

# 무선 센서 네트워크

무선 센서 네트워크는 각종 센서에서 수집한 정보를 무선으로 전송할 수 있도록 구성된 네트워크를 말한다. 통신 기술, 반도체 기술, 초소형 네트워크 디바이스 기술 등이 발전함에 따라 무선 센서 네트워크 기술이 매우 활성화되고 있다. 이 기술은 홈 오토메이션, 생태 모니터링 등에 시험적으로 적용되고 있으며, 앞으로 사회기반시설 안전 감시, 산불 감시, 산업시설 감시, 국방 등의 분야에서 널리 활용될 전망이다.

■ 이수용  
(홍익대학교 기계시스템디자인공학과)

## 1. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network - WSN) [1]는 공간 상에 퍼져 있으며 온도, 소리, 진동, 압력, 움직임 등의 물리량을 측정하거나 오염도등의 환경상태를 감시하는 자율적이며 협동적인 센서들로 구성된 네트워크를 의미한다[2][3][4]. 무선 센서 네트워크는 초기에는 전쟁터에서의 구조작업과 같은 군사적인 목적으로 개발되었으나, 그 후 생산공정 모니터링과 제어, 기계 상태감시[5] 등의 산업분야나 환경 감시, 의료장치, 홈 오토메이션, 교통제어 등 민간분야로 그 적용분야가 확대되었다[3][6].

센서 네트워크의 응용 분야를 살펴보면 지역 모니터링이 가장 흔한 예이다. 감시하고자 하는 영역에 다수의 무선 센서 노

드를 배치하여 사용한다. 예를 들어 그림1과 같이 적군의 침입을 감지하기 위하여 전쟁지역에 많은 센서 노드를 설치하여 감시한다[7]. 센서가 온도, 압력, 소리, 빛, 전자기장, 진동등의 변화를 감지하면 이 내용이 기지국에 전송되며 다음 단계의 정보 전송이나 필요한 대응이 이루어진다.

### -환경 감시

환경 변화를 감시하는 분야이며 대표적인 것이 스위스 알프스 시대의 영구 동토(凍土) 감시 프로젝트이다.

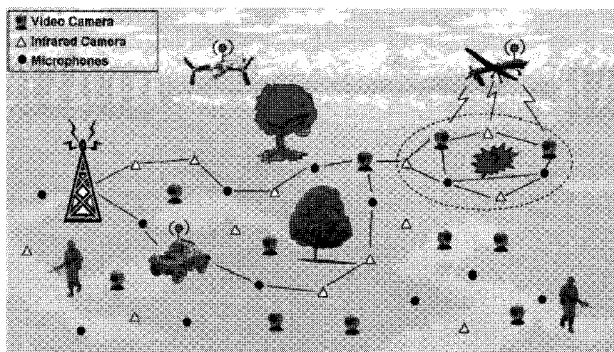


그림 1. 무선 멀티미디어 센서 네트워크의 전쟁 지역 활용 예 (Professor Eylem Ekici, Department of Electrical and Computer Engineering, Ohio State University, <http://www.ece.osu.edu/~ekici>).

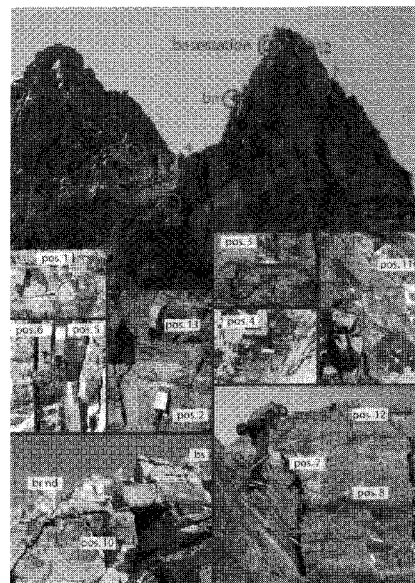


그림 2. 알프스 산맥 지역에서의 무선 센서 네트워크 (PermaSense, <http://www.permasense.ch>).

