

중대재해 사례에 기반한 건설업의 작업 및 위험분류체계 통합 프레임워크 개발

정재민¹ · 정재욱^{2*}

¹서울과학기술대학교 안전공학과 박사과정 · ²서울과학기술대학교 안전공학과 조교수

Development of Framework for Integrated Work-Risk Breakdown Structurebased on Fatal Incident Cases in Construction Industry

Jeong, Jaemin¹, Jeong, Jaewook²

¹Graduate Student, Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology

²Assistant Professor, Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology

Abstract : Since an accident in construction industry has been higher than others for decades, the accident in construction industry should be decreased. To prevention this problem, the work breakdown structure (WBS) and risk breakdown structure (RBS) are presented, the WBS and RBS, are hierarchy structure which can find fatal incident considering type of building and type of work easily and quickly. So, this study aims to develop framework for the integrated WBS-RBS to prevent fatal incident on construction industry. The research process is conducted by following 3 steps: (I) collection of data; (II) classification of data; and (III) development of the integrated WBS-RBS. The result of this study can propose the most dangerous fatal incident aspect of type of building, type of work, and type of accident. Through the result, the decision maker can reduce or eliminate fatal incident considering type of building, type of work and type of accident in construction industry.

Keywords : Work Breakdown Structure, Risk Breakdown Structure, Fatal Incident, Integrated Breakdown Structure

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설은 노동집약적 산업으로 과거보다 사고는 감소하지만, 여전히 다른 산업에 비해 재해율이 높은 편이다. 고용노동부에서 발표한 '2018년 산업재해 발생현황'에 따르면 재해자 수 및 사망자 수는 각각 27,686명 및 570명으로 전체 26.6% 및 27.1%를 차지한다(Ministry of Employment and Labor, 2019).

이러한 건설업에서의 재해를 줄이기 위한 다양한 연구와 근본적인 원인에 관한 조사가 진행되었다(Alruqi et al., 2018; Guo et al., 2016). 대부분의 건설 재해는 시공단계에

서 발생하지만 건설재해를 예방할 수 있는 가장 효과적인 방법은 설계단계에서 미리 재해요인을 파악하는 것이다. 때문에 건물용도, 건설공종에 따라서 많이 발생한 재해를 우선적으로 해결 할 수 있어야한다(Zhou et al., 2015).

건설공사의 재해의 특성은 다음과 같다. 첫째, 건설공사는 골조공사, 도로포장공사 등 반복적인 작업공정을 통해 낙하, 추락, 떨어짐 등 유사한 재해사례가 반복적으로 나타나는 경향이 있다(Lee et al., 2004). 둘째, 아파트, 도로공사 등 건물의 용도별로 건설공종에 따른 작업방법이 달라서 공종에 따른 재해분석이 의미가 적다(Moon & Yang, 1996).

이러한 건물의 용도 및 건설공종을 고려한 건설업의 재해를 분석하기 위한 방법으로 과거 연구에서는 작업분류체계(Work Breakdown Structure; WBS) 및 위험분류체계(Risk Breakdown Structure; RBS)를 활용하고 있다(Li et al., 2013; Xu et al., 2014). WBS는 당해 프로젝트의 작업 요소의 그룹으로 한 프로젝트의 작업 범위에 대해서 상세히 정의하고 설명해주는 방법이다(Li et al., 2013; Xu et al., 2014). RBS는 위험 요소를 쉽게 파악하는 방법으로 해당 프

* **Corresponding author:** Jeong, Jaewook, Department of safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 01811, Korea

E-mail: Jaewook.jeong@seoultech.ac.kr

Received January 22, 2020; **revised** March 2, 2020

accepted March 16, 2020

로젝트의 위험을 파악하는 방법으로 단위작업의 위험수준을 평가하고 판단할 수 있게 해준다(Li et al., 2013; Xu et al., 2014).

이러한 WBS와 RBS를 통합한다면 다음과 같은 장점이 있다. ① 각 작업에 대한 위험 수준을 쉽게 확인할 수 있다. ② RBS를 통해 위험 공종 선정이 가능하다. ③ 건설 프로젝트 시작 전 위험관리를 위해 활용할 수 있다. ④ WBS-RBS의 계층적 구조를 수립한다면 앞으로 건설 프로젝트의 위험관리를 쉽게 할 수 있다(Li et al., 2013; Xu et al., 2014). 따라서 본 연구에서는 건설업의 재해를 예방하기 위한 통합 WBS-RBS 프레임워크를 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

통합 WBS-RBS 프레임워크를 제시하기 위해서 본 연구는 3단계로 진행되었다.

먼저, 통합 WBS-RBS 프레임워크를 제시하기 위해서 2007년부터 2016년까지 5,732건의 사망재해 데이터를 수집하였다. 그리고 과거 연구를 기반으로 적절한 변수와 분류체계를 선정하였다. 둘째, 분류된 변수를 활용하여 건축법, 국가건설기준센터, 표준품셈 등을 고려하여 시설군, 건물용도, 건설공종 및 건설재해 분류 하였다. 마지막으로 level 4수준의 WBS와 level 1수준의 RBS를 통합하여 level 5수준의 통합 WBS-RBS를 제시하였다.

2. 기존문헌 분석

2.1 건설업의 건설공종의 재해사례 분석 연구

Kim et al. (2017)은 과거 3년(2012~2014년)간 국내 건축 건설업에서 업무상 사고로 발생한 42,821건의 일반재해사례를 분석하였고, 이를 22개 공종으로 구분하여 연간 작업 투입인원을 고려한 공종별 위험도를 산출하였다.

