



농업기반시설물 양·배수장의 성능저하 요인분석 및 성능평가 모델 개발

Development of Evaluation Model of Pumping and Drainage Station Using Performance Degradation Factors

이종혁^a · 이상익^b · 정영준^c · 이제명^d · 윤성수^e · 박진선^f · 이병준^g · 이준구^h · 최원^{i, †}

Lee, Jonghyuk · Lee, Sangik · Jeong, Youngjoon · Lee, Jemyung · Yoon, Seongsoo · Park, Jinseon · Lee, Byeongjoon · Lee, Joongu · Choi, Won

ABSTRACT

Recently, natural disasters due to abnormal climates are frequently outbreaking, and there is rapid increase of damage to aged agricultural infrastructure. As agricultural infrastructure facilities are in contact with water throughout the year and the number of them is significant, it is important to build a maintenance management system. Especially, the current maintenance management system of pumping and drainage stations among the agricultural facilities has the limit of lack of objectivity and management personnel. The purpose of this study is to develop a performance evaluation model using the factors related to performance degradation of pumping and drainage facilities and to predict the performance of the facilities in response to climate change. In this study, we focused on the pumping and drainage stations belonging to each climatic zone separated by the Korea geographical climatic classification system. The performance evaluation model was developed using three different statistical models of POLS, RE, and LASSO. As the result of analysis of statistical models, LASSO was selected for the performance evaluation model as it solved the multicollinearity problem between variables, and showed the smallest MSE. To predict the performance degradation due to climate change, the climate change response variables were classified into three categories: climate exposure, sensitivity, and adaptive capacity. The performance degradation prediction was performed at each facility using the developed performance evaluation model and the climate change response variables.

Keywords: Agricultural infrastructure; degradation factor; performance evaluation model; LASSO regression method; performance prediction

1. 서 론

안정적인 농업생산을 실현하는 데 가장 중요한 요소 중의 하나는 수리안전답을 구성하는 것이었으며, 이를 위해 과거 전국적으로 많은 수원공이 개발되었다. 그 중 양수장은 지표수의 수면이 관개지역보다 낮아 자연관개가 불가능한 곳에 물을 퍼 올려 농업용수로 사용하기 위해 반드시 필요한 수원공시설이며, 양배수장은 양수장의 이수 기능뿐만 아니라 홍수와 같은 물로 인한 재해 피해를 막기 위해 쓰이는 치수의 역할도 수행하고 있다 (Korea Rural Community, KRC, 2017). 이처럼 양수장 및 양배수장 (이하 양·배수장)은 물의 이용 효율과 홍수와 가뭄 대처를 위해 농업용수 개발에 있어 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 오늘날 그 수가 많고, 연중 물과 접해 있으며, 시설 사용 목적의 특성에 따라 넓은 지역에 걸쳐 분포하고 있어 연속적인 유지관리가 불가피하여 재정투자의 효율성을 높이기 위해 엄격한 우선순위의 선택이 필요하게 되었다 (Kim et al., 2002; Choi et al., 2008; Lee, 2011). 2017년 기준 운영 중인 양·배수장은 전국 8,384 개소 중 3,633 개소가 준공 후 30년 이상 경과한 시설물로 노후화되었으며 (KRC, 2017), 축조될 당시와 비교할 때 많은 운영 환경의 변화가 발생하였다 (Lee, 2011). 그러나 운영 및 유지관리 기법은 기후 노출과

^a MS Student, Department of Rural Systems Engineering, Seoul National University

^b MS Student, Department of Rural Systems Engineering, Seoul National University

^c BS Student, Department of Rural Systems Engineering, Seoul National University

^d Postdoctoral Research Associate, Division of Environmental Science and Technology, Kyoto University

^e Professor, Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University

^f Researcher, Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University

^g MS Student, Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University

^h Senior Researcher, Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

ⁱ Assistant Professor, Department of Rural Systems Engineering, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

† Corresponding author

Tel.: +82-2-880-4715 Fax.: +82-2-873-2087

E-mail: fembem@snu.ac.kr

Received: March 27, 2019

Revised: May 29, 2019

Accepted: July 01, 2019

같은 외적 요인을 고려하지 않고 행정구역 단위로 일괄적으로 이루어지고 있으며, 구조물의 성능을 결정하는 외적 요인인 기후, 해안과 인접한 정도, 규모, 하중 빈도 등의 고려가 미흡한 실정이다. 또한, 유지관리 측면에서 현재 양·배수장의 현행 평가방법으로 수행되고 있는 안전점검은 ‘농림축산식품부 훈령 제270호 제14조’에 따라 정기점검, 긴급점검, 정밀점검으로 나뉘어져 있다. 정기점검은 정기적으로 시험가동 및 육안조사를 통해 평상시 시설물의 기능 상태를 확인하고 판단하고 있으며, 긴급점검의 경우 재해 및 사고와 같은 긴급 상황 발생 시 시행하여 사용 제한 및 금지를 결정할 수 있다. 정밀점검의 경우 면밀한 육안검사와 조사자의 판단 하에 필요한 측정 및 시험을 실시하여 결함 등에 대해 파악하고 보수·보강 방법을 제시하는 것으로 ‘농림축산식품부훈령 제270호 제14조의2’에 의해 규정되어 있다 (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs; MoAFRA, 2017). 이러한 안전점검 방법은 그 시설물을 관리하고 있는 관리자의 주관적인 판단에 의존해 평가되고 있으며, 따라서 관리자의 공학적인 판단 하에 다르게 평가될 수 있다 (Kim et al., 2013). 정밀안전진단은 객관적이고 정량적인 평가방법으로 시설물의 유지 및 보수보강에 효과적인 장점이 있으나, 자본과 시간 및 인력이 많이 소요되고 있어 ‘농림축산식품부훈령 제270호 제16조’에 의해 1종 시설에만 한하여 정기적으로 시행되고 있으며, 2종 이하의 시설은 안전점검 결과에 따라 의존하고 있다 (MoAFRA, 2017). 따라서 안전점검을 보완하여 전국적으로 많은 수가 분포해 있는 양·배수장의 객관적인 성능평가를 위한 모델 개발이 필요하다.

Kim et al. (2002)은 전국적으로 산재한 농업수리시설물에서 수명기간 동안에 발생하는 노후화 현상을 조사하고, 대책이 필요한 시설물들을 평가하여 향후 농업구조물에 대한 관리지침의 기초자료를 제공할 수 있는 데이터베이스 구축을 통해, 농업시설물 안전진단 지원 시스템을 개발하여 시설물의 상태에 따른 적절한 보수·보강 공법을 제시할 수 있는 농업수리시설물의 유지관리시스템을 개발하였다. 그러나 시스템의 사용은 조사자의 공학적 판단에 의거해 시설물을 평가하게 되어있어 시설물의 객관적인 성능에 관한 관계식과 성능평가에 따른 객관적인 평가지표에 대한 정의가 필요하다. Lee (2007)는 양배수장에 대한 유지관리 운영주기 함수를 도입하여 실제 시행되었던 수리시설물의 개보수이력자료를 통계적으로 분석하여 최빈값이나 평균값을 개보수주기로 결정하는 방법을 통해 예방적 관리 기술을 적용하고자 하였다. 또한 Kim (2017)은 양배수장의 각 파트별 개보수사업의 적정 주기 설정을 검토하여 양배수장의 각 파트별 조치율 및 개보수주기를 수명실험 자료를 이용하여 산정하였다. 그러나 지역별 고려가 이루어지지 않고 전체 시설물에 대해 양배수장의 기술통

