Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers
DOI : https://doi.org/10.5389/KSAE.2018.60.4.015

Vol. 60, No. 4, pp.15~25, July 2018
ISSN 1738-3692 | eISSN 2093-7709

재해분석을 통한 농업토목공사의 공종별 위험성 평가

Risk Assessment of Agricultural Construction Works using Accident Analysis and Analytic Hierarchy Process

양영진* · 오수훈*,† · 노재경**
Yang, Young Jin · Oh, Sue Hoon · Noh, Jae Kyoung

Abstract

The accident risk at the construction workplace associated with agricultural engineering is comparatively higher than those of other fields due mainly to its complex work types and processes. Agricultural engineering deals with a variety of agricultural infrastructures from irrigation and drainage facilities to giant-scale coastal reclamation land infrastructures. The characteristics that most agricultural projects have conducted on a small-scale even worsen the situation drawing low attentions to risk management. Therefore, systematical risk assessment that focuses on details of agricultural construction work process is required in order to enhance safety management capacity and to prevent repetitive accidents ultimately. This study aims to categorize construction work types and processes of agricultural construction works, and to quantitatively assess the accident risk of them based on accident analysis. Regarding classification of construction works, actual 827 accident cases were thoroughly reviewed and coded by their construction site, facility and work type, project scale and so on. Most accidents (71.8 % of total cases) occurred in small-scale construction workplaces with less than 5 billion Korean won project budget. And those accidents related to agricultural infrastructure project (37.4%) and agricultural water development project (22.4%). In terms of work types, accidents frequently took place in form-work followed by pipe installation work, steel bar work and concrete work. The potential risks were compared with actual outbreak of accidents based on Analytic Hierarchy Process (AHP). The results show that the potential conditions of accident expected to be took place is somewhat different from the actual conditions where accidents actually happened. This implicates that risk management manuals or education needs to be adjusted by reflecting unexpected circumstances. Overall, this study is meaningful in that the results could be foundations as to strengthen risk management capacity for agricultural engineering projects.

Keywords: Accident risk; risk assessment; accident analysis; agricultural engineering; work type

Ⅰ. 서 론

건설공사는 사회 고도화에 따라 복잡화・대형화 되고 있다. 신기술・신공법이 도입되고, 공사제약조건과 복합공종은 증가하고 있다. 이와 함께 건설 산업재해 발생빈도도 높아지고 있다 (Go et al., 2004). 국내 총 산업재해율은 2007년 0.72%에서 2016년 0.49%로 감소하고 있는 반면, 건설업 재해율은 동일기간 0.66%에서 0.84%로 증가하고 있다 (KOSHA, 2017). 산업재해 통계결과에 따르면 건설현장의 위험성은 공사규모가 작아질수록 높아진다. 공사금액 20억원 미만 소규모 현장의 재해율은 건설업 전체 평균 대비 약 4.5배이며, 사망자 발생비율은 전체 건설재해 사망자의 52.2%, 사고부상자는 전체 건설재해 부상자의 70.3%를 차지하는 것으로 집계되었다 (KOSHA, 2015).

농업생산기반정비사업으로 대표되는 농업토목건설은 공공편익 증진을 목적으로 하며, 대부분 국가사업으로 추진되고 있다. 농업토목건설의 정책기획, 입안, 평가는 농림축산식품부가 담당하고 있다. 농업토목공사의 설계, 발주, 감독, 유지관리는 농어촌정비법 제10조에 의거한 사업시행 주체로서 한국농어촌공사가 업무를 수행하고 있다. 농업토목건설은 간척지, 용・배수로, 농공단지, 저수지, 양・배수장 등 복합적인 평면시설 위주로서 일반건설에 비해 상대적인 시설규모가 작으며, 다양한 공간으로 구성되어 있다. 농업토목공사는 대규모 수원공개발이나 간척사업을 제외하고는 주로 소규모 공사 위주로 시행되며, 규모의 영세성에 의한 위험성이 내재되어 있다. 2017년 한국농어촌공사의 농업토목공사 발주물량 중 총 공사비 20억원 미만의 소규모 공사는 469건으로 전체 발주물량의 78.1%를 차지하였다 (KRC, 2017).

정부는 건설 산업재해 예방을 위해 산업안전보건법 제41조의2와 고용노동부 고시를 근거로 '위험성평가' 제도를 시행하

* Korea Rural Community Corporation, Rural Research Institute
** Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University
† **Corresponding author**
Tel.: +82-2-400-1705 Fax: +82-2-400-1794
E-mail: shoh@ekr.or.kr
Received: April 19, 2018
Revised: May 28, 2018
Accepted: May 28, 2018

고 있다. '위험성평가'란 사업장의 유해・위험요인을 파악하고, 해당 요인에 의한 부상 또는 질병의 발생 가능성과 중대성을 추정・결정하고, 감소대책을 수립하여 실행하는 일련의 과정을 말한다 (Ministry of Labor, 2017).

