

흙막이공의 리스크 분석을 통한 리스크 요인별 대응 방안에 관한 연구

전병주* · 무리타라 아데바요 아이사** · 김현비*** · 이양규**** · 김병수*****

Jeon, Byung Ju*, Isah, Muritala Adebayo**, Kim, Hyun Bee***, Lee, Yang Gyu****, Kim, Byung Soo*****

A Study on Countermeasures for Risk Factors Through Risk Analysis of Earthwork

ABSTRACT

According to a recent study, most construction companies in Korea do not manage risk effectively, and it is judged that the risk management system needs to be improved. In addition, most risk-related studies deal with risks from a macroscopic perspective, and there are few studies dealing with process risks at the project construction stage. Therefore, this study tried to suggest a risk response plan through analysis and classification of risk factors that may occur in retaining work among process risks. To this end, a workshop was held for risk experts to identify and analyze risks that may occur during the construction of retaining work for apartments. As a result of the study, it was expected that savings of KRW 4.97 billion would be possible in the 95 % confidence interval, and the maximum possible cost was reduced from KRW 15 billion to about KRW 10 billion. Based on the risk reduction ratio, it was found that risks that can be reduced without any special input cost, risks with large effects in response to risks, and risks with insignificant effects were found. Therefore, using the types and risk factors presented in this study as guides, it is expected that it will be helpful in successfully operating the project if an appropriate response strategy is prepared and systematically responded to the site conditions.

Key words : Risk, Risk factor, Monte carlo simulation, Earthwork, Risk response

초 록

최근의 연구에 의하면 국내 대부분의 건설사는 리스크 관리를 효과적으로 하고 있지 못하며, 리스크 관리 시스템의 개선이 필요한 것으로 판단된다. 또한 리스크 관련 연구도 대부분 거시적인 관점에서의 리스크를 다루고 있으며 프로젝트 시공단계에서의 공정리스크를 다룬 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 공정리스크 중 흙막이공에서 발생할 수 있는 리스크 요인의 분석 및 분류를 통해 리스크 대응 방안을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 리스크 전문가를 대상으로 워크숍을 실시하여 아파트 흙막이공 시공 중에 발생할 수 있는 리스크를 식별 및 분석하였다. 연구 결과 95 % 신뢰구간에서 49.7억 원의 절감이 가능할 것으로 예상되었으며, 최대 발생 가능한 비용은 150억 원에서 100억 원가량으로 줄어들었다. 리스크 저감 비율 기준으로 별다른 투입비용 없이 리스크를 저감할 수 있는 리스크, 리스크 대응 시 효과가 큰 리스크와 효과가 미미한 리스크로 구분하여 나타났다. 따라서 본 연구에서 제시한 유형들과 리스크 요인들을 지침으로 삼아 현장 여건에 맞는 적절한 대응 전략을 갖추고 체계적으로 대응할 경우 프로젝트를 성공적으로 운영하는 데 도움이 될 것으로 기대한다.

검색어 : 리스크, 리스크요인, 몬테카를로 시뮬레이션, 흙막이공, 리스크 대응

* 정회원 · 경북대학교 토목공학과 박사과정, 공학석사 (Kyungpook National University · kyung7673@knu.ac.kr)

** 경북대학교 토목공학과 박사과정, 공학석사 (Kyungpook National University · isahmuritala@yahoo.com)

*** 경북대학교 토목공학과 석사과정, 공학석사 (Kyungpook National University · hyunbee5803@knu.ac.kr)

**** 중신회원 · 대림대학교 토목환경과 교수, 공학박사 (Daelim University College · yglee@daelim.ac.kr)

***** 중신회원 · 교신저자 · 경북대학교 토목공학과 교수, 공학박사 (Corresponding Author · Kyungpook National University · bskim65@knu.ac.kr)

Received November 24, 2021/ revised February 22, 2022/ accepted July 19, 2022

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

국내 건설리스크 관리는 건설기술진흥법 시행령 제59조에 건설사업관리 업무내용으로 규정하고 있다. 그러나 위험요소 관리라는 애매한 용어로 표현되고 있어서 안전관리와 혼돈 가능성도 배제하지 않고 있는 실정이다. 실제로 건설사업관리 계획서를 조사해보면 위험요소 관리의 내용이 안전사고 방지와 다를 바 없다.

