

# 물이용특성평가를 위한 지표개발

## Development of Indicator for Water Use Characteristic Evaluation

최시중\*, 임광섭\*\*, 이동률\*\*\*, 문장원\*\*\*\*

Si-Jung Choi, Kwang-Suop Lim, Dong-Ryul Lee, Jang-Won Moon

### 요 지

우리나라는 정치, 경제, 사회, 문화 등 여러 분야에서 발전과 국민들의 생활수준의 향상으로 최근 들어 물 소비량이 급격히 증가하고 있다. 또한, 수자원 관련 정보에 대한 국민들의 관심이 크게 증가하고 있으며, 이에 따라 국가에서는 수자원 관련 정보제공 창구를 마련하여 다양한 물 관련 정보를 제공하고 있다. 그러나 아직까지 다양한 분석 정보에 대해서는 제공되는 정보 항목이 다양하지 않으며, 이러한 분석 정보에 대한 제공 요구는 증가 추세에 있다고 할 수 있다. 또한 효율적인 수자원 계획을 수립하고 시행하기 위해서는 먼저 지역의 수자원 관련 현황을 분석하여 활용 가능한 수자원의 양을 명확하게 파악하여야 한다. 이와 함께 해당 지역의 물 이용량을 파악하고 시간 및 공간에 따른 이용 경향을 분석하여 그 정보를 제공함으로써 보다 효율적인 수자원 계획 수립의 기반이 마련될 수 있다. 한편 수자원 관련 정책 수립 시 의사결정을 지원하기 위해서는 관련 정보를 분석한 후 지표 및 지수화하여 제공할 필요가 있다. 그러나 우리나라에서는 아직까지 수자원 관련 분야에 대한 지표 및 지수가 적극적으로 활용되고 있지는 못한 상황으로 최근 들어 수자원(물이용, 지수 및 하천환경) 분야에서 지표 및 지수를 이용한 관련 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 지역 및 유역의 물이용 관련 현황 자료를 수집하여 분석함으로써 각종 수자원 관련 계획 수립 및 정책 수립에 도움을 줄 수 있는 기반정보를 제시하고, 대중에게 정보를 제공하고자 한다. 물이용 특성을 평가할 수 있는 할 수 있는 개별지표를 개발하여 유역별로 분석하여 물이용 관련 현황을 분석하였으며 개별지표를 압력(pressure)-현상(state)-대책(response) 구조체계로 구성하여 중간지표를 분석하였다. 또한 이를 종합하여 유역의 물이용 현황을 파악할 수 있는 지수인 물이용 취약지수(Water use vulnerability index: WUVI)를 개발하여 물이용 관련 정보를 시공간적으로 분석함으로써 정부 및 지자체의 수자원 관련 정책 수립 등 업무 수행을 보다 효과적으로 지원할 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어 : 물이용, 지표, 물이용취약지수**

### 1. 서론

최근 들어 우리나라 수자원의 현재 상황, 수자원관련 사업의 성과 및 타국과의 비교 등을 위해 지표나 지수를 많이 이용하고 있는 실정이다. 지표나 지수는 어떠한 현상을 보다 쉽게 이해할 수 있도록 숫자 등으로 간략화한 것으로 해당 분야의 지표 및 지수를 검토함으로써 보다 쉽게 의사결정을 내릴 수 있다. 하지만 각종 수자원 관련 계획을 수립하고 효율적인 수자원 관리 업무를 수행하기 위해서는 기본적으로 수자원 관련 현황과 물이용 관련 현황을 파악하기 위한 기초자료가 필요하다. 정확도가 떨어지는 자료를 수집하여 이를 수자원 관련 계획 수립에 활용할 경우 수립되는 계획의 신뢰도에 많은 문제를 일으킬 수 있다.

