

Design for Safety 개념을 활용한 건설안전관리정보모형

A Construction Safety Management Information Model using the Concept of Design for Safety

홍 성 호*
Hong, Sung-Ho

요 약

Design for Safety 개념이 반영된 건설안전관리정보모형을 개발함에 있어 본 연구는 도입의 필요성을 입증하고 안전관리시스템과 안전관리정보모형의 기본개념을 제안하는 선행적 성격을 가진다. Design for Safety 개념의 필요성은 재해원인모형에 관한 이론고찰, 사망재해에 대한 사례조사를 통해 입증하였으며, 주체별 안전책임과 역할, 안전관리프로세스, 유해위험평가기법으로 구성된 안전관리시스템은 국내·외 관련연구를 종합하여 제안하였다. 또한 안전관리정보모형의 기본개념은 현행 안전정보 인프라에 대한 문제점과 안전관리시스템 구성요소의 특징에 따라 제시되었다.

키워드: 건설안전관리, 안전관리정보모형, 안전을 위한 설계

1. 서론

최근 10년간 한국건설산업의 강도율이 2.3의 수준을 유지하고 있다. 또한 제조업보다 재해자 수가 평균 36%가 적음에도 불구하고, 재해자 수 대비 사망자 수의 비율이 2.34%로 2배 정도 크다. 사망 만인율을 외국 건설산업과 비교할 경우에도, 영국의 4배, 미국의 2배 수준이다¹⁾. 이는 한국건설산업의 질적 안전수준이 타 산업과 국가에 비해 열악하다는 점을 의미한다. 더욱이 앞으로 사망자 수가 저감되지 않을 것이라는 전망도 문제의 심각성을 더하고 있다²⁾.

질적 안전수준의 저감에 효과가 있다고 인식되는 개념이 Design for Safety이다. Design for Safety란 설계대안 창출과정에서 안전시공성을 유해위험 평가를 통해 반영하여 작업자가 본질적으로 안전한 환경에서 작업할 수 있도록 하는 사전적 건설안전관리를 말한다. 이 개념의 적용시도가 10여 년 전부터 이루어졌으나, 필요성에 대한 입증부족, 합리적인 안전관리시스템의 부재, 선결요건인 안전관리정보모형의 부재 등의 이유로 공감대를 얻지 못하고 있다.

따라서 본 연구는 Design for Safety 개념을 국내에 적용함에 있어 도입의 필요성을 입증하고 안전관리시스템과 안전관리정보모형의 기본개념을 제안하기 위해 수행되었다.

Design for Safety 개념의 필요성은 재해원인모형

에 관한 이론고찰, 사망재해에 대한 사례조사를 통해 입증하였으며, 주체별 안전책임과 역할, 안전관리프로세스, 유해위험평가기법으로 구성된 안전관리시스템은 국내·외 Design for Safety 관련연구를 종합하여 제안하였다. 또한 안전관리정보모형의 기본개념은 현행 안전정보 인프라에 대한 문제점과 안전관리시스템 구성요소의 특징에 따라 제시하였다.

2. Design for Safety 개념의 필요성

2.1 재해원인모형

Reason(1990)은 기술적 실수, 오류 및 위반 등에 의해 건설프로젝트의 초기단계에서부터 잠재되어 있던 재해원인이 시공단계의 특정환경과 결합되어 재해로 발현된다는 재해원인모형을 주장하였다. 이에 대해 Groeneweg(1994)도 동의하여 주요 잠재적 재해원인으로 건설프로젝트 기획 및 설계단계의 결함을 지적하였다. Bellamy(1992)도 재해의 간접원인으로 신뢰성을 지적하였다. 더욱이 Suraji(2001), UMIST(2003)는 100건의 사망재해를 조사하여, 그림 1과 같이 기획 및 설계단계의 결함이 재해의 간접원인으로 작용하였음을 밝혔다.

1) 시계열 분석을 실시한 결과, 향후 3년간 건설산업 사망자 수는 2002년(596.5명), 2003년(605.6명), 2004년(605.6명)임을 예측되어, 현행 질적 안전수준이 계속 유지될 것으로 판단된다.

2) 국가별 사망 재해자 수를 비교하기 위해 최근 3년간 평균 사망 재해자 수를 해당 국가의 3년간 평균 총 근로자 수로 나눈 결과에 10,000명을 곱하였다(사망만인율). 사망재해 만인율이 가장 양호한 국가는 영국(0.759)이며, 한국은 2.938인 것으로 분석되었다.

* 정회원, 중앙대학교 건설산업기술연구소 전임연구원, 공학박사

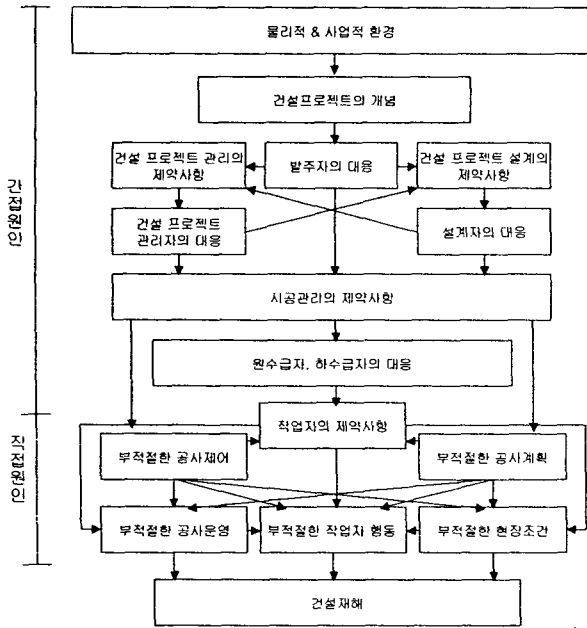


그림 1. UMIST(2003)와 Suraji(2001)의 재해원인모형

시스템 모형이론은 기계·설비·장비·공구·가시설 물과 그것을 움직이는 작업자, 그리고 과정이 일어나는 환경으로 구성된 작업시스템의 개별요소 결합과 이들 요소의 부조화로 인해, 작업자가 불량정보를 인식하고 잘못된 의사결정을 하여 재해가 발생한다는 주장이다. 건설생산과정에서 작업자 요소를 제외하고 기계·설비·장비·공구·가시설물의 결합, 환경결합, 개별요소 간의 부조화는 주로 기획 및 설계단계의 원인에 기인한다. 따라서 시스템 모형이론도 타 이론과 마찬가지로 기획 및 설계단계의 결합이 주요 잠재적 재해원인으로 작용함을 시사하고 있다. 이밖에도 Hinze(1992), Gambatese(2001)는 건설프로젝트의 기획 및 설계단계에서 재해예방가능성이 가장 크다고 지적한 바 있다.

