

요인분석 통계기법을 이용한 댐 운영에 대한 영향 요인 추출

Extraction of Primary Factors Influencing Dam Operation Using Factor Analysis

강민구* / 정찬용** / 이광만***

Kang, Min Goo / Jung, Chan Yong / Lee, Gwang Man

Abstract

Factor analysis has been usually employed in reducing quantity of data and summarizing information on a system or phenomenon. In this analysis methodology, variables are grouped into several factors by consideration of statistic characteristics, and the results are used for dropping variables which have lower weight than others. In this study, factor analysis was applied for extracting primary factors influencing multi-dam system operation in the Han River basin, where there are two multi-purpose dams such as Soyanggang Dam and Chungju Dam, and water has been supplied by integrating two dams in water use season. In order to fulfill factor analysis, first the variables related to two dams operation were gathered and divided into five groups (Soyanggang Dam: inflow, hydropower product, storage management, storage, and operation results of the past; Chungju Dam: inflow, hydropower product, water demand, storage, and operation results of the past). And then, considering statistic properties, in the gathered variables, some variables were chosen and grouped into five factors; hydrological condition, dam operation of the past, dam operation at normal season, water demand, and downstream dam operation. In order to check the appropriateness and applicability of factors, a multiple regression equation was newly constructed using factors as description variables, and those factors were compared with terms of objective function used in operating water resources optimally in a river basin. Reviewing the results through two check processes, it was revealed that the suggested approach provided satisfactory results. And, it was expected for extracted primary factors to be useful for making dam operation schedule considering the future situation and previous results.

keywords : Factor analysis, Dam operation, The Han River basin, Multiple regression equation, Multiple objective function

요 지

요인분석은 시스템이나 현상에 대한 정보를 요약하고 관련 자료를 축약하는데 사용되는 다변량 분석기법의 하나이다. 이 기법은 변수들을 통계적 특성을 고려하여 몇 개의 요인들로 그룹화하고 분석결과는 중요도가 상대적으로 낮은 변수를 제거하는데 이용이 된다. 본 연구에서는 요인분석을 한강수계의 댐 군 연계운영에 대한 영향요인 추출

* 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)

** 한국건설기술연구원 유량조사사업단, 연구원

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

*** 한국수자원공사 수자원연구원, 수석연구원

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

에 적용하였다. 한강 수계에는 소양강댐, 충주댐과 같은 2개의 다목적 댐이 있으며, 이들은 이수기에 연계 운영되어 하류로 용수를 공급하고 발전을 실시하고 있다. 요인분석을 실시하기 위하여, 먼저 댐 운영에 관련된 자료(변수)들을 5개의 대분류(유입량, 용수수요량, 발전량, 저류량, 과거 운영 실적)로 나누어 수집하였다. 통계적 특성을 고려하여 수집된 변수 중에서 13개와 15개의 변수가 각각 선정되어 5개의 요인(소양강댐: 수문조건, 과거 댐 운영, 평수기 댐 운영, 저류량 관리, 하류 댐 운영; 충주댐: 수문조건, 과거 댐 운영, 평수기 댐 운영, 용수수요, 하류 댐 운영)으로 분류되었다. 요인분석 결과의 적절성과 적용성을 평가하기 위하여 선정된 요인들을 설명변수로 이용하여 소양강댐과 충주댐의 연간 발전량을 예측하는 다중회귀모형을 개발하여 결과의 적용성을 평가하였으며, 댐군 운영에 사용된 목적함수들의 구성항목들과 비교하여 요인선정의 적절성을 평가하였다. 두 가지 고찰 과정을 통하여 본 연구에서 적용된 요인 추출방법이 만족할 만한 결과를 나타냄을 알 수 있었다. 또한, 추출된 요인들은 미래 상황과 과거 결과를 고려한 댐 운영 계획 수립에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

핵심용어 : 요인분석, 댐 운영, 한강수계, 다중회귀모형, 다중목적함수

1. 서 론

댐의 운영 방식과 운영실적은 주로 수문조건의 영향을 받는다. 풍수기에는 수요지점의 용수수요를 만족시키고 발전과 같은 편익을 최대화하기 위하여 많은 유량을 방류한다. 이와 달리, 갈수기에는 다른 편익의 증대보다 안정적인 용수공급을 우선시하는 댐 운영이 일반적으로 적용된다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 단일 댐의 경우 유입량, 저류량 등을 고려하여 댐 운영 룰(operation rule)을 수립하여 운영된다. 그러나 수계 내에서 댐들이 연계운영 되고 있으면 수문조건 뿐만 아니라 각 댐의 상황과 운영실적, 하류 주요지점의 용수수요 및 부족량, 시스템 구성 요소들 사이의 시너지 효과(synergy effect) 등과 같은 다양한 요인들에 의해 영향을 받는다. 따라서 수계 차원에서 합리적이고 효율적으로 수자원을 이용 및 관리하기 위해서는 이러한 요인들을 고려한 댐 운영 계획이 필요하다. 또한, 운영 단계마다 실적과 계획을 비교하고 이를 피드백(feedback)하여 다음 단계의 의사결정에 이를 반영해야 한다. 특히, 실시간 운영에서는 기상변화와 하류 상황, 댐군의 상황 등을 고려한 잘 조율된 의사결정이 필요하다(Westphal, 2003).

최근까지 댐 운영에 영향을 미치는 요인들에 대한 연구는 광범위하게 진행되지 않았다. 다만 댐 운영이 수문조건에 의해 주로 영향을 받으므로 수문조건을 고려한 댐 운영 룰이 제시되어 왔다. 국내에서 주로 사용되는 댐 운영 룰은 월저류량과 월유입량을 사용하여 월방류량을 구하는 회귀식이다(고석구 등, 1997). 이들 댐 운영 룰은 단독 운영되는 댐에 대해서 설정이 되어 있으며 수계 내 댐 군을 연계 운영할 경우에는 다른 영향 요인들을 고려한 운영 룰이 필요하다(이재웅, 2004). 이

는 수계내의 댐들이 직·간접적으로 서로의 운영에 영향을 미치고 있기 때문이다. 이들 댐들은 홍수기에는 하류유역의 홍수피해를 저감시키기 위해서 연계 운영되며, 이수기에도 안정적인 용수공급을 위해서 연계 운영되고 있다. 최근에는 IT 분야의 기술이 발달함에 따라 댐들의 상황을 고려하면서 댐 군이 운영되므로 과거보다 운영이 복잡하고 관련된 기술이 세련되어 가고 있다. 이들 댐들을 최적 연계운영하기 위한 연구는 국내에서도 많이 진행된 바가 있다. 이들 연구에서는 최적화 모형을 사용하여 댐군을 운영하며 운영결과를 이용하여 댐 운영의 가이드라인을 설정하고 있다. 최적화 모형에서는 운영목적의 달성정도를 평가하기 위하여 여러 개의 항목으로 구성된 다중목적함수와 제약조건을 사용하고 있다(정창삼 등, 2001; 김태순과 허준행, 2001; 음형일 등, 2005; 강민구 등, 2007). 다중목적함수와 제약조건을 설정할 때는 댐 운영의 목적과 댐 운영에 영향을 미치는 요인들을 고려할 필요가 있다.

다변량 분석기법 중의 하나인 요인분석(factor analysis)은 시스템이나 현상에 영향을 미치는 요인들을 추출하기 위해서 적용되는 통계기법이다. 요인분석은 관련된 변수들의 통계적 특성을 고려하여 영향력 있는 변수들만 선정하고 이들을 몇 개의 그룹으로 분류하여 선정된 그룹을 요인으로 명명한다(이영일, 2002). 요인분석의 적용 예로 한국건설기술연구원(2004)에서는 농경지 저류지 도입에 대하여 장애요인을 도출하기 위하여 요인분석을 적용하여, 장애요인으로 환경보전형, 지역개발형, 지역고수형, 안전추구형 등으로 개념화한 바가 있다. 임창수와 신재기(2002), 임창수(2000)는 각각 삼교호 유역과 금강 수계의 수질자료를 수집하여 요인분석을 실시하고 수질 특성과 영향요인을 분석한 바가 있다. 한승헌 등(2003)은 해외건설사업의 수익성 영향인

자 분석에 관한 연구에서 요인분석 기법을 관련된 요인들을 추출하고 그룹화하는데 활용하였으며, 오주삼 등(2003)은 교통특성에 따른 도로유형 분류에 관한 연구에서 다양한 교통특성변수들에 대하여 요인분석을 실시하여 3개의 요인으로 그룹화하였으며, 선정된 요인들을 기준으로 하여 도로유형을 4개 그룹으로 분류한바가 있다. Iyer and Jha (2006)은 요인분석을 사용하여 인도의 건설 프로젝트에서 공정 달성에 영향을 미치는 주요 요인들을 추출하였다. 이 연구에서는 변수들을 성공 사례에 대하여 6개의 요인, 실패 사례에 대하여 7개의 요인으로 그룹화하였다. Nandagiri and Koor (2006)는 증발산 과정에 영향을 미치는 주요 요인들을 확인하기 위하여 요인분석을 적용하였으며, 기후와 관련된 6개의 변수를 그룹화하였다. 이와 같은 연구들은 시스템이나 현상에 영향을 미치고, 통계적으로 상호 독립적인 요인들을 추출하는데 요인분석의 적용이 가능함을 나타내고 있다.

