

요인분석을 이용한 수계 관리 맥락에서 유역관리 상태를 평가하기 위한 통합지수 개발

Development of a Integrated Indicator System for Evaluating the State of Watershed Management in the Context of River Basin Management Using Factor Analysis

강민구* / 이광만** / 고익환*** / 정찬용****

Kang, Min Goo / Lee, Kwang Man / Ko, Ick Hwan / Jeong, Chan Yong

Abstract

In order to carry out river basin management, it is necessary to evaluate the state of the river basin and make site-specific measures on the basis of management goals and objectives. A river basin is divided into several watersheds, which are composed of several components: water resources, social and economic systems, law and institution, user, land, ecosystems, etc. They are connected among them and form network holistically. In this study, a methodology for evaluating watershed management was developed by consideration of the various features of a watershed system. This methodology employed factor analysis to develop sub-indexes for evaluating water use management, environment and ecosystem management, and flood management in a watershed. To do this, first, the related data were gathered and classified into six groups that are the components of watershed systems. Second, in all sub-indexes, preliminary tests such as KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) measure of sampling adequacy and Bartlett's test of sphericity were conducted to check the data's acceptability to factor analysis, respectively. Third, variables related to each sub-index were grouped into three factors by consideration of statistic characteristics, respectively. These factors became indicators and were named, taking into account the relationship and the characteristics of included variables. In order to check the study results, the computed factor loadings of each variable were reviewed, and correlation analysis among factor scores was fulfilled. It was revealed that each factor score of factors in a sub-index was not correlated, and grouping variables by factor analysis was appropriate. And, it was thought that this indicator system would be applied effectively to evaluating the states of watershed management.

keywords : Watershed management, River basin management, Evaluation, Indicator system, Factor analysis

* 서울대학교 농업생명과학연구원, 선임연구원

Senior Researcher, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Silim-dong, Kwanak-gu, Seoul, Korea, 151-921

(e-mail: kmg901@hanmail.net)

** 한국수자원공사 수자원연구원, 수석연구원

Head Researcher, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation(K-WATER), Daejeon, Korea, 305-730

*** 한국수자원공사 수자원연구원, 통합물관리연구단장

Director, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation(K-WATER), Daejeon, Korea, 305-730

**** 한국건설기술연구원 유량조사사업단, 연구원

Researcher, Hydrological Survey Center, Korea Institute of Construction Technology, Goyang, Korea, 411-712

요 지

수계관리를 위해서는 수계의 상태를 평가하고 관리 목표를 바탕으로 수계의 문제를 파악하고, 이를 해결하기 위한 적절한 대책을 수립해야 한다. 수계는 여러 개의 유역들로 나뉘지며, 이들은 수자원, 사회 및 경제 시스템, 법률 및 제도, 사용자, 토지, 생태계 등의 요소들로 구성되어 있다. 이들은 복잡하게 연결되어 네트워크를 형성한다. 본 연구에서는 수계 관리 상황에서 유역관리를 실시하기 위해서 유역의 관리 상태를 평가하기 위한 평가지수를 개발하였다. 평가지수는 이수 관리, 환경 및 생태계 관리, 홍수 관리를 평가하기 위한 세부지표와 변수로 구성이 되었으며, 이들은 요인분석을 통하여 선정되었다. 세부지수의 구성변수들을 선정하기 위하여 먼저 관련 자료들을 유역 시스템의 구성 요소인 수자원, 토지, 생태계, 사회 및 경제 시스템, 법과 제도, 사용자 등을 대분류 항목으로 설정하고 수집하였다. 둘째, 요인분석에 적합한 변수들을 선정하기 위하여 KMO 표본 적합성 검사와 Bartlett의 구형성 검사를 각각 실시하였다. 셋째, 선정된 변수들을 요인분석을 통하여 세부지표로 그룹화하였으며, 각 세부지수에 대하여 3가지 요인들이 선정되었다. 이들 요인들은 세부지수의 세부지표가 되며, 포함된 변수들의 관계와 특성을 고려하여 세부지표의 이름이 지어졌다. 마지막으로 요인분석 결과를 검토하기 위하여 변수들의 요인 부하량을 검토하였으며, 요인점수들 사이의 상관분석을 실시하여 요인 점수들 사이에 상관성이 없다는 결과를 얻었다. 검토 결과는 본 연구에서 개발된 유역관리 평가지수의 구성변수의 선정과 이들의 그룹화가 적절한 것으로 나타났다. 또한, 개발된 평가지수가 유역관리 평가에 효과적으로 적용이 가능할 것으로 사료된다.

핵심용어 : 유역관리, 수계관리, 평가, 평가지표, 요인분석

1. 서 론

최근 수자원에 대한 국민들의 관심이 커짐에 따라 수자원에 대한 요구사항도 많아지고 있다. 국민들을 대상으로 한 설문조사 결과를 살펴보면 수자원의 효율적인 이용의 필요성에 대해서 인식하고 있으며, 수자원이 용의 편리성 향상과 양질의 물을 요구하고 있다. 또한, 복개되거나 수질오염이 심각한 하천에 대해서 수질개선을 통하여 친수환경을 조성하고 하천의 생태계 복원을 요구하고 있다(건설교통부와 한국수자원공사, 2003). 유역관리는 거주하는 주민들의 이와 같은 욕구를 충족시키고 쾌적한 환경을 제공하며, 생태계가 보전되도록 유역을 관리하는 것이다. 유역관리는 이수뿐만 아니라 치수, 하천환경, 생태계 보전 등을 고려해야 한다. 이들 관리 목적에 대하여 효과를 얻기 위해서는 유역들의 특성을 고려한 통합유역관리가 필요하다. 통합유역관리는 미국을 중심으로 1980년대 이후부터 중요성이 인식되어 왔으며, 우리나라에서도 이의 필요성이 인식되어 안양천에 적용하려는 시도가 진행 중에 있다(이길성 등, 2006; 박성제, 2005).

유역관리를 위해서는 유역 관리 모델, 비용 및 재정 계획, 수계 조사 및 평가, 경제적 도구, 홍보와 교육, 관리의 목표 등이 필요하다. 유역관리의 일반적인 목표는 자연자원을 생태 및 환경을 고려하면서 경제적으로 효율적이고 사회적으로 공평하게 사용하도록 하는 것이다. 이와 같은 관리 목표는 이해관계자, 주민, 관계기관

등의 적극적인 참여에 의해 설정된다. 목표를 달성하기 위해서는 유역 상태를 평가하여 문제점을 파악하고, 평가결과에 기초하여 세부적인 방안과 실천전략이 수립되어 지속적으로 추진되어야 한다. Heathcote (1998)은 통합유역관리 계획을 수립하기 위하여 관련 자료 수집, 문제점 파악 및 해결 우선순위 결정, 구체적인 목표 수립, 대안 리스트 작성, 가능한 대안의 선택, 대안들의 효과 분석, 최종 대안 선정 등과 같은 7단계로 제안한 바가 있다. 이 절차에서 2단계의 문제점의 파악, 6단계의 대안의 효과분석을 수행하기 위해서는 유역의 상태를 평가할 수 있는 방법의 개발이 필요하다.

유역관리 상태의 평가는 수량, 수질 등과 같은 단일 지표만으로는 평가하기 어렵기 때문에 유역 시스템을 구성하는 요소들을 종합적으로 평가할 수 있는 통합지수(index)와 다양한 지표(indicator)가 필요하다. 유역관리 상태를 평가하기 위한 도구들은 현재 까지 많이 개발되지 않았다. 국제기구에서 사용되고 있는 WPI (Water Poverty Index), SWSI (Social Water Stress/Scarcity Index), ESI (Environmental Sustainability Index) 등은 국가들 사이의 수자원 및 환경 지속가능성을 평가하기 위해 사용이 되고 있다(Sullivan, 2002; WEF, 2005; 강민구와 이광만, 2006). 이들 지수를 구성하는 지표들 중에는 관련 자료를 국내에서 획득할 수 없는 것들도 있어 적용에 제약이 따른다. 최근 국내에서는 강민구와 이광만(2006)에 의해 수계의 수자원 이용의 경제성, 사회적 형평성, 환경성, 유지관리 능력 등

을 비교·평가할 수 있는 지수가 개발된 바가 있다. 이 연구에서는 각 세부지수들을 평가할 수 있는 지표선정 과정을 거쳐 수자원 지속가능성 지수(Water Resources Sustainability Index, WRSI)가 개발되었으며, 구성 요소들의 중요도가 결정되었다. 유역 상태를 평가할 수 있는 지수개발에 대한 연구로는 이길성 등(2006)에 의한 유역관리 평가지수의 개발과 도시유역에 대한 적용에 대한 연구가 있다. 이 연구에서는 홍수피해잠재능(Potential Flood Damage, PFD), 수질오염잠재능(Potential Water Quality Deterioration, PWQD), 건천잠재능(Potential Streamflow Depletion, PSD) 등을 사용하여 유역상태를 종합적으로 평가할 수 있는 유역평가지수가 개발되었다. 또한, 이 지수를 도시유역인 안양천 유역의 소유역별 수질, 치수, 이수 분야의 관리 상태 평가에 적용하고 유역관리 상태를 향상시키기 위한 대안들을 제시한 바가 있다.

