근의 한계가 들어나고 있다. 또한, 국제적으로 수자원 관리

의 기본원칙이 되어 가고 있는 지속가능한 발전과 통합수자원관리의 실행을 위해서는 경제, 사회 및 환경의 다학제간 연계와 이들 각 부문별 이해관계자들의 참여를 통한 수자원 문제해결이 기본방향으로 자리 잡고 가고 있다. 이와 함께 신뢰적이고 투명한 수자원 평가는 수자원 정책의 의사결정을 위한 필수적인 기반이 되어 가고 있다.

\* 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원  
Researcher, Water Resources Research Dept. KICT, Korea  
(e-mail: sjchoi@kict.re.kr)

\*\* 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원  
Research Fellow, Water Resources Research Dept. KICT, Korea

또한 수요와 공급의 불수지 분석에 의한 장기적인 물수급전망의 공학적인 수자원 평가와 함께 국가, 하천 유역, 지자체의 수자원을 수문, 사회, 경제 및 환경 지표들을 이용하여 지속가능성을 평가하고자 하는 노력들이 지속되고 있다. 이들 평가의 목적은 현재 국가, 지역, 지자체가 가지고 있는 수자원의 여건을 각 지표들의 통합 연계하여 평가함으로써 객관적이고 투명한 평가결과를 도출하는데 있다. 이미 알려진 사항이지만 2011년에 18억m<sup>3</sup>의 물 부족은 공학적인 평가지표이다. 그러나 사회, 경제 및 환경 측면의 통합평가가 없이는 우리 자신이 처한 수자원환경을 객관적으로 모니터링하는데 한계가 있으며, 대중에게 수자원 정책의 정당성에 대한 설득력을 얻는데 실패할 수 있고, 결국 지속가능한 수자원 관리의 실패로 이어질 수 있다.

본 연구에서는 최근 연구에서 제시하고 있는 지속가능한 수자원개발과 관리에 대한 개념을 조사·분석하고 이를 평가할 수 있는 지표에 대해 조사·분석하였다. 또한 국내실정에 맞는 지표를 개발해 국내 수자원의 지속가능성을 평가하였으며, 국외에서 개발된 지표를 통해 국내 수자원 현황을 평가하였다.

## 2. 지속가능한 발전의 개념 정립

지속가능한 발전은 경제성장과 환경보존을 통합시킨 개념으로 생태계와 환경을 파괴하지 않는 범위 내에서 지속적인 경제성장의 보장을 의미한다. 이것은 1980년 국제자연보호연합(IUCN)의 공식 문서인 세계보전전략(WCS)에서 처음으로 사용되었다. 지속가능한 발전의 개념은 다양한 학문의 저술에 제시되고 있고, 장기적인 차원에서 환경, 보건, 사회 및 경제 문제를 해결하기 위한 많은 국가가 참여하는 국제회의의 포럼에서 논의, 정의 및 정리되고 있다. 대표적인 국제포럼들은 Brundtland 위원회(World Commission on Environment and Development, 1987), New Delhi 회의(1990), 물과 환경에 대한 Dublin회의(1992), Rio de Janeiro의 지구정상회담(1992)들이다(Martin et al., 1999). 1987년 Brundtland 위원회는 “우리 공동의 미래”라는 보고서에서 현재 가장 널리 이용되고 있는 지속가능한 발전의 개념을 다음과 같은 철학적인 정의를 하였다. 지속가능한 발전은 “우리 후세대 자신들이 가지게 될 요구를 스스로 충족시킬 수 있는 역량을 손상시키지 않으면서 현 세대의 요구를 충족시키는 개발이다.” 이후 이들 개념을 구체화시키고 실천과제를 체계화시키려는 노력이 현재도 지속되고 있다. 또한 Rio de Janeiro의 UN회의에서는 현재와 21세기를 향한 지속가능한 발전을 위한 폭

넓은 계획인 의제 21을 채택하였다. 의제 21에서 담수 자원의 질과 공급의 보호를 위한 통합 수자원 개발, 관리 및 이용의 필요성 등 수자원과 관련된 부분이 제18장에 제시되어 있다.

수자원 측면에서는 Loucks et al.(1999)이 수자원시스템을 “시스템의 생태, 환경 및 수문학적 건전성을 유지하면서 현재와 미래의 사회 목표에 충분히 기여하기 위하여 설계 및 관리되는 시스템이다.”라고 정의하고 있다. 최근에도 이에 대한 연구가 지속되고 있으며 이를 실천하기 위한 구체적인 방법론을 제시하기 위해 노력하고 있다.

국내에서는 지속가능한 발전에 대한 명확한 개념정립이 되어 있지 않은 실정이며 지속가능한 발전이라는 용어를 사용한 것도 최근이다. 특히 수자원개발과 관리에서 지속가능한 발전에 대한 고려가 체계적이지 못한 상태이다. 최근에 지속가능한 발전에 대한 논의가 국제적으로 활발히 이루어지면서 국내에서도 2000년 9월 대통령자문 지속가능발전위원회를 설립하여 이에 대한 활발한 활동이 이루어지고 있다. 또한 국내에서는 몇몇 연구가들에 의해 지속가능한 발전에 대한 개념을 정립하는 과정이라고 할 수 있다(박희경, 1998; 김승, 1998; 윤하연, 1999, 이성근, 2001). 이와 같은 개념적 정의를 외국과 비교하여 큰 편차를 보이고 있지는 않으나 개념을 실천하기 위한 구체적인 방법론과 기술적 접근방식은 상당히 미진한 실정이다.

## 3. 지표의 정의 및 체계

### 3.1 지표의 정의

지표란 여러 부분의 관측값 중에서 현상을 가장 잘 설명해줄 수 있는 대표적인 값을 일정기준에 따라 선정한 것을 의미한다. 지속가능발전지표는 국가 구성요소의 세 가지 중심축인 경제, 환경, 사회 요소 가운데 대표성이 있는 일부를 개관함으로써 현재와 미래에 영향을 미치는 정보를 확보하여 지속가능성 정도를 평가하는 수단으로도 이용된다. 또한 현 사회의 지속가능성 정도와 진행되고 있는 방향, 추진상의 문제점을 진단할 수도 있으며, 정책의 우선 순위를 결정하는데 중요한 정보를 제공하고 광대한 양의 정보를 단순화하고 계량화하며 그 의미를 전달하는데 유용한 도구이다.

