

# 수자원정책지원을 위한 지수개발 - 치수특성지수 중심으로



**임 광 섭 |**

한국건설기술연구원 수자원연구실 박사후연구원  
oklim@kict.re.kr



**이 동 톨 |**

한국건설기술연구원 수자원연구실 책임연구원  
dryi@kict.re.kr



**최 시 중 |**

한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원  
sjchoi@kict.re.kr

## 1. 서 언

최근 신뢰적이고 투명한 수자원 정책의 의사결정을 위한 기반 구축을 위해 UN(United Nations), World Bank, IADB(Inter-American Development Bank)와 같은 국제기구 및 연구단체는 일반대중이나 수자원 관련 분야의 의사결정권자들이 쉽게 이용할 수 있는 수자원정책지원을 위한 이수, 치수, 하천환경의 상황을 포괄하는 수자원통합지수를 개발하고 있다. 수자원통합지수의 개발목적은 수자원 정책수립에 있어서 올바른 수자원상과 정책의 방향성을 제시해 줄 수 있을 뿐만 아니라, 정책의 정량적 목표 및 중점과제 도출이 가능하기 때문이다. 수자원통합지수를

이용한 수자원 분석정보는 과거에 대한 평가, 현 위치 진단 그리고 미래상황에 대한 예측을 가능케 하는 가장 객관적이고 명확한 척도라 할 수 있다. 즉, 우리 자신이 처한 이수, 치수, 하천환경 등을 객관적으로 모니터링 하여 지역 간 이수, 치수, 하천환경 각 부문의 취약성 비교·분석을 통하여 해당 지역의 주된 수자원 취약요인 파악과 대중에게 수자원정책의 정당성을 제공할 수 있다.

물론 수자원통합지수화는 이수, 치수, 하천환경 등의 지수들을 계량화하여 수치로 나타냄으로써 개별적 또는 선별적 정보특성을 모두 고려하지 못하는 단점이 있기는 하지만 전체적인 수자원 현황에 대한 판단을 용이하게 해줄 뿐 아니라 수자원 정책 결정지원 체계구축이라는 장점이 있다. 따라서 과거 홍수, 가뭄, 수질오염 등으로 인한 문제가 발생하면 해당 피해규모를 기준으로 피해지역을 지정하여 복구하는 구조물적 수자원 사업 수행의 성격에서 벗어난 수문, 사회, 정치, 경제 및 환경 등을 고려하는 수자원통합지수 개발을 통해 다학제간 연계와 이들 각 부문별 또는 이해관계자들의 참여를 도모하는 수자원통합지수의 개발이 필요하다 하겠다.

본 고에서는 국내·외에서 적용되고 있는 수자원통합지수들을 치수관련분야를 중심으로 고찰하고 이들 지수들의 적용사례들을 조사하여 국내 수자원관련 분야에서의 활용방안과 향후 국내 실정에 적합한 수자원정책결정지원 체계구축을 위한 수자원통합지수 산정모형 개발시 현재 운영되고 있는 국가수자원관리종합시스템(WAMIS)과의 연계방안을 제시하고자 한다.

## 2. 지표의 정의 및 구성 체계

### 2.1. 지표(Indicator)와 지수(Index)

지표란 여러 부문의 관측값 중에서 현상을 가장 잘 기술해줄 수 있는 대표적인 값을 의미한다. 그림 1에서 단순 데이터는 최하위에 위치하며 대개 통계표에 취합되어 테이블 형태의 구조형식을 가진다. 대다수의 사람들은 방대한 양의 데이터 해석이 어려울 뿐만 아니라 결과의 중요성을 쉽게 인지하지 못한다. 데이터가 정책적 의미를 내포하기 위해서는 데이터의 의미해석과 분석이 요구되지만 방대함과 해석의 어려움으로 단순 데이터는 정책적 의미를 내포하지 못한다. 다음 단계는 지표이며 대개는 비율 형태를 가지는 변수를 사용한다. 시간과 공간적 비교가 가능한 실업률, 경제성장률 등이 대표적인 예이며 정책적 수단의 의미를 내포하고 있다. 마지막 단계인 지수는 단순한 데이터의 집합이 아닌 정책결정권자나 일반 대중들이 복잡한 현상을 쉽게 이해할 수 있도록 여러 개의 지표들을 통합한 형태로서 과업의 목적에 얼마나 달성했는지 종합적으로 평가하는데 주로 적용된다. 소비자 물가지수(CPI), 국내 총 생산액(GDP), 인류발전지수(HDI), 홍수피해잠재능(PFD) 등이 대표적인 예이다.

