RFID/USN 연동 시스템을 활용한 건설자원 실시간 모니터링 시스템

Real-Time Construction Resource Monitoring using RFID/USN Inter-working System

류 정 필* , 김 형 관** , 김 창 윤*** , 김 창 완**** , 한 승 헌***** , 김 문 겸******
Ryu, Jeoungpil, Kim, Hyoungkwan, Kim Changyoon, Kim, Changwan, Han, Seungheon, Kim, Moonkyum

요 약

건설 현장의 자재 위치 추적 기술은 건설 프로젝트의 생산성을 극대화시킬 수 있는 중요한 기술로서 현재 국내외적으로 많은 연구가 수행 중에 있다. 최근 들어 RFID(Radio Frequency Identification) 시스템을 이용하여 공급 사슬망 전반에 걸친 건설 자재에 대한 실시간 위치 추적에 대한 연구가 각광을 받고 있다. 그러나 짧은 인식거리, 저조한 인식율 등의 문제로 바코드 대체 수준으로 그 활용이 미비한 상황이다. 본 논문에서는 인식거리를 보다 길게 하는 900MHz 대역의 RFID 시스템과 인식된 데이터를 무선 통신(Zigbee)을 사용하여 전달하는 RFID/USN 연동시스템 개발과 그 활용 방안을 제안한다. RFID/USN 연동 시스템을 건설현장의 자재관리에 시험적으로 적용, 실증 테스트를 수행함으로써 첨단 센싱 기술 및 전파식별 기술에 대한 현장 활용 가능 여부, 실증 테스트 시 발생하는 기술적 애로 사항 및 다양한 활용 방안을 도출하는 것을 목적으로 한다. 또한, 원격지에 있는 현장 관리자를 위하여 기존 인프라네트워크를 이용하여 실시간 자재 및 장비의 위치 데이터를 관리자가 원할 경우 언제 어디서든 실시간으로 전달 가능하도록 이동통신망(CDMA: Code Division Multiple Access)과의 연동 시스템을 현장에서 적용 및 점검한다.

키워드: 전파식별기술(RFID), 유비쿼터스 센서 네트워크(USN), RFID/USN 연동 시스템, 현장 자재 관리, 자재 위치 추적

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 산업 및 사회 기반 환경이 유비쿼터스 컴퓨팅 환경으로 패러다임이 전이되고 있으며 각 산업 분야에서도 급변하는 환경에서 기술 경쟁력 확보, 미래 신성장동력 창출 및 당면한 기술적 한계를 뛰어 넘기 위하여 첨단 원천 기술의 융합화와 복합화가 빠르게 진행되고 있다. 국내 건설 산업에서도 선진국가로부터 기술도입, 노동집약적인 양적성장, 전문적 건설 프로젝트 관리 기술 부재 등으로 인한 답보 상태의 건설 생산성과 효율성 수준을 획기적으로 개선하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내에서는 공사 물량 감소, 해외 건설시장 잠식, 기능 인력 고령화 및 숙련공 부족, 공사 원가 상승 등 현재의 건설 산업이 안고 있는 여러 문제점을 조속히 해결하기 위해 융복합화 된 첨단기술의 도입이 해결책으로 대두되고 있다. IT(Information Technology), BT(Bio Technology), NT(Nano Technology), RT(Robot Technology) 등의 원천기술을 건설 산업 분야로 융·복합화 하여 건설공사의 기계화 및 자동화, 건설 재료의 고성능 다기능화, 선 작업 방식 체제, 건설 프로세스와 IT 기술의 융합, 유지관리 및 건설 관리 기술의 자동화를 이룩하려는 노력이 국내외적으로 시도되고 있다.

IT가 건설 산업과 융합될 수 있는 부분은 건설 프로젝트 전 범위에 걸쳐 다양하며, 특히 시너지를 최대한 발휘할 수 있는 부분은 시공 관리 및 유지관리 분야이다(이복남 외, 2006. 12). 건설 산업의 시공 관리 기술에 있어 현재의 노동집약적인 관리 기술은 건설 공사가 대형화되고 복잡화되면서 그 한계를 드러내고 있다. 특히 건설 장비, 자재의 입·출고 상황 파악, 인력 투입, 배치 현황 등의 건설 자원 관리 및 공사 진척율 관리는 시공 기술자의 직접적인 관리로는 대처하기 힘든 수준으로 건설 공사가 대형화 되고 복잡화 되고 있다. 결국 많은 변수를 내재하고 있는 건설 공

