

# 위치추적기술을 이용한 BIM기반 건설현장 안전관리 시스템

## A Construction safety management system based on Building Information Modeling and Real-time Locating System

이 현 수\*      이 광 표\*\*      박 문 서\*\*\*      김 현 수\*\*\*\*      이 사 범\*\*\*\*\*  
Lee, Hyun-Soo      Lee, Kwangpyo      Park, Moonseo      Kim, Hyunsoo      Lee, Sabum

### 요 약

과거 건설공사의 목표는 원가절감과 공기단축을 통한 효율성 증진이였다. 이에 비하여 안전관리는 오랜 기간 동안 소홀히 되어온 것이 사실이다. 하지만 최근 건설 산업 내에서 안전관리로 패러다임 전환이 일어나고 있으며, 이에 따라 안전관리의 중요성이 부각되고 있다. 또한 건설공사가 보다 대형화, 복잡화됨에 따라 사고의 규모가 더욱 더 커지고 있어, 건설현장에서는 보다 확실한 안전관리가 요구되고 있다. 이러한 배경 하에 본 연구는 작업자 중심의 현장 안전관리 시스템을 제안하고자 한다. 시스템 요소기술로는 위치 추적 기술(RTLS-Real Time Locating System), BIM(Building Information Modeling)기반의 모니터링 시스템(BIM Based Monitoring System), 데이터 마트(Data Mart), 알람 기술(Alarm System)이 복합적으로 적용된다. 본 시스템을 통하여 현장에서는 가변적인 상황 및 작업자에 대한 관리가 가능하게 됨으로써 기존의 정적인 관리 형태에서 벗어나 보다 폭 넓은 안전관리가 가능해질 것이다. 또한 작업자 중심의 안전관리를 통하여 보다 체계적이고, 발전된 형태의 실시간 안전관리를 하고자 한다.

**키워드 :** 건설안전관리, BIM, 위치 추적 기술, 데이터 마트, 알람 기술

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

과거 건설공사의 목표가 원가관리와 공정관리였다면, 최근 건설공사의 목표로서 안전관리가 새로운 패러다임으로 대두되고 있다.

국내 및 해외 건설공사 재해율을 살펴보면, 전체 안전사고 재해율은 매해 줄어들고 있는 추세이지만, 최근 건설공사의 성격이 대형화, 복잡화됨에 따라, 건설 재해의 성격이 사망 등의 대재해로 변화하고 있으며, 손해 또한 더욱 커지고 있다. 이러한

배경 하에서 안전관리의 중요성은 더욱 커지고 있다.(노동부 2007)

그러나 현재 현장에서 이루지고 있는 안전관리를 살펴보면, 그 중요성에 비하여 관리 기법이 많이 낙후되어 있는 현실이다. 이는 과거로부터 꾸준히 중요성을 인정받아 온 원가관리나 공정 관리에 비하여, 안전관리는 체계적인 시스템 및 기법의 부재로 인하여 과거부터 정체되어 왔기 때문이다.

이러한 배경 하에 본 논문에서는 위치추적기술을 적용시킨 BIM(Building Information Modeling)기반의 건설현장 안전관리 시스템을 개발하고자 한다. 본 시스템은 위치추적기술을 통

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

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

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

\*\*\*\* 일반회원, 서울대학교 건축학과, 석사과정 verserk13@hotmail.com

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

하여 작업자를 관리하며, 이를 통하여 재해의 간접 원인인 불안정한 상태 및 행동을 제거함으로써 재해의 발생을 예방하는 시스템이다. 또한 공중별 위험 상황 및 그에 따른 대책을 예고함으로써, 현장 안전관리자가 그 현장의 상태에 따라 효과적인 안전관리를 할 수 있도록 지원할 것이다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 건설 현장의 시공단계 안전관리 활동을 위한 시스템 개발에 관한 연구이며, 연구의 범위는 건설현장에 적합한 요소기술의 개발, 각 요소기술 간의 연계, 데이터의 흐름 파악, 프로토콜 정의, 최종적으로는 시스템 개발 진행 상황을 보여주는 것으로 범위를 한정한다.

본 연구는 다음과 같은 절차와 방법으로 이루어진다.

- 1) 전통적 사고발생메커니즘을 기반으로 현행 안전관리의 실태와 문제점을 파악한다.
- 2) 파악된 문제점을 바탕으로 이를 해결하기 위한 현장 안전관리 시스템을 제안한다.
- 3) 제안한 시스템의 개발을 위해 시스템에 적용되는 요소기술을 분석 및 발전시키며, 이를 바탕으로 요소기술 간의 연계방안을 도출해 낸다.
- 4) 시스템의 구현을 위해 프로토콜을 정의하며, 데이터 흐름을 파악한다.
- 5) 앞의 과정을 통하여 현장적용 가능한 시스템을 구현한다.

본 연구의 흐름도는 <그림 1>과 같다.

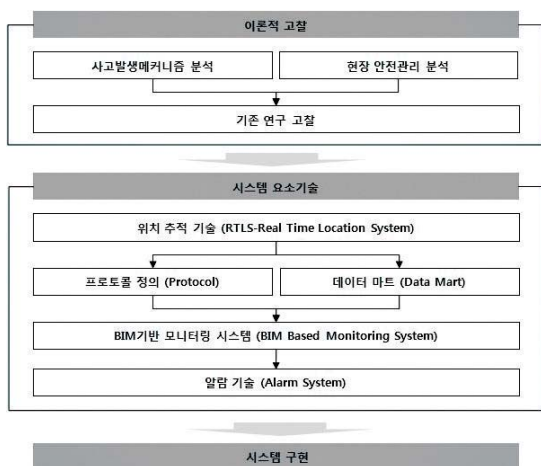


그림 1. 연구 흐름도

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 사고발생메커니즘

기본적으로 재해의 예방은 사고발생메커니즘에 대한 규명에 서부터 시작된다. 사고발생메커니즘은 하인리히(Heinrich 1959)와 버드(Bird 1992)의 이론을 기반으로 정립된 것으로 모든 사고에는 원인이 있음을 가정하고, 각 단계의 원인을 거슬러 올라가면 더 근본적인 원인에 도달하게 된다는 이론이다.

이와 관련하여 하인리히는 그의 전통적 도미노 이론에서 사고 발생의 근원을 사회적인 풍토나 개인의 유전적 특성에 있다고 보았으며, 버드는 하인리히의 이론을 수정하여 수정된 도미노 이론을 제시하였다. 버드의 이론에서는 모든 재해의 근본원인을 '관리상의 결함'에 있다고 봄으로써 재해의 근본원인을 재정립하였다.

