

# 유비쿼터스 사회기반구축 및 관리를 위한 건설계측기술의 미래

## Future of Ubiquitous Structural Health Monitoring for Infrastructure Management

임 홍 철\*

Rhim, Hong-Chul

### ABSTRACT

As a part of efforts to enhance construction technology, it is essential to obtain competitive technology which is future-oriented. In this paper, the current status of structural health monitoring techniques is reviewed. Also, ubiquitous system is expected in its use for further development and applications in construction.

**Keywords:** fusion in construction, monitoring technology, infrastructure, telemetry

## 1. 서 론

기반 시설물에 대한 안정성과 사용성 증대 및 보수에 관한 필요성이 늘어나면서 시설물의 계측과 모니터링에 대한 중요성이 강조되고 있다. 시설물의 모니터링과 계측분야는 국내뿐만 아니라, 국외에서도 활발히 진행되고 있는 분야로서, 전자, 기계 등 요소기술의 발전에 힘입어 건설 계측기법 개발의 발전이 지속적으로 관찰되고, 적용성을 분석함으로써 최적의 결과를 얻을 수 있는 꾸준한 연구가 필요하다.

## 2. 국내외 연구동향 분석

현재 국내 계측, 센서 등의 기술력은 선진국의 기술수준에 비해 경쟁력이 시설물의 점검진단 관련분야의 국내 기술력은 성수대교 붕괴 등의 대형사고 이후 적극적인 연구 및 투자로 선진국과 대등한 경쟁력을 보유하고 있다 (한국건설산업연구원, 2004).

유비쿼터스 사회기반 구축에 대해서 국내에서는 U-Korea, U-City 등의 일부 추진체가 활동 중에 있으나 국가적 자산운용 및 공공의 안전관리 측면에서 정보화된 사회기반 구축에 대한 세부적 추진계획이 마련되지 않고 있다. 국외에서는 GIS, GPS 기반의 모니터링 체계가 어느 정도 구현되고 있으나 아직 스마트 센서개발, 사회기반시설물 통합 DB 구축 등의 유비쿼터스 개념에서 사회기반시설물을 통합 운용·관리하기 위한 기반사업은 초기단계이다 (국가과학기술위원회, 2005).

\* 정회원 · 연세대학교 건축공학과 교수 E-mail: hcrhim@yonsei.ac.kr

국내에서 진행, 계획되고 있는 계측관련 과학기술개발 로드맵은 Table 1과 같다

Table 1. 기존 국내정책자료

자 료 명	내 용	발 행 처	연도
건설혁신사업 5개년 (2003~2007) 계획	IT를 접목한 첨단건설기술 개발	건설교통부	2002
	시설물 유지관리 효율화	한국건설교통기술평가원	
도로공사기술로드맵 (HTRM)	지능형 점검/진단 시스템 개발	한국건설산업연구원	2004
	시설물 안전감사체계 구축		
국가기술지도 1단계-핵심기술도출	건설정보화 기술	국가기술지도기획단	2005
미래 국가유망기술 21	유비쿼터스 사회기반 구축/관리기술	국가과학기술위원회	2005
IT839 전략기술개발 Master Plan	홈 네트워킹	정보통신부	2005

미국의 경우, Federal Highway Administration (FHWA)과 각 주정부 산하 Department of Transportation (DOT)이, 비파괴 검사학회 (American Society for Nondestructive Testing), 콘크리트학회 (American Institute of Concrete), 토목학회 (American Society of Civil Engineers)와 연계하여 활발한 연구, 발표, 실제 구조물 적용을 하고 있다. 최근 하드웨어분야 연구의 경향은 Table 2와 같이 무선 계측을 위한 센서개발이 주류를 이루고 있다.

Table 2. 하드웨어분야 해외연구사례

연구주제	연구 내용	연도	기 타
USC	Structural Monitoring	2004	WSN:Mica-2
Stanford	Power-efficient data management for a wireless structure monitoring system	2003	WSN
UIUC, University of Notre Dame	Wireless Sensor Network Mote for Building Risk Monitoring	2004	Project for Kobori Research LAB in Tokyo WSN:Mica-2
UIUC	Smart Brick	2003	WSN
Pacific Northwest National Lab	Sensor Network / Building Control Intergration	진행중	Wired & Wireless
Ministry of Transport in Netherlands	Monitoring of concrete structures on ASR : a smart structure project	2003	Wired Sensor

소프트웨어분야에서는 미국의 UC Berkeley가 센서 네트워크 전 분야에서 앞선 연구를 진행하고 있다. MIT에서도 2003년 10대 차세대 전략산업기술 중 하나로 센서네트워크를 지목하는 등 미국이 주도적으로

이 분야의 시장성과 경제성에 관심을 기울이고 있는 가운데 다른 나라들도 이 분야의 연구에 참여하고 있다.

