

# BIM기반 자동화 데이터 수집기술을 활용한 위험지역 식별 모델

Hazardous Area Identification Model using Automated Data Collection(ADC) based on BIM

김 현 수\*      이 현 수\*\*      박 문 서\*\*\*      이 광 표\*\*\*\*      편 재 호\*\*\*\*\*  
Kim, Hyunsoo      Lee, Hyun-Soo      Park, Moonseo      Lee, Kwang-Pyo      Pyeon, Jae-Ho

## 요 약

건설 산업의 재해 중 상당 부분은 작업자의 이동 중 발생한다. 건설 현장의 안전관리는 작업을 중심으로 수행되며, 이는 이동 경로에 존재하는 위험원에 대한 안전관리 수준을 상대적으로 낮게 만든다. 많은 연구자들이 위험원을 인지하는 것이 안전관리의 기본임을 제시하였다. 따라서 본 연구에서는 자동화 데이터 수집기술(Automated Data Collection)을 이용하여 작업자의 이동경로에 존재하는 위험원에 대한 안전관리자의 인지를 지원하는 모델을 개발하였다. 모델은 실시간 위치추적 기술 기반의 작업자의 위치정보와 BIM을 통한 최적이동 동선의 비교를 통해 일차적으로 위험 가능 지역을 찾는다. 그리고 기존 위험지역과 작업지역을 필터링함으로써 위험 가능 지역을 폭을 좁힌다. 이를 바탕으로 안전 관리자는 위험원이 존재할 가능성이 높은 지역에 대한 정보를 제공받고, 현장의 상황에 맞는 안전관리대책을 수립할 수 있을 것이다. 본 연구에서 제시된 모델을 통해 발견하지 못한 채 남을 수 있는 위험지역을 인지함으로써 안전관리 프로세스 범위에 속하지 않는 위험원을 줄일 수 있으며, 이를 통해 건설 현장의 안전 향상에 도움을 줄 것이라 예상된다.

**키워드 :** 안전관리, 위험 지역 식별, 자동화 데이터 수집기술(ADC), 실시간 위치추적 시스템(RTLS), BIM

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

건설현장은 내재된 고유의 특징으로 인해 타 산업에 비해 많은 위험성을 내포하고 있다(Schatteman 외 2008, Hallowell과 Gambatese 2009, 이현수 외 2009a, 김현수 2010). 또한 건설 현장의 재해는 크게 작업 중 재해와 작업을 진행 위해 이동하는 과정에서 발생하는 것으로 나눌 수 있다(An 2007). 한국산업안전공단 중대재해사례집(2001~2003)의 사례 중 약 20% 가량이 근로자가 이동 중에 발생했거나 이동과 관련하여 발생한 것으로 판단된다(이규진 2005). 타 작업의 진행, 위험자재의 적치, 개구부의 존재 여부 때문에 건설현장의 이동 경로 상 위험은 작

업공간에서의 위험과 다르다.

현장에서는 작업공간에 중점을 두고 공중 중심의 안전관리 활동을 시행하고 있다. 이 때문에 이동과정 및 공간은 작업공간에 비해 관리의 강도가 약하다. 또한 건설현장의 시간에 따른 급격한 변화 때문에 안전 관리자가 이동경로 상의 위험원들의 생성-소멸 과정을 모두 파악하기 힘들게 한다(Sacks 외 2009).

영국 표준 협회(British Standard Institution 1996)은 위험원 인지, 위험 분석 및 평가, 위험 조정 및 선택, 유지관리로 구성된 4단계의 안전관리 프로세스를 제시하였다. 건설 산업에서 위험 분석 및 평가 단계는 위험원을 관리하는 효과적인 방법이다. 하지만 안전 계획이 수립되어 수행된다고 하더라도 건설현장의 가변적 특성을 고려한다면 계획단계에서 누락되는 위험원이 발생할 수 있다. 인지되지 않은 위험원은 앞서 말한 위험 분

\* 일반회원, 서울대학교 건축학과 대학원 박사과정, verserk13@naver.com

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

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

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

\*\*\*\*\* 일반회원, 산호세 주립대학교 토목환경공학과 조교수, jae.pyeon@sjsu.edu

석 및 평가 단계를 무효화시킨다(Carter와 Smith 2006). 안전 관리 프로세스 초기 단계에서 발견하지 못한 위험원은 분석되지 않으며, 관리되지도 않기 때문에 위험원 인식은 안전관리의 가장 기본이 되는 단계라고 볼 수 있다.

Gregory와 Smith(2006)는 영국의 위험원 인지도가 일반 건축 프로젝트일 경우 66.5%로 미발견 위험원의 비율이 30%를 넘는다고 제시하였다. 모든 위험원을 인지하기 위해 안전관리수준을 지나치게 높이거나, 안전 관리자를 과다 투입하는 것은 비효율적이며 비경제적인 측면이 존재한다. 따라서 보다 효율적인 안전관리를 위해서는 자동화된 시스템을 통해 위험원을 인지하는 방법의 도입이 필요하다.

안전관리 효율성 제고를 위해 자동화 데이터 수집기술(Automated Data Collection, ADC)에 관한 많은 연구가 진행되었다(Davidson과 Skibniewski 1995, Navon과 Kolton 2006, Navon과 Kolton 2007). 이중 Navon과 Kolton(2006, 2007)은 안전 시설물에 대한 위치추적을 통하여 추락방지에 관련된 연구를 진행하였다. 또한 이현수 외(2009b)는 작업자의 위치정보를 바탕으로 시스템을 개발하였다. 이러한 연구들의 목적은 안전관리자의 부담을 경감시키고, 안전관리를 보다 효과적으로 수행하기 위한 목적으로 이루어졌다.

이러한 배경 하에 본 연구는 이동 경로에 존재하는 위험원을 작업자 위치추적을 통하여 시스템 상에서 자동적으로 인지할 수 있는 모델을 개발하고자 한다. 모델은 작업자의 위치추적 로그와 최적 이동 경로와의 차이를 통해 위험지역을 찾는다. 그리고 기존의 위험지역과 작업지역을 비교함으로써 위험지역을 필터링함으로써 미발견된 위험 지역을 파악하고 현장의 조건에 따른 효과적인 안전관리를 수행할 수 있도록 지원할 것이다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

건설 프로젝트를 시작하기 전 현장 차원에서 안전관리 계획을 수립한다. 건설현장의 가변적인 상황을 고려한다면, 기존 수립된 계획에 포함되지 않는 위험지역이 생성될 수 있다. 본 연구는 건설 단계에서 현장의 작업자 최적 이동 동선 상에 존재하는 미인지 위험원을 찾아 안전 관리자에게 알리는 모델 개발을 그 목적으로 하며 연구의 절차와 방법은 아래와 같다.