### 3.2 지표의 선정기준

지속가능한 수자원개발과 관리를 위해 개발되어질 수 있는 지표의 수는 무수히 많다. 하지만 이들 지표 모두를 지속가능성 평가를 위해 이용하기란 어렵다. 각각

의 지표에 대한 자료의 취득도 어려울 뿐만 아니라 많은 지표를 통한 지속가능성 평가는 혼란을 줄 수도 있는 등 많은 문제점을 야기할 수 있다. 따라서 개발될 수 있는 많은 지표들 중 여러 가지 선정기준을 통해 지속 가능한 수자원개발과 관리를 평가할 수 있는 것들을 선택하여야 한다. 신뢰할 수 없는 지표로 인한 의사결정 과정의 왜곡은 지속가능하지 못한 정책과 활동을 초래하고 선정된 지표가 문제나 현상을 포괄하지 못한다면 이 또한 의사결정과정에서 사용할 수 없을 것이다(윤하연, 1999). 지표는 1) 지속가능한 발전의 목표와 연관될 수 있는 지표를 선정, 2) 측정이 가능한 것들을 선정, 3) 계산이 간편하고 결과해석이 용이하며 수치적으로 정량화될 수 있는 것들을 선정, 4) 미래에 대한 상황변화와 관련 정책의 변화를 수용할 수 있는 지표를 선정, 5) 지표를 뒷받침하는 자료는 취득이 용이해야 하며 소요되는 비용이 비싸지 않아야 하고, 가공이 쉬워야 하며, 그 질이 좋고 충분한 양이 확보되어야 함, 6) 이해하기 쉽고 명확하여야 하며 문서화 또는 전산화되어 정보제공 효과를 가진 것들을 선정, 7) 지표는 국가간, 지역간 상호 비교와 평가가 가능하도록 표현되어질 수 있는 것들을 선정, 8) 일정기간 추세를 보여주면서 장기간에 걸쳐 측정될 수 있는 지표로 개인뿐만 아니라 단체, 사회 모두에게 의미 있는 것들을 선정해야 한다.

### 3.3 지표의 구성체계

지표의 기본구성체계에는 DSR(Driving force-State-Response) 구조와 PSR(Pressure-State-Response) 구조가 있다. DSR 구조의 추진력(Driving force)은 수자원에 변화를 일으키는 원인을 나타내며 경제활동, 정부정책, 경제·사회·문화 요소 등 수자원에 긍정적, 부정적 영향을 주는 요인들을 모두 포함한다. 상태(State)는 추진력에서 생기는 수자원의 변화이다. 지구 전체에서 다양한 시간적, 공간적 규모를 가지고 있으나 경제활동만이 수자원 변화에 대한 요인이 아니기 때문에 그중 경제가 차지하는 비중을 고려하여 정책에서 그 중요도를 평가하는 작업이 필요하다. 반응(Response)은 수자원에서 실제 또는 인식된 변화와 시장신호(Market signal)에 대한 사회와 정책결정자의 반응을 의미한다. PSR 구조는 압력(Pressure), 상태(State), 반응(Response)지표로 구성되어 있으며, 압력지표는 인간과 수자원과의 관계를 나타내며, 상태지표는 지역의 녹지, 물, 생물 등 기반으로서의 자연 그 자체를 반영하며, 반응지표는 오염과 같은 수자원 변화를 저감시키기 위한 인간의 활동을 제시한다.

이외에도 여러 개별지표를 하나의 수치로 통합한 통

합지표가 있으며, 최근에는 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

### 3.4 지표의 개발현황

OECD(1988), UNCSD, EU 등의 국제 기구에서는 지속가능성을 평가하기 위한 지표를 개발하여 이를 여러 국가들에 적용하여 국가별로 비교가 가능하도록 지속가능발전지표들에 대한 정보를 제공하고 있으며, 미국, 영국, 네덜란드, 중국 등 여러 국가들이 자국의 지속가능발전지표 집합을 구성하기 위해 노력해 왔다. 또한 미국의 민영컨설팅기관인 Sustainable Measures에서는 여러 분야에 걸쳐 많은 지표들을 개발하여 지속가능한 발전에 대한 평가를 하고 있으며 국제기구 World Bank에서도 지속가능한 발전에 대한 여러 분야의 지표를 개발하였고 이에 대한 자료를 제공하고 있다. 이렇게 국제기구나 국외의 여러 나라에서 개발된 지표는 자국의 지속가능성을 평가하기 위해 사용되고 있다. 미국의 텍사스(2002)와 스코틀랜드(2003), 호주(2001) 등은 국가 및 지역의 지속가능성을 평가하여 보고서를 제시하기도 하였다.

최근 국제 동향은 개별지표를 통한 분석보다는 여러 개별지표를 통합하여 하나의 수치로 제시하는 통합지표가 주를 이루고 있다. 대표적인 통합지표로는 WPI(Water Poverty Index), HDI(Human Development Index)와 ESI(Environmental Sustainability Index)가 있으며, Allan(1997)에 의해 제안된 가상의 물(Virtual Water) 개념을 이용하여 Hoekstra(2003)가 여러 지표를 개발하였고, Ohlsson(1999)은 사회적 수자원에 대한 수용도를 나타내는 SWSI(Social Water Stress/Scarcity Index)를 개발하였다. 이 외에도 Falkenmark, Suprpto(1992)와 SEI(Stockholm Environment Institute, 1997) 등 여러 학자 및 기관들이 수자원을 평가하기 위해 지표를 제시하고 있으며 이에 대한 분석을 수행하였다.

