

지속가능한 수자원개발과 관리를 위한 지표 연구

○ 이 동 료* / 최 시 중**

1. 서 론

우리나라와 같은 물 부족 국가에서 수자원의 확충과 배분은 지속가능한 발전에 대한 여러 가지 방법론에서 목표와 논의의 핵심이 되고 있다. 지속가능한 발전의 원칙은 경제, 사회 및 환경 3부문의 상호균형과 연계성을 강조한 통합에 기반을 두고 있으며 지속가능한 발전의 여러 분야 중 수자원 개발과 관리의 목표는 환경적인 피해를 최소화하고 최소한의 비용으로 사회의 복지향상을 추구하는 것이다. 또한, 이들 경제, 사회 및 환경의 목표 달성은 지속가능한 발전의 기반이 되기 때문에 기본적으로 지속가능한 수자원개발과 관리를 실행하기 위해서는 기술적 도구들이 개발되어야 하고, 이들에 의해 산출된 결과를 대중과 공유할 수 있는 정보공유시스템 등이 필요하다. 즉, 현업에서 지속가능한 발전의 개념을 수자원개발과 관리와 연계하기 위해서는 이를 위한 지표의 개발과 분석이 필요하다. 최근 여러 국가 및 국제기구에서는 지속가능한 발전을 평가하기 위해 많은 지표를 개발하였다. 이를 토대로 각국의 지속가능한 발전을 평가하고 자국 나름대로의 기준과 지표를 만들고 있지만 우리나라에서는 최근에 대통령자문 지속가능발전위원회(PCSD)를 설립하여 이를 위해 노력하고 있는 정도이다. 따라서 국내에서는 지속가능한 수자원개발과 관리를 위한 연구가 미비한 실정이다.

본 연구에서는 지속가능한 수자원개발과 관리를 평가할 수 있는 지표의 정의 및 선정기준 등을 소개하고 국내실정에 맞는 지표개발에 대한 연구방향을 제시하고자 한다.

2. 지표의 정의 및 체계

2.1 지표의 정의

지표란 여러 부문의 관측값 중에서 현상을 가장 잘 설명해줄 수 있는 대표적인 값을 일정기준에 따라 선정된 것을 의미한다. 지속가능발전지표(Sustainable Development Indicators)는 경제, 환경, 사회 요소를 고려한 통합된 지표로서 현재와 미래에 영향을 미치는 정보를 확보하여 지속가능성 정도를 평가하는 수단으로 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.

2.2 지표의 요건 및 선정기준

지표는 지속가능성을 평가하는 중요한 요소이므로 지표를 개발할 때에는 어떤 기준을 마련하여 그에 합당한 것들을 선택해야 한다. 하지만 어떤 개발된 지표가 제시된 기준들을 모두 만족시키기란 어려운 일이므로 최대한 기준에 근접한 지표를 개발하는 것이 중요한 일이며 제시한 지표의 요건은 문제의 대상범위와 특징에 따라서 조정되어야 한다.

지속가능한 수자원개발과 관리에 대해 개발되어질 수 있는 지표의 수는 무수히 많다. 그러나 이들 지표들 모두를 지속가능성 평가를 위해 이용하기란 어렵다. 각각의 지표에 대한 자료의 취득도 어려울 뿐만 아니라 많은 지표를 통한 지속가능성 평가는 모든 이에겐 혼란을 줄 수도 있는 등 많은 문제점을 야기할 수 있다.

* 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 수석연구원
** 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원

따라서 개발될 수 있는 많은 지표들 중 여러 가지 선정기준을 통해 지속가능한 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).

