

# 플랜트 건설 리스크 분석 및 리스크 정량화 모델 개발에 관한 연구

## Risk Factors Analysis and Quantitative Risk Assessment Model for Plant Construction Project

안 성 진<sup>1</sup>

김 태 희<sup>2</sup>

남 경 용<sup>3</sup>

김 지 명<sup>2\*</sup>

Ahn Sung-Jin<sup>1</sup>

Kim, Tae-Hui<sup>2</sup>

Nam, Kyung-Yong<sup>3</sup>

Kim, Ji-Myong<sup>2\*</sup>

Postdoctoral Fellow, Department of Architectural Engineering, Mokpo National University, Mokpo, Jeollanam-do, 58554, Korea <sup>1</sup>

Professor, Department of Architectural Engineering, Mokpo National University, Mokpo, Jeollanam-do, 58554, Korea <sup>2</sup>

Senior Researcher, UTOP E&A, Hwasun-gun, Jeollanam-do, Hwasun, 58120, Korea <sup>3</sup>

### Abstract

Due to the increasing demand for and complexity of plant construction projects, unpredictable risk factors are on the consequent increase. For that reason, the quantitative risk analysis is being called for, in order for the development of a risk assessment model using risk indicators for the plant construction projects. This study used the claim payout data collected at a global insurance company to reflect the actual financial losses in plant construction projects as dependent variables in the risk assessment model. In terms of independent variables, the geographic information, i. e., landform, and the construction information including test-run, schedule rate, total cost and duration are adopted. In addition, this study suggests that the regression model containing such independent variables that are statistically significant can be applied to as a foundational guideline for the plant construction project risk analysis during the phase of construction and commissioning.

Keywords : plant construction, risk assessment, regression analysis, loss ratio, risk modelling

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 몇 년간 지속된 글로벌 저유가 행진이 마감 추세를 보이며 중동을 중심으로 수주실적이 증가하였다. 국정 통계 지표를 제공하는 e-나라지표에 의하면 2017년 국내 플랜트 업계는 267억불의 해외수주를 기록, 전년대비 27.6% 증가하였다. 플랜트 건설 산업은 생산위치에 따라 생산방식이 다양하게 변하는 옥외성, 투자에 대한 효율성 판단의 어려

움, 중층하도급구조, 높은 인력의존도를 가지는 일반 건설 산업과의 공통점을 지닌 동시에 고도의 설계, 제작기술 뿐만 아니라 다양한 지식서비스를 필요로 한다. 또한 플랜트 건설은 일반 건설사업과 비교하여 브랜드 인지도의 영향이 절대적이며 통합 관리가 단순 건설공기 뿐 아니라 사업의 성패에 영향을 미치며 가격보다는 기술 경쟁 요소를 핵심 역량으로 파악한다. 게다가 표준화 되어있는 부품을 사용하는 일반 건설에 비하여 프로젝트에 따라 기자재를 특별 주문하여 생산하는 경우가 많기에 기자재 공급자 인터페이스가 설계와 시공에 직간접적으로 영향을 미치는 등 일반 건설과 다양한 차이를 보인다[1]. 이러한 특수성으로 플랜트 사업은 상대적으로 높은 리스크를 가지고 있다. 리스크 분석의 목적은 리스크의 본질과 리스크 수준에 대한 이해를 향상시키고 결과 및 가능성에 대한 보다 많은 정보를 얻기 위함이다. 한국 산업안전보건공단의 '리스크 분석방법에 관한 지침'에서는

Received : October 10, 2018

Revision received : November 27, 2018

Accepted : January 2, 2019

\* Corresponding author : Kim, Ji-Myong

[Tel: 82-10-3025-6180, E-mail: jimy@mokpo.ac.kr]

©2019 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

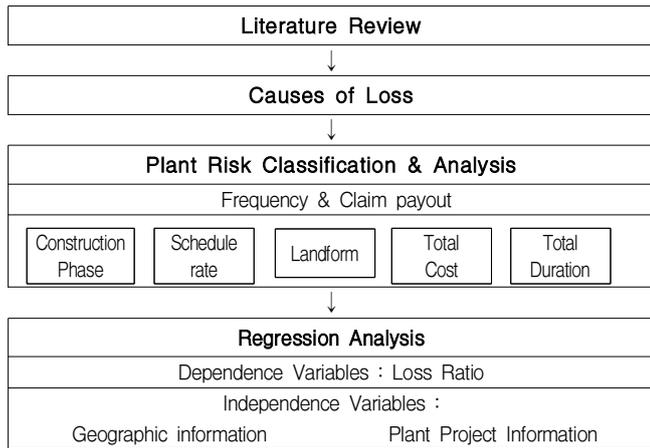


Figure 1. Research procedure

리스크 우선순위에 대한 결정은 추측에 의한 분석 보다는 실제 정보 및 자료를 바탕으로 이루어져야 하며 문제점에 대한 피상적인 원인을 찾기보다 실제적인 리스크 처리계획을 수립하기 위해 리스크 및 리스크의 원인을 과학적 방법을 토대로 예측을 구체화해야 한다고 언급하고 있다[2]. 이에 각 기업들은 특성에 맞는 리스크 평가방법 및 대응 방안을 수립, 적용해 오고 있으나 실용적으로 적용할 수 있는 평가 방안은 미흡한 실정이며 정량적 근거를 토대로 리스크 분석을 제시에 대한 연구가 필요한 상황이다. 본 연구는 실제 플랜트 건설공사 피해보상 보험 데이터를 바탕으로 플랜트 건설 프로젝트의 특성(사고/시운전, 공정률, 지형, 총공사비 및 공기)에 따른 사고원인을 분석하고 정량화된 플랜트 건설 리스크 중점관리요인을 도출하기 위해 손실 예측 회귀모형을 개발하는데 목적이 있다.