수계는 인문 및 사회적 구분, 행정적 구분, 수리 및 수문적 구분에 의해서 여러 개의 유역들로 구분될 수 있다. 유역은 사회 및 경제, 법률 및 제도, 토지, 사용자, 환경 및 생태계 등과 같은 다양한 요소로 구성되어 있으며, 이들은 복잡하게 연결되어 있다. 수계는 이들 유역들의 연결로 이루어져 있다. 유역을 평가하기 위해서는 구성 요소들을 평가할 수 있는 지수들을 사용해야 한다. 그러나 이들은 완벽하게 상호 독립적이지 않기 때문에 지수나 지표들 사이에 높은 상관관계를 나타낼 수 있다. 따라서 보다 상호 독립적인 지표와 지수를 선정하기 위해서는 이들 사이의 통계적 특성을 고려할 필요가 있다. 요인분석(factor analysis)은 시스템이나 현상에 영향을 미치는 주요 요인들을 추출하기 위해 적용되는 통계기법이다. 이 기법은 통계적 특성이 유사한 지표들을 몇 개의 요인들로 구분하고, 요인들 사이의 독립성을 향상시키기 위해서 회전시키기 때문에 최종적으로 얻는 결과는 상호 독립적이다. 요인분석의 적용 예로는 임창수와 신재기(2002)는 삼교호 수계의 수질자료를 수집하여 요인분석을 실시하고 수질 특성과 영향 요인을 분석한 바가 있다. 한승헌 등(2003)은 해외건설 사업의 수익성 영향인자 분석에 관한 연구에서 요인분석 기법을 관련된 요인들의 추출과 그룹화에 활용하였으며, 오주삼 등(2003)은 교통특성에 따른 도로유형분류에 관한 연구에서 다양한 교통특성변수들에 대하여 요인분석을 실시하여 3개의 요인으로 그룹화하였으며, 선정된 요인들을 기준으로 하여 도로유형을 4개 그룹으로 분류한 바가 있다. 강민구 등(2007)은 한강수계의 다목적 댐 운영에 대한 영향 요인 추출에 요인분석을 적용하여 5개의 주요 영향요인을 추출하였으며, 다중회귀분

석을 통하여 분석결과를 고찰하고 요인분석의 적용가능성을 제시한 바가 있다.

본 연구에서는 수계를 여러 개의 유역들로 나눠 각 유역들의 관리 상태를 평가하고 문제점을 파악하기 위하여 유역관리 평가지수(Index for Evaluating Watershed Management, IEWM)를 개발하였다. IEWM의 세부지수의 세부지표와 변수를 선정하기 위하여 요인분석 통계기법을 적용하였다. 또한, 요인분석 결과의 적절성을 검토하기 위하여 요인들에 대한 변수들의 요인 부하량을 분석하였으며, 요인점수들 사이의 상관분석을 실시하였다.

2. 유역관리의 기본 이론

2.1 유역관리

유역관리는 유역 시스템내의 자연자원을 효율적으로 사용하고, 토지와 수자원을 연계하여 관리하며, 친환경적으로 유역을 개발하고 관리하는 것으로 정의된다. 유역관리를 효과적으로 실시하기 위해서는 관리 목표와 목적에 근거하여 유역의 문제점들을 파악하고, 이들을 해결하기 위한 방안들이 선정되어야 하며, 이들을 시행하기 위한 자원, 재정, 제도 및 법 등과 관련된 체계적인 계획이 필요하다. 최근에는 지속가능한 개발 개념이 국토 개발과 관리에 도입이 되고 있으며, 유역관리 목표를 설정할 때 고려되고 있다. 지속가능한 개발은 현재의 자원을 경제적으로는 효율적으로 사용하고, 사회적으로는 공평하게 이용하며, 생태계의 연속성을 유지하고 다음 세대가 사용할 수 있도록 환경적으로 보전하면서 사용하는 것이다(강민구와 이광만, 2006; Cai et al., 2002). 지속가능한 유역관리는 1) 수자원에 대한 토지이용의 영향을 고려하여 유역을 관리하며, 2) 홍수, 가뭄 등과 같은 자연재해에 안전하도록 유역을 관리하고, 3) 유역을 친환경적으로 개발하거나 관리하고, 4) 유역주민들에게 쾌적한 주거환경을 조성하는 것이다. 이와 같은 유역관리는 수계관리에 영향을 미치지 때문에 이를 고려해서 실행되어야 한다.

유역관리 방식에는 중앙 행정기관에서 지자체에 명령을 하여 유역을 관리하는 하향식 유역관리(Top-down)와 지방의 단체나 시민단체 등이 참여하는 유역관리를 통해서 유역을 관리하는 상향식 유역관리(Bottom-up)로 구분할 수 있다. 또한, 이들을 혼합한 방식(Combined)도 있다. 유역관리 방식은 시대적인 상황에 따라 바뀌고 있으며, 최근에는 지역주민, NGO 등의 수자원 분야에 관심이 높아짐에 따라 상향식 유역관리가 관심의 대상이 되고 있다. 또한, 유역을 지속가능

하게 관리 및 이용하기 위해서 세계적으로 유역 내 자연자원의 통합관리에 대한 관심이 높은 상태이다(GWP, 2002). 통합유역관리(Integrated River Basin Management, IRBM)의 필요성은 미국을 중심으로 1980년대 이후 대두되었다(Schramm, 1980; Pearse *et al.*, 1985). 대표적인 수자원 관리기관인 미국 공병단에서는 수자원 관리에 있어 대중의 참여가 중요함을 오래 전부터 강조하였고, 다른 선진국에서도 1990년대 부터 이를 꾸준히 실천하고자 노력해 오고 있다. 호주에서는 통합수자원 관리(IWRM)를 통해서 유역을 관리하고 있으며 전문가인 CRC(Cooperative Research Center)를 1991년에 설립하여 관련된 많은 연구를 진행시키고 있다(고익환, 2004). 우리나라에서도 도시하천인 안양천의 복원을 위해서 통합유역관리시스템 구축에 관한 연구가 진행되고 있다(이길성 등, 2005).

2.2 유역관리의 필요요소

효과적인 유역관리를 위해서는 관리 목표 및 목적, 유역 모델, 비용 및 재정계획, 유역 조사 및 평가, 경제적 도구, 홍보와 교육 등이 필요하다(박두호와 윤석영, 2004). 유역관리 모델은 유역관리의 영향인자를 추출하고, 구성인자간의 관계를 수식화하여 인과관계를 나타낸 것이다. 이 모델은 유역관리와 관련된 의사결정과정에서 사용되며, 관련 대안들을 비교하여 적절한 대안 결정에 사용된다. 유역관리 모델은 새로운 자료가 수집되면 수정 및 보완이 용이하도록 탄력적으로 구성될 필요가 있다. 유역관리를 하기 위해서는 비용이 필요하며, 유역관리 주체들의 재정이 확보되어야 한다. 또한, 정책 집행의 독립성이 확보되도록 재정계획을 수립하고 집행해야 한다. 유역을 효과적으로 관리하기 위해서는 관리의 목표와 목적들이 명확하게 설정되어야 한다. 유역관리의 목표와 목적은 유역의 문제 파악, 대책 수립, 계획의 실행 및 평가의 근간이 된다. 유역 관리의 목표와 목적은 국가나 지자체의 관리 목표를 고려해서 수립되어야 하며, 유역 내에 있는 수자원, 토지이용, 생태, 사회 및 경제 시스템, 제도 및 행정 등도 유역관리 목표 수립을 위해서 고려되어야 한다. 유역관리 활동들의 진행상황을 파악하기 위해서는 유역 시스템의 구성요소들의 변화 상태를 주기적으로 조사하고 평가해야 한다. 평가 결과는 Fig. 1과 같이 유역관리 프로세스에 반영이 되며, 새로운 대응책을 수립하거나 목표 및 목적을 수정 및 보완을 하도록 한다. 효과적인 유역관리를 위해서는 유역 주민들이나 이해당사자가 참여가 필요하며, 이들의 참여를 유도할 수 있는 경제적인 도구도 필요하다. 이들이 참여할 수 있는 시장이 필요하며 참여를 유도할

수 있는 인센티브와 규제가 필요하다. 또한, 유역관리의 필요성과 효과에 대한 홍보가 필요하며, 지역주민들에 대한 유역관리 및 수자원 관련 교육이 이뤄져야 한다.

2.3 적응형 유역관리와 관리 상태 평가

유역관리는 관리의 목표 및 목적 설정, 유역의 평가 및 대응책 수립, 대응책의 실행, 사후 평가 등의 단계로 구분되며, 각 단계들이 연속적으로 이루어지는 것은 아니다. 유역관리는 설정된 관리의 목표를 적절한 방법을 통하여 달성해야 하며, 사회 및 경제시스템, 관리 환경, 기후변화 등과 같은 여러 여건 변화에 따라 유역관리의 목표 및 방법들이 수정 및 보완되거나 변경될 수 있다. 따라서 유역관리에는 각 단계에서 문제가 발생하면 전단계로 피드백(feedback)하여 문제의 발생 원인을 분석하여 새로운 해결책을 찾거나 보완하여 다음 단계로 다시 진행하는 적응형 관리(adaptive management)의 적용이 필요하다. 또한, 유역관리 계획은 이러한 점들을 고려해서 수립되어야 하고 유역 시스템을 구성하는 요소들을 주기적으로 평가하고 점검할 필요가 있다. 적응형 유역관리에는 지속적인 모니터링을 통하여 유역관리 관련 자료들을 수집하고 유역 시스템의 문제점과 유역관리 대책들의 효과를 다양한 평가지표를 사용하여 평가하는 프로세스가 포함된다. 그리고 그 결과를 검토하여 유역관리 프로세스에 반영하거나 관련된 여건들의 변화에 적응하도록 계획 및 대책들을 수정 및 보완한다(US EPA, 2005). Fig. 1은 이와 같은 과정을 도식적으로 나타낸 것이다. 유역관리는 유역의 상태를 체계적으로 평가하고 문제를 도출하여 대책을 수립하고 실행결과를 모니터링하면서 지속적으로 시행된다. 유역관리의 평가는 Fig. 1과 같이 수자원 이용, 환경 및 생태계 관리, 자연재해관리, 어메니티 관리 등으로 구분할 수 있으며, 이들에 대하여 세부 평가 항목을 설정하고 평가해야 한다(강민구와 김우구, 2005). 또한, 이를 통하여 유역관리 목표 및 목적의 달성하지 못한 경우에는 피드백하여 계획 및 대책들을 점검할 필요가 있다.

