

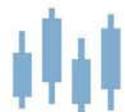


WP 20-01

건설산업재해 감소를 위한 설계안전성검토(DfS)와 건설정보모델링(BIM)의 적용방안



이치주 국토연구원 책임연구원 (cjlee3749@krihs.re.kr)

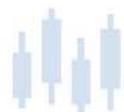


※ 이 Working Paper의 내용은 국토연구원의 공식 견해가 아니며, 저자 개인의 의견입니다. 연구 내용에 대하여 궁금한 점은 저자의 이메일로 문의하여 주시고, 인용 시에는 저자 및 출처를 반드시 밝혀주시기 바랍니다.



차례

01 서론	5
02 건설산업재해 현황	9
03 설계안정성검토(DfS)제도의 국가 간 비교	15
04 DfS제도와 건설정보모델링(BIM)	21
05 결론	29



01 서론

- 2018년 건설산업재해율¹⁾은 전체 산업재해율의 약 29.2%와 사망재해율의 약 15.4%이며 (안전보건공단 2019), 이 비중은 2018년 건설산업의 GDP 비중인 약 5.4%²⁾(국가통계포털 2020)보다 약 2.8배 더 큰 것으로 분석
 - 특히, 사망재해만인율은 미국(0.99‰), 일본(0.94‰), 영국(0.17‰)보다 1.5~8.6배 더 높은 1.47‰으로 조사됨(최수영 2019)
- 정부에서는 건설산업재해를 감소시키기 위하여 ‘공공기관 작업장 안전강화 대책(관계부처합동 2019)’과 ‘건설현장 추락사고 방지대책(국토교통부 2019)’을 발표
 - 공공기관 작업장 안전강화 대책에서는 안전경영과 사고예방, 위험책임, 안전 인프라를 4대 추진전략으로 내세워 2022년까지 산업재해 사고 사망자의 60% 감축을 목표로 함
 - 건설현장 추락사고 방지대책은 계획단계와 시공단계, 안전문화 정착단계로 분류하여 세부전략이 수립되어 있으며, 2022년 건설현장 추락사고 사망자의 50% 감축을 목표로 함
- 건설산업재해율을 감소시키기 위해서 정부에서는 설계안전성검토(Design for Safety: DfS) 제도를 수립(건설공사안전관리 종합정보방 2019)
 - DfS 제도는 시공단계의 위험요소를 설계단계에서 인지한 후, 위험성 평가와 저감대책 수립, 그리고 변경된 사항의 설계 반영을 통해 위험요소를 설계단계에서부터 저감시키는 것을 목표로 함
- 하지만, DfS는 다음과 같은 한계로 활성화되지 못하고 있음(성주현 외 2017; 김정원·유정호 2019; 김용구 2019)

1) 안전보건공단 산업재해현황분석의 분류기준에 따라, 본 연구에서의 건설안전사고는 업무상사고에 의한 재해율(=(재해자수/근로자수)×100)과 업무상사고에 의한 사망재해만인율(=(사망자수/근로자수)×10,000)로 분류하여 조사.

2) 명목 GDP를 사용하여 계산한 것으로, 실질 GDP(4.76%)를 적용했을 경우에는 건설산업재해율이 건설 GDP보다 약 3.2배 이상 더 큰 것으로 계산됨.

- 설계자는 산업안전에 관련한 정규교육을 받지 못하여 안전관리에 대한 전문성 부족과 시공단계에 대한 지식이 부족
- 기존의 설계업무에서 안전관리업무가 추가되므로, 설계단계의 업무범위 증가로 인한 추가비용이 요구됨
- 계획설계단계에서는 DfS를 수행하지 않고 실시설계 이후 단계에서 DfS를 수행하므로, 실질적으로는 DfS 보고서만 작성하는 수준에 머무름
- 안전관리전문가 혹은 시공자와 협업 없이 설계자가 독립적으로 DfS를 수행하는 경우가 많으므로, 낮은 업무 효율성과 DfS 결과의 신뢰성이 부족
- DfS 수행 결과를 시공단계에 이행하기 위해서는 기존의 안전관리 방안인 안전관리계획서, 유해·위험방지계획서, 시공계획서와 연계가 되어야 하지만, 부족한 상황
- 건설공사의 계약업무와 구매업무, 공사기간 산정에서는 DfS를 반영하지 않고 있어서 건설공사 전체에 미치는 영향이 크지 않음

■ 위에서 설명한 DfS의 한계점 대부분은 제도적 문제이지만, 설계자의 산업안전관리에 대한 지식부족과 안전·시공전문가와의 협업부족 문제는 스마트건설기술의 적용으로 보완 가능

■ 본 연구에서는 설계자에게 안전관리지식을 제공하고 전문가와의 협업을 향상시키기 위해 DfS 제도의 촉진과제를 제안

- DfS 촉진과제는 스마트건설기술의 적용과 제도적 지원으로 분류하여 제안

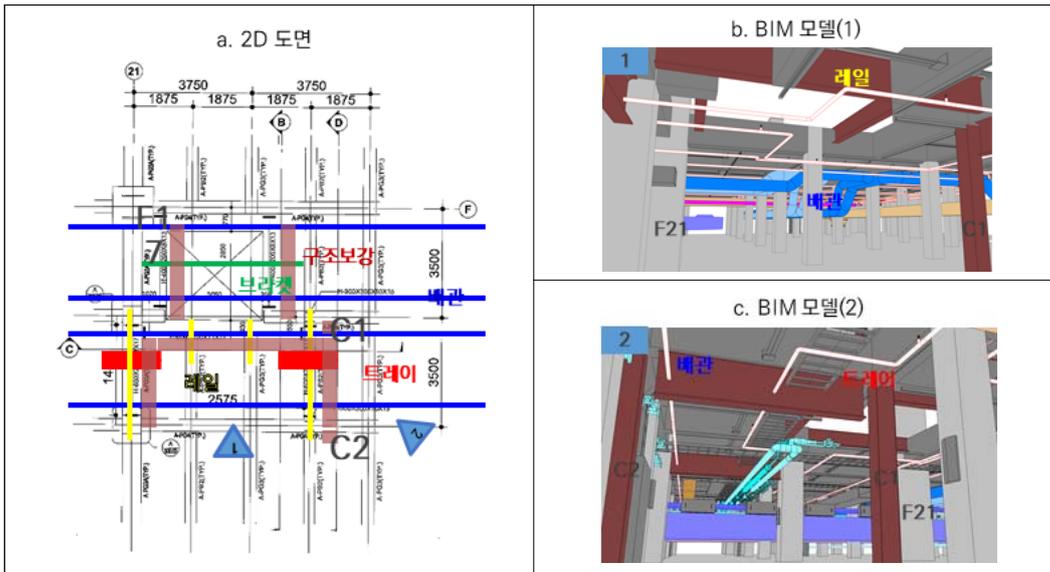
■ 먼저, 대표적인 스마트건설기술 중의 하나인 건설정보모델링(Building Information Modeling: BIM)을 DfS에 적용하는 방안을 제안

■ 다음으로, DfS 제도 촉진을 위한 제도적 지원방안을 해외사례 벤치마킹을 통해 도출한 지원방안과 관련된 공사발주량의 증가방안으로 분류하여 제안

- BIM은 건설사업의 생애주기(life cycle)에 포함되는 기획단계에서부터 설계, 시공, 유지관리 및 철거단계에서 생성된 모든 정보를 3D 모델에 저장하여 시설물을 통합 관리하는 것으로 정의할 수 있음(이치주 외 2009)
- <그림 1>은 기존 2D 도면과 BIM모델을 비교한 것이며, 그림 1(a)는 2D 도면이고, 그림 1(b)는 그림 1(a)의 ▲로 표시된 부분의 BIM 모델, 그림 1(c)는 그림 1(a)의 ▼로 표시된 부분의 BIM 모델

- <그림 1>에서 보는 바와 같이, BIM 모델은 2D 도면에 비하여 각 객체를 쉽게 인지할 수 있으므로, 공사관리의 효율성 및 경제성을 향상시키는 장점이 있음
- 국토교통부의 스마트건설기술로드맵에서도 설계단계에서 BIM을 적용하는 스마트설계를 통해 건설생산성 향상을 목표로 함(국토교통부 2018)

그림 1 2D 도면과 BIM 모델 비교

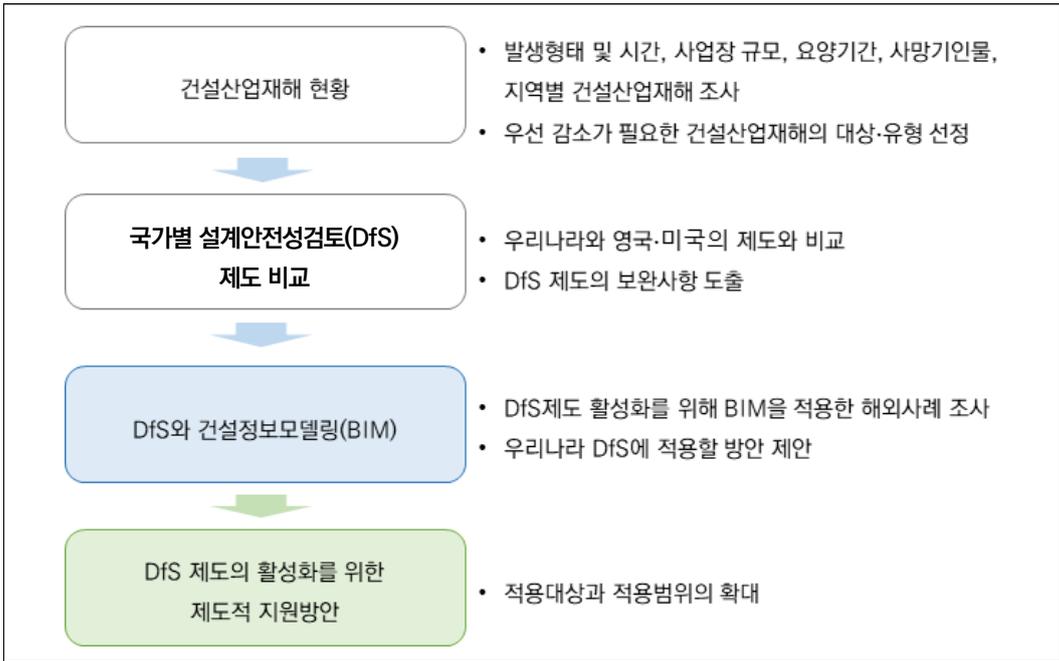


출처: 연우테크놀러지(<http://yunwootech.com/>) 자료를 기반으로, 연구자 작성.

