

농업용저수지의 수문학적 안전성 평가를 위한 계수화 모델 산정

박종석·이경훈[†]·이재주*·심춘석·진완규·허신영

전남대학교 토목공학과
*한국농어촌공사

Development of Hydrological Safety Evaluation Model for Agricultural Reservoir

Jong Seok Park · Kyoung Hoon Rhee[†] · Jae ju Lee* · Choon Seok Shim · Wan Gyu Jin · Shin Young Hu

Dept. Civil Engineering, Chonnam National University, Gwangju, Korea

*Korea Rural Community Corporation

(Received: 27 January 2015, Revised: 04 March 2015, Accepted: 04 March 2015)

요약

현재 국내 일정규모 이상 댐들에 대해서는 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(댐)」 기준에 따라 정밀안전진단을 수행하고 있다. 하지만 여러 평가 기준 중 수문학적 안전성 평가는 가능최대홍수량(Probable Maximum Flood, PMF)에 대한 기존 댐 안전성을 평가하는 것으로 대부분의 농업용저수지에 대해서는 적용성이 많이 떨어진다. 따라서 본 연구에서는 계수화 모델과 AHP 기법을 통해 다각적 위험요인을 고려한 농업용저수지의 수문학적 안전성을 재평가하고자 한다. 이를 위하여 농업용저수지의 다양한 인자를 반영하기 위한 수문학적 안전성 상·하위 평가항목을 선정하여 계수화 모델을 개발하였다. 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

농업용저수지의 수문학적 안전성 확보를 위해서는 단기적 방안으로 신속한 개선이 가능한 안전점검 상태평가 등급의 개선이 유용하며, 장기적으로 여수로 방류능력과 제체의 여유고를 확보하는 방안이 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 수문학적 안전성평가, 가능최대홍수량, 농업용저수지, 분석적 계층화 과정

Abstract

According to the 「Safety Evaluation Detailed Instructions (Dam)」, a precise safety inspection is carried out for dams that exceed a certain scale. However, as the Hydrological Safety Evaluation from various evaluation standards is designed to evaluate the safety of existing dams considering PMF(Probable Maximum Flood), the evaluation is much less applicable for most agricultural reservoirs. Therefore, the Hydrological Safety Guidelines for agricultural reservoirs are expected to be re-evaluated considering the diverse risk factors with the coefficient model and AHP(Analytic Hierarchy Process) in this study. The coefficient model has been developed by selecting the hydrological safety superordinate-subordinate evaluation factors to reflect diverse risk factors of agricultural reservoirs. This study indicated that in the short term, improving the safety check condition evaluation grade will be useful to improve the hydrological safety of the agricultural reservoir because it can be performed immediately.

Key words : Hydrological Safety Evaluation, Evaluation Items, Evaluation Indicator, Analytic Hierarchy Process

1. 서론

우리나라 농업용저수지의 대부분은 도시나 인구밀집 지역이 아닌 농촌, 산간지역 등에 분포되어 관개용수 공급을 목적으로 하는 이수목적 댐으로 치수목적보다는 이수목적에 중점을 두어 개발되었기 때문에 홍수조절과 저수지 운영에 대한 개념이 반영되지 않은 것이 현실이다(Choo et al., 2013). 하지만 1970년대 이후 급속한 산업화로 인해

농촌, 산간지역의 농업용저수지 인근은 도시화로 인구가 증가되어 농업용저수지의 안전성이 확보되지 않아 저수지 붕괴로 이어질 경우 막대한 경제적 손실과 인명 피해를 유발할 것이다. 정부는 가뭄과 홍수 등 수자원 문제에 효율적이고 체계적인 대처 방안으로 환경적으로 건전하고 주민 친화적인 지속가능한 댐 건설 및 관리를 추진하고 있다. 이를 위해 1979년 하천시설기준(댐편)이란 이름으로 처음 댐 설계기준을 제정한 이후 그간 댐 설계기술의 향상과 사회적 변화 등을 반영하여 여러 차례에 걸쳐 댐 설계기준 개정을 추진하여 왔다. 이를 바탕으로 농림축산식품부에서는 농업용저수지에 대한 계획 설계기준을 제정하였으며, 그 동안의 농어촌정비법 등 각종 관련 법규의 개정 및 제도의 신설,

[†] To whom correspondence should be addressed.
Dept. Civil Engineering, Chonnam National University, Gwangju, Korea
E-mail: water@jnu.ac.kr

실무에서 제기되었던 개선사항, 사회경제·환경적 여건의 변화 및 새로운 기술도입의 필요성에 따라 재·개정되어 왔다.(Lee, 2014).

현재 대부분의 나라에서 양질의 자료 관리와 기상학적인 발전에 근거하여, 높은 위험을 가지는 댐에 대한 안전 기준은 가능최대홍수량(Probable Maximum Flood: PMF)으로 하고 있다. 일반적으로 PMF로 설계된 댐은 Zero-위험도를 가지며 하류지역의 안전을 확보할 수 있는 것으로 간주되고 있다. 이 PMF는 대체로 가능최대강수량(Probable Maximum Precipitation: PMP)을 근거하여 추정된다. 여기서 PMP는 주어진 시간과 유역에 발생 가능한 최대강우 깊이를 추정하는 것을 말한다. PMP는 역사적인 자료에 기초하여 영향을 받는 유역과 지속시간에 해당하는 강우의 수분율을 최대화함으로써 추정이 가능하다. 그러나 PMF 설계기준은 2가지 이유에서 문제점을 가지고 있다.

첫째, PMF의 추정치는 자료 양에 따라 시간적으로 변동하게 된다. PMF의 이러한 변동성은 PMF를 설계기준으로 하는 경우 Zero-위험도를 나타낸다는 개념적인 가정으로부터 문제가 발생한다. 둘째, PMF 기준은 위험에 노출된 댐의 비용문제, 경제·사회적인 문제, 위험도 사이에 상관관계를 규명할 수 없다(Moon and Kwon, 2004).