* 비회원, 연세대학교 첨단융합건설연구단 연구교수, 공학박사
goldmunt@yonsei.or.kr
** 일반회원, 연세대학교 첨단융합건설연구단 간사, 공학박사
hyoungkwan@yonsei.or.kr
*** 일반회원, 연세대학교 첨단융합건설연구단 연구원, 석사과정
changyoonkim@yonsei.ac.kr
**** 일반회원, 중앙대학교 건축공학과 조교수, 공학박사
changwan@cau.ac.kr
***** 일반회원, 연세대학교 첨단융합건설연구단 부단장, 공학박사
shh6018@yonsei.ac.kr
****** 일반회원, 연세대학교 첨단융합건설연구단 단장, 공학박사
applymkk@yonsei.ac.kr
본 연구는 첨단융합건설연구단 연구비 지원에 의한 연구의 일부임. 과제번호 05첨단융합A01.

사의 특성상 이러한 복잡한 제반 관리 사항으로 인해 부적절한 의사결정을 내리기 쉬우며, 건설공기지연, 원가상승, 건설 품질 저하 등의 결과를 초래할 수 있다.

건설 현장의 자원 모니터링 자동화, 공종별 적시적소에 자재 조달, 인력 및 장비 투입 시간을 단축하여 선후 작업간의 대기 시간과 작업 소요 시간을 단축시킴으로써 건설 생산성 및 효율성 향상을 꾀할 수 있을 것이다. 특히, 건설 현장에서의 자재 관리를 자동화함으로써 자재 관리의 효율화를 극대화 할 수 있으며 이를 통하여 30% 이상의 공기 감소를 달성할 수 있을 것으로 기대된다(Edward et al., 2003). 이를 실현 가능하게 할 원천 기술로 차세대 유비쿼터스 환경을 실현시킬 핵심 기술로 각광을 받고 있는 RFID (Radio Frequency Identification)와 USN(Ubiquitous Sensor Network) 등의 첨단 센싱 기술의 융합은 차세대 건설 현장 내 자원 관리 자동화에 대한 새로운 기반을 조성할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 RFID와 USN 간의 연동 시스템을 이용하여 건설 자원에 대한 실시간 모니터링 기법을 제안한다. RFID/USN 연동 시스템에 대한 물리적 특성 파악, 현장 적용을 위한 시나리오 개발 및 현장 실증 시험을 통한 기술 적용성을 검증하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 USN와 RFID에 대한 연동 시스템 개발, 건설현장의 자재관리에 시험적으로 적용, 실증 테스트를 통한 현장 적용성 검증을 연구 범위로 한다. 상호 독립적으로 연구개발이 진행되고 있는 USN과 RFID를 연동하여 건설 현장에 적용함으로써 건설 현장의 자재에 대한 실시간 모니터링에 대한 시험적 모델을 제시한다. 또한, 원격지에 있는 현장 관리자를 위하여 기존 인프라네트워크 (CDMA : Code Division Multiple Access)를 이용하여 자재 정보를 관리자가 원할 경우 언제 어디서든 실시간으로 모니터링 하도록 외부 네트워크와 연동 시스템을 현장에서 적용 및 점검한다.

2 관련 연구

2.1 RFID 개요 및 기술 동향

RFID는 신성장동력산업 및 IT839 서비스항목으로 산자부와 정통부가 경쟁적으로 추진 중인 사업이다. RFID 기술은 모든 관심 대상 사물에 전자 태그(Tag)를 부착하고 무선 통신 기술을 이용하여 사물의 전자 태그에 저장된 정보를 실시간으로 감지해내는 기술이다. RFID는 기존의 바코드의 단점을 보완하여 관심 대상이 되는 사물에 대한 정보화를 가능하게 하여 관리가 필요한 사물에 대해 실시간 서비스를 제공함으로써 향후 유비쿼터스 환경을 실현시킬 핵심 기술로 활용될 것이다.

