

도시철도 건설공사의 공종별 위험도에 관한 연구

이종빈 · 한인국* · 장성록†

부경대학교 안전공학과 · *현대건설

(2015. 9. 30. 접수 / 2015. 11. 16. 수정 / 2016. 1. 12. 채택)

A Study on The Risk Level of Work Types in Urban Railway Construction

Jong-Bin Lee · In-Kuk Han* · Seong Rok Chang†

Department of Safety Engineering, Pukyong National University

*Hyundai Engineering & Construction

(Received September 30, 2015 / Revised November 16, 2015 / Accepted January 12, 2016)

Abstract : The goals of this study were to investigate some significant factors to judge level of safety at urban railway construction field and to analyze degree of risk by work classification. Currently, there are lots of construction fields for the urban railway for national transportation, and our government also planned constructing more urban railway in near future. However, most of the researches on safety neglected the degree of risk factors on the urban railway construction field. Safety managers participated in the brainstorming session for deriving decision criteria of the degree of risk (i.e., significant factors). Then, they were asked to answer a structured questionnaire which was developed for deriving most important factors. Finally, the analytic hierarchy process (AHP) was used to analyze level of risk by work classification. The following results were obtained. First, total twelve factors judging degree of risk were found in the brainstorming session. Second, the questionnaire showed four significant factors, including adjacency of obstacle, intensity of work, unsafe condition and work space. Third, the results of AHP showed civil work is the most dangerous work among 6 work types. The results could be used to give the safety management priority on accident prevention efforts among several hazards and to reduce degree of risk in construction field of the urban railway.

Key Words : urban railway, brainstorming, significant factors, AHP, work type

1. 서론

‘도시철도’는 과거 ‘지하철(地下鐵, subway)’이란 명칭으로 대도시에서 교통의 혼잡을 완화하고 빠른 속도로 열차를 운행하기 위하여 땅속으로 굴을 파서 철도 또는 전동차를 달리게 한 것으로, 지하구간을 통행하는 철도를 의미하였지만, 점차 노선의 확대로 인하여 지하철 구간 외에 지상철 구간이 건설되기 시작하면서 도시철도(都市鐵道, metro, urban railway)란 명칭을 사용하게 되었다. 도시 혹은 광역권 내부 지역 간의 교통을 담당하기 위해 건설되었고, 보통 단거리 수요를 중심으로 계획되었다. 애초 도시가 건설된 후 건설되었기 때문에 지하공간을 활용하는 경우가 많아서 지하철 또는 지하철도라는 명칭으로 불리어졌다. 도시철도 건

설 사업은 1974년 서울도시철도 1호선을 시작으로 2014년 현재까지 40여년 동안 공사가 진행되어 왔으며, 현재 총연장 316 km가 건설되었다. 도시철도는 현재 도시의 대중교통에서 중추적인 역할을 담당하고 있으며, 그 위상에 맞게 국내의 건설경기의 불황에도 불구하고 후속노선이 지속적으로 건설 중에 있다¹⁾. 도시철도 건설공사는 공사의 특성상 주로 대형건설사들이 시공사로 참여하고 있으며, 담당 직원도 도시철도 건설 경력자를 배치하는 관계로 인하여 건설공사 수행에 있어서 상당히 전문성이 높은 편이라 할 수 있다. 그러한 노력에도 불구하고 도시철도 작업장의 작업여건은 여전히 낙후되어 원활한 안전관리에 저해요인으로 작용하고 있다.

도시철도 건설이 지속적으로 진행됨에 따라 화재안

† Corresponding Author : Seong Rok Chang, Tel : +82-51-629-6468, E-mail : srchang@pknu.ac.kr
Department of Safety Engineering, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-gu, Busan 48513, Korea

전성, 유지보수체계, 도시철도차량의 고가선로 비상대피, 도시철도 차량 차륜재의 다축피로강도, 도시철도차량에 적용 할 수 있는 위험도 매트릭스 개발 등 도시철도 운영의 안전성 확보에 관한 연구²⁻⁷⁾는 활발히 진행되고 있으나 도시철도의 건설 중에 발생하는 위험에 관한 연구는 제대로 이루어지지 않은 실정이다.