그리고 여러 평가 기준 중에 수문학적 안전성 평가는 PMF에 대한 기존 댐 안전성을 평가하는 것으로 대부분의 농업용저수지에 대해서는 적용성이 많이 떨어진다. 개정된 세부지침 기준에 따라 농업용저수지의 수문학적 안전성을 평가한다면 대부분 홍수위 조절을 할 수 없는 여수로를 가진 구조로써 기준에 제시되어 있는 비구조적 대책에 대한 평가기준을 적용할 수 없을 뿐만 아니라, 댐 상태 및 구조 등에 상관없이 PMF는 그 크기가 평균적으로 현재의 농업용저수지 계획홍수량의 3배 이상이기 때문에 홍수방어능력 부족에 따른 제체의 월류로 저수지의 파괴 위험성이 큰 것으로 판단되므로 과소평가가 이루어진다. 또한 댐의 재료적, 구조적 상태와 관계없이 PMF에 대한 여유고 기준을 만족하는 저수지에 대해서는 과대평가가 이루어질 수밖에 없다.

따라서 본 연구에서는 이론적 근거를 바탕으로 농업용저수지의 수문학적 안전성에 영향을 미치는 다양한 인자를 파악하고, 이를 토대로 전문가 설문을 실시하여 수문학적 안전성을 평가할 수 있는 최적의 평가항목을 선정하고자 한다. 그리고 계층적의사결정법(Analytic Hierarchy Process: AHP)을 통해 도출된 각 평가항목별 중요도와 지표 구간 설정을 통해 평가항목별 수치를 점수화 한 평가항목별 배점이 모두 고려되는 계수화 모델을 개발함으로써 농업용저수지의 수문학적 안전성 평가를 위한 대안으로 제시하고자 한다.

저수지의 수문학적 안전성기준을 수립하고 안전성 증대 방안을 결정하기 위한 연구가 진행 중(Moon and Kwon, 2004; Yi and Nam, 2007; Shin et al., 2007; Choo et al., 2013; Maeng et al., 2014)이나 저수지 수문학적 안전

성에 영향을 미치는 다양한 인자를 고려한 연구는 미비한 편이다(Lee et al., 2014).

Moon and Kwon(2004)은 댐의 수리·수문학적 위험도 해석시 적합한 실행함수 개발과 기존 위험도 해석 기법의 문제점을 개선할 수 있는 비매개변수적 LHS-Monte Carlo Simulation 위험도 해석기법을 정립하였다. Yi and Nam(2007)은 다기준의사결정기법을 이용한 안동다목적 댐의 수문학적 안전성 증대방안 결정에서 댐의 수문학적 안전성을 증대시키기 위한 방안으로 비구조적 방안과 구조적 방안을 고려하였다. 그리고 각각의 방안에 대하여 여유고 확보, 안정적인 용수공급, 안정성, 환경성, 사업비, 시공의 용이성 및 운영유지관리의 효율성 등과 같은 다양한 기준들을 포괄적으로 분석할 수 있는 최적의 대안을 도출하였다.

Shin et al. (2007)의 연구에 따르면 PMF에 대하여 수문학적 안전성을 확보하지 못하는 것으로 검토되는 모든 댐에 대하여 동일한 기준에 의해 수문학적 안전성 평가를 실시하는 것은 합리적이지 못하며, 방류능력 확보를 위한 막대한 예산 소요 및 하류부에 과도한 불안감 야기 등의 부작용을 초래할 수 있기 때문에 댐의 형식, 물리적 상태 및 지리적 위치 등을 모두 고려하여 PMF 유입 시 댐의 실질적인 능력을 평가하기 위한 합리적이고 현실적인 방안을 마련하였다. 평가기준은 댐의 형식 및 토목시설물의 상태평가 등급(물리적인 상태)에 따라 여유고 확보여부 및 월류 발생 시 비구조적 대책을 고려한 검토 등을 포함한 제 I 단계 평가를 수행하고 비구조적 대책수립에 의해서도 월류가 방지되지 못할 경우 제 II 단계 평가로 PMF 유입시 수문 및 콘크리트 댐체 구조물의 구조적인 안전성 확보 여부와 월류 중심의 조건을 반영한 평가를 수행하도록 하고 있다. 제 III 단계인 하류부 위험도에 따른 평가는 댐 붕괴 발생 시 하류부에 미치는 인명피해, 경제적 손실 및 붕괴에 따른 추가적 범람 정도에 따라 수행되도록 하였다. Ministry of Environment(2008)는 상수전용댐 유역의 가능최대강수량 및 가능최대홍수량을 산정하고, 수문학적 안전성을 평가하여 그 결과에 따라 댐의 치수능력 확보를 위하여 구조적, 비구조적 방안을 제시하고자 하였다. “안전점검 및 정밀안전진단세부지침”의 수문학적 안전성 평가방식을 이용하여 최종 안전성을 평가하였으며 이를 바탕으로 관리방안과 제도 개선방안을 도출하였다.

Kim(2009)의 연구에서는 농업용저수지 재개발 우선순위 결정을 위하여 기준영역항목을 “가능성”과 “제한성”으로 구분하고 “가능성”의 세부영역항목을 「개발여건」, 「유역여건」, 「수요여건」을 설정하고 “제한성”에 「지역여건」, 「환경여건」, 「재해여건」을 설정하였다. 모델 진행과정은 먼저 6개의 세부영역지표별로 각각의 기준에 의거 우선순위를 선정하여 지수화한 뒤 6개의 세부지표에 대한 가중계수를 산정하여 최종적인 우선순위 지수(Priority Index)를 선정하도록 하였다. Bang(2009)의 연구에서는 PMF에 대한 수문학적 안전성을 확보하지 못하는 것으로 검토되는 모든 댐에 대하여 동일한

기준에 의해 수문학적 안전성 평가를 실시하는 것은 합리적이지 못하며, 방류능력 증대를 위한 막대한 예산 소요 및 하류부에 과도한 불안감 야기 등의 부작용을 초래할 수 있다고 판단하였다. 이에 댐의 구조형식과 현장진단 결과에 의한 댐의 상태에 따라 1차적으로 검토를 수행하고 여유고 부족 또는 월류 발생 등의 1차적인 조건을 만족시키지 못할 경우 그에 따른 댐체의 구조적 안전을 검토하고, 최종적으로 댐 붕괴 발생 시 하류에 미치는 인적·경제적 위험요인을 기준으로 평가하는 단계적인 평가방법을 제시하였다.

