

요인분석을 이용한 유역관리 평가 지수의 개발과 적용

Development and Application of Index for Watershed Management Evaluation Using Factor Analysis

강민구*, 이광만**
Min Goo Kang, Gwang Man Lee

요 지

유역의 수자원 및 환경 상태에 관련된 문제를 파악하고 관리에 적극적인 참여를 유도하기 위해서는 객관적인 평가수단이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 지속가능한 유역관리를 위하여 수계의 중권역별 유역관리 상태를 평가할 수 있는 평가지수를 개발하고 지수의 적용성을 평가하였다. 본 연구에서는 유역조사 자료와 다변량 통계 기법의 하나인 요인분석을 이용하여 유역관리 평가지수를 개발하였다. 또한, 평가지수를 한강수계에 적용하여 중권역별 유역관리 상태를 상대적으로 비교하여 평가하였다. 유역관리 평가지수는 이수관리 평가 세부지수, 치수관리 평가 세부 지수, 수질 및 생태 관리 평가 세부 지수로 구성하였다. 각 평가지수는 요인분석을 통하여 추출된 3개의 지표로 구성이 되어 있으며, 각 지표들은 3~5개의 변수들로 구성되어 있다. 한강수계의 중권역별 유역관리 상태를 평가한 결과, 댐상류에 위치한 중권역에서 다른 중권역들 보다 유역관리지수가 높게 나타났으며, 수계의 최하류에 위치한 중권역에서 다른 유역들 보다 작은 값을 나타냈다.

핵심용어 : Sustainable development, Watershed management evaluation, Index, Factor analysis

1. 서 론

최근 공공투자부분의 사업이 대형화되고 사회적 갈등이 발생하고 있어 사업에 따른 영향평가를 실시하고 있으며, 이 때 세세한 부분까지 평가하고 있다. 평가결과를 이용하여 대안들을 비교하고 적지를 선정하며 투자우선순위를 결정한다. 평가는 사전 평가에만 그치지 않는다. 추진 단계별로 평가가 실시되며, 그 결과는 문제가 발생할 경우 피드백하여 전 단계를 수정 및 보완하는 적응형 관리(Adaptive management)에 적용된다. 또한, 사후에도 사업으로 인한 영향을 지속적으로 모니터링하기 위해서 다양한 부분에 대하여 평가가 이뤄진다. 수자원 및 환경 분야에서도 국가들 사이의 수자원 이용 특성이나 유역관리 상태를 분석하여 취약점을 파악하고 대안을 모색하기 위하여 평가를 주기적으로 하고 있다. 평가는 현재의 상태와 현상, 사업의 계획, 실행과 달성, 사업 후 관리에 단계별로 적용되며, 이들 단계는 순환적인 관계를 갖고 있다. 평가를 위해서는 척도가 필요하며, 다양한 지표(Indicator)와 지수(Index)가 개발되어 적용되고 있다. 지표는 가장 단순한 측정 항목이며, 지수는 여러 개의 지표들을 통합한 형태로서 다양한 부분을 종합적으로 평가하는데 적용된다. 예를 들어 하천의 수질을 평가할 때, 단일 지표인 BOD만으로는 평가하기 어렵기 때문에 다양한 지표로 구성된 수질 평가 지수가 적용되고 있다. 또한, 국제기구에서 개발되어 적용되고 있는 WPI(Water Poverty Index), ESI(Environmental Sustainability Index) 등도 이러한 개발 배경을 가지고 있다. 최근 수자원에 대한 대중들의 관심이 높아지고 있다. 보다 질 높고 풍요로운 삶

* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원·kmg90@kowaco.or.kr

** 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원·ikm@kowaco.or.kr

을 살기 위해서 수자원 이용의 양과 질적인 측면에 대하여 요구가 많아지고 있다. 주민들이 거주하는 유역의 수자원 및 환경 상태를 파악하고 관리에 적극적인 참여를 유도하기 위해서는 객관적인 평가 수단이 필요하다. 또한, 수자원 정책의 실현 정도를 측정하기 위해서도 객관적인 평가 수단이 요구되고 있다. 근래에 안양천 복원 사업이 추진되고 있는데 안양천 유역의 이수, 치수, 수질을 평가하기 위하여 건천화지수, 홍수잠재능지수, 불투수면적율 등이 사용되었다. 유역관리는 유역내 수자원과 토지에 관련된 자원이용의 지속가능성을 유지하고 유역에 거주하는 주민들이 쾌적하게 생활을 영위할 수 있게 하는 것이다. 이를 위해서는 유역이 홍수와 가뭄과 같은 자연재해에 대하여 안전해야 하고, 수자원 이용의 편리성이 확보되어야 하며, 수질 및 생태 관리가 이뤄져야 한다. 수계관리는 이러한 유역관리를 기초로 해야 하며 유역들의 관리 상태를 평가하고 상대적인 비교를 통하여 이뤄져야 한다. 유역관리는 유역의 상태를 평가하여 문제점을 파악하고 문제점에 대한 대책의 수립은 다른 유역과의 상대적인 비교를 통하여 이뤄진다. 이를 위해서는 적절한 유역관리 평가수단이 필요하다. 본 연구에서는 유역의 관리 상태를 상대적으로 평가할 수 있는 지수를 개발하는 것을 목적으로 하였다. 평가지수는 다변량 분석기법 중의 하나인 요인분석을 이용하여 개발하였으며, 대상수계를 선정하고 개발된 지수를 적용하여 중권역별 유역관리상태를 평가하였다.

2. 유역관리

유역관리는 유역에 거주하는 주민들이 생활하기에 편리하고 생태계가 보전되도록 하기 위하여 유역의 수자원과 토지를 지속가능하게 관리하는 것이다. 유역관리 방식에는 중앙의 행정기관에서 지자체에 명령을 하여 유역을 관리하는 하향식 유역관리와 지방의 단체나 시민단체들이 참여하여 유역을 관리하는 상향식 유역관리가 있다. 이들 방법들은 시기 마다 달리 적용되었으며, 최근에는 소유역관리의 상향식 유역관리의 비중이 높아지고 있다. 유역관리를 위해서는 유역관리의 비전과 목표가 수립되어야 하며, 수립된 비전에 기반하여 평가, 계획, 실행이 실시된다. 유역관리의 원칙은 사회적 공평성, 경제적 효율성, 환경 보전성이다. 유역관리를 위해서는 유역관리 모델, 비용 및 재정 계획, 유역 조사 및 평가, 경제적 Tool, 홍보와 교육, 관리 목표가 필요하다. 유역관리에서는 문제가 발생하면 진단단계로 피드백하여 문제점의 발생원인을 분석하고 해결책을 찾아 다시 진행하는 적응형 관리(Adaptive management)가 적용되며 이를 위해서는 각 단계를 평가할 수 있는 평가방법이 필요하다.

3. 기개발된 지수의 고찰

국내·외에서 수자원의 평가를 위해 개발된 지수를 살펴보면 WPI(Water Poverty Index), SWSI(Social Water Stress/Scarcity Index), ESI(Environmental Sustainability Index), 수질 평가 지수(Korean Water Quality Index), WRSI(Water Resources Sustainability Index), 유역 수자원 환경 평가 지표 등이 있다. WPI는 수자원 이용에 관련된 수문, 사회, 경제, 환경 지표들을 통합한 지수이다. WPI를 적용하기 위해서는 많은 양의 자료가 필요하며, 국내에서는 세부지수들의 항목들을 재구성하여 적용된 바가 있다. ESI는 국가가 감당할 수 없을 정도의 환경파괴를 유발하지 않으면서 경제성장을 이룰 수 있는 능력을 측정하는 지수이다. 이 지수는 총 21개의 지표와 76개의 변수로 구성되어 있으며, 세계 각국의 환경지속성을 평가하는데 사용되고 있다. SWSI는 수자원에 대한 사회적 적응력을 평가하는 지수로서 WSI(Water Stress Index)를 HDI(Human Development Index)로 나눈 것이다. WPI, ESI, SWSI와 같은 지수들은 국가들 사이의 수자원 이용 상태나 환경적 지속가능성에 대한 상대평가를 위해 개발되었으며, 수자원의 지속가능성을 평가