시스템의 상태나 반응을 평가하는 방법에는 가장 간단한 단일지표에 의한 방법, 압력(Pressure)-상태(State)-반응(Response), 추진(Driving force)-상태(State)-반응(Response), 취약점(Vulnerability)-대응책(Countermeasure), 다양한 세부지수와 지표들의 그룹화(Grouping) 등과 같은 형태가 있다. 단일 지표에 의한 방법은 단순한 시스템 평가에 적용이 되며, 시스템에 영향을 미치는 요인들과 이들의 반응이 다양한 경우에는 적용이 어렵다. 특히, 유역 시스템은 구성요소가 다양하고 복잡하게 연결되어 있기 때문에 여러 가지 지표

를 통합한 지수를 사용하여 평가해야 한다(강민구와 이광만, 2006). 유역 시스템을 구성하는 요소들은 Fig. 2와 같이 생태 및 환경, 수자원, 사회 및 경제 시스템, 사용자, 제도 및 법률, 토지 등이 있다. 이들은 Fig. 2와 같이 복잡하게 연결되어 네트워크를 형성하고 있다. 각 요소들은 세부요소들로 구성되어 있으며, 이들도 네트워크를 형성하고 있다. 따라서 한 요소의 변화는 다른 요소에 영향을 미친다. 예를 들어 유역 개발에 따른 토지 이용의 변화는 생태계의 훼손과 홍수피해 증가와 수질 저하와 같은 사회 및 경제 시스템 내의 문제를 발생시킨다. 또한, 생태 및 환경 시스템에 대한 사회 및 경제시스템의 투입량 변화와 법 규제 및 제도의 개선은 유역의 수질 및 생태계의 변화를 초래할 수 있다.

유역 시스템은 인접 유역 시스템들과 복잡하게 연결되어 있으며, 인접 유역 시스템과 해당 유역 시스템은 상호작용을 통해서 각각의 유역 시스템 구성요소들의 변화를 초래한다. 따라서 유역 시스템의 평가는 구성 요소들의 변화를 측정할 수 있는 다양한 지표들을 선정하고 수계를 구성하는 다른 유역 시스템의 것들과의 비교를 통하여 이루어져야 한다. 유역 관리 상태를 평가하기 위한 항목은 유역관리 목표 및 목적에 따라 Fig. 1과 같이 다양하게 선정할 수 있다. 본 연구에서는 이들 항목들을 고려하여 유역관리 상태를 이수관리, 홍수관리, 환경 및 생태관리로 구분하여 평가하도록 하였으며, 각각을 평가하기 위한 지표들을 요인분석을 적용하여 선정하였다.

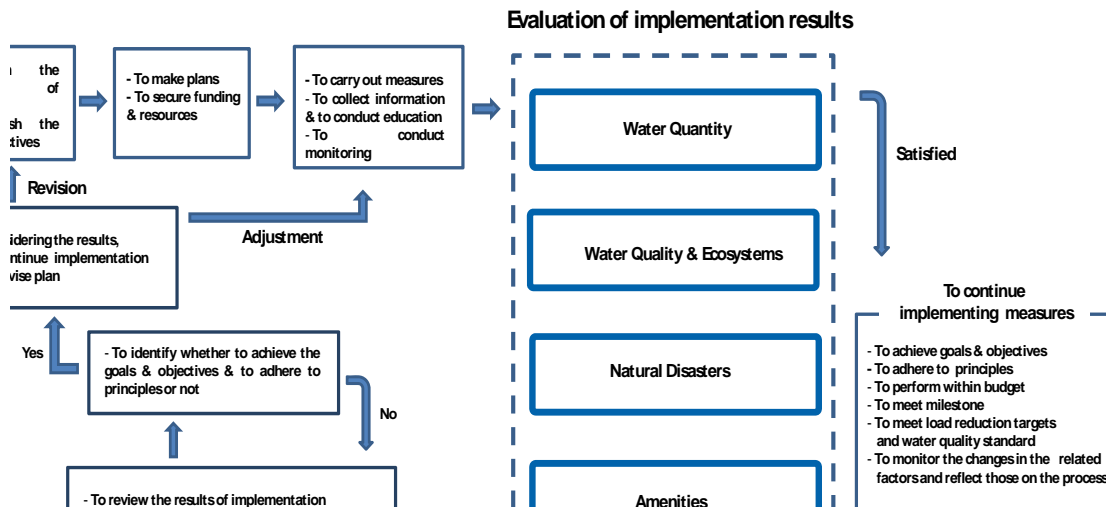


Fig. 1. Flow Chart of Adaptive River Basin Management

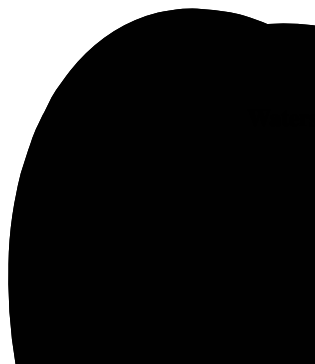


Fig. 2. Conceptual Diagram of Components Network in a Watershed

3. 요인분석을 이용한 유역관리 평가지수 개발

3.1 요인분석의 개요

요인분석은 설명변수와 목적변수를 지정하지 않고 변수들 사이의 상호작용을 분석하는 다변량 분석 기법 중의 하나이다. 이 분석 기법은 주로 데이터 양의 축소와 정보 요약에 적용이 되고 있다. 또한, 요인분석은 변수들 내부에 존재하는 구조를 발견하고자 할 경우, 많은 변수들을 몇 개의 요인으로 묶어 중요도가 낮은 변수를 제거하는 경우, 같은 개념을 측정하는 변수들이 동일한 요인으로 묶이는가를 확인하고자 하는 경우에 사용된다. 요인분석을 통하여 얻어진 요인들은 상호 상관성이 낮으므로 다중회귀분석의 설명변수로 사용이 가능하다. 특히, 요인들의 요인점수(factor score)들은 상호 독립적이므로 이를 사용하여 다중회귀모형을 개발하여 사용할 수 있다.

요인분석에서는 변수들이 어떻게 연결되어 있는가를 분석하고, 변수들 사이의 관계를 공통요인을 이용하여 설명한다. 이 분석에서는 상관성이 높은 일부 변수들이 이 서로 같은 분산구조를 가지고 있는가를 검토하여 이들을 동일요인으로 그룹화한다(이영일, 2002). 많은 변수가 복잡하게 상관하고 있는 경우에 상관관계를 설명할 수 있는 몇 개의 공통적인 부분과 독자적인 부분으로 나눌 수 있다. 요인분석에서는 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_p$ 와 같은 p개의 변수들은 m 개의 잠재요인 $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_m$ 과 p 개의 오차요소(error component) $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_p$ 으로 Eq. (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} x_1 &= \lambda_{11}\delta_1 + \lambda_{12}\delta_2 + \dots + \lambda_{1m}\delta_m + \epsilon_1 \\ x_2 &= \lambda_{21}\delta_1 + \lambda_{22}\delta_2 + \dots + \lambda_{2m}\delta_m + \epsilon_2 \\ &\vdots \\ x_p &= \lambda_{p1}\delta_1 + \lambda_{p2}\delta_2 + \dots + \lambda_{pm}\delta_m + \epsilon_p \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, 상관계수 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{pm}$ 은 변수 x 와 요인 δ 와의 요인적재량(factor loading)을 나타낸다.

요인분석에서는 1) 요인들은 서로 독립이고 평균이 0이며 분산이 1인 정규분포를 나타내며, 2) 오차요소는 서로 독립적이고 평균이 0이며, 3) 요인들과 오차요소는 서로 독립적이라고 가정한다. 요인분석에서는 요인과 변수들 사이의 요인 부하량을 사용하여 변수들 사이의 공통요인을 추출한다. 따라서 요인에 대한 변수의 요인 부하량이 높다는 것은 해당변수와 요인 사이의 상관성이 높음을 의미한다.

