

Research Paper

QFD 기반의 해체공사 공법선정과 FMEA 위험성평가 통합 모델

QFD-Based Integrated Model of Dismantling Method Selection and FMEA Risk Assessment for Work Stage

이형용¹ · 조재호² · 손보식^{3*} · 채명진⁴ · 김현수⁵ · 전재열⁶

Lee, Hyung-Yong¹ · Cho, Jae-Ho² · Son, Bo-Sik^{3*} · Chae, Myung-Jin⁴ · Kim, Hyun-Soo⁵ · Chun, Jae-Youl⁶

¹Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Dankook University, Yongin-si, Gyeonggi-do, 16890, Korea

²Assistant Professor, Department of Architectural Engineering, Dankook University, Yongin-si, Gyeonggi-do, 16890, Korea

³Professor, Department of Architectural Engineering, Namseoul University, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 31020, Korea

⁴Associate Professor, Construction Management, Central Connecticut State University, 1615 Stanley Street, New Britain, CT 06050, United States

⁵Assistant Professor, Department of Architectural Engineering, Dankook University, Yongin-si, Gyeonggi-do, 16890, Korea

⁶Professor, Department of Architectural Engineering, Dankook University, Yongin-si, Gyeonggi-do, 16890, Korea

*Corresponding author

Son, Bo-Sik
Tel : 82-41-580-2762
E-mail : bsson@nsu.ac.kr

Received : November 2, 2021

Revised : December 1, 2021

Accepted : December 1, 2021

ABSTRACT

According to statistics from the Ministry of Land, Infrastructure and Transport in 2018, approximately 37% of residential buildings in Korea need to be reconstructed. Due to the rapid growth of the demolition industry, many side effects such as environmental destruction and safety accidents are becoming a problem in the demolition of existing buildings. This study proposes a decision-making process for selecting the most suitable dismantling method for field application by comprehensively considering safety, economic feasibility, and environmental characteristics. In particular, field applicability is evaluated by evaluating risk factors for the selected method. To this end, this study proposes the TOPSIS method for the selection of the dismantling method using the QFD development concept, and the FMEA method as a continuous development process of the selected method.

Keywords : dismantling work, dismantling method selection, quality function deployment, failure mode effect analysis, risk assessment

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

1980년대 경제성장기에 지어진 준공 후 30년 이상 경과한 중·고층 주거용 건축물은 2019년 말 기준 약 37.8%에 달한다 [1]. 노후 건축물의 증가는 해체산업의 급속한 성장과 함께 환경 및 안전사고 등 많은 부작용을 일으키고 있다. 고용노동부, 산업안전보건공단[2]에 의하면 해체건축물의 양적 증가는 해체공사 중 각종 재해로 이어지고 특히 사망사고가 끊이지 않고 있으며, 최근 도심 해체붕괴 사고로 인해 그 심각성이 사회적 이슈로 크게 대두되고 있다. 철거·해체 재해자 점유율을 연도 별로 분석해 보면 '12~'16년까지 증가하는 추세이며, '16년도의 경우에는 철거·해체 관련 재해자가 전체 건설업 재해자의 5.1%를 차지하는 것으로 나타났다.

Chun et al.[3]에 의하면 해체공사는 사전 조사를 바탕으로 구조물 특성, 안정성, 경제성, 환경성, 법적 요구사항 등을 종합



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 non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

적으로 검토하여 적합한 해체공법을 선정할 필요가 있다. 특히, 인구 밀집도가 높은 도심에서 시행하는 도시재개발, 재건축 사업 등은 중·고층 건축물이 포함되어 있어, 해체공사의 각종 안전사고는 대규모 인명피해로 이어질 수 있기에 안전성이 최우선 확보된 다음 경제성, 환경성 등이 종합적으로 고려된 해체공법선정 프로세스 지원이 필요하다. 그러나 기존의 연구[2]의 전문가 설문결과 실제 해체공법선정 방법과 현장 적용에 있어 다수의 해체공사는 실무자의 경험에 주로 의존하는 경향이 강하며, 공사비와 공사 기간을 해체공법 선정에 있어 우선 고려하는 것이 현실이다. 이러한 이유들로 2021년 최근까지 해체공사에서 크고 작은 안전사고가 끊이지 않고 발생하고 있다.

따라서 본 연구는 안전성, 구조물 특성, 환경성, 경제성 등을 고려한 QFD(Quality Function Deployment, 이하 QFD) 기반 TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, 이하 TOPSIS) 해체공법의 선정방법과 현장의 사전 위험성 및 작업단계별 위험성 검토를 위해 FMEA(Failure Mode Effect Analysis, 이하 FMEA) 위험성 평가모델을 QFD 전개방법으로 제시하고자 한다. 이는 계획 및 설계단계에서 전문가 의견을 반영한 공법선정과 현장 특성이 반영된 위험성 평가를 일원화하여 해체공법의 위험성을 고려한 합리적인 의사결정을 지원할 수 있을 것으로 기대된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 해체공법의 선정과 위험성을 평가를 위해 다음과 같은 과정으로 연구를 수행하였다.