계를 통한 적정 개보수 주기를 산정하였기 때문에 지역별 개보수 주기 차이를 고려하지 못하였다. Myung et al. (2009)은 사회기반시설의 기후변화 대응 취약성 분석과 적응 강화를 위한 대응 방안에 대해 연구를 수행하였으며, 온도와 강우량에 해당하는 변수를 중심으로 2075년까지 우리나라 주요 사회기반시설이 기후변화 사상에 따른 노출 정도를 파악하고, 전문가 설문조사를 통해 사회기반시설의 기후변화 취약성 평가를 실시하였다. 또한 Myung et al. (2010)은 기후변화로 인한 사회기반시설의 피해이력 조사를 통한 사회기반시설의 기후변화 취약성 지도 구축 및 지역단위 기반시설 위험도 진단, 문헌고찰, 기후변화 취약성 평가 자료를 바탕으로 기후변화 대응방안을 제시하였다. Lee (2011)는 기후변화에 대응해 농업생산기반시설에 대한 통합안전관리시스템 구축을 위한 프로세스 개발의 필요성을 강조하였으며, Kim et al. (2013)은 농업기반시설물의 기후변화에 대한 영향 인자들을 선정하여 주성분 분석을 이용해 체계화하여 구축하고, 이를 이용해 도 단위의 농업생산기반시설의 재해 취약성에 대해 평가하였다. 한편 양·배수장 외의 다른 농업기반시설물의 정량적 성능평가 모델을 개발한 선행 연구사례를 살펴보면, Lee et al. (2015)는 농업기반시설물 중 저수지에 대해 총 550개소의 저수지에 대해 정밀안전진단 상태평가 보고서를 통해 얻은 46개의 평가항목을 토대로 주성분분석을 실시하여 농업용저수지를 유형화하여 저수지 정밀안전진단 개선 방안에 대한 연구를 수행하였으며, Song et al. (2016)은 농업용 관정의 기계적 처리 이후 성능 개선 효과의 정량적 평가 연구를 수행하였으며, 관정의 정량적 성능평가를 위해 단계양수 시험을 통해 확보할 수 있는 계수값을 통해 농업용 관정의 성능 개선 효과를 정량적으로 평가할 수 있는 새로운 계산식을 제시하여 관정 성능 개선율과 추가 지하수 확보 수량을 정량적으로 계산하였다. 그러나 연구 대상시설이 같은 대수층 특성인 지역에 한정되어 있어, 다른 지역의 관정에 대해서는 제시된 평가방법을 사용하기 어렵다는 한계점이 있다. 용수관리 측면에서 Kim et al. (2018)은 농어촌용수 및 농업생산기반시설의 실태조사에 따른 기후변화 영향 분석에 대한 연구를 수행하였으며, 기후변화에 대한 영향지수를 산정하여 시설물의 성능 평가를 수행하였다. 그러나 2종 이하의 시설물에 대한 영향평가는 평가에 사용할 수 있는 정량적인 데이터의 수가 부족하여 대상 시설이 1종 시설에 한정되어 있다는 한계점이 있다.

현재 우리나라의 기후변화에 따른 농업생산기반시설의 성능평가 지표 개발 및 향후 성능예측에 관한 연구는 미비한 실정이며 특히 농업기반시설물 중 양·배수장은 그 시설물의 중요성에도 불구하고 연구가 부족한 실정이다. 그러나 농업분야의 생산기반시설에 대한 취약성 평가와 적응대책 개발은

시급히 요구되고 있다 (Lee, 2011; Kim et al, 2013). 따라서 기후변화에 따른 성능평가 및 예측·분석을 통해 효율적인 시설 운영방안 및 정책 결정에 필요한 기초를 마련하고자 한다. 본 연구에서는 농업기반시설물 중 양·배수장에 대해 시설물의 DB자료 및 성능평가 사례를 통해 도출해낸 성능저하 요인과 기후인자들과의 관계를 통계적으로 유의한 하나의 통계적 평가모델로 제안하고, 이를 통해 기후변화에 대응하여 향후 시설물에 대한 성능을 예측하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 대상시설

양·배수장은 농지보전 및 농업생산에 필요한 시설물로 해안, 평야, 산간지역 등 전 국토에 분포하고 있다. 이러한 시설물들은 염해, 동결용해와 같은 구조물의 노후화를 유발하는 환경에 놓여 있으며, 이 환경 조건은 지역별로 상이하다 (Park, 2017). 따라서 본 연구에서는 기후인자 및 지리적 특성을 이용하여 기후대를 구분하고 기후대로 대상시설을 선정하여 농업생산기반시설에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 먼저 대상시설 선정을 위한 기후대 구분은 Kim (1976)의 한반도의 지리적 기후 구분 체계를 이용하였으며, 그 방법은 다음과 같다.

한반도를 6개의 기후구분 방법을 통해 최한월 평균기온 -3℃ 등온선으로 남부의 온대 기후와 북부의 냉대 기후로 나누고, 온량지수에 의해 남북 간의 기온 차에 의하여 북부, 중부, 남부로 나누었다. 태백산맥과 낭림산맥을 경계로 동해 지역을 구분하

고, 넓은 황해 사면에서는 해안에서의 거리에 의하여 서안형과 내륙형을 구분하였다. 대륙의 영향이 강한 북부의 고원 및 산악 지방은 개마고원형으로 구분하였고 이와는 대조적으로 해양의 영향을 많이 받는 남해안 지방은 남해안형으로 분류하였다. 또한 울릉도형을 추가하고, 대구 지역을 특수형으로 분리하였다 (Kim, 1976).

이를 통해 구분된 총 13개의 기후대 중 북한과 제주 및 울릉도의 도서지역을 제외한 8 개의 기후대를 이용하였다. 본 연구에서는 대상시설을 농업기반시설물 중 양수장 및 양배수장으로 한정하였으며, 기후대 별로 3개 이상의 대상시설을 선정하여 총 30개의 양·배수장을 선정하였다 (Table 1).

2. 양·배수장 성능저하 요인분석 및 평가항목 자료 구축

가. 성능저하 요인 도출

1) 성능저하 요인 체계 분류

충분히 객관적인 평가 모델 개발을 위해 주관적 관점은 배제하고 시계열 자료만으로 구성하여 정량화하고자 하였다. 성능저하 요인들로는 기후대 별 기상인자, 양·배수장 유지관리 방법 등이 언급될 수 있으며, 전체 항목들에 대하여 성능 (이수/치수/통합) 및 대응변수별로 구분하였다. 양·배수장의 평가 과정을 분석한 결과 기계, 토목, 전기 등의 파트로 대 (상위 체계) 분류가 가능하였다. 또한 IPCC 기후변화 5차 보고서 및 한국농어촌공사가 주관하는 ‘농어촌용수에 대한 기후변화 영향 실태조사 및 취약성 평가방안 고도화 연구’의 일환으로 수행되는 전문가 조사에서 분류한 항목을 채용하여, 기후변화

Table 1 Selection of study sites according to geographical classification system in Korea

Station No.	Climate zone type	Area	Name	Station No.	Climate zone type	Area	Name
1	Central west coastal region	Hongseong	Waryong1	15	South inland region	Wanju	Bongdong
2		Seosan	Sungyeon	16		Wanju	Jugyo
3		Seosan	Daesan	17		Namwon	Yongsan
4		Paju	Daedanwi	18		Geochang	Seokgang1
5	Central inland region	Hongcheon	Oesanpo	19		Hapcheon	Sinpyeong
6		Wonju	Seomgang	20		Uiseong	Yangseo
7		Cheongju*	Seopyeong	21		Uiseong	Nakjeong
8		Buan	Nansan	22		Miryang	Naei
9	South west coastal region	Buan	Dangsang	23		Miryang	Banwol
10		Gochang	Sachang	24		Daegu	Hyeonpung
11		Gochang	Geumbyeong	25	Daegu*	Jidong	
12	South east coastal region	Gangneung	Gujeong	26	Daegu	Daeam	
13		Yeongdeok	Buheung	27	Goheung	Jangam2	
14		Uljin	Oeseonmi1	28	Goheung	Bongam	
				29	Gimhae	Machal	
				30	Gimhae*	Saengnim	

* Pumping and drainage station

Table 2 Variables and Role Relationships between Response Variability and Vulnerability of Climate Change regarding to Pumping Stations