국내 건설리스크 관리 수준을 평가한 연구를 보면 리스크 관리에 대한 만족도는 10점 만점의 5.6점으로 중간 정도에 그쳤으며, 희망하는 리스크 관리 정도는 평균 7.9점으로 상당히 높은 수준을 원하는 것으로 나타났다(Karunarathne and Kim, 2021).

이런 상황을 정리해 보면 국내 건설리스크 관리는 제대로 이루어지지 않고 있으며 법적 기준도 충족하지 못하는 것으로 판단된다. 또한, 건설리스크 관리와 관련한 연구는 대부분 재정적리스크나 법적리스크 등과 같은 거시적인 관점에서의 리스크를 다루고 있으며 프로젝트 사공단계에서의 공정리스크를 다룬 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 공정리스크에 대한 연구가 필요한 상황이며 공정리스크 중 흙막이공정의 리스크는 최근의 안전사고 저감을 통한 사망만인율을 줄이려는 정부의 노력과 맞물려 시기적으로 적절한 연구 주제이다.

국토부는 지난 2020년 굴착공사와 옹벽공사 시 안전사고 예방을 위한 상주 감리 의무화 등을 개정하면서 깊이 10 m 이상의 굴착공사와 높이 5 m 이상 옹벽 설치공사에는 비상주 감리 대상에도 관련 분야 감리원이 상주하도록 강화하였다(Seong and Jung, 2017). 도심지에서 이뤄지는 개착식 굴착공사에 필수적인 흙막이공은 타 구조물에 비하여 지반이 갖는 불확실성 및 굴착공사 대형화로 인해 사고가 빈번히 발생하고 있으며, 이는 기술적 측면과 관리적 측면 등 여러 요인이 작용하여 발생하는 사고이다(Seong et al., 2011).

따라서 본 연구에서는 공정리스크 중 흙막이공의 리스크 요인을 분석 및 중요도에 따라 정리하여 확률 및 영향력으로 리스크를 분석하고 대응방안을 제시하고자 한다.

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구는 도심지 소재의 아파트 건설 현장 중 흙막이 공을 대상으로 하여 발생할 수 있는 리스크 요인들을 분석하였다. 이를 위하여 건설업에 종사하는 리스크 전문가들의 워크숍을 통해 리스크 요인을 도출하고 각각의 확률 및 비용을 산정한 뒤 시뮬레이션을 통하여 리스크 대응 전후의 발생 예상 비용을 산출하고 이를 분석하였다.

연구 방법은 다음과 같다.

1. 리스크 교육을 이수한, 시공 및 설계에 종사하는 리스크 전문가들의 워크숍을 통하여 리스크를 식별한다.
2. 이후 개략적 비용과 확률을 비교하여 리스크 간의 중요도를 평가하는 정성적 평가를 통하여 주요 리스크의 우위를 정하고, 영향이 큰 리스크를 대상으로 정량화 작업을 통해 구체적인 비용과 확률을 계산하였다.
3. 이렇게 정량화된 요인들을 기준으로 몬테카를로 시뮬레이션을 통하여 리스크 비용을 계산하였고, 이를 분석하였다.

1.3 기존연구고찰

리스크란 사업목적에 영향을 주는 불확실성의 효과로 정의하고 있으며, 여기서 영향이란 기댓값으로부터 멀어지거나 가까워지는 것을 의미한다. 긍정적이거나 부정적인 요소 모두를 포함하고 있으므로 기회와 위협을 창출할 수 있는 모든 사건을 의미한다(ISO, 2018). 즉, 리스크 관리란 프로젝트를 진행하는 과정에서 발생할 수 있는 긍정적이거나 부정적인 사건 일체를 리스크 식별, 정성 및 정량적 분석, 리스크 대응계획 수립, 리스크 대응 및 감시와 같은 프로세스로 프로젝트의 성공 가능성을 높이는 행위이다(PMI, 2017).

