

수리시설개보수사업 선정을 위한 의사결정지원모델

남송현* · 박형근**

Nam, Song Hyun*, Park, Hyung Keun**

Decision Support Model for Selection Water Resources Facility Improvement Projects

ABSTRACT

More than 80 % of agricultural reservoirs are old facilities over 50 years old, and safety and function declines occur. As a result, safety accidents such as the collapse of the reservoir have occurred. Precise safety diagnosis is conducted in advance to prevent accidents such as reservoir collapse, and Water resources facility improvement project are implemented based on priority. However, the priority of the business is selected based on the subjective judgment of the facility manager. In this study, we set 80 hypotheses based on the results of precision safety diagnosis and decision-making examples of existing Water resources facility improvement project and selected 45 variables using correlation analysis and significance test. Using logistic regression analysis, the final 21 variables were selected and a decision support model was presented, and the classification accuracy of the model was 86.8 %. In this research, the part that presented the quantitative index for decision support when selecting the Water resources facility improvement project has important significance.

Key words : Reservoir, Water resources facility improvement project, Decision support, Logistic regression analysis

초 록

농업용 저수지의 80 % 이상이 50년 이상 된 노후 시설물로 안전성 및 기능 저하가 발생하고 있다. 이로 인해 저수지의 붕괴 등 안전사고가 발생하고 있는 실정이다. 이에 따라서 저수지의 붕괴 등의 안전사고를 미연에 방지하고자 정밀안전진단을 실시하고 우선순위에 따라 수리시설개보수사업을 시행하고 있다. 하지만 사업 우선순위 선정의 대부분은 시설물 관리자의 주관적인 판단을 통해 이루어지고 있다. 이에 본 연구에서는 정밀안전진단 결과 및 기존의 수리시설 개보수사업의 의사결정 사례를 D/B화하여 80개의 가설을 설정하고 상관분석 및 유의성검정을 통해 45개의 변수를 선정하였다. 선정된 변수들을 로지스틱회귀분석을 이용하여 의사결정지원모델을 제시하였다. 의사결정지원모델의 변수는 총 21개가 채택되었으며 모델의 분류 정확도는 86.8 %로 나타났다. 본 연구는 수리시설개보수사업 선정을 위한 의사결정의 정량적인 지표를 제시 한 부분에 중요한 의의를 가진다.

검색어 : 저수지, 수리시설개보수사업, 의사결정지원, 로지스틱회귀분석

* 한국농어촌공사 과장, 박사과정 (Korea Rural Community Corporation · shnam@ekr.or.kr)

** 종신회원 · 교신저자 · 충북대학교 토목공학과 교수, 공학박사

(Corresponding Author · Chungbuk National University · parkhk@chungbuk.ac.kr)

Received September 22, 2020/ revised October 18, 2020/ accepted January 14, 2021

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

농업용저수지의 80 % 이상이 50년 이상 경과한 저수지로 공용연수가 증가함에 따라 노후화 및 기능저하가 진행되고 있다. 노후화된 저수지의 안전성을 개선하기 위해 수리시설개보수사업을 시행하여 보수보강하고 있다. 객관적인 수리시설개보수사업의 시행을 위해 저수지의 안전성을 평가하는 정밀안전진단을 실시하고 있으며 결과는 5단계의 평가등급으로 구분된다. 5단계의 평가결과 중 하위3단계(C, D, E)등급이 수리시설개보수사업의 대상지구가 되며 등급별 조치사항은 다음과 같다. 결함이 가장 심각한 결과인 E등급은 별도의 절차 없이 즉시 개보수사업을 시행하고 C, D등급의 경우 시설물관리자의 판단 하에 시급순위를 선정하고 사업계획을 수립하여 내부 전문가들의 회의를 통해 우선순위 결정 결과에 따라 사업을 시행하는 체계이다(Son et al., 2016).

현재의 수리시설개보수사업의 선정이 정밀안전진단 평가등급을 활용하여 용이하게 선정할 수 있을 것으로 판단할 수 있으나, 정밀안전진단의 평가등급의 80 % 이상이 C, D등급으로 평가되어 정밀안전등급결과 활용을 통한 수리시설개보수사업 선정이 어려운 실정이다. 이에 따라서 시설물 관리자는 주관적인 판단을 통해 사업을 선정하게 되는 문제점을 가지고 있다. 또한 현재의 정밀안전진단은 블록단위를 조합하는 형태의 평가방식으로 문제가 많은 한 블록이 상태가 좋은 다른 블록들에 의해 가려져 손상 및 결함이 지속되어 저수지의 붕괴를 초래 하는 경우가 발생할 수 있어 세부적인 결함요소에 대한 고려가 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 저수지 수리시설개보수사업의 효율적인 의사결정을 위해 과거 수리시설개보수사업의 의사결정사례 및 정밀안전진단 평가등급 및 세부 결함

요소 등을 활용하여 수리시설개보수사업 선정을 위한 의사결정지원모델을 구축하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구의 방법은 저수지, 정밀안전진단, 수리시설개보수사업의 선행연구 및 이론적 배경을 분석하고 의사결정모델의 기초자료인 정밀안전진단 자료, 수리시설개보수사업 선정 자료, 저수지의 규격 자료를 수집하여 D/B (DATA BASE)하였다. D/B화된 자료를 특성에 맞게 변환 후 영향을 미치는 요인을 분석하고 로지스틱회귀 분석을 통해 수리시설개보수사업선정을 위한 의사결정지원모델을 개발하였다. 마지막으로 의사결정지원모델 및 활용방안을 제시하여 의사결정모델이 실무에 활용 될 수 있도록 하였으며 연구의 순서는 Fig. 1과 같다.

연구의 공간적 범위는 정밀안전진단을 정기적으로 실시하는 30만³이상 저수지의 95 %를 한국농어촌공사에서 관리하고 있으며 정밀안전진단결과를 체계적으로 관리하여 자료의 수집 및 취득이 용이한 한국농어촌공사에서 관리하는 3,411개의 저수지로 한정하였다. 시간적 범위는 정밀안전진단이 최초로 시행된 1995년부터 2019년으로 설정하였다(MAFRA, 2018b).

