KOSDI
ISSN : 1976-2208 (Print)
ISSN : 2671-5287 (On-line)
www.sodi.or.kr

Journal of the Society of Disaster Information
Vol. 15, No. 4, pp. 493-501, December 2019
https://doi.org/10.15683/kosdi.2019.12.31.493

Original Article

건설공정 위험성 기반 설계안전성 활용 방안 연구

A Study on the Application of Safety Design based on the Risk of Construction Process

이현성*
Hyeon-Sung Lee*

Doctor Course, Department of Construction Safety Engineering, Kyonggi University, Kyonggi, Republic of Korea

***Corresponding author:** Hyeon-Sung Lee, hs8721@airport.co.kr

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to prevent construction safety accidents, and the design safety systems were reviewed. This paper aims to establish as an effective system by looking at the implementation procedures and contents of the design safety review system. **Method:** We reviewed the purpose and content of the law, accident statistics, etc. for the study. In addition, we looked at the implementation plans for actual construction sites using the 'design safety' assessment process as defined by the Act. **Results:** We divided it into the data review phase, the risk factor elicitation and alternative setup phase, and the design safety assessment report preparation stage. **Conclusion:** it is necessary to derive risk factors that take into account the diversity of construction sites. However, the effectiveness of other reports is questioned as they are often copied and written. Therefore, it is necessary to strengthen external verification procedures attended by construction safety experts.

Keywords: Safety Design, Risk Management, Construction Safety, Risk Matrix, Design for Safety

요 약

연구목적: 건설안전 재해를 예방하기 위해 건설기술진흥법에서는 '설계 안전성 검토' 제도를 시행하고 있다. 이에 본 논문에서는 '설계안전성 검토' 제도에서 정한 규정의 실효성을 확보하기 위해 실제 건설현장에서의 시행 절차와 내용을 분석함으로써 해당 제도가 올바르게 정착되어 건설재해 예방에 기여하는데 그 목적이 있다. **연구방법:** 건설기술진흥법에서 정한 설계 안전성 제도에서는 자료 검토 단계, 위험요소 도출 및 대안 설정단계, 설계안전성 평가 보고서 작성단계를 거쳐 최종적으로 위험요소에 대한 설계 반영단계 등의 각 단계별 적용사례를 분석하였다. **연구결과:** 설계 안전성 제도에 따라 작업공종별로 철근콘크리트 공사, 건설기계공사, 토공공사, 가시설 등 건설사업의 형태별로 다양한 위험요소(Hazard)가 도출되었고, 이 위험요소의 위험등급별 우선순위를 도출하고 이를 해결하기 위해 실제 사례를 작성해 본 결과 다양한 공정에서의 설계 반영사례가 도출되었다. **결론:** 본 연구를 통해 A공사에서 적정 기준에 맞는 굴착구배(1:0.3)를 채택했음에도 빈번한 토사 붕괴 사고의 문제를 개선하기 위해 관로터파기 경사에 준해 설계도면에 1:0.5를 채택하여 새로운 설계도면에 반영하였고, 그 결과 현행 굴착구배 기준을 강화의 강화 필요성을 도출하였다.

핵심용어: 안전 설계, 위험도 관리, 건설안전, 위험도 매트릭스, 설계 안전성 검토

Received | 9 August, 2019
Revised | 14 August, 2019
Accepted | 31 December, 2019

OPEN ACCESS

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

ⓒ Society of Disaster Information All rights reserved.

서 론

건설업은 국가 기반사업의 하나로 대한민국의 발전에 기여한 산업분야로 특히 석유파동 등의 중동 위기 상황에서도 중동에 진출한 우리 산업 역군은 대한민국의 산업화에 크게 공로하기도 하였다. 하지만 아이러니 하게도 국내외 수주의 증가로 건설 산업이 발전하면 할수록 사고 및 재해로 인한 건설업 종사자의 사상자 수는 오히려 증가하고 있는 실정이다. 이러한 상황은 해외 건설회사와 비교했을 때 비이상적인 수준으로 정부 차원의 대책 마련이 시급하다.

