

# 콘크리트 구조물에서의 RFID의 활용

이 중 열 (쌍용양회 기술연구소 연구자문역)

이 상 우 (승화E&C 기술연구소 소장)

유비쿼터스(Ubiquitous)란 용어를 우리는 흔하게 들어왔다. 라틴어에서 유래한 것으로 '언제 어디서나' '동시에 존재한다'라는 뜻으로 번역된다. 즉, 물이나 공기처럼 도처에 편재(遍在)한 자연상태를 의미한다.

유비쿼터스 개념은 지난 1991년 제록스 팰러앨토 연구소(PARC)의 마크 와이저(Mark Weiser)가 처음 제시한 유비쿼터스 컴퓨팅이 그 효시라고 알려져 있다. 현재 쓰이는 유비쿼터스 개념은 크게 두 가지로 요약될 수 있다. 하나는 실세계의 각종 사물과 환경 전반(물리공간)에 컴퓨터를 장착하되 컴퓨터의 걸모습은 드러나지 않도록 환경내에 효과적으로 숨어지고 융합될 수 있도록 하는 것이다. 또 하나는 사용자가 거부감을 느끼지 않고 언제 어디서나 존재하는 컴퓨터(대상에 맞는 특수한 기능을 보유)를 편리하게 이용할 수 있도록 만드는 일이다.

즉 유비쿼터스 컴퓨팅, 유비쿼터스 네트워크란 물이나 공기처럼 우리 주변환경에 내재돼 모든 사물 및 사람이 보이지 않는 네트워크로 연결된 새로운 공간이다. 이런 유비쿼터스 환경을 위한 기술로는 임베디드 시스템, 무선ID, 초소형 정밀기계(멤스), 텔레메틱스, 위치기반서비스(LBS), IPv6 등이 있다. 한편, 정보통신부는 '유비쿼터스 사회'를 목표로, 'u-Korea(유비쿼터스 코리아)'는 이름으로 유비쿼터스 관련 기술과 서비스를 추진하고 있다. 한편 건설산업에서도 상당한 진전을 보이고 있다. 예를 들

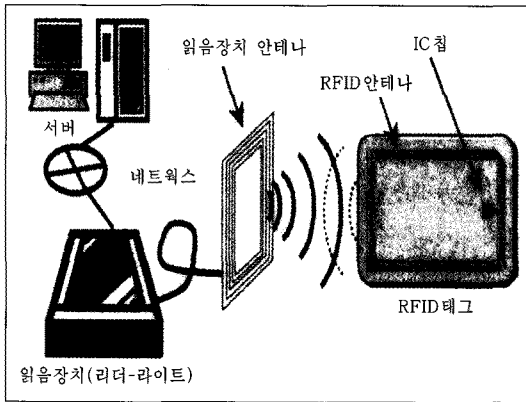
면 구조물의 유지관리 시스템, 레미콘의 품질관리 시스템, 시공정보관리, 강제관리 시스템, 댐에서 순시 점검시스템, 점자블록 등 참으로 다양하다. 콘크리트가 IT, BT 등과 접목되는 시간이 가까워 오고 있는 것이다. 끝으로 본 자료는 일본 태평양시멘트사에서 발간되는 CEM'S 자료를 편집한 것이다.

## 1. 유비쿼터스 사회에서 RFID

유비쿼터스(Ubiquitous)라고 하는 단어가 수년전부터 사용되게 되고, ICT(Information and Communication Technolog, 정보통신기술)관련 전시회에 가면 대부분 「유비쿼터스」로 채워져진 광경도 이제는 진귀하지 않고, 신문광고에도 빈번하게 보게 되었다. 유비쿼터스란 「동시에 존재한다」라고 하는 라틴어가 어원이 되어, 간단하게는 「언제든지, 어디서든지」로 해석된다.

ICT의 중심에 있는 인터넷은, 오래전부터 설치된 컴퓨터라는 고정화된 단말기를 이용하여 편재한(치우친) 상태에서 이용되고 있다. 그러나 현재는, 출장지에서 휴대전화로 인터넷에 접속하여, 메일채팅을 하는 것은 당연시 되고, 「엄지손가락 통신판매」로 불리는 휴대전화를 이용한 통신판매업자는 급속히 사업을 확대되고 있다.