Yang(2010) 저수지의 여수로가 몇 년 빈도의 홍수량에서 댐 본체로의 월류 현상 없이 원활하게 소통시킬 수 있는가에 대해서 검토함으로써 저수지의 실제홍수량을 역으로 추정하는 방법을 적용하여 저수지의 수문학적 안전성을 평가하는 방법을 제안하였다. 제안된 간편법에서는 첨두홍수량을 산정하기 위해 합리식을 사용하였으며, 가능최대홍수량 산정을 위해 Creager 공식, 댐 붕괴 모의는 위어공식을 사용하여 저수지로 유입되는 홍수량이 여수로의 허용 방류능력을 초과하는 홍수로 인한 댐 월류가 유발하는 시점의 홍수량을 이용하여 저수지의 수문학적 안전성을 평가하였다. Kim(2010)의 연구에서는 기존 농업용저수지의 계획 당시 적용한 계획수문량 대신에 최근의 강우현상이 반영된 수문자료를 사용하여 새로이 산정된 빈도별 확률홍수량 및 PMF 분석과 대상홍수에 대한 홍수추적을 수행하여 기존 농업용저수지의 여유고 및 여수도의 배제능력을 이용한 수문학적 안전성을 재검토하였다.

Choo et al. (2013)과 Maeng et al. (2014)의 연구에 따르면 농업용저수지치수관리시스템을 사용하여 농업용저수지의 PMP에 의한 계획수문량을 재산정하고 수위변화에 따른 여수로 방류량을 계산하여 대상 저수지의 홍수위를 추적함으로써 저수지의 수문학적 안전성을 검토하였다. 대상 저수지의 수문학적 안전성 검토 결과 수문학적 안정성을 확보하기 위하여 여수로 확장 등 구조적 대책이나 비구조적 대책이 필요한 것으로 나타났으며, 변경된 저수지 설계기준에 따른 대상 저수지의 PMF 산정 결과 과거의 저수지 설계기준이었던 200년 빈도 확률홍수량에 비해 약 150-290% 정도의 높은 첨두홍수량을 나타내 PMF를 계획홍수량으로 적용할 경우의 적정성 확보 등이 문제가 될 것으로 판단하였다.

본 연구에서는 국내외 수리시설물의 안전진단기준 및 설계 기준을 파악하고 댐의 상태, 구조 및 관리주체마다 상이하게 정립되어 있는 댐 설계기준과는 별도로 PMF에 대한 홍수방어능을 평가하도록 되어 있는 현재의 수문학적 안전성 평가기준에 대해 새로운 평가 방법을 제시하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구범위

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010)의 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침」을 살펴보면 시설물

안전성 평가기준에는 5개 분야(계측데이터 분석, 침투수의 안전성 평가, 사면활동의 안전성 평가, 응력-변형의 안전성 평가, 수문학적 안전성 평가)의 평가를 통하여 최종적인 필댐의 안전성을 평가하고 있다. 본 연구에서는 5개 평가분야 중 설계기준과 평가기준 홍수량의 차이로 농업용저수지에 적용이 곤란한 수문학적 안전성 평가에 대한 평가모형을 개발하는데 주안점을 두었다.

전국에 분포하고 있는 모든 농업용저수지에 대한 전반적인 수문조사를 통하여 수문학적 안전성 평가를 위한 계수화 모델을 개발해야 하나 시간적 제약과 비용을 고려하여 95% 신뢰수준, $\pm 10\%$ 오차한계의 범위에서 표본의 크기를 결정하였다. 그리고 일정규모 이상의 저수지 중 재해에 따른 위험성이 클 것으로 예상되는 저수지를 선정하여 우선적으로 수문조사를 실시하고 계수화 모델 개발에 필요한 기초 수문자료를 확보하였다. 또한 수문학적 안전성 평가항목 및 기준 적용이 곤란한 물넘이 형식이 월류식인 필댐(농업용저수지)을 연구 대상으로 최종 선정 하였다. 대상저수지는 전국 3,372개 농업용저수지 중 Table 1의 범위 내에 있는 총 129개 저수지를 연구대상으로 하였으며, 연구대상 농업용저수지의 위치도는 Fig. 1과 같다.

2.2 평가항목 및 전문가 선정

평가항목 선정은 농업용저수지의 수문학적 안전성에 대한 종합적인 평가를 수행하기 위한 계수화 모델을 구성하는 과정에서 가장 기본이 되는 단계이다. 평가항목이 갖추어야 할 조건은 정부에서 규정하고 있는 지침 등에서 국가 주요시설물 점검·진단의 실시방법 및 절차 내에 포함되어 있는 항목과 부합하여야 하며, 대상지에서 규칙적으로 측정하여 객관적인 자료 획득이 용이한 항목이어야 한다. 그리고 농업용저수지의 특징과 관련성이 높은 항목이어야 하며, 기후변화 등 수문학적 변화에 민감하게 반응하는 항목이어야 한다. 최초 평가항목을 도출함에 있어 내용타당성 확보를 위해 기존의 선행연구 및 문헌조사를 통해 도출된 요인들을 분석 후 실무와의 연계성도 파악하기 위해서 현행 평가기준의 항목을 바탕으로 27개 예비 평가항목을 도출했다. 이후 최초 평가항목을 바탕으로 업계 전문가 2인과 연구원 2인의 심층면접을 통한 사전 조사를 실시해 최종적으로 6개의 상위항목과 이와 관련된 17개의 하위항목을 갖춘 최초 평가항목을 선정하였다.

