

건설 안전관리를 위한 실시간 위치추적(RTLS)기술 개발

Development of Real - Time Locating System for Construction Safety Management

이 광 표* 이 현 수** 박 문 서*** 김 현 수**** 백 윤 주*****
Lee, Kwangpyo Lee, Hyun-Soo Park, Moonseo Kim, Hyunsoo Baek, Yunju

요 약

최근 건설 산업의 규모가 대규모, 초고층화 됨에 따라 공기단축, 원가절감, 품질향상 등의 각종 관리 분야에 대한 더욱 능률적인 관리 방법이 요구되고 있다. 이러한 요구사항과 맞물려 현재 건설 산업에서는 이를 지원하기 위한 방법의 일환으로 IT산업과의 연계를 통한 해결책이 점차 설득력을 얻어하고 있다. 최근 Bar Code, Personal Digital Assistant(PDA), Global Positioning System(GPS), Radio Frequency Identification(RFID) 등의 다양한 IT기술들이 그 해결방안으로 개발되고 있다.

본 연구는 이러한 다양한 IT기술 중, 최근 여러 분야에 대한 적용 가능성을 인정받은 실시간 위치추적 기술(RTLS)에 대해 분석하고, 이를 바탕으로 건설 현장에 적용 가능한 위치추적 기술을 개발하며, 검증하고자 한다. 본 연구에서 개발하고자 하는 위치추적 기술은 작업자 및 기인물의 실시간 관리를 통하여 재해를 예방하기 위한 것으로 추후 안전관리 분야에 효과적인 적용 가능성을 예상하며, 이 외에도 건설 현장에 적합한 위치추적 기술이 개발된다면 건설 자재 실시간 모니터링 분야, 건설 자동화 분야, 건설 품질 분야, 유지 관리 분야 등에 있어서도 효과적인 적용이 가능할 것으로 예상된다.

키워드 : 건설 산업, 실시간 위치추적 시스템, 건설 안전 관리

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건설 산업의 규모가 대규모, 초고층화 됨에 따라 공기단축, 원가절감, 품질향상 등의 다양한 관리 분야에 대한 보다 능률적인 관리 방법이 요구되고 있다. 이러한 요구사항과 맞물려 현재 건설 산업에서는 이를 지원하기 위한 방법으로 IT산업과의 연계를 통한 해결책이 점차 설득력을 얻어가고 있는 상황이다.(최철호 2004)

이러한 배경 하에 정부는 'u-korea'정책 등을 펼침으로써 유비쿼터스 환경을 구축하고 있으며, 유비쿼터스 컴퓨팅 환경은 최근

건축/엔지니어링/건설 산업 등에서 효과적으로 사용되고 있다.

현재 건설 산업에 적용되는 IT기술로는 바코드(Bar Code), Personal Digital Assistant(PDA), Global Positioning System(GPS), Radio Frequency Identification(RFID) 등의 기술이 존재하는데, 이러한 다양한 기술들 중 최근 Bar Code기술로부터 발달된 RFID기술이 자재관리 및 출역관리 분야에 적극 활용되고 있는 상황이다.

그러나 Bar Code기술은 낮은 인식률과 정보의 재활용 및 데이터 저장 문제가 존재하고, RFID기술은 건설 현장의 관리자 입장에서는 실질적인 차원의 손쉬운 공사 관리용 도구로 인식되지 못하고 있는 상황이다.(조현욱 2008)

이에 본 연구에서는 최근 국내 및 해외에서 활발히 연구가 진

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

** 종신회원, 서울대학교 건축학과 정교수, 공학박사, hyunlee@snu.ac.kr

*** 종신회원, 서울대학교 건축학과 부교수, 공학박사, mspark@snu.ac.kr

**** 일반회원, 서울대학교 건축학과 대학원 석사과정, verserk@naver.com

***** 일반회원, 부산대학교 컴퓨터공학과 부교수, 공학박사, yunju@pusan.ac.kr

행되고 있으며, RFID기술 및 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술로부터 발전된 실시간 위치추적 기술(RTLS - Real-Time Locating System)에 대해 분석하며, 이를 바탕으로 건설 현장 안전관리에 적합한 위치추적 기술을 구현하도록 한다. 그리고 실시간 위치추적 기술의 건설 현장 적용 가능성을 파악하며, 건설 현장 적용의 가장 큰 문제점인 오차율 극복방안을 제시한다. 마지막으로 실험을 통하여 이를 검증하도록 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 건설 현장 안전관리에 적용 가능한 실시간 위치추적 기술의 구현을 목적으로 하며, 연구의 절차와 방법은 아래와 같이 진행한다.

본 연구의 전체적인 흐름도는 <그림 1>과 같다.

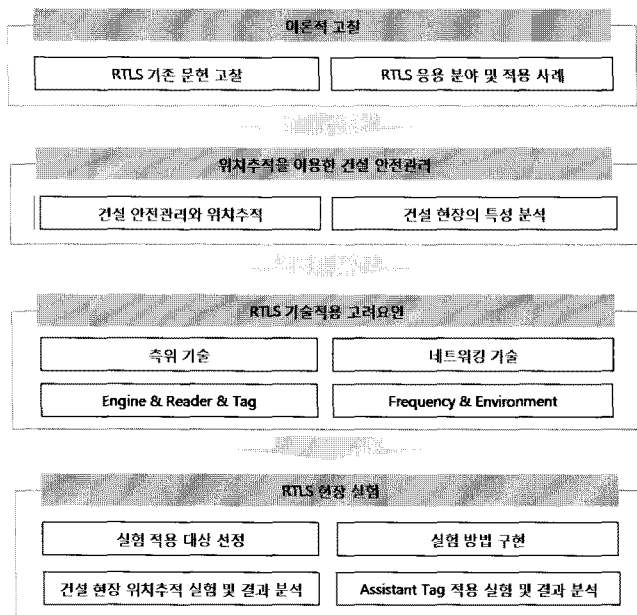


그림 1. 연구의 흐름도

- 1) 실시간 위치추적 기술의 정의 및 특성을 파악하며, 이와 관련된 기존 연구를 분석한다. 또한 타 산업에서의 RTLS 응용 및 적용 사례를 분석하여 실시간 위치추적 기술의 효과를 파악한다.
- 2) 실시간 위치추적 기술을 통한 건설 안전관리 방법을 파악하고, 실제 건설 현장 적용을 위해 건설 현장의 특성을 분석한다.
- 3) 건설 현장에 적합한 실시간 위치추적 기술을 구현하기 위해 측위기술 & 네트워크기술, Engine & Reader & Tag, Frequency & Environment로 나누어 요소기술을 분석하며, 각 요소기술 별 건설 현장에 가장 적합한 기술을 선정한다.
- 4) 건설 현장 환경을 LOS(Line of Sight)환경과 NLOS(Non

Line of Sight)환경으로 분류하여 실험을 진행하며, 오차율 문제에 대한 개선 방안을 제시하고, 실험을 통하여 이를 검증한다.