이에 대해 건설 산업 현장에서의 재해로 인한 사상 사고를 예방하기 위해 많은 연구와 노력들이 시행되었지만, 투입되는 예산과 인력들에 비해 그 실효성은 미비한 실정이다. 고용노동부의 산재예방정책과에서 발간한 2018년 산업재해 발생현황을 살펴보면 전체 사망자 2,142명 중 건설업에서 570명이 사망하여 전체의 26.6%를 차지하였고, 특히 5~49인인 건설사업장에서 231명이 사망한 것으로 조사되었다. 연령별로 살펴보면 55~59세 362명, 50~54세 325명, 45~49세 234명 등으로 비교적 고령일수록 사망자 수가 증가하는 추세를 보이고 있으며, 전년 대비하여 이 3그룹의 고령자의 사망자 수는 더 증가하고 있다(Ministry of Employment and Labor, 2018). 이러한 문제점을 해결하기 위해 정부와 건설회사에서도 많은 노력을 기울이고 있고, 그 노력의 하나로 건설기술진흥법 제98조(안전관리계획의 수립)에서의 안전관리 대책 수립과 제75조의2(설계의 안전성 검토)에서 안전관리계획을 수립해야 하는 건설공사의 실시설계를 할 때 시공과정의 안전성 확보 여부를 확인하기 위해 설계의 안전성 검토를 한국시설안전공단에 의뢰하도록 하였다. 이와 관련하여 법 제62조(건설공사의 안전관리)에서는 건설업자 등은 안전점검 및 안전관리조직 등 건설공사의 안전관리계획을 수립하고, 착공 전에 이를 발주자에게 제출하여 승인받도록 하였다. 설계 안전성 검토는 시공과정에서 발생할 수 있는 위험을 사전에 제거하여 시공과정의 안전성을 확보하는 기법으로, 국내에서도 2016년 법제화되어 시행되고 있으나 적용 및 관련 연구는 미흡하다.

따라서 본 연구에서는 건설 현장에서 발생한 사고 분석에 기반을 둔 설계 안전성 제도의 현장적용 방안을 살펴보고, 이를 통한 건설안전 확보방안을 마련하고자 한다.

이론적 배경

사고통계

20018년의 고용노동부의 '산업재해 발생현황'을 분석한 결과 사망만인율은 1.12‰로 전년 대비 0.07‰가 증가하였고, 특히 사고 사망만인율이 0.51‰로 0.01‰p 감소한데 비해, 질병 사망만인율은 0.61‰로 전년 대비 0.07‰p 증가한 것으로 나타났다. 사망자수는 2,142명으로 전년 대비 185명(9.5%)가 증가하였고, 사고 사망자수는 971명으로 7명(0.7%) 증가한데 비해, 질병 사망자수는 1,171명으로 178명이 증가한 17.9% 증가한 것으로 분석되어 질병 사망자에 대한 대책 마련이 필요한 것으로 나타났다.

질병사망자를 제외한 사고사망자의 특성을 분석하면 건설업에서 485명이 사망하여 49.9%, 5~49인 사업장에서 423명의 43.6%, 60세 이상 근로자가 358명 36.9%를 차지하였고, 사고유형에서는 떨어짐 사고로 376명, 38.7%를 차지하였다. 그리고 그 뒤를 이어 끼임사고로 113명인 11.6%, 부딪힘 91명의 9.4%, 깔림·뒤집힘은 68명, 7.0% 등 대부분 건설업에서의 사고유형이 높은 수치를 기록함을 알 수 있다(Ministry of Employment and Labor, 2018).

선행연구

지금까지의 많은 연구에서 건설안전을 위한 대책을 마련하였고, 그 사례를 통해 본 연구가 진행될 방향성을 설정하기 위한 기초자료로 활용하였다.

이군재 등(2018)은은 지금까지의 연구 대부분이 재해 요인분석, 건설 근로자 안전의식 및 행동, 현장 안전관리 실태 등에 대한 분석 및 관리방안을 제시한 것에 대해 현실에 비추어 새로운 개념의 안전관리 기법에 대해 다양한 연구노력이 부족함을 지적하였다. 아래의 Fig. 1에서 보는바와 같이 해외에서 20여 년 전부터 시행해 온 DfS(Design for Safety, 설계 안전성 검토), PrD(Prevention through Design), DfCS(Design for Construction Safety) 개념을 소개하고, 현재 건설 현장 안전성 향상 방안으로 CDM, OSHA, WHS에서 의무 혹은 권장사항에 대해 설명하였다. 그리고 이러한 설계안전성 검토와 시공단계의 아전관리를 통합함으로써 시공과정에서의 재해를 대비하고, 계획대비 실적 평가를 통해 위험요소의 확인 및 평가에 활용하여 건설 재해 저감 및 안전개선에 큰 역할을 할 수 있음을 주장하였다(Lee, 2018).

