

# 초고층 건설공사 시공단계 리스크 요인 도출 및 분석

김수용<sup>1</sup> · 김성현<sup>2</sup> · 양진국\*

<sup>1</sup>부경대학교 토목공학과 · <sup>2</sup>(주)중앙엔지니어링건축사사무소 프로젝트운영팀

## Extraction and Analysis of Construction Phase Risk Factors in High-rise Construction Project

Kim, Sooyong<sup>1</sup>, Kim, Sunghyun<sup>2</sup>, Yang, Jinkook\*

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Pukyong National University

<sup>2</sup>Project Management Team, Jung Ang Engineering Co., Ltd.

**Abstract :** High-rise buildings construction project have various risk factors. Major risk factors are negative results such as time delay and increase of costs. Therefore, this study was analyzed risk factors in construction stages of high-rise buildings using by PROMETHEE technique. For this, this research were identified risk factors through experts Focus Group Interview(FGI). And, PROMETHEE was used to setup evaluation standard for analysis of high-rise building construction risks. Next, the standard of evaluation index calculation was composed by using the definition level in PDRI. Preference function and evaluation index were identified through questionnaires. Through these processes, this study has calculated the importance of high-rise building construction risks using by PROMETHEE technique. As a result, high degree risk factors were as following. These are 'Operation plan of material lifting', 'Outrigger & Belt Truss Construction', 'Foundation work plan of high-rise building' and 'Considering a Structure concept of high-rise building'.

**Keywords :** Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation (PROMETHEE), Risk, Focus Group Interview (FGI), High-Rise Construction

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 들어 국내에서는 사회·경제적 요구의 증가로 인하여 초고층 프로젝트들이 늘어나고 있는 추세이다. 특히, 도심지를 중심으로 초고층 건축물들의 출현이 가속화 되고 있다. 초고층 프로젝트들은 일반 중·저층 프로젝트들에 비하여 높이가 크게 증가하고 시스템이 복잡해져 새로운 재료 및 공법이 적용되지만 전체적인 공사기간의 증가는 많지 않다. 하지만 시공과정에서 공기를 준수하기 위하여 많은 자본과 인력, 기술을 요하게 된다. 이 같은 특성으로 인해 초고층 프로젝트들은 일반 시설물과는 달리 다양한 리스크 인자를 내포하고 있으며, 이것은 공기지연 또는 공사비 상승 등의 부정적 결과를

초래한다. 이에 초고층 건설공사는 체계적 리스크 관리가 요구되지만 참여자들의 경험과 직관에 의존하여 리스크를 관리하고 있는 실정이다. 따라서 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 초고층 프로젝트에 대한 합리적인 리스크 관리 방안이 요구된다.

이에 본 연구에서는 초고층 프로젝트 시공단계에서 발생 가능한 리스크 인자를 시공 분야, 기계설비 분야, 건설사업관리(CM) 분야로 구분하여 전문가 FGI (Focus Group Interview)를 통해 도출한 후 내부 알고리즘에 의해 이원비교가 자동적으로 수행되는 PROMETHEE 기법을 활용하여 위험인자들 간에 우선순위를 도출하고자 한다. 도출된 결과는 시공단계 리스크 요인들을 미리 예측하고 대응함으로써 보다 성공적인 프로젝트 수행을 지원할 것으로 기대된다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 초고층 프로젝트의 진행 단계 중 시공단계 리스크에 대하여 한정하였으며, 시공 중에 발생 할 수 있는 다양한 분야의 리스크에 대하여 연구를 수행하였다.

이를 위한 연구 수행방법 및 내용은 다음과 같다.

\* Corresponding author: Yang, Jinkook, Research Institute of Construction Technology, Jung Ang Engineering Co., Ltd., Busan 47876, Korea  
E-mail: vepro@pusan.ac.kr  
Received August 28, 2015; revised December 18, 2015  
accepted February 26, 2016

첫째, 관련된 문헌 연구를 통해 초고층 프로젝트의 개념 및 리스크에 대하여 고찰한다.

둘째, 전문가 FGI를 통하여 초고층 프로젝트 시공단계에서의 리스크 항목을 도출하고 도출된 리스크 항목을 평가하기 위한 평가기준을 설정한다.

셋째, PROMETHEE 기법을 활용하여 도출된 리스크 항목들의 중요도를 분석한다.

넷째, 연구 결과를 정리하고 한계점 및 보완해야 할 점을 제시한다.

