

# 유비쿼터스 환경의 시설물 모니터링 시스템 구현을 위한 모듈 설계

## Design of Facility Monitoring System Module for Ubiquitous Computing

이 우 식\* · 남 상 관  
Lee, Woo-Sik · Nam, Sang-Kwan

### 요 약

국내 건설업은 90년대 중반 이후 잇따른 건설구조물 붕괴사고가 발생하기 이전까지 구조물의 완공 자체에만 치중하여 유지관리분야에 대해서는 상당히 소홀했던 것이 사실이다. 현재, 국내의 시설물 모니터링체계는 유선방식의 대형시설물을 중심으로 극히 제한적으로 활용되고 있는바, 전국의 노후화된 수많은 중, 소형 시설물을 모니터링 하기에는 한계가 있다. 최근 센서, 센서네트워크, 무선통신 등 유비쿼터스 관련 기술의 급속한 발전으로 인하여 이를 건설분야에 적용하고자 하는 노력들이 증가하고 있는 추세이다. 그러나, 이와 같은 각종 연구가 진행되고는 있는 반면, 실제 실용화를 위한 연구나 기술개발은 미비하며, 특히 시설물 모니터링 분야에서의 적용 연구는 더욱 미흡한 실정이다. 따라서, 본 논문은 유비쿼터스 환경의 시설물 모니터링 시스템 구현을 위해 필요한 각 단계별 모듈 구성에 대한 방법론에 대하여 논하고자 한다.

키워드: 시설물 모니터링, 센서, 센서네트워크, 무선통신, 유비쿼터스, USN

### 1. 서 론<sup>1)</sup>

최근 시설물 안전 진단 및 모니터링 기술에 대한 중요성이 점차 증가하고 있는 추세이다. 교량의 경우, 장대교량을 중심으로 계측관리에 대한 연구가 활발히 진행 중이며, 구조물의 상태, 안전을 위한 진단 시스템을 위해 구조물에 계측 센서를 내장하고 이를 광케이블 등을 이용하여 시설물을 상시적으로 모니터링 할 수 있는 시스템이 활용되고 있는 추세이다. 그러나, 이러한 교량 계측시스템은 주로 장대교량위주의 특정 시설물에만 제한적으로 사용되고 있으며, 유선 광케이블을 이용하기 때문에 초기 구축비용이 과다하게 소요되는 점과 구조물마다 개별 시스템 적용으로 통합관리의 어려움 및 오류 발생시 위치 파악 및 수정작업이 곤란하다는 등 많은 문제점을 안고 있다. 한편, 최근 초고속 정보통신의 발달과 유비쿼터스 환경의 도래로 기존의 유선 방식에서 설치 및 관리의 효율성이 높은 무선 방식의 제어 감시 시스템 도입이 제기되고 있다. 이러한 유비쿼터

스 환경의 도래는 사회 전반적인 패러다임의 변화를 가져올 것으로 예상되며, 특히 산업적 파급효과가 큰 건설분야에 적용할 경우 많은 효과를 기대할 수 있다. 즉, 유비쿼터스 무선 네트워크 및 전송 기술과 실시간 계측기술을 시설물 모니터링 분야에 도입할 경우 하나의 관제소에서 수많은 시설물의 동시 모니터링이 가능하여 인력 및 경비 절감 효과가 있으며 GIS, LBS 기술 등과 접목할 경우 위험 메세징(SMS) 기능, 위험을 알리는 전자 표지판, 경로 차단 등 시설물 안전관리 부분으로 확대 적용할 수 있을 것으로 예상된다. 본 연구에서는 건설분야 토목시설물 중에서 원격지에 위치한 노후화된 시설물을 대상으로 하며, 센서단으로부터 무선방식으로 실시간 데이터 취득, 관리, 위험 상황 대처 서비스 기술 등 효율적 시설물 모니터링 기술구현을 목적으로 하고 있다. 또한, 시설물 모니터링 업무에 유비쿼터스 환경을 구축하기 위해 요구되는 기술들을 중심으로 각 단계별 모듈 구성에 대한 방법과 적용과정을 실제로 구현하는 것을 목표로 한다.