위험성평가는 일반건설업을 위주로 연구가 이루어져 왔다. 위험성평가 방법론과 관련하여 Kim (2000)은 위험성요소의 확인방법과 종류별 주요평가기법 등을 제시하였다. KICT (2000)는 MCS, Bayesian, Fuzzy 기법을 적용하여 건설프로젝트의 확률적 위험성을 분석하였고, 위험성평가를 위한 프로그램을 개발하였다. KOSHA (2011)에서는 일반건설업에 대한 공종별 위험성평가모델과 재해저감 대책을 매뉴얼로 제시함으로써 각 공사현장의 재해율을 낮추는데 기여하고 있다. Shin (2013)은 국내 건설공사 위험성평가 기법과 해외 제도의 비교분석을 통해 위험성평가의 제도화 전략과 적용방법론을 제시하였다. 건축공사에 대해서는 Go et al. (2004)과 Kim et al. (2016)이 건축공사 공종을 분류하고, 실제 재해사례를 분석하여 위험지수를 산정함으로써 발생 위험성을 평가하였다. Chang et al. (2007)과 Lee (2007)는 건축공사 중대재해 발생율과 AHP(Analytic Hierarchy Process)기법을 이용하여 공종별 잠재 위험성에 대해 분석하였다. 토목분야의 위험성에 대해서도 교량공사 (Lee et al., 2008; Seo, 2010), 철도공사 (Lee et al., 2016), 원자력발전소 (Lee et al. 2013) 등 각 시설물별 구체적인 평가가 이루어졌다.

일반건설업의 위험성평가에 대해서는 다각적인 선행연구가 수행되었으나, 농업토목공사 현장에 대해서는 아직까지 객관적이고, 선진화된 평가기법이 적용되지 못하고 있어 이를 개선하기 위한 공종별 위험성평가가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 한국농어촌공사 공사현장 안전재해 분석을 통해 농업토목공사의 유해・위험 사전방지와 안전관리 역량 제고에 기여할 수 있는 정량적이고 객관적인 공종별 위험성평가 결과를 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구재료

가. 공사현장 안전재해 사례 자료수집

농업토목공사의 재해요인을 정량적으로 분석하기 위해 "한국농어촌공사 발주공사 재해사례(2012년~2016년)" 827건을 수집하여 재해사례별로 유형화하고, 요인을 구분하였다. 안전보건공단과 자료추출 및 범위결정을 위한 연구협조를 하였다. 재해사례 자료의 총 필드수는 23개로서 원부번호, 관리번호, 개시번호, 발주자명, 사업장명, 현장명, 재해자구분, 재해자명, 재해일자, 요양승인일자, 사망승인일자, 재해개요, 공사규모, 발생형태, 직업병, 기인물(대), 기인물상세, 소업종, 진료일수, 채용일자, 요양기간, 공사시작일, 공사종료일의 정보를 담고 있다. 수집한 원시자료(raw data)를 본 연구의 목적에 부합하는 결과로 활용하기 위하여 주요필드를 정제하였다. 현장명과 재해개요 필드로부터 사업, 시설물, 공종, 재해작업활동을 추출하였다.

위험성평가시 강도 계산을 위해 산재요양 일수의 환산지수인 "산재지수" 개념을 도입하였다. 일반적으로 산업재해는 3일 이상의 휴업이 필요한 경우를 고려하는 것으로 산업안전보건법 시행규칙 제4조에 규정되어 있으나, 본 연구는 모집단 데이터의 모든 사례를 포함하기 위해 산재요양 일수 1일 부터의 모든 데이터를 고려하였다 (Table 1).

Table 1 Estimation of industrial accident index

Index	Treatment period (Day)	Remarks
1	1~10	
2	11~30	
3	31~90	
4	91~180	
5	181~360	
6	361~	Disease death
7	–	
8	–	
9	–	
10	Death	Occupational death

나. 공사현장 안전재해 설문조사

공사현장 안전재해의 잠재 위험성을 평가하기 위해서 현장방문 설문조사를 수행하였다. 조사는 한국농어촌공사 발주공사 현장 50지구의 안전관리자 혹은 현장대리인 50인을 대상으로 하였다. 조사지구는 지난 5년간 산업재해가 발생했던 현장을 대상으로 대규모(총공사비 150억 이상) 10지구, 중규모(30~150억) 20지구, 소규모(30억 이하) 20지구를 선정하였다. 조사 지구별 공사현장 안전관리의 실제 여건과 문제점을 검토하고, 일관성 있는 AHP 설문조사 결과를 얻기 위해 현장조사 작업 표준을 작성하였다 (Table 2).

2. 연구방법

가. 농업토목공사 분류체계 도출

공사규모, 단위사업, 시설물, 공종 등 각 수준별 조건에 따

Table 2 Work standard of field investigation

Items	Contents
1. Overview of construction site	Project name, Project operator, Address
2. Characteristic of safety operation chief	Gender, Age, Career, Certificate
3. Risk ranking for 36 major work types	Pairwise comparison survey for AHP analysis
4. Feedback from interviews	Risk factors and prevention measures
	Opinions on safety management policy
5. Opinion of investigator	The sector with insufficient safety management
	Safety management improvement measures and so on
6. Photo collection of construction site	Field view, Main facilities, Major works, Risk factors

라 산출되는 위험성은 달라진다. 실제 농업토목공사 현장조건을 반영한 위험성평가 결과를 도출하기 위해서 현장 특성에 부합하는 단위사업, 시설물, 공종 분류체계를 도출하고 코드화하였다. 도출된 분류체계를 이용하여 발생 재해사례 827건과 안전재해 설문조사 결과 50건을 조건에 맞도록 체계화한 후 발생위험성과 잠재위험성을 평가하였다 (Fig. 1).