Classification	Performance/Safety	Response variable
Electricity	Water supply/Flood control performance (pumping performance)	Climate exposure
		Responsiveness
		Adaptability
Machine	Water supply performance (pumping performance)	Climate exposure
		Responsiveness
		Adaptability
Machine	Flood control performance	Climate exposure
		Responsiveness
		Adaptability
Civil engineering	Safety	Climate exposure
		Responsiveness
		Adaptability
Total	Total	Climate exposure
		Responsiveness
		Adaptability

대응변수를 기후노출, 민감도, 적응능력으로 구성하였다. 기후노출은 계절별 평균기온, 강우일수 등 기상관련 항목으로 시스템이 기후와 관련된 자극에 노출되는 정도, 민감도는 증발산량, 필요수량, 가뭄·홍수 피해 등 기후에 영향을 받는 항목으로 기후관련 자극에 의해 시스템이 영향을 받는 정도, 적응능력은 시설관리 인원수, 유지관리 비용 등 기후 영향에 대처할 수 있는 항목으로 시스템이 기후변동, 극한상황을 포함한 기후변화를 조절하고 잠재적인 피해를 완화하여 주어진 기회를 활용하고 결과에 대처하는 정도로 분류하였다. Kim et al. (2013)은 기후변화에 대한 시스템의 노출, 민감도 및 적응 능력의 세 가지 구성요소는 기후변화로 인해 초래하게 될 비용과 위험을 감소 또는 증가시키는 핵심적인 요인이라고 정의하였다.

2) 성능평가 모델을 위한 성능저하 관련 요인 도출

성능평가 모델의 관련 변수 선정을 위해 시설물 개요와 현황자료는 한국농어촌공사 RIMS DB를 이용한 사전조사로부터 취득하였으며 시설제원, 가동월보, 개보수현황, 유지보수 현황, 전기사용료와 정기안전점검 및 정밀안전진단 결과자료를 바탕으로 다음 항목들을 수집 및 정리하여 데이터베이스화 하였다 (Table 3). 성능평가 모델 구축을 위한 모델 관련 변수는 성능저하 요인들로부터 입력 및 출력 변수로 분리되어 작성된다. 하중자료 (factor relevant to performance degradation)는 성능저하를 유발하는 요인들로서 성능평가 모델의 독립변수로

Table 3 Input/output variables related to the performance evaluation model

Factor	Variable
No relevant to performance degradation	Facility classification
	Pump operation number
	Total pump capacity
	Beneficial area
	Pumping station / Pumping and drainage station
Relevant to performance degradation	Cumulative operating hours of machinery
	Electricity consumption
	Established year
	Maintenance manpower
	Pump operating days per year
	Average pumped water per year
	The number of typhoon occurrence
	The number of earthquakes and its scale
	Maximum hourly rainfall per year
	Maximum rainfall over 2 days
	The number of days with daily precipitation greater than 80 mm
	Coastal distance
	Climate zone classification
	Average annual precipitation
	The number of heavy snowfall per year
	Freeze-thaw frequency
	The amount of 100-year floods
	The number of humid day per year
	Average annual temperature
	Average of temperature during the irrigation period
	Average of precipitation during the irrigation period
	Average annual effective precipitation days
	The number of continuous rainless days
The amount of standard evapotranspiration	
Annual average effective rainfall	
Performance evaluation	Regular Safety check result – All parts
	Regular Safety check result – Civil engineering – Structure
	Regular Safety check result – Civil engineering – Suction parts
	Regular Safety check result – Civil engineering – Discharge parts
	Regular Safety check result – Structure
	Regular Safety check result – Machine
Regular Safety check result – Electricity	

이용되었다. 성능저하와 관련 없음의 항목 (factor no relevant to performance degradation)은 성능저하를 직접적으로 유발하지는 않으나, 성능저하 발생 시, 저하 정도에 간접적으로 영향을 미칠 수 있는 요인들로 모델 구성에서는 제외되는 변수이다. 성능평가 자료 (performance evaluation)는 ‘정기안전점검결과’와 ‘정밀안전진단결과’를 수집하였으나, 정밀안전진단결과가 모든 시설에 대하여 존재하지 않아 실제 통계분석에는 정기안전점검결과만을 활용하였으며, 이는 성능평가 모델에서 종속변수로 이용되었다. 본 연구에서 양·배수장의 성능은 성능평가 자료와, 성능평가 모델을 통해 도출되는 성능 예측값을 0에서 100의 값으로 나타내어, 성능 예측값과 성능평가 자료의 관측값의 차이를 통해 성능이 변화한다고 가정하였다.

3) 통계분석을 위한 요인들 간 자료변환 및 스케일링

성능평가 모델 관련 입·출력 변수가 기상자료, 양·배수장 제원 관련 자료, A~E로 범주화 된 정기안전점검결과 자료 등 다양한 형태로 구성되어 있으며, 회귀식을 구성하기 위해 자료 변환 및 단위를 조절하였다. 정기안전점검결과는 연간 4~6회 평가자료에 대하여 A를 100, B를 80, C를 60, D를 40, E를 20으로 수치화한 뒤 이를 평균하여 해당 연도의 종합점수로 활용하였다. 양수장과 양배수장을 구분하는 ‘양수장/양배수장 구분’ 항목은 양수장을 0으로, 양배수장을 1로 하는 더미변수로 변환하였다. ‘유지보수비’와 ‘수리시설개보수비’ 항목은 전년도에 유지보수비 혹은 수리시설개보수비가 존재할 경우 1을 부여하는 더미변수로 변환하여, 이전 연도에 유지보수 혹은 수리시설개보수가 시행되었는지 여부를 판단하는 지표로 활용하였다. 모든 자료의 단위는 농어촌공사 DB (RIMS)에서 사용된 기본 단위를 사용하되, 독립변수의 스케일이 크게 차이 날 경우, 도출될 매개변수의 비교 및 분석이 용이하지 않기 때문에 단위의 크기를 조절하였다. 이에 따라, 기온 관련 항목은 ‘℃’를, 강수량 관련 항목은 ‘mm’에서 ‘100 mm’로, 전력 사용량은 ‘mW’를, 전력 요금은 ‘원’ 대신 ‘만원’을 단위로 사용하였다.

3. 성능평가 모델을 위한 다변량 분석

가. 다변량 분석 방법

본 연구에서는 기후요소에 대해 시설물의 성능저하와의 관계를 파악하기 위해, 성능저하 요소와 기후변화 대응변수들 간의 인과 관계에 대한 특성 규명을 위해 다변량 분석을 수행하였다. 같은 데이터더라도 분석 방법에 따라 그 결과는 매우 다르게 해석될 수 있어 다양한 변수들간의 영향력에 대해 분석하기 위해서는 적절한 통계모델을 선택하여 분석하는 것이 중요하다. 또한 분석대상 변수들이 많은 경우, 변수 간 다중

공선성 문제가 발생하여 모형을 불안정하고 해석하기 어렵게 만들 수 있기 때문에 이를 적절히 해결해야 한다 (Choi et al., 2017). 다양한 분야에서 다변량 분석을 통해 밝혀지지 않은 변수들과 사회현상에 관한 관계를 하나의 근사식으로 정형화하여 인과관계를 밝혀나가고 있으며, 본 연구에서는 이러한 분석기법과 연도별 시설물 현황자료를 통해 기후변화와 시설물의 성능 변화에 대한 관계를 나타내는 모델을 개발하고자 하였다.

양·배수장 성능평가 모델 개발에 사용한 데이터는 총 30개의 대상시설들의 각 시설별 2008~2017년의 총 10개년 간 연별 패널데이터이다. 전체 데이터 중 80%는 모형의 학습을 위한 input 자료로 구성하고, 나머지 20%는 모형의 검정을 위해 사용하였으며, 데이터 구성은 시설별/연도별 정기안전점검결과를 환산한 종합점수를 종속변수로 설정하고, 나머지 요소들을 독립변수로 설정하여 매개변수를 추정하였다. 데이터 분석을 위해 다변량 분석기법 중 통합최소제곱법모형 (POLS, pooled ordinary least squares), 패널데이터 임의효과모형 (RE, random effects), LASSO (least absolute shrinkage and selection operator) 모형을 설정하였으며, 각각의 모형에 대하여 MSE 검정을 통해 오차가 가장 적은 모형을 최종 선정하였다.