## 2. 초고층 건설공사와 리스크 관리

### 2.1 초고층 정의

초고층 건축물에 대한 정의는 매우 다양하게 존재하고 있다. 초고층 건축물이라는 것은 그 기준이 명확하지 않고 지역에 따라서도 다르기 때문에 단순히 건물의 높이로만 초고층을 정의하기는 어렵다. 예를 들어 유럽의 경우 12층 이상이면 고층으로 분류될 수 있지만 고층 건물이 밀집한 시카고의 경우에는 70층에서 100층 정도의 건축물이 되어야지만 초고층 건축물로 분류된다. 이처럼 건축물의 높이나 층수로 초고층 건축물을 정의하는 것은 쉽지 않은 일이다.<sup>1)</sup>

### 2.2 초고층 현황

도시의 확장 및 인구집중에 따른 지가상승은 고밀화를 초래하고 있다. 이에 토지이용의 효율성을 높일 뿐만 아니라 도심의 공동화현상을 해결하고, 새로운 도심 거주유형에 대응하기 위하여 초고층 건축물이 세계적인 추세로 증가하고 있다. 초고층 건축의 초기에는 미국을 중심으로 한 구미선진국에서 건설이 활발하였다. 하지만 1990년대 후반부터 최근까지 초고층 건축물의 건설 동향을 보면 중동지역과 아시아 지역에서의 건설이 급증하고 있으며 세계 여러 국가의 주요 도시에서 초고층 건축물이 활발히 건설되고 있다.

## 3. 초고층 시공리스크 요인 도출

본 장에서는 초고층 전문가와의 3회에 걸친 표적집단면접법(FGI)을 통하여 초고층 리스크 요인들 중 시공단계에서의 리스크 요인들을 도출하고자 한다.

### 3.1 전문가 FGI

전문가 FGI는 3회에 걸쳐 수행하였으며, 수행결과는 다음과 같다.

첫째, 초고층 건설프로젝트가 가지는 관리 포인트를 도출하였다. 그 결과 적용되는 공법의 특수성, 높이에 따른 기구

영향, 공중간섭 등 다양한 의견이 제시되었다.

둘째, 전문가의 분야별 업무 중에서 초고층 시공리스크의 범주에 관하여 정하였다. 그 결과 총괄적 측면에서 시공 분야, 대형 설비시스템 측면에서 기계설비 분야, 복합 프로젝트 관리적 측면에서 건설사업관리(CM) 분야로 구분되었다.

셋째, 정해진 각 범주별로 세부적 초고층 리스크 인자를 도출하였다. 그 결과 시공 분야 30개, 기계설비 분야 11개, 건설사업관리(CM) 분야 22개 리스크 요인이 도출되었다.

넷째, 도출된 리스크 요인의 영향에 대한 구체적인 내용을 작성하였다.

다섯째, 분야별로 도출된 리스크 인자를 5M을 기준으로 통합·분류하였다.

그 결과 Machine 6개, Method 14개, Management 4개, Material 3개, Man 2개로 구분되었다. FGI에 참여한 전문가들의 개요는 아래와 같다(Table 1).

Table 1. Overview of FGI participants

Division	Position	Position	Career	Field
Expert 1	H Company	Site Manager	Over 20 years	Building construction
Expert 2	H Company	Director	Over 20 years	Mechanical Engineering
Expert 3	H · G Company	Manager	Over 10 years	CM
Expert 4	G Company	Director	Over 20 years	CM / VE

### 3.2 분야별 리스크 요인 도출 결과

본 절에서는 초고층 건설공사의 주요공종인 시공 분야, 기계설비 분야와 시공관리적 측면에서 건설사업관리(CM) 분야를 대상으로 리스크 인자들은 도출하였다.

#### 3.2.1 시공 분야 리스크 요인

시공 분야는 주로 장비 및 공법에 관한 30가지 리스크 요인이 도출되었으며, 주요 요인은 양중장비계획, FORMWORK 계획, 작업원의 자원배분, CURTAIN WALL TYPE, FOOTING CONCRETE 타설 방법, 고강도CONCRETE 타설 방안, COLUMN SHORTEN 에 따른 마감재 시공방안, 골조와 마감도면 불일치에 의한 수급문제 등으로 나타났다. 대부분의 리스크 요인들은 초고층 시공에 따라 특수하게 요구되는 시공기술적 측면과 관련되어 있는 것으로 나타났다.

#### 3.2.2 기계설비 분야 리스크 요인

기계설비 분야는 자재 및 장비 등 11가지 리스크 요인이 도출되었으며, 주요 요인은 자재(장비) 투입계획, 자재 양중장비 계획, 풍속·풍압에 영향을 받는 설비 계획, 인력·자재 동선, 야적 계획, 에너지 소비 계획 등으로 나타났다. 리스크 요인들은 초고층 시공에 따른 양중 장비와 시공 중 높이에 따른 기구(풍속, 풍압)의 영향 등과 같이 설비기술적 측면과 시

1) 송도현, 초고층건축 시공(기문당 2002).

공 후 유지관리적 측면과 관련되어 있는 것으로 나타났다.

### 3.2.3 건설사업관리(CM) 분야 리스크 요인

건설사업관리 분야는 22가지 리스크 요인이 도출되었으며, 주요 요인은 수화열 관리, 가설장비 운영, 철골 TMCP강 용접관리, 고압펌프 CPB(타설장비 성능), 자재반입 Delivery, 마감공사 Crew Organization 공정 연속성 등으로 나타났다. 대부분의 리스크 요인들은 고난이도의 기술력을 기반으로 하는 시공관리적 측면과 투입되는 인적 및 물적 자원에 대한 Management와 연계되어 있는 것으로 나타났다.