하기 위하여 제한적으로 사용되었다. 국내에서는 수자원 관리와 이용의 지속가능성을 평가하기 위한 지수(Water Resources Sustainability Index, WRSI)가 개발되어 유역의 수자원 지속가능성을 평가하였다. WRSI를 구성하는 구성지표와 세부기준의 중요도(Weight)는 계층적 분석기법 (Analytic Hierarchy Process, AHP)을 사용하여 결정하였다. 수자원의 지속가능성을 세부적으로 평가하기 위하여 WRSI를 경제적 효율성, 사회적 공평성, 환경적 보전성, 유지관리능력 등 4개 세부기준으로 구분하였다. 유역관리 상태를 평가하기 위한 지수로는 미국의 EPA(Environmental Protection Agency)에서는 유역의 상태를 파악하고 진단하며, 미래를 대비하기 위한 평가지수로 유역지표지수(Index of Watershed Indicators, IWI)를 개발하여 사용하고 있다. 이 지수는 15개의 지표로 구성이 되어 있다. 7개의 지표를 이용하여 유역의 상태를 파악하고, 나머지 8개 지표를 이용하여 유역의 취약성을 진단한다. 국내에서는 유역조사결과를 사용하여 유역의 수자원 환경을 이수, 치수, 하천환경으로 구분하고, 유역의 취약성과 대응력을 평가할 수 있는 지표들을 개발하여 적용하였다. 그러나 지표들을 종합한 결과를 제시하지 못하고 개별 지표들을 산정하여 유역별로 비교하는데 적용된 바가 있다.

4. 유역관리 평가지수 개발

본 연구에서는 유역을 평가하기 위한 세부지수로 이수, 치수, 수질 및 생태 관리 평가세부지수를 선정하였다. 선정된 세부지수를 산정하였는데 사용이 가능한 변수들을 수집하고 이들을 통계적 기법 중의 하나인 요인분석을 적용하여 중요한 변수들만 추출하였다. 추출된 변수들 중 상관관계가 높은 변수들 끼리 그룹화하여 세부지수를 구성하는 지표들을 추출하였다. 세부지수를 구성하는 지표와 변수들은 각 세부 지수와 관련된 유역조사결과와 통계자료 중에서 추출하였다. 요인분석을 통하여 선정된 이수 평가 세부지수의 지표들로는 수자원이용의 편리성, 수자원량, 가뭄피해 안전성이었다. 수자원 이용의 편리성 지표의 구성변수는 불투수면적율, 국토개발보전비, 수리전율, 지하수 이용율, 1인당 GRDP, 농업인구 비율이다. 수자원량의 구성 변수는 1인당 지하수 이용 가능량, 1인당 수자원량, 농지당 수자원량이다. 가뭄피해 안전성 지표의 구성변수는 가뭄우심지역 비율, 제한 급수 지역 면적율, 수리답율이다. 요인분석을 통하여 선정된 치수 평가 세부 지수의 지표들로는 홍수발생가능성, 침수위험성, 홍수피해 잠재성이었다. 홍수발생 가능성 지표는 100년 빈도 확률강우량, 10년 1회 최대 강우량, 산지 면적율, 형상인자이다. 침수위험성 지표의 구성변수는 수계 밀도, 배수양호 면적율, 과거 10년간 침수면적율이다. 홍수 피해 잠재성 지표의 구성변수는 불투수면적율, 인구밀도, 도로율, 과거 10년간 피해액 밀도이다. 요인분석을 통하여 선정된 수질 및 생태평가 세부 지수의 지표들로는 수질저하 가능성, 수질관리, 생태 보호이었다. 수질저하 가능성 지표의 구성변수는 단위면적당 배출부하량(BOD, T-N, T-P), 인구밀도, 도로율, 불투수면적율, 농업인구비율이다. 수질관리 지표의 구성변수는 1인당 승용차 등록대수, 제조업종사자 비율, BOD 달성율, 산지면적율이다. 생태 보호 지표의 구성 변수들은 녹지자연도 8등급 이상 면적율, 생태자연도 1등급 면적율, 법규제한 면적율이다.