2. 이론적 고찰

현재 이루어지고 있는 실시간 위치추적 기술의 건설 현장 적용을 위한 연구를 살펴보면 크게 실시간 위치추적 기술의 적용 가능성 및 성능 평가에 관한 연구와 현장 적용 방법론에 관한 연구로 나눌 수 있다.

2.1 실시간 위치추적 기술에 관한 기존 문헌 고찰

실시간 위치추적 기술(Real Time Locating System)이란, IPS(Indoor Positioning Service, 실내 위치추적 서비스)라고도 불리며 이동통신망 기반의 위치 기반 서비스(LBS, Location-Based Service)와 동일하게 사람 혹은 사물의 위치를 확인하거나 추적하는 것으로, 주로 근거리 및 실내와 같은 제한된 공간에서의 위치확인 및 위치추적 서비스를 지칭한다.(<http://ko.wikipedia.org/>)

실시간 위치추적 기술은 효율적인 정보획득 및 관리를 목적으로 과거 Bar Code, Personal Digital Assistant(PDA), Global Positioning System(GPS), Radio Frequency Identification(RFID) 등으로부터 이어져 온 기술로 현재 건설현장 도입을 앞두고 있다. 과거 바코드는 효율적인 정보 획득이라는 점에서 획기적인 기술로 인식되어져 왔으나 데이터 저장 용량의 한계, 낮은 인식률, 짧은 거리인식 등으로 인해 적용의 한계가 드러났으며 (유지연 2007), RFID는 건설 현장의 관리자 입장에서 실질적인 차원의 손쉬운 공사관리용 도구로 인식되지 못하고 있는 실정이다.(주현태⁹ 2007)

이러한 배경 하에 최근 RFID에 USN(Ubiquitous Sensor Network)을 적용한 기술 및 실시간 위치추적 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 최근 연구 동향을 살펴보면 RFID 태그(Tag)를 활용하여 각종 정보를 담고, USN기술을 이용하여 정보를 자유롭게 송수신하며, 이를 실시간으로 처리할 수 있는 기술에 대한 연구가 활발히 진행중이다.

이러한 개념은 RFID 기술과 USN 기술을 접합한 일종의 실시간 위치추적 기술로, 현재 연구는 크게 2가지 부류로 이루어지고 있다. 우선 건설 현장에 적합한 실시간 위치추적 기술의 개발을 위한 현장 적용성 파악 및 성능 평가에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 다음으로 실시간 위치추적 기술의 건설 현장의 효용성 및 활용 가능성 파악에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 각 분야에 대한 대표적인 기존 연구는 <표 1>과 같다.

표 1. 실시간 위치추적 기술에 관한 기존 연구

분류	저자	연구 내용
실시간 위치추적 기술 성능 평가	유지연 외 5인 (2007)	RFID/USN 연동시스템을 건설 현장에 적용하기 위해 기술적 특성 및 한계를 파악하고 이를 검증함.
	이종국 외 3인 (2009)	건설 현장에 가장 적합한 실시간 위치추적 기술과 무선위치측량 기술에 적합한 전파의 투과손실 실험 및 분석.
	Song J. et al (2005)	RFID Tag와 GPS를 적용하여 작업자 및 자재의 위치를 추적하기 위한 Proximity 방법 제안.
실시간 위치추적 기술 현장 적용	이재현 외 3인 (2006)	RFID/USN 기술을 이용한 건설재해 저감방안 제시.
	주현태 [®] 외 3인 (2007)	여러 단계에 걸쳐 이루어지는 건설 프로젝트의 전 과정에서 RFID/USN을 이용한 관리 방안 제시.
	Bai Y. et al (2008)	RFID 기술과 알람 기술 적용을 통한 재고 및 물류 관리 방법 제시.
	Shin S. et al (2005)	3D CAD와 RFID를 이용한 초고층 골조공사 부분의 실시간 진도관리 프로그램 구현 방안 제시.

우선 실시간 위치추적 기술의 건설 현장 적용성 파악 및 성능 평가에 대한 국내 연구로는 RFID/USN 연동시스템의 건설 현장 적용을 위해 기술적 특성 및 한계를 파악한 연구(유지연 2005)와 건설 현장에 가장 적합한 실시간 위치추적 기술 개발을 위해 건설 현장 내에서 전파의 투과손실을 확인한 연구(이종국 2009) 등이 존재한다. 그리고 해외 연구로는 RFID 태그와 GPS를 적용하여 작업자 및 자재의 위치를 추적하기 위해 Proximity 방법을 제안한 연구(Song J. 2005)가 존재한다.

다음으로 실시간 위치추적 기술의 건설 현장에서의 효용성에 관한 국내 연구로는 RFID/USN 기술을 이용하여 건설 재해를 줄일 수 있는 방안에 관한 연구(이재현 2006)와 건설 프로젝트의 전 과정에 있어서 RFID/USN을 이용한 관리 방안을 제시한 연구(주현태[®] 2007) 등이 존재한다. 해외 연구로는 RFID 기술 및 알람 기술 적용을 통해 재고 및 물류 관리 방법을 제시한 연구(Bai Y. 2008)와 3D CAD와 RFID를 이용한 초고층 골조공사 부분의 실시간 진도관리 프로그램 구현 방안을 제시한 연구(Shin S. 2005)가 존재한다.

현재 이루어지고 있는 실시간 위치추적 기술의 기존 연구를 살펴 본 결과, 현장 적용성 파악 및 성능 평가에 대한 연구와 효용성 및 활용 가능성 파악을 위한 연구가 주로 이루어지고 있을 뿐, 건설 현장 내 실시간 위치추적 기술 적용을 위한 가장 큰 문제점으로 확인된 오차율 개선에 관한 연구는 활발히 이루어지고 있지 못한 상황임을 알 수 있다. 또한 실시간 위치추적 기술의 실제적 구현 방법에 대한 연구 역시 많지 않음을 확인할 수 있다.(이종국 2009)

이에 본 연구에서는 기존의 실시간 위치추적 기술에 대한 연구를 바탕으로 건설 현장에 가장 적합한 실시간 위치추적 기술을 제안하며, 한편 건설 현장 내 실제적 적용을 위해 실시간 위

치추적 기술의 가장 큰 문제점인 장애물 상황에서의 오차율 개선 방안을 제시 및 검증한다.

