

다중 이용 시설에 대한 온·습도 모니터링에 관한 연구

최 만 용^{*†}, 채 경 희^{**}, 김 기 복^{*}, 김 수 언^{*}

^{*}한국 표준과학연구원, ^{**}우송정보대학교 기계자동차 설비계열

The Study on the Monitoring of Temperature and Humidity in Public Utilization Facilities

Man-Yong Choi^{*†}, Kyung-Hee Chae^{**}, Ki-Bok Kim^{*}, Su-Un Kim^{*}

ESM Center, Korea Research Institute of Standards and Science

Doryong-dong 1, Yuseong-gu, Daejeon 305-340, Korea

^{**}*Division of Mechanical & Automotive Engineering, Woosung Information College, Cheju 500-700, Korea*

ABSTRACT: Until now for the safety of structures and equipment monitoring technology to measure the amount of the physical, if that is the one, one-point or single-source target is one the most. Therefore, becoming more numerous and complex to measure the amount of physical measurement technology that is comprehensive and complex, multi-source concepts to the monitoring of a multi-sensing technology is required. Have the same characteristics of multi-source multi-use space such as a multi-structure of facilities/equipment is. The people's safety in a multi-use facility will be directly related to life and even a little carelessness can lead to large-scale disaster occurs because of several factors, risks and to manage detect in advance the development of an intelligent monitoring technology is essential. Therefore, this study shows that multiple structures/facilities to improve the quality of human life in research to maintain a safe and comfortable living space for multi-source intelligence to the development of monitoring technology to achieve that goal, and the ubiquitous sensor network system on the basis of the wireless transmission module, and multiple research facilities/equipment for the ultra-small sensors for health monitoring study was performed.

Key words: Monitoring, Temperature and Humidity, Public Utilization Facilities

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

다중이용시설은 불특정 다수인이 사용하는 시설로서 교량, 고가차도, 종합운동장, 지하역사, 지하도상가, 대합실, 터미널, 도서관, 의료기관, 실내주차장 등을 말한다. 다중이용시설에서의 안전사고는 국민의 생명과 직결되며 조그마한 부주의라도 대형 참사로 이어질 수 있기 때문에 여러 가지 위험발생 요인을 사전에 검출하고 관리할

수 있는 지능형 모니터링 기술의 개발이 필수적이다.

다중구조/설비에서 발생할 수 있는 안전사고를 미연에 방지하기 위해서는 여러 계층인자들을 위험상황 발생 이전부터 상시 모니터링하고 관리할 수 있는 체계가 필요하며 이러한 체계를 구축하기 위해서는 각각의 고유한 기능을 수행하는 독립된 센서들이 서로 유기적으로 결합되어 단일 네트워크를 형성하여 각자의 정보를 주고받고 종합되어 판단됨으로써 개별 센서들만으로는 판단할 수 없는 종합적인 상황을 판단할 수 있는 시스템의 구축이 요구된다. 따라서 이러한 다중·다양한 정보량들을 신속하게 처리하고 통신할 수

† Corresponding author

Tel.: +82-42-868-5251; fax: +82-42-868-5650

E-mail address: mychoi@kriss.re.kr

있는 유비쿼터스 기반 모니터링 기술의 개발로 나아갈 것으로 판단된다. 이러한 시점에서 본 연구는 향후 구현될 유비쿼터스 공간에서의 모니터링 기술의 기반기술로서 그 의미가 매우 클 것으로 사료된다.

본 연구는 다중구조/설비에서 인간 삶의 질을 향상시키기 위한 연구로서 안전하고 쾌적한 생활공간을 유지하기 위한 multi-source 지능형 모니터링 기술을 개발하는데 그 목표가 있다.

1.2 연구현황

구조물이나 설비의 건전성이나 안전성을 계측하기 위한 이른바 health monitoring 기술은 스마트 구조물 분야의 한 분야로서 그동안 많은 연구가 수행되어 왔다⁽¹⁻⁶⁾. 또한 대형 구조물이나 범위가 넓은 환경 등을 실시간으로 모니터링하기 위한 연구로서 센서 네트워크에 대한 연구가 많은 연구자들에 의해 수행되었다⁽⁷⁻⁸⁾. 무선계측 시스템 개발에 대한 연구로서 구조물의 실시간 계측이 가능한 무선 센싱 유닛이 Stanford 대학에서 개발되었다.

상용화 제품으로는 미국 Berkely 대학에서 개발한 Berkeley Mote라 불리는 소형 무선센서 플랫폼으로서 하드웨어와 소프트웨어가 공개되어 있다. On-board 형태로 집적되어 마이크로 센싱과 액추에이션이 가능한 작고 전력소비가 적은 무선센싱 유닛들의 개발로 인하여 구조물의 건전성 모니터링뿐만 아니라 수중음향, 원격 진동계측, 지진, 환경 모니터링과 같은 다양한 분야에 응용되게 되었다.

2. 실험장치 설계 및 제작

2.1 무선센싱모듈 설계

본 연구에서는 무선센서 네트워크를 구성하기 위한 하드웨어에 대한 연구를 중점적으로 수행하였다. 이를 위하여 다중시설/설비에 필요한 각종 계측인자들을 고려하여 센서 모듈을 제작하였으며 아날로그 센서 입력 신호를 디지털로 변환하여 처리하고 RF 송수신 하기 위한 메인 모듈을 제작하였다. 또한 외부 컴퓨터 및 장치와 인터페이스를 쉽게 하기 위하여 인터페이스 모듈을 제작하였다. 한편 센서 입력 신호를 처리하여 외부 장치를 구동하기 위한 액추에이팅 기능을 고려하

였다.