2. 선행연구 및 이론적 배경 고찰

2.1 선행연구고찰

수리시설개보수사업에 대한 선행연구의 목적을 구분해 보면 사업 필요성 대한 연구와 저수지에 대한 평가 방법 및 우선순위에 관한 연구로 구분할 수 있으며 요약하면 Table 1과 같다. 선행연구의 경우 수리시설개보수사업 선정을 위한 정밀안전진단체계의 활

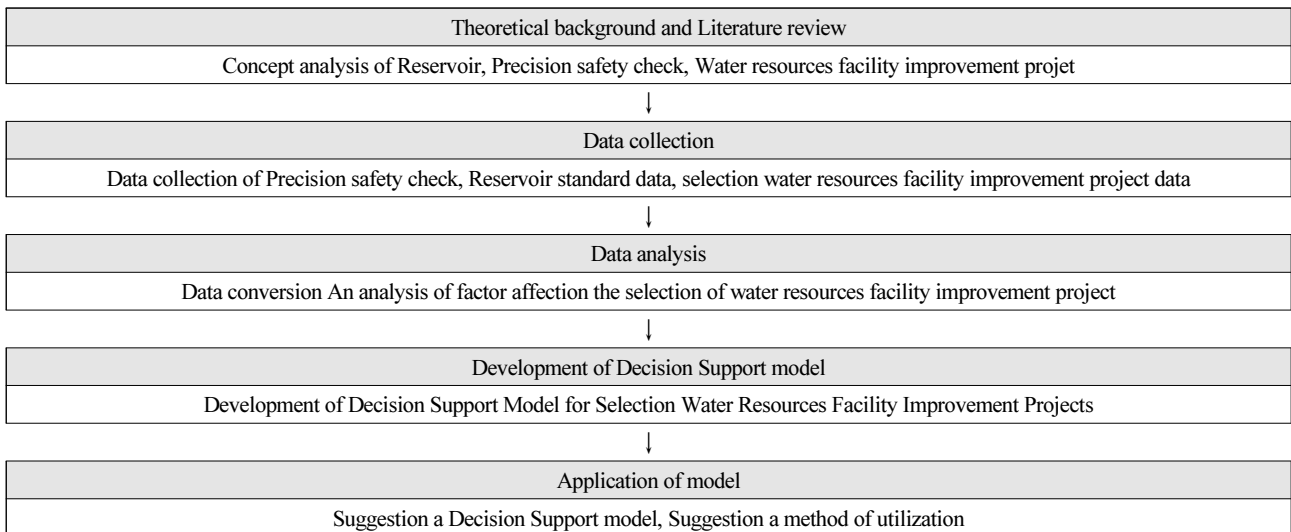


Fig. 1. Research Procedures

Table 1. Summary of Literature Review

Purpose of study	Author	Main research contents
Necessity and Promotion Plan of Water resources facility improvement project	Lee(2003)	Proposal for Management of Repair Facilities for Agriculture through Precision Safety Diagnosis of Water resources facility
	Park(2010)	Necessity of Water resources facility improvement project
	Lee(2013)	Proposal for Maintenance of Small-scale Agricultural Reservoir
Methods for evaluating precision safety diagnosis and prioritization of reservoir repair and reinforcement	Kim et al.(2009)	Research on the priority of redevelopment of agricultural reservoirs based on the potential of the development environment and the constraints of regional conditions
	Song and Park (2008)	Evaluation of aging degree considering the importance and weight of each detailed item of agricultural reservoir
	Lee(2016)	Presenting the problems of the precision safety diagnosis system for block-based evaluation and presenting the evaluation method through the defect phenomenon of individual members
	KISTEC(2013)	Developed an evaluation model for safety evaluation of small-scale reservoirs and presented a draft decision on the priority of maintenance and reinforcement

Table 2. Facility Condition according to Precision Safety Check Grade

Safety grade	Facility Condition
A (excellent)	Best condition without problems
B (good)	A minor defect has occurred in the auxiliary components, but it does not interfere with their function and requires some repair to improve durability.
C (nomal)	A condition in which minor defects or minor defects have occurred in the main components, but the overall safety of the facility does not interfere with the safety, major components require repair to prevent durability, deterioration of functionality, or simple reinforcement of the auxiliary components.
D (bad)	A condition in which urgent repair and reinforcement are required due to defects in major components, and restrictions on use shall be determined.
E (poor)	A condition in which the use of a facility is prohibited immediately and reinforced or refurbished due to serious defects in the main components, which are at risk for the safety of the facility.

Source : Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(2020), “Farming and fishing villages a set (a thing) in good condition law”

용성을 확장하기 보다는 새로운 평가방식에 대한 연구나 기존 정밀안전진단체계를 개선하는 연구가 주를 이룬다. 현재의 정밀안전진단체계를 활용하여 수리시설개보수사업의 대상지를 선정방법에 대한 연구는 전무한 실정으로 수리시설개보수사업 대상지 선정을 위한 의사결정지원모델의 연구가 필요한 실정이다.

2.2 정밀안전진단

정밀안전진단은 농업기반시설물의 안전관리방법 중 가장 정밀하고 정확한 판단방법으로 재원 및 기초자료를 수집하는 사전조사를 시작으로 외관조사 및 재료 등을 시험하는 현장조사, 구조적인 안전성 및 사용성을 평가하는 안전성 평가 단계로 이루어지며 결과를 종합하여 저수지를 진단하고 평가하게 된다. 정밀안전진단 결과는 종합 및 4개의 대 부재(제방, 물넘이, 방수로, 취수시설)의 등급으로 나타나며 등급에 따른 상태는 Table 2와 같다(KRC, 2011).

2.3 수리시설개보수사업

수리시설개보수사업은 노후 및 파손 등으로 기능이 저하되거나 이상기후의 발생 등에 따라 재해에 취약한 수리시설물을 보수보강하여 재해위험과 영농불편을 해소하는데 그 목적이 있다. 농어촌정비법에 따라 매년마다 기본계획을 수립하여 대상 지구를 선정하고 있으며 우선순위의 선정기준 다음과 같다(MAFRA, 2018a).

