

건설현장 위험영향요소 기반의 위험도 산정 방법론

Construction Risk Assessment Methodology Using Site Risk Influence Factors

이 현 수* 김 현 수** 박 문 서*** 이 광 표**** 이 사 범*****
Lee, Hyun-soo Kim, Hyunsoo Park, Moonseo Lee, Kwang-pyo Lee, Sabum

요 약

건설 산업에 내재된 위험은 작업환경, 작업의 종류, 작업자의 특성 등이 결합되어 발생한다. 건설 현장의 가변적이며 유동적인 특성을 고려한다면 동일 공종이라도 내재된 특성들의 조합에 따라 위험의 크기가 다르게 나타날 수 있다. 하지만 기존의 안전 관리 방식은 이러한 건설업의 특성을 반영하지 못한 채 타산업과 유사한 안전 관리를 수행하고 있다. 이에 본 연구는 건설현장의 다양한 위험 요소를 고려한 위험도 산정 방법을 제시하기 위해 선행연구 분석 및 설문 등을 통해 위험 영향 요소를 도출하고 가중치 체계를 구축하였다. 그리고 빈도와 강도 기반의 공종별 위험도를 구하였다. 위험 영향 요소와 공종별 위험도를 결합하여 건설 현장의 상황에 맞는 위험도 산정 방법을 마련하였다. 이로써 건설 현장의 특성을 고려한 위험도를 구할 수 있으며, 위험도를 바탕으로 보다 효과적인 안전관리활동을 펼칠 수 있을 것이다. 따라서 본 연구는 위험 영향 요소들을 고려하여 현장 특성을 반영한 위험도를 산정하였다는데 그 의미가 있다.

키워드 : 건설안전관리, 리스크 관리, 위험도 산정, 위험 영향 요소

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건축물의 고층화·복잡화·대형화 경향과 작업자의 높은 유동성, 그리고 종합생산적인 건설업 특수성으로 인해 건설공사 중 재해에 대한 위험성은 계속 증가하고 있다. 2007년에 발생한 산업재해를 분석해보면 재해자 수는 건설업이 19,050명(21%)으로 제조업의 34,117명(38%)에 이어 두 번째로 높다. 국민총생산 및 취업자 수에서 10% 미만을 차지하는 건설업은 전체 재해자 수의 20% 이상을 차지하는 재해다발 산업이다(노동부 2007).

높은 재해율과 재해자 수는 건설업 전반에 걸쳐 효율적인 안전관리가 이루어 지지 않음을 보여준다. 현장의 안전관리자들은 재해를 방지하고자 재해예방과 안전교육 등에 많은 노력을 기울

인 결과 과거에 비해 개선되었지만, 타 산업과 비교하면 아직 개선의 여지가 많다.

건설 산업의 안전관리는 산업의 특수성으로 인하여 타 산업과는 다르게 수행되어야 한다. 안전관리의 각 단계 중 위험도 산정은 예상되는 위험을 어떤 수준에서 관리할 것인지를 결정하는데 중요한 척도가 된다. 기존의 위험도 산정 방식들은 위험의 빈도와 강도의 범위를 정해 위험도를 산정하거나(Jannadi & Almishari 2003), 산재요양일수 및 산재보험금의 총 합과 횟수를 통해 위험성 평가를 실시하는 등(Baradan & Usmen 2006, 이민우, 이찬식 2000) 재해사례 및 특정 요소에 집중하여 위험도를 산정하였다.

하지만 건설현장은 다양한 위험 요소 및 인자들이 복잡한 관계를 이루고 있는 곳이며, 재해는 이러한 요소들의 결합에 따라 발생한다고 볼 수 있다(Toole 2002, Hinze & Gambatese

* 중신회원, 서울대학교 건축학과 정교수, 공학박사 hyunslee@snu.ac.kr

** 일반회원, 서울대학교 건축학과, 석사과정 verserk13@naver.com

*** 중신회원, 서울대학교 건축학과 부교수, 공학박사(교신저자) mspark@snu.ac.kr

**** 일반회원, 서울대학교 건축학과, 석사과정 leekp86@hotmail.com

***** 일반회원, 서울대학교 건축학과, 박사과정 leesabum@kookmin.ac.kr

2003, Mohamed 2002). 따라서 건설업의 특성을 고려한 위험성 평가가 필요하다(고성석 외 2005).

본 연구에서는 상황에 따라 작업조건이 변화하고, 수많은 공종과 작업자, 다양한 외적 환경으로 구성되는 현장의 유동적 특성을 반영하는 건설현장의 위험도 산정 방법론을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

건설 산업에서 리스크는 넓은 의미로 프로젝트 전반에 걸쳐 프로젝트에 부정적인 영향을 주는 불확실한 사건이나 상태를 말한다. 본 연구는 리스크 관리 중 재해발생에 영향을 미치는 요소를 고려한 공종별 위험도 산정을 중심으로 수행한다.

위험은 작업자에게 발생하는 재해의 강도와 빈도로 범위를 한정한다. 위험도 분석과 재해 발생 원인에 대한 관련 연구의 동향을 조사하여 기존 위험도 산정 방식의 문제점을 고찰한다. 다음으로는 문헌고찰과 예비 설문, 본 설문을 통하여 위험 영향 요소를 도출하고, 계층분석법(Alytic Hierarchy Process : ‘이하 AHP라 함’)을 활용하여 위험 영향 요소 별 가중치를 구한다. 그리고 위험 빈도, 위험 강도 그리고 이 두 지수의 조합을 통해 공종별 위험도를 산정한다. 이를 바탕으로 현장 특성을 반영한 공종별 위험도 산정 방법론을 제시한다. 본 연구의 주요 절차는 그림 1과 같다.

