

국가별 수자원평가지표 비교 평가

Comparative Analysis of Countries based on Water Evaluation Indicators

최시중* , 이동률** , 김휘린***

Si Jung Choi, Dong Ryul Lee, Hwi Rin Kim

요 지

최근 들어 수자원 계획과 관리에 대한 평가를 위해 수문, 사회, 경제 및 환경 지표들을 이용하여 평가하고자 하는 노력들이 지속되고 있다. 이를 통해 수자원의 여건을 여러 지표들을 통합한 통합지표로 평가함으로써 객관적이고 투명한 결과로 도출하고자 하고 있다. 여러 국제기구 및 연구단체에서는 최근 논의가 되고 있는 지속가능한 발전을 평가하기 위해 각 국가별 자료를 수집하여 지표분석을 통해 각 국가별 상황을 제시하고 있다. 대표적인 통합지표로는 WPI(Water Poverty Index), HDI(Human Development Index)와 ESI(Environmental Sustainability Index) 등이 있으며 이 외에도 OECD, SEI 등과 같은 국제기구들이 여러 개별 지표들을 통하여 지속가능성을 평가하고자 하고 있다. 또한 가상의 물 교역(virtual water trade)을 통해 개발된 지표들을 이용하여 각 나라의 수자원 현황을 평가하였다.

본 연구에서는 개발되었던 경제, 사회의 통합지표인 HDI, 환경 통합지표인 ESI, 수자원관련 통합지표인 WPI 등을 소개하고 이를 통해 우리나라의 지속가능성을 평가하여 보았다. 또한 Virtual Water Trade를 통해 국가별 수자원 현황을 평가하였고 여러 개별지표 등을 통해 수자원 뿐만 아니라 경제, 사회, 환경 등 여러 분야에 대해 우리나라의 상황을 알아보았다. 이 연구를 통해 정확하게는 분석이 이루어졌다고 말할 수는 없지만 정책결정에 도움을 줄 수 있는 정보를 제공하였다고 생각된다. 또한 국내, 외의 여러 지표를 통해 국내 실정에 맞는 우리나라의 수자원을 평가할 수 있는 통합적인 수자원관련 지표 개발에 많은 도움을 주었으리라 사료된다.

핵심용어 : 지표, WPI, HDI, ESI, Virtual Water Trade

1. 서 론

지속가능한 수자원 개발과 관리를 위해 경제, 사회 및 환경의 다학제간 연계와 이들 각 부문별 이해관계자들의 참여를 통한 수자원 문제해결이 기본방향으로 자리잡아가고 있는 실정이다. 이를 위해 기술적 도구들이 개발되어야 하고, 이들에 의해 산출된 결과를 대중과 공유할 수 있는 정보공유시스템이 필요하게 되면서 수문, 사회, 경제 및 환경 지표들을 이용하여 수자원 계획과 관리에 대해 평가하고자 하는 노력들이 지속되고 있다.

수자원 계획과 관리에 대한 평가는 경제, 사회 및 환경에 대한 여러 지표들을 통합한 통합지표로 평가하거나 각각의 개별지표 등을 통해 이루어지고 있다. 이를 통해 객관적이고 투명한 결과를 도출하고자 하고 있으며 이런 통합평가가 없이는 우리 자신이 처한 수자원 환경을 객관적으로 모니터링하는데 한계가 있다. 또한, 대중에게 수자원 정책의 정당성에 대한 설득력을 얻는데 실패할 수 있고, 결국 지속가능한 수자원 관리의 실패로 이어질 수 있다.

* 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : sjchoi@kict.re.kr
** 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : dryi@kict.re.kr
*** 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : hrkim@kict.re.kr

2. 통합지표를 통한 지속가능성 평가

본 연구에서는 여러 통합지표들 중 Sullivan(2001, 2002)가 제시한 WPI, UNDP(United Nations Development Programme)와 CIESIN(Center for International Earth Science Information Network)에서 제시한 HDI와 ESI를 통해 수자원 뿐만 아니라 사회, 경제, 환경 분야에 대한 우리나라의 상황을 살펴보았다.