### 1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 플랜트 공사 리스크 관리의 정량적 분석을 위해 리스크 관리요소에 따른 사고의 원인, 결과 및 손실 지표 분석을 통해 리스크 중점관리 요인과 정량화 모델을 제시한다. 입찰 및 계약, 설계, 구매/조달, 시공/시운전 플랜트 사업 프로세스 중 실제적 공사가 진행되는 시공/시운전 단계로 리스크 관리 범위를 한정하며 객관적 손실 지표를 나타내는 보험 지급액은 2001년부터 2013년까지의 건축공사 보험 가입 대상자 중 500억 이상 플랜트 공사의 목적물 손해배상 지급액에 한정한다. 본 연구에서는 수집된 손실 보험 지급에 대한 정보를 활용하여 플랜트 공사의 시공/시운전, 공정률, 지형, 총공사비 및 공사기간의 분류에 따라 사고

원인을 분류, 빈도 및 강도를 파악하고, 리스크 관리 중점요인을 변수로 한 회귀분석을 통해 정량적 모델을 제시한다. 개략적 연구의 흐름은 Figure 1과 같다.

## 2. 기존연구의 고찰

효과적인 플랜트 건설 리스크 대응전략 수립을 위해서는 핵심 리스크 요인의 파악이 선행되어야 한다. 건설 프로세스의 전 단계에 걸쳐 플랜트 건설의 리스크 평가에 관한 다양한 연구들이 진행되어왔다.

Mulholland and Christian[3]는 리스크에 대한 인지와 측정은 개념 개획과정에서 필수로 인식되어야 하며 불확실성에 대한 공식적 평가, 소통의 확대, 문제 접근 방식에 대한 조직적 학습이 요구됨을 시사하였다. Carr and Tah[4]은 '적정 프로세스의 부족' '경험 부족' '설계 오류' 및 '조달 지연'을 리스크 평가 항목으로 도출하였고 Heravi and Lin[5]는 프로젝트 위험 관리 성숙도와 조직 학습이 발전소 건설 프로젝트의 비용, 시간 및 품질에 영향을 미치는 요소로 파악하였다. 또한 해외 플랜트 공사 입찰 계약 단계의 리스크 평가 방안 및 활용성[6], 플랜트 건설의 EPC 단계의 위험 요인의 발생 확률과 영향도 분석[7]과 플랜트 건설 프로젝트의 EPC 단계별 핵심 공정 시퀀스 분석 리스크 평가[8], 해외 플랜트 프로젝트 구매조달 시스템 구축 프로세스 분석[9], 플랜트 시공 단계의 위험요인 분류 및 요인별 중요도 분석[10], 가스 플랜트 시공단계의 위험요인 모델을 통한 확률적 비용 변동 범위 분석[11], 수송, 판매, 보수, 관리 항목으로 분류하여 리스크 요인을 도출한 해외 LNG 플랜트 운영관리단계의 정성적 위험요인 분석[12] 등 플랜트 건설 프로세스의 단계별에 따른 리스크 분석에 대한 연구가 진행되어 왔다. Table 1은 플랜트 건설 리스크 분석에 관한 연구의 방법과 적용가능한 단계를 나타낸다.

이렇게 건설 공사 및 플랜트 건설의 리스크 관리 요인 및 체계에 관한 연구는 국내외에 걸쳐 다양하게 진행되어 왔으나 플랜트 공사에서의 리스크 관련 연구는 계약, 제도, 사업 방식 등의 기술 및 경영, 및 조직 요소 등 포괄적으로 분석되어 핵심 리스크 요인이 집중된 현장 특성을 반영하지 못하고 있다.

Wood and Ellis[14]와 Dikmen et al.[15]의 연구에서 리스크 분석에 관하여 개인적인 경험과 판단에 의존하여 분석

**Table 1. Study method and applicable phase of previous studies**

Author	Research Method	Applicable Phase				
		1. Bid/ contract 2. Design 3. Procurement 4. Construction 5. Commissioning/Maintenance				
		1	2	3	4	5
Mulholland and Christian[3]	Sensitivity analyses		○	○	○	
Carr Tah[4]	Fussy Logic	○				
Heravi and Gholami[6]	Sensitivity analysis					
An et al.[7]	Interview, Survey	○				
Kang et al.[8]	Interview, Survey		○	○	○	
Lee and Choi[9]	Fussy Logic		○	○	○	
Won et al.[10]	Interview, Survey			○		
Kim et al.[11]	4M method				○	
Kang et al.[12]	Monte carlo Simulation				○	
Ji et al.[13]	AHP analysis					○

결과의 주관성을 배제 할 수 없으며 리스크 분석에 있어서 간단한 체크리스트와 민감도 분석 수준의 적용한계성을 지적하여왔으며 이에 보다 객관적인 연구를 위하여 정량적 데이터를 바탕으로 한 리스크 분석이 필요하며 특히 화폐가치의 환상을 통한 연구는 예상 화폐 가치(Expected Monetary Value, EMV)를 바탕으로 한 리스크 분석이 이상적인 리스크 분석 전략으로 요구되고 있다[16,17].

본 연구에서는 정성적 기반 리스크 분석 및 관리요소 제안에서 벗어나 리스크 분류체계를 건설공사 보험클레임 데이터를 바탕으로 사고원인을 사용하여 과거사례를 분석하고, 실제 보상금 지급액 데이터를 활용한 통계 분석으로 정량적인 분석 모델과 피해함수를 제시하여 선행연구와 차별성을 두고자 한다.