3.2 요인분석 적용 절차

요인분석을 적용하는 절차는 Fig. 3과 같다. 첫 번째,

상관분석을 실시하여 변수들 사이의 상관계수를 산정하고 행렬을 작성하여 자료의 적합성을 판단해야 한다. 두 번째, 자료가 요인분석에 적합한가를 판단한다. 요인분석의 적용 가능성을 판단하기 위한 방법으로는 Bartlett의 구형 검사, Kaiser-Meyer-Olkin(KMO) 표본적합성 검사가 대표적이다. 특히, KMO 검사는 잔영상관행렬을 사용하여 계산된 통계량으로 자료가 요인분석에 적합한가를 판정하는 방법이다. 세 번째, 변수들의 상관행렬로부터 최소요인행렬을 추출하고, 추출된 최소요인행렬로부터 적합한 요인들의 수를 결정한다. 적정요인의 수를 결정하는 방법에는 최소 고유값을 설정하는 방법과 스크리 도표(scree plot)를 사용하는 방법, 요인공통분산의 총분산에 대한 비율을 사용하는 방법 등이 있다. 네 번째, 요인공통분산(communality)을 기준으로 요인의 특성을 가장 잘 나타내는 변수들의 조합을 찾고, 요인들의 요인 부하량을 추정한다. 요인 부하량은 회전되지 않은 요인형태행렬의 변수와 요인들 사이의 단순상관관계를 나타낸다. 요인 부하량은 어떤 요인들이 어떤 변수들과 높은 관계를 나타내는가를 알 수 있는 계수이며 이를 제공하여 백분율로 나타내면 요인에 의해 설명되는 변수의 분산비율을 나타낸다. 다섯 번째, 요인과 변수와의 관계를 좀 더 명확하게 하기 위하여 요인들을 회전시킨다. 마지막으로 회전된 요인 결과를 이용하여 요인점수를 산정하고 해석한다. 변수들이 여러 요인들에 대하여 비슷한 요인 부하량을 나타낼 경우 변수들이 어느 요인에 속하는지를 분류하기 어렵기 때문에 변수들의 요인 부하량이 한 요인에 최대가 되고 다른 요인에는 최소가 되도록 하기 위하여 요인들을 회전시킨다. 일반적으로 Varimax법이 가장 널리 사용되며, 회전된 요인에 대한 변수들의 요인 부하량을 산정하고 요인점수를 산정한다. 요인점수는 Eq. (2)와 같이 변수들의 표준화된 값과 가중치의 선형결합으로 표현되는 값이다.

$$F_j = \sum_{i=1}^p W_{ji}Z_i \quad (2)$$

여기서, F_j 는 추출된 요인(j)의 요인점수, p는 변수의 개수, W_{ji} 는 요인 j에 대한 각 변수(i)에 주어지는 가중치를 나타낸다. 또한, Z_i 는 i 변수의 표준화된 값으로 Eq. (3)과 같다.

$$Z_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{\sigma_i} \quad (3)$$

여기서, x_i, σ_j 는 각각 i 번째 변수와 표준편차를 나타

내며, \bar{x} 는 i 번째 변수의 평균을 나타낸다.

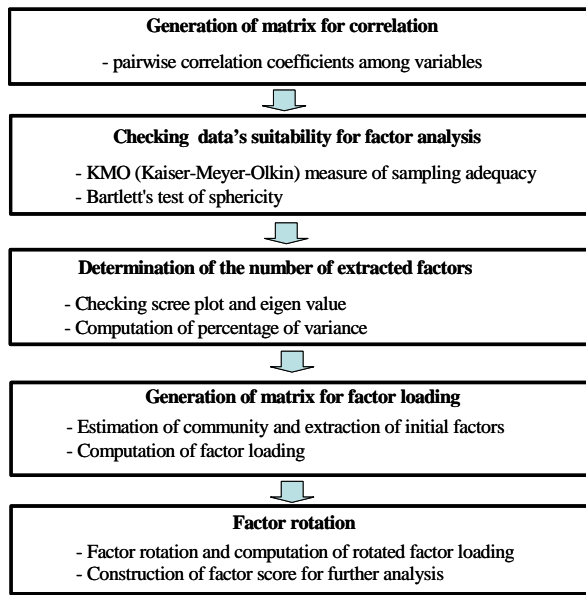


Fig. 3. Flow Chart of Factor Analysis for Extracting Factors and Computing Factor Score

3.3 관련 자료의 수집

유역관리 평가는 수계를 여러 개의 유역으로 구분하고 각 유역의 자연재해, 수질 및 수량, 생태계, 쾌적성 등의 상태를 상대적으로 비교하여 이뤄진다. 본 연구에서는 유역관리 평가지수를 이수 관리, 홍수 관리, 환경 및 생태계 관리와 같이 세 개의 세부지수로 구분하였다. 각 세부지수를 평가하기 위해서 세부지표들이 필요하므로, 요인분석을 적용하여 관련된 변수들을 그룹화하였다. 세부지수별 세부지표를 선정하기 위하여 본 연구에서는 유역을 구성요소들을 대분류 항목으로 하여 관련 자료들을 수집하였다. 분류 항목은 수자원, 토지, 사용자, 제도 및 법률, 사회 및 경제 시스템, 생태계 등이다. 이들 분류항목에 대해서 세부지수와 관련이 있는 통계자료, 유역조사 자료, 기존 개발 지표 등을 수집하였다. Fig. 4는 각 분류항목에 대하여 수집된 자료들을 나타낸 것이다. 자료 수집 대상 수계는 한강수계이며, 2001년 자료를 사용하였다 (건설교통부와 한국수자원공사, 2004). Fig. 4에서와 같이 수자원과 관련된 자료로는

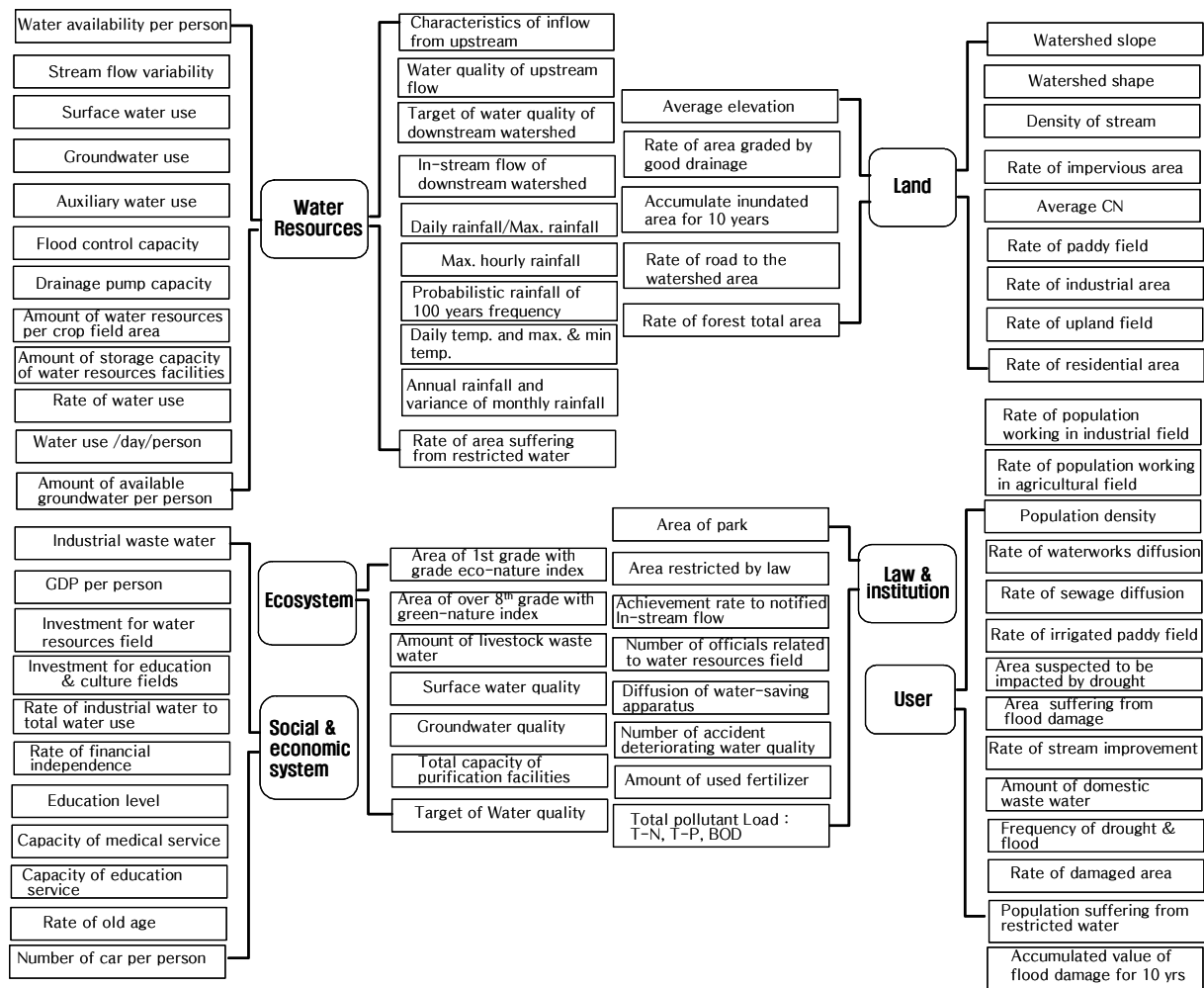


Fig. 4. Data Grouped into Watershed System's Components

1인당 가용 수자원량, 하천 유황변동, 용수이용 의존율, 지하수 이용률, 보조 수자원량, 홍수조절용량, 배수펌프장 용량, 농지당 수자원량, 개발저수용량, 용수 이용률 유역경사도, 유역형상, 하천밀도, 일최대 강우량, 최대 시우량, 100년 빈도 확률강우량, 최고기온, 평균 강우량 및 강우의 월별 분포 등이 있다. 토지와 관련된 자료로는 불투수면적률, 유역평균 CN, 논 면적, 산업용지 면적, 밭 면적, 산림면적, 도시적 토지 이용률 등이 있다. 사회 및 경제 분야와 관련된 자료로는 공장폐수 발생량, 1인당 지역내 총생산, 수자원 분야 투자액, 교육 및 문화 분야 투자액, 공업용수 이용률, 재정자립도, 학력 수준, 의료능력, 교육능력, 노령화율 등이 있다. 생태계와 관련된 자료로는 생태자연도 1등급 면적, 녹지자연도 8등급 이상 면적, 축산 폐수 발생량, 지표수 수질, 지하수 수질, 환경기초 시설 용량, 비료 사용량, 하천유지 유량, 하천 관리 유량 등이 있다. 사용자와 관련된 자료로는 인구밀도, 상수도 보급률, 하수도 보급률, 관개답률, 가뭄우심지역 면적, 홍수피해 면적, 하천 개수율, 생활오수 발생량, 우심피해 발생빈도, 홍수피해 밀도, 가뭄시 급수제한 인구 등이 있다. 법률 및 제도와 관련된 자료로는 공원면적, 법 규제 지역 면적, 수자원 관련 공무원 수, 목표 수질, 절수기기 보급률, 비료사용량 등이 있다.