한강 수계에서는 홍수기에 하류에서 발생하는 홍수 피해를 저감시키기 위해 1999년부터 댐들이 통합 운영되고 있다. 소양강댐과 충주댐은 한강수계의 상류에 위치한 수자원 시설물로서 용수를 공급하고 전력을 생산하며, 홍수조절을 담당하고 있다. 두 댐은 연계 운영되어 하류의 용수수요처에 용수를 공급하고 팔당댐 지점의 의무방류량을 충족시키도록 운영되고 있다. 발전 측면에서 두 댐은 여수로 방류를 제외하고 방류수를 사용하여 발전을 하며, 목표 발전량, 용수공급량, 저수량, 하류 조건 등을 고려하여 전력을 생산한다. 홍수기에는 저수위가 높아져 발전량이 증가하므로 다른 시기보다 많은 전력을 생산하고, 저수량을 증대시켜 다음 이수기의 용수수요에 대처하도록 운영된다. 이수기에는 발전을 고려하면서 저류량을 효율적으로 배분하여 하류 제어지점의 필요수량을 만족시키도록 운영된다. 따라서 두 댐의 운영은 댐 운영의 주요 영향인자 중의 하나인 수문조건의 변화뿐만 아니라 다른 인자들에 의해 영향을 받아 복잡한 양상을 나타낸다. 따라서 수문조건 뿐만 아니라 다른 영향 요인들을 추출하고 이들을 고려해서 댐 운영 계획을 수립하거나 의사결정에 반영할 필요가 있다.

본 연구에서는 댐 운영에 영향을 미치는 요인들을 추출하기 위하여 요인분석을 적용하였으며 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 요인 분석 통계 기법의 적용 절차(procedure) 고찰
- 댐 운영에 대한 영향 요인 추출에 대한 요인분석 통계기법의 적용가능성 평가

- 추출된 요인의 적절성 검증 방법 개발 및 적용

이를 위하여 한강수계를 연구 대상 수계로 하였으며, 댐군 운영에 영향을 미치는 요인들을 추출하기 위하여 충주댐과 소양강댐 운영에 대하여 요인분석을 실시하였다. 요인분석을 실시하기 위하여 각 댐 운영과 관련된 변수들을 수집하였으며, 이들을 요인분석 과정을 거쳐 몇 개의 요인들로 분류하였다. 요인분석결과의 적절성을 평가하기 위하여 선정된 요인들로 구성된 다중회귀모형을 개발하여 예측결과와 실적치를 비교하여 요인분석 결과의 적용성을 평가하였다. 또한, 수계 댐군 최적 운영에 사용되고 있는 목적함수에 포함된 항목들과 본 연구에서 추출된 요인들을 비교하여 추출된 요인들의 적절성을 분석하였다.

2. 요인분석(Factor Analysis)

2.1 이론적 배경

요인분석이란 변수들이 어떻게 연결되어 있는가를 분석하고, 변수들 사이의 관계를 공통요인을 이용하여 설명하는 다변량 분석기법 중의 하나이다. 요인분석은 상관성이 높은 일부 변수들끼리 서로 같은 분산구조를 가지고 있는가를 검토하여 이들을 동일요인으로 분류하는 통계기법이다 (이영일, 2002). 많은 변수가 복잡하게 상관하고 있는 경우에 상관관계를 설명할 수 있는 몇 개의 공통적인 부분과 독자적인 부분으로 나눌 수 있다. 요인분석에서는 공통적인 성분을 공통요인(common factor), 독자적인 성분을 특수요인(specific factor)이라고 한다.

요인분석에서는 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_p$ 와 같이 p개의 변수들로 구성된 벡터 X의 표준화된 변수들로 구성된 벡터 Z가 무작위변수인 공통요인 F와 특수요인 U의 선형결합으로 표현이 가능하다고 가정한다. 요인분석의 기본 모델을 행렬로 나타내면 Eq. (1)과 같다.

$$Z = A \cdot F + U \quad (1)$$

여기서, $Z = [z_1, z_2, \dots, z_p]'$, $F = [f_1, f_2, \dots, f_m]'$, $U = [u_1, u_2, \dots, u_p]'$ 이며, [']는 변수들의 행렬을 전환한 값을 나타낸다. 행렬 A는 Eq. (2)와 같은 $p \times m$ 행렬로 요인적재량(factor loading)을 나타낸다.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{p1} & a_{p2} & \dots & a_{pm} \end{pmatrix} \quad (2)$$

요인분석에서는 다음과 같은 가정을 만족하도록 한다. 첫 째, 공통요인(f_m)은 서로 독립이고 평균이 0이며 분산이 1인 정규분포를 나타낸다. 둘째, 특수요인(u_p)은 서로 독립이고 평균이 0이며 분산은 ψ_i 이다. 셋 째, 공통요인(f_m)들과 특수요인(u_p)은 서로 독립적이다.

요인분석은 다른 다변량 분석 방법들과는 달리 설명 변수와 목적변수를 지정하지 않고 변수들 사이의 상호작용을 분석한다. 요인분석은 주로 데이터의 양을 줄여 정보를 요약하는데 사용된다. 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 경우, 분석을 통하여 얻어진 요인들을 회귀분석이나 판별분석에서 설명 변수로 사용하고 싶어 하는 경우에 사용된다.

요인분석을 실시하기 위해서는 먼저 자료의 적합성을 판단해야 한다. 이를 위해서 첫 째 변수들의 표본상관행렬(R)을 계산한다. 두 번째, 표본상관행렬을 이용하여 자료가 요인분석에 적합한가를 판단한다. 세 번째, 변수들의 상관행렬로부터 최초요인행렬을 추출한다. 네 번째, 추출된 최초요인행렬로부터 적합한 요인들의 수를 결정한다. 다섯 번째, 요인공통분산(communality)을 기준으로 요인의 특성을 가장 잘 나타내는 변수들의 조합을 찾는다. 여섯 번째, 요인들의 요인 부하량을 추정한다. 일곱 번째, 요인과 변수와의 관계를 좀 더 명확하게 하기 위하여 요인들을 회전시킨다. 마지막으로 회전된 요인 결과를 이용하여 요인점수를 산정하고 해석한다.

2.2 사전 적합성 검토

요인분석이 연구자의 목적에 적합한 방법이라고 판단되더라도 해당 자료가 분석에 적절하지 못할 수도 있기 때문에 요인분석의 적용 가능성을 점검해야 한다. 요인분석의 적용가능성을 분석하기 위한 방법으로는 Bartlett의 단위행렬 점검, 상관계수 행렬의 점검, 고유값의 점검, 공통인자분석의 점검, 잔영상관행렬의 점검, Kaiser-Meyer-Olkin(KMO)의 표본적합도 점검 등과 같은 방법들이 있다. 이 중에서 적절한 방법을 사용하여 요인분석을 수행하기 전에 자료의 적합성을 점검한다. 요인분석의 사전 적합성 검토에 주로 사용되는 방법은 Bartlett의 단위행렬 점검과 KMO(Kaiser-Myer-Olkin)의 표본적합도 점검이다. 이 중에서 KMO의 표본적합도 점검은 잔영상관행렬을 사용하여 계산된 통계량으로 연구자의 자료가 요인분석에 적합한가를 판

정하는 방법이다. KMO 테스트의 결과인 MSA(KMO Measures of Sampling Adequacy) 값을 이용하여 자료의 요인분석에 대한 적합성을 판단한다. 잔영상관행렬(anti-image correlation matrix)은 각 변수들 사이의 요인공통분산을 제거한 후 변수 고유분산과 잔차 분산으로만 계산된 상관계수 행렬이다. Eq. (3)은 MSA를 계산하는 식이다.

$$MSA = \frac{\sum_{j \neq k} \sum_{j \neq k} r_{jk}^2}{\sum_{j \neq k} \sum_{j \neq k} r_{jk}^2 + \sum_{j \neq k} \sum_{j \neq k} q_{jk}^2} \quad (3)$$

여기서 q_{jk}^2 는 잔영상관행렬의 비대각선에 있는 계수의 제곱, r_{jk}^2 는 원래 상관행렬의 비대각선에 있는 계수의 제곱을 나타낸다. MSA 값이 0.4 미만인 경우 요인 분석에 적용하기 어려운 자료임을 나타낸다.

