

건설현장의 위험요소 사례연구를 통한 위험저감 방안의 고찰

-토공사, 기초공사, 철근콘크리트공사를 대상으로-

Plans for Reducing Risk through a Case Study of Risk Factors at a Construction Site

-Focused on Earth work, Foundation Work, Reinforced Concrete Construction-

김진호*

Kim, Jin-Ho

Department of Architectural Engineering, Tongmyong University, Nam-Gu, Busan, 608-711, Korea

Abstract

With construction projects continuously becoming more massive and complex, risk factors have been consistently increasing. To achieve a successful project, it is very important to identify and cope with such risk factors. Therefore, the purpose of this study is to suggest plans of reducing risk, not only for describing the drafting process for construction planning but also for systematically organizing constraints and risk factors in earth work, foundation work and reinforced concrete construction. To achieve these objectives, this study 1) analyzes previous theories about risk classification structure, 2) performs a case study of an actual project to embody the problems of safety management by analyzing the results of an interview with a construction engineer. In conclusion, the following factors were systematically organized: 1) characteristics of construction site (purpose, structure, floor, etc.); 2) the actual application conditions of the main construction methods; 3) the relationship between constraints and risk factors.

Keywords : risk factor, constraints, uncertainty, construction method, priority management

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근의 건설현장에서는 기후적 요인이나 지반특성, 건축물구조의 복잡성으로 인해 프로젝트수행에 있어서 예측하기 곤란한 불확실성이 증가하고 있다. 특히 건설현장에는 다수의 공종이 존재하고, 직종별 작업자투입 선후관계가 복잡하여 타 산업보다 작업자의 안전을 위협하는 사고 위험요소가 매우 많다. 특히 도시과밀화 현상에 의해 도심지교

통량이 증가하여 도심지공사에서는 복잡한 제약조건이 다수 존재하게 되었고, 공중 간 작업간섭의 심화에 의해 위험요소가 다양해지고 있다. 그리고 시공단계에서의 위험요소는 작업자의 부상 등, 막대한 손해를 초래할 수 있다.

기존연구[1]에서는 건설공사는 넓은 수행범위와 복합성에 기인한 불확실성 때문에 다른 사업분야에 비해 위험(Risk)에 대한 노출수위가 크고, 형태도 다양하기 때문에 사전에 위험을 인지하고 적절하게 대응하는 적극적인 위험관리가 필요하다고 하였다.

이런 이유로 건설현장에서의 제약조건에 따른 위험요소를 축출하여 재해발생요인을 사전에 파악하는 것은 안전성 확보 차원에서 절실히 요구된다. 본 연구에서는 토공사, 기초공사, 철근콘크리트공사를 대상으로 건설현장에서의 위험요소 사례연구를 통하여 이를 사전에 인지하고, 적절히 대응할 수 있는 방법론에 대해 고찰하였다.

Received : June 30, 2010

Revision received : July 27, 2010

Accepted : August 3, 2010

* Corresponding author:

[Tel: 82-51-629-2471, E-mail: jhkim386@tu.ac.kr]

©2010 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

1.2 연구의 방법 및 범위

기존연구는 ‘위험요소 분류체계’, ‘위험성평가’, ‘피난위험요소 안전관리’로 구분하여 연구의 동향과 주요 연구내용을 파악하였으며 이를 토대로 본 연구의 신규성을 고찰하였다.

조사방법은 현장에 근무하는 건축기사를 대상으로 면담조사(Table 2 참고)를 실시하였고, 취득한 관련자료¹⁾의 내용을 토대로 주요 공법 및 시공계획을 기술하였다.

현장사례연구는 3개 현장을 대상으로 3개 공종(토공사, 기초공사, 철근콘크리트공사)을 조사의 대상으로 하였으며, 현장의 특성(건축물 용도, 구조, 층수 등)을 파악하고, 제약조건 및 위험요소를 추출하였다. 특히 타 현장에 비해 비교적 구체적인 자료를 취득할 수 있었고, 면담조사의 내용이 현장상황을 상세히 기술한 현장을 대상으로 공정진척상황, 주변 근린의 민원제기내용, 주요 공법의 적용상황, 제약조건과 위험요소를 실증적으로 분석하였다. 이를 토대로 건설현장에서의 위험요소를 사전에 인지하고, 효율적으로 대응할 수 있도록 중점관리 방안을 제시하였다.

2. 사고발생 메카니즘 및 기존연구의 고찰

2.1 사고발생 메카니즘

하인리히에 의하면 사고로 상해나 손실이 발생하고, 사고의 직접적인 원인은 불안정한 인간행동이나 환경에서 초래한다. 불안정한 조건은 개인적 결함에서 비롯되고, 개인적 결함은 사회환경에 기인하며, 사고는 이러한 요인의 연쇄작용에 의해 발생한다. 버드는 하인리히의 도미노이론에서 사고의 직접원인이 되는 불안정한 행동에는 근본원인이 존재하고, 이것은 관리상의 결함에서 비롯된다고 하였다. 이러한 직접원인은 ‘인적 요인’과 ‘업무 및 시스템 요인’으로 구분되며, ‘인적요인’은 불충분한 지식이나 육체적 스트레스를 들 수 있고 ‘업무 및 시스템 요인’은 부족한 감독과 부적절한 장비, 재료, 부적절한 작업환경 등이 있다. 사고방지는 직접원인보다는 이러한 직접요인을 초래한 근본원인과 관리결함을 규명하는 것이 매우 중요하다²⁾.

Figure 1은 전술한 내용을 토대로 재구성한 사고발생의 메카니즘을 도식화한 것이다. 따라서 하인리히나 버드이론에 의하면 사고는 복잡한 사회환경이나 개인적인 문제

로 발생하며, 불안정한 인간행동에 존재하는 근본원인과 관리결함을 규명함으로써 사고를 방지할 수 있다.

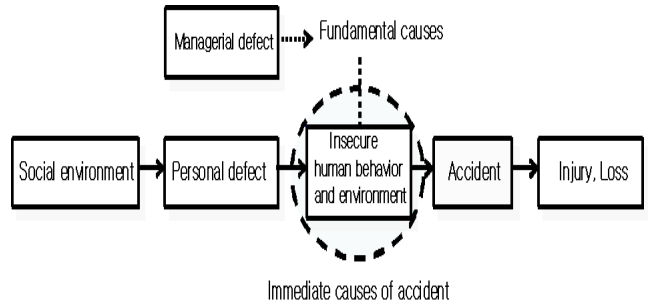


Figure 1. Mechanism of accident occurrence

물론 본 연구는 실제 발생한 사고사례를 분석하는 것이 아니라 현장에 잔존하는 위험요소를 규명하는 것이므로 Figure 1에서 사고(Accident)이전 과정을 고찰하기로 한다.