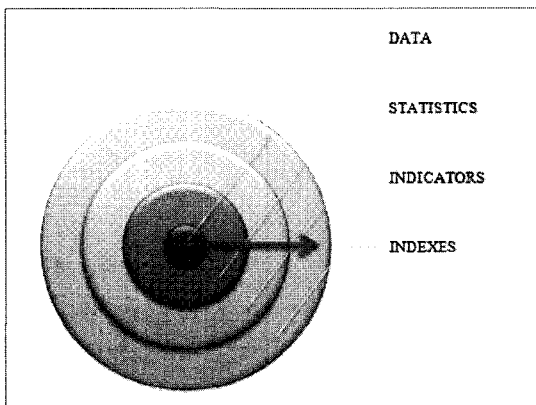


그림 1. 데이터의 상호관계도

### 2.2. 지표의 구성체계

지표를 구성하는 기본적인 구조는 인과관계 접근 방식(cause-effect chain framework)과 주제 접근 방식(theme framework)이 있다. 인과관계 접근 방식은 측정하고자 하는 현상, 이러한 결과를 나타내게 하는 요인, 이러한 현상을 완화 또는 강화하기 위한 노력 간의 상관성을 파악하여 지표를 도출하는 구조이다. 주제 접근방식은 파악하고자 하는 현상을 크게 분야별로 구분한 후 분야별 정책목표에 따라 하위 분야로 세분화하고 이에 따라 관련지표를 선정하는 방식을 일컫는다. 인과관계 접근방식의 대표적인 예로는 OECD(Organisation for Economic Cooperation and Development)의 PSR(Pressure-State-Response) 구조와 이의 부분적 변형인 UNCSO의 DSR(Driving force-State-Response) 구조와 유럽환경청에 의해서 사용된 DPSIR(Drivers-Pressure-State-Impact-Response) 구조가 있으며, 주제접근방식의 대표적인 사례로는 영국과 독일의 지속가능발전지표와 UNCSO(The UN Commission on Sustainable Development)의 지속가능발전지표 등이 있다.

이중 OECD에서 최초로 개발한 PSR구조는 인과관계 접근방식에 의한 대표적인 지표구조라고 할 수 있으며, 국제기구나 각 국의 지표설정에서 기본적인 구조모형으로 가장 많이 활용되고 있다. 국내의 경우 인천광역시 환경지표의 개발과 적용(1999), 홍수피해 잠재능 개선방안(2003), 수자원 장기종합계획(2006), 수자원지속가능성 지수개발(2004), 물이용 특성평가체계연구(2007) 등의 많은 연구에서 PSR구조를 채택하고 있다.

기 개발된 한국건설기술연구원의 물이용 특성평가 체계연구(국토해양부, 2007)의 지수 구성 체계, 개발 중인 치수특성평가 지수, 향후 개발될 하천환경 지수와의 통합 연계를 고려하여 이들 상호간의 연계체계를 통일시켜 수자원 정책결정지원 체계 구조를 일원

화 시켜야 하겠다. 따라서 수자원정책수립을 위한 지수 등의 기본구조는 PSR 구조에 대응시켜 개발·평가하여 적합한 연계체계를 선별하도록 해야 하겠다.

### 3. 수자원정책 업무지원체계 구축

최근 국내에서는 물 관련 정보화를 추진하기 위해 수자원정보화 기본전략수립연구(국토해양부, 2006)를 통해 물 관련 정보 연계 방안을 제시하였으며, 정보시스템의 효율적 운영 및 유지관리 방안을 제시한 바 있다. 물 관련 정보화를 위해서는 크게 3가지 분야로 구분할 수 있다. 첫째는 수문정보관리시스템과 하천정보관리시스템으로부터 생성되는 정보 및 물관리 정보유통시스템을 통해 수집되는 관련 수문정보 등과 같은 기초자료 생성분야이며, 둘째는 통합홍수관리시

