국토연구 제124권(2025. 3): pp.55~72 http://dx.doi.org/10.15793/kspr.2025.124..004

설계 안전성 검토 수행을 위한 필요 요인과 활성화 방안*

Essential Factors and Activation Plans for Design for Safety (DfS) Performance

이치주 Lee, Chijoo**

Abstract

The design for safety (DfS) system was established to mitigate construction accidents. However, challenges such as designers' lack of expertise in construction and safety and non-collaboration with relevant experts continue to hinder its full implementation. This study proposes methods to address these issues and activate DfS more effectively. By reviewing previous studies and consulting with experts, the factors needed to support designers in DfS performance were identified from three key perspectives: improving expertise, strengthening collaboration, and clarifying the role of the owner. Nine activation plans were proposed to revitalize DfS: 1) Establish DfS training programs and expert qualification systems; 2) Create DfS manuals and guides for each major construction type; 3) Share DfS best practices and their effects; 4) Set up DfS support systems; 5) Organize a dedicated safety design department; 6) Establish DfS fee standards by designers; 7) Direct ordering by the owner to perform DfS; 8) Expand delivery methods that allow construction companies to participate in the design process; and 9) Award additional points in the green building certification system. Thereafter, the priority was identified by evaluating the importance and urgency of the proposed DfS activation plan through a survey. The three activation plans with the highest priority were ⑥ Establish DfS fee standards by designers, ② Create DfS manuals and guides for each major construction type, and ⑦ Direct ordering by the owner to perform DfS. These items were prioritized due to the high importance and urgency of ensuring that designers are compensated appropriately for their DfS work and that their expertise in construction and safety is enhanced.

Keywords: Construction Accidents, Design for Safety, Improving Expertise, Strengthening Collaboration, Owner Role, Activation Plan

Ⅰ. 서론

최근 5년(2018~2022년) 동안 건설산업의 업무상 사고 재해자 수는 증가 추세이지만, 사망자 수는 감소 추세이다(국가통계포털 2024a; 2024b, 그림 1). 재해자 수는 2018년 50.9%에서 2022년 39.9%로 감소하였고(국가통계포털 2024a), 사망자 수는 2018년 33.2%의 비율에서 25.3%로 감소하였다(국가통계포털 2024b). 떨어짐 사고에 의한 재해자 수와 사망자 수가 가장 많았지만, 그 비율은 점차 감소하였다(고용노동부 2018; 2019; 2020; 2021; 2022).

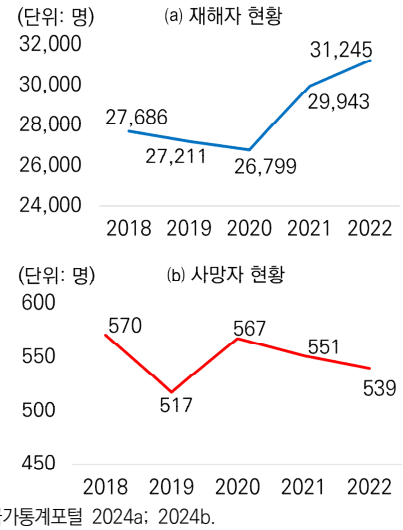
하지만, 건설현장에서 발생하는 사고는 현장 작업자뿐만 아니라 주변 국민의 안전까지 위협하고 있다. 2021년 건축물 철거 과정에서 발생한 붕괴 사고로 17명의 시민 사상자가 발생했으며(KBS 뉴스 2021), 2022년에는 신축공사의 건축물 외벽 붕괴 사고로 작

* 본 논문은 "이치주, 정동호, 이승욱. 2024. 건설사고 감소를 위한 설계 안전성 검토 제도의 활성화 방안. 세종: 국토연구원"을 기초로 작성됨.

** 국토연구원 부연구위원 | Associate Research Fellow, Korea Research Institute for Human Settlements | cjlee@krihs.re.kr

www.kci.go.kr

그림 1 건설산업 재해 현황: 2018-2022



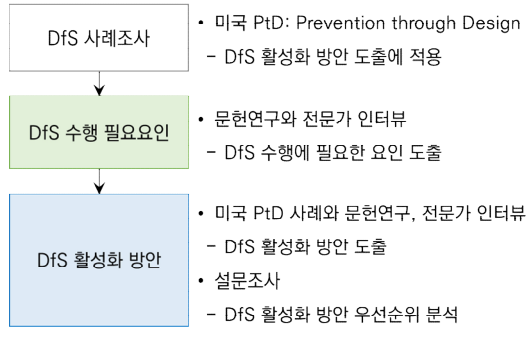
자료: 국가통계포털 2024a; 2024b.

업자 6명의 사상자가 발생하였다(KBS 뉴스 2023).

몇 선행연구들은 설계요소와 시공단계에서 발생하는 사고와의 연관성을 분석하고, 그 결과를 통해 안전성을 고려한 설계도서 작성의 중요성을 설명하였다(Department of Occupational Safety and Health 2020; Ibrahim, Belayutham, Manu and Mahamadu 2021; Lingard, Saunders, Pirzadeh and Blismas et al. 2015). 이는 설계단계에서 내려진 의사결정이 현장 근로자들의 안전에도 영향을 미친다는 것을 의미한다. 정부에서도 설계도서의 안전성 향상을 통한 건설사고 감소를 위해 설계 안전성 검토(design for safety: DfS) 제도를 수립하였다. DfS는 시공단계의 위험요소를 설계단계에서 인지하고, 위험성 평가와 저감대책을 수립하여 시공단계에서 발생할 수 있는 사고 위험을 설계단계에서 저감시키는 제도이다(건설공사 안전관리 종합정보망 2024). 하지만, 설계자의 건설안전·시공에 대한 지식과 경험 부족, 관련 전문가와의 협업 부족 등으로 DfS가 활성화되지는 못하고 있다(한국시설안전공단 2017; 김용구 2019; 김정원, 유정호 2019). 이 연구는 건설사고 감소를 위해 수립된 DfS 제도의 활성화를 위해 필요한 요인을 도출하고 활성화 방안을 제안하는 것을 목표로 한다.

DfS 활성화 방안을 제안하기 위해 연구의 흐름을 세 단계로 구성한다(〈그림 2〉 참조). 먼저, 미국에서 적용되고 있는 안전설계 제도인 prevention through design(PtD)의 문제점과 활성화를 위한 지원방안 사례를 조사한다. 다음으로, DfS와 관련된 선행연구를 검토하고 전문가 자문을 통해서 DfS 수행에 필요한 요인을 전문성 향상과 협업 강화, 발주자 역할 관점으로 도출한다. 마지막으로, DfS 활성화 방안을 앞서 조사된 미국의 PtD 사례와 전문가 검토를 기반으로 제시하고, 설문조사를 통하여 활성화 방안의 적용 우선순위를 분석한다. 전문가 검토는 설계사와 건설사업관리사에서 안전설계 업무를 수행하는 담당자가 참여하였으며, 설문조사는 설계사의 안전설계 업무를 수행하는 담당자를 대상으로 한다.

그림 2 연구의 흐름



Ⅱ. Prevention through design(PtD)

우리나라 DfS와 유사한 해외사례에는 대표적으로 미국의 PtD와 영국의 CDM(Construction Design and Management), 싱가포르의 DfS Guide가 있다(삼성물산, 삼우종합건축사사무소 n.d.). 이 연구에서는 우리나라 DfS와 수행 절차와 내용을 비교할 수 있고, 건설

www.kci.go.kr

안전 설계를 활성화하기 위한 정부의 노력을 확인할 수 있는 미국의 PtD를 대상으로 사례조사를 하였다.

미국의 PtD는 우리나라의 DfS와 유사하다. PtD는 건설사고 감소를 위해서 적용하는 개념으로, 계획 및 설계단계에서 위험요소를 사전에 파악하고 제거하는 방식이다(Prevention through Design 2024a). PtD는 건설안전 설계(Design for Construction Safety: DfCS), 안전 설계(Design for Safety: DfS), 설계에 의한 안전(Safety by Design: SD), 건설 위험 예방을 통한 설계(Construction Hazard Prevention through Design: CHPtD)로도 알려져 있다(Farghaly, Collinge, Mosleh and Manu et al. 2022).

우리나라의 DfS는 일반적으로 설계도면과 시방서, 내역서, 구조 및 수리계산서가 완료된 시점인 실시설계의 약 80%에서 수행되지만(국토교통부 2017), 미국 PtD는 개념설계 단계와 설계 진행률 30%·60%·90% 단계에서 수행된다(Prevention through Design 2024a, 〈표 1〉 참조).

〈표 1〉의 개념설계 단계에서 참여자는 발주자, 설계자, 건설사, 건설사업관리자이다. 주요 PtD 수행 내용은 PtD 적용 프로세스를 수립하고, PtD 검토 항목과 사용할 도구 확인, 주요 자재 선정, 선 제작 및 모듈러 공법의 적용 여부를 확인하는 것이다. 설계 30% 단계에서 참여자는 발주자, 설계자, 건설사, 건설사업관리자, 주요 협력업체 및 장비제작업체이다. 주요 PtD 수행 내용은 선 제작을 위한 최종 설계안 확인, 설계 검토 항목 확인, 우선적 위험 분석, 다양한 속성의 의사결정 도구 적용, 2차 자재를 선정하는 것이다. 설계 60% 단계의 참여자는 발주자와 설계자, 건설사, 주요 협력업체이며, 주 설계 검토 항목의 사용과 건립 계획 초안, 계획에 대한 중요 문제점 논의와 작업장을 확인하는 업무를 수행한다. 설계 90% 단계의 참여자는 발주자와 설계자, 건설사, 모든 협력업체이며, 모든 계획의 안전성과 시공성 검토, 모든 계약 문서에서 안전에 대한 기댓값을 확인하고, 하도급에 대한 안전 변수를 확인하는 것도 주요 PtD 수행 내용이다.