■ 본 연구의 구성은 아래와 같이 크게 네 단계로 분류할 수 있음(그림 2) 참조

- 건설산업재해를 발생형태별 및 시간별, 사업장 규모별, 요양기간별, 사망기인물별, 발생지역별로 분류하여 조사하여, 우선적으로 감소시킬 건설산업재해의 대상과 유형 선정
- 우리나라 Dfs 제도를 설명한 후, 영국과 미국의 설계안전성검토 제도와 비교하여 Dfs에서 보완이 필요한 사항 도출
- Dfs 제도를 촉진시키기 위해, 스마트건설기술 중에서 BIM을 Dfs에 적용하는 해외사례를 조사하여 우리나라 Dfs 제도에 적용방안 제안
- 마지막으로, Dfs 제도를 촉진시키기 위한 제도적 지원방안을 Dfs 적용대상과 적용범위의 확대 측면에서 제안

그림 2 연구의 구성



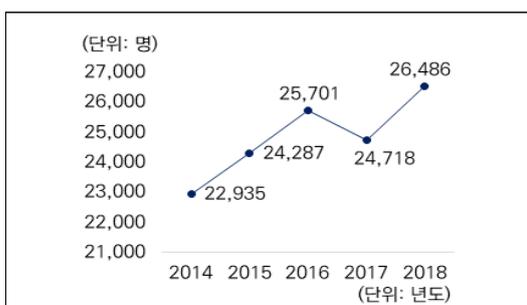
출처: 연구자 작성

02 건설산업재해 현황

■ 건설기술은 발전하지만, 건설산업 재해자와 사망자 수는 오히려 증가하는 추세

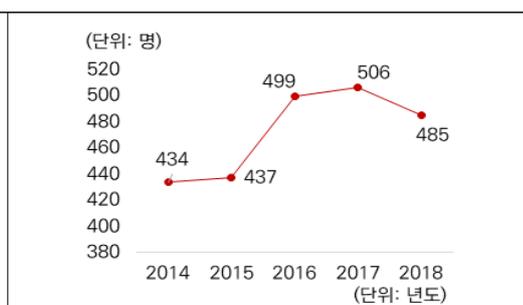
- 건설산업 재해자 수는 2017년에 감소하였지만 2014년부터 증가하고 있는 추세이며, 사망자 수는 2018년에 감소하였지만 2014년부터 증가하고 있는 추세

그림 3 건설 재해자 수(2014-2018)



출처: 산업재해현황분석(2014-2018)기반, 저자 작성.

그림 4 건설 사망자 수(2014-2018)

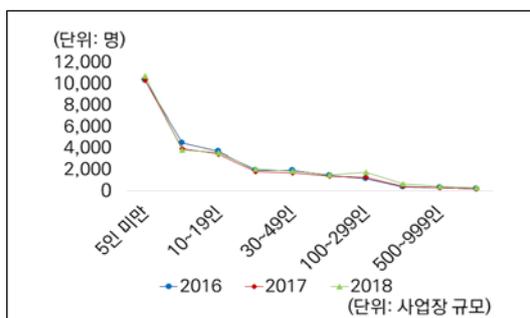


출처: 산업재해현황분석(2014-2018)기반, 저자 작성.

■ 5인 미만의 사업장에서 발생하는 재해자 및 사망자 수가 가장 컸으며, 사업장 규모가 증가할수록 재해자 수와 사망자 수가 감소하는 것으로 조사

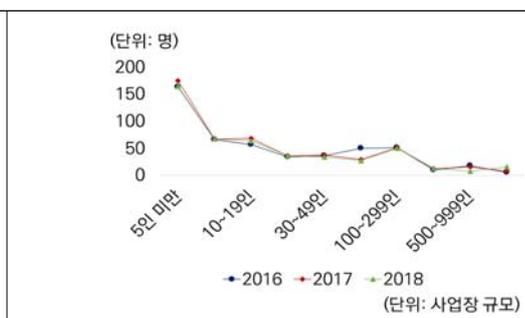
- 5인 미만 사업장의 재해자 수는 전체 건설산업 재해자 수의 약 41%이고, 사망자 수는 약 34%로 조사(2016~2018)
- 따라서 소규모 사업장에서 건설산업재해를 감소시킬 방안이 필요

그림 5 사업장규모별 재해자 수(2016-2018)



출처: 산업재해현황분석(2014-2018)기반, 저자 작성.

그림 6 사업장규모별 사망자 수(2016-2018)



출처: 산업재해현황분석(2014-2018)기반, 저자 작성.

- 국토교통부에서도 소규모 공사에서 발생하는 추락사고를 감소시키기 위해 안전관리계획서 작성과 불시점검의 범위를 소규모 공사까지 확대하고, 안전성이 검증된 일체형 작업발판을 지원하고 있음(국토교통부 2019)

■ 건설재해자 수와 사망자 수가 많이 발생하는 시간은 점심식사 시간 전인 10시에서 12시 사이로 조사되었으며, 작업시간대별 차이는 사망자 수보다 재해자 수가 더 큰 것으로 조사

- 웨어러블 센싱 기술과 같이 작업자의 생체변화 감지 및 경고를 나타낼 수 있는 스마트건설기술을 적용한다면, 점심시간 전후에 발생하는 산업재해를 감소시킬 수 있을 것으로 기대됨

그림 7 발생시간별 재해자수(2014-2018)

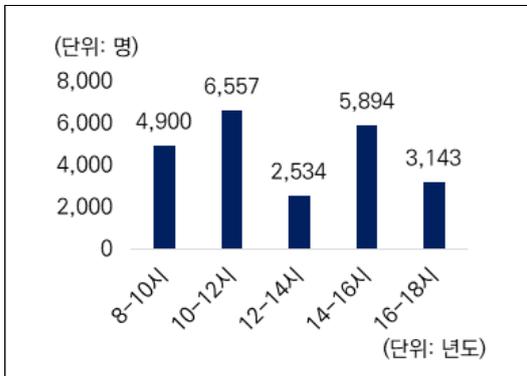
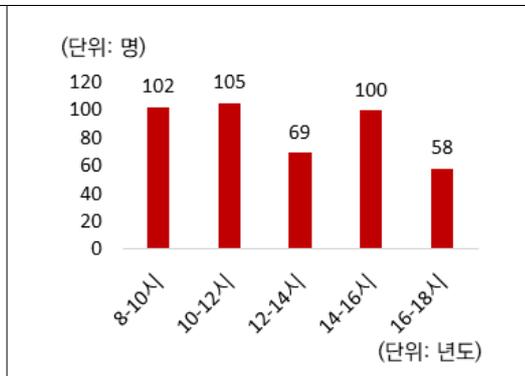


그림 8 발생시간별 사망자수(2014-2018)



출처: 산업재해현황분석(2014-2018)기반, 저자 작성.

출처: 산업재해현황분석(2014-2018)기반, 저자 작성.

■ 건설산업재해의 발생원인 중, 떨어짐이 가장 빈번하게 발생하는 것으로 조사됨

- 재해자 수에서는 떨어짐과 함께, 넘어짐, 물체에 맞음, 절단·베임·찢림, 부딪힘, 끼임이 주요 원인이었으며, 사망자 수에서는 떨어짐과 함께 부딪힘, 깔림·뒤집힘, 무너짐, 물체에 맞음, 끼임이 건설산업재해의 주요 원인으로 조사

표 1 발생형태별 평균 사망자수(2014-2018)

발생형태	사망자수
떨어짐	272
부딪힘	45
물체에 맞음	30
무너짐	31
깔림·뒤집힘	26

출처: 산업재해현황분석(2014-2018)기반, 저자 작성.

표 2 발생형태별 평균 재해자수(2014-2018)

발생형태	재해자수
떨어짐	8,533
넘어짐	3,768
부딪힘	2,215
물체에 맞음	3,167
절단·베임·찢림	2,611

출처: 산업재해현황분석(2014-2018)기반, 저자 작성.

- 건설산업 재해자는 29일 이상의 요양이 필요한 경우가 많은 것으로 조사(〈그림 9〉 참조)
 - 업무상사고 이후 91일에서 180일의 요양이 필요한 재해자가 가장 많았으며, 6개월 이상의 장기요양이 필요한 재해자도 많은 것으로 나타남
- 사망자가 발생한 건설산업재해의 원인을 기인물을 기준으로 분류하면 사망사고는 가설건축구조물, 동력크레인, 건설용기계, 운반차량에 많이 기인하는 것으로 조사됨(〈그림 10〉 참조)
 - 〈그림 10〉은 업무상사고 사망자의 기인물 21개 중에서 가장 빈번히 발생하는 5개 기인물을 나타낸 것이며, 가설건축구조물에 의한 업무상사고 사망자가 크게 많음
 - 가설건축구조물에서는 비계와 건축구조물, 지붕·대들보, 개구부에 의한 사망사고가 가장 많았으며, 동력크레인에는 타워크레인과 이동식 크레인이 가장 많음
 - 건설용 기계에는 버킷굴삭기³⁾, 운반차량에는 특장차⁴⁾와 콘크리트 믹서차가 주요 기인물임

그림 9 건설 재해자의 요양기간(2014-2018) **그림 10** 사망사고 기인물(2014-2018 평균)



출처: 저자 작성.