WPI는 수문, 사회, 경제 및 환경 지표를 통합하여 제시된 지표로서 수자원의 양(Resource), 수자원 이용혜택(Access), 수자원의 사회적 관리능력(Capacity), 용도별 수자원 이용(Use), 환경(Environment) 등 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 자료를 이용하여 구할 수 있는 수자원의 양(Resource) 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. 이 3부분으로 구성된 자료를 합성하여 인류발전지표를 만들었다. 표 1에서 알 수 있듯이 다른 회원국보다 비교적 낮은 수치를 나타내고 있다. 이는 우리나라가 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 만들어졌다. ESI는 최근 여러 국가에 대해 적용하여 그 순위를 정해 발표하고 있으며 그에 대한 자료도 제공하고 있다. 환경시스템(Environmental system), 압력(Stress), 취약성(Vulnerability), 능력(Capacity), 국제적 참여(Global Stewardship) 등 총 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. 표에서 알 수 있듯이 우리나라는 OECD 회원국 중에 제일 낮은 값을 보이고 있다. 즉 환경적으로는 지속가능성이 희박하다는 사실을 알 수 있다. 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 환경보다는 경제, 사회 발전에 초점을 맞추어 발전이 이루어졌기 때문에 이에 대한 대책이 시급한 것으로 사료된다.

표 1. OECD 회원국별 통합지표

국 가	WPI	HDI	ESI
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
Korea(Rep.)	62.4	0.875	35.9
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

3. 개별지표를 통한 수자원 평가

3.1 가상의 물 교역(Virtual Water Trade)

가상의 물(virtual water)이라는 것은 Allan(1997)에 의해 제안된 것으로서 어떤 나라에서 생산품(곡물 등)이 생산되기 위해서는 물이 필요하며 생산품이 다른 나라로 수출되거나 혹은 다른 나라로부터 수입되면서 가상의 물이 이동된다는 것이다. 이를 통해 Hoekstra(2003)는 가상의 물 개념을 이용하여 여러 지표를 개발하여 이를 세계 여러 나라에 적용하였다. 그 결과 중 OECD 회원국에 대한 결과는 표 2에 나타내었으며 이는 1995-1999년 자료를 평균하여 구한 것이다.

가상의 물 교역(virtual water trade)은 한 나라에서 다른 나라로 수출되는 곡물의 양과 그 곡물을 생산하기 위해 필요한 수자원량을 곱하여 계산되어진다. 따라서 한 나라의 순수 가상의 물 수입량(net virtual water import)은 총 가상의 물 수입량에서 총 가상의 물 수출량을 뺀 값으로 구할 수 있다. 표 2에 나타낸 물부족율(water scarcity)은 한 나라의 총 물사용량을 총 물이용가능량으로 나누어

구할 수 있으며, 물자급자족율(water self-sufficiency)은 한 나라의 총 물사용량을 총 물사용량과 순수 가상의 물 수입량을 합한 값으로 나누어 구할 수 있다. 또한 물의존율(water dependency)은 순수 가상의 물 수입량을 한 나라의 총 물사용량과 순수 가상의 물 수입량을 합한 값으로 나누어 구한다.

표 2를 살펴보면 우리나라는 물부족율이 다른 OECD 회원국들보다 높은 수치를 보이고 있다. 다시 말해 이용가능한 수자원을 많이 사용하고 있다는 사실을 의미한다. 이는 우리나라가 OECD 회원국들 중에 인구밀도가 높기 때문에 이런 결과가 나올 수도 있다. 하지만 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 있다. 다시 말해, 수입과 수출에 많은 중점을 두고 있는 경제 구조라는 것을 알 수 있다.