Yoon and Lee(2003)는 전문가들의 응답에 대하여 평균값, 중앙값 또는 최빈치와 같은 집중화 경향 값과 표준 편차 또는 사분위 값 등을 구하여 전문가들 간의 합의 수준을

Table 1. The scope of target reservoirs

Embankment type	Spillway type	Total reservoir capacity	Class of downstream river
Fill dam (agricultural reservoirs)	Overflow spillway (Side channel)	Above 100 Milm ³	Above regional river

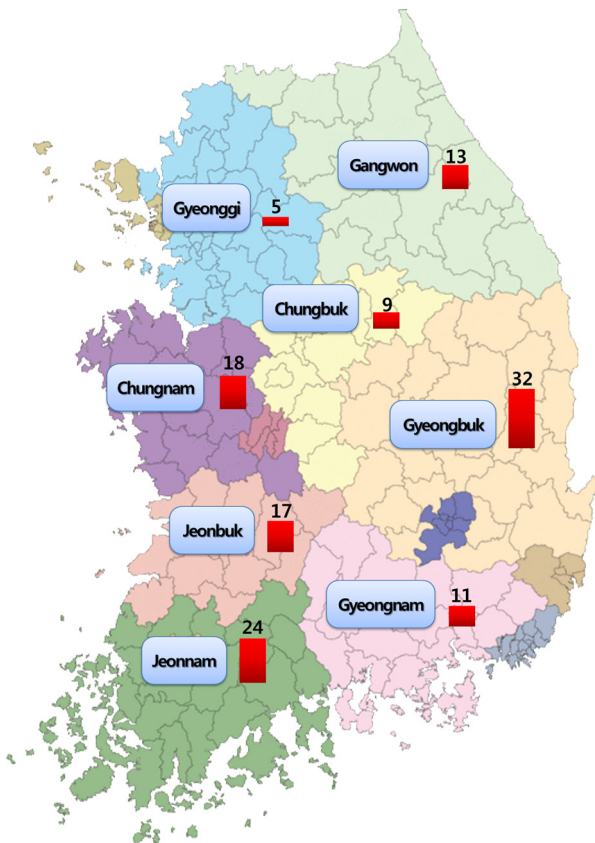


Fig. 1. The location of target reservoirs.

확인해 볼 수 있다는 결과를 얻었다. 따라서 본 연구에서는 5점 척도를 이용한 전문가 설문 결과값의 평균이 3.0 이하

이거나 표준편차가 0.8이상인 요인과 의미가 불확실한 평가항목은 제거하였다. 그리고 개방형 질문에 대한 전문가들의 의견을 수렴해 평가항목을 추가하였다. 사전조사에 의한 최초 평가항목과 2차 설문조사 후 정제된 최종 평가항목은 Table 2, Fig. 2와 같다.

분석과정에서 삭제 및 추가된 평가항목을 살펴보면 다음과 같다. 제거된 항목은 첫째, 유지관리 상태 항목에서 기타 방류시설(취수탑, 통관 등)의 유지관리 상태는 평균이 3.63으로 중간 값(3.0) 이상이지만 농업용저수지의 기타 방류시설(취수탑, 통관 등)은 치수가 아닌 이수목적의 시설이므로 홍수를 대비한 비구조적 대책으로 보기 어렵다는 전문가들의 지적이 있어 제거하였다. 둘째, 잠재 홍수피해 항목의 홍수 발생 시 저수지 상·하류부 재산피해는 표준편차가 0.816으로 0.8 이상일 뿐만 아니라 재산피해라는 단어의 의미가 너무 광범위하고 재산피해 규모 및 피해액의 산정이 곤란하다는 전문가들의 지적에 따라 제거하였다. 셋째, 홍수량 산정 인자 항목의 가능최대홍수량은 표준편차가 0.983으로 상당히 크고 농업용저수지의 대부분이 소규모인 점을 고려할 때 과도한 평가기준이 될 수 있다는 전문가의 지적이 있어 제거하였다.

추가된 항목은 제체(비월류부)의 여유고 상위항목의 가능최대홍수량에 대한 저수지 제체의 여유고에 대하여 일정규모 이상(유역면적 2,500ha 이상, 총저수량 500만^m 이상)의 저수지를 제외한 대부분의 농업용저수지는 200년빈도 이하의 확률홍수량에 의해 계획되어 있어 가능최대홍수량에 의한 저수지 제체의 여유고 확보여부 판단은 과도한 평가라는 의견이 제시되었으나, 월류에 가장 취약한 농업용저

Table 2. The first evaluation factors

Evaluation factors	
Superordinate factors	Subordinate factors
Embankment-freeboard	Considering probable precipitation frequency of 200years
	Considering probable maximum flood
Discharge capacity of outlet channel	Considering design flood
Levee-freeboard	Considering spillway discharge in case of probable precipitation frequency of 200years
Maintenance status	Active storage
	Embankment
	Spillway and outlet channel
	Intake works
	Mechanical and electrical facilities
Potential flood losses	Flooded area in case of flooding
	Up/downstream property losses in case of flooding
	Up/downstream life losses in case of flooding
Precipitation estimation factors	Probable precipitation frequency of 200years
	Probable maximum precipitation
	Catchment area
	Runoff curve number
	Time of concentration