2.2 건설 산업에서의 실시간 위치추적 기술 응용 분야 및 적용사례

실시간 위치추적 시스템은 현재 세계의 정보화 추세에 발맞추어 그 시장의 크기 및 활용이 매우 커지고 있는 상황이다. 이것은 단순한 위치정보 제공에서부터 항공기, 선박, 자동차의 자동항법 및 교통관제, 유조선의 충돌방지, 대형 토목공사의 정밀 측량, GIS 등의 광범위한 분야에 응용되고 있으며, 개인 휴대용에서부터 위성 탑재용까지 다양하게 개발 및 적용되고 있다.(백기현 2002)

위치추적 시스템은 지구상의 전 지역에서 연속적인 3차원 측위가 가능하고, 그 정밀도 또한 최근 일정 치로 낮추는 것이 가능해져 건설 분야에서도 다방면에 걸쳐 이용되고 있는 상황이다. 성능 면에 있어서도 측위 기술 및 장치의 기능 향상을 통해 정밀도 부문인 측량 및 측지 분야에서도 충분히 사용할 수 있게 되었으며, 현재 건설 분야에서의 기술적용은 점차 개발기에서 실용기에 접어들고 있는 상황이다.

이에 RFID/USN 기술을 접목한 실시간 위치추적 기술을 이용하여 건설현장에서의 다양한 관리 분야에 대한 제안이 이루어지고 있다. 현재 진행된 연구를 보면 출역인원관리, 안전관리, 자재 및 물류관리, 레미콘 관리 등의 다양한 건설 관리 분야에서 적용 가능성이 제시된 바 있다. (유재민 2008, 이재현 2006, 최철호 2004)

그러나 이에 비하여 실시간 위치추적 기술은 성능 부분에서 아직 미흡한 결과를 나타내고 있다. 실시간 위치추적 기술의 가장 최근 연구(이종국 2009)에 따르면 자재별 전파의 투과 성능 테스트 결과 여전히 건설 현장에서 사용되는 다양한 자재 및 장비에 대해서 투과 손실이 일어나는 것으로 입증된 바 있다. 또한 이로 인하여 오차가 발생하게 되며, 이는 실시간 위치추적 기술의 건설 현장 적용을 위해서 반드시 해결되어야 할 과제이다.

3. 위치추적을 이용한 건설 안전관리

현재 상용화 과정에 있는 실시간 위치추적 기술을 현장에 적합하도록 개발하기 위해서는 우선적으로 건설현장의 특성을 파악하여야 한다. 건설 현장은 일반 실내 환경과는 달리 다양한 자재 및 장비들이 존재하며, 이와 함께 작업자가 작업을 진행하는 공간이다. 이러한 환경 요인을 고려하여 건설 현장 내 적용 가능한 효과적인 위치추적 기술이 개발된다면, 다양한 건설 관리 분야에서 효과적인 기술로서 활용될 수 있을 것이다.

특히 건설 현장에 적합한 실시간 위치추적 기술이 개발된다면, 하인리히(Heinrich 1959)의 사고발생 메커니즘에 입각하여 안전관리 분야에 적극 활용할 수 있을 것이다. 재해 발생의 직접 원인인 작업자와 기인물 및 가해물의 위치를 실시간으로 추적 및 관리함으로써 재해를 예방하게 되며, 이는 건설 현장 내에서 효과적인 안전관리 방법으로 활용할 수 있을 것이다.(이재현 2006, 주현태2) 2007)

3.1 건설 안전관리와 위치추적

우선 사고발생 메커니즘 살펴보면, 안전 재해의 발생 원인에 대해 밝히고 있는데, 하인리히(Heinrich 1959)는 안전 재해의 직접 발생 원인으로 불안정한 상태의 기인물 및 가해물과 불안정한 행동을 보이는 작업자를 지적하고 있다. 그리고 이들이 접촉할 경우 재해가 발생한다고 정의하고 있다. <그림 2>는 하인리히의 사고발생 메커니즘으로 재해 원인 및 발생 과정을 보여주고 있다.

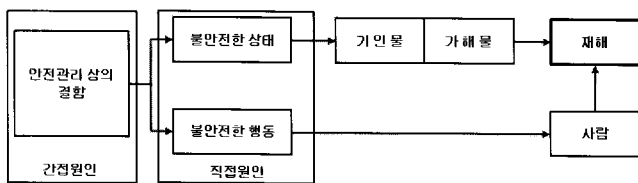


그림 2. 사고발생메커니즘 (Heinrich 1959)

이러한 배경 하에 실시간 위치추적 기술의 개발은 재해 발생의 직접원인인 불안정한 상태의 기인물 및 가해물, 그리고 불안정한 행동의 작업자에 대한 실시간 관리 가능성을 제시하며, 최종적으로는 재해의 예방 가능성을 보여준다. 이처럼 실시간 위치추적 기술이 개발된다면, 건설 현장 내에서 효과적인 안전관리 기법으로 활용할 수 있을 것이다.

3.2 건설 현장의 특성 분석

현재 적용되는 실시간 위치추적 기술은 환경에 따라 정확도가 크게 좌우되는 실정이다. 우선 위치추적 환경은 크게 태그(Tag)와 리더(Reader) 사이에 장애물이 없는 환경(LOS : Line of Sight)과 태그와 리더 사이에 장애물이 존재하는 환경(NLOS : Non Line of Sight)환경으로 나눌 수 있다.

장애물이 없는 환경(LOS)이란, 실내 및 실외 공간 중 벽, 장애물, 장비, 작업자 등의 장애물이 존재하지 않는 환경을 의미하며, 이러한 환경에서는 전파의 이동에 방해받지 않게 된다. 그 결과 장애물이 없는 환경에서는 전파가 효과적으로 잘 전달되며, 비교

적 정확한 결과 값을 도출할 수 있다.