- 1) 정밀안전진단 결과 D등급으로 판정된 시설, 설계기준 미달로 기능발화가 어려운 시설, 집중호우 시 홍수배제능력이 부족한 시설
- 2) 둘째 내진성능평가 결과 내진성능 미확보 시설 중 저수지 붕괴 등 위급상황 발생 시 하류지역 인명 및 재산피해가 많은 시설 우선
- 3) 국가안전대진단결과 보수보강이 시급한 시설
- 4) 넷째 자연재해대책법에 의거 재해위험지구로 개보수가 시급

한 시설은 관련법에 따른 지원 대책을 우선 검토하고 필요시 반영

- 5) 정밀안전진단결과 C등급 이내인 시설물 중 부분 D등급인 시설
- 6) 재해위험 또는 시설노후 등 기능저하로 개보수가 시급한 시설물을 기준

우선순위 선정기준에 따라 시설물관리자는 개보수 대상 지구를 선정하여 예정지를 신청하게 되며 우선순위 1) 조건인 D등급 저수지의 예정지 신청은 개보수가 적어 선정이 어렵지 않으나 이 외의 조건은 시설물 관리자의 주관적인 판단을 통한 우선순위 결정으로 예정지선정이 어려운 실정이다.

2.4 수리시설개보수사업 선정에 관한 고찰

수리시설개보수사업 선정은 정밀안전진단결과를 토대로 선정하고 있다. 저수지의 정밀안전진단은 콘크리트 댐 시공방식에 맞춰진 진단체계로 1단계에서 결정된 개별부재의 등급이 2단계인 복합부재를 평가하고 있으며 복합부재는 블록1,블록2,블록3,...,블록n으로 있어 각 블록이 합산되어 개별시설의 평가등급을 결정되고 있는 형태의 진단방식이다. 이러한 평가방식은 대 부재별로 등급 및 평가결과가 제시되어 진단결과를 사용하는 편리성은 있지만 개별의 결함요소들이 감춰지는 문제점을 가지고 있다. 평가등급에는 들어가지 않지만 감춰진 항목의 결함이 지속적으로 누적되어

심각한 상태로 발전하게 되고 이로 인해 붕괴사고를 초래하는 형태의 문제점이 생길 수 있어 수리시설개보수사업 선정 시 세부결함에 대한 고려가 필요하다(Lee, 2016). 또한 최근 10개년 간의 저수지 정밀안전진단 등급분포 결과를 분석해 보면 상태가 양호한 A등급은 1.4 %이며, B등급은 16.1 %, 개보수가 필요한 등급인 C등급은 74.4 %, 개보수가 시급한 D등급이 8.1 %로 나타났으며 분류표는 Table 3과 같다. 정밀안전진단등급 중 개보수 필요여부를 시설물 관리자가 판단하여 계획해야하는 C등급이 전체 등급의 74.4 %를 차지하여 정밀안전진단 평가등급을 통한 판단의 실효성을 거두기 어려운 실정으로 등급 이외의 정량적 지표로 지구 선정의 문제점을 연구할 필요성이 있다.

3. 의사결정지원모델 구축을 위한 변수선정

3.1 자료수집

수리시설개보수사업 선정을 위해 한국농어촌공사에서 내부적으로 운영하는 농업생산기반시설관리시스템(RIMS)에 분산되어 있는 자료들을 수집하여 추출 및 정렬하였다. 수리시설개보수사업 대상지 선정을 위한 의사결정지원모델 D/B를 구축하였으며 데이터 처리 과정은 Fig. 2와 같다.

수리시설개보수사업의 선정에 관한 자료 수집을 위해 사업지구 현황 2,834개의 자료와 2019년도까지 한국농어촌공사에서 시행한 저수지 안전진단 결과 자료 6,071개를 수집하여 안전진단 시행시

Table 3. Precision Safety Check Grade Classification for Last Ten year

Grade	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total	Ratio (%)
A	0	0	0	0	1	0	1	36	0	13	51	1.4
B	5	8	11	4	119	64	130	84	98	70	593	16.1
C	240	276	232	170	251	345	338	319	282	280	2,733	74.4
D	62	58	34	40	36	17	18	10	11	11	297	8.1
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	307	342	277	214	407	426	487	449	391	374	3,674	100

Source : Korea rural community corporation(2020) RIMS

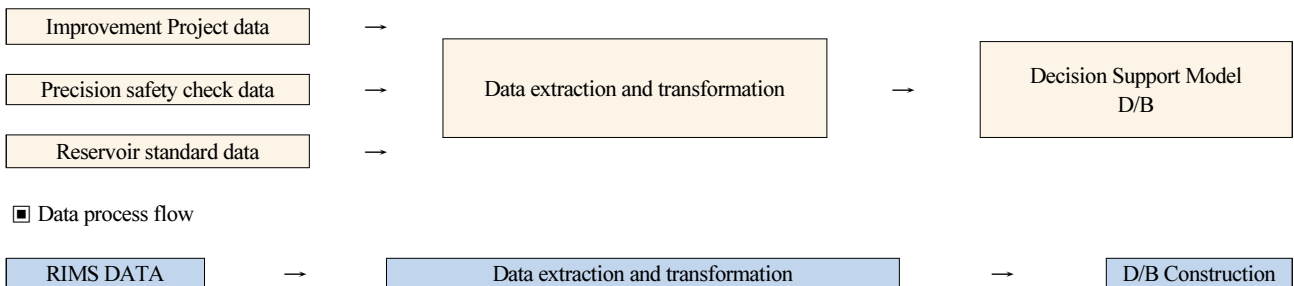


Fig. 2. D/B Construction of Decision Support Model

기, 결합요인, 보수보강(안)을 지구별로 D/B화 하였다. 마지막으로 한국농어촌공사에서 관리중인 3,411개의 저수지의 관련규격을 D/B화 하였다(KRC, 2020).