<그림 2>에서는 이를 도식화한 사고발생메커니즘을 보여주고 있다.(Heinrich 1959)

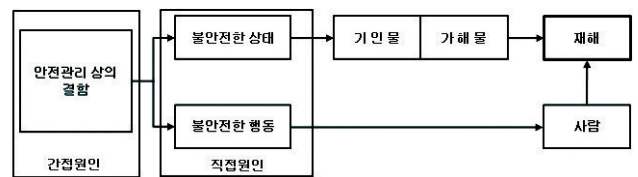


그림 2. 사고발생메커니즘

사고발생메커니즘에서는 도미노이론을 바탕으로 사고의 직접 원인을 불안정한 상태와 불안정한 행동으로 정의하고 있으며, 간접원인으로는 안전관리상의 결함을 지적하고 있다. 또한 직접 원인 중 하나인 불안정한 행동의 주체인 사람과 불안정한 상태의 기인물 및 가해물이 결합할 경우 재해가 발생한다고 정의하고 있다.

### 2.2 현장 안전관리

하인리히의 도미노 이론은 사고의 일반적 속성을 제시함으로써 재해예방의 가능성을 보여준다. 이는 현재 현행 안전관리의 기본 원칙으로 적용되고 있으며, 대부분의 건설 안전관리는 위의 이론을 기반으로 정립되어, 현재 건설 현장에서 적용되고 있다.

현재 건설 현장 내에서 이루어지고 있는 현장 안전 활동을 분류하여 보면 크게 사고 발생 전의 예방을 위한 활동과 사고 발생

후의 사후처리 활동으로 나눌 수 있다.

사고 예방 활동은 안전 교육, 안전 점검, 작업 전 안전모임 활동이 있다. 안전 교육 활동은 미숙련 작업자의 안전사고 비율을 낮추기 위해 이루어지는 활동으로 강습회, 간담회를 통하여 이루어지고 있다. 안전 점검 활동은 전문가나 안전 전담요원을 통하여 안전프로그램을 현장 적용하는 활동으로 안전 활동을 객관적으로 확인할 수 있다는 장점이 있다. 마지막으로 작업 전 안전 모임(TBX ; Tool Box Meeting)은 작업을 시작하기 전 짧은 시간 동안 이루어지는 활동을 말하며, 당일 작업의 범위, 방법 및 안전에 대해 상의를 하는 활동이다.

다음으로 사고가 발생한 후에 이루어지는 안전 활동으로 사고 조사 활동은 재해의 발생 원인을 조사하고 이에 대한 대책을 강구하여 동일 재해의 발생을 막는 활동을 말한다.(김문한 2005)

### 2.3 기존 연구 고찰

사고발생 메커니즘을 바탕으로 현행 안전 관리에 대한 기존 연구를 살펴보면 크게 사고의 간접원인인 관리상의 결함을 제거하기 위한 연구와 사고의 직접원인인 불안정한 상태 및 불안정한 행동을 제거하기 위한 연구로 나누어 볼 수 있다. <표 1>은 안전관리에 대한 분야별 기존 연구 현황을 보여주고 있다.

표 1. 현행 안전관리에 대한 선행 연구

분류	논문	연구 내용
안전 재해 간접원인	Jaselkis(1995)	건설공사의 안전관리에 영향인자 파악 및 개선방안 제시
	안홍섭 외(1996)	안전관리 상의 결함요인 파악 및 효율적 안전관리 방안 제시
	Joe, M Wilson Jr(2000)	안전관리 문제가 발생하였을 경우 규모에 따른 안전 관리 대책 제시
	이주성 외(2008)	선진안전관리 체계의 사례기반 분석을 통한 안전관리활동모델 제시
안전 재해 직접원인	양용철 외(2004)	안전 체크리스트 분류체계 설정을 통한 공정관리와의 연계방안 제시
	Abderrahim et al(2005)	가상현실 및 알람 기술을 적용하여 작업자를 바탕으로 한 안전관리 기법 제시
	김주현 외(2007)	복합형 센서를 적용하여 작업자의 추락재해 예방 방법 및 효용성 제시

안전 재해의 간접원인인 안전관리 상의 결함에 관한 연구로는 안전 관리 상의 영향인자 파악을 통한 개선 방안을 제시한 연구(Jaselkis 1995), 안전관리 상의 결함 요인을 파악하여 이를 바탕으로 효율적 안전관리 방안을 제시한 연구(안홍섭 1996), 규모에 따른 안전관리 방안을 제시한 연구(Wilson Jr 2000), 선진국의 안전관리 체계의 분석과 우수 사례를 기반으로 하여 안전관리활동모델을 제시한 연구(이주성 2008) 등이 이루어지고 있었다.

다음으로 안전 재해의 간접원인인 불안정한 상태 및 불안정한 행동에 관한 연구로는 안전 체크리스트 분류체계 설정을 통하여

공정관리와의 연계방안을 제시한 연구(양용철 2004), 가상현실 및 알람 기술을 적용하여 작업자를 바탕으로 한 안전관리 기법을 제시한 연구(Abderrahim 2005), 복합형 센서를 적용하여 작업자의 추락재해 예방 방법 및 효용성 제시한 연구(김주현 2007) 등의 연구가 이루어지고 있었다.

사고 발생 메커니즘을 바탕으로 하여 기존 연구를 고찰한 결과, 정적인 안전 관리 분야인 안전관리 상의 결함(간접원인)에 관한 연구와 기인물과 가해물의 불안정한 상태에 관한 연구(직접원인)는 비교적 활발히 진행되고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 이에 비하여 재해의 직접원인인 불안정한 행동에 관한 연구는 부족한 상황임을 확인할 수 있었다.

### 3. 시스템 요소기술

앞서 2장에서 사고발생메커니즘을 기반으로 재해의 원인을 규명하였다. 간접원인으로는 안전관리상의 결함이 지적되었으며, 직접원인으로는 불안정한 상태와 불안정한 행동이 지적되었다. 이를 바탕으로 재해 예방원리를 도출하면, 재해 원인의 체계적 관리를 통하여 사고의 발생을 막을 수 있다는 결론에 도달할 수 있다.