2.3 최초 요인행렬 추출 및 요인수 추출

요인분석의 적합성 점검을 거친 후, 요인분석을 위한 첫 번째 순서는 변수와 요인의 상관관계를 나타내 주는 최초 요인행렬을 추출하는 단계이다. 첫 번째 요인은 변수의 분산 중 가장 많은 부분을 설명할 수 있도록 추출되며, 두 번째 요인은 첫 번째 요인이 설명하지 못하는 분산 중에서 가장 많은 부분을 설명할 수 있도록 추출된다. 이와 같은 방법으로 변수의 수와 같은 개수의 요인을 차례로 추출한다. 최초 요인을 추출한 뒤 회전시키지 않은 요인행렬로부터 몇 개의 요인을 추출할 것인가를 결정해야 한다. 요인분석에서 적정요인의 수를 결정하는 방법에는 최소 고유값을 설정하는 방법과 스크리 도표(Scree chart)를 사용하는 방법, 요인공통분산의 총분산에 대한 비율을 사용하는 방법들이 있다. 최소 고유값을 사용하는 방법인 최소 고유값이 1.0 이상인 요인들을 사용하는 방법으로 요인수를 추출하는데 가장 많이 사용되는 방법이다. 스크리 도표를 사용하는 방법은 요인수에 대한 고유값을 나타내는 스크리 도표가 지수함수 분포를 계속해서 나타내는 것이 아니므로 지수함수의 형태에서 크게 벗어나는 임의 지점을 선정하여 이를 기준으로 요인수를 결정하는 방법이다. 요인공통분산의 총분산에 대한 비율을 사용하는 방법은 각 변수의 고유값을 변수의 개수로 나누면 각 요인이 설명할 수 있는 요인공통분산의 총분산에 대한 비율을 나타내므로 이 값의 누적값이 60 % 이상일 경우 적절한 요인들이 선정되었다고 판단하는 방법이다.

2.4 요인 부하량 추정

요인 부하량은 회전되지 않은 요인형태행렬의 변수와 요인들 사이의 단순상관관계를 나타낸다. 요인 부하량을 이용하여 각 변수들이 어떠한 요인들에 의해 설명되어지는가를 알 수 있다. 요인 부하량은 어떤 요인들이 어떤 변수들과 높은 관계를 나타내는가를 알 수 있는 계수이며 이를 제곱하여 백분율로 나타내면 요인에 의해 설명되는 변수의 분산비율을 나타낸다.

2.5 요인의 회전

변수들이 여러 요인들에 대하여 비슷한 요인 부하량을 나타낼 경우 변수들이 어느 요인에 속하는지를 분류하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 변수들의 요인 부하량이 한 요인에 최대가 되고 다른 요인에는 최소가 되도록 하기 위하여 요인들을 회전시킨다. 요인 회전 방법은 직각회전과 사각회전으로 크게 구분된다. 사회과학 분야의 자료 분석에는 사각회전이 주로 사용되고 있으며, 본 연구에서는 직각회전 방식을 사용하였다. 직각회전방식은 회전축이 직각이 되도록 회전하므로 요인들 사이의 상관관계수가 0이 된다. 따라서 요인들 사이의 관계가 서로 독립적이 된다. 직각회전 방식에는 Varimax, Quartimax, Equimax 등이 있으며, 이 중에서 Varimax법이 가장 널리 사용된다. Varimax법은 요인행렬의 각 열(column)의 요인부하량을 제곱한 값들의 분산을 최대화시키면서 요인들 사이의 상관관계수가 0이 되도록 한다. 이 방법은 요인들의 특성을 파악하고 이들 사이에 단순한 구조를 만드는데 주로 적용된다(이영준, 2002).

2.6 요인 점수(Factor score)

요인점수는 추출된 요인들에 대하여 각각 산정되며 Eq. (4)와 같이 변수들의 표준화된 값과 가중치의 선형 결합으로 표현되는 값이다. 개별 관측 대상의 요인점수는 Eq. (4)와 같다.

$$F_j = \sum_{i=1}^p W_{ji} Z_i \quad (4)$$

여기서, F_j 는 추출된 요인(j)의 요인점수, p는 변수의 개수, Z_i 는 i 변수의 표준화된 값, W_{ji} 는 요인 j에 대한 각 변수(i)에 주어지는 가중치를 나타낸다. 요인점수는 요인들 사이의 독립성이 보장되기 때문에 회귀분석의 설명변수로 사용된다.

3. 댐 운영에 대한 영향 요인 추출

3.1 대상 수계 및 관련 변수 수집

한강수계 내 댐 운영에 대한 영향요인을 추출하기 위한 대상 댐으로 한국수자원공사에서 관리하고 있는 소양강댐과 충주댐을 선정하였다. 소양강댐과 충주댐은 한강수계의 상류에 위치하여 하류에 용수를 공급하고 전력을 생산하며, 홍수조절을 담당하고 있다. 두 댐은 홍수기에 홍수조절과 이수기에 용수공급과 전력생산 극대화를 목표로 연계 운영되고 있다. 따라서 수문 조건에 의해서만 댐 운영이 결정되는 것이 아니라 다양한 영향 인자가 존재한다. 본 연구에서는 이들 댐에 대한 영향 요인들을 추출하기 위하여, 먼저 댐 운영과 관련된 변수들을 수집하였다. 분석 자료는 1987년부터 2004년 사이의 충주댐과 소양강댐 운영 자료들을 대상으로 하였으며, 유입량(Inflow), 발전량(Hydropower product), 용수수요 및 공급(Water demand & supply), 저류량(Storage), 과거운영실적(Operation results of the past) 등과 같이 5개의 대분류 항목으로 분류하여 수집되었다. Fig. 1은 이들 분류 항목에 부합하는 변수들을 선정한 것이다. 유입량 항목의 변수로는 연유입량, 유입량 분산, 풍수기 유입량, 평수기 유입량이 있다. 발전량 항목의 변수로는 연목표발전량, 인접 댐의 목표 발전량, 인접 댐의 연발전량 등이 있다. 용수수요 및 공급 항목의 변수로는 용수 공급량, 하류댐 수요량이 있다. 저류량 항목의 변수로는 최대저류량과 최소저류량의 차, 초기 저류량과 말기 저류량의 차, 평균 저류량, 최대 저류량, 최소 저류량, 초기 저류량, 풍수기 평균 저류량, 평수기 평균 저류량, 6월말 저류량, 7월말 저류량, 8월말 저류량, 9월말 저류량, 10월말 저류량, 11월말 저류량, 12월말 저류량, 10월말 저류량의 평균에 대한 편차, 12월말 저류량의 평균에 대한 편차 등이 있다. 과거 운영 실적 항목의 변수로는 전년 유입량, 전년 유입량 분산, 전년 발전 방류량, 전년 발전량, 전년 평수기 유입량, 전년 10월말 저류량, 인접 댐의 전년 발전량 등이 있다.