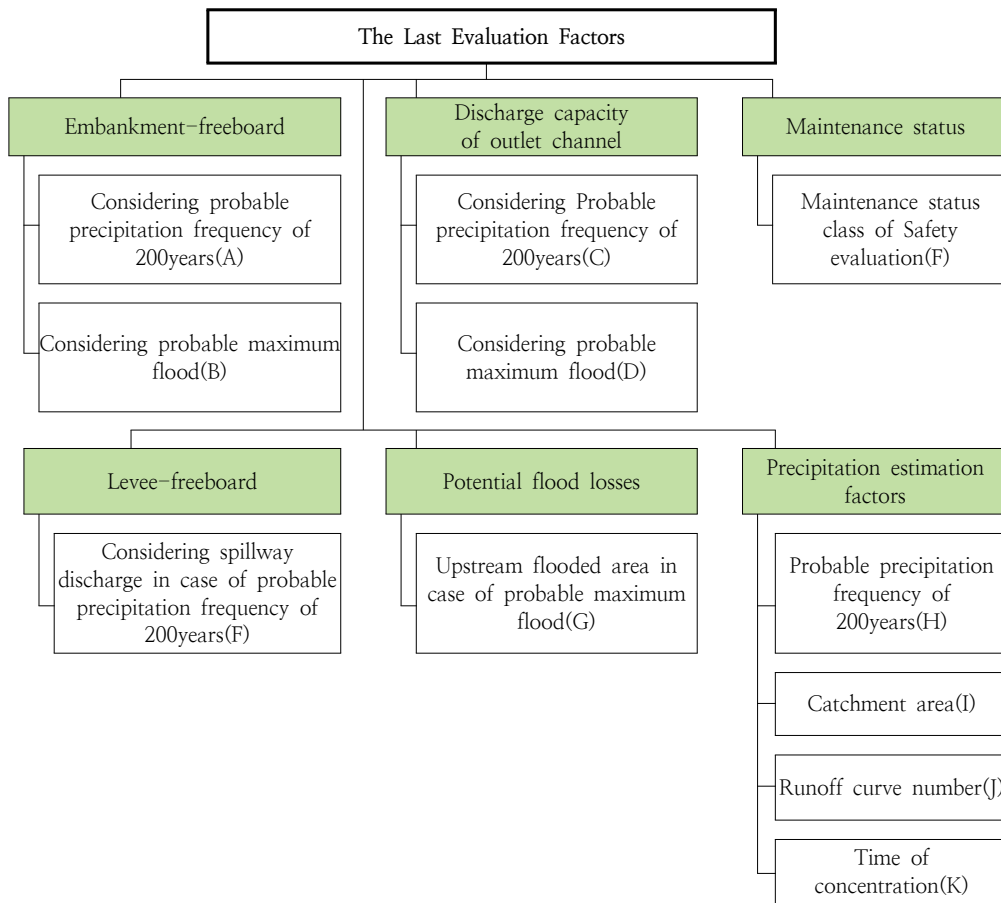


Fig. 2. The Last Evaluation Factors.

수지의 특성을 최대한 반영하고 농업용저수지 설계기준 (200년빈도 확률홍수량)과 현 수문학적 안전성 평가기준 (가능최대홍수량)의 불일치에 따른 평가의 괴리를 좁히고자 두 가지 홍수량에 의한 여유고를 평가항목에 포함시켜 평가의 현실성을 높이도록 하였다.

평가항목의 선정은 2차례의 반 폐쇄형 설문을 통해 전문가 의견을 분석하고 정제하여 선정하는 것으로 적절한 전문가의 선정이 우선되어야 한다. 연구주제와 관련된 전문가 선정에 있어서 가장 중요한 문제는 누가 전문가인지를 결정하는 것이다. 전문가 집단으로서 패널의 선정은 참여자의 대표성, 적절성, 전문적 지식, 참여의 성실성, 참가자의 수 등을 신중하게 고려해야 한다(Yoon and Lee, 2003). 또한 전문가의 선정은 연구의 성공에 매우 중요한 요소이므로 전문가로서 패널을 선정하기 위해서는 다음의 조건이 필요하다. 첫째, 연구 분야에 대한 기본적인 지식과 그 지식의 적용 능력이 있어야 하며, 둘째, 합리적이고 객관적이어야 하며, 셋째, 해당 분야의 성과나 실적이 우수해야 하며, 넷째, 연구가 진행되는 동안 참여 할 수 있는 시간을 가질 수 있는 전문가를 패널로 선정해야 한다(Farmer and Richman, 1970; Tersine and Riggs, 1976).

따라서 본 연구에서는 농업용저수지의 수문학적 안전성을 평가할 수 있는 최적의 평가항목을 선정하기 위한 전문가 선정에서 두 가지 사항을 고려하였다. 첫 번째 고려사항

은 연구목적에 맞는 전문가를 선정하여 대표성을 확보하는 것이다. 두 번째 고려사항은 전문가 패널의 수를 결정하는 것이다. 낮은 응답률은 연구수행에 있어 올바른 방향을 제시할 수 없는 상황을 초래할 수 있으며, 패널의 크기가 줄수록 신뢰도가 커진다는 사실에 비추어 볼 때 적정수의 패널을 유지하는 것이 중요하다. 전문가 패널의 수가 15명 정도이면 그룹 간의 중위수의 차이는 별로 생기지 않으며(Dalkel et al., 1970), 전문가 패널의 수는 일반적으로 20명 가량이 일반적인 것으로 평가되어진다(Ahn and Choi, 2003).

이러한 상황을 고려하여 본 연구의 표본은 농업용저수지 설계분야에서 10년 이상의 경험을 가진 업계 전문가와 농업용저수지 설계분야에 근무한 경력이 있는 박사 학위 및 기술사 자격을 소지한 연구원으로 총 23명을 선정하였으며, 앞에서 서술하였듯이 패널의 수가 23명이기에 논문 분석은 가능하다.

2.3 평가항목별 지표 구간

평가항목별 지표 구간 설정의 목적은 각 평가항목별 수치를 정량적으로 나타내기 위한 것으로, 통계분석에 근거하여 평가항목별 지표 구간을 설정한 후 이를 점수화하여 평가항목별 배점을 부여할 수 있게 된다. 지표 작성 시 '현상'의 범위설정방법, '기존자료'의 양, 어느 정도까지 '정량화'할

것이지, ‘평가주체’는 누구인지에 따라 지표의 역할이 크게 좌우된다. 하지만 복잡한 자료를 가능한 한 이해하기 쉽게 변환시키는 것이 지표의 가장 중요한 역할이라고 정의하였다(Choi, 1996).

평가대상의 속성을 명확히 분석·확인하기 위해선 각 평가 대상 속성별로 고유한 계급수를 설정함으로써, 명확한 비교 수단을 제공할 수는 있으나, 비교대상이 다수일 때는 자료량이 방대해질 뿐만 아니라 평가절차가 복잡해짐으로서 분석결과를 일목요연하게 정리하는데 어려움을 겪게 된다(Han, 1999).

지표 구간의 간격은 평가목적 및 평가자에 따라 달리 설정되기 때문에 공통적으로 인정할만한 등급간격은 아직 설정되어 있지 않다.

