

RFID를 응용한 콘크리트 타설 모니터링 시스템의 적용방안

Application of a RFID-Based Monitoring System for the Concrete Pour Process

문 성 우* 홍 승 문**

Moon, Sungwoo Hong, Seungmoon

요 약

최근 유비쿼터스 관련 기술을 건설관리에 적용하고자 하는 노력이 진행되고 있다. 유비쿼터스 기술을 건설관리에 도입하기 위해서는 웹 환경의 사용자 환경뿐만 아니라 하드웨어와 소프트웨어 기술을 접목해야 한다. 하드웨어와 소프트웨어를 융합함으로써 건설 프로세스 상에서 생성되는 데이터를 실시간으로 획득하여 신속하게 진도현황을 파악할 수 있다. 본 논문의 목적은 RFID (Radio Frequency Identification) 기술을 응용하여 콘크리트 타설 프로세스 상의 정보관리를 개선하는 것이다. 연구 수행을 위해서 RFID 기술을 기반으로 하는 콘크리트 모니터링 프로세스를 수립했다. 또한 RFID 리더기와 태그를 사용하여 콘크리트 타설 프로세스 상에서 생성되는 데이터를 자동으로 처리하는 u-CPS (Ubiquitous Concrete Pour System)의 프로토타입을 개발했으며, 아파트 타설현장에 적용되어 시스템의 적용성을 검증했다. u-CPS는 콘크리트 타설 프로세스 상에서 생산과 품질정보를 제공하여 레미콘 트럭의 배치간격 조정 등 원활한 작업계획을 세우기 위한 의사결정 정보를 제공하는 것으로 나타났다.

키워드 : 유비쿼터스, RFID, 태그, 건설관리, 콘크리트 타설 프로세스, 생산, 품질

1. 서론

1.1 배경

건설시공 시 콘크리트 타설은 구조물의 내구성과 성능을 결정하는 중요한 작업이다. 콘크리트 타설 프로세스를 진행하기 위해서는 콘크리트 배치 공급자와의 협조하에 콘크리트 생산과 공급계획을 사전에 수립해야 한다.

계획수립 시 콘크리트 생산 그리고 공급과 관련한 배치간격, 운반시간, 현장타설 소요시간 등 정보는 생산과 품질을 위한 중요한 관리사항이 된다. 콘크리트 타설 진행 중에는 배치 플랜트와 현장 간 긴밀한 연락을 통해서 수시로 배치간격과 콘크리트 슬럼프 등 품질과 관련한 사항을 모니터링해야 한다.

콘크리트 타설 시 물량, 슬럼프, 강도 등 콘크리트와 관련한 세부사항은 송장을 통해서 전달된다. 레미콘 트럭과 관련한 출발, 도착, 타설간격 등 기타 사항은 수작업에 의해서 기술된다.

콘크리트 타설에 관한 전반적 진행현황은 현장에 파견된 배치 플랜트 작업자가 핸드폰을 사용하여 전달하게 된다.

기존 콘크리트 타설작업에서 사용하는 정보전달 방법은 배치 플랜트와 현장 간 커뮤니케이션을 유기적으로 처리할 수 있도록 개선해야 할 필요가 있다. 콘크리트 타설정보가 효과적으로 전달되지 못할 경우 레미콘 차량이 대기하는 시간이 길어지거나, 레미콘 차량이 적시에 도착하지 못하여 콘크리트의 생산성이 떨어지거나 품질이 나빠질 수 있기 때문이다.

콘크리트 타설 작업의 커뮤니케이션을 높이기 위해서는 프로세스 상에서 생성되는 데이터를 일괄적으로 처리하는 정보유통 체계를 구현해야 한다. 정보유통을 개선함으로써 타설량, 예상 타설시간 등을 예측하여 적절하게 작업계획을 세울 수 있다. 또한 콘크리트 타설에 관한 데이터를 저장하고 조회하고 활용하여 생산과 품질 관리에 활용할 수 있어야 한다. 콘크리트 타설정보에 대한 체계적 관리는 콘크리트 타설정보를 실시간으로 공유하여 배치 플랜트와 현장의 작업자가 적절하게 의사결정을 수행하는데 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

유비쿼터스 기술은 건설 프로세스 상에서 생성되는 데이터를 모니터링할 수 있는 기술을 제공한다. 온라인에서 송수신되던 건설정보가 유비쿼터스의 무선환경에서 처리됨으로써 현장에서

* 종신회원, 부산대학교 토목공학과 조교수, 공학박사 (교신저자), sngwmoon@pusan.ac.kr

** 일반회원, 부산대학교 토목공학과, 석사과정, u1m2@naver.com

필요한 설계정보, 기술정보에 접근하며, 중단없이 작업을 수행할 수 있다. 본 논문에서는 콘크리트 타설작업의 프로세스를 높이기 위한 한 방안으로 RFID 기술을 응용하여 u-CPS의 프로토타입을 개발하고, 현장적용을 통해서 유비쿼터스 환경도입의 타당성을 검토한다.

1.2 연구의 목적과 방법

본 논문의 목적은 콘크리트 타설 작업 시 커뮤니케이션을 높이기 위하여 RFID (Radio Frequency Identification) 기술을 기반으로 데이터의 수집 적용방안을 제시하는 것이다. RFID가 제공하는 실시간 데이터 처리 기술을 활용하여 배치 플랜트와 현장 간 정보를 일괄적으로 처리하기 위해서 u-CPS (Ubiquitous Concrete Pour System)를 개발하여 콘크리트 타설 프로세스의 개선을 시도했다. 결과적으로 콘크리트 타설 프로세스 상에서 생성되는 데이터를 실시간으로 획득하여 관리자의 의사결정을 신속하고 정확하게 함으로써 콘크리트 타설의 생산과 품질관리를 지원하고자 한다.