3.2 수집된 자료의 요인분석에 대한 적합성 검토

본 연구에서는 요인분석을 수행하기 전에 자료의 적합성을 점검하기 위하여 상관관계수 행렬의 점검, Bartlett의 단위행렬 점검, KMO 표본적합도 점검을 실시하였다. 요인분석을 위한 변수들로서 Fig. 1에 나타낸 관련 변수들을 전부 사용한 것이 아니고 변수들 사이의 통계적 특성을 고려하여 소양강댐과 충주댐에 대하여 각각 13개와 15개의 변수를 선정하였다. Fig. 2는 댐 운

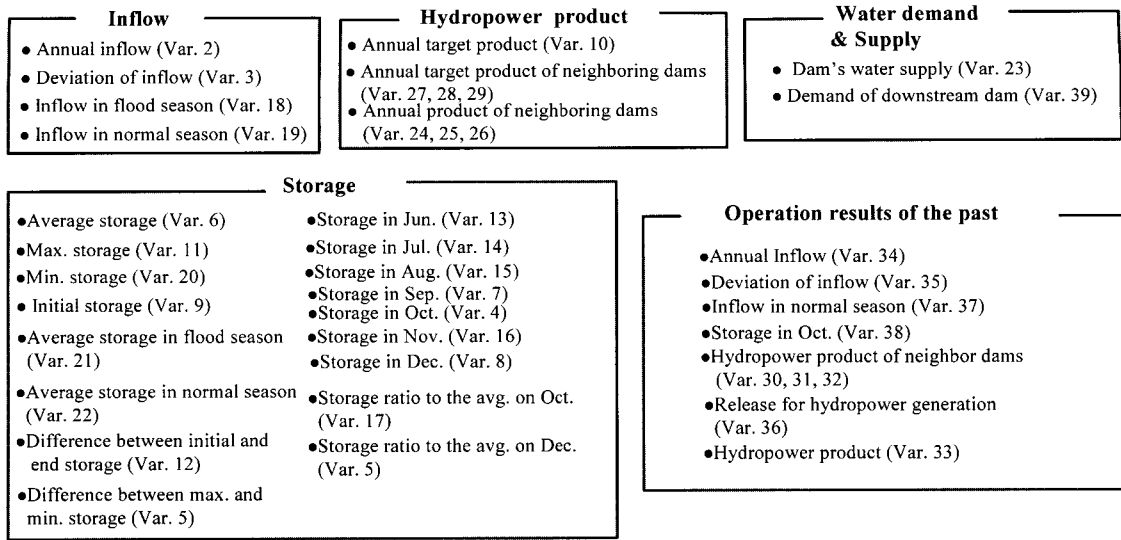


Fig. 1. Subdivision of Gathered Data Related to Dam Operations before Adaptation Test for Factor Analysis

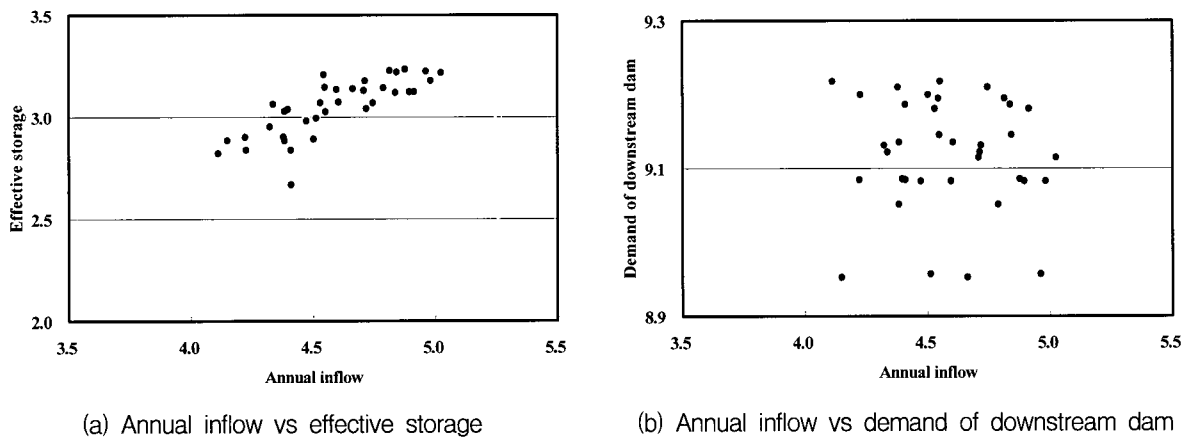


Fig. 2. Co-relation Analysis between Variables Influencing on Dam Operations

영 관련변수들 중 연유입량과 유효 저류량, 연유입량과 하류 댐 용수수요사이의 상관관계를 그림으로 비교한 것이다. 상관계수 행렬 점검은 변수들 사이의 상관계수를 산정하여 변수가 일부 변수들 사이에서는 높은 상관관계를 보이고 다른 변수들 사이에서는 낮은 상관관계를 나타내는가를 점검하는 방법이다. Fig. 2와 같이 사용된 자료에서는 대상 변수가 일부 변수들 사이에서는 상관관계가 높으며, 이들을 제외한 다른 변수들 사이에서는 상관관계가 낮은 현상을 나타내고 있다. 이는 변수들이 몇 개의 요인으로 분류될 수 있다는 것을 나타내며, 자료가 요인분석에 적합하다는 것을 나타낸다.

Bartlett의 단위행렬 점검은 요인분석에 사용되는 변수들의 상관행렬이 단위행렬(행렬의 대각선상에 1, 나머지에 0을 갖는 행렬)인가를 점검하여 변수들이 상호 독립적인가를 판단하는 방법이다. 소양강댐 자료의 경우 선정된 13개 변수에 대한 Bartlett 구형성 검정 결과,

근사카이제곱은 195.7, 자유도 78, 유의확률 0.000으로 유의수준 0.01에서도 단위행렬이 아니라는 충분한 증거를 보여주기 때문에 요인분석을 적용하는데 무리가 없다고 해석할 수 있음을 나타냈다. 충주댐 자료의 경우 선정된 15개 변수에 대한 Bartlett 구형성 검정 결과, 근사카이제곱은 296.8, 자유도 105, 유의확률 0.000으로 유의수준 0.01에서도 단위행렬이 아니라는 충분한 증거를 보여주기 때문에 요인분석을 적용하는데 무리가 없다고 해석할 수 있음을 나타냈다. KMO 테스트는 잔영상관행렬을 사용하여 계산된 통계량으로 연구자의 자료가 요인분석에 적합함을 판정하는 방법으로서 기준 척도인 MSA 값이 0.4 미만인 경우 요인 분석에 적용하기 어려운 자료임을 나타낸다. 소양강댐 자료의 경우 MSA는 0.54, 충주댐의 경우 MSA는 0.46으로 요인분석에 적합한 자료로 판정되었다.

3.3 요인수 추출 및 요인의 회전

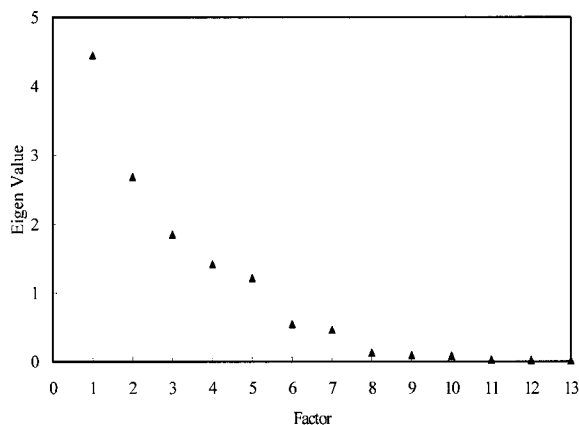
Table 1은 각 댐의 운영에 영향을 미치는 변수들에 의해 나타나는 요인들에 의한 고유값과 분산을 요인별로 비교한 것이다. 소양강댐의 경우, 최소 고유값이 1.0 이상인 요인은 5개의 요인이며, 이들의 5개 요인의 누적 요인공통분산의 총분산에 대한 비율은 89.44 %로 60.0 %를 상회하는 값이다. 따라서 최소 고유값과 요인공통분산의 총분산에 대한 비율을 사용하는 방법을 적용할 경우 적정 요인수는 5개이다. Fig. 3은 요인들의 고유값을 크기 순으로 나타낸 것이다. Fig. 3에 나타낸 것과 같이 요인의 수와 변수의 개수와 동일하며, 소양강댐 운영의 요인수는 13개, 충주댐 운영의 요인수는 15개이다. Fig. 3(a)는 소양강댐 운영 영향 요인별 고유값을 도식적으로 나타내는 스크리 도표를 작성한 것이다. Fig. 3(a)에서와 같이 스크리 도표는 요인수에 따라 계속해서 동일한 경향을 나타내지 않고 요인 5번에서 변화가 있다. 충주댐의 경우, 최소 고유값이 1.0 이상인 요인은 5개의 요인이며, 이들의 5개 요인의 누적요인공통분산의

총분산에 대한 비율은 88.95 %로 60.0 %를 상회하는 값이다. 따라서 최소 고유값과 요인공통분산의 총분산에 대한 비율을 사용하는 방법을 적용할 경우 적정 요인수는 5개이다. Fig. 3(b)에서 충주댐 운영 영향 요인들이 나타내는 고유값 변화를 비교해 보면, 요인수에 따라 계속해서 동일한 경향을 나타내지 않고 소양강 댐의 경우와 같이 요인 5번에서 변화가 있다. 이와 같은 세 가지 방법에 의해 결정된 소양강댐과 충주댐 운영에 대한 적정요인의 수는 각각 5개로 결정되었다.