해의 건설프로젝트의 리스크에 관한 연구로는 Park et al.(2019)은 국내 상위권 CM 업체 15개의 임원을 대상으로 인터뷰를 시행하여 CM 업체의 프로젝트 실행에 주요한 리스크를 조사하였으며, AHP (analytic hierarchy process) 기법과 FMEA (failure mode and effects analysis)기법을 활용하여 그 순위를 책정하였으며, Baek et al.(2019)은 국내 대형 건설기업이 해외에서 수행한 124개의 프로젝트에 대한 입찰 전 예측 리스크와 수주 후 실제 리스크 발생 수준을 비교 평가하여 실제 리스크 수준과 실행 원가 증감의 상관성을 분석하였다. 또한 Lee et al.(2021)은 국내 건설사가 해외에서 시행한 20개 프로젝트에 대하여 요인별로 분류하고 몬테카를로 시뮬레이션으로 분석 및 다중 의사결정 방법의 하나인 스와라(Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis; SWARA)를 통해 관리자들의 인식도를 조사하여 리스크의 영향도와 관리자 들의 인식을 비교하였다.

국내 프로젝트에 관한 연구로는 Lee and Kim(2021)이 몬테카를로 시뮬레이션을 활용하여 도로 교량 공사의 세부공종 별 위험도를 평가할 방안을 제시하였다. 그러나 안전관리로 그 범위를 한정하여 분석하였다는 한계가 존재한다. Ahn and Nam(2020)은 교량 건설프로젝트에서 발생한 제삼자에 대한 피해를 분석하기 위하여 보험회사의 교량 건설공사 손해배상 지급 데이터를 기반으로 회귀 분석을 실시하여 교량의 특성과 자연재해 발생에 따른 리스크와 제삼자의 피해에 관한 상관관계를 분석하였다.

이렇듯 현재 이루어지는 연구들은 프로젝트 규모의 대단위 리스크에 집중하고 있으며, 세부공종 별 리스크를 분석한 연구는 리스크의 범위를 안전관리에 한하여 연구하였다.

2. 흙막이공의 식별 및 평가

2.1 흙막이공 리스크 식별

리스크 식별이란 포괄적인 각종 리스크의 원인과 종류를 찾아내

고, 각 리스크의 특성을 문서로 만드는 프로세스이다. 본 연구에서는 대구광역시 도심지 소재의 아파트 건설 현장을 대상으로 흙막이공 작업 간에 발생할 수 있는 리스크에 관하여 3일간의 리스크 워크숍을 실시하였다. 리스크 워크숍에는 25년 이상의 경험을 가진 건설전문가 10명이 참여하였으며 이들은 모두 리스크 전문교육 64시간 이상을 수료하였다.

워크숍 시행 결과 Table 1과 같이 총 33개의 리스크 요인이 도출되었으며, 각 리스크의 발생 가능성과 영향력 도출은 국제

Table 1. Risk Factors Derived from Risk Workshop

Idea No.	Risk Factor	Probability (%)	Impact*	Impact Score
1	Damage to underground facilities	20	H	24
2	Dust and traffic problems from excess soil movement	20	L	6
3	Noise and vibration generated during rock excavation	1	H	8
4	Claims from nearby residents	5	H	8
5	Union strike	20	L	6
6	Differential settlement due to non-secure verticality in CIP method	20	L	6
7	Stopped work due to Corona virus	5	M	4
8	Leakage due to poor grouting	5	V/H	16
9	Warping occurs due to insufficient rigidity of the material	20	L	6
10	Noise and vibration by lack of test blasting	10	V/L	2
11	H-pile deformation due to the rapid construction of the Raker	10	H	16
12	Stratum deformation due to poor ground investigation	30	V/H	48
13	Scattering from blasting	10	L	4
14	Deck plate fall and equipment overturn	10	L	4
15	Lack of anchor tension	20	H	24
16	Natural Disasters	1	H	8
17	Deformation of lagging walls	1	H	8
18	Equipment crash	20	L	6
19	Low skill level of subcontractors	5	H	8
20	Complaints about noise and vibration	20	L	6
21	Rock scattering due to blast coefficient error	10	L	4
22	Safety of nearby building	1	V/L	1
23	Gunpowder handling risk	5	L	2
24	Weathering of exposed rock	10	L	4
25	Edge part earth anchor construction	5	H	8
26	Insufficient drain facility	10	M	8
27	Subsidence of nearby building or underground facilities	1	V/L	1
28	Lagging walls soil section risk	10	H	16
29	Earth anchor risk during constructing wall	5	V/H	16
30	Dust caused by wind	20	L	6
31	Complaints caused by dust in the wind	30	L	6
32	Temporary deck collapse	10	H	16
33	Temporary wall collapse	5	H	8

*V/L : Very Low, L : Low, M : Moderate, H : High (90), V/H : Very High (100)

프로젝트관리 협회(Project Management Institute; PMI)와 미국의 각 교통국(Department of Transportation)에서 권장하고 있는 방법인 전문가들의 경험을 기반으로 하여 개략적으로 책정하는 방법을 선택하였다. 해당 표에서의 발생확률은 0~100 %로 표기하였으며, 영향 정도는 Very Low, Low, Moderate, High, Very High의 다섯 단계로 표기하였다.

