

## 삼우CM의 설계단계 사전 위험성 평가(Design for Safety)에 관한 연구 성과 소개



김성진 삼우CM 기술연구소 핵심기술팀 이사  
 신성준 삼우CM 개발설계본부 설계팀 이사  
 이호영 삼우CM 기술연구소 핵심기술팀 팀장  
 이기호 삼우CM 기술연구소 연구소장

KICEM

### I. 서론

#### 1. DFS(Design For Safety) 연구 배경

##### 1.1 현황

지난 10년간 정부의 37차례에 걸친 건축물 안전강화 대책 발표에도 불구하고 건축물 붕괴, 화재 등 안전사고가 지속적으로 발생되고 있다. 2014년 마우나리조트 붕괴사고와 아산 오피스텔 전도사고 등 대형사고가 발생하였으며 이를 계기로 정부는 2014년 5월 23일 설계-인·허가-시공-감리-유지관리 등 건축 전과정에 걸친 건축기준과 절차를 전면 재검토하여 부실공사 원인 규명 및 근본적인 대책을 세웠다. 7월24일 정부세종청사에서는 국무총리 주재로 제47회 국가정책조정회의를 열고, '건설현장 안전관리체계 개선방안'을 논의하여 확정하였다.

이를 근거로 국토교통부는 2014년 12월 "건설공사 안전관리 업무매뉴얼"을 발간하여 계획단계부터 준공에 이르기까지 발주자, 설계자, 시공자 및 건설사업 관리자 등 안전관리 참여자의 역할과 업무범위를 체계적으로 정립하였으며, 모든 건설사업 참여관계자가 안전관리의 관리주체가 되어 안전사고를 사전에 예방할 수 있도록 관련제도화가 되었다.

따라서 정부는 그동안 시공자·감리자에 의존하던 기존 건설 현장 안전관리 방식을 모든 건설주체가 참여하는 방안으로 개선하였으며, 발주처에게는 안전 총괄책임을 부여하고 설계자는 현장 위험요소를 사전에 확인하여 설계에 반영·명시하는 DFS 제도를 의무화 하였다.

이로서 현행 시공단계 중심의 안전관리체계를 설계·착공·시공·준공단계를 아우르는 건설사업 숲 생애주기형 안전관리 체계로 전환하며, DFS 수행에도 불구하고 위험요소가 남아있

을 경우를 대비하여 설계단계에서부터 시공단계까지 지속적으로 집중관리를 추가로 실시할 계획이다.

따라서 삼우CM에서는 현재 진행 중인 공공공사를 대상으로 국토교통부에서 예시한 설계단계 사전 위험성 평가(Design for Safety) 절차에 따라 Pilot Project(시범사업)를 수행한 연구 성과를 소개하고자 한다.

##### 1.2 연구방향 및 목적

본 연구에서는 DFS의 전반적인 프로세스를 이해하고 추출한 DATA의 활용 가능성을 모색하기 위해 "000복합커뮤니티 센터"를 Pilot Project로 선정하였다.

주설계자, Coordinator, 각 분야의 공종별 설계자(건축, 토목, 기계, 전기, 통신, 소방, 조경)로 가정하여 TF팀을 구성하고 진행하였으며 실시설계 도면을 근거로 설계 안전성 검토 보고서를 작성하였다. 그 과정에서는 전담Coordinator를 중심으로 각 공종별 설계자와 의견을 조율해 가면서 진행하는 것이 중요하다.

따라서 본 연구의 목적은 DFS활성화를 위해 설계도면을 통해 건설현장의 위험요소를 발굴하고 위험요소 제어방안을 수립하여 작업자들에게 안전한 작업환경을 제공해 주는 것을 궁극적인 목표로 삼고 있다.