본 연구에서는 자료 관리의 편의성과 분석절차의 간소화를 위해 평가항목 중 유지관리 상태 즉 시설물의 상태평가 등급이 현행 지침에 의해 5구간으로 구분되어 있는 점을 고려하여 지표 구간 수를 5개로 제한하고, 확률분포를 바탕으로 평가항목별 지표 구간을 설정하기 위하여 정규성 및 적합도 검정을 통해 자료의 최적 확률분포형을 파악하였다.

지표 구간 설정 방법은 평가항목별 확률분포에서 백분위수를 사용하는 방식을 취하였으며 그 결과를 비교하여 지표 구간 설정이 수문학적 안전성 평가 결과에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 지표 구간별 배점은 5.0점을 만점으로 1.0점씩을 감하여 설정하였다. 단, 평가항목 중 유지관리 상태 즉 시설물의 안전점검 상태평가 등급은 최적 확률분포형의 검정이 곤란하므로 지표 구간 설정을 하지 않고 현행 배점의 기준을 따르기로 하였다.

2.4 평가항목별 중요도

최종 6개 상위 평가항목과 11개 하위 평가항목을 선정하였으나 추출된 항목의 동일한 배점만으로 평가 지표를 제안할 경우 수문학적 안전성에 대한 평가는 가능하겠지만 그 결과는 평가 지표의 목적과는 다르게 나타날 가능성이 크다. 이러한 문제는 평가 항목간의 수문학적 안전성에 대한 중요도, 즉 가중치를 부여하여 구체화 할 수 있다.

상·하위 평가항목은 사회적 요구, 환경적 요구 등에 따라 중요도의 위계가 구분될 수 있다. 물론 경우에 따라서는 동일한 수준이라고 판단되는 부분도 있겠으나 전체적으로 볼 때는 큰 위계속의 작은 부분으로 볼 수 있으므로 이러한 항목간의 위계가 조절되어야 농업용저수지의 수문학적 안전성에 대한 진정한 평가가 이루어질 수 있다.

중요도를 부여하는 방식으로는 일반적으로 객관화된 수치가 있을 경우 회귀분석, 요인분석, 상관관계 분석 등의 통계적 기법에 따라 가중치를 산정할 수 있으나 평가 항목간의 정량적인 분석의 기준이 없이 평가 항목간의 상대적인 비교에 따라 가중치 값을 결정해야 하므로 평가 항목별 쌍대비교를 통한 상대적인 중요도를 효과적으로 획득할 수 있는 계층적의사결정법을 활용하여 평가항목별 중요도를 산정 하였다.

조사대상은 전문한 23명의 전문가이며, 조사방법은 가능한 한 설문지를 직접 배부하여 설명한 후 설문을 진행하는 방식을 취하였으며, 일부 응답자의 경우 구체적으로 작성된 설명서를 첨부하여 전자우편으로 발송 후 회신하는 방식을 취하였다.

3. 평가 항목 분석 결과

3.1 평가 항목 지표 구간 결과

평가 항목의 지표 구간을 설정하기 위하여 평균과 표준편차를 구한 후 1점에서 5점까지 확률분포를 바탕으로 설정하였다.

평가항목별 배점은 농업용저수지의 수문학적 안전성에 작용하는 정도에 따라 1점에서 5점까지 구분하였으며, 5점은 수문학적 안전성에 긍정적으로 작용하는 정도가 가장 큰 점수이다. 평가 항목의 지표 구간은 1점(20%), 2점(20%), 3점(20%), 4점(20%), 5점(20%)으로 설정하였다.

평가 항목 중 저수지 상류부 침수면적과 홍수량을 증가시키는 인자로 작용하는 200년빈도 확률강우량, 유역면적, 유출곡선지수는 수치가 클수록 낮은 배점을 부여하였고, 나머지 평가항목은 수치가 클수록 저수지의 수문학적 안전성에 긍정적으로 작용하므로 높은 점수를 부여하였다. 평가항목 중 ‘200년빈도 확률홍수량에 대한 저수지 체재의 여유고’를 살펴보면 그 수치가 ‘0.3m’일 경우 배점은 4점이며, 점수가 클수록 수문학적 안전성에 긍정적인 영향을 미치는 평가항목이므로 긍정적인 영향을 미치고 있다고 할 수 있다. Table 5는 각 평가항목에 대한 지표구간을 나타낸 것이다.

3.2 평가항목별 중요도 결과

AHP기법에 의한 세부 항목 간 중요도는 각 항목 간 쌍대비교를 통해 산정하였으며 세부적인 분석 내용은 다음과 같다.

먼저 수집된 설문자료를 기준 항목을 중심으로 비교항목에 대한 상대적인 점수를 코딩하는데, 이때 기준 항목에 더 우세한 범위에서는 1부터 9까지의 점수가 그대로 배점되며, 반대쪽에 더 우세한 범위에서는 역수를 취한 점수를 적용한다. 단, 점수화된 코딩자료가 모두 논리적으로 일치하는 것은 아니므로 응답에서의 논리적인 일관성이 없게 되면 분석의 신뢰성에 치명적인 오류가 발생한다. 이러한 일관성이 낮은 응답은 선별하여 비논리적 부분을 재검토 후 판단을 수정·보완하는 과정을 수행하였다. 논리의 일관성은 어느 기준에 대한 비교 대상이 3개 이상일 경우 검증이 가능하므로, AHP분석에서는 계층구조의 복잡성에 따라 상이 하기는 하나, 일반적으로 일관성 비율의 값이 0.1이내이면 합리적인 일관성을 갖는 것으로 판단하고, 0.2이내일 경우는 용납할 수 있으며 0.2보다 크면 일관성이 부족한 것으로 판단한다(Park and Rhee, 2014).