자료의 신뢰성, 주기성 등을 고려한 여러 조사들이 최근 들어 다수 진행 중에 있으며 유역조사사업이 그

\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원E-mail : sjchoi@kict.re.kr

\*\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 박사후연구원E-mail : oklim@kict.re.kr

\*\*\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 책임연구원E-mail : dryi@kict.re.kr

\*\*\*\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원E-mail : jwmoon@kict.re.kr

대표적인 예라고 할 수 있겠다. 이를 통해 많은 양의 자료들이 조사되었으며 이런 기초자료는 연구나 분석 등에 많이 이용될 수 있지만 일반 대중이 쉽게 이해할 수 있을지는 의문이다. 또한 정책수립을 위해서 방대한 양의 기초자료를 참고하여 계획하기에는 무리가 따른다. 따라서 보다 쉬운 이해를 돕고 그 분야에 대한 전반적인 상황 등을 파악하기 위해 지표나 지수가 필요하며 세계 각국, 국제기구 및 국내에서 이를 적극적으로 활용하고자 하는 움직임이 일어나고 있다. 하지만 지금까지의 지표개발 및 분석은 한 분야에 대한 것이 아니라 지속가능한 발전을 평가하기 위한 것이 대부분으로써 이는 수자원 분야 뿐만 아니라 경제, 사회, 환경분야도 포함되어 있다고 할 수 있다. 물론 수자원 분야에 영향을 미치는 여러 인자(사회, 경제, 환경분야 등)를 함께 고려하면 좋겠지만 수자원 분야 즉, 물이용분야, 치수분야, 하천환경분야를 평가할 수 있는 지표나 지수의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

현재까지 수자원 분야를 평가하기 위해 최시중 등(2005)의 지속가능한 수자원 개발과 관리 평가지표, 국토해양부(2006)의 홍수피해잠재능(Potential Flood Damage, PFD) 등 몇몇 연구가 진행되어 왔지만 물이용 특성을 평가할 수 있는 지표나 지수는 극히 드물다고 할 수 있다.

본 연구에서는 물이용 특성을 평가할 수 있는 여러 기초자료를 수집, 분석하여 이 중 대표성을 가지는 개별지표들을 선별하였으며 지표의 구성체계인 PSR(Pressure-State-Response) 구조에 맞추어 취약성 지수, 현황 지수, 대응성 지수로 구분하였다. 또한 이를 종합하여 유역의 물이용 현황을 파악할 수 있는 지수인 물이용 취약지수(Water use vulnerability index, WUVI)를 개발하여 제시하였다.

## 2. 지표의 구성체계 및 자료수집

지표를 구성하는 기본적인 구조는 인과관계 접근방식(Cause-Effect Chain Framework)과 주제 접근방식(Theme Framework)이 있다. 인과관계 접근방식은 측정하고자 하는 현상, 이러한 결과를 나타나게 하는 요인, 이러한 현상을 완화 또는 강화하기 위한 노력 간의 상관성을 파악하여 지표를 도출하는 구조를 의미한다. 주제 접근방식은 파악하고자 하는 현상을 크게 분야별로 구분한 후 분야별 정책 목표에 따라 하위분야로 세분화하고 이에 따라 관련 지표를 선정하는 방식이다.

본 연구에서는 물이용 특성평가 지표를 인과관계 접근방식인 P(Pressure)-S(State)-R(Response) 구조에 맞추어 개발하였으며, 이는 지표 상호간의 인과관계를 규명함으로써 정책결정에 유용하며, 해석의 편리성을 제공할 수 있다. 또한 관련 과업과의 연동 등을 고려시 PSR 구조가 국내에 적합하다고 판단되었다.

물이용 관련 자료는 환경부의 상수도통계연보, 국토해양부의 수자원장기종합계획(2006-2020)과 지하수조사연보, 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)를 통해 수집하였으며, 자료의 유무에 따라 연간자료를 조사, 분석하였다.