그러나 장애물이 존재하는 환경(NLOS)에서는 실내 및 실외 공간 중 벽, 장애물, 장비, 작업자 등의 장애물이 존재하여 전파의 이동에 방해받게 되는데, 이 환경에서는 장애물이 없는 환경과는 달리 전파의 반사나 회절, 굴절 등으로 인하여 다중경로(multipath)가 발생하게 된다. 이는 건물 실내에서 장애물 등의 내벽 및 장비들로 인하여 전파가 직선거리로 나아가지 못하여 전파거리가 실제 직선거리보다 더욱 멀어지게 되기 때문이다. 이러한 이유로 결과 값의 오차가 크게 발생하게 되며, 정확한 위치추적 결과 값의 도출이 어렵게 된다. (이종국 2009)

건설현장은 특성상 공사가 진행됨에 따라 장애물이 없는 환경(LOS)에서 장애물이 존재하는 환경(NLOS)으로 변화하게 된다. 또한 일반 실내 환경과는 달리 공중에 따라 적재 또는 사용되는 자재가 바뀌게 되며, 각각의 자재에 의해 주변 환경 또한 변화하는 성격을 가지고 있다. 이런 가변적인 환경과 더불어 작업자의 작업 형태 역시 완공된 건물에서의 일반 행동과 다르게 나타난다.

건설 현장에 실시간 위치추적 기술을 적용하기 위해서는 이러한 건설 현장의 특성을 반영하여야 할 것이며, 장애물(NLOS) 환경에서의 문제점인 오차율 문제를 해결해야 할 것이다.

4. 실시간 위치추적 시스템(RTLS) 요소 기술

건설현장에 적합한 위치추적 시스템을 개발하기 위해서는 다양한 요소 기술 중 3장에서 설명한 건설현장의 특성에 적합한 기술을 적용하여야 한다. 위치추적 기술은 크게 소프트웨어와 하드웨어로 이루어지며, 소프트웨어는 다시 측위기술과 네트워킹 기술로 나눌 수 있다. 그리고 하드웨어는 엔진(Engine), 베이스 스테이션(Base-Station), 리더(Reader), 태그(Tag)로 나뉘게 되며, 더불어 데이터의 효과적인 전송을 위하여 전파(Frequency) 및 환경(Environment) 요인에 대해서도 고려해야 할 것이다.

4.1 소프트웨어(Software) 기술

위치 추적 기술의 구현을 위해서는 위치 좌표 도출을 위한 측위방법과 태그와 리더 간 신호의 전송을 위한 무선 네트워킹 방법을 결정하여야 한다. 우선 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 전송하여 시스템 구현 시 신호를 원활히 주고받아 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 각각의 기술들에 대한 분석결과를 보여주고 있다.

표 2. 무선 측위 기술 분류
(이종훈 2006, 조영수 2007)

기술	측위방법
Cell-ID	· 기지국의 Cell ID를 통해 위치추적 · Cell크기의 크기에 따라 정확도가 결정 - 최대 오차 수km
Angle of Arrival(AOA)	· F신호전송태그와 수신리더간 방향각을 이용해 위치를 계산하는 방식
Time of Arrival(TOA)	· 태그가 전송하는 RF신호가 수신리더에 도달하는 시간을 측정하여 태그와 리더간 거리를 구하고 위치를 계산
Time Difference of Arrival(TDOA)	· TOA와 비슷하지만 리더간 수신 시각 차이를 이용하여 위치를 계산
Received Signal Strength Indication (RSSI)	· WLAN를 사용하는 RTLS시스템에서 흔히 사용하는 방법 · Access Point에서 받은 신호의 강도를 이용하여 위치를 계산
Time of Flight(TOF)	· RF신호가 전송되는 매질의 전송속도를 기준으로 태그와 리더 사이에 전송된 신호의 경과시간을 이용
Fingerprint	· 확률론적 모델링 · 미리 주위 환경 정보를 데이터 베이스로 구성 · 측위 시 AP에서 수신된 전파의 특성을 이용하여 데이터베이스를 검색하여 위치값 추출

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

TOA(Time of Arrival)측위방법은 대표적인 무선 측위 기술로서 삼변 측량을 기본으로 하는 측위 방법이다. <그림 3>과 같이 우선 리더의 좌표(x, y)를 지정하게 되며 지정된 리더로부터 태그까지의 거리를 산정한다. 거리를 산정하는 과정에서는 태그와 리더간의 신호 도달 시간을 이용하여 산정하게 되며, 리더와 태그간의 거리가 도출된 후에는 세 개 이상의 리더와 태그 사이의 거리를 이용하여 삼변측량을 통하여 태그의 좌표를 산출하게 된다. 이와 같은 방법을 통하여 본 연구에서는 최종적으로 위치 좌표를 도출한다.

TOA 측위 기술을 이용하여 위치 좌표를 도출한 후에는 이를 전송하기 위한 무선 네트워킹 기술이 적용되어야 하는데, 네트워킹 방법 역시 다양한 기술들이 존재한다.

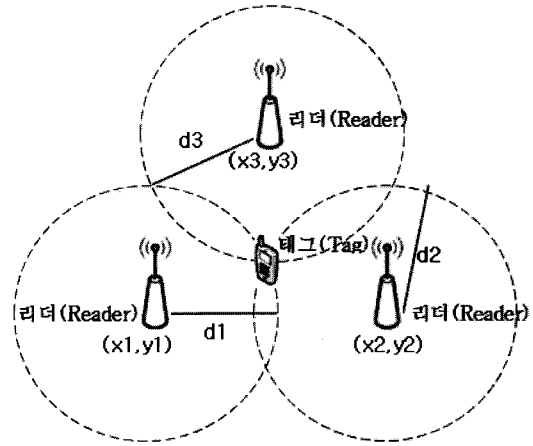


그림 3. TOA개념도
(이현수 2009)

분석 결과, 본 연구에서는 <표 3>의 여러 가지 네트워크 기술 중 UWB방식의 일종인 CSS방식을 적용도록 한다. CSS방식이란, 차세대 근거리 무선통신 기술인 Zigbee방식을 보완한 것으로 통신 도달거리의 확장, 극심한 다중경로 및 방해전파에 대한 견고성, 다른 통신방식과의 상호 공존성, 정밀 거리 측정 기능의 장점을 가지고 있는 네트워킹 기술이다.

표 3. 무선 네트워킹 기술 특성 비교
(이남수 2006)

	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

앞서 설명한 측위 기술과 무선 네트워킹 기술을 기반으로 최종적으로 작업자의 위치 좌표가 도출되며, 위치 좌표의 형식은 x좌표, y좌표, 층 정보의 형태로 서버에 전송된다.