### 2 유비쿼터스 환경 시설물 모니터링 에서의 제한조건

현재 유비쿼터스 시설물 모니터링의 목적으로 Bluetooth 센서네트워크와 Zigbee 센서네트워크 두가지 소출력 무선센서 네트워크가 구성될 수 있으며, 본 연구에서는 두 가지 방법에 대한 연구를 동시에 진행하여, 시설물 모니터링 분야 센서 네트워크의 최적 기술을 찾아내고자 하는 연구를

\* 종신회원, 한국건설기술연구원 유비쿼터스국토연구부 선임연구원, 공학박사, [wsLee@kict.re.kr](mailto:wsLee@kict.re.kr)

\*\* 일반회원, 한국건설기술연구원 유비쿼터스국토연구부 연구원, 공학석사, [griffey@kict.re.kr](mailto:griffey@kict.re.kr)

본 연구는 2003년 건설교통부 건설핵심기술연구개발 사업에 의해 수행되었음. 과제번호 03산학연 A02-06.

진행하였다. 시설물의 성격과 시설물의 위치 및 크기, 종류 등이 유비쿼터스 환경의 구축을 제한하는 사항으로 존재한다. 즉, 토목분야의 시설물은 일반적인 유비쿼터스 응용분야에서 다루는 반경 10m 내의 무선 환경이 아니라 적어도 교량의 경우처럼 공간장이 50m 이상인 시설물을 대상으로 하기 때문에 적어도 50m 이상의 무선송수신 거리를 갖도록 유비쿼터스 환경을 설계해야 한다. 시설물 모니터링의 경우 적용되는 시설물의 성격은 특수한 상황이 전개되었을 때 그 필요성이 부각되는 경우가 많다. 또한, 대형 토목 구조물의 경우 도심에 위치하는 경우는 드물고 국도, 고속도로 등 산간지방 및 지방지역에 위치하는 경우가 많아, 위치 또한 유비쿼터스 환경을 구축하기가 용이한 상황이 아닌 경우가 많고, 심한 경우 환경 자체를 구축할 수 없는 경우도 있다. 이러한 제한사항을 고려하면 현시점에서 토목 시설물 모니터링을 위한 유비쿼터스 환경의 구축은 상당한 제약을 가질 수 밖에 없다.

표 1. 토목 시설물 모니터링의 특징

조건	특징
제약조건	지방지역, 산간지역에 위치한 경우가 많음
	문제가 발생하지 않을 시에는 부각되지 못함
	시스템의 설치 및 모니터링의 어려움
	특수상황이 발생하였을 경우 대처의 어려움
필요요소	무선 통신 기능이 내장된 스마트 센서
	50m 이상의 무선송신이 가능해야 함
	원거리 무선 통신이 가능해야 함
	상시적이고 안정적인 전력의 공급이 필요함

### 3. 시스템 구성 및 모듈 설계

본 연구에서는 시스템 자체의 문제를 실험하며, 보완하기 위하여 모형 교량을 제작하고, 시범시스템을 만들어 연구를 진행하였다. 모형 교량 테스트 및 시범 시스템의 시스템 요구조건은 다음과 같다.

- 시험 시스템은 실내 모형 교량을 대상으로 실시한다.
- 계측 데이터 처리 및 전송을 위해서 초소형 임베디드 디바이스를 이용하여 데이터를 계측하며, 무선 네트워크 방식으로 게이트웨이 시스템으로 데이터를 전송한다.
- 센서 네트워크는 Bluetooth 무선 통신을 이용한 센서 네트워크와 Zigbee 무선통신을 이용한 센서 네트워크 두 방법을 사용한다.
- 게이트웨이시스템에 수집된 데이터는 SOAP 형식으로 Internet을 통해 서비스 시스템에 전송되도록 한다.
- 서비스 시스템에 수집된 데이터는 실시간 데이터 확인이 가능하도록 한다.
- 서비스 시스템에서 분석된 결과를 토대로 SOAP 형식의 경고 메시지를 제어 서버에 전송할 수 있다.

시스템 요구 조건에 따라 시퀀스 다이어그램을 도시하면 단위 시스템 간 연관관계와 데이터플로우를 살펴보면 다음 그림과 같다.

