

# USN 기반 지능형 도로상태 모니터링을 위한 저전력 센서네트워크 플랫폼 구현

## Design and Implementation of Low Power Consumption Wireless Sensor Network Platform for Intelligent Motorway Monitoring

송민환\*, 김재호, 안일엽, 김태현, 박용국, 원광호, 이상신

(Min-Hwan Song, Jae-Ho Kim, Il-Yeop Ahn, Tae-Hyun Kim, Young-Kuk Park, Kwang-Ho Won, Sang-Shin Lee)

**Abstract :** This article describes a design and implementation of low power consumption wireless sensor network platform for intelligent motorway monitoring. There are many dangerous situations on motorway, foggy weathers, rapidly changes of temperature, etc. We designed a system for monitoring motorway environment for report dangerous situation. We introduce this system and its low-power consumption characteristics which important to battery based system.

**Keywords:** USN, Sensor Network, Motorway Monitoring, Low Power System

### I. 서론

유비쿼터스 센서 네트워크 기술은 사람이 생활하는 곳곳에 파고들어 적용되고 있다. 사람들은 이 소형의 시스템으로부터 다양한 정보를 얻고 분석하며 컨트롤을 가하려 적용하고 있다. 센서 네트워크 시스템은 가정의 기기들을 제어하고 [2] 아이들의 교육을 돕고 [3] 홍수를 경보 하며 [4] 공장에 적용시키는 등 [6] 사람과 관련된 곳마다 이 시스템은 관련될 수 있다.

본 논문은 이러한 유비쿼터스 센서 네트워크 기술을 위험 지역의 도로에 적용하여 사용자에게 보다 안전하고 쾌적한 주행 환경을 제공하는 시스템에 관하여 다룬다.

우리나라는 국토의 많은 부분이 산악지형이어서 이를 따라 분포되어있는 도로들은 많은 경사지형과 곡선 구간 등을 가지고 있다. 또한 계절의 변화에 따라 기후의 변화가 심하여 안개 혹은 구름의 발생에 의한 시계의 불량, 강우 강설 등에 의한 도로의 상태 불량 등 여러 위험요소를 안고 있기도 하다. 이러한 도로를 운전하는 운전자 혹은 관리의 주체가 되는 기관이 미리 도로의 상태에 대한 정보를 인지하고 이에 대한 적절한 대비를 할 수 있다면 사고예방에 큰 기여를 할 수 있을 것이다.

일반적으로 도로는 매우 길다란 지역에 걸쳐있으나 모든 도로가 위험하진 않기 때문에 도로의 상태모니터링을 위한 시스템은 위험요소가 존재하는 특정 지역에 국지적으로 설치 되는 것이 좋다. 이런 시스템에 공급해야 할 전원으로 상시전원을 사용하기에는 시스템의 설치와 유지 및 관리적인 측면에서 적절치 않다. 모니터링 구간에 설치되는 시스템에서 발생하는 데이터는 그 양이 그리 크지 않다. 이러한 조건들로 인해 이들 시스템으로 자체적인 전원으로 구동되며 시스템간에 서로 연동하여 데이터를 수집하며 저가로 구성될 수 있는 센서네트워크 기반 시스템이 적합하다.

### II. 도로상태 모니터링 시스템 설계

#### 1. 시스템 요구사항

도로 상태 모니터링을 위한 시스템은 도로의 전 구간이 아닌 일정 구간에서만 모니터링을 수행하며 약 1 Km 정도의 구간에 설치한다. 통신방식으로서 상용망을 사용하면 수집된 데이터를 인터넷이 연결된 어느 곳에서나 받아볼 수 있다는 장점이 있으나 매월 일정액 이상의 사용료가 소요되므로 모든 시스템이 통신방식으로서 상용망을 사용하는 것은 경제 적이지 않다. 따라서 시스템간에는 유지비용이 필요치 않은 통신방식이 적용되어야 하며 한곳으로 모아진 데이터에 한해 상용망에 연결된 하나의 게이트웨이를 통하여 전송하는 방식이 필요하다.

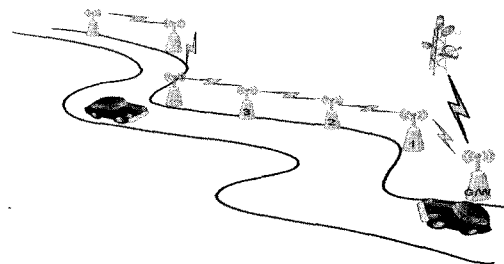


그림 1. 도로 상태 모니터링 시스템

Fig. 1. Concept of motorway monitoring system

시스템은 배터리 기반으로 동작되어야 하며 매우 장시간 운용되면서 도로의 상태를 모니터링 하여야 하므로 초 저전력 시스템이 되어야 하고 야외에 설치되기 때문에 동작온도의 범위도 매우 넓어야 한다.