첫 번째, 기존 연구와 문헌 고찰을 통하여 해체산업 문제점과 해체공법선정 및 위험성 평가방법 기존현황을 분석한다.

두 번째, 기존 방법론이 실제 현장요구사항의 다양한 특성을 충분히 반영하지 못한다는 점과 객관적이고 안전성이 우선 고려된 공법선정방법의 도입 필요성으로 있으므로, 이러한 문제를 해결할 수 있는 접근법인 QFD, FMEA에 관한 이론을 고찰한다.

세 번째, 해체현장의 다양한 요구사항의 정량적, 객관적 평가가 가능한 QFD-TOPSIS 기반 공법선정 모델을 제안한다.

네 번째, 선정된 해체공법의 체계적인 위험성 평가를 위해 QFD 기반 FMEA 위험평가 확장모델을 제시한다.

다섯 번째, QFD 기반 공법선정과 FMEA 위험평가 통합 모델 적용성 평가를 위해 시뮬레이션 분석을 실시한다.

2. 예비적 고찰

2.1 이론적 고찰

2.1.1 해체의 정의

해체(解體, deconstruction)란 건물 따위 구조물을 허물어뜨리는 과정 중 하나이다. Kim[4]에 의하면 해체는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 우선, 구조체와 각종 내외장재를 그대로 둔 상태에서 해체하는 방법을 ‘철거(Demolition)’라고 정의할 수 있다. 둘째, 해체공사로 발생하는 건설자원의 재활용 효율 향상 측면에서 새롭게 시도되고 있는 해체방법 즉, 각종 구성 자재들을 우선하여 최대한 분리한 이후에 본 구조물을 철거하는 방법을 ‘해체’ 또는 ‘분별해체(Dismantling)’라고 정의할 수 있다. 본 연구에서 해체 개념은 Dismantling으로 정의한다. 이하 해체 및 해체공사라 칭한다.

2.1.2 QFD 품질기능전개

QFD(Quality Function Deployment)는 역사적으로 1966년대 일본의 이카오요즈에 의해서 제시된 품질관리기법으로 창안되었다. QFD는 고객이 요구하는 무엇 ‘What’과 고객의 요구를 충족시키기 위해서 제품과 서비스를 어떻게 ‘How’ 설계하고 생산할 것인지? 즉, 목적과 수단을 서로 관련지어 나타내 주는 매트릭스를 이용하여 구조화하는 것이다(목적-수단의

매트릭스). 이를 통하여 제품설계→ 부품계획→ 공정계획→ 생산계획에 이르기까지 각 단계에서 소비자의 요구가 제품이나 서비스에 충분히 반영되도록 하여 고객 만족을 최대화하는 도구이다[5,6].

2.1.3 의사결정 모델 TOPSIS

최상해와 유사성에 의한 우선순위 지정 기법인 TOPSIS(technique for order preference by similarity to an ideal solution)는 1981년 Ching-Lai Hwang과 Yun에 의해 처음 개발되었으며 1987년에 Yvon에 의해 추가로 개발된 다중 기준 결정 분석 방법이다. 1993년 Hwang, Lai 및 Liu TOPSIS는 선택한 대안이 PIS(Positive Ideal Solution)에 가장 짧은 기하학적 거리를 갖고 NIS(Negative Ideal Solution)에서 가장 긴 기하학적 거리를 가져야 한다는 개념을 기반으로 한다. Kim에 의하면 다속성 의사결정에서 최선의 선택은, 최종적으로 선택된 대안이 모든 평가요소에서 가장 이상적인 수준으로 구성된 최선의 대안에 가장 가깝고 최악의 대안과는 가장 멀어야 한다[7-10].

2.1.4 FMEA 위험성 평가

FMEA(Failure Mode Effect analysis)는 잠재된 위험요인에 의해 실패가 발생할 수 있는 발생빈도(Occurrence), 실패가 발생했을 경우 발생하는 결과의 심각도(Severity), 발생한 실패가 발견될 수 있는 검출도(Detection)를 평가한 후 3요소의 곱에 의해서 위험의 우선순위(Risk Priority Number)를 평가한다. FMEA는 위험의 우선순위가 높은 소수의 항목에 관리를 집중함으로써, 고장(사고) 발생을 방지하고, 그 영향을 최소화한다[11,12].

1) 발생빈도(Occurrence)

발생도는 특정한 원인과 영향이 발생할 확률이다. 빈도 등급은 등급 이상의 의미가 있다.

2) 심각도(Severity)

심각도란 잠재된 고장형태가 고객에게 미치는 영향의 심각한 정도를 평가한 것이다. 심각도는 단지 영향에만 적용된다.

3) 검출도(Detection)

검출도는 제안된 현 공정관리로 잠재적 하자 형태를 검출할 확률의 평가로 정의된다.