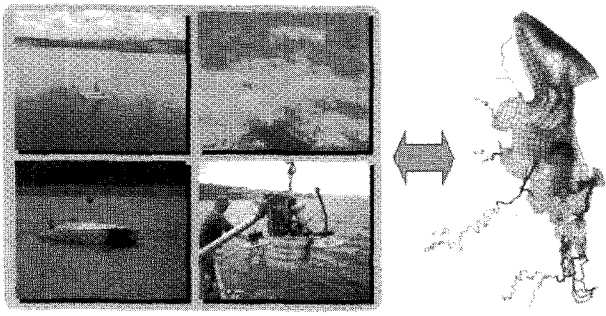


그림 3. 무선 센서 네트워크를 활용한 수로와 해양 환경 조사 (CSIRO Information and Communication Technologies center, <http://research.ict.csiro.au>).

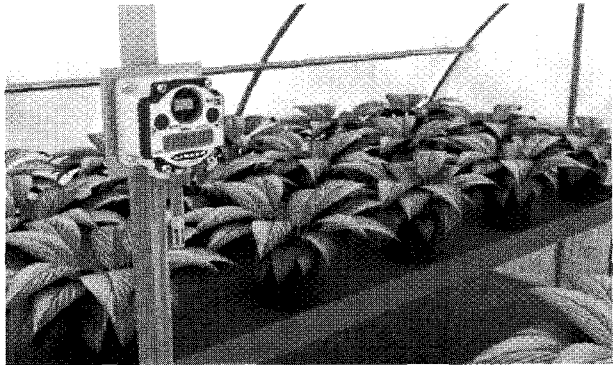


그림 5. 온실 내부의 온도 및 습도 감시 (Banner Engineering Corporation(8)).

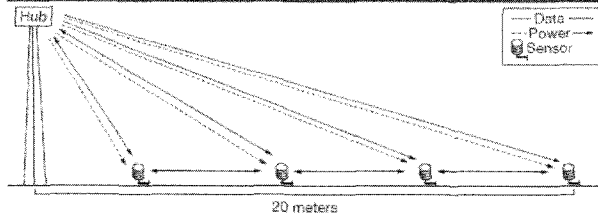
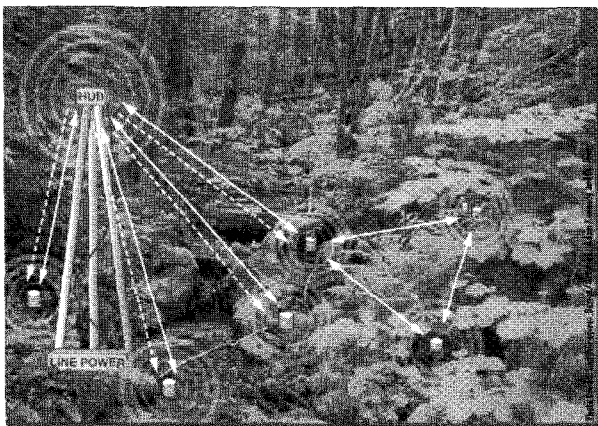


그림 4. 산림지역에서의 무선 센서 네트워크 (FEEL 프로젝트, Department of Forest Science/Airshed Research, Oregon State University, <http://oregonstate.edu/feel/>).

**-온실감시/제어**

상업용 온실 내부의 온도와 습도를 제어하는 목적으로 사용된다. 온도와 습도가 설정 값 이하로 내려가면 관리자에게 email이나 핸드폰 문자로 연락하며 주 제어기는 적절한 제어 입력을 가하여 목표 값에 가까워 지도록 제어한다. 대부분의 무선 센서 네트워크는 설치하기 쉬우며 또한 제거 하기도 쉽기 때문에 적용 대상이 바뀌면 재설치가 가능하다[8].