반면 국내에서는 지속가능성 평가를 위한 지표의 개발에 있어서 국제기구나 선진국과 같은 체계적인 개발은 이루어지지 않고 있으며 특히 수자원 분야를 위한 지표의 개발은 물론이고 이에 대한 개념도 상당히 부족한 실정이다. 지금까지 국내에서는 도시의 현 상태를 파악하기 위한 상태지표 위주의 연구가 한표원(1995)과 성현찬(1995)에 의해 진행되었으며 이동근, 윤소원(1998)과 윤하연(1999)은 환경에 대한 평가를 위해 환경지표를 개발하였다.

## 4. 국내외 지표 조사 및 분석

### 4.1 통합지표를 통한 국내 지속가능성 평가

본 연구에서는 여러 통합지표들 중 Sullivan(2001, 2002)이 제시한 WPI, UNDP(United Nations Development Programme)와 CIESIN(Center for International Earth Science Information Network)에서 제시한 HDI와 ESI에 대해 2002년 OECD 회원국의 자료를 통해 분석함으로써 수자원뿐만 아니라 사회, 경제, 환경 분야에 대한 우리나라의 상황을 살펴보았으며 그 결과는 Table 1과 같다.

WPI는 수문, 사회, 경제 및 환경 지표를 통합하여 제시된 지표로서 수자원의 양(Resource), 수자원 배분의 공평성(Access), 수자원의 이용능력(Capacity), 수자원 이용의 효율성(Use), 환경(Environment) 5개의 구성요소로 구분하여 지수를 뒷받침해 줄 수 있는 세계 각국의 자료 수집을 통해 수자원 평가지표를 제시하였다. 우리나라는 다른 OECD 회원국과 비교했을 때 비교적

낮은 수치를 나타낸다. 이는 다른 나라보다 물 부족에 영향을 미치는 물리적인 요인과 사회, 경제적인 요인들이 크다는 것을 의미한다고 볼 수 있다. 특히 내부 담수 공급량, 외부에서 유입되는 수자원량, 인구의 자원을 이용하여 구할 수 있는 수자원의 양 부분에 있어서는 매우 낮은 수치를 나타내고 있다. 이를 통해 우리나라는 인구에 비해 공급할 수 있는 수자원량이 다른 국가들보다 매우 적음을 알 수 있다.

HDI는 인류의 발전 정도를 알아보기 위해 개발된 지표로서 수명, 교육수준, 생활 수준 총 3부분으로 이루어져 있다. Table 1에서 알 수 있듯이 우리나라는 다른 회원국보다 비교적 낮은 수치를 나타내고 있으며 이는 국민의 발전을 위해, 즉 국민의 건강과 교육, 국민생활 수준 향상을 위해 더 많은 투자를 해야 한다는 것을 보여준다.

ESI는 세계 각국의 환경에 관한 지속가능성을 평가하기 위해 만들어졌으며 최근 여러 국가에 대해 적용하여 그 순위를 정해 발표하고 있고 그에 대한 자료도 제

Table 1. OECD 회원국별 통합지표

국 가	WPI <sup>1)</sup>	HDI <sup>2)</sup>	ESI <sup>3)</sup>
Australia	62.3	0.936	60.3
Austria	74.6	0.921	64.2
Belgium	60.6	0.935	39.1
Canada	77.7	0.936	70.6
Czech Republic	61.0	0.844	50.2
Denmark	61.3	0.921	56.2
Finland	78.0	0.925	73.9
France	68.0	0.924	55.5
Germany	64.5	0.921	52.5
Greece	65.6	0.881	50.9
Hungary	61.4	0.829	62.7
Iceland	77.1	0.932	63.9
Ireland	73.4	0.916	54.8
Italy	60.9	0.909	47.2
Japan	64.8	0.928	48.6
<b>Korea(Rep.)</b>	<b>62.4</b>	<b>0.875</b>	<b>35.9</b>
Mexico	57.5	0.790	45.9
Netherlands	68.5	0.931	55.4
New Zealand	69.1	0.913	59.9
Norway	77.0	0.939	73.0
Poland	56.2	0.828	46.7
Portugal	65.4	0.874	57.1
Slovakia	71.2	0.831	61.6
Spain	63.6	0.908	54.1
Sweden	72.4	0.936	72.6
Switzerland	72.1	0.924	66.5
Turkey	56.5	0.735	50.8
United Kingdom	71.5	0.923	46.1
United States	65.0	0.934	53.2

출처 : 1) <http://www.nerc-wallingford.ac.uk/research/WPI/>

2) Human Development Report 2002(UNDP, 2002)

3) 2002 Environmental Sustainability Index(ESI, 2002)

공하고 있다. 환경시스템, 압력, 취약성, 능력, 국제적 참여 5개의 요소로 구성되어 있으며 각각의 요소에 대해 지표를 두어 환경에 대한 지속가능성을 평가하고자 하였다. 지표는 총 20개로 구성되어 있으며, 이 지표 아래에 68개의 변수를 두어 이를 측정함으로써 지표를 계산한다. Table 1에서 알 수 있듯이 우리 나라는 OECD 회원국 중에 제일 낮은 값을 보이고 있다. 즉 환경적으로는 지속가능성이 낮다는 것을 의미한다. 이 지표를 통해 환경 분야에 관한 모든 것을 이야기할 수는 없지만 우리나라는 환경 측면에 더 많은 대책과 노력이 필요하다는 것을 알 수 있다. 지속가능한 발전을 위해서는 어느 한 분야에 걸친 발전이 아닌 전 분야에 걸친 발전이 필요하므로, 환경 분야도 매우 중요한 부분이다. 하지만 우리나라는 ESI 수치가 말해 주듯이 환경보다

는 경제, 사회 발전에 초점을 맞추어 발전이 이루어졌기 때문에 이에 대한 대책이 시급한 것으로 사료된다.

#### 4.2 수자원관련 지표를 통한 국내 현황 분석

국제기구 및 여러 학자들에 의해 개발되었던 지표들 중 수자원개발과 관리와 관계된 지표를 통해 국내 현황을 살펴볼 수도 있다. Table 2는 가상의 물을 통한 지표, WSI(Water Stress Index)와 SWSI, SEI에서 제시한 저수량/유출량 지표를 통한 OECD 회원국들의 결과를 보여주고 있다.