스템, 실시간하천수관리시스템 및 수자원정책수립업무지원체계를 통해 생성되는 분석정보 생성분야이고, 마지막으로 기초자료 및 업무지원시스템을 통해 생성되는 분석정보를 활용하여 최종적으로 정책결정을 지원하기 위한 정보 생성 및 활용을 통한 정책결정지원 정보 분야이다. 국가 수자원정책수립 과정에는 여러 가지 대안에 대한 정책결정과정이 포함되며, 여러 가지 대안을 작성하기 위해서는 수자원 관련 기초 정보 뿐만 아니라 이를 분석, 가공하여 얻어지는 여러 가지 종류의 정보가 함께 필요하다. 이러한 분석정보는 정책결정과정보뿐만 아니라 수자원 관련 여러 가지 다양한 분야에서 필요로 하는 정보이며, 국가 수자원 관련 정보시스템에서는 수집된 다양한 기초정보를 활용하여 분석정보를 생산한 후 이를 일반인과 연구자들에게 제공할 필요가 있다. 수자원정책수립 업무지원체계를 통해 지원할 수 있는 주 대상 업무는 3가지

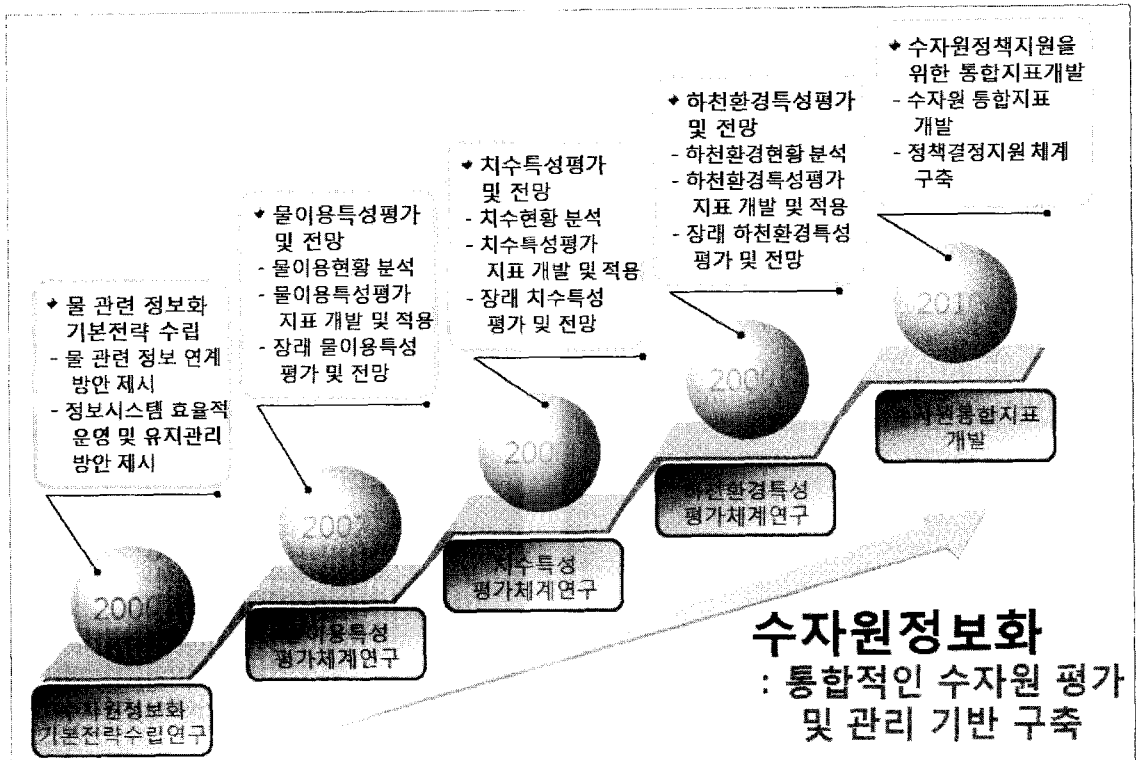


그림 2. 수자원정책수립 업무지원체계 구축계획

분야에 해당하는 물이용특성평가, 치수특성평가, 하천환경특성평가로 구성되며, 2007년부터 매년 이들 분야에 대한 연구가 진행 중에 있다. 그림 2는 수자원 정책수립 업무지원체계 구축을 위한 연구계획을 도시화한 것이다.