### 3. 데이터 수집 및 분석

#### 3.1 데이터 수집

본 연구에서 사용된 데이터는 A보험사의 건설공사 손실 지급 데이터를 기반으로 실제 플랜트 건설현장에서 손실이 발생한 원인과 손실에 따른 보상금 지급액을 수집하였다. 또한, 2001년부터 2013년까지 국내 건설공사보험 약관에 따른 유사 공정단계를 가진 플랜트 건설 프로젝트의 유형에 한하여 분석하였으며 건설공사보험 배상에 해당하는 목적물 손해에 대한 보상지급금을 받은 경우로 범위를 한정하였다.

**Table 2. Causes of plant construction project losses**

Causes of Loss	
Managemental Factors	1. Carelessness of Worker
	2. Failure of Construction
	3. Failure of machine
	4. Fire & Explosion
	5. Electric accident
	6. Stolen
Natural disaster Factors	7. Typhoon
	8. Flooding
	9. Heavy rain
	10. Heavy snow
	11. Cold wave
Etc	12. Etc.

**Table 3. Total/average claim payouts by loss causes**

Causes of loss	Total claim payout (Mill. KRW)	Averages of claim payout (Mill. KRW)	n	(%)
1. Carelessness of Worker	5,825	132	44	20.2%
2. Failure of Construction	7,227	154	47	21.6%
3. Failure of machine	21,634	401	54	24.8%
4. Fire & Explosion	3,810	254	15	6.9%
5. Electric accident	3,566	324	11	5.0%
6. Stolen	82	27	3	1.4%
7. Typhoon	3,106	222	14	6.4%
8. Flooding	1,825	456	4	1.8%
9. Heavy rain	1,775	197	9	4.1%
10. Heavy snow	504	252	2	0.9%
11. Cold wave	507	254	2	0.9%
12. Etc.	573	44	13	6.0%

#### 3.2 사고 원인 분석

플랜트 건설 프로젝트 손실의 원인이 되는 사고는 수집된 데이터에서 발생한 사고의 원인을 관리적 요인과 자연재해 요인으로 나누어 건설공사 보험의 재물 손해조항 약관에 따라 선별하였다. Table 2와 같이 본 연구에서는 관리적 요인으로 1)작업자의 실수, 2)시공결함, 3)기계적 결함 4)화재 및 폭발, 5)전기사고, 6)도난, 자연재해 요인으로 7)태풍, 8)홍수, 9)폭우, 10)폭설, 11)한파 그리고 약관에서 보상치 않는 손해 배상을 제외한 모든 손해 원인으로 12)기타의 12가지 원인으로 분류하였다.

Table 3은 2001년부터 2013년까지 수집된 국내외 플랜트건설 프로젝트에서 발생한 사고원인에 따른 사고빈도 및 보상지급액에 대한 합계를 나타낸다. 사고 빈도의 경우 기계

적 결함, 시공결함, 작업 부주의, 화재 및 폭발, 태풍 순의 빈도로 많이 발생하였으며 이에 따른 보상 지급액의 평균은 홍수, 기계적 결함, 전기사고 순서대로 크게 나타났으며 총 지급액 기준으로는 기계적 결함, 시공결함, 작업 부주의 순으로 파악되었다.

#### 4. 플랜트 건설 리스크 분석

##### 4.1 시공/시운전

플랜트 건설과정은 건물과 기계장치를 설계도서에서 요구한 시공/설치공정과 설치된 장치들이 본 기능을 발휘할 수 있도록 하는 시운전공정으로 나눌 수가 있다. ‘시운전’이란 신규 플랜트 건설 프로젝트에서 설치가 완료된 기계 및 설비 장치에 대하여 설치상태를 확인하고 예비점검, 기동, 시험 및 조정 과정을 거치면서 정상 운전에 이르기까지 행해지는 일련의 과정을 뜻한다. 플랜트 공사는 일반 건설공사와 비교하여 시공 과정의 원가구성 비율이 낮은 반면에 시운전 과정에서 원가 비율이 높고 리스크가 크며 시운전 때의 실수로 인하여 추가로 지불되는 설비비용이나 지체보상금이 많이 지출되고 있다.

Table 4. Claim payout and frequency by construction phase

Plant	Total of claim payout (Mill. KRW)	Averages of claim payout (Mill. KRW)	n	(%)
Construction	41,468	2,467	168	77.6%
Test Run	8,968	179	50	22.9%

본 연구에서 수집된 데이터를 통하여 보면 시공과 시운전 과정 중 사고에 의한 손실 빈도는 시공 77.1% 시운전 22.9%로 나타났으며 시공과정의 사고에 의한 손실이 총 보상 지급액과 평균지급 보상액 모두 시운전 과정보다 높게 파악되었다(Table 4). 시공 단계에서 사고원인 중 기계적 결함이 19.3%(42건)로 가장 높았고 작업자 실수와 시공결함이 각 17.4%(38건)와 11.5%(25건)로 나타난 반면 보험 지급액은 기계적 결함이 수집된 데이터의 총 보험지급금 기준 대비 35%로 높게 나타났으며 작업자의 실수와 시공 결함이 각 10.0%와 7.2%로 나타났다. 시공 과정 중 홍수에 의한 손실 빈도는 6%(13건) 총 지급액 기준 3.6%로 나타났다. 시운전 과정의 사고 원인은 10.1%(22건)로 시공 결함이 가장 높게 나타났으며 작업자의 실수와 (6%, 12건)과 기계적 결함

(2.8%, 6건) 순으로 나타났다. 보험 지급액은 기계적 결함 (7.3%) 시공결함(7.1%), 작업자의 실수(1.6%) 순으로 파악되었으며 시운전 과정 중 자연 재해에 의한 손실은 빈도 및 총지급액 대비 보험금 지급 비율 모두 0.1% 미만으로 손실 영향이 적었다.