농업용저수지 수문학적 안전성 상위 평가 항목의 중요도에

Table 3. The Indicators Range of Evaluation items

Subordinate factors	The range of indicators score				
	1	2	3	4	5
A	$X < -0.69$	$-0.69 \leq X < -0.34$	$-0.34 \leq X < 0.05$	$0.05 \leq X < 0.40$	$0.40 \leq X$
B	$X < -1.87$	$-1.87 \leq X < -1.47$	$-1.47 \leq X < -1.09$	$-1.09 \leq X < -0.63$	$-0.63 \leq X$
C	$X < -91.53$	$-91.53 \leq X < -17.84$	$-17.84 \leq X < 26.15$	$6.15 \leq X < 75.88$	$75.88 \leq X$
D	$X < -560.85$	$-560.85 \leq X < -384.98$	$-384.98 \leq X < -313.41$	$-313.41 \leq X < -232.74$	$-232.74 \leq X$
E	$X < -0.97$	$-0.97 \leq X < -0.23$	$-0.23 \leq X < 0.74$	$0.74 \leq X < 1.18$	$1.18 \leq X$
F	E	D	C	B	A
G	$9.87 < X$	$4.60 < X \leq 9.87$	$2.92 < X \leq 4.60$	$1.21 < X \leq 2.92$	$X \leq 1.21$
H	$398.90 < X$	$362.60 < X \leq 398.90$	$311.88 < X \leq 362.60$	$273.88 < X \leq 311.88$	$X \leq 273.88$
I	$2520.0 < X$	$1698.0 < X \leq 2520.0$	$1320.0 < X \leq 1698.0$	$1086.0 < X \leq 1320.0$	$X \leq 1086.0$
J	$89 < X$	$85 < X \leq 89$	$82 < X \leq 85$	$79 < X \leq 82$	$X \leq 79$
K	$X < 0.63$	$0.63 \leq X < 0.84$	$0.84 \leq X < 1.02$	$1.02 \leq X < 1.44$	$1.44 \leq X$

Table 4. The Last Priority of Each Evaluation Factors

Superordinate factors	Priority (Local)	Subordinate factors	Priority	
			Local	Global
Embankment-freeboard	26.8%	Embankment-freeboard considering probable precipitation(frequency of 200years)	78.7%	21.10%
		Embankment-freeboard considering probable maximum flood	21.3%	5.70%
Discharge capacity of outlet channel	18.8%	Discharge capacity of outlet channel considering Probable precipitation(frequency of 200years)	64.2%	12.08%
		Discharge capacity of outlet channel considering probable maximum flood	35.8%	6.72%
Maintenance status	27.0%	-	100.0%	27.00%
Levee-freeboard	5.5%	-	100.0%	5.50%
Potential flood losses	11.6%	-	100.0%	11.60%
Precipitation estimation factors	10.3%	Probable precipitation (frequency of 200years)	40.4%	4.16%
		Catchment area	36.7%	3.78%
		Runoff curve number	13.1%	1.35%
		Time of concentration	9.8%	1.01%

서 유지관리 상태 27.0%, 제체(비월류부)의 여유고 26.8%, 여수로의 방류능력 18.8%, 잠재 홍수피해 11.6%, 홍수량 산정인자 10.3%, 하류하천 제방의 여유고 5.5% 순으로 나타났다.

연구 결과로 나타난 상위 평가 항목의 중요도를 살펴보면 농업용저수지 유지관리를 위하여 ‘유지관리 상태’가 가장 중요하게 판단되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 설문에 참여한 전문가가 대부분 농업용저수지 유지관리와 직접적 연관이 있는 그룹인 것으로 판단된다. 하위 평가 항목의 상대적 중요도는 200년빈도 확률홍수량에 대한 저수지 제체의 여유고 78.7%, 200년빈도 확률홍수량에 대비 여수로의 방류능력 64.2%, 200년빈도 40.4%, 가능최대홍수량에 대비 여수로의 방류능력 35.8% 순으로 나타났다. 그러나 유출곡선지수와 도달시간은 상대적으로 중요도가 낮은 것으로 나타났다.

3.3 수문학적 안전성 평가 적용

계수화 모델에 의해 계산된 농업용저수지의 수문학적 안전성 평가 점수와 현행 지침의 등급 구분 기준에 대입하여 부여한 수문학적 안전성 평가 등급을 산정하였다.

기존 평가기준(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침)에 의해 부여된 농업용 저수지의 수문학적 안전성 평가 등급을 살펴보면, 전체 129개 저수지 중 수문학적 안전성이 가장 양호하며 문제점이 없는 최상의 상태인 A등급은 대룡b 저수지를 포함하여 7개 저수지, 가장 취약한 곳인 E등급은 감동저수지를 포함하여 11개 저수지였고 대부분의 저수지(99개)가 기능 발휘에는 지장이 없는 상태인 B등급에 속하는 것으로 나타났다.

계수화 모델에 의해 계산된 농업용저수지의 수문학적 안전성 평가 점수를 통해 부여된 수문학적 안전성 평가 등급을 살펴보면, A등급 및 E등급 두 가지 등급에 속하는 저수지가 단 한 곳도 없는 것으로 나타났으며 C등급을 중심으로 B-D등급에 일정 개소씩 고르게 분포하는 것으로 나타났다.

산정된 결과에서 대표적인 특징을 살펴보면 첫째, 기존 평가기준에 의해 부여된 수문학적 안전성 평가 등급이 A등급이었던 대룡b 저수지를 포함한 7개 저수지가 계수화 모델의 적용 결과 모두 B등급으로 하향 조정되었고 나머지 대부분의 저수지 또한 B 등급에서 C등급 혹은 D등급으로 하향 조정되었다. 둘째, E등급이었던 감동저수지를 포함한

11개 저수지가 계수화 모델의 적용 결과 모두 B등급 혹은 C등급으로 상향 조정되었다. 셋째, 지표 구간 설정 안에 의해서 전체 저수지의 등급별 해당 저수지의 숫자가 고르게 분포되는 변동이 발생하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 댐의 형식, 물리적 상태 및 지리적 위치 등을 모두 고려하여 농업용저수지의 수문학적 안전성을 평가하기 위한 합리적이고 현실적인 방안을 마련하고자 안전성 평가 항목 및 지표를 개발하였다. 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 평가항목의 계층구조는 2계층(상위, 하위)으로 구분하여 상위 평가항목은 6개(제체의 여유고, 여수로의 방류능력, 유지관리 상태, 하류하천 제방의 여유고, 잠재 홍수피해, 홍수량 산정 인자)를 선정하였고, 하위 평가항목 11개를 선정하였다

2) 계층적의사결정법에 의하여 각 항목간 쌍대비교 설문과 일관성 검증을 통해 도출된 6개 상위 평가항목의 중요도는 ①유지관리 상태(상태평가 등급) 27.0%, ②제체(비월류부)의 여유고 26.8%, ③여수로의 방류능력 18.8%, ④잠재 홍수피해 11.6%, ⑤홍수량 산정 인자 10.3%, ⑥하류하천 제방의 여유고 5.5% 순으로 나타났다. 유지관리 상태(안전점검 상태평가 등급)가 농업용저수지 수문학적 안전성에 지배적인 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.