일련의 재해원인모형은 전통적인 도미도 이론에 비해 기획 및 설계단계 결합이 재해의 잠재적인 원인으로 작용함을 인정하고 있다. 즉, 재해가 기획 및 설계단계의 결합으로 인해 원인이 건설프로젝트에 잠재되어 있다가, 시공단계의 불안전 상태에 의해 발현되는 과정을 거친다는 것이다. 이와 같은 재해원인모형에 의한다면, 재해예방의 최선방안이 재해가 발생할 가능성을 기획 및 설계단계에서부터 사전에 제거·최소화하는 것임을 알 수 있다.

2.2 기획 및 설계단계 결합의 사망재해 영향도

2004년 1월부터 8월까지 발생한 사망재해 중에서 21건을 무작위로 추출하고, 사례조사를 실시하여 표 1과 같이 재해원인을 분석하였다. 표 1을 보면, 부적절한 프로젝트 기획 및 설계단계의 결합(IPP, ICP)에 의한 것이 전체 발생원인 169개 중에 14개이다. 여기에 기획 및 설계단계 결합으로 파생된 15개의 타 영역 결합까지 포함하면, 총 29개의 기획 및 설계단계의 결합이 사망재해의 원인으로 작용하였음을 알 수 있다. 이는 전체 재해원인의 약 17%를 차지한다.

표 1. 사례조사에서 나타난 사망재해의 원인현황

안전관리의 결합영역	사망재해 빈도	비율(%)	기획 및 설계단계 결합으로 발생한 타 영역의 결합
부적절한 프로젝트 기획(IPP)	2	1.2	-
부적절한 프로젝트 설계(IPD)	12	7.2	-
부적절한 현장 조건(ISC)	6	3.6	5
부적절한 공사 계획(ICP)	36	21.3	7
부적절한 공사운영(ICO)	47	27.8	3
부적절한 공사제어(ICC)	28	16.6	0
부적절한 작업자 행동(IOA)	38	22.5	0
합계	169	100	15

대체적으로 기획 및 설계단계 결합은 물체 및 설비 결합, 작업장소의 부적절, 작업공정의 결합, 작업환경 및 여건불량, 작업장소의 위험요인 등과 같은 불안전 상태유형과 관련성이 있다. 이와 같은 불안전 상태유형에 의해 발생한 사망재해는 표 2와 같이 1999년부터 2001년까지 920건으로 전체 사망재해의 64%를 차지한다. 여기에 기획 및 설계단계 결합에 의한 순수 사망재해를 추정하기 위해 사례조사 결과값인 17%를 적용하였다. 이를 통해 전체 사망재해 중에서 약 11%가 기획 및 설계단계 결합에 의해 발생하였음을 추정할 수 있었다.

따라서 기획 및 설계단계의 결합을 제거하면, 최소 11%의 사망재해 저감효과가 있을 수 있다고 결론지을 수 있다. 하지만 한국건설산업은 안전관리시스템의 범위를 시공단계로 국한하고 있어, 사망재해 발생에 11%의 영향을 미치는 기획 및 설계단계 결합을 통제할 수 없다는 문제점을 지니고 있다.

표 2. 전체 사망재해에서 기획 및 설계단계의 결합이 차지하는 비중

불안정한 상태의 유형	기간			소계	기획·설계 관리상 결합
	1999년	2000년	2001년		
물체 및 설비결합	5	64	105	174(12.09%)	○
안전장비·방호장치결합	31	177	62	270(18.76%)	
보호구, 작업복의 부적절	32	18	44	94(6.53%)	
작업통로의 부적절	17	21	85	123(8.55%)	
작업장소의 부적절	100	36	24	160(11.12%)	○
작업공정의 결합	30	81	148	259(18.00%)	○
작업환경 및 여건불량	171	12	7	190(13.20%)	○
작업장소의 위험요인	28	51	58	137(9.52%)	○
기타	14	2	2	18(1.25%)	
분류불능	13	1	0	14(0.97%)	
소계	441	463	535	1439(100%)	920(63.93%)

기획 및 설계단계 결합의 사망재해 영향도=0.64×0.17=0.11

2.3 시공단계 안전관리의 비효율성

사망재해 원인간의 상호 관련성을 빈도로서 나타낸 것이 표 3이다. 상호 관련성이 있는 원인이 총 129개로서 전체의 73%를 차지한다. 따라서 안전관리 프로세스는 상호 연계되는 특징에 의해, 선행 업무의 비효율성이 후행 업무의 안전관리에도 영향을 미치는 문제점이 발생한다.

표 3. 사망재해원인간의 상호관련성(사례조사 결과)

재해원인	IPP, IPD	ISC	ICO	ICP	ICC	IOA	합계
IPP, IPD	9	5	7	3	0	0	24
ISC	-	0	3	0	0	3	6
ICP	-	-	4	27	1	4	32
ICO	-	-	-	6	21	14	27
ICC	-	-	-	-	2	14	16
IOA	-	-	-	-	-	5	5

주: 숫자는 상호 관련성이 있는 재해원인의 빈도를 표시한 것이며, 여기서 약자는 부적절한 프로젝트 기획(IPP), 부적절한 프로젝트 설계(IPD), 부적절한 현장 조건(ISC), 부적절한 공사 계획(ICP), 부적절한 공사운영(ICO), 부적절한 공사제어(ICC), 부적절한 작업자 행동(IOA)이다.

이중 계획활동(ICP)은 안전관리 프로세스에서 가장 중요한 위치를 차지하며 재해예방을 위해서도 필수적이다³⁾. 따라서 안전관리 프로세스가 원활히 순환되도록 하기 위해서는 계획활동이 효율적으로 수행되어야 한다. 하지만 국내는 그림 2와 같이 잠재 유해위험 정보가 기획 및 설계단계에서 시공단계로 전달되는 매커니즘이 없다. 이로 인해 계획활동이 형식적으로 수행되는 경우가 빈번하여, 후속 안전관리활동효율성을 저하시키고 단절현상을 심화시킨다.

