

수자원통합지수를 이용한 수자원 관리

Management of Water Resources based on the Integrated Water Resources Index

최시중*, 이동률**, 문장원***, 강성규****, 서재승*****
Si-Jung Choi, Dong-Ryul Lee, Jang-Won Moon, Seong-Kyu Kang, Jae-Seung Seo

요 지

건전한 물순환체계 구축을 위해서는 물이용, 치수, 하천환경 등 각 분야별 평가뿐만 아니라 수자원 현황을 평가할 수 있는 통합지수 개발이 절실히 요구되고 있다. 외국의 사례에서도 찾아볼 수 있듯이 현재 국외에서는 지표 및 지수개발을 통해 수자원 관련 현황과 정책의 방향성 및 사업의 성과 등을 평가하려는 노력이 지속되고 있다. 또한 국제기구에서는 세계 각국의 관련 자료를 수집, 분석하고 이를 지표 및 지수화하여 각국의 순위를 매김으로써 각 나라의 현주소를 제시하고 있다. 이에 대해 최근 들어 국제기구에서는 우리나라의 물 관련 현황에 대한 자료 및 통계치를 요구하는 사례가 늘어나고 있다. 따라서 우리나라의 수자원 관련 자료를 조사, 수집하고 분석한 올바른 정보를 제공함으로써 보다 합리적인 분석을 수행할 수 있도록 지원해야 한다.

본 연구에서는 국내 수자원 현황과 사업의 효과를 평가하기 위해 물이용의 취약정도를 평가하는 물이용 취약지수와 홍수 위험도를 평가하는 홍수위험지수 및 하천환경 취약정도를 평가하는 하천환경취약지수로 구성된 물행복지수(Water Happiness Index : WHI)를 개발하였다. 개발된 물행복지수를 통해 각 중권역에 대해 지수 값을 산정하여 비교·분석함으로써 수자원 현황을 시·공간적으로 분석하였다. 물행복지수는 여러 가지 기초정보만으로는 판단하기 어려운 수자원 현황 및 변화를 하나의 수치로 판단할 수 있는 척도를 제공할 수 있으며 연도별 분석을 통해 수자원 현황 및 특성 변화를 파악할 수 있어 수자원 관련 정책 수립 시 각 지역의 과거에서부터 현재까지의 연도별 수자원 특성을 반영한 대책을 세우는 데 유용하게 이용될 것으로 판단된다. 또한 국가 수자원 정책과 사업성과에 대한 평가가 가능할 것이며 수자원 정책 수립 지원을 위한 기반 정보를 제공할 것으로 기대된다.

핵심용어 : 물이용취약지수, 홍수위험지수, 하천환경취약지수, 물행복지수

1. 서론

건설교통부(2006)는 수자원정보화 기본전략수립을 통하여 2011년까지 실천계획으로서 수자원관리종합정보시스템(WAMIS, WAter Management Information System)의 정보화 구축전략을 제수립하였다. 시스템 구축의 기본방향은 다양한 물 정보 생산 및 제공을 위하여 유역조사를 통한 수문 및 하천 정보의 기초자료 관리체계를 구축하고 이를 기반으로 홍수와 하천수 관리 및 수자원계획 등 물관련 업무지원체계를 구축하며 최종적으로 물이용, 치수 및 하천환경 정책 결정을 수행할 수 있는 “국가수자원관리종합정보시스템”의 구축으로 구성되어 있다. 수자원 계획 부문은 지역별 물이용, 치수 및 하천환경 평가 체계를 구축하는 것으로 계

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원 · E-mail : sjchoi@kict.re.kr
** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구위원 · E-mail : dryi@kict.re.kr
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 수석연구원 · E-mail : jwmoon@kict.re.kr
**** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원 · E-mail : skkang@kict.re.kr
***** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구위원 · E-mail : jsseo@kict.re.kr

획되었다. 이는 수자원 사업의 성과와 홍보를 위한 시·공간적 물이용·치수·하천환경의 과거와 현재의 현황과 사업의 성과를 진단할 수 있는 계량화 지수를 개발하는 것이다. 기존의 사업의 성과 지표로서 물이용의 경우 수자원 확보량, 광역상수도 보급률 등, 치수의 경우 하천개수율, 홍수조절용량, 상습침수구역 등과 하천환경의 경우 자연형 하천개수구간 등 대책에 대한 개별 지표로 제시되어 왔다. 그러나 이들 대책 지표의 한계는 물이용·치수·하천환경 피해의 원인과 현상 지표와의 연계성이 부족하다는 점이다. 예로 치수대책은 충분하지만 계획을 초과하는 홍수의 빈발로 인한 피해가 가중될 경우 대책 지표로만 치수관리상황을 표출하는 데는 한계가 있다. 또한 현재의 대책 지표로서는 시·공간 즉, 연도 및 지역별 사업성과의 상대적 비교가 곤란하고 물이용·치수·하천환경 사업을 통하여 어떠한 효과를 얻었는가에 대한 통합효과의 표출이 곤란하다.