기존의 연구를 통해 자동화 데이터 수집 기술의 역할을 파악하고 안전관리 분야에 적용시킬 수 있는 시사점을 찾는다. 그리고 알고리즘을 개발하기 위한 가정을 정리한 뒤 위험지역 식별 모델을 제시한다. 모델을 구성하는 세부적인 DB와 모듈들을 정의한 뒤, 각각의 모듈을 중심으로 상세 알고리즘을 제시하고, 이를 개발 및 현장 파일럿 테스트를 수행한다.

## 2. 이론적 고찰

안전관리 및 위험원 인지에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 본 장에서는 위험에 대한 정의를 살펴보고, 위험원 인지 및 자동화 데이터 수집 기술에 대한 선행연구를 분석함으로써 안전관리 분야에서의 활용성을 찾는다.

### 2.1 정의

리스크(Risk)와 위험원(Hazard)에 관한 많은 정의들이 있다. Jannadi와 Almishari(2003)은 리스크를 특정 활동에 속하는 모든 재해의 발생 가능성, 강도, 노출 정도의 결합이라고 정의하였다. 또한 이현수 외(2009a)는 원하지 않는 사건의 발생 빈도(Frequency)와 강도(Severity)의 조합으로 정의하였다.

건강 안전 협회(Health and Safety Commission, 1995)는 위험원을 피해가 일어날 가능성이라고 정의하였다. 그리고 Gowen과 Collofello(1994)는 부상 또는 사망과 같은 계획되지 않거나, 원하지 않는 사건이 일어날 가능성을 가지는 상태로 정의하였다.

본 연구에서는 리스크 산정 전 단계인 위험원 인지를 연구 범위로 가진다. 이에 가장 합당한 Gowen과 Collofello의 정의를 사용하기로 한다.

### 2.2 위험원 인지(Hazard Identification)

위험을 인지하는 방법에 관한 많은 연구들이 다음과 같이 이루어졌다. 그림 1과 같이 건설 현장에서 작업자에 대한 위험원은 작업 공간(Activity-Oriented)과 이동 공간(Space-Oriented)에 존재하며, 이 위험원은 공정의 흐름에 따라 생성·소멸 과정을 가진다(An 2007).

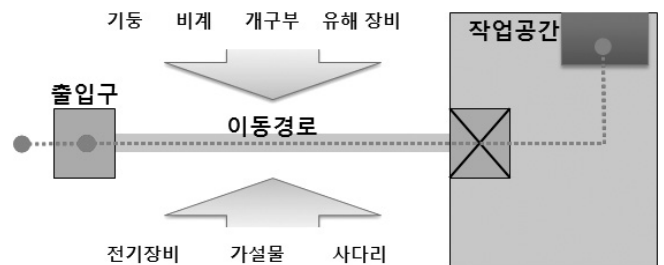


그림 1. 위험 공간의 분류(An 2007)

다른 연구자들은 직접적으로 위험원을 찾는 연구들은 작업과 연계하여 위험도를 계산하거나 그 지역을 위험 지역으로 처리하는 방법들을 개발하였다(Schatterman 외 2008, Hallowell과 Gambatese 2009). Sacks 외(2009)는 위험원에 노출 될 수 있는

가능성 및 시간을 구해서, 이를 4D 모델 상에 색을 통해 나타내었다. Mckinney와 Fisher(1998)는 공정 진행에 따라 변하는 위험의 정도를 4D CAD상에서 객체의 색으로 표현하였다. 앞서 언급한 연구들이 작업공간에 집중되어 작업자가 작업 공간으로의 이동 또는 단순 이동 시 위험 공간을 찾아내는 연구는 거의 이루어지지 않았음을 알 수 있었다.

### 2.3 자동화 데이터 수집 기술(ADC)

위험지역을 찾는 것은 안전관리의 가장 기본이 되는 활동이다. 하지만 소수의 안전 관리자들이 건설현장의 모든 장소를 검사하여 위험지역을 찾는 것은 안전관리의 효율성을 저해시키는 요인이며, 충분한 성과를 얻지 못함을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 작업자들의 위치정보를 분석하고 자동화 데이터 수집 기술을 활용함으로써 위험 가능성이 높은 지역을 안전 관리자에게 효과적으로 알리는 방법을 채택하기로 한다.

IT 기술의 발달로 정보처리기술을 건설에 적용한 연구들이 진행되었다. 과거의 자동화 데이터 수집 기술은 소매업이나 제조업에 많이 사용되었지만, 최근 본격적으로 건설 산업에 적용되고 있다. 건설 산업 적용 초기의 자동화 데이터 수집 기술은 바코드를 이용하여 프로젝트의 전반적인 관리, 건설 산업에의 적용성, 자재 관리 등에 활용하였다(Blakey 1990, Rasdorf와 Herbert 1990, Davidson과 Skibniewski 1995).

Lu 외(2009)는 건설 산업에서 GPS(Global Positioning System)기술과 RFID(Radio Frequency Identification)기술을 활용하여 다양한 자원을 추적 가능하며, 경제적 측면에서도 적용할 수 있음을 보여주었다. GPS 기반의 자재나 장비의 위치를 추적하는 모델이 개발되었다(Oloufa 외 2003). 하지만 본 연구의 범위인 실내 건설 현장을 고려하면, 실외 환경에 비해 전파 감쇄 요소가 존재하는 실내 환경에 GPS를 적용하는 것은 측위 정밀성을 획득하기 어렵다(이광표 외 2009).

RFID 기술을 사용한 위치추적 기술을 이용하여 건설 현장의 출역관리, 자재관리 등에서 적용 가능성이 제시되었다(최철호 2004, Jaselskis 와 El-Misalami 2003, Dziadak 외 2009). 또한 RFID를 도입한 자동화 데이터 수집 기술을 안전 관리에 사용한 사례들도 있었다. 이현수 외(2009b)는 작업자의 위치추적을 통해 작업자가 위험지역에 접근할 때 알람을 알려주는 안전 관리 모델을 개발하였다. 그리고 작업과 추락 위험 지역(Dangerous Edge)를 통해 위험지역을 찾고, 추락방지 안전시설의 설치를 위치추적장치로 관리하는 모델이 제시되었다

(Navon과 Kolton 2006, Navon과 Kolton 2007).