본 연구는 1) 현행 콘크리트 타설 프로세스에 대한 문제점과 요구사항 분석, 2) 콘크리트 타설 프로세스 개선 계획, 3) u-CPS 프로토타입의 개발, 4) u-CPS의 현장적용, 그리고 5) 현장적용 결과에 대한 분석 등의 순서로 진행됐다 (그림 1). 본 연구를 위해서 개발된 u-CPS의 프로토타입은 RFID 리더기와 태그를 사용하여 콘크리트 타설 중에 생성되는 데이터를 자동으로 처리할 수 있다. u-CPS는 콘크리트 타설 관련 데이터를 처리하여 콘크리트 타설과 관련한 생산성과 품질정보를 제공하며, 아파트 현장에 실제로 적용되어서 시스템 성능을 검증했다.

2. 관련연구

현재 국가에서 추진하고 있는 정보화 정책은 전자태그, 와이브로(Wibro, 초고속휴대인터넷), 임베디드 시스템과 같은 유비쿼터스 기반을 발전시키고 있다. 유비쿼터스 기술의 발전은 다양한 IT 기술을 촉진시켜서 시간과 장소의 한계를 넘는 정보전달을 가능하게 한다. 유비쿼터스 환경의 발전에 따라서 제조와 서비스 분야 등 타 산업체에서는 제품의 재고관리 (델사의 RFID), 생산중인 제품의 추적 (씨게이트 RFID 시스템), 물품관리 (월마트의 RFID 시스템) 등 다양한 용도를 위해서 적용되고 있다. 자연환경에서 수행되며 공간이 설계와 시공의 기본이 되는 건설사업의 특성을 고려했을 때 RFID 기술은 중요한 역할을 한다. RFID 기술은 건설공사에 투입되는 자원에 대한 실시간 관리를 위해서 적용될 수 있으며, 생산성 향상을 위한 기회를 창조할 것이다.

건설산업에서는 RFID와 USN (Ubiquitous Sensor Network) 기술 등을 이용하여 유비쿼터스 연구를 진행하고 있다. USN의 경우 버클리대학은 원격센서를 이용하여 구조물을 모니터링하고, 실시간으로 데이터를 획득하기 위한 연구를 진행하고 있다 (Glaser 외 2005). 국내에서도 USN에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 한국전산원 (2005)에서는 건설현장의 콘크리트 구조물의 양생에 대한 이력검사를 위해서 USN을 적용하기 위한 실험을 실시했으며, 이용근 외 (2005)는 USN을 사용하여 매스 콘크리트 타설 시 양생온도 측정의 효율화를 시도했다.

반면 RFID의 경우에는 건설현장 자재의 입출, 인력 관리 등 자원관리를 위한 방안으로 적용하고 있다. RFID 태그는 교량, 도로, 댐, 건물 등 구조물의 라이프사이클 측면에서 정보관리를 가능하게 한다. RFID 기술적용의 필요성에 따라서 건설분야에서 이에 대한 연구가 시작되고 있다. Jaselskis 외 (1995)는 선도적인 RFID 연구를 한 바 있으며, 바코드의 한계점을 극복하기 위한 방안으로 RFID의 적용성을 검토했다. 특히 연구자들은 콘크리트 타설 프로세스를 예를 들어서 개념적 적용방안을 제시했다. Jaselskis (2003)는 또한 워크샵 과정을 통해서 자재추적을 위한 RFID 기술적 가능성을 검토했다.

장문석 외 (2004)는 RFID 기술을 건물 외벽공사에 적용하기 위해서 프로세스 분석과 함께 IDEF0 모델과 시나리오를 수립했다. 삼성물산 (2004)은 건설현장에서 자동으로 데이터를 획득하기 위한 방안의 하나로 RFID의 타당성을 논의했고, 콘크리트 타설에 적용하기 위한 프로세스를 활동 다이어그램 (Activity Diagram)으로 표현했다. Yagi 외(2005)는 IT를 기반으로 하는 자재중심의 건설관리 모델을 적용하기 위해서 자재를 추적하기 위한 RFID 적용방안을 제시했다. 자재위치 추적은 입출고 등

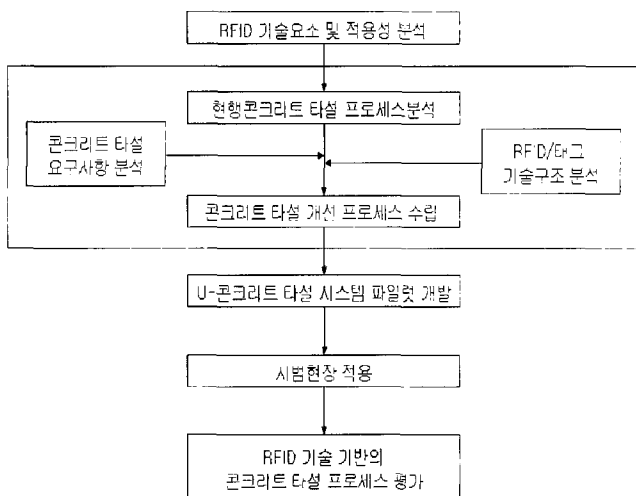


그림 1. 연구의 접근방법

자재관리를 위해서 중요한 요소로서 이남수 외 (2006)는 RFID와 무선 네트워크를 이용하여 자재의 위치를 실시간으로 파악할 수 있는 시스템 방안을 제시했다.

이원동 (2002)은 콘크리트 타설 시 콘크리트의 운송효율을 증대시키기 위해서 GPS를 적용한 바 있다. GPS를 활용하여 믹서트럭의 위치를 실시간으로 파악함으로써 콘크리트 배치 생산과 운송의 효과를 높이고자 했다. 본 연구에서는 콘크리트 타설의 효과를 높이기 위한 다른 방안의 하나로 RFID 태그를 활용하여 콘크리트 타설과 관련한 데이터를 실시간으로 제공한다.