Lee et al. (2004)은 재해사례분석을 통해 빌딩공사의 재해 특성을 규정하기 위해 11년간(1992~2002년)의 건설공사 재해사례를 수집하여 각 건설공사의 공종별 재해 분석을 수행하여 거푸집 공사를 공종으로 제시하였다.

Moon and Yang (1996)은 과거 705건의 건설공사 중대 재해 사례를 통해 건설공종 및 시설물에 따른 재해를 분석하여 공동주택 및 철근콘크리트 공사의 사망자가 가장 자주 발생하였다고 제시하였다.

본 연구들의 한계점은 건설공사는 건설공종이 서로 다르고 건축물 종류에 따라 작업 방법이 달라질 수 있기 때문에 이를 모두 고려한 재해분석을 한 WBS-RBS모델이 필요하다.

2.2 단일 WBS 및 RBS 체계 구축 연구

Siarni-Irdemoosa et al. (2015)은 터널 공사프로젝트에 적용할 수 있는 WBS를 개발하기 위해 인공신경망 네트워크를 활용하여 총 2개의 터널프로젝트에 대한 자료를 수집하여 총 76.1%의 높은 예측치를 보인 WBS 모델을 개발하였다.

Sigmund and Radujković (2014)은 신축공사가 아닌 기존 건물의 위험을 관리 할 수 있는 RBS체계를 구축하기 위해 외부위험과 프로젝트위험 등 2가지를 고려하여 외부 전문가의 인터뷰를 통해 새로운 RBS를 제시하였다.

Sutrisna et al. (2018)은 공장형 건설 프로젝트의 WBS를 개발하기 위하여 작업, 공기, 공종을 고려한 3차원 WBS matrix를 Autocad revit을 활용하여 제시하였다.

Yang et al. (2018)은 농업토목공사의 잠재적 위험성을 판단하기 위해서 과거 재해사례를 827건을 수집하여 36종의 농업토목공사 공종으로 분류한 후 AHP 분석을 통해 위험 작업 순위에 대해서 제시하였다.

단일 WBS 및 RBS 연구의 한계점은 건설공사의 작업별 위험을 파악하기 힘들며 건설공사 재해를 예방하는데 부적절하다.

2.3 통합 WBS 및 RBS 체계 구축 연구

Li et al. (2013)은 장대교량 공사에서 발생할 수 있는 위험요인을 파악하기 위해서 WBS를 Level 1에서 75가지 요인, Level 2에서 35가지, Level 3에서 243가지로 구분하여 구축한 후 7가지 RBS 요인을 고려하여 WBS-RBS를 구축하는 새로운 방법을 제시하였다.

Supriadi et al. (2017)은 프리캐스트 교량 프로젝트의 WBS를 Level 6수준으로 개발하고 공사비와 관련된 위험요인을 7개의 대분류 31개의 변수를 선정하여 프리캐스트 교량 프로젝트의 리스크 기반 표준화된 WBS를 제시하였다.

Xu et al. (2014)은 Fault tree와 Fuzzy를 활용하여 암거공사의 위험요소를 찾기 위한 WBS-RBS를 제시하였다. 3가지 대분류를 고려하였고 하위 8개의 변수를 고려하여 암거공사에서 발생할 수 있는 위험요소를 선정하였다.

Kim et al. (2018)은 WBS와 RBS 체계를 통합하여 원자로 차폐 콘크리트 구조물의 제염해체공사를 공정별로 28가지 분류하고 10가지 사고유형을 분류하여 재난/재해 분류표를 개발하였다. 이를 통해 위험저감 대책 및 재난재해 발생시 대응대책을 수립할 수 있다.

통합 WBS 및 RBS 체계에 대한 한계점은 대부분의 연구가 건설공사 전체가 아닌 대부분 토목공사의 단일 공종에 한정하여 WBS-RBS를 구축하였기 때문에 전체 건설공사에 대한 재해를 예방하는데 한계가 있다.

이러한 기존 문헌을 바탕으로 본 연구에서는 시설물 및

건설공종을 분류한 WBS를 구축하고 위험요인을 선정하여 통합 WBS-RBS 프레임워크를 제시할 것이다.

3. 통합 WBS-RBS 프레임워크 개발

통합 WBS-RBS 프레임워크를 제시하기 위해 <Fig. 1>에 따라 다음과 같이 3단계로 진행하였다.

1단계 건설재해 자료 수집에서는 2007년부터 2016년까지의 건설공사 사망 재해 5,732건에 대한 정보를 수집하고 통합 WBS-RBS의 변수를 정의하였다.

2단계 건설재해 자료 분류에서는 먼저, 시설물을 분류하기 위해 건축물 용도분류 및 국가건설기준센터에 따라 9개의 시설군과 34종의 건물용도를 분류하고 그 다음 표준품셈과 국가건설기준센터에 따라 41가지 건설공종으로 분류하였다. 마지막으로 재해형태에 따라 20가지 재해유형으로 분류하였다.

3단계에서는 건설업과 관련된 건설프로젝트, 시설군, 건물용도, 건설공종으로 Level 4수준의 WBS를 제시하고 RBS로는 재해요인을 고려하여 Level 5수준의 통합 WBS-RBS를 구축하였다.

