

AHP를 활용한 건축물 해체공사 현장 위험도 평가모형 구축

석인호¹, 오승환^{2*}

¹국토안전관리원 건축시설관리실, ²경상국립대학교 기술경영학과

Establishing a risk assessment model for building demolition sites using AHP

InHo Seok¹, Seunghwan Oh^{2*}

¹Building Facilities Management Office, Korea Authority of Land & Infrastructure Safety

²Department of Technology Management, Gyeongsang National University

요약 건축물 해체공사 중 다양한 안전사고가 발생하고 있어 허가권자의 공사 전 안전점검이 의무화 되었고, 해체공사장의 위반사항이 적발되었을 시 공사중지 등 조치권한이 강화되었다. 하지만 지자체 담당자 등의 해체공사 현장 점검만으로는 사고예방에 한계가 있다. 또한, 지금까지 해체공사 현장의 위험성 평가는 대부분 정성적으로 이루어졌기 때문에 현장의 안전성에 대한 정량적, 객관적 평가 체계가 마련되지 않은 실정이다. 이에 본 연구에서는 건축물 해체공사 현장의 위험요인 항목의 중요도를 도출하여 위험성이 높은 고위험 현장을 사전에 모니터링 할 수 있는 위험도 평가모형을 구축함으로써 안전확보의 실효성을 높이고자 한다. 위험요인의 상대적 중요도를 측정하고 우선순위를 판단하는 AHP 계층구조 모델을 대분류 5개, 중분류 12개로 선정하여 25명의 전문가에게 설문하여 중요도를 분석하였다. 분석 결과, 대분류에서는 '구조안전, 보강공사의 중요도'와 '해체공법, 방법 및 사용장비의 중요도'의 가중치가 높게 나타났고, 중분류에서는 '구조 보강공사의 복잡·특수성'이 가장 중요한 요인으로 나타났다. 이러한 가중치를 활용하여 본 연구에서는 건축물 해체공사 현장 위험성을 평가할 수 있는 모형을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 '건축물 해체공사 현장 위험도 평가모형'을 통해 고위험 현장에 대한 사전적 모니터링이 가능하며, 현장점검의 우선순위 선정 등에 활용함으로써 해체공사 현장의 안전성 증진에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

Abstract Owing to various safety accidents during the demolition work of a building, the permit holder's pre-construction safety inspection was made mandatory, and the authority to take measures, such as the suspension of construction, was strengthened when violations of the demolition site were found. On the other hand, a quantitative and objective evaluation system for the safety of a site has not been established because most of the risk assessments at demolition sites thus far have been conducted qualitatively. Therefore, this study aims to improve safety by establishing a risk assessment model that can monitor high-risk sites in advance by deriving the importance of risk factor items during the demolition work of the building site. The relative importance of risk factors and determined priorities was measured using the AHP method divided into five major and 12 middle categories. The weight of 'the importance of structure safety, reinforcement work' and 'the importance of demolition method of construction, method, and equipment used' was high in the major category, and 'the complexity and specialty of structure reinforcement work' were the most important factors in the middle category. This paper presents a model that can evaluate the building risk of demolition sites using these weights. The 'Building Demolition Work Site Risk Assessment Model' constructed in this study will enable proactive monitoring of high-risk sites and help improve the safety of demolition work sites using it for priority selection of the site inspection.

Keywords : Building Demolition Sites, Safety Inspection, Risk Assessment Model, AHP, Safety Accident

본 논문은 산업통상자원부 '융합기술사업화 확산형 전문인력 양성 사업'의 지원을 받아 수행되었음.

*Corresponding Author : Seunghwan Oh(Gyeongsang National University)

email: ohsh@gnu.ac.kr

Received March 21, 2024

Revised April 29, 2024

Accepted July 5, 2024

Published July 31, 2024

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건축물을 건축·대수선·리모델링하거나 멸실시키기 위하여 건축물 전체 또는 일부를 파괴하거나 절단하여 제거하는 해체(건축물관리법 제2조제7호)공사는 붕괴, 전도 등 대형사고의 위험이 크고, 비산먼지, 소음·진동 등 주변 인접 건축물 및 거주자 등에 직·간접적인 피해를 유발한다. 통계조사에 의하면 '16~'20년 5년간 철거·해체·정리 작업 중 발생한 사망자는 131명으로 전체 건설업(1,908명) 대비 6.9%를 점유하고, 연평균 26명의 근로자가 목숨을 잃은 것으로 나타난다[1]. 하지만 80~90년대에 집중 건설된 건축물이 노후화되고 재건축, 재개발 및 리모델링, 생활환경의 변화 등으로 인한 주민 욕구의 상승 등으로 기능을 상실한 구조물의 해체 필요성이 점차 증가하고 있는 상황이다. 이에 국내 해체공사 시장이 급격히 확대[2]되고 해체공사의 안전확보 요구도 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

건축물생애이력관리시스템 통계에서 국내 해체공사 현장의 '20~'22년 3년간 연평균 신고는 39,814건, 허가는 8,032건에 달한다[3]. 이러한 해체공사 과정에서의 안전사고는 끊임없이 발생하고 있으며, 정부 차원에서 이를 예방하기 위한 다양한 조치들이 이루어져 왔다. 실제 서울 낙원동 호텔 붕괴('17.1)로 사망 2명, 부상 2명, 잠원동 건물 붕괴('19.7)로 사망 1명, 부상 3명 발생 이후 해체계획서 작성 및 해체허가제도 도입 등이 포함된 '건축물관리법'이 시행('20.5)되었으며, 그 이후에도 광주 학동 건물 붕괴('21.6) 사고로 사망 9명, 부상 8명이 발생하여 '건축물 해체공사 안전강화 방안'('21.8)으로 '건축물관리법'이 개정되었다. 개정된 내용을 보면 허가권자가 착공신고 확인증을 발급할 때에 공사전 안전점검을 하도록 의무화되었으며, 해체공사장에서 위반사항을 적발할 경우에 공사중지 조치를 할 수 있는 등 권한이 강화되었다. 이와 같이 지자체의 안전점검이 의무화되었지만, 위험도가 높은 해체공사를 현장점검하는 것만으로는 사고예방에 한계가 따른다.