### 3.3 리스크 요인 통합 및 분류

본 절에서는 전문가 면담을 통해 도출된 리스크 중 비슷한 유형의 리스크를 묶어서 통합·분류하였다. 그리고 전문가와의 면담을 통해 일반적인 건축공사에서도 자주 발생하는 리스크를 제외하고 초고층 시공 중에 자주 발생하는 리스크를 추출했다. 그리고 통합 및 분류 기준은 추출된 모든 요인들이 공사관리 5대 요소인 5M(인력(Man), 재료(Materials), 기계(Machines), 공법(Methods), 관리(Management))과 연계되어 있어 이를 기준으로 분류하였다. 분류된 리스크를 정리한 결과는 아래와 같다(Table 2).

Table 2. Risk factors of high-rise construction

Division	5M	Risk Factors
Risk Factors of High-Rise Building	Machines	Planning lifting equipment
		Preparedness plan for drop and accidental fall from high-rise position
		Planning of temporary equipment
		Planning of concrete placing
		Affected facility plan about wind speed and wind pressure
		Pressure control plans in the pipeline
	Methods	Selection of curtain wall
		Considering the construction stack effect
		Reflecting the displacement of frame construction
		Consider suppression measures of building wind
		Lack of new technologies
		Application of inappropriate method
		Measurement technology
		Structure plan considering the high-rise building
		Footing plan according to the high-rise building
		Outtrigger & Belt truss construction
		Water cut-off plan for finish floor
		Form system planning
		Management of heat of hydration
		Separated placement of frame
	Management	Energy consumption plan
		Recovery plans of time delay
		Disaster preparedness plan in construction period Long Lead Item
	Materials	Material supply distribution plan
		Input plan of materials and equipment High-strength concrete
	Man	Allocation plan of labor supply
		Lack of field experience of manager

### 3.4 분석기준 설정

본 연구에서는 초고층 시공리스크의 중요도 분석을 위하여 PROMETHEE 기법을 적용하고자 한다. 그 이유는 도출된 요인의 수가 많은 본 연구의 특성을 감안할 때, 이 기법은 어떠한 분류체계에도 적용가능하며 평가기준의 설정과 선호 함수 및 파라미터를 설정하는 기본설정과정만 수행되어지면 평가항목의 수에 영향을 받지 않고 평가가 가능하기 때문이다. PROMETHEE 기법은 다기준의사결정 기법의 하나로서 이 기법을 적용하기 위해서는 리스크를 분석하기 위한 평가기준의 설정이 요구된다. 평가기준은 앞서 FGI 진행과정에서 도출된 리스크 요인들이 가지는 속성들에 대하여 전문가들의 의견을 종합해본 결과 초고층에 따른 기술적 부분과 그에 따른 성능충족, 초고층 시공과정에서 발생가능한 안전적 측면, 공중간섭 및 마일스톤 관리를 통한 일정준수가 공통적으로 매칭된다는 것에 근거하여 기술관리, 성능관리, 안전관리, 일정관리의 4가지로 선정하였다(Table 3).

Table 3. Definition of Evaluation Scale

Division	Contents
Technology Management	Affecting factors including methods and applied technology during the construction period of high-rise project
Performance Management	Affecting risk factors about each category quality, performance of high-rise construction
Safety Management	Risk factors in terms of the construction safety during the high-rise project period
Time Management	Risk factors for time management such as time delay etc. during the high-rise construction project period

## 4. PROMETHEE 기반 리스크 분석

Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation (PROMETHEE)은 1982년 벨기에의 J.P Bransdp 의해 처음 제안되었으며, 1985년 Brans와 P. Vincke는 순위선호(outranking)의 개념을 바탕으로 기준별 선호함수(preferance function)와 선호의 유출량(leaving flow) 및 유입량(entering flow)의 개념을 이용하여 대안들 간의 우선순위를 도출하는 PROMETHEE 기법을 개발하였다. 이 기법은 평가자(전문가)가 평가함수와 파라미터(parameter, 선호임계치)를 설정하면 내부 분석과정을 통해 평가 항목들 간의 쌍대비교가 자동적으로 이루어지게 된다.

PROMETHEE 기법의 적용절차는 다음과 같다.

첫째, 평가의 기준에 대한 설정과 6가지의 선호함수 중 평가기준에 가장 부합하는 선호함수를 선택한 후 이에 해당하는 파라미터를 설정한다. 둘째, 평가자에 의해 평가항목들의 중요도를 정량적으로 평가한 평가지표를 산출하고 평가자료를 작성한다.

셋째, 선호지수(preference index)를 계산하여 유출량과 유입량을 계산한다.