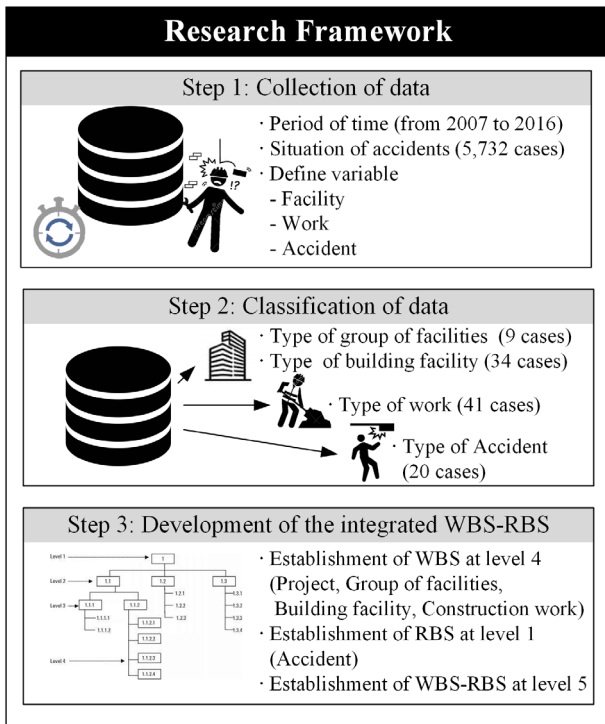


Fig. 1. Research Framework

3.1 건설재해 자료 수집

통합 WBS-RBS를 제시하기 위해서 건설 재해에 대한 자료를 수집하였다. 수집된 자료는 한국산업안전보건공단의

건설업 사망자 데이터로써 10년간(2007~2016년) 5,732건의 데이터를 수집하였다.

수집된 데이터는 사망 발생 시점, 장소, 재해상황 등이 정리된 자료로 통합 WBS-RBS 프레임워크를 제시하기 위해서는 필요한 자료를 선정해야한다. 필요한 자료를 선정하기 위해 기존 연구를 통해 적절한 변수와 분류체계를 선정하였다.

본 연구는 건설공사의 사망재해 5,732건에 대한 정보를 수집하였다. 다음과 같은 이유로 건설공사 사망재해는 중상해 재해보다 우선적으로 예방해야한다. 첫째, 2018년 건설공사 사망자는 485명으로 전체 49.9%를 차지하여 다른 산업에 비해 가장 많은 사망재해가 발생한다. 둘째, 건설공사에서 작업자가 사망 재해손실비용은 약 6억 6천만원이며 중경상 재해손실비용은 약 2억 5천9백만원으로 건설공사 사망 재해손실비용이 약 2.5배 정도 더 많이 발생하게 된다. 따라서 다른 산업에 비해 더 많은 사망재해와 중경상 재해에 비해 더 많은 사망 재해손실비용이 발생하기 때문에 본 연구에서는 건설공사 사망재해를 예방하기 위해 사망재해 데이터를 활용하였다(Ministry of Employment and Labor, 2019; Occupational Safety & Health Research Institute, 2018).

Table 1. Define of the breakdown structure variables

Variable	Attribute	Reference
Design variable	Type of Building	Kim et al., 2017; Kim et al., 2016; Moon & Yang, 1996; Niskanen & Saarsalmi, 1983; Sutrisna et al., 2018
	Type of Work	Amini and Latief, 2018; Kim et al., 2019; Kim et al., 2016; Lee et al., 2004; Li et al., 2013; López et al., 2008; Moon & Yang, 1996; Niskanen & Saarsalmi, 1983; Rozenfeld et al., 2010; Suárez-Cebador et al., 2014; Supriadi et al., 2017; Sutrisna et al 2018, Xu et al., 2014
	Type of Accident	Cho et al., 2017; Kim et al., 2019; Kim et al., 2016; Li et al., 2013; López et al., 2008; Niskanen & Saarsalmi, 1983; Sigmund & Radujković, 2014; Suárez-Cebador et al 2014; Vongpaisal & Yodpittit, 2017
Dependent variable	WBS	Amini & Latief, 2018; Li et al., 2013; Siami-Irdemoosa et al., 2015; Supriadi et al., 2017; Sutrisna et al., 2018; Xu et al., 2014
	RBS	Li et al., 2013, Sigmund & Radujković, 2014; Xu et al., 2014

<Table 1>에서 통합 WBS-RBS 프레임워크를 제시하기 위해 설계변수와 분류체계를 선정하였다. 먼저 설계변수는 기존 연구에서 건설업 재해를 분석하기 위해 고려하였던 건물 용도의 종류, 건설 공종의 종류, 재해요인의 종류 등 3가지를 선택하였다.

건설업은 건물용도에 따라 빌딩공사 및 도로공사 등에서 발생하는 재해의 종류가 달라서 이러한 건물용도를 고

려한 재해분석을 진행해야한다(Moon & Yang, 1996). 또한, 건설공종은 대부분의 건물용도에 따라서 작업방법이 다르기 때문에 적합한 안전관리 대책을 수립해야한다(Lee et al., 2004).

적합한 분류체계를 제시하기 위해서 기존 연구들에서는 작업분류체계(WBS)와 위험분류체계(RBS)를 활용하여 건설공사의 프로젝트에 대한 단위 작업을 분류하고 그에 대한 위험요인을 제시하여 각 단위 작업에서 가장 많이 발생하는 재해에 대해서 제시되었다.