가상의 물이라는 것은 어떤 나라에서 생산품(곡물 등)이 생산되기 위해서는 물이 필요하며 생산품이 다른 나라로 수출되거나 혹은 수입되면서 가상의 물이 이동된다는 이론으로써 이를 바탕으로 1995~1999년 자료를

Table 2. OECD 회원국별 수자원관련 지표

국 가	Virtual Water <sup>1)</sup>			WSI <sup>2)</sup> (1995)	SWSI <sup>2)</sup> (1995)	저수량/유출량 <sup>3)</sup> (1995)
	Water Scarcity (%)	Water self-sufficiency (%)	Water dependency (%)			
Australia	8.0	100.0	0.0	1	0	0.27
Austria	2.7	100.0	0.0	1	0	0.03
Belgium	73.9	43.7	56.3	8	4	0.01
Canada	1.6	100.0	0.0	0	0	0.27
Czech Republic	4.7	84.9	15.1	2	1	0.08
Denmark	9.3	100.0	0.0	4	2	0.00
Finland	2.0	100.0	0.0	0	0	0.17
France	19.5	100.0	0.0	3	2	0.06
Germany	27.7	77.7	22.3	5	3	0.02
Greece	12.1	138.2	-38.2	2	1	0.20
Hungary	5.6	100.0	0.0	1	0	0.00
Iceland	0.1	72.5	27.5	0	0	0.01
Ireland	1.6	100.0	0.0	1	0	0.02
Italy	33.7	81.4	18.6	3	2	0.07
Japan	16.8	60.7	39.3	2	1	0.16
<b>Korea(Rep.)</b>	<b>44.7</b>	<b>56.8</b>	<b>43.2</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0.25</b>
Mexico	23.6	90.4	9.6	3	1	0.28
Netherlands	8.9	21.4	78.6	2	1	0.10
New Zealand	0.6	100.0	0.0	0	0	0.07
Norway	0.5	48.5	51.5	0	0	0.02
Poland	22.0	76.7	23.3	7	4	0.05
Portugal	10.4	53.8	46.2	1	1	0.11
Slovakia	5.9	100.0	0.0	2	1	-
Spain	27.8	65.2	34.8	4	2	0.49
Sweden	1.7	100.0	0.0	0	0	0.12
Switzerland	2.3	37.2	62.8	1	1	-
Turkey	18.8	94.6	5.4	3	2	0.93
United Kingdom	16.8	108.9	-8.9	8	4	0.12
United States	19.9	100.0	0.0	1	1	0.36

출처 : 1) Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade (Hoekstra, 2003)

2) Environment, Scarcity, and Conflict: A study of Malthusian Concerns(Ohlsson, 1999)

3) Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World(SEI, 1997)

평균하여 Table 2에 제시하였다. 물부족율은 한 나라의 총 물사용량을 총 물이용가능량으로 나누어 구할 수 있으며, 물자급자족율은 한 나라의 총 물사용량을 총 물사용량과 순수 가상의 물 수입량(총 가상의 물 수입량-총 가상의 물 수출량)을 합한 값으로 나누어 구할 수 있다. 또한 물의존율은 순수 가상의 물 수입량을 한 나라의 총 물사용량과 순수 가상의 물 수입량을 합한 값으로 나누어 구할 수 있다. 우리나라는 물부족율이 다른 OECD 회원국들보다 높은 수치를 보이고 있으며, 이는 이용가능한 수자원을 많이 사용하고 있다는 사실을 말한다. 높은 인구밀도로 인해 이런 결과를 나타내고 있다고 생각되어질 수도 있지만 우리나라 다음으로 인구밀도가 높은 네덜란드나 일본의 경우는 8.9%, 16.8%로서 낮은 수치를 나타내고 있어 우리나라가 물소비율이 높다는 것을 알 수 있다. 물자급자족율과 물의존율을 살펴보면 56.8%와 43.2%를 나타내고 있다. 이 결과를 살펴보았을 때 우리나라는 다른 나라에 비해 순수 가상의 물 수입량에 많이 의존하고 있다는 사실을 알 수 있으며, 이는 수입과 수출에 많이 의존하고 있는 경제 구조라는 것을 나타내고 있다.

WSI는 일년간 재생가능한 물 백만 m<sup>3</sup>을 사용할 수 있는 백명 단위의 인구수로 구할 수 있으며 이를 앞에서 설명한 HDI로 나눈 값으로 SWSI를 구할 수 있다. SWSI는 가장 쉽게 이용할 수 있는 사회적 수자원에 대한 수용도를 나타낸다. 1995년 자료를 이용하여 구한 지표를 살펴보았을 때 Ohlsson(1999)이 제시한 분류기준에 의하면 SWSI에 의한 분석으로는 비교적 안정적인 사회적 수자원에 대한 수용도를 나타내고 있지만 WSI에 의한 분석으로는 OECD 회원국들 중 물에 대한 압력을 받고 있는 4개국 중 하나라는 결과가 나왔다.

저수량/유출량 지표는 1995년 수자원 수요-공급 인프라 자료를 통해 SEI에서 분석한 결과이다. 저수량 대비 유출량이 SEI의 분류에 따르면 0.2~0.3이면 물에 대한 압력을 받고 있다고 제시하고 있으며 우리나라의 경우 0.25로써 물근심 국가로 볼 수 있다.

또한 국제인구행동연구소(PAI)에서 국민 1인당 확보된 연간 담수량을 기준으로 국가를 분류하여 제시하고 있으며, 우리나라는 수자원장기종합계획(2001)에서 제시하고 있는 1인당 연간재생가능 수자원량이 1,491m<sup>3</sup>/인으로써 물근심 국가에 해당된다.

이 외에도 여러 학자들과 국제 기구에서 개별지표들을 개발하여 각 나라별 자료를 통해 제시하고 있으며, 지표를 통해 국내 수자원 뿐만 아니라 사회, 경제, 환경 등에 대한 정보를 얻을 수 있고 수자원의 현황을 분석할 수 있다.