표 1 미국의 PtD 단계별 참여자와 수행 내용

설계단계		참여자	수행 내용
개념설계		발주자, 설계자, 시공자, 건설사업관리자	• PtD 프로세스 수립 • PtD 체크리스트 및 도구 확인 • 주요 자재 선정 • 선 제작 및 모듈러 공법의 적용 확인
설계	30%	발주자, 설계자, 시공자, 건설사업관리자, 주요협력·장비업체	• 선 제작을 위한 최종 디자인 • 설계 체크리스트 검토 • 우선적인 위험 분석 • 다양한 속성의 의사결정 도구 적용 • 2차 자재 선정
	60%	발주자, 설계자, 시공자, 주요 협력업체	• 주 설계 체크리스트 사용 • 건립계획 초안 • 계획에 대한 중요한 문제점 논의 • 작업장 확인
	90%	발주자, 설계자, 시공자, 모든 협력업체	• 모든 계획의 안전성, 시공성 검토 • 모든 계약문서에서 안전 기대치 확인 • 하도급에 대한 안전 변수 확인

자료: Prevention through Design 2024b.

PtD 적용을 확대하기 위해 개선사항을 제안한 선행연구도 있었다. Farghaly, Collinge, Mosleh and Manu et al.(2022)은 PtD에 대한 인식과 참여 부족, PtD 교육의 부족, 일정과 예산 제약으로 발주자의 건설업자 지원 부족, 규제와 입법 등의 지원이 부족하다고 설명하였다. Ibrahim, Belayutham, Manu and Mahamadu(2021)는 효과적인 PtD 수행에 필요한 건설안전·공정에 대한 전문 지식이 부족한 건축가와 설계 엔지니어가 많고, PtD에 관련된 교육 커리큘럼이 부족하다고 설명하였다. Toole and Erger(2019)는 미국에서 설계 전문가에게 현장 안전 의무를 부과하지 않지만, 설계자에게 안전에 대한 책임 부여를 증가하는 방안이 필요하다고 하였다.

미국의 국립 직업안전보건 연구소(National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH)는 PtD 수행을 지원하기 위해서 네 개의 영역으로 구성된 국가적 계획을 수립하였다(Department of Health and Human Services 2010). 연구 영역에서는 PtD

www.kci.go.kr

적용 가치를 확인하고, 기존의 설계와 관련된 도전적 과제를 해결할 수 있는 향후 연구 분야를 제안하였다. 교육 영역은 현재와 미래 설계 전문가들의 PtD 수행 역량 향상을 위하여 PtD 교육을 전문가 자격 인증 과정과 학문적 교육과정으로 구분하는 방안을 제안하였다. 실무 영역은 설계자들에게 성공적인 PtD 적용 사례들을 배포하여 PtD가 현업에 빨리 적용될 수 있는 방안을 제안한다. 정책 영역에서는 설계도서를 작성할 때 직업안전보건의 관점에서 고려할 사항을 제공하는 통합지침 및 규정, 표준을 수립하는 방안을 제안하였다.

NIOSH는 PtD 수행에 따른 인센티브를 부여하는 방안도 수립하였다(National Institute for Occupational Safety and Health 2024a). 인센티브에는 미국 녹색건축협의회(U.S. Green Building Council)의 에너지와 환경설계에 대한 리더십(Leadership in Energy and Environmental Design: LEED) 등급 산정에서 PtD의 수행 여부에 대한 가점을 부여하는 방안이 있다. 매년 설계 노력을 통해 위험을 성공적으로 제거하거나 감소시킨 개인과 팀, 기업 및 조직에게 상을 수여하는 방안도 포함된다. 이는 미국산업위생협회(American Industrial Hygiene Association: AIHA), 미국안전전문가협회(American Society of Safety Professionals: ASSP), 국가안전위원회(National Safety Council: NSC) 등 공신력 있는 기관들과 협력하여 제공한다.

직업 안전 보건 관리국(Occupational safety and health administration: OSHA)은 건강과 안전의 규제기관이며, 안전한 건설현장의 작업 환경을 조성하기 위해 안전요소를 고려하여 설계를 수행하는 것을 권장하고 있다(National Institute for Occupational Safety and Health 2024b). 예를 들어, OSHA는 사고 위험을 설계단계에서 제거하기 위해 설계 엔지니어와 안전보건 전문가가 협력하는 시스템의 필요성을 설명하였다. OSHA는 건설사업 참여자들 간에 작업자들의 안전과 건강에 대해서 논의하고 정보를 공유할 수 있는 프로그램도 지원하고 있다(Occupational safety and health administration 2024). 프로그램에는 안전 전문가 협의체(Board of Certified Safety Professionals)와 건설사 협의체(Associated Builders and Contractors), 철거협의체(National Demolition Association) 등 19개의 협의체 프로그램이 구성되어 있다. 이 협의체 프로그램에서는 건설안전을 위한 설계 단기 교육자료도 개발하였다.

Ⅲ. DfS 수행에 필요한 요인

국내외 많은 선행연구들에서 안전설계의 수행에 필요한 설계자와 조직의 역량, 장해 요인들을 설명하였다. 이 연구에서는 그 선행연구들을 검토하여 설계자가 DfS 수행을 할 때 필요한 요인을 도출하고 정리한다.

Adaku, Ankrah and Ndekugri(2021)는 산업안전보건 설계(Design for Occupational Safety and Health: DfOSH) 수행을 위해 조직에 필요한 구성요소로 자원과 거버넌스 및 관리시스템, 잘 수행된 업무에 따른 우수한 성과를 도출하였다. 세부적으로 자원은 물리적 자산과 구성원의 기술, 지식과 경험, 조직 프로세스, 학습과 명성이 포함되며, 거버넌스 및 관리시스템에는 조직 자원을 통합하는 능력이 포함된다.

Gambatese, Michael and Abowitz(2017)는 발주자가 인지하는 PtD의 잠재적 장벽으로, PtD 수행에 필요한 설계자의 지식 부족과 설계비용 증가, 설계자의 법적 책임 증가에 따른 설계자의 거부감을 제시하였다.

Guo, Weston, Jianphinitnan and Liu et al.(2021)은 뉴질랜드에 직장 내 보건 및 안전법(Health and Safety at Work Act: HSWA)이 도입된 후, 설계 안전성(Safety in Design: SiD) 제도의 현황과 수행에 영향을 미치는 요인들을 설문조사와 전문가 인터뷰를

www.kci.go.kr

통해서 도출하였다(〈표 2〉 참조). 먼저, SiD에 대한 현황을 조사한 결과, SiD 인식은 긍정적이었지만, SiD 수행 능력의 향상은 필요한 것으로 나타났다. SiD 수행에 영향을 미치는 요인 중에서 유효성 관점에서는 안전에 대한 설계자의 태도와 SiD 적용 도구, 가이드라인의 유용성이 가장 중요하였다. 도전적 관점에서는 SiD 역할에 대한 참여자들의 이해 부족과 비용 증가가 가장 해결이 필요한 문제였고, SiD 수행의 필요 요인에는 성공적으로 SiD를 적용한 사례와 SiD 적용에 따른 법적 책임사례, SiD 적용 프로세스와 사용 도구로 조사되었다. SiD 수행의 부정적 요인은 추가로 소요되는 비용과 시간, 명확하지 않은 SiD 범위와 절차, 참여자들 간의 협업 부족, 성공적인 적용 사례의 부족을 포함한다.

Ibrahim, Belayutham, Manu and Mahamadu (2021)는 관련된 문헌들을 검토하여 PtD 수행을 위해서 필요한 설계자의 주요 자질을 지식과 능력, 경험으로 분류하여 도출하였다(〈표 3〉 참조). 지식은 PtD에 대한 이론 및 실무적 이해를 의미하며, 세부적으로는 시공과 설계 특징, 위험 대응방안, 관리, 계약과 조달에 대한 자질이 필요하다고 설명하였다. 필요한 능력에는 위험인지 및 위험분석, 관련된 정보기술의 활용, PtD 적용에 따른 경제성 분석, 참여자들과의 협업이 포함된다. 경험은 다양하고 복합한 설계를 수행한 경험과 PtD 수행 도구의 사용 경험, 현장 업무의 수행 경험, 협업이 필요한 발주 프로젝트를 수행한 경험, 계약 문서를 관리한 경험, PtD 교육을 받은 경험이 필요로 한다고 설명하였다.