3. RFID 콘크리트 타설 모니터링 환경 구축을 위한 기술요소

유비쿼터스는 누구든지 어디서나 자신이 필요한 정보를 얻을 수 있는 환경이다 (Wiser 1991). 유비쿼터스 환경의 도래는 그동안 진행되어 왔던 건설 정보화에 대한 재정립이 필요하게 됐다. 즉, 건설정보 시스템 구축을 위한 단순한 웹 환경의 개발에서 벗어나 실시간으로 데이터를 획득할 수 있는 인터페이스 기능을 동시에 구축해야 한다.

RFID 기술은 유비쿼터스의 핵심기술 중 하나로서 물체에 부착시켜서 유·무선 네트워크 통신으로 실시간 정보를 획득, 처리, 활용하는 기능을 제공한다. RFID 기술을 응용하기 위해서는 기본적으로 1) 태그, 2) 안테나, 3) 리더기, 그리고 4) 수집된 데이터를 처리하고 유용한 정보로 변환하기 위한 응용환경이 있어야 한다. 표 2는 RFID 기술을 기반으로 콘크리트 타설 모니터링 환경을 구축하기 위해서 적용된 기술요소를 보여준다.

첫째, RFID 태그는 수동형 (passive)을 사용했으며, 수동형 태그는 자체적인 전원을 가져서 신호를 보내는 능동형(active) 태그와 달리 저주파 에너지에 의하여 작동하여 무선신호를 보낸다. 태그는 RFID 안테나를 통해서 읽기와 쓰기가 가능하지만, 본 연구에서는 태그를 레미콘 트럭을 추적하기 위한 식별자로 사용했기 때문에 읽기 기능만 적용했다.

둘째, 안테나는 태그정보를 읽는 기능을 수행한다. 본 연구에서는 배치 플랜트에 2개, 그리고 현장에 3개 등 총 5개의 안테나를 설치하여 사용했다. 각 안테나는 태그에서 전송되어 오는 RFID 시그널을 감지하며, 시그널이 감지된 시점이 믹서트럭의 통과시점으로 기록된다.

셋째, 리더기는 안테나에 연결되어 있으며, 안테나에서 송신한 데이터를 처리하여 PC로 전송한다. 본 연구에서는 적용하지 않았지만 전송하는 데이터의 양이 많을 경우에는 미들웨어 기술을 사용하여 운영환경 간 데이터의 처리를 원활히 할 수 있다.

마지막으로 응용환경은 사용자가 태그정보를 활용하기 위해

서 필요한 부분으로써, 사용자가 태그와 관련한 정보를 검색, 조회할 수 있다. 응용환경의 개발은 ASP.Net과 MSSQL을 사용하여 개발했다. 응용환경은 배치 플랜트 공급자와 시공자가 동시에 접근하여 사용할 수 있도록 웹 환경으로 구현됐다.

표 1. 시스템 구축을 위한 사양과 내용

| 항목 | 사 양 | 내 용 | 적용 수량 |
|-----------------|--|--|-------|
| 태그 | -주파수: 960MHz -Passive -작동반경 최대 5.6m -읽기기능 -60바이트 저장용량 (알파벳 60자) | -태그 고유번호 저장 (Unique ID No.) | 20개 |
| 안테나 | -태그 정보 읽기 -관독거리 최대 10m | -콘크리트 타설 프로세스의 각 축점에 설치 | 5개 |
| 리더기 | -태그 데이터 송신 -이더넷 (Ethernet) 연결 -리더기 1대당 안테나 4개 연결 가능 -EPC-Compliant 태그의 읽기와 쓰기 | -XML 문서 출력 -배치 플랜트와 콘크리트 타설 현장에 설치 | 2개 |
| 응용 환경 및 데이터 베이스 | -ASP.Net -MSSQL | -사용자 환경 제공 -태그번호 저장 -태그번호와 관련한 타설정보 저장 | 1식 |

4. 일반적 콘크리트 타설 프로세스

콘크리트 타설 프로세스는 시공자가 배치 플랜트 공급자에게 제출하는 주문에서 부터 시작된다. 시공자는 콘크리트의 양과 규격, 운송날짜 그리고 배치간격을 명시하여 배치 플랜트에 통지한다. 배치 플랜트는 기준배합을 결정하고 사용재료를 조달한 후 계획된 스케줄에 따라서 콘크리트를 생산한다. 배치 플랜트는 현장까지의 운송시간을 고려하여 레미콘 트럭의 투입계획을 세우고, 적정한 수의 레미콘 트럭을 투입한다. 현장에서는 배치 플랜트 공급자의 직원이 파견되어서 레미콘 트럭의 운송상황을 체크하고, 병행하여 품질검사를 실시한다. 콘크리트 타설팀은 펌프카를 사용하여 운송된 콘크리트를 타설한다. 타설이 끝난 레미콘 트럭은 배치 플랜트로 회차하여 다음 순서의 콘크리트 운송을 준비한다.

이와 같이 콘크리트 타설은 주문, 생산, 운반, 타설, 품질관리, 그리고 회차의 순환적인 프로세스로 구성된다. 다단계로 진행되는 프로세스라는 것을 고려할 때 작업에 참여하는 주체간의 커뮤니케이션은 생산성과 품질을 위해서 매우 중요하다. 예를 들어서 레미콘 트럭의 배치간격은 콘크리트의 생산성과 품질에 직접적인 영향을 가져오며, 레미콘 트럭이 적절한 시각에 도착하지 못할 경우 콘크리트 타설작업의 생산성이 지연될 수 있다. 반

면 레미콘 트럭이 대기하는 시간이 길어질 경우 콘크리트 품질이 저하될 수 있다.