#### 2. 설계 및 구현

도로 상태를 파악하기 위해 시스템은 일정 간격으로 일정 구간에 걸쳐 설치되어야 한다. 본 시스템은 20m 간격으로 50 세트의 시스템을 설치하여 1Km 를 커버하도록 설계하였으며 시스템간의 통신은 Ad-hoc 방식으로 이루어진다. 데이터는 소량의 계측 데이터이므로 근거리 소량 데이터를 Ad-hoc 방식으로 전송할 수 있는 2.4GHz 의 IEEE 802.15.4 방식을 적용하였다.

구간별 온/습도의 분포와 조도를 파악하여 도로의 상태를 예측하기 위한 센서가 모든 시스템에 적용하며 안개 혹은 구름과 강우 강설등을 파악하기 위한 시정센서와 현장의 상황을 영상으로 파악하기 위한 CMOS 카메라를 설치구간에 배치한다. 모든 데이터는 게이트웨이 역할을 담당하는 시스템으로 전송되며 게이트웨이는 CDMA 망을 통하여 수집된 데이터를 TCP/IP 망에 연동시킨다.

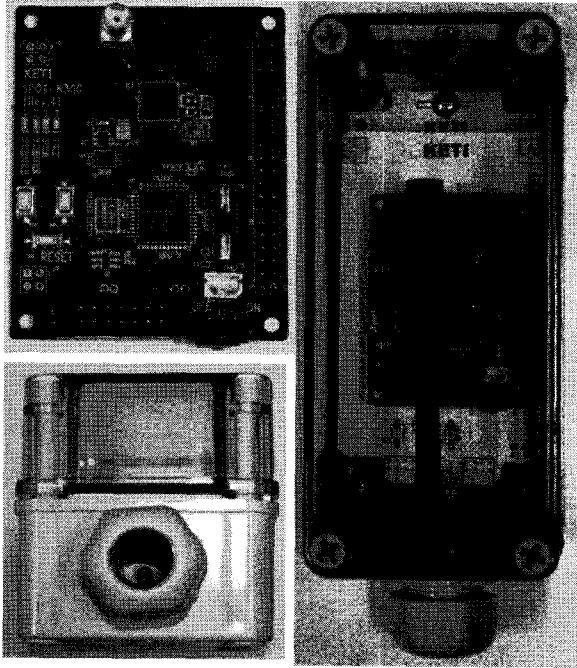


그림 2. 도로 상태 모니터링 시스템 하드웨어  
Fig. 2. Hardware of motorway monitoring system

도로의 기상상태는 아주 급격한 변화를 일으키지 않으므로 데이터는 30초 간격으로 수집되도록 설계되었다. 모든 네트워크 시스템은 30초마다 깨어나 짧은 시간 동안 무선데이터의 전송을 마치고 Power-down 상태로 들어가게 된다.

배터리기반으로 동작되는 시스템인 만큼 저전력 특성은 매우 중요한 부분이다. 이를 위해 시스템에 적용되는 MCU는 AVR사의 pico-power 시리즈인 ATmega644p를 사용하였다. 이 프로세서는 power-down 모드에서의 대기 전류가 0.3 uA에 불과하지만 이는 내부의 모든 클럭을 정지시켜야 가능한 수준으로서 다시 깨어나기 위한 타이밍을 생성하기 위해서 클럭을 동작시켜야 하므로 보다 많은 전류소모를 필요로 한다. 또한 MCU 내부의 카운터의 용량이 작아 한번에 power-down 할 수 있는 최대 시간이 제한적이고 이에 따라 MCU는 중간에 깨어나서 카운터를 세팅하고 다시 power-down하는 동작을 반복하여야 하며 이러한 동작은 추가적인 전류를 요구한다. 이를 해결하기 위해 우리는 시스템에 외부의 RTC(Real-time Clock)를 장착하였다. MCU는 RTC에 해당시간 후에 인터럽트를 발생시키도록 설정한 후 모든 클럭을 정지시키는 최대 power-down모드로 들어가게 된다. 지정된 시간에 발생되는 외부 RTC로부터의 인터럽트를 통해 시스템은 깨어나 RF를 통하여 데이터 송수신을 하고 다시 power-down모드로 들어간다. 따라서 시스템은 power-down 모

드에서의 소모되는 전류와 RTC가 소모하는 전류만으로 대기하게 된다. 다음 그림은 시스템이 동작의 타이밍을 나타낸다. 30초의 간격으로 시스템은 깨어나며 짧은 RF통신과 프로세싱 타임과 긴 시간의 Sleep을 반복하며 동작한다.