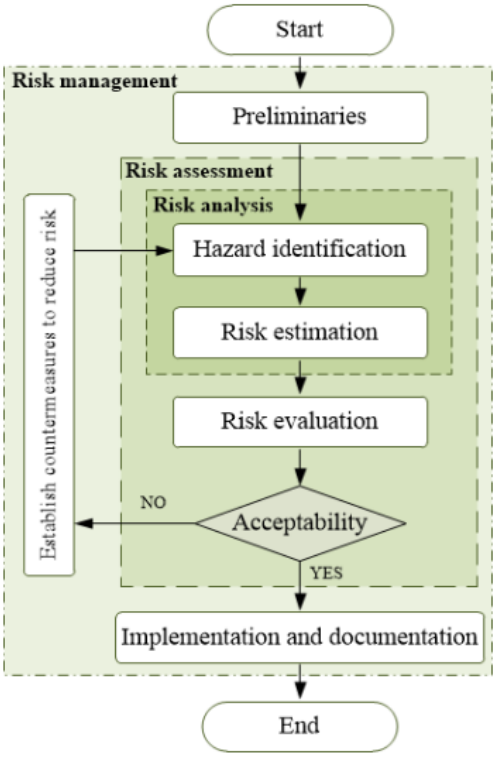


Fig. 1. General Procedure of DfS in Korea (Lee, 2018)

김진원 등(2018)은 설계 안전성 검토(DfS) 업무의 효율성 증대를 위한 공동주택 건설공사의 단위작업별 재해위험성 평가를 위한 연구에서 건설기술 진흥법의 일부 개정에서 실시설계 단계에서 설계 안전성 검토(Design for Safety, DfS) 업무 수행과 설계자의 DfS 업무 후 설계안전 검토보고서를 작성하여 발주처에 제출하도록 한 개정 내용을 설명하고 있다. 여기에 활용되는 위험성 평가기법에 대해 건설공사의 경우 공사목적물과 주변 건축물 또는 작업자의 안전을 저해시키는 위험요인을 파

악하여 이에 대한 안전대책을 수립, 실행하여 재해 발생을 저감시키는 활동으로 정의하였다. 이에 대해서는 Table 1에서 보는바와 같이 정성적인 방법과 정량적인 방법으로 구분하고 있다(Kim, 2018). 위험성 평가(FMEA)를 시행한 결과 거푸집 조립, 거푸집 해체, 현장 정리정돈, 거푸집 작업준비, 건설 기계 및 장비, 바이브레이터 작업, 철근조립, 배관작업, 미장작업, 갱폼 해체 등의 순서로 RPN값이 크게 나타났다.

Table 1. Demographic Characteristics of Managers (Kim, 2018)

Assessment	Technique	Assessment	Technique
Qualitative	Hazard and Qperability	Quantitative	Fault Tree Analysis
	Check-list		Event Tree Analysis
	What-if		Failure Mode and Effect Analysis
	Preliminary hazard Analysis		-

설계안전성 검토 주체

발주자(발주청)

발주자의 직무는 설계안전성 검토 과정에 설계자에게 공사조건과 관련된 자료를 제공하고, 위험요소 도출과 관련된 정보제공, 설계안전성 검토 목표 결정 및 위험요소 저감, 대책의 반영 여부 및 설계안전 검토보고서의 승인 등의 업무를 담당한다. 필요한 경우 건설안전 전문가와 시공전문가 등의 도움을 받아 업무를 수행할 수 있다.

설계자(대표설계자와 공종별 설계자)

발주자와의 협의를 통해 설계 안전성 검토 절차를 실질적으로 수행하는 주체로써, 건설공사 중 발생할 수 있는 위험요소의 인식, 위험성 평가, 저감대책 수립, 보고서 작성 및 관련 정보의 전달과 같은 핵심적인 역할을 수행한다. 단, 전문성 부족으로 설계 안전성 검토 절차의 수행에 어려움이 있는 경우 건설안전 전문가와 협업 또는 자문 및 컨설팅 등을 통해 업무를 수행할 수 있다.