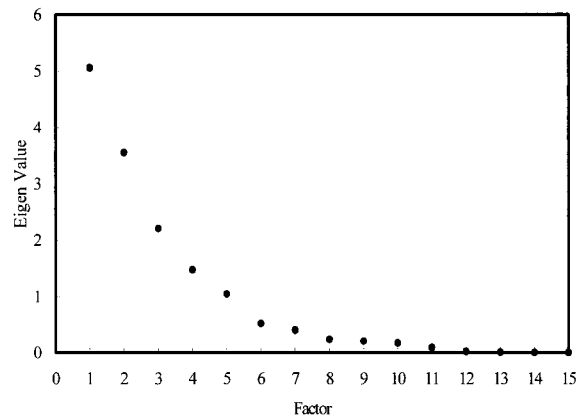
요인분석에서는 변수들이 여러 요인에 대하여 유사한 요인 부하량을 나타낼 경우 변수들이 어느 요인에 속하는가를 분류하기 어렵다. 이를 해결하기 위하여 변수의 요인 부하량이 한 요인에 최대가 되고 다른 요인에는 최소가 되도록 하기 위하여 요인을 회전시킨다. 본 연구에서는 회전축이 직각이 되도록 회전하는 직각회전 방법 중의 하나인 Varimax법을 사용하였다. Fig. 4는 선정된 변수들의 회전된 요인에 대한 요인 부하량을 나타낸 것이다. Fig. 4(a)는 소양강댐의 회전된 요인들에 포함된 변수들의 요인 부하량을 나타낸 것이다.

Table 1. Eigen Value and Variance and Accumulated Variance, Varying with Extracted Factors Influencing Dam Operation after Sampling Adequacy Test

Dam	Factor	Eigen Value	Variance (%)	Accum. variance (%)
Soyang	1	4.46	34.32	34.32
	2	2.68	20.61	54.93
	3	1.85	14.25	69.18
	4	1.42	10.92	80.10
	5	1.21	9.34	89.44
Chungju	1	5.06	33.73	33.73
	2	3.55	23.68	57.41
	3	2.21	14.74	72.15
	4	1.47	9.82	81.97
	5	1.05	6.98	88.95

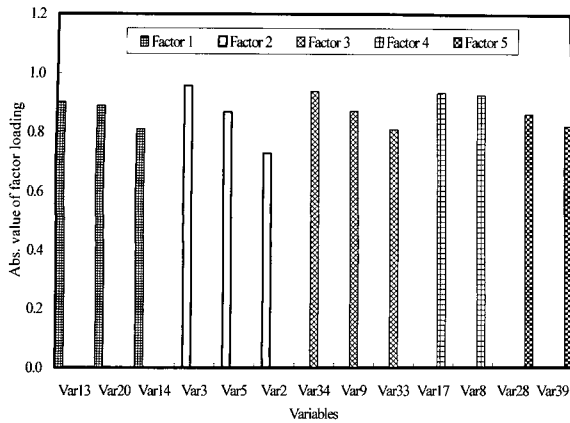


(a) Soyanggang Dam

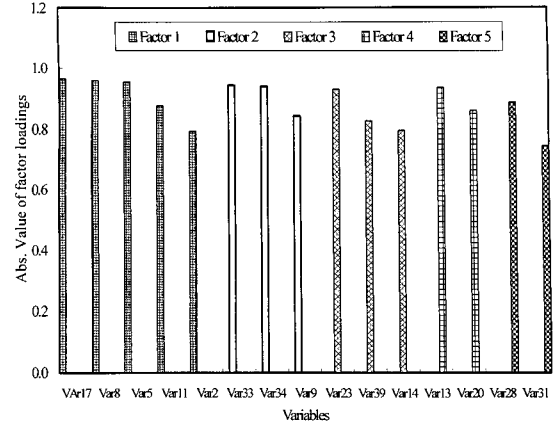


(b) Chungju Dam

Fig. 3. Scree Diagram for Determining the Appropriate Number of Factors



(a) Soyanggung Dam



(b) Chungju Dam

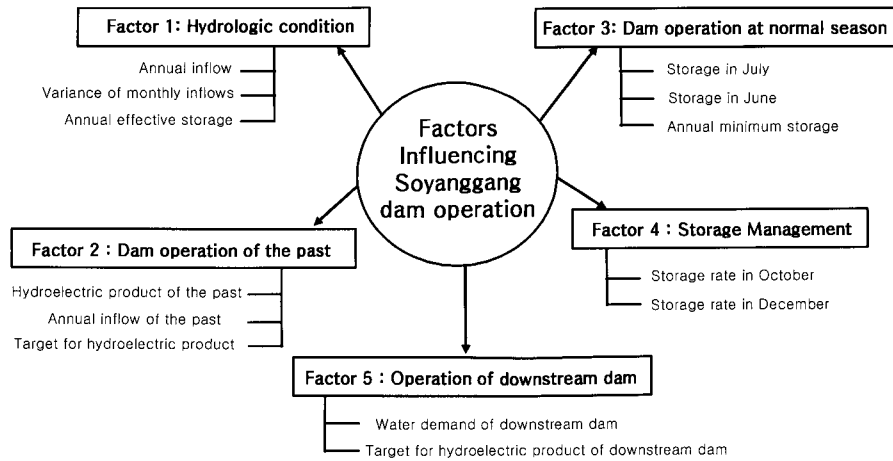
Fig. 4. Variable's Factor Loadings According to Rotated Factors Influencing Dam Operation

요인 1에는 3개의 변수가 포함되며 요인 부하량은 0.81~0.90의 범위를 나타냈으며, 요인 2에는 3개의 변수가 포함되며 요인 부하량은 0.73~0.96의 범위를 나타냈다. 요인 3에는 3개의 변수가 포함되며 요인 부하량은 0.81~0.94의 범위를 나타냈으며, 요인 4에는 2개의 변수가 포함되며 요인 부하량은 각각 0.93과 0.92를 나타냈다. 요인 5에는 2개의 변수가 포함되며 요인 부하량은 각각 0.86과 -0.82를 나타냈다. Fig. 4(b)는 충주댐의 회전된 요인들에 포함된 변수들의 요인 부하량을 도시적으로 나타낸 것이다. 요인 1에는 5개의 변수가 포함되며 요인 부하량은 0.79~0.96의 범위를 나타냈으며, 요인 2에는 3개의 변수가 포함되며 요인 부하량은 0.84~0.94의 범위를 나타냈다. 요인 3에는 3개의 변수가 포함되며 요인 부하량은 0.79~0.93의 범위를 나타냈으며, 요인 4에는 2개의 변수가 포함되며 요인 부하량은 각각 0.94와 0.86을 나타냈다. 요인 5에는 2개의 변수가 포함되며 요인 부하량은 각각 0.89와 0.74를 나타냈다.