RFID 기술에 대한 국제 표준화는 1990년대 후반부터 국제 표준화기구인 ISO/IEC (International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission)와 사실상의 표준화 규격을 제시하고 있는 EPCglobal 두 기관에서 지속적으로 추진하고 있다. 이밖에 일본의 UID 센터 및 유럽의 ETSI(European Telecommunications Standards Institute), 미국 중심의 AIM, Inc. 등에서도 RFID 관련 연구 및 가이드라인에 대한 연구가 진행되고 있다. 국내에서는 2003년 이후 RFID 기술 도입에 대한 관심이 늘어나면서 관련 기술의 표준화 및 활성 보급을 위한 기구들이 형성되기 시작하였고 현재 국내 표준화를 활발히 추진하고 있다. 표 1은 주파수 대역 별 RFID Tag의 특성에 대한 간략한 개요이다.

표 1 주파수 별 RFID Tag

주파수	125.134 KHz	13.36 KHz	433.92 MHz	860~960 MHz	2.45 GHz
인식 거리	60cm 미만	60cm 이하	50~100 m	3.5~10 m	1m미만
동작 방식	passive	passive	passive	passive/ active	passive/ active
적용 분야	공정 자동화 출입통제 동물관리	수화물 관리 대여물품 관리 출입통제	컨테이너 관리 실시간 위치 추적	공급망 관리 통행료 징수	위조 방지

출처 : TTA 저널 제95호, [표준기술동향]RFID/USN, 이재용

건설 분야에서는 미국의 경우 카네기 멜론 대학에서 RFID를 이용한 자재관리시스템을 제시하였으며(Esin et al., 2007), 벡텔(Bechtel)사의 Red Hills 건설공사를 대상으로 실시한 미국건설산업연구원(CII)의 현장 실험에서 파이프 서포트(support) 및 행거(hanger) 자재의 위치 파악 및 추적 관리에 30%의 작업시간과 단축 효과가 있다고 제시하였다 (Edward et al., 2003).

2.2 USN 개요 및 기술 동향

USN이란 관찰 대상 지역 및 사물에 센서를 부착하여 관찰 대상 지역(온도, 압력, 오염 등)의 환경 정보 및 대상물의 상황 정보(ID, 위치, 균열 등)를 부착된 센서로부터 실시간으로 전송받아 최종 관리자 및 사용자가 대상물 혹은 대상 지역을 관리, 통제할 수 있도록 구성한 임시 네트워크(Ad-hoc network)이다. 향후 유비쿼터스 사회로 진화를 위해 반드시 구축되어야할 USN 기술은 RFID 기술과 함께 진화 중인 기술이며, 각종 산업 분야에 수요와 관심이 폭발적으로 증가되고 있는 분야이다.

USN은 HP의 CoolTown 프로젝트, MIT의 Smart Tag, MiThtil, Oxygen, 버클리의 Smart Dust 프로젝트, MS의 Easy Living, 일본의 초소형 칩 네트워크 프로젝트, 유럽의 Smart Its 프로젝트 등 국제적으로 다양하고 활발한 연구가 진행 중이이다.

현재 USN의 건설 분야 활용은 빌딩 관리, 교량 유지관리, 콘크리트 양생 모니터링 및 건설 현장 자재관리 분야로 점차 시도되고 있으나 원천 기술에 대한 실증 테스트 수준에 그치고 있다. 또한, 건설 분야에 대한 즉각적인 적용은 아직까지 USN 구성 부품이 고가로 인하여 도입을 꺼리고

있는 실정이며 국공립 연구소 위주로 사전 연구의 형태로 연구가 이루어지고 있는 상황이다.

3. 연구 내용

최근 RFID 와 USN이 건설 분야에 서서히 도입되고 있으며 몇몇 연구에서 실증테스트를 거치고 있으나, 기술적인 한계 및 건설 프로세스에 최적화 된 시스템을 갖추기는 경제적 요인 및 유지 관리적 요인에서 큰 호응도를 얻지 못하고 있는 듯하다. 본 논문의 주 연구 내용은 분리 독립적으로 연구가 수행되고 있는 RFID/USN 시스템에 대한 연동 시스템을 개발하고, 건설 현장 적용을 최적화시키기 위한 실증용 실험 시나리오를 제안하는데 있다.

3.1 RFID/USN 연동 시스템의 구조

현재 RFID 와 USN 은 각각 독립적으로 연구 및 개발되고 있는 실정이나, 궁극적으로 RFID Tag의 기능이 센싱이 가능한 센서 노드로 발전하여 향후 상황 인식이 가능하고 네트워킹 기능이 추가된 유비쿼터스 센서 네트워크로 진화할 것이다. 각각 분리된 연구 및 개발 과정에 있기 때문에 건설 분야에서도 RFID 와 USN의 적용은 그 한계성을 벗어나지 못하고 있으며, RFID/USN에 대한 건설 분야의 킬러 애플리케이션을 찾아 내지 못하고 있는 실정이다. 또한, 건설 현장의 다양한 공종을 아우를수 있는 최적화된 비즈니스 모델을 개발하지 못하고 있는 실정이다.