## 5. 통합 지표의 국내 적용

물부족지수(WPI)를 통해 복지 수준과 물 이용가능성 간의 관련성 및 물부족이 인구의 크기에 미치는 영향을 알아볼 수 있다. WPI를 국내에 적용하기 위해서 국외에서 제시한 요소들을 살펴보았을 때 국내에서 제공하고 있는 자료가 충분하지 않기 때문에 이를 국내에서 가용한 자료를 재구성하여 산정하였다. 구성요소는 5개의 구성요소(수자원의 양, 수자원 배분의 공평성, 수자원 이용능력, 수자원 이용의 효율성, 환경)로 구성하였으며 이에 대한 하위요소만이 차이를 보이며 WPI 산정에 적용된 요소들은 Table 3과 같다.

각 행정구역별 WPI를 산정하기 위해 동일한 연도의 자료를 수집하는데 어려움이 있기 때문에 2000~2001년도의 자료를 이용하여 계산하였으며, 계산과정은 각 하위구성요소별로 자료를 이용하여 전체 행정구역에 대한 상대적 순위를 나타냄으로써 계산하였다. 하위구성요소에 대한 결과가 지표 산정에 순영향을 주면 Eq. (1)을 이용하였고, 악영향을 끼치면 Eq. (2)를 이용하여 계산하였다.

$$X = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

$$X = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

$X$  : 산정값,  $X_i$  : 행정구역별 자료값,  $X_{\min}$  : 자료값 중 최저치,  $X_{\max}$  : 자료값 중 최고치

위의 계산과정을 통해 얻은 하위요소 산정값을 평균함으로써 각 구성요소의 값을 구할 수 있으며 이는 0에서 1 사이의 값이 된다. 여기에 20을 곱하여 다섯개 요소값을 더하면 각 행정구역별 WPI를 산정할 수 있다. WPI가 높으면 높을수록 물이 풍요로움을 의미하며 산정된 5개의 구성요소에 대한 결과와 WPI는 Table 4와 같다.

가장 높은 지수를 나타내는 충청북도는 59.69를 나타내었고, 가장 낮은 곳은 부산광역시로 37.95를 나타내고 있다. 비교적 인구밀도가 높은 서울특별시와 광역시는 낮은 지수값을 보이고 있다. 이는 다른 요소에서 높은 점수를 얻었다고 하더라도 수자원의 양과 수자원 이용의 효율성 요소에서 낮은 수치를 보이기 때문이라고 사료된다. 이는 어떤 행정구역에 지나친 인구가 밀집된다면 수자원의 양 요소측면에서 여러 문제점이 제기될 수 있다는 것을 보여준다. 또한 수자원 이용의 효율성을

Table 3. WPI 국내 적용을 위한 하위구성요소

WPI 구성요소	사용된 자료(국내)	사용된 자료(국외)
수자원의 양	담수 공급량 <sup>1)</sup> 인구 <sup>2)</sup>	내부 담수 공급량 외부에서 유입되는 수자원량 인구
수자원 배분의 공평성	상수도보급율 <sup>3)</sup> 하수도보급율 <sup>3)</sup>	깨끗한 물을 이용하는 인구의 비율 위생시설을 이용하는 인구의 비율 관개의 필요성 충족도
수자원 이용 능력	1인당 GDP <sup>2)</sup> 5세 이하 영아 사망률 <sup>4)</sup> 교육률 <sup>5)</sup>	1인당 GDP 5세 미만 유아 사망률 교육률 소득배분의 공평성 나타내는 지니계수
수자원 이용의 효율성	1일 가정용수 사용량 <sup>2)</sup> 산업용수 비율과 제조업이 GDP에서 차지하는 비율 <sup>1)</sup> 농업용수 비율과 농업이 GDP에서 차지하는 비율 <sup>1)</sup>	1일 가정용수 사용량 산업용수 비율과 제조업이 GDP에서 차지하는 비율 농업용수 비율과 농업이 GDP에서 차지하는 비율
환 경	수질(BOD) <sup>6)</sup> 비료소비량 <sup>7)</sup> 수질오염 배출시설 단속 및 행정조치 현황 <sup>2)</sup> 수자원관련 지출현황 <sup>3)</sup> 조수보호구역 지정 현황 <sup>2)</sup>	수질 물고통(물오염도) 환경 규제와 관리 정보의 투명성 멸종위기종에 근거한 종다양성

출처 : 1) 건교부(2001), 수자원장기종합계획보고서

2) 통계청(2001), 한국통계연감

3) 환경부(2001), 상수도통계, 하수도통계

4) 통계청 통계자료(<http://kosis.nso.go.kr>, 2000)

5) 교육인적자원부(2001), 교육통계연보

6) 환경부 보도자료(<http://www.me.go.kr>, 2000)

7) 농림부(2001), 농림통계연보

Table 4. 행정구역별 WPI

	수자원 양	수자원배분공 평성	수자원 이용능력	수자원이용 효율성	환경	물부족지수 (WPI)
충청북도	15.01	9.82	9.40	13.02	12.43	59.69
제주도	11.43	15.39	14.14	14.01	3.53	58.49
전라남도	19.41	1.99	11.37	14.79	10.32	57.88
경상남도	13.24	7.24	9.13	12.66	15.14	57.40
충청남도	20.00	0.58	8.73	17.55	10.15	57.01
경상북도	17.75	7.11	10.09	12.14	9.59	56.68
울산광역시	12.02	7.74	15.42	8.09	12.38	55.65
경기도	6.689	14.40	14.39	8.00	11.64	55.11
전라북도	17.87	7.48	5.10	12.47	10.39	53.31
강원도	12.48	9.35	8.58	9.42	10.67	50.50
광주광역시	3.06	18.88	6.20	9.58	10.15	47.87
서울특별시	0.00	20.00	14.06	5.11	7.86	47.03
대전광역시	2.00	18.46	9.49	3.08	10.38	43.40
대구광역시	4.64	19.56	7.21	1.64	9.03	42.08
인천광역시	4.00	17.35	12.50	2.81	5.38	42.04
부산광역시	0.68	16.38	9.16	5.87	5.87	37.95

살펴보면 서울특별시와 광역시는 가정용수 사용량이 다른 행정구역보다 높으며, 산업용수 및 농업용수 이용량이 적기 때문에 이런 결과가 도출되었다고 판단된다. 각각의 구성요소 수치가 높다고 해서 반드시 WPI가 크지는 않았다. 이는 구성요소와 지표간의 상관도가 크지 않다는 것을 보여준다. 각각의 구성요소별 수치를 통해 현재의 수자원 상황을 알 수 있으며 앞으로의 정책의 우선순위를 제시할 수 있을 것으로 생각된다.