2.2 리스크 정성적 평가

식별된 리스크들은 발생확률과 영향을 평가하여 각 리스크의 우선순위를 매기는 정성적 평가 과정을 거친다. 본 연구에서는 Caltrans(2012)의 기준을 활용하여 리스크가 프로젝트에 미칠 것으로 예상되는 영향인 임팩트 점수를 계산하였다. 해당 점수를 계산하기 위해서는 우선 숫자로 책정된 리스크의 발생확률을 Table 2에 나타난 기준을 토대로 Very Low부터 Very High까지의 다섯 단계로 분류하였다. 이때, 리스크 발생확률 단계와 Table 1의 리스크 임팩트 단계를 Fig. 1의 리스크 매트릭스에 대입하여 각각 1~5점, 1~16점을 책정하고, 책정된 두 값을 곱하여 리스크 항목별 임팩트 스코어를 도출하였다. 예를 들어, 12번 지반조사 불량으로 인한 지층변형 리스크의 경우 발생확률은 30 %로 책정되었다. 이는 Table 2의 발생확률 Moderate에 해당하는 값으로 12번 리스크의 발생확률은 Moderate, 임팩트는 Very High로 분류된다. 이를 Fig. 1에서 확인하면 확률점수는 3점, 임팩트 점수는 16점으로 나타난다. 이 두 값을 곱한 48점이 해당 리스크의 임팩트 점수이다.

산출된 임팩트 점수를 확인하였을 때 17개 리스크가 1~6점으로 낮은 중요도로 분류되었고, 8개 리스크는 8~12점으로 중간 중요도로 분류되었다. 8개 리스크 요인은 16점 이상으로 높은 중요도를 가지는 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구에서는 중요도가 높은 것으로 분류된 8가지 항목에 대하여 리스크 정량화 및 시뮬레이션을 시행하였다. 8가지 리스크 요인은 Table 3과 같다.

2.3 리스크 정량적 평가

정량적 평가란 정성적 평가를 통해 도출된 우선순위가 높은 항목에 대하여 프로젝트의 목표에 영향을 끼치는 불확실성의 원인을 구체적인 수치로 분석하는 과정이다. 본 연구에서는 앞서 정성적 평가를 통하여 우선순위가 높은 8가지 리스크 요인들을 분류하였으며, 이후 정량적 평가를 통하여 Table 3과 같이 리스크 대응책을 고안하였다. 또한 리스크 대응 전과 대응 후의 비용 및 확률, 그리고 리스크 대응에 필요한 비용을 도출한 결과 Table 4와 같이 나타났다.

1, 3, 5, 6, 7, 8번 항목의 경우 대응 전후의 리스크 비용은 변화하지 않았으며, 발생확률에 많은 변화가 있었다. 이는 이들 항목이 지하 시설물 파손, 인장력 혹은 하중 계산 실수로 인한 붕괴 등에 관한 리스크로 이루어져 있기 때문에 리스크가 발생할 경우 그 손해가 일정하며 발생을 미연에 차단하는 리스크 대응 방안이 제시되었기 때문이다. 반면 2, 4번 항목의 경우 리스크 대응을 통해 리스크 비용과 확률을 함께 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 이는 2번 차수 그라우팅 부실로 인한 누수의 경우 조기

Table 2. Definitions of Impact and Probability Ratings (Caltrans, 2012)

Rating →	Very Low	Low	Moderate	High	Very High
Cost Impact of Threat (CO + COS)	Insignificant cost increase	<5 % cost increase	5-10 % cost increase	10-20 % cost increase	>20 % cost increase
Cost Impact of Opportunity (CO + COS)	Insignificant cost reduction	<1 % cost decrease	1-3 % cost decrease	3-5 % cost decrease	>5 % cost decrease
Schedule Impact of Threat	Insignificant slippage	<1 month slippage	1-3 months slippage	3-6 months slippage	>6 months slippage
Schedule Impact of Opportunity	Insignificant improvement	<1 month improvement	1-2 months improvement	2-3 months improvement	>3 months improvement
Probability	1-9 %	10-19 %	20-39 %	40-59 %	60-99 %