4) RPN(Risk Priority Number)

RPN은 발생빈도, 치명도, 검출도 값의 곱으로 위험 우선순위를 나타내는 값이다. RPN 값의 정도에 따라 잠재된 위험을 저감 하기 위한 대책 마련 노력이 필요하다.

2.2 기존 선행 연구고찰

2.2.1 해체공법 선정에 관한 선행 연구

기존 해체공법 선정방법에 관한 연구[12]에서는 해체공법을 “공법우선형, 저공해형, 무공해형” 3가지 형태로 환경적 측면을 우선하는 해체공법선정 방법을 제시하였고, 구조물의 해체공법에 관한 연구[13]에서는 해체 대상물의 구조, 부재 단면, 강도, 면적, 작업용지 및 주변 환경 등을 고려한 해체공법선정 방법을 제시하였다. 제시한 선정방법은 환경성과 시공성 측면을 고려하였지만, 정량적이고 객관적인 방식의 공법선정에는 다소 미흡하다. 해체산업은 다른 건설산업 대비 시장 규모나 사회적 인식이 미흡하여 선행 연구가 부족한 게 현실이며, 공법선정 기준에 명확한 가이드가 부족하다. 해체공법에 관한 기존 연구는[14-17]과 같다.

2.2.2 위험성 평가에 관한 선행 연구

산업 분야에서 작업의 안전평가, 위험평가를 위한 다양한 방법들이 사용된다. 일반적으로 널리 사용되는 방법들로 고장 유형 및 영향분석기법(Failure Mode Effect Analysis, FMEA), 체크리스트(Check-List) 기법, 예비위험 분석기법(Preliminary Hazard Analysis), 사고예상질문분석기법(What-If Analysis), 위험과운전분석기법(Hazard and Operability), 결함수기법(Fault Tree Analysis)등이 있다.

본 연구에서 해체공사에 적합한 위험성 평가기법으로 고장 유형 및 영향분석 기법(FMEA) 위험성 평가기법을 사용한다. FMEA는 프로세스의 적용이 용이하고, 위험요소의 수치화가 가능하며, 위험요소가 큰 항목에 대해 중점관리가 가능한 장점이 있다. 또한, FMEA는 사고위험에 대한 사전평가를 통해 잠재적 위험요인의 사전적 예측이 가능하다. 해체공사 관련 위험성 평가에 관한 기존 연구는[18-20]과 같다.

2.2.3 연구의 차별성 설정

기존의 공법선정 연구를 종합해 볼 때, 환경성과 시공성을 중요한 요인으로 선정하고 있고, 제시한 공법선정 방법의 객관화 및 정량화는 다소 부족한 것으로 파악되었다. 또한, 기존 공법선정 방법은 해체공법 선정에 있어 현장 요구사항의 다양한 특성을 반영하기에 어려움이 있으며, 공법선정을 위해 프로젝트 참여자들의 경험과 중요 지식 사항을 반영하기에 충분하지 않았다. 이에 본 연구에서 제시하고자 하는 차별성은 다음과 같다.

- 1) 기존의 연구들은 위험성, 안전성을 별도의 후속 단계에서 수행하였는데, 본 연구는 QFD 전개방법을 통해 공법의 선정(주체)→ 공법의 수행(공정계획 주체)→ 안전관리(위험평가 주체)에 이르기까지 각 단계에서 프로젝트 요구사항이 충분히 반영될 수 있는 통합적 체계를 제시한다.
- 2) 연속적 QFD 체계를 통해 프로젝트 요구사항과 관련된 공법선정과 위험성 평가의 완성도를 높이고, 의사결정 주체가 해체공법 선정과정에서 위험성 평가를 함께 수행함으로써 향후 현장 주체의 안전계획에 주요지표가 될 수 있다.
- 3) 본 연구의 연속적 통합 체계는 공법선정 단계 후 위험평가를 절차상 누락하지 않고 단계별 프로젝트 수행체계를 제공함으로써 해체공사의 안전을 고려한 수행체계를 제공한다.

3. 공법선정 및 위험성 평가 통합모델

다수의 해체공사현장에서 해체공법선정 방법은 해체공사 계획단계에서 공사 기간과 해체비용 등을 고려하여 우선 선정되고, 안전계획은 구조물 해체단계에서 현장 관계자에 의해 이루어진다.

공법선정과 안전계획 주체의 이원화는 현장 주체의 전문성 정도 및 여부에 따라 불확실한 안전계획이 수립될 수 있다. 이에 계획 및 설계단계에서 전문가 의견이 반영된 공법선정과 현장 참여자 의견이 반영된 위험성 평가를 일원화하여 해체공사의 안전성을 높일 필요가 있다.

기존 방법론에서는 위험성평가를 해체공법 선정후 해체공사 시공단계에서 하지만, 본 연구에서 제안하는 QFD 전개 개념 기반의 TOPSIS와 FMEA 방법론을 적용한 공법선정 방법은 해체공사 계획 및 설계단계에서 공법선정과 함께 위험성평가를 사전에 수행하는 해체공법선정 통합모델이다. 다음 Figure 1은 이러한 통합모델의 개념을 도식화한 것이다.