5. 유역관리 평가지수의 적용

유역관리 평가지수의 적용성을 평가하기 위하여 대상유역으로 한강수계를 선정하고 중권역별 유역관리 상태를 평가하였다. 유역관리 평가 지수의 적용을 위해서 한강 수계를 19개의 중권역으로 분할하였다. 또한, 지수 산정의 효율성을 향상시키고 자료들의 공간적인 비교를 위하여 관련 자료들의 GIS 주제도를 구축하였다. 중권역별 유역관리 평가 지수를 산정하기 위하여 먼저 동일한 지표 내에 포함된 변수들을 표준화하였다. 표준화된 변수들을 사용하여 지표 값과 세부평가지

수 값들을 산정한 후 이들을 종합하여 유역관리 평가지수를 산정하였다. 유역관리 평가 지수가 가장 큰 중권역은 소양강댐 상류에 위치한 1011 중권역이었으며, 가장 작은 값을 나타낸 유역은 한강수계의 말단에 위치한 1024 중권역이다. 1011 중권역은 도시화율이 낮아서 이수관리 평가 세부지수의 값이 작으나, 한강수계의 상류에 위치하고 있어 수질 및 생태관리가 다른 유역들 보다 양호하고, 홍수에 대해서도 다른 유역들 보다 상대적으로 안전하다. 유역관리 평가 지수가 가장 작은 중권역은 1024 중권역으로 한강 수계의 말단에 위치하여 홍수에 대해서 다른 유역들 보다 상대적으로 취약하며, 수질 및 생태 관리 측면에서 다른 유역들 보다 다소 양호하지 못한 결과를 나타냈다. 그러나 이수관리 측면에서는 수자원 이용의 편리성과 가뭄피해에 대한 안전성이 높아 다른 유역들 보다 상대적으로 높은 값을 나타냈다. 유역관리평가지수의 공간적인 분포를 비교해 본 결과, 충주댐의 상류유역인 1001 중권역, 소양강댐의 상류유역인 1011, 1012 중권역, 평화의댐의 상류유역인 1009 중권역에서 다른 유역들 보다 유역관리 평가 지수가 높은 값을 나타냈다. 다른 유역들 보다 상대적으로 유역관리 평가 지수가 낮게 나타난 유역들은 한강수계 하류에 위치한 1018, 1019, 1024 중권역이었다.