3.2 데이터 전처리

결측값이 있는 상태로 모델을 구축할 경우 변수간의 관계가 왜곡되어 반영될 수 있기 때문에 모델의 정확도가 저하 될 수 있다. 따라서 모델을 구성하기 전에 결측값에 대한 처리는 필수적이다. 본 연구에서는 수집한 6,071개의 자료 중 결측치가 존재하는 834개의 자료를 단순 삭제 처리하였다. 결측치를 대체하기에 자료가 정밀안전진단을 통해 산정된 자료로 임의로 추정하거나 다른 값으로 대체하기 어렵기 때문이다. 관측치에 대한 결측치 삭제율은 13.7 %이다.

수집한 자료 중 유역면적과 총저수량자료는 다른 변수에 비해 단위가 큰 편이다. 이에 본 연구에서는 수집한 자료에 평균치에 근접하며 자료의 해석이 용이하도록 1/1,000로 수집된 자료의 스케일을 조정하여 자료의 단위를 변환하여 적용하였다. 정밀안전진단 평가등급은 시설물의 상태에 따라 A~E까지 5단계로 구분된 다항변수 형태의 서열척도이다. 서열척도의 경우 수학적 연산이 불가능하고 각 범주들 사이의 크기 또는 순위의 개념이 없기 때문에 평가등급을 서열척도로 사용할 경우 등급이 가진 영향력을 반영하기 어렵다. 본 연구는 개보수사업시행에 관한 연구로 등급과 과거 개보수 시행 여부와의 교차분석을 시행하여 개보수사업을 시행한 빈도의 누적 퍼센트를 가중치로 변환하여 비율변수 형태의 연속변수 형태로 변환하였다.

연구에 적용하려는 회귀분석의 특성상 상관관계가 높은 변수가 포함 될 경우 다중공선성의 문제가 발생할 수 있어 회귀분석 이전에 종속변수와 독립변수들 간의 다중회귀분석을 통해 다중공선성을 검증하였으며 검증결과 모든 변수들의 VIF값이 10미만으로 변수들간의 높은 상관성을 가져 회귀분석에 문제가 발생하는 다중공선성에는 문제는 없는 것으로 검증되었다.

3.3 독립변수 선정을 위한 가설검증

종속변수(수리시설개보수사업시행여부)와 독립변수(등급 및 결합요인 등 80개 변수)에 대해 가설을 설정하고 검증하였다. 가설검증은 독립변수의 형식에 따라 연속형 변수는 피어슨 상관관계분석을 실시하였으며 해당 여부로 구분된 명목형 변수의 경우 카이제곱검정 및 피어 상관관계분석을 시행하였다(Chatterjee et al., 2012).

본 연구에서 설정한 귀무가설과 대립가설은 다음과 같다.

- H_0 : 수리시설개보수사업시행여부와 독립변수와는 관계는 유의미하지 않다.
- H_1 : 수리시설개보수사업시행여부와 독립변수와는 관계는 유의미 하다.

본 연구에서는 유의도를 95 % 신뢰수준으로 설정하고 유의성 검증을 위해 검증결과 유의확률이 $P < 0.05$ 인 경우에는 영가설을 모두 기각하고 대립가설을 채택하였다. 또한 상관계수가 0.1이하로 무의미한 변수의 경우 가설을 기각하였다.

연속형 독립 변수에 대한 가설검증 결과 종합등급, 제방등급,

Table 4. Result of Pearson's Correlation Analysis (1/2)

District	Project execution status	Total grade	Dam grade	Spillway grade	Canal grade	Intake facilities grade
Project execution status	1					
Total grade	.433**	1				
Dam grade	.367**	.796**	1			
Spillway grade	.420**	.602**	.463**	1		
Canal grade	.407**	.585**	.445**	.871**	1	
Intake facilities grade	.263**	.480**	.374**	.357**	.350**	1

* $p < .05$, ** $p < .01$

Table 5. Result of Pearson's Correlation Analysis (2/2)

District	Project execution status	Drainage area	Total storage	Safety check progress year
Project execution status	1			
Drainage area	-.116**	1		
Total storage	-.088**	.665**	1	
Safety check progress year	.282**	-.063**	-.104**	1

* $p < .05$, ** $p < .01$

여수로등급, 방수로등급, 취수시설등급, 유역면적, 안전점검 소요
 년수 총 7개의 변수가 유의한 것으로 분석되었으며 결과는 Tables
 4 and 5와 같다. 명목형 독립변수인 정밀안전진단의 세부 결함요
 인 36개와 보수보강(안) 36개의 가설검증 결과 결함요인 19개

변수와 보수보강(안) 19개 변수가 채택되어 총 38개의 명목형
 변수를 채택하였으며 결과는 Tables 6 and 7과 같다. 수집한
 자료 80개 항목에 대한 유의성 및 상관관계 검증결과 45개의
 독립변수가 모델의 변수로 채택되었으며 채택률은 56.25 %이다.

Table 6. Result of Pearson's Chi-Square Test and Phi Correlation Analysis (1/2)

District		Pearson chi-square	Phi Correlation analysis	Adoption	Dismissal	
Dependent variable : Project execution status				19		
Defect Factor	DAM	lack of freeboard	257.685**	.222**	◎	
		Infiltration water runoff (piping)	0.982	0.014		◎
		Infiltration water runoff (slope)	1196.543**	.478**	◎	
		lack of safety rate	22.474**	0.066**		◎
		Material defect	3.358	0.025		◎
		Subsidence crack	100.173**	-0.138**	◎	
		Riprap relaxation	76.319**	-0.121**	◎	
		Deformation of slope	0.612	0.011		◎
		Scouring and Erosion	231.212**	-0.210**	◎	
	SPILLWAY	Structure instability	59.367**	.106**	◎	
		Lack of spillway length	328.753**	.251**	◎	
		Lack of Retaining wall height	47.647**	.095**		◎
		Crack and Efflorescence	223.263**	-0.206**	◎	
		Scouring, Scaling and Spalling	12.505**	0.049**		◎
		Steel exposure and corrosion	5.709*	-0.033*		◎
		Water leak	80.394**	-.124**	◎	
		Segregation	64.714**	-.111**	◎	
		Hoist and gate aging	3.087	-0.24		◎
	CANAL	Structure instability	61.108**	.106**	◎	
		Lack of Retaining wall height	123.524**	.204**	◎	
		Crack and Efflorescence	145.378**	-0.167**	◎	
		Scouring, Scaling and Spalling	21.160**	.064**		◎
		Steel exposure and corrosion	1.097	-0.014		◎
		Water leak	50.135**	-.098**		◎
		Overturning and Offset	30.050**	.076**		◎
		Segregation	92.908**	-.133**	◎	
		Foundation Unoccupied	102.336**	.140**	◎	
	INTAKE FACILITIES	Structure instability	5.97*	0.034*		◎
		Crack and Efflorescence and Spalling	372.654**	-.267**	◎	
		Hoist aging and faulty	2.487	0.022		◎
		Spindle Corrosion and Transform	57.259**	.105**	◎	
		Steel exposure and corrosion	94.530**	-.134**	◎	
		Water leak of intake facilities	5.545*	.033*		◎
		Water and soil runoff off channel under dam	4.292*	-.029*		◎
		Scouring, Scaling and Spalling of channel under dam	0.676	-0.11		◎
		Crack and Efflorescence of channel under dam	107.571**	-.143**	◎	