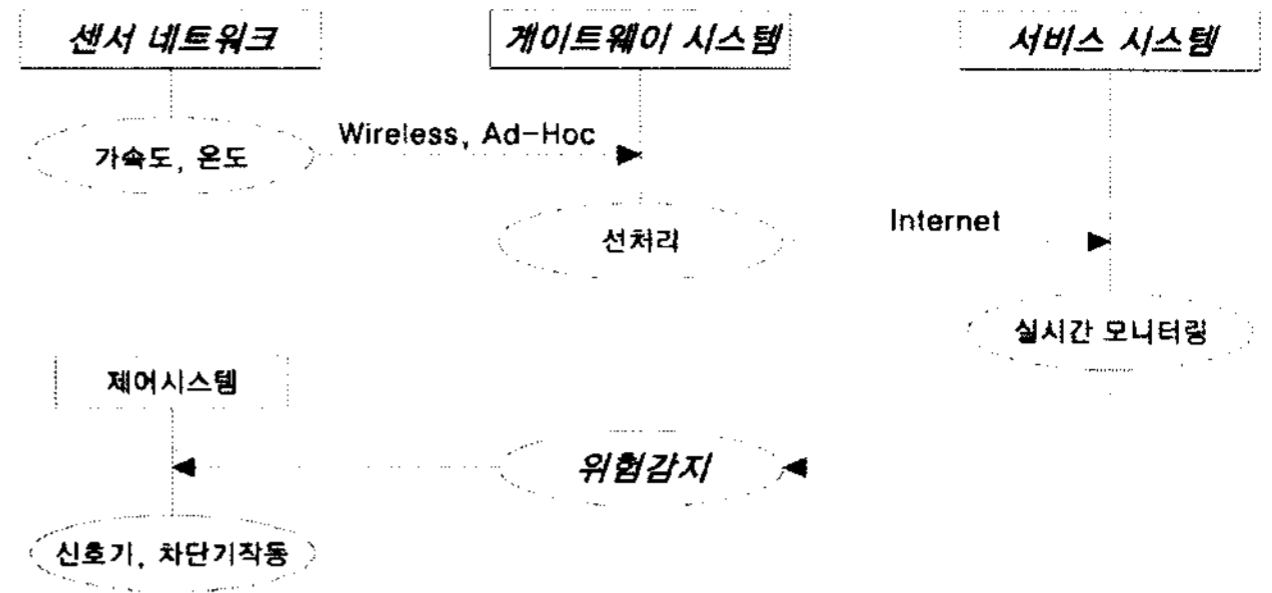


그림 1. 유비쿼터스 시설물 모니터링 정보의 흐름도

유비쿼터스 기술을 응용해 개발되는 유비쿼터스 시스템은 유비쿼터스 환경 속에서 홀로 존재하는 것이 아니라 다른 시스템들과 끊임없이 상호 작용하면서 운용된다. 따라서 시스템을 개별적으로 다루는 것도 중요하지만 전반적으로 다른 시스템과 어떻게 상호 연관시켜 운영할 것인가를 고려하여 시스템 아키텍처 설계를 수행하였다. 또한 시설물 모니터링 분야 뿐만 아니라 타 건설, 토목 분야에 적용하기 위한 하나의 가이드라인과 기준 제시를 위한 연구를 중점적으로 진행하였다.

따라서, USN을 구축하기 위한 기반 기술들, 즉 센서 네트워크 설계, 게이트웨이 시스템 설계, 웹서비스 시스템 설계기술에 대한 연구가 필요하며, 본 장에서는 이에 대한 구체적인 연구결과를 제시하였다. 건설 유비쿼터스 컴퓨팅은 사람과 컴퓨터, 그리고 사물을 네트워크로 연결하고 실시간 정보를 주고받을 수 있도록 하는 컴퓨터화의 미래 발전 단계를 의미한다.

#### 3.1 센서네트워크 모듈 설계

유비쿼터스 센서 네트워크는 구조물이나 대상 물체에 대한 상태를 센서를 통해 파악한 후, 상태에 대한 각종 데이터를 네트워크를 통해 해석작업을 수행하는 서버장비까지 전송하는 네트워크를 말한다.

유비쿼터스 환경의 지능형 시설물 모니터링 시스템을 위한 센서네트워크는 다음의 몇 가지 조건을 만족해야 한다.

첫째, 센서 네트워크의 상호 운용성을 보장하는 센서 네트워크 표준을 만족해야 한다. 즉 센싱이 되는 항목이 어떠한 시스템이나 데이터베이스, 또는 어떠한 모니터링 서비스망에 결합되더라도 손쉽게 접목될 수 있어야 한다는 것이다. 따라서 이러한 자료호환의 목적으로 센싱에 대한 표준화 즉, SensorML의 도입이 필요하다.