4.2 하드웨어(Hardware) 기술

본 연구에서 채택한 실시간 위치추적 기술은 CSS(Chirp spread spectrum)를 기반으로 한 실시간 위치 인식 시스템으로 4

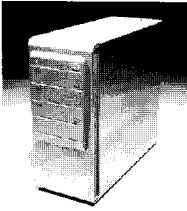
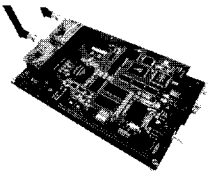
가지 하드웨어로 이루어진다. 위치좌표를 파악하기 위한 태그(Tag)와 리더(Reader), 그리고 파악된 위치좌표를 1차적으로 처리하는 베이스 스테이션(Base-station), 마지막으로 모든 위치 좌표를 전송받아 저장하는 엔진(Locating Engine)으로 구성된다. 본 시스템에서는 최종적으로 이 4가지 하드웨어를 이용하여 위치좌표를 도출하게 된다.

표 4. 위치추적 기술 하드웨어

구성요소	고려요인	고려사항
엔진(Engine)	운영체제	측위 기법 운영체제
리더(Reader)	Reader Type	고정식 이동식
태그(Tag)	Tag Type	수동형(Passive) 능동형(Active)

우선 엔진은 전체 시스템 상에서 서버(Server) 역할을 하게 되며, 베이스 스테이션으로부터 받은 정보를 필터링하고 데이터를 처리한다. 이는 리더와 태그를 통하여 얻은 작업자의 위치좌표를 실시간으로 처리하는 것으로, 엔진에서 각 응용에 알맞은 필터링 및 위치 정보 보정 기법을 적용하여, 적용 환경에서의 실시간 위치추적 기술의 성능을 극대화시킨다.

표 5. 엔진(Engine) & 베이스스테이션(Base-Station)

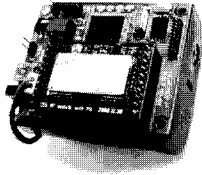
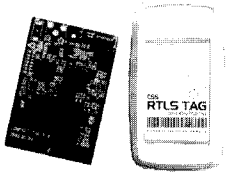
구분	엔진(Engine)	베이스 스테이션(Base-Station)
기능	· 베이스스테이션으로부터 받은 정보를 필터링 및 데이터 처리	· 리더로부터 태그와의 거리정보를 받아 엔진으로 전송
특징	· Multi-lateration을 이용한 위치추적 알고리즘 적용(LS) · 통계적 기법을 이용한 데이터 필터링 기술 적용	· 400MHz Intel PXZ255 MCU · 10/100Mbps TCP/IP통신 가능
사진		

그리고 베이스 스테이션(Base-Station)은 리더로부터 태그와의 거리 정보를 받아 1차적으로 데이터를 처리하며, 이를 엔진으로 전송한다. <표 5>는 엔진(Engine)과 베이스 스테이션(Base-Station)에 대해 보여주고 있다.

다음으로 리더는 태그와의 송수신을 통하여 거리를 측정하고 태그의 위치 값을 도출하며 정보를 베이스 스테이션(Base-Station) 전송한다. 리더의 종류는 크게 고정식과 이동식 리더로 구분할 수 있는데, 이는 사용자의 휴대성과 경제성 등에 의해 선

택된다. 본 연구에서는 고정식 리더와 이동식 리더를 혼용하여 적용하며, 이는 건설 현장의 환경을 고려해, 전원 공급이 가능한 지역에 리더의 설치가 가능한 경우에는 고정식 리더를 설치하도록 하며, 그렇지 못한 경우 배터리를 이용한 이동식 리더를 설치한다.

표 6. 리더(Reader) & 태그(Tag)

구분	리더(Reader)	태그(Tag)
기능	· 태그와의 거리를 측정하고 정보를 베이스 스테이션으로 전송	· 작업자에게 부착하여 리더와의 통신을 통한 위치 추적
특징	· ARM사의 Cortex-M3 · 72MHz 동작 · 128KB flash, 20KB RAM · 배터리동작으로 건설 현장에서 간단한 설치 가능	· Processor : TI MSP430 · RF Transceiver : NA5TR1 · 전송거리 : 450m
사진		

마지막으로 태그(Tag)는 위치를 추적하고자 하는 객체(Object)에 설치하여 리더(Reader)와의 통신을 통하여 태그와 리더간의 거리를 측정하며, 리더는 이 거리 정보를 이용하여 위치 좌표를 얻게 된다. 또한 태그는 작업자의 위험을 알리기 위해 버저를 탑재하도록 한다.

4.3 Frequency & Environment

네트워크 환경의 구현을 위해서는 다양한 표준 주파수 중 건설 현장에 적합한 주파수를 선정하여야 한다. 이는 전파(Frequency)의 주파수에 따라 투과성과 전송 거리가 변화하기 때문이다.

현재 사용되고 있는 표준 주파수는 125KHZ, 13.56MHZ, 2.45GHZ, 900MHZ의 주파수가 주로 사용되고 있다. 각각의 주파수는 성격에 따라 전송 범위가 변화하는데, 125KHZ, 13.56MHZ, 2.45GHZ, 900MHZ의 주파수는 각각 5cm이하, 60cm이하, 1m이하, 5m 이하의 다른 전송범위를 가지고 있다. 이처럼 투과성은 기본적으로 주파수가 높을수록 강하게 나타나는 특성이 있다.

이러한 다양한 주파수 중 본 연구에서 적용하는 주파수는, CSS 기반 실시간 위치추적 기술의 국제 표준으로 제정 중에 있는 IEEE 802.15.4a의 표준 주파수인 2.45GHz 주파수를 사용한다. 이처럼 본 연구에는 2.45GHz의 주파수를 적용하며, 이는 해당 국제 표준을 준수한다.

표 7. Frequency & Environment

구분	고려 요인	고려사항
Frequency	125KHZ	5cm이하
	13.56MHZ	60cm이하
	2.45GHZ	1m이하
	900MHZ	5m이하
Environment	습도	수중유무
	온도	-20~70° 이내

마지막으로 환경 요인은 위치추적 기술이 효과적으로 적용되기 위한 기본적인 요인으로 만약 현장에서 환경요인을 만족하지 못한다면 기술적용 자체가 어려워진다고 할 수 있다. 환경요인은 크게 온도와 습도로 나눌 수 있는데, 온도 및 습도 요인은 현재 태그(Tag)의 기술정도가 수중에서는 인식이 어려운 상황이고, -20~70℃사이에서 인식이 가능하기 때문에 이를 만족해야 할 것이다. 또한 장애물이 존재할 경우 투과성 부분에 대한 문제도 해결해야 한다.(구도형 2008)

5. 실시간 위치추적 시스템 현장 실험

앞서 4장에서 건설 현장에 적합한 위치추적 시스템을 구현하기 위해 다양한 기반기술을 분석했으며, 분석을 바탕으로 기술들을 선정하였다. 선정된 요소기술을 종합하여 시스템의 성능을 평가하기 위해 실제 현장에서 실험을 진행하도록 한다.