본 논문에서 제안하고자 하는 건설 현장의 자재 및 장비 위치 추적을 위한 RFID/USN 연동 시스템의 구조는 개념적으로 3 계층으로 구분할 수 있다. 먼저, 계층 1에서는 장비 및 자재에 부착하여 각종 데이터(ID, 생산 공장, 자재명, 종류, 생산 일자, 납품 현장 등)를 저장할 RFID Tag과 건설 현장의 장비 및 인력에 부착할 센서 노드들이 최하부 계층에 속하게 된다.

중간 단계인 계층 2에서는 각종 자재에 부착한 RFID Tag 과 장비 및 인력에 부착한 각종 센서로부터 무선 통신을 이용하여 1차적인 정보를 획득할 RFID Reader 와 센서 노드가 놓이게 된다. 1차적으로 수집된 원천 데이터를 최종적으로 수집하는 노드로 전송하기 위한 중간 계층의 역할을 수행한다. 이 계층의 핵심적인 역할을 수행하게 될 노드는 RFID와 센서 노드를 연동한 RFID Sensor Node 이다. 이 노드는 RFID Reader 와 USN을 구성하는 센서 노드를 하나로 통합한 노드이다. 즉, 각종 자재에 부착된 Tag을 RFID Reader 가 읽어 들이고, 읽어 들인 Tag 정보를 시리얼 인터페이스를 통해 센서 노드로 전달한다. RFID와 센서 노드가 통합된 노드, RFID Sensor Node 는 상호간 무선 통신이 가능하며, RFID Reader 는 900MHz 의 주파수 대역을 사용하고 센서 노드는 2.4GHz 의 주파수 대역을 사용하여 두 시스템간의 주파수 충돌을 제거하였다. 동일한 2.4GHz 대역의 주파수를 사용할 경우 RFID Reader 의 출력 강도가 센서 노드보다 높기 때문에 주파수 간섭으로 인하여 센서 노드 간의 무선 통신 성능에 치명적인 영향을 야기할 수 있다.

마지막 단계인 계층 3에서는 RFID/USN 연동 시스템의 최종 데이터 수집 단계이며, 외부 망과의 연동 부분이다. USN은 관찰 대상 지역에 무작위로 뿌려진 센서 노드들이 무선 통신을 이용하여 최종 데이터 수집 노드인 싱크 노드(Sink Node)로 데이터를 전달하게 된다. RFID/USN 연동 시스템에서 싱크 노드의 역할을 수행하게 되는 싱크 모듈을 랩탑 컴퓨터에 시리얼 인터페이스로 연결하여 각종 Tag 정보와 센싱 정보들을 싱크 노드가 수집하게 된다. 최종 사용자 및 관리자(건설 기술자)가 원격지에 있을 경우에는 외부 네트워크로 데이터를 전달하여 최종 사용자에게 현장 데이터를 전달하게 한다. 외부 네트워크와 USN의 연동을 위하여 프로토콜 변환 역할을 수행하게 될 게이트웨이가 필요하며, 이를 위하여 랩탑 컴퓨터에 CDMA 네트워크와의 연동을 위하여 CDMA 모듈을 USB(Universal Serial Bus) 인터페이스로 연결한다. 랩탑에 연결된 CDMA 모듈이 CDMA 네트워크를 통하여 원격지에 있는 건설 기술자에게 건설 현장 데이터를 최종적으로 전달하게 된다.

크게 3가지 계층 구조를 가지는 네트워크 구조는 그림 1과 같이 나타낼 수 있으며, 이는 본 논문에서 필드 테스트로 사용하고자 하는 RFID/USN 연동 시스템의 구조이다.