농업토목공사 단위사업 분류 체계는 한국농어촌공사의 사업분류, WBS, 수익표, 정원표, 홈페이지 공개사업과 농어촌정비법, 새만금사업추진 및 지원에 관한 특별법, 어촌어항법을 기준으로 사업의 성격을 고려하여 매핑하고, 도출하였다. 농업토목공사 시설물 분류체계에 관한 데이터를 조사·분석하기 위해 한국농어촌공사 설계도면관리시스템에 등재된 준공도서를 수집하였다. 단위사업별로 대표적인 등록 자료를 시스템에서 다운받고 도면과 기술문서들을 분석 자료로 활용하였다. 수집자료는 전체 56,149개 파일이며 도면이 14,927개 파일(약 27%), 기술문서 17,129개 파일(약 31%), 기타 사진 이미지 등으로 구성되어 있다. 농업토목공사의 공종을 분류하기 위해 농업생산기반정비사업 공사감독 핸드북 (KRC, 2011)과 농업생산기반정비사업 계획설계기준 표준코드 (KRC, 2016)를 상호 비교·분석하였다. 또한 안전보건공단의 건설공사 공종분류 (KOSHA, 2011)를 참조하여 해당 공종을 최종적으로 도출하였다.

나. 발생 위험성 평가

"한국농어촌공사 발주공사 재해사례(2012년~2016년)" 827건의 데이터를 이용하여 실제 발생한 위험성을 평가하였으며, 위험성은 가능성과 중대성을 곱하여 산출하였다. 가능성인 빈도는 각 기준 항목별 재해발생 건수로 계산하였고, 중대성인 강도는 각 기준 항목별 산재지수의 합계로 산정하였다. 최종 위험성은 항목별 발생빈도와 발생강도의 곱으로 산출하였다. 공사규모별, 월별, 시간별, 사업별, 시설물별, 공종별 농업토목공사의 위험성을 평가하였다.

가능성과 중대성을 곱하여 산출한 발생 위험성에 대한 기술적 통계분석 결과는 실제 발생했던 재해사례라는 한정된 자료 내에서만 평가가 가능하며, 조건이 복합됨에 따라 모든 경우의 수를 다 표출하지 못하는 한계점이 있다. 따라서 조건 연계에 따른 복합성을 고려하고, 기존에 일어나지 않았던 조건의 조합에 따른 평가결과를 예측하기 위한 추가 방법론으로 기계학습 기법을 이용하여 위험성 평가를 수행하고, 예측의 타당성을 검토하였다. 산업재해사례 827건의 데이터를 기계학습 기법에 사용이 가능하도록 재분류하고 전처리(preprocessing)하였으며, 기상상황에 관한 영향을 추가로 파악하기 위하여 재해 발생일자에 따른 기상인자인 강우, 증발, 기온, 습도, 일조, 풍속을 재해발생별 데이터에 추가로 매핑하였다. 전체 데이터는 모델을 만드는 학습데이터(Training Set)와 모델의 Overfitting과 예측타당성을 검증하는 검증데이터

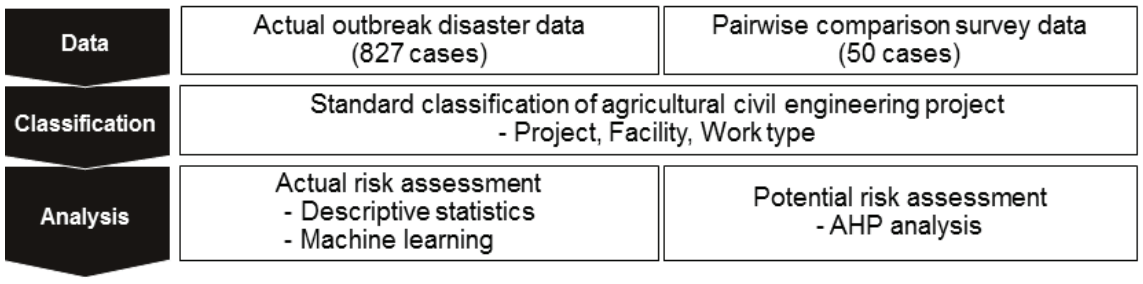

Fig. 1 Flow chart for risk assessment

(Validation Set)로 구분하였으며, 그 비율은 8:2로 설정하였다. 데이터의 상관관계를 분석하기 위한 기계학습 알고리즘은 분류(Classification)와 회귀분석(Regression)을 적용하였다.