5.1 실험 적용 대상

위치추적 시스템 평가를 위한 실험은 용인에 위치한 D사의 아파트 현장에서 시행하였다. 공사 현황은 지하층 및 지상 3개 층 정도에 골조공사가 이루어지고 있는 상황이었으며, 실험은 LOS 환경과 NLOS환경으로 나누어 이루어졌다. 건설 현장 내 LOS환경으로는 장애물이 거의 존재하지 않는 건물의 지하주차장을 선정하였으며, NLOS환경은 장애물로 벽 및 건설 장비 등이 존재하는 공사가 진행 중인 지상 층을 선정하였다.

5.2 실험 방법

현장에서 실험하기 위한 장비는 기본적으로 앞서 4.2절에서 설명한 위치추적 엔진(Engine), 베이스스테이션(Base Station), 리더(Reader), 태그(Tag)로 구성되며, <그림 4>와 같은 모습으로 건설 현장 내 설치하게 된다.

실험을 실시하기 위해서는 우선 서버기능을 수행하는 엔진을 설치하며, 전원 및 유선 LAN을 이용하여 베이스-스테이션을 설치한다. 또한 모서리 부분에 리더를 설치하고 리더의 좌표를 엔진

상에 설정한다. 그리고 음영지역을 파악하여 리더를 추가적으로 설치하여 음영지역을 제거하며, 마지막으로 시스템 튜닝 및 필터 기능을 세팅하면 실험을 진행할 준비를 마치게 된다.

이러한 기본적인 장비에 대한 설치가 마무리되면, 실제로 현장 내에서 실험을 진행하게 된다. 우선 실험은 태그를 소지한 작업자가 현장 내에 위치하게 되며, 작업자의 이동에 따른 위치를 측위하도록 한다. 이렇게 측위한 작업자의 위치는 2D로 화면상에서 표시가 가능하며, 작업자의 좌표 또한 확인할 수 있게 된다. 그러나 작업자가 특정 위치나 특정 환경에서는 정확한 위치좌표 값을 도출하지 못하는 경우가 발생하는데 이는 collision현상으로 인하여 오차가 발생하기 때문이다. 이와 같은 경우 오차율을 확인하는 실험을 진행하게 되는데, 원점으로부터 작업자와의 직선거리를 측정하여 실제 위치를 도출하며, 실시간 위치추적 시스템을 통하여 얻은 작업자의 좌표를 분석하여 오차율을 도출하게 된다.

5.3에서는 이와 같은 과정을 통하여 실시한 실험을 통하여 얻은 결과 값을 나타내며, 이는 현재 건설현장 내에서 본 시스템을 적용가능성을 보여준다.

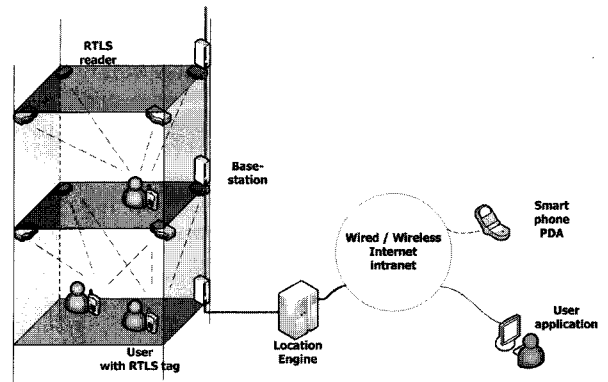


그림 4. 위치추적 시스템

5.3 실험 결과

건설 현장 내에서의 실험은 LOS환경인 지하주차장과 NLOS 환경인 지상 층에서 시행하였다. LOS환경인 지하주차장에서 실험을 실행한 결과는 <그림 5>과 같으며, NLOS환경인 지상 층에서 실험을 진행한 결과는 <그림 6>과 같다.

<그림 5>는 LOS환경인 지하주차장에서 실험한 결과로 세 개의 리더와 태그 사이의 거리 값을 나타내고 있다. 각각의 리더를 살펴보면 리더1과 리더 3은 비교적 일정한 거리 값을 나타내고 있으며, 리더 2는 리더 1과 3에 비하여 약 2m정도의 오차를 나타내고 있다. 장애물이 없는 LOS환경에서는 전파의 전송이 원활하게 일어나기 때문에 태그의 위치 값에 대한 오차율이 비교적 작게 발생하고 있음을 확인할 수 있다.

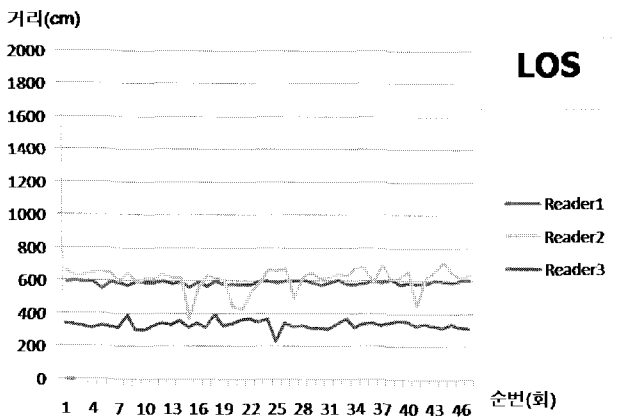


그림 5. LOS환경에서의 실험 결과

〈그림 6〉은 NLOS환경인 지상 층에서의 실험 결과를 보여주고 있는데, 우선 각각의 리더와 태그와의 거리 값을 살펴보면, 리더 2와 3은 거리 값이 지속적으로 변화하나 1~2m의 비교적 작은 오차 범위 안에서 움직이고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 리더 1의 경우 결과 값을 살펴 보면, 4~7m 정도로 큰 오차 범위를 나타내고 있으며, 이는 태그와 리더 사이에 콘크리트 및 철로 이루어진 장애물이 존재한 결과이다. 그 결과 전파의 반사나 회절, 굴절 등의 현상으로 오차율이 크게 발생하고 있다.