##### 4.2 공정률

수집된 데이터를 공정률 20% 단위, 5개 구간으로 분류하여 이를 사고의 빈도수와 평균 보상지급액을 비교하였다

Table 5. Claim payout and frequency by schedule rate

No.	Schedule rate	Total of claim payout (Mill. KRW)	Averages of claim payout (Mill. KRW)	n	(%)
1	0-20%	5,764	320	18	8.3%
2	20-40%	2,771	111	25	11.5%
3	40-60%	15,037	239	63	28.9%
4	60-80%	8,042	144	55	25.2%
5	80-100%	18,821	336	57	26.1%

Table 5와 같이, 40~60%, 60~80%, 80~100% 공정률 구간은 각 전체 사고 빈도에 대하여 28.9%, 25.2%, 26.1%로 초기 0~20%, 20~40% 공정율에 비하여 사고의 빈도가 높은 것으로 파악되었다.

공정율에 따른 사고의 빈도 및 보험금 지급액 분포를 살펴 보면, 40~60% 구간의 사고의 원인은 기계적 결함에 의한 사고 빈도가 15회(6.8%), 그 다음은 작업 부주의(13건, 5.9%), 시공결함(10건, 4.6%) 순서로 나타났으며 보상금 지급액은 기계적 결함, 화재 및 폭발, 시공결함이 각 총 지급액의 10.1%, 5.2%, 3.6%를 차지하였다. 자연재해에 의한 폭우(4건 1.8%)와 홍수(3건, 1.4%)가 손실의 원인으로 나타났으며 각 보험지급액의 2.3%와 3.4%를 차지하였다. 60~80% 구간 또한 위 구간과 동일하게 기계적 결함(21건, 9.6%), 작업자 실수(15건, 6.8%) 시공결함(13건, 6.0%) 순으로 파악되었으며 각 4.3%, 5.2%, 3.2%의 보험지급액 분포를 차지하였다. 80~100% 구간에서는 기계적 결함(15건, 6.8%), 시공결함(14건, 6.4%), 작업 부주의(8건, 3.7%) 순서로 나타났으며 기계적 결함의 보험 지급액 규모가 시공결함(4.8%)과 작업자 실수(1.6%)에 비해 28.4%로 상당히 높은 비중을 차지하였다. 공정률의 초기에 비해 단계가 높아질수록 관리적 요소인 기계적 결함, 시공결함, 작업 부주의에 의한 사고의 빈도가 높게 파악되었고 자연재해 요

소인 태풍, 홍수, 폭우는 공정을 전 과정에 걸쳐 사고원인의 관리적 요인에 비해 빈도수가 낮음을 파악하였다.

### 4.3 지형

지형적 분류체계는 수집한 데이터를 기준으로 프로젝트 지역의 지형을 파악하여 산악, 평지, 해안가, 수계인접 네 가지로 분류하였다. 국가 핵심 재난 예방 DB목록 중 하천 DB, 침수 흔적/예상 및 홍수 위험지도를 포함한 재해지도 등 수계에 따른 데이터 정보를 제공하고 있고 매년 발행하는 국민 안전처 재해연보의 자연 재해 특성에 의한 현황 파악 시 수계별 피해를 집계하여 파악하고 있기에 해안가와 수계 인접 지형의 항목을 구분하여 분류하였다.

Table 6. Claim payout and frequency by landform

No.	Landform	Total of claim payout (Mill. KRW)	Averages of claim payout (Mill. KRW)	n	(%)
1	A. Mountains	68	17	4	1.8%
2	B. Flat land	7,380	132	56	25.7%
3	C. Riverine	16,493	199	83	38.1%
4	D. Coast	26,494	353	75	34.4%

지형 분류 기준으로 해안가, 수계인접, 평지, 산악 순으로 사고의 빈도가 높음을 파악하였다(Table 6). 해안가 기준으로 시공결함(19건, 8.7%), 작업 부주의(18건, 8.3%), 기계적 결함(18건, 8.3%) 순으로, 수계 인접지 기준으로 시공결함(14건, 6.4%) 기계적 결함(13건, 6.0%), 작업 부주의(11건, 5.0%)이 상위 사고원인의 빈도 수로 나타났으며 평지 기준은 기계적 결함(21건, 9.6%), 작업 부주의(14건, 6.4%), 시공결함(13건, 6.0%) 순으로 나타났다.

사고원인 중 자연 재해만의 기준으로 볼 때 평지의 경우 홍수에 의한 재해는 없었으나 태풍(5건, 2.3%) 과 폭우(5건, 2.3%)의 피해로 손실이 발생 하였으며, 해안가는 태풍(6건, 2.8%) 홍수(3건, 1.4%), 폭우(1건, 0.5%)에 의한 손실이 발생하였다. 수계인접의 경우 태풍, 폭우가 같은 빈도(3건, 1.4%)로 나타났다. 사고원인 중 해안가에서의 시공결함의 보험 지급비(7.4%)가 빈도와 함께 가장 높았으며 다음 작업부주의(4.9%), 기계적 결함(4.3%)의 순으로 나타났다. 수계인접에서의 보험 지급비는 빈도의 순서와 다르게 기계적 결함(4.9%), 작업부주의(2.9%), 시공결함(2.1%)의 순으로 나타났다. 평지에서는 기계적 결함(33.7%)의 보험지급

비가 가장 높았고 다음 시공결함(4.8%), 작업부주의(3.7%)의 순으로 도출되었다.