과거 연구에서는 건설업의 재해분석에서 건물용도 및 건설공종에 대한 재해요인을 분석하였다. 또한, 이러한 건물용도 및 건설공종에서 발생하는 건설재해는 각기 다른 형태로 나타났기 때문에 재해의 종류에 대한 파악도 중요하다. 마지막으로 이러한 재해요인을 한눈에 쉽게 파악하기 위해서

WBS 및 RBS를 통해 건설업의 재해에 대해서 분석하였다.

3.2 건설재해 자료 분류

〈Table 2〉에서는 앞서 3.1장에서 정의한 변수를 토대로 건물용도, 건설공종, 재해유형으로 분류하였다. 먼저, 건물용도 분류는 건축법, 건축법 시행령 및 국가건설기준센터에 따라 9개의 시설군과 34종의 용도로 분류하였다(BUILDING ACT; ENFORCEMENT DECREE OF THE BUILDING ACT; KCSC). 건축법 제2조 및 제19조, 건축법 시행령 제14조 5항에서는 건축물의 용도에 따라 먼저 9개의 시설군과 30종의 건축물 용도를 분류하고 있다.

본 연구는 현재 건설업의 재해분류에 적합한 분류체계를 제시하기 위해서 먼저 근린생활시설군에서 제1종 근린생활시설 및 제2종 근린생활시설을 근린생활시설로 통합하였다.

Table 2. Classification of the variables

Type of group of facility	Type of building	Type of work	Type of accident
1. Group of facilities relating to motor vehicles	1-1. Motor vehicle-related facilities	1. Temporary work	1. Disease
	2-1. Transportation facilities	2. Earth work	2. Traffic accident
	2-2. Warehouse facilities	3. Landscaping work	3. Explosion
2. Group of facilities for industrial purposes	2-3. Factories	4. Foundation work	4. Electric shock
	2-4. Storage and treatment facilities for hazardous substances	5. Stone work	5. Slip
	2-5. Resource recycling facilities	6. Construction machine	6. Fall
	2-6. Graveyard-related facilities	7. Road pavement work	7. Be hit
	2-7. Funeral facilities	8. Tunnel work	8. Collision
	3-1. Broadcasting communications facilities	9. Orbit work	9. Get jammed
3. Group of facilities for telecommunications	3-2. Power generating facilities	10. Pipe installation and joint work	10. Leak or contact of chemicals
	4-1. Cultural and assembly facilities	11. Harbor work	11. Fire
4. Group of cultural and assembly facilities	4-2. Religious facilities	12. River work	12. Be bumped
	4-3. Amusement facilities	13. Reinforced concrete work	13. Be drowned
	4-4. Tourist resting facilities	14. Steel work	14. Hypoxia
	5-1. Sales facilities	15. Masonry work	15. Violence
5. Group of facilities for commerce	5-2. Sports facilities	16. Tile work	16. Contact of abnormal temperature
	5-3. Lodging facilities	17. Carpentry work	17. Cut
	6-1. Medical facilities	18. Interior finishing work	18. Animal injury
6. Group of facilities for education and welfare	6-2. Education and research facilities	19. Waterproof work	19. Fall beneath
	6-3. Facilities for older persons and children	20. Roof and gutter work	20. Non-categorization
	6-4. Training facilities	21. Metal work	
	7-1. Neighborhood living facilities	22. Plaster work	
7. Group of neighborhood living facilities	8-1. Detached houses	23. Window and glass work	
	8-2. Apartment	24. Paint work	
	8-3. Multi-family housing (excluding apartment)	25. Maintenance work (including demolition)	
	8-4. Business facilities	26. Plumbing work	
	8-5. Correctional and military facilities	27. Duct work	
8. Group of facilities for residential and business purposes	9-1. Animal and plant-related facilities	28. Insulation work	
	9-2. Road	29. Pump and ventilation work	
	9-3. Tunnel	30. Valve installation work	
	9-4. Bridge	31. Measuring equipment work	
	9-5. Dam	32. Sanitation work	
	9-6. River	33. Air handler work	
	9-7. Soil conservation	34. Fire protection work	
9. Miscellaneous group of facilities		35. Gas service line and meter installation work	
		36. Plant installation work	
		37. Electric wiring work	
		38. Information and Telecommunication Facilities Installation work	
		39. Traffic accident	
		40. Non-categorization	
		41. Disease	

이는 재해상황에서 건축물의 면적에 대한 자료가 부족하여 제 1종과 2종으로 나누기 어려운 점이 있었다. 또한, 주거업 무시설군에서 공동주택에서 아파트를 별도로 분류하였다. 이는 아파트는 가장 재해가 많이 발생하는 건물용도로서 별도로 건설업의 재해를 관리할 필요가 있기 때문이다(Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), 2018; Moon & Yang, 1996). 또한, 토목공사는 건축물 용도분류와 같은 별도의 분류가 없기 때문에 국가건설기준센터를 통해 6종으로 분류하였다. 따라서 건축공사용도 28종과 토목공사 용도 6종을 합쳐 총 34종의 건물 용도를 분류하였다.

건설공종분류는 2019 건설공사 표준품셈과 국가건설기준센터를 통해 총 41개의 건설공종으로 분류하였다 (Estimating Standards, 2019; KCSC). 10년간의 5,732건의 데이터를 표준품셈에 적합한 공종을 선정하였다. 표준품셈에서는 건설공종을 크게 공통부문, 토목부문, 건축부문 및 기계설비부문로 분류되어있다.

