

플랜트 건설 사업 안전관리 실태 및 재해 저감 방안 연구 -화공 플랜트를 중심으로-

김승한* · 이성일*
*한국교통대학교 안전공학과

A Study on the safety management condition and disaster reduction measures of plant construction projects -focusing on chemical engineering plants-

Seung-Han Kim* · SUNG-Il Lee*

*Safe Engineering, Graduate School of Korea National University of Transportation

Abstract

The purpose of this study is to provide basic data to help ensure the safety and enhance industrial competitiveness of plant construction projects by analyzing the safety management status of, mainly, chemical engineering plant construction projects, and proposing specific measures and models to reduce human/educational, technical/systemic, institutional disasters. This study was done using literature research and case study/empirical study methods. The results of this study are summarized as follows. First, we classified the major disasters from the quarterly released 'major disaster cases in construction business' from Korea Occupational Safety and Health Agency according to the type of construction and presented the causes and prevention measures.

Keywords : Plant construction, Chemical Plant Safety Management, Industrial safety.

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

우리나라 경제는 규모와 산업구조 등 모든 산업 부문에서 생산기술의 고도화를 이루었다. 특히 플랜트 건설 사업은 일반 건설 사업보다 거래 금액의 단위가 매우 크고, 생산 및 고용 유발효과 등 부가가치와 산업 연관 효과가 높은 부문이다. 그뿐만 아니라 해외 건설 수주에 있어서 외화 가득률이 보통 40~50%에 달할 만큼 매우 높고, 전체 수주액에서 차지하는 비중이 크다. 이에 따라 우리나라에서도 플랜트 건설 사업과 이

의 수출에 국가적인 역량을 집중하고 있다.[1]

한편, 건설 사업 영역 중 대규모 엔지니어링 설비를 기반으로 한 플랜트 건설 사업은 재해 원인이 더욱 강하게 나타나는 분야이다.[2] 실제 2016년 1분기 발생한 전국 건설업 사망 재해 중 플랜트 건설에서의 사망자는 17명(15.5%)으로 아파트 건설 사망자 20명(18.2%)에 이어 2위를 차지하고 있다.[3] 그에 따라, 플랜트 건설 사업의 안전 및 재해예방과 관련하여 산업 안전보건기준에 관한 규칙, 고용노동부 고시, 국토교통부 고시 등 관련 법규와 안전보건공단의 화학 설비의 설치 작업 안전지침, 등이 마련되어 있으며, 플랜트 건설에서 위험요인과 재해 원인에 관한 연구들도

† Corresponding Author : Seung-Han Kim, Dept. of Safety Engineering, Korea National University of Transportation, 50 Dahak-ro Chungju-si Chungbuk 380-702, E-mail : seiga2001@naver.com

Received October 30, 2017; Revision Received November 01, 2017; Accepted December 06, 2017.

이어져 오고 있으나, 기존 논의들에서는 주로 사례를 중심으로 재해의 원인이 되는 요소를 정리하거나, 포괄적인 재해 예방 방안에 대해 제시하는 수준에 그치고 있으며, 플랜트 건설 재해의 정기적이고 체계화된 현황 집계마저 제대로 이루어지지 못하여 현장 적용의 실효성이 높지 않다고 볼 수 있다.

이에 플랜트 건설 사업의 안전관리 실태를 실증적으로 파악하고, 부문별로 더욱 실질적이고 구체적인 재해 저감 방안을 제시하는 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 화공 플랜트를 중심으로 플랜트 건설 사업 안전관리 실태를 분석하고, 인적/교육적, 기술적/시스템적, 제도적 차원의 재해 저감 방법 및 모형을 구체적으로 제시함으로써, 플랜트 건설 사업의 안전 확보와 산업 경쟁력 강화를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