Table 3. 소프트웨어 분야 해외연구사례

분야	분류	내용 (연구기관)
센서노드 운영체제 기술	운영체제	TinyOS(UC Berkeley), SOS(UCLA), MANTIS(Colorado), MagnetOS(Cornell), SensorWare(UCLA), EYES (University of Twente), TRON(U Tokyo)
	시스템	nesC(UC Berkeley), galsC(UC Berkeley), TinyTCL(UCLA), SQT(L Delaware)
센서 네트워크 기타 요소 기술	네트워크 요소 기술	PSFQ/CODA(Columbia), ESRT(Georgia Tech), RMST(USC)
		GPSR(Harvard), GEAR(UCLA), SPEED (Virginia), GBR(USC)
		Rumer routing(UCLA), SPIN(MIT), Directed Diffusion(UCLA), Combs Needles Haystacks(UC Davis), TTDD(UCLA), ACQUIRE(USC), KPT(Pennsylvania State)
		LEACH(MIT), PEGASIS(AeroSpace Co.), HEED(Purdue), GAF(UCLA)
		EAR (UC Berkeley), GRAB(UCLA), ReInForm(Rutgers), HAR(U Tokyo)
	시스템 요소 기술	TinyDB(Berkeley), Cougar(Cornell), QPSN(MIT)
		Calamari(UC Berkeley), Distributed Localization(MIT), MDS(Pennsylvania), APS (Rutgers), SeRLoc(Washington), LASN(UIUC), R-FLS(Virginia)
		Deluge(UC Berkeley), MOAP(UCLA), XnP(UC Berkeley), Drip(UC Berkeley)
		FTSP(Vanderbilt), RBS(UCLA), TPSN(UCLA), LEAP(George Mason University)
		TinySec(UC Berkeley), SPINS(UC Berkeley), SIA(CMU)
센서 네트워크 응용	마들웨어	Mate(UC Berkeley), Impala(Princeton), SINA(Delaware), DSWare(Virginia)
	생태 모니터링	Great Duck Island(UC Berkeley), CORIE(Oregon Graduate Institute) The Most Sensed Campus(CMU), REM(University of Western Australia)
	위치추적	Countersniper System (Vanderbilt), RADAR(Microsoft), Cricket(MIT), Active Badge(AT&T), MoteTrack(Harvard), AHLOS(UCLA)
	지능형 환경인식	Smart Kindergarten(UCLA), Proactive Agriculture(Intel), Active Visitor Guidance System(USC), Surveillance System(Arkansas)
	기타	Smart Brick(UIUC), Structural Monitoring(USC), Cabled Ocean Observatories (University of Washington), Robomote(USC), HM of Highway bridges(UCSD)

아시아권에서도, 일본의 Smart Structures Research Center, 중국의 Center for Intelligent High-Performance Structures, 그리고, 대만, 싱가포르, 태국, 말레이시아 등에서 각기 연구를 진행하고 있다.

### 3. 분야별 연구내용

첨단 계측센서를 활용한 객관적 모니터링 및 유지관리에 대한 기술적 배양은 국내 건설기술의 대외 경쟁력 향상에도 중요하며 기술의 수출을 통한 부가가치를 창출할 수 있다. 여기에는 건설계측에 필요한 센싱 기

능뿐 아니라 수집된 데이터를 처리하고 송수신 할 수 있는 건설에 특화된 센서 노드의 개발과 더불어 계측 후 데이터 처리 및 분석, 차별화된 데이터 전송 기술, 분석 소프트웨어의 보수를 위해 프로그램을 무선으로 업그레이드하기 위한 코드전파 기술 및 저전력 기술 등에 관한 연구도 필요하다.

따라서 건설계측기술의 발전은 계측 센서노드의 하드웨어, 데이터처리 및 전송을 위한 소프트웨어, 이를 통합하고 운용, 분석하는 응용의 세 가지 측면에서 접근하여 분석할 수 있다.

