

무선 다점 온도센서에 의한 빌딩의 화재 탐지

Fire Detection of a Building Using Wireless Multi-point Temperature Sensors

김치엽*, 권일범*[†]

Chi-Yeop Kim* and Il-Bum Kwon*[†]

초 록 현대의 대형 건물은 복잡한 전기 배선 또는 가스 배관 등의 설비를 갖추고 있어서 다양한 화재 사고가 발생할 가능성이 커졌다. 이에 따라 무선의 다점 온도 측정 센서를 손쉽게 여러 위치에 설치 가능하도록 저렴하게 개발하여 적용함에 의하여 화재를 조기에 탐지하고 그 피해의 크기를 최소화하는 것이 필요하다. 무선 온도 센서의 송신기는 4채널로 9600 bps의 전송속도와, 10 mW의 출력으로 915 MHz 통신 주파수를 갖고 수신기와 작동되도록 구성하였다. 온도범위 -55 ~ 150도 사이에서 사용할 수 있도록 검증된 반도체 온도 센서 소자를 기본으로 사용하여 4개의 채널을 구성하고 실험을 수행한 결과 개발된 센서 시스템이 화재 탐지용으로 적용이 가능함을 확인하였다.

주요용어: 화재탐지, 다점 무선 온도 센서, 송신기, 수신기

Abstract Fire accidents often happen in large buildings because large buildings are equipped with heavy electrical wiring and piping. When fire is to be occurred in those buildings, it is very dangerous to people and building structures. Therefore, multi-point wireless temperature sensors for large buildings are necessary in order to detect fire in the early time and thus to minimize the loss. A wireless device was composed of the transmitter and receiver. The specification of this device was as follows: 915 MHz of transmitted frequency, 4 channels, 9600bps of the transmitted speed, and 10 mW of the transmitted power. We confirmed through experiment that the temperature was well sensed and fire location was determined by the 4 channel sensors of the developed sensor system.

Keywords: fire detection, multi-point wireless temperature sensors, transmitter, receiver

1. 서 론

현대의 대형 건물은 복잡한 전기, 가스 등의 배선 및 배관 설비를 갖추고 있어서 다양한 화재 사고가 발생할 가능성이 커졌다. 국내의 화재 사고는 2002년도에 약 3만 건이 발생하였고, 인명 피해는 사망이 500여명에 이른다. 또한 재산 피해액은 2002년도

에만 14조 3천억원으로 매우 큰 피해를 매년 입고 있다[1]. 또한 화재가 발생한 건물은 그 내구성이 저하되어 구조적 안전성도 저하될 것이다[2,3]. 현재는 화재 탐지를 위하여 저가의 센서를 현재 사용하고 있으나 오동작이 빈번하여 신뢰하기 어려운 상태이다. 따라서 본 연구에서는 대형 건물의 화재 탐지를 기존의 센서보다 대량으로 설치하여 화재 초

(접수일: 2004. 7. 22, 심사완료일: 2004. 8. 23) * 한국표준과학연구원 환경안전계측센터 스마트계측그룹,
[†] Corresponding author: Smart Measurement Group, Center for Environment and Safety Measurement, Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon 305-340 (E-mail: ibkwon@kriss.re.kr)

기에 탐지하고 진화에 나설 수 있는 시간을 확보할 수 있도록 하기 위하여 무선 다점 온도 측정 센서를 개발하였다. 일본에서는 가정용으로 사용하기 위한 다점 온도 측정 센서를 유선으로 구축하는 연구를 진행한바 있다[4]. 미국에서는 이미 가정용으로 많은 온도 센서가 보급되어 있으며 미국국립표준연구소(NIST)를 중심으로 화재 안전과 관련하여 폭넓은 연구를 진행하고 있다[4]. 무선 계측을 위한 전송 방식은 대부분 근거리(300m 미만) 전송을 대상으로 하며 소출력으로 높은 전송속도를 구현하기 위해서는 ISM(industrial scientific medical) 주파수 대역(915 MHz, 2.1 GHz)을 사용하여 넓은 대역폭을 주로 사용한다. 간단한 계측은 point to point로 전송을 하며 여러 센서에서 계측을 하는 경우 1:N의 Network를 구성할 수 있다. 본 연구에서는 반도체 온도 센서를 이용하여 4채널의 온도 센서를 제작하였다. 제작된 센서로 측정된 온도 신호를 LPF(low pass filter)를 거친 후 A/D 변환 하였으며 내부의 Micro-controller로 신호 처리 하여 915 MHz/10mW의 주파수를 사용하여 9600 bps의 속도로 실시간 무선 전송하였다. 각 채널은 각기 다른 주파수를 사용하였고 채널간의 간격을 3채널 정도로 충분히 넓게 선택 하여 채널간의 간섭을 방지하였다. 전송된 신호는 동일한 주파수 대역의 수신 장치와 신호 처리 장치에 의해 D/A (Digital-Analog) 신호로 변환 후 온도측정대상물의 신호를 재현 하였다.