기타

자문수행 전문가는 설계단계의 위험요소 도출을 통한 위험성을 평가하고 저감대책에 대해 자문 또는 기술 지원을 담당한다. 또한 계획단계 또는 설계 초기 단계부터 참여할 수 있고, 발주자의 승인을 받아 설계자가 지정하거나 발주자가 지정할 수 있다.

시공자는 안전관리계획서를 작성하고 제출함에 있어 설계 안전검토보고서의 내용을 반영하는 업무를 담당하고, 건설사업 관리기술자는 설계단계에서 검토된 결과가 시공자의 안전관리 계획서에 반영되고 적절하게 이행되고 있는지를 확인하는 업무를 담당한다. 마지막으로 검토자 및 검토기관에서는 시공과정의 안전성 확보를 고려하여 적정하게 이루어졌는지의 여부를 검토하고 일반적으로 발주자의 기술자문 위원회 또는 한국 시설 안전공단에서 수행한다.

설계안전성 검토

관련자료 검토

설계안전성을 수행하기 위해 설계자는 발주자가 제공한 위험요소를 분석하고 저감 대책을 수립해야 한다. 일반적으로 ① 발주자가 제공한 위험요소와 저감 대책 분석 단계에서는 건설업의 각 공정별로 위험요소를 파악하고 해당 요소에 대한 위험 저감 대책을 수립할 수 있다. 아래의 Table 2는 건설공정 과정상 나타날 수 있는 위험요소 등에 대한 예시를 나타내고 있다. ② 그리고 이 자료를 기반으로 건설안전 정보 시스템의 위험요소 프로파일을 검토하여 각 공종별 위험요소에 대한 실제적인 저감 대책별로 설계에 반영할 수 있어야 한다. ③ 이와 관련된 타 건설현장에서의 설계안전성 검토 사례 분석과 유사사고 사례 분석을 통한 실제적 재해 안전대책을 이미지 등을 통해 쉽게 이해 가능한 수준으로 검토한다.

Table 2. Examples of Risk factors and reduction measured provided by the orderer

Work Name	Hazard Contents	Eliminate Contents
Temporary construction	Fall & collapse during non-instrument installation	- Risk of falling materials, falling workers, and collapsing - Risk of workers falling during litigation operations
Temporary construction	Falling Risk	- Protective measures for openings cover - Complete installation of opening covers and attachment facilities for safety belts
Excavation construction	Collapse Risk	- Need to comply with excavation gradient during excavation work
Reinforced concrete construction	Collapse Risk	- Precautions against collapse should be taken when mounting a slab higher than 5m - Structural review is needed to prevent collapse accidents - Collapse risk review is required when installing transfer beams. - Installation of molds by structural review is necessary

설계 안전성 검토

심각도 등급 및 기준 설정

설계 안전에 관한 위험요소를 도출하기 위해 관련 자료 분석 결과와 건설안전전문가가 참여하는 브레인스토밍을 통해 공종별 설계도면, 시방서, 구조계산서, 내역서, 각종지침을 검토·분석하여 잠재적 위험요소를 도출한다. 위험요소는 시공순서 및 공법을 고려하여 작업자의 입장에서 도출하고, 현장시공 경험과 시공순서에 대한 이해가 낮을 경우 현장시공 경험이 풍부하고, 안전관리경험이 있는 건설안전 전문가 등을 참여시켜 공종별 협의를 통해 결정할 수 있다. 일반적으로 발생한 중대재해사례 및 대책을 공종별로 분석하고 발생빈도가 높은 위험요소를 파악하여 설계에 반영한다.

$$Risk = \mathrm{P}robability \times Consequence$$

일반적으로 위험도는 사고발생확률(빈도)과 심각도의 곱으로 구할 수 있으며, 아래의 Table 3과 같이 각 요소의 수준별 해당 사항에 대한 값을 입력하고 위험도 공식에 따라 그 결과 값을 Risk Matrix에 매칭하여 해당 공정의 설계반영 허용여부를 결정지을 수 있다.