이와 같이, 정보는 어디에서도 이용 가능한 "편재화(어디에나)"한 것에 변화되어 오고 있다. 이 편재



<그림-1> RFID 시스템 구성

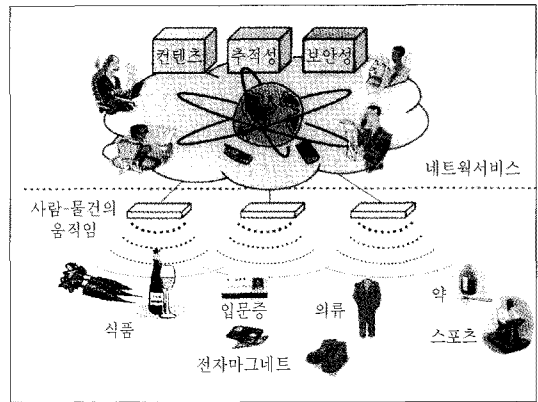
로부터 편재로의 변화가 「유비쿼터스」이다.

유비쿼터스 사회에 있어서, RFID(Radio Frequency Identification)는 인간이나 상품의 움직임을 검지하는 수단, 바꾸어 말하면 센서의 역할을 행하는 것으로, 온도센서, 습도센서에 의한 환경센싱과 함께 중요한 역할을 담당하고 있다. RFID는, 전자태그, 무선태그, IC태그 등으로 부르고 있고, 그 기본구성을 <그림-1>에 나타내었다.

RFID는 외부의 읽음장치(리더라이터)부터 발신된 전파를 수신하여, 그 에너지를 사용해서 IC태그의 메모리내에 정보를 써넣든지, 혹은 정보를 읽어내 리더라이터에 전파로 보낸다. RFID태그는, 전지를 탑재해서 통신거리의 향상을 도모한 것도 있고, 형상은 카드형 외에 동전형, 캡셀형 등의 다양한 모양으로 가공되어, 또, 리더라이터도 핸디형이나 게이트형 등, 용도에 대응한 형상으로 되고 있다.

RFID는 태그로서 부치고, 혹은 매설하고, ID를 인식해서 상품의 정보를 얻도록 하는 것으로, 바코드를 대신해서 물류에서 추적성 확보의 수법, 전자마그네트, 회전초밥에서 식사한 접시의 숫자를 순간적으로 읽는 방법 등, 각 방면에서 검토되고 있고, 실용화가 도모되고 있다.

또, 상품에 설치, 혹은 인간이 갖고 걷는 RFID를, 고정된 리더라이터에서 ID만으로 특정하는 것으로, 움직임이나 위치를 검출하는 센서시스템으로서 활



<그림-2> RFID를 활용한 서비스의 제공

용이 가능하게 된다. 더욱이, 네트워크시스템과의 융합을 도모하는 것으로, <그림-2>에 나타낸 것 같이 간단히 바코드 대신에 물류관리만이 아니고, 기업간, 기업종간이나 국경을 초월한 서비스, 컨텐츠의 제공이 가능하게 되고, 모든 곳에서 편의성의 향상, 바꾸어 말하면 「유비쿼터스」를 실현 가능한 수법이라고 생각된다.

## 2. RFID의 건설분야에서의 응용

일본이 추진하는 전자 정부·전자 자치체의 추진과 더불어, 예를 들면, 공공공사에 있어서 CALS/EC(공공사업지원 통합정보시스템)에서는 수주자, 발주자가 조사, 계획, 설계, 공사, 감독검사, 유지관리의 각 단계에서 전자화와 정보공유를 목표로 하고 있어, 설계도면의 전자화에 의한 납품이나 전자입찰 등에도 보급하고 있다.

유비쿼터스 측면에서 본 건축·국토의 미래는, TRON 프로젝트 등에서도 저명한 사카무라(坂村)교수가 제안하고 있기 때문에 참조가 요망된다. 또한, RFID는 건설분야에서 다양한 실용화나 실증실험이 행해지고 있다. <표-1>에는 그 예를 각 사 홈페이지, 학회의 강연 등을 조사해서 개요를 정리한 것이다.