Poghosyan, Manu, Mahamadu and Akinade et al.(2020)은 설계조직의 산업안전보건 설계(DfOSH) 능력을 평가하기 위한 웹 기반의 성숙도 모델을 개발하였다. 평가 기준으로 능력과 수행 전략, 경험, 시스템과 프로세스, 물리적 및 정보기술 자원, 협업을 제시하였다(〈표 4〉 참조). 능력의 중요성이 가장 높았으며, 다음은 전략과 경험, 시스템과 프로세스, 물리적

표 2 Safety in Design(SiD) 수행의 영향 요인

구분	영향 요인	
유효성 관점	• 안전에 대한 설계자의 태도 • SiD 도구와 가이드라인의 유용성 • 안전설계에 대한 설계자의 지식과 경험	• 발주자의 승인 • 다양한 참여자와의 협업 • SiD 문화와 지식, 경험 • 법적 의무에 대한 지식 • 법적으로 SiD 강조
도전적 관점	• SiD 역할에 대한 참여자들의 이해 부족 • 설계 가이드의 부족과 안전설계 예시 부족	• 발주자로부터의 인식되는 비용 문제 • SiD의 일관성 검토 방법 부족
필요한 사항 관점	• SiD 적용의 좋은 사례 • SiD 프로세스와 도구	• 법적 책임
부정적 관점	• 추가적인 비용과 시간 • 불명확한 SiD 범위와 프로세스	• 협업 부족 • 성공적인 적용 사례의 부족

자료: Guo, Weston, Jianphinitnan and Liu et al. 2021.

표 3 PtD 수행을 위한 설계자의 주요 자질

구분			주요 자질
지식	암묵적 자질	시공	• 시공법, 현장 특징(위치 및 주변 환경), 현장 배치 문제
		설계 특징	• 설계 요소, 물리적 및 자재 속성 등의 변수 제약, 기능적 제약, 위상적(topological) 제약, 기계·전기·배관 시스템
		위험과 대응방안	• 잠재적 위험(설계 위험), 명시적 위험(시공, 유지관리, 공간, 전기), 대응 방안
	명시적 자질	관리	• PtD 원칙, 직업윤리, 지속가능성, 설계와 시공의 통합, 생애주기 분석
		계약과 조달	• 협력적 조달(partnering, integrated project delivery), 법적 책임, 면책 조항, 분쟁 해결 방법 • 관련 법 및 가이드라인에 대한 이해
능력	기술	위험 인지	• 시공법, 현장 특징(위치 및 주변 환경), 현장 배치 문제
		위험 분석	• 사전 위험성 분석, 체크리스트 분석, 결함수 분석(fault tree analysis)
		정보기술	• BIM, 가상설계·시공, 증강현실, 시각화 기술
		경제성	• PtD 적용에 따른 비용-편익 분석
	협업	업무 협력	• PtD 수행을 위한 다른 전문가와의 협업
경험	다양한 설계		• 복잡한 여러 유형의 설계 프로젝트 수행 경험
	PtD 도구		• 사전 위험성 분석과 체크리스크 등 PtD를 적용한 경험
	건설 현장		• 이동식 기계장비 사용, 시공, 유지보수, 철거 경험
	협력적 발주 프로젝트		• 인력과 시스템 등을 통합한 업무수행 경험
	계약문서 관리		• 계약 협상, 실행, 종료 등 절차 관리한 경험
	PtD 교육		• PtD와 안전설계 개념에 대해 교육을 받은 경험

자료: Ibrahim, Belayutham, Manu and Mahamadu 2021.

www.kci.go.kr

및 정보기술 자원의 순서로 중요성이 높았다. 능력의 세부 평가 기준은 DfOSH와 관련된 설계자의 능력과 지식·경험, 설계자의 DfOSH에 대한 능숙도와 시공성, 유지관리를 위한 조언, 역할에 적합한 설계자 채용, 설계자 전문성의 지속적 개발이다. 전략의 세부 평가 기준에는 DfOSH와 관련된 조직의 정책과 경영진의 의지, 투자와 연구개발이 포함된다. 경험은 DfOSH를 적용한 프로젝트의 수행 경험을 세부 평가 기준으로 설명하였다. 시스템과 프로세스의 세부 평가 기준은 조직의 설계품질·위험관리 시스템과 DfOSH 수행 경험의 학습을 위한 프로젝트 검토 시스템, 외주로 수행된 설계자의 관리시스템이다. 물리적 및 정보기술 자원은 작업공간과 환경 등 조직의 물리적 업무수행 자원과 DfOSH 수행 정보를 공유하기 위한 조직의 ICT 자원을 세부 기준으로 선정하였다. 협업의 세부 평가 기준은 다양한 설계 부서와 담당 업무에 대한 조직 내의 협업 능력과 DfOSH 수행을 위한 다른 조직 간의 협업 능력으로 구성된다.

서원경, 차유나, 강영철(2023)은 설계자가 인식하는 DfS의 수준을 조사하였으며, DfS 제도를 사전에 알고 있는 설계자와 모르는 설계자로 분류하여 조사 대상을 선정하였다. 그 결과를 「중대재해처벌법」을 시행하기 전과 후로 분류하여 비교하였다. 조사항목은 DfS에 대한 설계자의 인지도와 필요성, 기대효과, 시공과의 연계성이며, DfS를 알고 있는 설계자와 모르는 설계자 모두 DfS의 필요성과 기대효과를 높게 인식하고 있었다. DfS와 시공과의 연계성은 낮게 인식되었지만, DfS를 알고 있던 설계자들은 DfS 인식 수준이 「중대재해처벌법」 이후 높아졌다고 응답하였다. 또한, DfS 수행을 위해서 설계자에게 필요한 역량도 조사하였다(〈표 5〉 참조).

조사항목은 설계도서 및 유사 사고 사례 분석, 발생빈도와 심각성·위험성 허용 여부의 결정과 평가, 저감 대책 검토 및 수립과 반영으로 구성되고, 각 항목의 하위항목에 대한 난이도를 평가하였다. 설계도서 및 유사 사고 사례 분석에서 난이도가 높은 하위요인은

표 4 Design for Occupational Safety and Health(DfOSH) 능력의 평가 기준

평가 기준	세부 기준
능력	• DfOSH와 관련된 설계자의 능력과 지식, 경험 • 설계자의 DfOSH에 대한 능숙도와 시공성, 유지관리를 위한 조언 • 설계자의 역할 정의와 그 역할에 적합한 설계자 채용 • DfOSH와 관련된 설계자의 전문성을 지속적으로 개발
전략	• DfOSH와 관련된 조직의 정책 • 경영진의 DfOSH에 대한 의지 • DfOSH 연구와 혁신(조직의 투자, DfOSH를 위한 기존 연구의 개발 등)
경험	• DfOSH를 적용한 프로젝트를 수행한 경험
시스템 및 프로세스	• 조직의 설계 품질관리, 위험관리 시스템 및 프로세스 • DfOSH 수행 경험에서의 학습을 위한 프로젝트 검토 시스템 및 프로세스 • 외주된 설계자의 관리를 위한 시스템 및 프로세스
물리적 능력, 정보기술 자원	• 조직의 물리적 업무수행 자원(DfOSH를 위한 작업공간 및 환경, 장비와 자재) • DfOSH 수행과 정보공유를 지원하기 위한 ICT 자원
협업	• 다양한 설계 부서와 담당 업무에 대한 조직 내 협업 능력 • DfOSH 수행을 위한 다른 조직 간의 협업 능력

자료: Poghosyan, Manu, Mahamadu and Akinade et al. 2020.

표 5 DfS 수행을 위한 설계자의 필요 역량

상위요인	하위요인
설계도서 및 유사 사고 사례 분석	• 발생 가능성이 있는 위험 요인의 확인을 위한 설계도서와 위험 포트폴리오 분석 • 유사 건설공사의 재해 사례 분석을 통해 발생 가능한 위험요인 도출
발생빈도와 심각성, 위험성 허용 여부 결정 및 평가	• 안전 전문가 의견 기반의 사고 가능성 상세 평가기준 수립 • 발주자와 협의를 통한 해당 공사의 사고 심각성의 평가기준 • 사고 통계자료 및 안전 전문가와의 논의를 통해 사고의 빈도와 심각성 산정 • 산정된 빈도와 심각성을 기반으로 한 위험성 평가 • 안전 전문가와 시공 전문가 간의 협의를 통해 평가된 위험의 허용수준 결정
저감 대책 검토 및 수립, 저감 대책 반영	• 허용 불가로 판정된 위험요소에 대해 다양한 저감대책 수립 • 계획과 시공공법 변경에 따른 위험요인 제거 • 자재 변경 등을 통한 위험요인 감소 • 장비 사용 위험으로부터 작업자와 자재를 보호 • 저감 대책의 평가 항목과 기준 설정 • 저감대책 평가의 객관성을 확보하기 위해 안전 전문가와 시공전문가 간의 협의를 수행 • 저감 대책을 적용한 후에 위험 요인을 다시 평가하여 위험의 허용 수준을 재평가 • 저감 대책 평가표 준비

자료: 서원경, 차유나, 강영철 2023.

www.kci.go.kr

없었으며, 발생빈도와 심각성 및 위험성 허용 여부의 결정 및 평가의 하위요인 중에서 안전 전문가의 의견을 통한 사고 발생 가능성의 상세 평가기준 수립과 안전·시공전문가 간의 협의를 통해 평가된 위험의 허용수준 결정의 난이도가 높았다. 저감 대책 검토 및 수립과 반영에서는 계획과 시공공법 변경에 따른 위험요인 제거와 저감대책을 적용한 후에 위험요인을 다시 평가하여 위험의 허용수준을 재평가하는 하위요인의 난이도가 높았다.