이에 본 연구에서는 건축물 해체공사 현장의 위험요인 항목의 중요도를 도출하여 위험성이 높은 고위험 현장을 사전에 모니터링 할 수 있는 위험도 평가모형을 구축하고자 한다. 이를 통해 해체공사 현장에 대한 안전확보의 실효성을 높이는 것이 본 연구의 궁극적인 목표이다. 특히, 해체공사 현장의 위험요인 항목 도출 및 가중치 산정을 위해 다양한 의사결정 분야에서 활용되고 있는

AHP(Analytic Hierarchy Process)기법을 적용하였다. 또한 최종적으로 건축물 해체공사 현장 위험성 평가를 위한 객관화된 평가 모형을 구축하였다. 향후 본 연구에서 제시하고 있는 해체공사 현장 위험성 평가 모형이 현장점검의 우선순위 선정, 위험도가 높은 현장의 사전 점검 등에 활용된다면 선제적 현장점검 및 안전관리가 가능하고, 건설재해 예방에도 크게 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 해체공사 현장 사고 사례, '건축물 해체계획서'의 작성 및 감리업무등에 관한 기준[4], 건축물 해체공사 감리업무매뉴얼[5], 건축물 해체계획서 작성 매뉴얼 및 표준서식[6], 건축물 해체계획서 검토 사례집[7], 건축물 해체계획서 예시집[8] 등을 분석하였다. 이후 건축구조, 건축시공·건설안전, 지반·기초의 전문분야종사자로서 경력 20년 이상의 기술사, 박사, 교수, 기업체 임원 등의 자격 또는 학위를 보유한 22명의 전문가 설문 및 회의를 거쳐 위험요인 항목을 도출하고, 이 항목에 대한 가중치 산출을 위해 전문가 25명을 대상으로 AHP 설문 조사를 수행 및 분석하였다.

AHP는 평가과정에서 쌍대 비교를 통해 설문자의 선호도 정보를 얻기 쉽기 때문에 분석과정이 간단하고 결과의 일관성을 간편하게 확인할 수 있다[9]. 또한 전문가를 전문분야별과 직군별(민간기관, 공공기관, 대학교)로 그룹을 구분하여 중요도를 비교·분석하여 그 타당성을 확인하고자 한다. 이상으로 살펴본 본 연구 흐름도는 Fig. 1과 같다.

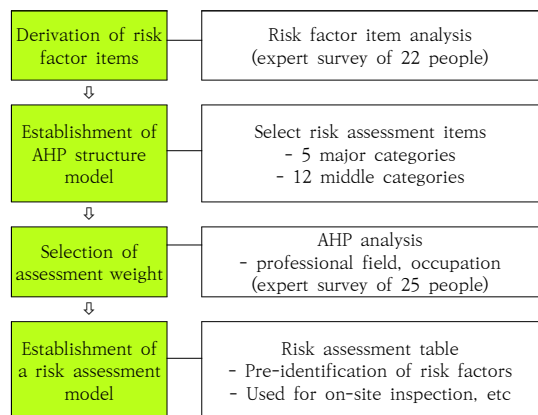


Fig. 1. Research Flow Chart

2. 이론적 고찰

2.1 국내 건설업 재해 현황

건설업은 제조업과 같이 전 산업 중 재해자와 사망자의 수가 많이 발생하고 있는 산업이다. 고용노동부에서 발표한 산업재해 발생현황[1]에 따르면 최근 5년간 건설업, 그 중에서도 철거·해체·정리 작업사망자 수는 Table 1과 같으며, 건설업 사망자수의 평균 6.9%를 차지하고 있다.

2016년부터 2020년까지 건설업의 사망자 수는 점차 감소하고 있으며, 철거·해체·정리 작업 사망자 수는 2019년에 16명으로 최근 5년 중 가장 적었으나 2020년에는 다소 증가되는 추세로 나타난다. 특히, 2021년에는 광주 학동 건물 붕괴로 9명의 사망자가 발생되어 사고발생시 인명피해의 위험이 다른 산업에 비해 상대적으로 높다고 할 수 있다.

Table 1. Demolition, Dismantling, and Reorganization Work the Current Status of Death Accidents

Sort(y)	Construction industry	Demolition, dismantling, and reorganization work
2020	319	24(7.5%)
2019	348	16(4.6%)
2018	366	24(6.6%)
2017	433	30(6.9%)
2016	442	37(8.4%)
Counting	1,908	131
Five-year average	382	26(6.9%)

(출처: 고용노동부, 안전보건공단, 안전보건실무집집이 건설업(철거·해체·정리 작업), 2021.)[1]

2.2 국내 해체공사 현장 안전사고

2019~2021년 3년간 국내에서 발생한 해체공사 현장의 주요 사고 현황과 피해 정도는 다음 Table 2와 같다 [10]. 2021년 이전에 발생했던 해체공사 현장 사고는 해체계획서 미작성과 작업절차 미준수에 따른 요인이 보편

Table 2. Current Status of Death Accidents in Building Demolition Work 2019-2021

No	Accident date	Accidents overview	Cause of the accident	Damage	
				Death	Injury
1	April 30, 2021(Fri.)	Damaged person as floor slab collapses while refuelling excavator	Failure to prepare demolition plans and implement safety measures such as supports	1	0
2	April 4, 2021(Sun.)	During the reinforcement of the steel beam at the site of the renovation of the house, it collapsed without enduring the load on the roof, and the injured person was laid down	Demolition plan not prepared	2	2
3	February 27, 2021(Sat.)	During the demolition of the lower block wall of the floor slab on the second basement floor of the existing building at the site of the extension work, the slab collapsed and the victims were laid down	Safety measures such as slab and block wall support were not implemented	1	1
4	November 6, 2020(Fri.)	During the block wall waste cleanup work, the block wall fell and the injured person was laid down	Pre-investigation and demolition plan not completed	1	0
5	November 6, 2020(Fri.)	During the demolition of the mechanical equipment tank, part of the tank wall collapsed and the injured person was laid down	Pre-investigation and demolition plan not completed	1	0
6	August 6, 2020(Thu.)	During the demolition of the building wall at the site of the improvement of the office space, the building fell and the injured person was laid down	Demolition plan not prepared	1	0
7	July 17, 2020(Fri.)	During excavator operation, the tidal wall was struck and the tidal wall collapsed, resulting in the worker being laid down	Demolition plan not prepared	1	0
8	November 17, 2019(Sun.)	During the demolition of the internal structure wall at the remodeling site, the upper structure wall fell and the injured person was laid down	Demolition plan not prepared	2	0
9	July 10, 2019(Wed.)	During the demolition of the interior partition wall of the building, the injured person was laid on the falling wall	Demolition plan not prepared	1	0

(출처: 안전보건공단, 사고사망예방 Quick Message, 2019~2021년 건축물 철거해체공사 사망사고 현황, 5월, 2021.)[10]

적인 원인으로 제시되고 있다. 하지만 2021년 발생한 해체공사 현장의 사고 현황을 보면 작성된 해체계획서에 따라 작업이 이루어지지도 않고 안전조치 미준수 등으로 인해 중대재해가 여전히 발생하고 있음을 알 수 있다.