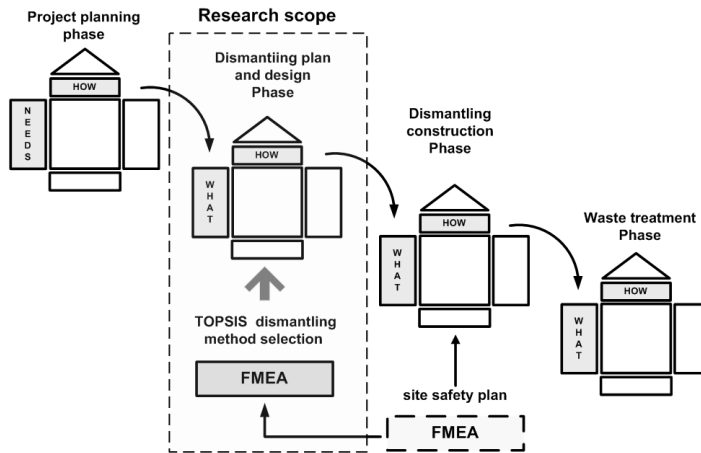


Figure 1. QFD-based dismantling method selection and FMEA risk assessment concept model

다음 Figure 2은 이러한 통합모델의 개념에 따라 공법선정 및 FMEA 위험성평가 세부 단계를 구성한 절차이다.

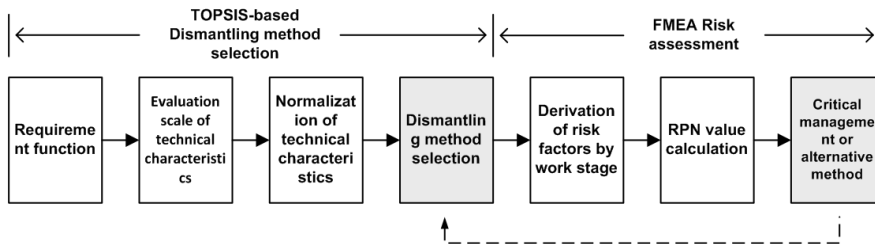


Figure 2. Process of dismantling method selection and FMEA risk assessment

3.1 QFD-TOPSIS 해체공법선정 세부 프로세스

기존 연구[5]의 QFD-TOPSIS 프로세스 6단계를 참조하여 본 연구에서는 해체공법선정을 4단계로 수행한다. 다음 Figure 3는 QFD 핵심 수단인 품질집(House of Quality)의 상세단계와 이를 활용한 해체공법선정 단계를 구성한 개념도이다.

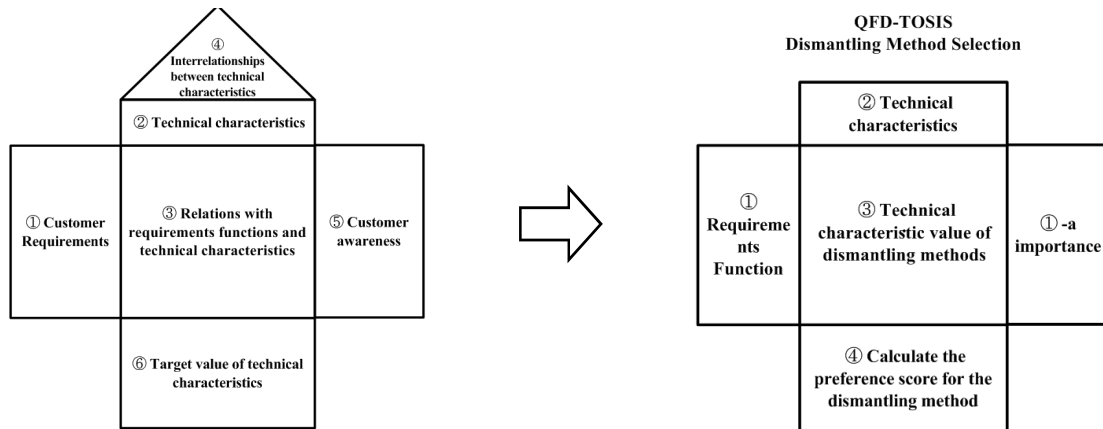


Figure 3. HOQ and Dismantling method selection concept diagram

- 1) QFD 모델에서 공법선정을 위한 현장 요구기능 정의 및 중요도를 설정한다.
- 2) 요구기능에 대한 공법별 기술특성 평가척도를 설정한다.
- 3) 적용 가능한 공법 m개를 설정하고 각 공법의 기술특성을 정규화한다.
- 4) 공법 대안별로 기술특성 정규화 점수와 중요도 가중치 곱을 계산하여 선호도 점수를 계산한다.

3.2 QFD 기반 FMEA 위험성 평가 세부 프로세스

선정된 해체공법의 FMEA 위험성평가 프로세스는 다음의 3단계로 수행한다.