2. 다점 무선 계측시스템 구성

2.1. 무선계측 시스템 설계 제작

화재 탐지를 위하여 온도 센서와 송신 및 수신 회로를 구성하여 PCB 상에 조립 하였으며 계측의 신뢰성을 고려하여 각종 조정용 소자를 실험 및 측정 후 고정저항을 대치하여 장시간 사용에도 성능의 변화가 없도록 처리 하였다. 온도 센서의 경우 외부 교정이 불필요한 반도체 센서로서 0.5℃도의 오차를 갖고 -55도에서 +150℃ 까지의 온도 측정이 가능하며 정밀도 향상을 위해서는 온도소자 교체에 의해서 회로 수정 없이 가능하다. 영구적인 사용을 위해서는 기관의 표면에 실리콘을 사용하여 방수 및 방진처리를 하는 것이 수명보호를 위해 효과적이다. 센서로부터 측정된 신호는 A/D 변환에 의해 디지털 신호로 변환된다. 신호가 변환될 수 있는

주파수의 제약은 현실적으로 직류에서부터 fc (cutoff frequency) 이며 샘플링 주파수를 fs로 표현하면 $fs \gg 2fc$ 의 관계이며 현실적으로는 4배 이상 정도를 사용해야 한다. 디지털 변환된 신호가 충실하게 재현되기 위해서는 저역필터가 사용되며 실제로 0.5 fs의 영역에 있는 신호가 측정신호 대역에 중첩이 되는 Aliasing 현상이 발생하며 높은 대역의 신호가 낮은 대역으로 들어오는 현상으로 이 경우 신호의 왜곡이 생긴다. Fig. 1에 unit gain을 갖는 3차 저역필터의 회로를 나타내었으며 조단의 RC 회로에 의해 음의 실축에 pole을 형성하게 된다. 결과적으로 차단주파수 fcp에서 -60dB/decade 또는 -18dB/oct의 감쇄곡선을 갖게 된다.

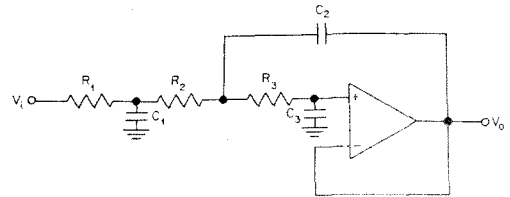


Fig. 1 Single feedback third order low pass filter

온도센서의 경우 매우 낮은 주파수 영역을 갖고 있으나 급격한 온도변화에 대한 충분한 대역을 확보하기 위하여 측정 주파수 대역이 DC 에서 100 Hz의 범위를 갖는 실시간 무선 송수신 장치를 설계 제작 하였다. 각 채널은 측정 점에 설치된 온도 센서의 출력을 실시간으로 필터링하여 각 채널별로 디지털 변환을 한다. 변환된 디지털 신호는 Micro-controller 에 의해 순차적으로 송신 버퍼에 쓰여 송신된다. 디지털 변환은 10 비트의 시리얼 전송을 위해서 8 비트의 A/D변환이 사용되며 다채널 송신의 경우 회로내부의 주파수가 각 채널별로 할당되어 각기 다른 주파수로 송수신 되도록 하였다. 본 연구에서 총 4 채널의 실시간 무선송신 시스템을 구성하였으며 각 채널의 실시간 전송에 필요한 측정주파수의 상한선을 결정하는 요소는 전송 주파수의 밴드 폭이며 이는 채널 수와 샘플링 속도의 곱으로 결정된다. 본 연구에서는 전송속도를 9600 bps로 할 경우 1회 측정데이터는 8비트이며 스타트 비트와 스톱 비트가 포함되어 총 10비트로 구성된다. 따라서 샘플링 속도는 초당 960회 이며 주파수로는 960 Hz가 된다. 이 경우 480 Hz가 최대 측정주파수가 되나 현실적으로는 충분히 낮추어서 100 Hz 정도가 실현