표 2. OECD 회원국별 Virtual water trade

국 가	Water withdrawal (10 ⁶ m ³ /yr)	Water availability (10 ⁶ m ³ /yr)	Net virtual water import (10 ⁶ m ³ /yr)		Water Scarcity (%)	Water self-sufficiency(%)	Water dependency (%)
			Crop	Livestock			
Australia	27312	343000	-29119.3	-29273.3	8.0	100.0	0.0
Austria	2424	90300	304.9	-1190.5	2.7	100.0	0.0
Belgium	9237	12500	11915.4	-3261.1	73.9	43.7	56.3
Canada	47246	2901000	-54494.0	-9628.4	1.6	100.0	0.0
Czech Republic	2727	58200	484.5	-422.2	4.7	84.9	15.1
Denmark	1210	13000	-461.0	-5646.6	9.3	100.0	0.0
Finland	2243	113000	-172.9	-294.1	2.0	100.0	0.0
France	38570	198000	-17675.1	-4400.6	19.5	100.0	0.0
Germany	47303	171000	13589.1	-459.0	27.7	77.7	22.3
Greece	7109	58700	-1966.6	2163.9	12.1	138.2	-38.2
Hungary	6678	120000	-3954.0	-907.3	5.6	100.0	0.0
Iceland	167	168000	63.2	-27.3	0.1	72.5	27.5
Ireland	808	50000	743.9	-6261.0	1.6	100.0	0.0
Italy	56362	167000	12863.7	18538.9	33.7	81.4	18.6
Japan	91945	547000	59443.6	22316.6	16.8	60.7	39.3
Korea(Rep.)	29558	66100	22513.6	7092.8	44.7	56.8	43.2
Mexico	84209	357400	8986.7	2854.9	23.6	90.4	9.6
Netherlands	8039	90000	29539.7	-4817.7	8.9	21.4	78.6
New Zealand	1992	327000	887.5	-14276.2	0.6	100.0	0.0
Norway	2077	392000	2203.6	-193.7	0.5	48.5	51.5
Poland	12349	56200	3757.7	-2107.5	22.0	76.7	23.3
Portugal	7257	69600	6228.1	2178.0	10.4	53.8	46.2
Slovakia	1818	30800	-590.8	-76.5	5.9	100.0	0.0
Spain	30968	111300	16503.6	50.3	27.8	65.2	34.8
Sweden	2990	180000	-839.9	560.7	1.7	100.0	0.0
Switzerland	1146	50000	1936.5	209.4	2.3	37.2	62.8
Turkey	36237	193100	2053.1	1055.0	18.8	94.6	5.4
United Kingdom	11929	71000	-970.4	3951.4	16.8	108.9	-8.9
United States	492259	2478000	-151660.0	-12338.1	19.9	100.0	0.0

3.2 여러 개별지표를 통한 수자원 평가

각각의 개별지표를 통해서도 수자원을 평가할 수 있다. OECD(2002)에서는 회원국들에 대한 수자원 관련 지표를 1999년 자료를 이용하여 제시하였다. 제시한 결과는 표 3과 같다.

표 3을 통해 알 수 있듯이 우리나라는 농업용수의 비율이 전체 담수 중 60.1%로 높은 수치를 보이고 있으며 지표수와 지하수의 자료를 통해 우리나라 수자원량이 적은 편이 아님을 알 수 있지만 인구밀도가 높기 때문에 1인당 이용가능한 물의 양은 적다. 또한, 이용할 수 있는 수자원의 대부분은 지표수로 이루어져 있음을 알 수 있다. 마지막으로 하수처리 시설에 대한 자료를 통해 선진국에 비해 우리나라의 시설은 조금 미보급된 면이 있음을 알 수 있다. 하지만 현재 정부에서는 하수처리시설에 대해 지속적인 투자를 하고 있기 때문에 차츰 증가하고 있는 실정이다.