**-산사태 감지**

산사태 감지 시스템은 무선 센서 네트워크를 사용하여 토양

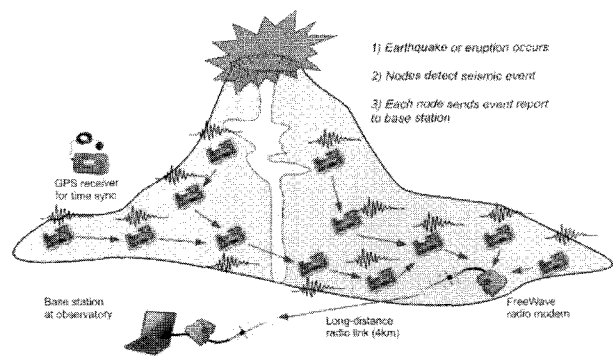


그림 6. 화산 활동 감시 프로젝트 (Harvard Sensor Networks Lab, School of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, <http://fiji.eecs.harvard.edu>).

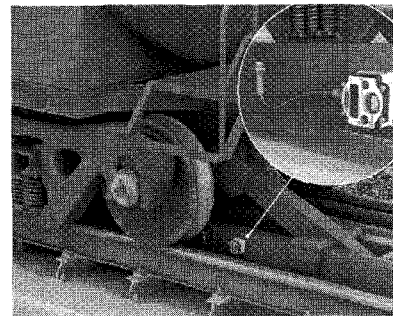


그림 7. 철도차량 바퀴 감시 (Banner Engineering Corporation(8)).

의 미세한 움직임을 측정하며, 이러한 정보를 바탕으로 산사태 발생 이전에 미리 감지 할 수 있다. 이와 유사하게 화산 활동을 감시하는 용도로도 사용되고 있다.

**-기계상태 감시**

무선 센서 네트워크는 산업용 기계의 상태 기반 관리를 위하여 개발되어 왔고, 많은 경비질감과 새로운 기능들을 제공하였다. 유선 시스템의 경우 센서 설치의 고가의 배선 설치비 문제

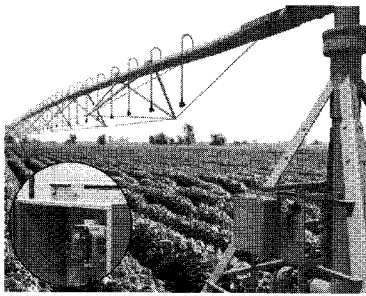


그림 8. 농업용수 급수 시스템 제어 (Banner Engineering Corporation(8)).

로 제한을 받는다. 기존 방법으로는 접근 할 수 없는 회전기계, 오염지역, 제한지역, 이동물체 등이 무선 시스템으로 감시가 가능해졌다.

**-농업분야**

무선 센서 네트워크를 이용한 농업용수 압력 감시, 펌프제어 등의 효율성이 입증되어 점차 널리 사용되고 있다.

**2. 무선 센서 네트워크의 구성**

무선 센서 네트워크는 제한된 전원 용량으로 열악한 환경에서도 사용 가능하고, 일부 센서 노드의 고장에 대처할 수 있어야 한다. 또한 이종(異種)센서 구성이 가능하고, 대단위 설치와 노드 용량 확장이 가능하도록 설계된다.

센서 네트워크의 기본인 센서 노드는 제한적이고 기본적인 인터페이스와 부품들로 구성된 아주 작은 컴퓨터로 생각할 수 있다. 제한된 연산능력과 적은 용량의 메모리를 갖고 있으며 센서와 센서 신호 처리 회로, 주로 RF방식의 통신장치, 그리고 대부분 배터리로 이루어진 전원부로 이루어진다. 센서 노드의 크기는 큰 상자 크기부터 수mm 큐빅까지 다양하며 가격 또한 천차만별인데 이는 주로 전체 센서 네트워크의 크기와 각 센서 노드의 복잡도에 따라 결정된다. 이러한 크기와 가격 제한 조건은 당연히 센서 노드의 전원, 메모리 용량, 계산 속도, 통신 속도 등에 영향을 미친다.

하나 또는 다수의 기지국은 무선 센서 네트워크의 특징적인 구성 요소로 센서 노드에 비하여 훨씬 뛰어난 계산능력과 전원, 통신리소스를 갖는다. 이러한 기지국은 센서노드와 사용자간의 게이트웨이 역할을 수행한다.