<1단계> 선정된 공법의 해체작업단계를 설정하고 작업단계별 위험요인을 도출 한다.

- 1) 해체공사 작업단계: $a(1), a(2), \dots, a(n)$
- 2) 작업단계별 위험요소 : $h(1), h(2), \dots, h(i)$
- 3) 작업단계 임의 $a(n)$ /사고유형에서 위험요소 분류, 다수의 위험요소로 구성

<2단계> 도출된 위험요소의 발생빈도, 심각도, 검출도를 평가하여 RPN을 값을 도출한다.

- 4) 작업단계 임의 $a(n)$ /사고유형에서 복수의 위험요소 $h(i)$ 의 발생빈도(O) 분석
- 5) 작업단계 임의 $a(n)$ /사고유형에서 복수의 위험요소에 의한 사고 영향의 심각도(S) 및 검출도(D) 분석
- 6) 작업단계 임의 $a(n)$ /사고유형에서 $RPN = O \times S \times D$ 를 계산

<3단계> RPN 값이 큰 위험요인은 중점관리하고 위험요인에 대한 해체공법의 적정성 여부를 판단한다.

다음 Figure 4는 QFD기반 FMEA 전개에 대한 상세 단계를 구성한 개념도이다.

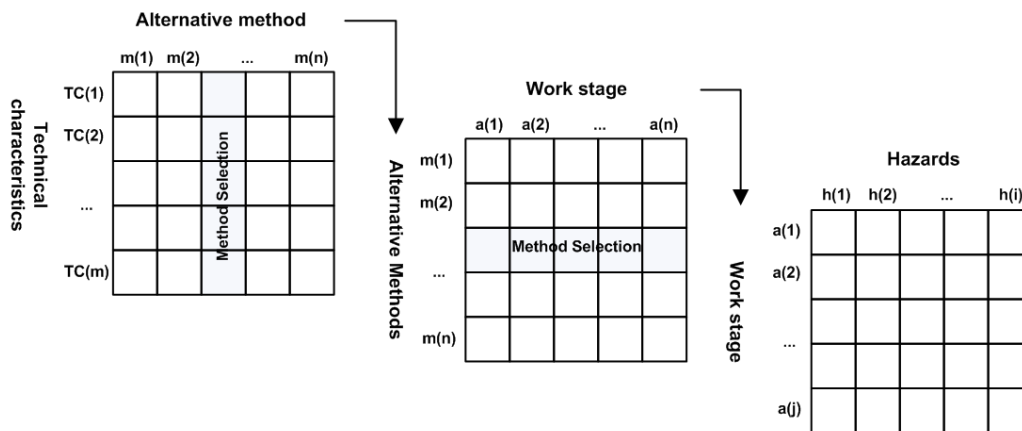


Figure 4. QFD base FMEA detailed flowchart

4. 모델 평가를 위한 시뮬레이션

4.1 단계별 시뮬레이션

제안한 QFD 기반 해체공법 선정과 FMEA 위험성 평가 통합모델의 적용성을 평가하기 위해 시뮬레이션을 다음과 같이 단계별로 수행하였다.

4.1.1 요구기능의 정의 및 중요도 설정

해체공법선정의 고려 인자인 요구기능을 기존 연구 [14]에서 제시한 안전성, 부재 두께, 작업공간, 소음, 진동, 분진, 비용, 시공성의 8개로 분류하고 각각의 중요도를 설정하였다. 다음 Table 1의 각 요구기능별 중요도는 개별현장 작업특성을 반영하여 설정되며 본 시뮬레이션에서는 가상의 값을 적용하였다.

Table 1. Defining the Requirement function, setting the importance

No.	Requirement function	Importance
1	Safety	10
2	Member Thickness	6
3	Work space	9
4	Noise	6
5	Vibration	9
6	Dust	10
7	Cost	5
8	Workability	5

4.1.2 요구기능의 기술특성 평가척도

대상 건축물에 적용할 수 있는 해체공법들에 대하여, 각 요구기능에 대한 기술특성을 1(매우 불리함)~7(매우 유리함)점으로 평가한다. 다음 Table 2는 8개 요구기능에 대한 각 공법의 기술특성 평가척도를 제시한 것이다.

Table 2. Evaluation scale of technical characteristics

No.	Requirement function	Characteristic Considerations	Scale Type	Scale Attribute	Outliers	Negative outlier
1	Safety	Building Considerations	7 Rating	Independence Scale	7	1
2	Member thickness	Building Considerations	7 Rating	Independence Scale	7	1
3	Work space	Environmental Considerations	7 Rating	Independence Scale	7	1
4	Noise	Environmental Considerations	7 Rating	Independence Scale	7	1
5	Vibration	Environmental Considerations	7 Rating	Independence Scale	7	1
6	Dust	Environmental Considerations	7 Rating	Independence Scale	7	1
7	Cost	Economic Efficiency	7 Rating	Independence Scale	7	1
8	Workability	Working Conditions	7 Rating	Independence Scale	7	1