된다. 따라서 Low pass filter의 f_c 를 100 Hz로 설계하였다. 송신주파수는 915 MHz의 UHF대역에서 10 mW의 전력을 사용하며 helical antenna 사용 시 도달거리는 약 100 m 이고 각 채널간격은 25 kHz이다. 송신 단은 아날로그식 메타가 장착되어 있어서 센서장착 상태에서 중앙 점을 가리키도록 되어있다. 센서의 온도변화에 의해 메타가 좌우로 움직이므로 이를 확인함으로써 현장에서 간단히 회로 전체의 동작을 확인 할 수 있도록 하였다. 내부는 충전용 전원을 사용함으로써 외부에 별도의 전원 없이 약 20시간 사용 가능하다. 수신 측은 각각의 송신채널에 동조된 수신 단에 의하여 개별적으로 8채널의 아날로그 출력이 발생된다. 수신회로에서 복원된 디지털 신호를 프로세싱 하여 D/A 변환 회로에 입력된다. D/A출력은 내부에서 발생하는 잡음 성분과 사용 대역폭을 고려하여 f_c 를 100 Hz를 맞춘 저역필터를 사용하였다.

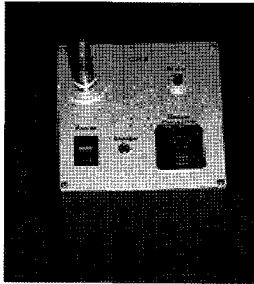


Fig. 2 Wireless transmitter unit

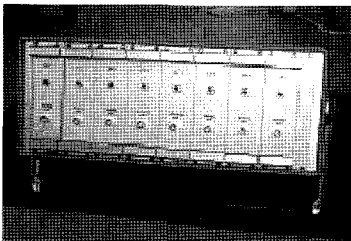


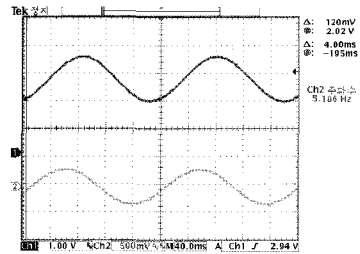
Fig. 3 Wireless receiver unit with D/A

Table 1 Specification of the sensor

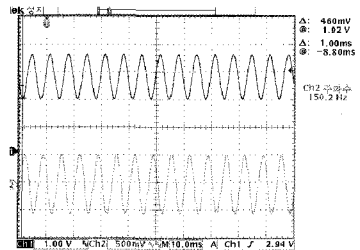
Type	Semiconductor sensor	Quantity	Total 4EA
Sensor Specification	- Manufacture : NI (U.S.A)		
	- Ranges : -55°C - +150°C		
	- Advantages : Does not require external Cal.		
Features	- Linear +10.0mV/°C scale factor		
	- 0.5°C accuracy guaranteeable(at 25°C)		
	- Less then 60uA current drain		
	- Non-linearity only 1/4°C Typical		

2.2. 무선 계측 전송 실험

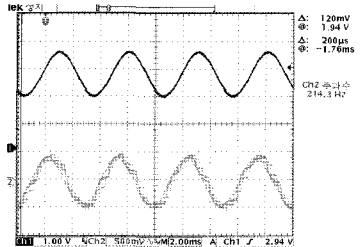
송신 및 수신 Unit의 신호 전송 성능을 측정하기 위하여 송신 측에 센서신호에 해당하는 전기 파형 신호를 인가하여 무선전송하고 수신 측의 재현신호와 비교함으로써 전기적 특성을 비교측정 하였다. 송신 unit의 온도센서 입력 단에 양극성 입력을 위하여 2.5V 바이어스 된 정현파를 5 Hz에서 200 Hz 까지 주파수 별로 입력하여 전송하였으며 수신하여 재현된 각각의 신호를 아래에 나타내고 있다. 입력된 주파수는 저역필터의 통과 대역 내 이므로 충분한 신호가 얻어지고 있다. Fig. 4에는 송신측(상위 채널) 및 수신, 복조된 신호(하위 채널)를 나타내고 있으며 100 Hz의 신호까지는 신호 왜곡이 없이 송수신이 원활하게 진행되고 있으나, 200 Hz의 신호는 송신 파형과는 크게 다른 수신 파형을 얻고 있음을