### II. 본론

#### 2. DFS(Design For Safety)의 이해와 과정

##### 2.1 DFS의 개념

DFS의 개념<sup>1)</sup>에 대한 연구는 Kletz(1991), Gambatese(2000), NSC(National Safety Council) (1999)에 의해 수행되었다. Kletz는 '가능한 한 사용자 편의에 적합하게 설계 하는 것'으로

DFS정의를 내리고 있으며, Safety를 사용자의 편의로 해석하고 있다. Gambatese는 ‘안전시공성(Safety Constructability)의 지식을 설계단계에 통합하는것’으로 정의하고 있으며, Kletz와 마찬가지로 DFS의 대상을 시공단계의 작업자로 한정하고 있다. NSC는 ‘설계 및 엔지니어링 단계에서 설계대안 창출과정과 유해위험분석·리스크 평가를 통합하여 재해발생의 확률이 수용할만한 수준이 되도록 취하는 일련의 행동’으로 정의하고 있으며, 이는 건설산업의 안전에 대한 개념이 <그림2-1>과 같이 시공단계와 유지관리단계에서 기획 및 설계단계로 확대되는 것을 의미하여 현재 DFS개념의 근간이 되었다.

홍성호(2003)는 이들의 정의를 종합하여 DFS를 “설계대안 창출과정에 안전시공성을 유해위험·리스크 분석을 통해 반영하여, 시공단계의 작업자가 본질적으로 안전한 환경(재해발생의 확률이 허용할만한 수준)에서 작업할 수 있도록 하는 일련의 활동”으로 정의하였다. 본 연구에서도 이 정의를 DFS의 개념으로 사용한다.

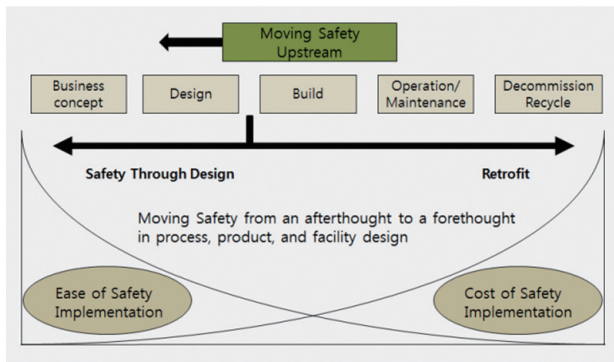


그림 1. Christensen의 DFS 목적과 개념<sup>2)</sup>

## 2.2 국가별 안전관리제도 및 설계자 역할비교

### 1) 국가별 안전관리제도 비교

국외의 경우 Samelson(1982)이 DFS 안전관리체계의 필요성을 역설한 이후, 1990년대 중반부터 본격적으로 시작 되었다. 이후에 DFS 안전관리체계에서 적용되는 주체별 안전책임과 역할, 안전관리활동 프로세스, 안전평가(유해위험평가), 안전정보의 흐름 등 다양한 부분<sup>3)</sup>에서 DFS활성화를 위한 노력을 기울

이고 있다. 국내의 경우는 2014년 12월“건설공사 안전관리업무 매뉴얼”을 발간하여 주체별 책임과 역할을 부여하였으며 2015년부터 DFS를 적극 시행하고자 관련법을 고시하고 2016년 5월 19일부터 대상공사에서 설계안정성 검토보고서를 작성하기로 법제화 하였다.

표 1. 국가별 안전관리제도 비교

구분	영국	미국	한국
도입시기	1994년	1996년	2015년
규정/지침	CDM Regulation 2015 (Construction and Design Management)	ANSI/ASSE Z590.3-2011 PID (Prevention through Design)	건설공사 안전관리 업무 매뉴얼
기관	HSE (Health & Safety Executive)	NIOSH (National Institute for Occupational Safety & Health)	국토교통부 (2014.12.건설공사 안전 관리 업무매뉴얼내용, 중 설계안전성 검토)

### 2) 국가별 설계자의 주요 역할 비교

국내 기준은 발주자를 안전관리총괄책임자로 지정하고 설계자는 건설 안전관리 전문가를 참여시켜 DFS보고서를 작성할 예정이며 국가별 설계자의 주요 역할은<표2-2>와 같다.