아직 연구단계의 것도 있지만, 기실용화 되어 효

〈표-1〉 건설에 관련한 RFID 활용 예

활 용 예	실시자 정보	개 요
점자블럭	국토교통성, (재)철도종합기술연구소 등	점자블럭에 RFID태그를 매설하여, 장소의 안내나 목적지까지 유도를 한다.
작업자 입·출퇴 관리시스템	호전건설(주), 서송건설(주), (주)관원건설 등	입문증, 헬멧 등에 RFID를 부착하여, 작업원의 입·퇴장이나 위험구역 등에 출입금지, 작업자격 등 관리
공구관리 시스템	(주)하다찌제작소 등	공구류에 태그를 부착하여, 현장에 있고 두고 오는 등의 관리에 이용
발판관리	국토교통성, 와세다대학	수많은 가설발판의 관리, RFID를 사용해서 합리화하기 위한 연구를 실시
배수통수시험 시스템	(주)오바야시	RFID를 부착한 폴(시험체)을 배관에 투입하여, 하류측까지의 시간을 측정, 한번에 많은 시험을 가능하고, 검사의 효율화도 도모함
시공정보관리	(주)하다찌제작소, (주)킵, 비도건설(주) 등	트럭에 태그를 부치고, 조성공사에서 골재나 토사운반의 차량 숫자를 정확히 파악하고, 시공관리나 코스트관리를 한다.
콘크리트 믹서차의 운행관리	아이자와콘크리트(주), 파시후크테크노스	콘크리트 믹서차에 RFID태그를 설치, 믹서차의 효율적 운행 관리나 오배송 방지 도모
밧테로고 운행관리 시스템	호전건설(주), (주)흥지조	터널내를 주행하는 밧테로고에 RFID태그를 부착, 주행위치를 감시하고 항내 작업자의 안전확보, 밧테로고의 접근을 작업자가 갖고 있는 PHS로 알려준다.
전주관리시스템	서일본전신전화(주)	전주에 태그를 매설하여 점검 데이터를 기록, 점검현장에서 정보를 얻음으로써, 점검에 있어 사무 작업시간 단축
매설물 정보관리	(주)후지타	지하 매설물에 태그를 설치, 점검 업무를 효율화
소파블럭 관리시스템	비도건설(주)	소파블럭에 장착한 RFID와 2차원 바코드를 병용해서, 제작정보나 임시설치장소, 설치장소, 소유자 등의 유통정보 일원관리
기준점, 매설 정보관리	국토지리원, (주)후지타, (주)리프로 등	RFID태그를 부착한 말뚝 등을 이용해서, GPS 등과 조합, 위치, 깊이, 종류 등 필요한 전자정보를 기입, 기준점으로서의 활용이나 점검이나 측량작업의 효율을 높인다.
인텔리전트 맨홀	(주)파스코 등	하수도맨홀에 태그를 부착, GPS에 의한 위치정보와 RFID의 식별정보를 이용 GPS서버로부터 휴대단말기에 시설정보를 다운로드
뎀에서 순시점검	전원개발(주), 오끼나와 총합사무국	수위계, 배수시설 등에 RFID태그를 부착, 리더라이터 기능을 갖는 PDA를 이용해서 과거 데이터를 참조하여 점검결과를 기록

을적으로 운용되고 있는 예도 있다. 오염이 있고, 읽음 속도가 빠른 바코드에 없는 특징을 살려, 작업자의 입·퇴출 관리나 물류에서 RFID 활용과 마찬가지로 공사현장에서 건설기구나 공구 등의 관리만이 아니고, 구조물의 점검 등 유지관리까지 포괄하여, 전자화를 할 때까지 발전하고 있는 사례도 있다.

### 3. RFID 콘크리트에 적용

#### 가. RFID 기본 특성

〈표-2〉에 전지를 탑재하지 않은 패시브(Passive) 타입의 RFID의 기본적 특성을 나타내었다. 현재, 일

〈표-2〉 RFID의 주파수와 특성

	~135KHz	13.56MHz	950MHz	2.45GHz
통신거리	수cm~1m	~수십cm	~수m	~2m
안테나 지향성	넓다	넓다	중	좁다
금속의 영향	×	×	×	×
수분의 영향	적다	적다	받는다	강하게 받는다

본에서는 파장이장파대(~135KHz)부터 마이크로 파대가 있다. 2.45GHz의 4개의 주파수대역이 법률로 규정되어 이용되고 있다. 기본 특성은 주로 이용되고 있는 전파의 주파수(파장)의 물리적인 성질에 좌우된다. RFID의 파장이 짧을수록 광의 성질에 가깝고, 직진성이 늘어나 대상물이 일직선상에 있는 범위에서의 통신거리가 길게 된다. 그 반면에, 수분에 의한 감퇴가 크게 되어, 조그만 장애물에서도 통신할 수 없게 된다.