1) POLS

POLS는 여러시점의 패널데이터를 통합하여 보통최소제곱 (OLS) 에 의해 추정량을 도출하는 방법으로 관측 시점의 차이를 시간 더미변수로 변환시켜 분석방법이 단순해져 쉽게 추정이 가능하지만, 변수들 간 정적 관계만을 추정할 수 있어 오차항 u_{it} 에 시계열 상관성이 존재할 경우, POLS 추정량은 효율적이지 않을 수 있다 (Han, 2017). X_{it} 를 독립변수들의 벡터, y_{it} 를 종속변수, u_{it} 를 오차라 할 때, Eq. (1)과 같은 회귀식을 설정한다.

$$y_{it} = X_{it}\beta + u_{it} \quad (1)$$

위 모형에서 β 가 개체 및 시간에 관계없이 일정하고, 오차항과 독립변수가 독립이라고 가정하면 OLS 추정량을 도출할 수 있다. 각 시기에 따라 OLS 추정량 $\hat{\beta}_t$ 를 도출하였을 때, POLS 추정량 $\hat{\beta}$ 은 $\hat{\beta}_t$ 들의 가중평균으로 도출된다.

2) RE

RE는 패널데이터의 시차변수를 횡단면 자료와 함께 사용하여 시계열 측면과 횡단면 측면을 동시에 고려하고 효율적인 추정치를 제공할 수 있다 (Min and Choi, 2009). Eq. (1)에서의 오차 u_{it} 에서 시계열 상관성이 존재할 경우 Eq. (2)와 같이 두

성분으로 나누어 계산한다.

$$u_{it} = \mu_i + \epsilon_{it} \quad (2)$$

여기서, μ_i 는 시간에 걸쳐 변하지 않으며 개체의 특성에 의해 결정되는 개별효과 (individual effect)이고 ϵ_{it} 는 개체와 시간에 걸쳐 변화하는 고유오차 (idiosyncratic error)이다. 또한, μ_i 와 ϵ_{it} 가 서로 비상관이고, μ_i 가 i 에 걸쳐 동일한 분산을 가지며, ϵ_{it} 가 i 와 t 에 걸쳐 비상관이며 등분산이라는 임의효과 가정을 만족한다면 총오차 u_{it} 의 분산과 공분산은 Eq. (3)과 같다.

$$E(u_{it}u_{js}) = \begin{cases} \sigma_\mu^2 + \sigma_\epsilon^2, & i = j, t = s \\ \sigma_\mu^2, & i = j, t \neq s \\ 0, & i \neq j \end{cases} \quad (3)$$

해당 오차항의 분산-공분산 행렬을 통해 일반화최소자승추정법 (generalized least square)으로 추정량을 도출하는 것이 RE이다. 임의효과 추정량은 임의효과 가정이 만족된다면 BLUE (best linear unbiased estimator)이며, 패널데이터의 집단 내 효과 (within effect, 각 개체 내에서 시간에 걸쳐 일어나는 변화에 의한 효과)와 집단 간 효과 (between effect, 각 시간 내에서 개체 간 효과)를 모두 반영한다는 특징이 있다. 그러나 n (개체 수)와 t (기간 수)가 적을 경우 POLS에 비해 효율적인 추정량을 제공하지 않을 수도 있다 (Han, 2017). LASSO와의 모형 비교를 위해 LASSO를 통해 선택된 변수의 데이터를 시설별 연별 패널데이터 자료로 구성하여 STATA 소프트웨어의 패널 데이터 임의효과 분석방법을 이용하였으며, 연별 성능평가 예측값을 결과값으로 하는 모형의 매개변수 추정을 수행하였다.

3) LASSO

LASSO는 변수 선택과 정규화를 동시에 시행하여 모형의 설명력을 높이고 효율적인 추정량을 얻는 회귀분석 기법이다. 이는 기본적인 최소자승추정법에 독립변수의 매개변수에 관한 제약을 부과함으로써 독립변수 중 모형의 설명력과 관련 있는 부분집합만을 선별함으로써 이루어진다. LASSO는 Eq. (4)의 해를 통해 매개변수를 도출한다.

$$\operatorname{argmin}_{\beta_0, \beta} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \beta_0 - x_i^T \beta)^2 \right\} \quad s.t. \sum_{j=1}^p |\beta_j| \leq t \quad (4)$$

여기서, t 는 회귀계수 값에 대하여 축소 정도를 조절하는 조절 모수이다. t 를 적당히 작게 설정할 경우, 모형 설명력 측면에서 중요하지 않은 모수의 값은 0이 되어 모형에서 제외된다. 이를 통하여 변수 선택이 이루어지며, 독립변수 간의

다중공선성을 해결할 수 있다. 그러나 독립변수들의 중요도가 전체적으로 비슷한 경우 효율적이지 않다 (Hastie et al., 2001). LASSO 추정량에는 편향이 존재하지만 OLS에 비해 효율적이고 모형의 설명력이 개선될 수 있다.

나. 성능평가 모델의 설정

다수의 변수가 존재할 때, 이를 모두 모형에 포함하면 다중공선성 문제가 발생하거나 모형의 설명력을 과대평가할 수 있다. 따라서 이를 해결하기 위해 불필요한 변수가 제거되는 과정이 필요하다. 기존 데이터의 41개의 독립변수 중 자체적으로 변수가 제거되는 LASSO는 변수의 제거과정 없이 그대로 분석하여 자동적으로 주요변수만을 선택하게 하였으며, 다른 두 모형의 경우 LASSO에서 다중공선성의 문제를 일으키는 매개변수가 0이 되는 변수를 제외하고 선택된 20개의 변수만을 POLS와 RE에서 변수로 포함하였다. 또한 독립변수 중 대표성을 가지며 결측치 혹은 오류로 의심되는 값이 적은 자료를 선정하여 기상요인 별로 하나 혹은 두 가지 자료만을 반영하였다. 이에, 기온은 ‘연평균기온’을, 습도는 ‘평균상대 습도’를, 풍속은 ‘평균풍속’과 ‘폭풍일수’를, 강수량은 ‘연강수량총량’을 반영하였다 (Table 4).

Table 4 Selection of parameters for meteorological data analysis

Factor	Meteorological variable
Temperatures	Average annual temperature
Humidity	Average relative humidity
Wind velocity	Average wind speed, the number of storm days
Precipitation	Annual total amount of precipitation

4. 성능평가 예측을 위한 기후변화 시나리오 적용

본 연구에서는 기후변화 시나리오 중 KMA (Korea Meteorological Administration) 에서 제공하는 RCP 시나리오 중 온실가스 저감 정책이 어느 정도 실현되는 경우를 상정한 RCP 6.0에 의한 기후변화 예상 자료를 활용하여 기후변화를 고려한 성능평가를 예측하고자 하였다. 독립변수 중 기상요인의 경우 연평균기온과 그 제곱, 그리고 연강수량총량은 RCP 6.0에 의한 예측자료를 활용하였으며, RCP 시나리오에서 제공되지 않은 기타 기상요인은 2008~2017년 기상자료의 평균값을 적용하였다. 통계모형 별 회귀분석 결과 모형의 설명력이 가장 높은 분석모형과 RCP 6.0에 의한 기상예측자료를 통해 향후 10년간의 양·배수장의 종합점수 추정치를 산정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 기상하중을 고려한 성능평가 모델 개발

가. 통계 모형별 회귀분석 결과

LASSO를 통해 41개의 독립변수 중 매개변수가 0이 되는 변수를 제외한 주요 독립변수만을 선택해 POLS, RE, LASSO 각각의 통계 모형별 회귀분석 결과에 의해 도출된 매개변수와 p-value 및 구성식은 Table 5와 Eq. (5)와 같다. LASSO의 경우 모든 독립변수가 모델에 포함되지 않기 때문에 p-value가 생략되었다 (Efron et al., 2004).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n \quad (5)$$

