건설 위험 식별을 위한 정보 검색

Information Retrieval in Construction Hazard Identification

김 현 수* 이 현 수** 박 문 서*** 황 성 주****
Kim, Hyunsoo Lee, Hyun-Soo Park, Moonseo Hwang, Sungjoo

요 약

유사 재해의 반복적 발생은 건설재해의 가장 큰 특징 중 하나이다. 안전사고 예방을 위한 유사 재해사례는 수행 예정인 작업의 위험을 발견하고 안전 대책을 수립하는데 직접적인 정보를 제공한다. 과거 재해 사례들을 검색하여 안전관리 분야에 사용하기 위해 많은 검색시스템들이 개발되었다. 하지만 현장의 다양한 조건과 반영한 결과를 얻기 위해서는 수많은 검색을 수행하거나, 실제 현장의 안전관리 계획 수립 단계별 특성을 반영하지 못하는 단점이 존재한다. 본 연구에서는 기존 안전관리 검색시스템들의 한계점을 개선하기 위해 정보 검색 방법과 BIM(building information modeling)을 이용한 안전관리 단계별 적용이 가능하며 현장의 상황과 유사한 재해사례를 검색하는 시스템을 개발하였다. 검색 시스템은 BIM의 객체를 추출하여 이를 현장 정보 DB와 결합하여 질의를 구성한다. 그리고 질의를 과거 재해사례 DB와 비교하여 가장 유사한 과거 재해사례를 찾고, 안전 관리자에게 정보를 제공한다. 본 연구의 결과를 바탕으로 안전 관리자는 검색 결과를 얻기 위한 과도한 질의 생성을 줄일 수 있다. 또한 BIM 객체를 통해 과거 유사한 재해가 발생한 현장의 좌표를 얻을 수 있어 위험을 쉽게 인지할 수 있을 것이다.

키워드 : 안전관리, 재해 사례, 정보 검색, BIM

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설 산업은 많은 노력에도 불구하고 타 산업에 비해 재해의 발생이 높다. 이러한 건설재해의 가장 큰 특징 중 하나는 유사 재해의 반복 발생이다(예태곤 1998, 고성석 외 2005). 건설 현장의 안전 관리자들이 이러한 재해의 특성을 이해하고 있지만, 현장의 가변적인 특성 때문에 적합한 과거 재해를 활용하여 안전 관리에 적용하기 어렵다. 재해사례에 관한 정보는 가장 강한 자극으로써, 특히 수행 예정인 작업과 유사한 과거 재해사례는 작업의 위험성을 예지하고, 안전대책을 수립하는데 직접적인 정보를 제공한다(고성석 외 2005).

건설 안전관리 분야에서 과거 재해사례를 활용하기 위해 사례기반추론(Case-based Reasoning, CBR)과 DB 구축을 통한 검색시스템 등의 접근법들이 시도되었다(안홍섭 1994, 문명완 외 1997, 문명완과 양극영 1997, 예태곤 1998, 고성석 외 2005, Kartram 1997, Carter and Smith 2006). 이상의 연구들에서 제시한 시스템은 안전 관리자가 현장 조건을 질의문(query)으로 변환하여 과거 유사 재해사례에 대한 검색을 수행한다. 또한 건설 현장에 존재하는 다수의 위험요소의 예방책 및 대응책을 찾기 위해 각각의 경우에 대해 검색을 수행하여야 한다. 따라서 이러한 연구들은 검색 결과의 효용성은 확보하였지만, 결과를 도출하는 과정에서 효율성이 확보되지 못하였다는 한계점이 존재한다.

이를 바탕으로 현장의 조건을 반영하여 질의를 생성하고, 그 결과에 시간 · 공간적 정보를 추가한 재해사례 검색시스템을 개발하는 것을 그 목적으로 한다.

* 일반회원, 서울대학교 건축학과 대학원 박사과정, verserk13@naver.com
** 종신회원, 서울대학교 건축학과 정교수, 공학박사, hyunslee@snu.ac.kr
*** 종신회원, 서울대학교 건축학과 부교수, 공학박사, mspark@snu.ac.kr
**** 일반회원, 서울대학교 건축학과 대학원 박사과정, nkkt14@snu.ac.kr

1.2 연구의 범위 및 방법

포괄적 의미의 건설 재해는 기계적인 위험, 화학적 위험, 전기 · 열 등의 에너지 위험, 작업적 위험을 통해 발생하는 원하지 않는 사상 혹은 사건(undesirable event)을 모두 포함한다. 본 연구의 안전관리 검색 시스템은 이중 작업자와 관련된 재해(occupational risk)만을 대상으로 하며, 모델 구축과 검증은 국내 오피스 빌딩과 아파트의 골조공사를 중심으로 실행한다. 연구는 다음과 같은 절차에 따라 진행한다.

첫째, 기존 안전관리 검색시스템과 BIM에 관하여 선행 연구를 고찰한다. 둘째, 안전관리 검색 시스템을 구축하기 위해 본 연구의 목적에 부합하는 검색 방법을 찾고, BIM과 검색 엔진을 요소기술로 하는 안전관리 추론 모델을 제안한다. 셋째, 모델의 사례 적용을 통해 본 연구에서 제시한 안전관리 추론 모델의 유효성을 확인한다.

2. 이론적 고찰

2.1 기존 건설 안전관리 시스템

Information tenchnology(이하 IT)의 진보는 건설 프로젝트에서 발생하는 다양한 도전을 해결하는 데 많은 도움을 주며(Paulson 1995), 안전관리 분야에도 도입되고 있다. 많은 연구자들이 건설 작업에 연계하여 안전정보를 활용하거나, 재해사례를 검색하여 안전 계획 수립 및 관리에 적용하려는 노력을 하였다(안홍섭 1994, 문명완과 양극영 1997, 문명완 외 1997, 예태곤 1998, 고성석 외 2005)

안전 정보 시스템에 관한 연구는 국가 차원에서도 수행되었다. 한국과 미국의 산업안전보건공단(KOSHA와 OSHA)은 웹기반으로 구축된 재해 정보 검색을 제공함으로써 재해 예방을 지원하고 있다. 국외의 연구들은 작업과 위험요소를 연계하거나(Carter and Smith 2006, Schatterman 외 2008, Hallowell and Gambatese 2009, Sacks 외 2009, Mckinney and Fisher 1998), 사례기반추론을 통해 유사 재해사례를 검색하였다(Chua and Goh 2002, 2009, Goh and Chua 2010).

하지만 이러한 연구들 중 개발된 안전 정보 검색 시스템들은 기본적으로 불리언 모델(boolean model)을 사용하고 있다. 이 모델은 검색 대상이 검색 용어를 포함(true)하는지, 하지 않는지(false)에 대한 정보만을 가지고 검색 대상을 찾는 가장 기본적으로 사용되는 단순하면서도 명확한 모델이다. 하지만 불리안 모델의 대표적인 단점은 정확한 정합 때문에 검색 문헌이 너무 작거나 많다는 것이다. 또한 대부분의 연구들이 각 색인의 가중치를 동일하게 설정하였다. 이는 검색결과의 정확도 및 활용성을 떨어트리는 결과를 낳았다.