다. 잠재 위험성 평가

현장에서 농업토목공사의 실제 안전관리를 수행하고 있는 안전관리자 혹은 현장대리인의 공종별 잠재 위험성에 대한 인지도를 분석하기 위해 정성적인 현장의견을 AHP를 이용하여 정량화하였다. AHP는 조사대상 50지구에 대해 각각 8개 항목의 쌍대비교를 위한 5개 매트릭스를 이용하였으며, 총 250개 매트릭스를 분석하였다. 설문의 일관성은 일관성 비율(Consistency Ratio)로 판단하였으며, 0.2이상은 분석대상 자료에서 기각하였다. 쌍대 비교와 AHP분석을 통해 서열 척도가 가지는 한계를 극복하여 정량적인 값을 도출하기는 하였으나, 발주공사 재해사례를 기반으로 한 발생 위험성평가 결과와 같은 수준의 수치적 의미를 가질 수는 없으므로 최종적으로는 잠재 위험성의 서열만을 발생 위험성평가의 비교 값으로 결정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 농업토목공사 단위사업, 시설물, 공종 분류 및 코드화

단위사업 분류는 주요시설, 건설대상, 공종의 분류를 내포하고 있으며, 상위레벨을 구성하는 주요 분류체계이다. 현행 농업토목공사의 단위사업 분류체계를 대표하는 한국농어촌공사의 단위사업 분류체계는 각 시스템에서 적용하여 사용하고 있으나, 공사현장 사업 분류 및 코드화를 위해서는 몇 가지 문제점을 가지고 있는 것으로 분석되었다. 현행 단위사업 분류체계는 계층구조(대, 중, 소)를 갖고 있지 못하며, 유사 단위사업을 세부적으로 분류하여 혼선이 초래되고 있고, 시스템별로 통합된 분류체계 없이 각각 자체코드를 사용하고 있었다. 한국농어촌공사 내부자료와 공개자료를 업무성격에 따라 매핑하여 단위사업 분류를 도출하였으며, 계층구조를 갖도록 대분류 4개, 중분류 10개, 소분류 32개로 구분하고 코드를 부여하였다 (Table 3).

준공도면의 목차와 구성을 조사하여 사업별로 구성된 공간, 주시설물, 보조시설물을 도출하고 코드화하였다. 농어촌 시설물은 다양하게 구성되어 있고, 공사의 규모도 소규모 사업부터 대규모 사업까지 혼재되어 있으므로 시설물의 분류체계도 탄력적으로 운영되어야 한다. 단위시설은 복합적인 시설의 종류에 따라 동일한 종류의 복수 시설을 수용할 수 있도록 코드확장이 가능해야 하고, 단위시설은 시설분류 하위에 구분되며, 코드를 상속해야함을 원칙으로 하였다. 농업토목공사 시설물은 18종의 주시설과 111종의 부시설로 분류하고 코드화하였다 (Table 4).

농업토목공사의 공종 참조기준을 매핑한 결과 대공종 36개, 세부공종 113개 분류를 도출하였고, 각 공종별로 표준코드를 부여하였다 (Table 5).

2. 발생 위험성 평가

농업토목공사의 공사규모별 누적 재해 발생위험성은 50억원 이하에서 71.8%가 발생하였으며, 첨두 재해 발생위험성은 공사규모 20～50억원 구간(21.4%)에서 발생하였다 (Fig. 2).

Table 3 Classification of agricultural civil engineering project

Code	Level Ⅰ (4)	Level Ⅱ (10)
100	Agricultural infrastructure project	
110		Agricultural water development
120		Production efficiency
130		Farmland expansion and development
200	Water management project	
210		Maintenance
220		Facility renovation
240		Water quality improvement
250		Water supply efficiency
300	Region development project	
310		Development of farming, mountain and fishing villages
500	Incidental project	
520		Energy development
530		etc.

Table 4 Classification of facility type in agricultural civil engineering project

Code	Facility	Code	Facility
110	Agricultural industrial complex	410	Irrigation and drainage canal
120	Farmland	510	Road facilities
210	Sea dike	520	Bridge
220	Estuary bank	530	Tunnel
260	Weir	610	Purification facility
270	Waterfront facility	620	Wastewater treatment facility
310	Reservoir	630	Water quality improvement facility
320	Pumping station	910	Housing complex
330	Tubular well	990	etc.

Table 5 Classification of work type in agricultural civil engineering project

Code	Work type	Code	Work type
1	Form work	19	Sheathing timbering work
2	Pipe installation work	20	Accessory civil Work
3	Steel bar work	21	Painting work
4	Concrete work	22	Crane work
5	Electric installation work	23	Excavation work
6	Machine installation work	24	Riprap work
7	Temporary installation work	25	Stone and tile work
8	Landscaping work	26	Tubular well work
9	Cleaning work	27	Grouting work
10	External facing work	28	Glass and window work
11	Masonry work	29	Surveying work
12	Interior work	30	Tunnel work
13	Road work	31	Topsoil removal work
14	Break work	32	Embellishment and metal work
15	Cofferdam work	33	Waterproof work
16	Steel frame work	34	Manhole work
17	Bridge work	35	Blasting work
18	Revetment work	36	Fill up work

농어업건설의 현장 특성상 소규모 현장이 많고, 시공자 대다수가 지역 영세업체로서 안전관리 역량 및 안전의식이 부족한 것이 주원인으로 판단된다.

월별 첨두 위험성은 3월(12.3%)과 11월(13.8%)로서 관개기와 겨울을 제외한 봄 · 가을에 공사물량이 많은 것을 반영하고 있다 (Fig. 3). 시간별 첨두 위험성은 10시와 14시에서 발생하였다 (Fig. 4). 실제 근무시간을 고려하면 큰 특이사항은 없는 것으로 판단된다. 다만 특정 시간대에 지속적으로 재해가 발생하는 현황에 대해서는 안전관리를 이끌어가는 공사감독, 현장대리인, 안전관리자, 근로자 모두가 지속적으로 안전에 대한 주의를 기울여야 할 것이다.