RFID는, 전파를 이용하기 때문에 주변에 존재하는 금속의 영향을 강하게 받고, 철근이나 금속형틀은 장애로 된다. 또, 통신거리에 관해서는 파장에 의한 특성만이 아니고, RFID태그의 크기나 리더라이터의 출력에도 좌우된다. 실용적으로는 이것들의バランス를 감안해서 이용되는 RFID태그가 선정된다.

## 나. 철근의 영향

RFID태그는 통신에 전파를 이용하기 때문에, 콘크리트에서는 특히 철근의 영향을 받는다. 철은 도체이고 전파에 의해 내부에서 전류가 발생하면 전파를 반사 혹은 차단해, 통신거리에 영향을 준다. 예를 들면, 콘크리트 표면으로부터 보아 철근의 뒷면에 RFID를 설치한 경우, 모두 통신이 되지 않은 것도 있다.

〈그림-3〉에 RFID 뒤쪽에 있는 금속(철근)의 통신거리에 대한 영향을 조사한 결과를 나타내었다. 알루미늄판이 RFID의 뒤쪽에 있는 경우에는(수cm 이하), 통신거리는 크게 저하했다.(그림 중 범례 □) 한편, 알루미늄판으로 교체해서, 격자에 조립 철근을

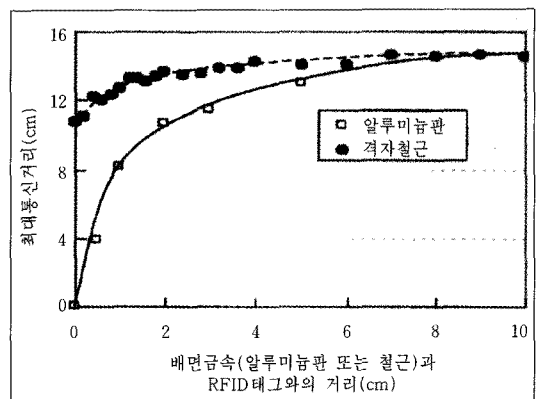
설치한 경우(그림 중 범례 ●) 통신거리의 저하는 얼마 안되었다. 이것은, 철근은 격자상에 있기 때문에 공간에 존재하고, 전파의 흡수량이 적게 되기 때문이라고 생각된다.

철근의 존재는, RFID태그의 안테나의 지향성이나 공진주파수에 영향을 주어서 송수신 효율을 저하시키는 것이 있지만, 피복두께내에 RFID태그를 설치하는 것으로, 콘크리트구조물에 매설해서도 통신이 가능하다.

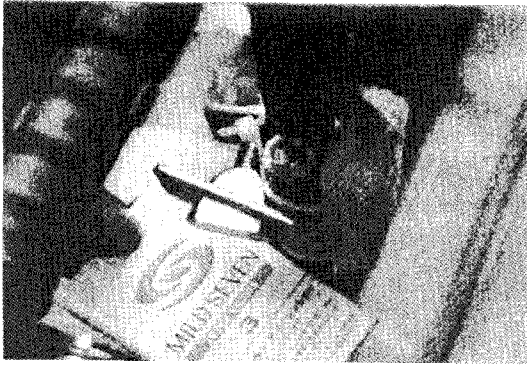
## 다. 콘크리트 수분의 영향

콘크리트 혼련수나 공극수는, 시멘트로부터 용출하는 전해질에 의해 높은 전도성을 나타내고, 철근과 마찬가지로 통신거리에 영향을 미치는 것이라고 생각된다.