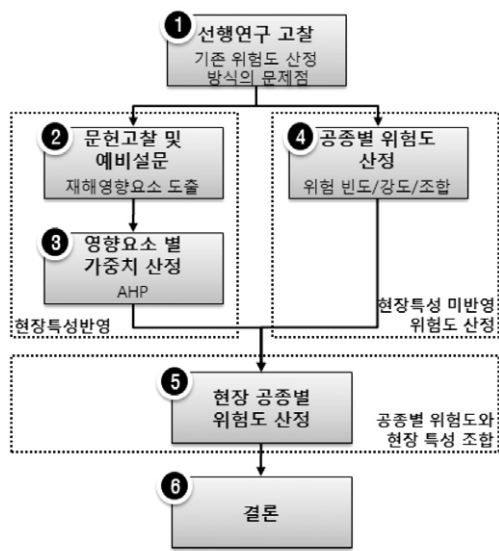


그림 1. 연구프로세스

2. 선행연구 분석

안전관리 및 위험도 산정에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 위험에 대한 정의와 선행연구 및 기존의 지표들을 분석함으로써 기존 연구의 미비점을 찾고자 한다. 이를 통해 위험도 산정 개선

방안을 도출한다.

2.1 정의

위험(Risk), 위험도 산정(Risk Assessment)과 재해(Hazard)에 관한 많은 정의들이 있다. Jannadi(2003)은 위험(Risk)을 특정 활동에 속하는 모든 재해의 발생 가능성, 강도, 노출 정도의 측정이라고 정의 하였다. 그리고 대부분의 안전 관리 지침에 의하면 위험은 재해의 발생 가능성과 강도의 조합으로 정의 하였다(BSI 1996, BSI 2000). 위험도 산정은 위험의 크기를 예측하고 위험의 허용범위를 결정하는 전 과정으로 정의 할 수 있다(고성석 외 2004).

본 연구에서는 위험(Risk)을 원하지 않는 사건(Event)의 발생 빈도(Frequency)와 강도(Severity)의 조합으로 정의하며, 위험도 산정(Risk Assessment)은 위험에 내포된 발생 가능성과 강도를 도출하여 위험의 크기를 예측하는 것으로 정의 한다.

2.2 재해예방관련 연구동향

표 1과 같이 기존의 위험도 산정 연구들은 재해로 인한 산재 양일수 및 산재보험금을 기반으로 위험도를 제시하거나 발생빈도 기반의 위험도 산정을 수행하였다. 또한 작업자의 직종, 연령, 공사종류에 따른 위험도 산정에 관한 연구도 이루어졌다. 선행연구들은 특정한 요소를 선택하여 그 요소를 중심으로 분석하였다.

표 1. 관련 연구 고찰

구분	세구분	정량화	현장특성				저자
			현장 일반 정보	작업자	작업	작업 환경	
안전 관리 및 수준	안전교육	x	x	●	x	x	김은정 외(2008)
		x	x	x	●	x	김만장 (2003)
	안전 관리 수준	x	x	▲	▲	x	Mohamed (2002)
		▲	x	●	▲	x	Hinze and Gambatese (2003)
위험도 산정 및 위험 요인 분석	재해 사례 기반	●	x	x	●	x	Baradan and Usmen (2006)
		●	x	x	●	x	이종빈 외 (2006)
		●	x	x	●	x	장성록 외 (2007)
		●	x	x	●	x	이민우 외 (2000)
		●	●	▲	●	x	한국산업안전공단 (1999)
		▲	x	x	●	x	Jannadi and Almishari (2003)
	리스크 매트릭스기반	▲	x	x	●	x	Seo and Choi (2008)
		x	x	x	▲	●	손창백, 김상철(2005)

*정량화 정도 및 현장 특성 반영 정도가 높은 정도에 따라 ●, ▲, x 순으로 표기함

●: 저자 구체적 반영, ▲: 저자 고려 및 언급, x: 고려 및 언급되지 않음

그러나 보다 신뢰성 있는 위험도 산정을 위해서는 현장에 존재하는 다양한 위험 요소들을 고려해야 한다. 동일한 시설물을 생산할 경우 과거의 재해사례를 분석하여 당해 공종에 안전관리 업무를 수행할 수 있다. 하지만 공사현장에 미치는 위험은 다수

의 가변적 요소들의 결합으로 이루어져 있으며, 작업의 내용 및 조건이 공정 진도에 따라 변하며, 건축의 특성상 작업자들이 상시 변하기 때문에 과거의 동일한 시설물의 동일한 공중이라도 위험도는 각 현장의 특성에 따라 다르게 나타난다.

2.3 재해지표 및 산정방식 분석

국내와 미국에서는 다양한 지표를 통하여 재해의 발생률 및 강도를 판단한다. 이러한 방법은 현재의 상태에 대해 조사 및 평가하는 것이 아니라 과거의 상황을 여러 관점에서 조사하여 현재의 상황에 적용시켜 재해를 예방하고자 한다.

표 2는 국내와 미국의 주요 재해측정지표를 정리한 것이다. 일반적으로 재해 위험도 산정에 사용되는 도수율과 강도율은 각각 재해의 양적인 상태, 질적인 상태를 표현한다. 하지만 두 지표의 기준 시간이 다르기 때문에 빈도와 강도를 고려한 위험도를 산정하기 위해서는 단위를 일치시킬 필요가 있다.

또한 건설현장에 속하는 작업자들의 인원수 및 근로시간이 정확하게 파악되지 않기 때문에 정확한 지수를 구하기 어렵다.