신원상, 손창백(2019)은 발주자와 설계자가 DfS를 인식하는 수준을 조사하였으며, DfS의 인지도는 발주자와 설계자 모두 낮았다. DfS의 필요성과 기대효과에서 발주자의 인식 수준은 상대적으로 높았지만, 설계자는 모두 낮게 인식하였다. DfS의 문제점과 개선 사항도 조사하였으며(〈표 6〉 참조). 문제점 중에서

표 6 DfS 문제점과 개선 사항

관점	문제점	개선 사항
업무 수행	• 관련 법과 발주청의 요구사항 충족을 위해 형식적으로만 수행되는 DfS • 불충분한 DfS 활용 매뉴얼 • DfS 적용 경험이 있는 기관 부족 • 위험 요인을 찾고 대응방안 수립의 어려움 • 기관별로 다른 DfS 활용 양식 • DfS 지원 시스템 부족 • DfS 정량적 평가 시스템 부족	• 보완된 업무 수행 매뉴얼과 가이드 수립 • DfS 업무 지원 시스템 • 잘 수행된 DfS 사례 공유 • 위험 요인의 확인과 대응 방안을 위한 정보시스템 수립 • 통일된 DfS 활용 양식 개발 • 정량화된 DfS 평가시스템 개발
전문 인력 부족	• 각 기관의 DfS 전담 부서 부족 • DfS 수행의 전문인력 부족 • DfS 수행 인력의 전문성 부족 • DfS 수행 인력이 인지하는 DfS의 낮은 효과	• 기관별 DfS 전담부서 설립 • DfS 수행을 위한 전문인력 확보 • DfS 수행 인력의 능력 향상 • DfS 효과에 대한 인지도 개선
경제성	• 불명확한 DfS 수행 비용의 산정기준 • DfS 발주량의 불안정성 • 높은 비용 부담	• DfS 업무수행의 비용 기준 수립 • DfS 발주량 확보를 위한 정부의 대응 방안 수립 • DfS 지출에 대한 정부 지원
정보 공유 및 협력	• 기관별 DfS 업무의 수준 차이 • 기관별로 연계 혹은 공유되는 자료 부족 • 프로젝트 참여자 간의 업무분쟁 • 기관별 불명확한 업무 분담	• DfS 교육 프로그램 수립 • 각 기관의 정보공유시스템 수립 • 프로젝트 참여자 간의 업무분쟁을 해결하기 위한 프로그램 개발 • 기관별 분명한 업무 분배

자료: 신원상, 손창백 2019.

는 업무수행의 관점에서 위험요인 인지와 대응방안 수립의 어려움, 전문인력 부족의 관점은 각 기관 DfS 전담 부서 부족과 DfS 수행 전문인력 부족, 경제성 관점의 불명확한 DfS 수행 비용 산정기준, 그리고 정보공유 및 협력 관점의 기관별로 연계 및 공유되는 자료 부족을 주요 문제점으로 인식하고 있었다. DfS 개선사항으로는 업무수행 관점의 위험요인 확인과 대응 방안을 위한 정보시스템 수립, 전문인력 부족 관점의 DfS 수행을 위한 전문인력 확보, 경제성 관점의 DfS 업무 수행을 위한 비용 기준 수립, 정보공유 및 협력 관점의 DfS 교육 프로그램 수립을 주요 개선사항으로 인식하고 있었다.

Umeokafor, Windapo, Manu and Diugwu et al.(2023)은 전문가 인터뷰와 주제 분석 기법을 적용하여 나이지리아에서 PtD 적용의 주요 장해 요인을 책임과 실행에서의 문제, 프로젝트의 특징, 관련 지식과 인식, 발주자 관심, 프로젝트 팀 내의 협력 부족으로 분류하여 도출하였다(〈표 7〉 참조).

표 7 PtD 주요 장해요인

구분	장해요인
책임과 실행 문제	• PtD 기준과 실행의 지역적 차이 • 법률 및 규제 절차에 대한 신뢰 부족 • 책임에 대한 두려움과 회의론
프로젝트의 특징	• 공사 기간의 증가 • 프로젝트 발주 방식 • 안전보다 미적 관점에 중점을 두는 설계
관련 지식과 인식	• PtD에 대한 한정된 지식과 인식 • PtD 수행 의무자와 필요 역량에 대한 명확성 부족
발주자 관심	• PtD에 대한 발주자의 무능력 • PtD보다 우선순위에 있는 비용 • 한정된 발주자의 지원
프로젝 팀 내의 협력 부족	• 조달 등의 다른 업무와의 영향 관계에 따라 PtD 미실행 • 발주자와 설계자의 동기부여 부족 • 프로젝트 팀 내의 갈등 • 문화와 태도 및 가치

자료: Umeokafor, Windapo, Manu and Diugwu et al. 2023.

www.kci.go.kr

조사된 선행연구들(Adaku, Ankrah and Ndekugri 2021; Gambatese, Michael and Abowitz 2017; Guo, Weston, Jianphinitnan and Liu et al. 2021; Ibrahim, Belayutham, Manu and Mahamadu 2021; Poghosyan, Manu, Mahamadu and Akinade et al. 2020; Seo, Cha and Kang 2023; 신원상, 손창백 2019; Umeokafor, Windapo, Manu and Diugwu et al. 2023)에서 도출된 DfS 수행에 필요한 요인들의 유의성에 대한 전문가 검토회의를 수행하였다(〈표 8〉 참조). 설계사 2곳의 전문가 각 1명이 전문가 검토 회의(2024년 4월 26일, 29일)에 참여하였다. 전문가의 경력은 각 15년과 30년 이상이며 현재 각 설계사에서 안전설계를 담당하는 부서 소속이다. 발주자를 지원하는 건설사업관리사 1곳의 전문가 2명과도 검토 회의를 2024년 4월 26일에 수행하였으며, 경력은 모두 30년 이상이다. 이들도 안전설계를 담당하는 부서에 소속되어 있다.

선행연구 검토와 전문가 검토 회의를 기반으로, DfS 수행을 위해 필요한 요인을 ①전문성 향상과 ② 협업 강화, ③발주자 역할의 관점으로 분류하여 정리하였다(〈표 9〉 참조). 가장 많이 필요성이 높은 것으로 조사된 DfS 수행의 필요 요인에는 전문성 향상 관점의 설계자 전문성 향상과 협업 강화의 관점의 조직 내 및 조직 간의 협업이었다.

전문성 향상 관점의 필요 요인에는 설계자의 전문성을 향상하거나 전문성 지원과 업무수행 매뉴얼·가이드 작성, 유사사례 공유 및 적용 효과 인지, 정보기술 연계 활용이 포함된다. 설계자 전문성 향상의 필요성이 높은 이유는 DfS 보고서를 작성하는 주체인 설계자의 역량 향상과 전문인력의 확보 필요성이 높기 때문이며, 이를 위한 교육 프로그램의 수립이 필요하다고 선행연구에서 설명하였다(Farghaly, Collinge, Mosleh and Manu et al. 2022; Ibrahim, Belayutham, Manu and Mahamadu 2021). 설계자의 전문성을 지원하기 위해서 업무수행 매뉴얼과 가이드 작성이 필요하며, 낮은 DfS의 인지도를 향상하기 위해서는

표 8 DfS 필요 요인에 대한 전문가 인터뷰 개요

참여자	일시	경력
설계자	2024.04.29	15년 이상: 1명
	2024.04.26	30년 이상: 1명
건설사업관리자	2024.04.26	30년 이상: 2명

표 9 DfS 수행을 위해 필요한 사항

필요 요인		ⓐ	ⓑ	ⓒ	ⓓ	ⓔ	ⓕ	ⓖ	ⓗ
전문성 관점	• 설계자의 전문성 향상	●	●	●	●	●	●	●	●
	• 업무수행 매뉴얼·가이드 수립	●	●		●		●		●
	• 유사사례 및 효과 공유	●	●				●	●	
	• 정보기술 연계 활용				●			●	
협업관점	• 업무수행 지원 시스템 및 기반시설		●	●					
	• 조직 내, 조직 간 협업	●	●	●	●		●	●	●
발주자 관점	• DfS 대가 산정기준 수립		●			●	●		●
	• 발주자 능력과 지원						●		●
	• 건설사업 발주 방식								●

주: ⓐ서원경, 차유나, 강영철(2023), ⓑ신원상, 손창백(2019), ⓒAdaku, Ankrah and Ndekugri(2021), ⓓIbrahim, Belayutham, Manu and Mahamadu(2021), ⓔGambatese, Michael and Abowitz(2017),
ⓕGuo, Weston, Jianphinitnan and Liu et al.(2021), ⓖPoghosyan, Manu, Mahamadu and Akinade et al.(2020), ⓗUmeokafor, Windapo, Manu and Diugwu et al.(2023).

www.kci.go.kr

유사사례 공유 및 적용 효과 인지가 필요하다. 성공적으로 수행된 사례와 그렇지 않은 사례 모두 설계자에게 도움이 될 것이다. 정보기술 연계 활용은 BIM의 각 객체 정보를 활용하여 설계자를 지원할 수 있으며, 설계자가 필요한 상황에서 관련 지식과 지침을 자동으로 알려줄 수 있다면 효과가 클 것이다.