수많은 관리요소들이 있을 경우 이를 작업자가 모두 관리하는 것은 실수의 가능성이 높으며, 비용적인 측면에서도 불리하기 때문에, 자동화 데이터 수집 기술을 도입하는 것이 관리적 차원에서 유리함을 알 수 있다(Torrent와 Caldas 2009).

## 3. 위험지역 식별 모델 구축

기존의 연구들을 통해 위험 지역 인지에 적용할 수 있는 기술들을 살펴보았다. 본 장에서는 앞서 살펴본 기술들을 바탕으로 작업자의 위치정보, 인지된 위험지역, 작업 지역, 작업자 최적 이동 동선을 활용하여 발견하지 못한 미인지 위험지역을 찾기 위한 구성요소를 제시한다. 그리고 이들을 결합하여 모듈별 상세 알고리즘을 제시한다.

### 3.1 모델 개발을 위한 가정

미인지 위험 지역을 찾기 위한 모델을 개발하기 앞서서 다음과 같은 4가지의 가정을 한다.

- (1) 작업자는 자신이 원하는 지점으로 이동할 경우 육체적 노동의 최소화를 위해 최적 이동 동선을 따라 이동한다.
- (2) 최적 이동 동선은 작업자가 이동하기를 원하는 두지점 사이의 최단 경로(Shortest Path)를 말한다(Rilet과 Park 2006).
- (3) 단, 작업자의 최적 이동 동선 위에 장애물(작업의 진행, 자재, 위험원 등)이 위치 할 경우, 작업자는 위험지역을 벗어나 이동한다.
- (4) 본 모델은 최적 이동 동선 위에 위치한 위험원만을 다루며, 그 외에 작업이 진행되는 지역에 관한 위험원 등은 다루지 않기로 한다.

### 3.2 개념 모델

본 연구에서 제안하는 개념 모델은 그림 2와 같다. 작업자는 작업을 위한 공간으로 이동할 경우 최단 경로로 이동한다. 이때 실제 작업자의 이동 경로가 최단 경로를 벗어났다면, 최단 경로 상에 작업자의 이동을 방해하는 장애물(Obstacle)이 있을 것이라고 예측할 수 있다. 이러한 장애물로는 자재의 적치, 작업이 진행 중인 공간, 위험원 등이 있다. 작업자의 실제 이동 경로와 최적 이동 경로의 편차를 실시간 위치추적 기술과 자동화 데이터 수집 기술을 활용하여 구할 수 있다면, 이동경로 상의 위험원의 존재를 손쉽게 파악 할 수 있을 것이다.

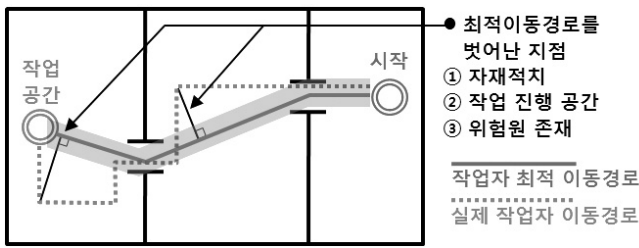


그림 2. 위험지역 인지 개념 모델

### 3.3 위험지역 인지 모델

본 연구에서 제안하는 모델은 그림 3과 같이 6개의 DB와 미발견 위험 지역 인지 모듈, 위험지역 필터링 모듈, 모니터링과 결과물 생성 모듈로 구성되어있다. 각각의 모듈은 연관된 DB로부터 정보를 입력받고, 이를 가공 처리하여 다음 단계의 모듈이나 DB에 정보를 주는 역할을 한다. 미발견 위험지역 인지 모듈을 통해 위험 가능성이 높은 위험지역을 찾고, 이를 위험지역 필터링 모듈에서 걸러낸다. 최종 필터링 된 위험 가능 지역을 모니터링과 결과물 생성 모듈에서 결과물을 도출한다. 이 결과물들이 다시 DB로 저장되어 시간의 변화에 따른 위험원의 생성·소

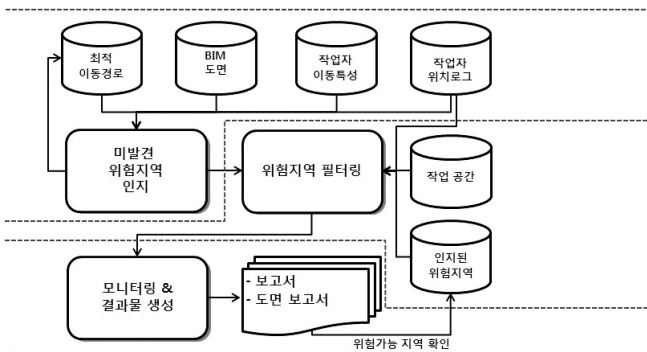


그림 3. 위험지역 식별 모델 프레임워크

멸 과정을 자동적으로 반영할 수 있도록 한다.

다음은 6개의 DB와 미발견 위험 지역 인지 모듈, 위험지역 필터링 모듈, 모니터링과 결과물 생성 모듈의 상세 설명 부분이다.

- BIM 도면 : BIM 도면은 시스템에 기본적인 정보를 제공하는 역할을 한다. 객체 지향적(Object-Oriented) 정보로 이루어진 도면은 세부 객체들을 추출하여 최적이동경로 산정 시 간섭체크를 하거나, 타 DB의 좌표 정보를 표현하는 역할을 한다.
- 최적이동경로 : 최적이동경로를 구하기 위해서 노드(Node)라는 개념을 도입하였다. 노드는 일반적으로 작업자가 공간과 공간을 이동하는 경우 통과하는 특정 지점으로, 본 연구에서

는 문, 계단, 호이스트, 엘리베이터 등을 의미한다. 최적이동 경로는 최단 경로 이론(Shortest Path Logic)에 기초하여 작업자가 이동할 수 있는 두 노드 사이의 최단 거리로 정의한다.