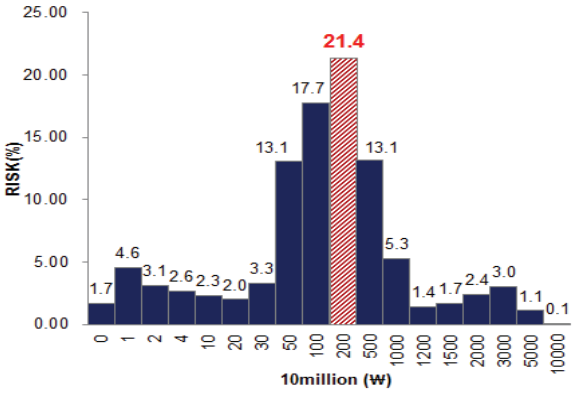

Fig. 2 Risk of disaster by construction cost

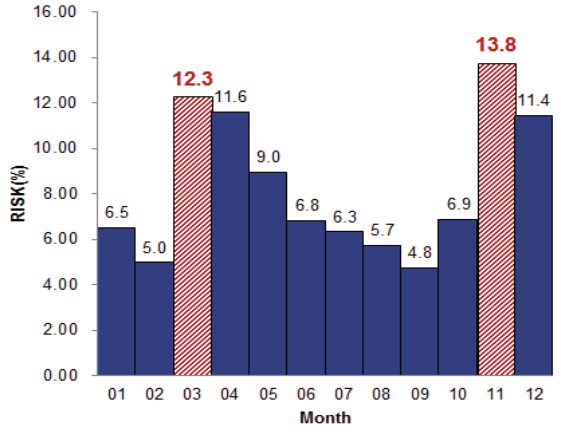

Fig. 3 Risk of disaster by month

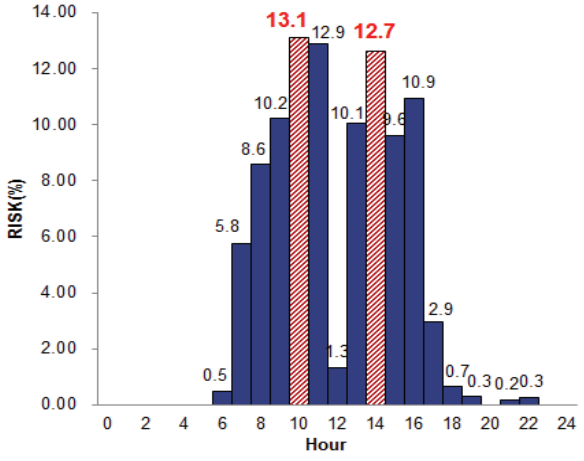

Fig. 4 Risk of disaster by hour

사업별로는 생산기반정비사업의 위험성(37.4%)이 제일 높고, 생산기반정비사업 중 다목적농촌용수개발(22.4%)의 위험성이 가장 큰 비중을 차지하였다. 이는 농업토목 발주공사 중 생산기반정비사업의 규모가 가장 크며, 다목적농촌용수개발에서 제체, 취수탑, 물넘이 등 복합시설물에 대한 공사가 많기 때문으로 판단된다. 사업별 소분류로는 농촌지역종합개발지원사업이 가장 위험성이 높은데(22.1%) 이는 지역개발사업의 특성상 사업규모가 매우작고, 지구수가 많아서 집중적인 공사감독이 어렵고, 안전관리가 취약한 것을 반영하는 것으로 사료된다 (Table 6).

공종별 위험성은 거푸집작업에서 26.0%로 가장 높게 산정되었으며, 거푸집작업 > 관부설작업 > 철근작업 > 콘크리트작업 순으로 나타났다 (Table 7). 거푸집작업은 콘크리트가 사용되는 모든 시설물에서의 필수 공종으로 전체적인 작업물량이 많으며, 제작과 해체 등 거푸집작업의 모든 세부공종이 대부분 인력으로 이루어지는 것이 그 이유로 판단된다. 농업토목공사에서 상기 4개의 공종은 대부분의 공사에 필수 공종으로 포함되어 있어 근로자들에게 노출되는 빈도수가 높은 것이 높은 위험성을 나타낸 원인으로 사료된다.

시설물별 위험성은 용배수로에서 25.2%로 가장 높게 산정되었으며, 저수지는 24.6%로 두 번째 위험성을 나타냈다. 그 외 각 시설물의 위험성은 10% 이하로 분석되었다 (Table 8). 용배수로의 높은 위험성은 거푸집작업, 관부설작업, 철근작업, 콘크리트작업 등 위험성이 높은 공종을 포함하고 있으며, 개별 공사건수가 많기 때문이라고 판단된다.