공통적으로 세 모형 모두 통계적 유의성에 상관없이 성능평가 결과가 연평균기온과 시설 개보수비에 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 세 모형 중 POLS는 기상요인의 경우, 5% 유의수준에서는 ‘연평균기온’과 그 제곱만이 통계적으로

유의하였다. 이는 양·배수장의 노후화와 관련하여 최적의 기온이 존재하며, 해당 값에 도달하기 전까지는 기온 증가가 양·배수장 평가 종합점수에 긍정적 영향을 주는 반면 해당 값보다 기온이 증가할 경우 종합점수에 부정적인 영향을 줄 수 있음을 시사한다. 기상요인 외에 시설 제원과 관련된 독립변수들 중에는 ‘준공 후 경과기간’, ‘수해면적’, ‘한발빈도’, ‘제방표고’, ‘최대양수량’, ‘전동기 총마력’, ‘홍수빈도’, ‘일일평균운전시간’ 등 다양한 요인이 5% 유의수준에서 통계적으로 유의하였다. 따라서 성능평가 결과는 기상요인보다는 설정한 시설 제원과 관련된 요소와의 관계가 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의하고 있음을 알 수 있다. RE는 단순회귀분석 모형과 비교하여, 대부분의 매개변수가 통계적으로 유의하지 않아 모형 설정이 올바르게 되지 않았을 것으로 추정된다. LASSO를 살펴보면, POLS에서는 기온 관련 기상인자만이 통계적으로 유의한 반면, LASSO에서는 기온·습도·풍속·폭풍일수·강수량 등의 기상인자가 변수 선택 과정에서 제거되지 않았다. 그러나 기온과 폭풍일수를 제외한 기상인자의 매개변수가 0에 근접하므로, 해당 요인이 양·배수장의 종합점

Table 5 Result of statistical analysis by POLS, RE, and LASSO regression method

Components		POLS		RE		LASSO
		β_i	Pr(> t)	β_i	Pr(> z)	β_i
(Intercept)	(β_0)	-348,598	0.005***	-57,295	0.664	-252,840
Average annual temperature (°C)	X_1	63.452	0.001***	18,256	0.349	49,014
Average annual temperature ²	X_2	-2,398	0.001***	-0,691	0.355	-1,848
Average relative humidity (%)	X_3	0.028	0.889	-0,051	0.830	0,030
Average wind speed (m/s)	X_4	0.161	0.470	0,372	0.075	0,140
Storm days (Day)	X_5	2,246	0.060*	1,643	0.088	2,108
Annual precipitation (100 mm)	X_6	-0,219	0.442	-0,127	0.588	-0,258
Elapsed time (year)	X_7	-0,469	0.000***	0,009	0.949	-0,472
Benefited area (ha)	X_8	0.008	0.000***	0,011	0.030**	0,008
Frequency of drought (year)	X_9	1,348	0.000***	1,277	0.016**	1,321
Flood frequency (year)	X_{10}	-0,093	0.019**	-0,106	0,261	-0,091
Embankment elevation (m)	X_{11}	0.118	0.001***	0,155	0.053*	0,116
Maximum pumped water (m ³ /sec)	X_{12}	-2,093	0.010***	-3,402	0.090*	-2,037
Average daily operation hour (hr)	X_{13}	-0,397	0.030**	-0,443	0,331	-0,387
Osmotic volume (mm)	X_{14}	-0,257	0.308	-0,192	0,758	-0,237
Waterway loss (%)	X_{15}	0,572	0.003***	0,352	0,474	0,545
Total power of the motor (HP)	X_{16}	0,000	0,941	0,001	0,696	0,000
Power uptime (hr)	X_{17}	0,000	0,514	-0,001	0,202	0,000
Maintenance cost (Dummy)	X_{18}	-0,021	0,994	3,060	0,174	-0,047
Facility renovation fee (Dummy)	X_{19}	19,348	0,135	18,828	0,016**	19,077
Distance to the coast (km)	X_{20}	0,072	0,228	0,043	0,742	0,066

* 10% statistical significance at significance level; ** 5% statistical significance at significance level

*** 1% statistical significance at significance level

수에 미치는 영향은 매우 낮을 것으로 추정되었다. 연평균기온의 경우 그 변수의 1 차 제공항과 2 차 제공항이 변수로 선택되었으며 각각의 매개변수는 49.014, -1.848로 산정되었다. 이는 양·배수장의 성능평가가 연평균기온의 2차 항으로 계산됨을 뜻하며, 해당 2차 항에서 최대의 성능평가 점수를 도출하는 연평균기온은 이차항의 극점인 13.261로 계산된다. 이는 연평균기온이 약 13°C일 때 최대의 성능평가 점수가 도출될 수 있으며, 이보다 기온이 낮거나 높을 경우는 성능저하가 발생함을 의미한다. 즉 성능을 위한 유지관리 측면에서 최적의 연평균기온은 13°C로 나타났다.

나. 검정 및 회귀모형의 선정

통계적 유의성이 낮게 도출되어 모형의 설명력이 매우 낮은 패널데이터 임의효과 모형을 제외한 POLS와 LASSO를 이용하여 모델 설정에 사용되지 않은 전체 데이터의 20%에 해당하는 60 개 표본에 대한 종속변수의 추정치를 도출하고, 이를 종속변수의 참값과 비교하는 검정과정을 진행하였다. 검정 방법은 결정계수의 경우 모형 간 편차 차이 등에 의해 정확성이 다르게 측정될 수 있기 때문에, 예측 모형간의 비교에 보편

적으로 사용하고 있는 MAE와 MSE 중 전체 데이터의 오차를 더 잘 반영하는 MSE를 통한 검정방법을 이용하여 예측 데이터의 정확성을 판단하고 모형의 정확성을 비교하고자 하였다 (Nau, 2018; Singh, 2019). 따라서 두 모형간 평균제곱오차 (MSE, mean squared error)비교를 통해 MSE값이 작은 LASSO를 최종 평가 모델로 선정하였다. LASSO를 이용한 성능평가 모델의 검정 결과 MSE는 161.82로 나타났으며, 이에 따른 평균 제곱근 오차 (RMSE, root mean square error)는 12.72로 나타났다.

해당 모델 구축에 사용된 데이터로 정기안전점검에 의한 결과값을 종속변수로 사용하였는데, 성능이 저하된 정도를 나타낼 수 있는 특정 연도와 그다음 연도와와의 정기안전점검 결과의 차이를 종속변수로 사용하는 경우에 대해서도 통계 모형 구축을 수행하였다. 그러나 이 경우 모든 종속변수들의 통계적 유의성이 매우 낮아 통계적 유의성이 없음을 확인하였다. 이는 성능이 저하된 정도를 나타내는 연도별 정기안전점검 결과의 차이가 대부분의 데이터에서 0의 값을 가지고 있어 이에 따라 성능저하의 정도를 회귀식을 이용해 추정하는 것은 어려운 것으로 분석되었다. 따라서 해당 성능평가 모델을 이

Table 6 Test results of performance evaluation model through statistical analysis