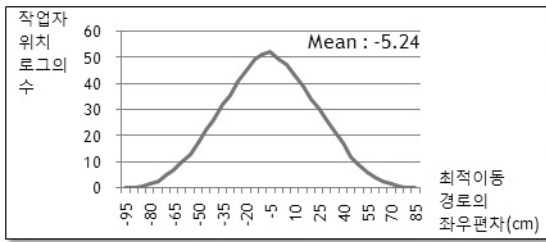
- 작업자 이동 특성 : 위험원의 존재여부가 작업자의 이동 특성에 영향을 미친다는 가설을 증명하기 위해 작업자 로그에 대해 분산분석(Analysis of variance, ANOVA)를 수행하였다. 실험은 위험원이 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우의 작업자가 최적이동경로를 얼마나 벗어나는 지를 측정하여 이를 분석하였으며 실험의 결과는 표 1과 같다. 위험원이 없을 경우의 관측된 로그의 수는 751개이며, 최적이동경로와의 편차는 평균23.66cm이다. 위험원이 있을 경우 관측된 로그의 수는 673개이며, 최적이동 경로와의 편차는 평균 56.74cm 이다. 또한 두 집단의 F비와 F기각치를 비교한 결과 F비가 F기각치를 상회한다. 본 실험을 통해 위험원의 존재여부가 작업자의 이동 특성에 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, 위험원이 더 강한자극으로 작용하여 작업자를 최적이동경로에서 더 크게 벗어나게 함을 알 수 있었다.

표 1. 위험원 존재 유무에 따른 이동특성

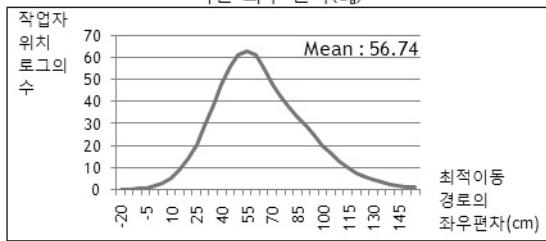
인자의 수준	관측수	합	평균	분산		
위험원이 없을 경우	751	17765	23.66	301.72		
위험원이 있을 경우	673	38186	56.74	871.14		
변동의 요인	제곱합	자유도	제곱 평균	F비	P-값	F기각치
처리	515777.4	1	515777.4	903.59	4.30E-154	3.85
잔차	811694.8	12	570.81	.	.	.
계	1327472	1423	.	.	.	.

그림 4와 같이, 작업자 이동특성 DB는 2가지 종류의 Data로 구성되어 있다. 첫 번째(da)는 작업자가 최적이동경로를 따라 움직일 때 좌우로의 편차를 나타낸 Data이다. 두 번째(db)는 작업자가 위험원을 인지할 경우 해당 위험원으로 부터 얼마나 떨어져서 이동하는 지를 나타내는 Data이다. 이 결과값을 얻기 위해 2가지 실험을 수행하였다. 우선 작업자가 최적이동경로에서 얼마나 떨어져 이동하는 정도를 구하기 위해 총 37명의 작업자들에게 위치추적 장비를 부착하고 이동 특성을 살펴보았다. 실험 방법은 장애물 및 위험지역이 없는 연면적 5,307m<sup>2</sup>의 철근콘크리트조 건설 현장의 한 평면에서 두 노드를 연결한 직선(최적이동경로)을 따라 움직일 때 작업자가 그 직선에서 얼마만큼 떨어져 이동하는지를 살펴보았다. 이 실험에서 약 95%정도의 피 실험자들의 위치정보가 -54.28 ~ +50.66cm 범위 안에 속해있었다(작업자의 이동방향을 기준으로 왼쪽은 -, 오른쪽은 +로 표기하기로 함). 실험 결과를 시스템에 손쉽게 적용시키기 위해 좌우 폭을 각각 50cm로 설정하였다. 작업자가 위험원으로부터 떨

어저 이동하는 거리는 앞의 실험과 같은 방법으로 수행되었다. 이때 거리의 평균값이 56.74cm로 나타났으며, 알고리즘 상에서도 평균값을 사용하기로 한다. 앞의 두 실험을 종합해 보면 일반적인 작업자는 위험이 없다고 인지하는 경우 최적이동경로에서 좌우 약 50cm정도의 범위에서 움직이며, 위험원을 인지할 경우 이 범위를 벗어난다고 볼 수 있다.



(a) 최적이동경로에 따른 좌우 편차( $d_a$ )



(b) 작업자가 위험원로부터 떨어져 이동하는 거리( $d_b$ )

그림 4. 작업자 이동 특성 그래프

● 작업자 위치 로그 : 본 연구에서 채택한 실시간 위치추적 기술은 CSS(Chirp spread spectrum)를 기반으로 한 실시간 위치인식 시스템을 적용하기로 한다. 측위 방식은 건설 현장 실내에서 정밀함을 갖는다고 판단되는 Time of Arrival(TOA) 방식을 사용한다. 주파수는 CSS 기반 실시간 위치추적 기술의 국제 표준으로 제정 중에 있는 IEEE 802.15.4a의 표준 주파수인 2.45GHz 주파수를 사용한다(이광표 외 2010). 또한 본 연구에서는 위치추적 오차를 극복하기 위해 이광표 외(2010)이 제시한 어시스턴트 태그(Assistant Tag)를 연구에 도입한다. 또한 건설 현장과 같이 장애물이 존재하는 환경(NLOS)에서 위치 오차를 발생시키는 전파의 다중경로 및 감쇄를 제어하기 위해 미들웨어(Middleware)를 도입하기로 한다. 작업자가 단위시간당 이동할 수 있는 거리는 한정되어 있으며, 일반적인 환경에 비해 건설현장에서는 그 거리가 더욱 짧다. 이를 고려하여 미들웨어에서는 작업자가 단위시간당 움직이는 거리가 일정이상일 경우 그 로그를 배제하여 위치 추적을 함으로써 위치추적의 정밀도를 높일 수 있다. 그림 5에서 보듯이, 작업자에게 부착한 태그(Tag)의 신호를 리더(Reader)를 통해 수신한

다. 리더는 작업자의 위치정보를 층별로 배치된 베이스 스테이션(Base-Station)에 보낸다. 각 층별로 수집된 정보는 작업자 위치 로그 DB에 저장되어 미발견 위험 인지 모듈과 위험지역 필터링 모듈에서 사용된다.