현재 콘크리트 타설 프로세스에서는 배치간격의 조정 등 의사결정을 불충분한 정보 하에서 관리자의 직관적 판단에 의존한다. 품질과 생산성에 관한 문제점을 극복하기 위해서는 콘크리트 타설 현황정보를 실시간으로 공유하여 콘크리트 타설을 체계적으로 계획하고 관리하는 체계가 필요하다. u-CPS는 콘크리트 타설을 체계적으로 관리하기 위한 데이터를 생성하는 기능을 제공한다.

5. RFID 기술을 응용한 콘크리트 타설 모니터링

5.1 유비쿼터스 기반의 콘크리트 타설관리 시스템 구조

RFID 기술 기반의 콘크리트 타설 모니터링 시스템인 u-CPS는 RFID와 태그를 이용하여 배치 플랜트와 현장 간 콘크리트 타설 프로세스의 현황정보를 제공하기 위한 구조를 갖는다 (그림 2). u-CPS의 데이터는 서버에 저장되며, 인터넷을 통해서 배치 플랜트와 현장에서 실시간으로 콘크리트의 운송과 타설 데이터를 업데이트 할 수 있다. u-CPS는 배치 플랜트의 플랜트관리시스템과 연계되어 배치정보를 자동으로 받을 수 있도록 인터페이스를 구성할 수 있다. 본 연구에서는 플랜트관리시스템과의 인터페이스 부분은 구현되어 있지 않으며, 수작업으로 배치정보를 입력했다.

태그는 레미콘 트럭에 부착되어서 레미콘 트럭의 출발과 도착에 대한 정보를 제공한다. 태그에는 단순한 태그번호만 입력되어 있다. 태그와 관련한 레미콘 트럭과 배치 콘크리트 정보는 데이터베이스에 저장된다. 안테나는 레미콘 트럭에 부착되어 있는 태그정보를 읽는다. 안테나는 RFID 리더기에 연결되어 있으며,

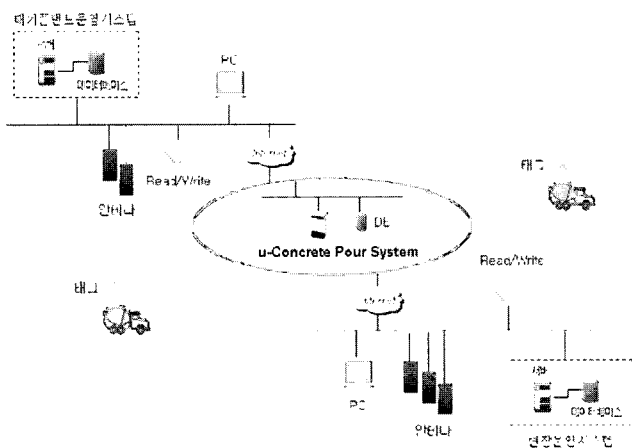


그림 2. RFID 태그를 이용한 콘크리트 타설 시스템 구조

본 연구에서 사용한 리더기 한 대에는 안테나 4개까지 연결할 수 있다. 리더기는 배치 플랜트와 현장에 위치한 PC에 인터넷 코넥터로 연결된다. 컴퓨터 서버에 설치된 프로그램은 IP 주소를 이용하여 리더기를 인식할 수 있다. 각기 다른 컴퓨터가 하나의 데이터베이스에 저장되고, 웹상에서 조회가 가능함으로 인터넷 상에서 언제나, 어디서나 콘크리트 타설 현황을 파악할 수 있게 된다.

5.2 XML에 의한 데이터 인터페이스

본 연구에서 제시한 u-CPS 환경에서 태그는 태그 인식번호와 인식시간 등의 데이터만 제공한다. 태그와 관련된 콘크리트 배치, 즉 레미콘 트럭, 조종원 등 기본정보와 슬럼프, 염화칼슘, 공기량 등 품질정보는 u-CPS의 데이터베이스 테이블에 저장되어 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 기본정보와 품질정보는 배치 플랜트 시스템과 인터페이스 되어서 자동으로 처리할 수 있으나 본 연구에서는 수작업으로 데이터 값을 입력했다.

안테나에서 읽혀진 태그정보를 전달하기 위한 방법 중의 하나는 XML을 활용하는 것이다. 본 연구에서 사용된 리더기는 안테나에서 읽혀진 태그정보를 XML 형태로 제공한다. XML 문장은 리더기에서 송신하며, 여기에는 예를 들어서 <Tag id="14ea50a" type="30080507a001001" time="9bed36" RPL="1" /> 와 같이 태그번호와 태그를 읽은 시각 (time)이 16진수로 저장되어 있다. 이 경우 컴퓨터의 프로그램이 태그정보를 인식하기 위해서는 XML에서 태그정보를 추출하여 데이터베이스에 저장해야 한다.

XML 형태로 전송된 태그번호와 읽은 시점은 SQL 데이터베이스 테이블에 저장된다 (그림 3). 테이블에서 태그번호 (tag_number)는 주키(Primary Key)의 역할을 하며, 각 측정점에서 읽혀진 시점과 매핑된다. 각 태그별로 저장된 시점을 기준으로 각 측정 간 소요시간을 계산하여 임시 테이블에 저장한 후 사용자 화면에 보여준다.

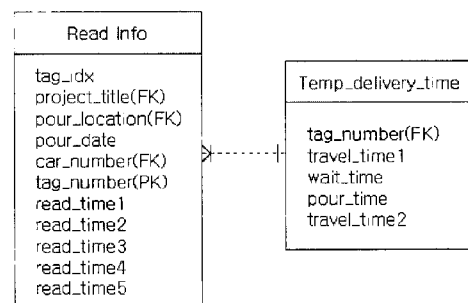


그림 3. 태그 정보에 대한 데이터베이스 테이블 관계

5.4 성능 테스트

RFID 기술을 건설현장에 적용하기 위해서는 태그 인식의 성능을 검토해야 한다. 필요한 성능은 적용 시스템의 요구조건에 따라서 개별적으로 테스트해야 한다. 예를 들어서 건설자재 모니터링 시스템의 경우에는 태그의 방향과 위치, 그리고 안테나의 개수 등이 중요한 성능요소가 된다 (한재구 외 2006). 콘크리트 타설 모니터링을 위해서 고려해야 할 성능요소에는 배경재질, 허용각도, 허용거리, 그리고 차량운행속도 등이 있다. 이중 태그 허용거리와 차량운행속도에 대한 인식은 제품의 특성에 따라서 차이가 있다. 배경재질과 허용각도는 일반적 성능을 가지며, 이에 대한 테스트 결과는 그림 4와 같다.