Table 7. Result of Pearson's Chi-Square Test and Phi Correlation Analysis (2/2)

District		Pearson chi-square	Phi Correlation analysis	Adoption	Dismissal
Dependent variable : Project execution status				19	
Repaired and Reinforced (Proposal)	DAM	Extra banking	331.235**	.251**	◎
		Sealing	3.388	0.025	◎
		Grouting	660.669**	.355**	◎
		Drain Install	8.205**	0.040**	◎
		Counterweight fill	0.633	0.011	◎
		Displaced	0.001	0	◎
		Banking and tamping	65.346**	-.112**	◎
		Riprap repair and reinstall	634.203**	-.348**	◎
		Section reinforcement	28.803**	.074**	◎
	SPILLWAY	Spillway extension	414.240**	.285**	◎
		Emergency spillway install	2.888	-0.023	◎
		Emergency gate install	1.739	-0.018	◎
		Foundation Grouting	9.425**	-0.042**	◎
		Section repair	568.733**	-.330**	◎
		Crack repair	718.028**	-.370**	◎
		Rust preventative and Filling	7.127**	-0.037**	◎
		Gate repair and reinstall	2.846	-0.023	◎
		Reinstall	184.795**	.168**	◎
	CANAL	Section extension	455.495**	.295**	◎
		Retaining wall repairing	61.680**	.109**	◎
		Crack repair	667.201**	-.357**	◎
		Section repair	618.865**	-.344**	◎
		Rust preventative and Filling	45.968**	.094**	◎
		Overtuming prevent	0.53	-0.010	◎
		Water stop method	12.484**	-0.049**	◎
		Surface preparation	204.637**	-0.198**	◎
		Reinstall	149.847	.169**	◎
	INTAKE FACILITIES	Crack repair	372.722**	-.267**	◎
		Hoist repair and reinstall	2.971	-0.024	◎
		Spindle repair and reinstall	11.115**	-.046**	◎
		Intake facilities repair and reinstall	12.900**	-0.50**	◎
		Water stop method	0.065	-.110	◎
		Rust preventative and Filling	9.452**	.042**	◎
		Section repair	380.996**	-.270**	◎
		Surface preparation	201.591**	-.196**	◎
		Reinstall	69.971**	.116**	◎

채택된 변수의 형태는 연속형 변수 7개, 명목형 변수 38개로 구성되었다.

4. 의사결정지원모델 구축 및 제시

4.1 의사결정지원모델 구축

가설이 검증된 45개의 독립변수와 종속변수를 이용하여 로지스

틱회귀분석을 시행하였다. 로지스틱회귀분석은 종속변수가 2개의 값을 가진 경우, 즉 현상이 발생하였을 경우와 그렇지 않을 경우를 예측하는데 사용하는 통계기법이다. IBM SPSS Statistics V.25.0 을 사용하여 분석하였으며 로지스틱회귀분석에 입력된 종속변수는 5,237개이며 종속변수 자료 중 중 개보수사업이 선정된 자료는 1,247개로 전체의 23.8 %이다(Pregibon, 1981).

로지스틱회귀분석의 경우 일반 회귀분석에서 제공되는 R^2 이

제시되지 않기 때문에 회귀식의 설명도를 위해 Cox와 Snell의 R-제곱과 이를 개선한 Nagelkerke R-제곱을 사용한다. 그러나 로지스틱회귀분석에서의 R² 값처럼 모형의 변별력을 판단하는 중요한 부분을 차지하지는 않는다. 기존의 연구에 결과에 따르면 Cox와 Snell의 R-제곱과 Nagelkerke R-제곱의 값이 0.2 이상의 값을 보이면 유의미한 모델로 판정한다. 본 연구의 경우 Cox와 Snell의 R-제곱이 0.381, Nagelkerke R-제곱이 0.571로 제시되어 모델이 유의미한 것으로 판단되며 로지스틱 회귀식의 설명력은 57.1 %이다(Kim et al., 2020).

로지스틱회귀분석 결과는 Table 8과 같으며 유역면적이 1,000 ha 증가 할수록 수리시설개보수사업을 시행할 확률이 0.909배 증가하는 것으로 나타났다. 이는 유역면적이 클수록 홍수량이 증가하여 치수시설의 규모가 커짐에 따라 수리시설 개보수 사업을 기피하는 결과로 판단된다. 또한 수리시설물의 준공 후 1년이 경과 할수록 수리시설개보수사업을 시행할 확률이 1.018배 증가하는

것으로 나타나 수리시설물의 연한이 증가가 개보수 사업 선정에 정적인 영향을 가지는 것으로 분석되었다.

등급결과를 살펴보면 종합등급이 증가함에 따라 10.050배 개보수시행 확률이 증가하였으며, 물넘이는 2.786배, 방수로는 1.893배 취수시설은 2.408배 증가하는 것으로 나타나 개보수사업시행에 등급결과는 종합, 물넘이, 취수시설, 방수로 등급 요인 순으로 영향을 끼치는 것으로 분석되었다. 이는 이수목적의 개보수 보다 치수목적의 개보수를 중요시 하는 것으로 판단된다.