이러한 불리언 모델의 단점을 극복할 수 있는 방법은 부분 정합이 가능한 틀을 제공하는 것이다. 이는 질의나 문헌의 색인어에 비이진 가중치를 할당하는 것을 의미한다(Manning 외 2008). Lin and Soibelman의 연구에서는 불리언 모델의 단점을 극복하기 위해 벡터 모델과 불리언 모델의 하이브리드 형식인 확장형 불리언 모델(extended boolean model)을 제시하였다.

앞서 제시한 한계점에도 불구하고 기존 연구는 과거의 재해사례를 검색하여 안전관리 활동에 도움을 주었다. 하지만 건설 현장에 존재하는 무수한 위험원에 대한 예방을 재해 사례 검색을 통해서 알고 싶다면, 기존의 안전관리 시스템은 그림 1과 같이 위험원을 검색할 수 있는 명확한 질의 구성과 위험원의 수만큼 검색을 수행하여야 한다. 재해 사례 검색 시스템이 주로 안전 관리자가 사용한다는 점을 고려한다면, 안전 관리자가 필요한 질의를 시스템 상에서 생성하고 이를 검색하는 것이 효율적이다. 또한 검색 결과에 위험원의 위치 혹은 좌표가 표현 된다면 안전관리 활동에 더욱 도움이 될 것이다.

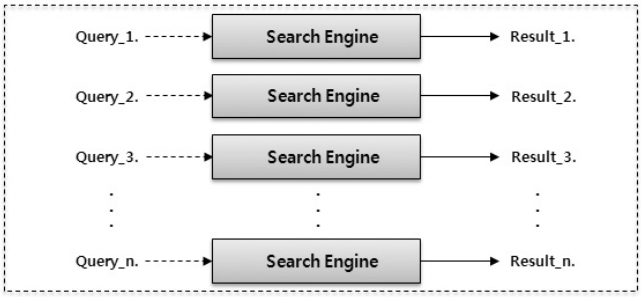


그림 1. 기존 검색시스템 검색방법

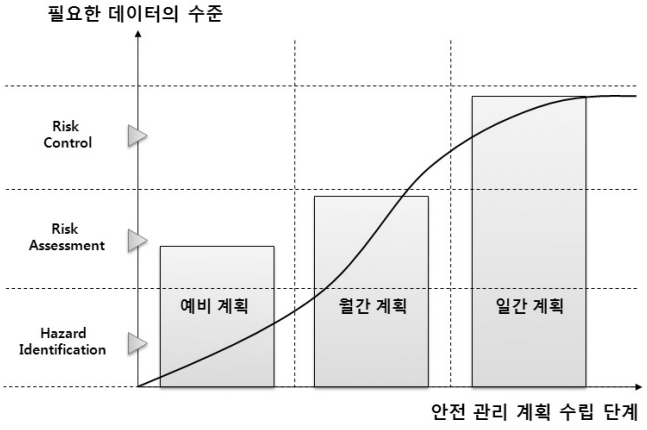


그림 2. 안전 관리 계획 수립 단계별 정보수준

안전관리의 단계는 아래의 그림 2와 같이 구성되며, 정보의 수준과 관리의 정도에 따라 안전계획을 수립하게 된다. 안전계획 단계에 따라 획득 가능한 정보의 수준이 다르기 때문에 활용 가능한 정보를 기반으로 적절한 안전관리 계획을 수립하는 것이 중요하다. 프로젝트가 진행됨에 따라 예비 계획, 월간 계획, 일간계획이 수립되며, 시점에 따라 각 단계들이 중첩되기도 한다. 안전 계획의 단계별로 도출해야 하는 정보의 종류 및 수준이 다르며(An 2007), 시스템은 이를 지원 할 수 있어야 한다.

앞서 서술한 기존 안전관리 시스템의 한계점과 안전관리자들의 요구사항은 다음과 같다. 첫째는 안전관리 계획 수립 단계별로 필요한 정보를 구분하지 않았다. 둘째는 현장 전반에 대한 검색 결과를 얻기 위해 무수한 질의를 생성해야 했다. 셋째로 검색의 결과가 공사의 진행상황 별로 구분되지 않으며, 위험 지역을 나타내 주지 못하였다. 때문에 안전관리자가 직접 위험원이 존재하는 지역과 그에 대한 대책을 연결(mapping)하는 과정이 필요하여 효율성이 낮았다. 이상의 내용을 요약하여 본 연구에 적용하면 위험요소에 대한 질의문(query)을 자동으로 생성하고, 검색을 수행하며, 그 결과 값에 위험요소가 발생할 시점과 장소를 나타내는 것이다.

2.2 BIM(Building Information Modeling)

BIM 은 객체 기반 파라매트릭(Parametric) 모델링 방법으로 건물 구성요소들의 분류를 정의함으로써 건축 모델을 생성, 전달, 분석하는 과정들의 집합이다(Eastman 외 2007). 따라서 각 객체는 기하학적 형상정보 뿐만 아니라 속성정보와 같은 비공간적 정보, 그리고 그들의 파라미터와 규칙에 의해 표현된다. 그림 3과 같이 상용 BIM 프로그램을 활용했을 때, 기하학적 형상 정보는 시스템 상에서 자체적인 추출을 통해 제공하며, 비공간적 정보는 사용자가 입력하여야 한다.

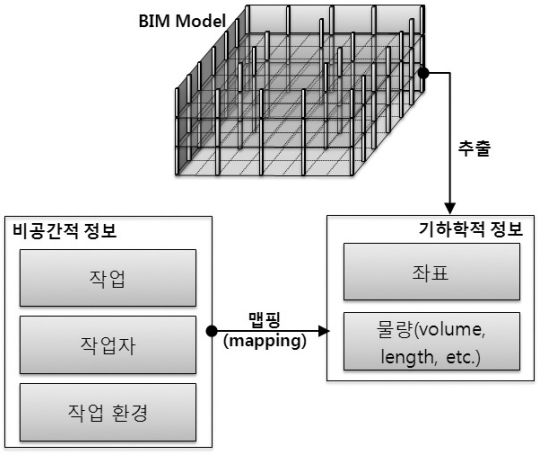


그림 3. BIM 오브젝트의 정보 추출 및 입력

본 연구에서는 상용 BIM프로그램으로 설계된 건물 오브젝트가 가지고 있는 기하학적 정보를 추출하고, 이를 비공간적 정보인 위험 영향요소들과 결합하여 유사 재해사례를 검색하는데 사용한다.

3. 검색 알고리즘

3.1 검색 방법론 분석

일반적으로 정보 검색은 크게 축적(Ad hoc)과 여과(filtering)의 두 가지 카테고리로 나눌 수 있다. 축적모델에서는 사용자가 새로운 정보를 요구할 때마다 새로운 질의를 수행한다. 여과모델은 사용자의 관심 등을 프로파일(profile)이라는 파일에 기술해 두고, 이것을 이용하여 새롭게 만들어지는 정보를 선택하고, 필요 없는 정보를 삭제하는 일이 주요 목적이 된다. 그림 4와 같이 축적과 여과 형식의 두 모델의 차이는 검색 질문이 단기적(일회성)인 것인가 장기적(반연구성)인 특성을 가진다는 것이다.