RFID태그를 피복두께내로 되도록 철근에 부착하고(〈사진-1〉), 콘크리트를 타설 전후의 통신거리를



〈그림-3〉 RFID태그의 배면금속의 영향



〈사진-1〉 철근에 설치한 RFID태그 모습  
(우측이 형틀면임)

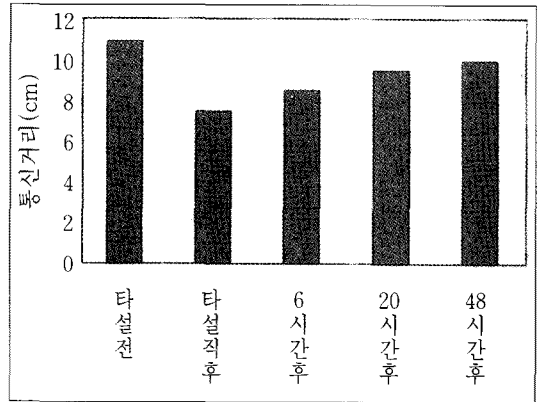
측정한 결과를 〈그림-4〉에 나타내었다. 콘크리트 타설 직후에 통신거리는 저하하고, 그후, 재령과 함께 회복했다. 이것은 콘크리트 중에 자유수가 수화기 진행하면서 감소하여, 콘크리트의 전도성이 저하한 것이라고 생각된다. 이 시험에서는 수분의 영향이 비교적 적은 13.56MHz대의 RFID를 이용하고 있지만, 콘크리트가 경화하면 통신거리에의 영향은 거의 없다고 생각된다.

#### 4. 센서기능을 부착한 RFID

##### 가. 센서기능과 RFID

RFID는 ID를 손잡이로서 정보전달을 도모하는 것을 목적으로 하고 있고, 상품의 움직임을 탐지하는 센서로서의 기능을 발휘한다. 그러나, 실제로 RFID에 상품의 상태를 검지하는 센서기능을 부가하는 것으로, 특히 많은 활용을 도모할 수 있게 된다.

센서기능을 부가한 사례로서, 우주선의 대기권 재진입시의 고온에 의해 생기는 내열타일의 손상을, 고온에서의 용해를 원리로 하는 센서기능 부가 RFID를 미리 타일사이의 틈에 설치해 두어, 귀환시에 비접촉식으로 용이하게 검사하는 연구가 보고되고 있다. 또, KSW 마이크로텍사에서는 종이와 같이 얇은 전지를 탑재해서 구동하기 때문에, 대단히