<p><지표의 선정기준></p> <ul style="list-style-type: none"> • 지속가능한 발전의 목표와 연관될 수 있는 지표를 선정 • 측정이 가능하여야 하고, 계산이 간편하며 결과해석이 용이하고 수치적으로 정량화될 수 있는 것들을 선정 • 미래에 대한 상황변화와 관련 정책의 변화를 수용할 수 있는 지표를 선정 • 지표를 뒷받침하는 자료취득이 용이하고 소요되는 비용이 비싸지 않은 것들을 선정 • 가공이 쉽고 그 절이 우수하며 충분한 양을 가진 것들을 선정 • 이해하기 쉽고 명확하여야 하며 문서화 또는 전산화되어 정보제공효과를 가진 것들을 선정 • 지표는 국가간, 지역간 상호 비교와 평가가 가능하도록 표현되어야 할 수 있는 것들을 선정 • 일정기간 추세를 보여주면서 장기간에 걸쳐 측정될 수 있는 지표로 개인뿐만 아니라 이해관계자 모두에게 의미있는 지표를 선정

2.3 지표의 구성체계

지속가능발전지표의 기본구성체계로서 DSR(Driving force-State-Response) 구조와 PSR(Pressure-State-Response) 구조가 있으며 본 연구에서는 PSR구조를 사용하였다. PSR 구조는 압력(Pressure), 상태(State), 반응(Response)의 지표인데 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.

2.4 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 개별 국가 수준에서도 미국과 영국 등 여러 국가들이 자국의 지속가능발전지표 집합을 구성하기 위해 노력해 왔다. 또한 Sustainable Measures에서는 여러 분야에 걸쳐 많은 지표들을 개발하여 지속가능한 발전에 대한 평가를 하고 있으며 국제기구 World Bank에서도 지속가능한 발전의 정도를 나타내고 이를 평가할 수 있게 하기 위해 여러 국제기구와의 협력을 통해 환경, 사회, 경제 등 여러 분야의 지표를 개발하였고 이에 대한 자료를 제공하고 있다. 반면 국내에서는 지속가능성을 평가할 수 있는 지표의 개발에 있어서 국제기구나 선진국과 같은 체계적인 지표의 개발은 이루어지지 않고 있으며 특히 수자원 분야를 위한 지표의 개발은 물론이고 지표 개발에 대한 개념도 상당히 부족한 실정이다. 국내에서는 도시의 상태를 파악하기 위한 상태지표 위주의 연구가 한표완(1995)과 성현찬(1995)에 의해 진행되었으며 이동근(1998)은 지속가능한 도시개발을 위해 환경지표들을 제시하였다. 윤하연(1999)은 인천광역시 각 자치단체의 환경에 대한 압력과 환경상태 그리고 이에 대한 대응정책을 평가하는데 적합한 환경지표를 개발한 정도이다.

표 1. 지표개발현황

OECD	UNCSD	EU	미국	영국
환경지표 18개 사회경제지표 15개	사회지표 18개 환경지표 19개 경제지표 14개 제도지표 6개	사회지표 22개 환경지표 16개 경제지표 21개 제도지표 4개	경제지표 13개 사회지표 11개 환경지표 16개	분야별로 구분하지 않음
총 33개	총 57개	총 53개	총 40개	총 118개

3. 지표의 개발

본 연구에서는 국내 실정에 맞는 지표를 자연상태를 잘 표현할 수 있는 PSR 구조에 따라 지속가능한 수자원개발과 관리를 위한 지표를 개발하였다. 인간과 수자원과의 관계를 나타내는 압력지표에는 중간지표 5개와 개별지표 15개를, 수자원의 상태를 표현해 주는 상태지표로는 중간지표 4개, 개별지표 19개를 개발하였다. 수자원의 변화를 저감시키기 위한 인간의 활동을 제시할 수 있는 대응지표로는 5개의 중간지표와 17개의 개별지표를 개발하였다. 개발된 지표들은 목표와 요구의 변화에 따라 변경될 수 있으며 차후 연구를 통해 수정, 보완되어야 할 것이다. 개발된 지표 등을 통해 유역별 또는 행정구역별 수자원현황과 개발방향을 제시할

수 있을 것이다.