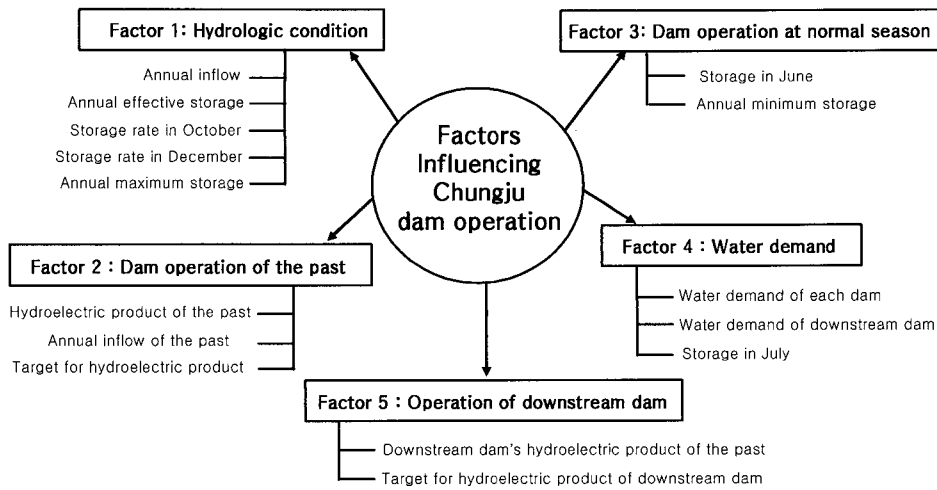
3.4 각 댐의 운영에 대한 영향 인자 추출

한강 수계의 소양강댐과 충주댐의 운영에 대한 영향 인자는 Figs. 5(a) and 5(b)와 같이 회전된 요인 부하량을 사용하여 각각 5개의 요인으로 축약되었다. 각 요인에 대한 명명은 포함된 변수들의 의미를 고려하였다. 소양강댐의 경우 선정된 변수는 연유입량, 월별 유입량 분산, 연유효 저수량, 12월말 저류량 편차, 10월말 저류량 편차, 연계획 발전량, 전년의 발전량, 전년의 연유입량, 6월말 저류량, 7월말 저류량, 연최소 저류량, 하류 댐 용수수요, 하류 댐 계획발전량 등으로 13개이다. Fig. 5(a)와 같이 제 1 요인은 수문조건(Hydrologic condition)으로 명명하였으며 연유입량, 월별 유입량 분산, 연유효 저수량 등과 같은 3개의 변수로 구성되었으

며, 제 2 요인은 과거 댐 운영(Dam operation of the past)으로 연계획 발전량, 전년의 발전량, 전년의 연유입량 등과 같은 3개의 변수로 구성되었다. 제 3 요인은 6월말 저류량, 7월말 저류량, 연최소 저류량 등과 같은 3개의 변수로 구성된 평수기 댐 운영(Dam operation at normal season)이며, 제 4 요인은 12월말 저류량 편차, 10월말 저류량 편차 등과 같은 2개의 변수로 구성된 댐 저류량 관리(Storage management)이며, 제 5 요인은 하류 댐 용수수요, 하류 댐 계획발전량 등과 같은 2개의 변수로 구성된 하류 댐 운영(Operation of downstream dam)이다. 충주댐의 경우 선정된 변수는 연유입량, 연유효 저수량, 10월말 저류량, 12월말 저류량, 연최대 저류량, 연계획 발전량, 전년의 발전량, 전년의 연유입량, 6월말 저류량, 연최소 저류량, 7월말 저류량, 용수공급량, 하류 댐의 용수수요, 하류댐의 계획발전량, 전년의 하류댐 발전량 등으로 15개이다. Fig. 5(b)와 같이 제 1 요인은 수문조건(Hydrologic condition)으로 명명하였으며 연유입량, 연유효 저수량, 10월말 저류량, 12월말 저류량, 연최대 저류량 등과 같은 5개의 변수로 구성되었으며, 제 2 요인은 과거 댐 운영(Dam operation of the past)으로 연계획 발전량, 전년의 발전량, 전년의 연유입량 등과 같은 3개의 변수로 구성되었다. 제 3 요인은 6월말 저류량, 연최소 저류량 등과 같은 2개의 변수로 구성된 평수기 댐 운영(Dam operation at normal season)이며, 제 4 요인은 7월말 저류량, 용수공급량, 하류 댐의 용수수요 등과 같은 3개의 변수로 구성된 용수수요(Water demand) 요인이며, 제 5 요인은 하류 댐의 용수수요, 하류 댐 계획 발전량 등과 같은 2개의 변수로 구성된 하류 댐 운영(Operation of downstream dam)이다.



(a) Soyonggang Dam



(b) Chungju Dam operation

Fig. 5. Factors and Their Variables Influencing on Dam Operation

4. 요인분석 결과의 검토

소양강댐과 충주댐의 운영에 대한 영향 요인분석 결과의 적절성 검증을 위하여 두 가지 방법을 사용하였다. 첫 번째 방법에서는 추출된 영향인자들로 구성된 다중회귀모형을 구성하고 예측결과와 실적자료를 비교하여 구성된 모형의 효율을 검토하여 추출된 영향인자의 적절성을 검토하였다. 두 번째 방법에서는 댐이나 수계 내 댐 군의 최적 운영에 사용되고 있는 다중 목적 함수들의 구성요소들과 요인추출결과를 비교하여 선정된 요인과 변수들의 적절성을 평가하였다.

4.1 추출된 영향요인을 사용한 다중회귀모형

추출된 영향요인들의 적절성을 평가하기 위하여 선정된 요인들의 요인점수(factor score)들을 설명변수로 사용하여 연간 댐의 발전량을 목표변수로 하는 다중회귀모형을 구성하여 예측결과와 실적결과를 비교하였다.

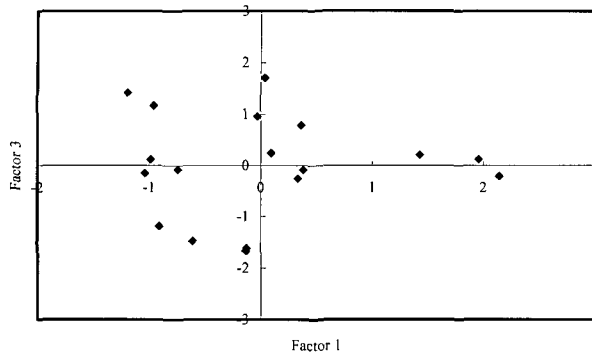
본 연구에서는 요인회전에 직각회전 방식을 사용하였다. 직각회전방식은 회전축이 직각이 되도록 회전하므로 요인들 사이의 상관계수가 0이 된다. 따라서 요인들 사이의 관계가 서로 독립적이 되며, 요인점수를 회귀분석에 이용하면, 다중 공선성을 피할 수 있다. 중회귀분석을 실시하기 전에는 독립변수들 사이에 상관관계가 없다는 가정을 검토해야 하며, 독립변수들끼리 상관관계가 높을 경우, 추정된 회귀계수는 표본변동이 클 우려가 있다. Eq. (5)는 추출된 요인들의 요인점수를 설명변수로 사용하여 구성된 다중회귀식을 나타낸다.

$$HP = aFC_1 + bFC_2 + cFC_3 + dFC_4 + eFC_5 + f \quad (5)$$

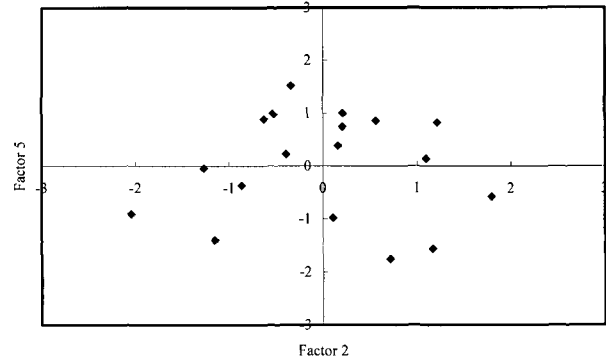
여기서, HP는 연 발전량(GWh/년), $FC_1, FC_2, FC_3, FC_4, FC_5$ 는 추출된 요인들의 요인점수, a, b, c, d, e 는 이들의 계수, f 는 상수를 나타낸다.

본 연구에서 선정된 요인들의 요인점수들 사이의 상관관계는 거의 없는 결과를 나타냈다. Fig. 6은 요인들의 요인 점수들 사이의 산포도를 도식적으로 나타낸 것이다. Fig. 6에서와 같이 요인점수들 사이의 상관관계는 거의 없는 결과를 나타냈으며, 이들을 다중회귀식의 설명변수로 사용이 가능함을 나타냈다. Fig. 7은 다중회귀식을 이용한 예측발전량과 실적 발전량을 비교한 것이다. 소양강댐의 경우 실적 발전량과 예측 발전량 사이의 상관계수(R)가 0.92로 다중회귀모형의 예측능력이

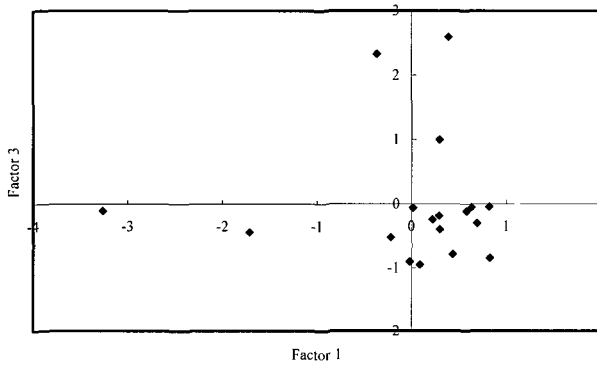
높다는 결과를 나타냈으며, 충주댐의 경우도 예측발전량과 실적발전량 사이의 상관계수가 0.93으로 높은 상관성을 나타냈다. 또한, Figs. 7(a) and (b)와 같이 실적발전량과 예측발전량이 1:1 선상에 밀접하게 분포하고 있으며, 이는 실적값과 예측값의 경향이 유사하다는 것을 나타내고 있다. 따라서 각 댐 운영에 영향을 미치는 변수들은 요인분석을 통해서 적절하게 분류되었다고 판단된다.