배경재질은 패널이 위치하는 배경을 의미한다. 태그 인식률은 주위 사물에 영향을 받는다 (그림 4.a). 주변이 개방된 야외에서 유리, 종이, 나무 등의 배경에 태그를 붙이면 인식률이 높아진다. 그러나 콘크리트 또는 철관을 배경으로 태그를 붙였을 경우에는 태그를 인식할 수 없다. 레미콘 차량에 태그를 부착하면 차량소재의 특성으로 인하여 안테나가 태그를 인식할 수 없다. 이 경우 인식률을 향상시키기 위해서는 태그를 종이판넬 위에 부착하여 레미콘 트럭 허리부분에 위치시켜야 한다.

허용각도는 안테나를 중심으로 태그와 리더기의 각도에 의해서 결정된다 (그림 4.b). 허용각도를 측정하기 위해서 리더기와 안테나 간 거리를 1m로 일정하게 하여 안테나의 정 가운데서부터 15°씩 태그를 이동시켰다. 테스트에서는 45°에서 70%정도의 인식률을 나타냈으며 60°로 증가시키면 50%의 인식률을 보였다.

한재구 외 (2004)가 논한 바와 같이 안테나의 개수는 인식률을 높이기 위해서 적정하게 설치해야 한다. 특히 자재관리를 위해서 태그를 적용할 경우에는 태그의 위치가 일정하지 않으므로 안테나를 여러 대 설치해야 한다. 본 연구에서는 레미콘 트럭에

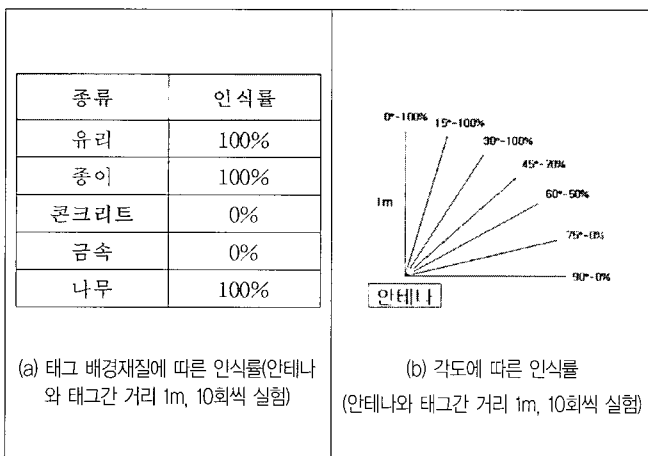


그림 4. RFID 태그 인식 테스트 결과 (10회 시행시)

태그를 부착했으며, 부착위치가 일정하므로 측정별 한 대의 안테나를 사용했다.

6. 시범현장 적용 및 결과

6.1 콘크리트 타설 모니터링 프로세스 설정

본 연구에서는 아파트 건설현장을 시범현장으로 선정했다. 배치 플랜트와 현장 간 거리는 약 8km이며, 콘크리트 타설량은 120m³ 이었다. 그림 5는 시범현장 적용을 위해서 수립한 RFID 기술을 적용하는 콘크리트 타설 모니터링 프로세스를 보여준다. 콘크리트 타설은 주문, 생산, 운반, 타설, 품질관리, 그리고 회차 등 순환적인 단계로 수행했다.

레미콘 트럭 차량에는 고유번호가 부여된 태그를 부착했다. 태그와 관련한 조종원, 차량번호 등 레미콘 정보는 콘크리트 배치 시작 전 시스템 서버에 저장했다. 태그 정보를 읽기 위해서 배치 플랜트와 타설현장에는 각각 2개와 3개 등 모두 5개의 측정점을 설치했다. 배치 플랜트에는 1) 레미콘 트럭의 출하와 2) 레미콘 트럭의 입하 측정 등 2개의 측정점을 설치했고, 타설현장에는 1) 레미콘 현장도착, 2) 타설시작, 그리고 3) 타설종료 등 3개의 측정점을 설치했다.

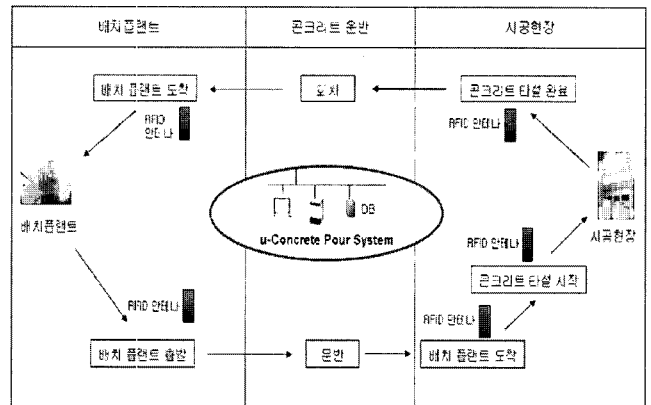


그림 5. RFID 태그 기술을 적용한 콘크리트 타설 프로세스

RFID 기반의 콘크리트 타설 모니터링 환경은 시공자와 배치 플랜트 공급자가 콘크리트 생산과 품질정보를 동시에 알 수 있도록 구성했다. 콘크리트 타설 프로세스 정보를 실시간으로 공유함으로써 출발시간, 대기시간, 도착시간 등 실시간 정보에 의해서 남은 타설량, 예상 타설시간을 계산하여 적시에 콘크리트를 보내고 타설할 수 있다. 시공자와 배치 플랜트의 담당자는 수시로 진행현황을 공유하고, 조회하여 생산성과 품질관리를 위한 의사결정을 적절하게 했다.