무선 센서 네트워크 노드에서 가장 중요한 리소스는 작동 수명을 결정하는 전원이다. 무선 센서 네트워크는 다양한 환경에 광범위하게 설치되기 때문에 애드혹(ad-hoc) 통신으로 구성되

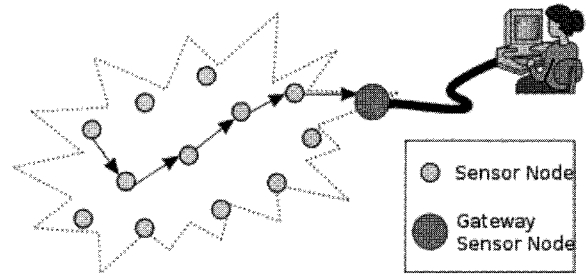


그림 9. 다분기(multi-drop) 방식의 무선 센서 네트워크 아키텍처 (Wikipedia(1)).

며 이를 위하여 통신 알고리즘과 프로토콜은 전원 사용 수명의 최대화, 강인성(robustness) 및 내고장성(fault tolerance) 향상, 그리고 자율구성(self configuration)이 가능하도록 개발된다.

소프트웨어 중 가장 기본이 되는 운영체제(operating system)는 무선 센서 네트워크의 경우 응용 분야가 특정되고, 하드웨어 자원의 제한 때문에 일반 운영체제에 비하여 덜 복잡하다. 예를 들어 사용자 인터페이스를 포함할 필요가 없으며, 적은 용량의 메모리 제한으로 가상 메모리는 불필요하거나 구현 불가능한 경우가 대부분이다. 무선 센서 네트워크에 사용되는 하드웨어는 일반 임베디드 시스템에 사용되는 하드웨어와 다르지 않으므로 eCos, uC/OS등의 임베디드 운영체제를 사용할 수 있으나, 이러한 운영체제들은 대부분 실시간 특성을 갖도록 설계되었기 때문에 실시간을 지원하지 않는 센서 네트워크에는 적용될 수 없다.

TinyOS[9]가 무선 센서 네트워크를 위하여 개발된 최초의 운영체제이다[10]. 다중작업(multi-threading) 기반의 다른 운영체제와 달리 TinyOS는 이벤트기반(event-driven) 프로그래밍 모델에 기초하였다. TynyOS 운영체제와 이 체제 기반의 응용 프로그램들은 C 언어를 확장한 NesC라는 언어를 사용하여 개발한다. 일반적인 C 언어를 지원하는 운영체제는 Contiki[11], MANTIS[12], BTnut[13], LiteOS[14], Nano-RK[15]등이 있으며, 이중 MANTIS와 Nano-RK는 비선점 다중작업(preemptive multithreading)을 기반으로 개발되었다. 또한 Nano-RK는 실시간커널이다. LiteOS는 최신 운영체제로 UNIX 형태의 명령과 C 언어를 지원한다[16].

무선 센서 네트워크는 많은 수의 센서 노드들로 구성되므로 분산처리 알고리즘이 필수적이다. 이미 언급하였듯이 각 센서 노드는 전원장치의 리소스 제한이 있으며 가장 전원을 많이 사용할 때는 데이터 전송시와 통신 대기중일 때이다. 따라서 에너지 소비를 줄이기 위한 연구는 데이터 전송량의 감소를 목표로

한다. 이 뿐만 아니라 에너지 소비와 무선 전송 거리가 서로 관련이 있으므로 이에 대한 연구도 활발하다. 모든 센서노드가 지구와 통신영역내에 존재 할 수 없으므로 데이터 전송은 대부분 다중 도약(multi-hop) 방식을 사용하고 있다.

무선 센서 네트워크 분야에서는 센서 데이터의 필터링, 집합, 추론등의 과정을 거쳐 유용한 정보를 추출하는 정보 융합이 매우 중요한 연구 주제들 중의 하나이다[17]. 뿐만 아니라 데이터 통신량을 감소시켜 그 결과 전원 소비를 줄이기 위하여 측정한 센서 값들의 최대, 최소 값이나 평균값을 전송하는 간단한 방법도 사용되고 있다[18].