또한 수자원정책수립 업무지원체계를 통해 생성되는 기초정보와 이를 가공하여 제시되는 분석정보를 종합하여 여러 가지 대안을 도출할 수 있으며, 이와 같은 여러 가지 대안에 대해 평가를 수행함으로써 최종적인 최적 대안이 결정될 수 있다. 이는 정책결정 담당자가 보다 쉽게 정책결정을 내릴 수 있도록 하기 위해 여러 가지 정보를 종합하여 지수화하여 쉽게 이해할 수 있는 정보의 형태로 제시될 필요가 있다. 여러 가지 정보를 종합하여 지수화함으로써 정책결정 담당자는 여러 가지 경우를 고려한 다양한 대안에 대해 지수를 종합 검토함으로써 최적 대안 도출이 가능해질 수 있다. 그림 3은 정책결정지원시스템의 일환으로 수자원정책 지원을 위한 수자원통합지수에 대한 것으로서 수자원통합지수는 물이용특성평가지수, 치수특성평가지수, 하천환경특성평가지수로 구성될 수 있으며 이들 각각의 지수와 통합지수를 통해 정책결

정을 지원해 줄 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 치수관련지수

미래 강우의 발생 특성의 정량적 예측이 매우 어렵다는 점은 치수대책 수립을 어렵게 하는 요인이다. 더구나 미래 치수대책 수립 및 평가를 위한 토지이용 상황 예측 등은 불확실성이 매우 크기 때문에 대책수립의 한계로 작용하여 치수대책에 대한 검증 및 정량적 효과 분석에도 한계가 있다. 그러나 최근 치수피해와 대책의 효과에 대한 정량적 평가 및 미래 계획수립의 일환으로 치수관련 위험도나 취약성을 측정하기 위한 지수 개발이 국제단체 중심으로 활발히 이루어지고 있다. 본 고에서는 대표적인 치수관련지수의 사례를 살펴보기로 한다.

##### 4.1. DRI(Disaster Risk Index)

UNDP(United Nations Development Programme)는 국가 간 자연재해에 노출된 정도, 취약

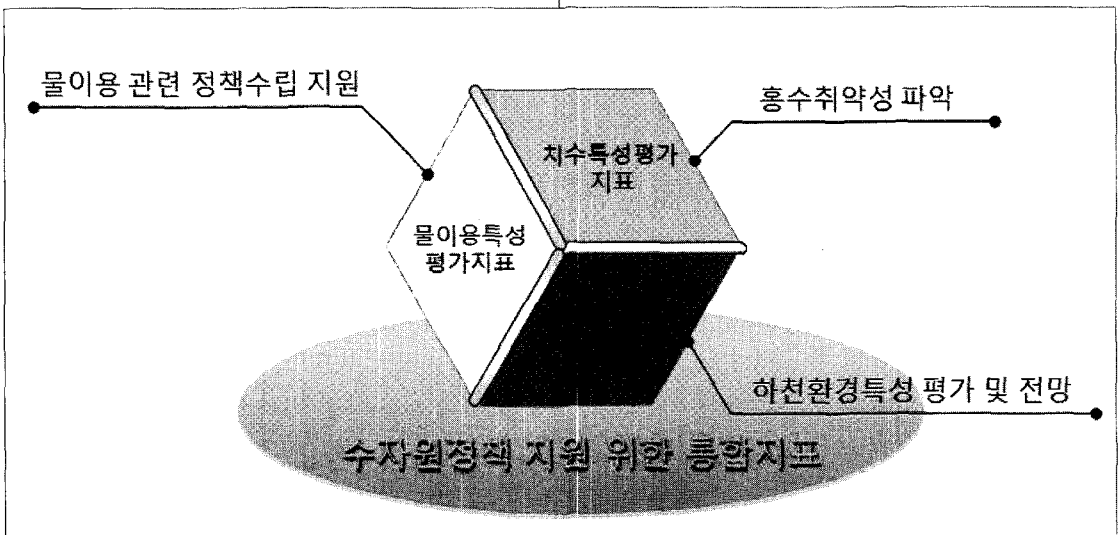


그림 3. 수자원정책 지원을 위한 통합지수의 구성

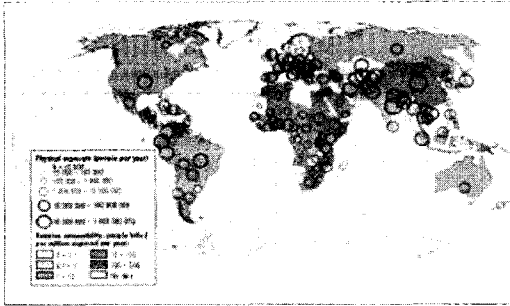


그림 4. 나라별 상대적 취약성 비교(홍수)