표준품셈에 없는 전기 및 통신공사는 국가건설기준센터를 통해 선정하였다. 또한, 별도의 분류하기 어려운 교통사고, 분류불능, 질병 등은 이해하기 쉽도록 3개의 공종으로 별도로 분류하여 포함시켰다. 이러한 기준을 통해서 건설공종을 총 41개로 분류하였다.

마지막으로 재해요인에 대해서는 과거 연구 및 한국산업안전보건공단의 자료를 분석하여 총 20가지의 재해로 분류하였다.

Kim et al. (2016)은 산업안전보건공단의 자료를 통해서 질병을 제외한 총 19가지의 재해요인을 제시하였다. 본 연구에서는 기존 문헌과 산업안전보건공단의 자료를 고려하여 질병을 추가한 총 20가지의 재해요인을 제시하였다.

통합 WBS-RBS를 제시하기 위해서 건물용도, 건설공종,

재해요인을 분류하였고, 각 분류에 관한 기준을 제시하였다.

3.3 통합 WBS-RBS 프레임워크 제시

본 연구에서는 통합 WBS-RBS 프레임워크를 제시하기 위해서 Level 4수준의 WBS를 제시하고 Level 1수준의 RBS를 제시하여 총 Level 5수준의 통합 WBS-RBS를 제시하였다.

먼저 WBS를 구성함에 있어서 계층은 다음과 같은 이론으로 분류되어야 한다. Level 1은 프로젝트의 생애주기 관점에서 프로젝트의 처음과 끝이 모두 포함된 최종 성과물에 대해서 제시해야 한다. Level 2는 프로젝트의 세부항목으로서 생애주기 관점에서 최종 목표를 달성하기 위한 처음부터 끝까지의 세부항목을 분류하여 제시해야 한다. Level 3은 Level 2에 해당하는 세부항목에 포함되는 세부구성에 대한 정의를 해야 한다. Level 4는 세부구성에 필요한 활동으로 이러한 활동이 모두 끝났을 때 상위 레벨로 올라가게 된다. 그다음 Level n은 활동에 대한 세부 활동으로서 나눌 수 있다(Amini & Latief, 2018).

통합 WBS-RBS 프레임워크의 Level 1은 WBS의 요소로 프로젝트의 최종 목표인 건축공사와 토목공사를 전부 포괄할 수 있는 건설프로젝트로 정의하였다. Level 2는 프로젝트의 최종목표를 달성할 수 있는 세부항목으로 앞서 분류하였던 9개의 시설군에 대해서 정의하였다. 이러한 시설군은 모두 건설 프로젝트의 세부항목으로 고려할 수 있기 때문에 Level 2로 적합하다고 할 수 있다. Level 3은 Level 2에 대한 세부항목이므로 시설군에 해당하는 34종의 건물 용도별 분류를 제시하였다. 건물 용도별 분류는 시설군의 세부항목이므로 Level 3에 적합하다고 할 수 있다. Level 4는 건물 용도를 달성할 수 있는 41가지 건설공종을 제시하였다. Level 4는 Level 3을 달성하기 위한 활동이기 때문에 각 건물용도에

Work Breakdown Structure	Level 1 (Project)	Construction Project				
	Level 2 (Type of group of facility)	1. Group of facilities relating to motor vehicles	...	...	9. Miscellaneous group of facilities	
	Level 3 (Type of building)	1. Motor vehicle-related facilities	...	...	9-7. Soil conservation	
	Level 4 (Type of work)	1. Temporary work	...	...	41. Disease	
Risk Breakdown Structure	Level 5 (Type of accident)	1. Disease	3	...	...	1
	2. Traffic accident	1	...	...	...	0
	3. Explosion	1	...	...	...	0

	18. Animal injury	1	...	...	...	0
	19. Fall beneath	0	...	...	...	0
20. Non-categorization	0	...	...	...	0	

Fig. 2. Example of framework for the integrated WBS-RBS

맞는 공사를 완성하기 위한 건설 활동으로서 적합하다고 할 수 있다. 마지막 Level 5는 RBS의 요소로서 건설업의 재해 요인을 파악하기 위한 가장 마지막 세부 활동으로 재해요인을 제시하였다.

본 연구의 통합 WBS-RBS는 기존의 WBS체계와 달리 건설공사에서 발생하는 사망재해를 예방하기 위하여 건물 용도별 분류를 진행한 후 건설공종별 분류를 하여 재해요인을 제시하였다.

〈Fig. 2〉는 통합 WBS-RBS 프레임워크의 예시를 제시하였다. 먼저 Level 1에서는 건설프로젝트를 제시하였으며, Level 2는 (1) 자동차 관련 시설군부터 (9) 그 밖의 시설군까지 9개의 시설군을 제시하고 있다. Level 3은 각 시설군에 해당하는 34종의 건물용도 분류로 자동차 관련 시설부터 치산까지 나타내고 있다. Level 4는 41개 건설공종으로 가설공사부터 질병까지 분류하였다. 마지막 Level 5에서는 RBS 요소로서 재해요인 20가지에 대해서 질병부터 분류불능까지 제시하였다.

이렇게 제시된 통합 WBS-RBS 프레임워크를 통해서 2007년부터 2016년인 10년간 자동차 관련 건설공사(Level 1) - 자동차 관련 시설군(Level 2) - 자동차 관련시설(Level 3) - 가설공사(Level 4)에서는 질병(Level 5)으로 3명, 교통

사고(Level 5) 1명, 폭발(Level 5) 1명, 동물 상해(Level 5) 1명, 깔림(Level 5) 0명, 분류 불명(Level 5) 0명임을 쉽게 확인할 수 있다.