표 2. 국내와 미국의 재해 측정 지표

분류	내용
국내	재해율 (Injury Rate) 근로자수 100인당 발생하는 재해자수의 비율 $\langle \text{재해율}(\%) = \text{재해자수} / \text{근로자수} \times 100 \rangle$
	사망재해율 (Fatality Rate) 근로자수 10,000인당 발생하는 사망자수의 비율 $\langle \text{사망재해율} = \text{사망자수} / \text{근로자수} \times 10,000 \rangle$
	연천인율 근로자 1,000명당 1년만에 발생하는 사상자수 $\langle \text{연천인율} = \text{사상자수} / \text{연평균근로자수} \times 1,000(\text{인}) \rangle$
	도수율 (빈도율, Frequency Rate) 산업재해의 발생빈도를 나타내는 것으로 연 근로시간 합계 100만 시간당의 재해발생 건수 $\langle \text{도수율}(\text{FR}) = \text{재해발생건수} / \text{연근로시간수} \times 1,000,000(\text{시간}) \rangle$
	강도율 (Severity Rate) 재해의 강도를 나타내는 척도로 근로시간 1,000 시간당 재해에 의해 잃어버린 근로손실 일수 $\langle \text{강도율} = \text{근로손실일수} / \text{연근로시간수} \times 1,000(\text{시간}) \rangle$
	미국
손실시간율 (Lost Time Incident Rate) 재해의 강도를 나타내는 척도로 총근로시간 중 작업을 못하게 되는 시간 $\langle \text{손실시간율}(\text{LTI}) = \text{근로손실시간} / \text{총 근로시간} \times 200,000(\text{시간}) \rangle$	

표 3은 한국과 미국 그리고 대형 건설회사 1곳의 위험도 산정 모델을 정리한 것이다. 한국산업안전보건공단의 안전보건경영시스템 구축에 관한 지침의 위험도 산정 방식은 모든 사업장을 대상으로 적용 가능하지만, 건설업의 특징을 반영하지 못한다. 그리고 빈도와 강도의 구분기준이 텍스트 위주의 정성적 평가로 이루어져 있어 공중별 위험도 구분이 용이하지 않다.

미 국방성 안전프로그램인 MIL-STD-882B는 빈도와 강도의 정량적 구분 기준을 제시하였지만, 기준이 명확하지 못하다. 또

한 효율적 위험도를 산정하기 위해서는 각 현장의 특성에 맞는 정의와 기준을 반영하여야 한다.

건설 A사 에서 실시한 위험도 산정은 건설현장의 특성을 반영하였지만 위험도 산정이 작업단위로 이루어지고, 건축물 종류, 작업 조건은 따로 산정하여 종합적인 위험도 산정 작업이 이루어지지 않고 있다. 또한 안전관리자의 경험적 판단에 의해 공중의 위험도가 산정되어 객관성이 낮은 단점이 존재한다.

앞서 살펴본 바와 같이 위험의 빈도와 강도를 구분하는 기준 및 용어의 정량적 특성이 부족하며, 건설현장에 적용할 수 있도록 정의되어야 한다. 이는 건설현장에서 발생한 재해사례를 기반으로 기존의 위험도 산정에 통합적으로 고려되지 않았던 작업자, 작업환경, 작업에 관련된 현장의 조건을 반영함으로써 이루어질 수 있다. 따라서 본 연구는 기존 위험도 산정의 한계점으로 파악된 현장의 특성을 반영한 특정 시점의 공중에 대한 정량적 위험도 산정 모델을 제시하고자 한다.

표 3. 기존 위험도 산정 방법

분류	한국산업안전 보건공단	미 국방성 안전프로그램	건설 A사 위험도 산정 방식
빈도	5단계(민변함, 가능성 높음, 있음, 낮음, 없음)	5단계(자주, 보통, 가끔, 발생 않을 것 같음)	3단계(높음, 중간, 낮음)
강도	4단계(중대재해, 경미한 후업재해, 경미한 무휴업재해, 영향 없음)	4단계(따끔, 위기, 한계, 무사)	3단계(높음, 중간, 낮음)
위험도	20단계(1~20까지의 단계)	4단계(수용가능, 통제어려수용가능, 바람직하지 못한, 허용불가)	5단계(매우 높음, 높음, 중간, 낮음, 매우 낮음)
범위기준	빈도와 강도의 구분 기준 부족	빈도와 강도의 개략적 구분 기준 제시	범위의 세부기준 부족
적용범위	모든 사업장	모든 사업장	건설현장
한계점	범위의 기준이 명확히 제시되어있지 않으며 사업장의 특성을 반영하기 어려움	적용을 위해서 사업장의 특성을 반영하여야 함	안전관리자의 경험적 판단에 따라 위험도 산정

3. 위험 영향 요소 산정 방법론

기존의 연구들을 통해 재해를 유발하는 요소들이 매우 다양하며, 이들의 복합작용으로 재해가 발생한다는 것을 알 수 있다. 본 장에서는 위험 영향요소 산정 방법론과 관련된 문헌조사를 통해 재해의 발생 확률 및 강도에 영향을 주는 요소들을 도출한다. 그리고 도출한 요소들이 재해에 영향을 미치는 정도를 AHP를 통해 분석하였다.

3.1 위험 영향 요소 도출

Heinrich(1939)는 재해 발생 원인을 작업자의 불안정한 행동과 불안정한 물리적·기계적 조건에 의해 사고가 발생한다고 하였다. Chua & Goh(2004)는 재해를 발생시키는 직접적인 요인

으로 불안정한 상태, 불안정한 행동, 작업자 특성을 선정하였다. 또한 Suraji et al(2001)은 재해의 직접적 원인으로 부적절한 건설 작업, 행동, 현장 조건을 꼽았다.

그림 2에서 보듯 재해 요인에 관한 분류를 건설공사에 적용시키면 불안정한 행동과 불안정한 상태로 나눌 수 있다. 그리고 불안정한 행동은 작업자에 의해 유발되며, 불안정한 상태는 작업과 작업조건의 결합에 기인한다.

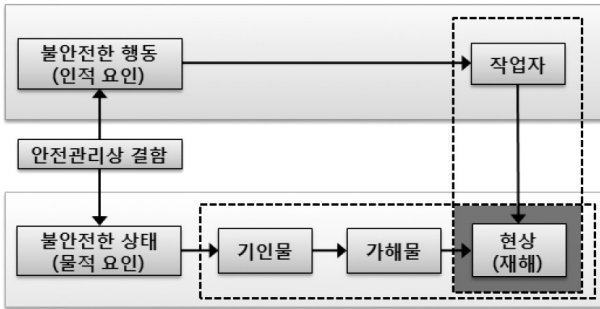


그림 2. 재해 발생 과정

재해를 유발 시키는 인적 요인과 물적 요인에는 여러 가지의 요소들이 포함되어 있다. 이는 안전관리 측면에서 많은 요소들을 고려해야 함을 나타낸다. 하나의 사건(Event)이 발생하는 데는 많은 요소들의 상호작용에 의해서 일어난다. 하지만 현실적인 한계와 획득할 수 있는 자료를 고려하여 그림 3과 같이 위험 영향 요소를 도출하였다.