부재별 결함요소는 사면침투수유출에 따라 5.525배, 침식세굴에 따라 0.759배, 물넘이 구조불안정에 따라 1.514배, 물넘이 연장부족에 따라 1.351배, 방수로 균열백태에 따라 1.734배, 방수로 기초공동에 따라 1.690배, 취수시설 균열 박리박락에 따라 0.599배 증가하는 것으로 분석되었다. 개보수를 시행할 때 저수지 제방의 누수가 가장 큰 결함요인으로 분석되었으며 물넘이 연장부족 및 방수로 기초공동 등에 따른 재해에 대한 치수능력이 저하된 경우도

Table 8. Result of Logistic Regression Analysis

District	B	S.E.	Wald	p	Exp (B)	95 % C.I. for Exp (B)		
						Lower	Upper	
Dependent variable : Project execution status								
Independent variable	Drainage area	-.096	.038	6.211	.013*	.909	.843	.980
	Safety check progress year	.018	.002	63.927	.000**	1.018	1.014	1.023
	Total grade	2.308	.259	79.372	.000**	10.050	6.049	16.698
	Spillway grade	1.025	.258	15.799	.000**	2.786	1.681	4.617
	Canal grade	.638	.252	6.428	.011*	1.893	1.156	3.100
	Intake facilities grade	.879	.190	21.423	.000**	2.408	1.660	3.493
	Infiltration water runoff (slope)	1.709	.138	153.681	.000**	5.525	4.217	7.239
	Scouring and Erosion (D)	-.276	.104	6.975	.008**	.759	.619	.931
	Structure instability (S)	.415	.204	4.152	.042*	1.514	1.016	2.257
	Lack of spillway length (S)	.301	.106	7.975	.005**	1.351	1.096	1.664
	Crack and Efflorescence (C)	.551	.106	27.138	.000**	1.734	1.410	2.133
	Foundation Unoccupied (C)	.525	.164	10.289	.001**	1.690	1.227	2.330
	Crack and Efflorescence and Spalling (I)	-.513	.108	22.688	.000**	.599	.485	.739
	Riprap repair and reinstall (D)	-.803	.119	45.853	.000**	.448	.355	.565
	Crack repair (S)	-.333	.136	6.009	.014*	.717	.549	.935
	Retaining wall repairing (C)	.263	.095	7.661	.006**	1.301	1.080	1.567
	Crack repair (C)	-.609	.143	18.027	.000**	.544	.411	.720
	Section repair (C)	-.354	.119	8.861	.003**	.702	.556	.886
	Surface preparation (C)	-.363	.170	4.571	.033*	.696	.499	.970
	Water stop method (C)	.250	.101	6.161	.013**	1.284	1.054	1.563
Reinstall (C)	.415	.130	10.199	.001**	1.514	1.174	1.953	
Const.	-4.560	.227	403.576	.000**	.010			

*p<.05, **p<.01

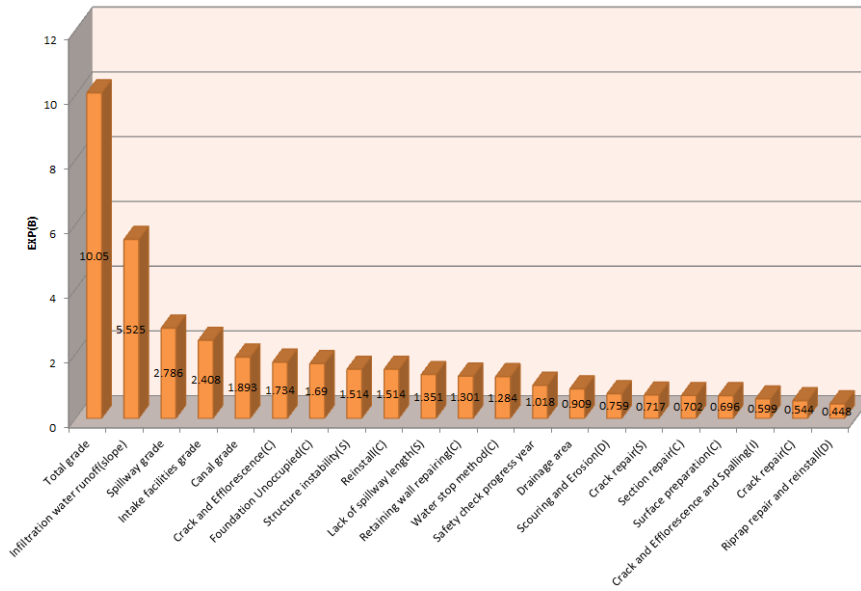


Fig. 3. Selection Contribution of Independent Variables

개보수를 시행해야할 중요한 결함요인으로 분석되었다.

보수보강(안)은 사석정비 재 설치에 따라 0.448배, 옹벽고 승상에 따라 1.301배, 방수로 균열보수에 따라 0.544배, 방수로 단면복구에 0.702배, 방수로 표면처리에 0.696배, 지수공법에 따라 1.284배, 취수시설 재설치에 1.476배 증가하는 것으로 나타났다. 제시된 보수보강(안)에서 보수가 쉽거나 구조체에 큰 영향을 미치지 않는 보수보강 방법이 제시되면 수리시설개보수사업에 부적인 영향을 가지는 것으로 분석되었으며 취수시설의 경우 보수보강 형태를 재설치하는 것을 선호하는 것으로 분석되었다.

독립변수의 수리시설개보수사업 선정 기여도를 분석해보면 종합등급, 사면침투수유출, 물넘이등급, 취수시설등급, 방수로등급, 방수로균열백태, 방수로 기초공동, 취수시설 재설치 순으로 나타났으며 결과는 Fig. 3과 같다.