4. 통합 WBS 및 RBS 프레임워크 적용

제시한 통합 WBS-RBS 프레임워크의 이해를 돕기 위해 〈Table 3〉에서 결과를 제시하였다.

2007년에서 2016년까지 10년간 가장 사망자가 많았던 건물용도 공장, 아파트, 도로를 선택하였다. 해당 건물용도는 주 건설공종과 재해요인이 서로 다르게 나타났다. 공장은 철골 공사가 주 공종이며, 아파트는 철근콘크리트 공사가 주 공종이다. 마지막으로 도로공사는 도로포장공사가 주 공종이다(Kim et al., 2016; Moon & Yang, 1996). 이처럼 각각 다른 건설용도에서 사망재해가 발생한 건설공종 2가지를 선정하여 결과를 제시하였다.

먼저 공장은 건설프로젝트 - 산업 등의 시설군 - 공장 - 철골공사 - 떨어집에서 108명이 사망하였으며, 건설프로젝트 - 산업 등의 시설군 - 공장 - 지붕과 흡통공사 - 떨어집에서 116명이 사망하였다. 철골 공사는 철골가공, 철골 세우기, 데크플레이트 등의 건설작업이 진행되는 등 고소

Table 3. Result of the integrated WBS-RBS framework

Level	Breakdown Structure Factor					
Level 1	Construction project					
Level 2	Group of facilities for industrial purposes		Group of facilities for residential and business purposes		Miscellaneous group of facilities	
Level 3	Factories		Apartment		Road	
Level 4	Steel work	Roof and gutter work	Reinforced concrete work	Paint work	Road pavement work	Traffic accident
Disease	0	0	0	0	0	0
Traffic accident	0	0	0	0	0	111
Explosion	0	0	0	0	3	0
Electric shock	1	2	1	4	7	0
Slip	3	0	0	0	4	0
Fall	108	116	62	70	64	0
Be hit	6	2	10	0	25	0
Collision	4	2	5	0	18	0
Get jammed	3	0	1	1	8	0
Leak or contact of chemicals	0	0	6	0	2	0
Fire	0	0	1	0	0	0
Be bumped	3	0	7	0	82	0
Be drowned	0	0	0	0	5	0
Hypoxia	0	0	2	0	1	0
Violence	0	0	0	0	0	0
Contact of abnormal temperature	0	0	1	0	1	0
Cut	1	0	2	0	0	0
Animal injury	0	0	0	0	4	0
Fall beneath	2	0	7	0	9	0
Total (unit/total)	129/807	122/807	107/699	75/699	233/459	111/459

작업이 많다. 특히, 철골용접 작업 시 작업자가 몸의 중심을 잃고 떨어지는 등의 사망재해가 많이 발생하였다. 지붕과 흡통공사는 지붕의 금속판 작업 및 흡통, 루프 드레인 등의 작업이다. 지붕 등에서 작업하기 때문에 대부분이 고소작업이며, 특히 지붕설치 및 노후 지붕교체 등의 작업 중에 떨어지는 사고로 인해 사망재해가 발생하였다.

아파트는 건설프로젝트 - 주거업무시설군 - 아파트 - 철근콘크리트공사 - 떨어집에서 62명이 사망하였으며, 건설프로젝트 - 주거업무시설군 - 아파트 - 도장공사 - 떨어집에서 70명이 사망하였다. 주요 재해요인 분석으로는 철근콘크리트 공사는 거푸집, 콘크리트, 철근 등의 작업 등으로 고소작업이 많다. 이러한 고소 작업 시 외부 거푸집 작업 중 떨어지는 사고가 많이 발생하였다. 도장공사는 콘크리트 바탕면처리, 페인트, 스프레이 등의 작업으로 외벽 및 내벽의 작업이 많다. 특히, 외벽 도색작업 중 밧줄의 풀림, 몸의 중심을 잃는 등 떨어지는 사고들이 발생하였다.

도로는 건설프로젝트 - 그 밖의 시설군 - 도로 - 도로포장공사 - 부딪힘에서 82명이 사망하였으며, 건설프로젝트 - 그 밖의 시설군 - 도로 - 교통사고 - 교통사고에서 111명이 사망하였다. 도로포장공사는 토목공사 중 하나로서 아스팔트포장, 표지판 설치 등 도로에서의 작업이다. 그래서 도로포장 작업 중 포장 건설기계에 의한 부딪힘으로 사망재해가 많이 발생하였다. 더불어, 교통사고는 도로의 일정 부분을 막아 차량 진입을 막은 상태에서 도로포장공사 등이 진행된다. 따라서 작업 중 도로를 달리는 차량에 의한 교통사고가 대다수 발생하게 된다. 특히 교통사고는 대부분의 건물용도 중 도로에서 가장 많이 발생하는 사망재해이다.

제시된 통합 WBS-RBS를 통해서 건물용도 및 건설공종에서 가장 많이 발생한 사망재해에 대해서 분석해 보았다. 과거 연구에서는 특정 건물용도 및 공종에서의 건설재해를 줄이기 위한 방안을 제시 하였다. 하지만 효과적으로 건설재해를 줄이기 위해서는 건설재해가 다수 발생한 건물용도 및 건설공종을 파악하여 대책을 강구하는 것이 중요하다.