4. 지표 분석

지속가능발전지표에 대한 연구는 국내외적으로 활발하게 이루어지고 있으나, 그 구체적인 적용방안이나 방법론에 대한 연구는 매우 미흡하다. 특히 지속가능발전지표를 이용한 수질관리나 수자원 관리 등은 그 접근 방법의 어려움과 구체적 방법론의 미정립으로 인해서 단순 지표만을 이용한 시험적인 적용만이 이루어지고 있을 뿐이다.

4.1 지표의 국제적인 적용

국제기구 및 여러 나라에서 개발되었던 지표들 중 수자원개발과 관리에 관계된 지표를 통해 국제적인 경향을 살펴볼 수도 있다. 개발된 지표 중 Ohlsson(1999)은 SWSI (Social Water Stress /Scarcity Index)를 개발하였으며 이 지표는 가장 쉽게 이용할 수 있는 사회적 수자원에 대한 수용도를 나타낸다. WSI (Water Stress Index)를 HDI (Human Development Index)로 나눈 값으로써 WSI는 일년간 재생가능한 물 백만 cm³를 사용할 수 있는 백명 단위의 인구수로 구할 수 있으며 HDI는 수명, 교육수준, 생활수준을 토대로 UNDP에서 1997년에 1994년 자료를 통해 물 부족에 대처하는 사회적 수자원에 대한 수용도를 나타낸 것이다. 지표의 분석결과 중 OECD에 가입한 몇 개국의 1995년 자료를 살펴보고, 2001년 World Bank에서 제공하고 있는 지표들 중 1999년 OECD 국가들의 1인당 총 담수의 양과 1998년 수자원 오염 배출량에 대해 살펴본 내용은 표 3과 같다. 이 지표들을 통해 우리나라는 물에 대한 압력을 받고 있음을 알 수 있으며 다른 OECD 국가들에 비해 이용할 수 있는 담수의 양도 적음을 알 수 있다.

4.2 지표의 국내 적용

본 연구에서는 앞서 개발된 지표들의 행정구역별(시, 도별) 최근 5년간의 자료를 각종 통계자료와 인터넷

표 2. 지속가능한 수자원개발과 관리를 위한 지표

종 류	중 간 지 표	세 부 지 표
압 력 지 표 (Pressure)	인간의 활동	인구밀도 교통밀도
	수자원의 이용 및 기상 현상	생활용수사용량
		지하수사용량
		강우량
		상수층두께
		토양수분
	토지이용변화	산림면적 변화율
		하천면적 변화율
		경지면적 변화율
		생활하수 처리량
비료소비량		
환경부하	토양오염유발시점수	
	수질오염 배출시점 현황	
	실업률	
상 태 지 표 (State)	수 자 원 현 황	1인당 사용가능량
		지하수개발의 정도
		광역상수도 공급현황
		1인당 1일 물 소비량
		부수해 피해현황
	토 지 구 조	하천면적
		산림면적
		농지면적
		지역내 GDP
		지하수개발시점 현황
경 제	수자원에의 의존도	
	경제활동참가율	
	한수처리시설용량	
	주요 하천의 수질현황	
	지하수의 수질현황	
환 경 부 하	공공위생 관계업소 현황	
	토양 중금속 농도	
	수질측정망 현황	
	하수처리율	
	하수도 용량현황	
대 응 지 표 (Response)	수 질 향 상	수질오염 배출시점 단속 및 행정조치 현황
		수질관련 배출부과금 징수현황
		상수원 보호구역 지정 현황
		하수도관련 공사비지출 현황
		하수처리능력
	수 자 원	상수도관련 세출현황
		상수도 용량현황
		공해해 복구현황
		수자원관련 공무원수
		인 간 활 동
환 경	지역내 대기오염 현황	
	환경오염 배출시점 단속 및 행정조치 현황	
	환경보존조치현황	
자 연	주수보호구역 지정현황	
	공회 현황	