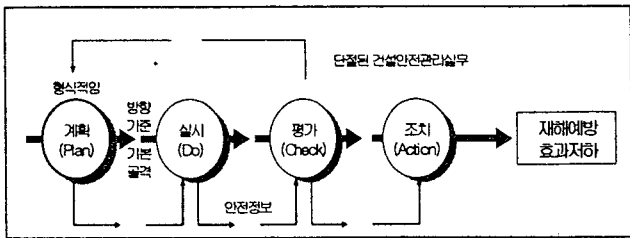


그림 2. 현행 건설안전관리 프로세스상의 문제점

3. Design for Safety 개념의 안전관리시스템

3.1 주체별 책임 및 역할

Design for Safety 개념의 안전관리시스템은 건설프로젝트의 전반을 적용범위로 하고 있어, 의사결정구조에 따라 안전책임과 역할도 분담한다. 따라서 안전관리시스템의 참여주체도 발주자, 설계자, 시공자 및 종합안전관리자(Planning Supervisor)로 구성된다. 이들은 다음과 같은 안전책임과 역할을 수행하여, 재해예방을 위한 협력적 관계를 유지한다.

(1) 발주자

전통적으로 발주자는 안전관리에 소극적으로 대응해 온 것이 사실이나, 재해비용, 제 3자 책임소송 등의 증가는 건설프로젝트의 초기단계에서부터 발주자가 중요한 역할을 담당해야만 하는 당위성을 발생시킨다. 실제로 발주자가 안전관리활동에 적극적으로 참여할수록 건설프로젝트의 안전성고는 높아진다(Hinze, 1991). HSC(2000), Hinze(1999), 김보성(2002)에서 제시된 발주자의 안전책임 및 역할은 유사하며, 이를 정리하면 표 4와 같다.

3) 계획활동은 향후 수행될 안전관리활동의 방향, 기준뿐만 아니라, 각 활동의 연계방안까지도 제시한다. 또한 해당 건설프로젝트의 잠재위험을 사전에 발굴하고, 이를 방지하기 위한 대책을 수립한다. 실제로 손창백(2002)의 자료를 근거로 통계분석을 실시한 결과, 계획활동과 타 활동과는 0.672의 상관성이 있으며, 재해율과도 0.735의 상관성이 존재하고 있는 것으로 나타났다.

표 4. 주체별 안전책임과 역할

주체	안전책임과 역할
발주자	1. 프로젝트에서 안전의 우선순위를 설정한다. 2. 건설프로젝트 참여주체의 선정시 이들의 안전에 관한 전문성을 고려한다. 3. 해당 시설물을 설계함에 있어 작업자의 안전이 반드시 반영되어야 할 공간과 유해위험의 유형을 제시하고 있는 안전설계 권고안을 작성한다.
설계자	1. 발주자의 안전관리활동을 지원한다. 2. 작업자 안전을 고려한 설계대안을 창출한다.
종합 안전관리자	1. 발주자와 설계자의 안전관리활동을 지원한다. 2. 각 주체간의 의사소통을 원활히 한다.
시공자	1. 시공단계 안전관리계획을 수립한다. 2. 안전관리활동을 수행함에 있어 필요한 각종 자원을 할당한다. 3. 안전점검 및 평가를 수행하고 이의 결과를 조치한다.

(2) 설계자

설계자의 의사결정이 건설프로젝트에 미치는 영향은 매우 크며, 건설안전에 대해서도 마찬가지이다. 하지만 전통적으로 설계자는 설계대안 창출과정에서 작업자의 안전을 고려하기보다는 최종 사용자의 안전에만 관심을 두어 왔다는 점은 주지의 사실이다. 실제로 Hinze(1992)에서는 미국 설계자의 1/3만이 작업자의 안전을 고려한다는 사실을 밝혀내어 설계자의 인식전환이 요구된다고 결론지은 바 있다.

작업자의 안전에 관한 설계자의 고려가 거의 없더라도, 설계자들이 자신들의 설계대안으로 인해 발생하는 재해결과를 인식하고 책임감을 느끼게 한다면 안전수준은 향상될 것이다. 외국의 경우 재해발생에 관한 설계자의 책임에 대해 소송이 발생하고 있어, 더 이상 설계자가 작업자의 안전에 소극적일 수는 없는 상황이다. 이는 향후 국내에서도 마찬가지일 것이 분명하다. 따라서 설계자에게도 작업자 안전에 대한 책임과 역할을 부여하여야 하며, HSC(2000), Gambatese(2000), 김보성(2002)은 건설프로젝트 초기단계에서 설계자가 수행해야 할 안전책임과 역할을 제시한 바 있다. 여기서 제시된 설계자의 책임과 역할은 표 4와 같이 정리된다.

(3) 종합안전관리자(Planning Supervisor)

건설프로젝트의 안전관리에 있어서 중심은 발주자에게 있으나, 이들은 각 주체가 수행하는 안전관리활동을 통제하고 관리할 전문능력이 부족한 편이다. 더욱이 설계자, 시공자는 자신들이 분담하고 있는 분야의 안전만을 책임지고 있어, 건설프로젝트 전반의 일관된 안전관리방향이 유지되기 힘들다. 따라서 발주자를 대신하여 건설프로젝트 전반의 안전을 책임지고 관리할 주체가 필요하다. 영국의 경우에는 종합안전관리자라는 제 3의 주체로 하여금 이를 담당하도록 하고 있다. HSC(2000), 한국산업안전공단(1997)에서 제시된 종합안전관리자의 책임과 역할은 표 4와 같이 2가지로 구분된다.

(4) 시공자

시공단계에 국한한 현행 안전관리시스템은 전통적으로 시공자의 안전책임과 역할을 매우 강조하고 있다. Design for Safety 개념의 안전시스템에서도 마찬

가지이나, 발주자, 설계자, 종합안전관리자의 안전책임과 역할로 인해 상당부분 감소된 측면이 있다. 하지만 표 4와 같은 안전책임과 역할은 필수적으로 요구된다.

3.2 안전관리 프로세스

발주자, 설계자, 종합안전관리자 및 시공자의 안전책임과 역할이 완수되기 위해 건설프로젝트의 기획, 설계, 조달 및 시공단계별로 수행되어야 할 일련의 업무를 제시하면 다음과 같다.