넷째, 계산된 선호의 유출량과 유입량을 이용해 부분적 우선순위(partial ranking)인 PROMETHEE I 을 구하고, 순흐름량(net flow)의 계산을 통해 전체적인 우선순위(complete ranking)인 PROMETHEE II 를 구한다.

### 4.1 기본설정

앞서 도출된 기술관리, 성능관리, 안전관리, 일정관리의 네 가지 분석기준에 대한 평가지표 산출기준은 PDRI(Project Definition Rating Index)에서의 정의수준을 활용하였다. PDRI는 3개 부(section), 11개 범주(categories), 64개 요소(element)로 구성되어 있으며, 64개의 요소는 PDRI의 평가기준에 따라 0에서부터 5까지 평가된다(Table 4).

Table 4. Evaluation Scale of Project Definition Rating Index (PDRI)

Score	Evaluation Scale
0	Not Applicable
1	Complete Definition
2	Minor Definition
3	Some Deficiencies
4	Major Deficiencies
5	Incomplete or Poor Definition

본 연구에서는 PDRI에서의 정의수준을 활용하여 분석에 적합하도록 평가기준을 재구성하였다(Table 5). 재구성된 평가기준은 항목의 평가에 있어서 평가자들 간의 의사소통 기준 및 리스크 항목을 평가하는 기준으로 활용 가능하게 하였다.

Table 5. Evaluation Scale Criteria

Score	Evaluation Scale
0	Risk factors are no occurrence.
1	Risk factor is very low occurrence possibility. The impact on high-rise construction is very small.
2	Risk factor is low occurrence possibility. The impact on high-rise construction is small.
3	Risk factor has occurrence possibility. There are impact on high-rise construction.
4	Risk factor has occurrence high possibility. There are high impact on high-rise construction.
5	Risk factor has occurrence very high possibility. There are very high impact on high-rise construction.

### 4.2 선호함수 및 파라미터 설정

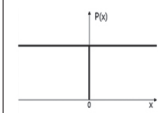
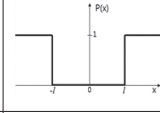
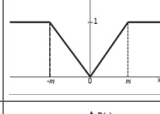
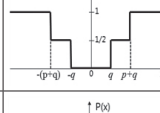
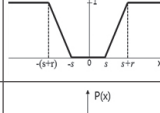
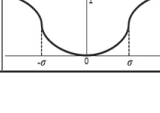
각 평가기준의 특성에 맞는 선호함수를 선정하였다. 선호함수 및 평가지표는 전문가 19인의 설문조사를 통해서 도출하였다(Table 6).

Table 6. Overview of Survey Participants

Division	Field	Work Area	Experience
Participant 1	Architecture	CM	Over 20 year
Participant 2	Mechanic	Construction	Over 20 year
Participant 3	Mechanic	Construction	Over 20 year
Participant 4	Architecture	Construction	15 year ~ 20 year
Participant 5	Mechanic	Construction	Over 20 year
Participant 6	Fire-fighting	CM	10 year ~ 15 year
Participant 7	Mechanic, Fire-fighting	Construction	Over 20 year
Participant 8	Architecture	CM	10 year ~ 15 year
Participant 9	Architecture	Construction	Over 20 year
Participant 10	Architecture	Construction	Over 20 year
Participant 11	Architecture	Construction	15 year ~ 20 year
Participant 12	Architecture	Construction	15 year ~ 20 year
Participant 13	Architecture	Construction	15 year ~ 20 year
Participant 14	Architecture	Construction	10 year ~ 15 year
Participant 15	Mechanic	Construction	Over 20 year
Participant 16	Mechanic	Construction	15 year ~ 20 year
Participant 17	Electric, Fire-fighting	Construction	Over 20 year
Participant 18	Electric, Fire-fighting	Construction	15 year ~ 20 year
Participant 19	Electric	Construction	15 year ~ 20 year

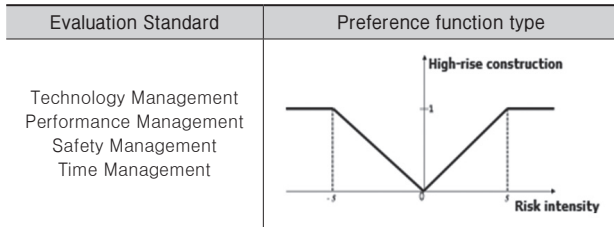
평가기준별 선호함수 유형을 선택한 설문조사 결과 모든 평가기준 항목에서 V Type이 다수인 것으로 나타났다(Table 7).

Table 7. Survey Result of Preference function by Evaluation Standard

Division	Technology Management	Performance Management	Safety Management	Time Management	
Differential Type		0	0	1	0
U Type		1	2	2	0
V Type		10	13	9	10
Stairs Type		5	4	4	6
Linear Type		3	0	1	1
Normal distribution Type		0	0	2	2

V형의 선호함수는 평가지표의 최대값이 5이므로 파라미터 (m)의 값을 5로 설정하였다. 이러한 선호함수의 형태를 초고층 시공리스크 중요도 분석에 적합한 형태로 바꾸면 다음과 같다(Table 8).