## 3. 물이용 특성평가 지표 개발

본 연구에서 개발한 물이용 특성평가 지표는 앞서 기술한 바와 같이 PSR 구성체계에 맞추어 압력지수, 현상지수, 대책지수로 개발하였으며 각각의 지수를 평가하기 위한 세부지표들을 개발하였다. 물이용 특성을 평가하기 위해 가용자료의 유무, 물이용 특성을 대표할 수 있는 지표 등 여러 지표의 요건을 만족시키는 것들을 세부지표로 개발하였으며, 물이용 특성 뿐만 아니라 물공급 특성을 평가할 수 있는 지표도 포함시켰다. 본 연구에서 개발한 물이용 특성평가 지표는 표 1과 같다. 압력지수는 8개의 세부지표로 이루어졌으며, 행정구역이나 유역의 용수 이용 관련 취약성을 평가하기 위한 수단으로 선정된 지수값이 높으면 높을수록 해당 지역의 물이용 관련 시설물 부족 등 물공급 능력이 취약함을 의미하며 가뭄 등의 재해 상황에 위험성이 높은 것으로 판단할 수 있다. 현상지수를 평가하기 위해 6개의 세부지표를 개발하였으며, 행정구역 및 유역별로 이용하고 있는 용수이용량, 하천수, 지하수 이용률 등의 수준을 판단할 수 있다. 현상지수의 시계열을 검토함으로써 과거로부터 지금까지의 용수이용 및 공급의 변화 등을 파악할 수 있다. 대책지수는 행정구역 및 유역에서 가뭄 등의 재해 발생 시 이에 대응할 수 있는 능력을 판단하기 위한 기준으로 활용된다. 대책지수는 용도별 이용에 대한 대처 능력을 검토하여 산정하였다. 산정된 지수를 지역별 또는 유역별로 비교함으로써

서 지역별 대응능력의 분포를 파악하고 상대적으로 대응능력이 미흡한 지역을 알 수 있다. 해당 지역 또는 유역에 대한 대책 마련시 이에 대한 기초 정보로도 활용가능하리라 판단된다. 또한 대책지수의 시계열을 산정하여 분석함으로써 해당 지역 또는 유역에서 수행되어온 용수수급 안정을 위한 정책 등의 효과를 판단할 수 있다.

#### 4. 물이용 특성평가 지표 분석

표 1과 같이 개발된 지표를 통해 분석을 수행하였다. 각각의 세부지표는 서로 단위가 틀리기 때문에 이를 평가할 수 있도록 무차원화시킬 필요가 있다. 무차원화시키는 방법에는 여러 가지가 있지만 본 연구에서는 Z-점수산정 방법에 의해 점수를 부여했다. Z-점수산정 방법은 각각의 세부지표의 자료값을 세부지표의 자료평균값으로 빼 준 후 세부지표의 자료의 표준편차로 나누어 Z 점수를 산정한다. 최종적으로는 산정된 Z점수의 범위에 따라 평가점수를 부여하는 방법이다.