고용노동부 통계자료[1]에서는 철거·해체·정리 작업사망자의 발생형태는 떨어짐이 54.2%(71명)로 가장 많고, 무너짐, 맞음, 깔림, 차량의 부딪힘, 화재폭발 등의 순이며, 기인물별 현황은 벽체 및 마감재 등이 20.6%(27명)로 가장 많고, 건설장비, 개구부 및 슬래브 단부, 지붕 채광창, 가설구조물 등의 순이다.

발생지역별 현황은 경기도에서 23.7%(31명)로 가장 높고, 다음은 서울특별시가 차지하고 있어 서울 및 수도권권을 포함한 전체 광역시가 차지하는 비율이 74.8%(98명)로서 재건축 및 리모델링 등이 활발히 이루어지는 지역 중심으로 사망재해가 주로 발생하고 있다.

2.3 기존 연구 고찰

해체공사에 관한 기존 연구를 보면, 차현주 등(2007)은 AHP방법론에 의한 건축물 해체작업과 관련한 현장여건의 개선사항, 안전관리의 문제점 및 개선사항의 항목간 우선순위를 분석함으로써 국내실정에 적합한 안전관리 개선방향 제시 및 주요 개선요소를 도출하였다[11].

이한민 등(2008)은 해체공법 선정의 여러 고려조건에 대한 중요도를 산정하여 보다 적합한 해체공법을 선정할 수 있는 시스템 개발에 관하여 연구하였으며[12], 김경환 등(2008)은 해체공사 공정별 리스크를 분류 및 통합하여 9가지의 리스크 중요도 분석에 관하여 연구하였다[13].

김진호(2012)는 건축물 철거작업의 안전사고 원인을 분석하여 동일 사고를 방지할 수 있는 방법론을 고찰하였고[14], 임혜연 등(2019)은 빅데이터 기반의 잠재적 붕괴위험 노후건축물 도출 방법 및 서울특별시 적용을 연구하였다[15].

유동욱(2023)은 해체공사의 안전관리를 위해 프로젝트 위험특성을 고려하여 휴먼에러(인적요인)의 관점에서 안전대책을 수행할 수 있는 절차와 모델 개발을 연구하였고[16], 이종근(2023)은 기존 건축물을 해체하는 공사장에서 발생할 수 있는 주요 유해위험요인분석 및 위험성평가 자동화를 연구하였다[17].

형성한 등(2023)은 해체공사 시 발생한 사고사례를 분석하였는데, 위험 요소 도출을 통해 위험성 감소대책을 수립할 수 있는 위험성 평가 매뉴얼을 개발 연구하였다[18]. 김태훈 등(2023)은 건설현장 사고 빅데이터를 기반으로 건축공사 공종별 사고 유형과 빈도를 분석하였

는데, 이를 기반으로 현장에서 활용성이 높은 공종별 사고 유형, 빈도의 체크리스트(Check-List), 사고가능성 분석 및 대책수립을 위한 사고정보분석 대시보드(Dashboard) 플랫폼 개발을 연구하였다[19].

이상으로 살펴본 해체공사 관련 선행연구들은 안전관리, 공법선정, 유해위험 요인분석, 현장점검 체크리스트 등의 연구들이 주를 이루고 있다. 하지만 실제 해체공사 현장에 적용될 수 있는 위험도 평가모형이 아직까지 구축되어 있지 않다. 특히, 해체대상 건축물 뿐만 아니라 가설구조물이나 공사 현장 주변 환경 등의 요인들을 포괄적으로 고려된 위험도 평가모형은 아직 제시되고 있지 않다. 본 연구는 이러한 점에 착안하여 해체공사 현장의 위험요인을 종합적으로 살펴보고, 그 중요도를 파악하여 적용 가능성이 높은 해체공사 현장 위험도 평가모형을 제시하고자 한다.

2.4 계층 분석적 의사결정방법(AHP)

AHP 기법은 우선, 문제를 계층화한 후에 의사결정 계층구조의 구성요소를 소수의 전문가를 대상으로 쌍대 비교하여 판단을 통해 평가자의 경험과 지식 및 직관을 얻고자 개발된 기법이다[20]. AHP 기법의 특징으로는 비율척도(ratio scale)를 통해 가시적이고 정량적 기준과 비가시적인 정성적 기준의 측정도 가능하다는 것이다. 또한, 분석과정이 객관적이며 적용이 간편하므로 다양한 의사결정을 하는 분야에서 유용하게 활용될 수 있는 기법으로 평가받고 있다[21].

본 연구에서는 건축물 해체공사 현장의 위험도 평가모형을 구축하기 위해 위험요인 평가항목에 대한 중요도를 선정하기 위해 적용하였다. 일반적으로 사용되는 AHP의 분석과정은 Fig. 2와 같다[22].

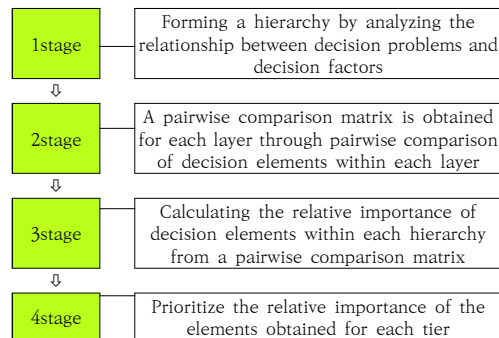


Fig. 2. AHP Analysis Process

(출처: 한성수, 도시재생사업의 갈등유형분류 및 중요도 산정, 공학석사 학위 논문, 서울시립대학교 국제도시과학대학원 글로벌건설경영학과, 2월, 2015.)[22]

3. 해체공사 현장 위험요인 항목 선정

3.1 위험요인 항목 도출

건축물 해체공사 현장 위험요인 항목 도출을 위해 해체공사 현장 사고 사례분석과 국내외 선행연구 조사, ‘해체계획서의 작성 및 감리업무 등에 관한 기준’(국토교통부고시)등을 분석하여 단계에 따른 대분류 16개, 중분류 21개 위험요인 항목의 초안을 Table 3과 같이 도출하였다.