Table 8. Preference function type by each evaluation factors



각 평가항목의 평가지표는 평가지표 산출기준에 의하여 설문된 설문결과를 종합하여 각 평가자가 선정한 평가지표의 합을 평가자의 수로 나눈 평균값(평가지표의 합/평가자수)로 산출하고, 산출된 값이 클수록 더 위험한 항목이므로 최대화(maximum)의 문제로 정의된다(Table 9).

Table 9. Assessment data for calculating importance of high-rise construction risks

Evaluation Factors	Evaluation Standard	Technology Management	Performance Management	Safety Management	Time Management
	Max/Min	Max	Max	Max	Max
01. Planning lifting equipment		3.842	3.211	4.158	4.000
02. Preparedness plan for drop and accidental fall from high-rise position		3.105	2.895	4.368	2.947
03. Planning of temporary equipment		3.105	3.053	3.263	3.368
04. Planning of concrete placing		3.421	2.842	2.947	3.368
05. Affected facility plan about wind speed and wind pressure		3.684	3.684	3.368	3.105
06. Pressure control plans in the pipeline		3.737	3.421	3.105	2.947

07. Selection of curtain wall	3.895	3.789	3.421	3.737
08. Considering the construction stack effect	3.947	3.737	2.684	2.895
09. Reflecting the displacement of frame construction	4.211	3.895	3.368	3.211
10. Consider suppression measures of building wind	2.947	2.737	2.684	2.316
11. Lack of new technologies	2.737	2.579	2.368	2.684
12. Application of inappropriate method	3.000	3.211	3.000	3.526
13. Measurement technology	3.632	3.526	2.895	3.000
14. Structure plan considering the high-rise building	4.158	4.053	3.316	3.421
15. Footing plan according to the high-rise building	4.158	4.000	3.368	3.579
16. Outrigger & Belt truss construction	3.737	3.895	3.526	4.000
17. Water cut-off plan for finish floor	3.158	3.000	2.263	2.474
18. Form system planning	3.474	3.053	3.053	3.368
19. Management of heat of hydration	3.368	3.158	2.263	2.842
20. Separated placement of frame	2.842	2.684	2.579	3.000
21. Energy consumption plan	3.158	3.316	2.158	2.632
22. Recovery plans of time delay	3.211	3.053	3.316	4.105
23. Disaster preparedness plan in construction period	2.947	2.789	4.263	2.684
24. Long Lead Item	3.000	3.105	2.474	3.000
25. Material supply distribution plan	3.053	2.789	2.474	3.632
26. Input plan of materials and equipment	3.105	2.895	2.895	3.421
27. High-strength concrete	3.000	3.211	2.158	2.789
28. Allocation plan of labor supply	3.053	2.895	3.632	3.579
29. Lack of field experience of manager	3.737	3.474	3.895	3.789
Preference function	V Type	V Type	V Type	V Type
Weighting	0.25	0.25	0.25	0.25
Parameter	m=5	m=5	m=5	m=5

### 4.3 선호지수의 계산

선호지수의 계산은 다음과 같은 계산과정을 통해 이루어진다. 평가기준  $h$ (기술관리, 성능관리, 안전관리, 일정관리)에 대한 두 리스크  $a, b$ 의 평가지표를 각각  $g_h(a), g_h(b)$ 라고 할 때, 편차  $d_h$ 는 두 평가지표의 차이로서 나타낸다(Table 10).

Table 10. Preference index for calculating importance of high-rise construction risks

$\pi(a, b)$	01. Planning lifting equipment	02. Preparedness plan for drop and accidental fall from high-rise position	03. Planning of temporary equipment	04. Planning of concrete placing	05. Affected facility plan about wind speed and wind pressure	06. Pressure control plans in the pipeline	07. Selection of curtain wall	08. Considering the construction stack effect	09. Reflecting the displacement of frame construction	10. Consider suppression measures of building wind
01. Planning lifting equipment	-	0.105	0.121	0.132	0.092	0.111	0.050	0.129	0.079	0.226
02. Preparedness plan for drop and accidental fall from high-rise position	0.011	-	0.055	0.074	0.050	0.063	0.047	0.087	0.050	0.132
03. Planning of temporary equipment	0.000	0.029	-	0.026	0.013	0.029	0.000	0.053	0.008	0.105
04. Planning of concrete placing	0.000	0.037	0.016	-	0.013	0.021	0.000	0.037	0.008	0.095
05. Affected facility plan about wind speed and wind pressure	0.024	0.076	0.066	0.076	-	0.034	0.000	0.045	0.000	0.158
06. Pressure control plans in the pipeline	0.011	0.058	0.050	0.053	0.003	-	0.000	0.024	0.000	0.126
07. Selection of curtain wall	0.032	0.124	0.103	0.113	0.050	0.082	-	0.082	0.029	0.208
08. Considering the construction stack effect	0.032	0.084	0.076	0.071	0.016	0.026	0.003	-	0.000	0.129
09. Reflecting the displacement of frame construction	0.053	0.118	0.103	0.113	0.042	0.074	0.021	0.071	-	0.200
10. Consider suppression measures of building wind	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-