(1) 기획단계

기획단계는 타당성 분석을 통해 해당 프로젝트의 경제적·기능적 성공을 예측하고, 이를 실현하기 위한 계획을 수립하는 과정이다. 이 단계에서의 의사결정은 주로 프로젝트 관점에서 이루어지며, 작업자의 안전이 크게 고려되지 않는 것이 사실이다. 기획단계에서 작업자 안전을 반영하기 위한 활동은 두 가지로 구분되며, 이를 반영한 프로세스 모델은 그림 3이다.

의사결정이 이루어지는 전통적인 방식에서 작업자의 안전도 이들과 함께 중요하게 고려되는 방식으로 전환된다는 것을 의미한다.

이는 두 가지의 방법으로 이루어질 수 있다. 하나는 전통적인 설계의사결정과정, 즉 프로그래밍 과정에서 작업자의 안전을 반영하는 방법이며, 다른 하나는 설계의사결정을 통해 창출된 설계대안의 위험성을 평가하여 이를 개선하는 방법이다. 전자는 Design for Safety 개념을 실현하는데 있어 사전적인 성격을 가지고 있음에 반해, 후자는 사후적인 특성을 가지고 있다. 이들 방법이 모두 설계프로세스 내에서 반영되어야만 작업자의 안전이 반영된 설계대안이 창출될 수 있다. 하지만 설계대안의 심미적·기능적·경제적 요소가 훼손되지 않도록 하기 위해서는 후자의 방법이 가장 현실적이다.

설계는 계획 및 실시설계로 구분되며, 각 단계마다 그림 4에서 명시된 과정이 반복된다. 다만, 계획설계에서는 시설물 이미지, 대지접근, 동선, 형태와 규모, 지하개념, 각종 시스템(기초, 구조, 외피, 마감시스템) 등을 중심으로 작업자의 안전이 고려되며, 실시설계에서는 벽, 바닥, 기둥 등과 같은 부위관점을 지향한다. 설계자가 기능적·심미적·경제적 요인과 자신의 창의력을 바탕으로 설계대안을 창출하게 되면, 여기에는 불가피하게 유해위험이 존재하게 된다. 따라서 유해위험 평가를 통해 작업자의 안전에 치명적인 유해위험을 발굴하며, 여기에는 종합안전관리자가 참여하여 자신들의 경험과 지식을 적용한다. 설계단계에서 Design for Safety 개념을 적용하는 절차는 다음과 같다.

첫째, 설계대안에 존재하는 주요 유해위험을 도면 검토, 각종 지침, 종합안전관리자가 참여한 브레인스토밍을 통해 확인한다. 이를 위해서는 시설물의 시스템·부위별로 과거 발생한 주요 유해위험의 항목이 필수적이다. 만일 재해조사 및 분석의 항목으로 설계상의 결함이 포함된다면, 파레토 법칙에 의해 시설물의 시스템·부위별 주요 유해위험 목록의 확인이 가능하다. 사소한 유해위험의 경우에는 시공자의 안전관리활동을 통해서도 예방할 수 있으므로, 이 단계에서는 크게 고려되지 않는다. 둘째, 설계대안에 존재하는 유해위험을 평가하고 기록한다. 셋째, 주요 유해위험을 발생시키는 설계요소를 추적한다. 설계요소는 설계자가 가정한 작업과정, 공법, 자재 등이다. 넷째, 평가결과가 '높음'에 해당되는 항목에 대해 회피, 차단, 최소화 대책으로 구분된 조치방안을 강구하고, 이를 설계대안에 반영한다(design in 개념). 다섯째, 발주자 또는 타 설계자에 의해 설계대안이 변경된 경우에는 유해위험 평가를 다시 수행하여 설계대안을 수정한다.

설계대안의 유해위험이 수용할만한 수준이 되면 설계업무는 종료되며, 도출된 결과는 모든 설계참여자 및 종합안전관리자가 회람한다. 다섯 단계의 절차를 거쳐도 설계대안에 잔여된 유해위험은 입찰이전 안전관리계획과 안전관리대장을 통해 시공자에게 전달하

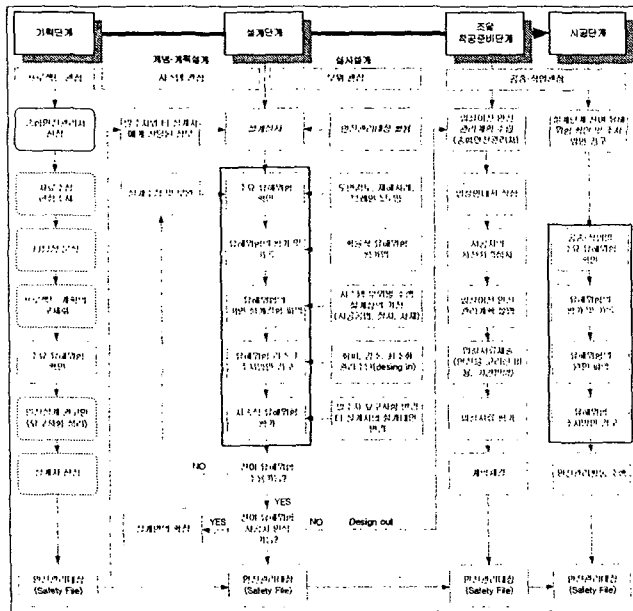


그림 3. Design for Safety 개념이 반영된 안전관리프로세스
 주: HSE(1995a, b), HSC(2000), CIRIA(1997a)의 내용을 종합화하여 작성하였으며, 점선의 직사각형은 기존 기획, 설계, 조달업무임

첫째, 발주자 자신이 담당해야 할 안전책임과 역할을 인식하고, 작업자 안전에 대한 전문성을 지닌 종합안전관리자와 설계자를 선정한다. 둘째, 현장조사를 통해 급격한 경사지, 지반 내의 공극, 지하매설물, 인근 건물의 기초상태 등을 분석하고, 이를 근거로 수립된 프로젝트의 개발계획에 내재된 주요 유해위험의 유형을 종합안전관리자의 자문과 과거 재해정보에 의해 파악한다. 셋째, 발굴된 유해위험을 회피, 감소하기 위한 대책을 설계자가 설계대안에 반영하도록 안전설계 권고안(요구사항)을 작성한다.