본 연구에서는 안전 관리자 중심의 시스템을 구현하기 위해 정보 여과 모델 중 하나인 루팅 모델(routing model)을 도입하기로 한다. 이 모델에서 가장 중요한 것은 검색결과의 순위화가 아니라 사용자 기호에 근거한 프로파일 작성 부분이다(Manning 외 2008). 사용자 기호에 근거한 프로파일을 작성하기 전 안전 관리자가 필요로 하는 정보를 검색할 수 있는 색인을 프로파일로 사용하며, 그 과정은 다음 절에서 상술하기로 한다.

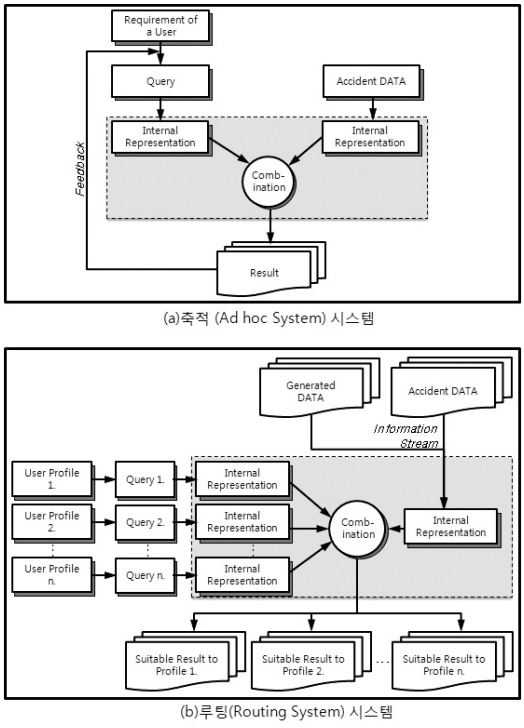


그림 4. 축적시스템과 루팅시스템

3.2 색인 추출 및 가중치

3.2.1 색인 추출

건설 현장의 재해는 많은 요소들의 영향을 받아 발생한다(이현수 외 2009). 따라서 다양한 요소를 복합적으로 고려해야 재해의 발생을 예방할 수 있다. 본 연구에서는 이현수 외(2009)의 연구에서 제시한 위험 영향요소를 사용하며, 연구의 방법은 다음과 같다.

먼저 위험 영향요소와 관련된 문헌조사를 통해 1차적으로 27개의 요소를 도출하였고, 통계 기반 자료 조사를 바탕으로 17개의 요소를 도출하였다. 최종적으로 10년 이상 경력의 안전 관리자 42명과의 1차 예비 설문을 통하여 10개의 영향요소를 도출하였고, 상세한 과정은 그림 5와 같다.

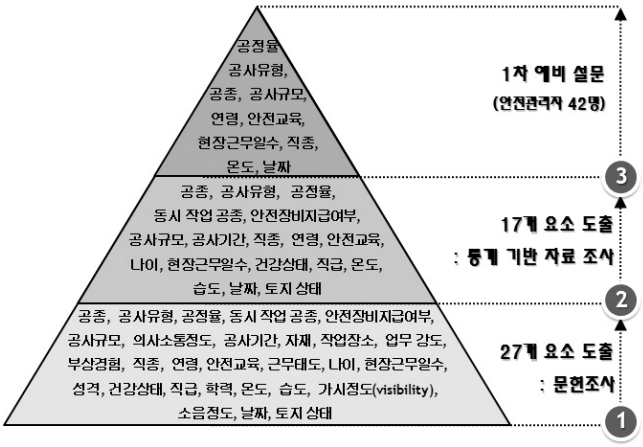


그림 5. 위험 영향 요소 도출과정(이현수 외 2009)

표 1. 안전 계획 단계별 색인 가중치

영향요소	예비계획단계	주간계획단계	일간계획단계
공정율	O	O	O
공사규모	O	O	O
공종	O	O	O
공사유형	O	O	O
직종	-	O	O
날짜	-	O	O
연령	-	-	O
현장근무일수	-	-	O
안전교육	-	-	O
온도	-	-	O

한편, 건설 프로젝트에서 안전관리 계획은 시기별로 크게 3단계(예비/월간/일간)로 나뉜다. 그리고 건설 프로젝트의 불확실성으로 인해 각 시기별로 획득할 수 있는 정보의 양과 수준은 구별된다. 이러한 점을 고려하여 선행연구에서 분석한 기존 재해 검색 시스템의 문제점 중 하나인 안전관리 계획 수립 단계를 포함하지 못하는 것을 해결하기 위해 앞서 추출한 10가지 요소 중 안전 계획 수립 단계별로 가용한 요소들을 분류하였다. 분류는 각 영향요소별 세분류 기준(이현수 외 2009)의 예상 가능성이 높은 경우를 기준으로 정리하였고, 그 결과는 표 1과 같다.

3.2.2 색인별 가중치 도출

앞의 항에서 추출한 10개의 영향요소들이 색인으로 질의를 구성할 때 각각의 가중치를 구하기 위해 Saaty(1980)에 의해 개발된 계층분석기법(analytic hierachy process, 이하 AHP)을 사용한다. 본 연구에서는 정성적인 요소들을 정량적으로 표현할 수 있는 특성을 활용하여, 영향요소의 가중치를 구하는데 사용한다.

가중치를 구하기 위한 설문지는 이현수 외(2009)에서 제시한 설문을 활용한다.[1] 설문은 AHP를 적용할 수 있도록 쌍대비교 방법을 적용하였다. 설문은 안전관리 경력이 10년 이상의 담당자를 중심으로 수행하였다. 배포한 50부의 설문지 중 43부를 회수하였으며, 이중 일관성 지수(Contingency Index : CI)가 0.1 이하인 설문지를 바탕으로 요소 별 가중치를 분석하였고, 그 결과는 표 2와 같다.

표 2. 안전 계획 단계별 색인 가중치

영향요소	예비계획단계	주간계획단계	일간계획단계
공정율	0.241	0.167	0.099
공사규모	0.175	0.131	0.077
공종	0.334	0.238	0.125
공사유형	0.250	0.173	0.096
직종	-	0.181	0.100
날짜	-	0.109	0.059
연령	-	-	0.069
현장근무일수	-	-	0.118
안전교육	-	-	0.166
온도	-	-	0.089
색인 가중치 합계(영향요소의 수)	1(4)	1(6)	1(10)
설문 배포 수	50	50	50
설문 응답 수	43	43	43
contingency index 0.1이하의 설문 수	43	31	23

3.2.3 유사도 산정

유사척도의 도출에서 색인 항목간의 부합도를 판단하기 위해서는 개별재해사례의 색인항목의 자료유형 결정이 중요하다(예태곤 1998). 또한 유사성 측정의 효과를 높이기 위해서는 색인항목의 중요도에 따라 부여되는 가중치의 결정이 중요한 사항이다(Kolodner 1993).