Sample	True value	POLS estimate	LASSO estimate	Sample	True value	POLS estimate	LASSO estimate
1	60.00	69.17	68.82	31	80.00	86.13	85.51
2	60.00	66.23	65.92	32	80.00	85.28	84.67
3	80.00	63.51	63.68	33	80.00	90.16	89.88
4	70.00	62.61	62.60	34	80.00	79.29	79.76
5	80.00	96.72	96.77	35	80.00	76.31	77.61
6	100.00	94.40	93.94	36	100.00	81.67	81.07
7	60.00	87.61	87.46	37	100.00	81.07	80.71
8	60.00	89.34	88.79	38	100.00	81.36	81.39
9	100.00	100.00	100.00	39	80.00	80.27	79.80
10	80.00	74.92	75.30	40	80.00	73.91	73.75
11	80.00	77.21	76.57	41	80.00	86.04	85.17
12	80.00	76.78	76.15	42	100.00	99.55	98.80
13	80.00	73.46	73.57	43	85.00	97.91	97.43
14	60.00	63.03	63.69	44	80.00	95.58	95.14
15	60.00	63.86	64.64	45	80.00	97.29	96.93
16	60.00	60.64	61.58	46	93.33	85.15	85.17
17	50.00	64.62	64.88	47	100.00	87.76	86.89
18	80.00	76.66	77.28	48	64.00	64.15	64.20
19	100.00	79.45	81.54	49	80.00	66.44	66.21
20	80.00	79.29	78.81	50	100.00	94.49	94.00
21	80.00	79.00	78.56	51	100.00	100.00	100.00
22	65.00	74.95	75.47	52	96.67	83.13	83.13
23	60.00	73.68	73.17	53	60.00	71.24	71.08
24	60.00	75.16	74.50	54	60.00	69.56	69.85
25	60.00	72.34	71.84	55	80.00	76.24	75.78
26	60.00	68.85	69.20	56	80.00	73.92	74.02
27	80.00	65.56	65.90	57	100.00	68.58	69.55
28	40.00	65.48	65.07	58	60.00	69.41	69.36
29	40.00	62.73	62.48	59	80.00	66.25	66.27
30	80.00	60.96	61.17	60	80.00	66.99	66.85
M S E						185.84	161.82

용한 성능의 예측을 위해서는 정기안전점검 결과의 연도별 차이가 아닌 기존과 같이 정기안전점검 결과를 종속변수로 사용하여 통계 모형을 구축하였다. 전체 300 개의 표본의 20%에 해당하는 60 개의 표본에 대해 과거 구축자료인 정기안전점검 결과를 참값으로, 성능평가 모델을 이용한 성능평가 결과의 추정치를 비교하였다 (Table 6).

본 연구에서는 현재 농업기반시설물의 정기안전점검 결과 자료를 토대로 참값과 추정치의 차이가 20 미만인 경우, 추정치가 적절히 예측되었다고 판단하였으며, 선택된 LASSO의 임의표본 검정결과 약 91.2%의 예측 정확도를 나타내어, 적절하게 예측한다고 판단하였다.

2. 기후변화를 고려한 성능평가 예측모델 개발

본 연구에서는 KMA (Korea Meteorological Administration)

에서 제공하는 RCP 시나리오 중 RCP 6.0에 의한 기후 예상 자료를 활용하여 앞서 선정된 LASSO과 결합하여 기후변화를 고려한 성능평가를 수행하였다. 독립변수 중 시설 제원 관련 변수의 경우 준공 후 경과기간은 미래 연도별로 계산하여 적용하였으며, 유지보수비 · 수리시설개보수비, 더미변수 값은 0으로 설정하여 이전 기에 별도의 보수가 발생하지 않은 상황을 상정하였다. 기타 변수들은 시설 제원을 그대로 적용하였다. 성능이 저하된 정도를 나타내기 위해서는 통계 모형의 결과로 나타난 성능평가 결과 추정치의 차이를 이용하였다. t 연도에서 Y_t 의 성능평가 결과가 도출되고, 다음 해인 $t+1$ 연도에서의 성능평가 결과가 Y_{t+1} 로 도출될 경우, $Y_{t+1} - Y_t = \delta_{t+1}$ 의 값을 $t+1$ 연도에서의 성능저하 정도로 이용하였다. 성능이 저하된 정도를 나타낸 성능저하는 성능평가 모델의 결과에서 전년도 대비 그 값이 하락하였을 경우 그 차이를 성능저하로, 그리고 그 값이 변화가 없거나 증가하였을 경우 0의 값을

Table 7 Performance evaluation score prediction using performance evaluation model

Station No.	17'		18'		19'		20'		21'		22'		23'		24'		25'		26'	
	Rating*	δ^{**}	Rating	δ	Rating															
1	80	0	80	-5.5	74.5	0	74.5	-0.1	74.4	0	74.3	-1.9	72.4	-4.8	67.7	0	67.7	-0.2	67.4	
2	50	0	50	-5.5	44.5	0	44.5	0	44.5	-0.2	44.3	-2.7	41.6	-4.6	37.1	0	37.1	0	37.1	
3	50	0	50	-4.5	45.5	0	45.5	0	45.5	-0.5	45	-1.1	43.9	-5.8	38.1	0	38.1	-0.1	38.1	
4	80	0	80	-9	71	0	71	0	71	-0.7	70.3	-5.2	65.2	-6.5	58.7	0	58.7	0	58.7	
5	100	0	100	-14	85.7	0	85.7	0	85.7	0	85.7	-9	76.7	-7.2	69.5	0	69.5	0	69.5	
6	80	0	80	-9.2	70.8	0	70.8	-1.5	69.3	0	69.3	-6.8	62.6	-7.3	55.3	0	55.3	0	55.3	
7	80	0	80	-5.2	74.8	0	74.8	-1.2	73.6	0	73.6	-2.9	70.7	-2.8	67.9	0	67.9	0	67.9	
8	100	0	100	-2.4	97.6	0	97.6	-0.7	96.9	-0.2	96.7	-1.1	95.6	-0.8	94.9	0	94.9	-0.8	94.1	
9	80	0	80	-2.7	77.3	0	77.3	-0.6	76.7	-0.1	76.6	-0.9	75.7	-1.4	74.3	0	74.3	-0.8	73.5	
10	80	0	80	-3.5	76.5	0	76.5	-0.6	75.8	0	75.8	-1.5	74.3	-0.8	73.5	0	73.5	-0.4	73.1	
11	100	0	100	-2.7	97.3	0	97.3	-0.7	96.6	-0.2	96.4	-0.8	95.6	-0.9	94.8	0	94.7	-0.9	93.8	
12	60	-3.2	56.8	-8.4	48.4	0	48.4	-2.8	45.7	-3.2	42.4	0	42.4	-5	37.4	0	37.4	0	37.4	
13	80	-0.9	79.1	-9.2	69.9	0	69.9	-3.6	66.2	0	66.2	-1	65.3	-3.6	61.7	0	61.7	0	61.7	
14	100	-2.2	97.8	-11	86.5	0	86.5	-5.5	81	0	81	-0.3	80.7	-4.9	75.8	0	75.8	0	75.8	
15	60	0	60	-2.6	57.4	0	57.4	-0.7	56.7	-0.3	56.4	-2	54.4	-1.2	53.1	0	53.1	-0.8	52.4	
16	40	0	40	-1.9	38.1	0	38.1	-0.6	37.5	-0.4	37	-1.7	35.3	-1.1	34.2	0	34.2	-1.1	33.1	
17	80	0	80	-3.6	76.4	0	76.4	-1.5	74.9	0	74.9	-3.6	71.2	-0.7	70.6	0	70.6	0	70.6	
18	80	-0.6	79.4	-9.8	69.7	0	69.7	-5.5	64.2	0	64.2	-3.8	60.4	-1.5	58.9	0	58.9	0	58.9	
19	80	-0.4	79.6	-4.3	75.4	0	75.4	-2.1	73.3	0	73.3	-1.9	71.4	-0.9	70.6	0	70.5	0	70.5	
20	100	-0.8	99.2	-5.4	93.8	0	93.8	-2.5	91.4	0	91.4	-2.6	88.8	-3.1	85.7	0	85.7	0	85.7	
21	100	-0.8	99.2	-5.2	94	0	94	-2.4	91.6	0	91.6	-2.4	89.2	-2.2	87	0	87	0	87	
22	80	-1	79	-0.7	78.3	0	78.3	-1.1	77.1	0	77.1	-0.8	76.3	-0.6	75.7	-1	74.7	-0.5	74.2	
23	65	-1	64	-0.9	63.1	0	63.1	-1.1	62	0	62	-0.9	61.1	-0.5	60.5	-1.2	59.4	-0.2	59.2	
24	80	-0.9	79.1	-0.5	78.6	-0.7	78	0	78	-0.7	77.3	-0.3	76.9	-0.4	76.5	-1.1	75.4	-1.5	73.9	
25	40	-0.9	39.1	-0.5	38.6	-0.7	38	0	38	-0.7	37.3	-0.3	36.9	-0.4	36.5	-1.1	35.4	-1.5	33.9	
26	85	-0.9	84.1	-1.3	82.8	0	82.8	-0.1	82.7	-0.5	82.2	-0.5	81.7	-0.6	81.2	-1	80.2	-0.9	79.2	
27	60	-0.5	59.5	-0.3	59.2	-0.2	59	-0.6	58.4	-0.8	57.6	-0.3	57.3	-0.1	57.3	-1.2	56	-1.5	54.6	
28	80	-1.7	78.3	0	78.3	-2	76.3	-0.7	75.6	-1.9	73.7	-0.1	73.6	0	73.6	-2.3	71.2	-3.6	67.6	
29	85	-1.5	83.5	0	83.5	-4.6	78.9	0	78.9	-1.4	77.5	0	77.5	0	77.5	-3.4	74.1	-3.3	70.8	
30	80	-0.8	79.2	-1.4	77.8	0	77.8	-1.5	76.3	0	76.3	-1.1	75.2	-0.5	74.7	-1.2	73.5	-0.1	73.4	