1.2 연구방법 및 범위

본 연구는 문헌 연구 방법과 사례연구 및 실증 연구 방법을 병행하여 진행하였으며, 일차적으로 이론적 배경 및 선행 연구자료 검토를 통해 기초 적인 개념과 분석의 토대를 구축하고, 화공플랜트 건설 사업 실무 관계자를 대상으로 설문조사를 시행하여 이들이 지각하는 화공 플랜트 건설상 안전관리의 실행 수준과 요구도 등을 실증적으로 파악한다. 또한, 최근의 화공 플랜트 건설 사업 재해 사례를 분석하여 그 원인과 대책에 대한 시사점을 도출하고, 이를 종합하여 플랜트 건설 사업에서의 재해 저감을 위한 부문별 구체적인 방안을 제시하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 화공 플랜트 개념

화공 플랜트는 기술 집약적 장치산업으로서 여러 종류의 화학물질을 원료·중간재·첨가제·용제 및 제품의 형태로 사용 취급 및 저장하고 있으며 이들 물질의 보유량이 많고 시스템이 복잡하다. 또한 화공 플랜트는 장치산업 특성상 설계 단계에서 설비 등에 대한 안전 사항이 많이 고려되어 있는데 화공 플랜트 운영상 여러 가지 복잡한 과정을 포함하고 있기 때문에 이는 타 산업과의 상이한 특수성을 내포하고 있다.

화학 공정 기술이 복잡해지고 고압 및 반응성이 높은 화학물질과 독성물질 등을 수반하는 이런 매우 복

잡한 과정들은 안전기술에 대한 더욱 근본적이고 자세한 이해가 필요한 실정이다.

아래 <Table 1>는 플랜트 사업의 프로세스별 범위를 나타내고 있다.[4]

<Table 1> Process scope of plant business

Large section	small section	Type of project
Generating	General development	Firepower, cogeneration, water power, solar power, tidal power, geothermal, geothermal
	Nuclear power generation	Light-water nuclear reactor, Heavy water reactor
Energy	The gas industry	Natural Gas, Natural Gas, Liquefied Natural Gas
	Storage facilities	Storage of crude oil and LNG
	Energy utilization	Heat supply (heat source) facility
Environmenta	Incineration facility	Cityusindustrial waste
	Air pollution prevention facility	Desulfuration
	Water Treatment Facility	Sewage / wastewater treatment plant
Chemic	Purifying equipment	An oil refinery
	Fire extinguishin g equipment	Chemical, fertilizer, and textile plants
Industri al facilitie s	Ironwork	Steel mill, nonferrous metal smelting
	the others	Cement, fresh water, pulp, fertilizer

2.2 플랜트 사업의 특성 및 프로세스

플랜트 사업은 기자재 공급, 설비 제조업체, 건설업체 등과 밀접한 연관 관계를 맺은 고부가가치 두뇌 집약적 산업으로 다음과 같은 특징을 갖고 있다.[5]

첫째, 생산 설비나 시설은 수만 개의 기계와 부품 등으로 형성되어 있고, 구조는 대단히 복잡하다.

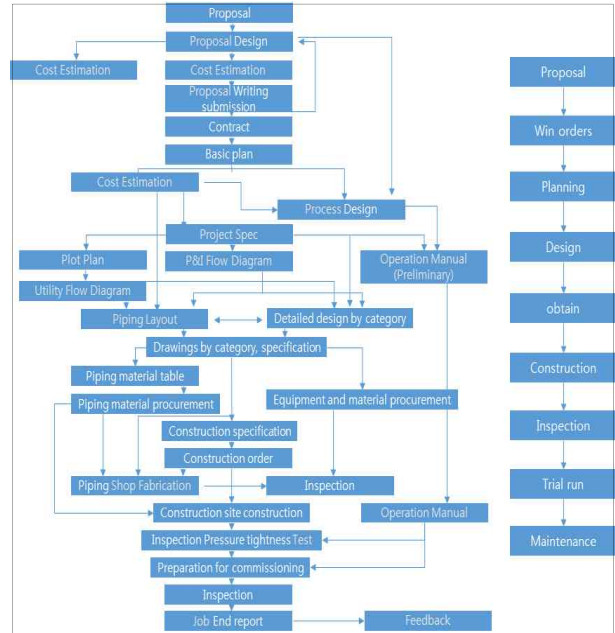
둘째, 보유 기술 대다수는 수평 또는 수직으로 통합 구성 되어 있다.