3.4 요인분석을 통한 변수 선정 및 그룹화

3.4.1 이수 관리 평가 세부지수

이수관리 평가 세부지수의 세부지표를 선정하기 위하여 요인분석을 사용하여 관련 변수들을 그룹화하였다. 관련 변수들로 구성된 요인들은 세부지표가 되며, 변수들은 이 요인들로 그룹화된다. 요인분석을 적용하기 전에 먼저 Bartlett의 단위행렬 점검과 Kaiser-Meyer-Olkin(KMO)의 표본적합도 점검을 실시하여 자료의 적합성을 평가하였다. Bartlett의 단위행렬 점검 결과, 구형성 검정의 χ^2 는 239.84, 자유도는 66 이었으며, KMO 표준적합도 점검 결과, KMO는 0.55를 나타냈다. 자료의 적합성 검사를 통하여 선정된 변수들은 총 12개이며, 이들은 불투수 면적률, 국토개발 보전비, 수리전율, 지하수 이용률, 1인당 GRDP, 농업인구 비율, 1인당 지하수 이용 가능량, 1인당 수자원량, 농지당 수자원량, 가뭄우심지역 비율, 제한 급수지역 면적률, 수리답률 등이다.

선정된 변수들의 적정 요인수를 결정하기 위해서 고유값과 요인공통분산의 총분산에 대한 비율을 사용하였다. 고유값이 1.0 이상인 요인들은 3개의 요인으로 나타났으며, 총분산에 대한 이들 요인들의 누가분산 비율은

75.8 %를 나타냈다. 이를 고려하여 본 연구에서는 3개의 공통요인을 선정하였다. 최초 요인 분석을 통해서 선정된 변수들의 요인 부하량이 한 요인에 최대가 되고 다른 요인에는 최소가 되도록 하기 위하여 요인을 회전시켰다. 요인 회전은 직각회전 방식 중의 하나인 Varimax법을 사용하였다. 최종적으로 추출된 요인들과 요인들의 구성변수들은 Fig. 5와 같다. 제 1 요인의 변수들은 불투수면적률, 국토개발 보전비, 수리전율, 지하수이용률, 1인당 GRDP, 농업인구 비율이었다. 제 2 요인의 변수들은 1인당 지하수 이용 가능량, 1인당 수자원량, 농지당 수자원량이었다. 제 3 요인의 변수들은 가뭄우심지역 비율, 제한 급수지역 면적률, 관개답률이었다. 추출된 요인들의 명명은 요인을 구성하는 변수들이 나타내는 특성을 고려하여 제 1요인은 수자원 이용 편리성, 제2 요인은 수자원량, 제 3요인은 가뭄피해 안전성으로 하였다.

3.4.2 홍수 관리 평가 세부지수

홍수 관리 평가 세부지수의 세부지표와 구성변수들을 선정하기 위하여 요인분석을 실시하였다. 요인분석을 위한 적절한 변수들을 선정하기 위하여 사전 적합성 평가를 실시하였다. 자료의 적합성 검사는 Bartlett의 단위행렬 점검과 Kaiser-Meyer-Olkin(KMO)의 표본적합도 점검을 사용하였다. Bartlett의 단위행렬 점검 결과, 구형성 검정의 χ^2 는 297.84, 자유도는 66 이었으며, KMO 표준적합도 점검결과, KMO는 0.60을 나타냈다. 이들 검사를 통해서 선정된 변수는 총 12개이며, 이들은 100년 빈도 확률강우량, 10년 1회 최대강우량, 산지 면적률, 평균표고, 형상인자, 수계밀도, 배수 양호 면적률, 과거 10년간 침수 면적률, 불투수 면적률, 인구밀도, 도로율, 과거 10년간 피해액 밀도 등이다.

사전 적합도 검사를 거친 12개의 변수들의 공통요인 추출은 고유값과 요인 공통분산의 총분산에 대한 비율을 사용하였다. 고유값이 1.0 이상인 요인들은 3개의 요인으로 나타났으며, 총분산에 대한 이들 요인들의 분산 비율은 84.6 %를 나타냈다. 따라서 이들 3개의 공통요인을 선정하였다. 변수들의 요인 부하량이 한 요인에 최대가 되고 다른 요인에는 최소가 되도록 하기 위하여 Varimax법을 사용하여 요인들을 회전시켰다. 이를 통해서 최종적으로 추출된 요인들은 Fig. 6과 같다. 제 1 요인의 변수들은 100년 빈도 확률강우량, 10년 1회 최대강우량, 산지 면적률, 평균표고, 유역 형상 인자이었다. 제 2 요인의 변수들은 수계밀도, 배수 양호 면적률, 과거 10년간 침수 면적률이었다. 제 3 요인의 변수들은 불투수면적률, 인구밀도, 도로율, 과거 10년간 피해액

밀도이었다. 요인들의 명명은 변수들이 나타내는 특성을 고려하여 제 1요인은 홍수발생 가능성, 제2 요인은

침수 위험성, 제 3요인은 홍수피해 잠재성으로 하였다.