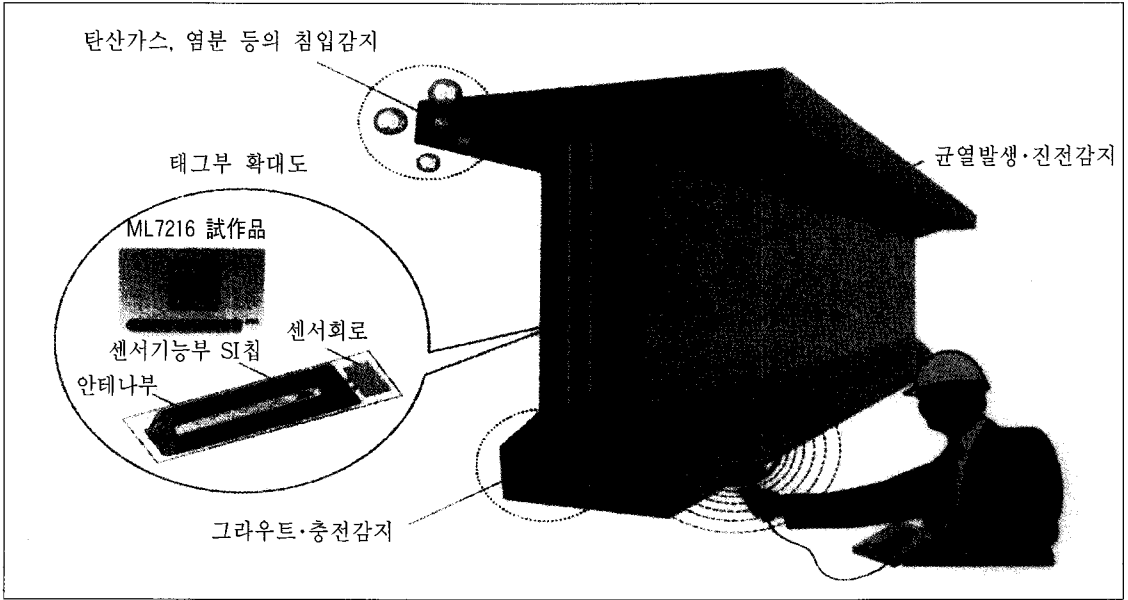


〈그림-4〉 철근에 부착한 RFID태그의 콘크리트 타설에 의한 통신거리의 변화

적은 전력으로 수신신호를 처리, 메모리 액세스, ID의 회신과 같은 복잡한 동작을 하지 않으면 안된다. 현재의 RFID의 발전은 반도체 장치의 미세 가공기술에 의한 에너지 절약에 의해 달성되고 있다. 센서기능을 RFID에 부가하는 것은, 센서에의 전원공급만이 아니고 센서 인터페이스 등의 주변회로에 전원공급 문제 등, 현실적으로는 대단히 높은 기술력을 요한다. 이것들의 사례에서는 RFID는 물리적인 변화를 정량적으로 측정하는 것만이 아니고, ON-OFF와 같은 1bit의 정보를 검지하는 것에 머물러, 혹은 전지를 탑재해서도, 사용기간에 제한이 있는 등 문제점도 있다.

한편, 태평양시멘트사는 오기덴끼공업사와 공동으로, 〈그림-5〉에 나타낸 바와 같은 구조물의 유지관리에 적용을 목적으로 센서기능을 부가한 RFID의 개발에 대응하고, 최근 시판을 목적으로 활발한 연구가 이루어지고 있다.

RFID는 수mm 각의 IC태그를 탑재해서, 송수신기능, 메모리기능 외, 센서의 아날로그 정보를 디지털화하는 기능, 범용 시리얼 CPU를 탑재 가능한 인터페이스 기능을 갖고, 센서, 센서인터페이스, 안테나를 구비하는 것으로, 「센서기능부가 RFID태그」로서 기능한다. 우수한 성능에너지 설계에 의해 전지의 탑재없이 센싱한 정보를 단순한 ON-OFF 신호만으로



〈그림-5〉 RFID를 활용한 무선모니터링 이미지 개념도

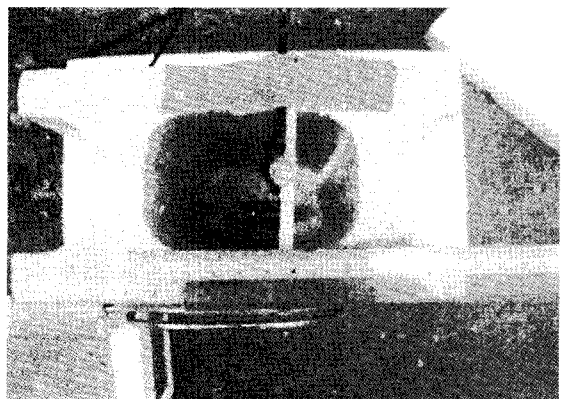
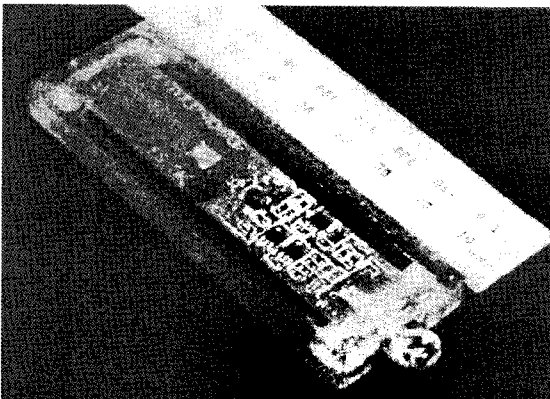
아니고 정량치로서 측정하는 것을 가능하게 한다.

#### 나. 콘크리트 온도의 계측

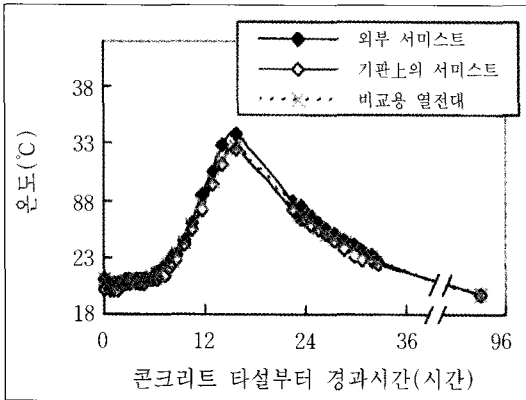
센서기능을 부가한 RFID태그를 이용해서, 센서로서 서미스타를 접속하여, 콘크리트에 매설해서 경화과정에서 온도를 비접촉으로 형태의 외부로부터 리더라이터에 의해 측정했다. 시험에 이용한 RFID

태그와 설치 상황을 〈사진-2〉에 나타내었다.