Table 3. Detailed criteria for Risk Assessment

Probability		Detailed Criteria
1	Very Low	- No injuries or first aid injuries. - Minor damage to the object will not disrupt the construction period.
2	Low	- Minor and non-stop disasters - Loss of construction period within 3 days due to small damage to the object
3	High	- Closed-up accident injury - Loss of more than one week of construction due to serious damage to the object
4	Very High	- Death & long-term disability-causing injury - Collapse of objects during construction
Consequence		**Detailed Criteria**
1	Low	- Records of the same accident in the last 10 years
2	In Ordinary Circumstance	- Records of the same accident in the last 5 years
3	High	- Records of the same accident in the last 3 years
4	Frequent	- Records of the same accident in the last years

심각도 등급 및 기준 설정

일반적으로 위험도 허용 수준을 설정하기 위해 아래의 Table 4와 같이 '위험성 평가 매트릭스'를 활용하며, 위험도의 등급이 가장 높은 경우는 'High Level'로 허용불가, 중간 등급은 'Middle Level'로 조건부 허용, 낮은 등급은 'Low Level'로 허용가능한 작업공정으로 정할 수 있다. 이 위험도 허용수준을 결정한 작업 공정에 대해 '설계안전성 검토 회의'를 실시하고 그 결과를 회의록으로 남겨두어 향후 위험 사항에 대한 설계의 지속적 모니터링이 가능토록 하여야 한다.

Table 4. Risk Matrix

Consequence \ Probability	1	2	3	4
1	1	2	3	4
2	2	4	6	8
3	3	6	9	12
4	4	8	12	16

※ Remark : High Level(8~16)-Unacceptable, Middle Level(4~6)-Conditional acceptance, Low Level(1~3)- Allow

저감대책 대안평가

아래의 Table 5에서 보는바와 같이 위험도 평가 매트릭스에서 허용수준 이상으로 평가된 위험요소 중 관리주체가 설계자인 위험요소에 대해 저감 대책을 수립하고, 설계에 반영함으로써 위험요소 제거 혹은 저감시켜야 한다. 설계자는 완전히 해소하지 못하는 위험요소에 대해 잔여위험요소로 두고 기록하여 발주자에게 전달하여 시공자에게 전달될 수 있도록 체계적인 모니터링 시스템을 갖추어야 한다.

Table 5. Alternative Evaluation Criteria

Evaluation	SMS	Beauty	Function	Skill	Cost	Time	`Environment
A(Desirable)	Low	- No Impact - Improvement	- No Impact -Improvement	No difficulty	Decrease by more than 10%	Decrease by more than 10%	Improvement
B(Accept)	Middle	Reduction of effectiveness	a slight decrease	Moderate difficulty	±10%	±10%	Mibi
C(Unaccept)	High	Reduced feature prominence	a marked decline	High level difficulty	an increase of more than 10%	an increase of more than 10%	Negative

보고서 작성

앞서 살펴본 절차에 기반하여 설계안전성 평가보고서를 작성해야 하며, 보고서 양식의 주요 내용은 해결단계, 저감 대책 단계를 작성한 후 공종에 따른 위험요소 도출과 예상되는 인적, 물적 피해 유형에 기반한 위험도 도출 및 저감 대책을 작성한다. 도출된 위험요소에 대해서는 아래의 Table 6과 같이 문제해결을 위한 주요 대안별 안전관리 수준, 미관, 기능, 기술 등의 항목별 위험 요소를 검토하고, 이에 대한 위험도를 평가하여 최종적인 위험도 개선을 위한 설계 개선을 위한 최종 대안을 선정한다.