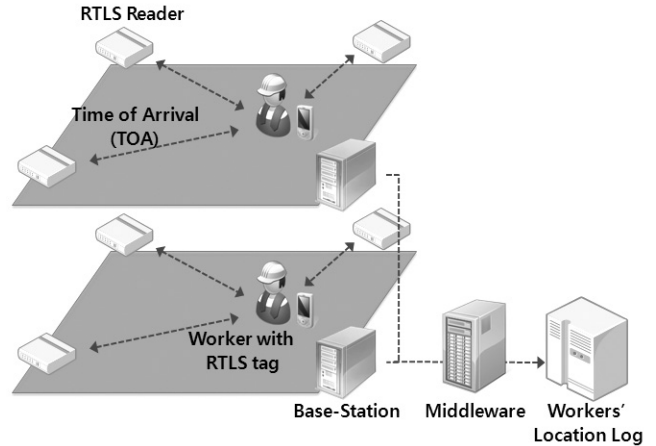


그림 5. 실시간 위치추적 시스템

- 작업 공간 : 작업 공간 DB는 시간에 따라 작업이 이루어지고 있는 공간을 저장한 것이다. 이 Data는 BIM 도면과 결합되어 위험지역 필터링 단계에서 사용된다.
- 인지된 위험 지역 : 이 DB는 안전 관리자들이 찾아낸 위험지역과 본 연구에서 제시한 미발견 위험지역 인지 모듈과 위험지역 필터링 모듈을 통해 생성된 위험 지역과 시간의 흐름에 따라 소멸된 위험지역을 업데이트 한 결과를 저장한다. 이 DB도 작업 공간 DB와 마찬가지로 BIM 도면에 맵핑되어 위험지역 필터링 모듈에서 사용된다.
- 미발견 위험지역 인지 모듈 : 본 모듈에서는 최적 이동경로를 생성하고, 이를 작업자 이동 경로와 비교함으로써 위험지역을 위험 가능 지역을 찾는다.
- 위험지역 필터링 모듈 : 미발견 위험지역 인지 모듈의 결과물인 위험 가능 지역을 인지된 위험지역과 작업 지역을 통해 필터링 하는 모듈이다. 이 모듈의 결과는 2차 필터링된 위험 가능 지역의 정보를 모니터링과 결과물 생성 모듈로 전송된다.
- 모니터링과 결과물 생성 모듈 : 이 모듈은 위험의 가능성이 높은 지역을 안전 관리자가 인지 할 수 있도록 추출한 정보를 생성한다. 정보는 위험지역을 도면에 표현한 그래픽 결과물과 위험 지역에 대한 상세 정보를 가지는 리포트를 포함한다.

### 3.4 상세 알고리즘

본 절에서는 앞서 설명한 구성요소를 바탕으로 단계별 알고리즘을 제시한다. 상세 알고리즘은 미발견 위험지역 인지 모듈,

위험지역 필터링 모듈, 모니터링과 결과물 생성 모듈의 총 3단계로 이루어진 각각의 모듈별 상세 알고리즘을 통해 위험 가능성이 높은 지역을 필터링하여 안전 관리자에게 전달한다.

### 3.4.1 미발견 위험지역

미발견 위험지역을 인지하는 알고리즘은 크게 3 부분으로 이루어진다. 첫째로 노드를 추출하여 최적이동경로 설정한다. 둘째, 실시간 위치 추적 기술을 활용하여 작업자 이동경로 추출하는 부분이다. 그리고 추출한 최적이동경로와 작업자 이동경로를 평면도에 맵핑(Mapping)하고 둘 사이의 편차가 일정 수준(50cm) 이상인 경우 위험 가능 지역을 인지한다.

우선 최적이동경로를 산정하는 방법은 그림 6과 같다. BIM 도면에서 노드 역할을 할 수 있는 엘리먼트(Element)를 추출한다. 이 노드들을 직선으로 연결한 뒤, 이 선들이 노드 역할을 하지 않는 다른 BIM 객체들과 간섭이 일어나는지 체크한다. 체크 이후에 간섭이 일어나지 않는 선들을 다시 추출하면 최적 이동 경로 리스트가 만들어진다. 이를 최적이동경로 DB에 저장한다. 최적이동경로는 층별 평면도에 맵핑된다.

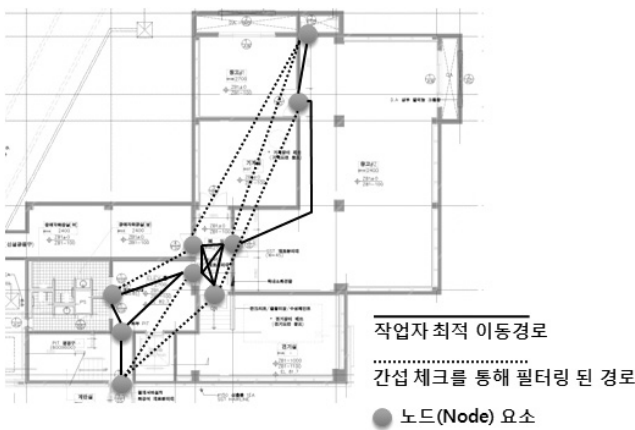


그림 6. 최적이동경로 산정 예시

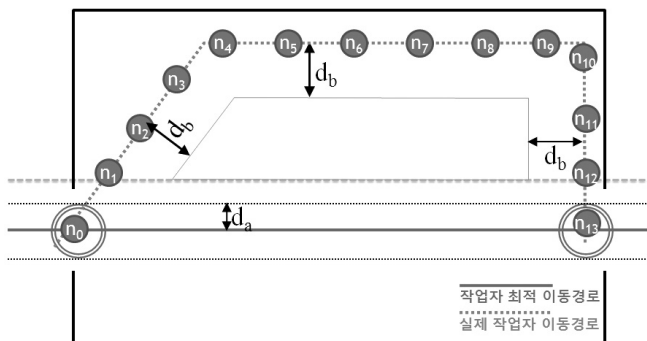


그림 7. 위험 가능 지역 인지 예시

BIM 도면에서 불러온 층별 평면도에 최적 이동 경로와, 작업자 이동 경로를 맵핑한다. 맵핑된 정보를 바탕으로 최적 이동 경로를 벗어난 로그를 찾는다. 벗어난 좌표들을 연결하고, 연결된 범위의 단면을 작업자 이동특성을 반영하여 위험 가능 지역을 인지한다. 이 과정을 상술하면 그림 7과 같다.

작업자의 로그정보가 단일 평면에서  $n_0, n_1, n_2, \dots, n_{13}$ 으로 나타날 때 이를 연결하면 실제 작업자 이동경로를 구할 수 있다. 그리고 작업자의 최적 이동 경로 범위를 작업자 최적 이동 경로에서  $d_a$ 만큼 떨어진 거리로 둔다면,  $n_1 \sim n_{12}$ 에 해당하는 로그가 최적 이동 경로를 벗어났음을 알 수 있다. 벗어난 로그들을 시간 순서대로 연결하고, 최적 이동 경로 범위를 최초로 벗어난  $n_1$ 과, 최후에 남은  $n_{12}$ 를 연결한다. 그리고 작업자가 위험원을 인지했을 경우 위험원으로부터 떨어져 이동하는 거리인  $d_b$ 를 고려하면 아래와 같이 위험가능지역을 추출할 수 있다. 추출된 위험가능 지역은 두 번째 모듈인 위험지역 필터링으로 전송된다. 상세 알고리즘은 아래의 그림 8과 같이 구성된다.