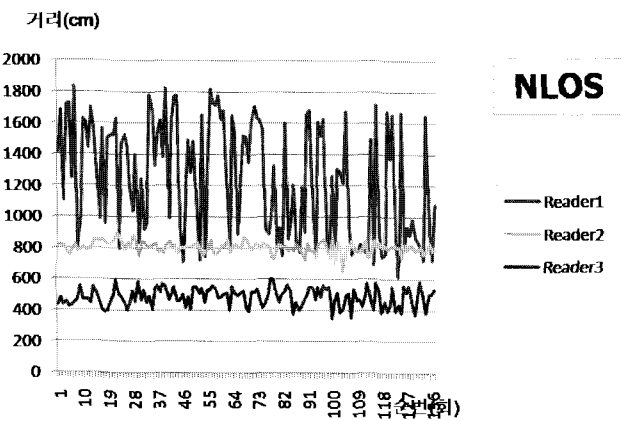


그림 6. NLOS환경에서의 실험 결과

5.4 어시스턴트 태그(Assistant Tag) 적용 실험 및 결과

5.3절에서의 결과 값을 살펴보면, 장애물이 존재하는 NLOS환경에서 오차율이 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이는 건설 현장 내 실시간 위치추적 기술을 적용하기 위해서 반드시 해결해야 할 과제이다.

이에 본 연구에서는 건설현장 내 실시간 위치추적 기술의 적용성을 높이기 위한 방안으로 어시스턴트 태그(Assistant Tag)를 도

입하였다. 어시스턴트 태그란 장애물로 인한 NLOS환경을 극복하기 위한 해결책으로, 이미 위치를 알고 있는 태그를 가상의 리더로 이용하는 방법을 말한다. 측위 기술인 TOA기반 실시간 위치추적 기술은 태그의 위치를 측위하기 위해 3개 이상의 리더-태그간 거리 정보가 필요한데, 〈그림 7〉과 같이 하나의 태그가 장애물로 인하여 거리를 측정하지 못하게 되고, 결과적으로 거리를 측정할 수 있는 리더가 두 개로 제한될 경우에는, 태그의 위치 측위를 할 수 없게 된다. 하지만 주변에 이미 측위된 태그를 리더와 같은 역할을 하도록 설치하게 되면, 이러한 상황을 극복하여 태그의 위치 측위가 가능해진다.

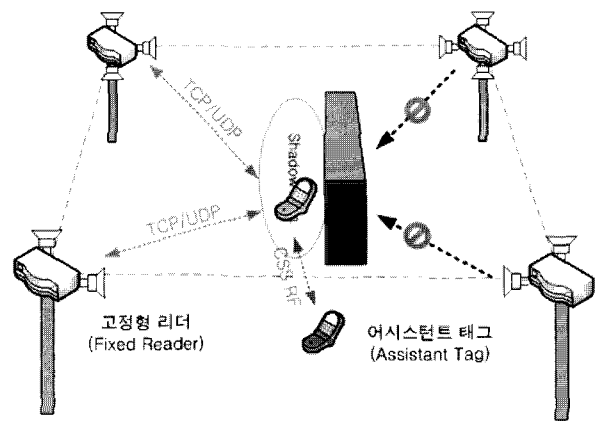


그림 7. Assistant Tag 개념도

이와 같은 어시스턴트 태그의 효용성을 확인하기 위해 실험을 진행하였다. 실험은 부산대학교 실시간 위치추적 기술 테스트 센터에서 이루어졌다. 부산대학교 테스트 센터는 실내이며, 많은 철제 장애물과 기둥이 존재하고 있어 건설 현장과 흡사한 환경을 지니고 있다고 할 수 있다. 실험 환경 및 리더의 위치는 〈그림 8〉과 같다.

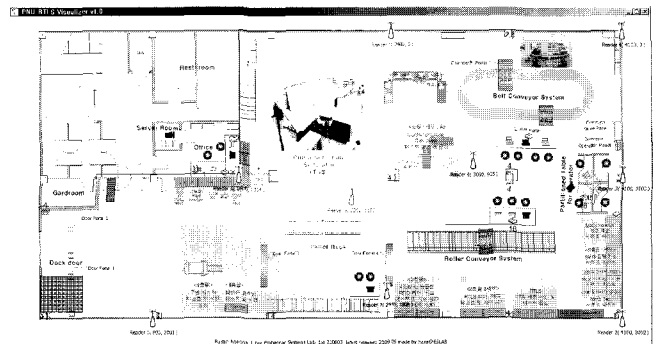


그림 8. 어시스턴트태그 실험 환경

부산대학교 테스트 센터에서 실험을 진행한 결과는 〈표 8〉에서 보여주고 있다. 〈표 8〉을 살펴보면 실제 위치 값과 기술을 적용한 결과 값을 나타내고 있는데, 결과 값은 어시스턴트를 적용

한 경우와 그렇지 않은 경우로 나누어 보여주고 있다. 데이터를 바탕으로 살펴보면, 어시스턴트태그 기법을 적용하였을 경우는 그렇지 않은 경우에 비하여 위치 측위의 오차 값이 평균 50% 수준 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 어시스턴트 태그가 추가적인 리더의 역할을 함으로서 장애물로 인한 NLOS지역을 극복한 결과이다.

표 8. 어시스턴트태그 적용시 위치 측위 오차 향상

	real x (cm)	real y (cm)	평균 오차(cm)	
			어시스턴트태그적용	어시스턴트태그미적용
위치 1	1,735	1,517	357	862
위치 2	1,740	867	798	464
위치 3	2,167	289	123	215
위치 4	2,641	1,750	152	539
위치 5	3,129	576	634	1,567
위치 6	3,373	1,081	747	633
위치 7	3,502	1,689	142	1,798
위치 8	3,777	1,211	198	361

6. 결론

본 연구는 건설 안전 관리를 위한 실시간 위치추적 시스템의 구현을 목적으로, 건설 현장 적용의 가장 큰 문제점인 오차물 문제를 해결하고 이를 검증하였다. 우선 위치 추적 시스템의 요소 기술 별 분석을 통하여 다양한 기반 기술 중 건설 현장에 가장 적합한 기술을 선정하였으며, 이를 바탕으로 건설 현장 안전 관리에 적용 가능한 시스템을 구현하였다. 그리고 건설 현장을 LOS 환경과 NLOS환경으로 구분하여, 실험을 바탕으로 위치추적 시스템의 현재의 효용성을 확인하고, 효용성을 증진시킬 수 있는 방안을 제시 및 검증하였다.