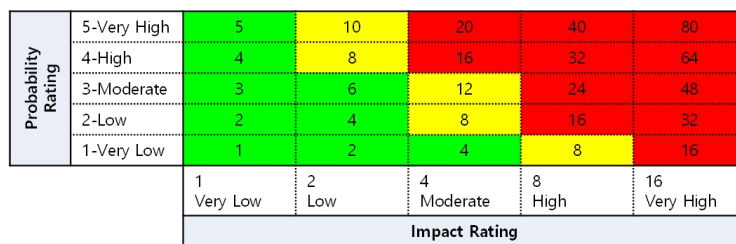


Fig. 1. Caltrans Risk Matrix (Caltrans, 2012)

Table 3. Adopted Risk Factors and Risk Responses

No.	Idea No.	Risk factor	Risk Description	Risk Response
1	1	Damage to underground facilities	Damage to underground facilities during excavation	Detailed underground exploration and consultation with the management authority of underground facilities
2	8	Leakage due to poor grouting	Weakening of workability due to inflow of groundwater	Review of grouting material mix design before construction and check the amount of grouting material input during quality inspection
3	11	H-pile deformation due to the rapid construction of the Raker	Increased risk of soldier pile and temporary facilities due to the deformation of the H-pile	Compliance with the design standards and the work manual
4	12	Stratum deformation due to poor ground investigation	Design and site are different	Conduct additional ground investigation before starting construction
5	15	Lack of anchor tension	Increased risk of soldier pile due to lack of tensile force	Secure the required tensile force by increasing friction with the ground by using the PACK anchor
6	28	Lagging walls soil section risk	Subsidence of soil that adjoining lagging walls	Constant monitoring by installing groundwater level gauge and subsidence gauge
7	29	Earth anchor risk during wall construction	Risk of collapse due to reduced resistance due to early removal	Constant measurement of deformation of wall, Establishment of the construction plan to prevent loss of tensile force
8	32	Temporary deck collapse	Temporary deck collapse due to overload	Real-time displacement measurement and notification system establishment by IoT sensor

Table 4. Cost of Pre and Post Risk Response

No.	Pre-Response				Post-Response				Risk Response Cost (Milion Won)
	Minimum Cost (Milion Won)	Most Likely Cost (Milion Won)	Maximum Cost (Milion Won)	Probability (%)	Minimum Cost (Milion Won)	Most Likely Cost (Milion Won)	Maximum Cost (Milion Won)	Probability (%)	
1	200	500	800	20	200	500	800	2	34
2	1,000	2,000	3,000	5	200	500	700	1	0
3	2,000	2,500	3,000	10	2,000	2,500	3,000	2	0
4	2,000	3,000	4,000	30	500	800	1,000	3	30
5	1,000	2,000	3,000	20	1,000	2,000	3,000	1	12
6	1,000	3,000	5,000	10	1,000	3,000	5,000	2	7
7	2,000	5,000	8,000	5	2,000	5,000	8,000	1	7
8	2,000	3,200	4,500	10	2,000	3,200	4,500	1	7

발견 시 그 영향을 줄일 수 있을 것으로 판단되며, 4번 지반조사 불량으로 인한 지층변형의 경우 추가 지반조사를 통하여 리스크 발생확률과 발생 시 영향을 줄일 수 있을 것으로 판단되기 때문이다. 또한 2, 3번 항목은 일상적인 품질검사와 작업 간에 한 번 더 확인하는 것만으로도 충분히 그 발생확률과 영향을 줄일 수 있으므로 리스크 대응 비용을 0원으로 책정하였다.

3. 리스크 분석

리스크 관리 프로세스 중 정성화 및 정량화 단계를 거쳐 발생확률과 영향이 구체적인 수치로 나타난다. 이렇게 정리된 리스크 요소들

이 전체 프로젝트에 미치는 영향을 확인하기 위해서는 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 각각의 리스크의 영향과 전체 리스크를 분석하여야 한다. 본 장에서는 앞서 도출된 8개의 리스크에 대하여 Palisade 사의 @RISK 8.1을 활용하여 몬테카를로 시뮬레이션을 시행하였다. 시뮬레이션 결과 Table 5와 Fig. 2 같은 결과가 도출되었다.