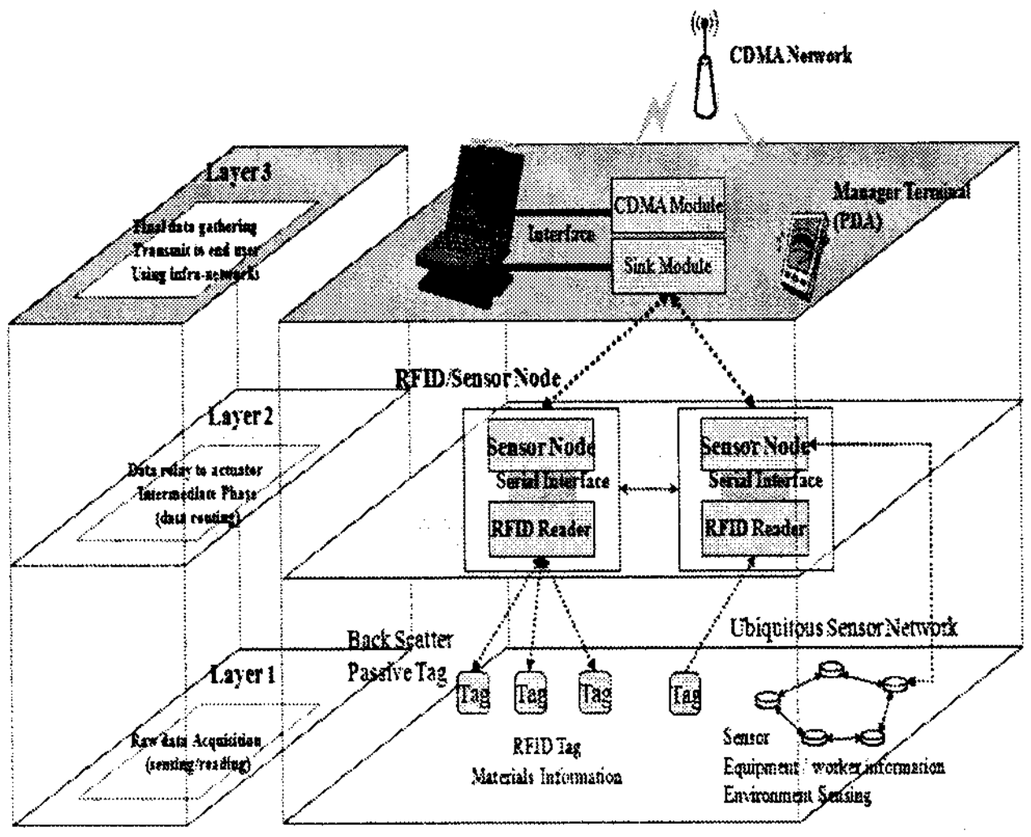

그림 1. RFID/USN 연동시스템 계층구조

3.2 RFID/USN 연동 시스템의 Tag 인식율

표 2와 3은 각각 RFID Reader의 인식율 실험의 결과를 보여준다. RFID Reader의 Tx(송신)/Rx(수신) 안테나로부터 수신된 Tag 정보가 연동 노드의 무선 통신을 담당하는 Sensor Node를 이용하여 싱크 노드로 전달한 데이터를 랩탑에서 보여주는 결과이다.

RFID Reader에 Tx/Rx 안테나 각각 하나씩 장착하였으며 사용된 Tag의 수는 총 9개를 사용하여 인식되는 개수를 나타내었다. 표2는 RFID Reader의 Tx 안테나를 위치시킨 방향을 기준으로 0° 로 하여 90° 범위 내에 배치한 Tag의 인식율을 나타나는 결과이며, 표3은 Rx 안테나 측의 인식율을 보여준다. 각도의 값이 클수록 Tag의 인식율이 저조하게 나타나는 결과를 보는데, 이는 900MHz 대역 주파수의 직진성으로 인하여 안테나를 기준으로 넓게 퍼져있는 Tag의 인식율이 다소 떨어진다는 것을 시사한다.

현재 실험한 RFID 시스템은 RFID Tx 안테나를 통하여 전송되는 전파가 Tag에 반사되면서 나가는 전파에 Tag 정보를 실어 보내는 자체 배터리가 장착되지 않은 Passive Tag을 사용하였으므로 거리에 따라 인식율이 현격히 떨어지는 것을 볼 수 있다. 보다 높은 인식율을 확보하기 위해

서는 자체 배터리가 내장된 Active Tag을 사용하는 방법과 Tx/Rx 안테나를 다수 개 장착하는 방법이 있을 것이다.