(a) 5 Hz 전송



(b) 110 Hz 전송



(c) 200 Hz 전송

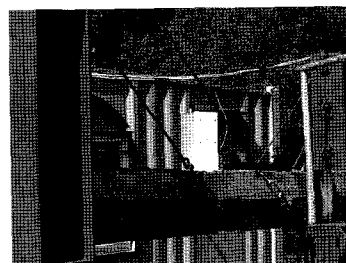
Fig. 4 Transmitted & Received sine waveform of each input frequency (X axis = 1 Volt/Div, Y axis = 40 ms/Div)

볼 수 있다. Fig. 5에서는 Field에서 무선 전송거리를 측정하였으며 약 100 m 이내에서 충분한 데이터 전송이 가능하였으며 150 m의 데이터 취득 파형을 보면 거리증가에 의한 전계강도 약화로 데이터 손실에 의한 파형 끊김 현상이 발생함을 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서 개발한 시스템은 약 100 Hz까지의 신호를 거리 약 100 m까지 전송할 수 있게 되었음을 알 수 있다.

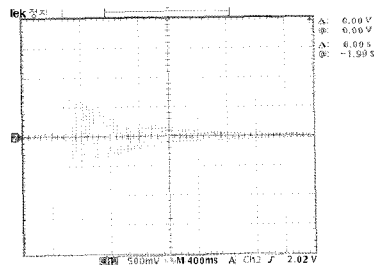
3. 실시간 온도측정 및 전송

실측데이터를 얻기 위하여 실험실 내의 20 m이상의 거리상에 온도센서 및 송신장치를 설치하고 실험실 중앙에 Fig. 6과 같이 수신 장치를 설치하여 수신된 온도신호를 4 채널 오실로스코프로 측정 기록하였다. 공조장치가 있는 실내의 평균적인 온도의 변화는 거의 없으며 4 채널 모두 일정한 온도를 보여 주었다. 급격한 온도의 변화에 대한 시스템의 측정 능력을 실험하기 위하여 Fig. 7(a)와 같이 각 센서를 인위적으로 0°C 정도로 낮추어 계속한 신호를 얻었다. 또한 화재 등의 고온특성을 측정하기 위하여 단일채널을 고온으로 급격히 올려서 Fig. 7(b)와 같이 측정 관찰하였다. 한편 Fig. 7(c)는 냉각 후 온도 증가를 주면서 측정한 파형이다. 측정결과 온도센서의 측정값은 신속한 파형 전송이 이루어졌으며 수신 측에서 정확하게 감지된 신호가 재현되어 다점 온도 측정이 무선 계측에 의하여 양호하게 이루어지고 있음을 보였다. 본 실험은 온도센서의 측정값이 무선으로 정확하게 전송 및 재현됨을 객관적으로 확인하기 위하여 위의 Fig. 4의 실험결과와 같이 센서를 연결하기 전에 같은 범위의 전기적인 신호를 송신장치의 입력에 인가하고 수신 단에서 재현된 신호를 동시에 측정(위 파형: 송신 신호, 아래 파형: 수신 및 재현된 신호) 하여 전압과 주파수가 일치함을 확인하여 무선전송 장치의 성능을 검증한 후 반도체 센서를 연결 계측하였다. 또한 반도체 온도센서는 상용제품으로서 교정이 불필요함이 메이커에서 입증된 소자를 사용하였기 때문에 본 실험 결과 값에 대하여 객관성을 확인할 수 있다. 유 무선에 의한 계측을 비교하면 센서 출력을 유선으로 전송하는 경우 온도의 미세한 변화와 급격한 온도 차이를 실시간으로 계측할 수 있는 장점이 있다. 본 연구의 무선계측 경우 A/D 변환에 의한 최소 측정단위 미만의 불감대가 존재하며 A/D

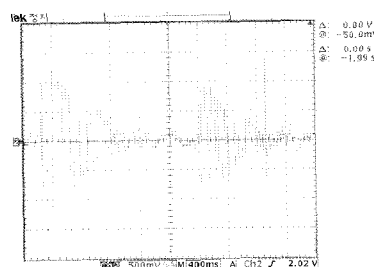
변환 속도 및 주파수 대역폭 제한으로 인한 급격한 온도 변화에 대한 시간적인 지연이 발생할 수 있다. 그러나 일반적으로 온도의 변화는 급격한 변화 속도를 갖기 어려우며 화재 감지와 같은 목적에는 충분한 감도와 반응속도를 갖고 있음을 확인하였다.