특히, 건설업에서 지금까지 수행된 위험과 관련된 연구의 대부분은 건축공사 위주이거나 과거 재해사례를 바탕으로 한 위험도 분석 또는 전문공사에 대한 위험성 평가로 이루어져 있다⁸⁻¹³⁾. 하지만, 국·내외 점차적으로 증가 추세에 있는 도시철도 건설과 관련된 위험성 평가는 아직 제대로 이루어지지 못하고 있는 실정이며 이러한 이유로 인해 도시철도 건설 중 발생할 수 있는 사고에 대한 위험성도 점차적으로 증가할 우려가 있다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 국내·외적으로 지속적으로 시행되고 있는 도시철도의 공사에 따른 산업재해를 감소시키기 위한 목적으로 도시철도 건설에 종사하는 안전전문가를 대상으로 하여 도시철도 건설공사 시 위험성을 판단하기 위한 기준을 도출하고, 이에 따른 공종별 위험도를 분석하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 부산교통공사 부산도시철도 1호선 연장(다대구간) 1공구 건설공사 도급계약서를 분석한 결과로부터 도시철도 건설공사를 대상으로 Fig. 1과 같이 연구를 진행하였다.

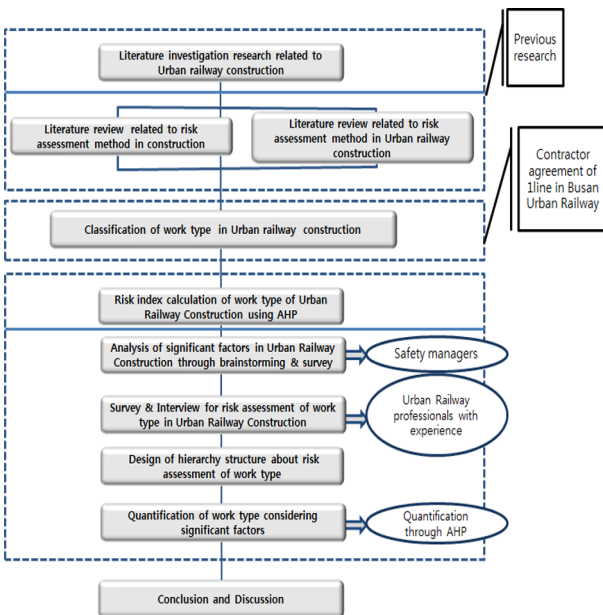


Fig. 1. Flow-chart of study.

1) 도시철도 건설공사의 적용범위 파악 및 공종분류

본 연구에서 제시하고자 하는 도시철도 건설공사에 대한 범위를 파악하고, 부산도시철도 1호선 연장(다대구간)1공구 건설공사에서 분류한 공종을 대상으로 위험성 평가에 적합한 공종을 분류하며, 그에 따른 세부 공종도 분류하였다.

2) 도시철도 건설공사 위험판단기준 도출

도시철도 건설공사의 공종별 위험도를 산정하기 위해 우선 도시철도 건설공사에 대한 경험이 있는 안전전문가 30명을 대상으로 Brainstorming을 실시하여, 그 결과 도시철도 건설공사의 위험도를 평가하기 위해 영향을 미치는 판단기준을 도출하였다.

3) 도시철도 건설공사 공종별 위험도 산정

안전전문가 30명을 대상으로 Brainstorming을 통해 나타난 도시철도 건설공사의 위험도를 평가하기 위해 영향을 미치는 판단기준을 도출하였고, 안전관련 전문가를 대상으로 설문 실시하여 AHP(Analytic Hierarchy Process)^{14,15)}로 분석하고자 하였다. 본 연구에서의 안전관련 전문가란 도시철도 관련 공사 경험을 갖춘 공구장, 부서장, 안전관리자 그리고 현장소장을 포함한다.