협업 강화의 관점에서 필요한 요인은 각 설계사의 경영층 의지와 관련된 사항이다. 먼저, 업무수행 지원 시스템 및 기반시설은 설계자에게 부족한 건설안전·시공 지식을 원활히 전달하기 위해서 필요한 요인이다. 다음으로, 조직 내 및 간 협업은 건설안전시공 등 다양한 전문가와의 협업과 설계사 내부 전문가들 간의 협업을 의미하며, 선행연구에서는 협업을 위한 전담부서 설립의 필요성을 설명하였다(Poghosyan, Manu, Mahamadu and Akinade et al. 2020).

발주자 역할 관점의 필요 요인에는 설계자가 수행한 DfS에 대한 비용을 지급하기 위한 DfS 수행 대가의 산정기준 수립이 포함된다. 이는 특히, 규모가 작은 설계사의 DfS 수행에 따른 부담 완화에 도움을 줄 수 있을 것이다. 또한, DfS에 대한 발주자의 이해와 수행 지원을 의미하는 발주자의 능력과 지원도 필요하며, 안전설계가 특히 중요한 건설사업에서 건설사가 설계단계에서부터 참여할 수 있는 발주방식의 확대가 포함된다.

Ⅳ. DfS 활성화 방안 및 적용 우선순위 분석

미국의 PtD 사례와 전문가 검토를 통해서 각 DfS 수행에 필요한 요인(〈표 9〉 참조)에 대한 DfS 활성화 방안 9가지도 제안한다(〈표 10〉 참조). 전문가 검토는 도출된 DfS 활성화 방안의 유의성을 확인하기 위함이고, 경력 15년 이상인 설계사의 DfS 수행 책임자 1명을 대상으로 7월 12일에 수행되었다.

1. DfS 활성화 방안

(1) DfS 교육 프로그램과 안전설계 전문가 자격제도

앞선 〈표 9〉에서 검토된 선행연구들 모두 설계자의 전문성 향상의 필요성을 제시하였고, 특히 Farghaly, Collinge, Mosleh and Manu et al.(2022)과 Ibrahim, Belayutham, Manu and Mahamadu(2021)는 PtD와 관련된 교육 커리큘럼이 부족하다고 설명하였다. 미국은 설계자의 PtD 수행역량 향상을 위해서 PtD 교육과정을 학문적 교육과정과 전문가 자격 인증 교육과정으로

표 10 DfS 활성화 방안

필요 요인		활성화 방안	(a)	(b)
전문성 관점	• 설계자의 전문성 향상	(1) DfS 교육 프로그램, 전문가 자격제도		◎
	• 업무수행 매뉴얼·가이드 수립	(2) 주요 공종별 DfS 매뉴얼·가이드 작성	◎	
	• 유사사례 및 효과 공유	(3) DfS 우수 사례집 및 효과 공유	◎	◎
	• 정보기술 연계 활용	(4) DfS 지원 시스템		
협업관점	• 업무수행 지원 시스템 및 기반시설			
	• 조직 내, 조직 간 협업	(5) 안전설계 전담부서 설립		
발주자 관점	• DfS 대가 산정기준 수립	(6) 설계사의 DfS 수행 대가 산정기준 수립	◎	◎
	• 발주자 능력과 지원	(7) 발주자의 DfS 수행 직접 발주		
	• 건설사업 발주 방식	(8) 건설사의 설계 참여를 위한 발주방식 확대		
	• 인증제도 가점 부여	(9) 녹색건축물 인증제도 가점 부여		◎

주: 1) (a)는 자문회의에 참여한 전문가이고, (b)는 해외 사례조사 결과.
2) 인증제도는 선행연구 검토에서는 도출되지 않았지만, 전문가 자문과 해외사례조사에서 도출된 요인.

www.kci.go.kr

구분하여 지원하는 방안을 수립하였다(Department of Health and Human Services 2010). 건설안전 설계에 대한 단기 교육과정을 수립하고 자료도 개발하였다(Occupational safety and health administration 2024). 우리나라에서도 DfS를 수행하는 설계자의 전문성 향상을 위해 학술적으로는 DfS 수행에 필요한 설계와 시공, 건설안전 지식을 전달할 수 있는 대학교육 교과과정을 개설하고, 실무적으로는 법적 의무교육인 건설기술인 교육에 DfS 과정을 개설하는 방안에 대한 검토가 필요하다. 교육과정과 연계하여 건설안전·시공에 관련한 전문성을 가진 설계자를 인증하는 자격제도의 수립도 필요하다.

(2) 주요 공종별 DfS 매뉴얼 및 가이드 작성

설계자의 건설안전·시공에 대한 전문성 부족은 국내외 많은 선행연구들에서 제시한 DfS 개선 사항이다(〈표 9〉 참조). 정부에서 DfS 수행 매뉴얼을 제공하고 있지만(국토교통부 2017), 주요 공종별로 구성되어 있지 않다. 법·제도와 지침 등에서 건설안전 설계의 기준이 있는 공종은 매뉴얼·가이드를 작성하여 설계자에게 제공하는 것이 필요하다. PtD 활성화를 위해 미국에서도 설계단계에서 고려해야 하는 직업안전·보건에 관련된 지침과 표준의 필요성을 설명하고 있다(Department of Health and Human Services 2010). 우리나라도 안전설계 기준이 없는 공종은 정량적 안전설계 기준 혹은 규약집을 우선적으로 개발하여야 한다.

(3) DfS 우수사례집 및 효과 공유

DfS의 활성화를 위해서는 그 적용 효과를 설계자가 인지하고, DfS 수행에 참고할 수 있는 사례가 필요하다. 미국의 PtD 활성화 지원방안(Department of Health and Human Services 2010)과 〈표 9〉에서 검토된 국내외 선행연구들에서도 유사사례 공유가 DfS 수행에 필요한 것으로 조사되었다. 정부에서도 DfS 위험요소의 도출 사례를 제공하고 있지만(국토교통부, 한국시설안전공단 2018), 공종 및 공정별로 사례가 구성되어 있지 않아서 설계자의 활용성이 높지 않다. 주요 공종 및 공정별로 분류된 DfS 우수사례집과 적용 효과를 함께 제공한다면 설계자의 DfS 수행에 도움이 될 것이다. 미국의 직업 안전 보건 관리국은 건설공사 참여자들 간의 작업자 안전에 대한 정보를 공유하는 프로그램을 제공하고 있다(Occupational safety and health administration 2024). 우리나라도 관련 협회 및 기관에서 DfS 수행을 위한 협의체 구성 지원의 검토가 필요하다.

(4) DfS 지원 시스템

건설안전·시공에 대한 설계자의 전문성을 지원하기 위한 (2)주요 공정별 DfS 매뉴얼·가이드의 활용성을 높이는 방안으로, 몇 선행연구들에서는 설계자에게 안전설계 매뉴얼·가이드를 자동으로 제공하는 시스템을 개발하였다(Hossain, Abbott, Chu and Qui et al. 2018; Li, Yu and Liu 2018; Yuan, Li, Xiahou and Tymvios et al. 2019). 정부에서도 건설산업의 디지털화를 정책 목표로 수립하고 있으므로(국토교통부 2022a), 설계자의 DfS 수행을 지원하는 시스템 개발은 정부 정책의 일관성 관점에서도 검토가 필요한 DfS 활성화 방안이다.

(5) 안전설계 전담부서 설립

건설공사는 건축, 토목, 기계·설비, 전기 등 다양한 공종으로 구성되어 있으며, 각 공종의 설계를 수행하는 주체와 조직도 다양하다. 많은 선행연구에서 DfS 수행을 위해서 조직 간 및 내 협업이 중요하다고 설명하였다(〈표 9〉 참조). 협업을 위해서는 DfS 수행에 필요한 자료를 각 조직과 부서로부터 수집하고, 그 자료를 이해할 수 있는 지식과 경험을 가진 전문가가

www.kci.go.kr

필요하다. 전문성이 부족하면 외부 전문가와 협업을 통해서 DfS를 수행해야 한다. 이와 같은 업무를 수행하는 전담부서 설립이 필요하며, 그 부서는 DfS와 함께 모든 건설공사의 안전설계를 지원하는 역할도 수행한다.

(6) 설계사의 DfS 수행 대가 산정기준 수립

DfS를 수행한 설계자에게 추가 업무에 대한 대가가 지급되지 않고 있으며, 설계자가 작성한 DfS 보고서를 검토하는 기관에 수수료만 지급되고 있다(건설공사 안전관리 업무수행 지침 2022). 업무수행에 대한 대가의 미산정은 품질 높은 DfS 수행 결과로 연계되지 못하며, 자금력이 상대적으로 부족한 중소규모 설계사에게 미치는 영향이 크다. 따라서, 설계대가의 기준(건설엔지니어링 대가 등에 관한 기준 2023; 엔지니어링사업대가의 기준 2021)과 같이 DfS 수행 대가의 산정기준 수립이 필요하다.

(7) 발주자의 DfS 수행 직접 발주

설계자의 건설안전·시공 지식 부족과 DfS 수행에 대한 대가 미지급은 낮은 품질의 DfS 수행 결과로 연계된다. 이러한 문제점을 완화하기 위해서 발주자가 직접 DfS를 수행하는 사업을 발주하는 방법에 대한 검토도 필요하다. 여기에는 건축, 토목, 기계·설비, 전기 등 각 설계도서를 작성하는 설계사에게 발주하는 방법과 여러 공종에 대한 건설안전·시공 전문성을 보유하고 있는 건설사업관리사에게 발주하는 방법이 포함된다.