6.2 시스템 프로토타이핑

본 논문에서 제시한 RFID 기반의 콘크리트 타설 모니터링 시스템을 시범현장에 적용하기 위해서 u-CPS의 프로토타입을 개발했다. 프로토타입은 1) RFID 하드웨어와 2) 웹 환경의 소프트웨어 기술을 접목하여 구축했다. 첫째, RFID 하드웨어 장치는 태그, 안테나 그리고 리더기로 구성됐다. 둘째, 웹 환경의 소프트웨어 프로그램은 인터넷 상에서 콘크리트 타설 프로세스의 진행현황을 실시간으로 제공하도록 구현했다.

u-CPS의 프로토타입 시스템을 시범현장 프로세스에 적용하기 위해서 배치 플랜트와 시공현장의 출입구 및 타설 위치에 안테나를 배치하고 레미콘 차량에 RFID 태그를 부착하여 콘크리트 타설 정보를 모니터링 했다 (그림 6). 태그에 대한 인식률을 높이기 위해서 태그를 종이 판넬 위에 부착하여 레미콘 트럭 허리부분에 위치시켰다.

태그가 부착된 레미콘 차량이 안테나가 위치한 측점을 통과하면 RFID 장치는 각 측점 별 차량운행 및 타설과 관련한 시간정보를 u-CPS에 인터넷을 통하여 전송한다. 전송된 시간정보는 태그별로 데이터베이스의 SQL 테이블에 저장되어서 콘크리트 프로세스의 모니터링에 사용됐다. 현장타설에 사용된 레미콘의 강도, 슬럼프, 공기량, 염화물량 등 데이터도 저장되어서 품질관리 정보를 제공했다.



그림 6. RFID 태그 기술을 적용한 콘크리트 타설 프로세스

6.3 적용결과

RFID 기술을 기반으로 하는 u-CPS 환경에서는 콘크리트 타설 프로세스의 생산과 품질 관리를 위한 다양한 정보를 제공하고, 웹 환경을 통해서 시공사와 배치 플랜트 간 공유가 가능하게

된다. 다음은 생산관리와 품질관리를 위한 적용결과를 보여준다.

(1) 생산관리

그림 7(a)와 7(b)는 '5.2 XML에 의한 데이터 인터페이스'에서 기술한 바와 같이 XML 문서를 읽어서 데이터베이스의 SQL 테이블에 저장한 결과를 보여준다. 본 데이터 로그에는 각 측점별 레미콘 차량의 태그가 읽혀진 시점이 기록되어 있다. 각 측점의 시점 정보를 기본 데이터로 처리하여 간단한 산술식을 적용하면 평균운반시간 (Ave. Travel Time from Plant to Site), 평균대기시간

| Tag ID | Plant | Site 1 | Site 2 | Site 3 | Site 4 |
|--------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 764 | 부산14-198 | 05-12-16 03:59:00 | 05-12-16 04:00:00 | 05-12-16 04:00:00 | 05-12-16 06:42:00 |
| 765 | 부산14-665 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:54:00 |
| 767 | 부산14-631 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:22:00 |
| 768 | 부산14-633 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:11:00 |
| 769 | 부산14-697 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:11:00 |
| 770 | 부산14-637 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:03:00 |
| 772 | 부산14-195 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:26:00 |
| 773 | 부산14-631 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:03:00 |
| 775 | 부산14-197 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:42:00 |
| 777 | 부산14-665 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:54:00 |
| 778 | 부산14-196 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:02:00 |
| 779 | 부산14-637 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:03:00 |
| 780 | 부산14-635 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:11:00 |
| 781 | 부산14-635 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:11:00 |
| 782 | 부산14-635 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:11:00 |
| 783 | 부산14-635 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:11:00 |
| 784 | 부산14-637 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:03:00 |
| 785 | 부산14-196 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:02:00 |
| 786 | 부산14-194 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:54:00 |
| 787 | 부산14-300 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:03:00 |
| 788 | 부산14-635 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 04:04:00 | 05-12-16 06:11:00 |

(a) 각 측점별 측정시간

| Site ID | Plant | Plant Time | Site 1 Time | Site 2 Time | Site 3 Time | Site 4 Time |
|-----------|-------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 부산14-1942 | | 00:18:00 | 00:01:00 | 00:19:00 | 00:15:00 | |
| 부산14-6068 | | 00:25:00 | 00:03:00 | 00:10:00 | 00:16:00 | |
| 부산14-6361 | | 00:29:00 | 00:01:00 | 00:10:00 | 00:49:00 | |
| 부산14-6363 | | 00:27:00 | 00:02:00 | 00:09:00 | 00:25:00 | |
| 부산14-6070 | | 00:25:00 | 00:02:00 | 00:15:00 | 00:24:00 | |
| 부산14-6402 | | 00:27:00 | 00:02:00 | 00:13:00 | 00:24:00 | |
| 부산14-1975 | | 00:23:00 | 00:02:00 | 00:10:00 | 00:27:00 | |
| 부산14-6371 | | 00:31:00 | 00:01:00 | 00:09:00 | 00:25:00 | |
| 부산14-1933 | | 00:30:00 | 00:01:00 | 00:03:00 | 00:34:00 | |
| 부산14-6656 | | 00:30:00 | 00:00:00 | 00:10:00 | 00:00:00 | |
| 부산14-1950 | | 00:27:00 | 00:04:00 | 00:11:00 | 00:27:00 | |
| 부산14-6067 | | 00:25:00 | 00:05:00 | 00:14:00 | 00:23:00 | |
| 부산14-6375 | | 00:29:00 | 00:00:00 | 00:22:00 | 00:25:00 | |
| 부산14-6377 | | 00:23:00 | 00:16:00 | 00:19:00 | 00:24:00 | |
| 부산14-1952 | | 00:28:00 | 00:14:00 | 00:20:00 | 00:22:00 | |
| 부산14-1942 | | 00:32:00 | 00:17:00 | 00:12:00 | 00:24:00 | |
| 부산14-6068 | | 00:28:00 | 00:23:00 | 00:11:00 | 00:23:00 | |
| 부산14-6363 | | 00:25:00 | 00:30:00 | 00:11:00 | 00:24:00 | |