도출된 위험요인 항목에 대한 적절성 검증을 위해 해체공사 관련 22명의 전문가에게 설문 및 면담조사를 수

행 분석하였다. 이때 해체공사 현장 위험성 평가에 있어서의 중요성, 활용가능성 및 편의성 등을 고려하였으며, 최종적으로 (A)해체 대상 건축물, (B)해체공사 현장 주변 여건, (C)가시설물, (D)해체공법, 방법 및 사용장비, (E) 구조안전·보강공사의 대분류 5개, 중분류 12개 위험요인 항목이 선정되었다. 이러한 분류와 내용 등에 관하여 당초 위험요인 항목 도출에 참여한 전문가와 추가적인 자문회의를 거쳐 최종적으로 Table 4와 같이 정리하였으며, AHP 분석을 위한 위험도평가 계층구조 모델을 Fig. 3과 같이 수립하였다.

Table 3. Derivation of Risk Factors for Demolition Construction Site

Step	Large category(16)	Medium category(21)
Preparation in advance	Survey of the building's surroundings	Whether or not adjacent buildings and surrounding facilities are affected
		Underground burials adjacent to the demolition site
		Pre-survey of underground buildings
	Investigation of buildings Subject to Demolition	Purpose of the target building, materials and strength used, ground characteristics, load conditions, structure form, presence or absence of design drawings, etc
Investigation of hazardous substances and environmental pollution	Asbestos investigation, presence or absence of hazardous substances, etc	
	Action Plan for Underground Installations	Buried materials that are likely to be affected by demolition work
		Equipment movement plan
Movement, demolition, protection, etc. of building facilities	Temporary facility installation plan	Temporary soundproof walls and safety facilities such as conduction, collapse, and fall
	Order of work, etc	Process flow chart, demolition procedure, etc
Demolition method		Comprehensive consideration of construction size and location of target buildings
		Ground building - plans for loading and transporting remnants, etc
		Underground building - stability against earth pressure, water pressure and other loads, etc
		Attach structure safety review report
		Marking required points - Prior to the commencement of the demolition of the finishing materials, before the removal of the roof, before the start of the middle floor demolition, and before the start of the underground floor demolition
Structure safety plan	In cases where the results of the demolition method and structure safety review exceed the allowable load of the building, the method of reinforcing the building subject to demolition, etc	
Structure reinforcement plan	Safety management of demolition workers	Control of access due to the fall of remnants of demolition, etc
	Safety management of adjacent buildings	Suggestion of safety measures according to risk factors at each stage of demolition work, etc
	Safety management of surrounding traffic and pedestrians	Road situation drawings, etc. around the construction site
Environment management plan, etc	Management of noise, vibration, etc	Establishment of measures to reduce noise, vibration and scattering dust
	Demolition disposal plan	Plan for fulfillment of obligations of waste discharger, etc
	Site clearance	Whether or not demolished waste and residues are found on the entire site, etc

Table 4. Selection of Risk Factor Items for Demolition Construction Site

Large category	Medium category		Content
(A) Buildings subject to demolition	A-1	Appropriateness of work characteristics and construction period according to building size	<ul style="list-style-type: none"> · Work in a high place or in a deep depth · Conditions where limited equipment operation is inevitable, such as a small workspace · Construction period that is insufficient compared to the method of construction and method of demolition, etc
	A-2	Building form and structure form	<ul style="list-style-type: none"> · Demolition in an unusual or special structure form · Demolition of structure projections adjacent to building lines, etc
	A-3	Mechanical performance degradation of buildings	<ul style="list-style-type: none"> · Restrictions on the operation and method of demolition equipment due to mechanical performance degradation · Widespread deterioration and damage to structures due to fire, old age, etc
(B) Conditions around the site of demolition work	B-1	Buildings adjacent to the site of demolition work, etc	<ul style="list-style-type: none"> · Impact of adjacent buildings in the event of vibration, fall of remnants, rain, etc. during construction · Impact of underground buried installations and buildings due to the entry and exit of demolition equipment, etc · Impact of old buildings, underground installations, buildings, retaining walls, etc. in the radius of excavation impact
	B-2	Nearby pedestrians, vehicles and public facilities(stop, subway stations, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> · Current status of roads and traffic within the expected range of operation of construction vehicles, fall of remnants · Current status of public facilities within the scope of damage from falling remnants and building conduction, etc
	B-3	Geographic and climate characteristics of demolition construction site	<ul style="list-style-type: none"> · Geographic factors such as strong winds in coastal areas, urban building winds, and soft ground areas · Climate factors such as winter, hot weather, rainy season, thawing season, typhoons, etc. during construction period, etc
(C) Temporary facilities	C-1	Form of temporary facilities and construction method	<ul style="list-style-type: none"> · Restrictions on the form of temporary facilities(external scaffolding, earth barrier, etc.), installation method, method of construction, etc
	C-2	Installation and dismantling of temporary facilities	<ul style="list-style-type: none"> · Workers fall during installation and dismantling of scaffolding facilities and conduction of temporary facilities · Status of old buildings within the scope of vibration, etc. of installation and removal of dirt barriers(H-pile drawing, etc.)
(D) Demolition method of construction, method, and equipment used	D-1	Complexity and specificity of demolition methods and equipment used	<ul style="list-style-type: none"> · Application of new method of construction and method, building demolition and new construction work · Specification of demolition equipment(working radius), use, working conditions and operation(order and method) · Method of disposal(transportation) of debris from demolition, etc
	D-2	Collapse, conduction, etc. of residual structures according to method of construction, order, and direction	<ul style="list-style-type: none"> · Whether or not to utilize the embankment and the impact of the building (pressure of the soil, etc.) · Stability of residual structures according to the order and direction of demolition by member · Stability against soil pressure, water pressure, and other loads of the remaining underground structures, etc
(E) Structure safety, reinforcement work	E-1	Complexity and specificity of structure safety review conditions	<ul style="list-style-type: none"> · Plan to secure the safety of structures by demolition stage · Standards for load management of remnants and demolition equipment operation sections, etc
	E-2	Complexity and speciality of structure reinforcement work	<ul style="list-style-type: none"> · Difficulty in installing reinforcement materials such as jack support(type, method, location, etc.) · Method, etc. of installation of temporary facilities, etc. for supporting underground floor dirt block, etc