### 6. 국내 실정에 맞는 지표의 개발 및 분석

본 연구에서는 국내·외에서 개발된 지표에 대한 연구를 통해 국내 실정에 맞는 지속가능한 수자원개발과 관리에 대한 지표를 개발하였다. 지표를 뒷받침해 주는 자료에 대한 주기는 1년을 기준으로 하였으며 지리적 경계는 행정구역으로 구분하였고 기본체계로는 수자원을 잘 표현할 수 있는 PSR 구조를 토대로 부분적인 DSR 구조를 첨가하여 지표를 개발하였다. 개발된 지표

는 Table 5와 같으며 인간과 수자원과의 관계를 나타내는 압력지표에는 중간지표 5개와 개별지표 15개를, 수자원의 상태를 표현해 주는 상태지표로는 중간지표 4개, 개별지표 18개를 개발하였다. 수자원의 변화를 저감시키기 위한 인간의 활동을 제시할 수 있는 대응지표로는 5개의 중간지표와 18개의 개별지표를 개발하였다. 개발된 지표들은 목표와 요구의 변화에 따라 변경될 수 있으며 자료의 획득 등 차후 연구를 통해 수정·보완되어야 할 것이다.

개발된 지표들의 행정구역별 최근 5년간의 자료를 각종 통계자료와 인터넷을 통해 수집하여 각시, 도별 지표값을 구한 후 이들을 표준화시켜 비교·분석하였다. 표준화시키는 방법은 식 (3)과 같으며 표준화된 점수에 의해 표준정규분포도상의 Z 값에 따른 확률분포를 바탕으로 등급을 구분하여 최종점수를 부여했다(윤하연, 1999).

$$Z_i(Z-score) = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma_x} \tag{3}$$

$Z_i$  : 평가항목별 행정구역 표준점수,  $X_i$  : 평가항목별 행정구역 데이터  
 $\bar{X}$  : 평가항목별 행정구역 데이터 평균,  $\sigma_x$  : 평가항목별 행정구역 데이터 표준편차

확률분포	상위 20%	20%초과 40%이하	40%초과 60%이하	60%초과 80%이하	80%초과
$Z_i$ 의 범위	$0.85 \leq Z_i$	$0.26 \leq Z_i < 0.85$	$-0.26 \leq Z_i < 0.26$	$-0.85 \leq Z_i < -0.26$	$Z_i < -0.85$
평가	100점	80점	60점	40점	20점

여러 세부지표들 중에서 Fig. 1은 상태지표의 수자원 현황 중 풍수해 피해현황을 나타내고 있으며, Fig. 2는 지역별 1인당 1일 소비량(lpcd)에 대한 최근 5년동안의 경향을 나타내고 있다. 충남, 경기 지역에서 물 소비량은 최근 들어 아주 조금씩 상승하는 것을 알 수 있으며 나머지 지역은 대체적으로 감소하면서 안정화되어가고 있다는 것을 알 수 있다.

이처럼 개발된 지표를 통해 각 지표들의 결과를 도시함으로써 일반시민에게 정보를 제공하고, 정책방향에 도움을 줄 수 있는 자료를 제공하고자 하였으며 각 지표에 대한 경향분석과 종합지표 분석을 통해 지역의 지속가능성을 평가하였다.

각각의 세부지표에 대한 표준화 점수를 산출하여 중간지표에 대한 평균값으로 구한 종합지표를 통해 지속가능성을 평가하였으며 그 결과는 Fig. 3과 같다. 압력 지표에 대한 중간지표의 수치가 높을수록 수자원에 대한 압력이 높음을 의미하며 상태지표에서는 수치가 높을수록 수자원의 상태가 좋음을 의미한다. 또한 대응지표의 중간지표의 수치가 높으면 높을수록 수자원에 대

한 투자 및 노력이 크다는 것을 의미한다.