마지막으로 AHP를 통해 나타난 위험도 판단 기준에 대한 가중치와 그에 따른 공종별 위험도를 적용하여 최종적인 도시철도 건설공사 공종별 위험지수를 제시하였다.

3. 연구결과

3.1 도시철도공사의 공종분류

도시철도 건설공사는 Fig. 2에서 나타난 바와 같이 토목, 건축, 기계설비, 궤도, 전차선, 신호 그리고 통신으로 총 7개의 대공종으로 분류 된다.

대공종별로 세부공종을 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 토목공종은 가설공사, 굴착공사, 흙막이지보공사, 구조물 공사로 총 4개의 단위공사 및 16개의 세부공종으

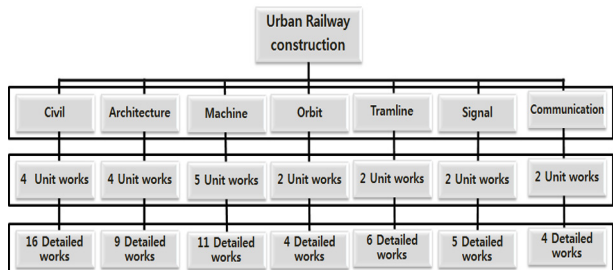


Fig. 2. Classification of work type in Urban Railway construction.

로 구성되며, 건축공종은 4개의 단위공사 및 9개의 세부공종, 기계설비공종은 5개의 단위공사와 11개의 세부공종, 궤도공종은 2개의 단위공사 및 4개의 세부공종으로 구성되고 전차선공종은 2개의 단위공사 및 6개의 세부공종으로 구성되고, 신호공종은 2개의 단위공사 및 5개의 세부공종으로 구성되고, 마지막으로 통신공종은 2개의 단위공사와 4대의 세부공종으로 구성되어 있다. 그중 토목공종이 7개의 대공종 가운데 가장 많은 세부공종으로 구성된 것으로 나타났다. 도시철도 건설공사는 7개의 대공종과 21개의 단위공사 그리고 55개의 세부공종으로 구성되어 있다.

3.2 도시철도공사 위험판단 기준 도출

도시철도 건설공사의 공종별 위험도를 산정하기 위해 우선 도시철도건설공사에 대한 경험이 있는 안전전

문가 30명을 대상으로 Brainstorming을 실시하였다. 그 결과, 도시철도 건설공사의 위험도를 평가하기 위해 영향을 미치는 판단기준은 작업강도, 불안정한 상태, 불안정한 행동, 작업공간, 지장물, 작업인원, 최저가공사, 민원, 복합공정, 돌관작업, 사고경험(사고사례) 그리고 중량물 작업 등 총 24개의 기준이 도출되었다.

안전전문가 97명을 대상으로 12개의 위험판단 기준에 대하여 2차 설문을 실시하였다. 설문내용은 ‘12개의 위험판단 기준 가운데 가장 중요하다고 판단되는 기준 4가지를 선택’하는 형식의 설문을 실시하였다. 그 결과, 도시철도건설공사의 공종별 위험도를 평가하기 위해 가장 중요하다고 생각되는 위험판단 기준은 Table 1에서 나타난 바와 같이 작업강도, 불안정한 상태, 지장물 인접 그리고 작업공간(고소작업)인 것으로 나타났다.