셋째, 비 양산형 및 비 범용형이며, 생산물을 소유해야 하는 고객의 요구를 전면적으로 채택하여 생산되는 구조이다.

넷째, 설치되는 장소의 지리적, 사회적 환경에 거의 완전히 부합되는 물적 시스템이다.

한편, 플랜트 건설 사업은 고객으로부터 사업수주를 받기 위한 제안 단계부터 수주, 계획수립, 설계, 조달, 건설, 시공, 검수, 시험운전까지의 단계로 프로세스가 구성되어 있다.[6]

아래 <Figure 1>는 플랜트 건설 사업 프로세스 이다.



[Figure 1] Plant construction business process

플랜트 건설 사업의 공사 종류는 아래 <Table 2>에서 나타낸 바와 같이 토목, 건축, 기계, 배관, 전기(계측), 시험운전 총 6개 종류로 분류된다.

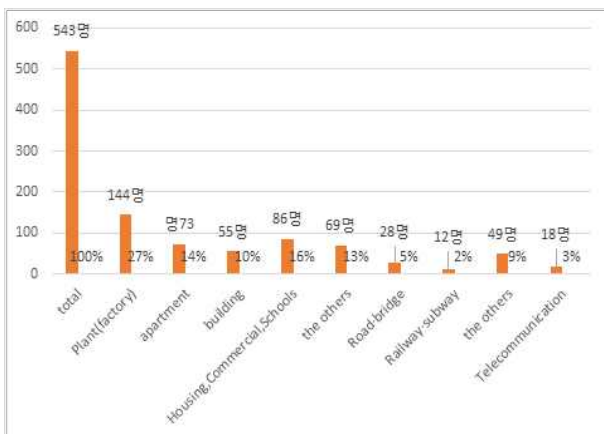
<Table 2> Construction type of plant construction business

Type	Unit work
Civil	Basic excavation
	Concrete production
	Out-of-door installation
	Chemical treatment structure
Architecture	Building construction of main building
	Building deadline painting
Machine	General equipment installation
	Heating / distillation facilities
	Extraction facilities
	Class-related facilities
	Pressure and auxiliary system
	Supply, manufacture, and assembly of tank materials
Piping	Piping installation
	Heating and air conditioning system
electricity	Electrical equipment installation
	Conductor routing and connection
	Establishing communications / security facilities
	Installation of instrumentation facilities
Trial run	Trial run