(2) 설계단계

작업자의 안전을 반영하기 위한 설계프로세스는 심미적·기능적 요소, 비용 및 품질만을 고려하여 설계

여, 제어대책을 강구하도록 한다(design out 개념).

(3) 조달단계

작업자 안전에 전문성을 가진 참여주체를 선정하는 것이 재해의 예방에 있어서 가장 효과적인 방법이므로, 발주자는 안전성고가 양호한 시공자를 선정한다. 이때 적용될 수 있는 선정방법은 두 가지로 구분된다. 하나는 잔여 유해위험에 대한 시공자 예방대책의 적정성을 평가하는 방법이며, 다른 하나는 과거의 안전성고를 활용하는 방법이다. 후자의 경우에는 사전 자격심사기준의 일부로 이미 국내에서 활용하고 있다. 두 가지의 방법이 모두 적용된 프로세스는 다음과 같다.

첫째, 종합안전관리자는 입찰이전 안전관리계획을 작성함으로써, 설계단계에서 반영하지 못한 잔여 유해위험의 제어방안을 강구하고, 이를 입찰안내서에 포함한다. 둘째, 재해율과 같은 안전성고를 활용하여 시공자의 입찰참가자격을 평가한다. 셋째, 발주자 또는 종합안전관리자는 사전자격심사를 거친 유자격자를 대상으로 입찰이전 안전관리계획을 설명한다. 넷째, 입찰자들은 입찰이전 안전관리계획의 내용을 고려하여 공사기간, 비용 등을 결정하고, 이를 입찰서류에 반영하여 제출한다.

(4) 시공단계

시공단계 안전관리활동의 재해예방성은 기획 및 설계단계 안전관리활동과 연계될수록 높아진다. 따라서 다음과 같은 시공단계 안전관리활동 프로세스가 수립될 필요가 있다.

첫째, 시공단계에서 발생할 수 있는 유해위험 중에서 설계요소(시스템·공간·부위)에 잔여된 것을 확인하고, 이의 조치방안을 회피, 차단, 최소화로 구분하여 강구한다. 만일 설계대안 창출과정에서 잔여된 유해위험의 조치방안을 강구하지 않는다면, 이로 인해 건설재해가 발생할 소지가 높다. 둘째, 각 공종 및 작업을 수행함에 있어 발생할 수 있는 주요 유해위험을 과거 유사프로젝트 또는 재해사례를 활용하여 확인하고, 이를 발생확률과 강도에 근거한 확률적 기법을 통해 평가한다. 셋째, 해당 공종 및 작업을 수행함에 있어 건설재해 발생에 치명적인 영향을 미칠 것으로 판명된 유해위험의 원인을 추적하고, 해결방안을 회피, 감소, 최소화로 구분하여 강구한다.

3.3 유해위험 평가기법

유해위험 평가의 목적은 설계대안이 시공단계 작업자에 미치는 영향도를 평가하여 설계대안의 심미적·기능적·경제적 요소가 훼손되지 않는 범위 내에서 설계대안을 수정하기 위함이다. 일반적으로 유해위험 평가는 발생확률과 강도에 의해 이루어지나, 이들 두 가지 요소가 평가자의 주관과 경험에 의해 정성적으로 판단되어 정확한 유해위험 평가가 되기 힘들다.

따라서 유해위험의 발생확률과 강도에 관한 평가가 합리적으로 이루어지기 위해서는 유사 프로젝트의 재해정보를 적극적으로 활용할 필요가 있다. 동종재해가 반복적으로 발생하는 건설재해의 특징으로 인해

유사 프로젝트의 재해정보는 비교적 해당 프로젝트의 유해위험의 정도를 반영할 수 있기 때문이다. 재해정보를 활용한 유해위험의 정도(재해위험도)는 다음의 식과 절차를 통해 산출하는 것이 바람직하다.

첫째, 부위의 재해위험도(Rdi)는 식(1)과 같이 시설물 i 번째 부위의 유해위험 발생확률(Pdi)과 발생정도(Idi)를 곱하여 산출된 값이다. i 번째 부위의 유해위험 발생확률은 식(2)에서 보는 바와 같이 해당 부위에서 발생한 과거 재해건수에서 해당 부위에 존재하는 주요 유해위험으로 인해 발생한 과거 재해건수가 차지하는 비중을 의미한다. 여기서 주요 유해위험이란 해당 부위에서 가장 많이 발생한 재해형태를 말한다. 유해위험의 발생강도는 식(3)에서 보는 바와 같이 해당 부위에서 발생한 과거 노동손실일수에서 해당 부위에 존재하는 주요 유해위험으로 인해 발생한 노동손실일수의 비율로 산출한다.

$$Rd_i = Pd_i \times Id_i \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

$$Pd_i = \frac{i\text{번째 부위의 주요 유해위험으로 인해 발생한 재해건수}}{i\text{번째 부위에서 발생한 모든 재해건수}} \dots\dots \text{식(2)}$$

$$Id_i = \frac{i\text{번째 부위의 주요 유해위험으로 인해 발생한 노동손실일수}}{i\text{번째 부위에서 발생한 모든 노동손실일수}} \dots\dots \text{식(3)}$$

둘째, 작업의 재해위험도(Rci)는 식(4)와 같이 i 번째 작업의 유해위험의 발생확률(Pci)과 발생정도(Ici)를 곱하여 산출된 값이다. i 번째 작업의 유해위험 발생확률은 식(5)에서 보는 바와 같이 해당 작업에서 발생한 과거 재해건수에서 해당 작업에 존재하는 주요 유해위험으로 인해 발생한 과거 재해건수가 차지하는 비중을 의미한다. 여기서 주요 유해위험이란 해당 작업에서 가장 많이 발생한 재해형태를 말한다. 또한 유해위험의 발생강도는 식(6)에서 보는 바와 같이 해당 작업에서 발생한 과거 노동손실일수에서 해당 작업에 존재하는 주요 유해위험으로 인해 발생한 노동손실일수의 비율을 의미한다.

$$Rc_i = Pc_i \times Ic_i \dots\dots\dots \text{식(4)}$$

$$Pc_i = \frac{i\text{번째 작업의 주요 유해위험으로 인해 발생한 재해건수}}{i\text{번째 작업에서 발생한 재해건수}} \dots\dots \text{식(5)}$$

$$Ic_i = \frac{i\text{번째 작업의 주요 유해위험으로 인해 발생한 노동손실일수}}{i\text{번째 작업에서 발생한 노동손실일수}} \dots\dots \text{식(6)}$$

셋째, 표 5의 평가결과 범위를 참조하여 각 부위 또는 작업에 존재하는 유해위험을 제어하기 위한 대책의 유형을 선정한다. 만일, i 번째 작업의 주요 유해위험이 추락이고, 이의 재해위험도가 0.49 이상이면 제거방안으로 안전작업발판 등을 설치를 강구한다.