본 연구의 기여점은 다음과 같다. 기술적 측면에서 첫째, 건설 프로젝트 시작 전에 공장, 아파트, 도로처럼 사망재해가 많이 발생하는 건물용도 및 철골 공사부터 교통사고까지 다양한 건설공종에 대해서 파악할 수 있다. 또한, 떨어짐, 부딪힘, 교통사고 등 빈번하게 발생하는 재해요인까지 파악할 수 있기 때문에 설계안전성검토 등을 통해 재해요인을 줄이거나 없애 작업자의 재해사고를 예방할 수 있다. 경제적 측면에서 건설 재해를 예방함으로써 사망재해로 인해 발생할 수 있는 재해 비용을 줄일 수 있다. 또한, 건물용도 및 건설공종에 따른 재해 유형을 파악하기 위한 시간 및 비용을 절감할 수 있다.

5. 결론

건설업에서의 사망 재해를 시공 전 단계에서 줄이기 위한 방법으로 본 연구는 건설공사 재해 예방을 위한 통합 WBS-RBS 프레임워크를 제시하였다.

연구의 순서는 데이터 수집, 데이터 분류, 통합 WBS-RBS 프레임워크 개발로 진행되었다.

첫째, 한국산업안전보건공단에서 2007년부터 2016년까지 10년간의 5,732건의 데이터를 수집하여 건물 용도별, 건설공종별, 재해요인별 변수를 정의하고 WBS, RBS의 분류체계를 선정하였다.

둘째, 선정된 변수를 바탕으로 9개의 시설군, 34종의 건물용도, 41개의 건설공종, 20종의 재해요인을 분류하였다.

셋째, 분류된 변수와 분류체계를 바탕으로 건설프로젝트 (Level 1) - 시설군(Level 2) - 건물용도(Level 3) - 건설공종(Level 4) - 재해요인(Level 5)로 Level 4수준의 WBS와 Level 1수준의 RBS를 통합하여 Level 5수준의 통합 WBS-RBS 프레임워크를 제시하였다.

본 연구의 이해를 돕기 위해 가장 사망재해가 많이 발생한 건물용도인 공장, 아파트, 도로를 선정하고 그 하위 건설공종 각각 두 가지씩 선정하여 재해요인 결과를 제시하였다. 이를 통해 건물 용도와 건설공종에 따라서 다른 재해가 발생함을 확인하였고 재해대책을 마련해야 한다는 근거를 제시하였다.

본 연구의 기여점은 다음과 같다.

1) 기존에 건축공사, 토목공사만 고려하여 작업분류체계 및 위험분류체계를 이용하여 건설재해를 예방하기 위한 분류체계를 제시하였던 것에 반면 본 연구에서는 건축공사, 토목공사, 기계설비공사, 전기통신공사 등 모든 건설공사를 포함하여 건설재해를 예방하기 위한 통합 WBS-RBS 프레임워크를 제시하였다.

2) 건설 사망재해가 다수 발생하는 건물의 용도 및 공종에 대해서 쉽게 파악할 수 있으며 이를 이용하여 의사결정자는 시공 전 단계에서 건설 재해 유형을 파악하여 설계안전성검토 등을 통해 재해를 예방하는데 활용할 수 있다.

3) 건설재해를 예방하여 재해비용을 줄이고 재해 원인을 판단하기 위한 시간과 비용을 줄일 수 있다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다.

1) 본 연구는 통합 WBS-RBS의 프레임워크를 제시하기 위한 연구로서 통계적 검증, 설문조사, 전문가의 인터뷰와 같은 검증은 하지 못하였다.

2) 본 연구에서 결과에 대한 유의성을 파악하기 어려우며, 건설공종을 현재 41개뿐만 아니라 철근콘크리트 공사의 거푸집 작업, 콘크리트 작업, 철근 작업 등 세부 활동에 대한

분류가 진행되지 못하였다.

위의 연구 한계점을 고려하여 향후 다음과 같은 연구를 진행할 예정이다.

1) 통합 WBS-RBS에 대한 유의성을 검증하기 위해서 통계적 검증, 설문조사 및 전문가의 인터뷰와 관련하여 적절한 방법을 활용하여 통합 WBS-RBS의 유의성을 검증할 것이다.

2) 현재 건설공중에 대한 세부건설공중에 대한 분류작업을 진행하여 통합 WBS-RBS를 좀 더 세분화하여 제시할 것이다.