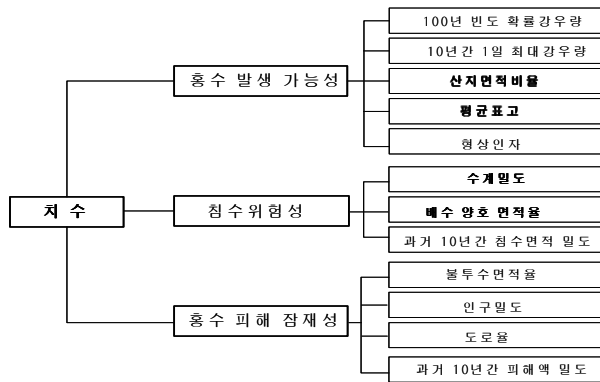


그림 1. 치수 관리 평가 세부지수의 구성

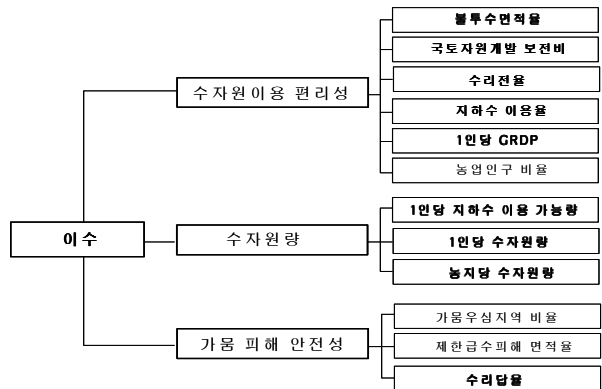


그림 2. 이수 관리 평가 세부지수의 구성

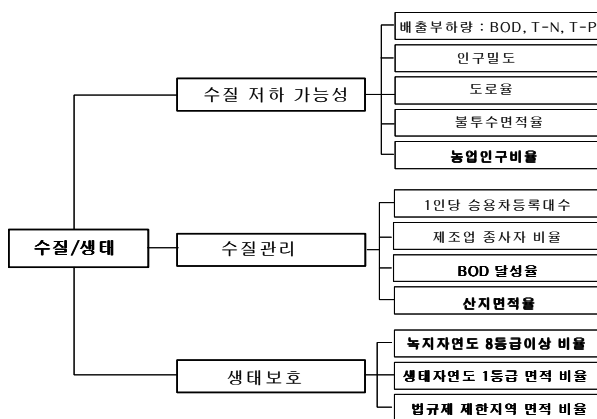


그림 3. 수질 및 생태 평가 세부지수의 구성

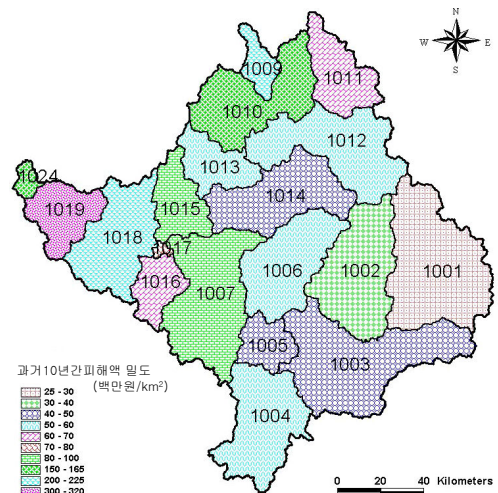


그림 4. 관련자료의 GIS 주제도 구축

제 6 장 요약 및 결론

본 연구에서는 지속가능한 유역관리를 위하여 수계의 중권역별 유역관리 상태를 평가할 수 있는 평가지수를 개발하고 개발된 지수의 적용성을 평가하였다. 유역관리는 비전과 목표를 수립한

후에 이와 비교하여 현재의 상태를 파악하고 지속적인 모니터링을 실시하여 문제점을 파악하고 대책을 수립하면서 장기적으로 수행되어야 한다. 이를 위해서는 유역관리 상태를 평가하기 위한 적절한 평가 수단이 필요하다. 본 연구에서는 다변량 통계 기법의 하나인 요인분석을 이용하여 유역관리 평가지수를 개발하였으며, 한강수계에 적용하여 평가지수의 적용성과 해당 수계의 중권역별 유역관리 상태를 평가하였다. 유역관리 평가지수는 이수관리평가 세부 지수, 치수관리 평가 세부지수, 수질 및 생태 관리 평가 세부지수의 산정 결과를 종합하여 산정하였다. 유역관리 평가지수를 중권역별로 비교한 결과, 상류에 위치한 중권역이 하류에 위치한 중권역 보다 높은 값을 나타냈다. 이러한 결과는 상류에 위치한 중권역은 도시화율이 낮아서 이수관리 평가 세부 지수의 값이 작으나, 수계의 상류에 위치하고 있어 수질 및 생태 관리가 다른 유역들 보다 양호하고, 홍수에 대해서도 다른 유역들 보다 상대적으로 안전하며, 수계의 하류에 위치한 중권역은 홍수에 대해서 다른 유역들 보다 상대적으로 취약하며, 수질 및 생태 관리 측면에서 다른 유역들 보다 다소 양호하지 못하기 때문으로 판단된다. 그러나 이수 관리 측면에서는 하류에 위치한 중권역은 수자원 이용의 편리성과 가뭄피해에 대한 안전성이 높아 다른 유역들 보다 상대적으로 높은 값을 나타냈다.