### 4.4 총공사금액

본 연구에서 사용한 데이터는 500억 이상의 플랜트 공사가 수집되었으며 총공사금액에 따른 리스크 분석하기 위해 총공사금액을 5,000억원 단위로 5개의 구간을 나누어 분석하였다.

Table 7. Claim payout and frequency by total cost

No.	Cost (Mill. KRW)	Total of claim payout (Mill. KRW)	Averages of claim payout (Mill. KRW)	n	(%)
1	500-5,000	20,130	174	116	53.2%
2	5,000-10,000	4,196	175	24	11.0%
3	10,000-15,000	1,007	112	9	4.1%
4	15,000-20,000	5,158	147	35	16.1%
5	20,000-	19,944	587	34	15.6%

5,000억 이하의 공사에서 사고의 빈도수가 53.2%로 높았으나 평균 보험 지급액은 높지 않으며, 2조 이상의 공사에서는 15.6%의 사고 빈도를 보이나 5,000억 이하 규모의 평균 보험지급액이 3배가 넘음을 파악 할 수 있었다(Table 7).

500~5,000억 원 구간의 사고원인 빈도는 시공결함(28건, 12.8%), 기계적 결함(25건, 11.4%), 작업 부주의(22건, 10.1%)로 파악되었고 보험 지급액에 있어서는 기계적 결함(12.2%), 시공결함(7.0%), 작업부주의(4.5%)로 도출되었다.

5,000~10,000억 원 구간의 빈도는 작업부주의(8건, 3.7%) 기계적 결함(6건, 2.8%)로 나타났으며 보험 지급액은 시공결함(2.5%), 작업부주의(1.9%), 기계적 결함(1.7%) 순으로 파악되었다.

10,000억~15,000억 원의 구간은 총공사비 구간 중 전체적으로 가장 낮은 빈도를 보였으며 그중 가장 높게 나타난 빈도와 보험지급액은 기계적 결함(3건, 1.4%)과 시공결함(1.3%)으로 파악되었다. 15,000억~20,000억 원의 구간은 같은 빈도로 시공결함(11건, 5.0%)과 기계적 결함(11건, 5.0%)이 나타났고 다음 작업부주의(5건, 2.3%)으로 파악되었다. 보험금 지급액은 작업부주의(3.4%), 기계적 결함(3.0%), 시공결함(1.3%)순으로 나타났다. 2조 원 이상의 구간에서는 기계적 결함이 빈도(9회, 4.5%)는 상대적으로 낮음에 비하여 보험지급액 비율(25.4%)이 크게 높았다.

### 4.5 공사 기간

총 공사기간은 1년 이하 공사부터 6년까지로 1년 단위로 나누어 6구간으로 분류하였다.

2-3년 공사의 사고 건수가 가장 많았으나 평균 보상 지급액은 가장 낮았으며 5~6년 기간 공사의 평균 지급액이 가장 높은 것으로 파악되었다(Table 8).

Table 8. Claim payout and frequency by total duration

No.	Years	Total of claim payout (Mill. KRW)	Averages of claim payout (Mill. KRW)	n	(%)
1	-1	2,656	106	25	11.5%
2	1-2	8,873	234	38	17.4%
3	2-3	4,470	88	51	23.4%
4	3-4	9,537	273	35	16.1%
5	4-5	11,947	260	46	21.1%
6	5-6	12,951	563	23	10.6%

평균 지급액이 높은 3~4, 4~5, 5~6년 기간의 공사 중 사고의 원인은 모두 기계적 결함이 각 3.7%(8건), 5.1%(11건), 8.2%(18건)로 가장 높게 파악되었으며 작업부주의가 그 뒤를 이었다. 이와 같이, 사고빈도와 보상금 지급액에 따라 사고원인별 리스크를 파악하였으나 상기 분석은 기술 통계분석으로 보험 지급액의 발생, 즉 손실에 대해 설명하는데 한계가 있으며, 본 연구의 목적인 플랜트 건설 공사 프로젝트의 정량적인 리스크 분석을 위해서는 보다 객관적인 리스크 추정 방법이 요구되어진다. 이에 본 연구에서는 리스크 손실 추정을 위해, 플랜트 건설공사 현장의 규모와 특성에 따른 사고 피해를 예측하고자 회귀분석을 실시하였다.

## 5. 회귀분석

### 5.1 회귀모델 및 종속변수

본 연구에서 제시하는 회귀분석은 플랜트 건설 공사의 목적물 손해 배상의 적절한 보험 지급액 예측 모델을 통해 정량적 근거를 제시함에 목적을 두고 있으며 본 연구에서 검증하고자 하는 회귀모델 식은 다음 식(1)과 같다.

$$LR = \beta_0 + \beta_1 CC + \beta_2 SR + \beta_3 LF + \beta_4 TC + \beta_5 TD \quad (1)$$

여기서,

LR : 손실률 (Loss ratio)

CC : 시공/시운전(Construction/Commissioning)

SR : 공정률 (Schedule Rate)

LF : 지형조건 (Landform)

TC : 총 공사비 (Total Cost)

TD : 총 공사기간 (Total Duration)

회귀모델에서 정량적 손실을 나타내는 종속 변수는 식 (2)에 나타낸 바와 같이 총 공사 대비 보상 지급액의 비율로 나타내며 이를 손실률이라 칭한다.

$$LR = CP/TC \quad (2)$$

여기서

LR: 손실률(Loss Ratio)

CP: 보험 지급액(Claim Payout)

TC: 총 공사비(Total Cost)