Table 1. Criterion for risk assessment through survey

Criteria of risk judgement	Number of choice
Mass of work	1
Accident experience	8
Civil complaint	1
Unsafe act	1
Rush work	5
Work strength	14
Combined process	4
Adjacent construction of the obstruction	9
The lowest price	2
Number of workers	2
Adjacent construction of the outside	5
Collapse	4
Ventilation & illuminance of enclosed area	3
Work-space(narrow, manage of obstruction)	3
Number of workers	2
The enforcement of an impractical plan	2
Adjacent building(ground sinking)	2
Train adjacent work	2
Climate	1
Hot line work	1
Risk assessment(severity rate and frequency rate)	1
Not wearing the safety equipment	1
High place work	10
Unsafe condition	13
Total	97

3.3 위험도 판단 기준에 대한 가중치 결과 분석

안전전문가 30명을 대상으로 Brainstorming을 통해 나타난 도시철도 건설공사의 위험도를 평가하기 위해 영향을 미치는 판단기준 4가지에 대해 안전관련 전문가를 대상으로 설문을 실시하여 AHP(Analytic Hierarchy Process)^{15,16}로 분석하였다. 본 연구에서의 안전관련 전문가란 도시철도 관련 공사 경험을 갖춘 공구장, 부서장, 안전관리자 그리고 현장소장을 말한다. Table 2에서는 50부의 설문지 중에서 일관성 비율(CR : Consistency Ratio)이 0.1 이하인 설문지의 수를 설문대상에 따라 분석하였다.

Table 2. Analysis of consistency ratio for survey

Subject of survey	Number of distribution	CR(Consistency Ratio) : number of questionnaire less than 0.1
Head of section, Head of department, Safety manager, Construction manager	50copies	29copies

Table 3은 도시철도 공사시 위험성을 판단하는 4가지의 기준에 대한 설문을 실시한 결과이다.

일관성 비율이 0.1이하인 설문지 29부에 대하여 AHP 분석을 실시한 결과 도시철도 건설공사의 위험도를 평가하는데 가장 중요한 위험판단 기준은 작업강도(0.46)인 것으로 나타났으며, 다음으로 불안정한 상태(0.22), 지장물 인접(0.18), 작업공간(0.14)의 순으로 나타났다.

Table 3. AHP results for criteria survey

Subject of survey	CR(Consistency Ratio) : number of questionnaire less than 0.1	Sub.	Work strength	Unsafe condition	Obstruction	High place work
Urban Railway professionals	29	1	0.57	0.22	0.12	0.09
		2	0.08	0.06	0.50	0.36
		3	0.24	0.36	0.26	0.14
		4	0.56	0.18	0.22	0.05
		6	0.50	0.33	0.12	0.05
		7	0.58	0.23	0.11	0.07
		8	0.43	0.16	0.17	0.24
		10	0.53	0.21	0.13	0.13
		14	0.52	0.18	0.15	0.14
		15	0.55	0.28	0.09	0.07
		17	0.52	0.25	0.12	0.11
		18	0.59	0.26	0.09	0.05
		19	0.54	0.23	0.13	0.10
		20	0.37	0.22	0.17	0.24
		21	0.50	0.33	0.12	0.06
		22	0.62	0.24	0.09	0.06
		25	0.24	0.36	0.26	0.14
		26	0.58	0.23	0.11	0.07
		29	0.37	0.22	0.17	0.24
		30	0.43	0.16	0.17	0.24
		31	0.53	0.21	0.13	0.13
		33	0.52	0.25	0.12	0.11
		34	0.59	0.26	0.09	0.05
		36	0.57	0.22	0.12	0.09
		39	0.08	0.06	0.50	0.36
		42	0.57	0.22	0.12	0.09
		45	0.55	0.28	0.09	0.07
		47	0.08	0.06	0.50	0.36
		49	0.53	0.21	0.13	0.13
Average		29	0.46	0.22	0.18	0.14

3.4 위험판단 기준 4가지에 따른 공종별 위험도 분석

위험도 판단기준을 대상으로 도시철도 건설공사의 공종별 위험도에 대한 설문을 실시하였다.