2.2 기존 연구의 동향 및 주요 내용

Table 1은 기존연구의 주요 내용을 나타낸 것이다.

Table 1. Summary of previous studies of risk factor

Authors	Major research content
Chu and Kim[1]	·Extraction of risk factors in construction project ·Re-establishment of risk identification in building construction
Oh and Cho[3]	·Review of risk classification system in structural frame work ·Guidelines for reducing damages by natural hazards
Lee et al.[4]	·Cultivation of risk classification structure at construction phase ·Methodology of development of project management module
Lee et al.[5]	·Characteristics of construction site considering risk influence factors ·Proposal of risk assessment method
Kim and Kim[6]	·Review of risk evaluation method through the analysis of significant hazards in steel-frame work
Shin et al.[7]	·Concept of performance based design(PBD) ·Methodology of egress design considering risk factors of high-rise residential building in Korea

1) 현장의 위험요소는 공사의 내용과 현장의 환경에 따라 다양하게 존재하므로 현장단위로 공종으로 구분하여 고찰할 필요가 있다.

그러나 기존연구에서는 현장별 사례연구가 미비하였고, 공종별로 적용된 공법과 공사내용에 연관된 위험요인의 분석이 부족하였다.

1) S.D.A매입말뚝공사 및 공사현황, 복합빌딩 신축현장 C.I.P 적용현황, D건설 월드클래스아파트공사 카타로그.

2) Ahn[2], pp.51의 내용을 요약하여 재구성함.

2) 기존연구[3]은 골조공사를 대상으로 하였으나 자연재해로 인한 피해사례연구로 현장단위로 접근하여 리스크(위험)요소를 추출한 연구는 아니며, 기존연구[6]은 철골 공종을 대상으로 하였지만, 3년간의 사망재해를 분석하여 위험성평가방법을 고찰한 것으로 현장 사례연구는 아니다.

기존연구[5]는 공종별로 통계자료를 근거로 재해자 수와 부상사 수 등을 파악하고, 위험도산정법을 제시하였지만, 공종별로 위험요소의 세부적인 내용에 대한 분석은 이루어지지 않았다.

3) 기존연구[1]은 기존 건설공사를 대상으로 국내·국외의 문헌조사를 통해 위험분류체계를 재구성한 연구이다. 그리고 기존연구[4]는 시공단계에서의 위험요소를 재해사고 이외 하도급발주지연 등, 프로젝트수행에서의 포괄적인 위험요소로 규정하고, 프로젝트의 관리모듈을 제시하였다.

4) 기존연구[7]은 초고층건물에서의 사양위주 설계를 지양하고, 피난위험요소를 도출한 이후 성능을 고려한 재실자의 피난설계 방향을 제시한 것으로 현장의 작업자 안전위험과는 다소 거리가 있다.

2.3 본 연구의 신규성(新規性)

건설 프로젝트는 일회성(一回性)으로 수행되어 프로젝트마다 연계성이 없고, 지역마다의 기후적 요인이나 지반특성의 상이성 등으로 현장마다 시공계획은 다양할 수 밖에 없다. 따라서 현장단위의 조사가 필요하지만, 기존연구에서는 건설 현장의 사례연구와 공사단위별 분석이 미흡하였다.

본 연구가 기존연구와 차별화되는 점은 다음과 같다.

- 1) 현장단위의 실증적(實證的)인 사례연구를 실시하였고, 토공사, 기초공사, 철근콘크리트 공종을 대상으로 현장에 각 공법이 적용된 배경과 문제점을 분석하였다.
- 2) 이를 기반으로 현장마다 구체적인 제약조건 및 위험요소를 도출하고, 공종별 및 공법별로 착공이전 및 시공계획 수립단계에서 사전에 고려해야 할 안전성확보 방안을 제시하였다.

3. 건설현장 제약조건 및 위험요소 사례연구

3.1 조사대상 현장의 개요 및 특수상황

Table 2는 조사대상 현장개요 및 특수상황을 나타낸 것이다.

3.1.1 현장 A

현장 A는 도심지밀집지역에 위치하고 있는 RC조 복합건축물로 건물 내 주차타워를 축조하는 것이 특징이며, 작업장 주변에 저층의 주택이 에워싸고 있는 관계로 작업공간이 매우 협소하여 현장시공에 장애요인이 많은 곳이다. 따라서 당 현장에서는 소형장비의 투입이 가능한 공법을 적용하였다.

현장주변의 교통정체와 민원제기로 레미콘타설은 토요일이나 일요일에 이루어지는 경우가 많았고, 일부작업은 야간에 실시되어 공기지연과 작업자의 피로누적이 우려되었다. 따라서 본 현장에서는 지반굴착과 동시에 주입액을 연속적으로 주입이 가능한 S.G.R공법을 적용, 공기단축을 도모하였다.

또한 지하수위가 높은 곳으로 흠막이공사와 차수작업을 함께 실시하여 소음 및 분진문제로 작업자의 안전위협과 인근 근린에 공해문제를 야기하였다. 그리고 2개 도로가 만나는 지점에 위치하는 곳으로 주간 인구유동량 증가시, 각종 중장비의 출입이 있는 경우 통행인의 안전성 확보가 요구되었다.

3.1.2 현장 B

본 현장의 주요 공법은 SDA(Separated doughnut auger; 분리형 도넛 오거말뚝)매입말뚝과 C.I.P공법³⁾이며, SDA공법은 도심에서 기초공사를 하기 위해서 저소음 및 저진동을 목적으로 하는 공법으로 최근 적용되는 경우가 확대되고 있다.

C.I.P는 소음과 진동의 최소화를 고려한 흠막이벽 구축 공법이며, 주열식 현장타설 지하연속벽 공법이다. 본 현장에서는 지반굴착 이후 Steel cage와 H-pile을 삽입하여 레미콘 타설과 양생의 과정을 거쳐 캡빔(Cap beam)⁴⁾을 시공하였고, 단계별로 굴착을 진행하였다.

문제는 C.I.P 흠막이상단부에서 작업자들이 이동 중 안전모착용을 소홀히 하고, 흠막이상단부에는 이동에 방해가 되는 장애물이 많아 추락위험이 크다는 점이다.