(b) 작업소요시간

■ Production Control

| Description | Value |
|---------------------------------|-------------|
| Ave. Travel Time(Plant-to-Site) | 24 (min) |
| Ave. Wait Time | 10 (min) |
| Ave. Pour Time | 12 (min) |
| Ave. Travel Time(Site-to-Plant) | 26 (min) |
| Total Concrete Pour | 120 (m³) |
| Remaining Concrete Amount | 60 (m³) |
| Concrete Po. Per Minute | 10 (m³/min) |
| Estimated Completion Time | 600 (min) |

(c) 생산 데이터

그림 7. RFID 태그를 이용한 생산관리

(Ave. Wait Time), 평균타설시간 (Ave. Pour Time), 그리고 평균 회차시간 (Ave. Travel Time from Site to Plant)을 구할 수 있다.

또한 그림 7(c)가 보여주는 바와 같이 입력된 콘크리트 배치정보를 이용하여 총타설콘크리트량 (Total Concrete Pour), 잔여 콘크리트량 (Remaining Concrete Amount), 단위시간당콘크리트타설량 (Concrete Pour per Minute), 예상콘크리트타설완료시간 (Estimated Concrete Completion Time) 등을 구했다. 수집된 데이터는 산술평균과 분포를 고려하여 적용할 수 있으나 본 논문에서는 산술평균만을 적용했다.

그림 7의 콘크리트 타설과 관련한 생산정보는 u-CPS의 사용자 화면에서 조회할 수 있으며, 배치 플랜트와 현장의 관리자는 콘크리트 타설 프로세스에 나타나는 데이터를 웹 환경 상에서 조회할 수 있으며, 조회된 정보를 활용하여 배치간격의 조정 등 필요한 조치를 취할 수 있다.

(2) 품질관리

품질관리는 콘크리트에 대한 품질 테스트 결과를 모니터링하여 제공한다. 차량에 부착된 태그에 의하여 콘크리트 차량에 대한 품질결과를 기록할 수 있으며, 이를 정리하여 품질 데이터를 종합적으로 모니터링할 수 있다 (그림 8). 본 연구에서 제시된 u-CPS의 프로토타입에서는 콘크리트호칭강도, 평균슬럼프, 평균염화칼슘량, 그리고 평균공기량을 관리항목으로 처리했다. 품질관련 정보는 타설 시작 전 입력에 의하여 구했다. 그림 8의 콘크리트 타설과 관련한 품질정보는 u-CPS의 사용자 화면에서 조회할 수 있으며, 배치플랜트시스템과 연계되어 있을 경우에는 품질관련 데이터를 자동으로 인터페이스 할 수 있을 것이다.

Quality Summary

| | | | |
|-------------|---------------------------|------------|----------|
| 콘크리트 호칭강도 | 21 (MPa) | Ave. Slump | 15 (Cm) |
| Ave. 염화칼슘유량 | 0.30 (kg/m ³) | Ave. 공기량 | 4.50 (%) |

그림 8. RFID 태그를 이용한 품질 관리

(3) 콘크리트 타설 모니터링 적용결과

본 논문에서 제시한 u-CPS는 RFID를 기반으로 데이터를 자동으로 획득하여 실시간으로 처리함으로써 콘크리트 타설 모니터링을 개선시킬 수 있다는 가능성을 보여준다. 다음은 연구결과로 나타난 콘크리트 타설 모니터링의 개선효과이다.

- 1) 콘크리트 타설 작업 사이클 중 배치플랜트출발, 현장도착, 타설시작, 타설완료, 그리고 배치플랜트도착 등 각 이벤트가 발생하는 지점에 RFID 리더기를 설치하여 시점을 측정함으로써 각 이벤트 발생 구간 별 소요시간을 실시간으로 제공했다.
- 2) 일반적으로 레미콘 트럭이 현장에 도착하면 콘크리트 정보

를 수작업으로 처리했으나 시스템 상에서 자동으로 처리함으로써 데이터 관리의 효과를 높였다.

- 3) 콘크리트 타설 진행에 따라서 업데이트되는 단위시간당콘크리트타설량 (Concrete Pour per Minute), 예상콘크리트타설완료시간 (Estimated Concrete Completion Time) 등 타설정보를 참고하여 작업 진도현황을 파악할 수 있으며, 이와 같은 정보는 작업 진행율을 고려하여 전체 작업 완료시간을 예측할 수 있도록 돕는다.
- 4) 대규모 구조물 시공을 위해서 많은 양의 콘크리트 타설 시 품질정보를 활용하여 콘크리트 품질변화에 대한 정보를 실시간으로 제공할 수 있다.
- 5) 기존 핸드폰을 사용하여 교환하던 콘크리트 배치와 타설 정보를 인터넷상에서 조회하고 공유함으로써 배치 플랜트 공급자와 시공자 간 커뮤니케이션을 증진시켰다.

u-CPS는 파일럿 테스트를 위한 프로토타입으로 개발됐고, 120m³라는 비교적 소규모 타설작업에 시범적용 했다는 한계점이 있으나, 기업과 시공현장의 요구사항에 따라서 확장하여 개발하여 콘크리트 타설작업에 적용될 수 있을 것이다. 또한 본 연구 결과의 효과는 정성적으로 평가한 측면이었으나, 이러한 효과를 정량적으로 측정하기 위해서는 더 많은 관찰과 시스템 적용이 필요할 것이며, 향후 지속적인 연구를 통해서 개선점을 찾을 수 있을 것이다.