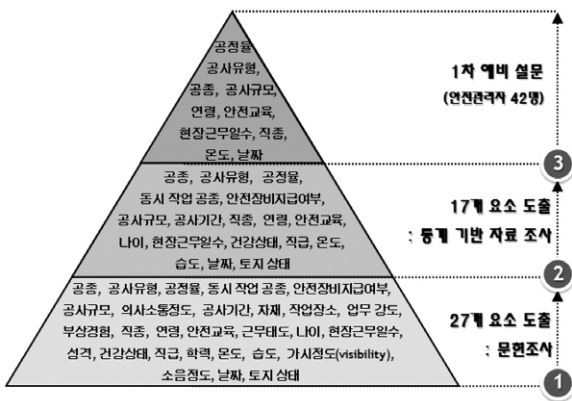


그림 3. 위험 영향 요소 도출과정

위험 영향 요소와 관련된 문헌조사를 통해서 27개의 요소를 도출 하였다. 도출된 27개의 요소 중 측정이 가능하며, 통계적 값이 있는 17개의 요소를 선택하였다. 그리고 경력 10년 이상 안전 관리자(안전기사 및 안전기술사) 42명을 대상으로 한 설문을 통해 17개의 요소 중 재해에 대한 영향이 큰 10개의 요소를 도출 하였다.

3.2 위험 영향 요소 가중치

앞의 절에서 총 10개의 요소를 도출했다. 요소들의 중요도 및 재해에 영향을 미치는 정도를 파악하기 위해서는 정성적인 요소들을 정량적으로 변환하는 과정이 필요하다. 따라서 요인들의 가중치를 구하는 방법으로 AHP를 사용하였다. 이 기법은 정성적인 요소들을 정량적으로 변환할 수 있으며, 가중치를 구하고자 하는 값들의 쌍대비교를 통해 가중치를 구하는 방법이다.

AHP를 통해 앞서 제시한 10가지 중 공종을 제외한 9가지 위험영향요소를 가지고 상대적 중요도를 비교하였다. 비교 방법 및 절차는 그림 4와 같다.



그림 4. 요소별 가중치 도출 과정

공종을 제외하고 9가지 요인들만으로 설문을 실시한 이유는 위험도 산정에 있어서 공종은 과거 재해사례를 기반으로 분석하여 현장 특성을 조합하는 방식으로 위험도를 산정한다. 현장의 특성을 나타내는 것은 앞서 살펴본 9개의 요소로도 가능하며 과도한 요소들의 선택은 재해 자료의 획득이 어려우며, 분석 및 처리의 복잡함 때문에 효율이 떨어질 것이다.

설문지는 AHP를 적용할 수 있도록 쌍대비교 방법을 적용하였다. 설문은 안전관리 경력이 10년 이상의 담당자를 중심으로 배포 및 회수 하였다. 배포한 30부의 설문지 중 13부를 회수하였으며, 이중 일관성 지수(Contingency Index : CI)가 0.1이하인 7부의 설문지를 바탕으로 요소 별 가중치를 분석하였다.

7부의 설문지의 쌍대 비교한 값들을 기하평균 하여 다시 AHP 분석을 하였다. 분석의 결과는 표 4와 같다. 공정율과 안전교육이 각각 0.167, 0.172로 상대적으로 높은 값을 나타냈다. 또한 일관성 지수가 0.0049로 설문자들의 응답에 일관성이 있다고 할 수 있다.

표 4. 쌍대비교 행렬 및 가중치

	공정율	공사규모	공사유형	연령	직종	현장근무 일수	안전교육	날짜	온도
공정율	1.000	1.952	1.292	1.842	1.511	1.258	0.960	3.524	2.479
공사규모	0.512	1.000	0.869	1.292	0.944	1.000	0.689	1.768	1.575
공사유형	0.774	1.150	1.000	2.034	1.042	1.042	0.635	2.420	1.952
연령	0.543	0.774	0.492	1.000	0.662	0.635	0.445	1.486	1.219
직종	0.662	1.060	0.960	1.511	1.000	1.000	0.624	2.000	2.065
현장근무일수	0.795	1.000	0.960	1.575	1.000	1.000	0.635	2.627	2.155
안전교육	1.042	1.450	1.575	2.246	1.601	1.575	1.000	2.918	2.380
날짜	0.284	0.566	0.413	0.673	0.500	0.381	0.343	1.000	1.000
온도	0.403	0.635	0.512	0.820	0.484	0.464	0.420	1.000	1.000
가중치	0.167	0.104	0.126	0.077	0.115	0.122	0.172	0.054	0.062

3.3 가중치 상세기준

앞서 도출한 9개의 위험 영향 요소의 가중치의 상세 기준을 마련하기 위해서 한국산업안전관리공단의 산업재해조사표 코드 분류집에서 제시한 분류기준을 바탕으로 현장 안전관리자의 의견을 종합하였다. 단, 안전교육에 관한 구분은 재해사례로 나타나지 않으며 교육의 방식도 현장에 따라 다양하기 때문에 안전교육의 빈도를 기준으로 구분하였다.

산정 방식은 각 요소의 구분 별 사고 발생 건수 및 부상자와 사망자 수, 작업자 투입 정도를 고려하여 위험도를 구하였다. 산정 방식은 식 (1)과 같다.

$$\text{구분별 위험도} = \sqrt{\frac{\text{부상자 휴업예정일수} + \text{사망자 휴업예정일수}}{\text{전체사고발생건수} \times \text{구분별 작업자 투입정도}} \quad (1)$$

위험 영향 요소의 구분에 따른 위험도의 평균과 각 구분별 위험도의 비로 현장가중치를 산정한다. 현장 가중치를 도입한 이유는 영향 요소 별 구분의 수가 다르기 때문에 단순히 위험도를 넣게 되면 구분의 수가 많은 영향 요소의 실질적 가중치가 줄어들기 때문이다. 가중치의 상세 기준은 표 5와 같다.