Table 6 Risk by classification of agricultural civil engineering project

Level Ⅰ	Level Ⅱ	Risk(%)
Agricultural infrastructure project		37.4
	Agricultural water development	22.4
	Production efficiency	11.3
	Farmland Expansion and Development	3.7
Water management project		31.1
	Facility renovation	27.6
	Maintenance	3.2
	Water Supply efficiency	0.2
	Water quality improvement	0.1
Region development Project		22.1
	Development of farming, mountain and fishing villages	22.1
Incidental Project		9.4
	etc.	7.8
	Energy development	1.6

Table 7 Risk by classification of work type in agricultural civil engineering project

Work type	Risk(%)	Work type	Risk(%)
Form work	26.0	Sheathing timbering work	1.2
Pipe installation work	10.4	Accessory civil Work	0.9
Steel bar work	10.2	Painting work	0.9
Concrete work	8.3	Crane work	0.8
Electric installation work	4.5	Excavation work	0.8
Machine installation work	3.6	Riprap work	0.8
Temporary installation work	3.5	Stone and tile work	0.6
Landscaping work	3.5	Tubular well work	0.6
Cleaning work	2.9	Grouting work	0.6
External facing work	2.8	Glass and window work	0.6
Masonry work	2.3	Surveying work	0.5
Interior work	2.3	Tunnel work	0.5
Road work	2.0	Topsoil removal work	0.5
Break work	1.7	Embellishment and metal work	0.4
Cofferdam work	1.6	Waterproof work	0.3
Steel frame work	1.4	Manhole work	0.1
Bridge work	1.3	Blasting work	0.1
Revetment work	1.2	Fill up work	0.1

Table 8 Risk by classification of facility type in agricultural civil engineering project

Facility	Risk(%)	Facility	Risk(%)
Irrigation and drainage canal	25.2	Sea dike	1.3
Reservoir	24.6	Agricultural industrial complex	0.6
Farmland	4.1	Tubular well	0.2
Pumping station	3.5	Weir	0.2
Housing complex	2.4	Purification facility	0.1
Road facilities	2.3	Water quality improvement facility	0.1
Waterfront facility	2.1	Tunnel	0.1
Estuary bank	2.0	Bridge	0.1
Wastewater treatment facility	1.7	etc.	29.4

기상상황에 따라 발생할 수 있는 재해공종을 예측하기 위해 Multi-Class Classification 알고리즘을 이용하였다. 예측 모델에 가장 적합한 알고리즘을 도출하기 위해 동일한 질문에 대한 알고리즘별 결과를 도출했다. 모델의 종속변수는 대공종이며, 독립변수로는 기상요소(강우량, 평균기온, 습도, 일조시간, 풍속, 증발량)를 사용하였다. 예측 결과를 보면 정확도(모델이 재해가 발생하는 대공종을 제대로 판단한 경우)와 정밀도(모델이 예측한 재해공종의 유형과 실제 재해공종 유형이 같은 경우) 모두 Logistic Regression 알고리즘을 사용하는 Multi-class Logistic Regression에서 가장 좋은 결과를 보이는 것을 알 수 있었다 (Table 9). 예측결과를 Confusion Matrix를 이용해 시각화 해보면 대부분의 예측 모형이 거푸집작업, 콘크리트작업과 같이 재해위험성의 연관이 뚜렷한 공종은 비교적 높은 정밀도로 예측하지만 터널작업, 발파작업, 벌목 및 표토제거 등 재해발생과 기상 상황이 뚜렷한 연관이 없는 재해사고의 경우에는 적정하게 예측하지 못함을 알 수 있었다. 이는 현재 입력된 산재 데이터의 수가 적어 충분한 트레이닝이 이루어지지 않은 것으로 판단되며, 추후 더 많은 데이터를 수집하여 예측모형을 트레이닝하면 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 9 Analysis result of machine learning model (weather – work type)

Remarks	Average accuracy	Micro-averaged precision	Micro-averaged recall
Multi-class Logistic Regression	0.960	0.249	0.249
Multi-class Neural Network	0.960	0.245	0.245
Multi-class Decision Forest	0.957	0.186	0.186
Multi-class Decision Jungle	0.957	0.179	0.179

Table 10 Analysis result of machine learning model (weather – work type – month – region)

Remarks	Mean Absolute Error	Root Mean Squared Error	Relative Absolute Error	Relative Squared Error
Linear Regression	0.842	1.241	1.178	1.218
Bayesian Linear Regression	0.890	1.240	1.245	1.215
Neural Network Regression	0.819	1.173	1.146	1.088
Poisson Regression	0.724	1.118	1.013	0.988

월, 지역, 공종, 기상상황에 따라 발생할 수 있는 산재지수를 예측하기 위해 Regression 알고리즘을 이용하였다. 예측 모델 중 가장 적합한 알고리즘을 도출하기 위해 한 가지 질문에 대한 알고리즘 별 결과를 산정하였다. 질문은 재해발생 지역과 기상상황, 대공종을 고려하여 산재지수를 예측하는 것으로 종속변수는 산재지수, 독립변수로는 월, 지역, 대공종, 강우량, 평균기온, 습도, 일조시간, 풍속, 증발량을 이용하였다. 분석 결과 평균절대오차(Mean Absolute Error), 평균제곱근오차(Root Mean Squared Error), 상대절대오차(Relative Absolute Error), 상대제곱근오차(Relative Squared Error) 값 모두 Poisson Regression 기법이 가장 좋은 결과를 나타냈으며, 동일한 질문에 가장 적절한 답을 예측한 것을 알 수 있었다 (Table 10). 하지만 Poisson Regression 기법 역시 오차값이 높으며 정확도가 낮은 것으로 판단된다. 이를 보완하기 위해서는 사고정보 데이터를 추가 수집하고, 복합적인 질문에서도 정확한 결과를 예측할 수 있도록 반복 훈련학습을 통해 모형을 구축해야 할 것이다.