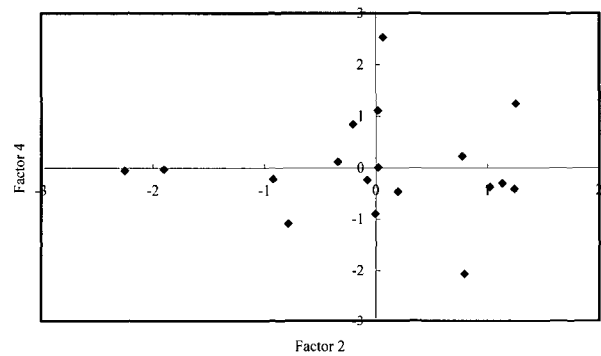
(a) Soyanggang Dam: Factor 1 vs. Factor 3



(b) Soyanggang Dam: Factor 2 vs. Factor 5

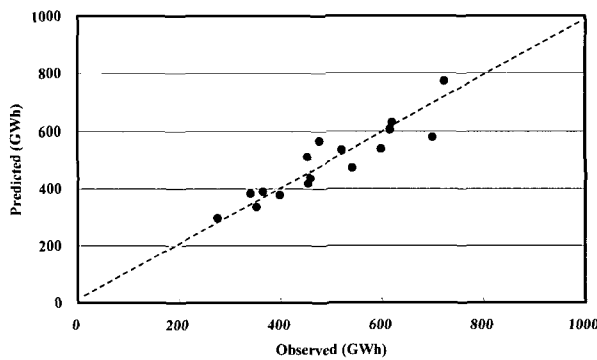


(a) Chungju Dam: Factor 1 vs. Factor 3

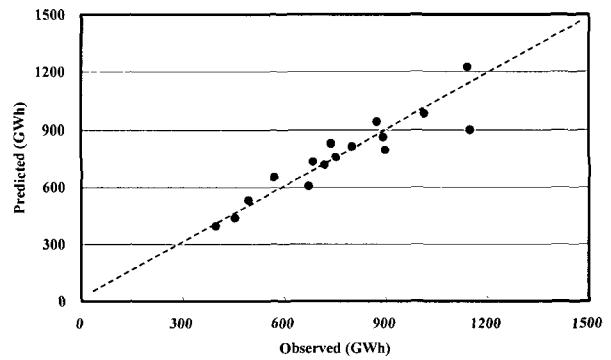


(b) Chungju Dam: Factor 2 vs. Factor 4

Fig. 6. Correlation Analysis between Primary Factors Influencing on Dam Operation



(a) Soyanggang Dam



(b) Chungju Dam

Fig. 7. Comparison of Annual Hydropower Product Observed and Predicted by Multiple Regression Equation for Dam Operation

4.2 다중목적함수의 구성요소와 비교

수계의 물 관리 효율을 높이기 위하여 댐 군을 최적 운영하기 위해서는 댐 군을 구성하는 댐들의 상황을 고려해서 수계 전체의 목적을 달성하도록 운영해야 한다. 이 경우 목적함수는 단일 목적댐이나 다목적댐에 적용하는 형태보다 훨씬 복잡하며 용수수요에 대한 충족도도 여러 지점에 대해서 평가한다. 또한, 목적함수나 제약조건에는 이들을 고려할 수 있는 항목들을 포함해야 한다. 국내에서 2000년 이후 적용된 바가 있는 댐 운영 최적화 모형의 목적함수를 살펴보면 Table 3과 같다. 김태순과 허준행(2001)은 한강수계의 댐군의 최적운영에 각 댐별 월별 발전량, 화천댐, 소양강댐, 충주댐의 말기(12단계) 평균 저류량과 목표 말기 평균 저류량과의 차이, 팔당댐 월별 평균 방류량과 월별 의무방류량의 차이와 같은 3개항으로 구성된 목적함수를 사용하였다. 정창삼 등(2001)은 팔당댐 저수위 변경에 따른 한강수계 저수지군의 최적연계 운영에서 연간 발전에너지를 최대화시키는 항, 팔당댐 하류 용수수요량과 팔당댐 방

류량 사이의 차를 최소화 시키는 항, 각 해의 연말 저류량을 일정 수준 이상으로 확보하기 위한 항과 같이 3개항으로 구성된 가중 평균 목적함수를 사용하였다. 음형일 등(2005)은 국내 댐군 운영에 적합한 목적함수로 이수기 주요지점의 용수 부족 최소화, 발전의 최대화, 6월말 기준 저수량과의 격차를 최소화 등의 항목이 포함된 것을 제안하였다. 강민구 등(2007)은 한강수계의 일별 댐군 최적 운영 모형에 수계 내 댐들의 총발전량 항목, 필요수량에 대한 용수수요 부족량 항목으로 구성된 목적함수를 사용하였다. 요인분석을 통해서 추출된 소양강댐과 충주댐의 운영에 대한 영향요인들과 본 연구에서 수집하여 정리한 목적함수의 구성항목들을 비교해보면 Table 4와 같다. 선정된 목적함수들의 구성 항목에 포함된 요인들을 비교해 보면, 김태순과 허준행(2001)과 정창삼 등(2001)에 의해 사용된 목적함수에는 수문조건, 용수수요, 하류 조건, 저류량 관리 등의 요인들이 포함되어 있다. 음형일 등(2005)에 의해 적용된 목적함수에는 이와 달리 저류량 관리 요인 대신에 평수기 저류량 관리 요인이 포함되어 있다. 강민구 등(2007)에

Table 3. Objective Functions Employed on Optimal Operation of Multiple Reservoir System in a River Basin

Reference	Objective Function
Kim and Heo (2001)	$\circ \text{Max } F = \sum_{t=1}^{12} \sum_{s=1}^7 [w_1 \times P_{ts} - w_2 \times (FS_{12} - TFS_{12})^2 - w_3 \times (R_{pt} - D_{pt})^2]$ <p>○ P_{ts}: hydropower product, FS_{12}: storage at the end of operation(Dec.), TFS_{12}: target storage at the end of operation, R_{pt}: monthly release of Paldang Dam, D_{pt}: monthly established release of Paldang Dam, s: each dam, t: stage(mon.), w_1, w_2, w_3: weight</p>
Jeong et al. (2001)	$\circ \text{Max } F = \sum_{t=1}^{12} \sum_{i=1}^7 [w_1 \times E_{it} - w_2 \times (R_{pt} - D_{pt})^2 + w_3 \times (S_{i,12} - \alpha S_{i,\max})^2]$ <p>○ E_{it}: hydropower product of i dam, R_{pt}: monthly release of Paldang Dam, D_{pt}: demand of downstream of Paldang Dam, $S_{i,12}$: storage at the end of operation(Dec.), $S_{i,\max}$: storage of full level, α:weight, t: stage(mon.), w_1, w_2, w_3: weight</p>
Kang et al. (2007)	$\circ \text{Max } F = [w_1 \times \sum_{t=1}^{NS} Pe_t - w_2 \times \sum_{t=1}^{NS} (Re_t - De_t)^2]$ <p>○ t: stage(day), NS: final stage, Pe_t: total hydropower product, Re_t: inflow of Paldang Dam considering dam release, intake of upstream and its return flow, and runoff from watershed, De_t: demand of Paldang Dam considering intake and obligate release, w_1, w_2, w_3: weight</p>
Eum et al. (2005)	$\circ \text{Min } F = \sum_{i=1}^T [w_1 \times (\sum_{m=1}^M \max[(Q_{req,m} - Q_{t,m}), 0]) + \sum_{n=1}^N \max[(D_{req,n} - D_{t,n}), 0]]$ $+ w_2 \sum_{n=1}^N (S_{firm,n} - S_{6,n}) - \sum_{n=1}^N w_{3,n} (BP_{t,n})]$ <p>○ m: each control point, n: each dam, M: number of control point, N: number of dam, $Q_{req,m}$: in-stream flow at control point, m, $Q_{t,m}$: stream flow at control point, m, $D_{req,n}$: M & I demand of dam, n, $D_{t,n}$: M & I supply of dam n, $S_{firm,n}$: target storage of each dam on June, $S_{6,n}$: storage of each dam on June, $BP_{t,n}$: hydropower product, i: stage(mon.), w_1, w_2, w_3: weight</p>