둘째, 시설물 모니터링을 위한 다양한 계측기나 센서를 인터페이스 할 수 있는 하드웨어적인 설계나 시스템에 대한 연구가 이루어져야 하며 각종 계측기의 운영을 위해서는 소형화, 초저전력화 가능하도록 하드웨어 및 소프트웨어의 설계가 이루어져야 한다.

셋째, 센서네트워크의 구성에 있어서 모니터링망을 신속하게 구성할 수 있고 향후 장기적인 유지보수가 가능하도록 센서 네트워크의 구성도 Ad-hoc 네트워크가 자동적으로 구현될 수 있는 설계가 이루어져야 한다.

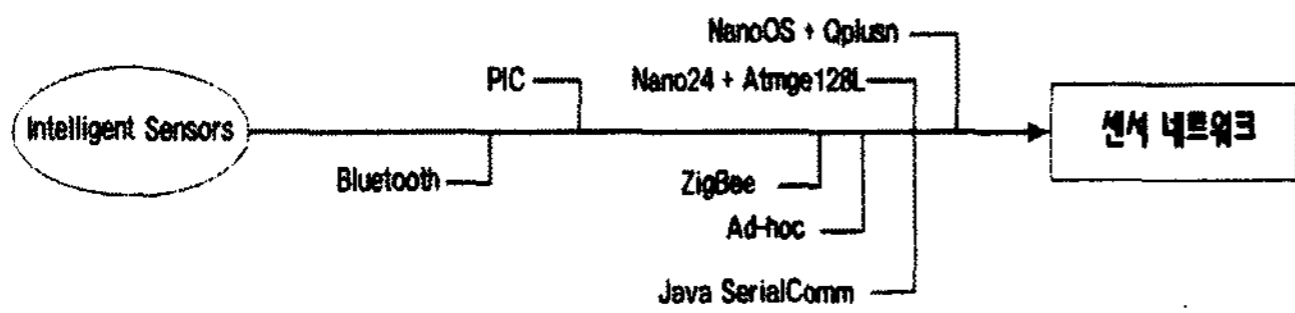


그림 2. 센서 네트워크 구성을 위한 제반기술 연결도

센서네트워크 모듈은 크게 CPU, Sensor, Embedded OS, Memory, RF Module로 구분할 수 있다. 현재는 이러한 모듈을 하나의 보드에 구성하여 제작하는 One Board 시스템으로 구성되어 있으며, 향후 모든 기능을 하나의 Chip에 이식하여 One Chip 기반의 시스템으로 제작하기 위한 연구가 국내외에서 진행중이다. 본 연구에서는 위에서 언급한 유비쿼터스 환경의 센서 네트워크를 만족하는 최적의 센서 네트워크 모듈에 관해 다음과 같은 센서 네트워크 모듈을 선정하였다.

센서 네트워크의 구성 모듈 중 가장 중요한 부분 중 하나는 RF 통신 방식인데, 본 연구에서는 각종 문헌 자료 연구 및 조사를 통해 시설물 모니터링을 위한 유비쿼터스 센서 네트워크 도입을 위한 연구를 진행하였고, 그 결과 IEEE 802.15.1 규격의 Bluetooth 센서 네트워크와 IEEE 802.15.4 규격의 Zigbee 센서 네트워크가 시설물 모니터링을 위한 가장 적합한 기술로 선정하였다. 최근 Zigbee 기술의 발달로 인해 전력 소모면이나 메쉬(mesh)네트워크의 구성면에서 Bluetooth 방식 보다는 Zigbee 방식의 통신방식이 더 우수한 것으로 판단된다. 또한 CPU는 Atmega128L과 PIC이 적합한 것으로 판단되는데, 프로그래밍의 용이성 부분은 PIC이 유리하며, 전력소모나 시장 점유율 면에서는 Atmega128L이 앞선다. Embedded OS는 TinyOS와 ETRI의 NanoQ가 유사한 성능인 것으로 판단된다.