표 2. 국가별 설계자의 주요 역할<sup>4)</sup>

설계자의 안전책임과 역할	영국 (CDM)	미국 (PID)	한국 (DFS)
설계자/발주자에게 안전의무 인식	●	●	×
안전을 고려한 설계대안 창출	●	●	●
설계에 대한 정보제공	●	●	●
타 참여주체와의 협력	●	●	●
안전관리계획(설계안전성 검토보고서) 작성	●	●	●
시공사 선정지원	×	●	×

## 2.3 연구 방법

1) Pilot Project를 통한 DFS 연구 방법은 아래<그림2-2>의 항목을 단계별로 구분하여 flow chart를 따라 진행한다.

1) 이희복, Design for Safety개념을 활용한 국내 건설안전프로세스 개선방안, (중앙대학교 대학원, 2004)p5-6

2) 홍성호, Design for Safety개념을 활용한 건설안전관리정보모형 개발, (중앙대학교 대학원, 2003)p15-16

3) 홍성호, Design for Safety개념을 활용한 건설안전관리정보모형 개발, (중앙대학교 대학원, 2003)p.4

4) 홍성호, Design for Safety개념을 활용한 건설안전관리정보모형 개발, (중앙대학교 대학원, 2003)p.20

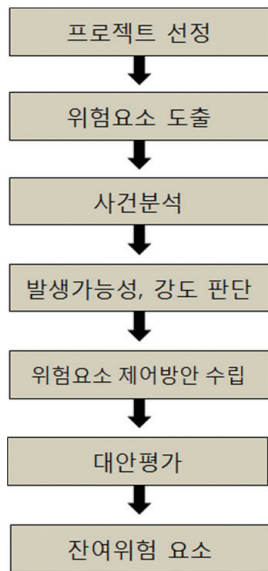


그림 2. 항목별 건설안전 위험성 평가 flow chart

2) 발주자는 설계서(과업지시서)의 설계조건을 중심으로 설계(안)에 존재하는 주요 위험요소를 국토부에서 예시한 서식인 ‘건설안전 위험성 평가표’에 도면검토, 시방서, 각종지침, 내역서등을 분석 및 기입하고, 자유로운 토론(브레인스토밍)을 통해 위험요소 및 제어방안 등을 도출, 기록한다. 국토교통부, 건설공사 안전관리 업무매뉴얼, 2014 p.116

〈그림2-2〉에 따라 각 단계의 항목별 도출과정과 방법을 약술하면 다음과 같다.

3) 위험요소(Hazard) 도출

- ① 설계도면 중 건축공종은 평면도, 단면도, 입면도, 부분상세도를 분석하여 도면의 정확성을 확인한다.
- ② 설계자는 작업자의 작업공간이 가능한지를 사전에 분석하고 작업환경이 어떠한지를 확인한다.
- ③ 주 설계자와 건설안전전문가가 코디네이터 역할을 하여 수시로 공종별 설계자와 회의를 갖고 설계부분에 대한 의견을 협의한다. 상호간에 연관성이 있는 작업은 반드시 Cross Check 한다.
- ④ 설계자는 내외장부분에 적용되는 재료의 적합성에 대한 분석을 하여 시공 중 혹은 준공 후 유지관리 시 위험요소가 있는 부분에 대하여 꼼꼼히 분석한다.
- ⑤ 위험요소가 내포된 시공공법이나 구현되는 공간감, 사용되는 재료 등의 물리적 성질을 설계자가 면밀히 인지하여 향후 설계도면 작성 시 위험성을 줄인다.
- ⑥ 건축물 시공 관련한 법령(산업안전보건법, 건설기술진흥

법, 산업안전보건기준에 관한규칙, 시설물특별법, 건축법, 소방법, 각 지방 조례)을 숙지하여 설계도면 작성 및 도면 검토 시 적정하지 못한 부분을 체크하고 개선방법을 강구한다.

⑦ 시공단계에서 가설 구조물의 구조계산 등을 설계에 반영하여 설치 및 해체를 고려 해야한다. 현재 토목공사는 가설구조물의 구조검토부분에서 세부사항이 확정되었으나 건축공사는 아직 세부규정이 확정되지 않은 상황이다. (건설기술진흥법으로 2015년 7월7일부터 시행을 하고 있으나 토목부분만 시행되고 있다.)