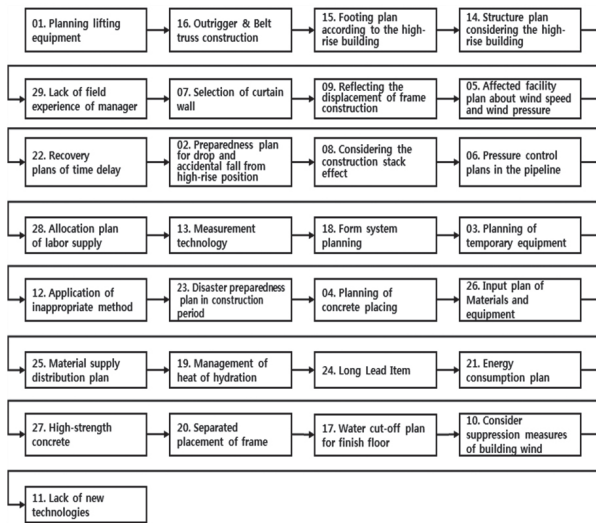


Fig. 2. PROMETHEE II

### 5. 결론

최근 들어 초고층 시설물의 수요가 급격하게 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 FGI 기법을 활용해 초고층 건설공사의 시공단계 리스크 요인을 추출하고 PROMETHEE 기법을 활용하여 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 도출된 리스크 요인들의 대부분은 장비와 공법에 관련된 리스크 요인들로 나타났다.

둘째, 초고층 시공리스크를 평가하기 위한 평가기준 4가지의 경우 V형의 선호함수 형태를 가지는 것으로 도출되었다.

셋째, PROMETHEE 기법을 통해 초고층 시공리스크 요인 분석 결과 ‘양중장비계획’, ‘Outrigger & Belt Truss 시공’, ‘초고층에 따른 기초계획’, ‘초고층을 고려한 구조계획’ 순으로 리스크의 위험도가 높은 것으로 분석 되었고, ‘신기술 적용 미흡’, ‘빌딩풍 억제방안 고려’, ‘마감층 지수계획’, ‘골조분리 타설’ 순으로 리스크의 위험도가 낮은 것으로 분석 되었다. 이상의 분석된 결과는 초고층 건설공사 시공단계에서 체계적 업무수행을 지원할 것으로 기대된다.

### References

Brans, J. and P. Vincke. (1985). “A Preference Ranking Organization Method(the PROMETHEE Method for Multi Criteria Decision-making)”, *Management Science*, 31(6), pp. 647-656.

Goums, M. and Lygerou, V. (2000). “An Extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects”, *European Journal of*

*Operational Research*, 123, pp. 606-613.

Huylenbroeck, G. V. (1995). “The Conflict Analysis Method: bridging the gap between ELECTRE, PROMETHEE and ORESTE”, *European Journal of Operational Research*, 82, pp. 490-502.

Keyser, W.D. and Peeters, P. (1996). “A note on the use of PROMETHEE multicriteria methods”, *European Journal of Operational Research*, 89, pp. 457-461.

Lee, J. Y. (2010). “Analysis of the schedule risk importance using PROMETHEE in building construction management”, Master Thesis, Kyungwon University.

Moon, J., Park, M., and Lee, H., Jung, M. (2014). “Study on Optimization for Construction Vertical Lifting with Transfer Operation for Super High-rise Buildings” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 15(6), pp. 53-62.

Project Management Institute (2004) “A Guide To The Project Management Body Of Knowledge”, Project Management Institute (PMI).

Shin, J., Park, and Kwon, S. (2013). “Development of Optimum Construction Lift Operation System using Sensing Information for High-rise Building” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 14(5), pp. 153-163.

### Appendix. Extraction results of risk factors for each field

#### 1. 시공 분야 리스크 요인

- 1) 양중장비계획(C-R1) : 장비배치위치, 장비 효율성, 내부마감 지연
- 2) COLUMN SHORTEN 고려한 골조공사(C-R2) : 콘크리트주체에 의한 처짐을 감안한 골조높이 조정, 특히 코어내부와 슬래브 끝부분의 처짐량의 차이가 발생
- 3) FORMWORK 계획(C-R3) : 조립식 또는 일체식, 장비를 이용한 거푸집이동 등에 따라 공기의 차이 발생
- 4) 마감층의 지수계획(C-R4) : 초고층이기 때문에 전체 층에서 몇 개 층을 나누어 골조와 마감작업을 진행하므로 마감층상부에 지수계획 필요
- 5) 작업원의 자원배분(C-R5) : 투입인원 및 투입자재의 균등한 배분에 의해 변화를 줄임
- 6) 골조 수직도관리(C-R6) : 골조의 수직차이로 인해 커튼월의 수직과 엘리베이터 수직운행 지장초래