Table 4에서 나타난 바와 같이 도시철도 건설공사 공종별 위험지수를 산정하기 위해 각 위험도 판단기준에 대해 총 50부의 설문지를 분석한 결과 일관성 비율이 0.1 이하인 설문지는 작업강도의 경우 17부, 불안정한 상태 16부, 지장물 인접여부가 11부 그리고 작업공간(고소작업)이 13부로 각각 나타났다.

Table 4. CR(Consistency Ratio) results for survey

Subject of survey	Number of distribution	CR(Consistency Ratio) : number of questionnaire less than 0.1			
		Work strength	Unsafe condition	Obstruction	High place work
Urban Railway professionals	50	17	16	11	13

Table 5. AHP result of survey for work types

Classification	Civil	Architecture	Machine	Orbit	Tramline	Signal	Communication
Work strength	0.46	0.26	0.13	0.11	0.11	0.08	0.07
Unsafe condition	0.42	0.27	0.13	0.13	0.13	0.09	0.08
Obstruction	0.50	0.23	0.11	0.11	0.10	0.08	0.08
High place work	0.43	0.27	0.14	0.11	0.11	0.08	0.08

Table 5에서는 일관성 비율이 0.1이하인 설문지를 대상으로 도시철도 건설공사의 공종별 위험도를 AHP로 분석하였다.

도시철도 건설공사 공종별 위험도를 각 위험도 판단 기준별로 분석한 결과, ‘작업강도’라는 위험판단 기준의 경우에는 토목공사의 위험도가 0.46으로 가장 높게 나타났다. 다음으로 건축공사(0.26), 기계설비공사(0.13)와 궤도공사(0.11), 전차선공사(0.11) 그리고 신호(0.08) 및 통신(0.07)의 위험도 순으로 나타났다. ‘불안정한 상태’라는 위험도 판단 기준의 경우에도 역시 토목공사의 위험도가 0.27로 가장 높게 나타났으며, 건축공사(0.13), 기계설비공사(0.13), 궤도공사(0.13), 전차선공사(0.13) 그리고 신호(0.09) 및 통신(0.08)의 위험도 순으로 나타났다. ‘지장물 인접’이라는 위험도 판단 기준의 경우에도 토목공사의 위험도가 0.50로 가장 높게 나타났으며, 건축공사(0.23), 기계설비공사(0.11), 궤도공사(0.11), 전차선공사(0.10) 그리고 신호(0.08)와 통신(0.08)의 위험도 순으로 나타났다. 마지막으로 ‘작업공간(고소작업)’이라는 위험도 판단 기준의 경우에도 역시 토목공사의 위험도가 0.43으로 가장 높게 나타났으며, 건축공사(0.27), 기계설비공사(0.14), 궤도공사(0.11), 전차선공사(0.11) 그리고 신호(0.08)와 통신(0.08)의 위험도 순으로 나타났다. 도시철도 건설공사의 공종별

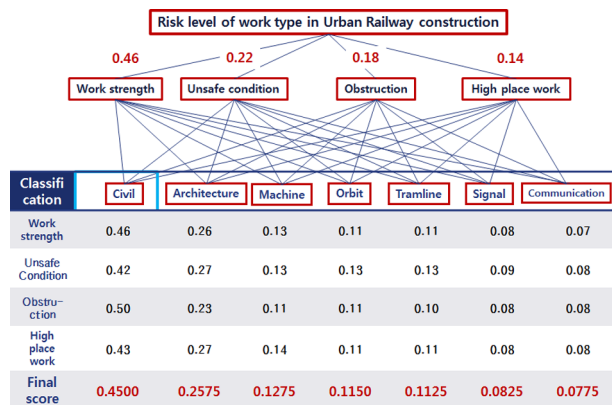


Fig. 5. Final risk score for work type by AHP.