또한 골조공사가 진행될 때 타워크레인으로 합판거푸집을 인양할 경우, 중량물(합판 3장은 개략 150kg정도)을 인

3) Lee[8]에 의하면 C.I.P공법은 'Cast in place'의 약어로 흠막이공사에서 지반천공 후 모르터를 주입하여 토류벽을 형성하는 공법으로 협소한 장소에서도 시공이 가능하지만, 벽체의 차수능력이 떨어지므로 L.W공법, J.S.P공법 등, 차수공법을 병용하는 경우가 많은 것으로 규정하고 있다.

4) C.I.P는 콘크리트 주열식 흠막이벽이며, 흠막이벽의 상단부가 연속성을 가질 수 있도록 콘크리트를 타설해 이어주는 부분을 'Cap beam'이라고 말한다.

Table 2. Summary of construction site and specific situation

	Construction site A	Construction site B	Construction site C
Purpose	Complex building	Major retail outlet	High-rise residential building
Structure	RC structure	RC structure	Reinforced concrete box frame
Floor	·First basement level ·Ten stories high	·First basement level ·Five stories high	·Three stories below ·37stories high
Main construction method	·Cast in place(C.I.P) ·Labiles wasserglass(L.W) ·S.G.R ·Jumbo special pile(J.S.P)	·Separated doughnut auger(S.D.A) ·Cast in place(C.I.P)	·Link beam ·Guide rail system ·Concrete placing boom(C.P.B)
characteristic	·Parking tower in building	·Outskirt of the downtown	·Centural business area ·Fire protection zone
Constraints	·Intersection ·Distribution of low-rise housing ·Downtown built-up area ·Difficulty of safety distance securement from nearby building ·Working space narrowness ·High ground-water level	·Railroad in and around site	·Waterfront apartment ·Downtown built-up area ·Strong sea breeze
Risk factors	1) Traffic jam 2) Many passerby around site 3) Laborer movement difficulty 4) T/C operation difficulty 5) Material loading around H-beam for shoring 6) Non-fit of safety catch at the top of shoring 7) Jib crane loading on the brace for shoring 8) Material arrangement defect 9) Fixing defect of temporary ramp 10) Simultaneous progress of shoring work and waterproof work	11) Projecting H beam on the top of shoring 12) Bond failure of rope for hoisting Material 13) Non-fit of safety catch for retaining wall form work 14) Fixed defect of scaffolding board for retaining wall form 15) Non-fit of safety catch for retaining wall rebar work	16) Difficulty of steel frame transportation by strong wind 17) Difficulty of concrete forming by strong wind 18) Contact risk between pump car boom and high-tension wires 19) Injury risk by strong sea breeze

양할 로프를 안전하게 결속하지 않는 사례가 일부 파악되었다.

이로 인해 합판거푸집의 낙하에 의해 하부에서 작업 중인 노무자의 부상위험이 매우 크다. 이유는 중량물 인양작업반경내 작업자의 이동제한이 거의 준수되고 있지 않기 때문이며, 타 공사의 공정을 준수하기 위해 작업자를 통제하지 않는 경향이 있다. 예를 들면, 합판인양 중, 지상에서는 거푸집가공이 실시되는 경우도 있어 낙하에 따른 부상 위험이 크다.

도심외곽지역에 위치한 대형마트 건설현장이기 때문에 현장 주변에 천(川)과 간선도로가 인접해 있고, 현장 바로 인근에 철로가 위치해 있는 것이 본 현장의 특징이다. 따라

서 고속으로 전철주행 시 작업자의 안전 및 철로방향 옹벽 구간공사에 세심한 주의가 요구되며, 작업 위험요소는 다음과 같다.

- 1) 철로방향 옹벽구간 벽체거푸집설치 중, 거푸집의 전도를 방지할 가설물의 미설치로 작업자의 부상이 우려되었다.
- 2) 옹벽거푸집공사용 작업발판이 견고하게 고정되지 않은 상태에서 작업이 이루어지는 경우가 많아 작업자의 이동에 의해 발판이 흔들리면 전도될 위험이 크고, 작업자의 추락이 우려된다.
- 3) 옹벽벽체철근조립 시 전도방지를 위한 가설물이 설치되는 경우가 드물어 벽체철근의 전도위험이 있다.

3.1.3 현장 C

본 현장은 해안가에 근접한 철근콘크리트 벽식구조로 설계된 주상복합 집합주택이다.

골조공사에서 Link beam⁵⁾의 설치 시 철골부재를 상부공간에서 오차 없이 시공하기 위해서는 가설부재의 세우기 등, 추가적인 작업이 요구되었다. 문제는 강한 해풍의 영향으로 철골부재 인양 시 낙하우려나 가설부재의 전도위험을 배제할 수 없음에도 불구하고, 작업층 근로자의 이동이 제대로 통제되지 않아 사고위험이 크다. 그리고 철골빔에 거푸집을 설치한 이후에도 강한 해풍에 의해 콘크리트 타설이 용이하지 않아 작업자에게 주의가 요구되었다.

콘크리트타설은 지하층과 저층부의 경우는 펌프카(Pump car)로 중층부는 일반 펌프와 C.P.B⁶⁾ 및 디스트리뷰터를 이용하였다. 그리고 고층부는 고압 펌프와 C.P.B, 디스트리뷰터를 이용하였다.

C.P.B공법은 펌프를 이용해 배관으로 운반된 콘크리트를 타설하는 것으로 C.P.B는 Tubular column에 설치하는 경우가 많다. C.P.B공법의 장점은 이음부를 최소화 할 수 있고 타설인원의 감소가 가능하며, 설치 및 해체가 용이하지만 비용이 다소 증가되는 단점이 있다.

이런 단점에도 불구하고 C.P.B공법이 적용된 이유는 공기단축에 기여하기 때문이지만, 도심밀집지역인 관계로 콘크리트 펌프카의 연결작업 시 Boom대의 고압선접촉 위험이 크다는 것이 위험요소로 나타났다.

외부측벽의 콘크리트타설 및 철근조립 시에는 Guide rail system으로 호칭되는 거푸집시스템을 이용하였다. 이 시스템의 장점은 조립이나 해체시간을 줄일 수 있고, 수직관리가 우수하다.

그러나 해안가의 강풍에 의해 작업자의 중심이동이 곤란하여 조립된 철근단부에 작업자가 접촉하여 부상을 당할 위험이 존재하였다.