본 연구에서는 분야별(이수, 치수 및 하천환경) 특성 및 현황을 평가할 수 있는 평가지수와 국내 수자원 현황과 사업의 효과를 평가하기 위해 수자원통합지수를 개발하였으며 이를 중권역별로 산정하여 제시함으로써 수자원 정책 수립 지원을 위한 기반 정보를 제공할 수 있는 기틀을 마련하고자 한다.

2. 수자원통합지수 개발

수자원통합지수의 인과관계 평가를 위해 지표의 구성체계 중 인과관계 접근방식인 P(Pressure)-S(State)-R(Response) 구조에 맞추어 국내 물이용, 치수 및 하천환경의 피해 원인 및 영향인자를 검토하여 전체 수자원특성을 분야별 압력, 현상, 대책지수 등 3개 분야로 분류하여 그림 1과 같이 제시하였다. 각 분야별 압력지수는 유역의 수자원 특성을 저해하는 물리적, 환경적 압박을 평가하기 위한 수단으로 총 10개의 세부지표를 개발하였다. 산정된 지수가 높을수록 해당 지역의 수자원 특성이 각종 재해 상황에 취약한 것으로 판단할 수 있다. 현상지수는 유역의 가뭄, 홍수, 수질 오염 등에 노출되어 있는 수준 판단 및 수자원 관련 피해 현황을 파악할 수 있는 지표로서 6개의 세부지표로 구성된다. 현상지수를 지역별로 비교함으로써 각 지역의 수자원 관련 피해 가능성에 대한 수준을 파악할 수 있다. 대책지수는 수질오염, 홍수피해, 물 부족 등과 같은 각종 수자원 관련 피해 발생 시 이에 대응할 수 있는 능력을 판단하기 위한 기준으로 10개의 세부지표로 구성된다. 산정된 지수를 지역별로 비교함으로써 지역별 대응능력의 분포를 파악하고 상대적으로 대응 능력이 미흡한 지역을 알 수 있어 해당 지역에 대한 대책 마련 시 이에 대한 기초 정보로 활용이 가능하다.

물이용 특성을 평가할 수 있는 물이용취약지수, 치수분야의 홍수위험지수 및 하천환경 특성을 평가할 수 있는 하천환경취약지수로 구성되는 수자원통합지수를 통해 국내 수자원 현황 및 수자원관리 목표를 평가할 수 있으며 수자원 관련 정책 수립 및 사업의 우선순위 평가에 유용한 도구로 활용될 것으로 기대된다. 물이용, 치수, 하천환경 지수를 종합적으로 나타낼 수 있는 수자원통합지수는 “물행복지수(Water Happiness Index, WHI)”라고 명명하였다.

3. 물행복지수 산정

물행복지수 산정방법 자체는 매우 직관적이다. 구축된 중권역별 분야별 세부지표의 단위 통일을 위한 표



그림 1. 수자원통합지수(물행복지수) 선정

준화과정을 거친 후 사회적 합의나 이론적 연구를 통해 도출된 ‘가중치’(weights)를 부여하여 합산함으로써 분야별 압력, 현상, 대책지수를 산정할 수 있다. 분야별 압력, 현상, 대책지수에 도출된 가중치를 부여하여 곱함으로써 분야별 평가지수를 산정하며 분야별 평가지수에 가중치를 부여하여 곱함으로써 최종적인 물행복지수를 산정할 수 있다. 각 분야별 평가지수는 UNDP(2007)의 HDI, Connor 등(2005)이 제시한 FVI, 건설교통부(2006)의 PFD 등 국내·외에서 널리 통용되고 있는 식을 이용하였다.

$$\begin{aligned} \text{분야별 평가지수}(FEI) &= \sum_{i=1}^{n_1} [\beta_1 FEI_{P_i} + \dots + \beta_{n_1} FEI_{P_{n_1}}]^{a_1} \\ &\quad \times \sum_{j=1}^{m_1} [\beta_1 FEI_{S_j} + \dots + \beta_{m_1} FEI_{S_{m_1}}]^{a_2} \times \sum_{k=1}^{o_1} [\beta_1 FEI_{R_k} + \dots + \beta_{o_1} FEI_{R_{o_1}}]^{a_3} \\ \text{물행복지수}(WHI) &= 120 - (WUVI^{\delta_1} \times FRI^{\delta_2} \times REVI^{\delta_3}) \end{aligned}$$