* Measurement data

** Performance degradation

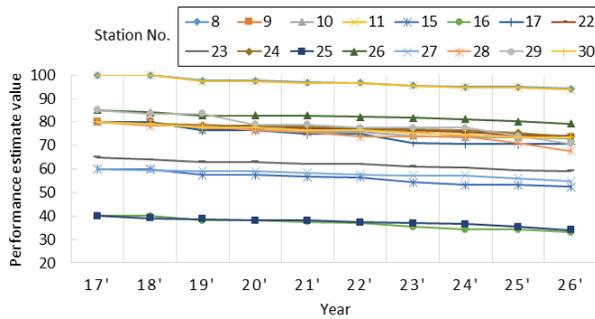


Fig. 1 The group without notable performance degradation

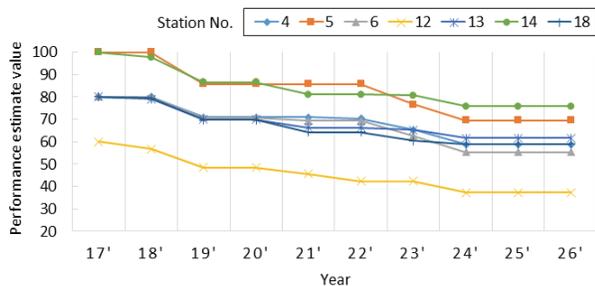


Fig. 2 The group with notable performance degradation

성능저하 값으로 설정하였다. 또한, 2017년을 기준으로 해당 연도의 정기안전점검 결과로부터 성능저하 값을 시간에 따라 미래의 성능평가 점수를 예측하였다. 이를 토대로 기후변화 시나리오를 적용한 향후 10년간의 양·배수장 종합점수 추정치를 도출하였다 (Table 7). 그리고 도출된 성능평가 추정값을 성능저하에 큰 변화가 없는 집단과 두드러진 성능저하가 나타난 집단을 나누어 그래프로 그 추이를 살펴보았다 (Fig. 1, Fig. 2).

성능평가모델을 이용한 기후변화 성능평가 추정치를 살펴보면 가장 큰 성능저하 누적값이 나타난 곳은 외삼포양수장으로 30.5의 성능저하가 일어나 2017년 100 점의 성능평가 점수가 2026년 69.5로 떨어질 것으로 예측하였다. 가장 적은 성능저하가 발생한 곳은 장암2양수장으로 5.4 값만큼의 성능저하가 일어나 2017년 60 점의 성능평가 점수가 2026년 54.6으로 떨어질 것으로 예측되었다. 지역별로 살펴보면 남부서안형, 거창지역을 제외한 남부내륙형, 대구형, 남해안형 지역에서는 향후 10년간 기후변화에 따른 성능저하 정도가 크지 않으며 서서히 성능이 저하되는 양상을 보였다. 그러나 남부 동안형 기후대에서 전체적으로 큰 성능저하가 나타나고 있으며 중부 내륙형 지역 및 파주, 거창지역에서도 대체로 큰 성능저하가 나타났다. 이를 토대로 기후대별로 성능저하 정도가 다르게 나타나고 있음을 파악할 수 있었다. 이는 모형 구축 결과 다른 성능저하 요인들보다 온도의 매개변수가 높아 기후변화 시나리오에서 지역별로 예측하는 온도 추정치가 성능평가 결

과에 큰 영향을 미쳤기 때문인 것으로 분석된다. 또한 적용된 기후변화 시나리오의 경우 과거 실측데이터와 비교했을 때, 일부 지역에서 데이터의 불연속성이 존재하였다. 성능평가 모델을 구축하는데 이용된 2008년부터 2017년까지의 기상데이터와 2018년부터 2026년까지 적용된 기후변화 시나리오의 기상데이터를 연결해보았을 때, 2017년에서 2018년을 변화할 때는 전체적으로 큰 변화가 없었으나 2018년에서 2019년으로 변화할 때는 7 개 대상시설에서 큰 변화가 나타났다. 이는 기후변화 시나리오 자체가 예측모델로서 그 불확실성이 크기 때문이며, 이에 따라 오랜 기간 동안의 추세를 보여줄 수는 있지만 짧은 기간 (1년~4년)의 예측 정확도는 떨어진 것으로 분석된다.

IV. 결론

본 연구에서는 농업기반시설물 중 양·배수장의 효율적인 시설물 운영관리와 유지보수 의사결정 지원, 그리고 기후변화에 대응하기 위해 시설물의 성능저하 요인 도출 및 기후변화 대응 성능 평가모델을 개발하였다. 대한민국 지리적 기후 구분 체계를 이용해 8 개의 기후대별로 30 개의 대상 시설을 선정하였으며, 농업기반시설물 성능평가 사례 분석을 바탕으로 각 시설물의 개별평가요소인 종합, 토목, 건축, 기계, 전기 항목의 성능 (이수/치수/통합) 카테고리 나눈고, 기후노출, 민감도, 적응능력의 3 가지로 구분한 기후변화 대응변수를 선정하여 구분하였다. 시설물의 각 요소별 성능 저하요인을 추려내기 위해 한국농어촌공사 RIMS DB 자료를 이용하였으며 시설제원, 가동월보, 개보수현황, 유지보수현황, 전기사용료 및 정기안전점검 및 정밀안전진단 결과보고서를 참고하여 성능저하 요인을 도출하고 데이터를 수집하였다. 도출해낸 성능저하 변수 및 기후변화 대응변수들은 하중자료로 범주화 하여 성능평가모델의 입력변수로 정리하였다.

성능평가 모델을 개발하기 위해 다변량 분석 방법인 POLS, RE, LASSO 분석을 수행하였으며, 다중공선성 문제를 해결하기 위해 LASSO에서 선택된 변수만을 POLS와 RE에서 변수로 포함하였다. 성능평가 결과 기상요인보다는 시설 제원과 관련된 요소의 영향이 더 크다고 분석되었다. RE를 제외한 POLS와 LASSO를 이용하여 모형 설정에 사용되지 않은 20%의 표본에 대한 종속변수의 추정치 참값을 비교하는 검정과정을 수행하였으며, 평균제곱오차 분석을 통해 모형의 정확도가 높은 LASSO가 최종 평가 모델로 선정되었다.