표 5. 위험 영향 요소별 가중치 상세 기준

구분													
공정율(f)	정의	전체 공정의 진행정											
	구분(%)	~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	91~100		
	위험도	0.083	0.092	0.124	0.111	0.085	0.099	0.111	0.088	0.107	0.100		
	현장가중치	0.830	0.920	1.240	1.110	0.850	0.990	1.110	0.880	1.070	1.000		
공사규모(f)	정의	건축물의 계약금액											
	구분(억)	~5	5~10	10~30	30~50	50~100	100~500	500~1000	1000~				
	위험도	0.139	0.174	0.132	0.143	0.116	0.084	0.114	0.098				
	현장가중치	1.112	1.392	1.056	1.144	0.928	0.672	0.912	0.784				
공사유형(f)	정의	건축물의 종류											
	구분	체육사교시설			주거숙박시설			병원학교시설		아파트		상업공공시설	
	위험도	0.220			0.159			0.174		0.216		0.231	
	현장가중치	1.100			0.795			0.870		1.080		1.155	
연령(f)	정의	출생 시부터 생존해온 기간											
	구분	20대		30대			40대		50대		60대		
	위험도	0.061		0.197			0.208		0.270		0.264		
	현장가중치	0.305		0.985			1.04		1.35		1.32		
직종(f)	정의	직무의 종류											
	구분	비계공	RC공	지붕공	형틀목공	도장공	미장공	목공	전공	내장공			
	위험도	0.139	0.134	0.112	0.139	0.137	0.065	0.060	0.042	0.037			
	현장가중치	2.504	2.403	2.012	2.503	2.466	1.170	1.077	0.753	0.671			
현장근무일수 (f)	정의	당해 현장에서 근무한 일수											
	구분	~10일	10~20일	20~30일	1~2개월	2~3개월	3~4개월	4~5개월	5~6개월	6~12개월	1년~		
	위험도	0.242	0.199	0.147	0.125	0.097	0.068	0.052	0.038	0.021	0.011		
	현장가중치	2.42	1.99	1.47	1.25	0.97	0.68	0.52	0.38	0.21	0.11		
안전교육(f)	정의	재해로부터 자신을 안전하게 지키는 준비를 위한 교육											
	구분	0	1	2	3~4	5~6	7~8	9~10	11~15	16~20	21~		
	위험도	0.327	0.232	0.158	0.092	0.053	0.045	0.037	0.026	0.018	0.012		
	현장가중치	3.27	2.23	1.58	0.92	0.53	0.45	0.37	0.26	0.18	0.12		
날짜(f)	정의	1년 중 현장의 현재 시점에 해당하는 월											
	구분(월)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	위험도	0.068	0.086	0.173	0.068	0.080	0.086	0.080	0.111	0.049	0.086	0.056	0.056
	현장가중치	0.82	1.03	2.08	0.82	0.96	1.03	0.96	1.33	0.59	1.03	0.67	0.67
온도(f)	정의	건설현장의 기온											
	구분(°C)	~0	0~4	4~8	8~12	12~16	16~20	20~24	24~28	28~			
	위험도	0.196	0.163	0.109	0.082	0.054	0.043	0.101	0.125	0.128			
	현장가중치	1.76	1.47	0.98	0.74	0.49	0.39	0.91	1.12	1.15			

4. 공중 중심 위험도 산정 방법론 개발

공중 중심의 위험도 산정 방법론은 주로 과거의 재해사례를 통계적으로 분석하는 방법과 리스크 산정 매트릭스(Risk Assessment Matrix)를 사용하는 방법으로 나눌 수 있다. 리스크 산정 매트릭스는 재해의 강도와 빈도의 정도를 등급화 하여 두 가지의 조합을 통해 위험도를 산정한다.

이 방법은 시간 및 노력이 적게 들어간다는 장점이 있지만 정량적으로 위험도를 나타내는 것이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 정량적 위험도를 산정하기 위해 과거 재해사례를 분석하는 방법을 사용하기로 한다.

4.1 위험도 산정 방법

공중별 위험도 산정 방법은 3가지 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 위험 강도를 산정하고, 두 번째 단계는 위험 빈도를 산정한다. 그리고 마지막으로 위험 강도와 빈도를 결합한다.

공중별 위험도를 산정하기 위한 자료는 4개의 종합건설업체 및 산하 하도급 업체의 5년(2003년~2007년)간 재해사례를 대상으로 수집하였다. 재해 사례의 수는 총 596개이며, 세부적으로 부상자 537명, 사망자 79명이 조사되었다.

공중은 건축표준시방서의 23개 대 공종을 중심으로 분류하였다. 그 중 조경공사, 온돌 및 바닥판 공사 및 특수 건축공사를 제외하였다. 앞의 세 공종은 공중별 투입 인원 비율을 구할 수 없었으며, 재해 사례도 부족하였고, 특수 건축 공사의 경우 일반 공종을 취급하기 어렵기 때문에 제외하였다. 그리고 추가한 두 가지 공종(E/V공사, 커튼월 공사)은 현장에서 작업자 수에 비해 재해의 강도와 빈도가 높다는 의견을 반영하여 포함시켰다.

4.2 위험 강도 및 빈도 산정

공중별 위험 강도를 측정하는 정량적인 지표는 부상과 사망으로 인한 휴업예정일수(이민우 2000)와 보험지급액등이 있다. 건설현장의 다양한 지역 분포와 직종 및 임금을 고려하면 보험지급액은 상황에 따른 편차가 크기 때문에 휴업예정일수를 기반으로 위험 강도를 산정하기로 한다.

휴업예정일수는 부상자와 사망자 휴업예정일수를 더한 값이다. 부상자의 휴업예정일수는 산업안전보건법 산업재해통계업무처리규정(2000)에 따르면 하나의 확정된 숫자가 아닌 범위로 규정하고 있기 때문에 각 코드별 평균값과 코드별 부상자의 수를 곱하여 구하였다.