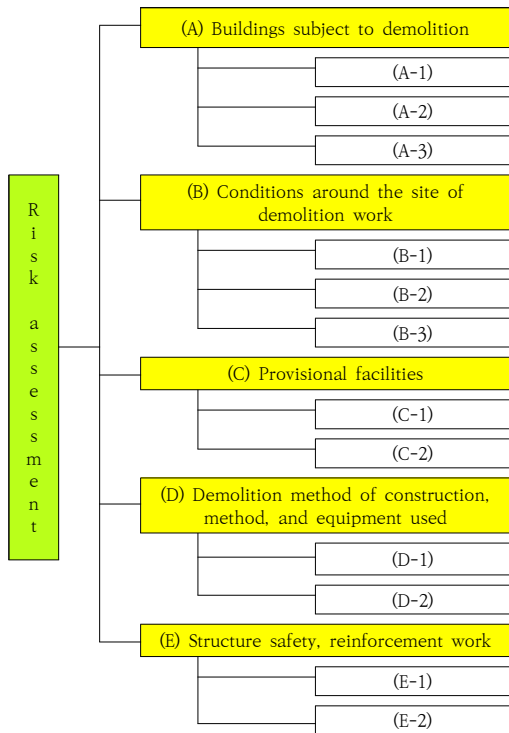


Fig. 3. Risk Assessment Hierarchy

4. AHP 분석 결과

4.1 설문조사 대상

해체공사 현장 위험요인 항목의 중요도를 분석하기 위해 전문가의 설문을 통해 얻은 계층구조 모델(대분류 5개, 중분류 12개)에 대하여 AHP설문 조사를 진행하면서 안내메일 발송 또는 우선으로 연구에 대한 목적과 설문 방식에 대하여 설명하였다. 1월 5일~2월 4일 총 31일 동안 총 25명의 전문가에게 설문조사를 진행하였고, 설문 응답자 현황은 Table 5와 같다.

Table 5. Expert Survey Respondents Status

Sort	Private institution	public institution	University	Sum
Structure	6	2	-	8
Construction·Safety	4	4	2	10
Ground·Foundation	6	1	-	7
Sum	16	7	2	25

4.2 일관성 평가

설문조사로 수집된 응답자료의 일관성 검증을 위하여 비일관성지수(CI)를 임의지수(RI)로 나눈 비일관성 비율(CR)을 검증하였다. 이 비일관성 비율이 0에 가까울수록 완전한 일관성을 가지는 Saaty(1980)의 이론을 적용하여 0.1이 넘지 않으면 일관성이 있는 것으로 판단하였다 [23]. 전문가의 개별응답을 검토한 결과, 모두 0.1미만으로서 일관성을 지닌 것으로 확인되었다.

4.3 대분류 중요도 분석

해체공사 현장 위험요인 대분류 중요도 분석 결과는 Table 6과 같은데, 결과를 살펴보면 (E)구조안전, 보강공사의 중요도가 0.28716으로 가장 높고, (D)해체공법, 방법 및 사용장비(0.27609), (A)해체 대상건축물(0.15642), (B)해체공사 현장 주변 여건(0.14712), (C)가시시설물(0.13322)의 순으로 나타났다.

Table 6. AHP Survey Results: Large Category

Large category	Importance	Rank
(A) Buildings subject to demolition	0.15642	3
(B) Conditions around the site of demolition work	0.14712	4
(C) Provisional facilities	0.13322	5
(D) Demolition method of construction, method, and equipment used	0.27609	2
(E) structure safety, reinforcement work	0.28716	1

전문분야별 대분류 조사 결과는 Table 7과 같으며, 건축구조분야 전문가들은 (E)구조안전, 보강공사의 중요도가 가장 높다고 판단한 반면, 건축시공·건설안전분야와 지반·기초분야의 전문가들은 (D)해체공법, 방법 및 사용장비에 가장 높은 중요도를 부여하고 있다. 또한, (E)구조안전, 보강공사의 중요도에서도 건축구조분야 전문가는 지반·기초분야 전문가 응답과의 중요도 차이가 다른 대분류의 중요도 차이 중에서도 가장 높게 (0.11071) 나타나므로, 이는 구조안전, 보강공사의 위험요인이 다른 요인보다 더 중요하다고 인식하는 것으로 확인된다.

Table 7. AHP Survey Results by Field of Expertise: Large Category

Large category	Structure		Construction·Safety		Ground· Foundation		Difference in importance (max-min)	Rank difference (max-min)
	Importance	Rank	Importance	Rank	Importance	Rank		
A	0.15985	3	0.15766	3	0.14373	5	0.01612	2
B	0.12166	4	0.14649	4	0.17714	4	0.05548	0
C	0.10277	5	0.11951	5	0.20059	3	0.09782	2
D	0.26920	2	0.29729	1	0.24272	1	0.05457	1
E	0.34653	1	0.27906	2	0.23582	2	0.11071	1

Table 8. Category AHP Survey Results by Job Experience: Large Category

Large category	Private institution		Public institution		University		Difference in importance (max-min)	Rank difference (max-min)
	Importance	Rank	Importance	Rank	Importance	Rank		
A	0.15164	3	0.16009	3	0.15133	4	0.00876	1
B	0.14011	5	0.14360	4	0.20531	3	0.06520	2
C	0.14222	4	0.11806	5	0.10343	5	0.03879	1
D	0.24322	2	0.37757	1	0.20637	2	0.17120	1
E	0.32282	1	0.20068	2	0.33356	1	0.13288	1

직군별 대분류 조사 결과는 Table 8과 같은데, 민간 기관과 대학교 전문가들은 (E)구조안전, 보강공사가 가장 중요하다고 판단한 반면, 공공기관 전문가들은 (D)해체 공법, 방법 및 사용장비에 가장 높은 중요도를 부여하고 있다. 또한, 공공기관 전문가들은 (D)해체공법, 방법 및 사용장비 중요도가 (E)구조안전, 보강공사보다 높게 (0.17689) 나타나고, 대학교 전문가 응답과의 중요도 차이도 상대적으로 높게(0.17120) 나타난다. 따라서, 건축 구조 분야의 전문가는 (E)구조안전, 보강공사에 중요성을

부여하고, 공공기관의 직군은 (D)해체공법, 방법 및 사용 장비에 대해 좀 더 중요성을 부여하는 것으로 보아 직업 과 관련된 전문분야 특성에 따라 중요도가 나타나는 것으로 파악된다.