3.2. 현장 A에서의 제약조건과 위험요소의 고찰

본 절에서는 비교적 구체적인 자료가 제시된 현장 A를 대상으로 사례연구를 실시하였다.

- 5) ‘인방보’ 라고도 말하며 주로 구조물의 코아 내·외부를 관통하는 출입구 위에 각층 바닥과 연결되어 설치되는 것으로 벽식구조 또는 코아구조에서 벽체간의 연결을 위한 부재이다.
- 6) Lee[8]에 의하면 C.P.B는 마스터에 타설 붐을 연결하여 타설하므로 수직상승을 위해 마스터를 별도로 설치하며, C.P.B는 이동이 불가능 하므로 건물전체가 붐이 미치는 작업반경안에 들어오는 위치에 설치해야 하는 것으로 규정하고 있다.

3.2.1 현장개요

본 현장주변에는 대형마트와 입시학원 등이 있으며 지하 1층, 지상 10층의 위락시설 신축공사로서 연면적은 3237m²이고, G.L 기준 굴착깊이가 11m, 최고높이는 34m인 복합빌딩이다.

조사시점에서는 공정진척율이 9%정도로서 1층 기둥 및 벽체철근조립과정에 있으며, 주변 민원과 교통량을 고려한 관계로 주로 주말에 레미콘 타설을 계획하며 시공하고 있는 상황이다. 주요공법으로는 토공사 및 기초공사에서는 C.I.P공법과 L.W공법⁷⁾, S.G.R공법⁸⁾ 적용되었으며, 차수상태가 불량하다고 생각하는 흠막이 배면에 J.S.P공법⁹⁾이 적용되었다.

L.W공법과 J.S.P공법 적용 시 투입장비가 소형인 관계로 현장 A와 같이 작업공간이 협소한 곳에서 효율적으로 가동할 수 있으며, S.G.R공법은 지반천공과 SGR약품 주입이 동시에 가능하므로 공기단축에 다소 도움이 된다.

철근콘크리트 공사에서 지하옹벽 작업을 위해 거푸집 공사용 앵커를 C.I.P H빔에 철근을 용접하여 콘크리트 타설시 발생하는 측압에 대비하여 시공하였다. 그리고 방수, 조적, 미장, 드라이비트와 유리, 창호, 타일공사 시에는 공정에 따라 작업자를 투입할 예정이었다.

3.2.2 현장의 제약조건과 위험요소가 미치는 영향

본 현장주변에는 위락시설 및 근린생활시설이 밀집되어 있으며, 대형마트 후면에 위치한 관계로 작업관계상 여러 가지 고려할 요인이 많다.

이런 이유로 본 현장의 위험요소가 현장에 미치는 영향은 Table 3과 같이 나타낼 수 있다.

- 1) 폭이 20m인 큰 도로와 10m인 작은 도로가 만나는 지점과 도심밀집지역에 위치하고 있기 때문에 교통체증이 심하고, 사람들의 유동량이 많다.

- 7) Kang et al.[9]에 의하면 L.W공법은 지상의 Y자관을 통해 규산소다 수용액과 시멘트현탁액을 혼합하여 지반에 주입시켜 지반의 공극을 시멘트입자로 충전해서 지반강화 및 지수성을 향상시키는 저압침투공법으로 규정하고 있다.
- 8) Kang et al.[9]에 의하면 차수 및 지반보강공법의 일종으로 지반에 유도공간을 형성시켜 주입액(규산소다+시멘트+SGR약품)을 저압으로 연속 주입하는 공법으로 규정하고 있다.
- 9) Lee[8]에서는 로드를 회전 인발하여 지중에 원주상의 고결체를 형성시키는 주입공법으로 지반개량 강도가 매우 높고, 연약지반의 차수 및 지반강화가 우수하다는 점과 토사층이 깊더라도 개량효과가 뚜렷한 공법으로 정의하였다.

Table 3. Summary of influence of risk at construction site

Constraints	Risk factors	Influence of risk		
intersection	1) Application 2) Road Lane violation 3) Crane accident risk	·Necessity of road provisional occupation		
			Distribution of low-rise housing	3) ·Civil complaints(noise, vibration)
Difficulty of safety distance securement from nearby building	4)	·Jib crane installation		
			Working space narrowness	5) 6) 7) 8) 9)
High ground-water level	10) ·Working interference			

이런 요인으로 구청에 임시도로점용 허가를 얻어 차선을 일부 침범하여 작업을 병행하였기 때문에 각종 크레인 및 트럭 등, 중장비의 진출입이 많은 토공사, 가시설공사, 철근콘크리트 공사 시에는 사고의 위험이 존재하였다. 따라서 현장에서는 토사반출 및 레미콘차량 출입 시, 사전에 주변의 교통량과 사람의 유동량을 면밀히 파악할 필요가 있었다.

2) 현장 주변에 3층 및 2층 주택과 조립식 가건물이 둘러싸고 있기 때문에 작업자의 이동이 제한적이며, 공사 시 주변 건물에도 피해를 줄 수 있다. 따라서 콘크리트 타설이나 미장 작업(외부마감, 스톤코트, 드라이비트) 시 안전성 확보 곤란과 근린민원제기가 발생되었다.

Figure 2는 현장 A 주변의 배치상황 및 지브크레인 작업 반경을 나타낸 것으로 현장을 둘러싼 주택은 60~70년대 건축한 건물이어서 토공사, 골조 공사를 진행하면서 작업자의 안전문제와 민원제기(소음 및 분진 등)가 발생하였다.

이런 이유로 사전에 관할구청 및 관할 경찰서 교통지도계에 신고하여 양해를 받아도 주변 근린에 의해 다수의 민원이 행정기관에 제기되었고, 행정기관의 통제를 받을 수밖에 없기 때문에 해당 작업을 원활히 수행하기 곤란하였고, 야간작업이 빈번히 발생하여 작업자의 만성피로에 따른 사고위험이 우려되었다.