본 연구에서 제안하는 시스템 내에서 영향요소별 데이터 형태와 색인 별 유사도(similarity index, SI)의 계산 방법은 표 3과 같다. 데이터의 형식이 수치유형(number)으로 구성될 경우 현장 조건 값에 대한 현장과 과거 재해사례에 해당하는 두 조건 값의 거리에 의해 점수가 계산되며, 식 1과 같이 구한다. 데이터의 형식이 문자유형(character)로 표현될 때는 현장의 조건과 과거

사례가 일치할 경우 유사도는 1, 일치하지 않을 때 유사도는 0으로 계산한다.

$$SI = 1 - \frac{|A - B|}{A} \quad \cdots\cdots (1)$$

표 3. 검색 색인의 유사도 계산 방법

영향요소	정의	데이터형태	유사도 계산 방법
공정율	전체 공정의 진행정도	Num	$1 - \frac{\|A-B\|}{A}$
공사규모	건축물의 계약금액	Num	$1 - \frac{\|A-B\|}{A}$
공종	작업의 종류	Char	if A=B, 유사도=1 if A≠B, 유사도=0
공사 유형	건축물의 종류	Char	if A=B, 유사도=1 if A≠B, 유사도=0
연령	출생 시부터 생존해온 기간	Num	$1 - \frac{\|A-B\|}{A}$
직종	직무의 종류	Char	if A=B, 유사도=1 if A≠B, 유사도=0
현장근무일수	당해현장에서 근무한 일수	Num	$1 - \frac{\|A-B\|}{A}$
안전교육	3개월내 안전 교육을 받은 횟수	Num	$1 - \frac{\|A-B\|}{A}$
날짜	1년중 현장의 현재 시점에 해당하는 월	Num	$1 - \frac{\|A'-B'\|}{A'}$ 그래프(그림 6.a) 상의 현장 현재 조건 값과 과거 재해사례 값을 비교한 뒤 다음 식으로 유사도 계산
온도	건설 현장의 기온	Num	$1 - \frac{\|A'-B'\|}{A'}$ 그래프(그림 6.b) 상의 현장 현재 조건 값과 과거 재해사례 값을 비교한 뒤 다음 식으로 유사도 계산

* 유사도 계산 방법에서 A는 현장의 현재 조건, B는 과거 재해에서의 조건을 의미한다. 단 A′와 B′는 현재 현장 조건 값과 과거 재해사례 값을 그래프 상의 위험도 값으로 치환한 값이다.

** 개별 영향요소의 유사도는 0과 1사이의 값을 가진다.

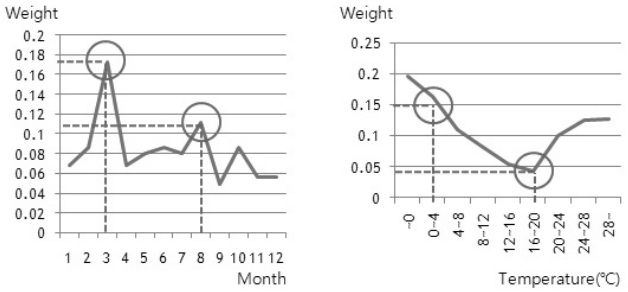
1) 일반적인 수요조사를 포함한 설문조사의 경우 통계적 유의성을 확보하기 위해서는 30표본 이상을 확보해야 한다고 알려져 있다. 하지만 AHP를 이용한 설문 조사는 각 조사항목별 설문 구조를 병렬식(쌍대 비교)으로 구성함으로써 응답자의 선택양식을 상호 교차 분석할 수 있어 표본의 대소가 조사결과에 영향을 미치지 못한다. 하지만 본 연구에서는 표본의 수를 충분히 확보하여 신뢰성을 높이기 위해 재설문을 수행하였다.

2) 일관성 지수를 의미하는 것으로, 응답자가 주관적 판단 요소에 얼마나 일관성 있게 응답하였는가를 알 수 있는 수치이다. 이 지수가 0.1일 경우 신뢰할 수 있는 설문 결과로 간주한다.

3) 동일한 설문지에서 단계별로 속하는 영향요소들 사이의 쌍대비교만을 추출하여 3번에 걸쳐 분석하였으며, 일관성 지수가 0.1이하인 설문의 수가 다른 이유는 분석 요소들이 많을수록 상호관계에 의해 일관성 지수가 내려갈 개연성이 많기 때문이다.

단, 날짜와 온도의 경우 현장의 조건 값과 재해 사례 값을 변환하여 사용한다. 식 1을 이 두 영향요소에 적용할 경우 문제점들이 발생한다. 특히 날짜의 경우 현장의 조건(A)이 1월이고 재해 사례의 조건(B)이 12월인 경우, 시간의 연속적인 측면에서는 아주 유사한 사례가 되지만, 식 1을 적용하여 계산한다면 유사도가 0이되는 문제가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 각 월별, 온도별 위험도 가중치를 도입(김현수 2010)하여 유사도를 구하기로 한다. 조건 값들을 변환하는 방법은 그림 6에서 현장 조건 값과 사례조건 값에 해당하는 가중치를 추출하여 식 2에 적용하여 변환한다.

$$SI = 1 - \frac{|A' - B'|}{A'} \quad \cdots\cdots (2)$$



(a)날짜 별 가중치 (b)온도 별 가중치

그림 6. 날짜 및 온도별 가중치 그래프

예를 들어 현장 조건 값이 3월, 사례 조건 값이 8월일 때, 각각의 가중치는 0.173(A′), 0111(B′)가 된다. 이 때 날짜(month)의 유사도는 식 2를 통해 0.642로 나타나게 된다. 날짜와 온도에 사용되는 가중치 값은 표 4와 같다.

표 4. 안전 계획 단계별 색인 가중치

	구분(월)	1	2	3	4	5	6
날짜	위험도	0.068	0.086	0.173	0.068	0.080	0.086
	구분(월)	7	8	9	10	11	12
	위험도	0.080	0.111	0.049	0.086	0.056	0.056

	구분(℃)	~0	0~4	4~8	8~12	12~16
온도	위험도	0.196	0.163	0.109	0.082	0.054
	구분(℃)	16~20	20~24	24~28	28~	-
	위험도	0.043	0.101	0.125	0.128	-

위의 방법으로 개별 영향요소의 유사도를 구한 뒤 사례별 유사도(similarity score, SS)를 구한다. 이 값은 각 건설재해사례의 개별 영향요소에 해당하는 색인 항목에 대한 유사도(SI)에 가중치(M)를 곱한 값을 합산하여 구하며, 식 3과 같이 표현한다.

$$SS = \sum_{i=1}^{n} M_i \, SI_i \quad \cdots\cdots (3)$$

3.3 시스템 구현을 위한 데이터 소스

상기 요소들을 수집하고 DB역할을 수행할 수 있는 시스템은 크게 상용 BIM 프로그램과 각 회사에서 구축한 project management information system(이하 PMIS)의 두 가지로 분류될 수 있다.

PMIS에는 건설 관리를 위한 정보가 충분히 존재하며, 기 개발된 시스템을 활용함으로써, 추가적인 정보의 입력을 최소화 할 수 있는 이점이 존재한다. 그러나 추출한 영향요소와 연관된 좌표 및 오브젝트에 대한 정보가 부족하다. 따라서 구축된 PMIS를 통해 색인에 대한 정보를 추출한다면 데이터의 변환 과정(conversion process)이 필요하다. 또한 안전관리자들의 요구 사항을 만족 시키기 위해서는 데이터와 좌표 및 오브젝트 사이의 맵핑 프로세스(mapping process) 역시 필요하다.