### 3.2 게이트웨이 시스템 모듈 설계

자료전송 게이트웨이는 현장의 센서 네트워크로부터 전송되는 데이터를 수신하여 처리한 후(pre-processing) 인터넷을 통하여 서버 시스템에 데이터를 전송하는 시스템을 말한다. 이를 위해서는 현장의 센싱 자료의 크기와 전송속도를 충분히 소화할 수 있고 서비스 시스템과의 원활한 통신을 보장할 수 있는 시스템이 요구된다. 센서 네트워크로부터 입력된 자료는 게이트웨이 서버에서 자료처리과정을 거쳐서 자료의 정상 여부를 판단한다. 또한 각종 센서로부터 실시간 전송되는 많은 양의 데이터를 처리해야 하며, 수집된 자료를 기반으로 시설물의 건전성을 일차적으로 판단해야 하기 때문에 비교적 높은 컴퓨팅 성능을 필요로 한다.

게이트웨이는 센서 네트워크로부터 수집된 정보를 취합하기 위한 근거리 RF 통신모듈, 수집된 정보를 서버로 전송하기 위한 원거리 통신모듈, OS 모듈로 구성된다. 게이트웨이 시스템은 센서 네트워크 모듈보다 뛰어난 성능과 내구력을 갖추어야 하며, 현장의 극한 환경에서 견딜 수 있으면서 크기가 작고 고장시 쉽게 대처할 수 있는 조건을 만족해야 한다.

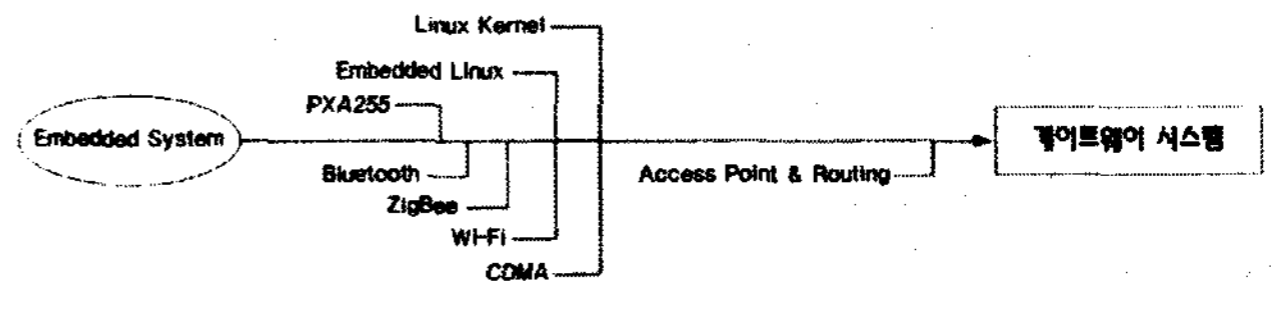


그림 3. 게이트웨이 시스템 제반기술사항 연결도

이러한 조건을 만족할 만한 플랫폼으로 Embedded Linux 기반의 플랫폼이 가장 적합하다. Embedded Linux 시스템은 오픈소스 기반으로 구성되어 프로그래밍이 용이하고 확장성이 뛰어나기 때문이다.

게이트웨이 시스템은 자신이 센서 네트워크의 출구임을 통보하고 센서 네트워크는 이러한 정보를 인식하여 최적의 경로를 찾아서 센싱된 정보를 게이트웨이 시스템까지 전달하게 된다. 게이트웨이 시스템은 보통 시리얼포트 입출력이 가능한 Bluetooth나 Zigbee 모듈을 탑재하고 인터럽트 방식이나 폴링방식을 통하여 센서 네트워크의 입력신호에 반응하는 루틴을 수행하도록 소프트웨어가 구축할 수 있다.

센서 네트워크로부터 수집된 자료가 서버 시스템의 네트워크인 인터넷에 연결되기 위한 방식은 현장의 환경에 따라 유선랜, CDMA, Wi-Fi, WirelessMAN 그리고 위성인터넷 통신 등 다양한 방식이 적용될 수 있다. 이를 위해 다양한 원거리 통신 방식을 확장성 있게 지원할 수 있는 시스템이 필요하다. 이상의 조건을 기반으로 한 게이트웨이 시스템은 다음 그림과 같이 구성할 수 있다.