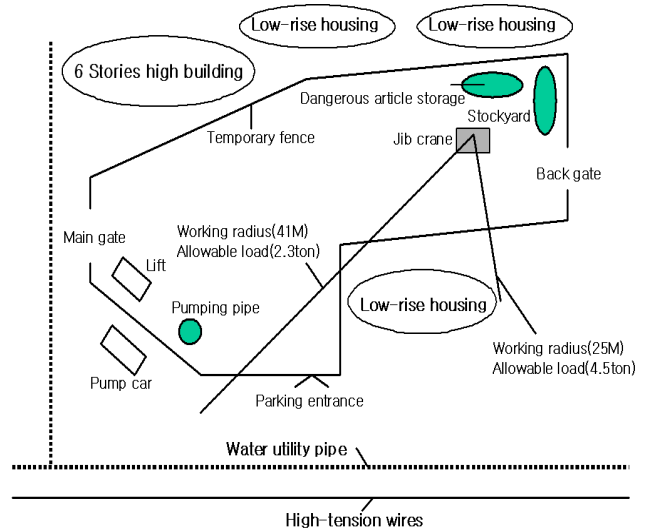


Figure 2. Site environment and jib crane operation plan

Figure 3 및 Figure 4는 현장 위험요소를 나타낸 것이다.



Figure 3. Situation of dangerous article neglecter

Figure 3에서 알 수 있듯이 흙막이 C.I.P H빔 배면에 철근다발이 적재되어 있고, 띠장과 버팀대위에 지브크레인 일부가 위험스럽게 적치되어 있다. 그리고 현장이 협소한 관계로 철근과 기타 거푸집자재 등이 여기저기 적치되어 있으며, 파이프가 정리되어 있지 않아 낙하사고의 우려가 큰 것으로 나타났다.

Figure 4는 C.I.P벽면에 거푸집 고정용 앵커 시공 후 웅벽철근이음을 하는 장면으로 상부에 안전난간대가 설치되어 있지 않은 상태이다. 그리고 작업발판이 복공판(구멍철판)으로 설치되어 전도사고의 우려가 있으며, 가설사다리도 안전기준에 맞지 않아 작업자의 실족 위험이 크다.

3) 지반의 지하수위가 높아서 C.I.P, S.G.R, J.S.P 등, 흙막이 및 차수작업을 병행하여 진행하는 관계로 안전문제 뿐만 아니라 분진, 소음, 진동의 문제도 내포하고 있다.



Figure 4. Fall risk and overturn risk of temporary material

4) 본 현장에서는 주변건물과의 이격거리 및 방향과 고저 등을 감안하면 운동이 다소 제한된 타워크레인으로는 사실상 작업이 매우 곤란하기 때문에 각도조절 및 작업반경의 조절이 용이한 지브크레인이 설치될 수밖에 없었다.

지브크레인의 작업반경이 Figure 2와 같이 본 현장의 모든 영역을 통제할 수는 있지만, 건물 내에 있는 주차타워 맨 가장자리 측벽은 불가피하게 체인블록으로 수작업을 할 수밖에 없었고, 작업발판의 양단고정이 제대로 이루어지지 않는 경우가 많았다. 따라서 유동성이 있는 작업발판위에서 체인블록 작업을 하는 것은 작업자의 추락위험이 크다.

3.3. 본 연구의 한계점 및 시사점

3.3.1 본 연구의 한계점

기존 연구와의 차별적인 관점에서 현장사례연구를 실증적으로 수행하는 과정에서 다음과 같은 연구의 한계점이 나타났다.

- 1) 현장소장 및 안전담당실무자의 경우 답변에 비협조적인 관계로 현장기사를 대상으로 면담조사를 실시하였지만, 동일한 질문에 대해서도 현장기사에 따라 답변을 회피하거나 진술의 구체성이 부족한 경우도 있었다.
- 2) 따라서 현장단위로 위험요소를 진술에 의존하여 추출하는 것에는 부분적으로 한계가 존재하였고, 자료 취득 시에도 일부 자료는 대외적으로 공개가 곤란하다고 하여 현장별로 균등한 자료를 수집하는 것에는 상당한 애로가 있었다.

3.3.2 종합적인 고찰 및 시사점

Figure 5는 3개 현장을 대상으로 한 사례연구를 토대로

계약조건 및 위험요소의 인과관계와 현장에 미치는 영향을 도식화 한 것이다.

결국 Figure 5는 제약조건과 위험요소가 사고위험으로 이어지는 연쇄적인 흐름을 나타낸다.

Figure 5중 회색으로 표시된 부분은 현장의 민원발생이나 사고위험으로 이어지는데 관여하는 정도가 높은 것을 의미하고, 점선은 재해를 초래할 사고유형을 나타낸다.

계약조건은 크게 3가지 범주로 구분할 수 있었고 8가지로 분류할 수 있었으며, ‘공간요인’이 가장 많았다. 특히 ‘작업공간협소’는 타 제약조건 보다 위험을 초래하는 경우가 많았으며, 타워크레인가동 곤란과 흠막이 버팀대 위에 지브크레인 일부가 적치되거나 흠막이 H빔 주변에 자재가 적체되는 등 상당수의 위험을 초래하였다.

위험요소는 9가지이며 ‘장비운영제한’과 ‘안전시설 불량/미설치’는 타 위험요소보다도 현장에 미치는 영향이 큰 것으로 작업범위제한과 작업자의 추락, 가설물의 낙하 및 전도로 이어질 가능성이 큰 것으로 파악되었다.

다음은 본 연구결과의 시사점을 기술하였다.

- 1) 건설현장은 지역단위로 수행되는 만큼 기후, 지반, 주변환경 등에 큰 영향을 받기 때문에 현장에 적합한 공법을 적용할 수밖에 없다.

그러나 이에 따른 문제점도 나타났다. 예를 들면, 현장 A의 경우 토공사 시 좁은 공간에서 장비투입의 효율성을 높이기 위해 L.W공법과 J.S.P공법이 적용되었지만, 분진이나 소음 등이 문제되었다.

현장 A와 현장 B의 경우도 주변 근린의 민원을 고려하여 작업 시의 소음을 줄이기 위해 C.I.P공법이 적용되었지만, 안전을 위협하는 요소도 많은 것으로 나타났다.

결국 민원발생의 최소화와 작업위험성을 경감할 수 있는 방안이 검토되어야 한다.

- 2) 초고층공사가 증가하고 있으며 고층화에 따른 다양한 공법이 검토되고 있지만, 현장 주변의 환경(해풍, 고압선 등)에 의한 위험요소가 다양하게 존재하였다.

현장 C의 경우는 해안가에 근접한 관계로 현장 A, 현장 B와는 다소 상이한 위험요소가 나타났다. 따라서 고층 건물의 다양한 골조구조(벽식구조 등)에 적합하면서 주변 환경의 영향을 최소화 할 수 있는 공법의 개발이 요구되지만, 우선 작업자에 미치는 위험요소를 경감할 수 있는 방안부터 고려되어야 한다.