상용 BIM 프로그램은 오브젝트 내에 속성 값(property)을 추가할 수 있도록 설계 되어있다. 가장 널리 사용되는 AutoCAD사의 Revit과 Graphisoft사의 ArchiCAD 내의 오브젝트 추출 기능을 사용하여 좌표값, 부피(volume), 부재 길이(length) 등을 추출할 수 있다. 하지만 본 연구에서 제시하는 다양한 속성 값을 부재에 포함시키기 위해 Revit과 ArchiCAD의 GDL과 같은 기능을 활용하여 부재를 프로그래밍하여야 하며, 이는 일반 BIM 설계에서 사용되지 않는다. 이러한 단점들을 극복하고 오브젝트를 만들고 이를 활용하여 설계를 하여도, 많은 정보가 오브젝트 내의 속성 값으로 들어가게 되면 프로그램의 연산기능이 현저히 떨어지게 된다.

따라서 본 연구에서는 위의 PMIS와 BIM의 장점을 결합하여 DB를 구성하도록 한다. PMIS와 속성 값에 해당하는 영향요소를 결합하여 현장에 적용시키는 연구는 김현수(2010)에서 가능성을 확인 하였으며, 이광표(2010)의 연구에서 BIM과 공정 관련 정보 및 안전 정보를 연계하는 모델을 제시하였다. 이러한 선행연구를 바탕으로 BIM 외부에 DB구축하여 영향요소의 값과 과거 재해사례를 저장한다. BIM에서는 추출기능을 활용하여 오브젝트의 물리적인 속성 값을 추출하고, 이를 DB와 연동한다. 이러한 시스템 구성을 통해 사용자는 원하는 정보를 원하는 만큼 저장 · 가공 · 사용할 수 있으며, 상용 BIM 프로그램의 속도 저하가 없이도 오브젝트의 물리적 속성 값을 활용할 수 있다.

3.4 검색 시스템 프레임워크

본 연구에서 제안하는 시스템 프레임워크는 그림 7과 같다. 시스템은 입력, 데이터 프로세싱, 출력의 세부분으로 구성된다.

입력 부분은 3.2절에서 추출한 10개의 영향요소에 관한 정보, 각 영향요소별 가중치 및 과거 재해사례 DB를 가지고 있다. 영향요소의 수는 안전계획 수립 단계 및 현장의 조건에 따라 다르다. 영향요소별 가중치 DB는 AHP 분석을 통해 얻은 가중치 값을 가지고 있으며, 이 값들은 정보검색 모듈에서 색인 가중치로 사용된다. 그리고 재해사례 DB는 정보 검색 모듈에서 현장 조건으로 만들어진 질의와 비교하여 유사재해사례를 찾는데 활용된다.

데이터 프로세싱 부분은 크게 BIM 도면 모듈, 추출모듈, 정보검색 모듈로 구성된다. BIM 도면 모듈에서는 3D 형식의 객체지향의 모델을 구성하고 기하학적 속성 값을 가지고 있고, 속성 값을 추가할 수 있 오브젝트를 제공한다.

추출모듈에서는 BIM으로부터 오브젝트를 추출하며, 추출 방식은 상용 BIM 프로그램 내의 export 기능을 사용한다. 이렇게 추출한 오브젝트와 영향요소에 해당하는 정보를 결합한다. 추출모듈에서 가공된 정보는 정보검색 모듈로 전송되어 현장 조건과 유사한 과거 재하사례를 검색하게 된다.

정보 검색 모듈에서는 1차적으로 추출한 BIM 속성 값의 수와 정도에 따라 검색의 종류를 결정하고, 그 종류에 따라 AHP 결과 값을 불러온다. 그 뒤 검색의 종류에 따라 질의문을 생성하고, 이를 내부 표현으로 변환한다. 과거 재해 사례와 현장의 조건 값을 반영한 내부표현을 비교하여 유사도를 계산함으로써 유사재해사례를 추출해낸다.

출력 부분은 정보검색 모듈의 유사도 계산 과정을 통해 순위(rank)가 매겨진 유사 재해사례를 안전관리자에게 전달하는 역할을 한다. 입력된 영향요소의 수에 따라 예비계획, 월간계획, 일일계획으로 구분 된 유사 재해사례를 찾을 수 있다. 각각의 재해사례는 BIM 도면에서 추출한 오브젝트와 결합되어 위험원의 좌표와 존치기간을 제공한다.

3.5 시스템 구현

예태곤(1998)의 연구에서는 방대한 건설재해 사례DB에서 효율적인 조회를 위해 두 단계의 조회 알고리즘을 사용하였다. 하지만 기술의 발달로 DB를 처리하는 속도가 향상되었고, 단순한 조회 알고리즘이라도 충분한 성능을 발휘한다. 본 연구에서는 개별 질의를 DB와 일괄 비교하는 방식을 채택하여 검색을 수행한다. 검색을 수행하기 위해서 3가지 DB가 필요하다. DB는 BIM에서 추출한 오브젝트와 영향요소를 결합한 질의문 집합, 과거 재해사례 DB(이현수 외 2009에서 구축한 DB를 재사용함)와 AHP 가중치 결과로 구성된다.

시스템의 사용성을 확보하기 위해 구축 프로그램은 MS-Excel을 기반으로 한 VBA를 활용하여 작성한 알고리즘을 활용하기로 한다. 대부분의 건설현장에서 MS-Excel을 기반으로 공