Table 6. Example of design reflection elements for reduction measures

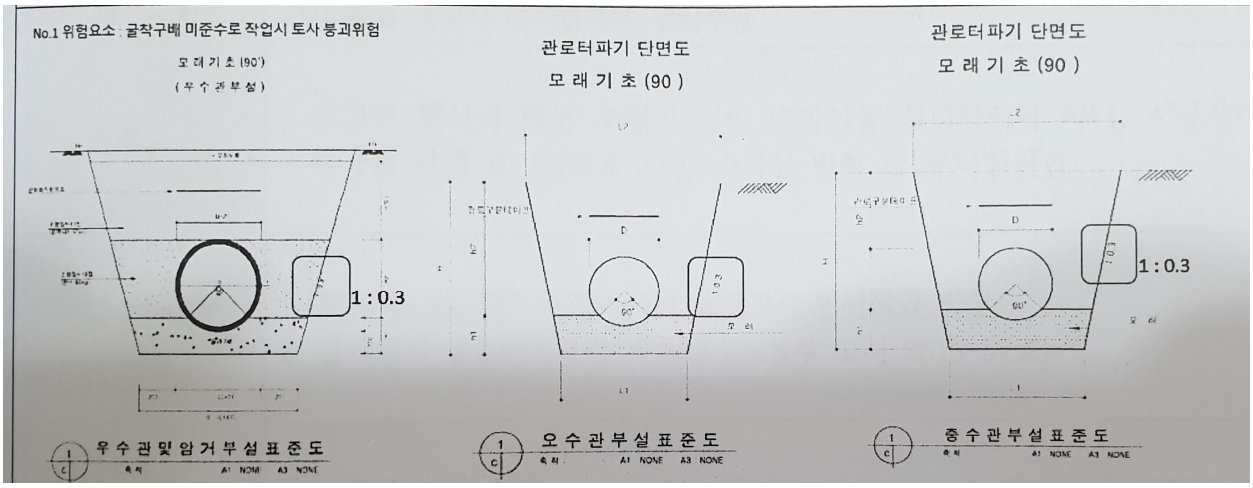
No	Work Name	Design reflection on Hazardous elements
1	Civil engineering	Pipeline bursts are reflected in 1:0.3, based on civil design guidelines, but it is reflected in the design drawings in accordance with the slope of the excavated surface according to the Industrial Safety and Health Act
2	Garage (soil-arrest)	Excluded in the design drawing of prefabricated mud-walls and wall drawings of the installed sections of the sewer system is reflected in the design drawings of the prefabricated earth-walled facilities
3	Garage facility (soil wall)	STIFFENER (2EA) not marked on the installation drawing of the soil-arrest film facility, therefore the design drawings indicate that there is a risk of collapse due to non-installation during construction

이에 대한 자료 분석 데이터는 설계안전성 검토 보고서를 통해 설계 도면의 개선 전과 개선 후의 수정(안)을 작성하여 시공 시 주의할 수 있도록 자료로 정리할 수 있다.

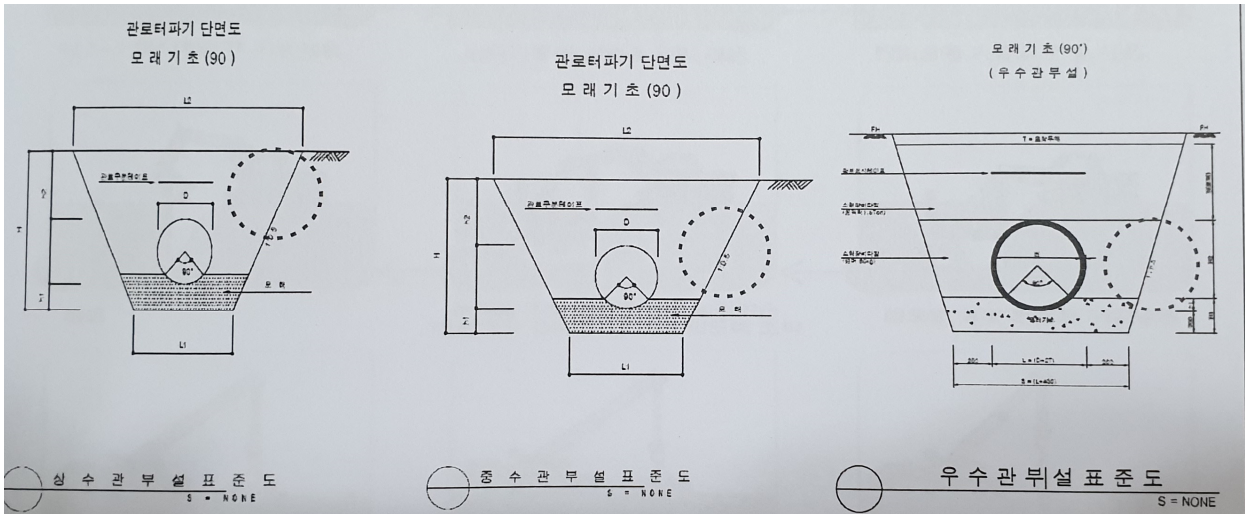
아래의 Table 7에서와 같이 관로 터파기는 '토목설계기준'에서는 굴착구배를 1:0.3을 반영토록 하여 해당 기준에 맞게 시공했음에도 불구하고 토사 붕괴 사고가 발생하거나 발생 조짐을 보인 사례가 적지 않았다. 따라서 토사붕괴 위험을 예방하기 위해 관로터파기 경사에 준하여 설계도면에 1:0.5를 반영함으로써 공사의 안전성을 확보할 수 있었다. 이것은 현재의 법적 규제보다 더 엄격한 기준이지만, 실제 관로 터파기 공정에서 발생하는 사고위험 요소를 사전에 도출하고, 위험성을 분석하여 법적 규제의 엄격성을 강화하기 위한 제도적 개선 대안까지 '설계안전성 평가' 제도의 긍정적 적용 사례로 볼 수 있다. 이는 일반적으로 기업의 특성상 최소한의 법적 규제를 준수하려는 건설업체의 특성 상 자발적으로 안전문제를 개선시킴으로써 회사의 이익과 직원의 안전을 확보하는 '설계안전성 평가' 제도의 선순환 과정의 일부로 볼 수 있다.