System	A Real Time Construction Safety Management System			
Technique	Real Time Locating System	BIM Based Monitoring System	Alarming System	Data Mart
HardWare	-Tag, Reader, Base station, Engine	- Server	- Tag, Alarm Module (RTLS's Engine)	- Server
SoftWare	-TOA(Time of Arrival) - CSS(Chirp Spread Spectrum)	- ArchiCAD	- Alarm Transmission Algorithm	- Data Layout - Protocol
Function	- Tracking laborers' location coordinates using Hardware and Software	- Management of Laborers - Displays laborers' location in 3D using ArchiCAD	- Sends Alarm signal to Laborers who are in Danger zone	- Data Processing using RTLS Algorithm and Alarm Algorithm

그림 3. 시스템 구성도

그러나 현재 현장에서 시행하고 있는 안전관리 현황을 살펴보면, 2.2절과 2.3절에서 볼 수 있듯이 가변적인 불안정한 행동보다는 정적인 불안정한 상태의 관리에만 집중되어 있는 상황이다. 이는 보다 효과적으로 안전 관리 활동을 위해서는 불안정한 상태와 더불어 불안정한 행동에 대한 관리 역시 필요함을 의미한다. 이러한 배경 하에 본 연구에서는 이를 보완하기 위한 현장 안전관리 시스템을 개발하고자 한다.

본 시스템에는 가변적인 요소인 불안정한 행동 관리를 위한 위치 추적 기술(Real Time Locating System), 작업자의 위치 좌표를 바탕으로 작업자의 상태를 BIM 기반의 3D 상에서 확인하기 위한 BIM 기반의 모니터링 모듈, 작업자가 위험 상황, 즉

불안정한 상태에 진입하였을 경우 알람 신호를 보내주기 위한 알람 기술(Alarm System), 마지막으로 앞의 기술들을 지원하기 위한 데이터 마트(Data Mart)기술이 적용된다. <그림 3>는 각각의 요소기술에 대한 하드웨어와 소프트웨어 그리고 기능들을 보여주고 있다.

### 3.1 실시간 위치 추적 기술(Real Time Locating System : RTLS)

본 연구에서 채택한 위치 추적 기술은 CSS(Chirp spread spectrum)를 기반으로 한 실시간 위치 인식 시스템으로 4가지 하드웨어로 구성된다. 작업자의 위치좌표를 파악하기 위한 태그(Tag)와 리더(Reader), 그리고 파악된 작업자의 위치좌표를 1차적으로 처리하는 베이스 스테이션(Base-station), 마지막으로 작업자의 모든 위치 좌표를 전송받아 저장하는 엔진(Locating Engine)으로 구성된다. 본 시스템에서는 이 4가지 하드웨어를 이용하여 작업자의 위치좌표를 도출하게 된다.

표 2. 무선 측위 기술 분류

기술	측위방법
Cell-ID	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기지국의 Cell ID를 통해 위치추적</li> <li>• Cell크루드의 크기에 따라 정확도가 결정 - 최대 오차 수km</li> </ul>
Angle of Arrival(AOA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• F신호전송태그와 수신리더간 방향각을 이용해 위치를 계산하는 방식</li> </ul>
Time of Arrival(TOA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 태그가 전송하는 RF신호가 수신리더에 도달하는 시간을 측정하여 태그와 리더간 거리를 구하고 위치를 계산</li> </ul>
Time Difference of Arrival(TDOA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TOA와 비슷하지만 리더간 수신 시각 차이를 이용하여 위치를 계산</li> </ul>
Received Signal Strength Indication (RSSI)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• WLAN를 사용하는 RTLS시스템에서 흔히 사용하는 방법</li> <li>• Access Point에서 받은 신호의 강도를 이용하여 위치를 계산</li> </ul>
Time of Flight(TOF)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RF신호가 전송되는 매질의 전송속도를 기준으로 태그와 리더 사이에 전송된 신호의 경과시간을 이용</li> </ul>
Fingerprint	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 확률론적 모델링</li> <li>• 미리 주위 환경 정보를 데이터 베이스로 구성</li> <li>• 측위 시 AP에서 수신된 전파의 특성을 이용하여 데이터베이스를 검색하여 위치값 추출</li> </ul>

위치 추적 기술의 구현을 위해서는 작업자의 위치 좌표 도출을 위한 측위방법과 태그와 리더간의 신호 전송을 위한 무선 네트워킹 방법을 결정하여야 한다. 무선 측위 방법은 실내 환경이며, 장애물 환경인 건설현장의 특성을 고려할 때, 실내의 위치 추적 정확도가 뛰어나야 하며, 장애물로 인한 오차 발생률이 적어야 한다. 그리고 네트워킹 방법은 짧은 거리에서 강한 신호를 빠른 속도로 전송하여 최종 시스템 구현시 신호를 원활히 주고받아야 정보의 손실을 없애며, 빠른 정보 전송으로 실시간으로 위치 추적을 가능하게 하여야 한다.

우선 작업자의 위치 좌표를 도출하기 위한 무선 측위 기술로는 Cell-ID기술, Angle of Arrival(AOA)기술, Time of

Arrival(TOA)기술, Time Difference of Arrival(TDOA)기술, Received Signal Strength Indication(RSSI)기술, Time of Flight(TOF)기술, FingerPrint기술 등이 존재한다. 이에 대해서는 전자통신 분야에 선행 연구가 존재하여 이를 바탕으로 연구를 진행하였으며, <표 2>는 선행 연구를 바탕으로 각각의 기술들에 대한 분석결과를 보여주고 있다.(조영수 2007)

위의 여러 가지 기술중 현재 대표적으로 적용되는 기술은 TOA 기술과 RSSI기술, 그리고 TDOA이다. 이 세 가지 기술에 대한 분석 결과, RSSI기술은 큰 오차의 발생으로 정확한 위치좌표를 요구하는 본 시스템의 특성에는 적합하지 않으며, TDOA기술은 정확도 부분에서는 양호하지만, 시각 동기가 필요하여 시각 동기 구축의 어려움으로 구현이 불가능하다. 이에 비하여 TOA기술은 정확도 측면에서도 양호하며, 또한 위치추적 범위에서도 비교적 넓은 범위의 위치추적이 가능하여 본 시스템에는 최종적으로 TOA방법을 적용하도록 한다.