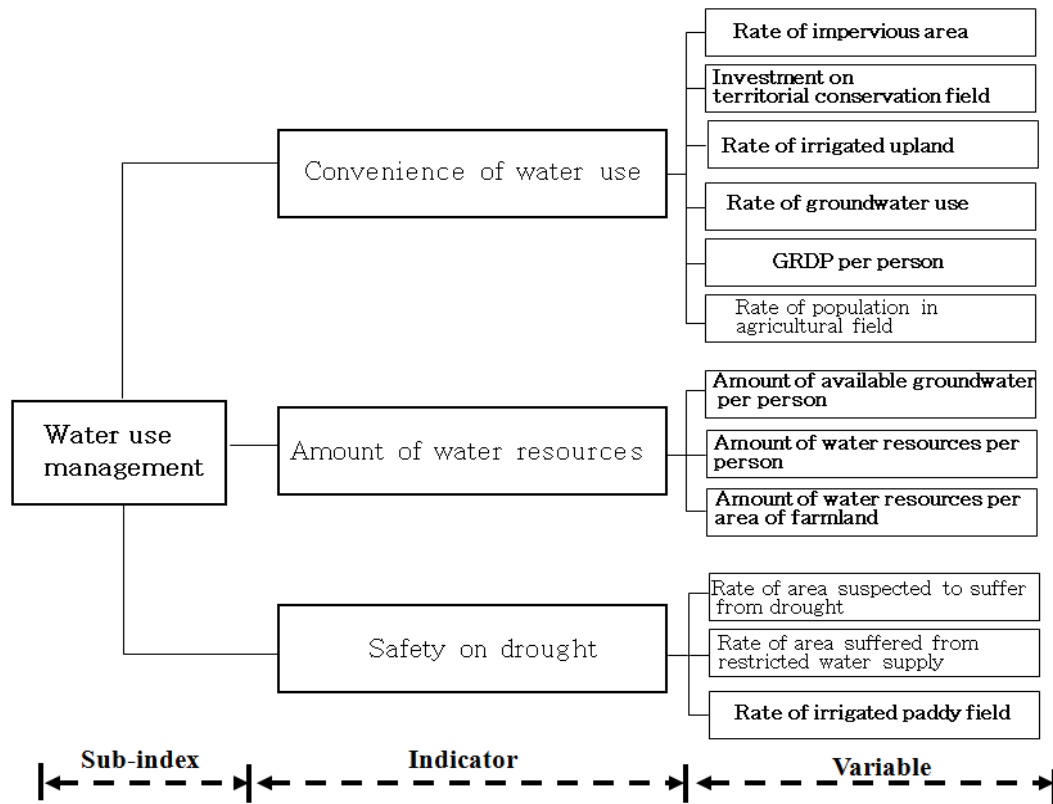


Fig. 5. Configuration of Water use Management Sub-index

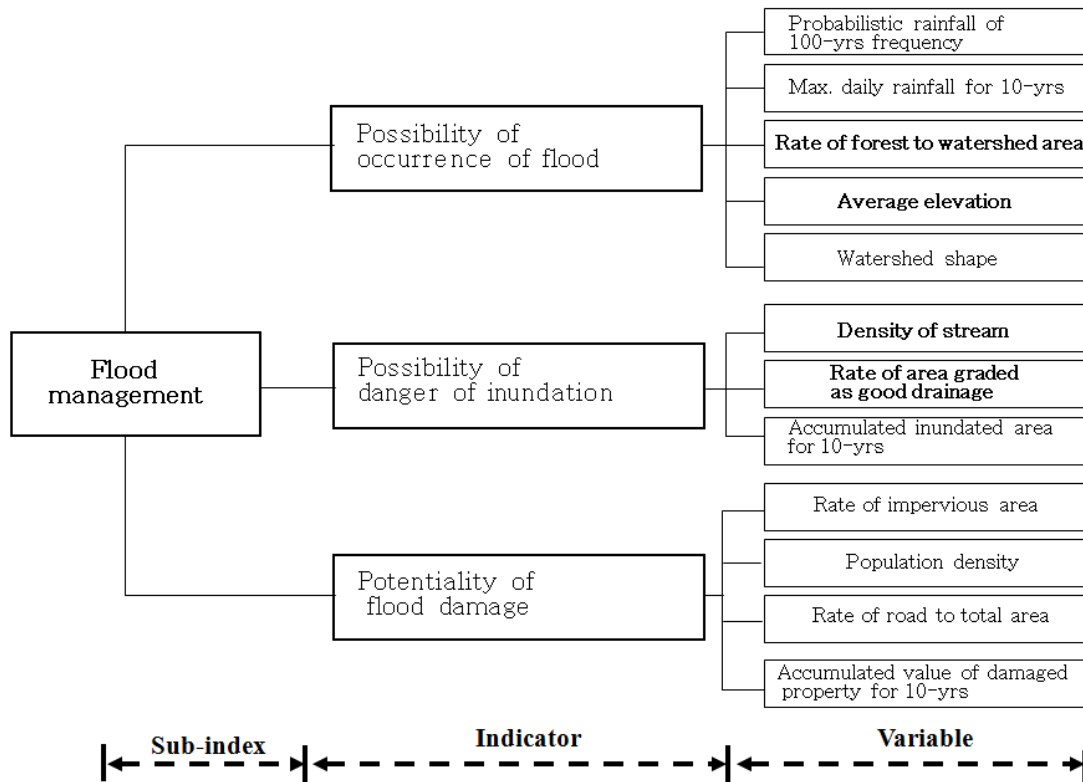


Fig. 6. Configuration of Flood Management Sub-index

3.4.3 환경 및 생태계 관리 평가 세부지수

환경 및 생태계 관리 평가 세부지수의 세부지표와 변수들을 선정하기 위하여 요인분석을 실시하였다. 요인분석을 위한 적절한 변수들을 선정하기 위하여 Bartlett의 단위행렬 점검과 Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)의 표본적합도 점검과 같은 적합도 검사를 실시하였다. Bartlett의 단위행렬 점검 결과 구형성 검정의 χ^2 는 528.28, 자유도는 91 이었으며, KMO 표준적합도 점검결과 KMO는 0.61를 나타냈다. 두 가지 적합도 검사를 통해서 선정된 변수들은 총 14개이며, 이들은 단위면적당 BOD 배출 부하량, 단위면적당 T-N 배출 부하량, 단위면적당 T-P 배출 부하량, 인구밀도, 도로율, 불투수면적률, 농업인구 비율, 1인당 승용차 등록 대수, 제조업 종사자 비율, BOD 달성률, 산지 면적률, 녹지자연도 8등급 이상 면적률, 생태자연도 1등급 면적률, 법규 제한 면적률 등이다.

요인분석의 사전 적합도 검사를 거친 변수들을 사용하여 이들 사이의 공통요인을 추출하였다. 고유값이 1.0 이상인 요인들은 3개의 요인으로 나타났으며, 총분산에 대한 이들 요인들의 분산 비율은 85.4 %를 나타냈다. 변수들의 요인 부하량이 한 요인에 최대가 되고 다른 요인에는 최소가 되도록 하기 위하여 Varimax법을 사용하여 요인들을 회전시켰다. 요인회전을 통해서 최종적으로 추출된 요인들과 이들의 변수들은 Fig. 7과 같

다. 제 1 요인에는 단위면적당 배출 부하량(BOD, T-N, T-P), 인구밀도, 도로율, 불투수 면적률, 농업인구 비율 등의 변수들이 포함되었다. 제 2 요인의 변수들은 1인당 승용차 등록 대수, 제조업 종사자 비율, BOD 달성률, 산지 면적률이었다. 또한, 제 3 요인의 변수들은 녹지자연도 8등급 이상 면적률, 생태자연도 1등급 면적률, 법규제한 면적률이었다. 요인들의 명명은 요인들을 구성하는 변수들이 나타내는 특성을 고려하여 제 1 요인은 수질저하가능성, 제 2 요인은 수질관리, 제 3 요인은 생태계 보호로 하였다.

4. 요인 분석 결과 고찰

4.1 변수들의 요인 부하량 분석

선정된 지표와 이를 구성하는 변수들의 관계를 분석하기 위하여 변수들의 요인들에 대한 요인 부하량을 분석하였다. Table 1은 각 세부지표별 요인들에 대한 변수들의 요인 부하량을 나타낸 것이다. Table 1에 나타낸 세부지표별 변수들의 요인 부하량은 양의 값을 나타내는 것도 있으며, 음의 값을 나타내는 것이 있다. 이는 세부지표를 구성하는 변수들이 해당 지표와 역상관관계인 경우도 있으며, 구성변수들이 순기능과 역기능 변수로 구분된다는 것을 의미한다.

이수 관리 세부지수의 세부지표들 중 수자원 이용

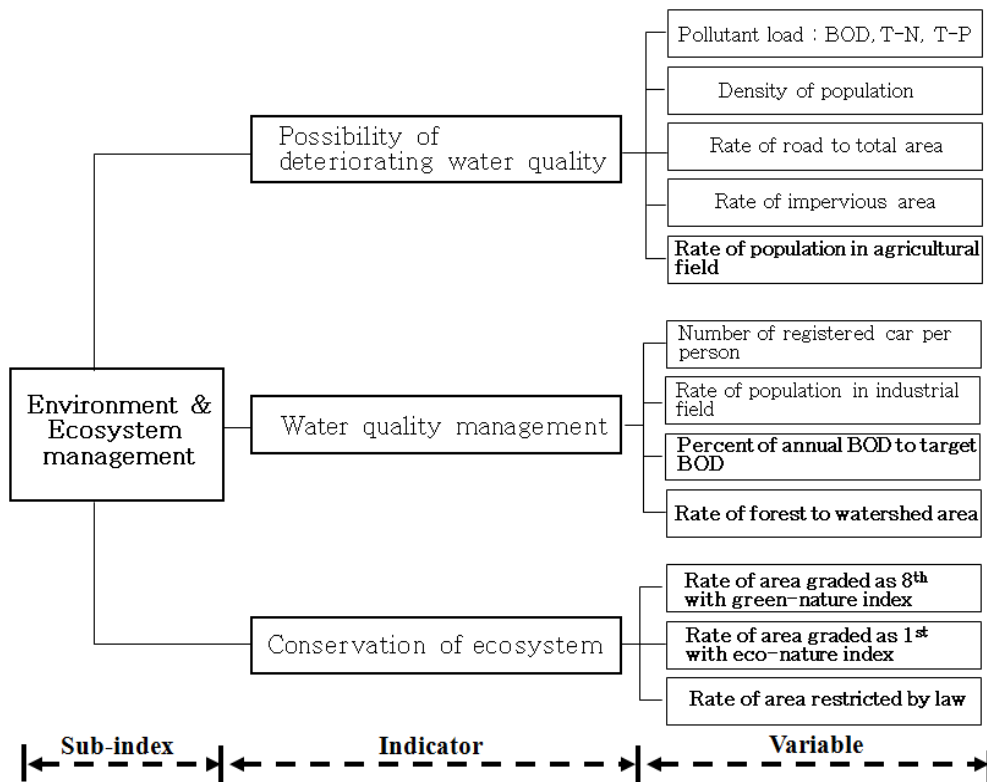


Fig. 7. Configuration of Environment & Ecosystem Management Sub-index

Table 1. Comparison of Each Factor Loading of Variables that Comprise Each Sub-index

Water use management				Flood Management				Environment & Ecosystem Management			
Variable	Component			Variable	Component			Variable	Component		
	1	2	3		1	2	3		1	2	3
Rate of impervious area	0.92			Rate of impervious area	0.96			Pollutant load : BOD	0.99		
Investment on territorial conservation field	0.90			Population density	0.95			Pollutant load : T-N	0.98		
Rate of irrigated upland	0.81			Rate of road to total area	0.95			Pollutant load : T-P	0.97		
Rate of groundwater use	0.68			Accum. value of damage in property for 10-yrs	0.71			Density of population	0.99		
GRDP/person	0.65			Prob. rainfall of 100yrs freq.		0.63		Rate of road to total area	0.98		
Rate of population in agricultural field	-0.78			Max. daily rainfall for 10yrs		0.75		Rate of impervious area	0.98		
Amount of available groundwater/ person		0.93		Rate of forest to watershed area		-0.80		Rate of population in agricultural field	-0.66		
Amount of water resour./ person		0.92		Avg. elevation		-0.83		Number of registered cars/ person		-0.90	
Amount of water resour./ area of farmland		0.85		Watershed shape		0.78		Rate of population in industrial field		-0.87	
Rate of area suspected to suffer from drought			0.72	Density of stream			-0.90	Percent of annual BOD to target value		0.66	
Rate of area suffered from restricted water supply			0.84	Rate of good drainage area			-0.84	Rate of forest to watershed area		0.63	
Rate of irrigated paddy field			-0.61	Accum. inundated area for 10 yrs			0.68	Rate of area of 8th grade with green-nature index			0.87
								Rate of area of 1st grade with eco-nature index			0.80
								Rate of area restricted by law			0.74

편리성 지표를 구성하는 변수들의 요인 부하량은 -0.78 ~ -0.92의 범위를 나타냈다. 불투수면적률의 요인 부하량이 0.92로 변수들 중에서 가장 큰 값을 나타냈고, 농업 인구비율은 -0.78로 음의 값을 나타냈다. 이는 도시화와

관련이 있는 변수들이 순기능변수가 되고 농업인구비율이 역기능 변수임을 나타낸 것이다. 수자원량 지표를 구성하는 변수들의 요인 부하량은 0.85~0.93의 범위를 나타냈다. 변수들의 요인 부하량은 1인당 지하수 이용

가능량 변수가 가장 큰 요인 부하량을 나타냈고 세 가지 변수 모두 순기능 변수들이다. 가뭄피해 안전성 지표를 구성하는 변수들의 요인 부하량은 -0.61~0.72의 범위를 나타냈다. 변수들의 요인 부하량은 가뭄우심지역비율 변수가 0.72로 가장 큰 값을 나타냈고, 관개답률 변수가 -0.61로 가장 작은 값을 나타냈으며, 역기능 변수로 분류되었다.