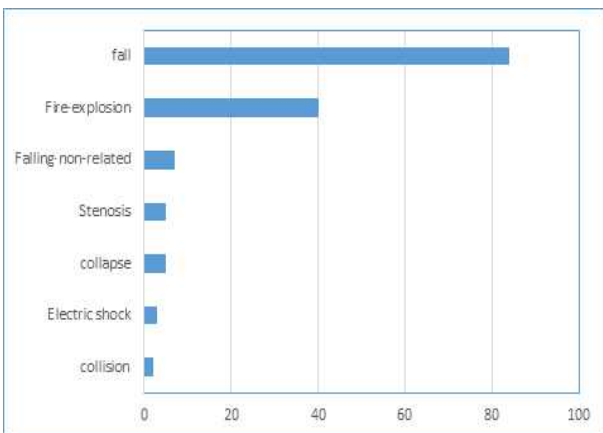
3. 플랜트 건설 재해 사례 분석

3.1 플랜트 건설 재해 현황

플랜트 건설 재해에 관한 기존 논의들 보면 주로 사례를 중심으로 재해의 원인이 되는 요소를 정리하거나, 전체 건설 재해 현황에 포함하여 제시하는 수준에 그치고 있고, 플랜트 건설 재해만의 독자적인 현황 집계는 이루어지지 못하고 있다. 비교적 최근의 안전보건공단[7]의 자료에서는 전체 건설 재해 사망자 수 534명 중 플랜트 공사에서 사망자가 144명이 발생하여 전체의 약 27%로 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 그리고 플랜트 공사현장에서 발생한 144건의 사망 재해 중 발생 형태별로 살펴보면, 추락 84명(58.3%), 화재, 폭발 40명(27.7%), 낙하, 비래 7명(4.9%), 협착 5명(3.5%), 붕괴, 도피 5명(3.55) 순으로 발생하여, 플랜트 건설 재해의 심각성을 보여주고 있다.



[Figure 2] Plant construction accident death(Persons,%)



[Figure 3] Plant construction type (persons,%)

4. 화공 플랜트 건설 사업 실태조사

4.1 조사방법 및 절차

4.1.1 연구문제

본 연구에서는 화공 플랜트 건설 사업의 안전관리 실태를 분석하고자 문헌적 연구 방법과 사례 연구 방법 이를 보완하고 타당한 근거를 제시하기 위한 실증 연구의 세 가지 방법을 사용하여 실천적 논의와 구체적인 방안을 제시하고자 한다.

본 연구는 실증 연구 부분으로서 화공 플랜트 건설 사업 실무 관계자를 대상으로 설문 조사를 하여 이들이 지각하는 화공 플랜트 건설 안전관리 요구도와 실행 수준 등을 실증적으로 조사하여 분석하고자 한다.

실증 연구 부분에서 검증할 구체적인 연구문제는 다음과 같다.

첫째 화공 플랜트 건설 사업에서 부문별 안전관리 요구도와 실행 수준을 알아본다.

둘째 화공 플랜트 건설 사업에서 부문별 안전관리 요구도와 실행 수준의 차이를 알아본다.

셋째 화공 플랜트 건설 사업에서 부문별 안전관리 요구도가 실행 수준보다 높은 항목에 대하여 잠재적 차원을 추출한다.

4.1.2 연구대상 및 절차

본 연구의 설문조사 대상은 국내 화공 플랜트 건설 사업 관계자, 즉 국내 화공 플랜트 운영기업(석유화학 기업) 실무자, 플랜트 건설 사업 관계자(플랜트 시공분야 실무자, 안전관리자, 기술자문, 투자자, 건설사 관리자, 기타 시공분야 관계자 등)를 표본으로 하였고, 조사 기간은 2016년 12월 5일부터 2017년 1월 6일까지였는데, 본 연구를 위해 3차에 걸쳐 총 300부의 질문지를 배부하였으며, 이 중 회수된 질문지 295부 중, 응답 내용이 부실하거나 항목이 빠진 11부를 제외하고 최종 284부의 설문지를 분석 사용하였다.

4.1.3 조사도구

본 연구에서 사용한 조사 도구는 국내 화공 플랜트 건설 사업 관계자의 화공 플랜트 건설 안전관리 실행 수준과 요구도에 대한 인식을 알아보기 위한 질문지이다. 완성된 질문지는 3개의 범주 즉, 대상의 일반적 특성과 화공 플랜트 건설 안전관리 부문별 실행 수준 및 요구도로 구성하였다.

조사 도구의 구성 영역과 문항 수는 아래 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Configure questionnaire

content	question number	Scale
Gender, Age, Academic, Career, Job	5	Nominanc e Sequence scale
Needs for Construction Fields in Construction Plant Construction	31	Lee cut Five-poi nt scale
A Study on the Execution Level of Occupational Safety Management in Construction Plant	31	
계	67	

4.2 조사도구의 신뢰성

본 연구의 경우 개념의 조작적 정의를 토대로 여러 항목을 통해 구성 개념을 측정하고 있으며, 신뢰성 분석을 위해 반복법의 확장인 각 구성 내 내적 일관성을 파악하기 위해서 Cronbach's α 계수를 활용하여 신뢰성을 검토하였다. 화공 플랜트 건설상 안전관리의 요구도와 실행 수준 각각에 대한 신뢰성 검증 결과는 아래 <Table 4>에 제시되어 있다.