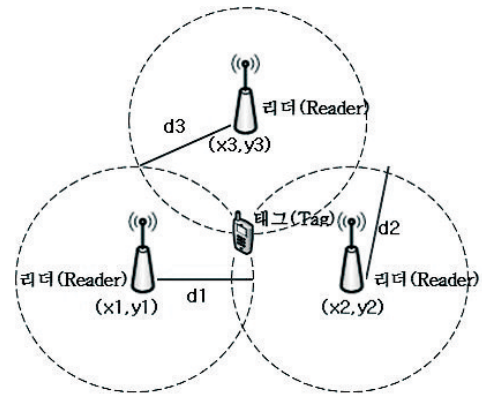


그림 4. TOA개념도

표 3. 무선 네트워킹 기술 특성 비교

	무선 LAN	Bluetooth	ZigBee	UWB
주파수대역	2.4/5GHz	2.4GHz	868/915MHz 2.4GHz	3.1~10.6GHz
최대전송속도	11~54Mbps	1Mbps	250Kbps	480Mbps
최대전송거리	100m	10m	10~75m	20m
소리 전력	800~1,600mW	50/80mW	1/75mW	~200mw
망 구성	P2P, Star	P2P, Star, Ad-hoc	P2P, Star, Mesh	P2P, Mesh
관리표준화 기관/단체	IEEE 802.11 WiFi Alliance	IEEE 802.15.1 Bluetooth SIG	IEEE 802.15.4 Zigbee Alliance	IEEE 802.15.3a WiMedia Alliance

TOA(Time of Arrival)측위방법은 대표적인 무선 측위 기술로서 3점 측량을 기본으로 하는 측위 방법이다. <그림 4>와 같이 우선 리더의 좌표(x, y)를 지정하게 되며 지정된 리더로부터 태그까지의 거리를 산정한다. 그리고 거리를 산정하는 과정에서는 태그와 리더간의 신호 도달 시간을 이용하여 산정하며, 리더와 태그간

의 거리가 도출된 후에는 앞서 지정한 리더의 좌표를 기준으로 3 점 측량을 통하여 태그의 좌표를 산출하게 된다. 이와 같은 방법을 통하여 본 연구에서는 최종적으로 작업자의 위치 좌표를 도출 하게 된다.

TOA 측위 기술을 이용하여 작업자의 위치 좌표를 도출한 후에는 이를 전송하기 위해서 무선 네트워킹 기술이 적용되어야 하는데, 네트워킹 방법 또한 다양한 기술들이 존재하여 이를 비교· 분석하였다.(이남수 2006)

분석 결과, 본 연구에서는 <표 3>의 여러 가지 네트워킹 기술 중 UWB방식의 일종인 CSS방식을 적용한다. CSS방식이란, 차 세대 근거리 무선통신 기술인 Zigbee방식을 보완한 것으로서 통신 도달거리의 확장, 극심한 다중경로 및 방해전파에 대한 견고 성, 다른 통신방식과의 상호 공존성, 정밀 거리 측정 기능의 장점을 가지고 있는 네트워킹 기술이다.

앞서 설명한 측위 기술과 무선 네트워킹 기술을 기반으로 최종 적으로 작업자의 위치 좌표가 도출되며, 위치 좌표의 형식은 x좌 표, y좌표, 층 정보의 형태로 서버에 전송된다.

한편, 현장 적용성 판단을 위해 현장 내에서 실험을 실시하였 다. 실험은 TOA측위 기술과 CSS무선 네트워킹 기술을 적용하였 으며, 장애물이 존재하는 환경과 장애물이 존재하지 않는 환경에서 실시하였다. 실험을 하기 위해서는 기본적으로 엔진을 설치하 며, 이어서 베이스스테이션과 태그와 리더를 설치한다. 이로써 실험 환경이 갖추어지면, 전원 및 유선 LAN을 연결하며, 리더의 좌 표를 설정하게 된다. 그리고 최종적으로 리더를 통한 3점 측량을 바탕으로 작업자의 위치좌표를 도출하게 된다.

### 3.2 BIM 기반의 실시간 모니터링 모듈

연구 시스템은 위치 추적 기술을 이용하여 도출한 작업자의 위 치좌표를 바탕으로 실시간으로 작업자를 관리할 수 있는 모니터링 모듈을 포함한다. 실시간 모니터링 모듈은 BIM기반의 3D 상에 작 업자의 위치를 표시하게 되며, 안전관리자가 위험 지역을 입력 및 제거함으로써 작업자의 위험 지역 진입 여부를 판단하게 된다.

표 4. 모니터링 시스템 구현 방안

구분	구현 방안	기능
Cell Unit System	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dwg 도면 파일을 jpg 또는 bmp형식의 파일로 전환</li> <li>• 도면에 cell형식의 grid 매핑</li> <li>• 위험 지역을 cell에 입력</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Low Delay Time</li> </ul>
Pixel Unit System	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dwg 도면파일을 jpg 또는 bmp형식의 파일로 전환</li> <li>• 좌표값을 설정하여 pixel 단위로 정보 입출력</li> <li>• 좌표의 연결을 통한 위험 지역 입력 및 제거</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Easy Handling</li> <li>• Low Delay Time</li> </ul>
BIM Tool	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BIM의 Parametric특성 이용</li> <li>• 도면상의 원점 좌표 지정</li> <li>• 좌표값을 통한 위험 지역 입력 및 제거</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High Application</li> <li>• Easy Handling</li> <li>• Low Delay Tim</li> </ul>

실시간 모니터링 기술은 기본적으로 다양한 현장에 대한 적용 성, 안전관리자의 사용성, 실시간 모니터링 기능을 충족하여야 하는데, 본 연구에서는 이 세 가지 기능을 충족시키며, 작업자의 좌 표를 적용하기 위한 대안으로 Cell Unit System, Pixel Unit System, BIM Tool을 분석하였다. <표 4>는 이 세 가지 대안을 비교· 분석한 표로서 구현방법과 기능을 보여주고 있다.

우선 Cell Unit System은 dwg 도면 파일을 jpg 또는 bmp 형 식으로 전환하여 도면 위의 cell형식에 grid를 mapping하는 방 법이다. 이 방법은 시스템의 확장성 및 건물의 모델링 측면에서 복잡성을 띄고 있어 사용성과 적용성이 떨어지게 된다. 다음으로 Pixel Unit System은 기본적으로는 Cell Unit System과 같은 방식으로 적용되나 Cell 대신 pixel을 이용하여 정보를 입출력하 는 방법을 말한다. 이 방법은 좌표를 이용하기 때문에 사용성 측 면에서는 장점을 가지나, 확장성 및 적용성 측면에서 어려움이 발생하는 문제점이 있다. 마지막으로 BIM Tool을 이용한 방법은 BIM의 parametric한 특성을 적용하여 구현하는 방법이다. 이 방 법은 다양한 분야에 높은 적용성을 가지게 되며, 사용성 측면에서 도 용이한 장점을 가지고 있어, 최종적으로는 BIM Tool 중 ArchiCAD를 본 시스템에 적용하였다.