홍수 관리 세부지수의 세부지표들 중에서 홍수 피해 잠재성 지표를 구성하는 변수들의 요인 부하량은 0.71~0.96의 범위를 나타냈다. 변수들 중 불투수면적률이 0.96으로 가장 큰 요인 부하량을 나타냈고 모든 변수들의 양의 요인 부하량을 갖는 순기능변수들이다. 홍수 발생 가능성 지표를 구성하는 변수들의 요인 부하량은 -0.83~0.78의 범위를 나타냈다. 이들 중 평균 고도가 -0.83으로 상대적으로 가장 큰 요인 부하량을 나타냈으며, 산지 면적 비율 변수와 함께 역기능변수이며, 다른 변수들은 순기능변수로 분류되었다. 침수 위험성 지표를 구성하는 변수들의 요인 부하량은 -0.90~0.68의 범위를 나타냈다. 변수들 중 수계밀도와 배수양호 면적률 변수의 요인 부하량은 음의 값을 나타내는 역기능변수로, 과거 10년간 침수 면적률은 순기능 변수로 분류되었다.

환경 및 생태계 관리 세부지수의 세부지표들 중에서 수질저하가능성 지표를 구성하는 변수들의 요인 부하량은 -0.66~0.99의 범위를 나타냈다. 변수들 중 농업인구 비율 변수가 -0.66으로 상대적으로 가장 작은 요인 부하량을 나타냈으며, 나머지 변수들은 0.97~0.99의 높은 요인 부하량을 나타냈다. 특히, 농업인구비율 지표는 해당 지표에 대하여 역기능변수로 분류되었으며, 나머지 변수들은 순기능변수로 분류되었다. 수질 관리 지표를 구성하는 변수들의 요인 부하량은 -0.90~0.63의 범위를 나타냈다. 변수들 중 1인당 자동차 등록대수 변수가 다른 변수들 보다 상대적으로 높은 요인 부하량을 나타냈으며, 제조업조사자 비율 변수와 함께 역기능 변수로 분류되었다. 다른 두 변수들은 상대적으로 작은 요인 부하량을 나타냈으며, 순기능 변수로 분류되었다. 생태 보호 지표를 구성하는 변수들의 요인 부하량은 0.74~0.84의 범위를 나타냈다. 변수들 중 녹지자연도 8 등급 이상 면적률 변수의 요인 부하량이 0.84로 가장 높은 값을 나타냈으며, 구성 변수들 모두 순기능 변수로 분류되었다.

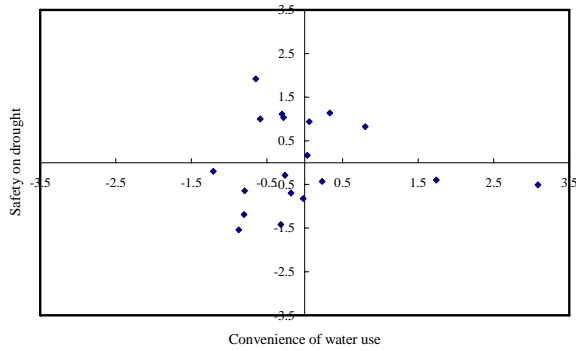
4.2 변수들의 중요도 분석

세부지수를 구성하는 세부지표들의 변수 선정의 적절성을 평가하기 위하여 선정된 변수들의 중요도를 비

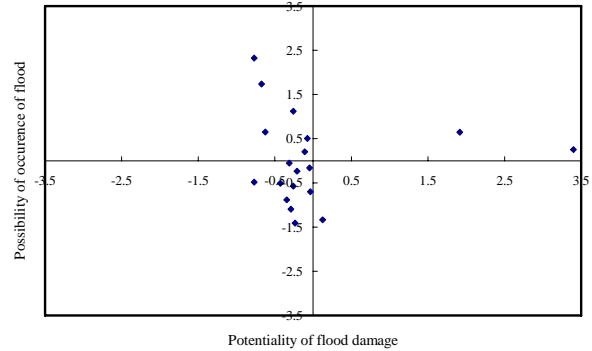
교하였다. 변수들의 중요도는 계층적 분석기법인 Analytic Hierarchy Process (AHP)기법을 적용하고 설문조사를 실시하여 산정할 수 있다(장민구와 이광만, 2006). 본 연구에서는 선정된 변수들의 통계적 특성을 이용하여 해당 지표 내에서 변수들이 각각 차지하고 있는 중요도를 비교하였다. 변수들의 중요도는 변수들의 요인 부하량의 총합에 대한 각 변수들의 요인 부하량의 상대적인 비율로 산정하였다. 이와 같은 방법으로 산정된 중요도를 사용하여 동일한 지표로 그룹화된 변수들의 의미를 평가하였다.

이수 관리 세부지수의 수자원 이용 편리성 지표의 구성변수들은 불투수면적률, 국토개발 보전비, 수리전율, 농업인구 비율, 지하수이용률, 1인당 GRDP이었으며, 이들의 상대적인 중요도는 각각 0.19, 0.19, 0.17, 0.16, 0.14, 0.14이었다. 이들 중요도를 비교해 보면 불투수면적률과 국토개발보전비가 상대적으로 높은 값을 나타냈다. 이는 수자원 이용의 편리성이 도시화된 지역에서 높은 값을 나타내는 변수들과 상관성이 높음을 나타낸다. 수자원량 지표의 구성변수들은 1인당 가용 지하수량, 1인당 수자원량, 농지당 수자원량이다. 이들의 상대적인 중요도는 각각 0.34, 0.34, 0.31이었으며, 세 변수의 중요도들 사이에는 큰 차이가 나타나지 않았다. 가뭄 안전성 지표의 구성변수들은 가뭄우심지역면적비율, 제한급수지역 면적률, 관개답률이었다. 이들의 상대적인 중요도는 각각 0.39, 0.33, 0.28이었으며, 가뭄우심지역면적비율이 가장 큰 중요도를 나타냈다.

홍수 관리 세부지수의 세부지표들 중에서 홍수 피해 잠재성 지표를 구성하는 변수들은 불투수면적률, 인구 밀도, 도로율, 과거 10년간 피해액 밀도이었으며, 이들의 상대적인 중요도는 각각 0.27, 0.27, 0.27, 0.20을 나타냈다. 구성변수 중 다른 변수들 보다 과거 10년간 피해액 밀도 변수의 요인 부하량이 다른 변수들 보다 상대적으로 작아 중요도가 낮은 결과를 나타냈다. 홍수 발생 가능성 지표를 구성하는 변수들은 100년 빈도 확률 강우량, 10년 1회 최대강우량, 평균표고, 산지 면적률, 유역 형상 인자이었다. 변수들의 상대적인 중요도는 각각 0.17, 0.20, 0.21, 0.22, 0.21을 나타냈다. 이들 변수들 중 100년 빈도 확률 강우량이 가장 작은 중요도를 나타냈으며, 다른 변수들은 비슷한 값을 나타냈다. 침수 위험성 지표의 구성변수들은 수계밀도, 배수 양호 면적률, 과거 10년간 침수 면적률이었다. 이들 변수들의 상대적인 중요도는 각각 0.37, 0.35, 0.28을 나타냈다. 이들 변수들 중에서 과거 10년간 침수 면적률 변수가 가장 작은 중요도 값을 나타냈으며, 수계밀도와 배수양호 면적률은 비슷한 중요도를 나타냈다.



(a) Convenience of water use vs. Safety on drought



(b) Potentiality of flood damage vs. Possibility of occurrence of flood

Fig. 8. Graphical Comparison of Correlation Relationship between Factor Scores of Extracted Factors for Water use Management Sub-index(a) and Flood Management Sub-index(b)

환경 및 생태계 관리 세부지수의 세부지표들 중에서 수질저하가능성 지표는 단위면적당 배출 BOD 부하량, 단위면적당 배출 T-N 부하량, 단위면적당 배출 T-P 부하량, 인구밀도, 도로율, 불투수 면적률, 농업인구 비율 등의 변수들로 구성되어 있다. 이들 변수들의 중요도는 각각 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.10을 나타냈다. 이들 변수들 중 농업인구 비율 변수가 가장 작은 중요도를 나타냈으며, 다른 변수들은 이 변수 보다는 큰 중요도를 나타냈다. 수질관리 지표는 1인당 승용차 등록 대수, 제조업 종사자 비율, BOD 달성률, 산지 면적률 등의 변수로 구성되었다. 이들 변수들의 상대적인 중요도는 각각 0.29, 0.29, 0.22, 0.21을 나타냈다. 이들 변수들 중에서 1인당 승용차 등록대수 변수와 제조업 종사자 비율 변수가 가장 큰 중요도를 나타냈으며, 이는 지역의 도시화를 평가할 수 있는 변수들이다. 생태 보호 지표는 녹지자연도 8등급 이상 면적률, 생태자연도 1등급 면적률, 법규제한 면적률 등으로 구성되어 있다. 이들 변수들의 상대적인 중요도는 각각 0.36, 0.33, 0.31을 나타냈으며, 이 들 변수들 중 녹지자연도 8등급 이상 면적률 변수가 가장 큰 중요도를 나타냈다.