<Table 4> Reliability verification

variable	question numbe	Cronbach's α Modulus
Demand	31	.845
Execution level	31	.756

<Table 4>에서 신뢰성 검증 결과, 화공 플랜트 건설 안전관리 요구도는 신뢰도 값이 0.845이었으며, 실행 수준은 0.756을 나타내고 있었다. 따라서 모든 변수의 신뢰도 값이 0.7 이상이었으며, 탈락하거나 제거된 문항 역시 없으므로, 본 연구에서 사용된 측정 도구들이

신뢰성이 있는 것으로 판단하였다.

<Table 5> Exploratory factor analysis of demand items

Evaluation item	Human/educati onal	Techni cal/syst em	instit ution
Employee safety awareness	.852	.129	.104
Employee safety education	.823	.030	.142
Safety management manager expertise	.777	.186	.160
Safety education by status	.784	.188	.169
Corporate safety investment	.124	.828	.194
Corporate safety investment distribution	-.007	.784	-.064
Practical Safety Management System	.261	.779	.167
Countermeasures by accident cause	.236	.723	.071
Technical disaster prevention	.206	.743	.122
Plant disaster information system	.246	.756	.175
Safety Regulations /Clarification	-.046	.186	.834
Regular safety regulations /checks	.255	.155	.691
Safety Management / Performance Repairs	.149	.071	.680
Investment in safety management/voluntary guidance	.091	-.014	.617
Reflection of Environmental Factors in Construction Firms	.132	.045	.669
Eigenvalue value	2.644	3.069	2.823
Dispersion %	13.859	16.224	14.837
Accumulation %	44.920	16.224	31.061
Kaiser-Meyer-Olkin MSA = .803, Bartlett's test = 5816.903			
df = 171, sig. = .000.			

<Table 5>는 요인 분석을 통해 요인별로 분류된 화공 플랜트 건설 안전관리 요구도의 세부 항목이다. 먼저 인적/교육적 차원으로 현장 근로자의 안전의식 등 4개 항목이 분류되었으며, 기술적/시스템적 차원으로 기업의 안전투자량 등 6개 항목이 분류되었다. 또한, 제도적 차원으로 안전규정의 구체성과 명확성 등 5개 항목이 분류되었다.

5. 화공 플랜트 건설 사업 재해 저감방안

5.1 인적 교육적 차원

5.1.1 근로자 안전의식 및 위험교육 강화

첫째, 일회성의 정보 전달이나 단시간의 교육이 아니라 상시적인 교육 체계를 마련하고, 동영상, 시청각 및 기본적인 체험실습 등의 교육 과정과 내용으로 개편할 필요가 있다.

둘째, 주하고 싱가포르처럼 토론식 평가와 필기시험 등 나름대로 평가 방법을 통한 수준 관리를 통해 교육 종료 후 일정 평가를 통하여 일정 점수 이상 취득한 교육생에 대해 이수증 발급(싱가포르 경우 평균 합격률이 60% 수준임)을 통하여 교육의 성과를 높일 수 있는 것으로 판단된다.

5.1.2 현장 안전관리 책임자의 전문성 제고

첫째, 플랜트 건설 사업 안전관리 직무 내용에 맞는 교육 과정을 개설함으로써 활용성과 필요성을 높이는 것이 필요하다.

둘째, 2년에 한번 진행되고 있는 교육 주기를 1년에 한번으로 단축하여 안전관리자들이 법령이나 안전관리 기준 등을 빨리 습득할 수 있도록 해야 한다.

5.1.3 현장 지위별 안전의식 교육 프로그램 구축

첫째, 세분된 공사 특성에 따른 현장 지위별로 체계적인 안전의식 교육 프로그램 도입이 필요하다. 전문공사 교육을 이수한 근로자만 해당 공사 종류에 작업 할 수 있는 규정을 제도화 하도록 한다.