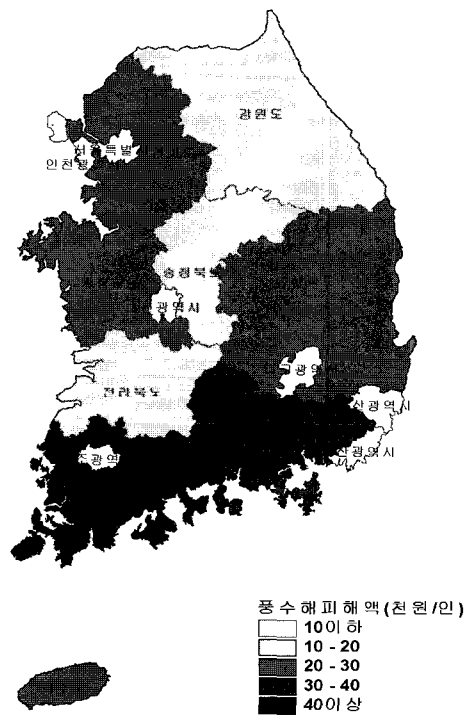


Fig. 1. 풍수해 피해현황



Table 5. 지속가능한 수자원개발과 관리를 위한 지표

종 합	중 간 지 표	세 부 지 표
압 력 지 표 (Pressure)	사회적 요인	인구밀도
		교통밀도
	수자원의 이용 및 기상 현상	생활용수사용량
		지하수사용량
		강우량
		상수도누수율
	토지이용변화	도로율
		산림면적 변화율
		하천면적 변화율
		경지면적 변화율
	환경부하	생활하수 처리량
		비료소비량
		토양오염유발시설수
수질오염 배출시설 현황		
경 제	실업률	
상 태 지 표 (State)	수 자 원 현 황	1인당 사용가능량
		지하수개발의 정도
		광역상수도 공급현황
		1인당 1일 물 소비량
		홍수해 피해현황
		하천면적
	토 지 구 조	산림면적
		농지면적
	경 제	지역내 GDP
		식량작물생산현황
		수산물어획고현황
		경제활동참가율
	환 경 부 하	하수처리시설용량
		주요 하천의 수질현황
		지하수의 수질현황
		공중위생 관계업소 현황
		토양 중금속 농도
		수질측정망 현황
		하수처리율
대 응 지 표 (Response)	수 질 향 상	하수도 요금현황
		수질오염 배출시설 단속 및 행정조치 현황
		수질관련 배출부과금 징수현황
		상수원 보호구역 지정 현황
		하수도관련 공사비지출 현황
		하수처리능력
		상수도관련 세출현황
	수 자 원	상수도 요금현황
		홍수해 복구현황
		수자원관련 공무원수
		학교 현황
	인 간 활 동	의료 기관 현황
		지역내 총세출현황
환경오염 배출시설 단속 및 행정조치 현황		
환 경	환경분쟁조정현황	
	조수보호구역 지정현황	
자 연	공원 현황	

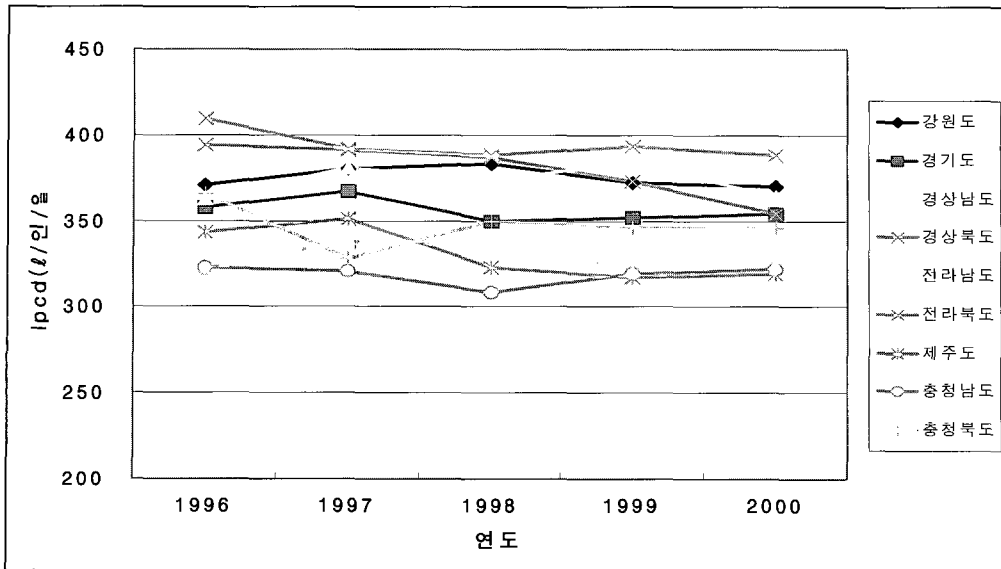


Fig. 2. 1인당 1일 급수량 경향분석

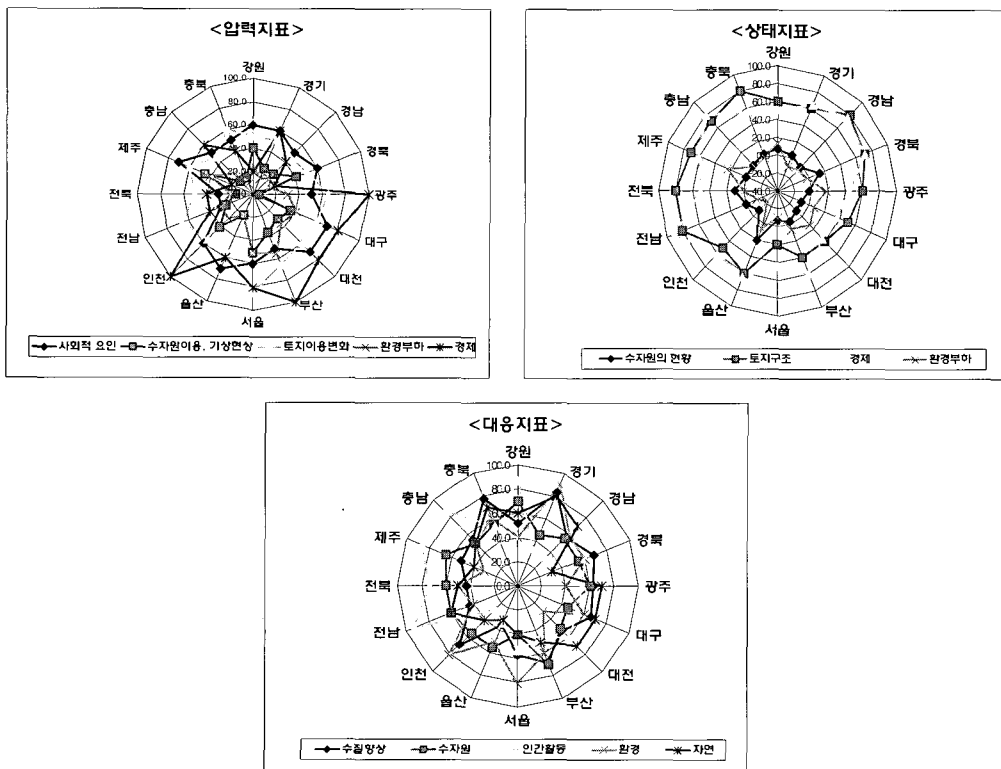


Fig. 3. 행정구역별 지속가능성 평가

### 7. 결론 및 향후 연구방향

우리나라의 수자원 관리의 지속가능성을 평가하기 위하여 사회, 경제, 환경지표의 통합지표와 여러 개별지표 등을 통해 우리나라 수자원 분야에서의 지속가능성을 평가하였다. 본 연구에서 분석한 여러 지표들을 통해 수자원환경을 정확하게 평가할 수 있다고는 말할 수