- 3) 따라서 건설현장에서는 착공 이전이나 시공계획수립의 과정에서 위험방지 및 소음·진동 저감을 위한 면밀한 검토가 선행되어야 한다.

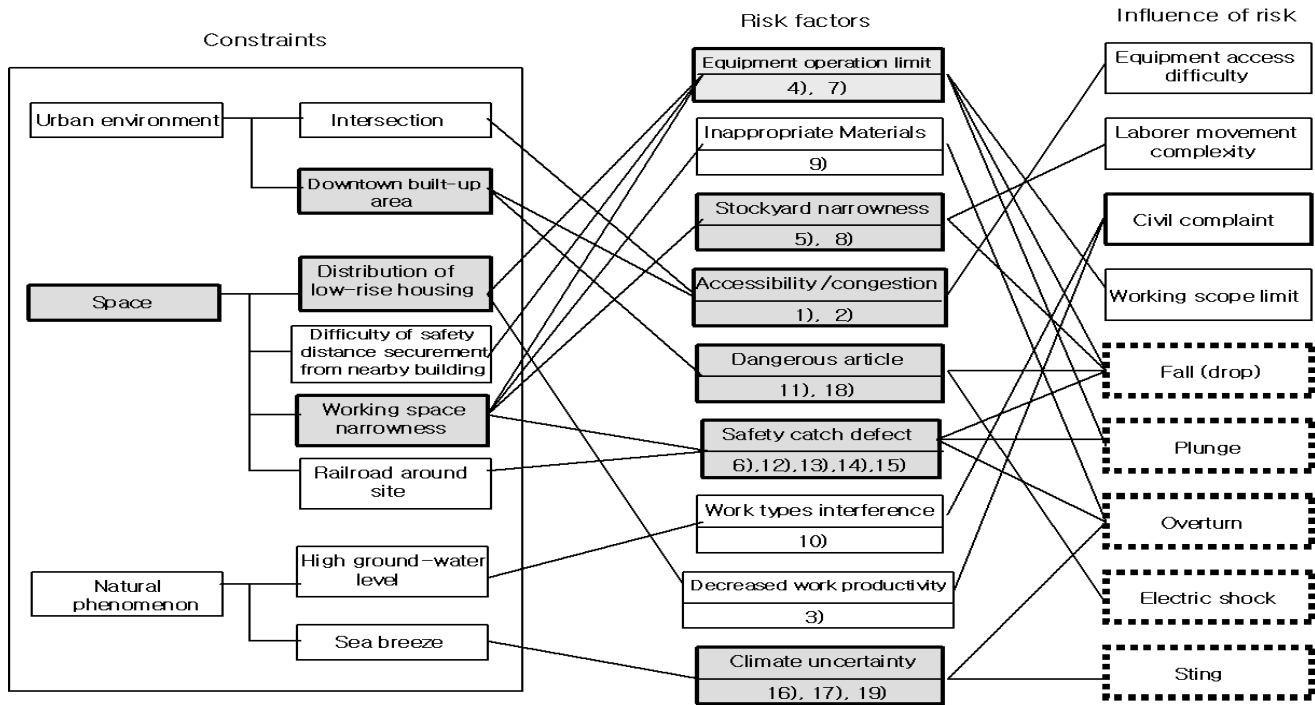


Figure 5. Relationship between constraints and risk factors

Table 4)는 현행의 관련법령에 의거 건설 현장에서 위험방지 및 소음·진동의 저감을 위해 작성해야 할 계획서 및 신고서의 주요 작성내용을 나타낸 것이다.

Table 4. Related documents and main description content

Related documents	Main description content
Hazard prevention plan	·Equipment safety management plans ·Prevention of Accident(plunge, fall, etc), etc
Safety management plan	·Safety measures on the periphery of construction site ·Safety checklist of work types for building construction, etc
Specific construction pre-notification plan	·Types and number of equipment ·Term of use of specific equipment, etc

각 계획서 및 신고서 작성의 해당공사는 다음과 같다.

유해·위험방지계획서는 산업안전보건법 제48조 제3항과 동법 시행규칙 제120조 제2항에 의거 지상높이 31미터 이상 건축물 또는 연면적 3만제곱미터 이상 건축물 등이 해당된다. 그리고 안전관리계획서의 경우는 건설기술관리법

10) 유해·위험방지계획서와 안전관리계획서는 Kim et al.[10]의 연구결과를 토대로 산업안전보건법 시행규칙 개정(2010.7.12)내용과 건설기술관리법 시행령 개정(2005.6.30)내용에 의거 기술됨.

제26조의 2와 동법 시행령 제46조의 2에 의하면 10층 이상, 16층 미만 건축물 또는 지하 10미터 이상 굴착하는 건설공사 등이다.

반면, 특정공사 사전신고서는 소음·진동관리법 제22조 제1항과 동법 시행규칙 제21조 제1항에 의하면 항타기, 천공기, 굴삭기 등을 5일 이상 사용하는 공사로서 연면적이 1천제곱미터 이상인 건축물 등이 해당된다.

특히 Table 4의 관계서류는 착공 이전에 제출하거나 착공계와 함께 제출해야 하지만, 착공 이전 관공서에 제출해야 할 서류가 많기 때문에 현장의 불확실한 요소를 구체적으로 파악하는 것은 용이하지 않다. 따라서 건설현장의 제약조건이나 위험요소를 신속하게 도출하고, 대응 전략을 모색하려면 기존 유사현장에서의 제약조건과 위험요소가 현장에 미치는 영향을 고찰하여 이를 기반으로 한 중점관리 매뉴얼(Manual)이 구축되어야 한다.

4. 제약조건 및 위험요소를 고려한 위험저감 방안

Figure 6은 Table 4 및 관련법령에 의거 건설 현장에서의 유해·위험 방지나 소음·진동 저감을 위한 프로세스를 나타낸 것이다.