표 2. 수평 각도와 거리에 따른 Tx 안테나 측 인식율

거리 \ 각도	0	15	30	45	60	90
1m	9	9	9	5	5	-
2m	9	9	8	6	-	-
3m	6	5	3	3	-	-
4m	2	4	3	1	-	-
5m	1	4	-	-	-	-

표 3. 수평 각도와 거리에 따른 Rx 안테나 측 인식율

거리 \ 각도	0	15	30	45	60	90
1m	9	9	7	3	1	-
2m	9	6	4	3	-	-
3m	6	-	-	-	-	-
4m	2	-	-	-	-	-
5m	1	-	-	-	-	-

또한, RFID Reader에서 읽어 들인 Tag 정보를 RFID Reader에 장착된 Sensor Node를 사용하여 무선 통신을 사용하여 싱크 노드에게 전달하는 과정에서는 데이터 에러가 발생하지 않았으며, 2.4GHz 대역의 주파수 특성으로 인하여 중간에 설치된 콘크리트 부재등 장애물을 통과하여 데이터가 전달 될 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

3.3 RFID/USN 필드 테스트 모델

필드 테스트 시나리오 2는 그림 3에서 도식화한 바와 같다. 자재가 반입·반출되는 현황 파악을 위하여 건설 현장 입구에 RFID Sensor Node를 배치하고 자재 적재를 위한 저장소 마다 각각 RFID Sensor Node를 배치한다. 중앙 관리자에게 자재 입출고 현황 데이터를 전달하기 위하여 무선 센서 네트워크를 현장의 적소에 설치한다. 현장에 입고되는 자재는 입구를 통과할 때 Reader가 자재에 부착된 Tag을 인식하고 장착된 센서 노드와 구축된 무선 센서 네트워크를 통하여 데이터 수집 노드인 싱크 노드로 데이터를 전달한다.

입고된 자재가 현장을 이동하여 자재 저장소에 배치될 때 저장소에 배치된 Reader가 Tag을 인식하고 무선 센서 네트워크의 데이터 중계를 통하여 싱크 노드에게 전달하게 된다. 센서 노드의 통신 반경이 약 50~70m이며 대형 건설 현장의 경우 데이터 중계가 제대로 이루어지지 않을 것을 감안하여 적절한 장소에 무선 센서 네트워크를 설치한다. 또한 배치된 센서 노드는 현장의 각종 환경을 센싱하여 자재 정보가 담긴 Tag 정보와 센싱 정보를 통합한 데이터를 중앙 싱크 노드로 전달하게 된다.

Tag 정보와 센싱 정보를 최종적으로 수집하는 싱크 노드는 현장 관리자의 Hand-held Device 혹은 랩탑 컴퓨터에 연결되며, 작업 종료 시간 이후의 자재에 대한 이동 현황은 이동통신망(CDMA)을 이용하여 원격지의 관리자에게 전달할 수 있다.