없으나 몇몇 지표들은 의미 있는 결과를 보여준다. 그러나 이 지표가 아주 분명한 수치를 제시하거나 특정 상황에 대해 총체적으로 정확한 결과를 제시하는 것은 아니다. 그 어떤 특정 지표로도 그런 기능을 수행하기에는 매우 어렵다. 따라서 우리나라의 수자원을 평가할 수 있는 통합적인 수자원관련 지표를 개발함으로써 정책결정에 도움을 주고 대중에게 정보를 제공할 수 있어

야 한다. 또한 통합지표 산출시 객관적인 측정 자료를 종합하여 하나의 지표로 나타낼 경우 또는 주관적인 자료를 종합한 지표 개발시 각 항목간의 중요도를 고려하여 하나의 값으로 나타내는 경우 가중치를 고려해야 한다. 가중치 조사 방법에 따른 차이는 여러 연구에서 논란의 대상이 되고 있지만 현재까지 만족할만한 과학적인 해결방법이 발견되지 않고, 대체로 주민이나 전문가 등의 선호도 조사를 통해 각 지표와 부문의 상대적인 중요도를 파악하고 이를 기초로 가중치를 결정하고 있거나, 기 개발된 통합지표와 같이 동일한 가중치를 사용하고 있는 실정이다.

지속가능한 수자원환경을 평가하기 위해서는 지표의 개발이 필요하고 이 지표들은 여러 분야의 자료를 통해 구해질 수 있다. 따라서 자료의 중요성은 매우 크다고 할 수 있는 것이다. 또한 국내에서 수자원 개발과 관리에 대한 구체적인 의사결정을 하기 위해서 이런 평가를 통해 대중의 참여와 투명한 정책결정을 유도해야 하며 각 세부지표와 항목이 가지는 중요도에 대한 연구가 필요하다.

### 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술 개발사업단의 연구비지원(과제번호 1-5-2)에 의해 수행되었습니다.

### 참고 문헌

건설교통부 (2001). **수자원장기종합계획(Water Vision 2020)**. 건설교통부

김승 (1998). "지속가능한 수자원개발과 관리 - 수자원 시스템의 기능과 가치 -." **대한토목학회지**, 대한토목학회, 제46권, 9호, pp. 47-53.

박희경 (1998). "지속가능한 수자원개발을 위한 통합자원계획도입의 필요성." **대한토목학회지**, 대한토목학회, 제46권, 9호, pp. 36-46.

성현찬 (1995). **경기도의 쾌적환경평가 및 지표개발에 관한 연구**, 경기개발연구원

윤하연 (1999). **인천광역시 환경지표의 개발과 적용**. 인천발전연구원, pp. 1-51.

이동근, 윤소원 (1998). "지속가능한 도시개발을 위한 환경지표에 관한 연구 - 인간과 자연과의 공생지표를 중심으로 -." **환경영향평가**, 제7권, 제1호, pp. 93-107.

이성근 (2001). "지속가능한 지역개발의 방향." 대통령 자문 지속가능발전위원회자료, pp. 1-6.

통계청 (2001). **한국통계연감**. 통계청

한표완 (1995). **도시지표의 개발과 적용에 관한 연구**. 한국지방행정연구원

환경부 (2001). **상수도통계, 하수도통계**. 환경부

Allan, J.A. (1997). "Virtual Water : a long term solution for water short Middle eastern economics." Paper presented at the 1997 British Association Festival of Science, Roger Stevens Lecture Theatre, University of Leeds, *Water and Development Session*, TUE.51, 14.45.

Falkenmark, M. and Suprpto, R.A. (1992). "Population-landscape Interactions in Development : A Water Perspective to Environmental Sustainability." *Ambio*, Vol. 21 No. 1, pp. 31-36.

Hoekstra, A. Y. (2003). *Virtual Water Trade : Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*. Value of Water Research Report Series No. 12, IHE DELFT, the Netherlands.

Loucks, D.P. and Gladwell, J.S. (1999). *Sustainability Criteria for Water Resources Systems*. Cambridge University Press.

Lynn R. Martin and Engene Z. Stakhiv (1999). "Sustainable Development : Concepts, Goals and Relevance to the Civil Work Program." U. S. Army Corps of Engineering, *IWR Report*, 99-PS-1.

Norris, R. H., Prosser, I., Young, B., Liston, P., Bauer, N., Davies, N., Dyer, F., Linke S., and Thoms, M. (2001). *An Audit of the Ecological condition of Australian Rivers*. National Land and Water Resources Audit office.

OECD (1998). *Towards Sustainable Development: Environmental Indicators*. Organization of Economic Cooperation and Development, pp. 41-52.

Ohlsson, Lief. (1999). *Environment, Scarcity and Conflict : A study of Malthusian Concerns*. Ph. D. dissertation, Dept. of Peace and Development Research, University Göteborg, pp. 250-261.

Stockholm Environment Institute (1997). *Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World (vols. 1-8)*. Stockholm: SEI, pp. 51-55.

Sullivan, C. A. (2001). "The Potential for Calculating a Meaningful Water Poverty Index." *Water International*, Vol. 26, No. 4, pp. 471-480.

Sullivan, C. A. (2002). "Calculating a Water Poverty Index." *World Development*, Vol. 30, No. 7, pp. 1195-1210.

UNDP (2001). *UNDP Human Development Report*, UNDP, pp. 149-241.

<http://www.centex-indicators.org>

<http://www.ciesin.org/indicators/ESI>

<http://www.me.go.kr>

<http://www.nerc-wallingford.ac.uk/research/WPI>

<http://www.scotland.gov.uk/Home>

<http://www.sustainablemeasures.com>

<http://www.undp.org>

<http://www.worldbank.org>

(논문번호:05-66/접수:2005.05.10/심사완료:2005.08.04)