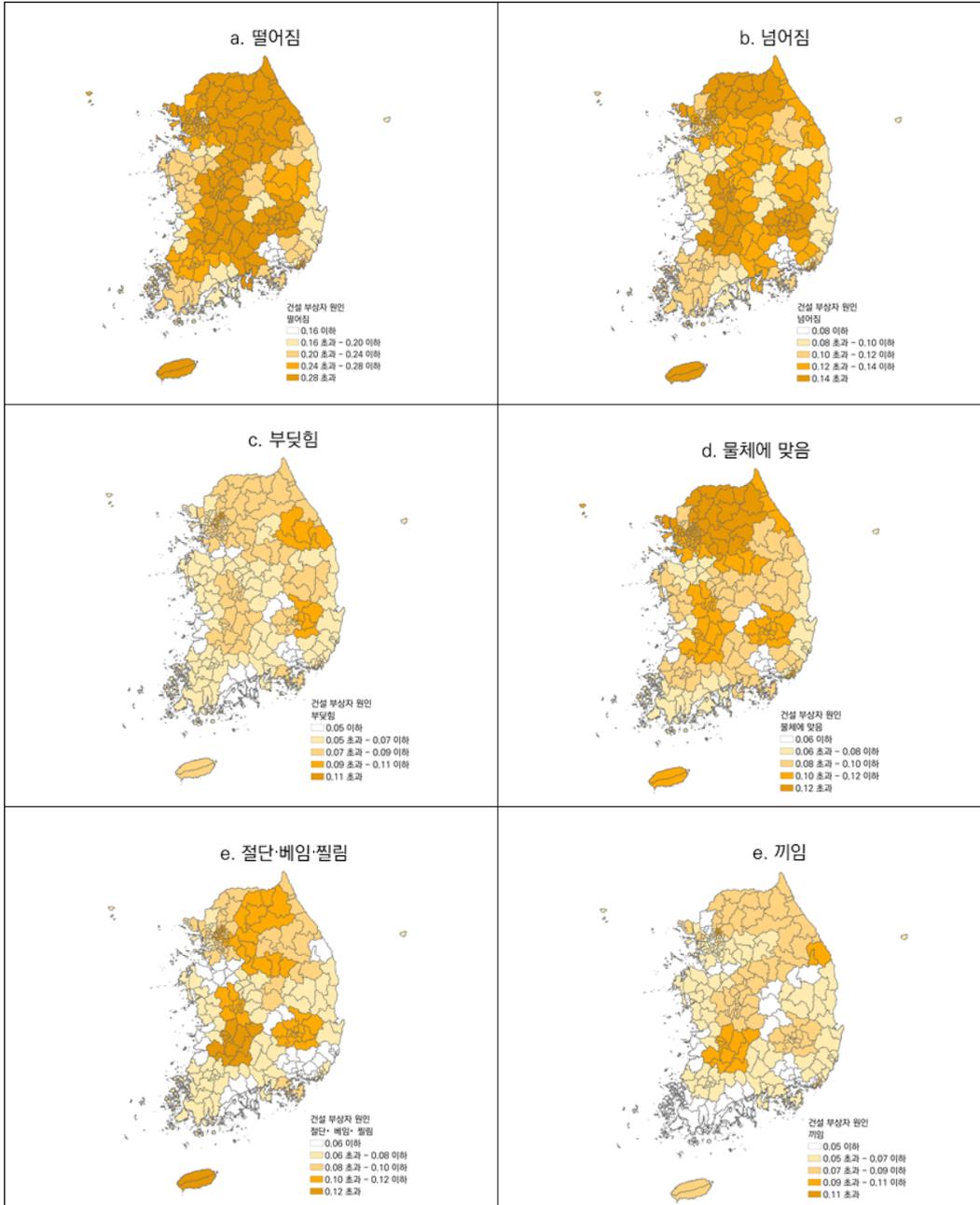
출처: 저자 작성.

- 건설산업 재해자 재해율(〈그림 11〉 참조)과 사망자 재해율(〈그림 12〉 참조)을 지역별로 분석한 결과, 일부지역에서 편차가 있는 것으로 나타남
 - 지역별 편차의 원인분석은 본 연구의 범위에 포함되지 않으며, 원인분석을 위해서는 추가연구가 필요
- 최근 5년(2014~2018) 동안의 건설산업재해를 조사한 결과를 정리하면, 소규모사업장과 떨어짐 사고, 점심시간 전의 작업, 그리고 가설건축구조물에서 건설산업재해가 가장 많이 발생하는 것으로 조사됨

3) 버킷굴삭기는 버킷을 순환시키면서 연속적으로 토사를 굴삭하고 이를 운반차에 실어 담는 것으로, 버킷은 흙·모래를 담아 운반하는 강철제 용기이며, 굴삭기는 토사·암석을 파거나 깎기 위해 사용되는 건설기계(네이버 지식백과 2020).
 4) 특장차는 특수한 장비를 갖추어 특수한 용도에 쓰는 자동차(네이버 국어사전 2020).

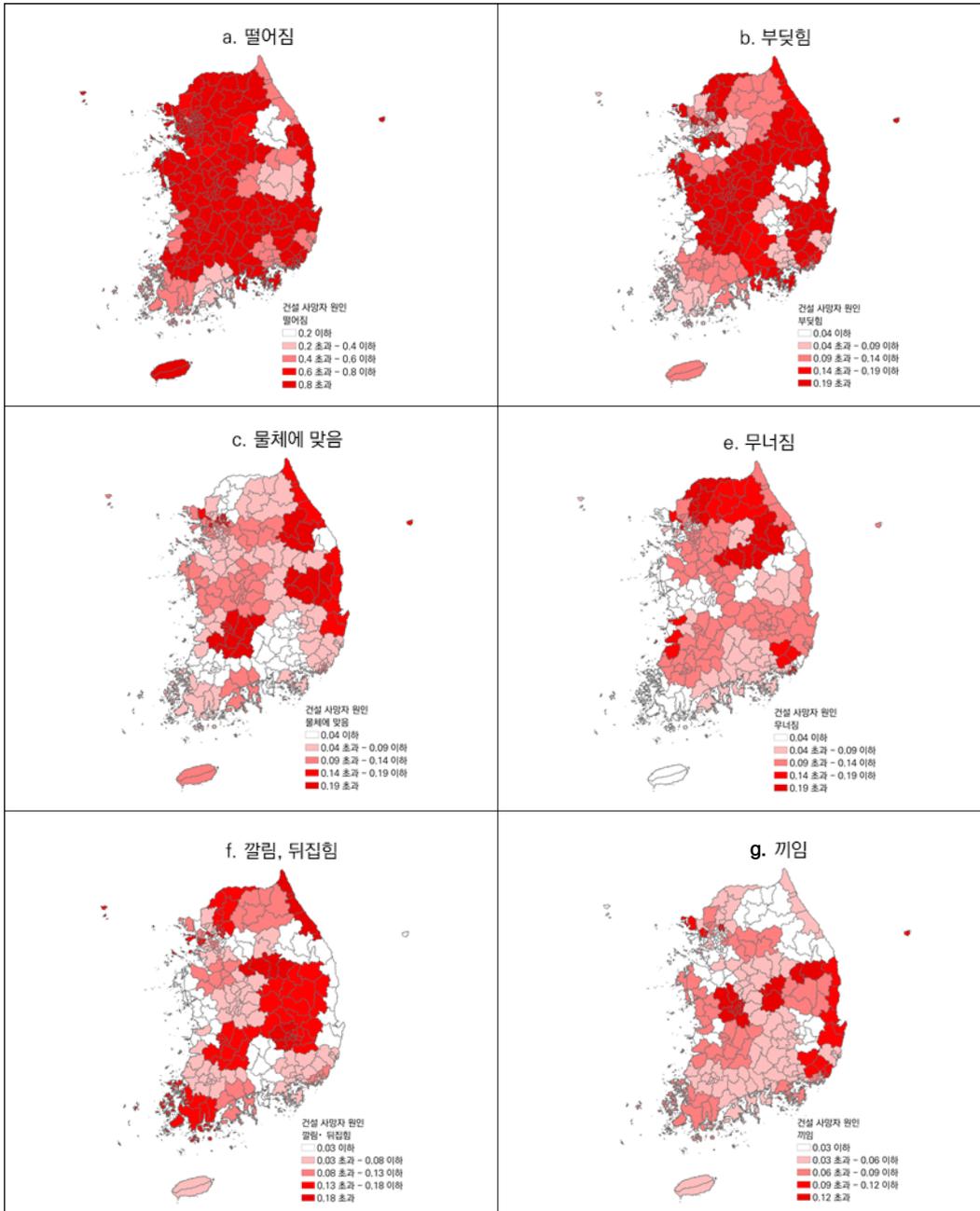
- 따라서 이들의 건설산업재해를 우선적으로 감소시킬 필요가 있으며, 특히 소규모사업장의 재해를 감소시키기 위한 제도적 지원방안이 필요

그림 11 지역별·발생형태별 건설산업 업무상사고 재해율(2014~2018)



출처: 저자 작성.

그림 12 지역별·발생형태별 건설산업 업무상사고 사망재해율(2014~2018)



출처: 저자 작성.