Table 5의 각 리스크 요인별 리스크 대응 비용과 신뢰구간 5%, 95%에서의 발생 비용을 나타낸 표이다. 모든 리스크 요인들은 리스크 대응 후에는 발생할 확률이 5%미만으로 나타났으며, 이를 통하여 분석한 시뮬레이션 결과에서도 95% 신뢰구간에서 리스크가 발생하지 않을 것으로 분석되었다. 리스크 대응 전의 경우 5%

Table 5. Monte Calro Simulation Results

No.	Risk Response Cost (Milion Won)	Expected Value (Milion Won)					
		Pre-Response (A)		Post-Response (B)		Difference (C) (C = A-B)	
		5 %	95 %	5 %	95 %	5 %	95 %
1	34	-	578	34	34	-34	543
2	0	-	-	-	-	-	-
3	0	-	2,496	-	-	-	2,491
4	30	-	3,404	30	30	-30	3,364
5	12	-	2,265	12	12	-12	2,249
6	7	-	3,045	7	7	-7	3,017
7	7	-	-	7	7	-7	-7
8	7	-	3,225	7	7	-7	3,213
Total	97	-	15,013	97	97	-97	14,869

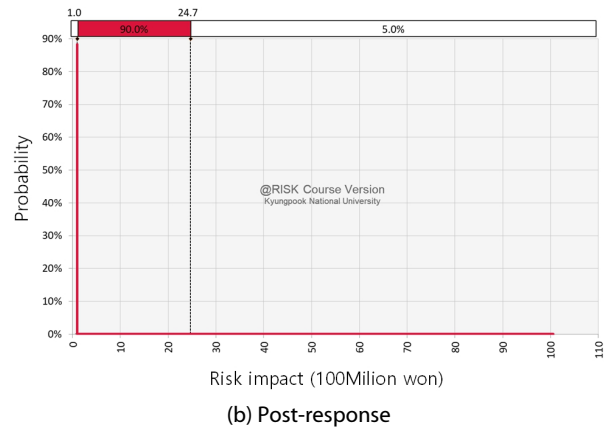
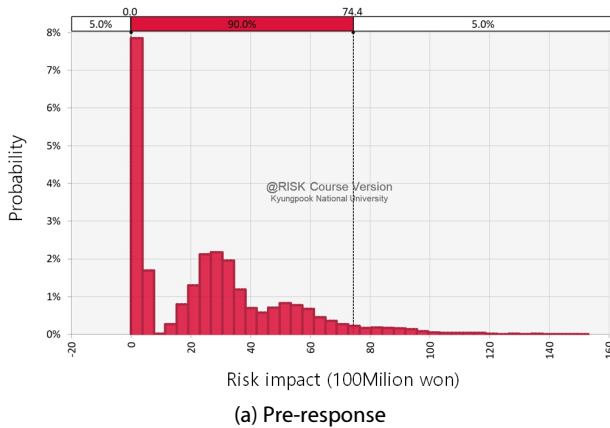


Fig. 2. Monte Calro Simulation Results

신뢰구간에서는 모든 리스크가 발생하지 않았지만 95 % 신뢰구간의 경우 총비용이 150억 원으로 집계되었다. 여기서 2, 7번 리스크의 경우 발생확률이 5 %이므로 95 % 구간에서는 발생하지 않는 것으로 나타났다. 리스크 대응 전후 95 % 신뢰구간에서의 비용 차이는 8번 가설테크 붕괴 리스크가 32억 원으로 가장 큰 절감 효과가 기대되며 7번 어스앵커 조기제거 리스크의 경우 7백만 원의 손실이 예상된다. 이는 95 % 신뢰구간에서는 리스크 대응 전후 둘 다 리스크가 발생하지 않을 것으로 나타났기 때문이다. 1번 리스크의 경우 앞서 Table 4에서 보여지듯 상대적으로 발생확률은 높지만 리스크의 크기는 상대적으로 적은 것으로 나타났으며, 4, 5, 6, 8번 리스크의 경우 발생확률은 낮으나 발생할 시 부담하여야 하는 비용이 크게 나타났으며 비용투자를 통해 리스크를 크게 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 2는 리스크 대응 전후에 발생 가능한 전체 비용을 확률분포 그래프로 나타낸 것이다. 리스크 대응 전에는 (a)와 같이 아무것도 발생하지 않을 확률이 7.85 %로 나타났으며, 30억 원과 50억