세부지표 중 지하수개발가능량 대비 이용량을 그림 1과 같이 표현하였다. 각각의 세부지표는 그림 1과 같이 표현이 가능하며 이를 통해 지역적 분포를 쉽게 알아볼 수 있다. 세부지표의 통합으로 이루어진 압력지수, 현상지수, 대책지수를 중권역별로 분석하였으며 산정결과를 지역적인 공간 분포로 나타내어 지역적인 분포 경향을 파악하였고, 지역적인 지수 분포와 각 지역적 특성을 고려하여 이들 간의 상관성을 검토하였다. 그림 3은 2000년에 대한 대책지수 산정결과를 나타내었다. 중권역별 물이용 특성평가 지표산정 결과를 살펴보면 해안 및 한강 중상류, 금강 하류 지역을 중심으로 압력지수가 상대적으로 높게 나타났으며, 이러한 지역은 상수도 보급률이 낮거나 수리불안전담 및 비관개전의 비중이 상대적으로 높은 지역으로 가뭄 재해가 발생하였을 경우 이에 대한 대처능력이 부족한 지역으로 볼 수 있다. 이러한 결과는 그림 2를 통해서도 확인할 수 있으며, 압력지수가 낮게 나타나는 낙동강 중하류부 지역은 대책지수가 다른 지역에 비해 높게 나타났다. 그림 3은 연도별 압력지수의 산정 결과를 제시하였다. 그림 3에서 X축에서 0~30은 한강권역을, 31~63은 낙동강권역, 64~84는 금강권역, 85~99는 영산강권역, 100~113은 섬진강권역, 114부터는 제주도권역을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 압력지수는 조금씩 증가하는 추세를 보이고 있어 가뭄재해 피해 발생 가능성이 높아지는 것으로 나타났다. 현상지수의 경우도 압력지수와 마찬가지로 과거에 비해 최근 들어 전체적인 지역에서 크게 증가하는 추세를 보였다. 반면 가뭄 재해가 발생하였을 경우 이에 대한 대처능력으로 볼 수 있는 대책지수는 압력, 현상지수와는 달리 최근 들어 지수값이 증가하는 것으로 나타났다. 지수값의 증가는 곧 가뭄 재해로부터의 재난의 저감능력이 향상되고 있음을 의미한다. 분석을 통해 압력지수와 현상지수가 증가할 경우 대책의 반응이 적게 나타나고 있다. 특히 압력지수와 대책지수간의 상대적인 증감은 깊은 관계를 가지고 있다고 볼 수 있다. 이러한 상관성을 중권역별로 분석하면 향후 물이용 관련 가뭄 대책, 정책관련 분야에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

표 1. 물이용 특성평가 지표 개발

구 분	세부지표
압 력 지 수	·상수도 미보급률, P1
	·단위급수량(lpcd), P2
	·상수도누수율, P3
	·자유입지업체 이용량 비율, P4
	·수리불안전담 면적비, P5
	· 비관개전 면적비, P6
	·지하수개발가능량대비이용량, P7
	·장래 물부족량, P8
현 상 지 수	·생활용수이용량, S1
	·공업용수이용량, S2
	·농업용수이용량, S3
	·하천수이용률, S4
	·지하수이용률, S5
	·수도요금부과현황, S6
대 책 지 수	·상수도보급률, R1
	·수리담면적비, R2
	·관개전면적비, R3
	·상수도공사비및유지관리비, R4
	·광역상수도공급현황, R5

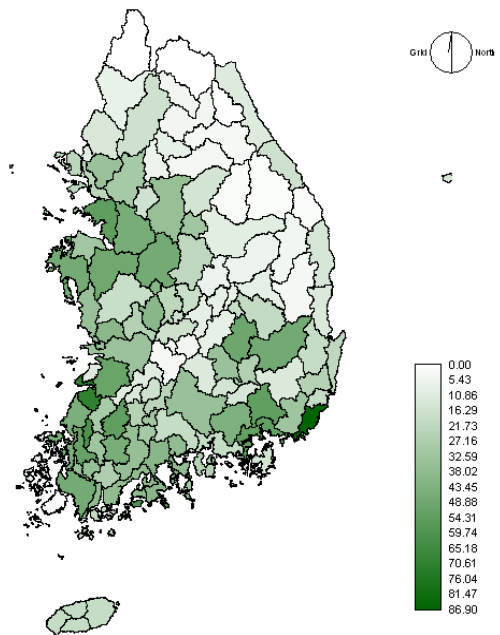


그림 1. 지하수개발가능량대비이용량 (%)