(8) 건설사가 설계에 참여하는 발주방식 확대

건설사가 설계단계부터 참여하여 DfS 수행에 필요한 건설안전·시공 지식을 설계자에게 전달하면, 설계자의 전문성 부족 문제를 보완할 수 있다. 건설사가 설계단계에 참여하여 설계자와 협력하여 설계안을 작성하는 시공책임형 CM 발주 방식이 국내에 적용되고 있으며, 정부도 시공책임형 CM을 확대하는 정책을 추진하고 있다(국토교통부 2022b). 건설사가 기본설계에 참여하는 기술형입찰사업의 발주 확대도 필요하다(이치주 2024). 하지만, 건설사업은 모두 다른 특징이 있으므로, 모든 사업에 적용하는 것보다 안전설계를 중점적으로 반영하고자 하는 사업에 우선적으로 적용할 필요가 있다.

(9) 녹색건축물 인증제도 가점 부여

미국에 친환경 건축물 인증제도인 leadership in energy and environmental design(LEED)가 있으며(최현선 2011), 그 등급에 PtD 수행 여부에 따른 가점 1점을 부여하는 방안을 미국 녹색 건축 협의회(U.S. Green Building Council)에서 적용하고 있다(National Institute for Occupational Safety and Health 2024a). 우리나라에도 녹색건축인증(Green Standard for Energy and Environmental Design, G-SEED) 제도가 운영되고 있으며, 그 인증을 받게 되면 발주자는 건물의 가치가 향상되는 효과를 기대할 수 있다(녹색건축인증(G-SEED) 2024). PtD와 LEED 사례를 참고하여 우리나라 G-SEED에도 DfS 적용에 따른 가점 부여 방안을 검토할 필요가 있다. G-SEED 인증은 발주자의 혜택으로 연계되므로, 민간 건설공사에서도 DfS 적용 확대를 기대할 수 있다.

2. 적용 우선순위 분석

DfS 업무를 수행하고 있는 설계자를 대상으로 앞서 설명한 9가지 DfS 활성화 방안(〈표 10〉 참조)의 중요성과 시급성에 대한 설문조사를 수행하였다. 설문조사는 2024년 7월 15일부터 17일 동안 이루어졌으며, 참여한 전문가는 설계사에서 안전설계 업무를 수행하는 15명이다(〈표 11〉 참조).

www.kci.go.kr

표 11 DfS 활성화 방안 설문조사 개요

참여자	일시	경력
안전설계 담당자	2024.07.15.(월) ~ 08.02(금)	30년 이상: 2명
		20년 이상: 2명
		10년 이상: 11명

중요성과 시급성은 5점 척도로 평가되며, 적용의 우선순위는 각 활성화 방안의 중요성과 시급성의 곱으로 계산된다. 대응 t 검증(paired t-test)를 통해 응답자들이 인식하는 중요성과 시급성의 차이를 분석하였으며, 유의수준 5%에서 통계적으로 유의미한 차이가 존재하는 것으로 나타났다(p=0.005).

먼저, DfS 활성화 방안의 중요성을 분석하였으며(〈그림 3〉 참조), 설계사의 DfS 수행 대가 산정기준 수립이 가장 높게 분석되었다. DfS를 수행하는 설계자의 추가 업무에 대한 대가 산정의 중요성이 반영된 결과이다. 주요 공종별 DfS 매뉴얼·가이드 작성과 발주자의 DfS 수행 직접 발주, DfS 우수 사례집과 효과 공유의 중요성도 높았다. 이들은 설계자의 전문성 향상에 대한 중요성이 높은 것을 의미한다. 발주자의 DfS 수행 직접 발주는 DfS 수행에 적합한 설계자에게 적합한 비용 지급의 중요성을 의미한다. DfS 교육 프로그램과 전문가 자격제도는 상대적으로 장기적 관점에서 설계자의 건설안전·시공에 대한 전문성 향상을 위한 것이며, DfS 지원 시스템은 단기적 관점에서 설계자의 전문성 보안을 위한 것이다. 중요성 평가점수는 평균(67점)으로, 보통으로 나타났다. 협업 강화 관점의 안전설계 전담부서 설립은 다른 활성화 방안들에 비해 중요성이 낮게 인식되었다. 다양한 유형의 설계도서 안전성을 검토할 수 있는 전문인력이 부족한 상황에서 새로운 조직 설립의 중요성을 설문 응답자들이 낮게 인식하였기 때문이다. 건설사의 설계 참여를 위한 발주방식 확대의 중요성이 낮은 이유는 설계자의 창의성과 예술성을 침해할 수 있는 단점도 있기 때문이다. 하지만, 건설사의 설계단계 참여는 안전성과 시공성 향상 관점에서는 장점이 있다. 녹색건축물 인증제도에 가점을 부여하는 활성화 방안의 중요성도 낮았다. 미국 PtD 사례에서 LEED 등급에 가점을 부여하고 있지만(National Institute for Occupational Safety and Health 2024a), 건설안전과 친환경 건축물과의 연계성이 낮기 때문이다.

다음으로, DfS 활성화 방안의 시급성을 분석하였으며(〈그림 4〉 참조), 중요성과 유사하게 설계사의 DfS 수행 대가 산정기준의 수립과 주요 공종별 DfS 매뉴얼·가이드 작성의 시급성이 가장 높았다. 이는 설계자의 노력에 대한 적합한 비용 산정과 건설안전·시

그림 3 DfS 활성화 방안: ①중요성 분석

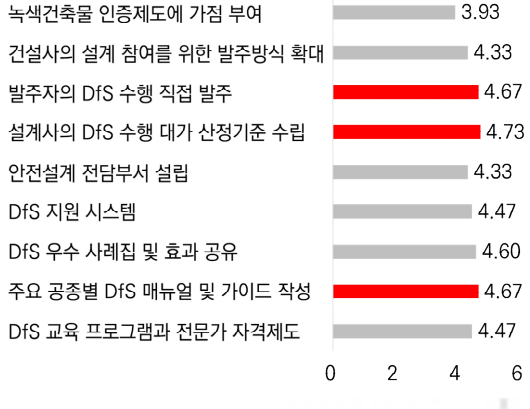
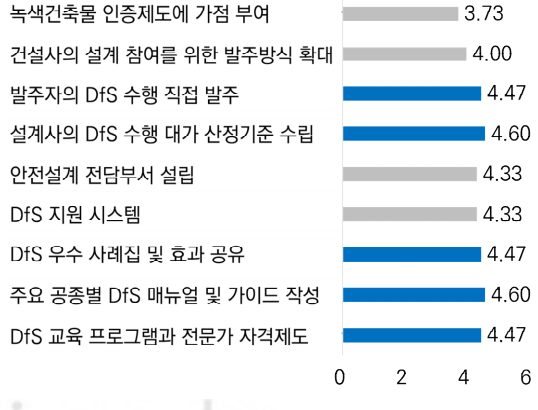


그림 4 DfS 활성화 방안: ②시급성 분석



www.kci.go.kr

공 전문성 보완이 DfS 수행에 가장 시급한 활성화 방안으로 인식되고 있는 것을 의미한다. 설계자의 전문성을 보완하고 적합한 비용을 지급하는 다른 활성화 방안인 DfS 우수 사례집 및 효과 공유와 DfS 교육 프로그램과 전문가 자격제도, 발주자의 DfS 수행 직접 발주의 시급성도 높았다. DfS 지원 시스템은 설계자의 전문성을 보완할 수 있지만, 시스템 구축에 소요되는 비용과 시간, 관련된 디지털 기술의 실무 적용성 등의 관점에서 중요성 분석 결과(〈그림 3〉 참조)보다 시급성이 상대적으로 낮았다. 중요성 분석 결과와 유사하게 안전설계 전담부서 설립과 건설사가 설계단계에 참여하는 발주방식의 확대, 녹색건축물 인증제도에 가점을 부여하는 활성화 방안은 시급성이 낮은 것으로 나타났다.

분석된 중요성과 시급성을 곱하여 DfS 활성화 방안(〈표 10〉 참조)의 국내 적용 우선순위를 분석하였다(〈그림 5〉 참조). 우선 1순위는 설계사의 DfS 수행 대가 산정기준 수립이었으며, 2순위는 주요 공종별 DfS 매뉴얼 및 가이드 작성, 3순위는 발주자의 DfS 수행 직접 발주, 4순위는 DfS 우수 사례집 및 효과 공유로 분석되었다. 1순위와 3순위는 그동안 설계자의 DfS 수행에 따른 적합한 대가 지급이 이루어지지 않고, 이는 DfS 결과의 품질에도 영향을 미쳐서 우선순위가 높은 것으로 나타났다. 2순위와 4순위는 건설안전·시공 지식이 부족한 설계자의 전문성을 보완하기 위해 필요한 매뉴얼 및 가이드와 참고할 수 있는 유사사례가 필요해서 우선순위가 높았다. 다른 활성화 방안의 우선순위는 DfS 교육 프로그램과 전문가 자격제도, DfS 지원 시스템, 안전설계 전담부서 설립, 건설사의 설계 참여를 위한 발주방식의 확대, 녹색건축물 인증제도에 가점 부여의 순서로 분석되었다.