4.1.3 공법별 기술 특성값 입력 및 정규화

공법별 기술 특성값은 기존 연구[15]의 자료를 적용하였다. 평가대상 공법으로 브레이커, 압쇄, 다이아몬드 컷+압쇄, 다이아몬드 쏘+압쇄, 전도, 컷+압쇄 공법 중에서, 현장에서 가장 일반적으로 적용되는 압쇄공법을 기준 공법으로 설정하고, 기준 점수는 4점으로 정하였다. 비교 대상 공법이 기준 공법보다 높으면 4점 이상, 이보다 낮으면 4점 이하로 평가하였다. 기존 연구에서는 공법선정 이전 단계인 특성값 도출까지만 수행하였다. 다음 Table 3는 해체공법의 8개 요구기능에 대한 각 공법의 기술특성 값을 평가한 결과를 나타낸다.

Table 3. Technical characteristic value of dismantling methods

No.	Requirement function	Importance	Dismantling method					
			Breaker	Crushing	Diamond cut +Crushing	Diamond saw + Crushing	Inversion	Cut + Crushing
1	Safety	10	2	4	3	3	1	4
2	Member thickness	6	3	2	1	5	5	1
3	Work space	9	3	3	4	5	1	4
4	Noise	6	2	6	3	4	5	3
5	Vibration	9	2	6	5	4	1	3
6	Dust	10	1	6	5	5	1	3
7	Cost	5	5	4	1	1	4	3
8	Workability	5	2	3	2	2	5	2

4.1.4 공법별 선호도 점수 산출 및 최적 공법 도출

QFD-TOPSIS 해체공법선정 1단계로 요구기능의 및 중요도를 설정한 다음, 요구기능에 대한 공법별 기술특성값 평가에 대한 척도를 7점으로 적용하였다. 이어서 해체공사에 적용 가능한 후보 공법 6개를 설정하였고, 요구기능에 대한 공법별 기술특성을 정규화하였다. 마지막 단계로 요구기능의 중요도와 공법별 기술 특성값의 곱으로 공법별 선호도 평가점수가 산출되며, 가장 높은 총점의 공법이 최적 공법으로 선정된다.

산출된 공법별 평가점수에 따라 사전 검토 항목별 점수를 확인할 수 있다. 낮은 점수의 항목 즉, 취약한 조건 및 보완이 필요한 사항의 확인을 쉽게 할 수 있으며, 보완 사항의 우선순위를 파악할 수 있다. 다음 Table 4는 공법별 최종 선호도를 산정한 것이다.

Table 4. Calculating the general preference score of dismantling methods

Requirement function	Safety	Member thickness	Work space	Noise	Vibration	Dust	Cost	Work-ability	Sum	Total value (out of 10)	Preference ranking
Importance	10	6	9	6	9	10	5	5			
Breaker	2	3	3	2	2	1	5	2	140	3.17	6
	20	18	27	12	18	10	25	10			
Crushing	4	2	3	6	6	6	4	3	264	5.99	1
	40	12	27	36	54	60	20	15			
Diamond cut + Crushing	3	1	4	3	5	5	1	2	200	4.54	3
	30	6	36	18	45	50	5	10			
Diamond saw + Crushing	3	5	5	4	4	5	1	2	230	5.22	2
	30	30	45	24	36	50	5	10			
Inversion	1	5	1	5	1	1	4	5	143	3.24	5
	10	30	9	30	9	10	20	25			
Cut + Crushing	4	1	4	3	3	3	3	2	182	4.13	4
	40	6	36	18	27	30	15	10			

4.1.5 해체작업 단계별 QFD 기반 FMEA 위험성 평가

FMEA 위험성 평가를 위해 선정된 공법의 해체작업단계별 위험요인을 도출하였고, 도출된 위험요소의 발생빈도, 심각도, 검출도의 값을 곱하여 위험우선순위인 RPN 값을 도출하였다. 이 RPN 값이 큰 위험요인은 중점관리하고 위험요인에 대한

해체공법의 적정성 여부를 판단한다. 시뮬레이션 위험성 평가결과 구조물해체공사 작업단계의 RPN 값이 가장 높게 나타났으며, 다음으로 장비 인양작업, 지하층 공사, 잭서포트 설치작업, 폐기물반출작업 순으로 평가되었다. 다음 Table 5는 해체작업 단계별 FMEA 위험성 평가결과를 표로 나타내었다.