원가량의 비용이 발생할 확률이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 95 % 신뢰구간에서 74.4억 원이 발생할 것으로 나타났으며 최대 153억 원까지 발생할 것으로 나타났다. 반면 리스크 대응 후에는 (b)와 같이 1억 원가량의 비용이 발생할 확률이 88 %로 나타났고 95 %의 신뢰구간에서 24.7억 원가량의 비용이 발생할 것으로 나타났으며, 최대 100억 원까지의 비용이 발생할 것으로 나타났다.

리스크 대응 후에 88 % 확률로 1억 원의 비용이 발생하는 이유는 리스크 대응에 0.97억 원이 투입되었기 때문이며, 이후의 값들은 모두 1 % 미만의 발생확률을 보였다. 따라서 리스크 대응 후에 95 % 신뢰구간으로 분석 시 74.4억 원에서 24.7억 원으로 77 %가량의 감소를 보이며, 리스크가 발생하는 경우에도 그 크기가 대응 전보다 적게 나타날 것으로 판단된다.

여기서, Fig. 2에서 나타난 95 %의 신뢰수준 비용 대응 전 74.4억 원과 대응 후 24.7억 원과 Table 5에 나타난 95 % 신뢰수준 비용의 합 대응 전 150억 원과 대응 후 0.97억 원이 다른 이유는

Table 6. Risk Reduction Effect Summary

No.	Risk Factor	Pre-Response			Post-Response			Score Difference (C) (C=A.B)	Risk Response Cost (Million Won) (D)	Risk Reduction Ratio (E) (E=C/D)
		Probability (%)	Impact*	Impact Score (A)	Probability (%)	Impact	Impact Score (B)			
1	Damage to underground facilities	20	L	6	2	L	2	3	34	0.09
2	Leakage due to poor grouting	5	M	4	1	L	2	2	0	-.**
3	H-pile deformation due to the rapid construction of the Raker	10	H	16	2	H	8	2	0	-
4	Stratum deformation due to poor ground investigation	30	H	24	3	L	2	12	30	0.40
5	Lack of anchor tension	20	M	12	1	M	4	3	12	0.25
6	Lagging walls soil section risk	10	H	16	2	H	8	2	7	0.29
7	Earth anchor risk during constructing wall	5	V/H	16	1	V/H	16	1	7	0.14
8	Temporary deck collapse	10	H	16	1	H	8	2	7	0.29

*V/L : Very Low, L : Low, M : Moderate, H : High, V/H : Very High

**Divided by zero (0)

Table 5에서의 합계값은 각각의 리스크가 95 %의 신뢰구간에서 발생할 수 있는 비용을 계산한 뒤 이를 합하였고, Fig. 2에서는 프로젝트에서 발생할 수 있는 확률의 조합을 난수를 통해 시뮬레이션하여 분포도를 작성하였기 때문에 표에 나타난 값이 그래프의 값과 다르게 나타났다.

각각의 리스크를 Table 2와 Fig. 1에 제시된 Caltrans의 기준으로 임팩트 스코어를 계산하면 Table 6과 같이 정리된다. 이때, 총공사비는 현장 실무자의 조언에 따라 200억 원으로 가정하였으며, 확률과 발생 비용은 Table 4의 정량화된 확률과 최확값을 활용하였다. 계산된 대응 전후 임팩트 스코어의 비율(C)을 리스크 개선에 들어간 비용(D)으로 나눈 결과 리스크 저감 비율(E)이 계산되었다.