3. 잠재 위험성 평가

시공자(현장대리인, 안전관리자) 대상 50개 지구의 36개 대공종별 AHP 설문은 피설문자의 기억력을 고려하여 쌍대비교 항목을 8개 이하로 제한하였으며, 발생 위험성평가의 순위에 따라 8항목씩 매트릭스를 구분하였다. CASE 1은 각 매트릭스별 가중치를 100으로 같게 부여하였고, CASE 2는 실제 발생 위험성평가에 따른 매트릭스별 가중치를 부여하였다 (Table 11). CASE 1의 경우 4번째 매트릭스의 측량작업(▲1순위 상승)과 터널작업(▽1순위 하락) 외에는 전체 순위가 발생 위험성평가와 동일하게 도출되었다. 분석 결과 값에 따르면 현장대리인이나 안전관리자는 장기간의 현장경험을 통해 발생 위험성평가결과와 거의 동일하게 현장의 잠재 위험성을 충분히 인지하고 있다고 판단된다.

Ⅳ. 요약 및 결론

본 연구에서는 재해분석을 통해 농업토목공사의 발생 위험성과 잠재 위험성에 대한 평가결과를 제시하였다. 이를 위해 우선 농업토목공사 현장조건에 부합하는 사업, 시설물, 공종 분류체계를 도출하였다. 발생 위험성은 지난 5년(2012~2016)간의 농업토목공사 재해사례 827건을 분류체계에 따라 구분한 후 기술적 통계분석과 기계학습 기법을 이용하여 평가하였다. 잠재 위험성은 농업토목공사 안전담당자 50인을 대상으로 36개 대공종에 대한 쌍대비교 설문 조사를 실시한 후 AHP 분석하여 정성적인 현장의견을 정량화하였다.

단위사업은 농업토목공사 업무성격에 따라 계층구조를 갖

Table 11 Analysis result of AHP

Occurrence risk ranking		Work type	CASE 1		CASE 2			
			Score	Ranking (section)	Weight	Score	Ranking (total)	
M1	1	Form work	27.60	1	69.47	19.17	1	–
	2	Pipe installation work	18.58	2		12.91	2	–
	3	Steel bar work	15.57	3		10.81	3	–
	4	Concrete work	11.98	4		8.32	4	–
	5	Electric installation work	10.01	5		6.95	5	–
	6	Machine installation work	7.74	6		5.38	6	–
	7	Temporary installation work	5.14	7		3.57	9	▽ –2
	8	Landscaping work	3.39	8		2.35	12	▽ –4
M2	9	Cleaning work	22.40	1	17.04	3.82	7	▲ 2
	10	External facing work	21.98	2		3.75	8	▲ 2
	11	Masonry work	14.79	3		2.52	11	–
	12	Interior work	11.34	4		1.93	13	▽ –1
	13	Road work	10.41	5		1.77	14	▽ –1
	14	Break work	8.50	6		1.45	16	▽ –2
	15	Cofferdam work	5.67	7		0.97	19	▽ –4
	16	Steel frame work	4.92	8		0.84	21	▽ –5
M3	17	Bridge work	32.02	1	7.92	2.54	10	▲ 7
	18	Revetment work	19.73	2		1.56	15	▲ 3
	19	Sheathing timbering work	16.04	3		1.27	17	▲ 2
	20	Accessory civil Work	10.30	4		0.82	22	▽ –2
	21	Painting work	7.52	5		0.60	24	▽ –3
	22	Crane work	6.39	6		0.51	26	▽ –4
	23	Excavation work	4.97	7		0.39	29	▽ –6
	24	Riprap work	3.05	8		0.24	33	▽ –9
M4	25	Stone and tile work	27.68	1	4.20	1.16	18	▲ 7
	26	Tubular well work	20.04	2		0.84	20	▲ 6
	27	Grouting work	13.47	3		0.57	25	▲ 2
	28	Glass and window work	11.98	4		0.50	27	▲ 1
	29	Surveying work	8.42	6		0.35	30	▽ –1
	30	Tunnel work	9.93	5		0.42	28	▲ 2
	31	Topsoil removal work	5.14	7		0.22	34	▽ –3
	32	Embellishment and metal work	3.32	8		0.14	35	▽ –3
M5	33	Waterproof work	44.65	1	1.36	0.61	23	▲ 10
	34	Manhole work	25.64	2		0.35	31	▲ 3
	35	Blasting work	21.83	3		0.30	32	▲ 3
	36	Fill up work	7.88	4		0.11	36	–

도록 대분류 4개, 중분류 10개, 소분류 32개로 구분하였다. 시설물은 확장성을 고려하여 18종의 주시설과 111종의 부시설로 분류하였다. 공종은 대공종 36개, 세부공종 113개로 분류하였다.