4.2 적합도 검증

로지스틱회귀분석의 적합도를 검증하는 방법은 Hosme&Lemeshow 검정이 일반적인 검증방식이다. 검정은 유의확률이 0.05이상 일 경우 모형이 적합한 것으로 판정되는데 본 연구의 모형의 경우 Hosmer&Lemeshow 검정결과 유의확률이 0.132으로 나타나 모델이 유의한 것으로 검증되었으며 세부결과는 Table 9와 같다.

로지스틱 회귀모형을 이용하여 모델에 적용된 자료에 대한 예측적합도 검증을 실시한 결과 모델의 분류 정확도는 86.8 %로 분석되어 높은 분류정확도를 보였으며 분류표는 Table 10과 같다. 로지스틱 회귀모델의 결과 값은 0~1 사이에 분포하게 확률값으로 계산되며, 그 값이 판정기준인 0.5보다 크면 개보수를 시행

Table 9. Hosmer&Lemeshow goodness-of-fit

Chi-square	Degree of freedom	Sig.
12.453	8	.132

Table 10. Logistic Regression Analysis Classification Table

Observed	Predicted			
	Project execution status		Percentage Correct	
	F	S		
Project execution status	F	3742	248	93.8
	S	445	802	64.3
Overall Percentage				86.8

a. Cut value : 0.5

작으면 미 시행으로 구분된다.

4.3 예측모형 제시

의사결정지원모델의 구축 결과를 바탕으로 수리시설개보수사업에 대한 정량적인 예측을 위한 산식을 Eq. (1)과 같이 제시하였다.

$$\begin{aligned}
 Y = & -4.560 - 0.096 \times X_1 + 0.018 \times X_2 \\
 & + 2.308 \times X_3 + 1.025 \times X_4 + 0.638 \times X_5 \\
 & + 0.879 \times X_6 + 1.709 \times X_7 - 0.276 \times X_8 \\
 & + 0.415 \times X_9 + 0.301 \times X_{10} + 0.551 \times X_{11} \\
 & + 0.525 \times X_{12} - 0.513 \times X_{13} - 0.803 \times X_{14} \\
 & - 0.333 \times X_{15} + 0.263 \times X_{16} - 0.609 \times X_{17} \\
 & - 0.354 \times X_{18} - 0.363 \times X_{19} + 0.250 \times X_{20} \\
 & + 0.415 \times X_{21}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서, X_1 은 유역면적이며 1000 ha 당 1이 증가한다.

X_2 은 안전진단 경과년수이며 단위는 년이다.

X_3 은 종합등급이며 0~1사이의 값을 가진다.

X_4 은 물넘이등급이며 0~1사이의 값을 가진다.

X_5 은 방수로등급이며 0~1사이의 값을 가진다.

X_6 은 취수시설등급이며 0~1사이의 값을 가진다.

X_7 은 사면침투수유출 유무이다.

X_8 은 침식세굴 유무이다.

X_9 은 물넘이 구조불안정 유무이다.

X_{10} 은 물넘이 연장부족 유무이다.

X_{11} 은 방수로 균열백태 유무이다.

X_{12} 은 기초공동 유무이다.

X_{13} 은 균열바리박락 유무이다.

X_{14} 은 사석정비제설치 유무이다.

X_{15} 은 균열보수 유무이다.

X_{16} 은 옹벽고 승상 유무이다.

X_{17} 은 방수로 균열복구 유무이다.

X_{18} 은 방수로 단면복구 유무이다.

X_{19} 은 방수로 표면처리 유무이다.

X_{20} 은 지수공법 유무이다.

X_{21} 은 취수시설 재설치 유무이다.

※ $X_7 \sim X_{21}$ 은 0, 1 두 가지 값을 가지며 해당할 경우 1 해당하지 않을 경우는 0의 값을 가진다.

제시한 산식에 변수 값들을 적용하여 구한 Y값을 Eq. (2)에 적용하면 수리시설개보수사업 선정 확률이 나온다. 이 확률 값으로 수리시설 개보수 여부를 결정하게 된다.

$$\text{수리시설개보수사업 선정 확률} = \frac{\exp(Y)}{1 + \exp(Y)} \quad (2)$$

분류결과를 비율화한 데이터를 도식화 하여 두 자료가 교차되는 점을 찾고 이 값을 수리시설개보수사업 선정여부의 확률 값으로 정하였다. 예측실패의 교차 값은 0.24~0.25에서 예측성공 값의 교차 값은 0.23~0.24로 관측되어 두 값의 평균값인 0.24를 수리시설개보수사업 선정을 위한 기준 선정하고 0.24보다 작으면 선정하고 0.24를 넘으면 선정하지 않는 것으로 결정하였다. Fig. 4는 수리시설개보수사업 시행에 대한 예측 성공실패 비율 나타낸 그래프이다. 그래프의 추세를 살펴보면 수리시설개보수사업 시행에 성공에 관련된 그래프의 추세는 다항식 형태의 추세를 보이고 있으며 실패와 관련된 그래프 추세는 로그형태의 추세를 보이고 있다. 이는 개보수사업을 시행하지 않는 대다수의 저수지가 결함 또는 안전진단에서 양호한 등급을 받기 때문으로 판단된다.

4.4 의사결정지원모델 활용방안 및 효과분석

본 연구에서 제시된 수리시설개보수사업 선정을 위한 의사결정 지원모델은 사업의 예정지를 선정할 때 활용할 수 있으며 효과는 크게 두 가지가 기대된다. 첫째로 동일등급 또는 대상 지구 간 서열 비교가 가능해지고 불확실한 상황 하에서의 수리시설개보수 사업 효율적 의사결정 과정에 기여하는 것이다. 둘째로 정밀안전진