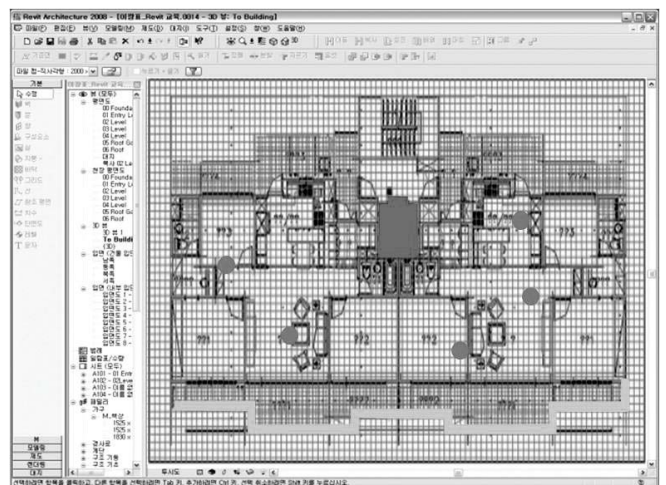


그림 5. BIM 기반의 모니터링 시스템

이러한 배경 하에 작업자의 위치를 3D로 표현하기 위해서는 기 본적으로 위치 추적 기술을 이용하여 도출한 작업자의 위치 좌표 가 활용된다. 우선 작업자의 위치 좌표는 기본적으로 x좌표, y좌 표, 층 정보의 형식으로 ArchiCAD의 Application Development Kit로 전송되며, 다음으로는 ArchiCAD 내에서 도면 정보를 기초 로 원점을 지정하게 된다. 그리고 정의한 원점을 바탕으로 모델링 한 건물의 x좌표, y좌표, 층 정보를 풀리던 좌표로 도출한다. 도면 의 풀리던 좌표까지 도출되면, 리더의 위치를 지정하게 되는데, 이는 리더의 위치를 기본으로 작업자와의 거리를 산정하여, 작업 자의 좌표와 도면의 좌표를 일치시키기 위함이다. 마지막으로 리

더의 좌표까지 지정이 되면, 위치 추적 기술을 이용하여 도출한 작업자의 위치 좌표와 ArchiCAD 상에서 도출한 도면 좌표 및 층 정보를 일치시키게 된다. 이러한 과정을 통하여 최종적으로 작업자의 위치는 ArchiCAD 상에 3D로 나타나게 되며, <그림 5>은 위의 방법을 이용하여 ArchiCAD 상에 작업자의 위치를 표시한 모습을 보여주고 있다.

### 3.3 알람

알람은 작업자가 위험지역에 진입하였을 경우, 즉 불안정한 상태라고 판단되는 경우, 작업자에게 경고 신호를 전송하게 된다. 위치 추적 기술을 이용하여 도출한 작업자의 위치좌표와 모니터링 시스템을 통하여 입력한 위험 지역의 좌표를 비교하여 작업자의 위치좌표가 일치하는 경우 알람 신호를 보내게 되는 원리이다.

알람 기술은 알람을 구현하기 위한 하드웨어 장치와 데이터를 처리하기 위한 서버로 구성된다. 하드웨어 장치는 기본적으로 알람 수신기와 알람 송신기로 구성되는데, 알람 수신기는 알람 송신기로부터 알람 신호를 받아 올리게 되며, 알람 송신기는 서버로부터 알람 신호를 전송받아 알람 수신기로 전송하게 된다. 본 연구에서는 알람 송신기와 알람 수신기를 위치 추적 기술의 하드웨어 장치인 위치 추적 엔진과 태그에 적용하도록 한다. 다음으로 서버에서는 알람 전송 알고리즘을 이용하여 작업자의 좌표와 위험지역의 좌표를 기반으로 알람 전송 여부를 판단한다.

본 연구에서는 이와 같이 알람과 위치 추적 기술을 연계 적용함으로써 위치 추적 기술과 알람 기술을 구현하기 위한 하드웨어를 통합하여 적용한다. 또한 이와 같은 과정을 통하여 본 시스템의 현장 적용성을 높이도록 한다.

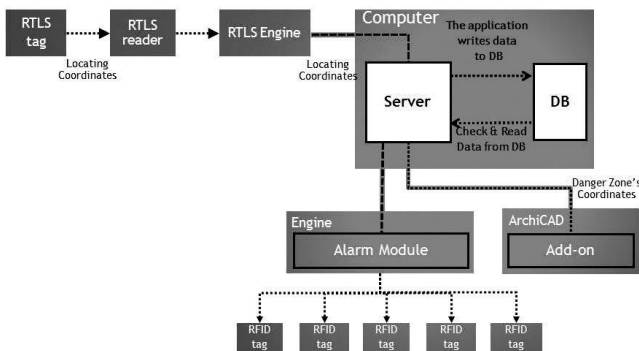


그림 6. 알람 메커니즘

<그림 6>은 위치 추적 기술과 알람의 연계를 바탕으로 데이터의 처리 과정을 나타낸다. 우선 위치추적 태그와 리더를 통하여 작업자의 위치좌표가 위치추적 엔진으로 전송된다. 엔진에서는 이 좌표를 다시 컴퓨터 내의 서버로 보내게 되며, 서버 내에서는

ArchiCAD의 Add-on을 통하여 입력된 위험지역의 좌표와 작업자의 위치좌표를 알람 알고리즘을 통하여 처리하게 된다. 알고리즘 처리 결과는 다시 알람 모듈이 알람 수신기인 위치추적 엔진으로 전송되며, 알람 모듈에서는 알람 신호를 다시 작업자의 태그로 전송한다. 이러한 과정을 통하여 최종적으로 태그에서 작업자에게 알람 신호가 올리게 된다.