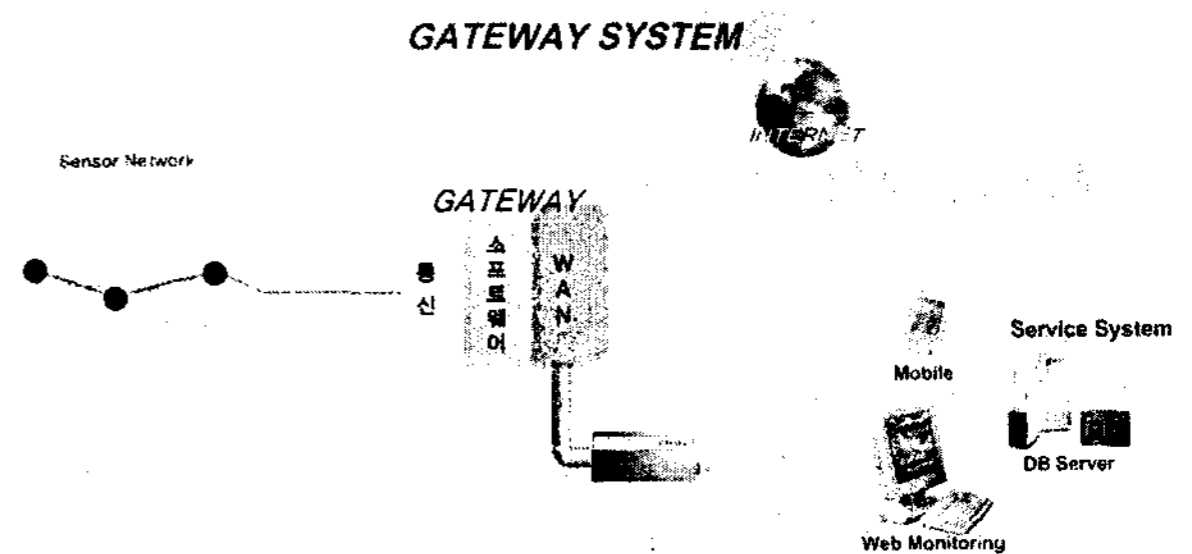


그림 4. 센서네트워크와 게이트웨이 시스템

### 3.3 서비스 시스템 모듈 설계

센서 네트워크에서 수집된 시설물 모니터링에 관한 정보가 게이트웨이 시스템을 거쳐서 최종적으로 인터넷에 연결된 서비스 시스템 서버에 전달될 때 다음과 같은 상황을 검토할 필요가 있다.

첫째, 인터넷 소켓을 통하여 입력되는 자료는 일단 인증절차를 거쳐서 시스템으로 유입되어야 한다. 최근 인터넷의 보안이 급격히 문제화되면서 외부로부터의 임의적인 자료가 서버로 유입되는 것은 상당히 위험할 수 있다. 따라서 최종 유입되는 자료의 전송과정은 이런 인증절차를 거치거나 인증절차를 거치지 않더라도 정상적인 자료로 판단된 경우에만 처리되어야 한다.

둘째, 센서 네트워크의 종류와 구성된 센서는 다양한 특성을 가지고 있기 때문에 네트워크 종류와 센서의 특성에 맞는 루틴을 각각 개발하여 자료를 처리할 수는 없다. 따라서 서비스 시스템은 SensorML 등의 표준화된 방식을 도입하여 유비쿼터스 센싱의 목적에 부합하는 형태로 자료가 생산될 수 있도록 설계되어야 하며 센서 네트워크나 센서의 종류에 관계없이 처리할 수 있는 기능을 염두에 두어야 한다.

셋째, 유비쿼터스 환경의 시설물 모니터링 시스템은 사용자가 언제든지 센서 네트워크를 통하여 획득된 자료를 Web 상에서 검색, 조회 및 분석이 가능하도록 구축되어야 한다. 이러한 목적으로 웹서비스와 Web D/B가 구축되어야 하며 각종 그래프기능, 통계기능 등의 틀을 구축하여 자료의 전반적인 평가와 질적인 관리가 가능하도록 하여야 한다.

넷째, 시설물 모니터링 센서 네트워크의 경우에는 각종 시설물의 상태를 나타내는 센서의 정보를 인간이 인지할 수 있는 시설물의 상태로 변환하기 위한 공학적인 분석기능이 필요하므로 인터넷에 연결된 해석서버와 서비스 시스템이 연동되어 운영될 필요가 있다.

다섯째, 서비스 시스템 서버에 센서 네트워크의 상태를 평가할 수 있는 feedback 기능을 장착하여 수집되는 자료의 질을 관리할 수 있어야 하며 필요한 경우에는 센싱노드의 제어 및 상태수정을 위한 원격제어 및 연결기능을 갖추는 것도 필요하다. 따라서 센서 네트워크나 게이트웨이 시스템의 정보가 일방향으로 흐를 경우에는 이러한 기능을 수행할 수 없으므로 양방향 통신이 가능하도록 통신망을 구축하는 것이 바람직하다.