⑧ 안전보건공단에서 분기별로 발행하는 중대재해사례 및 대책을 공종별로 분석하여 빈번하게 발생하는 사고를 파악하고 사고빈도수가 높은 공종과 대책을 정리하여 설계안전성 검토 보고서 작성 시에 활용한다.

⑨ 영국의CDM, 미국의PtD, Toolbox, 캐나다의 WorkSafeBC, 싱가포르의 Manual 등을 참조하여 선진 해외사례를 통한 간접경험으로 위험요소를 도출 및 개선사례를 활용한다.

⑩ 토목공사에서는 가시설 공사에서 용접불량 및 도면을 검토하고 시공 시 구(舊)재사용으로 인한 강도감소계수를 보수적으로 설계에 반영하여 안전율을 확보한다.

⑪ 특히, 기계실 천정에 배관되는 파이프 배관공사는 사전에 하중에 대한 제원이나 구조 검토 없이 시공되는 사례가 비일비재 하므로 잠재적 위험요소를 분명히 검토한다.

⑫ 기계설비 공종에서는 용접으로 인한 화재발생의 빈도가 높으며, 현장에서 제작 설치하는 공종이 많으므로 관련한 위험요소들을 파악한다.

⑬ 통신공사에서는 천정에 설치되는 전기 특고압 tray와 통신tray의 실질적인 이격거리가 현재 통신법이나 관련법으로 명확하게 규정되어 있지 않고 있고, 흔히 시공되고 있는 통신맨홀의 접지처리 미흡으로 낙뢰의 위험성이 상존하고 있기 때문에 세밀히 체크한다.

⑭ 조경공사에서 옥상 조경작업 시에는 자재양중과 지하층으로 차량출입과 보행자 동선의 충돌, 차량과 장비의 충돌이 일어날 수 있기 때문에 동선 마찰관계를 면밀히 분석한다. 또한 교목식재시의 전도의 위험성을 검토한다.

4) 사건(사고유형) 분석

- ① 사건은 위험요소로 인해 발생할 수 있는 사고의 유형으로서 기록을 할 수 있으며, 작업내용에 따라 구분할 수 있다.
- ② 작업위치 및 작업내용, 작업방법에 따라 사고의 발생가능

성과 발생강도가 각각 달라질 수 있으며, 본 Pilot Project를 수행해 본 결과 나타나는 사고의 빈도수로는 추락이 가장 높게 나타나며, 붕괴, 충돌, 전도, 낙하, 비레 등의 순으로 나타난다.

③ 작업의 내용은 각각 달라도 고소작업이 많은 관계로 동일한 사고유형이 발생한다.

④ 사고유형의 판단은 설계자나 건설안전전문가가 설계에 참여하여 가능한 객관성을 유지하되, 경우에 따라서는 주관적인 입장에서 판단이 불가피하다.

⑤ 사건파악을 위해서는 설계도면을 파악하는 것이 가장 중요하며, 특히, 작업순서를 연상하면서 고민해야 한다. 부분증축 공사나, 리모델링 공사는 사용자들의 사용과 동시에 공사가 진행되는 경우도 있으므로 사전에 안전관리에 대한 대책을 수립하여 작업을 고려하여야 한다.

#### 5) 발생가능성과 발생강도

① 각 위험요소의 발생가능성과 발생강도는 국토부자료에 예시되어있는 위험성 등급표를 기준으로 상, 중, 하로 평가되며 평가자의 주관적 입장이 포함된 정성적 평가이다.

② 위험성평가에서 위험등급결정은 “발생가능성×피해의 중대성”으로 결정하며, 수용 불가능한 위험성(A), 큰 위험성(B), 중간위험성(C)부분은 위험요소 수준이 치명적이기 때문에 관련 설계요소에 대해 설계(안)이 반드시 수정 되어야만 한다는 것을 의미한다. 중간위험성(D), 사소한 위험성(E)부분은 설계안 수정에 대해 감내할 수 있는 위험요소 수준으로 설계대안 이 수정되어야 한다.