Table 5. FMEA risk assessment of selected dismantling work stage

No	Dismantling work stage	Risk factors	Occurrence	Severity	Detection	RPN	Ranking
1	Jack support installation	- Inverted when handling jack support - Collapse due to simultaneous dismantling of two floors of jack support	3	5	1	15	3
2	equipment lifting operation	- Overturning due to unconfirmed underground structures - Collapse due to equipment movement other than the equipment work/movement route setting in the structure review - Danger of falling due to equipment load when lifting equipment	5	4	1	20	2
3	Structure dismantling work	- Lack of expertise in writing construction plans - Collapse due to non-compliance with dismantling order and dismantling method - Secondary disaster caused by not securing an evacuation route in case of emergency	4	6	1	24	1
4	basement demolition work	- Collapse due to unconfirmed level of adjacent buildings, ground and groundwater - Collapse due to non-compliance with demolition order - Fall due to non-installation of fall protection in the end section	3	5	1	15	3
5	Waste discharging work	- Collision due to not setting pedestrian passages when moving equipment - Collision with workers/pedestrians when entering and exiting external roads	3	3	1	9	5

4.2 평가

본 연구에서 제안한 통합모델을 적용한 해체공법선정 시뮬레이션 결과, 적합한 공법으로 압쇄공법이 선정되었고, 차순위로 적용 가능한 공법은 다이아몬드쏘+압쇄공법이 선정되었다. 이어서, 선정된 압쇄공법을 대상으로 해체작업단계별 위험성평가 시뮬레이션 평가결과, 구조물 해체 작업단계가 위험성이 높게 평가되었고, 차순위로 장비 인양작업단계가 위험성이 높은 것으로 평가되었다.

다른 작업단계보다 상대적으로 RPN 값이 높은 항목은 중점위험 작업단계로 설정하여 관리해야 하며, 이에 대한 대응이나 관리가 어렵다고 판단될 경우 차순위 공법 등의 대안공법을 검토할 필요성이 있다. 이러한 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 모델이 해체공법선정과 동시에 해체작업단계별 위험성 평가와 관리에 적용 가능한 효과적인 방법론임을 파악할 수 있었다.

5. 결론

최근 도심 해체붕괴 사고로 인해 그 심각성이 사회적 이슈로 크게 대두되고 있다. 해체공사는 적합한 공법과 안전한 작업 계획에 따라 작업을 시행하지 않으면, 붕괴, 전도 등의 대형사고로 많은 인명피해를 유발할 수 있는 위험성이 높은 공종이다. 이런 위험을 내포한 공사임에도 현장 중심의 직관에 의한 공법선정 및 안전계획은 현장 주체의 전문성 정도 및 여부에 따라 불확실한 안전계획 수립이 되어왔다. 본 연구에서 제시한 QFD 기반 TOPSIS 해체공법의 선정방법과 FMEA 위험성 평가모델을 통해서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 본 연구는 해체공법 선정에 있어 안전성, 구조체의 특성, 환경성 등을 종합적으로 고려한 체계적 공법선정 의사결정 방법을 제시하였다. 본 연구방법을 통해 객관적, 정량적인 방법으로 체계적인 공법선정이 이루어질 것으로 기대된다.

둘째, 해체계획단계에서 선정 공법의 위험성을 사전 평가하여 현장 적용성 검토 방법을 제안하였다. 기존에 공법선정 의사결정자와 현장의 관리 주체가 달라 공법선정 후 안전에 대한 책임이 현장 운영자에게 있었으나, 의사결정 주체가 해체공법 선정과정에서 위험성 평가를 함께 수행함으로써 향후 현장 주체의 안전계획에 이정표가 될 수 있는 기반을 마련하였다. 이것은 사전 위험평가를 통해 안전사항을 재차 검토하고 특수한 현장 위험 상황을 반영할 기회를 제공한 의의가 있다.

셋째, QFD 기반 TOPSIS 공법선정과 FMEA 위험성평가 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 모델이 해체공법선정과 동시에 해체작업단계별 위험성 평가와 관리에 적용 가능한 방법론임을 파악할 수 있었다.

종합하면 기존 연구에서는 기술특성을 고려한 공법선정 방법만을 제시하였으나 해체현장별, 해체작업별 잠재위험을 반영하기에 한계가 있었으며, 본 연구는 공법선정 프로세스와 위험성 평가방법의 연속적인 관점에서 통합방법을 제안하여 위험성을 최우선으로 고려할 수 있는 공법선정 방법을 제시함으로써 해체공사현장의 실질적 안전 확보가 가능하다.

향후 연구로는 본 연구에서 제시한 방법론을 실제 해체공사 현장에 적용하여 현장의 특성을 반영한 최적 공법선정과 작업단계별 위험성 평가를 통한 안전성 확보 여부도 함께 검토할 예정이다.

요약


2018년 국토교통부 통계에 따르면 재건축 연한이 도래한 주거용 건축물은 2018년 기준 약 37%에 달한다, 해체물량의 증가는 해체산업의 성장과 함께 환경 및 안전사고 등 많은 부작용을 일으키고 있다. 이에 본 연구는 해체공법 선정에 있어 안전성, 경제성, 환경성 등을 종합적으로 고려하여 현장 적용에 가장 적합한 공법 의사결정 방법을 제시하고, 특히 해체공사의 안전성을 고려하여 현장 공법 적용 시 위험요인에 대한 사전평가를 통해 공법선정뿐만 아니라 선정 공법의 현장 적용성을 평가한다. 이를 위해 본 연구는 QFD 기반의 TOPSIS 해체공법선정과 FMEA 위험성평가 통합모델을 제안한다.