4.4 중분류 중요도 분석

해체공사 현장 위험요인 항목 중분류 중요도 분석 결과는 Table 9와 같으며, 전체 항목 중 (E-2)구조 보강공사의 복잡·특수성이 0.19914로 가장 높게 나타났으며,

Table 9. AHP Survey Results: Medium Category

Large category	Medium category				
	Contents	Part		All	
		Importance	Rank	Importance	Rank
A	A-1	0.2649	3	0.04144	11
	A-2	0.3565	2	0.05575	9
	A-3	0.3786	1	0.05922	8
B	B-1	0.4037	2	0.05938	7
	B-2	0.4216	1	0.06202	6
	B-3	0.1747	3	0.02571	12
C	C-1	0.4136	2	0.05509	10
	C-2	0.5865	1	0.07813	5
D	D-1	0.3371	2	0.09306	3
	D-2	0.6629	1	0.18303	2
E	E-1	0.3065	2	0.08802	4
	E-2	0.6935	1	0.19914	1

Table 10. AHP Survey Results by Field of Expertise: Medium Category

Large category	Medium Category	Structure		Construction·Safety		Ground· Foundation		Difference in importance (max-min)	Rank difference (max-min)
		Importance	Rank	Importance	Rank	Importance	Rank		
A	A-1	0.04188	10	0.05522	8	0.02393	12	0.03129	4
	A-2	0.04587	9	0.05484	9	0.06287	6	0.01700	3
	A-3	0.07210	5	0.04760	11	0.05694	8	0.02450	6
B	B-1	0.05280	7	0.06271	7	0.05882	7	0.00991	0
	B-2	0.04705	8	0.06398	6	0.07617	4	0.02912	4
	B-3	0.02181	12	0.01980	12	0.04215	11	0.02235	1
C	C-1	0.03670	11	0.06917	5	0.05278	10	0.03247	6
	C-2	0.06607	6	0.05034	10	0.14780	3	0.09746	7
D	D-1	0.07502	4	0.12352	3	0.07315	5	0.05037	2
	D-2	0.19418	2	0.17377	1	0.16958	2	0.02460	1
E	E-1	0.10133	3	0.10657	4	0.05384	9	0.05273	6
	E-2	0.24520	1	0.17249	2	0.18198	1	0.07271	1

다음으로 (D-2)해체방법·순서·방향에 따른 잔존구조체의 붕괴·전도(0.18303), (D-1)해체공법 및 사용장비의 복잡·특수성(0.09306), (E-1)구조안전성 검토 조건의 복잡·특수성(0.08802)의 순으로 높게 나타났다.

전문분야별 중분류 조사 결과는 Table 10과 같으며, 건축구조 및 지반·기초분야 전문가들은 (E-2)구조 보강공사의 복잡·특수성에 중요도를, 건축시공·건설안전분야 전문가들은 (D-2)해체방법·순서·방향에 따른 잔존구조체의 붕괴·전도의 중요도를 가장 높게 평가하였다. 지반·기초 분야 전문가들은 건축시공·건설안전 분야 전문가들에 비해 (C-2)가시시설물 설치·해체단계의 중요도에 상대적으로 높게 부여해 중요도 차이(0.09746)가 크게 나타났으며, (A-3)건축물의 역학적 성능 저하 및 노후, (C-1)가시시설물 형태, 공법, (E-1)구조안전성 검토 조건의 복잡·특수성의 3항목은 각 항목별 최대와 최소의 순위차이가 6으로서 전문분야별 시각 차이가 있는 것으로 나타났다.

직군별 중분류 조사 결과는 Table 11과 같으며, 민간 기관 및 대학교 전문가들은 (E-2)구조 보강공사의 복잡·특수성을, 공공기관 전문가들은 (D-2)해체방법·순서·방향에 따른 잔존구조체의 붕괴·전도의 중요도를 가장 높게 평가하였다. (A-1)건축물 규모에 따른 작업 특성 및 공기 적정성, (B-2)주변 보행자, 차량 및 공공이용시설, (D-1)해체공법 및 사용장비의 복잡·특수성의 3항목은 각 항목별 최대와 최소의 순위차이가 6으로서 직군별 시각 차이도 있는 것으로 보아 중분류도 직업과 관련된 전문분야 특성에 따라 중요도가 나타나는 것으로 파악된다.

다만, 이와 같은 중분류 중요도 분석 결과는 대분류별로 제시된 중분류 항목수가 많을수록 상대적인 가중치가 낮아질 수 있는 문제가 있다. 하지만, 본 분석에서 활용한 항목들은 다수 전문가들의 논의를 거쳐 결정된 것이기 때문에 이를 최대한 반영하여 분석한 것임을 밝힌다.

Table 11. AHP Survey Results by Job Experience: Medium Category

Large category	Medium Category	Private institution		Public institution		University		Difference in importance (max-min)	Rank difference (max-min)
		Importance	Rank	Importance	Rank	Importance	Rank		
A	A-1	0.02934	11	0.06143	7	0.08086	5	0.05125	6
	A-2	0.05151	10	0.05901	8	0.04213	10	0.01688	2
	A-3	0.07078	6	0.03966	10	0.02834	11	0.04244	5
B	B-1	0.05701	9	0.06175	6	0.05686	6	0.00474	3
	B-2	0.05937	8	0.05262	9	0.12383	3	0.07121	6
	B-3	0.02373	12	0.02923	12	0.02462	12	0.00550	0
C	C-1	0.06376	7	0.03729	11	0.05172	7	0.02647	4
	C-2	0.07846	5	0.08078	3	0.05172	7	0.02906	2
D	D-1	0.10361	3	0.07350	4	0.05159	9	0.05202	6
	D-2	0.13961	2	0.30407	1	0.15477	2	0.16446	1
E	E-1	0.09188	4	0.07328	5	0.09670	4	0.02342	1
	E-2	0.23094	1	0.12740	2	0.23686	1	0.00592	1

5. 위험도 평가모형 구축 및 적용

최종적으로 위험도 평가점수를 산출하기 위해서는 앞선 AHP 분석을 통해 산출된 가중치를 어떠한 방식으로 적용할 것인가에 대한 논의가 필요하다. 이 과정이 합리적으로 제시되어야 실제 현장에서 적용할 수 있는 해체 공사현장 위험도 평가모형을 구축하였다고 말할 수 있다. 이번 장에서는 앞선 4장에서 산출한 가중치를 어떠한 방식으로 적용하여 최종 위험도 점수를 산출할 것인가에 대해 논의해 보고자 한다.