표 5. 유해위험 평가결과에 따른 제어대책의 종류

유해위험 평가결과	유해위험 제어대책	사례
Rd _i , or Rc _i > 0.49	제거(Elimination)	추락 유해위험을 제거하기 위해 안전작업발판을 설치한다.
0.09 ≤ Rd _i , or Rc _i ≤ 0.49	차단(Protection)	추락 유해위험을 차단하기 위해 작업자로 하여금 안전대를 착용하도록 한다.
Rd _i , or Rc _i < 0.09	최소화(Mitigation)	추락 유해위험을 경감하기 위해 안전방망을 설치한다.

자료: DOE, "Risk Analysis Management", Good Practice Guide GFG-FM007, 1996, p 33

4. 안전정보 인프라의 문제점

Design for Safety 개념이 반영된 안전관리시스템의 효율성은 양질의 정보수집, 활용 및 공유에 좌우된다. CDM 규정을 통해 Design for Safety 개념을 적용하는 있는 영국과 한국의 안전정보 인프라의 문제점은 다음과 같다. 여기서 제시된 안전정보 인프라의 문제점은 타 국가도 동일하게 경험하고 있다.

4.1 정보의 발굴 측면

영국이 1994년 CDM 규정마련 이후, 각종 연구용역을 통해 건설프로젝트의 참여주체가 활용할 수 있는 안전정보를 별도로 발굴하는 노력을 하고 있으나, Design for Safety 개념이 반영된 안전관리시스템의 틀 안에서 실제 안전정보가 발굴되지 못하고 있다. 이의 원인을 설명하면 다음과 같다.

첫째, 설계모범사례에 대한 환류체계가 마련되어 있지 않다. 건설재해는 유사재해가 반복적으로 발생하는 특징을 가지고 있으므로, 과거 유사프로젝트에서 발생한 유해위험의 유형·원인과 이에 따른 제어방안은 매우 유용한 정보이다. 하지만 각 참여주체가 적용한 설계모범사례를 정부기관이 분석·정리하는 체계가 없어 유사 프로젝트에 재활용되지 못하고 사장되고 있다. 이는 우리의 경우에도 마찬가지이다.

둘째, 재해사례의 경우에도 재해를 유발시킨 유해위험의 유형과 원인, 그리고 제어방안을 조사·분석하여 Design for Safety 개념이 반영된 안전관리에 적용할 수 있도록 해야 한다. 하지만 표 6과 같이 재해조사항목으로 시공단계와 관련된 유해위험의 유형, 원인만이 포함되고 있다. 설계상의 결함으로 발생한 재해의 원인과 이의 제어방안을 재해조사를 통해 추적할 수 있는 체계가 없어 유용한 재해사례의 정보가 사장되고 있다. 한국도 재해를 발생시킨 유해위험의 유형, 원인 및 제어방안을 시공단계의 범위에서만 발굴하고 있어, 작업자의 안전을 고려한 설계대안을 설계자가 창출하는데 필요한 정보가 없는 실정이다.

표 6. 영국의 재해 및 위험발생 보고서 항목

대상목	구성항목
작성자	◦ 성명, 부서, 전화번호, 회사명, 주소, 주요업무
사고	◦ 사고발생일자, 사고발생시간, 사고발생장소
재해자	◦ 재해자 성명, 주소, 전화번호, 연령, 성별, 담당업무, 고용형태, 작업구분(작업상태 유무)
재해결과	◦ 재해종류(일반재해, 중대재해), 상해부위, 상해결과
재해종류	◦ 재해의 유형(추락, 전도, 낙하·비래 등)
위험발생	◦ 위험발생번호
사고경위	◦ 관련물질, 관련기계, 사고유발경위, 다른 사람이 취한 행동

자료: HSE, RIDDOR(Reporting of Injuries, Disease and Dangerous Occurrences Regulations) Explained, 2002

(2) 정보의 활용측면

HSE(2001)의 결과에 따르면, 지금까지 연구용역을 통해 매뉴얼의 형태로 제시된 안전정보가 건설산업 구성원에게 도움이 되지 않았다는 사실을 지적하고

있다. 안전정보의 활용성이 낮은 이유는 다음과 같다.

첫째, 다량의 안전정보를 안전관리활동에 효과적으로 활용하기 위해서는 사용자의 전문성이 요구되나, 시공자를 제외한 영국의 발주자, 설계자는 작업자 안전에 관한 경험과 지식이 미천하다(CIRIA, 1997b). 전문성 결여로 인해 자신들이 필요한 안전정보를 찾아 적용하는데 상당한 시간과 노력이 소요되어 안전정보의 활용도가 낮아진다. 김보성(2002)의 연구에 따르면, 국내 건설산업의 경우에도 작업자 안전에 관한 발주자, 설계자의 전문성과 관심이 매우 낮다.

둘째, 안전정보간의 상관관계를 고려하지 않고 조직화되고 있다. 안전정보가 안전관리활동에 유용하게 활용되기 위해서는 이들간에 논리적 상관관계가 존재하고 있어야 한다. 그럼에도 불구하고 각종 매뉴얼의 안전정보는 무작위로 추출되어 비구조적인 형태를 취하고 있을 뿐만 아니라, 위험상황과 제어상황만을 강조하여 제시되는 경향이 있다. 이로 인해 건설프로젝트 참여주체가 신속하게 해당 건설작업상황에 적합한 유해위험의 유형, 원인 및 제어대책을 참조하여 활용하지 못하고 있다. 우리의 경우에는 한국산업안전공단이 재해사례를 제공하고 있으나, 영국과 마찬가지로 위험상황에 관한 정보에 치우치고 있다. 따라서 재해요인이나 작업상황을 파악하기 힘들어 안전관리활동에 활용되지 못하고 있다.