- 7) 초고층을 감안한 구조계획(C-R7) : 코어선행공법 및 중간층의 횡력에 대한 구조계획에 따라 공기 및 공사비 상승요인 발생
- 8) CURTAIN WALL TYPE 선정(C-R8) : 일체형 또는 스틱 타입에 따라 공기 및 누수 영향
- 9) CHIMNEY EFFECT 고려한 시공(C-R9) : 엘리베이터 개폐 및 운행지장, 각종 도어 개폐 문제
- 10) 방수공법 선정(C-R10) : 화장실부위는 탄성을 고려한 재질 선정
- 11) 시공 중 화재에 대한 대처능력(C-R11) : 구역별 감지 및 긴급조치 가능한 소방시설 설치
- 12) BUILDING WIND 억제방안 고려(C-R12) : 빌딩풍을 억제할 수 있는 검토 및 필드테스트 실시
- 13) 공정지연에 따른 만회방안(C-R13) : 반복적인 공정에서 몇 개 공정 지연 시 만회가 어려움
- 14) 협력업체 부도에 따른 조치(C-R14) : 즉각적인 조치 및 신규업체 투입조치
- 15) FOOTING CONCRETE 타설 방법(C-R15) : 기초콘크리트 두께가 3m 이상인 경우 타설 시간의 차이로 인해 양생속도가 틀려 지연성 검토
- 16) 기상에 따른 공기 만회 방안(C-R16) : 협력업체의 탄력적인 휴무조정 및 가설차단막 조치
- 17) 직원의 수행능력 정도(C-R17) : 경험 및 지식의 정도에 따라 공기 및 품질수준 상이
- 18) 양중장비 해체 시기(C-R18) : 엘리베이터 조기 사용으로 마감공사 조기 착수가능
- 19) 고강도 CONCRETE 타설 방안(C-R19) : 건물높이에 따라 타설방법 및 압송관의 지속적인 두께 관리
- 20) COLUMN SHORTEN 에 따른 마감재 시공방안(C-R20) : 지속적인 처짐이 발생되므로 처짐에 대처할 수 있는 완충장치 조치
- 21) 관리자 현장 경험 부족(C-R21) : 초고층프로젝트 현장경험의 부족으로 인한 문제
- 22) 작업 품질 관리 미흡으로 인한 하자 발생(C-R22) : 단계별 공중진행
- 23) 인력 공급의 어려움(C-R23) : 마무리 시 전문인력의 철수
- 24) 자재시황에 의한 공급문제(C-R24) : 자재비의 급등에 공기 지연 우려
- 25) 불량자재 반입(C-R25) : 지속적인 자재검수 필요
- 26) 구조물, 자재, 장비 등의 손상 또는 화재(C-R26) : 대형 사고 우려
- 27) 부적절 공법 사용(C-R27) : 경험부족 및 경제성만 고려한 부적절한 공법 선정우려
- 28) 신기술 적용 미흡(C-R28) : 검증이 되지 않은 공법적용 시 파급효과가 큼

29) 설계도서와 현장여건의 상이(C-R29) : 현장을 고려하지 않은 도서발생

30) 골조와 마감도면 불일치(C-R30) : 사전검토 부족

## 2. 기계설비 분야 리스크 요인

- 1) 자재(장비,) 투입계획(M-R1) : 공간협소에 대한 시차적, 공간적 리스크로 수직, 수평 이동로 사전에 계획해서 투입 시점에 대비
- 2) 자재 양중장비 계획(M-R2) : 부피와 무게를 고려한 양중장비의 적합한 선정
- 3) 자재(장비) 투입구 계획(M-R3) : 수직과 수평으로 이동하는 자재동선을 계획해서 투입시점에 공사 공정 상태에 따라 적합한 운송이 되도록 대비
- 4) 풍속·풍압에 영향을 받는 설비 계획(M-R4) : 초고층에서 기상조건에 영향을 받는 기기가 정상적으로 운영될 수 있도록 성능을 고려
- 5) 비레, 낙하, 추락 대비 계획(M-R5) : 공사 중 높은 초고층에서 비레, 낙하물의 이동거리가 길고 중대 재해 위험이 있으므로 이에 대비한 계획
- 6) 신속·변위 대비 계획(M-R6) : 공사 중 또는 공사완공 이후에 지속적으로 변화하는 구조체에 적합한 계획
- 7) 배관 내 압력 제어 계획(M-R7) : 공사 중 또는 공사완공 이후에 초고층의 높이에 따른 높은 압력에 대한 위험대비, 오류 발생 시에 대비한 안전대책 포함
- 8) 공사 중 재난 대비 계획(M-R8) : 공사 중 또는 공사완공 이후에 자연재해와 화재 등의 재난에 대비한 계획
- 9) 인력·자재 동선, 야적 계획(M-R9) : 작은 대지면적 안에서 초고층(연면적이 큼)시공 중에 대량의 자재와 인력 소화방안 계획
- 10) 지하 유입수 관리 계획(M-R10) : 공사 중 지하 또는 지표면수의 단지 내 유입으로 인한 위험대비
- 11) 에너지 소비 계획(M-R11) : 초고층은 대형 건축물로 에너지 대량 소비 건축물이므로 인입 가능성과 소비량에 대한 계획