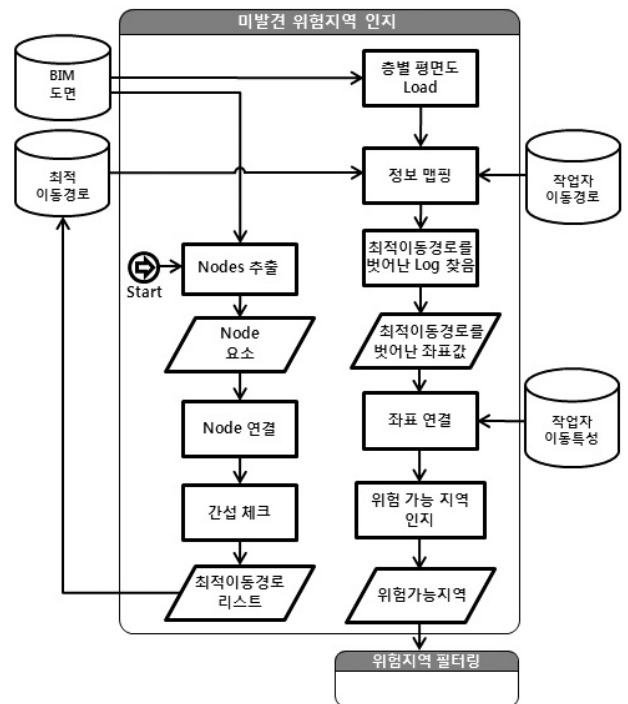


그림 8. 미발견 위험지역 인지 모델

### 3.4.2 위험지역 필터링

위험지역 필터링 모듈은 크게 2단계로 구성된다. 첫 번째는 시간에 따라 소멸되는 위험원을 자동적으로 필터링하는 단계이다. 두 번째는 미발견 위험지역 인지 모듈에서 추출한 위험 가능 지역을 2번에 걸쳐 필터링하는 단계이다.

인지된 위험지역의 좌표와 작업자 위치로그의 좌표 값을 비교한다. 불러온 인지된 위험 지역 내의 좌표 값의 집합과 작업자의

위치로그 좌표 값의 집합 중 교집합이 발행한 좌표를 포함하는 위험 지역은 작업자가 접근을 시도할 정도로 위험성이 낮아진 것으로 간주할 수 있다. 이 경우 위험지역 설정을 해제하고 결과를 다시 인지된 위험지역 DB에 반영한다.

그림 9는 위험 가능 지역을 필터링하는 프로세스를 보여준다. 필터링을 하기 전 단계에서는 위험 가능 지역에 미발견 위험 인지 지역과 인지된 위험지역, 그리고 작업이 진행되는 공간의 교집합이 존재한다. 위험지역 필터링 모듈의 세부 알고리즘을 통해 2번에 걸쳐 이 교집합에 해당하는 부분을 필터링하면, 미발견 위험지역을 찾을 수 있다.

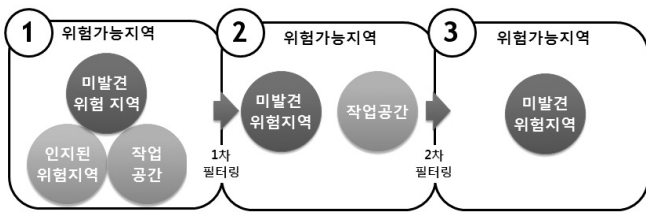


그림 9. 위험 가능 지역 필터링 프로세스

미발견 위험지역 인지 모듈에서 도출한 위험가능 지역은 미발견된 위험지역, 인지된 위험 지역, 작업이 진행되는 공간의 합집합으로 정의할 수 있다. 본 연구에서는 미 발견된 위험지역을 찾는 것을 목적으로 함으로 위험 가능 지역에서 인지된 위험 가능 지역과 작업이 진행되는 공간을 필터링해주어야 한다.

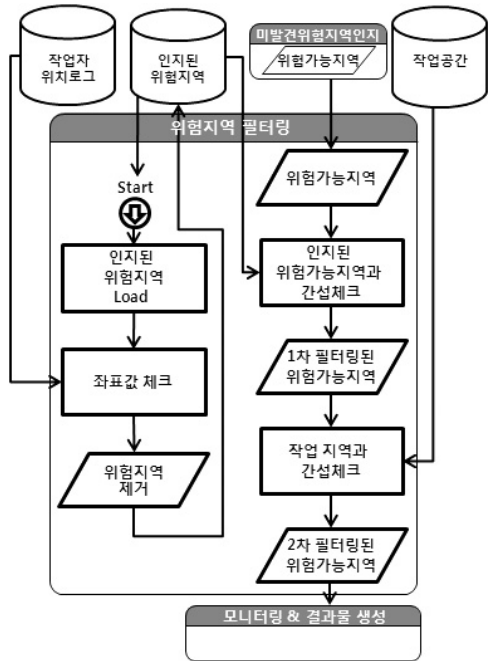


그림 10. 위험지역 필터링

이 과정을 통해서 1차 필터링 된 위험 가능 지역을 얻을 수 있다. 이 지역과 작업 공간 DB에서 불러온 현재 작업이 이루어지

고 있는 작업 공간의 좌표를 비교한다. 두 지역사이에 교집합이 발생할 경우 이 좌표 값들이 집합을 이루는 영역을 1차 필터링 된 위험 가능 지역에서 제외하면, 2차 필터링 된 위험 가능 지역을 얻을 수 있다. 이 지역의 정보를 모니터링과 결과물 생성 모듈로 보낸다. 위험지역 필터링의 상세 알고리즘은 그림 10과 같다.

### 3.4.3 모니터링과 결과물 생성

모니터링 결과물 생성 모듈의 상세 알고리즘은 그림 11과 같다. 본 모듈은 위험지역 필터링 모듈에서 받은 2차 필터링된 위험 가능 지역을 불러오는 것으로 시작된다. 이 지역을 BIM 도면을 통해 얻을 수 있는 평면에 맵핑한 후 좌표를 추출한다. 추출한 좌표 값들을 바탕으로 위험지역을 각 층 평면도에 표시한 그래픽 결과물과 위험지역의 좌표, 위험 지역에 인접했던 작업자, 그리고 최단 거리에 존재하는 작업이 기록된 리포트를 생성해낸다.