03 설계안전성검토(DfS) 제도의 국가 간 비교

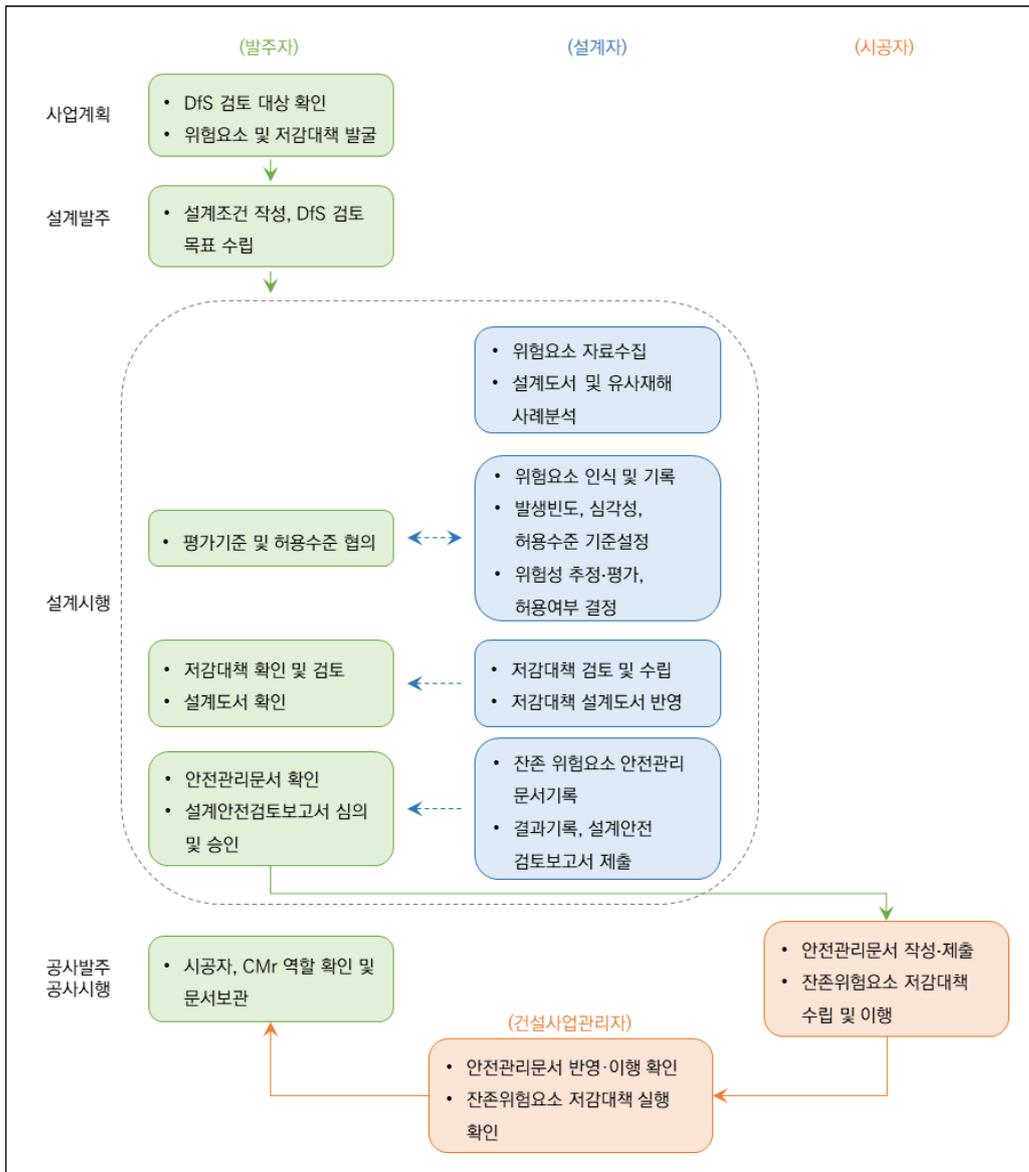
1) 우리나라 설계안전성검토(Design for Safety: DfS)⁵⁾ 제도

- 국토교통부(2017)는 「설계 안전성 검토 업무 매뉴얼」을 통해서 DfS 보고서의 작성 절차에 대해서 설명하고 있음
 - 안전관리계획 수립 대상 공사에서 발주자가 정한 시기 혹은 실시설계 공정률 80%인 단계에서 설계자는 DfS 보고서를 작성하여야 함
 - 발주자의 기술자문위원회 혹은 한국시설안전공단에 DfS 보고서를 제출하여 검토 받아야 함
- DfS 제도의 참여자는 발주자와 설계자, 건설사업관리자, 그리고 시공자이며, 주요 업무내용은 <그림 13>과 같음
 - 발주자는 DfS 과정을 총괄관리하여야 하며, 세부적으로는 설계자의 DfS 보고서 작성에 필요한 자료와 위험요소의 도출에 필요한 정보를 제공하여야 하고, 작성된 DfS 보고서의 검토 및 승인 업무를 수행하여야 함
 - 설계자는 DfS 보고서를 작성할 때, 설계서·과업지시서의 설계조건과 설계기준, 표준시방서를 사용하여 건설안전에 영향을 미치는 위험요소를 설계과정에서 도출하여야 함. 그 후, 위험요소를 제거·감소시킬 수 있는 저감대책도 마련하여야 함
 - 시공자는 발주자가 확인할 수 있도록 안전관리문서를 작성·제출하고, 설계단계에서 제거하지 못한 잔존 위험요소의 저감대책을 수립·이행하여야 함. 그 결과를 건설사업관리자에게 전송하는 역할도 수행
 - 건설사업관리자는 시공자가 작성한 안전관리문서와 시공단계에서의 이행여부, 그리고 저감대책의 실행여부를 확인하여 발주자에게 전송하는 역할을 수행

5) DfS에 관련 근거

- 건설기술진흥법. 2020. 법률 제17091호(3월 24일 타법개정). 제62조(건설공사의 안전관리)
- 건설기술진흥법 시행령. 2020. 대통령령 제30509호(3월 3일 타법개정) 제75조의2(설계의 안전성 검토)

그림 13 설계안전성검토(Design for Safety: DfS) 참여자별 업무내용



출처: 건설공사안전관리종합정보망(https://www.csi.go.kr/por/about_smp_001.do)의 내용을 기반으로, 저자 작성

■ 설계단계에서 설계자는 위험요소 프로파일을 사용하여 위험요소를 인지하고, 그 위험요소의 발생빈도와 심각성을 평가. 이를 위험성 평가라고 함(건설공사안전관리 종합정보망 2020)

- 위험요소 프로파일은 공종별로 위험요소를 분류한 표준자료이며, 건설현장의 공사 목적물, 주변 건축물, 가설구조물의 안전, 그리고 작업자의 안전을 저해하는 위험요소의 발생 가능성을 인지하는 것을 목표로 함⁶⁾

6) 위험요소 프로파일에 관련한 근거

- 국토교통부 고시. 제2020-47호. 건설공사 안전관리 업무수행 지침 제4조(사업관리 단계), 제12조(설계시행 단계)

- <표 3>은 건축공사와 토목공사의 위험요소 프로파일을 예를 들어 나타낸 것으로, 토목공사 중에서 옹벽 공사의 위험요소는 성토사면이며, 경사도가 불량할 경우 옹벽이 무너짐으로 인하여 작업자가 깔릴 위험이 있음
- 발생빈도와 심각성의 수준은 둘 다 5단계 중에서 3으로 평가되었으므로, 위험성 등급은 9로 계산됨
- 위험요소 저감대책으로, 설계자는 지반조건을 반영한 공법을 기준으로 설계도면을 작성해야 하며, 발주자는 지반조사와 적용한 공법의 비용을 공사비용에 포함시켜 주어야 함
- 시공자는 지반조건을 확인하고 시방서의 공법을 준수해야 하며, 건설사업관리자는 시공자가 확인한 지반조건과 적용하고자 하는 공법의 적합성을 확인하여야 함

표 3 위험요소 프로파일의 예

종류	공종	위험요소			위험성					
		객체	위치	작업	원인	물적 피해	인적 피해	빈도	심각	등급
건축	리모델링	슬래브	하부	보강	구조검토 미흡	무너짐	깔림	2	4	8
건축	굴착공사	흙막이	상부	굴착	설계불량	무너짐	없음	2	4	8
토목	옹벽공사	성토사면	인접	다짐	경사도 불량	무너짐	깔림	3	3	9
토목	관로공사	굴착면	하부	노면정리	경사도 불량	무너짐	깔림	3	3	9

종류	공종	위험요소 저감대책			
		설계	발주	시공	사업관리감독
건축	리모델링	<ul style="list-style-type: none"> 해체계획 수립 철거단계별 구조안전성 검토 보강설계 	<ul style="list-style-type: none"> 철거 및 리모델링 공사 통합발주 	<ul style="list-style-type: none"> 구조검토 결과에 따른 보강 등 상세도 작성 시공순서 준수 	<ul style="list-style-type: none"> 시공상세도에 따른 시공상태 확인
건축	굴착공사	<ul style="list-style-type: none"> 지반조건과 주변 환경, 상재하중, 작업하중을 반영 설계조건을 도면과 시방서에 표기 	<ul style="list-style-type: none"> 상세 지반조사 	<ul style="list-style-type: none"> 공법에 따른 시공 상세도 작성 시공순서 준수 	<ul style="list-style-type: none"> 도면, 시방서, 시공상태 확인
토목	옹벽공사	<ul style="list-style-type: none"> 지반 조건을 반영한 공법을 기반으로 한 설계도면 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 지반조사 및 그 공법 비용을 포함하여 발주 	<ul style="list-style-type: none"> 시방서 공법 준수 지반조건 확인 	<ul style="list-style-type: none"> 현재의 지반조건 및 적용공법에 대한 일치 확인
토목	관로공사	<ul style="list-style-type: none"> 굴착면 안전성 및 흙막이 검토 그 결과에 따른 도면작성 	<ul style="list-style-type: none"> 굴착면 안전성 및 흙막이 검토 비용을 포함하여 발주 	<ul style="list-style-type: none"> 시공상세도면 작성 굴착면 구배 확보 조립식 흙막이 설치 	<ul style="list-style-type: none"> 굴착면 안전성 및 굴착면 경사 확인