한편 <그림 7>은 알람 전송 알고리즘을 보여주고 있다. 알고리즘의 원리는 위치 추적 기술로부터 전송받은 작업자의 위치좌표와, 모니터링 시스템을 통하여 입력한 위험 지역의 좌표를 비교하여 처리하는 방식이다. 위치 추적 기술로부터 받은 작업자의 위치좌표와 모니터링 시스템을 통하여 입력한 위험지역의 범위 내의 폴리곤 좌표를 비교하여, 작업자의 위치좌표가 위험지역의 폴리곤 좌표 내에 존재한다면, 작업자에게 알람 신호가 전송된다. 그러나 좌표가 일치하지 않을 경우에는 신호가 전송되지 않는다. 이를 위해서는 작업자가 위험지역에 진입하기 전에 알람신호를 전송하고, 작업자가 이를 인지하기 위한 시간을 고려하여 기본 조건으로서 위험 지역의 허용 범위(Boundary)를 지정하여야 한다. 본 시스템에서는 성인 남자의 평균 초당 이동속도를 기준으로 하여 1.5m를 기본 값으로 설정하며, 현장의 조건에 따라 변경사항이 존재할 경우에는 시스템 내에서 수정하여 적용가능하게 하였다.

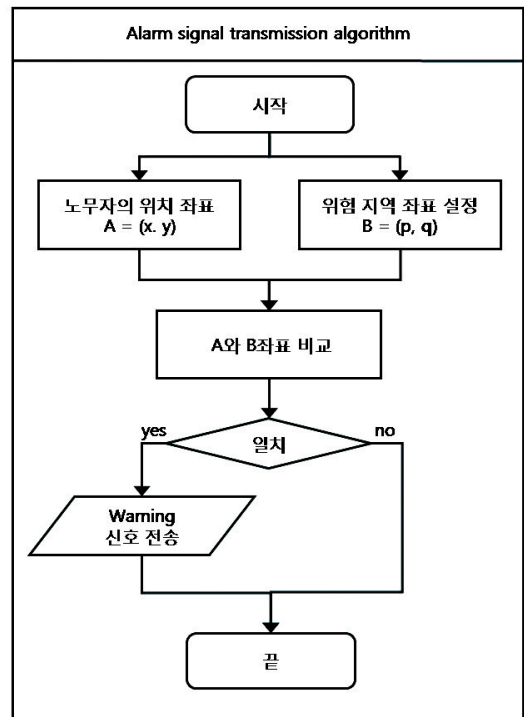


그림 7. 알람 전송 알고리즘

한편 알고리즘 산정 결과 작업자의 위치좌표와 위험지역의 폴리곤 좌표가 일치하는 경우, 작업자에게 알람 신호가 전송되는데, 전송되는 알람 신호는 구체적인 정보의 전송을 위해 위험지역의 특



표현하고 있다. 우선 태그와 리더를 바탕으로 작업자의 위치좌표가 도출되며, 이는 위치추적 엔진으로 전송된다. 위치추적 엔진에서는 도출된 좌표를 모니터링 시스템으로 전송하게 되며, 모니터링 시스템에서는 이를 통합 서버와 ArchiCAD로 보내게 된다. 위치좌표를 전송받은 서버 내에서는 작업자의 위치 좌표와 ArchiCAD를 통하여 입력된 위험지역의 좌표와 비교하며, 이를 바탕으로 알람 신호의 전송여부를 결정한다. 비교 결과 위험지역의 좌표와 작업자의 위치 좌표가 일치할 경우에는 알람 모듈로 알람 신호가 전송된다. 알람 모듈은 전송 받은 알람 신호를 다시 태그로 전송함으로써 최종적으로 위험지역 내에 진입한 작업자에게 알람이 울리게 되는 것이다. 한편, 작업자의 위치좌표를 전송받은 ArchiCAD내에서는 이 좌표를 바탕으로 ArchiCAD내에서 작업자의 위치를 표시하게 되며, 안전관리자는 ArchiCAD내에 표시된 작업자를 바탕으로 안전 관리를 시행한다.

### 3.5 프로토콜(Protocol)

각각의 기술을 연계하여 최종시스템을 개발하기 위해서는 시스템 상호 간의 정보를 주고받기 위한 프로토콜을 정의하여야 한다. 여기서 프로토콜이란 각각의 기술들이 주고받는 데이터의 형식을 정의하는 것을 의미한다. 본 시스템에서는 모니터링 모듈과 위치추적 기술(RTLS)간의 프로토콜을 정의해 주어야 하는데, 이는 모니터링 모듈을 처리하는 통합서버와 위치 좌표와 알람 신호를 처리하는 위치추적 엔진 간의

데이터를 전송을 원활하게 하기 위함이다. 우선적으로 위치 좌표의 전송을 위해서는 위치 추적 기술로부터 모니터링 시스템으로의 프로토콜을 정의하여야 하며, 다음으로는 알람 신호의 전송을 위해서 모니터링 시스템으로부터 위치 추적 기술로의 프로토콜을 정의하여야 한다. 이와 같이 모듈간의 프로토콜을 정의하기 위해서는 기본적으로 데이터가 포함하고 있어야할 정보를 구체적으로 정의하여야 한다. 위치 추적 기술에서 모니터링 시스템으로는 Project ID, Tag ID, 작업자의 위치좌표(x좌표, y좌표, 층 정보), 데이터 전송 시각을 전송하게 되며, 모니터링 시스템에서 위치 추적 기술로는 Project ID, Tag ID, 알람 Code, 알람 수, Interval(알람 메시지 출력 간격)이 전송된다.

표 4. 위치 추적 엔진 프로토콜 정의

데이터	Project ID	Tag ID	x좌표	y좌표	층정보	시각
Byte 수	2	4	4	4	1	7

표 5. 모니터링 시스템 프로토콜 정의

데이터	Project ID	Tag ID	알람 Code	알람 수	Interval
Byte 수	2	4	1	1	1

전송 데이터가 구체적으로 정의된 후에는 각각의 정보에 대한 성격을 규정하여야 하는데, 위치 추적 엔진에서 전송하는 데이터 프로토콜은 <표 4>와 같으며, 모니터링 시스템에서 전송하는 프로토콜은 <표 5>에서 보여주고 있다.