리스크 저감 비율을 살펴보면 2. 차수그라우팅 부실로 인한 누수와 3. 레이커 급속시공으로 인한 근입부 변형 리스크는 별다른 투입비용 없이 리스크를 저감할 수 있기 때문에 무조건적인 채택이 권장되며, 4. 지반조사 불량으로 인한 지층변형에 대한 리스크 대응이 0.40점으로 채택이 권장된다. 이후 6. 배면 토사구간 리스크, 8. 가설데크 붕괴가 0.29점으로 동일하게 나타났다. 5. 앙카 인장력 부족, 7. 어스앵커 조기제거 리스크, 1. 지하매설물 파손 리스크는 각각 0.25, 0.14, 0.09점으로 그 중요도가 낮은 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 리스크 전문가들을 대상으로 워크숍을 시행하여 도심지 아파트 건설 현장의 흙막이공 공사 중에 발생할 수 있는

리스크를 식별 및 분석하였으며, 몬테카를로 시뮬레이션을 통하여 현장에서 발생할 수 있는 예상 비용을 리스크 대응 전후로 나누어 계산하고 Caltrans의 임팩트 점수 계산법과 리스크 대응에 필요한 비용을 통해 각 리스크의 중요도를 살펴보았다.

연구 결과 95 % 신뢰구간에서 49.7억 원의 절감이 가능할 것으로 예상되었으며, 최대 발생 가능한 비용은 150억 원에서 100억 원가량으로 줄어들었다. 리스크 저감비용 기준으로 별다른 투입비용 없이 리스크를 저감할 수 있는 리스크, 리스크 대응시 효과가 큰 리스크와 효과가 미미한 리스크로 구분하여 나타났다. 따라서 본 연구에서 제시한 유형들과 리스크 요인들을 지침으로 삼아 현장 여건에 맞는 적절한 대응 전략을 갖추고 체계적으로 대응할 경우 프로젝트를 성공적으로 운영하는데 도움이 될 것으로 기대한다.

그러나 본 연구의 한계점으로 대상 프로젝트의 범위가 제한적이며, 주변 지리적 상황 또는 현장의 여건 등에 따라 추가로 발생할 수 있는 리스크 요인들에 대한 고려는 하지 못한 점을 들 수 있다. 따라서 추가적인 연구를 통하여 공정리스크 중 영향을 주는 인자들에 관한 연구 및 다양한 공사 현장들에 대한 비교분석도 진행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(NRF-2021R1A2C1014267).

본 논문은 2021 CONVENTION 논문을 수정·보완하여 작성되었습니다.

References

- Ahn, S. J. and Nam, K. Y. (2020). "A study on bridge construction risk analysis for third-party damage." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, Vol. 20, No. 2, pp. 137-145 (in Korean).
- Baek, S. W., Han, S. H. and Jung, W. Y. (2019). "A comparative analysis of risk assessment depending on international project types." *Construction Engineering and Management*, Vol. 20, No. 5, pp. 125-136 (in Korean).
- California Department of Transportation (Caltrans) (2012). *Project risk management handbook : A scalable approach (version 1)*, Caltrans, California, USA.
- International Organization for Standardization (ISO) (2018). *ISO31000: 2018*, Available at: <https://www.iso.org> (Accessed : October 10, 2021).
- Karunaratne, B. V. G. and Kim, B. S. (2021). "Risk management application-level analysis in South Korea construction companies using a generic risk maturity model." *KSCE Journal of Civil Engineering*, KSCE, Vol. 25, No. 9, pp. 3235-3244.
- Lee, D. Y. and Kim, D. E. (2021). "A study on the probabilistic risk analysis for safety management in construction projects." *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 26, No. 8, pp. 139-147 (in Korean).
- Lee, K. T., Ann, H. N., Kim, J. W. and Kim, J. H. (2021). "A comparative analysis of risk impacts on cost overrun between actual cases and managers' perception on overseas construction projects." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 22, No. 3, pp. 52-60 (in Korean).
- Park, K. M., Lee, H. W., Choi, K. H. and Lee, S. H. (2019). "Project risk factors facing construction management firms." *International Journal of Civil Engineering*, Vol. 17, No. 5, pp. 305-321.
- Project Management Institute (PMI) (2017). *PMBOK guide (6th edition)*, PMI, Pennsylvania, USA.
- Seong, J. H. and Jung, M. H. (2017) "Determination of priorities for management to reduce collapse accident of open excavation and road sink in urban areas." *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, Vol. 19, No. 3, pp. 489-501 (in Korean).
- Seong, J. H., Jung, S. H. and Sin, J. Y. (2011) "A study for safety management on ground excavation by analysis of accident events." *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol. 15, No. 6, pp. 175-183 (in Korean).