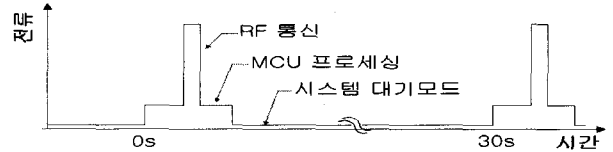


그림 3. 시스템 동작 타이밍  
Fig. 3. Timing of the system

시스템은 야외에 설치되므로 기온의 변화가 심한 환경에서도 안정된 동작을 유지해야 한다. 영하의 기온에서도 안정적으로 동작하는 시스템을 위해 -30 ~ +70 °C의 넓은 동작온도를 가지는 리튬 배터리를 사용하였다.

### III. 도로상태 모니터링 시스템의 전력소모 테스트

본 시스템은 그림 4와 같이 시스템의 동기화와 데이터의 처리를 위해 약 500 ms 동안 4 mA의 전류를 소모하며 그 중 25 ms 동안은 RF송수신을 위하여 25 mA의 전류를 소모한다. 통신주기는 테스트를 위해 20초로 설정하였으며 500ms를 제외한 나머지 19.5초동안은 0.4uA의 매우 낮은 전류로 대기한다.

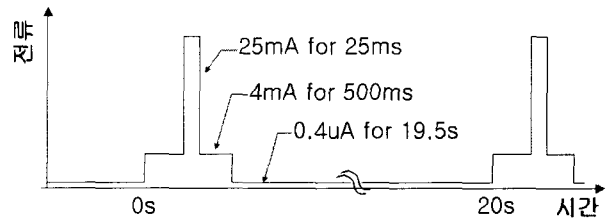


그림 4. 시스템 전류 소모  
Fig. 4. Current consumption of the system

그림5는 본 시스템의 저전력 특성을 테스트하기 위한 것으로서 시간의 경과에 따른 배터리의 전압을 모니터링 하기 위한 환경이다. 전압측정은 Agilent사의 34410A 멀티미터를 사용하였고 Agilent사의 VEE Pro 프로그램을 사용하여 멀티미터의 데이터를 로그로 남기도록 하였다.

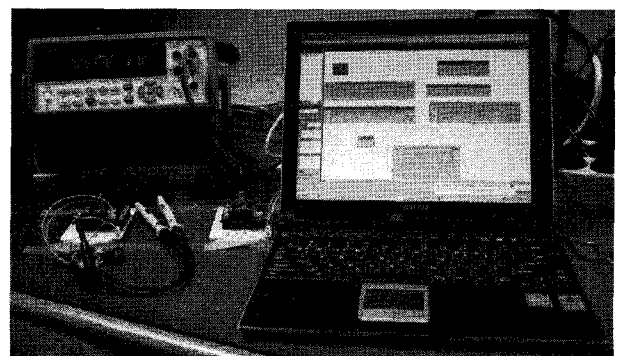


그림 5. 전원 모니터링 및 데이터 로깅  
Fig. 5. System voltage monitoring and data logging

AA사이즈의 대용량 배터리가 우리 시스템에 적용되지만 이는 약 2400 mAh의 용량을 가져 본 시스템의 방전곡선을 측정하기에는 너무 많은 시간이 소요되어 보다 작은 전류용량을 갖는 배터리로 실험을 진행하였다. 테스트를 위해 사용한 배터리는 CR1616과 CR2032의 코인형 리튬 배터리이다. 표 1은 두 전지의 성능을 비교하여 나타낸다.