본 연구에서는 각 항목들의 위험성 점수를 가능성(빈도)과 중대성(강도)으로 구분한 평가모형을 제시한다. 위험 가능성(빈도)은 위험요인에 얼마나 자주 또는 오래 노출되는지 등을 고려하여 점수(거의없음 1, 가끔 2, 빈번 3)를 부여하며, 위험 중대성(강도)은 위험한 사고로 인해 피해가 일어날 수 있는지를 나타내는 정도(소 1, 중 2, 대 3)로 판단한다. 중요도 환산점수는 항목별 각 위험요인 위험성 크기(최대 3×3=9) 합계를 100점으로 환산한 점수가 표기된다. 가능성과 중대성을 최소인 1로 모두 부여하면 최종 평가점수는 11.1로 나타나고, 최대인 3으로 모두 부여하면 100점으로, 가능성 2와 중대성 2로 부여하면 44.4점으로 나타난다. 각 항목별 점수에 앞선

AHP 분석에서 산정된 가중치를 곱하여 합계를 구하면 최종적으로 해당 해체 공사 현장의 위험도 점수를 산출할 수 있다.

Table 12는 AHP 분석결과를 바탕으로 최종적으로 해체 공사 현장 위험도 점수를 산출하는 과정을 설명하는 예시이다. Table 12의 예시에서는 최종적인 위험도 점수가 64점으로 나타났으며, (D)해체공법, 방법 및 사용장비 항목에서 중요도가 높은 것으로 분석되었다. 다만, Table 12의 예시는 실제 사례가 아닌 임의 현장의 점수를 부여한 결과라는 점에서 결과 해석에 한계가 있음을 밝힌다.

이러한 평가모형을 활용하게 되면 해당 건축물의 중요도 점수 뿐만 아니라 세부적으로 어떠한 항목에 중점을 두어 점검이 이루어져야 하는가에 대해 정확하게 판단할 수 있다. 이러한 평가모형을 통해 최종 평가점수가 60점 이상이거나 대분류 항목(A~E)중 1개 이상의 항목 중요도환산점수가 80이상으로 나타나게 되면 고위험 현장으로 구분하게 된다. 또한, 최종 평가점수가 30점~60점 미만이거나 대분류 항목중 중요도 환산점수가 40~80미만으로 나타나면 중위험 현장으로 구분하여 고위험 현장의 점검 및 관리에 적극 활용하는 것이 적절하다고 사료된다.

Table 12. Risk Assessment Model for Building Demolition Construction Site(Example)

Assessment item	Risk assessment			Importance assessment		
	Possibility (frequency a)	Significant (intensity b)	Dangerousness (a×b=c)	Conversion score [c÷(Number of items×9)×100]=d	Weighted (e)	Evaluation score (d×e)
Importance Assessment Score(count)						64
A.				27	100	15.7
	A-1.	3	3	9	100	4.2
	A-2.	3	3	9	100	5.6
	A-3.	3	3	9	100	5.9
B.				12	44.4	6.6
	B-1.	2	2	4	44.4	2.6
	B-2.	2	2	4	44.4	2.8
	B-3.	2	2	4	44.4	1.2
C.				2	11.1	1.5
	C-1.	1	1	1	11.1	0.6
	C-2.	1	1	1	11.1	0.9
D.				18	100	27.6
	D-1.	3	3	9	100	9.3
	D-2.	3	3	9	100	18.3
E.				8	44.4	12.7
	E-1.	2	2	4	44.4	3.9
	E-2.	2	2	4	44.4	8.8

6. 결론

최근 건축물 해체공사 중 사고가 계속 발생되고 있어 ‘건축물 해체공사 안전강화 방안’중에 허가권자가 해체공사 전 안전점검을 의무화 하도록 하는 등 조치권한이 강화 되었고, 건축물의 노후화로 해체공사 시장의 확대와 함께 안전확보의 요구도 증가하고 있다. 국내 해체공사의 허가는 연 8,000여건에 달하고 있는 상황으로 지자체의 안전점검이 의무화되었지만, 해체공사 현장 점검 인력 부족 등으로 인해 현장점검만으로는 사고예방에 한계가 있다. 지금까지 해체공사 현장의 안전확보에 대해 여러 원인과 요인이 제시되고 있지만, 보다 정량적으로 판단하고 분석하여 현장점검 및 안전확보에 활용할 수 있는 건축물 해체공사 현장 위험성 평가 모형이 필요한 시점이다. 이에 본 연구에서는 해체공사 현장의 위험요인 항목을 도출하고 적절성 검증을 위해 전문가 설문 및 면담 등으로 위험요인 항목을 대분류 5개, 중분류 12개로 선정하였다. 이후 위험요인 항목의 가중치를 선정하기 위해 정량적, 정성적 요소를 동시에 고려하면서 의사결정을 내릴 수 있는 AHP 기법을 사용하여 최종적으로 건축물 해체 현장에 대한 위험성 평가 모형을 제시하였다.

AHP 분석 결과, 대분류 5개 평가항목 중 ((E)구조안전, 보강공사의 중요도(가중치 0.287)가 가장 높은 중요도로 분석되었고 (D)해체공법, 방법 및 사용장비(가중치 0.276)가 다음 순서로 나타났다. 전문분야별 설문조사 결과, 건축구조분야 전문가는 건축물의 역학적 성능, 구조안전성에 높은 중요도를 부여한 반면 가시설물 형태, 공법에 대해서는 가장 낮은 중요도로 응답하였고, 건축시공-건설안전분야 전문가는 가시설물 형태, 공법에 대해서 높은 중요도를 부여한 것으로 나타나고, 직군별 설문조사 결과, 대학교 전문가는 건축물규모, 주변 보행자에 높은 중요도를 부여한 반면 해체공법에 대해서는 낮은 중요도로 응답하였고, 민간기관 전문가는 해체공법에 대해서 높은 중요도를 부여한 것으로 보아 직업과 관련된 전문분야 특성에 따라 중요도가 표현된 것으로 판단된다.

응답자의 전문분야별 직군별로 일부 상이한 결과가 있으나, 큰 틀에서 보았을 때 전반적인 중요성 인식은 유사하였다고 볼 수 있다. 이러한 평가 모형에 기반하여 건축물 해체공사 현장에 대한 위험 가능성(빈도)과 위험 중대성(강도) 점수(1~3)를 부여하면 최종적인 위험성 평가가 가능하다는 것을 확인하였다.