③ 위험요소의 발생확률과 강도에 관한 평가가 합리적으로 이루어지기 위해서는 유사 프로젝트의 재해정보를 적극적으로 활용할 필요가 있다. 동종재해가 반복적으로 발생하는 건설재해의 특성상 유사프로젝트의 재해정보는 부분적으로 해당 프로젝트의 유해 위험의 레벨에 반영될 수 있다.

#### 6) 위험요소 제어방안

① 설계자는 작업자의 안전에 부정적인 영향을 미칠 설계요소의 위험요소를 사전에 파악하고, 예방책을 강구한다.

② 위험요소 제어방안은 작업자의 안전뿐만 아니라 부수적인 효과를 갖고 있다. 예를 들면, 습식공법을 건식공법으로 변경하여 공장제작 현장설치 방법으로 바꾼다면 공정의 단축과 원가의 변화로 설계VE제도와의 밀접한 연관이 있다.

③ 설계자는 본인이 제어방안을 고려할 때 작업자이면서, 안전관리자 입장에서 접근해야 위험요소를 제거하고 안전하게 작

업할 수 있는 방안을 찾을 수 있다.

④ 제어방안 강구 시에는 현장경험이 풍부하고 공종별 시공방법, 시공순서 등을 정확히 인지하고 있는 건설안전전문가의 도움을 받아서 설계에 반영한다면 안전사고를 예방 할 수 있는 양질의 설계도면이 될 것으로 판단한다.

⑤ 설계자는 가설구조물 공사의 규정이나, 가설공사 표준시방서등을 면밀하게 숙지하여 가설공사 도면이나 시공방법 등을 도면에 분명하게 표현하여 안전사고 예방에 만전을 기해야 될 것으로 판단한다.

⑥ 설계자가 자재양종과 관련한 자재의 크기, 하중 등을 고려하여 작업성이 원활하도록 고려하여야 한다.

⑦ 위험성을 최소화 할 수 있는 방안으로 공정을 단축하는 공법 및 건식공법 위주의 작업방법을 고려한다.

#### 7) 위험요소 관리주체

① 위험요소 제어방안을 담당할 관리주체는 대부분이 각 공종별 설계자가 주체이지만 여건에 따라 시공자가 주체가 될 수도 있다. 그러나 잔여 위험요소(시공단계) 보유자는 시공 단계에서 해당 공종의 작업자로 사료된다.

② 각 공종별 시공법에서 복합공종으로서 두 개 분야가 협력해야 될 부분에서 관리주체는 서로 의논해서 결정하는 것이 바람직하다고 생각한다.

#### 8) 위험요소제어방안 대안평가

위험요소 제어방안의 대안평가를 안전, 심미성, 기능성, 엔지니어링, 비용, 시간 및 환경 측면으로 구분하여 적정성을 평가, 기록 한다. (국토부에서 예시한 양식을 활용)

#### \* 평가관점 및 주요목적

(1) 해당공종의 작업위치와 작업여건을 고려하여 위험요소의 대안을 강구하고, 위험성을 감소하는 것이 목적이다.

(2) 해당공종의 위험성을 제거하고 평가해서 가장 적절한 대안을 찾는 것이 무엇보다 중요하다.

#### 9) 잔여위험요소

① 시공자가 인지해야 하는 위험요소와 설계(안)에 잔여 위험요소를 파악하여 시공사의 안전관리문서 작성 여부를 기록하여야 한다.

② 시공자에게 전달될 잔존 위험요소로서 위험요소 보유자가 확실히 인지할 수 있도록 전달해야 하며, 설계자는 안전관

리 문서를 상세하게 작성하여 발주자에게 제출한다. 설계(안)의 위험요소가 수용할만한 수준으로 판단되면 설계업무는 종료되며, 여기서 도출된 결과는 설계 참여자가 회람하여 검토 및 확인한다.

### 2.4 연구사례(Pilot Project)

Pilot Project 대상은 연면적 14,100,27m<sup>2</sup> 규모의 공공 복합 시설로 선정하였으며, 프로젝트의 사업 개요는 아래 표 2-3과 같다.