이러한 조건을 만족하기 위해서 서비스 시스템 아키텍처는 서비스 지향 아키텍처(SOA ; Service Oriented Architecture)의 개념이 도입되어야 한다. SOA의 핵심은 네트워크상에 출현하는 시스템들 혹은 서비스들을 유연하게 상호 결합하는데 있다. 센서 네트워크에서 센서의 수가 증가하고, 시스템의 복잡도가 점차적으로 증가할 것으로 예상되는 바 SOA의 도입은 필수적이다. SOA의 개념을 구체화 하기 위하여 OGC SensorWeb의 개념과 WebService 개념을 도입하여 서비스 시스템을 구성하여야 한다. 즉, 유

비쿼터스 시스템의 근간은 센서단 뿐 만 아니라 정보의 흐름 자체가 호환성과 범용성을 목적으로 설계되어야 한다는 것이다. 이를 위하여 자료 전송 프로토콜은 단순객체접근 프로토콜(SOAP; Simple Object Access Protocol)을 활용한 자바 기반의 시스템이 적합하다.

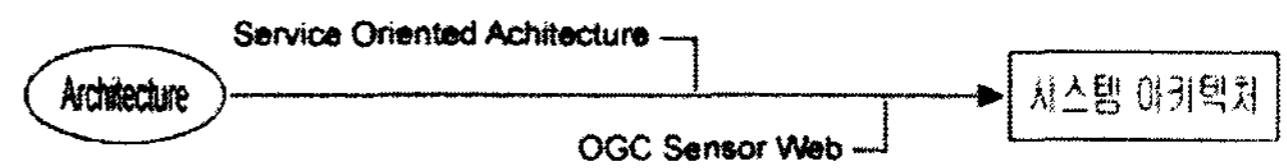


그림 5. 유비쿼터스 시스템 아키텍처

#### 4. 결론

본 논문에서는 유비쿼터스 환경의 각종 컴퓨팅 기술을 시설물 모니터링 분야에 적용하기 위한 기반연구로써, 센서 네트워크 기술을 도입하기 위한 시스템 설계에 관한 연구를 진행하였다. 센서 네트워크를 구축하기 위해 Zigbee와 Bluetooth 통신 방식을 제안하였고, 이를 처리하기 위한 게이트웨이 시스템과 서비스 지향 아키텍처 기반의 서비스 시스템 설계안을 제시하였다. 향후 미래의 새로운 패러다임으로 제시되고 있는 유비쿼터스 관련 기술을 다양한 분야에 적용하기 위한 각종 연구들이 지속적으로 진행될 필요가 있다.

#### 참고문헌

1. 한국건설기술연구원, "유비쿼터스 환경의 지능형 시설물 모니터링 기술개발 중간보고서", 2004
2. 남상관 외, "유비쿼터스 환경의 지능형 시설물 모니터링 기술 개발", 2004 한국GIS학회 추계 학술대회, 2004
3. 이우식 외, "u-교량 모니터링 시스템 구축에 관한 연구", 2005 대한토목학회 정기학술대회, 2005
4. Callaway, Edgar H., "Wireless sensor networks : Architectures and protocols", Morgan Kaufmann, 2004

#### Abstract

In Korean domestic construction industry, they tend to emphasize completion of structures, but on the other hand to neglect structure maintenance, before mid nineteen-nineties when consecutive structure collapse accidents arisen. Presently, facility monitoring systems are restrictively applying to large size facilities with wired method, and there are some limitations to apply these systems to small and mid size facilities throughout the country. According to the latest tendency, there is rapid growth of ubiquitous related technologies such as sensor, sensor network, wireless communications, and also there are large amount of efforts to apply these technologies to construction fields. However, these researches put values on technology itself, but researches for applications and practical use of these technologies are insufficient. Especially, researches about these technologies to apply facility monitoring field is still less unsatisfactory. Therefore, this paper will focused on methodologies about module structure by stages to realize facility monitoring systems in ubiquitous environment.

**Keywords:** Facility Monitoring, Sensor, Sensor Network, Wireless Communication, Ubiquitous