출처: 건설공사안전관리종합정보망(https://www.csi.go.kr/por/about_smp_001.do)의 내용을 기반으로, 저자 작성

■ 건설산업재해를 감소시키기 위해서 기존에 「건설기술진흥법」의 안전관리계획서⁷⁾와 「산업안전보건법」의 위험성 평가⁸⁾, 그리고 유해·위험방지계획서⁹⁾가 수립되어 있으므로, DfS 제도를 촉진시키기 위해서는 이들과의 연계가 필요

- 안전관리계획서는 건설사업자가 착공 전에 시공과정의 위험요소를 인지하고, 산업재해를 예방하기 위해서 해당 건설현장에 적합하게 작성하는 계획서
- 위험성평가는 사업주가 사업장의 유해·위험요인을 인지하여 부상과 질병의 발생 가능성, 그리고 위험의 중대성 분석·저감대책 수립을 통해 산업재해를 예방하는 것
- 유해·위험방지계획서는 제품생산과 직접적으로 관련된 건설물, 기계, 기구·설비를 설치하고, 이전 및 주요 구조를 변경할 때에 산업재해를 예방하기 위해서 작성하는 계획서

2) 우리나라 DfS와 영국 및 미국의 설계안전성검토 제도의 주요 차이점

■ 영국의 설계안전성검토 제도는 CDM(Construction Design and Management)이며, 2015년에 개정됨(Health and Safety Executive 2020; 김용구 2019)

- CDM 2015에서는 건설안전 및 보건의 설계단계에서부터 확보되도록 하기 위하여, 건설안전 확보방안을 설계자의 역할로 부여
- 기획단계에서부터 전문성을 가진 안전관리자와 설계자가 협업하여, 해당 건설공사 및 현장의 특징을 고려하여 계획하도록 함
- 소규모 공사에서도 CDM 2015의 적용을 의무화하여, 건설산업의 안전관리 적용대상과 범위를 확대

■ 미국의 설계안전성검토 제도는 PtD(Prevention through Design)이며, 설계단계에서 위험요소를 제거하기 위해 도입(National Institute for Occupational Safety and Health 2020)

- 영국과 유사하게 다양한 전문가의 건설사업 초기 참여와 소규모 건설공사에서도 설계안전성검토 제도의 적용 확대를 목표로 함

7) 안전관리계획서에 관련한 근거

- 건설기술진흥법 시행령. 2020. 대통령령 제30509호(3월 3일 타법개정). 제99조(안전관리계획의 수립기준)
- 건설기술진흥법 시행규칙. 2020. 국토교통부령 제709호(3월 18일 일부개정). 제58조(안전관리계획 수립기준)

8) 위험성평가에 관련한 근거

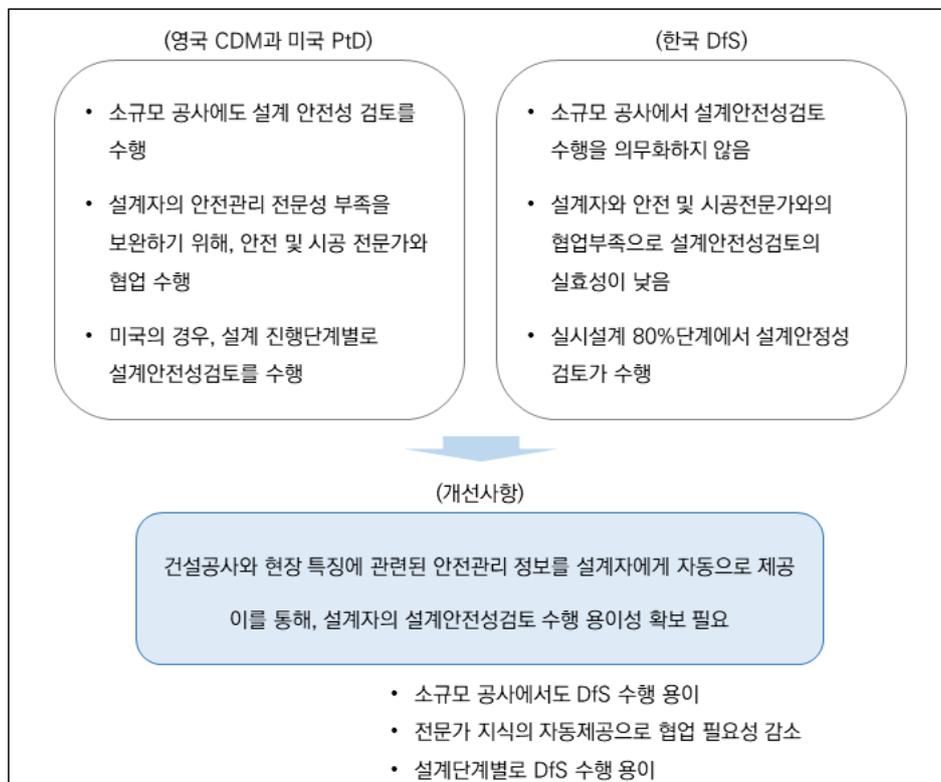
- 산업안전보건법. 2020. 법률 제17187호(3월 31일 일부개정). 제36조(위험성평가의 실시),
- 고용노동부 고시. 2020. 제2020-53호(사업장 위험성 평가에 관한 지침)

9) 유해·위험방지계획서에 관련한 근거

- 산업안전보건법. 2020. 법률 제17187호(3월 31일 일부개정). 제42조(유해·위험방지계획서의 작성·제출 등)
- 산업안전보건법 시행령. 2020. 대통령령 제30509호(3월 3일 타법개정) 제42조(유해·위험방지계획서 제출 대상)
- 산업안전보건법 시행규칙. 2020. 고용노동부령 제272호. 제42조(제출서류 등)

- 개념설계 단계부터 주요 설계 진행단계(30%, 60%, 90%)에서 설계안전성검토를 반복적으로 수행하는 것이 특징
- 우리나라 DfS와 영국 및 미국의 설계안전성검토 제도의 차이점은 크게 세 가지로 분류할 수 있음(그림 14) 참조)
- 영국과 미국은 소규모 공사에서도 설계안전성 검토를 수행하도록 요구하지만, 우리나라는 소규모 공사에서 건설산업재해가 가장 많이 발생함에도 불구하고, DfS 수행을 의무화하지 않음
 - 우리나라 DfS에서도 설계자와 안전 및 시공전문가와의 협업이 이루어지는 것을 요구하고 있지만, 실질적인 협업이 이루어지기 어려운 현실적 문제가 존재
 - 미국과 같이 주요 설계단계별로 안전성검토가 수행된다면 건설산업재해를 감소시킬 가능성이 높아질 수 있지만, 우리나라는 일반적으로 실시설계 80%단계에서 DfS가 수행되는 차이가 있음

그림 14 영국·미국 설계안전성검토 제도와의 비교를 통한 우리나라 DfS의 개선방안



출처: 저자 작성

■ 즉, DfS의 적용을 촉진시키기 위해서는 설계자가 DfS를 수행하기 용이한 환경을 조성하는 것이 중요함

- 하지만 소규모 공사에서 DfS 적용의 어려움과 기획단계부터 다양한 전문가가 참여하기 어려운 점, 그리고 DfS 수행빈도의 증가는 소요비용과 소요시간 측면에서 현실적 어려움이 존재

■ 건설안전관리 기준 혹은 정보를 사용자에게 자동으로 전달할 수 있는 방안이 필요

- 스마트건설기술 중의 하나인 BIM의 적용을 통해 설계자에게 건설산업 안전관리 기준과 관련 정보를 전달할 수 있을 것으로 기대

04 Dfs 제도와 건설정보모델링(BIM)

- 대표적인 스마트건설기술에는 BIM, 클라우드, 사물인터넷, 데이터 고급분석(빅데이터, 인공지능, 머신러닝), 증강현실, 가상현실, 모듈러, 3D 프린팅, 로봇틱스, 지능형 건설장비, 무인항공기(드론)가 포함될 수 있음(이광표 외 2019)
 - 이들 중에서 국내 건설기업이 가장 많이 활용하는 스마트건설기술은 BIM과 드론이며, 특히 BIM은 조달청에서 의무적용 대상을 확대함에 따라서 그 활용도가 더욱 증가할 것으로 예상(〈표 4〉 참조)¹⁰⁾
 - 본 연구에서는 BIM을 설계안전성검토 수행에 적용하는 방안을 조사하여, 우리나라 Dfs의 촉진과제를 도출하고자 함

표 4 맞춤형서비스 설계관리 사업의 BIM 적용(안)

총 사업비 규모(원)	설계단계		적용범위
	현행	개선	
300억 이상	계획·중간·실시	계획·중간·실시	모든 공종 ^{주)}
200억~300억 미만	계획	계획·중간·실시	건축, 구조
100억~200억 미만	계획	계획	건축

주: 모든 공종에는 건축, 구조, 기계, 토목(대지)이 해당되며 전기, 조경은 사업에 따라 선택 적용
 출처: 조달청. 2020. 조달청, 건설정보모델링(BIM) 확대 지속: 공공청사 등 중소규모 사업 ... 설계단계 적용 강화. 2월 4일. 보도자료.