### 5.2 종속변수의 정규성

회귀분석을 만족하기 위해서 종속변수에 대한 정규성 검정을 실시하였다. 보험 지급액을 총공사비를 나눈 값 즉 종속변수 손실비율 값은 Table 9와 Figure 2에서 확인 할 수 있듯이 지나치게 왼쪽으로 편중되어있어 가변수로의 변환이 필요하며 식(3)와 같이 종속변수를 로그화시킨 후 정규성 검정을 하였다. 정규성 평가에서 본 연구에서의 각 그룹의 샘플 수는 50개 이상으로 Shapiro-Wilk의 결과를 참조하며 Table 10과 Figure 3의 결과에 따라 정규성 테스트 분석결과는 Shapiro-Wilk의 정규성 테스트 유의확률이 0.05이상로 데이터는 정규화되어 있다고 받아들일 수 있다.

$$Transformed LR = \ln(LR) \quad (3)$$

여기서

LR: 손실률(Loss Ratio)

Table 9. Normality test of transformed dependent value

Shapiro-Wilk			
	Statistic	df	sig.
ln(LR)	0.056	218	0.094

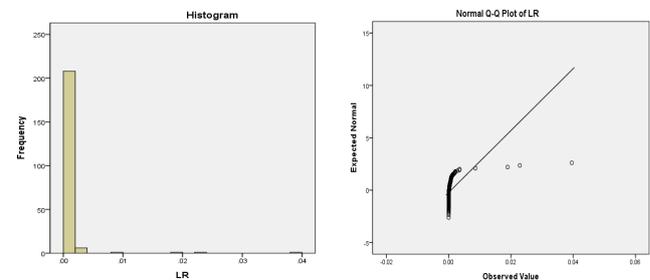


Figure 2. Histogram and normal Q-Q plot for dependent value

Table 10. Normality test of dependent value

Shapiro-Wilk			
	Statistic	df	sig.
LR	0.414	218	0.000

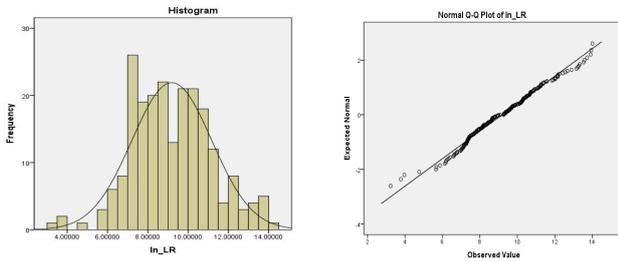


Figure 3. Histogram and normal Q-Q plot for transformed dependent value

### 5.3 독립변수

플랜트 건설에 있어서 일반 건설 프로젝트와는 달리 시운전 단계의 리스크 관리 비중이 높다. 여러 연구들은 시운전은 플랜트 변경 프로젝트에서 필수적이지만 여전히 임시적인 경향이 있으며, 플랜트 시운전단계의 일반적인 위험 관리와 위험 및 비용의 감소를 위한 연구와 구조화 된 리스크 관리 체계와 기술 지식체계의 정립 등 시운전 단계의 리스크 관리의 필요성을 나타내고 있다[18].

Ryu et al.[19]는 자연재해, 공사 지역정보, 건축물의 구조형태, 구조물의 층수 및 총 공사기간을 변수로 하여 건축공사 프로젝트 피해 함수를 개발하였으며 제시된 변수들이 유의미함을 파악하여 유효한 변수로 활용될 수 있음을 밝혔다. 리스크 분석 모델링에 있어 리스크 비용과 기간은 프로젝트 리스크에 큰 영향을 미치는 중요한 요소로서 많은 연구에서 적용되어 왔다. 비용 및 공기 리스크에 관한 연구들은 정성적 접근법으로 요인의 중요성을 강조하였으나 정량적 연구의 필요성을 시사하였다[16,17,20].

본 연구에서 회귀 모형의 독립변수는 지형적 요인인 지형과 프로젝트의 정보인 공정률, 총 공사비, 총 공사시간, 시공/시운전 단계로 구분하였다. 앞선 장에서 빈도와 보험 지급액의 분석을 근거로 하여 유닛 단위가 증가함에 따라 손실이 증가한다는 가정을 두고 각 변수 회귀계수 신뢰도와 의 계수 값을 통하여 그 영향력을 검증한다. 그 상세 분류기준은 다음 Table 11과 같다.

### 5.4 분석결과

독립변수는 시공/시운전, 공정률, 지형, 총 공사비, 및 총 공사 기간의 5개의 변수이며 Table 12에 각 변수별 기술통

Table 11. Categories of independent values

Factor		Unit	Description
Geography	Landform	1	Mountains
		2	Flat land
		3	Riverine
		4	Coast
Project Info.	Schedule rate	1	0-20%
		2	20-40%
		3	40-60%
		4	60-80%
		5	80-100%
Phase	Total cost	1	500-5,000 (Mill. KRW)
		2	5,000-10,000
		3	10,000-15,000
		4	15,000-20,000
		5	20,000-
		6	-1(yr)
Phase	Total duration	1	1-2
		2	2-3
Phase	Commissioning	1	3-4
		2	4-5
Phase	Construction	1	5-6
		2	Commissioning phase
Phase	Construction	1	Construction phase
		2	Construction phase

Table 12. Descriptive statistics

Variables	Min.	Max	Mean	Std. Deviation
Dependant				
In(Loss Ratio)	3.23	14.01	9.19	1.98
Independent				
Construction /Commissioning	1.00	2.00	1.77	0.42
Schedule rate	1.00	5.00	3.49	1.22
Landform	1.00	4.00	2.88	0.81
Total cost	1.00	5.00	2.30	1.59
Total duration	1.00	6.00	3.60	1.66

계량을 나타낸다. 분석한 결과 회귀 모형에 대한 F검정 통계량은 0.05이하로 나타났으며 제시된 변수 모두 유의미한 것으로 분석 되었다. 또한 분산 팽창지수(VIF)의 범위가 1.10과 1.31의 범위를 가지며 이를 통하여 다중공선성의 문제가 없음을 알 수 있다. 수정된 R제곱 값은 0.239로 본 회귀 분석 모델은 23.9%의 설명력을 가지고 있다. 0.239의 R제곱 값은 모델의 오차율이 아닌 정확도를 의미하는 것이다. 즉, 제시된 변수 외에 추가적인 변수를 반영할 경우 R제곱 값은 증대될 수 있다.