## 5. 물이용 취약지수(WUVI) 개발 및 적용

새롭게 개발된 물이용 특성평가 지표들을 압력지수, 현상지수, 대책지수로 통합하여 제시하고 분석하였다. 하지만 물이용 특성 전체를 표현하기에는 무리가 있다고 판단되어 압력지수, 현상지수, 대책지수를 통합한 물이용 취약지수(Water Use Vulnerability Index, WUVI)를 개발하여 제시하였다. 물이용 취약지수의 산정방법은 아래와 같이 표현할 수 있으며, 각각의 지수별 가중계수를 통해 분석을 수행할 수 있다. 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 지수 간의 상대적인 중요도를 파악하고 이를 기초로 가중치를 결정하고 있거나, 동일한 가중치를 사용하고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서도 동일한 지수별 가중치를 사용하였다. 물이용 취약지수를 중권역별로 산정하여 분석하였으며, 산정된 결과를 지역적인 공간 분포로 나타내어 지역적인 분포 경향을 파악하였다.

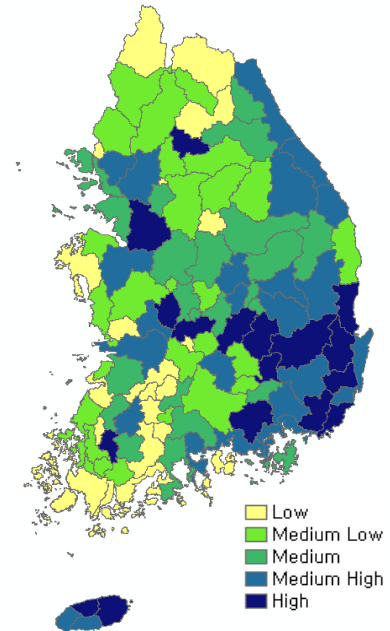


그림 2. 중권역별 대책지수 산정결과

$$FRI = F_P^{\alpha_1} \times F_S^{\alpha_2} \times F_R^{\alpha_3}$$

$$= \prod_{i=1}^n [\beta_1 F_{P_1} + \dots + \beta_n F_{P_n}]^{\alpha_1} \times \prod_{j=1}^m [\beta_1 F_{S_1} + \dots + \beta_m F_{S_m}]^{\alpha_2} \times \prod_{k=1}^o [\beta_1 F_{R_1} + \dots + \beta_o F_{R_o}]^{\alpha_3}$$

여기서,  $\alpha_i$ 와  $\beta_i$  는 지수별 가중계수

본 연구에서는 1995년과 2000년에 대한 WUVI를 산정하였으며 그림 4와 같이 제시하였다. 전반적으로 전국에 걸쳐 물이용 취약지수가 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이는 가뭄 재해로부터 안전해지고 있음을 의미한다. 하지만 섬진강권역에 속하는 일부 중권역 및 남한강 하류, 춘천댐, 충주댐 하류, 서해안 부근인 부남 방조제 등지에서는 여전히 물이용 취약지수가 상대적으로 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이 지역들은 압력지수가 높게 산정되었고 대책지수가 다른 지역에 비해 낮은 것으로 분석되었다. 연도별 물이용 취약지수의 분석을 통해 가뭄으로부터의 위험 정도가 어떤 식으로 변하고 있는지 판단할 수 있다.

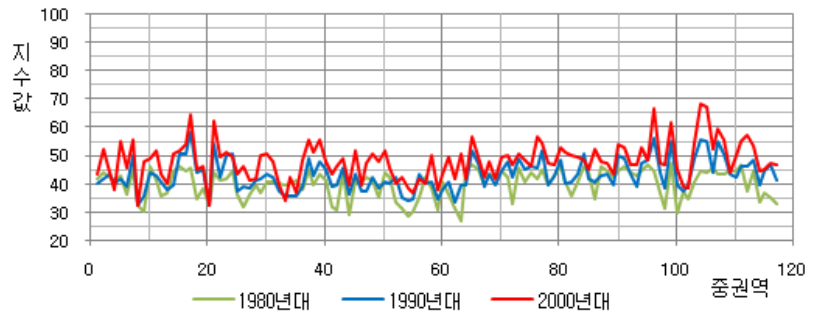


그림 3. 연도별 압력지수의 변화(중권역별)