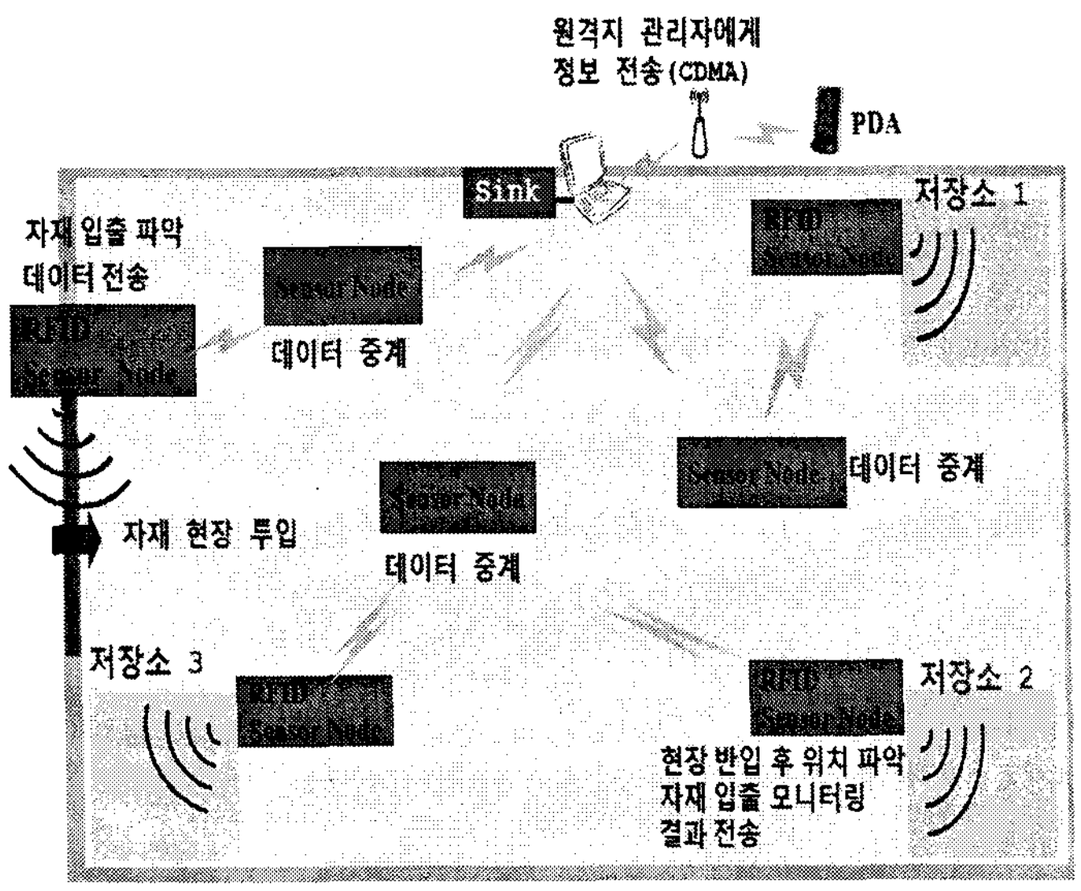

그림 2. 필드 테스트 시나리오

4. 결론

본 논문에서는 건설 현장의 장비 및 자재의 실시간으로 관리하기 위하여 현재 각각 독립적으로 연구 개발되고 있는 RFID 및 USN 연동 모델을 제안하였고, 건설 현장 실증 테스트를 위한 실험 모델을 수립하였다. 900MHz 대역의 비교적 장거리 인식이 가능한 RFID와 다양한 환경 센싱과 무선 통신이 가능한 USN을 상호 연동하여 건설 분야에 적용함으로써 상당히 의미 있는 시사점을 제시할 수 있을 것으로 사료된다. 유비쿼터스 환경의 실현을 위한 신기술로 각광을 받는 두 시스템의 연동 자체에 대한 의미를 부여할 수 있을 것이며, IT 기반 원천 기술의 킬러 애플리케이션의 한 분야로 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 선험적 실험을 수행함으로써 건설 및 기타 산업 분야에 적용 시 발생 가능한 기술적 한계 및 애로 사항을 미리 검진해 볼 수 있는 훌륭한 기회가 될 것이다.

참고문헌

1. 건설산업연구원, “글로벌 수준의 건설 현장 만들기 전략”, 신우씨앤피, 2006
2. 김선진, 박석지, 구정은, 김내수, “RFID/USN 산업동향 및 발전전망”, 전자통신동향분석 제20권 제3호, 2005
3. 김기일, “센서 네트워크 기술”, 한국과학기술정보연구원 동향정보분석팀 미래선도기술 이슈분석보고서, 2007
4. 한국전산원, “2005 USN 현장시험 결과보고서”, 한국전산원, 2005
5. 한국전산원, “2006 USN 현장시험 결과보고서”, 한국전산원, 2006
6. Edward J. J. et al., "Implementing Radio Frequency Identification in the Construction Process", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 2003.
7. Song, J. C. et al., "Tracking the Location of Materials

on Construction Job Sites", Journal of Construction Engi neering and Management, ASCE, 2006
8. Paul M. G. et al., " The application of active radio frequency identification technology for tool tracking on construction job sites", Automation in Construction, Elsevier, 2006

Abstract

Location tracking automation of resources in construction industry is one of the most important procedures to improve construction project performance and reduce the period of construction. Recently, location tracking technologies have proven to be effective in tracking construction materials and equipment in real time through the instrumentality of RFID (Radio Frequency Identification). By using wireless communication and inter-working system between RFID and USN, it is possible that construction engineers receive the location information of construction resources without additional efforts that move the RFID reader to read tags periodically. In the inter-working system, RFID reader delivers the acquired materials information to sensor node which is connected by serial interface. Then sensor node transmits the received data to the data aggregation terminal that is a sink node. The data aggregation terminal can transmit collected data to construction manager who is out of construction site using infrastructure such as CDMA(Code Division Multiple Access) network. The combination model of the two system and field test scenarios are presented in this paper.

Keywords : RFID, USN, Inter-working System, Material Tracking, Construction Automation