그림 5 DfS 활성화 방안: ③중요성과 시급성을 함께 고려한 우선순위 분석



www.kci.go.kr

Ⅵ. 결론

건설사고 감소를 위해서 설계 안전성 검토(DfS) 제도가 수립되었지만, 건설안전 및 시공에 대한 설계자의 전문성 부족과 관련 전문가와의 협업 부족 등의 문제가 발생하고 있다(한국시설안전공단 2017; 김용구 2019; 김정원, 유정호 2019). 이에 많은 선행연구들에서 DfS 문제점과 개선사항을 제시하였지만(Adaku, Ankrah and Ndekugri 2021; Gambatese, Michael and Abowitz 2017; Guo, Weston, Jianphinitnan and Liu et al. 2021; Ibrahim, Belayutham, Manu and Mahamadu 2021; 서원경, 차유나, 강영철 2023; 신원상, 손창백 2019; Poghosyan, Manu, Mahamadu and Akinade et al. 2020; Umeokafor, Windapo, Manu and Diugwu et al. 2023), DfS 활성화 방안을 제안한 선행연구는 없었다.

이 연구는 DfS 수행에 필요한 요인을 도출하고, DfS를 활성화하는 방안을 제안하는 것을 목표로 한다. 먼저, 선행연구 검토와 전문가 검토 회의를 통하여 설계자의 DfS 수행을 위한 필요 요인을 전문성 향상(설계자 전문성 향상, 업무수행 매뉴얼·가이드 수립, 유사사례 및 효과 공유, 정보기술 연계 활용)과 협업 강화(업무지원 시설 및 시스템, 조직 내 및 조직 간 협업), 발주자 역할(DfS 대가 산정기준 수립, 발주자 능력과 지원, 건설사업 발주 방식) 관점에서 도출하였다. 그 후, 각 필요 요인에 해당하는 DfS 활성화 방안 9가지를 미국 사례와 전문가 자문을 통하여 제안하였다(①DfS 교육 프로그램과 전문가 자격제도, ②주요 공종별 DfS 매뉴얼·가이드 작성, ③DfS 우수사례집 및 효과 공유, ④DfS 지원 시스템, ⑤안전설계 전담부서 설립, ⑥설계사의 DfS 수행 대가 산정기준 수립, ⑦발주자의 DfS 수행 직접 발주, ⑧건설사의 설계 참여를 위한 발주방식 확대, ⑨녹색건축물 인증제도에 가점 부여).

마지막으로, 설문조사를 통해 제안한 DfS 활성화 방안의 중요성과 시급성을 평가하고, 활성화 방안 적용의 우선순위를 분석하였다. 우선순위가 가장 높은 세 가지 활성화 방안은 ⑥설계사의 DfS 수행 대가 산정기준 수립과 ②주요 공종별 DfS 매뉴얼·가이드 작성, ⑦발주자의 DfS 수행 직접 발주로 분석되었다. DfS를 수행하는 설계사에게 적합한 대가를 지급하는 것과 건설안전·시공에 대한 설계자의 전문성을 보완하는 방안의 중요성과 시급성이 높았기 때문이다. 이 연구에서 제안한 활성화 방안들은 DfS 활성화를 위한 정책 수립에 구체적인 근거로 활용할 수 있을 것이다.

우선순위가 높게 분석된 ②주요 공종별 DfS 매뉴얼 및 가이드 작성을 위해서는 정량적 기준이 수립되어 있어야 한다. 하지만, 국내 법·제도 및 지침에서 제공하고 있는 정량적 기준은 많지 않다. 해외에서는 작업자의 안전을 확보하기 위한 규약집(protocol)을 개발한 선행연구가 있었다(Ho, Lee and Gambatese 2020). 향후 연구에서 주요 공종별로 작업자의 안전을 확보하기 위한 기준 혹은 지침이 수립된다면, 설계자의 건설안전·시공에 대한 전문성을 보완할 수 있는 DfS 매뉴얼 및 가이드 작성과 DfS 활성화에 도움을 줄 수 있을 것이다. 우선순위가 높은 ⑥설계사의 DfS 수행 대가 산정기준 수립을 위해서는 현재의 설계대가 기준과 건설사업관리 대가기준(건설엔지니어링 대가 등에 관한 기준 2023)을 검토하고, ⑦발주자의 DfS 수행 직접 발주를 위해서는 발주자들이 수립한 관련 기준(한국토지주택공사 2022)을 검토하여 기존의 법·제도 개선에 대한 연구가 필요하다.

DfS 수행의 필요 요인에 대한 전문가의 유의성 검토(〈표 8〉 참조)와 DfS 활성화 방안의 우선순위 분석을 위한 설문조사(〈표 11〉 참조)는 안전설계 업무 담당자만을 대상으로 하여 그 표본 수가 적은 한계가 있다. 향후 DfS 적용이 확대되어 안전설계 담당자 수가 증가되었을 때 전문가 검토와 설문조사를 다시 수행한다면, DfS 적용 확대에 따른 전문가 인식 변화를 비교할 수 있을 것이다.

www.kci.go.kr

• 참고문헌 References

1. 건설공사 안전관리 업무수행 지침. 2022. 국토교통부고시 제2022-791호(12월 20일 일부개정). 제6조(설계시행 단계).
   Performance guidelines for construction safety management tasks. 2022. Ministry of Land, Infrastructure and Transport Notification. no.2022-791(Partial revision on December 20). Article 6 (Design implementation stage).
2. 건설공사 안전관리 종합정보망. https://www.csi.go.kr/por/about_dfs_001.do (2024년 3월 25일 검색).
   Construction Safety Management Integrated Information. https://www.csi.go.kr/por/about_dfs_001.do (accessed March 25, 2024).
3. 건설엔지니어링 대가 등에 관한 기준. 2023. 국토교통부고시 제2023-580호(10월 17일 일부개정). 제4조(설계용역의 대가).
   Standards for construction engineering fees. 2023. Ministry of Land, Infrastructure and Transport Notification. No. 2023-580 (Partial revision on October 17).
4. 고용노동부. 2018·2019·2020·2021·2022. 산업재해현황 분석. 세종: 고용노동부.
   Ministry of Employment and Labor. 2018·2019·2020·2021·2022. *A Status Analysis Of Industrial Accident Status*. Sejong: Ministry of Employment and Labor (MOEL).
5. 국가통계포털. 2024a. 전체재해 현황 및 분석·발생형태별. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=118&tblId=DT_11806_N011&conn_path=I3 (2024년 2월 23일 검색).
   Korean Statistical Information Service. 2024a. Status of all disasters by type of occurrence. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=118&tblId=DT_11806_N011&conn_path=I3 (Retrieved February 23).
6. _____. 2024b. 사망재해 현황 및 분석·발생형태별. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=118&tblId=DT_11806_N022&conn_path=I3 (2024년 2월 23일 검색).
   _____. 2024b. Status of fatal accidents by type of occurrence. https://kosis.kr/ statHtml/statHtml.do?orgId=118&tblId=DT_11806_N022&conn_path=I3 (Retrieved February 23).
7. 국토교통부. 2017. 설계 안전성 검토 업무 매뉴얼. 세종: 국토교통부.
   Ministry of Land, Infrastructure, and Transport. 2017. *A Manual Of Design For Safety*. Sejong: Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT),
8. 국토교통부. 2022a. 스마트 건설 활성화 방안 S-Construction 2030. 세종: 국토교통부.
   Ministry of Land, Infrastructure, and Transport. 2022. *Smart Construction Revitalization Plans-Construction 2030*. Sejong: Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT).
9. 국토교통부. 2022b. 시공책임형 건설사업관리(CM at Risk) 시범사업 확대: 건축 이어 도로·철도공사에도 확산… 공사 품질, 안전도 향상 기대. 7월 13일, 보도자료.
   Ministry of Land, Infrastructure, and Transport. 2022. Expansion of CM at risk pilot project: Following building construction, it has spread to road and railway construction… Expected to improve construction quality and safety. July 13, press release.
10. 국토교통부·한국시설안전공단. 2018. 설계안전검토보고서 검토 사례집. 세종: 국토교통부, 진주: 한국시설안전공단.
    Ministry of Land, Infrastructure, and Transport and Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation. 2018. *A Casebook For Review Of Design For Safety*. Sejong: Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), Jinju: Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation.
11. 김용구. 2019. 건설안전 강화를 위한 설계안전성(DfS) 제도 실행력 강화방안. 한국건설관리학회지 20권, 1호: 16-21.
    Kim, Y. 2019. Measures to strengthen the implementation of the design for safety (DfS) to strengthen construction safety. *Construction Engineering and Management* 20, no.1: 16-21.
12. 김정원, 유정호. 2019. 설계 안전성 검토 제도의 실효성 분석과 개선방안 제안: 국내 추락 사고 사례 분석 중심으로. 한국건설관리학회 학술발표대회논문집: 228-301.
    Kim, J. and Yu, J. 2019. Analysis of the effectiveness of the design for safety and suggestions for improvement: Focusing on the analysis of domestic fall accident cases. *Annual Conference of Korea Institute of Construction Engineering and Management*: 228-301.
13. 녹색건축인증(G-SEED). http://www.gseed.or.kr/overview.do (2024년 7월 11일 검색).
    G-SEED. http://www.gseed.or.kr/overview.do (accessed July 11, 2024).