### 3. 센서 노드

모트(mote)[19]라고도 불리는 센서 노드는 무선 센서 네트워크에서 센서 정보를 수집하고 이 정보를 처리하여 네트워크내의 다른 노드와 통신을 수행한다. 무선 센서 노드는 지진 감지부터 전쟁지역의 감시까지 다양한 응용 분야에서 사용되어 왔으나, 진정한 의미의 소형 센서 노드는 1998년 Smartdust 프로젝트[20]와 NASA Sensor Webs Project[21]에서 처음 연구되었다. 그 후 미국 Berkeley대학의 NEST[22], CENS[23] 센터에서 지속적으로 연구되고 있다.

센서노드의 주 구성요소는 제어부, 트랜시버, 외부 메모리, 전원부, 한 개 이상의 센서들이다. 제어부는 작업을 수행하고, 데이터를 처리하며 다른 구성품의 기능을 제어한다. 가장 흔한 제어기는 마이크로컨트롤러이며 이 외에도 데스크탑 컴퓨터에 사용되는 마이크로프로세서, DSP, FPGA 등이 사용된다. 마이크로컨트롤러는 가격이 저렴할 뿐만 아니라 다른 디바이스와 인터페이스가 편리하고 프로그래밍이 쉬우며 소비 전력이 낮으므로 센서 노드에 많이 사용된다. 일반 데스크탑 컴퓨터용 마이크로프로세서는 높은 소비전력으로 인하여 센서 노드에 사용되기 어렵다. DSP는 고속 무선통신기기에 사용하기 적합하나 무선 센서 네트워크의 통신량은 상대적으로 매우 적은 편이므로 DSP의 장점을 살릴 수 없다. FPGA는 용도에 따라 쉽게 재프로그램할 수 있는 장점을 갖지만 많은 수의 저가 센서 노드에 사용하기에는 그 효율성이 떨어진다.

송신, 수신 기능을 함께 갖는 통신 디바이스를 트랜시버라 부른다. 무선 전송 방법에는 무선 주파수 통신, 광학 통신 등이 있으나 레이저나 적외선을 사용한 광학 통신방법은 가시선(line of sight) 조건을 만족해야 하고 대기 조건의 영향을 많이 받으므로 무선 주파수 통신이 가장 많이 사용된다. 센서 노드들은 ISM

(Industrial Scientific and Medical) 영역의 무선 통신을 주로 사용하며, 사용 허가가 필요 없는 주파수인 173, 433, 868, 915 MHz와 2.4 GHz를 가장 많이 사용한다. 트랜시버는 송신, 수신, 대기, 슬립기능을 갖고 있으며, 대부분의 트랜시버는 대기 상태에서도 수신 상태와 맞먹는 전력을 소비한다[24]. 따라서 전력 소비를 줄이기 위하여 대기 상태를 유지하는 것 보다 완전히 기능을 정지시키는 것이 더 유리하다.

가장 에너지 효율이 높은 메모리는 마이크로 컨트롤러 내부의 메모리와 플래쉬 메모리이다. 메모리는 전적으로 사용하는 응용 프로그램에 따라 결정되며 필요시 데이터를 저장하기 위한 외부 메모리가 사용되기도 한다.

센서 노드는 센싱, 통신, 데이터 처리를 위하여 전원이 필요하다. 대부분의 전원부는 배터리로 구성되나 커패시터가 사용되기도 한다. 충전식 또는 비충전식 배터리가 사용되며, 충전식은 NiCd, NiZn, NiMH, Lithium-ion 방식이 있다. 일부 전원장치는 태양광, 주위 온도변화 또는 진동으로부터 전력을 얻기도 한다. 전력소비를 줄이기 위하여 DPM (Dynamic Power Management) 방법과 DVS (Dynamic Voltage Scaling) 방법이 많이 사용된다[25].

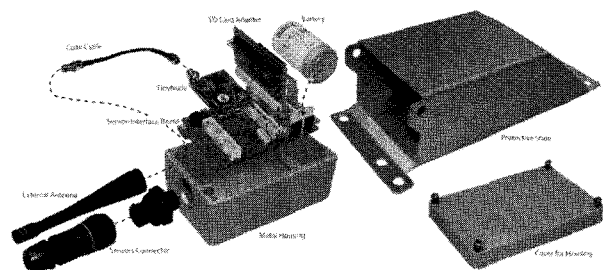


그림 10. 알프스 산맥 지역에 사용된 센서 노드 (PermaSense, Wireless Sensing in High Alpine Environments, <http://www.permasense.ch>).