10) 시설공사 맞춤형서비스는 시설분야 전문 인력이 없거나 시설공사 수행 경험이 없어 사업추진에 어려움이 있는 기관의 요청에 따라 건설사업 추진과정(기획, 설계관리, 심의대행, 공사관리, 사후관리 등) 전체 또는 일부를 대행하는 조달청의 전문 건설사업 관리 서비스(조달청. 2020.

https://www.pps.go.kr/kor/jsp/business/installation_work/manage_work.pps (2020년 4월 6일 검색))

1) 설계안전성검토에 BIM을 적용한 선행연구 고찰

- 설계안전성검토의 효율성 향상을 위해 BIM을 적용한 선행연구는 ① 건설산업 안전관리기준에 따라서 설계자가 설계업무를 수행할 수 있도록 도움을 줄 수 있는 방안을 제안하거나 (Kyungki Kim et al. 2016, Md. Aslam Hossain et al. 2018, Jingfeng Yuan et al. 2019, Meng Li et al. 2018a and 2018b, Sijie Zhang et al. 2015), ② 설계자에게 안전관리기준을 제공하기 위한 규약을 수립(Chung Ho et al. 2020), ③ 작업자의 작업행위에서 발생할 수 있는 위험을 확인할 수 있는 방안의 제안(Alireza Golabchi et al. 2018), ④ 건설산업의 주요 재해 원인을 도출하는 연구(Hassan Malekitabar et al. 2016)로 분류할 수 있음(표 5) 참조)

표 5 설계안전성검토에 BIM을 적용한 선행연구의 주요 내용

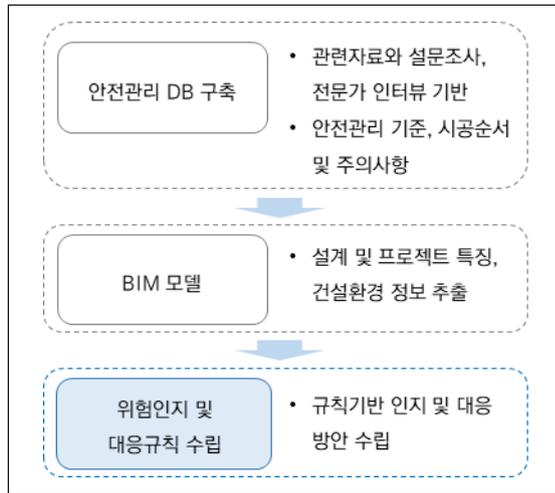
저자	주요 내용	적용 방법
Jingfeng Yuan et al. (2019)	• 일반적인 건설공사에서 설계자의 안전성 검토를 지원하는 방안 제안	<ul style="list-style-type: none"> • 지식기반의 안전관리 데이터베이스 • BIM모델에서 안전정보 추출 • 건설위험인지 규칙 및 대응규칙 수립
Kyungki Kim et al.(2016)	• 가설구조물 설계의 안전을 설계자가 검토할 수 있는 방안 제안	
Md. Aslam Hossain et al.(2018)	• 철골 빔(beam) 설치의 안전성을 설계자가 검토할 수 있는 방안 제안	
Meng Li et al.(2018a)	• 건설안전위험을 인지하는 프로세스 제안	
Meng Li et al.(2018b)	• 설계단계에서 건설위험이 확인될 때, 설계자에게 경고하는 방안 제안	
Sijie Zhang et al.(2015)	• 슬래브공사의 추락사고 원인을 설계단계에서 제거하는 방안 제안	
Alireza Golabchi et al. (2018)	• 건설자재를 옮길 때, 작업자에게 발생할 수 있는 인체공학적 위험을 확인하고, 처리방안 제안	<ul style="list-style-type: none"> • 인체공학 시뮬레이션을 통해 작업자 안전관리
Chung Ho et al (2020)	• 주거건물에 태양에너지활용 시스템을 설치할 때, 작업자의 안전관리를 위한 규약(protocol) 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 설문조사와 인터뷰를 통한 작업규약 수립
Hassan Malekitabar et al.(2016)	• 추락사고, 위험한 운행, 질식, 붕괴 위험의 주요 원인 도출	<ul style="list-style-type: none"> • 선행연구, 설문조사를 통한 위험원인 도출

출처: 저자 작성.

- 설계자에게 부족한 안전관리 전문지식과 설계단계에서 현실적으로 어려운 안전 및 시공전문가와와의 협업에 도움을 줄 수 있는 방안을 선행연구에서 제안하였으며, 그 방안은 크게 세 단계로 구성(Kyungki Kim et al. 2016; Md. Aslam Hossain et al. 2018; Jingfeng Yuan et al. 2019; Meng Li et al. 2018a, 2018b; Sijie Zhang et al. 2015)

- 문헌고찰과 전문가 인터뷰, 설문조사를 통하여 안전관리 전문지식을 위한 데이터베이스 구축
- 해당 건설사업의 BIM 모델에서 설계정보와 프로젝트의 특징, 그리고 주변 건설환경 정보를 추출
- 건설공사에서 발생 가능한 위험을 인지하는 규칙과 그에 따른 대응규칙을 수립

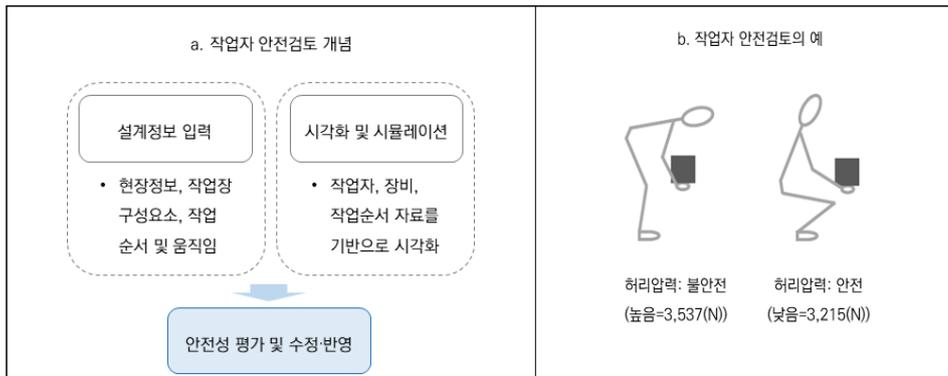
그림 15 설계자 안전성검토 지원 방안



출처: 저자 작성.

- 작업자의 작업행위에서 발생할 수 있는 인체공학적 위험(ergonomic risk)을 확인하고, 그 위험을 설계안전성검토 과정에서 해결할 수 있는 방안 제안(Alireza Golabchi et al. 2018)
 - 제안된 방법은 입력된 설계정보와 작업순서, 그리고 작업자의 움직임 정보를 사용하여 작업자의 인체공학적 위험제거를 목표로 함¹¹⁾

그림 16 작업자 인체공학적 안전검토방안



출처: Alireza Golabchi et al.(2018)의 연구를 기반으로, 연구자 작성

11) Alireza Golabchi et al.(2018)에 의해 제안된 작업자의 인체공학적 위험성 평가는 현재의 기술력에서는 수작업이 많이 필요할 것으로 예상되어, 현재보다는 향후에 적용하는 것이 실효성 있을 것으로 판단

■ 설계자에게 안전관리 가이드를 제공하기 위해서 선행연구에서는 특정 공사를 대상으로 작업자의 안전을 위한 주요 공종별 규약집 수립(Chung Ho et al. 2020)

- 주거건물에 태양에너지 활용시스템(solar energy system)을 설치하는 작업자의 안전 확보 방안을 설계단계에서 수립하는 것을 목표로 함
- 전문가 인터뷰와 사례조사를 통하여, 태양에너지시스템 설치의 안전관리기준과 주의사항, 그리고 작업순서에 관련한 규약 및 설계가이드 수립

그림 17 설계안전성검토 규약집의 예: 태양에너지 활용시스템 설치공사



출처: Chung Ho, Hyun Woo Lee, John A. Gambatese 2020.

■ 주요 건설산업의 재해 원인을 도출하는 연구(Hassan Malekitabar et al. 2016)

- 건설산업에서 발생하는 재해의 주요원인을 외적요인과 계약요인, 관리요인, 의사소통요인, 그리고 내적 요인으로 분류하여 도출
- 도출된 원인과 추락, 낙하, 불안정한 운행, 질식, 붕괴, 전기충격과 같은 건설산업재해의 발생유형과 비교하여, 잠재적으로 감소 가능한 재해자를 분석

2) 선행연구에서 제안한 BIM기반 방법을 우리나라 DfS에 적용방안

■ 선행연구를 기반으로, 우리나라 DfS의 단계별 촉진과제를 세 단계로 제안(〈그림 18〉 참조)

■ (1단계) 우리나라 건설산업 재해의 주요 원인을 주요 공종별로 도출하고, 그 원인에 직접 및 간접적으로 영향을 미치는 요인을 분석

- 현재는 건설산업 재해의 원인이 공종별로 수집되고 있지 않으므로, 자료구축을 위한 프레임워크를 형성하는 것이 우선 과제

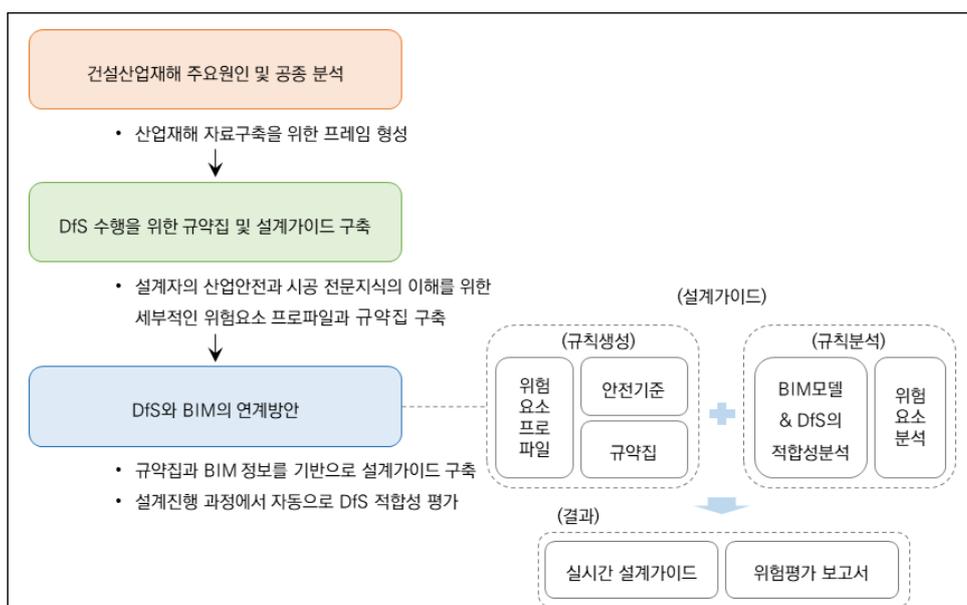
■ (2단계) 건설산업재해가 많이 발생하는 공종의 작업순서 및 유의사항, 안전관리기준 및 권장사항을 조사하여, 설계자가 Dfs를 수행할 때 참고할 수 있는 규약집 및 설계가이드 구축