www.kci.go.kr

14. 삼성물산, 삼우종합건축사사무소. n.d. 설계 안전성 검토 가이드. 서울: 삼우종합건축사사무소.
Samsung C&T and SAMOO Architects & Engineers. n.d. Design for safety guide. Seoul: SAMOO Architects & Engineers.
15. 서원경, 차유나, 강영철. 2023. 설계사의 안전성 검토(DfS): 인식현황과 업무수행을 위한 필요역량 분석. 대한건축학회 논문집 39권, 6호: 253-263.
Seo, W., Cha, Y. and Kang, Y. 2023. Architects' perception and required competencies for the implementation of design for safety (DfS). *Journal of the Architectural Institute of Korea* 39, no.6: 253-263.
16. 신원상, 손창백. 2019. 건설 프로젝트의 설계안전성 검토에 대한 인식 분석 및 개선방안. 한국건축시공학회 논문집 19권, 4호: 351-359.
Shin, W. and Son, C. 2019. An awareness analysis on the design for safety of construction project and its improvement measures. *Journal of the Korea Institute of Building Construction* 24, no.4: 393-402.
17. 이치주. 2024. 기술형 입찰사업의 유찰 원인 분석과 활성화 방안. 국토연구 122권: 3-21.
Lee, Chijoo. 2024. Analyzing the causes of bidding failures in technology-type bidding projects and plans for stimulation. *The Korea Spatial Planning Review* 122: 3-21.
18. 엔지니어링사업대가의 기준. 2021. 산업통상자원부고시 제2021-137호(7월 29일 일부개정).
Standards for engineering project fees. 2021. Ministry of Trade, Industry and Energy Notification. No.2021-137 (Partial revision on July 29).
19. 최현석. 2011. 그린빌딩 평가제도의 국제적 기준 형성에 관한 연구: BREEAM과 LEED제도의 발전과정에 관한 연구. 국토연구 71권: 187-200.
Choi, Hyunseok. 2011. international movement towards green building standards: Comparative analysis of the United States and the United Kingdom. *The Korea Spatial Planning Review* 71: 187~200.
20. 한국시설안전공단. 2017. 설계안전성검토 (Design for Safety) 적용 매뉴얼 개선방안 연구. 진주: 한국시설안전공단.
Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation. 2017. *Research On Improvement Plans For The Application Manual Of Design For Safety(DfS).* Jinju: Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation.
21. 한국토지주택공사. 2022. 시공책임형 건설사업관리 방식 특례운용기준. 진주: 한국토지주택공사.
Korea Land and Housing Corporation. 2022. *Special Operating Standards For Construction Management At Risk.* Jinju: Korea Land & Housing Corporation.
22. KBS 뉴스. 2021. 광주 학동 철거건물 붕괴사고 석 달… 멈춰버린 유족들 시간. KBS 뉴스. https://news.kbs.co.kr/news/pc/view/view.do?ncd=5276818 (2024년 7월 12일 검색).
KBS News. 2021. Three months after the collapse of the demolished building in Hak-dong, Gwangju… time for the bereaved families stopped. https://news.kbs.co.kr/news/pc/view/view.do?ncd=5276818 (accessed July 12, 2024).
23. KBS 뉴스. 2023. 균열 확인하고도… 백서로 본 화정아이파크 붕괴사고. KBS 뉴스. https://news.kbs.co.kr/news/pc/view/view.do?ncd=7816542 (2024년 7월 12일 검색).
KBS News. 2023. Even after confirming the cracks… Hwajeong I-Park collapse seen in white paper. https://news.kbs.co.kr/news/pc/view/view.do?ncd=7816542 (accessed July 12, 2024).
24. Adaku, E., Ankrah, N. and Ndekugri, I. 2021. Design for occupational safety and health: A theoretical framework for organisational capability. *Safety Science,* 133: 105005.
25. Department of Health and Human Services. 2010. *Prevention through Design. Plan for the National Initiative.* National Institute for Occupational Safety and Health.
26. Department of Occupational Safety and Health(DOSH). 2020. Guidelines of Occupational Safety and Health in Construction Industry (Management) 2017. Kuala Lumpur: Ministry Of Human Resources.
27. Farghaly, K., Collinge, W., Mosleh, M. H., Manu, P. and Cheung, C. M. 2022. Digital information technologies for prevention through design (PtD): A literature review and directions for future research. *Construction Innovation* 22, no.4: 1036-1058.
28. Gambatese, J., Michael, T. and Abowitz, D. 2017. Owner Perceptions of Barriers to Prevention through Design Diffusion. *Journal of Construction Engineering and Management* 143, no.7: 04017016.
29. Guo, B., Weston, R., Jianphinitnan, P., Liu, W., Scheepbouwer, E., Walt, D. and Goh, Y. 2021. A

www.kci.go.kr

regulatory perspective on safety in design practices in New Zealand. *Safety Science* 141: 105352.

30. Ho, C., Lee, H. and Gambatese, J. 2020. Application of Prevention through Design (PtD) to improve the safety of solar installations on small buildings. *Safety Science* 125: 104633.
31. Hossain, A., Abbott, E., Chu, D., Qui, T. and Goh, Y. 2018. Design-for-Safety knowledge library for BIM-integrated safety risk reviews. *Automation in Construction* 94: 290–302.
32. Ibrahim, C., Belayutham, S., Manu, P. and Mahamadu, A. 2021. Key attributes of designers' competency for prevention through design (PtD) practices in construction: A review. *Engineering, Construction and Architectural Management* 28, no.4: 908–933.
33. Li, M., Yu, H. and Liu, P. 2018. An automated safety risk recognition mechanism for underground construction at the pre-construction stage based on BIM. *Automation in Construction* 91: 284–292.
34. Lingard, H., Saunders, L., Pirzadeh, P., Blismas, N., Kleiner, B. and Wakefield, R. 2015. The relationship between pre-construction decision-making and the effectiveness of risk control. *Engineering, Construction and Architectural Management* 22, no.1: 108–124.
35. National Institute for Occupational Safety and Health. 2024a. Prevention through Design Program. https://www.cdc.gov/niosh/research-programs/portfolio/ptd.html (accessed July 22, 2024).
36. _____. 2024b. Prevention through Design. https://www.cdc.gov/niosh/ptd/about/ (accessed July 22, 2024).
37. Occupational Safety and Health Administration. 2024. Construction Roundtable Representatives. https://www.osha.gov/alliances/roundtables/roundtables-construction (accessed March 28, 2024).
38. Poghosyan, A., Manu, P., Mahamadu, A. Akinade, O., Mahdjoubi, L., Gibb, A. and Behm, M. 2020. A web-based design for occupational safety and health capability maturity indicator. *Safety Science* 122: 104516.
39. Prevention through Design. 2024a. The PtD Concept. https://designforconstructionsafety.org/ptd-concept (accessed March 28, 2024).
40. _____. 2024b. Process and Work Product. https://designforconstructionsafety.org/process-and-work-product (accessed March 28, 2024).
41. Toole, T. and Erger, K. 2019. Prevention through design: Promising or perilous? *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction,* 11, no.1: 04518023.
42. Umeokafor, N., Windapo, A., Manu, P., Diugwu, I. and Haroglu, H. 2023. Critical barriers to prevention through design in construction in developing countries: A qualitative inquiry. *Engineering, Construction and Architectural Management* 30, no.7: 3014–3042.
43. Yuan, J., Li, X., Xiahou, X., Tymvios, N., Zhou, Z. and Li, Q. 2019. Accident prevention through design (PtD): Integration of building information modeling and PtD knowledge base. *Automation in Construction* 102: 86–104.

• 논문 접수일: 2025. 1. 17.
• 심사 시작일: 2025. 2. 4.
• 심사 완료일: 2025. 2. 27.

www.kci.go.kr

요약

건설사고 감소를 위해서 설계 안전성 검토제도(design for safety: DfS) 제도가 수립되었지만, 건설안전 및 시공에 대한 설계자의 전문성 부족과 관련 전문가와의 협업 부족 등의 문제가 발생하고 있다. 이 연구의 목표는 이와 같은 문제점들을 완화할 수 있는 DfS를 활성화하는 방안을 제안하는 것이다. 먼저, 선행연구 검토와 전문가 자문을 통하여 설계자의 DfS 수행 지원을 위해 필요한 사항을 전문성과 협업, 발주자 관점으로 도출하고, DfS 활성화 방안 9가지를 제안하였다(①DfS 교육 프로그램과 전문가 자격제도, ②주요 공종별 DfS 매뉴얼 및 가이드 작성, ③DfS 우수 사례집 및 효과 공유, ④DfS 지원 시스템, ⑤안전설계 전담부서 설립, ⑥설계사의 DfS 수행 대가 산정기준 수립, ⑦발주자의 DfS 수행 직접 발주, ⑧건설사의 설계 참여를 위한 발주방식 확대, ⑨녹색건축물 인증제도에 가점 부여). 그 후, 설문조사를 통하여 제안한 활성화 방안의 중요성과 시급성을 평가하고, 우선순위를 분석하였다. DfS를 수행하는 설계사에게 적합한 대가를 지급하는 방안과 건설안전·시공에 대한 설계자의 전문성을 보완하는 방안의 중요성과 시급성이 높아서 제안한 활성화 방안 중에서 '⑥설계사의 DfS 수행 대가 산정기준 수립'과 '②주요 공종별 DfS 매뉴얼 및 가이드 작성', '⑦발주자의 DfS 수행 직접 발주'의 우선순위가 가장 높게 나타났다.

• **주제어:** 건설사고, 설계 안전성 검토제도, 전문성 향상, 협업 강화, 발주자 역할, 활성화 방안

www.kci.go.kr