(a) Measured model



(b) 100 m



(c) 150 m

Fig. 5 Outdoor field test of wireless transmitter(X axis= 0.5 Volt/Div, Y axis = 400 ms/Div)

Table 2 Specification of 915Mhz transmitter

Type	- FM Modulation	Chanel	- 4ch/25 kHz Chanel space
Specification	- 915 MHz/10 mW (ISM band)		
	- Transmit ranges : 100 m~300 m		
	- Antenna: 1/4 Helical		
	- Analog input: 4ch/ 0~5volt		
	- Processor: 8 Bit 89C55		
	- Power: +5 Volt		

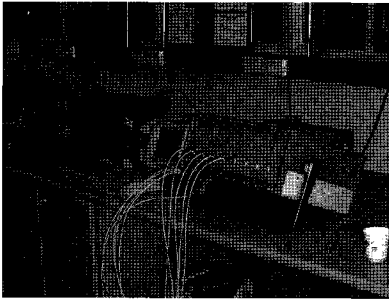
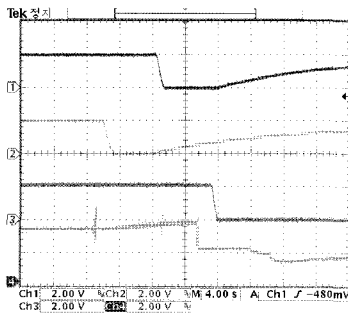
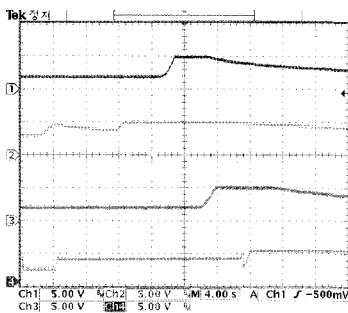


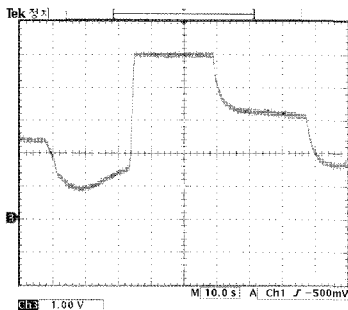
Fig. 6 Receiver and Oscilloscope



(a) Cooling test (0°C)



(b) Heating test (50°C)



(c) Cooling & Heating test

Fig. 7 Temperature measurements by multi point sensors (X axis= 5Volt/Div, Y axis = 4s/Div)

4. 결 론

대형 건물의 화재 탐지를 기존의 센서보다 대량으로 설치하여 화재 초기에 탐지하고 진화에 나설 수 있는 시간을 확보할 수 있도록 하기 위하여 무선 다점 온도 측정 센서를 개발하였다. -55°C에서 +150°C의 측정 범위를 갖는 반도체 온도 소자를 이용하여 온도 측정데이터를 실시간으로 무선 전송할 수 있는 다채널 무선장치를 설계 제작하여 실험하였다. 센서의 입력에 전기적인 신호를 가하여 송수신간의 신호의 전달과 재현성을 측정하였으며 야외에서 약 100 m이내의 거리에서 충분한 데이터 전송이 가능함을 확인하였다. 또한 실험실내의 20 m 간격으로 온도센서와 송신장치를 설치하여 각각의 온도 측정 데이터를 수신 및 아날로그 신호로 재현하였다. 전송과정과 수신 과정을 비교한 결과 기존의 유선에 의한 측정과 비교하여 충분히 실용적인 값을 얻어낼 수 있음을 확인하였다. 향후에는 송수신 시스템을 저 전력 초소형으로 구성함으로써 측정 장소에 무관하게 다량으로 설치하여 광역의 측정범위 갖는 시스템으로 발전시키는 연구를 진행할 계획이다.

참고문헌

- [1] A. S. Kiremidjian et al. "Structural Damage Monitoring for Civil Structures," Proceedings of the International Workshop on Structural Health Monitoring, Sept, pp. 371-382, (1997).
- [2] 東京消防廳予防部予防課, 東京ガス株式會社商品技術開發部, "Technical Standard for the Home Use Fire & Gas Detector and a Newly Developed Product," 일본화재학회지, 제12호, (1999)
- [3] "Prediction of the structural fire performance of buildings," Fire & Materials, San Francisco, USA (2003)
- [4] 홍창선, 권일범, "광섬유를 이용한 스마트 구조물의 안전진단기술", 대한기계학회지, Vol. 37, No. 6, pp. 42-46, (1997)