우선 Project ID는 해당 프로젝트의 Code를 지정하기 위한 것으로 2Byte로 구성한다. Tag ID는 작업자나 Tag가 부착된 Object의 ID를 의미하며, 4Byte로 구성한다. 작업자의 위치 좌표를 전송하기 위한 x좌표, y좌표는 건물 도면 정보를 기본으로 mm단위로 적용하여 표기하며, 층 정보는 signature 1bit와 # of floor 7bits로 구성하여 지상은 signature 0으로 표기하며, 지하는 signature 1로 표기한다. 시각은 총 7Byte로 구성되며, 년/월/일/시/분/초를 각각 2/1/1/1/1/1 Byte로 구성하여 표기한다. 알람 Code는 해당 알람 경고 메시지의 Code를 나타내며 1Byte로 구성한다. 알람 수는 알람의 출력 횟수를 의미하며, 1Byte로 구성한다. 마지막으로 Interval은 알람 출력 간격을 나타내며 단위는 초단위로서 1Byte로 구성하게 된다.

## 4. 시스템 개발

앞서 언급한 각각의 요소기술들을 기반으로 건설교통부의 지원을 받아 시스템 개발을 진행하고 있는 상황이다. 이와 더불어 시스템의 실용성 및 적용성을 높이기 위해 각각의 요소기술에 대해서도 기술적 측면에서 발전시켜 적용하고 있다.

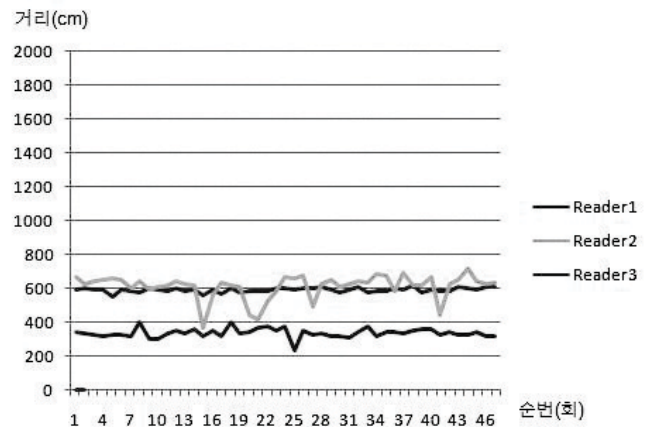


그림 10. 위치 추적 기술 실험 결과

우선 첫째로, 위치 추적 기술은 작업자의 위치 정보의 정확한 파악을 위한 정확성의 확보가 무엇보다 중요하다.(이종국 2009) 이에 대하여 오차율 감소를 목적으로 실험을 진행한 결과, 실험 초기에는 위치 추적 신호의 특성상 콘크리트 및 철재 등의 장애물이 존재할 경우 신호의 세기가 감쇠하여 오차의 결과 값이 약



1m정도로 비교적 크게 발생했다. 그래서 이에 대한 대안으로 어시스턴트 태그(Assistant Tag)를 적용하였다. 여기서 어시스턴트 태그란 장애물이 있는 환경을 장애물이 없는 환경으로 전환시키기 위한 해결책으로, 어시스턴트 태그를 장애물 주변에 설치하게 된다. 어시스턴트 태그를 설치하게 되면, 신호의 동선이 장애물을 통과할 경우, 어시스턴트 태그에서 신호를 받아 처리하게 되며, 장애물이 있는 환경을 장애물이 없는 환경으로 전환하게 된다. <그림 10>은 어시스턴트 태그를 적용하여 실험한 결과 값을 나타낸다. <그림 10>을 확인하면 오차율이 비교적 작게 발생하고 있음을 확인할 수 있다. 최대 오차율은 약20cm정도로 발생하고 있으며, 대체적으로 3개의 리더가 안정된 신호를 감지하고 있다.

다음으로 알람 기술은 작업자에게 알람을 보내기 위하여 알람 수신기와 송신기가 요구되지만, 이 부분을 각각 위치 추적 기술의 엔진과 태그에 적용시킴으로써 현장 내에서 적용 가능하도록 하드웨어를 최소화 시켰다. 또한 태그, 즉 알람 송신기의 크기와 출력 면에서도 크기는 최소화시키고, 출력은 최대화시킴으로써 공사현장의 소음에 대비하고, 작업자의 작업에 방해되지 않도록 개발하고 있다.

데이터 마트는 실시간으로 모든 정보를 받아 처리해야 하기 때문에 빠른 데이터 처리가 중요한 요소이다. 현재 이 부분을 해결하기 위해 작업자의 위치 좌표를 위치 추적 엔진에서 데이터 필터링을 하여 서버로 전송하며, 서버 내에서는 시각화 표현 알고리즘 및 알람 전송 알고리즘만을 처리하는 것으로 서버에 가중되는 부하를 감소시켰다.

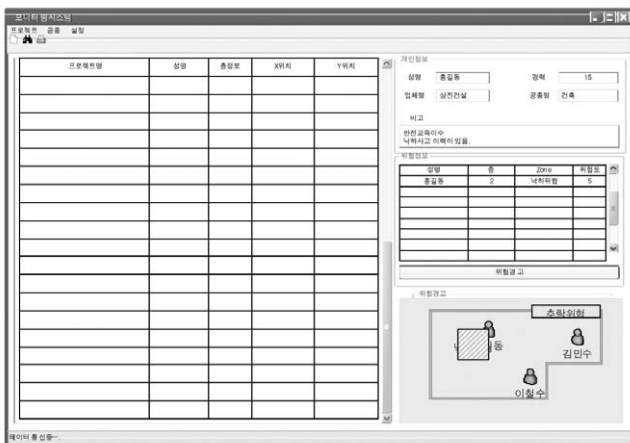


그림 11. 모니터링 시스템 개발

마지막으로 BIM기반의 모니터링 시스템 모듈은 앞의 기술들을 적용시켜 개발 단계에 접어들어, 현재 사용자 인터페이스까지 설계된 상태이다. <그림 11>은 모니터링 시스템의 사용자 인

터페이스 중 대표적인 화면을 보여주고 있는데, 좌측의 리스트는 현장 내에서 작업하고 있는 작업자를 나타내며, 우측 상단에는 특정 작업자를 지정할 경우 작업자에 대한 상세 정보가 나타나게 된다. 우측 중간의 리스트는 위험 지역에 진입한 작업자의 리스트를 나타내고 있으며, 우측 하단은 건물의 개략적인 레이아웃(Layout)을 나타내며 작업자의 위치를 개략적으로 보여지게 된다. 이와 같이 현재 시스템은 마지막 개발단계에 있으며, 개발을 마친 후 현장 테스트를 통하여 현장 적용성 및 실용성을 확인해 보아야 할 것이다.