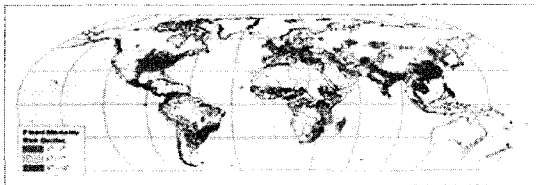


그림 5. Hotspots Projects

성 및 위험도 사이의 비교 및 평가가 가능한 지수 DRI를 개발하였다. DRI는 각종 자연재해로부터 사망하게 된 사망자 수를 기초자료로 이용하여 자연재해에 대응하는 국가 간의 상대적 취약성을 지수화 하였다. DRI 관련 데이터들은 CRED(Center for Research on the Epidemiology of Disaster)에서 취합된 EM-DAT(Emergency Disasters Database)를 사용하고 있으나 국가 간의 세부특성을 고려한 데이터 취득의 한계를 지닌다. 지수 계산은 재해에 의하여 사망하게 된 주민을 재해지역에 노출된 주민의 수로 나눈 값을 취한다. DRI는 단일 요소인 사망자수를 자연재해에 대한 취약성 지수로 사용하는 한계점을 지니지만 그림 4와 같이 국가 간 취약성 정도를 한 눈에 파악할 수 있는 지수를 제시할 수 있어 각 나라 간의 각종 재해에 대한 취약정도를 기능하는 데 많은 큰 도움을 줄 수 있다.

#### 4.2. Hotspots Project

미국 콜롬비아 대학과 World Bank의 공동연구로 수행된 Hotspots 프로젝트는 지진, 화산, 산사태, 홍

수, 가뭄 및 열대성 사이클론에 해당하는 위험도 분석 후 생성된 지수를 바탕으로 각 나라별 사망 위험도, 경제적 손실 정도 및 재난-위험도간의 상호관계 파악이 가능하여 각 나라의 재난 대비능력과 경제손실 예방능력을 개선하고자 만들어지게 되었다. Hotspots 관련 데이터들은 DRI와 같은 CRED에서 취합된 EM-DAT를 사용한다. 하지만 Hotspots 프로젝트에서는 2.5×2.5km<sup>2</sup> 해상도의 공간분석이 수행되어 국가 간 분석은 물론 좀 더 세분화된 국가내 소지역 분석이 부분적으로 가능할 뿐 아니라 사망자수와 관련한 위험도와 GDP에 기초한 경제적 손실 위험도등의 인명손실과 경제손실이라는 두 가지 관점에서 지수를 산정하였다. 그림 5는 홍수로 인한 국가별 위험도를 보여준다. World Bank에서는 위의 지수를 바탕으로 재난 위험도가 큰 국가는 위험도가 상대적으로 작은 국가와 차별하여 차관 액수와 차관 국가 선정 시 우선권을 주는 형식으로 활용하고 있다.

#### 4.3. CBRI(The Community-Based Risk Index)

CBRI는 지역 간의 상대적인 재해 위험 크기의 정도를 비교하였다. 재해위험요인을 위험, 노출정도, 취약성, 대처능력 등의 4가지 (47개 세부지표)로 나누어 지수를 산정하였으며 세부지표들은 중요도에 따라 상대적인 가중치 값을 가지게 된다. 그림 6은 Sikka와 Kulon 지역 간의 최종 결과를 보여주고 있다. 두 지역 간의 총괄위험지수는 그 값(1-100사이의 값을 취함)이 56과 54로서 유사하다. 하지만 지역 간의 세부 위험요소의 특징을 살펴보게 되면 두 지역 간 위험성은 비슷한 반면 Sikka 지역의 경우 취약성이 가장 큰 재해의 요인으로 나타나지만, Kulon 지역에서는 위험성, 노출정도와 취약성 모두가 비슷한 값을 지닌다. 즉 두 지역에서의 노출정도와 대응능력이 가장 큰 요인으로 나타난다. 이처럼 CBRI는 지역 간의 세부 특성을 고려할 수 있는 위험요소들간의 상