산업재해 조사업무 처리규정에 의하면 사망자 1인의 휴업예정일수는 7500일로 간주한다. 고령자의 사망재해가 많은 건설현장

의 특성상 7500일은 과하다고 판단되어 75세에서 연령대별 평균나이를 빼고 거기에 150일을 곱하는 것으로 사망자 휴업일수를 구하였다. 75세를 기준으로 선택한 이유는 건설현장의 특성상 60대의 근로자가 타 산업에 비해 많아 기준을 60대로 정하면, 사망자 휴업예정일수가 지나치게 작게 나온다. 또한 1년의 근무일을 150일로 선택한 것은 옥외작업이 많아 기후 및 작업조건에 근로일수가 큰 영향을 받기 때문이다. 구간은 20대(25세), 30대(35세), 40대(45세), 50대(55세), 60대(65세)로 나누었다. 식 (2)와 그림 6과 같이 위험의 강도는 부상자와 사망자의 휴업재해일수를 더한 뒤 공중별 재해건수로 나누어 구한다. 즉, 재해건수 당 휴업예정일수를 위험 강도로 산정한다.

$$\text{위험강도} = \frac{\text{부상자 휴업예정일수} + \text{사망자 휴업예정일수}}{\text{공중별 재해건수}} \quad (2)$$

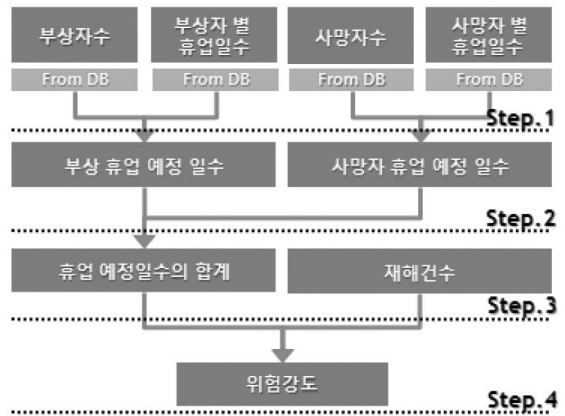


그림 5. 위험 강도 산정 과정

공중별 위험 빈도를 산정하는 방법은 공중별 재해사례와 전체 재해사례의 비를 공중별 투입인원 비율로 나누어 산정한다. 공중별 투입인원 비를 적용하게 되면 작업자 1인당 위험 빈도를 구할 수 있게 된다. 위의 내용을 나타내면 식(3)과 같다.

$$\text{위험 빈도} = \frac{\text{공중별 재해건수}}{\text{전체 재해건수} \times \text{공중별 투입인원 비율}} \quad (3)$$

공중별로 투입되는 전체 작업자가 아닌 작업자 1인당 위험 빈도를 산정하는 이유는 현장의 규모나 공종의 종류에 따라 작업자의 수가 다르기 때문이다.

4.3 공중별 위험도

위험 강도와 빈도를 구하고 난 뒤 두 값을 결합하기 위해서는

변환과정이 필요하다. 이를 위해 상대 위험 강도와 상대 위험 빈도를 도입하며, 강도와 빈도는 동등한 중요도를 가진다고 가정한다.

상대 위험 강도와 상대 위험 빈도는 각각 위험 강도와 빈도에 서 가장 크기가 큰 공종을 100으로 두고, 나머지 공종들을 가장 크기가 큰 공종과의 비로 나타낸다. 이 두 지수를 최댓값 100으로 치환한 이유는 강도와 빈도를 구한 뒤의 두 지수의 상대적인 크기가 다르기 때문에 같은 중요도를 가진다는 가정을 만족시키기 위해서이다. 각각의 최댓값이 100으로 전환된 비교 빈도 지수와 비교 강도 지수의 결합은 두 지수의 기하 평균을 사용한다. 기하 평균을 선택한 이유는 두 지수 중 어느 한 지수가 작거나 크더라도 산술평균에 비해 영향을 적게 받기 때문이다. 이를 나타내면 식 (4)와 같다.

$$\text{상대 위험도} = \sqrt{\text{상대 위험 강도} \times \text{상대 위험 빈도}} \quad (4)$$

위에서 설명한 방법으로 앞서 설명한 596개의 재해 사례를 분석하여 공종별 위험도를 구한 결과는 표6과 같다. 결과를 살펴보면 지붕 및 흙통공사와 엘리베이터 공사의 위험도가 높게 나타난다. 상대 위험 강도가 가장 크게 나타나는 것은 엘리베이터공사이며, 상대 위험 빈도는 지붕 및 흙통공사에서 가장 크게 나타난다.

5. 현장 위험도 산정

현장의 위험도는 같은 공종이라 할지라도 공사의 종류 및 규모, 공종을 수행하는 작업자의 특성, 그리고 작업환경에 의해 달라질 수 있다. 가변적인 위험도를 표현하기 위해서는 현장의 특성을 나타낼 수 있는 위험 영향 요소와 과거 재해 사례를 통한 공종 별 위험도를 결합하여 현장의 조건에 맞는 위험도를 산정한다.