## 3. 건설사업관리(CM) 분야 리스크 요인

- 1) 계획기술(CM-R1) : 초고층 수직도, 시공측량의 정확성, 흠막이벽체 변위, 지하수 수위 계획관리(붕괴 및 침하방지)
- 2) 골조 분리타설(CM-R2) : 분리 타설로 작업 지연, 휴무 방지
- 3) 수화열 관리(CM-R3) : Mass Concrete 수화열 및 양생 관리
- 4) 기둥 축소량(CM-R4) : Column Shortening에 의한 부등 축소량 관리(크랙, 처짐)
- 5) 가설장비운영(CM-R5) : 수직공사에 따른 가설장비의 최적 설치 위치 및 운영방식 선정
- 6) Sky Deck 등 거푸집 폼 시스템(CM-R6) : 초고층 반복작



- 업에 따른 생산성이 높고 안전한 시스템 채택
- 7) 조인트 줄눈(CM-R7) : 이어치기(Construction Joint) 및 지연줄눈(Delay Joint) 등 관리
  - 8) 양중장비 설치, 해체(CM-R8) : 초고층 양중장비의 설치 해체에 따른 안전관리
  - 9) 자재인양(CM-R9) : 자재인양에 따른 안전관리
  - 10) 고강도 콘크리트(CM-R10) : 고강도 콘크리트의 설계강도 확보
  - 11) 바람에 대한 영향(CM-R11) : 초고층 작업에 따른 바람에 대한 추락, 전도방지
  - 12) 철골 TMCP강 용접관리(CM-R12) : 후판용접에 따른 예열관리 및 용접불량 방지
  - 13) Hoist 이동(CM-R13) : Hoist를 이용한 인력, 자재 수직 이동 동선확보
  - 14) ACS/RCS 시스템(CM-R14) : 안전하고 효율적인 외부 시스템 비계의 채용
  - 15) 초고층 추락방지(CM-R15) : 추락방지망, 낙하물방지대, 철골작업 안전그물 및 안전띠 설치
  - 16) 철근 기계식이음(커플러)조립(CM-R16) : 대구경 철근 작업효율을 높이고, 이음철근 Loss방지
  - 17) 고압펌프 CPB (타설장비 성능)(CM-R17) : 고층부 콘크리트타설을 위한 고압펌프 장비 확보
  - 18) 커튼월 단열바 유리선정(CM-R18) : 커튼월 침기 및 결로 문제 방지, 단열성능 확보
  - 19) 자재반입 Delivery(CM-R19) : 자재생산, 가공운반, 현장반입일정 준수하여 작업지연 방지
  - 20) 마감공사 Crew Organization 공정 연속성(CM-R20) : 마감공사 연속작업구성을 통한 지역착수, 공정지연 예방
  - 21) Outrigger & Belt Truss 시공(CM-R21) : Outrigger & Belt Truss 등 특수층 시공계획수립으로 지연방지
  - 22) Long Lead Item(CM-R22) : 철골 Built-up 부재, 엘리베이터, 커튼월 등 장기 제작공정 관리

---

**요약 :** 고층 건설 프로젝트는 다양한 위험 요인이 있다. 주요 위험 요인은 시간 지연과 비용의 증가 등의 부정적인 결과이다. 따라서, 본 연구는 PROMETHEE 기법을 사용하여 초고층 건설공사 시공 단계에서의 위험 요인을 분석하였다. 이를 위해, 본 연구는 전문가 표적집단면접법(FGI)을 통해 위험 인자를 확인 하였다. 그리고 PROMETHEE는 초고층 건설공사 위험 분석을 위한 설정 평가 기준으로 사용 하였다. 다음으로, 평가지표 계산의 기준은 PDRI에서 정의 레벨을 사용하여 구성하였다. 선호지수 및 평가 지표는 설문문을 통해 규명되었다. 이러한 과정을 통해, PROMETHEE 기법을 이용하여 본 연구는 초고층 건설공사 시공 리스크의 중요도를 산정하였다. 그 결과, 높은 수준의 위험 요인은 다음과 같이 나타났다. 이것은 '재료 리프팅 운영 계획', '아웃리거 벨트 트러스 건설', '고층 건물의 기초 작업 계획'과 '고층 건물의 구조 개념을 고려'이다.

**키워드 :** Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation(PROMETHRR), 리스크, 표적집단면접법(FGI), 초고층 건설공사

---