### 5. 결론

현행 안전관리는 재해의 직접원인을 제거하기 위해 안전 교육, 안전 점검, 작업 전 안전모임 등의 다양한 활동을 하고 있으나, 이는 불안정한 상태에 대한 관리일 뿐, 가변적인 불안정한 행동의 주체인 작업자에 대한 관리 활동은 미흡한 상황이다.

이에 본 연구는 하인리히와 버드의 도미노이론 기반으로 작업자 중심의 현장 안전관리 시스템을 제안하였다. 본 연구에서 제안하는 시스템은 작업자의 불안정한 행동을 관리함으로써 재해 발생의 직접원인을 제거하여 재해를 예방하는 시스템이다. 본 시스템은 기본적으로 작업자의 위치좌표를 중심으로 구현되며, 작업자가 위험 지역에 진입하였을 경우 알람을 보내어 사고의 발생을 예방하게 된다.

시스템의 요소기술로는 위치 추적 기술, BIM 기반의 실시간 모니터링 모듈, 알람 기술, 데이터 마트 기술이 적용되었으며, 각 요소기술은 건설 현장에 맞도록 발전시켜 적용하였다. 이 과정에서 각각의 요소기술들은 안전관리 분야뿐만 아니라 다양한 분야의 적용 가능성을 찾을 수 있었는데, 우선 위치 추적 기술은 오차율을 20cm까지 줄임으로써 건설 현장에 적용 가능한 정도의 기술력을 확보할 수 있었다. 또한 이는 작업자의 위치추적에의 적용 뿐 아니라, 자재 및 물류의 실시간 위치추적을 통하여 자재관리, 물류관리 분야에도 많은 도움을 줄 것이라 생각된다. 또한 모니터링 시스템 모듈은 작업자 중심의 안전 관리 시스템의 도입을 통하여 기존의 가변적인 직접원인인 불안정한 행동에 대한 관리의 가능성을 제시하였다.

마지막으로 BIM기술을 안전관리 분야에 도입함으로써 현재 공사비 또는 공사기간 부분에 주로 적용이 시도되었던 상황에서 벗어나, 안전 관리 분야에 대한 적용가능성을 찾을 수 있었다.

앞으로 본 연구는 시스템의 개발 후 현장의 안전관리자와 작업자에 대한 현장 테스트를 통하여 현장 적용성 및 실용성을 확보하여야 할 것이며, 요소기술의 발전을 통하여 위치 추적 기술의 오차율 및 실시간 데이터 처리 속도를 높여야 할 것이다.

## 감사의 글

본 논문은 건기평 연구과제 “위치정보를 활용한 건설안전리스크 관리기술 개발”의 지원에 의한 결과임(과제번호 : 06건설핵심 D10)

## 참고문헌

김문한 외 공저, 건설경영공학, 기문당, p.p 367~412, 2005  
 노동부. (2007) 2007년 산업재해현황분석, pp.1-12  
 김주현 외 3인, “복합형 센서를 이용한 추락재해 예방 장비의 효용성 실험”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, v.27 n.1, 2007, pp. 753~756  
 안홍섭, 고성석, 이찬식, “건설현장의 안전관리 개선방안에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, v. 12 n. 12, 1996, pp. 265~276  
 양용철, 최훈, 김재준, “건설공사 안전사고 예방을 위한 안전관리 체크리스트 개선과 공정관리와의 연계운영 방법”, 한국건설관리학회 논문집, v. 5 n. 2, 2004, pp. 123~135  
 유재민 외 3인, “RFID 시스템을 이용한 건설 자동화 방안 도출을 위한 기초 연구”, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2008, pp. 731~734  
 이남수 외 5인, “RFID와 무선네트워크 기술을 이용한 자재위치 파악 방안”, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2006, pp. 523~528  
 이종국 외 3인, “건설현장 RTLS 활용을 위한 전파의 벽체 투과 손실에 관한 실험적 연구”, 한국건축시공학회, v. 9, n. 1, 2009, pp. 95~101  
 이주성, 홍정석, 김재준, “건설현장 안전관리 성공요인분석을 통한 자율안전관리활동 개선에 관한 연구”, 한국건축시공학회 논문집, v. 8 n. 5, 2008, pp. 109~117  
 조영수 외 5인, “실내외 연속측위 기술 동향”, 전자통신동향분석, 제 22권 제 3호, 2007, pp. 20~28  
 Heinrich, Industrial Accident Prevention, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1950  
 Abderrahim M et al, “A mechatronics security system for the construction site”, Automation in construction, v. 14 n. 4, 2005, pp. 460~466  
 Frank E. Bird & George L. Germain, Practical Loss Control Leadership, International Loss Control Institute, Inc., 1992  
 Jaselkis Edward J. and Anderson Stuart D. and Russell Jeffrey S. “Strategies For Achieving Excellence In

Construction Safety Performance”, Journal of Construction Engineering and Mangement, v. 122 n. 1, 1995, pp. 61~70  
 Wilson Jr. Joe M and Koehn Enno “Ed”, “Safety Management : Problems Encountered recommended Solution”, Journal of Construction Engineering and Management, v. 126 n. 1, 2000, pp. 77~79

논문제출일: 2009.06.29  
 논문심사일: 2009.07.03  
 심사완료일: 2009.08.03

---

## Abstract

The main goal of construction projects from the past has been enhancing efficiency by reducing cost and time. but, seeing the current condition of safety management of many construction companies nowadays, it is true that not much attention has been paid to safety management for a long time. However, there are paradigm shift from the cost and term of works to safety management in the construction industry, from this circumstance the safety management is evaluated more importantly. Though less accident happens compared to past, the accidents are getting greater because construction projects nowadays are bigger and more complex and monetary loss from the accidents are increasing. Also, the severity is getting greater and even fatal. For this reason, more improved safety management is very necessary. Therefore, we are to propose more efficient system for safety management in this thesis. Technical parts for developing system include many technique such as Real Time Locating system, and other techniques like Monitoring module based on BIM, Data Mart, Alarm are also applied together. Through this system, in the construction site, safety management is performed more effectively and widely because the system can manage the human resource and fluid situation. Also, safety manager can conduct more systematically and advanced safety management through human resource dominated safety management.

**Keywords :** *Construction Safety Risk Management, Building Information Modeling(BIM), Real Time Locating System(RTLS), Data Mart, Alarm System*

---