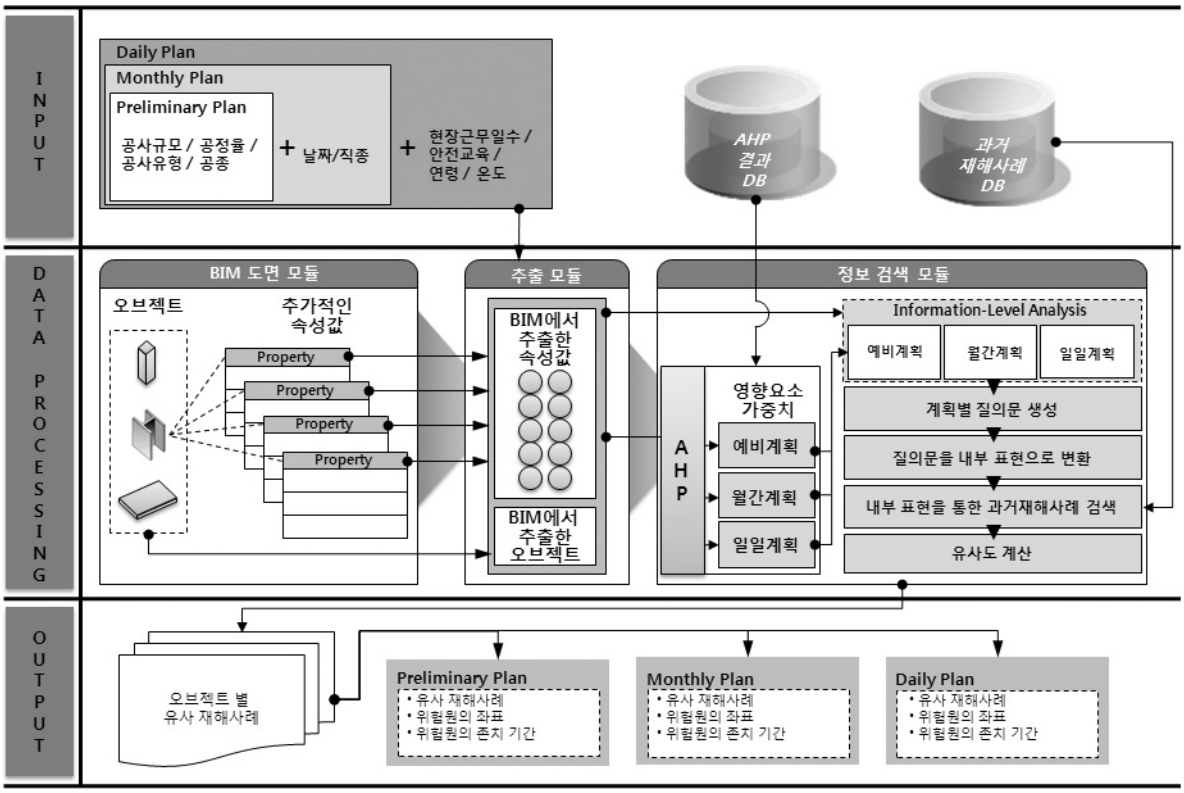


그림 7. 재해 사례 검색시스템 프레임워크

정, 공사비 관리를 하며, 상용 BIM 프로그램에서 오브젝트를 추출할 때, 데이터를 MS-Excel의 스프레드 시트 형식으로 표현이 가능하기 때문에 업무의 효율을 높일 수 있을 것이라 판단하였다. 또한 상용 BIM 프로그램은 ArchiCAD를 사용하여 건축물을 모델링한다. 이 경우 발생할 수 있는 문제점은 모델링 과정에서 대체적으로 철근 배근에 관한 모델링을 하지 않는 경우가 존재하며, 모델링을 한다고 하더라도 프로그램 상의 오브젝트의 수가 과도하게 증가하게 되어, 프로그램의 성능이 현저히 떨어진다. 따라서 철근 배근에 관한 부분은 DB 부분에 직접 입력하는 방법으로 처리한다.

철근 배근에 대하여 직접 입력하는 방식은 철근 배근까지 모델링한 것이 비해 비효율적으로 보일 수 있다. 하지만 실제 철근을 ArchiCAD나 Revit에서 모델링하게 되면 오브젝트의 수가 비정상적으로 많아지고, 이를 맵핑하는 과정이 과도하게 업무를 유발 시킬 가능성이 존재한다. 이를 해결할 수 있는 방법은 구조체를 ArchiCAD나 Revit를 통해 모델링하고, IFC 기준으로 변환 뒤에 추출한 뒤, 철근 배근 전문 모델링 툴인 Allplan에서 불러들여 철근을 모델링한다. 그 뒤에 ArchiCAD나 Revit에서 추출한 정보와 Allplan에서 추출한 정보를 결합한다면 앞서 제시한 단점을 극복할 수 있는 한 방법이 된다. 하지만 본 연구에서는 이러한 부분을 다루지 않고, DB에 철근 정보를 직접 입력하는 방식을 취하기로 한다.

그림 8의 (a)질의문 집합에서 값이 입력된 영향 요소의 경우를 구한다. 실제 현장의 데이터 입력 시, 앞서 정한 3 가지의 안전 계획 단계 별로 영향요소가 정확히 입력되지 않는 경우가 발생한다. 따라서 예비 계획 단계의 정보가 충족된다면, 가중치는 예비 계획 단계의 가중치가 사용되는 방식으로 속성을 토글(toggle)한다.

개별 사례는 각각의 영향요소와 유사도를 비교하게 된다. 이 때 각 영향요소에 해당하는 셀을 식별하고, 표 3의 유사도를 구하는 식을 통해 유사도 점수를 계산하게 된다. 개별 유사도는 가중치와 곱한 뒤에 전체를 합하여 과거 재해 사례별 유사도를 산출하게 된다. 안전 관리자는 산출된 유사도 점수를 통해 현장과 유사한 조건에서 발생한 과거 재해사례와 동시에 공종 정보에 해당하는 위험원 존치 기간과 각 오브젝트로부터 추출한 기하학적 정보를 제공받는다. 이를 통해 재해를 예방하기 위한 조치를 취할 수 있다. 이러한 결과는 그림 8의 (d)와 같이 나타나며, 아래의 결과는 10개의 색인을 활용하는 일간계획단계에 해당하는 검색결과이다.

Query_Set

		Activity Time		Influence Factor								
Element ID	Unique ID	start time	end time	공정률	공사규모	공종	공사유형	직종	날짜	연령	현장근무일수	안전교육	온도
구조벽(357)													
	88CEF4B9-F0D9-48AD-AE19-B81460B69A12	2009-03-01	2009-03-06	23	1195	콘크리트	주거슥박	보통인부	3	45	15	3	12
	A2C88004-E939-494E-AC0A-5E89221D1B1E	2009-03-01	2009-03-06	23	1195	콘크리트	주거슥박	보통인부	3	52	22	4	12
SW - 009													
	0470BA86-D070-4BE7-B173-7AC31499F553	2009-03-01	2009-03-01	23	1195	콘크리트	주거슥박	철근공	3	32	4	1	12
	108AD6A7-0F6C-4C17-866A-6BFEE54552A4	2009-03-01	2009-03-01	23	1195	콘크리트	주거슥박	철근공	3	24	4	1	12
	6CB38C44-BF6B-4A3F-AF88-A6BE6EF09B80	2009-03-03	2009-03-06	23	1195	콘크리트	주거슥박	형틀목공	3	50	38	6	12
	AFE767AB-7845-43DB-87BC-9253310E1ABE	2009-03-03	2009-03-06	23	1195	콘크리트	주거슥박	형틀목공	3	48	15	3	12
	AFE767AB-7845-43DB-87BC-9253310E1ABE	2009-03-02	2009-03-02	23	1195	기타	주거슥박	보통인부	3	38	32	5	12
	C247598D-363F-4361-838A-2EBC3EEF0140	2009-03-02	2009-03-02	23	1195	기타	주거슥박	보통인부	3	41	15	3	12
	CD9AE7FD-D9D3-4487-B3A3-C0EE39FFD3D0	2009-03-04	2009-03-07	23	1195	콘크리트	주거슥박	형틀목공	3	51	44	8	12
	CD9AE7FD-D9D3-4487-B3A3-C0EE39FFD3D0	2009-03-04	2009-03-07	23	1195	콘크리트	주거슥박	형틀목공	3	38	18	3	12
	CD9AE7FD-D9D3-4487-B3A3-C0EE39FFD3D0	2009-03-07	2009-03-24	24	1195	콘크리트	주거슥박	RC공	3	36	47	8	12
	CD9AE7FD-D9D3-4487-B3A3-C0EE39FFD3D0	2009-03-07	2009-03-24	24	1195	콘크리트	주거슥박	RC공	3	47	35	6	12
	E41A44A5-FB24-4212-A752-DDA6AF0EB48F	2009-03-07	2009-03-24	24	1195	콘크리트	주거슥박	RC공	3	49	12	2	12
	E41A44A5-FB24-4212-A752-DDA6AF0EB48F	2009-03-07	2009-03-24	24	1195	콘크리트	주거슥박	RC공	3	34	64	9	12