위험도를 최종적으로 Fig. 5와 같이 산정하였다. Fig. 5에서 나타난 바와 같이 도시철도 건설공사의 공종별 최종 위험도를 살펴보면 토목공사가 0.4500로 가장 높은 공종인 것으로 나타났다. 다음으로 건축공사의 위험도가 0.2575로 나타났으며, 기계설비공사의 위험도가 0.1275, 궤도공사의 위험도 0.1150, 전차선공사의 위험도 0.1125 그리고 신호공사 위험도가 0.0825, 마지막으로 통신공사의 위험도가 0.0775로 나타났다.

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 도시철도 건설에 종사하는 안전전문가를 대상으로 하여 도시철도 건설공사 시 위험성을 판단하기 위한 기준을 도출하고 위험도를 분석하였다. 먼저, 도시철도 건설공사에서 위험성을 판단할 수 있는 기준을 파악하기 위해 안전전문가를 대상으로 1차적으로 Brain storming을 실시하였고, 그 결과를 적용하여 도시철도 건설공사의 공종(토목, 건축, 기계설비, 궤도, 전차선, 신호, 통신공사)별 위험도를 구하기 위한 설문 실시하였으며, 설문결과는 AHP를 이용하여 분석하였다. 연구의 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 안전전문가를 대상으로 Brainstorming을 실시하여 도시철도 건설공사의 위험성을 판단하기 위한 기준 4가지(작업강도, 불안전 상태, 지장물 인접, 작업공간(고소작업))을 도출하였고, 이 가운데 작업강도와 지장물 인접 작업이 도시철도 건설공사의 위험도에 많은 영향을 주는 것으로 분석되었으며, 도시철도 건설공사에서 상수도 관, 도시가스 등 지장물이 인접한 장소에서 작업강도가 높은 작업을 하는 조건에서 위험도가 높게 나타나고 있다. 이는 도시철도 건설공사의 특징이라 할 수 있는 협소한 공간에서의 작업이 많고 이로 인해 소요되는 장비 및 근로자의 수가 많기 때문인 것으로 판단된다.

2) 도시철도 건설공사에서 위험성을 판단할 수 있는 기준을 파악하기 위해 안전전문가를 대상으로 1차적으로 Brainstorming을 실시하였고, 그 결과를 적용하여 도시철도 건설공사의 공종(토목, 건축, 기계설비, 궤도, 전차선, 신호, 통신공사)별 위험도를 구하기 위한 설문을 실시하였으며, 설문결과는 AHP를 이용하여 분석하였다. 그 결과 7개의 공종 중에서 토목공종의 위험도가 0.4500로 가장 높게 나타났다. 토목공종의 위험도가 높게 나타난 이유는 타(건축, 기계설비, 궤도, 전차선, 신호, 통신)공종에 비하여 다수 직종과 근로자 및 장비를 동시에 투입하며, 토공 및 구조물, 가시설물(비계, 작업

발판, 안전시설물 등) 설치 등 작업강도 조건에서도 타 공종에 비하여 상당히 높은 실정으로 위험도가 높게 분석되는 것으로 사료된다.

반면에 건축, 기계설비, 통신, 신호 등 공종은 토목 공종에 비하여 보다 마감 위주의 작업과 소수직종(운반, 설치 등), 유동 근로자가 적어 위험도 측면에서 다소 낮게 나타난 것으로 판단된다.

3) 도시철도 건설공사의 공종 중에서 위험도가 높게 나타난 토목공종의 특징은 다수 직종과 근로자의 수 및 유동 근로자가 많기 때문이다. 이러한 위험공종에 대해서는 안전관리자, 보조원, 감시원 등의 증원과 협력사 안전관리비 산정시 위험도에 따른 공종별 산업안전보건관리비의 적정 효율을 적용하여 효율적인 투자를 하는 등 선택과 집중이 필요할 것으로 사료된다.