Table 13과 Table 14는 회귀모델의 및 회귀계수의 유의도 검증을 나타낸다. 도출된 회귀계수를 통하여 얻은 다중선형 회귀 방정식으로 예측손실 모델을 추정 할 수 있으며 그 모델은 다음 식(3)과 같다.

Table 13. ANOVA and adjusted R square

Model	Sum of squares	df	Mean square	F	sig.	Adj.R <sup>2</sup>
Regression	219.638	5	43.928	14.656	0.000	0.239
Residual	635.433	212	2.997			

Table 14. Coefficients

Indicators	B	Std. Error	t	Sig.	VIF
(Constant)	5.361	1.035	10.397	0.000	
Construction/Commissioning	0.689	0.320	-2.157	0.032	1.313
Schedule Rate	0.220	0.108	2.042	0.042	1.259
Landform	0.348	0.151	2.299	0.022	1.100
Total cost	0.624	0.080	7.844	0.000	1.166
Total duration	-0.165	0.076	-2.165	0.031	1.159

$$\ln(LR) = 6.740 + 0.689 \cdot CC + 0.220 \cdot SR + 0.348 \cdot LF + 0.624 \cdot TC - 0.165 \cdot TD \quad (3)$$

여기서,

LR : 손실률 (Loss ratio)

CC : 시공/시운전(Construction/Commissioning)

SR : 공정률 (Schedule Rate)

LF : 지형조건 (Landform)

TC : 총공사비 (Total Cost)

TD : 총공사기간 (Total Duration)

분석 값에 의하면 독립변인 시공/시운전 값을 '1' 단위로 변화 시킬 때 종속변인 손실률에 '0.689'의 변화량을 가져온다. 즉, 시공 단계가 시운전 단계 보다 손실률이 높아짐을 예측 할 수 있다. 누적 공정률 '1' 단위 변화 시키면 손실률에 '0.220'의 영향을 주며 산악, 평지, 수계인접, 해안가의 단계에 따라 종속변인인 손실률에 '0.348'의 영향을 미친다. 또한 변수 총 공사비 '1' 단위를 변화시키면 손실률에 '0.624'의 영향을 주며 총 공사기간 '1' 단위 증가는

'-0.165'의 음의 값의 영향을 미치며 이는 총 공사기간이 긴 프로젝트일수록 손실률은 낮아진다고 해석 할 수 있다. 표준 회귀 계수를 통해 개별 독립변인이 종속변인에 영향을 미치는 영향력의 크기를 비교하면 시공/시운전의 영향력이 가장 크고 다음으로 총 공사비, 지형, 공정률, 총 공사기간으로 나타났다.

## 6. 결 론

플랜트 건설 프로젝트 수요의 증가와 복잡화에 따라 예측이 힘든 리스크 요소가 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 정량적 리스크 파악과 분석을 위해 A 보험사의 실 보험 지급 데이터를 수집하였다. 보험사의 보상금 지급액은 2001년부터 2013년까지 손해배상을 받은 플랜트 건설공사 목적물 손해 지급액을 대상으로 하였으며, 건설공사 보험약관과 실제 사고분석에 따라 사고원인을 12가지로 분류하였다. 이를 바탕으로 리스크 관리요인 도출을 위해 사고원인 분석 한 결과 플랜트 건설의 손실은 자연재해에 의한 손실보다 관리적 요소인 작업자의 실수, 시공결함, 기계적 결함에 치중하는 것을 확인 할 수 있었다. 정량적 리스크 분석을 위해 다중 회귀분석을 실시하였으며 플랜트 건설 리스크 추정하기 위해 종속변수로 손실률을, 독립변수로 시공/시운전 단계, 지형, 공정률, 총공사비, 총 공사기간으로 선택 하였다. 회귀분석 결과 23.9%의 설명력을 가진 손실 예측모델을 제시하였다. 본 연구를 통해 플랜트 건설의 특성을 반영한 적절한 리스크 대응 방안을 수립할 수 있고, 신속한 리스크 관리뿐만 아니라 사고 예방 및 저감에 기여할 것으로 기대된다.

본 연구에서 사용된 데이터는 2013년 까지 데이터로 최근 5년 내의 플랜트 프로젝트 손실에 의한 리스크 파악은 제시 되지 않았다. 하지만 최근 동안의 플랜트 건설 리스크 연구와 동향을 살펴볼 때 급격한 국제 정세의 변화 및 플랜트 리스크 관련 혁신적인 개선은 파악되지 않고 있다. 중동지역에서 도시화의 확대로 산업기반 인프라 시설 구축의 증가 및 전력, 도로, 상하수도 등의 시설부분의 성장에도 불구하고, 해외에 진출한 건설사들은 무리한 저가수주 및 리스크 대응의 미비로 인하여 상당한 손실 피해를 입고 있는 실정이다. 이에 본 연구에 제시된 리스크 모델링은 향후로도 플랜트 프로젝트의 리스크 예측 및 대응 방안에 활용 가능 하다고 판단된다.