여기서, FEI_P : 압력지수, FEI_S : 현상지수, FEI_R : 대책지수, α 는 중간지수별 가중치, β 는 세부지표별 가중치, i, j, k : 압력, 현상, 대책지수에 속한 세부지표, $WUVI, FRI, REVI$: 물이용취약지수, 홍수위험지수, 하천환경취약지수, δ 는 각 평가지수별 가중치로서 본 연구에서는 동일가중치 부여

각 중권역에 대해 1990년부터 2005년까지 지수를 산정하였으며 홍수위험지수 특성상 매년 분석하기에는 이벤트성이 강하기 때문에 5년 단위로 분석하여 지수 변동 상황을 개략적으로 파악하였다. 1990~1994년, 1995~1999년, 2000~2005년도로 분류하여 해당 년도의 지수 값을 산술평균함으로써 물에 대한 행복도를 파악하였다. 그림 2는 중권역별 물행복지수 산정 결과를 연도별로 공간분포시킨 결과이다. 분석결과 1990년대 초반 물행복지수보다 2000년대의 지수 값이 크게 산정된 것을 알 수 있다. 이는 과거보다 최근 들어 풍부하게 물을 이용할 수 있도록, 보다 홍수로부터 안전할 수 있도록, 보다 깨끗한 하천환경을 만들 수 있도록 많은 정책과 대책, 그리고 사업들이 진행되었음을 보여주는 것이다. 본 연구에서 제시한 물행복지수는 현재까지 제공되고 있는 수자원 관련 자료를 통해 분석한 결과이므로 사람마다 느끼는 물에 대한 행복도와는 다른 개념으로 이해해야 한다. 몇몇 중권역에서는 1990년대 초반보다 1990년대 후반의 지수 값이 작은 곳도 있지만 대부분 시간이 흐름에 따라 지수 값이 증가하는 것으로 분석되었다. 반면 한강권역의 시화호 중권역, 낙동강권역의 낙동강남해 중권역, 제주도 권역의 제주도서해와 제주도동해 중권역은 최근 들어 아주 작은 폭으로 지수 값이 감소하였다. 물행복지수가 2000년대에 감소한 중권역 중 시화호 중권역은 물이용취약지수, 홍수위험지수 및 하천환경취약지수 모두 최근 들어 상승하였으며 낙동강남해 중권역의 경우 물이용취약지수는 큰 변동이 없었으며 홍수위험지수는 감소하였지만 하천환경취약지수가 크게 증가하였기 때문에 물행복지수가 낮아진 것으로 판단된다. 제주도서해와 제주도동해 중권역도 물이용취약지수와 홍수위험지수의 증가폭이 하천환경취약지수

감소폭보다 크기 때문에 물행복지수 값이 작아졌다. 본 연구에서 개발된 물행복지수를 통해 전반적인 지역별 수자원 현황 및 특성을 간략하게 평가할 수 있으며 분야별 평가지수를 통해 분야별 취약성과 위험성을 평가할 수 있는 것이

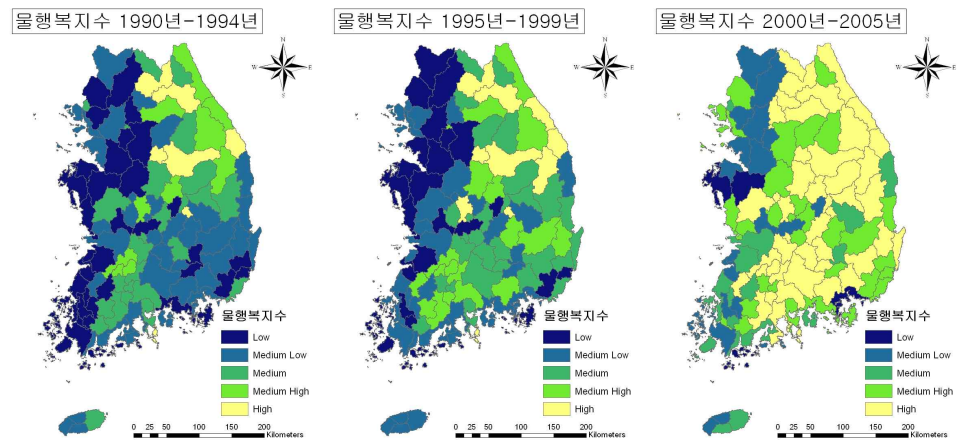


그림 2. 중권역별 물행복지수 산정 결과

다. 또한 선정된 세부지표를 통해 수자원관리 목표를 설정함으로써 수자원 관련 정책이나 사업의 방향성을 설정할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 물행복지수 현황 분석