감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Alruqi, W.M., Hallowell, M.R., and Techera, U. (2018). "Safety climate dimensions and their relationship to construction safety performance: A meta-analytic review." *Safety science*, 109, pp. 165-173.
- Amini, R.A., and Latief, Y. (2018). "Development of Risk-Based Standardized WBS (Work Breakdown Structure) for Quality Planning of Road Construction Project." *In 8th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Bandung, Indonesia.
- BUILDING ACT (2019). <<http://www.law.go.kr>> (Feb. 24, 2020).
- Cho, Y.R., Shin, Y.S., and Shin, J.K. (2017). "Checklist Development for Prevention of Safety Accidents in Form Work in Small and Medium Sized Construction Sites." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 17(6), pp. 587-594.
- ENFORCEMENT DECREE OF THE BUILDING ACT (2020). <<http://www.law.go.kr>> (Feb. 24, 2020).
- Guo, B.H., Yiu, T.W., and González, V.A. (2016). "Predicting safety behavior in the construction industry: Development and test of an integrative model." *Safety science*, 84, pp. 1-11.
- Kim, B., Lee, J.S., and Ahn, Y.H. (2018). "Development of Risk Breakdown Structure of Nuclear Power Plant Decommissioning Project: Focusing on Structural Damage/Work Process Risks." *Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection*, 22(3), pp. 38-45.
- Kim, J.S., and Kim, B.S. (2019). "Characteristics Analysis of Seasonal Construction Site Fall Accident using Text Mining." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 20(3), pp. 113-121.
- Kim, J.M., Lee, J.B., and Chang, S.R. (2017). "Risk Level Analysis of Architectural Work using AHP." *Journal of the Korean Society of Safety*, 32(5), pp. 96-102.
- Kim, K.J., Choi, B.S., and Chun, J.Y. (2016). "Safety Management Factor Analysis of Expert Perceptions Based on 4M Method for Plant Construction Phase." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 17(1), pp. 18-27.
- Korea Construction Standards Center (KSCS) (2020). <www.kcsc.re.kr> (Feb. 24, 2020).
- Korea Institute of Civil engineering and building Technology (KICT) (2019). "Estimating Standards 2019." <<https://cost.kict.re.kr>> (Dec. 15, 2019).
- Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA) (2018). "Fatal accident and Prevention measure in construction." <<http://www.kosha.or.kr/kosha/data/mediaBankMain.do>> (Feb. 24, 2020).
- Lee, J.B., Ro, M.R., and Go, S.S. (2004). "The Property of Building Construction Accident According to the Analysis of Building Accident Cases." *Journal of the Korean Society of Safety*, 19(3), pp. 101-107.
- Li, Q.F., Zhang, P., and Fu, Y.C. (2013). "Risk identification for the construction phases of the large bridge based on WBS-RBS." *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 6(9), pp. 1523-1530.
- López, M.A.C., Ritzel, D.O., Fontaneda, I., and Alcantara, O.J.G. (2008). "Construction industry accidents in Spain." *Journal of safety research*, 39(5), pp. 497-507.
- Ministry of Employment and Labor (2019). A report on industrial accidents in 2018, 2019-05.
- Moon M.W., and Yang K.Y. (1996). "A Study on the Major Construction Accidents Analysis using Work Classification System." *Proceedings of the architectural institute of korea structure & construction conference*, 16(2), pp. 711-713.
- Occupational Safety & Health Research Institute (2018). The Introduction of the OSH Corporate Disclosure System with the focus on how to estimating the direct and indirect costs of work injuries.
- Rozenfeld, O., Sacks, R., Rosenfeld, Y., and Baum, H. (2010). "Construction job safety analysis." *Safety science*, 48(4), pp. 491-498.
- Siami-Irdemoosa, E., Dindarloo, S.R., and Sharifzadeh, M. (2015). "Work breakdown structure (WBS) development for underground construction." *Automation in Construction*, 58, pp. 85-94.
- Sigmund, Z., and Radujković, M. (2014). "Risk breakdown structure for construction projects on existing buildings." *Procedia-Social and Behavioral Sciences*,

- 119, pp. 894-901.
- Suárez-Cebador, M., Rubio-Romero, J.C., and López-Arquillos, A. (2014). "Severity of electrical accidents in the construction industry in Spain." *Journal of safety research*, 48, pp. 63-70.
- Supriadi, L.S.R., Latief, Y., Susilo, B., and Rajasa, M. (2017). "Development of risk-based standardized WBS (Work Breakdown Structure) for cost estimation of apartment's project." *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8, pp. 822-833.
- Sutrisna, M., Ramanayaka, C.D., and Goulding, J.S. (2018). "Developing work breakdown structure matrix for managing offsite construction projects." *Architectural Engineering and Design Management*, 14(5), 381-397.
- Vongpisal, C., and Yodpijit, N. (2017). "Construction accidents in Thailand: Statistical data analysis. King Mongkut's University of Technology North Bangkok." *International Journal of Applied Science and Technology*, 10(1), pp. 7-21.
- Xu, K., Li, H.M., and Lu, S.S. (2014). "Safety Risk Analysis of Box-Culvert Jacking Construction by Using Fuzzy Fault Tree Method Based on WBS-RBS." *In Advanced Materials Research*, 838, pp. 355-359.
- Yang, Y.J., Oh, S.H., and Noh, J.K. (2018). "Risk Assessment of Agricultural Construction Works using Accident Analysis and Analytic Hierarchy Process." *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*, 60(4), pp. 15-25.
- Zhou, Z., Goh, Y.M., and Li, Q. (2015). "Overview and analysis of safety management studies in the construction industry." *Safety science*, 72, pp. 337-350.

요약 : 건설업에서의 재해는 수십 년 동안 다른 산업보다 많이 발생하였기 때문에, 건설업에서의 재해는 반드시 줄여야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 작업분류체계(WBS) 및 위험분류체계(RBS)를 제시하였다. WBS와 RBS는 계층적 구조로 작업 및 위험 단위를 쉽고, 빠르게 찾을 수 있다. 그래서 본 연구에서는 건설업에서의 재해를 예방하기 위해 통합 WBS-RBS 프레임워크를 개발하고자 한다. 연구의 순서 다음과 같은 3단계로 진행되었다. ① 데이터 수집 ② 데이터 분류 ③ 통합 WBS-RBS 프레임워크 개발 순으로 진행되었다. 연구의 결과 가장 사고가 많이 발생한 건물용도, 건설공종 및 재해요인을 제시할 수 있었다. 연구 결과를 통해 의사결정자는 건물용도, 건설공종, 및 재해요인의 위험 수준을 고려할 수 있다.

키워드 : 작업분류체계, 위험분류체계, 중대재해, 통합 작업분류체계-위험분류체계