7. 결론

RFID 기술은 콘크리트 타설 프로세스에서 생성되는 데이터를 수집하고 데이터베이스에 저장함으로써 콘크리트 타설을 보다 과학적으로 수행할 수 있게 지원한다. 본 연구에서 제시한 u-CPS의 프로토타입 환경은 RFID 하드웨어 장치와 웹환경의 소프트웨어 프로그램을 접목하여 구현됐으며, 콘크리트 타설 프로세스를 모니터링하기 위한 기능을 가져왔다.

시범현장 실험을 위해서 배치 플랜트와 타설현장에 설치한 안테나는 레미콘 트럭에 부착된 태그를 읽어 들여서 각 측정 별 출발과 도착, 타설시작 등 이벤트 발생시각을 생성하여 전송함으로써 웹 환경에서 콘크리트 타설의 진행현황을 알 수 있게 했다. 생산성과 품질 정보는 콘크리트 타설작업의 생산과 품질에 직접적인 영향을 가져오는 것으로서, 로그 데이터와 그래프 등으로 다양하게 제공하여 배치와 현장 관리자가 콘크리트 타설 정보를 모니터링하면서 배치간격의 조절, 콘크리트 배합의 조정 등 필요한 조치를 취할 수 있다. 이와 같이 실시간으로 전송되는 콘크리트 타설 정보는 발주자와 배치 플랜트 작업자 간 커뮤니케이션을 증대시켜서 과학적인 시공이 가능하도록 한다.

RFID를 본격적으로 현장관리에 적용하기 위해서는 태그 성능과 장비 가격 등 기술적 발전이 선행되어야 한다. 현 시점에서 태그 자체의 데이터 저장용량도 불충분하여 다양한 시공정보를 담기에는 부족하다. 특히 거리와 각도에 따르는 인식율의 개선이 기술적 과제로 남는다.

이와 같은 한계점에도 불구하고 RFID 기술은 급격히 발전되어서 조만간 건설사업의 전반에 걸쳐서 활용될 것으로 예상된다. 본 연구에서 수행한 연구의 결과는 RFID를 도입하여 자재, 인력, 장비 등 자원관리를 위한 유비쿼터스 응용 시 참고사례가 될 수 있을 것이며, 향후 콘크리트 타설작업의 효과를 높이기 위한 의사결정시스템으로 발전시킬 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제학술연구비(2년)에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

1. 삼성물산(주) (2004). "건설 진도율 산정 모델 개발", 최종보고서, 한국건설관리학회, pp. 136-139.
2. 이남수, 송제홍, 윤수원, 진상운, 권순옥, 김예상 (2006). "RFID와 무선 네트워크 기술을 이용한 자재위치파악 방안", 건설관리학회 정기학술발표대회 논문집, pp. 523-528.
3. 이웅균, 조호규, 강경인 (2005). "무선온도 계측을 통한 매스 콘크리트 양생관리 효율화 방안"에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 구조계 21(7), pp. 99-106.
4. 이원동 (2002). GPS를 이용한 Ready-Mixed Concrete 운송 효율증대에 관한 사례연구, 석사학위논문, 연세대학교 공학대학원
5. 장문석, 윤수원, 진상운, 김예상 (2004). "RFID를 이용한 커튼월 프로세스 관리방안", 대한건축학회 학술발표논문집 (24), pp. 487-490.
6. 한국전산원 (2005). 2005년도 USN 현장시험 결과 보고서, pp. 21-41.
7. 한재구, 이민우, 권순옥, 조문영 (2004). "건설공사 마감자재 모니터링시스템 개발을 위한 RFID 인식능력실험", 대한건축학회 학술발표논문집, pp. 587-590.
8. 한재구, 권순옥, 조문영 (2006). "RFID 기술을 활용한 자재관리 시범시스템 구축 및 현장실험", 대한건축학회 논문집 구조계 22(10), pp. 121-128.
9. Glaser, S.D., Shoureshi, R.A., Pescovitz, D. (2005). "Frontiers in sensors and sensing systems, Smart Structures and Systems", Techno Press, Daejeon, Korea, pp. 103-120.
10. Jaselskis, E.J., Anderson, M.R., Rodriguez, Y., Njos, S. (1995). "Radio-Frequency Identification Applications in Construction Industry", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 121, No. 2, Reston, VA, pp. 189-196.
11. Jaselskis, E. J. (2003). "Implementing Radio Frequency Identification in the Construction Process", Journal of Construction Engineering and Management ASCE, Vol. 129, No. 6, 2003, Reston, VA, pp. 680-688.
12. Wiser, M. (1991). "The Computer for the 21st Century", Scientific American, N.Y., N.Y.
13. Yagi, J., Arai, E., Arai, T. (2005). "Parts and packets unification radio frequency identification application in construction", Automation in Construction, Vol. 14, pp. 477-490.

논문제출일: 2007.01.10
 심사완료일: 2007.05.18

Abstract

A ubiquitous environment in construction should be developed integrating hardware and software systems. The objective of this paper is to study the feasibility of applying the RFID technology to the concrete pour process, and improve the effectiveness of data exchange. A pilot system of u-CPS (Ubiquitous Concrete Pour System) has been developed to test the feasibility. The pilot can automatically generate the data for concrete pour work such as departure time, arrival time, concrete pour time. Construction managers can keep track of the progress of concrete pour work using the information. A case study was done for a building construction using the pilot system, the result of which demonstrated that the RFID-base system can help improve the effectiveness of data communication during the concrete pour process.

Keywords : Ubiquitous, RFID, Tag, Construction Management, Concrete Pour Process, Production, Quality