플랜트 건설 프로젝트를 위한 리스크 분류체계는 제도 정치 경제 등 국가적 관점, 생애주기 관점, 복합, 화력 원자력 등의 플랜트 프로젝트 유형별 관점 및 시장 여건 및 수주환경을 포함하는 산업 관점 등으로 분류할 수 있다. 본 연구는 플랜트 프로젝트 생애주기 중 시공 및 시운전 단계의 목적물 피해에 한하여 정량화 모델을 제시하는 것으로 한정 하였다. 향후 연구에서 각 관점별 분류체계에서 리스크 핵심 요인의 도출과 리스크 관리 체계의 자동화를 위한 통합된 관계형 데이터 베이스 구축에 대한 향후 연구가 필요하다.

## 요 약

플랜트 건설 프로젝트에 대한 수요가 증가하고 복잡해짐에 따라 예기치 못한 위험 요소가 증가하고 있다. 이에 플랜트 건설 프로젝트에 대한 중점 리스크 요인을 바탕으로 정량적 리스크 분석 및 평가 모델 개발이 요구되고 있다. 본 연구는 보험 회사에서 수집 한 보험금 지급 데이터를 사용하여 플랜트 건설 프로젝트의 실제 재정적 손실을 위험 평가 모델의 종속 변수로 반영하였으며 문헌 검토 및 데이터 분석을 바탕으로, 지형, 시운전, 공정률, 총 공사비 및 총 공사기간을 독립변수로 채택하였다. 제안된 손실율 모델은 플랜트 프로젝트 리스크 분석과 시공/시운전 단계의 리스크 분석 가이드라인으로 활용될 수 있다.

**키워드** : 플랜트 건설, 리스크 평가, 회귀분석, 손실 비율, 리스크 모델링

## Acknowledgement

This research was supported by a grant (NRF-2016R1A2B4009909) from the National Research Foundation of Korea by Ministry of Science, ICT and Future Planning.

## References

1. Yun JY, A study on the international competitiveness of korean plant industries [Master's thesis], Jeonju (Korea): Chonbuk National University; 2011, 124 p.
2. A Guideline of Risk Analysis method, X-19-2012 [Internet], Ulsan(Korea) : Korea Occupational Safety and Health

Agency,2012 [cited 2012, June 20]. Available from: [http://www1.kosha.or.kr/kosha/media/guidance\\_X.do?mode=download&articleNo=103308&attachNo=87020](http://www1.kosha.or.kr/kosha/media/guidance_X.do?mode=download&articleNo=103308&attachNo=87020)

3. Mulholland B, Christian J. Risk assessment in construction schedules, *Journal of Construction Engineering and Management*, 1999 Jan;125(1):8-15.
4. Carr V, Tah JH. A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system, *Advances in Engineering Software*, 2001 Oct;32(10-11):847-57.
5. Hsiau HJ, Lin CW. A fuzzy pert approach to evaluate plant construction project scheduling risk under uncertain resources capacity, *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2009 Jul;2(1):31-47.
6. Heravi G, Gholami A. The influence of project risk management maturity and organizational learning on the success of power plant construction projects, *Project Management Journal*, 2018 Aug;49(5):22-37
7. An SH, Lee YN, Jo HK. A study on the risk assessment methodology and application for international plants construction, *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 2008 Feb;9(1):134-42.
8. Kang HW, Min BJ, Kim YS. A study on the costs variation range through the risk factors for overseas plant projects, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 2010 Jul;26(7):139-47.
9. Lee K, Choi J. Project risk assessment through construction sequence analyses for industrial plant construction projects, *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 2013 Jul;14(4):140-51.
10. Won SK, Kang M, Lee J, Kim S, Han C. An analysis of procurement processes for the application of system prototype of overseas plant projects, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure and Construction*, 2008 Feb;24(2):113-21.
11. Kim K, Choi B, Chun J. Safety management factor analysis of expert perceptions based on 4m method for plant construction phase, *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 2016 Jan;17(1):18-27.
12. Kang HW, Won YM, Kang MK, Kim YS. An analysis on the probability costs variation ranges of the cost items from the risk factor model for construction phase of overseas gas plant projects, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 2012 Jan;28(1):191-8.
13. Ji DK, Park MS, Kim YS. Qualitative risk factor analysis of overseas lng plant in operation and management phases, *Journal*

- of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2014 Aug;30(8):55–62.
14. Wood GD, Ellis RCT. Risk management practices of leading UK cost consultants. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2003 Aug;10(4):254–62.
  15. Dikmen I, Birgonul MT, Arikani AE. A critical review of risk management support tools. 20th Annual Conference of Association of Researchers in Construction Management; 2004 Sep 1–3; Edinburgh, UK, Resding (UK): Association of Researchers in Construction Management (ARCOM); 2004, p. 1145–54.
  16. Cagno E, Caron F, Mancini M. A multi-dimensional analysis of major risks in complex projects. *Risk Management*, 2007 Feb;9(1):1–18.
  17. Cioffi DF, Khamooshi H. A practical method of determining project risk contingency budgets. *Journal of the Operational Research Society*, 2009 Apr;60(4):565–71.
  18. Lawry K, Pons DJ. Integrative approach to the plant commissioning process. *Journal of Industrial Engineering* 2013;2013:1–12.
  19. Ryu HG, Son KY, Kim JM. Loss prediction model for building construction projects using insurance claim payout. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 2016 Jun;15(3):441–6.
  20. Taroun A. Towards a better modelling and assessment of construction risk: Insights from a literature review. *International Journal of Project Management*, 2014 Jan;32(1):101–15.