(a) 질의문 집합

Accident DB

	Influence Factor								
Accident ID	공정률	공사규모	공종	공사유형	직종	날짜	연령	현장근무일수	안전교육	온도
A0001	16	1200	콘크리트	주거슥박	형틀목공	10	38	36	3	14
A0002	20	130	기타	주거슥박	전공	8	41	28	4	30
A0003	68	1800	지붕 및 홈통	주거슥박		7	51	35	5	32
A0004	32	450	철골	주거슥박	철근공	5	38	12	1	20
A0005	35	390	가설	주거슥박		11	36	38	2	4
A0006	46	80	콘크리트	주거슥박		6	38	15	3	27
A0007	51	680	지정 및 기초	주거슥박		1	36	15	2	(6)
A0008	25	210	콘크리트	주거슥박	RC	2	47	32	2	(4)
A0009	89	200	내외벽	주거슥박	도장공	11	49	15	1	0
A0010	67	720	토공사	주거슥박	토공	12	34	4	1	(2)
A0011	51	65	철골	주거슥박	철근공	4	47	15	1	16
A0012	25	7	콘크리트	주거슥박	RC	3	48	44	6	12

(b) 재해사례DB

AHP Result

영향요소	예비계획단계	주간계획단계	일간계획단계
공정률	0.241	0.167	0.099
공사규모	0.175	0.131	0.077
공종	0.334	0.238	0.125
공사유형	0.25	0.173	0.096
직종	-	0.181	0.1
날짜	-	0.109	0.059
연령	-	-	0.069
현장근무일수	-	-	0.118
안전교육	-	-	0.166
온도	-	-	0.089

(c) AHP 가중치 결과

Result

			유사 재해 사례									
	Activity Time		재해번호(1)	재해번호(2)	재해번호(3)	재해번호(4)	재해번호(5)	재해번호(6)	재해번호(7)	재해번호(8)	재해번호(9)	재해번호(10)
Unique ID	start time	end time	유사도	유사도	유사도	유사도	유사도	유사도	유사도	유사도	유사도	유사도
88CEF4B9-F0D9-48AD-AE19-B81460B69A12	2009-03-01	2009-03-06	A0037	A0217	A0501	A0052	A0321	A0039	A0037	A0528	A0287	A0662
			0.690	0.606	0.584	0.547	0.521	0.486	0.457	0.445	0.423	0.386
20EAE4EA-1B8A-427A-8E4B-AF6B7B021E17	2009-03-01	2009-03-06	A0583	A0163	A0224	A0486	A0015	A0551	A0324	A0095	A0354	A0354
			0.883	0.803	0.739	0.680	0.677	0.642	0.590	0.584	0.537	0.494
E3AFBEBE-B245-4601-AB9B-7BCA1FACD3A1	2009-03-01	2009-03-01	A0172	A0022	A0386	A0301	A0286	A0383	A0274	A0252	A0320	A0049
			0.641	0.554	0.499	0.482	0.449	0.415	0.389	0.377	0.348	0.320
108AD6A7-0F6C-4C17-866A-6BFEE54552A4	2009-03-01	2009-03-01	A0036	A0531	A0099	A0130	A0402	A0061	A0128	A0121	A0359	A0292
			0.795	0.649	0.571	0.526	0.486	0.447	0.411	0.389	0.354	0.325
B7317299-235D-4B79-8172-4BC541A35BA7	2009-03-03	2009-03-06	A0384	A0314	A0145	A0037	A0449	A0109	A0072	A0224	A0147	A0131
			0.597	0.527	0.484	0.447	0.405	0.376	0.345	0.317	0.291	0.277
AFE767AB-7845-43DB-87BC-9253310E1ABE	2009-03-03	2009-03-06	A0202	A0076	A0324	A348	A420	A0156	A0164	A019	A0406	A0090
			0.522	0.498	0.428	0.360	0.342	0.335	0.291	0.283	0.252	0.229

(d) 검색결과 예시

그림 8. 시스템 구성 데이터 예시

3.6시스템 검증

본 연구에서 제안하는 재해사례 검색시스템의 검증은 KOSHA에서 제공하는 건설중대재해사례 검색시스템과의 비교를 통해서 수행하기로 한다. 검색엔진의 성능을 평가한다면, 다양한 부분을 고려할 수 있다. 검색의 신속성, 검색 결과의 정확성, 새로운 데이터나 정보가 검색 결과에 즉각 반영되는지 여부, 관리의 여부, 다양한 파일 및 문서포맷을 검색을 수행할 수 있는지 등의 조건들이 평가기준에 부합할 수 있다.

이들 중 검색엔진의 성능요소는 부가적인 시스템에 영향을 많이 받는다. 따라서 평가척도로 가장 많이 사용되는 것이 검색의 신속성을 판단하는 수집속도와 재현율과 정확도를 들 수 있다. 본 연구에서 제안하는 재해사례 검색시스템은 데이터가 웹 검색엔진처럼 많지 않기 때문에 수집속도를 평가에서 제외하기로 한다.

재현율은 시스템의 DB내에 속한 색인과 관련된 문서 중 검색한 문서의 비율을 의미한다. 그리고 정확도는 시스템이 검색한 문서 중 관련이 있는 것의 비율을 의미한다. 이 두가지를 평가의 척도로 검증을 진행하기로 한다. 질의의 색인은 건설중대재해사례 중 3건을 뽑아 각각의 단어별로 색인화하여 수행하였으며, 그 결과는 표 5와 같다.

표 5. 안전 계획 단계별 색인 가중치

안전관리단계	예비계획단계		주간계획단계		일간계획단계	
색인수	4		6		10	
검색엔진	정확도	재현율	정확도	재현율	정확도	재현율
KOSHA 건설중대재해사례	0.72	0.61	0.63	0.41	0.84	0.34
루팅시스템 기반의 검색방법	0.68	0.82	0.79	0.75	0.92	0.61

본 연구에서 제안하는 검색방법은 KOSHA의 재해사례 검색에 비해 전반적으로 정확도와 재현율이 높음을 알 수 있으며, 색인이 많을수록 재현율이 KOSHA 시스템에 비해 높음을 알 수 있다.

4. 결 론

기존의 안전관리는 경험적이고 일률적인 안전 지식을 주로 적용하기 때문에 건설현장의 가변적인 조건들을 충분히 반영하지 못한다. 이를 해결하고자 건설 재해가 반복 발생하는 특성을 활용하여 재해사례를 검색하여 안전관리에 적용시키는 연구들이 진행되었다. 재해사례를 추출하여 안전관리에 많은 도움을 주었지만 안전 계획 수립단계를 포함하지 못하거나, 실질적으로 현장 내에 존재하는 위험원의 위치를 파악하지 못하고, 사용자 정의가 충분하지 못한 한계점이 존재한다.

본 연구에서는 이러한 한계점을 극복하고자, 현장의 조건을 반영하여 질의를 생성하고, 그 결과에 시간 · 공간적 정보를 추가한 재해사례 검색시스템을 개발하였다.