개발한 성능평가 모델을 바탕으로 향후 기후변화를 예측하기 위해, IPCC 기후변화 보고서를 참고하여 RCP 6.0시나리오를 기반으로 기상하중에 따른 2020년까지의 성능평가 예측

모델을 제시하였다. 성능평가 예측 결과 기후대별로 성능저하 정도가 다르게 나타나고 있음을 파악할 수 있었으며, 이는 모형 구축 결과 다른 성능저하 요인들보다 온도의 매개변수가 높은 만큼 미래 기후변화 시나리오에서 지역별로 예측하고 있는 온도 추정치에 따라 성능평가 결과가 기후대별로 다르게 나타나고 있음을 분석하였다. 그러나 기후변화 시나리오 자체의 한계점과 제안한 성능평가 모델의 평가방법이 기상자료 중 온도에 대한 가장 높은 매개변수를 부여하고 있어 기후변화에 따른 성능저하 원인 및 정도를 제한적으로 규명하였다고 분석된다. 또한 기후변화 시나리오의 적용 결과 일부 지역에서 데이터의 불연속성이 존재하였다. 이에 따라 오랜 기간 동안의 추세를 보여줄 수는 있지만 짧은 기간의 성능저하 정도를 파악하기 위해서는 기후변화 시나리오가 아닌 실측 기상데이터를 사용해야 하며, 성능평가 모델을 이용해 다음 연도의 성능평가 점수를 예측하기 위해서는 전년도가 끝나는 시점에서 전년도에 대한 새로운 기상데이터를 추가 입력자료로 사용하여 성능저하 정도를 도출해낼 필요가 있을 것으로 판단된다. 또한 향후 다른 기후변화 시나리오를 사용하거나, 시간이 지남에 따라 시설 제원이 달라지는 점 등을 추가로 가정할 경우 핵심적인 내용이 변화할 수 있으므로 이와 관련하여 다양한 후속 연구가 필요할 것으로 분석된다. 기간이 비교적 짧은 시나리오를 적용하여 미래의 성능평가 결과를 예측한 것은, 해당 평가 모델을 구축하는데 지난 10년간의 비교적 짧은 기간만의 데이터를 이용하였기 때문이며, 그 이상의 자료에 대해서는 본 성능평가 예측모델 구축에 필요한 변수 데이터의 결측으로 이용할 수 없었다는 한계점이 있었다. 그러나 향후 성능저하와 관련된 요인들의 과거 빅데이터 구축을 통해 이러한 한계점을 극복하고 성능평가 모델의 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 “농업기반시설물 성능저하 요인분석 및 평가항목 개발” 과제의 일환으로 농어촌연구원의 연구비 지원 및 서울대학교 교내 지원사업에 의하여 수행되었습니다.

REFERENCES

- Choi, J. M., 2017. Creation of Korean standard weather data of 70 stations for securing reliability of a building energy evaluation and its Globalization, 6-89. Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- Choi, C. H., J. S. Kim, J. H. Kim, H. Y. Kim, W. J. Lee, and H. S. Kim, 2017. Development of heavy rain damage prediction function using statistical methodology. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 17(3): 331-338 (in Korean). doi:10.9798/KOSHAM.2017.17.3.331.
- Choi, W., H. J. Kim, S. S. Yoon, J. O. Kim, N. S. Jung, H. J. Lee, Y. C. Han, and J. J. Lee, 2008. Survey for the management of reservoirs under control of local authorities of reservoir of city · gun in Korea. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 50(3): 31-41 (in Korean).
- Efron, B., T. Hastie, I. Johnstone, and R. Tibshirani, 2004. Least angle regression. *Journal of the Annals of Statistics* 32(2): 407-499.
- Han, C. R., 2017. *Lectures on Panel Data Analysis*. Seoul: Bakyounsa.
- Hastie, T., J. Friedman, R. Tibshirani, 2001. *The Elements of Statistical Learning [electronic resource] : Data Mining, Inference, and Prediction*. New York, NY : Springer New York : Imprint: Springer.
- IPCC, 2014. Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Geneva, Switzerland: IPCC.
- Kim, H. D., 2018. Development of stability evaluation and management technique for agricultural production infrastructure due to climate change impacts, 7-172. Sejong: Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
- Kim, J. O., H. J. Kim, J. J. Lee, and M. K. Ko, 2002. Supporting system for safe appraisal and management of agricultural structures using relational database and geographic information. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 44(3): 101-110 (in Korean).
- Kim, K. S., 1976. Climate of Korea. Seoul: ilmuna.
- Kim, S. J., S. J. Bae, J. Y. Choi, S. P. Kim, S. K. Eun, S. H. Yoo, T. I. Jang, N. Y. Goh, S. W. Hwang, S. J. Kim, T. S. Park, K. H. Jeong, and S. H. Song, 2018. Analysis on the impact of climate change on the survey of rural water district and agricultural production infrastructure. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 60(5): 1-15 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2018.60.5.001.
- Kim, S. J., S. M. Kim, and S. M. Kim, 2013. A study on the vulnerability assessment for agricultural infrastructure using principal component analysis. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 55(1): 31-38 (in Korean).

- doi:10.5389/KSAE.2013.55.1.031.
13. Kim, Y. S., K. M. Shin, M. P. Jung, I. T. Choi, and K. K. Kang, 2016. Classification of agroclimatic zones considering the topography characteristics in South Korea. *Journal of Climate Change Research* 7(4): 507-512 (in Korean). doi: 10.15531/ksccr.2016.7.4.507.
 14. Korea Meteorological Administration, Domestic climate data. <http://www.weather.go.kr>. Accessed 5 Nov. 2018.
 15. Korea Meteorological Administration, RCP Climate Change Scenario. <http://www.climate.go.kr>. Accessed 5 Nov. 2018.
 16. Korea Rural Community Corporation, 2018. Statistical yearbook of land and water development for agriculture 2017, 462-463. Naju, South Jeolla, Korea.
 17. Lee, C. B., N. S. Jung, S. K. Park, and S. O. Jeon, 2015. A study on the typology of agricultural reservoir for effective safety inspection systems. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(5): 89-99 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2015.57.5.089.
 18. Lee, J. G., M. W. Kim, and T. H. Shin, 2011. Assessment of Appropriate Period and Cost(P&C) of Repair and Improvement for Irrigational Structures. *Journal of Korean National Committee on Irrigation and Drainage* 18(2): 142-160 (in Korean).
 19. Lee, J. J., 2011. Integrated safety management system for agricultural infrastructure in response to climate change. *Rural Resources* 53(3): 2-8 (in Korean).
 20. Lee, S. H., I. H. Heo, K. M. Lee, and W. T. Kwon, 2005. Classification of local climatic regions in Korea. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* 41(6): 983-995 (in Korean).
 21. Min, I. S., and P. S. Choi, 2009. STATA panel data analysis. Seoul, The Korean Association of STATA.
 22. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2017. Ordinance on management of agricultural production infrastructure (7 Dec. 2017), Sejong, Korea.
 23. Myeong, S. J., and D. G. Lee, 2009. Assessing vulnerability to climate change of the physical infrastructure in Korea through a survey of professionals. *Journal of Environmental Impact Assessment* 18(6): 347-357 (in Korean).
 24. Myung, S. J., 2009. Assessing vulnerability to climate of the physical infrastructure in Korea and developing adaptation strategies I, 8-109. Seoul: Korea Environment Institute.
 25. Myung, S. J., 2010. Assessing vulnerability to climate of the physical infrastructure in Korea and developing adaptation strategies II, 45-92. Seoul: Korea Environment Institute.
 26. Nau, R., 2019. What's the bottom line? How to compare models. <https://people.duke.edu/~rnau/compare.htm>. Accessed 7 May. 2019.
 27. Park, K. T., 2017. Development of evaluation techniques for performance-based management and operation of SOC facilities in Korea, 469-519. Anyang, Gyeonggi: Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement.
 28. RAWRIS (Rural Agricultural Water Resource Information System), <http://rawris.ekr.or.kr>. Accessed 29 Oct. 2018.
 29. RIMS (Rural Infrastructure Management System), <http://rims.ekr.or.kr>. Accessed 29 Oct. 2018.
 30. Singh, A., 2019. Evaluation metrics for regression models-MAE vs MSE vs RMSE vs RMSLE. <https://akhilendra.com/evaluation-metrics-regression-mae-mse-rmse-rmsle/>. Accessed 8 May. 2019.
 31. Yoon, K. S., 2017. Establishment database of safety diagnosis history and safety diagnosis for agricultural infrastructure, 178-338. Ansan, Gyeonggi: Korea Rural Community Corporation.