표 3. 수자원개발과 관리에 대한 지표의 분석사례

Country	Indicators			Degree of WSI	Degree of SWSI	Freshwater resources	Emissions of organic water pollutants
	WSI	HDI	SWSI				
	100 people pre flow unit	HDI 1994	WSI/HDI/2	0-5 relative sufficiency, 6-10 stress, 11-20 scarcity >20 beyond the barrier		Total resources pre capita	kilograms per day
Australia	1	0.931	0	Rel.suffic.	Rel.suffic.	18,559	173,269
Austria	1	0.932	0	Rel.suffic.	Rel.suffic.	10,381	78,040
Belgium	8	0.932	4	Stress	Rel.suffic.	-	113,460
Canada	0	0.960	0	Rel.suffic.	Rel.suffic.	91,567	298,209
Czech Republic	2	0.882	1	Rel.suffic.	Rel.suffic.	1,557	165,993
Denmark	4	0.927	2	Rel.suffic.	Rel.suffic.	1,127	92,733
Finland	0	0.940	0	Rel.suffic.	Rel.suffic.	21,293	63,692
France	3	0.960	2	Rel.suffic.	Rel.suffic.	3,258	585,382
Germany	5	0.924	3	Rel.suffic.	Rel.suffic.	2,168	811,316
Greece	2	0.923	1	Rel.suffic.	Rel.suffic.	6,548	58,134
Hungary	1	0.857	0	Rel.suffic.	Rel.suffic.	11,919	140,894
Iceland	0	0.942	0	Rel.suffic.	Rel.suffic.	-	-
Ireland	1	0.929	0	Rel.suffic.	Rel.suffic.	13,859	34,176
Italy	3	0.921	2	Rel.suffic.	Rel.suffic.	2,906	359,578
Japan	2	0.940	1	Rel.suffic.	Rel.suffic.	3,397	1,391,281
Korea Rep.	7	0.850	4	Stress	Rel.suffic.	1,490	317,903
Luxembourg	1	0.892	0	Rel.suffic.	Rel.suffic.	-	-
Mexico	3	0.853	1	Rel.suffic.	Rel.suffic.	4,742	158,505
Netherlands	2	0.940	1	Rel.suffic.	Rel.suffic.	5,758	122,843
New Zealand	0	0.937	0	Rel.suffic.	Rel.suffic.	85,811	50,706
Norway	0	0.943	0	Rel.suffic.	Rel.suffic.	88,117	59,745
Poland	7	0.834	4	Stress	Rel.suffic.	1,630	386,376
Portugal	1	0.890	1	Rel.suffic.	Rel.suffic.	7,208	137,314
Slovak Republic	2	0.873	1	Rel.suffic.	Rel.suffic.	15,382	61,108
Spain	4	0.934	2	Rel.suffic.	Rel.suffic.	2,844	348,262
Sweden	0	0.936	0	Rel.suffic.	Rel.suffic.	20,096	91,248
Switzerland	1	0.930	1	Rel.suffic.	Rel.suffic.	7,427	123,752
Turkey	3	0.772	2	Rel.suffic.	Rel.suffic.	3,162	186,269
United Kingdom	8	0.931	4	Stress	Rel.suffic.	2,471	611,743
United States	1	0.942	1	Rel.suffic.	Rel.suffic.	8,906	2,577,002

등을 통해 수집하여 각 시, 도별 지표값을 구한 후 이들을 표준화시켜 비교, 분석하였다. 따라서 각 행정구역별 압력지표를 통해 인간과 수자원의 관계를 알아보았으며 상대지표로써 수자원의 상태를, 대응지표를 통해 수자원의 변화에 대한 저감정도를 알아보았다. 또한 이 지표들을 통해 대중에게 현재 국내의 수자원현황을 제공할 수 있으며 앞으로의 수자원 정책결정에 정보를 제공할 수 있으리라 사료된다. 지표의 분석 사례중 풍수해 피해액에 대한 지표의 분석결과와 1인당 1일 급수량의 최근 5년간 지표분석 결과를 그림 1, 2에 도시하였다.