Table 4. Comparison of Terms of Selected Objective Functions and Extracted Factors in This Study

Objective function Extracted factor	Kim and Heo (2001)	Jeong et al. (2001)	Kang et al. (2007)	Eum et al. (2005)
Hydrologic condition	○	○	○	○
Dam operation of the past				
Dam operation at normal season				○
Water demand	○	○	○	○
Downstream condition	○	○	○	○
Storage Management	○	○		

의해 적용된 목적함수에는 수문조건, 용수수요, 하류 조건 등의 요인들이 포함되어 있다. 이 연구에서는 목적함수에는 저류량 관리 요인이 포함되어 있지는 않으나 연초 저류량과 연말 저류량을 제약조건으로 사용하였기 때문에 최적화 모형에서 이 요인이 고려가 되었다. 이들 목적함수에는 과거 댐 운영 요인은 포함되어 있지는 않았지만 이 요인은 수문 및 댐 운영의 연속성 때문에 댐 운영의 다년간 저수지를 운영할 경우에는 포함되는 항목이다. Table 4와 같이 본 연구에서 추출된 댐 운영 영향요인들은 댐군 운영 최적화 모형의 목적함수의 항목에 직·간접적으로 포함되어 있으므로 본 연구에서 수행된 요인분석이 적절한 결과를 제시한 것으로 판단된다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 충주댐과 소양강댐 운영에 대한 영향요인을 추출하기 위하여 다변량 분석기법 중의 하나인 요인분석을 실시하였다. 요인분석은 데이터의 양을 줄여 정보를 요약하는데 주로 사용된다. 또한, 많은 변수들을 몇 개의 요인으로 묶어 중요도가 낮은 변수를 제거하는 경우에 적용이 가능하다. 요인분석을 실시하기 위하여 충주댐과 소양강댐 운영에 관련된 자료를 수집하였으며, 이들 사이의 통계적 특성을 고려하여 각각 5개의 요인으로 그룹화하였다. 요인분석의 결과를 검토하기 위하여, 요인들의 요인점수로 구성된 다중회귀 분석을 실시하였으며, 댐군 최적 운영 모형에 사용되는 다중 목적함수의 구성항목들과 비교 하였다. 본 연구에서 수행된 댐 운영에 대한 영향 요인 추출에 관한 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 다목적댐 운영에 대한 영향요인을 추출하기 위하여 충주댐과 소양강댐 운영과 관련된 변수들을 유입량, 발전량, 용수수요, 저류량, 과거 운영 실적 등의 대분류 항목으로 구분하여 수집하였다. 수집

된 변수 중 요인분석을 위한 적합성 검정인 상관계수 행렬의 점검, Bartlett의 단위행렬 점검, KMO 표본적합도 점검을 통하여 소양강댐의 경우 13개, 충주댐의 경우 15개의 변수가 선정되었다.

- 2) 선정된 변수들을 요인 분석한 결과, 소양강댐의 경우 수문조건, 과거 댐 운영, 평수기 댐 운영, 저류량 관리, 하류 댐 운영 등의 5개의 요인으로 분류되었으며 이들은 2~3개의 변수를 포함하였다. 충주댐의 경우에는 선정된 변수들이 수문조건, 과거 댐 운영, 평수기 댐 운영, 용수수요, 하류 댐 운영 등의 5개 요인으로 분류되었으며, 각 요인들은 2~5개의 변수를 포함하였다.
- 3) 선정된 요인들의 요인점수로 구성된 다중회귀모형을 개발하고 실적발전량과 예측결과를 비교하여 요인분석 결과의 적절성과 적용성을 평가하였다. 다중회귀모형을 개발하기 전에 설명변수들 사이의 상관분석을 실시한 결과, 설명변수들 사이에 상관성이 전혀 없는 결과를 나타냈다. 또한, 실적발전량과 예측 발전량 사이의 상관계수(R)는 소양강댐의 경우에는 0.92, 충주댐의 경우는 0.93으로 높은 값을 나타냈다. 따라서 추출된 요인들의 요인점수를 예측모형의 변수로 사용이 가능할 것으로 판단된다.
- 4) 수계의 댐군 최적 연계운영에 사용되고 있는 다중 목적함수들을 수집하여 이들 목적함수에 사용되고 있는 항목들과 요인분석결과를 비교하였다. 분석결과는 댐군 최적운영에 사용되고 있는 목적함수의 구성항목에는 본 연구에서 댐 운영 영향요인으로 추출된 수문 조건, 평수기 댐 운영, 용수수요, 저류량 관리, 하류 댐 운영과 같은 요인들이 사용되고 있음을 나타냈다. 따라서 본 연구에서 적용한 요인분석을 통해서 적절한 댐 운영 요인들이 추출된 것으로 판단된다.

본 연구를 통하여 댐 운영에 대한 영향 요인 추출에 요인분석 통계기법이 적용 가능함이 평가되었다. 요인 분석을 통하여 추출된 변수들과 이들로 구성된 요인들은 댐 운영 결과를 예측하는데 적용이 가능할 것으로 사료된다. 특히, 연간 발전량, 연간 방류량 등을 예측하기 위한 식에 설명변수로 사용이 가능하다. 따라서 수문 및 기상 예측 모형들과 통합하면 댐의 연별 운영 계획이나 월별 운영 계획을 수립에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

강민구, 이광만, 차형선 (2007). “다목적댐군의 실제 연계운영 효과 평가.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제40권, 제2호, pp. 101-112.

고석구, 이광만, 이한구 (1997). “양해 추계학적 동적계획기법에 의한 저수지 운영률 개발.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제30권, 제3호, pp. 269-278.

김태순, 허준행 (2001). “유입량 예측을 이용한 한강수계 댐군 최적 연계운영에 관한 연구.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제21권, 제5-B호, pp. 511-520.

오주삼, 임성한, 김현석 (2003). “교통특성에 따른 도로 유형 분류에 관한 연구.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제23권, 제6-D호, pp. 835-844.

이영일 (2002). **요인분석의 이해**, 석정.

이재응 (2004). “다목적댐의 연계운영을 위한 최적 운영률 개발.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제37권, 제6호, pp. 487-497.

임창수 (2000). “금강 수질자료를 이용한 군집분석 및 요인분석.” **한국수자원학회 학술대회논문집**, 한국수자원학회, pp. 720-725.

임창수, 신재기 (2002). “삼교호유역의 수질자료를 이용한 군집분석 및 요인분석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제2호, pp. 140-159.

음형일, 김영오, 윤지현, 고익환 (2005). “국내 다목적댐 운영계획에 적합한 목적함수에 관한 연구.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제38권, 제9호, pp. 737-746.

정창삼, 허준행, 이재응 (2001). “팔당댐 저수위 변경에 따른 한강 수계 저수지군의 최적연계운영.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제21권, 제2-B호, pp. 101-109.

한국건설기술연구원 (2004). **건강한 물순환 구축을 위한 유역진단기법 개발 연구**.

한승현, 선승민, 류호동 (2003). “해외건설사업의 수익성 영향인자 분석에 관한 연구.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제23권, 제2D호, pp. 235-247.

Iyer K, C. and K. N. Jha (2006). “Critical factors affecting schedule performance: Evidence from Indian construction projects.” *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 132, No. 8, pp. 871-881.

Nandagiri L. and G. Kovoov (2006). “Performance evaluation of reference evapotranspiration equation across a range Indian climate.” *Journal of Irrigation and Drainage*, Vol. 132, No. 3, pp. 238-249.

Westphal K. S., Vogel R. M. Kirshen P, and Chapra S. C. (2003). “Decision support system for adaptive supply management.” *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 129, No. 3, pp. 165-177.

(논문번호:07-27/접수:2007.03.26/심사완료:2007.09.03)