본 연구에서 제시하고 있는 위험도 평가모형을 활용하

면 향후 고위험 현장의 안전사고 저감에 효과가 있을 것으로 판단된다. 본 연구의 결과가 건축물 해체공사 현장의 안전점검 및 관리에 활용되어 사고뿐만 아니라 건설업 재해 방지를 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대한다.

References

- [1] Ministry of Employment and Labor, Korea Occupational Safety and Health Agency, Safety and Health Practice Guide Construction Industry(Demolition, Dismantling, and Organizing Work), p.217, 2021, pp.18.
- [2] Korea Reserch Institute of Construction Policy, Seminar on the Development Strategy of the Demolition Industry to Secure the Life Cycle Safety of Buildings, p.60, 2023, pp.33.
- [3] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, building life cycle management system, The number of demolition permits and notifications nationwide in the last three years, Available From: <https://blcm.go.kr/stat/customizedStatic/CustomizedStaticSupplyList.do>, (accessed Dec. 15, 2022)
- [4] Notification No. 2022-446 of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Standards for Supervision, etc. for Preparation of Building Demolition Plan, Available From: <https://www.law.go.kr/admRullInfoP.do?admRulSeq=2100000213462>, (accessed Aug. 4, 2022)
- [5] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea Authority of Land & Infrastructure Safety, Manual for Supervision of Building Demolition Work, p.318, 2022.
- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea Authority of Land & Infrastructure Safety, Manual and standard form for building dismantling plan preparation, p.94, 2022.
- [7] Korea Authority of Land & Infrastructure Safety, Case Study on the Review of the Building Demolition Plan, p.80, 2023.
- [8] Korea Authority of Land & Infrastructure Safety, Exemplary house of building demolition plan (apartment, house, multi-family houses, shopping malls, factories, office buildings), 2023.
- [9] G. N. Yang, *Analysis of construction safety management Factors using AHP method*, Master's thesis, Kyonggi University, pp.11-13, 2017. <https://www.riss.kr/link?id=T14461711>
- [10] Ministry of Employment and Labor, Accidental Death Prevention Quick Message, 2019 to 2021 The current status of the building demolition and dismantling of the building, Available From: https://www.moel.go.kr/local/uijeongbu/common/downloadFile.do?file_seq=20220402282&bbs_seq=20220402164&bbs_id=LOCAL1 (accessed May. 4, 2021)

- [11] H. J. Cha, J. S. Choi, "Evaluation of Safety Items in Building Demolition Works Utilizing AHP Method", *Journal of the Korea Building Construction*, Vol.7, no.3, pp.99-105, Sep. 2007.
DOI: <https://doi.org/10.5345/JKIC.2007.7.3.099>
- [12] H. M. Lee, S. S. Go, "A Study on the System Development for Optimum Method Selection in Demolition Works", *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, vol.24, no.5, pp.193-200, May. 2008.
- [13] K. H. Kim, J. S. Choi, S. H. Shin, C. H. Yang, "Analysis of the Risk Factors in Demolition" *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, vol.24, no.1, pp.151-158, Jan. 2008.
- [14] J. H. Kim, "A Study on Prevention Plan of Accident through the Analysis of Cause for Safety Accident in the Demolition Work", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, vol.14, no.4, pp.193-200, Dec. 2012.
- [15] H. Y. Lim, C. Y. Park, S. H. Cho, G. Lee, "The Method for Analyzing Potentially Collapsible Aged Buildings Using Big Data and its Application to Seoul", *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol.35, No.2(Serial No.364), pp.139-146, Feb. 2019.
DOI: https://doi.org/10.5659/JAIK_PD.2019.35.2.139
- [16] D. U. Yoo, *A QFD-FMEA Based Cause Classification Model for Preventive Safety Management in Building Dismantling Phase*, Ph.D dissertation, Department of Architectural Engineering Graduate School, Dankook University, Aug. 2023.
<https://www.riss.kr/link?id=T16836810>
- [17] J. K. Lee, D. I. Shin, *Analysis of Risk Factors and Automation of Risk Assessment for Building Demolition Works*, Ph.D dissertation, Department of Disaster and Safety Graduate School, Myongji University, Aug. 2023.
<https://www.riss.kr/link?id=T16824855>
- [18] S. H. Hyung, W. J. Jang, M. B. Lee, Y. M. Moon, "Development of a Demolition Construction Risk Assessment Manual", *Journal of The Korean Society of Disaster Information*, pp.93-94, Nov. 2023.
<https://www.earticle.net/Article/A437994>
- [19] T. H. Kim, K. N. Kim, M. J. Lee, "Development of Work Safety Management Platform based on Construction Accident Big Data Analysis", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.39, No.1 (Serial No.411), pp.331-336, Jan. 2023.
DOI: <https://doi.org/10.5659/JAIK.2023.39.1.331>
- [20] K. T. Jo, Y. G. Jo, H. S. Kang, Hierarchical decision-making by leading leaders, pp.312, Donghyun Publishing House, 2003, pp.vii ~ 3.
- [21] K. B. Lee, *The Analysis of Cost and AHP for Selecting Retrofit Method of RC Beam in Office Building*, Master's thesis, Hanyang University, pp.12-13.
- [22] S. S. Han, *Conflict type Classification and Priority in Urban Regeneration Projects*, Master's thesis, International School of Urban Sciences University of Seoul, Feb. 2015, pp.46-55.
- [23] Saaty, T.L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill, New York, 1980.

석 인 호(In-Ho Seok)

[정회원]



- 1991년 7월 ~ 1995년 4월 : HJ중공업 건설부문 대리
- 1995년 4월 ~ 1997년 5월 : (재)한국건설안전기술원 과장
- 1997년 5월 ~ 현재 : 국토안전관리원 건축시설관리실 실장
- 2000년 8월 : 서울시립대학교 도시과학대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2023년 3월 ~ 현재 : 경상국립대학교 기술경영학과 (박사과정)

<관심분야>

건설안전, 건축시공, 기술경영

오 승 환(Seung-Hwan Oh)

[정회원]



- 2009년 2월 : 서울대학교 재료공학부 (공학석사)
- 2014년 8월 : 서울대학교 기술경영경제정책 (경제학박사)
- 2015년 2월 ~ 2021년 8월 : 과학기술정책연구원 연구위원
- 2021년 9월 ~ 현재 : 경상국립대학교 기술경영학과 조교수

<관심분야>

기술경제, 기술정책, 기업혁신