이 결과물을 통해 안전 관리자는 위험 가능성이 높은 지역이 어디에 존재하는지 알 수 있다. 위험 가능성이 높다고 표시된 지역을 중심으로 안전 관리자가 위험원 검수를 진행한 뒤, 알고리즘을 통해 도출된 지역 중 실제 위험 지역으로 밝혀진 곳을 인지된 위험지역 DB에 저장한다. 인지된 위험지역 DB는 위험지역의 생성/소멸 과정을 업데이트하게 된다. 위험지역 필터링 모듈에서 소멸된 위험지역의 제거가 이루어지고, 모니터링과 결과물 생성 모듈에서 위험지역의 생성이 이루어져 시간에 따라 위험지역이 변화하는 건설 산업의 특성을 반영할 수 있다.

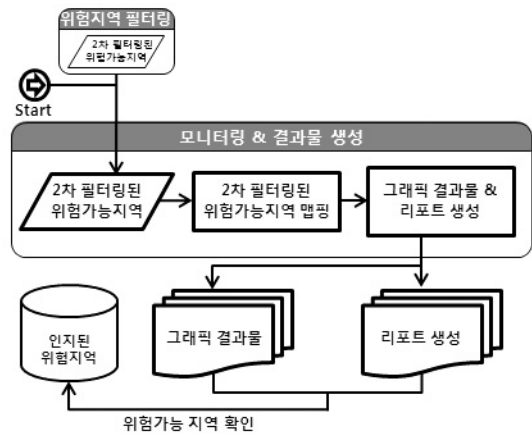


그림 11. 모니터링과 결과물 생성

## 4. 위험지역 식별 모델의 실행 및 검증

본 장에서는 BIM 기반의 개발자 도구를 이용하여 3장에서 구축한 3가지 알고리즘을 구현하고 현장 테스트한 결과를 기술하고자 한다.



시스템 개발에 앞서 위치 추적 엔진에서 전송되는 위치정보에

대한 프로토콜(Protocol)이 정의 되어야 한다. 본 연구는 이현수 외(2009b)와 이광표 외(2010)가 제시한 연구의 후속 연구로 위치추적 엔진과 모니터링 시스템의 프로토콜과 장비를 활용하며, 주요 프로토콜은 표 2와 같으며, 사용 장비는 표 3과 같다.

표 2. 위치추적 엔진 프로토콜 정의 (이현수 외 2009b)

데이터	Project ID	Tag ID	X좌표	Y좌표	층정보	시각
Byte	2	4	4	4	1	7

표 3. 리더(Reader) & 태그(Tag) (이광표 외 2010)

구분	리더(Reader)	태그(Tag)
기능	· 태그와의 거리 측정 및 정보를 베이스 스테이션으로 전송	· 작업자에게 부착하여 리더와의 통신을 통한 위치 추적
특징	· ARMA의 Cortex-M3 · 72MHz 동작 · 128KB flash, 20KB RAM · 배터리동작	· Processor : TI MSP430 · RF Transceiver : NA5TR1 · 전송거리 : 450m
사진		

시스템의 개발은 크게 2단계로 이루어졌다. 첫 번째 단계는 상용화된 BIM 프로그램 내에서 제공하는 개발도구를 사용하여 BIM 내부의 속성 값을 추출하는 것이다. 본 연구에서는 BIM 어플리케이션 개발이 상대적으로 용이한 아키캐드를 사용하였으며, BIM 내부 개발에는 c++를 활용하였다.

두 번째로 추출한 속성 값들을 활용하기 위해 기존에 개발되었던 '위치정보를 활용한 건설리스크 관리 모델(이현수 외 2009b)'에서 위치정보 및 작업지역의 좌표 값을 공유하고 위험 지역 식별 알고리즘을 넣었다. 이 단계에서는 시스템 개발 언어로 Visual Studio 6.0과 c#을 사용하였다.

개발된 시스템을 바탕으로 현장테스트를 수행하였으며, 시스템UI 및 실험 결과는 그림 12와 같다. 그림 12에서 1번 항목에서 처리된 위치정보를 받아와 본 연구에서 제안한 알고리즘을 통해 위험지역을 찾으며, 그 결과 값은 2번 항목의 원형으로 표시된 부분으로 나타난다.

개발한 시스템의 효용성을 확인하기 위해 D 건설회사의 대학 교내 건축물을 대상으로 현장 실험을 수행하였다. 실험을 실시하기 위해 위치정보를 수집하는 엔진과 베이스스테이션을 설치한다. 그리고 각 평면의 모서리 지점에 리더를 설치하고, 이 좌표를 위치추적 엔진에 맵핑한다. 마지막으로 4명의 작업자에게 태그가 부착된 안전모를 제공하여 위치를 추적한다.

테스트가 진행된 현장의 2개 층(지하 1층, 지상 1층)에서 총 5개의 위험 가능 지역(실제 위험지역 4개소, 시스템 오차 1개소)을 찾아내었다. 각각의 위험지역의 좌표와 위험 특성은 표 4와 같다.

표 4. 현장실험 결과

위험지역 ID	X축 좌표 (mm)	Y축 좌표 (mm)	위험 여부	위험 요인
00-00-01-001	122020	4040	○	위험자재 적치
00-00-01-002	134500	9210	○	전선 방호조치 미비
00-00-02-001	8830	4830	○	위험자재 적치
00-00-02-002	9050	2670	×	-
00-00-02-003	140080	104820	○	개구부 방호조치 미비

## 5. 결론

기존의 안전관리는 작업공간 혹은 작업 자체에 중점을 두고 이루어졌다. 하지만 건설현장의 내재된 위험으로 인해 작업 뿐 아니라 이동경로에서 발생하는 재해역시 상당 부분을 차지한다.

본 연구는 위험 요인 및 이를 해결할 수 있는 자동화 데이터 수집 기술에 대한 문헌조사를 통해 이동경로에 존재하는 위험 지역을 찾을 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

우선 알고리즘 개발을 위한 가정을 소개하였다. 그리고 가정을 만족하는 6개의 데이터베이스와 3개의 모듈로 구성된 위험지역 식별 모델을 제시하였다. 각각의 데이터베이스의 가동 및 정보 흐름을 정의하였고, 각 모듈의 인풋 데이터(Input Data)와 아웃풋 데이터(Output Data)를 도출해 내었다.