물행복지수 산정결과와 Arc GIS를 통해 쉽게 이용할 수 있는 분위법을 이용하여 물에 대한 행복도가 가장 높은 High, 다소 높은 Medium High, 중간정도인 Medium, 다소 낮은 Medium Low, 가장 낮은 Low 구간으로 분류하였다. 또한 연도별 등급구간의 특성을 파악하기 위해 차지면적율을 계산하였다. 차지면적율은 5개 등급구간 중 각 등급구간에 속해 있는 모든 중권역 면적의 합을 전체 중권역 면적 합으로 나눈 값을 의미한다. 표 1은 권역별 물행복지수의 차지면적율 현황을 나타낸 것이다. 한강권역의 경우 행복도가 높은 High 구간이 과거에 비해 26.1% 증가하였으며 행복도가 낮은 Low 구간도 22.5%나 감소한 것으로 분석되었으며 물에 대해 느끼는 행복감이 큰 중권역이 크게 늘어나고 작은 지역이 감소하였다고 판단된다. 낙동강권역은 High와 Medium High 구간이 1990년대 초반보다 2000년대에 들어서면서 75.9%나 증가하였으며 행복도가 낮은 Medium Low와 Low 구간은 1990년대 초반 68.7%에서 2000년대에는 3.9%로 큰 폭으로 감소한 것으로 분석되었다. 낙동강권역은 물이용, 치수 및 하천환경과 관련된 많은 노력 등을 통해 물에 대한 행복도가 크게 향상된 것으로 판단된다. 금강권역과 섬진강권역의 경우도 낙동강권역과 마찬가지로 물에 대한 행복도가 작은 구간에 속한 중권역들이 행복도가 큰 구간으로 이동한 것으로 분석되었다. 반면 영산강권역의 경우 물에 대해 느끼는 행복감이 작은 등급구간인 Low에 속해 있는 중권역들의 차지면적율은 1990년대 초반 76.8%에서 2000년대 들어 0.0%로 현저하게 감소한 반면 행복도가 큰 High 구간의 차지면적율은 과거에 비해 7.6% 밖에 증가하지 않았다. 영산강권역에 대해 전체적인 물행복지수는 증가하였을지 몰라도 다른 권역에 비해 행복도가 높은 등급구간에 속해 있는 중권역이 많지 않다는 것을 의미한다. 영산권역의 차지면적율 현황 분석에 의하면 물행복지수 등급구간이 Medium과 Medium Low에 속해 있는 중권역의 차지면적율은 75.0%를 차지하고 있어 아직까지 영산강권역의 대부분 중권역에서 느끼는 물에 대한 행복도는 다른 권역에 비해 현저하게 낮다고 판단된다. 따라서 영산강권역에 대한 특별한 대책이 요구되는 바이며 특히 분야별 평가지수 분석에 의하면 물이용취약지수 등급구간 중 High 구간에 속해 있는 중권역의 차지면적율이 타 권역에 비해 훨씬 큰 40.1%나 되기 때문에 수자원 분야 중 물이용과 관련된 정책, 대책 및 사업이 우선시되고 있다는 것을 알 수 있다.

표 1. 권역별 물행복지수 차지면적율 현황

권역명	등급	1990-1994	1995-1999	2000-2005
한강권역	Low	22.5 %	25.8 %	0.0 %
	Medium Low	16.3 %	7.1 %	20.6 %
	Medium	18.1 %	25.9 %	6.1 %
	Medium High	23.5 %	18.7 %	27.5 %
	High	19.7 %	22.5 %	45.8 %
낙동강권역	Low	14.7 %	7.0 %	2.5 %
	Medium Low	54.0 %	13.7 %	1.4 %
	Medium	22.7 %	50.3 %	11.7 %
	Medium High	8.0 %	20.2 %	25.9 %
금강권역	Low	0.6 %	8.8 %	58.6 %
	Low	51.5 %	34.2 %	17.1 %
	Medium Low	22.1 %	44.0 %	12.0 %
	Medium	17.7 %	18.3 %	16.0 %
섬진강권역	Medium High	3.4 %	0.0 %	34.2 %
	High	5.3 %	3.4 %	20.7 %
	Low	6.2 %	6.2 %	4.7 %
	Medium Low	25.5 %	25.5 %	1.5 %
영산강권역	Medium	50.1 %	15.0 %	12.9 %
	Medium High	16.4 %	51.5 %	15.0 %
	High	1.8 %	1.8 %	65.9 %
	Low	76.8 %	30.2 %	0.0 %
제주도	Medium Low	7.6 %	46.6 %	38.3 %
	Medium	15.6 %	6.8 %	36.7 %
	Medium High	0.0 %	16.4 %	17.5 %
	High	0.0 %	0.0 %	7.6 %
영산강권역	Low	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	Medium Low	73.5 %	69.3 %	42.7 %
	Medium	26.5 %	30.7 %	57.3 %
	Medium High	0.0 %	0.0 %	0.0 %
영산강권역	High	0.0 %	0.0 %	0.0 %