- 기존의 위험요소 프로파일(〈표 3〉 참조)에서도 설계자가 Dfs 수행 시에 참고할 기준을 제공하고 있지만, 위험성평가 기준의 애매모호함과 광범위한 저감대책은 설계자의 Dfs 수행에 적용하기 어려움
- 건설산업 안전관리기준과 시공에 대한 전문서적과 전문가 인터뷰, 설문조사를 통해 설계자가 Dfs 수행에 참고할 수 있는 세부적인 위험요소 프로파일과 규약집 구축이 필요

■ (3단계) BIM을 Dfs에 적용하여, 설계자에게 건설공사의 안전관리 기준과 위험요소, 그리고 저감대책을 자동으로 알려주는 설계가이드 구축

- BIM을 사용하면 건물 객체의 정보뿐만 아니라, 프로젝트의 특징과 같은 설계단계에서 참고할 수 있는 주요 사항을 설계자에게 알려줄 수 있음
- 앞선 2단계에서 구축된 건설안전 및 시공지식에 관련한 규약집과 BIM 정보를 기반으로 Dfs 검토를 위한 규칙을 생성. 이를 기반으로, BIM 모델의 Dfs 적합성 분석과 위험요소 분석을 수행
- 분석결과는 설계자에게 실시간으로 Dfs 설계가이드 형식으로 제공되며, 위험평가보고서 형식으로도 출력 가능

그림 18 Dfs 촉진을 위한 BIM 연계방안



출처: 저자 작성.

■ 슬래브(slab) 공사에서 제안된 방법의 적용 예

- 슬래브공사에서 건설산업재해의 주요 원인인 떨어짐 사고가 많이 발생하여, 안전보호시설의 설치가 중요(〈그림 19〉 참조)

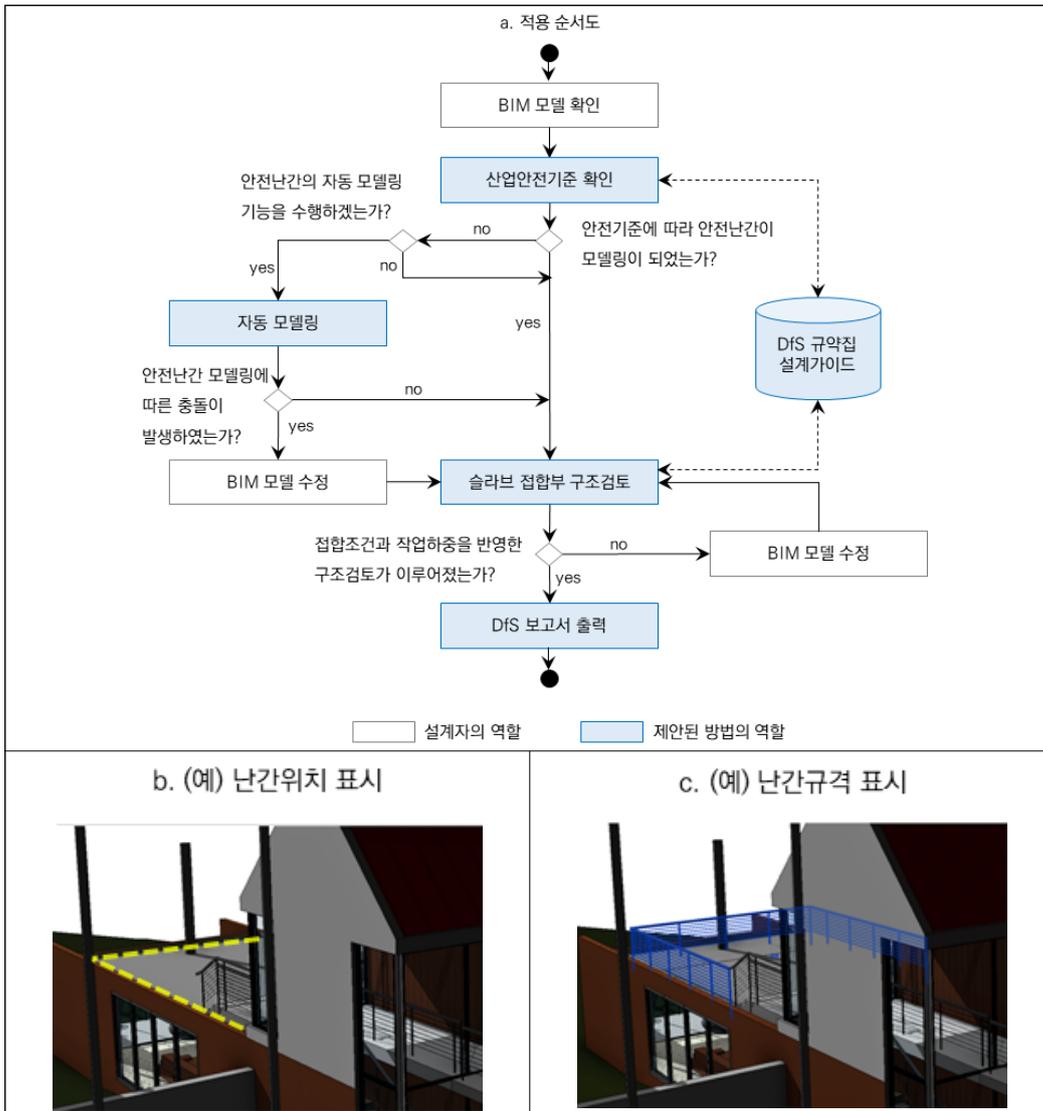
그림 19 슬래브 공사 중의 안전시설 설치 예



출처: 연구자 촬영

- 제안된 방법을 적용하기 위해 「산업안전보건기준에 관한 규칙(2020)」을 기준으로 안전난간대의 설치 규칙을 수립
 - 바닥면·발판 또는 경사로의 표면으로부터 90cm 이상
 - 상부난간대 설치 위치가 120cm 이하일 때에는 상부난간대와 바닥면 중간에 중간난간대 설치
 - 상부난간대 설치 위치가 120cm 이상일 때, 중간난간대를 2단 이상 균등하게 설치하거나 난간 상하간격을 60cm 이하로 함
 - 계단의 개방된 측면에 설치된 난간기둥 간의 간격이 25cm 이하일 때에는 중간난간대 없어도 됨
- 건설공사안전관리 종합정보망에서 제공하고 있는 위험요소 프로파일(건설공사안전관리 종합정보망 2020)에서 슬래브공사의 추락사고 발생을 저감시키기 위한 대책을 규칙으로 수립
 - 슬래브와 기둥의 접합조건과 작업하중을 반영한 접합부의 구조검토
- 수립된 규칙을 기반으로, 설계자는 〈그림 19〉의 절차를 통해 제안된 방법을 적용할 수 있음
 - 설계자는 BIM 모델을 확인한 후, 구축된 규칙을 기반으로 산업안전보건기준에 따라 안전난간이 모델링되어 있는지 확인
 - 산업안전보건기준을 충족하지 못한다면 제안된 방법을 통해 안전난간을 자동으로 모델링한 후, 기존 모델과 충돌되는지 확인
 - 구축된 규칙을 기반으로 슬래브 접합구조의 구조 안전성을 검토한 후, 구조 안전성에 문제가 있다면 BIM 모델을 수정한 후에 다시 슬래브 접합구조 검토
 - BIM 모델을 통해 설계안전성검토 수행을 마무리한 후, DfS 보고서 자동 출력

그림 20 제안된 방법의 슬래브공사 적용 예



출처: 연구자 작성

3) Dfs 제도의 촉진을 위한 제도적 지원방안

■ 소규모 건설공사에서도 Dfs 적용의 의무화

- 우리나라 건설산업재해는 5인 미만의 소규모 공사에서 가장 많이 발생하지만(〈그림 5, 6〉 참조), Dfs의 소규모 공사적용에 대한 의무사항이 없음
- 영국과 미국의 설계안전성검토 제도는 소규모 공사현장에서도 적용하도록 규정됨
- 소규모공사에 Dfs를 적용하기 위해서는 Dfs에 소요되는 비용을 지원하는 방법과 Dfs에 의한 안전성이 높게 평가된 공사에 인센티브를 제공하는 것과 같은 혜택제공 가능

■ 주요 설계진행단계별 DfS 수행

- 미국의 설계안전성검토(Prevention through Design: PtD) 제도에서는 설계가 진행되는 단계별로 안전성검토를 수행하도록 요구하고 있음
- 개념설계부터 설계완성도가 30%, 60%, 90%되는 시점에서 설계안전성검토 수행
- 하지만, 우리나라는 설계자의 전문성 부족 및 DfS 비용의 추가소요와 같은 원인에 의해 실시설계 80%의 수준에서 DfS를 수행하도록 요구됨
- 본 연구에서 제안한 DfS와 BIM을 연계하는 방안이 적용된다면, 설계자의 부족한 안전관리 지식의 보완과 함께 안전성검토에 소요되는 시간과 비용의 감소에도 기여할 수 있을 것으로 기대

■ DfS를 적용하는 공사발주의 증가와 BIM 발주 공사에 DfS 적용 의무화

- DfS 적용을 요구하는 건설공사의 발주량 증가 필요
- 조달청에서 발주하는 맞춤형서비스 공사에 BIM과 함께 DfS 적용을 의무화한다면 DfS의 신뢰성 및 설계자의 업무효율성을 향상시킬 수 있을 것이며, 관련된 스마트기술의 개발을 촉진시킬 수 있을 것으로 기대
- 설계자의 DfS 적용이 용이해진다면 DfS 제도가 촉진될 것이며, 이를 통해 우리나라 건설산업재해도 감소할 것으로 기대됨

그림 21 DfS제도 촉진을 위한 제도적 지원방안



출처: 저자 작성.