5.2 기술적 시스템적 차원

5.2.1 기업의 안전 투자 증대

첫째, 발주자 직접공사로 인한 산업 안전보건관리비를 집행하지 않고 있으므로 계상기준의 산업 안전보건관리비를 의무 사용하도록 제도화 하도록 한다.

둘째, 임시시설 비용이 산업 안전보건관리비 사용기준에 포함되어 있지 않아 중대 재해의 위험요소를 해소하지 못하고 있는 실정으로 비계, 안전발판, 안전난간 등 임시 시설 공사 비용을 산업안전관리비 포함 하도록 해야 한다.

5.2.2 현장 안전관리 체계의 개선

첫째, 안전하게 공사가 수행될 수 있도록 업체의 적정 이윤이 보장되는 방안을 마련해야 한다.

둘째, 실질적인 안전관리가 될 수 있는 현장 안전 시스템과 조직을 구축하고 현장 안전 정책을 세워야 한다.

셋째, 하도급 업체 선정 시 안전사고 기록이 반영되

어야 하며, 하도급 계약 시 구체적인 책임 한계를 명확히 해야 한다.

5.2.3 주요 재해 원인과 공사 종류별 기술적 안전대책
첫째, 무선통신과 인체감지 센서를 결합하여 무선통신을 적용한 IT 안전시스템 도입이 필요하다.

둘째, 가장 높은 수준 인프라를 배경으로 정보통신기술을 적용한 재해정보시스템 구축이 필요하다.

5.3 제도적 차원

5.3.1 자율적 안전체제 유도를 통한 제도의 실효성 제고

선진국처럼 규제 중심의 안전 대책으로부터 기업의 자율적인 노력을 적극 유도하고, 장려하는 방향으로 안전 정책을 전환할 필요가 있다.

5.3.2 안전관리 지원 및 성과보수 제공

국가 계약에 대한 우대(사전적격심사 심사 항목 평점) 점진적 확대 및 건설업 시공 능력 평가에서 가산점 부여와 산재 보험 제도에서 개별 실적 요율의 일정 비율 할인 적용(조세 감면과 유사) 하도록 한다.

5.3.3 플랜트 건설 사업과 현장의 특성을 반영한 안전관리 제도 개선

행정 중심적인 양식과 획일적인 위험성 평가를 철폐(내실화된 위험성 평가제도 정착)하고, 건설사의 입찰 과정에 안전관리 분야 참여 의무화 및 입찰 현장 설명시 충분한 고지가 되도록 제도화해야 한다.

6. 결론

본 연구에서는 화공 플랜트 건설 사업의 안전관리 실태를 분석하고, 재해 저감 방안을 좀 더 구체적으로 제시하여 실효성 있는 연구 성과를 얻는데 목표를 두고, 문헌 연구 방법과 사례연구 및 실증 연구 방법을 병행하여 사용하였다.

일차적으로 이론적 배경 및 선행 연구자료 검토를 통해 기초적인 개념과 분석의 토대를 구축하고, 화공 플랜트 건설 사업 실무 관계자를 대상으로 설문조사를 하여 이들이 지각하는 화공 플랜트 건설상 안전관리의 실행 수준과 요구도 등을 실증적으로 파악하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 안전보건공단에서 분기마다 발표되는 건설 중대 재해 사례 자료에서 플랜트 건설 공사 현장에서 발생한 중대 재해 자료를 공사 종류별로 분석하고, 그 원

인과 예방대책에 대해 제시하였다.

둘째, 화공 플랜트 건설 사업 실무 관계자를 대상으로 설문조사를 하여 이들이 지각하는 화공 플랜트 건설 안전관리의 요구도와 실행 수준 등을 실증적으로 조사하여 분석하였다.

셋째, 사례분석 및 실증분석 결과에 따라, 화공 플랜트 건설 사업의 인적/교육적, 기술적/시스템적, 제도적 차원 부문별로 구체적인 안전관리 방법을 통한 재해 저감 방안을 제시하였다.