5. 향후 연구 방향

본 연구를 통해 국내 수자원 분야에 대한 지속가능성을 평가할 수 있는 연구가 미비하다는 사실을 알 수 있었다. UNCSO에서는 각 국가별로 지표를 통해 자국을 평가하고, 자국에 맞는 기준과 지표를 개발하도록 권장하고 있다. 또한 선진국의 경우는 기준과 지표를 통해 유역을 관리함으로써 유역통합관리를 실행하고자 하고 있다. 예로 미국의 텍사스에서는 여러 분야의 지표를 개발하고 그에 대한 분석을 통해 그 지표의 경향과 앞으로의 대책 등을 대중에게 제시함으로써 지속가능한 발전을 꾀하고 있다. 반면 우리나라는 대통령자문 지속가능발전위원회를 설립하여 노력하고 있지만 아직까지 구체적인 연구는 이루어지고 있지 않는 실정이다.

우리나라도 지속가능한 수자원개발과 관리를 위해 한 분야가 아닌 사회, 경제, 환경 등 많은 분야에 걸친 발전을 도모하기 위해 여러 전문가들에 의한 지표를 개발하여야 하며 대중의 참여를 이끌 수 있는 제도적 장치를 마련해야 한다. 또한, 지표의 보완과 수정을 통해 국내실정에 맞는 지표를 개발하여야 하며 지표에 대한 경향 분석 및 대책 등을 제시하여야 한다. 개발된 지표들을 통해 유역별 또는 행정구역별 지속가능성을 평가하여 수자원의 상황과 개발방향을 제시함으로써 정책방향에 도움을 줄 수 있는 자료와 일반 시민에게 보여줄 수 있는 정보를 제공할 수 있을 것이다.

6. 참고문헌

성현찬 (1995). 경기도의 쾌적환경평가 및 지표개발에 관한 연구, 경기개발연구원.
 윤하연 (1999). 인천광역시 환경지표의 개발과 적용. 인천발전연구원.
 이동근, 윤소원 (1998). "지속가능한 도시개발을 위한 환경지표에 관한 연구 - 인간과 자연과의 공생지표를 중심으로." 환경영향평가, 제7권, 제1호, pp. 93-107.
 한표완 (1995). 도시지표의 개발과 적용에 관한 연구. 한국지방행정연구원
 Ohlsson, Lief (1999). *Environment, Scarcity and Conflict : A study of Malthusian Concerns*. Ph.D. dissertation, Dept. of Peace and Development Research, University Göteborg.
<http://www.pcsd.go.kr>
<http://www.sustainablemeasu>
<http://www.worldbank.org>

- 감사의 글 -

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호#1-5-1)에 의해 수행되었습니다.

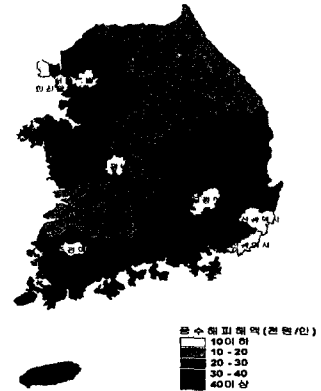


그림 1. 풍수해 피해액 지표

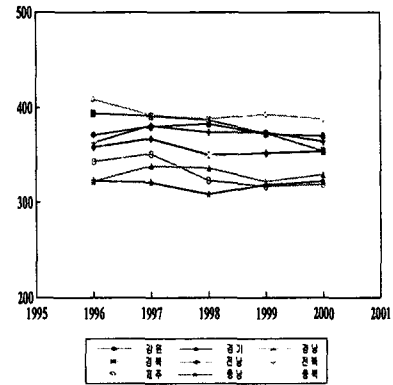


그림 2. 1인당 1일 급수량 지표