05 결론

- 설계단계에서 건설산업재해의 발생위험요소를 제거하는 설계안전성검토(Design for Safety: DfS) 제도가 도입되었지만, 활성화를 위해서는 몇 가지 보완점이 필요
 - 설계자의 산업안전관리에 대한 전문성 부족과 안전 및 시공전문가와의 협업부족 문제는 스마트건설기술 중의 하나인 건축정보모델링(BIM)을 적용하여 보완 가능
- 본 연구에서는 BIM을 DfS에 적용하는 방법을 제안하여 건설산업재해의 감소와 DfS 제도의 촉진에 기여하고자 하며, 제안된 방법은 크게 세 가지로 구분됨
 - **건설산업재해의 주요원인을 분석하기 위한 자료수집의 프레임워크 구축**
 - 공종별로 산업재해의 원인과 발생빈도, 그리고 피해의 크기를 정량적으로 분석할 수 있는 자료 수집이 우선되어야 함
 - **DfS에 적합한 설계를 위한 규약집 및 설계가이드 구축**
 - 산업안전관리 지식과 함께 잠재적 위험요소의 제거를 위해 필요한 시공단계의 전문지식에 대한 규약집 작성
 - 산업안전관리에 대한 전문교육을 받지 못한 설계자가 쉽게 잠재적 위험요소를 인지하고 제거할 수 있도록 상세한 위험요소프로파일 구축
 - **DfS와 BIM의 연계방안**
 - 구축된 규약집과 BIM 모델을 통해 수집한 정보를 기반으로 설계안전성 검토를 위한 규칙을 생성한 후, 생성된 규칙을 기반으로 설계안전성을 검토하여 위험요소 분석 및 제거
 - 이를 통해, 설계자의 DfS 수행에 참고할 수 있는 실시간 설계가이드를 제공하며, 위험평가보고서를 통해 발주자와의 협의 가능
- DfS 제도를 촉진시키기 위해서 본 연구에서는 세 가지 제도적 지원방안 제안
 - 건설산업재해가 가장 많이 발생하는 소규모 건설공사에서 DfS 적용을 의무화
 - 설계안전성검토 제도를 적용하고 있는 나라와 같이, 주요 설계단계별로 DfS를 반복 수행
 - DfS를 적용하는 건설공사 발주량의 증가와 함께 BIM 적용 공사에 DfS 적용 의무화

참고문헌

- 관계부처 합동. 2019. 공공기관 작업장 안전강화 대책. 관계부처 합동.
- 건설공사안전관리 종합정보망. 2020. 설계안전성검토, 안전관리계획서, 위험요소프로파일. https://www.csi.go.kr/por/about_dfs_001.do (2020년 4월 2일 검색).
- 국가통계포털. 2020. 경제활동별 GDP 및 GNI. <http://kosis.kr> (2020년 4월 7일 검색).
- 국토교통부. 2017. 설계 안전성 검토 업무 매뉴얼. 세종: 국토교통부.
- _____. 2018. 건설 생산성 혁신 및 안전성 강화를 위한 스마트 건설기술 로드맵. 세종: 국토교통부.
- _____. 2019. 건설현장 추락사고 방지대책. 세종: 국토교통부.
- 김정원, 유정호. 2019. 설계 안전성 검토 제도의 실효성 분석과 개선방안 제안: 국내 추락 사고 사례 분석 중심으로, 한국건설관리학회 학술발표대회논문집: 228-301.
- 김용구. 2019. 건설안전 강화를 위한 설계안전성(DfS) 제도 실행력 강화방안. 한국건설관리학회지 제20권 제1호: 16-21.
- 네이버 국어사전. 2020. 특장차. <https://ko.dict.naver.com/#/entry/koko/cea3bff3960a4fbea33a88790a5094cb> (2020년 4월 10일 검색).
- 네이버 지식백과. 2020. 산업안전대사전: 버킷 굴착기. <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=506888&cid=42380&categoryId=42380> (2020년 4월 10일 검색).
- 대한안전교육협회. 2020. 유해위험관리계획서. <http://www.safetykorea.or.kr/content/303060> (2020년 4월 3일 검색).
- 산업안전보건기준에 관한 규칙. 2020. 고용노동부령 제273호(2019년 12월 26일 일부개정). 제13조(안전난간의 구조 및 설치요건).
- 성주현 외. 2017. 설계안전성검토 (Design for Safety) 적용 매뉴얼 개선방안 연구. 진주: 한국시설안전공단.
- 이치주, 이강, 원종성. 2019. BIM 소프트웨어 선정요인 분석. 대한건축학회논문집 구조계 제25권 제7호: 153-163.
- 이광표, 최수영, 손태홍, 최석인. 2019. 국내 건설기업의 스마트 기술 활용 현황과 활성화 방향. 서울: 건설산업연구원.
- 안전보건공단. 2015-2019. 산업재해현황분석(2014-2018). 세종: 고용노동부.
- 안전보건공단. 2020. 위험성평가 컨설팅 및 인정. <http://www.kosha.or.kr/kosha/business/rskassessment.do> (2020년 4월 3일 검색).
- 조달청. 2020. https://www.pps.go.kr/kor/jsp/business/installation_work/manage_work.pps (2020년 4월 6일 검색).
- 최수영. 2019. 안전관리 규제와 협력체계 구축 방안: 국내 건설업 사망자 영국의 8.8배, 3억원 미만 사업장 사망재해 가장 많아. 건설동향브리핑 725호. 서울: 건설산업연구원.
- Alireza Golabchi, SangUk Han, Simaan AbouRizk. 2018. A simulation and visualization-based framework of labor efficiency and safety analysis for prevention through design and planning. *Automation in Construction* 96: 310-323.

Chung Ho, Hyun Woo Lee, John A. Gambatese. 2020. Application of Prevention through Design (PtD) to improve the safety of solar installations on small buildings. *Safety Science* 125: 104633.

Hassan Malekitabar, Abdollah Ardeshir, Mohammad Hassan Sebt, Rudi Stouffs. 2016. Construction safety risk drivers: A BIM approach. *Safety Science* 82: 445-455.

Health and Safety Executive. 2020. The Construction(Design and Management) Regulations 2015. <https://www.hse.gov.uk/construction/cdm/2015/index.htm> (2020년 4월 5일 검색).

Jingfeng Yuan, Xuewei Li, Xiaer Xiahou, Nicholas Tymvios, Zhipeng Zhou, Qiming Li . 2019. Accident prevention through design (PtD): Integration of building information modeling and PtD knowledge base. *Automation in Construction* 102: 86-104.

Kyungki Kim, Yong Chob, Sijie Zhang. 2016. Integrating work sequences and temporary structures into safety planning: Automated scaffolding-related safety hazard identification and prevention in BIM. *Automation in Construction* 70: 128-142.

The National Institute for Occupational Safety and Health. 2020. Prevention though Design. <https://www.hse.gov.uk/construction/cdm/2015/index.htm> (2020년 4월 5일 검색).

Md. Aslam Hossain, Ernest L.S. Abbott, David K.H. Chua, Nguyen, Thi Qui, Yang Miang Goh. 2018. Design-for-Safety knowledge library for BIM-integrated safety risk reviews. *Automation in Construction* 94: 290-302.

Meng Li, Hongliang Yu, Hongyu Jin, Ping Liu. 2018. Methodologies of safety risk control for China's metro construction based on BIM. *Safety Science* 110, Part A: 418-426.

Meng Li, Hongliang Yu, Ping Liu. 2018. An automated safety risk recognition mechanism for underground construction at the pre-construction stage based on BIM. *Automation in Construction* 91: 284-292.

Sijie Zhang, Kristiina Sulankivi, Markku Kiviniemi, Ilkka Romo, Charles M. Eastman d, Jochen Teizer. 2015. BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. *Safety Science* 72: 31-45.

국토연구원 Working Paper는 다양한 국토 현안에 대하여 시의성 있고 활용도 높은 대안을 제시할 목적으로 실험정신을 가지고 작성한 짧은 연구물입니다. 투고된 원고는 정해진 절차를 거쳐 발간되며, 외부 연구자의 투고도 가능합니다. 공유하고 싶은 새로운 이론이나 연구방법론, 국토 현안이나 정책에 대한 찬반 논의, 국내외 사례 연구나 비교연구, 창의적 제안 등 국토분야 이론과 정책에 도움이 될 어떠한 연구도 환영합니다.

투고를 원하시는 분은 국토연구원 연구기획·평가팀(044-960-0582, jhkim@krihs.re.kr)으로 연락주십시오. 채택된 원고에 대해서는 소정의 원고료를 드립니다.

WP 20-01

건설산업재해 감소를 위한

설계안전성검토(DfS)와 건설정보모델링(BIM)의 적용방안

연구진 이치주
발행일 2020년 7월 7일
발행인 강현수
발행처 국토연구원
홈페이지 <http://www.krihs.re.kr>

© 2020, 국토연구원

이 연구보고서의 내용은 국토연구원의 자체 연구물로서 정부의 정책이나 견해와는 상관없습니다.

이 연구보고서는 한국출판인협회에서 제공한 KoPub 서체와 대한인쇄문화협회가 제공한 바른바탕체가 적용되어 있습니다.