셋째, 안전관리 프로세스에 따라 각기 다른 형태의 정보가 필요함에 반해, 지금까지 발굴된 안전정보의 가공 및 활용방법을 제시하고 있지 못하다. 단순히 시설물의 구성요소에 따른 유해위험의 유형, 제어방안을 개략적으로 제공하고 있을 뿐이다. 이와 같은 문제점은 건설프로젝트 참여주체의 전문성 부족과 결부되어 정보활용의 효율성을 저해하고 있다.

(3) 정보공유와 전달 측면

시공단계에 국한한 안전관리시스템은 시공자, 하수급자간의 정보공유 및 전달만이 필요하나, Design for Safety 개념 하에서는 발주자, 설계자, 종합안전관리자, 시공자간의 안전정보의 공유 및 전달이 요구된다. 만일, 주체간 안전정보의 공유 및 전달이 원활히 수행되지 않는다면, 협력적인 안전관리활동이 이루어지지 않는다. 정보공유와 전달의 비효율성은 다음과 같은 원인에 의해 발생한다.

첫째, 안전정보가 안전관리계획 또는 안전관리대장이라는 매개체로 공유되고 전달되나, 대부분 문서의 형태로만 이루어지고 있다. 이와 같은 정보전달 방식은 시간적·공간적 제약을 받을 뿐만 아니라, 실제 안전관리활동에 효과적으로 활용되지 않는다. 특히, 설계자와 시공자간의 안전정보가 신속하게 공유되지 않아, 설계대안에 내재된 유해위험의 시공자 초기인식이 어렵다는 문제점을 안고 있다.

둘째, 안전정보의 공유 및 전달은 프로젝트 차원뿐만 아니라 산업적 차원에서도 이루어짐에도 불구하고, 건설산업 전반에서 공유되는 안전정보분류체계가 없다. 각기 다른 관점이 반영된 분류체계를 활용하여 자신들이 수행한 안전관리활동의 결과물을 저장하고 있어, 타 프로젝트에서 활용된 안전정보를 재사용할 수 없는 경우가 대부분이다.

5. 안전관리정보시스템의 기본개념

Design for Safety 개념이 반영된 안전관리정보모형의 구성요소는 그림 4와 같이 안전정보를 논리적으로 구조화할 수 있는 데이터베이스, 안전정보의 활용을 위한 비즈니스 로직, 그리고 발주자, 설계자, 시공자가 신속하고 정확하게 안전정보를 참조할 수 있도록 하는 검색엔진으로 구분된다. 이와 같은 구성요소를 지닌 안전관리정보모형을 개발하기 위해서는 다음과 같은 개념적 틀이 필요하며, 이들간의 상호 관련성을 나타낸 것이 그림 5이다.

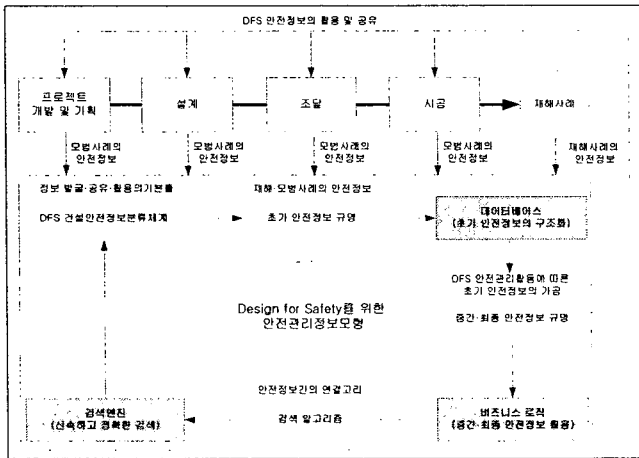


그림 4. Design for Safety 개념이 반영된 안전관리정보모형의 구성요소

5.1 안전정보분류체계

Design for Safety 개념이 적용된 안전관리시스템에서 발생하는 각종 안전정보가 발굴·활용·공유되기 위해서는 이들이 갖는 사실관계, 상황, 배경 및 대책이 합리적으로 분석 및 정리되어야 한다. 만일, 사실관계, 상황, 배경 및 대책 등과 같은 사항의 분석 및 정리가 효율적으로 수행되지 않는다면, 축적된 안전정보를 활용하여 건설프로젝트 내에 존재하는 유해위험을 제거하는 안전관리활동이 효과적으로 수행되지 않는다. 이와 같이 재해 또는 모범사례가 내포하고 있는 각종 안전정보를 체계적으로 추출하는데 필요한 것이 안전정보분류체계이다.

본 연구에서는 Design for Safety 개념이 반영된 안전정보분류체계의 구성과 세부항목을 재해원인모형인 시스템 이론과 도미도 이론을 복합하여 고안하고, 이를 건설정보분류체계와 연계한다. 안전정보분류체계의 구성과 세부항목은 데이터베이스를 설계함에 있어 기초자료로 활용된다.

5.2 초기·중간·최종 안전정보의 규명

안전정보분류체계를 근간으로 재해조사가 정부기관(예: 한국산업안전공단)에 의해 수행되어 각종 재해 또는 모범사례(당해 프로젝트의 최종 안전정보)의 안전정보가 추출된 것을 초기 안전정보라 한다. 이와 같은 초기 안전정보는 데이터베이스에 저장되나, 안

전관리 프로세스에 직접적으로 활용되지 않는다. 초기 안전정보가 안전관리 프로세스에 활용되기 위해서는 정보가 별도로 가공되어야 하기 때문이다. 초기 안전정보를 안전관리 프로세스의 특성에 맞게 가공한 정보의 유형을 중간 안전정보라 한다. 최종 안전정보는 중간 안전정보를 근간으로 수행된 안전관리 프로세스의 결과물을 말한다. 이와 같은 중간 및 최종 안전정보의 내용과 상호관련성은 안전정보의 활용과 밀접한 관련이 있는 비즈니스 로직으로 표현된다.

본 연구에서는 Design for Safety 개념이 반영된 안전관리 프로세스를 바탕으로 초기·중간·최종 안전정보를 IDEF0 모델링을 통해 규명하고, 이들간의 상호관련성을 프로세스-엔터티 매트릭스를 통해 파악한다.