4.3 요인점수의 상관분석

요인분석에 의해 그룹화된 변수들의 적절성을 평가하기 위하여 추출된 요인들의 요인점수를 비교하였다. 요인점수를 계산하는 방법은 Eq. (2)와 Eq. (3)과 같다. 요인분석에 의해 추출된 요인들의 요인점수는 상호 독립적이며, 상관관계가 거의 없다. 따라서 산정된 요인들의 요인점수는 다중회귀 모형의 설명변수로 사용이 가능하며, 이러한 설명변수를 사용하면 변수들 사이의 다중 공선성을 피할 수 있다.

Fig. 8은 요인점수들 사이의 상관관계를 도식적으로 비교한 것이다. Fig. 8(a)는 이수 관리 세부지수에서 추출된 가뭄안전성 요인과 수자원 이용 편리성 요인의 요인점수들의 산포도를 나타낸 것이다. Fig. 8(a)와 같이 두 요인의 요인점수들이 넓게 퍼져 분포하고 있어 두 요인사이의 상관관계가 거의 없는 결과를 나타내고 있다. Fig. 8(b)는 홍수 관리 세부지수에서 추출된 홍수 발생 가능성 요인과 홍수 피해 잠재성 요인의 요인점수들의 관계를 도식적으로 비교한 것이다. Fig. 8(b)와 같이 두 요인들 사이의 산포도는 넓게 분포하고 있어 두 요인점수 사이에 상관관계가 거의 없다는 것을 나타내고 있다. Table 2는 유역관리 평가 지수의 세부지수별로 추출된 요인들의 요인점수들 사이의 상관분석을 한 결과를 나타낸 것이다. Table 2에서와 같이 동일한 세부지수내의 요인들의 요인점수들 사이의 상관계수는 0.000으로 상관관계가 없다는 결과를 나타내고 있다. 따라서 요인분석을 통한 변수들의 분류가 적절하게 되었다고 판단된다. 그리고 요인분석을 통해서 산정된 요인점수들은 다중회귀식의 설명변수로 사용이 가능할 것으로 사료된다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 유역관리의 문제점 파악과 진행 상태를 평가하기 위하여 유역관리 평가지수를 개발하였다. 유역관리 평가는 이수 관리, 홍수 관리, 환경 및 생태계 관리로 구분하였으며, 이들을 각각 평가하기 위한 세부지표들과 구성변수들은 2001년 한강수계 유역조사 자료 중에서 선별된 자료를 요인분석하여 선정되었다. 또한, 요인 부하량과 요인점수를 분석하여 요인분석 결과의

Table 2. Results of Correlation Analysis among Factor Scores

Water use management				Flood Management				Environment & Ecosystem Management			
Factor score	Factor score			Factor score	Factor score			Factor score	Factor score		
	1	2	3		1	2	3		1	2	3
1	1.000	0.000	0.000	1	1.000	0.000	0.000	1	1.000	0.000	0.000
2	0.000	1.000	0.000	2	0.000	1.000	0.000	2	0.000	1.000	0.000
3	0.000	0.000	1.000	3	0.000	0.000	1.000	3	0.000	0.000	1.000

적절성을 평가하였으며, 개발된 평가지수의 세부지표와 구성변수들의 특성을 고찰하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 요인분석에 사용한 자료는 수자원, 생태계, 사용자, 토지, 사회 및 경제, 법률 및 제도 등을 분류 항목으로 하여 수집되었으며, 자료들에 대하여 요인분석에 대한 적합성 검사를 실시하여 각 세부지수별로 12~14개의 변수가 선정되었다. Kaiser-Meyer-Olkin의 표본적합도 점검의 평가지표(KMO)는 0.55~0.66으로 선정된 변수들이 요인분석에 적합한 자료임을 나타냈다.
- 2) 세부지수들의 평가에 적합한 것으로 선정된 변수들을 요인분석한 결과, 변수들이 각각 3개의 요인들로 분류되었으며, 충분산에 대한 요인들의 누가분산 비율이 75.8%~85.4%를 나타냈다. 각 세부지수의 요인들은 변수들을 고려하여 이수 관리 세부지수에서는 수자원 이용 편리성, 수자원량, 가뭄피해 안전성, 홍수 관리 세부지수에서는 홍수 발생 가능성, 침수 위험성, 홍수피해 잠재성, 환경 및 생태계 관리 세부지수에서는 수질저하 가능성, 수질관리, 생태계 보호로 명명되었다.
- 3) 요인분석을 통해서 분류된 세부지표와 구성변수 선정의 적절성을 평가하기 위하여 각 요인에 대한 변수들의 요인 부하량을 분석한 결과, 지표들이 요인(지표)과 양의 상관성을 갖는 변수와 음의 상관성을 갖는 변수로 구성된 것으로 나타났다. 또한, 지표의 구성변수들의 중요도를 요인 부하량의 합에 대한 개별 변수의 요인 부하량의 비율로 정의하고 산정한 결과, 변수들 사이의 중요도가 상이하며, 지표의 특성이 중요도가 큰 변수의 영향을 받는 것으로 나타났다. 그리고 요인들의 요인점수들 사이의 상관관계를 분석한 결과, 이들 사이에 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

본 연구를 통하여 유역관리 상태를 평가하기 위한

평가지수 개발의 필요성이 제시되었으며, 요인분석 통계기법이 유역관리 평가지수 개발에 적용이 가능함이 제시되었다. 또한, 개발된 유역관리 평가지수는 한강수계의 유역관리 평가에 적용이 가능할 것으로 사료되며, 이수, 치수, 환경 및 생태계와 관련된 유역관리의 문제 도출 및 해결 방안 수립에 평가결과를 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 본 연구에서 추출된 요인(지표)들과 변수들의 통계적 특성을 유역관리 모델 개발에 활용이 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

강민구, 김우구 (2005). "유역 시스템 구성요소들의 통합평가를 통한 Network 개념의 수계관리." **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제38권, 제5호, pp. 73-80.

강민구, 이광만 (2006). "수자원의 지속가능성 평가 지수 개발과 구성 요소의 중요도 평가." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제1호, pp. 59-68.

강민구, 정찬용, 이광만 (2007). "요인분석 통계기법을 이용한 댐 운영에 대한 영향 요인 추출." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제40권 제10호, pp. 769-781.

건설교통부, 한국수자원공사 (2003). **물에 관한 국민여론조사**.

건설교통부, 한국수자원공사 (2004). **한강유역조사**.

고익환 (2004). "유역 통합 수자원관리 기술개발." **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제37권, 제3호, pp. 10-15.

박두호, 윤석영 (2004). "유역통합관리의 구현을 위한 과제." **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제37권, 제3호, pp. 16-20.

박성제 (2005). "한국과 미국의 유역관리 비교평가 연구." **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회

- 오주삼, 임성한, 김현석 (2003). "교통특성에 따른 도로 유형분류에 관한 연구." **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제23권, 제6D호, pp. 835-844.
- 이길성, 정은성, 김영오 (2005). "안양천 유역의 물순환 건전화를 위한 통합관리 방안(Ⅱ) : 예비타당성 계획." **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회
- 이길성, 정은성, 김영오 (2006). "도시 유역 관리를 위한 통합적 접근 방식." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제2호, pp. 161-178.
- 이영일 (2002). **요인분석의 이해**, 석정.
- 임창수, 신재기 (2002). "삼교호유역의 수질자료를 이용한 군집분석 및 요인분석." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제2호, pp. 140-159.
- 한승현, 선승민, 류호동 (2003). "해외건설사업의 수익성 영향인자 분석에 관한 연구." **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제23권, 제2D호, pp. 235-247.
- Cai X., McKinney D. C., and Lasdon L. S. (2002). "A framework for sustainability analysis in water resources management and application to the Syr Darya Basin." *Water Resour. Res.*, Vol. 39, No. 8, pp. 1085-1098.
- Global Water Partnership(GWP) (2002). *IWRM Toolbox: A Toolbox to support IWRM*, Global water partnership secretariat, Stockholm, Sweden.
- Heathcote I. W. (1998). *Integrated Watershed Management*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Pearse P., Bertrand F., and J. MacLaren (1985). *Currents of Change: Final Report of the Inquiry on Federal Water Policy*. Queen's Printer, Ottawa.
- Schramm, G. (1980). "Integrated river basin planning in a holistic universe." *Natural Resources Journal*, 20, pp. 787-805.
- Sullivan C. A. (2002). "Calculating a Water Poverty Index." *World Development*, Vol. 30, No. 7, pp. 1195-1210.
- US EPA (2005). *Handbook for developing watershed plans to restore and protect our waters*.
- World Economic Forum(WEF) (2005). *2005 Environmental Sustainability Index*.

(논문번호:07-152/접수:2007.12.21/심사완료:2008.01.25)