5. 결론

본 연구에서는 국내 수자원 현황과 사업의 효과를 평가하기 위해 물이용의 취약정도를 평가하는 물이용취약지수와 홍수 위험도를 평가하는 홍수위험지수 및 하천환경 취약정도를 평가하는 하천환경취약지수로 구

성된 수자원통합지수인 물행복지수를 개발하였다. 물이용취약지수는 지역별 상대적인 물이용의 불안정성을 나타내며, 홍수위험지수는 홍수의 위험정도, 하천환경취약지수는 하천환경의 쾌적성을 나타낸다.

개발된 물행복지수로 우리나라 중권역에 대해 비교 분석한 결과, 과거에 비해 물에 대한 행복도가 높아져 관련 부처 등에서 추진한 물이용, 치수 및 하천환경 사업의 효과가 나타나고 있다고 판단할 수 있다. 주로 하천의 상류유역보다는 하류유역의 물에 대한 행복도가 대부분 낮게 평가되었는데 이는 대도시들이 하류유역에 위치하고 있어 많은 물이용에 의한 물 부족 피해의 잠재성이 크고, 과도한 오염부하량 배출, 수질 악화 및 홍수 피해 위험성 증가 등 여러 요인 등으로 분석된다. 분야별 평가지수를 살펴보았을 때 지속적인 수자원 확보 사업으로 과거에 비해 풍부하고 안정된 물을 이용할 수 있는 환경이 조성되었다는 것을 물이용취약지수 변화를 통해 알 수 있었으며, 홍수위험지수 산정 결과 최근의 빈번한 홍수의 발생에도 불구하고 지속적인 치수사업으로 과거에 비해 전국적으로 위험도가 감소하고 있다는 것을 알 수 있었다. 최근 들어 수질개선 사업 등의 영향으로 하천환경이 깨끗해지고 있다고 것을 하천환경취약지수 산정 결과를 통해 분석할 수 있었다.

개발된 물행복지수의 장점은 1) 유역의 전반적인 수자원 현황을 정량적으로 비교할 수 있다는 것이다. 이러한 이유에서 물행복지수는 수자원 행정에 있어서 수자원 관련 계획 추진 시 올바른 수자원상과 정책의 방향성을 제시할 수 있을 뿐만 아니라, 정책의 정량적 목표 및 중점과제 도출이 가능하다. 2) WAMIS 자료 위주로 산정함으로써 기존의 통합 DB의 부재, 기관별 DB의 일관성 부족, 다양한 분야의 DB 부족으로 인한 지표 가용자료의 한계 극복은 물론 WAMIS의 미확보자료 확보 및 업데이트 문제를 해결할 수 있을 것이다. 3) 각 분야별 이해관계를 도모한 수자원 관련 사업 추진을 가능케 하여 일반국민, 정책결정자, 수자원관련 전공자 등이 지수를 통해 통합적인 수자원 현황 분석 정보를 얻을 수 있을 것이다.

향후 물행복지수는 관련 부처 및 기관에서 추진하는 물이용, 치수 및 하천환경 사업의 정책 목표의 설정에 이용될 수 있으며, 또한 지역간 물의 행복도를 상호 비교하여 낮은 지수로 나타난 지역은 수자원 사업의 우선지역을 선정하는데 이용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(2006). 수자원장기종합계획(2006~2020).
2. 건설교통부(2006). 수자원정보화 기본전략수립연구.
3. Connor, R.F. and Hiroki, K. (2005), Development of a method for assessing flood vulnerability. Water Science & Technology, Vol. 51, No. 5, pp. 61-67.
4. UNDP (2007). Human Development Report 2007/2008.
5. <http://www.wamis.go.kr/>