5.3 검색 알고리즘

작업자 안전에 대한 전문성이 부족한 발주자, 설계자, 시공자가 안전정보를 활용하기 위해서는 초기 안전정보 중에서 사용자의 상황과 가장 유사한 재해 또는 모범사례의 정보를 추출하여 중간·최종 안전정보로 연계시키는 기능이 필요하다. 이와 같은 역할을 담당하는 것이 검색 알고리즘이다. 검색 알고리즘은 정보의 표현방법과 상호 호환적인 특성을 지니고 있으며, 검색엔진으로 가시화된다.

본 연구에서는 사례기반 검색알고리즘인 최근접 이웃검색 방법과 귀납적 방법을 복합하여, 검색의 속도와 정확도를 향상시키는 접근방법을 채택한다.

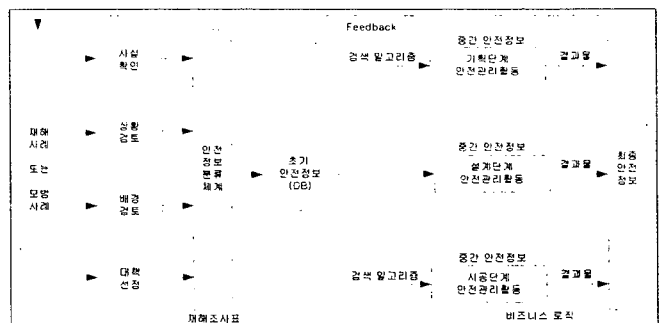


그림 5. 안전관리정보모형에서의 정보흐름

5. 결론

기획 및 설계단계의 결함을 개선하여 국내 건설산업의 질적 안전수준을 향상시키기 위해서는 건설프로젝트의 초기단계에서부터 안전성을 사전에 확보하는 Design for Safety 개념의 도입이 절실히 필요하다. 일부 선진외국의 건설산업은 Design for Safety 개념이 적용된 안전관리시스템을 구축하여 중대재해를 예방하기 위해 노력하고 있다. 하지만 국내 건설산업은 안전관리시스템의 범위를 시공단계로 국한하여 질적 안전수준을 향상시킬 수 있는 기회를 놓치고 있다.

한국건설산업이 Design for Safety 개념이 적용된 안전관리시스템을 도입하기 위해서는 우선적으로 건

설프로젝트 참여주체에게 양질의 안전정보 및 지식을 제공할 수 있는 안전관리정보모형을 개발해야 한다. 건설산업 구성원의 Design for Safety 개념에 관한 인식은 충분한 안전정보와 지식이 공급되고 순환될 때 향상되며, 건설프로젝트 참여주체가 수행하는 안전책임과 역할, 유해위험평가 및 안전관리 프로세스의 효율성도 안전관리정보모형에 의해 활용되는 안전정보의 양과 질에 좌우되기 때문이다. 이는 한국건설산업이 시공단계에 국한한 사후적 안전관리시스템에서 건설재해가 사전 예방되는 안전관리시스템으로의 변화를 모색하는 첫걸음이므로, 추후 심도 있는 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Bellamy, L. J., Geyer, T. A. W., Organizational, Management and Human factors in Quantified Risk Management, HSE Contract Res. Rep. No. 33, Health and Safety Executive Book, 1992
2. CIRIA, CDM Regulations-Work Sector Guidance for Designer, CIRIA Report 166, 1997
3. DOE, "Risk Analysis Management", Good Practice Guide GPG-FM-007, 1996
4. Gambatese, John A., "Liability in Designing for Construction Worker Safety", Journal of Architectural Engineering, ASCE, Vol. 4, No. 3, pp. 107-112, 1998
5. Gambatese, John A., "Safety Constructability: Designer Involvement in Construction Site Safety", Construction Congress IV, ASCE, pp. 650-659, 2000
6. Groeneweg, J., Controlling the Controllable: the Management of Safety, DSWO Press, 1994
7. Hinze, Jimmie, Wiegand, Francis, "Role of Designers in Construction Worker Safety", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 118, No. 4, pp. 677-684, 1992
8. HSC, Proposal for Revising the Approved Code of Practice on Managing Construction for Health and Safety, 2000
9. HSE, CDM Regulations 1994 Brief for a Designers' Handbook, HSE Contract Research Report No. 71/1995, 1995
10. HSE, Information on Site on Site Safety for Designers of Smaller Building Projects, HSE Contract Research Report No. 72/1995, 1995
11. HSE, RIDDOR Explained, 2002
12. Reason, J., "The Contribution of Latent Human Failures to the Breakdown of Complex Systems", Proc., Royal Soc., Discussion Meeting, Human Factors in Haz. Situation, D. E. Broadbent, pp. 243-250, 1990
14. Suraji, A. Duff, A. R., Peckitt, S. J., "Development of Causal Model of Construction Accident Causation", Journal of Construction Engineering Management, Vol. 127, No. 4, ASCE, pp. 337-344, 2001
15. UMIST, Loughborough University, Causal Factors in Construction Accidents, Rep. No. 156, Health and Safety Executive Book, 2003
16. 김보성, 건설사업의 효율적 안전관리를 위한 발주자, 설계자의 역할에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 2003
17. 손창백, 홍성호, "건설회사의 안전관리수준에 관한 비교 연구", 산업안전학회지, 한국산업안전학회, 제 17권, 제 4호, pp. 160-167, 2001
18. 한국산업안전공단, 종합안전관리자제도 도입방안에 관한 연구, 1997

Abstract

The Dfs(Design for Safety) concept is expected to be widely used to promote pro-active construction safety management. It will open up tremendous opportunities for the owner, designer, and constructor to prevent accidents in construction projects. Construction safety management using the Dfs concept is regarded as the most difficult job for the owner, designer and contractor to undertake, because an information model using the Dfs concept is not utilized as a tool to support pro-active construction safety management. Therefore, there has been a growing need toward an information model during the design process as recent practice of construction safety management have emphasized the significance of the pre-construction phase of projects. The objective of this study is to develop the construction safety information model being composed of conceptual, logical, and computerized information models as the tool that helps owner, designer and contractor find out and communicate as well as understand the hazardous nature of the construction projects during the design process.

Keywords : Construction Safety Management, Information Model, Design for Safety, Safety Through Design