공사규모별 발생 위험성은 총공사비 50억원 이하에서 71.8%가 산정되었으며, 20~50억 구간에서 가장 높은 위험성

(21.4%)이 평가되었다. 시간대별로는 오전10시와 오후2시가 위험성이 가장 크며, 월별로는 3월과 11월이 위험성이 크게 평가되었다. 사업별로는 생산기반정비사업의 위험성이 제일 높고, 그 비중은 다목적농촌용수개발이 가장 크게 차지하였다. 시설물별 위험성은 용배수로가 가장 높게 산정되었다. 공종별 재해 위험성은 거푸집작업 > 관부설작업 > 철근작업 > 콘크리트작업 순으로 나타났다.

기계학습 기법을 통해 기상조건을 포함한 여러 가지 현장조건 간의 복잡한 관계를 고려하여 실제 존재하지 않았던 조건에서의 목표 값인 재해공종과 산재지수에 대한 예측이 가능하였다. 기계학습 모델을 통해 데이터의 기존 관계에 대한 Fitting은 정확하게 할 수 있었으나, 예측값에 대한 신뢰도는 상대적으로 낮았다. 발생 원인과 결과의 지배인자에 대한 모델 작성자의 이해 정도와 설계방식에 따라 예측에 대한 정확도의 차이가 있으며, 신뢰도를 높이기 위해서는 인적요인 등 재해발생별 상세조건에 대한 추가 데이터가 필요하다.

현장 설문에 대한 AHP 분석결과인 공종별 잠재 위험성은 위험성 순위측면에서 발생 위험성과 거의 유사하게 나타났으며, 현장 안전관리 담당자는 잠재 위험성에 대해 충분히 인지하고 있는 것으로 판단된다.

향후 농업토목공사의 안전관리를 위한 공종별 위험성 저감대책과 안전경영시스템(KOSHA 18001) 및 법규의 효율적 적용방안에 대한 추가 연구가 필요하며, 그 결과와 본 연구결과를 확장하여 농업토목공사에 대한 안전관리 지침과 매뉴얼에 대한 안을 제시하여 활용할 예정이다.

REFERENCES

1. Chang, S. R., S. S. Go, and J. B. Lee, 2007. A Study on the risk index model of work type in architectural construction work. *Journal of the Korean Society of Safety* 22(6): 63-68 (in Korean).
2. Go, S. S., H. Song, and J. Y. Lee, 2004. A Study on the hazard of work types for building construction. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction* 20(5): 136-143 (in Korean).
3. KICT, 2000. Development of the probabilistic risk assessment techniques for construction projects (in Korean).
4. Kim, D. C., and W. J. Kim, 2001. A Study on the risk assessment method by accidents analysis in Steel-Structure work. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction* 17(12): 217-224 (in Korean).
5. Kim, J. M., J. B. Lee, and S. R. Chang, 2016. A Study on the accident analysis of architectural work. *Journal of the Korean Society of Safety* 31(3): 96-101 (in Korean).
6. Kim, T., 2000. A Study on introduction of risk assessment methods. *Journal of Korean institute of fire science & engineering* 1(3): 2-5 (in Korean).
7. KOSHA, 2011. Risk Assessment Model for Civil Engineering Project by Work Types (in Korean).
8. KOSHA, 2012. Study on the disaster reduction strategies for small construction sites. *OSH Research Brief* 6(5): 26-40 (in Korean).
9. KOSHA, 2015. Report of Industrial Accident Investigation in 2014 (in Korean).
10. KOSHA, 2017. Report of Industrial Disaster in 2016 (in Korean).
11. KRC (Korea Rural Community Corporation), 2011. Construction Management Handbook of Agricultural Infrastructure Project (in Korean).
12. KRC (Korea Rural Community Corporation), 2016. Design Standard of Agricultural Infrastructure Project (in Korean).
13. KRC (Korea Rural Community Corporation), 2017. Order Status of Korea Rural Community Corporation (in Korean).
14. Lee, J. B., 2007. A Study on the risk index of work type in architectural construction work using AHP and accident cases. Ph.D. thesis, Pukyong National University (in Korean).
15. Lee, J. B., I. K. Han, and S. R. Chang, 2016. A Study on the risk level of work types in urban railway construction. *Journal of the Korean Society of Safety* 31(2): 98-103 (in Korean).
16. Lee, J. B., J. K. Lee, and S. R. Chang, 2013. A Study on the risk level of work types in nuclear power construction. *Journal of the Korean Society of Safety* 28(3): 95-99 (in Korean).
17. Lee, M. G., M. J. Jeong, K. D. Kim, S. K. Park, and S. J. Choi, 2008. The Assessment of the risk index in the bridge construction by the accident analysis. *Journal of the Korean Society of Safety* 23(6): 144-149 (in Korean).
18. Ministry of Labor, 2017. *Occupational Safety and Health Act* (in Korean).
19. Paik, S. W., H. J. Kim, and D. H. Choi, 2012. A Study of decreasing critical disaterous accidents in small construction sites. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(6): 121-131 (in Korean). doi:

http://dx.doi.org/10.5389/KSAE.2012.54.6.121.

20. Seo, S. E., 2010. A Study on accident prevention using risk index in the bridge construction. Ph.D. thesis, Myongji University (in Korean).

21. Shin, I. J., 2013. Comparative study on the institutional framework of risk assessment between German, UK and Korea, Japan in Asian Countries. *Journal of the Korean Society of Safety* 28(1): 151-157 (in Korean).