4) 이를 위해 유해위험방지계획서 작성 및 공종별 안전관리계획서 작성시 공종별 위험도 분석을 활용한 재해 감소 대책 방안을 모색하고, 향후 인력 투입에 의한 건설공사의 진행 보다는 장비의 개발 및 활용을 통한 인적 위험정도를 감소하며, 위험도가 높은 공종에 대한 기술적, 관리적, 교육적 안전관리 기법의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

5) 본 연구는 도시철도 건설공사를 수행함에 있어서 위험도를 판단할 수 있는 기준을 안전전문가를 대상으로 Brainstorming을 실시하여 도출하였다. 이는 정성적인 판단 기준에만 의존해 나타난 결과이므로 향후 도시철도 건설공사 재해사례를 이용하여 정량적 분석을 통한 신뢰성 증대가 필요할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는 도시철도 건설공사의 7개 공종에 대한 위험도를 분석했으나, 향후 21개의 단위공사 및 55개의 세부공종에 대한 위험도 분석을 실시함으로써 도시철도 건설공사 시 발생할 수 있는 산업재해 근절을 위해 추가적인 연구를 수행할 필요가 있을 것으로 사료된다.

감사의 글: 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2015년)에 의하여 연구되었음.

References

- 1) Busan Transportation Corporation, "Construction Plan of Safety & Environment Construction", 2014.
- 2) Y. M. Kim, W. H. You and Y. G. Park, "A Abnormality Vibration Reduction Study through Wheelprofile Changes for Urban Rolling Stock", KSAE 2013 Annual Conference and Exhibition, pp. 106-107, 2013.
- 3) S. Y. Chung and W. Y. Lee, "A Study on the Estimation

- Function of the Operating Cost for an Urban Railway(with a focus on Medium-sized Rapid Transit)”, Journal of THE KOREAN SOCIETY FOR RAILWAY, Vol. 16, No. 4, pp. 318-330, 2014.
- 4) D. -B. Lee, “A Study on Efficient Operation Plan for Integrated Control on Urban Railway”, Master’s Thesis, Woosong University, 2014.
 - 5) J. K. Ryu, “A Study on the Appropriateness Investigation of the Construction of Rail Expansion Joint in Metro Line Tunnel”, Master’s Thesis, Seoul National University of Science and Technology, 2013.
 - 6) S. -i. Jin, “A Study on the Optimization of Urban Railway Route using GIS”, Doctoral Thesis, Incheon National University, 2012.
 - 7) J. Y. Jeon, “Study on Lateral Damper to Prevent the Abnormal Impact Noise and Vibration(EMU Line 5)”, Master’s Thesis, Seoul National University of Science and Technology, 2012.
 - 8) J. -B. Lee, S. -s. Go and S. R. Chang, “The Risk Assessment of Work Type in Reinforced Concrete Construction Work”, Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 20, No. 1, pp. 119-125, 2005.
 - 9) J. -B. Lee, S. -s. Go and S. R. Chang, “A Study on the Risk Rate of Work Type According to the Fatal Accident Cases and the Work Strength in Construction Work”, Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 21, No. 4, pp. 102-107, 2006.
 - 10) S. -s. Go and J. H. Oh, “A Study on the Risk Assessment of Formwork”, Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 17, No. 3, pp. 96-101, 2002.
 - 11) M. -W. Lee and C. -S. Lee, “A Study on the Estimation of Severity for Apartment Construction Work”, Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 15, No. 2, pp. 118-125, 2000.
 - 12) M. -W. Lee and C. -S. Lee, “A Study on the Estimation of Severity Rate for Construction Work”, Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 16, No. 5, pp. 105-112, 2005.
 - 13) KOSHA, “A Study on the Safety Models through Risk Assessment by Specialty Construction”, 2009.
 - 14) Thomas L. Saaty, “The Analytic Hierarchy Process”, New York, McGraw-Hill, 1980.
 - 15) Thomas L. Saaty, “Decision Making for Leaders”, RWS Publications, 1995.