RFID태그에는 전지를 탑재하지 않고, 서미스타는 태그 기관위와 외부의 2개소에 접속하고 있다. 측정 결과를 〈그림-6〉에 나타내었다. 2개의 서미스타에 의해 측정된 온도는, 비교용으로 이용한 열전대와 거의 같은 값을 나타내고 있다. 본 수법은 적산온도에 의한 콘크리트 강도추정 등의 응용 외에, 다른 센서를 탑재한 경우 온도보상으로 이용이 가능하다.



〈사진-2〉 서미스타를 탑재한 IC태그(사진 좌)와 설치 상황(사진 우)



〈그림-6〉 콘크리트 온도 측정 결과



〈사진-3〉 설치 상황

#### 다. 그라우트 충전센서

PC 그라우트는 PC 강재를 부식으로부터 보호하고, 프리스트레스 콘크리트에서 구체콘크리트와 PC 강재와의 일체화를 목적으로 시공되고, 콘크리트 구조물의 내구성을 확보하기 위하여, 확실하게 충전하는 것이 요구되고 있다. 본 시스템은 제2동명고속도로 구간 중 一色川교량에서 검토되었고, 〈그림-7〉에 시스템구성을, 〈사진-3〉에 RFID태그 및 센서부를 부착한 시스(Sheath)관의 설치 상황을 〈사진-4〉에 나타내었다.

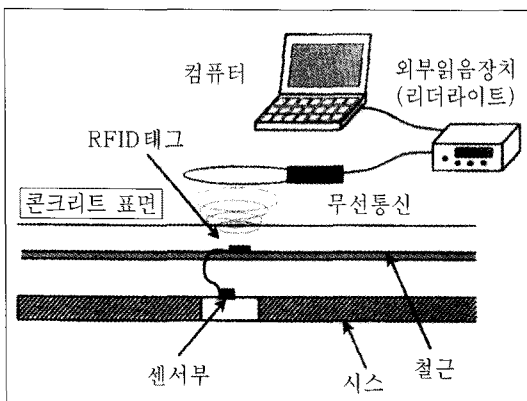
RFID태그는 수지로 봉입하고 있고, 또 센서는 전극식을 이용해서, 전극간의 전기적인 저항이 저하하



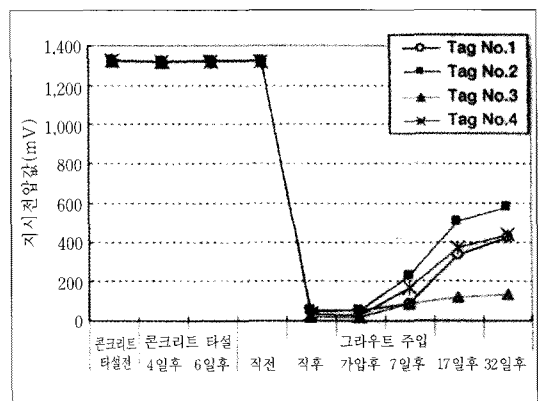
〈사진-4〉 콘크리트 타설후 계측하는 모습

는 것으로, 그라우트를 검지하는 것이다.