표 3. Pilot Project 개요

구분	설계내용	
사업명	000복합 커뮤니티 센터	
사업 개요	위치	세종특별자치시
	용도	문화, 집회시설 / 교육연구시설
	대지면적	8,086,00m <sup>2</sup>
규모	건축면적	4,045,91m <sup>2</sup>
	연면적	14,100,27m <sup>2</sup>
	건폐율	50.03%
	용적률	117.76%
	구조	철근콘크리트 + 철골구조
	층수	지하 1층, 지상 4층
	높이	22.30M

Pilot Project 분석결과 위험요소도출결과는 건축 72건으로 가장 많았으며, 공종별 총 합계는 128개의 위험요소를 도출하였으며, 위험성 평가 및 설계, 시공단계의 개선요소는 총 91건으로 분석되었다.

표 4. 공종별 위험요소 분석표

구분	위험 요소도출	건설안전 위험성 평가	설계 단계	시공 단계
건축	72	50	26	24
전기	11	10	7	3
기계	7	7	3	4
조경	20	6	3	3
소방	3	3	2	1
통신	3	3	3	0
토목	12	12	3	9
합계	128	91	47	44

또한, 설계, 시공단계 평가요소 제안 비율은 설계단계 요소가 52%〈그림2-3〉로 근소하게 높은 것으로 나타났다.



그림 3. 설계/시공 위험요소 도출비율

## III. 결론

삼우CM에서는 약 6개월간 DFS TF팀을 구성하여, 국토교통부에서 예시한 설계단계 사전 위험성 평가(Design for Safety) 절차에 따라 Pilot Project(시범사업)를 수행하였으며, 수행절차, 결과 및 DFS수행을 위한 보완사항을 정리하면 다음과 같다.

1) 도면검토 및 시방서, 각종지침, 참여자의 브레인스토밍을 통한 위험요소를 도출하여 대안을 선택할 때는 주설계자와 공종별설계자, 건설안전전문가 등이 많은 토의를 거쳐 최적의 안을 도출한다.

2) 당사에서는 “000복합커뮤니티 센터”를 Pilot Project로 지정하여 설계 안전성 검토 보고서 (Design for Safety)작업을 수행하였다. 도출된 위험요소는 128건(표2-4)으로 위험성평가는 91건이며 그중 설계단계가 47건(52%)시공단계가 44건(48%)로 분석(그림2-3) 되었다. 설계단계 건은 설계자에게 전달하여 발주처와 검토를 거쳐 설계에 반영 예정이며, 시공단계 건은 시공사 입찰 전에 입찰설명서 및 시방서에 공종별로 적시하여 시공자에게 전달 될 수 있도록 한다.

3) DFS 공종별 설계참여자는 개념을 정확히 이해하고, 작업에 임해야 하며 작성 기준과 표현하는 방식을 정확히 숙지한 후에 보고서 작성을 해야 한다.

4) 위험요소 제어방안의 대안평가에서 7개 평가항목의 다양한 요인의 평가에 대한 세부지침이 부재중이어서 작업에 어려움이 있다.

5) DFS 관련 데이터 접근이 용이하도록 다양한 사례수집을 통해 데이터 베이스를 구축할 필요가 있다. 영국의 CDM사례에서는 규정을 접할 수 있었으며, 국내는 국토부에서 시행한 ‘건

설공사 위험요소 체크리스트'를 작성한 사례를 접할 수 있었다.

6) 설계안전성 검토보고서가 작성되어 지적된 설계사항을 검토하고 검토 후에 설계도면에 반영이 되었는지의 확인절차 단계는 개선이 필요하다.

7) 주설계자와 공종별 설계자들은 설계안전성검토 보고서 작성할 때 국토부에서 예시한 규정을 준수하여 상호간의 정보 공유를 하므로 작업시간의 단축과 보고서 내용의 충실도, 완성도를 높일 수 있을 것으로 판단한다.

\* <TF팀 참여자명단>

건축: 금창준, 김학춘, 김재문, 권효진, 권순영, 김상남, 안병열

토목: 박한영

기계: 안규태, 임재기

전기: 허위, 김봉진

통신: 권병철

소방: 전봉진

조경: 황장하

전문연구요원 : 이범희, 이정혁

감수: 오용장

■ 김성진 E-mail: manlike0094@samoocm.com