### 3.1. 하드웨어

시설물 계측에 필요한 센싱기술의 초점은 기존의 계측 정밀도를 높이는 계측기술을 넘어 MEMS를 이용한 전반적 시설물 상태의 확보에 맞춰지고 있다. MicroElectroMechanical Systems (MEMS)란 크기가 1 마이크로에서 1mm에 이르는 반도체 공정을 이용한 일괄공정(batch-process)을 통해 제작된 전기 전자기기 시스템을 일컫는다. 1947년에 개발된 트랜지스터의 경우에는 현재 그 선폭이 130 나노미터에 이르는 양산 공정이 개발되었으며, 연구실 수준에서는 전자빔(e-beam)공정을 이용하여 10 나노미터에 이르는 공정 또한 개발 중이다.

기계적인 부품에 대해서는 매우 작은 크기의 기계요소를 생산하는 공정이 최근부터 개발 중이다. 정전기력, 자기력을 이용한 액츄에이터(actuator), 모터 외팔보나, 박막 격판(diaphragm)등이 MEMS 공정을 이용하여 제조되어 압력, 온도, 화학 센서로 또, 회전 혹은 직선 구동에 사용되고 있다. 많은 경우에 있어서 이러한 소형화 기술은 그 물리적 크기, 무게를 작게 하는 것 이외에도 신뢰도와 기능을 향상 시킨다.

하드웨어 분야의 기술개발 이슈는 시설물에 내장하여 측정할 수 있는 다양한 상태변화를 모니터링하고 무선으로 송신할 수 있는 센서제작기술의 개발이다. 시설물에 큰 외력이나 치명적인 손상이 발생하는 극단적인 상황에서도 지속적 모니터링이 가능한 신뢰성을 가지고도 저전력으로 작동하여 배터리 교체를 최소화 하는 센서 개발이 당면목표이다. Fig 1은 flexible sensor로 측정 부위와의 부착이 간단하고 외력의 변화에서도 모니터링의 신뢰성을 높이고 있다.

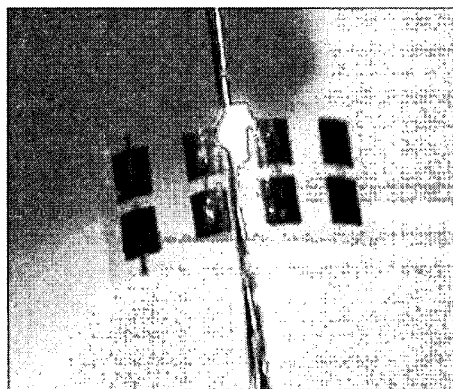


Fig 1. Surface micromachined flexible sensors

센싱 원천기술과 IT기술을 접목하여 특수목적의 센서조합(센서, 기판, 데이터 처리모듈, 무선모뎀등)의 개발은 세계적으로도 초기단계이며, 국내의 연구도 활발하게 전개되고 있으므로 국내 및 세계시장으로의 진출

은 충분히 가능할 것으로 판단된다.

### 3.2. 소프트웨어

소프트웨어 분야에서는 계측 응용을 위한 센서 네트워크 시스템 및 시스템 소프트웨어와 계측데이터 전송 및 처리를 위한 라우팅 기술 개발의 연구가 당면 목표이다. 또한 기존의 표준화 되지 않은 이기종 네트워크 연동 기술과 데이터 전송간 신뢰성 확보도 중요하다.

센서 네트워크 기술은 정보통신부가 발표한 IT839의 3대 첨단 인프라의 하나로 산업자원부는 준비기(2005년), 도입기(2006년), 확산기(2007년 이후)로 “유비쿼터스 추진 로드맵”을 선정하고 ‘RFID 산업진흥센터’를 설치, 산학연의 기술, 상품, 적용의 활성화를 지원할 계획하고 있으며, 2003년 유비쿼터스 관련시장은 10억달러 규모였으나 향후 매년 22.6% 이상 성장이 예측된다 (한국건설산업연구원, 2004).

머들웨어 및 시스템 기술은 현재 USN서비스 모델링 단계이므로 국내의 발달된 IT인프라를 활용한 앞선 서비스 테스트베드의 구축 및 실증 단계를 활용하면 경쟁우위를 확보 가능하다 (정보통신부, 2005).