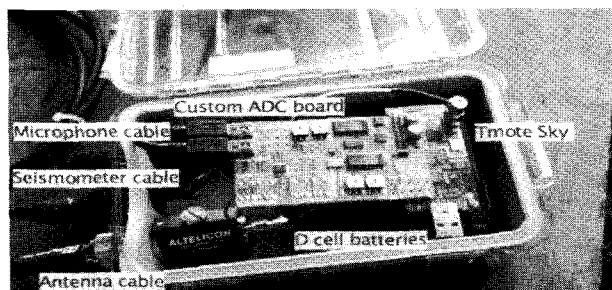


그림 11. 지진 및 음향 센서 노드 (Harvard Sensor Networks Lab, School of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, <http://fiji.eecs.harvard.edu/>).

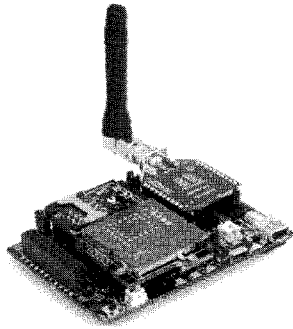


그림 12. WaspMote 센서 노드 (Libelium Comunicaciones Distribuidas, <http://www.libelium.com/products/waspmote>).

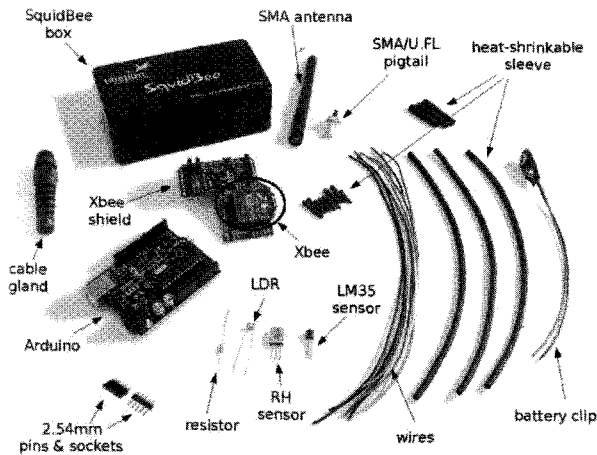


그림 13. SquidBee 센서 노드 (Libelium Comunicaciones Distribuidas, <http://www.squidbee.org>).

DPM 방법은 센서 노드의 구성품 중 비사용중인 구성품의 전원을 일시적으로 차단하는 방법이며 DVS 방법은 부하에 따라 전력 공급량을 조절 하는 방법이다.

센서는 온도, 압력과 같은 물리량을 측정하는 하드웨어이다. 대부분 아날로그 형태의 측정된 결과를 디지털값으로 변환하여 이를 제어기에서 처리한다. 센서는 충분히 크기가 작아야 하며, 전원소비가 적어야 한다. 무선 센서 노드는 대부분 소형으로 제작되므로 통상 0.5~2AH, 1.2~3.7V 정도의 전원 공급이 되어 이 전원 범위에서 작동 가능해야 한다. 센서는 수동형, 능동형으로 분류되며, 초음파 센서나 레이더 등은 능동형 센서의 예들이다. 또한 센서 노드 한 개가 담당할 수 있는 영역에 대한 연구가 활발한데 이와 관련하여 센서 분류를 무지향형 또는 지향형으로 분류하기도 한다. 저가의 초소형 센서를 만들기 위하여 MEMS, NEMS의 최신 기술들이 적용되며 활발한 연구가 진행

되고 있다.

기존 연구에서 제작되어 사용된 센서 노드 두개를 그림 10과 11에 각각 나타내었다. 특정 목적의 센서 노드가 아닌 범용 무선 센서 네트워크를 구성하기 위한 센서 노드는 상용 제품들이 많이 있으며 그 중 하나는 WaspMote이다. 이 제품은 휴면모드에서 0.7uA의 전류 소비와 868MHz 무선 통신시 최대 유효 사용 거리 40km, GPRS, Bluetooth, GPS 등 다양한 주변 기기 인터페이스 가능, 그리고 개방형(open source) API, compiler 등이 제공된다. 좀 더 저가의 제한된 성능의 실험용 센서 네트워크를 위한 상용 제품들 중에는 SquidBee가 있다.