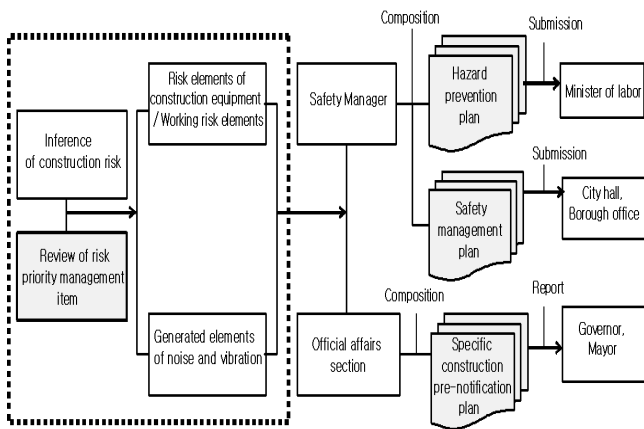


Figure 6. Process for risk prevention and noise reduction

Figure 6 중 점선으로 둘러싸인 영역을 안전관리실무자와 현장소장(현장대리인)이 수행하는 것은 축적된 자료의 부족과 착공 이전 업무과다로 경험에 의존하는 경우가 많다. 따라서 자의적인 판단이 개입될 수 있으며, 착공 이전에 현장의 불확실성에 대비한 대응방안의 모색이 용이하지는 않다. 이런 이유로 본 장에서는 Figure 6 중, 현장 위험상황에 대한 중점관리항목을 검토하는 과정에서 유효한 자료로 활용될 수 있도록 Table 5[11]와 같이 공종별 위험저감 방안을 제시하였다.

1) 사례연구에 의하면 토공사 C.I.P공법에 관한 위험요소가 가장 많았다. 현장 A와 현장 B에서는 C.I.P 흠막이 상단부에서의 위험요소가 공통적으로 지적되었으며, 돌출된 H빔에 작업자의 발이 걸려 추락하거나 흠막이 단부와 가설울타리 사이의 폭이 좁아 통행이 곤란한 위험요소가 파악되었다. 따라서 안전간격을 상부는 90cm 이상으로 하고, 중간대는 45cm로 설치하거나 통행로를 확대할 필요가 있다. 그리고 현장 A와 같이 흠막이와 차수공사를 병행할 시 작업안전과 소음, 진동 문제에 대해 적절한 조치를 취해야 한다. 예를 들면, 소음·진동이 발생하는 특정공사를 시행하려면 소음·진동관리법 제22조 제1항에 의거 관할 기관에 ‘특정공사 사전신고서’를 제출해야 하고, 동법 제22조 제3항에 따라 방음시설을 설치[12]해야 한다.

11) Table 5는 3개 현장 사례연구의 내용과 관련 법령 및 Shin and Kim[11]의 내용을 토대로 작성됨.

12) 방음벽시설 전후의 소음도 차이는 최소 7dB 이상 되어야 하며, 높이는 3m 이상 되어야 한다. 그리고 공사장 인접 지역에 고층건물 등이 위치하고 있어 방음벽시설로 인한 음의 반사피해가 우려되는 경우에는 흡음형 방음벽시설을 설치하여야 한다.

Table 5. Priority management plans for risk reduction

Item	Risk factors	Priority management plans	
	5)	·Installation of safety railing on the top of shoring	
		·Prohibition of material load on the top of shoring	
	6)	·Standard railing installation	
	7)	·Reinforcement of brace and ledger	
		·Confirmation of design load	
	C.I.P		
	10)	·Confirmation of related laws of noise, dust and vibration	
·Dust layer installation			
·Observance of traffic regulation speed			
11)	·Standard railing installation		
	·Expansion of passage width of the top of shoring		
Link beam	16)	·Beam clamp installation	
	17)	·Safety belt clothing	
Guide rail system	19)	·Rebar cap installation	
C.P.B	18)	·Confirmation of angle of pump car boom	
		·Confirmation of location of high-tension wires	
Form hoisting	12)	·Reinforcement of rope for hoisting material	
	13)	·Installation of brace for overturn prevention	
Retaining wall work	14)	·Putlog overturn prevention	
		·Scaffolding board fixing	
Resource operation	15)	·Installation of brace for overturn prevention	
		3)	·Prohibition of simultaneous operation of laborer and equipment
		4)	·Confirmation of equipment operation scope
Resource management	8)	·Stockyard expansion	
		9)	·Installation of safety railing on the scaffolding board
Control of traffic and pedestrian	1)	·Installation of temporary traffic light at main entrance	
		2)	·Pedestrian control

2) 골조공사에서는 Link beam공법에 의한 철골부재 인양 및 가설부재세우기 시에는 특히 현장이 해안가에 인접한 경우 강풍에 의한 사고위험이 크다. 따라서 빔클램프를 철골부재에 2개소 이상 수평으로 설치한 이후 인양하고, 바람이 초당 10m이상 강하게 부는 경우는 작업을 중지해야 한다.

외부측벽부분에 근접하여 콘크리트를 타설하는 경우는 강풍에 의해 작업자가 추락하지 않도록 안전모와 안전벨트를 반드시 착용한다. 그리고 현장 C에서 외부측벽공사 시 Guide rail system을 적용하는 경우, 강한 해풍의 영향으로 작업자가 중심을 잃고 넘어지면 선조립된 철근상단부에 부상을 당할 우려가 크므로 반드시 철근상단부에 안전캡을 씌워준다.

한편 현장 C와 같이 콘크리트 펌프카 상하연결시 Boom대가 주변 고압선에 접촉, 감전위험이 존재하는 경우 사전에 고압선의 위치를 충분히 파악할 필요가 있고, 이에 따라 이음부 연결작업 위치를 결정해야 한다.

현장 B는 현장 C와 같이 강풍에 의한 위험요소는 적은 편이지만, 합판 인양 시 낙하의 우려가 파악되었다. 코팅처리 또는 박리재가 도포되어 있는 합판은 표면이 미끄러워 마찰력이 떨어지기 때문에 낙하의 위험이 크다. 이를 방지하기 위해서는 체결로프와 직교방향으로 로프를 한번 더 감아주는 등으로 보강이 필요하다.

철도주변 옹벽구축작업이 안전하게 이루어지려면 벽체 거푸집이나 철근의 전도 및 작업자의 추락을 방지하기 위해 가설전도방지 버팀대를 양방향으로 설치한다. 그리고 작업발판을 지지하는 장선재의 탈락을 방지하고, 발판은 2개소 이상 고정하도록 한다.

현장 A와 같이 도심밀집지역에 현장이 매우 협소하여 작업자의 이동이 제한되고, 주변 건물에도 피해를 줄 수 있으므로 작업인력과 기계의 동시작업을 가능한 배제하도록 하며, 소형장비의 가동범위를 사전에 검토하도록 한다.