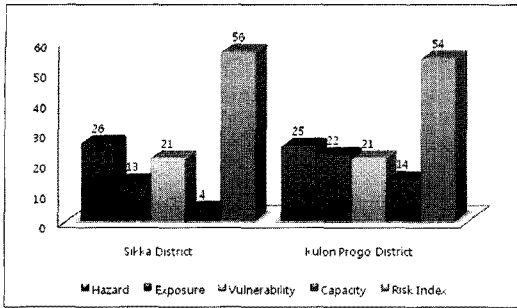


그림 6. Sikka 지역과 Kulon 지역간의 재해위험요인

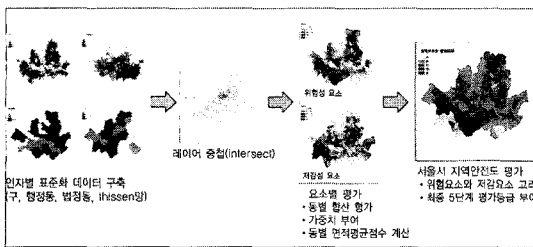


그림 7. 서울시 지역안전도 요소별 평가과정

대적 우위를 비교할 수 있는 특징을 가진다.

#### 4.4. 서울시 안전도 지수

나라별, 도시별 특성이 다를 수 있기 때문에 표준화된 평가기법 및 지수가 개발되지 못한 여지가 있어 서울시정개발연구원에서는 서울시를 대상으로 도시지역의 특성을 고려한 지역안전도 모형을 개발하였다.

홍수피해에 대한 서울시 지역안전도 평가를 위해 홍수 피해의 주요 원인을 분석 후 지역 안전도 평가 요인 및 인자를 선택하였고 이들 인자와 관련된 자료의 계량화와 표준화가 이루어졌다. GIS를 이용하여 인자별 평가결과의 가중 합을 통한 중첩으로 위험성과 저감성 요소별 평가를 수행하였고, 위험성과 저감성 요소를 조합하여 홍수재해에 대한 서울시 지역안전도 평가를 수행하였다.

#### 5. 수자원통합지수 개발방향

일본의 경우 중앙 정부는 물론 지자체까지 개발된 이수, 치수, 하천환경 분야의 개별지수 혹은 통합지수를 수자원 정책수립 과정에서 최종 정책지수로 이용하고 있으며, 향후 우리나라도 수자원통합지수를 이용할 것으로 판단되며 좀 더 짜임새 있게 지수를 선정하고 그 기준과 개발방향을 제시해 줄 필요가 있다.

첫째, 우리나라의 수자원 여건과 향후 비전을 고려하여 지속가능발전 개념을 기본방향으로 설정해야 한다. 즉, 후진국은 개발, 선진국은 보전과 환경에 주안점을 두고 있다는 사실 인지와 선진국의 기 개발된 수자원통합지수나 치수특성지수등의 모호한 모양이 아닌 선진국과의 지수비교를 통해 우리나라 실정에 적합한가에 대한 우선적 검토가 필요하고 이들 방향을 먼저 설정한 후 지수의 개발이 필요하다.

둘째, 수자원통합지수나 이수, 치수, 하천환경과 같은 개별지수 개발시 향후 국가 수자원정책방향과 같은 맥락을 유지하기 위해 지수를 통한 분석시 중권역으로 할 것인지, 표준구역으로 할 것인지, 또한 면사상으로 할 것인지, 수계선상으로 할 것인지에 대한 선행적인 결정이 필요하다. 예를 들어 현재 우리나라의 하천기본계획 수립시 중권역 단위로 계획·수립할 예정이기 때문에 중권역별 지수를 통한 우선순위를 결정해 줄 필요가 있다. 물론 단기적인 측면으로는 지수 분석시 중권역 개념으로 추진되어야하며, 장기적인 수자원정책수립의 방향으로는 표준권역으로 제시해야 하겠다.

셋째, 추후에 실시간 물관리와 같은 타 연구와의 연계도 고려해야 하겠다. 예를 들어 수자원장기종합계획시 분석한 물부족 결과도 이수특성지수에 활용이 가능하며, 이는 곧 최종 지수라 할 수 있는 수자원통합지수와도 유기적인 관계가 있으므로 타 연구와의 지속적이고 실질적인 연계가 중요하다 하겠다. 그림 8은 현재 한국건설기술연구원에서 연구 중인 이수특성평가 지수 개발방향을 보여주고 있으며 이는