개발한 시스템을 통해 안전 관리자에게 단계별 재해 예방대책을 수립하기 위한 계획을 세우는데 도움을 줄 수 있다. 안전에 관련된 재해사례를 시스템 상에서 자동적으로 모든 요소들에 대한 검색을 수행함으로써 위험원을 찾는 것의 효율을 기존 시스템에 비해 높였다. 검색을 통해 얻은 결과는 안전관리자의 업무를 효율적으로 수행할 수 있도록 위험원에 대한 유사과거재해사례, 위험원의 위치(좌표), 위험원의 존치기간이 나타나도록 하였다. 이뿐 아니라 기존 BIM의 활용폭을 공정, 원가, 유지관리 분야 뿐 아니라 안전관리 분야까지 확장시킬 수 있음을 보여주었다.

이러한 장점들에도 불구하고 본 연구는 다음과 같은 한계점을 가진다. 우선 PMIS 등의 풍부한 데이터원이 없을 경우 자료의 입력에 많은 노력이 필요하며, 상용 BIM 가시설물을 지원하지 않기 때문에 이 부분에 대한 내용이 부족하다. 그리고 보다 효율적인 위험원의 인지를 위하여 오브젝트의 좌표뿐만 아니라 시각적으로 인지할 수 있는 3D 모델과 검색시스템과의 연동이 필요할 것으로 예상된다. 또한 발생한 재해 사례에 대한 정확한 저장기준 혹은 분석 기준이 있어야 한다. 기존의 재해사례는 실제 안전관리에 활용하기에는 정보가 충분하지 않을 수 있다. 향후 연구를 통해 위의 문제점들을 해결하고, 더욱 축적된 재해사례를 바탕으로 서버를 구성한다면, 재해 예방에 더욱 도움이 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설기술교통평가원에서 위탁 시행한 첨단도시개발사업(과제번호 : 09첨단도시A01)에 의해 수행한 결과의 일부임.

참고문헌

고성석, 송혁, 이한민. (2005). “재해사례와 위험도 지수를 활용한 건축공사 안전정보 시스템 개발”, 대한건축학회논문집 구조계 21(6) pp. 113~120

김현수. (2010). “Influence Factor-Based Safety Risk Assessment Methodology for Construction Sites” 서울대학교 석사학위 논문.

문명완과 양극영. (1996). “건설공사 재해정보분류체계 구축에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 13(4), pp.429-440

문명완, 김의식, 양극영. (1997). “건설 재해정보 관리시스템 구현에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 13(8), pp.429-440

이현수, 김현수, 박문서, 이광표, 이사범 (2009). “건설현장 위험영향요소 기반의 위험도 산정 방법론”, 한국건설관리학회 논문집, 10(6), pp. 117-126

예태곤. (1998). “사례기반 건설안전 관리시스템의 추론 모형” (Reasoning Model of the Case-Based Construction SAfety Management System) 서울대학교 석사학위 논문.

안홍섭. (1994). “건설작업 안전정보의 효과적 활용을 위한 지식모형에 관한 연구” 서울대학교 박사학위 논문

안홍섭. (1996). “건설재해사례의 효과적 활용을 위한 사고정보 분류체계에 관한 연구”, 대학건축학회 논문집, 12(6), pp. 241-255

An, S. (2007). “Integrated safety risk management for construction projects.” Ph.D. dissertation, Seoul National Univ., Seoul, Korea.

Carter, G. and Smith., S. D. (2006). “Safety hazard identification on construction projects.” J. Constr. Eng. Manage., 132(2), pp. 197-205.

Chua, D. K. H. and Goh, T. M. (2002). “Application of case based reasoning in construction safety planning.” Proceedings of International Workshop on Information Technology in Civil Engineering

2002, pp. 298-307.

Chua, D. K. H. and Goh, T. M. (2009). "Case-based reasoning for construction hazard identification: case representation and retrieval" J. Constr. Eng. Manage., 135(11), pp. 1181-1189.

Eastman, C. Teicholz, P., Sacks, R., and Liston, K. (2008). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, John Whiley & Sons Inc., USA,

Goh, T. M. and Chua, D. K. H. (2010). "Case-based reasoning approach to construction safety hazard identification: adaptation and utilization." J. Constr. Eng. Manage., 136(2), pp. 170-178.

Hallowell, M. R. and Gambatese, A. (2009). "Activity-based safety risk quantification for concrete formwork construction." J. Constr. Eng. Manage., 135(10), pp. 990-998.

Kartram, N. A. (1997). "Interating safety and health performance into construction CPM." J. Constr. Eng. Manage., 123(2), pp. 121-126.

Kolodner, J. L. (1993). Case-Based Reasoning, Morgan Kaufmann

Lin, K. and Soibelman, L. (2009). "Incorporating domain knowledge and information retrieval techniques to develop and architectural/engineering/construction online product search." J. Comput. Civ. Eng., 23(4), pp. 201-210

Manning, C. D., Raghavan, P. and Schutze, H. (2008). Introduction to information retrieval, Cambridge University Press, New York, USA

McKinney, K. and Fischer, M. (1998). "Generating, evaluating and visualizing construction schedules with CAD tools." Autom. Constr., 7(6), pp. 433-447.

Navon, R. and Kolton, O. (2006). "Model for automated monitoring of fall hazards in building construction." J. Constr. Eng. Manage., 132(7), pp. 733-740.

Navon, R. and Kolton, O. (2007). "Algorithms for automated monitoring of fall hazards." J. Comp. Civ. Eng., 21(1), pp. 21-28.

Paulson, B. C. (1995). "Computers and construction - Midcareer reflections." J. Constr. Eng. Manage., 121(2), pp. 197-200.

Sacks, R., Rozenfeld, O. and Rozenfeld, Y. (2009) "Spatial and temporal exposure to safety hazards in construction." J. Constr. Eng. Manage., 135(8), pp. 726-736.

Satty, T. L. (1980). The analytic hierachy process, McGraw-Hill, New York. USA.

Schatterman, D., Herroelen, W., Van de Vonder, S., Boone, A. (2008). "Methodology for integrated risk management and proactive scheduling of construction projects." J. Constr. Eng. Manage., 134(11), pp. 885-893.

논문제출일: 2010.11.04
논문심사일: 2010.11.05
심사완료일: 2010.12.23

Abstract

The repetitive occurrence of similar accident is one of the biggest feature in construction disasters. Similar accident cases provide direct information for finding risk of scheduled activities and planning safety countermeasure. Many systems are developed to retrieve and use past accident cases by researchers. However, these researches have some limitations for performing too much retrieval to obtain results considering construction site conditions or not reflecting characteristics of safety planning steps or both. To overcome these limitations, this study proposes accident case retrieval system that can search similar accident cases. It also helps safety planning using information retrieval and building information modeling. The retrieval system extracts BIM objects and composes a query set combining BIM objects with site information DB. With past accident cases DB compares a query set, it seeks the most similar case. And results are provided to safety managers.

Based on results of this study, safety managers can reduce excessive query generation. Furthermore, they can be easy to recognize risk of a construction site by obtaining coordinations of objects where similar accidents occurred.

Keywords : *Safety Management, Accident case, Information Retrieval, BIM*