5.1 현장 위험도 산정 방법

현장 위험도는 공종별 위험도와 영향 요소를 결합하여 산정하며 방법은 식 (5)와 같다. AHP를 이용하여 구한 9개 위험 영향 요소의 가중치(f_w)와 현장 가중치(f_s)를 곱하여 합한다. 그리고 이를 공종별 상대 위험도(RR)에 곱하여 현장 위험도(R_s)를 구한다.

$$R_s = R_R \sum_{i=1}^9 (f_{iw} \times f_{is}) \quad (5)$$

단, 작업자와 관련된 위험 영향 요소의 가중치 산정 시에는 각각의 요소 별로 작업자 전원의 현장 가중치를 합한 뒤 작업자의 수로 나눈다. 식 (6)은 공중에 투입된 작업자의 수가 2명 이상일

표 6. 공종별 위험도

	재해 건수	부상 자수	사망 자수	부상자 휴업예정일수	사망자 휴업예정일수	위험강도	위험빈도	상대위험강도	상대위험빈도	공종별투입 인원비율	상대 위험도
지붕 및 흙통공사	12	8	4	2185	9000	932.08	3.66	73.34	100.00	0.55	85.64
E/V공사	5	3	2	354.5	6000	1270.90	2.62	100.00	71.61	0.32	84.63
커튼월 공사	8	5	3	996.5	5250	780.81	1.58	61.44	43.14	0.85	51.48
콘크리트공사	237	229	26	11053	88500	423.63	2.78	33.33	75.99	15.38	50.33
철골공사	39	30	9	998	29250	775.59	0.87	61.03	23.80	7.51	38.11
지정 및 기초공사	37	29	10	1074.5	21000	596.61	0.90	46.94	24.69	7.24	34.04
내외벽공사	40	35	5	872.5	14250	360.06	1.39	28.33	38.04	4.82	32.83
미장공사	39	36	4	3543	9000	319.31	1.15	25.12	41.67	4.40	32.36
가설공사	33	29	4	3475.5	7500	332.59	0.85	26.17	23.09	6.55	24.58
방수 및 방습공사	15	17	1	243	2250	166.20	1.25	13.08	34.09	2.42	21.11
해체 및 재활용공사	19	18	1	2841	750	189.00	0.99	14.87	27.13	3.21	20.09
도장공사	12	11	1	310.5	3750	338.38	0.49	26.62	13.41	4.10	18.90
토공사	16	14	3	210	6750	435.00	0.37	34.23	10.13	7.69	18.62
타일 및 테라코타공사	5	4	1	187.5	2250	487.50	0.32	38.36	8.62	2.66	18.18
기타공사	22	20	2	550	6000	297.73	0.49	23.43	13.25	7.61	17.62
조적공사	9	8	1	85	2250	259.44	0.39	20.41	10.71	3.85	14.79
석공사	12	11	1	157.5	750	75.63	0.86	5.95	23.56	2.14	11.84
창호 및 유리공사	5	4	1	300	750	210.00	0.24	16.52	6.44	3.56	10.31
금속공사	8	8	0	649	0	81.13	0.42	6.38	11.42	3.21	8.54
수장공사	9	9	0	642	0	71.33	0.29	5.61	8.03	5.14	6.71
단열 및 방내화공사	7	7	0	88.5	0	12.64	0.92	0.99	25.07	1.28	4.99
목공사	7	7	0	131	0	18.71	0.44	1.47	12.06	2.66	4.21
합계	596	537	79	30610	215250					위험도 평균	27.61

때, 연령, 직종, 현장근무일수, 안전교육의 현장 가중치를 구하는 방법을 나타낸 것이다.

$$f_s = [f_{s(n_1)} + f_{s(n_2)} + f_{s(n_3)} + \dots + f_{s(n_n)}] / n \quad (6)$$

식 6에서 $f_{s(n_1)}$, $f_{s(n_2)}$, ..., $f_{s(n_n)}$ 은 작업자 n명의 개별 현장 위험도 이며 f_s 는 위험 영향 요소별 현장 가중치의 평균이다.

5.2 현장 위험도 적용

그림 6에 표현한 것처럼 현장 위험도 산정 방법을 현장에 적용 시키는 절차는 크게 3단계로 이루어진다. 첫째 안전 관리자는 위험 영향 요소별 현장 구분 값을 입력한다. 입력된 값은 가중치 모듈을 통해 위험 영향 요소의 현장 가중치를 산정한다. 두 번째로 원하는 공종을 선택하여 재해사례 DB로부터 추출한 사례들을 바탕으로 공종별 위험도를 산정한다. 마지막으로 이를 결합하여 현장의 특성을 반영한 현장의 공종별 위험도를 산정한다.

본 방법론이 현장에 적용된다면 특정 시점의 작업, 작업환경 그리고 소속된 작업자들을 고려한 위험도를 산정할 수 있다. 또한 정량화된 위험도를 통하여 경각심을 가지게 하고, 모니터링의 용이성을 확보할 수 있다. 그리고 위험 공중에 따라 안전관리정도를 탄력적으로 조절함으로써 보다 효율적인 안전관리가 가능할 것으로 예상된다.

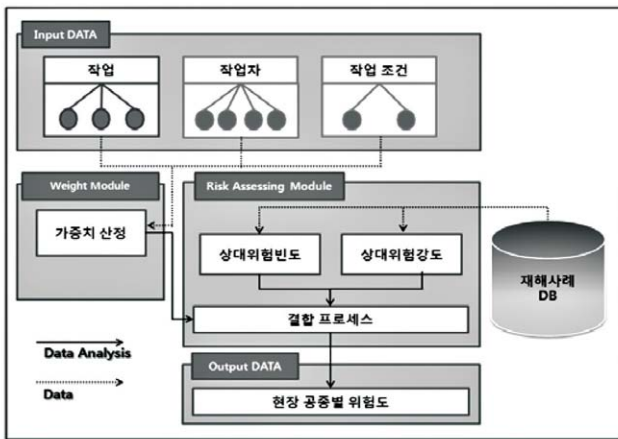


그림 6. 현장 위험도 적용 프로세스

6. 결론

건설 공사는 작업 조건, 작업자의 특성, 기후 및 온도 등으로 인하여 가변적인 위험 요소들을 가지고 있기 때문에 현장의 상황 및 특성에 따라 내재된 위험의 정도도 다르게 나타날 수 있다. 하지만 기존의 안전관리는 경험적 안전지식을 중심으로 수

행되어 효율성이 떨어진다.

본 논문은 이러한 현장의 특성과 재해에 영향을 미치는 다양한 요소들을 고려한 위험도 산정 방법을 제시하기 위해 수행되었다.

이를 위해 문헌 고찰과 설문을 통하여 10개의 위험 영향 요소를 도출하였다. 그리고 AHP를 활용하여 공종을 제외한 위험 영향 요소별 가중치를 산정하였다. 그리고 재해사례를 기반으로 한 위험 강도와 빈도 기반의 공종별 위험도를 구하였다.