키워드 : 해체공사, 해체공법선정, 품질기능전개, 고장형태 영향분석, 위험성 평가

Funding


Not applicable


ORCID


Hyung-Yong Lee,  <http://orcid.org/0000-0001-6219-6385>

Jae-Ho Cho,  <http://orcid.org/0000-0002-5706-4385>

Bo-Sik Son,  <http://orcid.org/0000-0002-0900-4601>

Myung-Jin Chae,  <http://orcid.org/0000-0003-1596-2854>

Hyun-Soo Kim,  <http://orcid.org/0000-0002-7263-3128>

Jae-Youl Chun,  <http://orcid.org/0000-0003-2434-9808>

References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Green Architecture Department. Architectural Statistics Collection Book. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2019.
2. Ministry of Employment and Labor, Occupational Safety and Health Agency. Safety Work Procedures for Dismantling Construction. Sejong (Korea): Ministry of Employment and Labor; 2017. p. 4-8.
3. Chun JY, Cho JH, Kim HS, Chae MJ, Hong EH, Kim TY, Yoon JH, Lee HY, Sin CH. A study on the management system improvement plan to strengthen the professionalism of the dismantling work. Yongin (Korea): Dankook University BIG MV Book; 2019. p. 81-3.
4. Kim, HJ. Methods to establish a separation and dismantling process to improve resource recycling efficiency. *Construction Engineering and Management*. 2004 Dec;5(6):42-5.
5. Kim GJ. An evaluation model of user-oriented preference analysis based on QFD-TOPSIS for design alternative selection of apartment housing remodeling. [dissertation]. [Yongin (Korea)]: Dankook University. 2016; p. 62-76.
6. Hong EH. A study on performance assessment information system for building remodeling. [dissertation]. [Yongin (Korea)]: Dankook University. 2014. p. 20-6.
7. Hwang CL, Yoon K. Multiple attribute decision making methods and applications. New York: Springer; c1981. Chapter, *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*; p. 58-191. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3
8. Yoon, K. A reconciliation among discrete compromise situations. *The Journal of the Operational Research Society*. 1987 Mar; 38(3):277-86. <https://doi.org/10.2307/2581948>
9. Hwang CL, Lai YJ, Liu TY. A new approach for multiple objective decision making. *Computers & Operations Research*. 1993 Oct;20(8):889-99. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(93\)90109-V](https://doi.org/10.1016/0305-0548(93)90109-V)
10. Assari A, Mahesh TM, Assari E. Role of public participation in sustainability of historical city: usage of TOPSIS method. *Indian Journal of Science and Technology*. 2012 Apr;5(3):2289-94. <https://doi.org/10.17485/ijst/2012/v5i3.2>
11. Yu JH, Song JW, Kim CD. Construction safety management using FMEA technique for selecting priority order. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2008 Dec;9(6):185-93.
12. Korea Institute of Construction Technology. A Comparative Study on Demolition Methods in the Buildings. Goyang (Korea): Korea Institute of Construction Technology; 1998. p. 137-45.
13. Korea Housing Corporation. A Study on the Demolition Method of Structure(I). Jinju (Korea): Korea Housing Corporation; 1996. p. 103-12.
14. Kim BS, Kim TH, Park CS. A selection model of demolition method considering the characteristics of remodeling project. *Proceeding of Architectural Institute of Korea*; 2002 Oct 26; Gunsan, Korea. Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea; 2002. p. 443-6.
15. Lee HM, GoSS. A study on the system development for optimum method selection in demolition works. *Journal of the Architectural Institute of Korea*. 2008 May;24(5)193-200.
16. Lee JY, Gu CW, Kim TW, Lee CS. A study on selection of demolition techniques. *Proceedings of the conference Korea Construction Management Association*; 2019 Nov 15; Goyang, Korea. Seoul (Korea): Korea Construction Management Association; 2019. p. 193-7.
17. Sung YH, Noh HS, Ahn YS. Development of selection model for building dismantling method using AHP technique. *Proceedings of the conference Korea Construction Management Association*; 2019 Nov 15; Goyang, Korea. Seoul (Korea): Korea Construction Management Association; 2019. p. 283-7.
18. Kim HH, Lee G. A quantitative analysis of fatal accidents related to cranes using the FMEA method. *Journal of the Korea*

Institute of Building Construction. 2007 Jun;7(3):115-122. <https://doi.org/10.5345/JKIC.2007.7.3.115>

19. Hong YT, Yu JH, Lim GH, Lee HS. Evaluation of time-affecting factors in high-rise building construction using FMEA. Journal of the Architectural Institute of Korea. 2004 Oct;20(10):173-92.
20. Kim KH, Choi JS, Shin SH, Yang CH. Analysis of the risk factors in demolition. Journal of the Architectural Institute of Korea. 2008 Jan;24(1):151-8.