표 1. 전지 특성 비교

Table 1. Characteristics of the two batteries

	Nominal Voltage	Typical Capacity	Typical Drains	Size (Diameter)
CR2032	3.0	240 mAh	190 uA	20 mm
CR1616	3.0	50 mAh	16 mm	

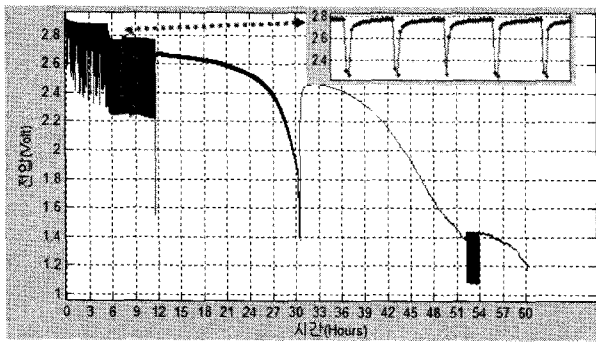


그림 6. CR1616 사용시의 시스템 전압변화

Fig. 6. Battery discharge graph when CR1616 is used

그림 6은 CR1616을 사용하여 시스템이 동작하는 모습이다. 전지는 약 3V부터 방전을 시작하였으며 배터리의 용량이 작아 RF 송수신시 큰 전류소모로 인하여 배터리 전압은 2.8V에서 약 2.3V로 약 0.5V 가량 드롭 됨을 볼 수 있다. 12 시간째에는 배터리의 전압 드롭이 시스템의 동작전압 아래 까지 떨어져 시스템의 정상동작이 멈추었다.

그림 7은 CR2032를 사용하여 시스템이 동작하는 모습이다. 그림은 시스템이 63시간만 모니터링한 결과이며 시간이 경과할수록 배터리의 성능이 낮아져 전압 드롭의 범위가 커짐을 볼 수 있다.

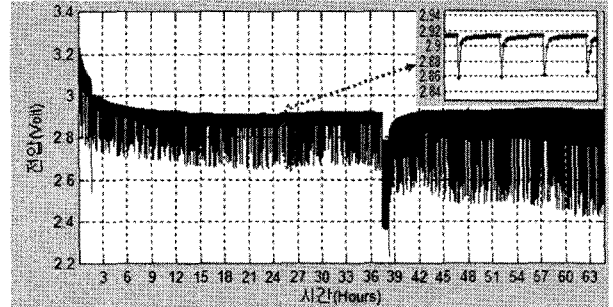


그림 7. CR2032 사용시의 시스템 전압변화

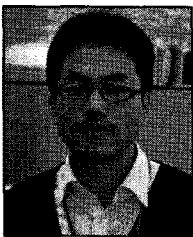
Fig. 7. Battery discharge graph when CR2032 is used

## VI. 결론

도로 상태 모니터링을 위한 본 시스템은 도로의 위험구간에 설치되어 도로상태, 온도, 안개 등의 상태를 실시간으로 전달해준다. 도로에 설치되어야 하는 본 시스템은 시스템의 유지관리의 효율화를 위해 매우 저전력으로 설계 되어야 한다. 본 시스템은 최저대기전력을 위한 외부 RTC의 사용과 저전력 MCU인 AVR pico-power 시리즈의 채용 그리고 적절한 network 프로토콜을 사용함으로써 대기시간에 0.4uA의 전류만을 소모하는 초저전력 시스템을 구현하였다.

## 참고문헌

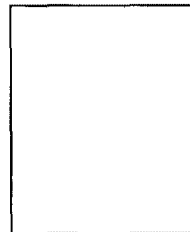
- [1] C. Y. Chong, "Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges," *Proceedings of the IEEE*, vol. 91, no. 8, pp. 1247, Aug, 2003
- [2] W. K. Park, "Design and Implementation of ZigBee based URC Applicable to Legacy Home Appliances" *Consumer Electronics*, pp. 1-6, June, 2007
- [3] Smart Kindergarden: <http://nesl.ee.ucla.edu/projects/smartkg>
- [4] Flood Early Warning System: <http://groups.csail.mit.edu/drl/wiki/index.php/floodews>
- [5] IEEE Std 802.15.4 Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), May, 2003.
- [6] N. Aakvaag, M. Mathiesen, and G Thonet, "Timing and power issues in wireless sensor networks - an industrial test case," *Proceedings of International Conference Workshops on Parallel Processing(ICPP) 2005*, pp. 419-426, 14-17. June. 2005.



송민환

2003년 건국대학교 전자공학과(학사), 2005년 건국~현재 건국대학교 정보통신공학과(석사) 2005년~현재 전자부품연구원 전임연구원. 관심분야는 USN H/W, 임베디드 시스템, SoC 등임.

Email : mhsong@keti.re.kr



안일엽

1996년 한국외국어대 제어계측공학과(학사). 2001년 한국외국어대 제어계측공학과(석사). 현재, 전자부품연구원 선임연구원. 관심분야는 센서 네트워크, 무선 프로토콜 등임.

Email: iyahn@keti.re.kr