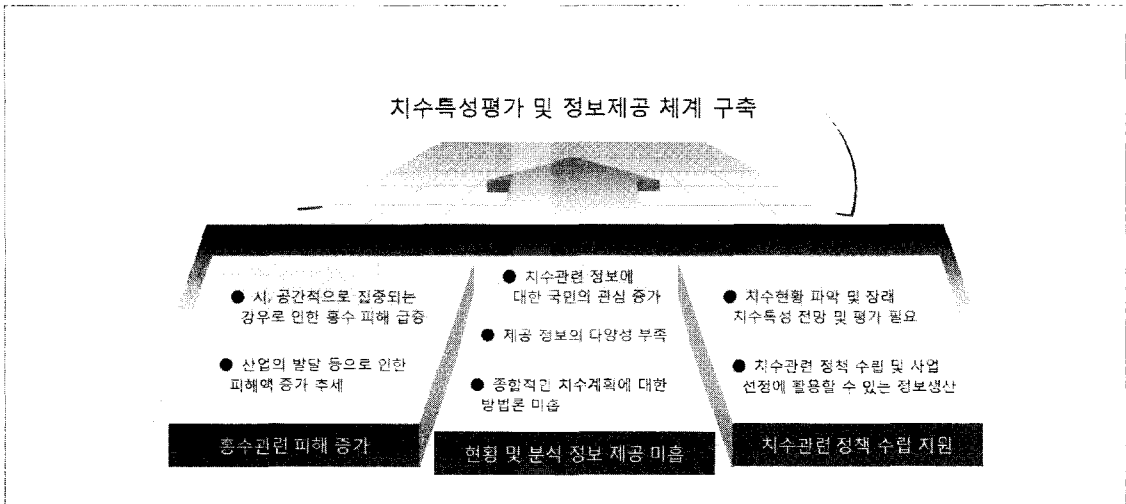


그림 8. 지수특성평가 구축 예

2011년 수자원장기종합계획 수립시 지수단위구역별 지수특성 파악과 홍수방어계획 수립 시 활용이 가능하다.

넷째, 각각의 지표 선정시 통계적으로 분석이 가능한 것들과 유역조사사업에서 조사해야 할 것 등을 분류해 줄 필요가 있고, 지표의 선정은 자료의 가용성과 시계열자료의 확보가 중요한 요소이므로 자료의 정확한 개요, 생성주기, 관리기관, 획득방법, 지수생성 주기, 타 지수 관련연구와 비교하여 용어 정리 등에 대한 상세한 언급 및 조사가 필요하다.

마지막으로 현재 우리나라에서는 일반대중, 정책결정자, 수자원관련 전공자등의 수자원 현황분석에 대한 자료를 얻고자 하는 욕구를 충족시키고자 WAMIS를 통해 수자원 관련정보를 제공하고 있다. 하지만 제공하고 있는 항목이 다양하지 않고, 간단한 항목에 국한되어 있는 실정이다. 따라서 수자원 관련 정보 이용자들에게 보다 다양하고 실질적인 형식의 정보를 공간정보와 연계하여 제공될 수 있는 체계를 구축할 필요가 있으며, 관측 및 현황 정보와 함께 이를 기반으로 분석정보도 함께 제공할 필요가 있다. 이를 기반으로 장래 수자원특성전망 및 평가와 함께 수자원 현황파악 및 평가를 위한 수자원통합지수를

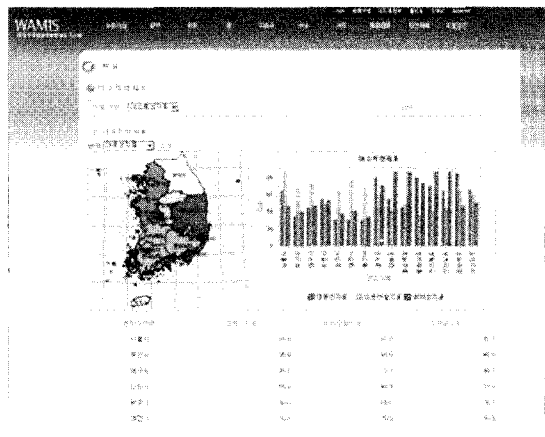


그림 9. 행정구역 및 유역별 이수특성 WAMIS 최종표출방안 예시

제시 및 분석함으로써 지역 및 유역의 수자원 취약성 평가가 가능해져 국가 수자원 관련 계획 및 사업 선정에 활용할 수 있을 것이다. 그림 9는 WAMIS를 통한 이수특성지수의 최종표출방안의 예를 보여주고 있다. 특히 WAMIS를 통해 수자원특성 전망 정보를 표출하는 체계를 구축하는 분야는 전문기관에 위탁연구하도록 하고 수자원장기종합계획 수립시 참여한 전문가의 자문을 받고 외부 전문가를 통한 상호피드백 연결을 구성하도록 해야 하겠다.