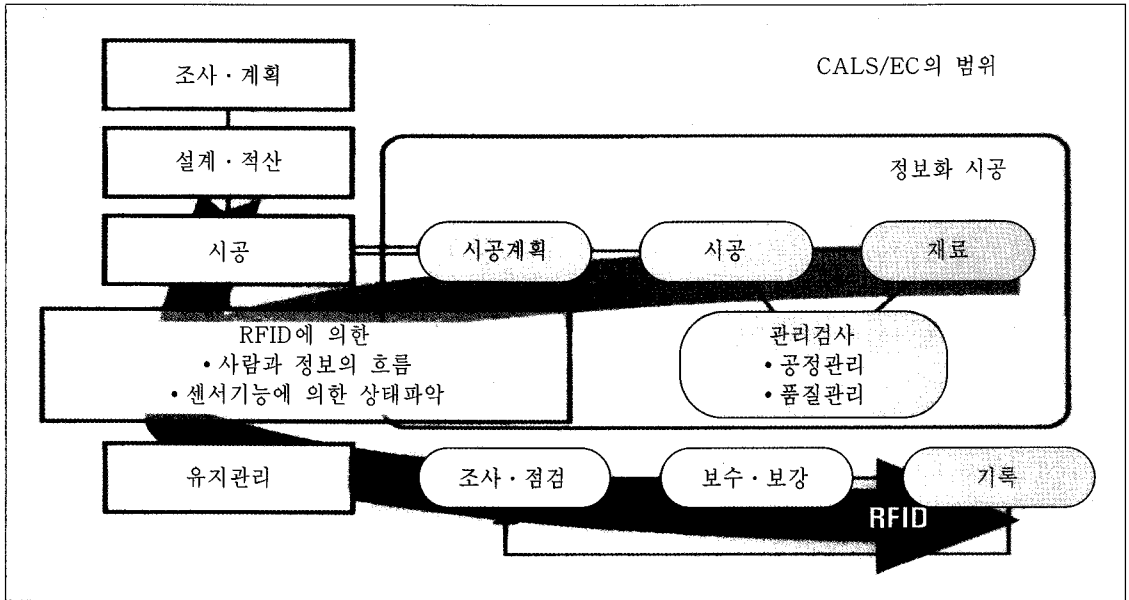
〈그림-8〉에 계측결과를 나타내었다. 그라우트 주입직전까지는, 공기의 저항이 ∞라고 가정했을 때의



〈그림-7〉 시스템 구성



〈그림-8〉 측정 전압값



〈그림-9〉 건설산업에 있어서 RFID의 활용

본 시스템에서의 이론적인 전압치인 약 1,320mV를 나타내었지만, 그라운드 주입에 의해 측정 전압값은 크게 저하하여, 그라운드 충전을 검지 가능한 것이 검증되었다. 측정 전압값은 그라운드 주입 후, 시간 경과와 함께 상승했지만, 이것은 그라운드 경화에 따라 자유수가 감소하고, 전극간의 저항이 증가한 것에 의한 것이라고 생각된다. 그라우트가 경화해도 수분이 완전히 없어지는 것이 아니기 때문에, 그라우트와 센서가 접촉하면 준공검사에서도 충전상태가 확인 가능하다. 또, RFID 태그에는 메모리기능이 있고, 본 시험에서는 PC케이블의 정보나 계측 결과를 메모리내에 기록했지만, 이들 기록은, 4개월 경과 후에도 읽음표시가 가능한 것을 확인하였다.

## 5. 결 언

RFID는 건설산업에 있어 금후도 광범위하게 활용된다고 생각되고 있다. 참고로 그 개요를 〈그림-9〉에 나타내었다. 건설산업에 이용되는 재료의 품질, 시방 등의 정보를, 설계나 시공의 정보와 함께

RFID를 지표로 유지관리까지 추적이 가능해졌고, 더욱이 센서기능을 추가한 RFID에서는 시공이나 유지관리에서 구조물의 상태도 동시에 검지하고, 보다 효율적으로 운용할 수 있는 가능성이 있다. CAL S/EC가 구조물의 유지관리까지를 포괄하는 것을 목표로 하고 있지만, 실제의 구조물의 조사점검에서는, 설계도, 공사기록이나 보수기록 등이 보관되어 있지 않은 것도 많다. 아직 유지관리를 포함시킨 시스템화에는, 발주제도 등도 포함한 많은 과제가 있다. 또 센서기능부가 RFID태그는, 몰류나 의료 등의 분야에서도 아직 연구가 진행되고 있는 단계로, 특히 전지를 탑재하지 않은 패시브타입에서는, 전지 교환없이 장기에 걸쳐 계측이 가능하지만, 공급된 전력이 작기 때문에 사용 가능한 센서에 제한이 있는 등 과제도 많다.

따라서 본고에서 나타낸 바와 같이, 콘크리트구조물에 적용은 철근이나 수분의 영향은 있지만 콘크리트 내부상태를 센싱하여, 그 정보를 꺼내는 것이 가능하고, 금후 건설산업에서 생산성 및 품질의 향상에 공헌할 수 있다는 것도 기대된다. ▲