이상과 같은 본 연구의 결과는 복수의 연구 방법을 사용하여 화공 플랜트 건설 사업의 안전관리 실태와 사례, 실무 관계자의 의견, 화공 플랜트 건설의 설비 및 기술 요소와 운영상의 특성, 국내 산업 환경 등 선행연구에서 파악하지 못한 부분을 추가 적용함으로써 더욱 신뢰할 수 있으며 구체적으로 실제 적용 가능한 화공 플랜트 건설 사업의 재해 저감 방안을 도출하였다는 데 의의가 있다.

그러나 본 연구는 연구 방법의 특성상 다음과 같은 한계점이 있으며, 이에 관한 향후 연구의 방향은 다음과 같다.

첫째, 실증연구 부분에서 편의 표집법을 활용하여 일부 화공 플랜트 건설 사업 관계자만을 대상으로 표본을 추출하였다. 따라서 본 연구 결과를 일반화하기에는 한계가 있다. 후속 연구에서는 다양한 표집 방법을 활용하여 연구의 일반화 가능성을 높일 필요가 있다.

둘째, 기존에 플랜트 건설 사업의 재해현황 및 사례에 관한 축적된 자료가 미흡하여, 연구 환경 내에서 수집 가능한 자료들을 이용함으로써 논의의 근거를 제시하는데 다소 부족한 면이 있었다. 따라서 앞으로 플랜트 건설 재해 및 안전관리에 관한 연구와 정부 및 산업계 차원의 데이터가 축적될 필요가 있다.

셋째, 본 연구는 화공 플랜트를 중심으로 논의를 전개하였는데, 같은 플랜트 건설 사업이라고 하더라도 플랜트 유형이나 사업특성에 따라 안전관리 실태도 다르므로, 실제 플랜트 건설 사업 현장의 사례를 면밀하게 검토하여 집중적으로 안전관리실태 및 문제점, 이를 통한 개선안을 탐색하는 연구가 이루어질 필요가 있고, 나아가 플랜트 유형별 실태를 비교하여 각 플랜트 유형의 특성에 따른 안전관리 취약성을 모색하는 연구도 이루어져야 할 것이다.

7. References

[1] Kang, Hyun-wook, Kim, Min-seok, Kim Sou-hwan, Kim, Yong-su(2012), A Study on

Developing and Analyzing the Risk Factors for Overseas Plant Construction Projects : Focused on the Design, Procurement and Construction Stage: *gujogye*, 28(5), pp. 111-118.

[2] Kim, Hwang-Ran, Son Tae-hong and Jang Hyun-seung (2013), Determination and analysis of major subcontractor factors of overseas plant construction, *Journal of Korean Institute Of Construction Engineering and Management*, 14 (5), pp. 84-91.

[3] Korea Occupational Safety & Health Agency (2016) ; Construction Significant Disaster Prevention and Countermeasures for the 1st quarter of 2016.

[4] Park, Kwang-soon (2002), the Korea Institute for Industrial Economics and Trade, and Korea Research Institute of Industrial Economics and Trade, and Korea Research Institute for Industrial Economics and Trade (KIS).

[5] Lee, Sang-hyeon (2014), a research institute for high value-added industries, and industrial research institutes.

[6] Nam, Jeong-tae (2007) : Cooperative Resource Procurement Support Model for Small and Medium-Sized Plant Companies

[7] Korea Occupational Safety and Health Corporation (2013), Construction accident status.

저 자 소 개

김 승 한



한국교통대학교 안전공학과 박사 과정 수료하였다. 현재 항공안전기술원 안전연구실 선임연구원으로 재직중이다. 주요 관심분야는 건설안전, 항공안전, 인간공학, 시스템안전, 산업재해조사, 건설안전특론, 중대재해 조사 등이다

이 성 일



광운대학교 학사, 광운대학교 석사, 광운대학교 전기공학도에 박사, 현 한국교통대 안전공학과교수