### 3.3. 응용

센서는 그 기능과 목적에 따라 구조물의 공사가 진행되면서 사람의 손이 닿을 수 없는 부분에 설치되기도 한다. 이러한 경우 지속적인 전력 공급을 위해 전력선을 사용하거나 태양열 에너지를 사용할 수 있다. 하지만 센서에 접근이 용이할 경우 배터리를 이용하여 간단히 설치 할 수 있다.

또한 센서로부터 수신된 측정 결과값을 근거로 판정을 내리는 기준과 적용성에 대하여 데이터의 의미를 분석하고 판단하는 계측 자동화 루틴 작성도 연구대상이다.

그 대상 기술로는

- 구조물의 실시간 모니터링 시스템 구축기술
- 구조물로부터 얻어진 데이터의 분석기술
- 구조물에 반영되는 정보의 다양성 등이 있다.

센서노드는 빌딩이나 구조물에 움직이지 않도록 부착되어 주변의 환경 정보를 실시간에 감지하여 수집된 데이터를 전송한다. 특히 고층구조물이나 대형교량 등 사고발생시 큰 피해를 가져오는 구조물의 경우 실시간으로 구조물의 상태를 진단 할 수 있다는 점에서 효과적이다.

재해예방의 측면에서 구조물에 대한 모든 정보를 한눈에 볼 수 있고, 이러한 정보들을 바탕으로 수명 예측 및 유지보수에 대한 예측 또한 가능하므로 재해예방의 측면에서 커다란 효과를 가져 올 것이다. 중요시설물에 대한 상시감시와 경보에 적용하면, 기존 안전진단 시스템을 대체할 수 있으며, 정부 관련기관과 연계한 재난 방지대처 시스템으로도 활용할 수 있다. 이것은 재난방지 시스템의 실용화 혹은 상품화로 이어질 수 있다. 또한, 새로운 기술의 개발은 새로운 교육 분야로서 개척될 수 있으며, 환경 보호 등과 관련된 다양한 분야에서 새로운 연구로 활용될 수 있다.

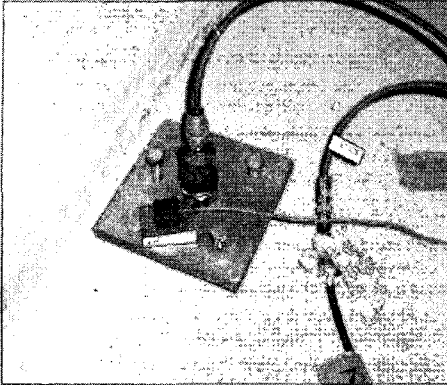


Fig 2. Acceleration Sensor for Bridge Box Girder

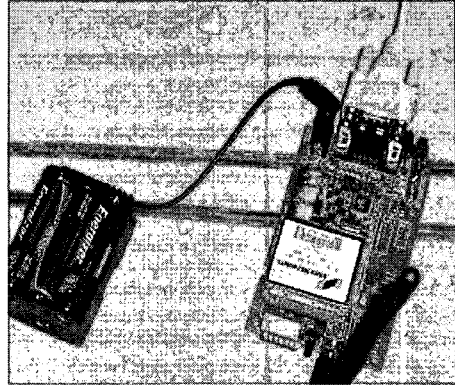


Fig 3. Wireless 수신장치

#### 4. 결 론

국내건설계측산업의 발전을 위해, 사회기반시설물의 계측에 관련된 국내의 현황을 검토하고, 일부 내용을 살펴보았다. 앞으로 계측분야의 발전을 위해서는 다양한 기반기술을 효과적으로 집약시켜, 적용할 필요가 있다

#### 감사의 글

본 논문은 건설교통부 지원 아래 설립된 연세대학교 첨단융합건설연구단의 연구비 지원으로 작성되었으며, 이에 감사드립니다. 동 연구단 계측기획팀의 컴퓨터과학과 차호정교수와 기계공학과 전홍재교수께도 자료제공 등 협조에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 건설교통부, 한국건설교통기술평가원 (2002) 건설혁신사업 5개년 (2003~2007) 계획
- 국가과학기술위원회 (2005) 미래 국가유망기술 21
- 국가기술지도기획단 (2005) 국가기술지도 1단계-핵심기술도출
- 정보통신부 (2005) IT839 전략기술개발 Master Plan
- 한국건설산업연구원 (2004) 도로공사기술로드맵 (HTRM)