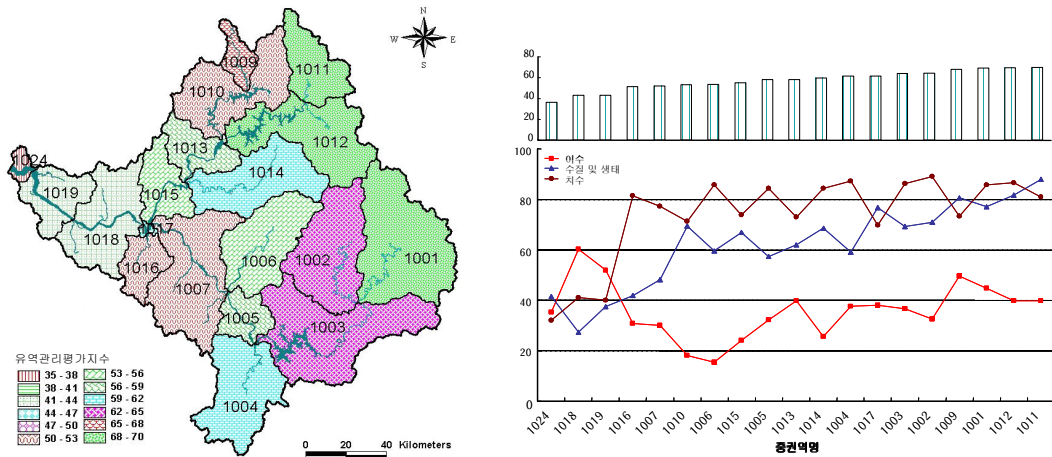


그림 5. 중권역별 유역관리 평가 지수의 산정 결과

참 고 문 헌

1. 강민구, 이광만, 2006. 수자원의 지속가능성 평가 지수 개발과 구성 요소의 중요도 평가, 한국수자원학회 논문집, 제 39권 제 1호, pp. 59-68.
2. 강민구, 정찬용, 이광만, 2005. 요인분석을 이용한 한강수계 댐 운영에 대한 영향 인자 추출, 대한토목학회 학술발표회 논문집.
3. 건설교통부, 한국수자원공사, 2005. 전국유역조사-한강, 낙동강 유역.
4. 건설교통부, 한국수자원공사, 2003. 물에 관한 국민여론조사.
5. 국토개발연구원, 2003. 지속가능한 국토개발지표 설정에 관한 연구.
6. 최지용, 2003. 유역관리 효율화를 위한 불투수지표 개발과 적용 방안, 한국환경정책평가연구원.
7. 한국건설기술연구원, 2004. 건강한 물순환 구축을 위한 유역진단기법 개발 연구.
8. 한국환경정책평가연구원, 1999. 물자원의 효율적 이용을 위한 유역관리 방안-낙동강 수계관리를 중심으로.
9. UN Commission on Sustainable Development (UNCSD), 2001. *Indicators of sustainable development framework and methodologies*, United Nations, New York, U.S..
10. UNEP, 1988. *Training Guidance for the Integrated Environmental Evaluation of Water Resources Development Projects*, UNESCO.
11. World Economic Forum, 2005. *2005 Environmental Sustainability Index*.