그리고 미발견 위험 지역 인지 모듈, 위험지역 필터링 모듈, 모니터링과 결과물 생성 모듈의 상세 알고리즘을 제안하였다. 이를 통해 작업자의 위치정보와 최적 이동 경로와의 차이를 통해 위험 가능 지역을 찾아낸다. 그리고 필터링 모듈을 거치면서 위험 가능 지역의 범위를 좁힘으로써 안전관리의 효율성을 높이

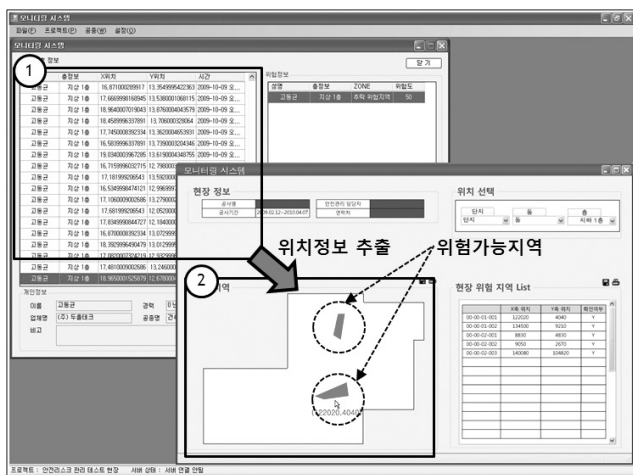


그림 12. 시스템 UI



도록 도움을 줄 것으로 예상된다.

본 연구는 안전관리에 작업자의 이동 동선, 최적 이동 경로, 자동화 데이터 수집 기술을 활용하여 안전관리자가 건설현장의 모든 지역을 살펴보지 않아도 위험 지역을 찾을 수 있는 시스템화된 도구를 제안하였다.

실내 위치 추적 기술의 한계점인 전파감쇄로 인해 실제작업자의 위치와 위치추적 결과가 정밀하게 일치하지 않았다. 본 연구는 정밀한 위치 추적 기술이 개발될 것으로 가정하고 수행하였다. 향후 실내 위치 추적 기술이 발달한다면, 보다 정밀한 위험 지역을 설정할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 작업자의 이동 및 행동패턴을 분석하여 개별적 최적 이동 동선을 제시하고, 다양한 현장 조건에 본 연구에서 제안한 알고리즘을 적용해 봄으로써 현장 적용성을 높일 수 있는 방안을 찾도록 한다.

## 감사의 글

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

## 참고문헌

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

이광표, 이현수, 박문서, 김현수, 백운주 (2010). "건설 안전관리를 위한 실시간 위치추적(RTLS)기술 개발", 한국건설관리학회 논문집, 11(2), pp. 106-115

이규진 (2005). "건축공사 근로자의 현장내 이동작업시 발생하는 재해위험도", 한국건설관리학회 논문집, 6(3), pp. 120-127

이현수, 김현수, 박문서, 이광표, 이사범 (2009a). "건설현장 위험 영향요소 기반의 위험도 산정 방법론", 한국건설관리학회 논문집, 10(6), pp. 117-126

이현수, 이광표, 박문서, 김현수, 이사범 (2009b) "위치추적기술을 이용한 BIM기반 건설현장 안전관리 시스템", 한국건설관리학회 10(6), pp.135~145

최철호, "건설분야에서의 RFID 시스템 활용사례 및 발전방향", 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 제 5회, 2004, pp. 145~149

An, S. (2007). "Integrated safety risk management for construction projects." Ph.D. dissertation, Seoul

National Univ., Seoul, Korea.

Blakey, L. (1990). "Bar Codes; prescription, performance and productivity." J. Constr. Eng. Manage., 116(3), pp. 468-479.

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

Davidson I. N. and Skibniewski, J. (1995). "Simulation of automated data collection in buildings." J. Comp. Civ. Eng., 9(1), pp. 9-20.

Dziadak, K., Kumar, B., Sommerville, J. (2009) "Model for the 3D location of buried assets based on RFID technology." J. Comp. Civ. Eng., 23(3), pp. 148-159.

Gowen, L. D. and Collofello, J. S. (1994). "Software safety and preliminary hazard analysis." Prof. Saf., November 1994, pp. 20-25.

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.

Health and Safety Commision. (1995) Designing for health and safety in construction, HSE Books, London.

Jannadi O. A., and Almishari S. (2003). "Risk assessment in construction." J. Constr. Eng. Manage., 129(5), pp. 492-499.

Jaselskis, E. J., El-Misalami, T. (2003) "Implenting radio frequency identification in the construction process." J. Constr. Eng. Manage., 129(6), pp. 680-688.

Lu, M., and Shen, X., Chen, W. (2009). "Automated collection of mixer truck operations data in highly dense urban areas." J. Constr. Eng. Manage., 135(1), pp. 17-23.

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.

- Oloufa, A., Ikeda, M., and Oda, H. (2003). "Situational awareness of construction equipment using GPS, wireless and web technologies." *Autom. Constr.*, 12(6), pp. 737-748.
- Rasdorf, W. and Herbert, M. J. (1990). "Bar coding in construction engineering." *J. Constr. Eng. Manage.*, 116(2), pp. 261-280.
- Rilett, L. R. and Park, D. (2001). "Incorporating uncertainty and multiple objectives in real-time route selection." *J. Transp. Engrg.* 127(6). pp.531-539
- 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.
- 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.
- Torrent, D. and Caldas C. (2009). "Methodology for Automating the Identification and Localization of Construction Components on Industrial Projects" *J. Comp. in Civ. Engrg.* 23(3), pp. 3~13

논문제출일: 2010.04.28

논문심사일: 2010.04.30

심사완료일: 2010.08.30

---

## Abstract

A considerable number of construction disasters occurs on pathway. A safety management in construction sites is usually performed to prevent accidents in activity areas. This means that safety management level of hazards on pathway is relatively minimized. Many researchers have introduced that a hazard identification is fundamental of safety management. Thus, algorithms for helping safety managers' hazardous area identification is developed using automated data collection technology. These algorithms primarily search potential hazardous area by comparing workers' location logs based on real-time locating system and optimal routes based on BIM. And potential hazardous areas is filtered by identified hazardous areas and activity areas. After that, safety managers are provided with information about potential hazardous areas and can establish proper safety countermeasures. This can help improving safety in construction sites.

**Keywords** : safety management, hazard area identification, automated data collecting(ADC), real-time locating system(RTLS), building information modeling(BIM)

---