또한 작업자가 이동하는 구간에 작업발판으로 복공판(구멍철판)을 두면 작업자가 실족할 우려가 크므로 복공판을 철거하거나 부득이한 경우 발판에 안전난간을 설치¹³⁾한다.

3)현장 A의 경우 현장주변의 교통량이 많고 이동인구량도 많은 편이므로 교통 및 보행자의 통제를 위해 신호수의 배치가 불가피 하며, 야간에는 신호수가 휘도가 높은 야간 반사복장을 착용할 필요가 있다.

13) 상부는 90~120cm로 하고 중간난간은 상부난간대와 바닥면의 중간에 설치한다. 폭은 40cm 이상으로 하고 발판간격은 3cm 이하, 최대 적재하중은 400kg 이하로 한다.

5. 결 론

도심밀집지역 및 초고층화 급증 등, 최근 건설현장의 변화에 따른 특이할 만한 공사가 증가하면서 복잡한 제약조건과 이에 따른 위험요소가 다양해 졌다. 따라서 착공 이전이나 시공계획단계에서 위험요소를 사전에 인지하여 위험을 최소화하는 것이 요구된다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 3개 현장은 현장별로 주변 환경이 복잡하고, 용도 및 구조방식이 상이하여 적용된 주요 공법은 다양하게 나타났으며, 현장마다 제약조건에 따른 위험요소의 다변화가 두드러졌다. 특히 현장 A의 경우 매우 협소한 관계로 소형장비의 투입이 가능한 공법이 적용되었으며, 현장 A와 현장 B에서는 민원발생을 의식해 C.I.P 공법을 적용하였지만 다수의 위험요소가 나타났다.
- 2) 사례연구에 의하면 제약조건은 8가지로 분류되었으며 ‘공간요인’이 가장 많았고, 작업공간의 협소로 인한 현장의 위험발생으로 이어지는 경우가 두드러졌다. 그리고 위험요소는 9가지로 분류되었고, ‘안전시설 불량/미설치’와 ‘장비운영제한’은 타 위험요소보다 현장에 미치는 영향이 큰 것으로 파악되었다.
- 3) 현장에서는 관련법령에 의거 위험방지 및 안전관리에 관한 계획을 수립해야 하고, 소음·진동을 저감할 수 있는 방안도 검토해야 한다.

그러나 착공 이전 업무과다와 축적된 자료의 부족으로 현장의 제약조건과 위험요소를 파악하는 것은 용이하지 않을 뿐만 아니라 대응전략의 수립도 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 위험에 대비한 중점관리항목을 검토하는 과정에서 유효한 자료로 활용할 수 있도록 공종별로 위험저감 방안을 고찰하였다.

4) 본 연구의 예상되는 기대효과는 다음과 같다.

- ① 현장에서 관련 법령에 의거 Table 4의 각종 서류를 작성하는 경우, 본 연구내용은 유효한 기초정보로서 활용될 수 있다.
- ② 본 연구에 기술된 공종별 공법정보는 현장실무자가 향후 유사 프로젝트의 시공계획의 수립 시, 기초정보로서 이용할 수 있고, 안전관리 매뉴얼의 작성이나 수정 시에도 참고할 수 있다.
- 5) 향후의 연구과제는 다양한 프로젝트 유형별로 민원제기를 최소화함과 동시에 작업자의 안전성을 높일 수 있는 공법개발의 방향성과 공법의 현장 적용성을 고찰할 필요가 있다.

요 약

건설프로젝트가 점차 복잡화, 대형화 되어감에 따라 건설공사에서의 위험요소와 불확실성이 증가하고 있으며, 프로젝트 수행과정에서 발생하는 불확실한 요인을 사전에 파악하여 대응하는 것은 프로젝트의 승패를 좌우할 수 있다. 따라서 본 연구의 목적은 토공사, 기초공사, 철근콘크리트 공사에서의 제약조건과 위험요소를 파악함과 동시에 시공 계획수립의 실태를 분석함으로써 위험을 저감할 수 있는 방안을 제시하는 것이다. 이러한 연구목적을 달성하기 위해 위험분류체계에 관한 기존연구를 고찰하였으며, 건설현장에 근무하는 기사를 대상으로 인터뷰조사를 실시하여 안전 관리의 문제점을 구체화하기 위해 실증적인 현장사례연구를 수행하였다. 주요 연구내용은 건설현장의 특수상황 및 주요 공법의 적용실태, 제약조건과 위험요소의 인과관계이며, 위험을 저감하기 위한 중점관리 방안을 제시하였다.

키워드 : 위험요소, 제약조건, 불확실성, 공법, 중점관리

References

1. Chu HK, Kim SG. A study for Re-establishment of the Existing Risk Identification System in Construction Project. Proceedings of Journal of the architectural institute of korea 2003;23(1):355-8.
2. Ahn HS. Fundamental Causes and Future Solution of the Sampoong Department Store Collapse. Review of architecture and building science 2005;49(7):51-4.
3. Oh JJ, Cho HH. A study of Risk Breakdown Structure derived from Natural Hazards for Framework in Construction. Synopsis of the 5th Outstanding thesis 2009;5(1):79-82.
4. Lee JS, Moon SK, Jun YJ, Kim JH, Kim JJ. Study on Development of Construction Management Module based on Risk Factor Classification System at Construction Phase. Proceedings of Journal of the korean institute of building construction 2009;9(1):199-202.
5. Lee HS, Kim HS, Park MS, Lee KP, Lee SB. Construction Risk Assessment Methodology Using Site Risk Influence Factors. Korean journal of construction engineering and management 2009;10(6):117-26.
6. Kim DC, Kim WJ. A study on the Risk Assessment Method by Accidents Analysis in Steel-Structure Work. Journal of the architectural institute of korea 2001;17(12):217-24.
7. Shin HJ, Choi JH, Hong WH. Guidelines on Performance-based Egress Design Criteria Considering the Risk Factors of a High-rise Building. Journal of the architectural institute of korea 2009;25(7):139-48.
8. Lee CS. Execution of building work. Hansol-academy Publishing co;2006.
9. Kang KI, Kim GH, Kim JY, Park UY, Seo DS, An SH, Cho HH. Building Construction I. Daega Publishing co; 2004.
10. Kim DC, Kim JH, Kim WJ. The Improvement Plan of Safety Management Works and Safety Relation Laws in Korea. Journal of the architectural institute of korea 2001;17(10):111-20.
11. Shin SW, Kim HO. Construction safety management practice. Chongmunkak Publishing co;2005.