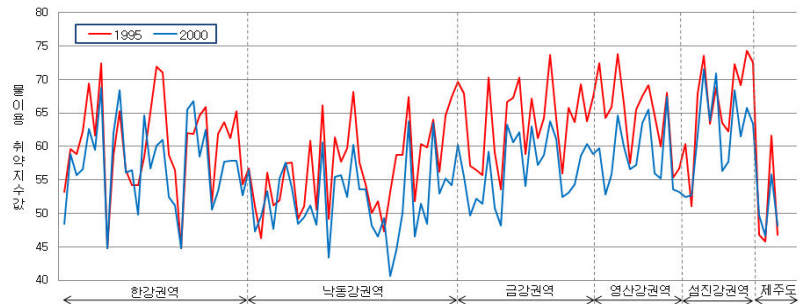


그림 4. 물이용 취약지수 연도별 추이 비교

## 6. 결론

본 연구에서는 지역 및 유역의 물이용 관련 현황 자료를 수집하여 분석함으로써 각종 수자원 계획 수립 및 정책 수립에 도움을 줄 수 있는 물이용 특성평가 지표를 개발하였다. 물이용 특성평가 뿐만 아니라 물공급 특성평가를 포함한 지표를 개발하였으며 이를 통해 유역별로 분석하여 물이용 관련 현황을 분석하였다. 또한 개발된 세부지표를 PSR 구성체계로 구성하여 중간지수인 압력지수, 현상지수, 대책지수를 제시하였다. 세부지표 및 중간지수를 통합하여 유역의 물이용 현황을 파악할 수 있는 물이용 취약지수(WUVI)를 개발하여 물이용 관련 정보를 시공간적으로 분석함으로써 정부 및 지자체의 수자원 관련 정책 수립 등 업무 수행을 보다 효과적으로 지원할 수 있을 것으로 판단된다. 최근들어 전반적으로 물이용 취약지수가 낮아지는 경향을 보였으며 이는 가뭄 재해로부터 안전해지고 있음을 의미한다. 하지만 몇몇 유역에서는 상대적으로 지수값이 높게 산정되었다. 따라서 이 유역에 대한 보다 세심한 수자원 정책이 요구된다고 말할 수 있다.

본 연구에서 개발하여 제시한 물이용 특성지표 및 물이용 취약지수를 분석하기 위해서는 다양한 기초자료의 구축이 무엇보다도 절실하다. 또한 지속적인 자료 확충이 이루어진다면 지표나 지수의 지속가능한 발전이 가능하고 일반 국민과 수자원 관련 전문가, 그리고 정부 및 지자체의 수자원 관련 업무 담당자에게 관련 정보 및 분석결과를 지속적으로 제공할 수 있을 것이다. 개발된 지표나 지수는 분석만으로 끝나는 것이 아니라 정보 제공 차원에서의 역할과 함께 목표관리 차원에서도 좋은 잣대가 될 수 있다. 물이용 관리를 위해서는 적절한 목표를 설정하고 국내 물이용 상황에 적합한 관리 목표를 평가하기 위해 지표나 지수를 이용하여야 한다. 따라서 개발되는 지표나 지수는 그 현상을 대표할 수 있는 대표성을 가지고 있어야 하며 누구나 쉽게 이해할 수 있어야 하는 등 여러 가지 요인을 만족시켜야 한다.

## 참 고 문 헌

1. 건설교통부(2006). 수자원장기종합계획(2006~2020).
2. 국토해양부(1997~2006). 지하수조사연보.
3. 최시중, 이동률(2005), “지속가능한 수자원 개발과 관리를 평가하기 위한 지표”, 한국수자원학회 논문집, 제 38권, 제9호, pp.779-790.
4. 환경부(1981~2006). 상수도통계연보.
5. <http://www.wamis.go.kr/>