Table 7. Modifying before and after reflecting design drawings (Report on Design Safety Review, 2018)

Before the improvement



After the improvement



결론 및 고찰

본 연구는 건설업의 재해를 저감 하고 예방하기 위해 제정된 '건설기술진흥법'에 따른 '설계안전성 검토' 제도에 대해 살펴보고 그의 실제적 작동 프로세스를 적용해 보았다. 그로 인해 작업공종별로 발생했던 과거 사고사례를 기반으로 위험원을 도출하고 이의 근원적 예방을 위한 건설 설계 개선 방안을 마련하였으며 각 단계별 문제점 및 중점 개선 방안은 다음과 같다.

첫 단계는 발주자가 제공한 위험요소와 저감 대책 분석을 통해 각 공정별로 위험요소를 파악하고 해당 요소에 대한 위험 저감 대책을 수립해야 한다. 그리고 이 자료를 기반으로 건설안전 정보 시스템의 위험요소 프로파일을 검토하여 각 공종별 실제적 저감 대책을 설계에 반영하고 이와 관련된 타 건설현장의 유사 사고사례를 분석하도록 한다.

두 번째 단계에서는 위험도 산출 공식에 따라 심각도의 등급 및 기준을 설정하고, 위험도 허용수준을 평가하기 위해 '위험

성 평가 매트릭스'를 활용하여 높은 위험도의 작업공정을 우선적으로 선택하여 개선을 위한 주요 대안을 마련한다. 설계자는 위험요소의 완전한 제거를 위한 설계를 시행하고, 반영하지 못한 위험요소에 대해서는 시공자에게 전달하여 체계적 위험관리 모니터링 시스템을 갖추도록 한다.

마지막 단계는 설계안전성 평가 보고서 작성 단계로 위험 공종에 따른 위험요소 도출과 예상되는 인적, 물적 피해 유형에 기반한 위험도 도출 및 저감대책을 작성한다. 도출된 위험요소에 대해서는 문제해결을 위한 주요 대안별 안전관리 수준, 미관, 기능, 기술 등의 항목별 위험요소를 검토하여 검토한 위험도를 평가하여 최종 위험도 개선 설계 개선 대안을 최종 선정한 보고서를 작성해야 한다.

References

[1] Kim, J.-W. (2018). "Disaster Risk Assessment by Work Unit of Construction Work for Improve the Efficiency of Design for Safety Task", Architectural Institute of Korea, Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 34, No. 6, pp. 45-53.

[2] Lee, G.-J. (2018). "Application of Desing for Safety to improve Safety Environment on Construction Site", Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, KIEAE Journal. Vol. 18, No. 5 , pp. 113-120.

[3] Ministry of Employment and Labor (2018) State of Industrial Accidents, Statistics Report.

[4] Report on Design Safety Review (2018), Incheon International Airport Development Project 1st Stage Infrasturcture Creation.