3) 하위 평가 항목의 상대적 중요도는 200년빈도 확률홍수강우량에 대한 저수지 제체의 여유고 78.7%, 200년빈도 확률홍수량에 대비 여수로의 방류능력 64.2%, 200년빈도 40.4%, 가능최대홍수량에 대비 여수로의 방류능력 35.8% 순으로 나타났다. 그러나 유출곡선지수와 도달시간은 상대적으로 중요도가 낮은 것으로 나타났다.

4) 현재 사용 중인 농업용저수지에 대한 수문학적 안전성 평가기준을 보다 합리적으로 개선시키기 위하여 궁극적으로 가능최대홍수량에 대한 댐 자체가 지니고 있는 현실적인 안전성 확보능력을 평가하는데 가장 효율적인 수단으로 보완되어야 할 것이다. 더불어 농업용저수지의 수문학적 안전성 확보를 위해서는 단기적 방안으로 신속한 개선이 가능한 안전점검 상태평가 등급의 개선이 유용하며, 장기적으로 여수로 방류능력과 제체의 여유고를 확보하는 방안이 필요할 것으로 판단된다. 특히 다양한 간격의 지표 구간 설정과 평가 결과의 분석을 통해 평가 모델의 현장 적용성을 높여가는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

References

Ahn, HJ and Choi, ES (2003). Overview of the concepts and the approach of competency modeling, *The Research Social and Science*, 42, pp. 43-59. [Korean literature]
 Bang, DS (2009). *A study on evaluation guideline of*

hydrological safety for dam considering potential hazard of downstream, Master's Thesis, University of Seoul, Seoul, Korea. [Korean literature]
 Choi, JY (1996). *The development of a comprehensive water quality indicators*, 1996-RE-10, KETRI. [Korean literature]
 Choo, TH, Maeng, SJ, Kim, SW, Kim, HS and Jeong, JH (2013). Analysis on hydrologic stability MIHO reservoir according to estimation and application of probable maximum flood, *Korean Review of Crisis & Emergency Management*, 9(2), pp. 23-32. [Korean literature]
 Dalkey, NC, Brown, B and Cochran, SW (1970). *The Delphi Method III: Use of Self-ratings to Improve Group Estimates*. The RAND Corporation. Santa Monica, CA.
 Farmer, RN and Richman, BM (1970). *Comparative Management and Economic Progress*. Cedarwood Publishing Company, Nashville, TN.
 Han, KS (1999). *Development of rural resources evaluation system on the village level*, Ph.D Dissertation, Chonnam National University, Gwangju, Korea. [Korean literature]
 Kim, HD (2009). *Study on the priority decision for the redevelopment of agricultural reservoirs*, Ph.D Dissertation, Konkuk University, Seoul, Korea. [Korean literature]
 Kim, SW (2010). *Analysis on hydrologic stability of agricultural reservoir using probable maximum flood*, Master's Thesis, Chungbuk National University, Cheongju, Korea. [Korean literature]
 Lee, JJ (2014). *A Study in development of hydrological safety evaluation model for agricultural reservoir*, Ph.D Dissertation, Chonnam National University, Gwangju, Korea. [Korean literature]
 Lee, JJ Park, JS and Rhee, KH (2014). Development and application of hydrological safety evaluation guidelines for agricultural reservoir with AHP, *J. of Wetlands Research*, 16(2), pp. 235-243. [Korean literature]
 Maeng, SJ, Kim, HS, Jeong, JH and Kim, SW (2014). Analysis on hydrologic stability agricultural reservoir according to estimation and application of probable maximum flood, *Korean Review of Crisis & Emergency Management*, 10(2), pp. 105-115. [Korean literature]
 Ministry of Environment (ME). (2008). *Study on Flood Control Capability Increase and Stability Review of Only Service Water Dam*. GOVP1200654330, ME. [Korean literature]
 Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA). (2010). *Safety Checks and Precise Safety Diagnostics Detailed Instruction*, MLTMA. [Korean literature]
 Moon, YI and Kwon, HH (2004). Hydraulic and hydrologic dam risk analysis (I); Development of dam risk analysis methodology using non-parametric LHS-Monte Carlo Simulation, *Korean Society of Civil Engineers*, 24(5B), pp. 477-487. [Korean literature]
 Park, JS and Rhee, KH (2014). Items and indicators of

- evaluation for decision of priority in improving river water quality, *The Korea Spatial Planning Review*, 80, pp. 83-100. [Korean literature]
- Shin, CS, Cho, KS, Bae, BW, Kwon, JH and Sung, JY (2007). A Study for establishing hydrological safety evaluation standard for existing dams, *Proceeding of the 2007 Civil EXPO*, Korean Society of Civil Engineers, Ilsan, Korea. pp. 1357-1360. [Korean literature]
- Tersine, R and Riggs, W (1976). The Delphi technique: A long-range planning tool. *Business Horizon*, 19(2), pp 51-56.
- Yang, SM (2010). *Development of simplified assesment method for hydrologic safety evaluation of small scale reservoir*, *Master's Thesis*, Joongbu University, Geumsan-Gun, Korea. [Korean literature]
- Yi, JE and Nam, DS(2007). Determination of hydrologic stability increase alternative for Andong multi-purpose reservoir using multi-criteria decision analysis, *The Korea Spatial Planning Review*, 53, pp. 93-110. [Korean literature]
- Yoon, MS and Lee, KH (2003). A Study on the awareness of the yearly income system among dental personnels, *J. of Dental Hygiene Science*, 5(3), pp. 5-10. [Korean literature]