#### 4. 결론

무선 센서 네트워크는 장소에 구애 받지 않고 언제 어디서나 컴퓨팅 환경에 접속할 수 있는 유비쿼터스 패러다임이 확대되면서 전 세계적으로 활발하게 연구되고 있는 기술 중의 하나이며, 네트워크 및 디바이스 기술의 발전으로 앞으로 더욱 다양한 분야에서 사용될 것이다.

#### 참고문헌

- [1] [http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_sensor\\_network](http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network)
- [2] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: A survey," Computer Networks Elsevier Journal, vol. 38, no. 4, pp. 393-422, Mar. 2002.
- [3] Römer, Kay; Friedemann Mattern (December 2004), "The design space of wireless sensor networks," IEEE Wireless Communications, vol. 11, no. 6, pp. 54-61, doi:10.1109/MWC.2004
- [4] T. Haenselmann, Sensor networks, GFDL Wireless Sensor Network textbook, 2006.
- [5] Tiwari, Ankit et. al, "Energy-efficient wireless sensor network design and implementation for condition-based maintenance," ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN).
- [6] Hadim, Salem; Nader Mohamed, "Middleware challenges and approaches for wireless sensor networks," IEEE Distributed Systems Online 7 (3), 2006.
- [7] Sample, Ian (April 2001), Alternatives to landmines, New Scientist.
- [8] Banner Engineering, Application Notes, [http://www.bannerengineering.com/en-US/wireless/surecross\\_web\\_appnotes](http://www.bannerengineering.com/en-US/wireless/surecross_web_appnotes), Mar. 2009.
- [9] <http://www.tinyos.net/>

- [10] TinyOS Programming, Philip Levis, Cambridge University Press, 2009.
- [11] <http://www.sics.se/contiki/>
- [12] <http://mantis.cs.colorado.edu/tikiwiki/tiki-index.php>
- [13] <http://www.bnode.ethz.ch/>
- [14] <http://www.liteos.net/>
- [15] <http://www.nanork.org/>
- [16] <http://www.liteos.net/>
- [17] Eduardo F. Nakamura, Antonio A. F. Loureiro, and Alejandro C. Frery. Information fusion for wireless sensor networks: Methods, models, and classifications, ACM Computing Surveys, vol. 39, no. 3, Article 9, Sep. 2007.
- [18] Eduardo F. Nakamura, Heitor S. Ramos, Leandro A. Villas, Horacio A.B.F. de Oliveira, Andre L.L. de Aquino, and Antonio A.F. Loureiro, A reactive role assignment for data routing in event-based wireless sensor networks, Computer Networks vol. 53, no. 12, pp 1980-1996, Aug. 2009.
- [19] <http://en.wikipedia.org/wiki/Motes>
- [20] <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/>
- [21] <http://www.techbriefs.com/content/view/2227/32/>
- [22] <http://smote.cs.berkeley.edu:8000/tracenv/wiki>
- [23] <http://research.cens.ucla.edu/>
- [24] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin, Geography-informed energy conservation for ad-hoc routing, in Proc. Mobicom, pp. 70-84, 2001.
- [25] A. sinha and A. chandrakasan, "Dynamic power management in wireless sensor networks," IEEE Design & Test of Computers, vol. 18, no. 2, Mar-Apr. 2001.

○ 저 자 약 력



이 수 용

- 1989년 서울대학교 기계공학과(공학사).
- 1991년 서울대학교 기계설계학과(공학석사).
- 1996년 MIT 기계공학과(공학박사).
- 1996년~1999년 한국과학기술연구원 선임연구원.
- 2000년~2003년 Texas A&M대학 기계공학과 조교수,
- 2003년~현재 홍익대학교 기계시스템디자인공학과 부교수.
- 관심분야 : Robotics.