구현한 실시간 위치추적 기술을 실제 건설 현장 내에서 실험을 바탕으로 효용성을 확인한 결과, 지하주차장 등의 LOS환경에서는 1~2m정도의 비교적 작은 오차를 나타내고 있으나, 장애물이 존재하는 지상 층의 NLOS환경에서는 4~7m정도의 비교적 큰 오차 값을 보였다. 이는 전파의 특성상 NLOS환경에서 반사나 회절, 굴절 등으로 인하여 다중경로(multipath)가 발생한 결과로, 건설 현장 내 실시간 위치추적 시스템의 효용성을 높이기 위해서는 해결해야 할 문제점이다. 이러한 배경 하에 건설 현장 효용성을 높이기 위한 방안으로 NLOS환경에서의 어시스턴트 태그(Assistant Tag)를 제안하였으며, 어시스턴트 태그의 현장 적용 결과 평균 오차가 50% 수준으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 어시스턴트 태그가 장애물로 인한 NLOS지역을 극복할 수 있는 리더 역할을 하여, 장애물을 통과하지 않고 전파를 송신 및 수신하게 된 결과이다.

본 연구에서 개발 및 제안한 실시간 위치추적 시스템 및 어시스턴트 태그를 건설현장에 적용한다면, 건설 산업 내 효과적인 IT기술로서 다양한 건설 관리 분야에 적용 가능할 것이다. 본 시스템은 우선적으로 건설 관리 분야 중 가장 효과적으로 적용 가능성이 예상되는 분야인 안전관리 분야에 적용을 목적으로 개발하였으나, 타 분야에서도 효과적으로 활용할 수 있을 것이라 예상된다. 장비나 자재에 위치추적 기술을 적용시킴으로서 건설 자재 관리나 건설 자재의 실시간 모니터링분야에 효과적으로 적용할 수 있을 것이며, 작업자에게 태그(Tag)를 부착함으로써 출역 노무관리 분야에도 적용 가능할 것이다. 또한 물류관리 기능을 바탕으로, 타 IT기술과의 접목을 통하여 4D 진도관리 분야에서도 가능성을 가지고 있다. 이 외에도 실시간 위치추적 시스템의 건설 현장 적용을 통하여 다양한 분야에서 건설 자동화를 이룰 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 건기평 연구과제 “위치정보를 활용한 건설안전리스크 관리기술 개발”(과제번호 : 06건설핵심 D10) 과 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술 혁신 연구개발사업(과제번호:05 건설핵심D02) 지원에 의한 결과임.

참고문헌

구도형 외 4인, “RFID 기술적용 가능성 평가를 위한 각 공종별 주요자재 특성분석”, 한국건설관리학회논문집, v. 9. n. 2, 2008, pp. 159~169

백기현, “위치추적 시스템이란 무엇인가?”, 대우건설기술 제 24호, 2002, pp. 132~140

유재민 외 3인, “RFID 시스템을 이용한 건설 자동화 방안 도출을 위한 기초 연구”, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2008, pp. 731~734

유지연 외 5인, “RFID/USN 연동 시스템의 건설 산업 적용을 위한 성능 실험에 관한 연구”, 한국건설관리학회 정기학술발표대회 논문집, 2007, pp. 880~885

이남수 외 5인, “RFID와 무선네트워크 기술을 이용한 자재위치 파악 방안”, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2006, pp. 523~528

이재현 외 3인, “RFID/USN 기술을 이용한 건설재해 저감방안에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표대회논문집, v. 26 n. 1, 2006, pp. 605~608

- 이종국 외 3인, "건설현장 RTLS 활용을 위한 전파의 벽체 투과 손실에 관한 실험적 연구", 한국건축시공학회, v. 9, n. 1, 2009, pp. 95~101
- 이종훈 외 4인, "실시간 실내외 측위 기술 개발 동향 분석", 텔레콤, v. 22 n. 2, 2006, pp. 85~95
- 이현수 외 3인, "위치추적기술을 이용한 BIM기반 건설현장 안전 관리 시스템", v. 10 n. 6, 2009, pp.135~145
- 조영수 외 5인, "실내외 연속측위 기술 동향", 전자통신분석, v.22 n.3, 2007, pp. 20~28
- 조현욱, 박종현, 이찬식, "RFID기술에 대한 인식도 및 문제점 분석", 전국 대학생 학술발표대회 논문집, 2008, pp. 19~22
- 주현태¹⁾ 외 3인, "건설현장에서의 RFID기술의 적용성에 관한 연구", 한국건축시공학회 학술기술논문발표회논문집, v.7 n.1, 2007, pp. 97~100
- 주현태²⁾ 외 3인, "RFID/USN의 적용을 통한 건축물 관리 방안", 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2007, pp. 331~336
- 최철호, "건설분야에서의 RFID 시스템 활용사례 및 발전방향", 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 제 5회, 2004, pp. 145~149
- Heinrich, Industrial Accident Prevention, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1950
- Bai Y. et al, "DESIGN OF LOGISTIC WAREHOUSE INFORMATION SYSTEM BASED ON RFID TECHNIQUES", The Eighth International Conference of Chinese Logistics and Transportation Professionals, 2008, pp. 2098~2102
- Shin S. et al, "REALTIME 4D CAD+RFID FOR PROJECT PROGRESS MANAGEMENT", Construction Research Congress, 2005, pp. 1~10
- Song J. et al, "LOCATING MATERIALS ON CONSTRUCTION SITE USING PROXIMITY TECHNIQUES", Construction Research Congress, 2005, pp. 1~10
- <http://ko.wikipedia.org/>

논문제출일: 2009.09.22
 논문심사일: 2009.09.25
 심사완료일: 2009.12.10

Abstract

Recently, as the size of construction projects are getting bigger and higher, more effective managing methods are required in management areas such as duration reduction, cost reduction and quality management. In the current construction industry, conjunction with IT(Information Technology) is being noticed as a solution to support these needs. Various IT solutions such as Bar Code, personal digital assistant(PDA), global positioning system(GPS), radio frequency identification(RFID) are being developed.

In this research, among the various IT solutions, the Real Time Locating System(RTLS) which is acknowledged as a technology with high applicational potential is analyzed. Based on this analysis, a locating system to apply in construction sites is developed and validated. The locating system is developed to prevent construction disasters through real-time management of workers and equipment, which enables effective application in the area of construction safety management. Moreover, applications of the locating system in many different areas like construction material realtime monitoring, construction automation, construction quality management, maintenance management are expected.

Keywords : *Construction Industry, Real Time Locaing System, Construction Safety Management*