이 외에도 국제기구나 세계 여러 연구단체에서는 여러 지표들을 개발하여 제시하고 있으며 이들 지표들은 수자원 뿐만 아니라 사회, 경제 및 환경 등 모든 분야에 관한 것들이다. 이를 통해 한 나라의 지속가능한 발전을 평가할 수 있으며 사회, 경제 및 환경의 현황을 파악할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 통합지표와 개별지표를 통해 국내 수자원 및 사회, 경제 및 환경의 현황을 알아보았다. 여기서 제시한 지표들로 지속가능성을 정확하게 평가할 수 있다고는 말할 수 없으나 몇몇 지표들은 의미있는 결과를 보여준다. 그러나, 이 지표가 아주 분명한 수치를 제시하거나 특정 상황에 대해 총체적으로 정확한 결과를 제시하는 것은 아니다. 그 어떤 지표로도 이런 기능을 할 수는 없을 것이다. 따라서 한 나라 안에서 구체적인 의사결정을 하기 위해서는 지역별로 평가를 하는 것이 필수적이다. 또한 우리나라의 수자원을 평가할 수 있는 통합적인 수자원관련 지표를 개발함으로써 정책결정에 도움을 주고 대중에게 정보를 제공할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 우선적으로 수자원 뿐만 아니라 모든 분야에 대한 자료가 충분해야 한다는 것이다. 지속가능성을 평가하기 위해서는 지표를 이용해야 하며 이 지표들은 자료를 통해 구해질 수 있다.

표 3. OECD 회원국별 개별지표

국 가	Water Supply (Public) (%)	Water Supply (Irrigation) (%)	Surface water (million m ³)	Groundwater (million m ³)	하수처리인구 (%)
Australia	-	74.6	19109	4962	-
Austria	17.0	1.5	2496	1065	81.4
Belgium	9.8	0.1	6802	641	38.6
Canada	-	-	-	-	75.0
Czech Rep.	42.0	0.4	1419	557	62.4
Denmark	58.4	18.6	20	734	89.0
Finland	17.4	1.7	2043	285	80.0
France	19.4	11.0	24240	6101	77.0
Germany	13.7	0.4	33880	6710	90.5
Greece	9.9	87.4	5023	3563	56.2
Hungary	12.7	1.2	4822	831	26.0
Iceland	47.4	-	4	152	16.4
Ireland	-	-	951	225	61.0
Italy	18.0	46.0	-	-	63.0
Japan	18.5	66.1	77300	11900	62.0
Korea	27.0	60.1	22200	2600	68.4
Luxembourg	62.6	0.3	29	32	95.0
Mexico	12.6	82.7	53017	25385	23.8
N.Zeal.	..	-	1200	800	80.0
Netherl.	28.6	-	3427	998	97.9
Norway	-	-	-	-	73.0
Poland	21.2	0.8	9339	1936	51.5
Portugal	6.8	79.1	4800	6290	55.0
Slovak Rep.	37.5	0.8	684	465	48.8
Spain	13.2	68.2	35323	5532	48.3
Sweden	35.1	3.7	2026	642	93.0
Switzerl.	41.4	-	1689	877	95.8
Turkey	14.7	75.1	29552	6000	11.6
UK	53.1	1.1	8658	2504	91.7
USA	-	-	-	-	71.4

따라서 자료의 중요성은 매우 크다. 또한 국내에서 수자원 개발과 관리에 대한 구체적인 의사결정을 하기 위해서 이런 평가를 통해 대중의 참여와 투명한 정책개발을 유도해야 한다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

1. Allan, J. A.(1997). Virtual Water : a long term solution for water short Middle eastern economies, Proceedings of the 1997 Leeds Conference, Leeds : the British Association.
2. 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.
3. OECD(2002). OECD Environmental Data Compendium 2002, World Resource Institute.
4. Sullivan, C. A.(2001). The Potential for Calculating a Meaningful Water Poverty Index, Water International, Vol.26, No.4, pp. 471-480.
5. Sullivan, C. A.(2002). Calculating a Water Poverty Index, World Development, Vol.30, No.7, pp. 1195-1210.
6. <http://www.undp.org/>
7. <http://www.ciesin.org/indicators/ESI/>