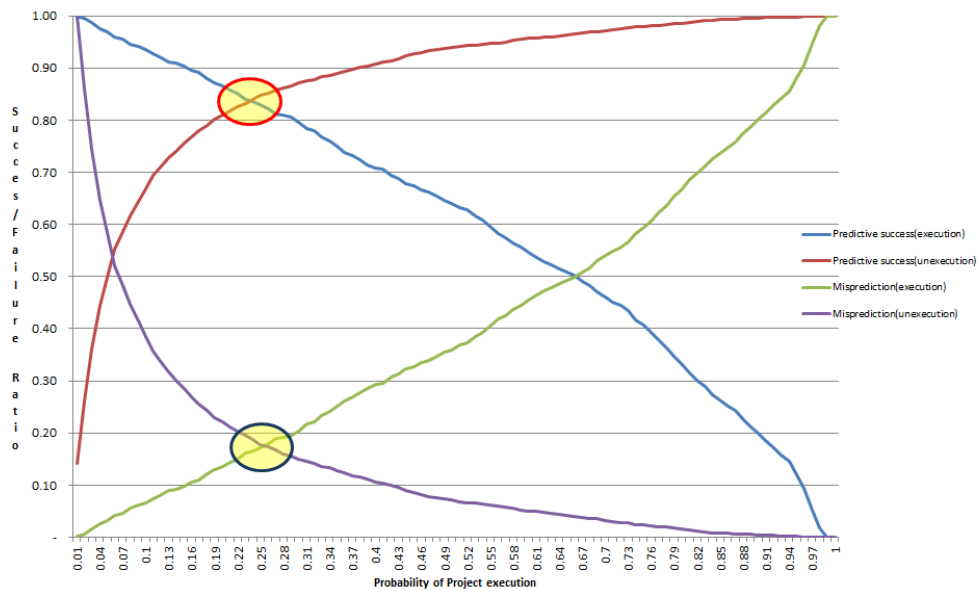


Fig. 4. Predicted Success/Failure Ratio Graph

Table 11. Result of Frequencies (Project Selection Period)

District (day)	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
2.0	1	1.6	2.4	2.4
3.0	1	1.6	2.4	4.9
3.5	1	1.6	2.4	7.3
7.0	5	8.2	12.2	19.5
7.5	18	29.5	43.9	63.4
15	15	24.6	36.6	100.0
Total	41	67.2	100.0	
Average	9.8415			

단 결과에 따른 개별 시설물의 이상 정도를 수치화하여 제시함으로써 서열화 할 수 있고 이를 바탕으로 개보수 대상 지구를 예측이 가능해져 향후 정책계획 및 보수보강 계획을 수립하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구의 효과를 분석하기 위해 한국농어촌공사에 근무하는 수리시설개보수사업 전문가를 대상으로 설문조사를 진행하였으며 설문조사 결과는 Table 11과 같다. 설문조사결과 수리시설개보수사업 예정지선정을 위해 평균 9.84일의 기간이 소요되는 것으로 조사되었다. 수리시설개보수사업 선정을 매년 시행하는 한국농어촌공사 전체로 확대하면 93개 지사에 총 915일을 절감할 수 있으며 연으로 환산하면 4.6인에 대한 인건비 3억원을 절감할 수 있는 효과를 가진다.

5. 결론

본 연구에서는 기존의 농업용저수지의 수리시설개보수사업 선정에 의사결정에 관한 부분에 대해 문제의식을 가지고 불확실한 상황 하에서의 의사결정을 지원할 수 있는 모델을 구축하여 제시하였다. 시설물 관리자의 주관적인 판단 위주의 사업선정과정을 수리시설개보수사업 의사결정 지원 모델의 적용을 통해 정량적으로 평가할 수 있다는 것에 그 의의가 있으며 수리시설개보수사업 전반의 업무능률 향상 및 체계적 사업관리에 기여함과 동시에 적절한 시기에 개보수사업을 진행 할 수 있는 확률이 높아져 재해예방 및 재해유 감소에 기여할 것으로 기대된다.

본 연구의 한계점은 정밀안전진단이 정기적으로 시행되지 않는 시군 관리구역의 소규모 저수지에 대한 연구를 포함하지 못한 점이다. 향후 연구에서는 시군 관리구역의 소규모 저수지의 수리시설개보수사업 의사결정 모델에 관한 연구가 필요 할 것이다.

References

- Chatterjee, S. and Hadi, A. S. (2012). *Regression analysis by example*, John Wiley & Sons Inc., New Jersey, USA.
- Kim, H. D., Kim, S. J. and Lee, K. Y. (2009). "Study on the priority decision for redevelopment of agricultural reservoir." *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 51, No. 6, pp. 63-68 (in Korean).
- Kim, H. I., Han, K. Y. and Lee, J. Y. (2020). "Prediction of urban flood extent by LSTM model and Logistic regression." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 40, No. 3, pp. 273-283 (in Korean).
- Korea Infrastructure Safety Corporation (KISTEC) (2013). *Study on the safety evaluation and repair and reinforcement of small dam and reservoir*, Korea Infrastructure Safety Corporation (in Korean).
- Korea Rural Community Corporation (KRC) (2011). *Detailed guidelines for precision safety check* (in Korean).
- Korea Rural Community Corporation (KRC) (2020). *Rural infrastructure management system (RIMS)* (in Korean).
- Lee, C. B. (2016). *A study on the safety inspection system improvement of agricultural reservoir*, Master Degree, Kongju National University (in Korean).
- Lee, J. H. (2013). "Management of small agricultural reservoirs in Korea: is it okay as it is?" *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, KSHM, Vol. 13, No. 2, pp. 54-57 (in Korean).
- Lee, S. C. (2003). *Current status and implementation plan of water resources facility improvement project*, Korea Rural Community Corporation (in Korean).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (2018a). *Selection pan of new district for water resources facility improvement projects* (in Korean).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (2018b). *Statistical yearbook of rural infrastructure project* (in Korean).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (2020). *Rural Village Maintenance Act*.
- Park, S. D. (2010). *Efficient use and management of agricultural water*, Korea Rural Economic Institute (in Korean).
- Pregibon, D. (1981). "Logistic regression diagnostics." *The Annals of Statistics*, Vol. 9, pp. 705-724.
- Son, I. H., Kim, B. H., Son, A. L. and Han, K. Y. (2016). "Numerical analysis of river bed change due to reservoir failure using CCHE1D model." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 36, No. 2, pp. 219-229 (in Korean).
- Song, C. S. and Park, B. H. (2008). "Studies on structural degradation of agricultural reservoirs in Chungbuk." *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 50, No. 3, pp. 61-76 (in Korean).