마지막으로 건설 현장의 특징을 나타내는 위험 영향 요소와 공종별 위험도를 결합하여 현장 특성을 반영한 현장 위험도 산정 방법을 제시하였다.

건설현장의 안전관리에서 가장 중요한 것은 현장 구성원들의 안전의식과 이를 바탕으로 한 안전교육이다. 하지만 안전관리 활동의 사소한 오류들과 안전의식 결여로 재해가 발생한다. 본 연구에서 제시한 방법론은 현장의 다양한 위험 영향요인들을 다수의 재해사례를 분석하여 정량화하여 위험도를 산정함으로써 안전에 대한 인식 제고 및 안전관리의 효율을 높일 수 있을 것이다.

향후 연구에서는 제시한 위험 영향 요소와 공정을 세분화함으로써 보다 정밀한 위험도를 산정할 수 있도록 할 것이다. 그리고 위험도 산정의 과정이 복잡하기 때문에 현장의 안전관리 업무 효율성 향상을 위하여 위험도 산정 시스템을 개발해야 한다.

감사의 글

본 논문은 건설교통기술평가원 연구과제 “위치정보를 활용한 건설안전리스크 관리기술개발”의 지원에 의한 결과임(과제번호 : 06건설핵심D10)

본 논문은 건설교통기술평가원 연구과제 “웹 기반 분산형 린 건설 정보시스템 개발”의 지원에 의한 결과임(과제번호 : 05기반구축D05-1)

참고문헌

노동부. (2000). 산업안전보건법 제 4조 제 1항 제 7호.
 노동부. (2007) 2007년 산업재해현황분석, pp.1~12
 한국산업안전보건공단. (1999). 건설공사 종류별 위험도 조사 및 정량화 지수연구, 한국산업안전보건공단
 고성석, 송혁, 이재용. (2004). “건축공사 공종별 위험도에 관한 연구” 대한건축학회 논문집(구조계) 20(5) pp. 137~144
 고성석, 송혁, 이한민. (2005). “재해사례와 위험도 지수를 활용한 건축공사 안전정보 시스템 개발”, 대한건축학회논문집 구조계 21(6) pp. 113~120
 김만장. (2003). “건설현장의 재해예방을 위한 건설안전교육의

- 개선방안”, 동국대학교 석사학위 논문, pp. 39~45.
- 김은정, 신동우, 김경래. (2008). “건설근로자의 개인적 특성에 맞는 안전교육 모델”, 한국건설관리학회 논문집, 9(5), pp. 116~126
- 이민우, 이찬식. (2000). “건설공사의 위험도 산정에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 구조계 16(5) pp. 105~112
- 이종빈, 고성석, 장성록. (2006). “중대재해사례와 작업강도를 고려한 건축공사 위험성 평가” 한국안전학회지, 21(4), pp. 102~107
- 손창백, 김상철. (2005). “기후요소가 건설안전사고에 미치는 영향에 관한 연구”, 한국안전학회지 20(2), pp. 91~96
- 장성록, 고성숙, 이종빈. (2007). “건축공사 공종별 위험지수 산정모델에 관한 연구”, 한국안전학회지, 22(6), pp. 63~68
- British Standard Institute(BSI). (1996). “Guide to Occupational health and Safety Management Systems.”, BS 8800, London
- British Standard Institute(BSI). (2000). “Occupational Health and Safety Management Systems-Guidelines for the implementation of OHSAS 18001.”, OHSAS 18002, London
- Heinrich, H. W. (1939). Industrial Accident Prevention, McGraw-Hill, New York
- Quality Management and Quality Assurance Standard. (1984). System safety program requirements , MIL-STD-882B.
- Baradan S. and Usman, M.A. (2006). “Comparative Injury and Fatality Analysis of Building Trades”, J. Constr. Eng. Manage., 132(5), pp. 533~539
- Chua D.K.H. and Goh Y.M. (2005). “Poisson Model of Construction Incident Occurrence.” J. Constr. Eng. Manage., 131(6), pp. 715~722
- Hinze J. and Gambatese J. (2003). “Factors That Influence Safety Performance of Speciality Contractors” J. Constr. Eng. Manage., 129(2), pp. 159~164
- Jannadi O. A., and Almishari S.(2003). “Risk Assessment in Construction.”, J. Constr. Eng. Manage., 129(5), pp. 492~499
- Mohamed S. (2002). “Safety Climate in Construction Site Environments” J. Constr. Eng. Manage., 128(5), pp. 375~384
- Seo J. W. and Choi H. H. (2008). “Risk-Based Impact Assessment Methodology for Underground Construction Projects in Korea” J. Constr. Eng. Manage., 134(1), pp. 72~81
- Suraji A., Duff A. R., Peckitt S. J. (2001) “Development of Causal Model of Construction Accident Causation”, J. Constr. Eng. Manage., 127(4), pp. 337~344
- Toole, T. M. (2002). “Construction site safety roles.”, J. Constr. Eng. Manage., 128(3), pp. 203~210

논문제출일: 2009.06.24

논문심사일: 2009.06.26

심사완료일: 2009.08.03

Abstract

Many work-related risk factors can cause construction site hazards. Considering variable and changeable characteristics of construction site, risk of same trade can be different by combination of inherent characteristics. But established safety management has performed like other industries not reflecting characteristics of construction. So, to suggest risk assessment methodology considering risk influence factors in construction site, this study extracts risk influence factors by literature reviews and surveys, builds the weighting system for classification of factors. And risk of trade is calculated based on frequency and severity of risk. Risk assessment methodology is suggested by integrating risk influence factors and risk of trade. From this, risk considering the conditions of construction sites can be derived and based on the derived risk, safety management can be performed more effectively. This study has meaning for assessing the risk which can reflect characteristics of construction site considering risk influence factors.

Keywords : *Construction Safety Management, Risk Management, Risk Assessment, Risk Influence Factor.*