## 6. 결 언

급변하는 기후변동에 의한 지역 및 유역의 수자원 취약성을 평가하는 것이 필수적인 요소로 인식되고 있음으로 국내 상황에 맞는 수자원통합지수를 개발하여 수자원 정책지원은 물론 장애 이수, 치수, 하천환경의 특성을 전망하고 제시할 필요가 있으며, 정보이용자들에게 다양한 수자원 관련 정보를 WAMIS의 보강 및 보완을 통해 제공할 수 있는 정책결정지원체계를 구축할 필요가 있다. 국내 상황에 맞도록 구축된 WAMIS에 기반을 둔 수자원통합지수를 통해 향후 1) 지역 및 유역별 이수, 치수, 하천환경등의 개별 취약성을 비교, 분석함으로써 주된 취약요인을 파악하고 수자원관련 사업의 우선순위 선정시 활용할 수 있는 정보의 생산을 위한 기반을 마련, 2) 일반 국민들에게는 그동안 접근하기 어려웠던 수자원관련 정보를 손쉽게 검색 및 파악, 국민들의 관심을 유발하여 수자원관련 정책에 참여하고픈 동기부여 기능, 알기 쉬운 지수로 우리나라의 이수, 치수, 하천환경 현황 및 전망에 대한 이해력 향상, 3) 국가 수자원관련 정책 수립 지원 및 우선순위 결정을 위한 기반 정보제공으로 대안들의 비교 가능 및 가이드라인 제시하여 우리나라 수자원관련 현 위치를 객관적인 통계자료와 지수에 근거하여 정확하게 파악할 수 있으며 현 정부의 정책성과를 과거 정부와 비교해 평가할 수 있게 할 뿐 아니라, 향후 국정이 나아가야 할 방향 제시, 4) 정책결정자, 일반대중, 수자원전문가 등 정보이용자를 대상으로 보다 다양한 형식의 정보를 WAMIS를 통해 제공함으로써 대국민 정보서비스 개선 및 신뢰도 제고가 가능, 5) 치수, 이수 및 하천환경 분야와의 자료 공유, 공동활용 및 지수 개발을 위한 기본 형식의 통일로 효과적이고 지속발전가능한 WAMIS의 발전이 기대된다.

## 참고문헌

1. 강민구, 김우구 (2006). 유역의 수자원 및 환경 평가를 위한 Index와 Indicator의 활용, 물과 미래, 제39권 제39호, pp. 37-48.
2. 국토연구원 (2005). 홍수피해특성 분석 및 홍수피해지표 개발에 관한 연구
3. 국토해양부 (2001). 수자원장기종합계획(Water Vision 2020).
4. 국토해양부 (2006). 수자원 장기종합계획.
5. 국토해양부 (2006). 수자원정보화 기본전략수립 연구
6. 국토해양부 (2007). 물이용특성평가체계연구.
7. 김정훈, 김영오 (2003). 홍수피해잠재능 개선방안, 대한토목학회 2003 정기학술대회
8. 수자원지속가능성 지수개발 (2004).
9. 양진우 (2003). 부산시 환경지표의 개발에 관한 연구, 부산발전연구원
10. 윤하연 (1999). 인천광역시 환경지표의 개발과 적용, 인천발전연구원
11. 이동률, 임광섭, 최시중, 조효섭 (2008). 치수관리지수의 비교평가, 한국수자원학회 2008 학술발표회
12. 이창희(2006). 서울시 지역안전도 평가모형 개발 연구: 홍수재해를 중심으로, 서울시정개발연구원.
13. IADB (2005). Indicators of disaster and risk management
14. Joern Birkmann (2007). Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications, Environmental Hazards, 7 (2007) 20-31.
15. Tarek Merabtene, Junichi Yoshitani, Daisuke Kuribayashi (2004). Managing flood and water-related risks: A challenge for the future, A)GS 2004 Joint 1st Annual Meeting & 2nd APHW Conference, Singapore 2004
16. UNDP (2004). Reducing disaster risk: A challenge for development 🌍