다중시설/설비 지능형 모니터링용 무선센싱모듈은 크게 센서모듈, 메인모듈, 인터페이스 모듈, 액추에이터 모듈의 3부분으로 구성하였다.

인터페이스 모듈은 서버나 컴퓨터와 연결되어 프로그램을 다운로드 하거나 데이터를 주고받는 기능을 하도록 설계하였다. 전체 무선센싱모듈의 기본 개념은 Fig. 1에서 보는 바와 같다.

각각의 모듈들은 서로 유기적으로 결합되어 다양한 기능을 수행하는 독립적인 컨텍스트 서버와 연결되어 sink node로서의 역할을 수행할 수 있으며 각 모듈별 기능 및 구성을 간단히 기술하면 다음과 같다.

- 메인 모듈 : 마이크로컨트롤러와 RF 송수신 모듈을 탑재하여 기본적인 RF 통신과 OS를 구동할 수 있는 기능을 담당한다.
- 인터페이스 모듈 : Serial 인터페이스를 가지고 있으며 서버나 컴퓨터와 연결된다.
- 센서 모듈 : 환경계측을 위한 센서 모듈과 안전계측을 위한 센서 모듈로 제작된다.
- 액추에이터 모듈 : 릴레이, 구동 모터 등의 전기적인 on/off switch 장치 구동 및 제어 기능을 담당한다.

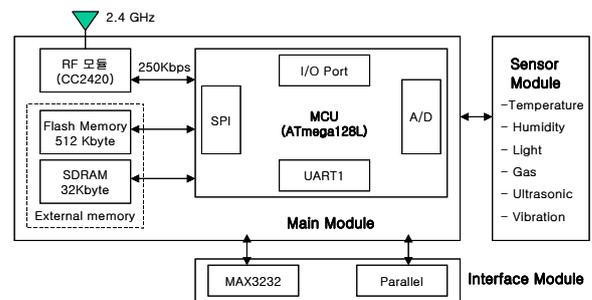


Fig. 1 Schematic diagram of wireless sensing module

2.2 운영체제 선정

본 연구에서 적용하고자 하는 운영체제는 한국 전자통신연구원(ETRI)에서 개발한 Nano-Qplus를 적용하였다. 이 운영체제는 센서에서 감지한 값을 RF로 전송하고, 각 시스템의 노드들을 통합하여 목표로 하는 노드로 전송하는 기능을 수행한다. 이를 위해 RF 네트워크 개념을 도입하고 있으며 이 네트워크를 multi-hop routing을 통하여 통신할 수 있도록 한다.

다음 Fig. 2에서 보듯이 Nano-Qplus는 nHAL

모듈, 센싱 및 구동 모듈, 태스크 관리 모듈, 전력 관리 모듈, 그리고 메시지 핸들링 모듈들도 구성된다. 이 모듈들은 무선 센서 네트워크를 손쉽게 구축할 수 있게 지원한다.

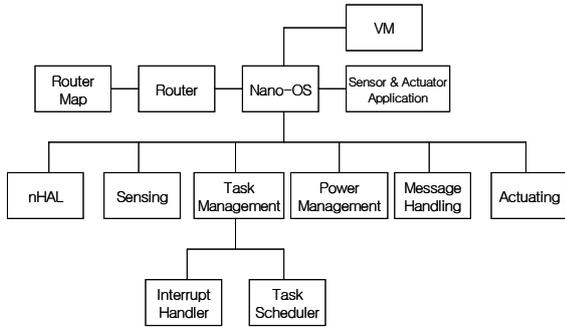


Fig. 2 Structure of nano-Qplus

2.3 SAW온습도 센서제작

본 연구에서 개발된 지금까지의 무선센서 모듈들은 양방향 통신이 가능한 기능을 가지고 있다. 따라서 무선센서 모듈의 경우 RF 기능이 포함되고 또한 전력 공급을 위한 배터리의 장착으로 부피가 크기 때문에 전체 무선센서 모듈의 소형화 측면에서는 개선의 여지가 많다고 할 수 있다. 따라서 외부 송수신기에서 보내준 RF 신호를 전원으로 사용하여 센서를 구동한 다음 센서에 의해 계측된 신호를 외부 전원 없이 다시 송수신기로 전송해 줄 수 있는 RF 센서 모듈을 고려할 수 있다. Fig. 3은 이와 같은 개념의 무선센서 및 시스템 구조를 나타낸다. 이러한 기능을 수행하기 위해 적합한 기술은 표면탄성파(SAW: Surface Acoustic Wave)를 이용한 센서기술이라고 할 수 있다.

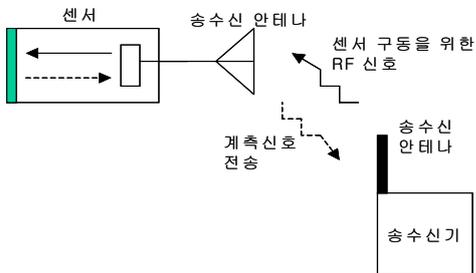


Fig. 3 Concept of wireless sensor system without sensor driving power

본 연구에서는 SAW 센서의 특성을 무선센서 네트워크 시스템에 적용하기 위한 연구로서 온도 및 습도를 검출할 수 있는 SAW 센서에 대한 연구를 수행하였다.

2.3.1 SAW IDT 패턴 설계 및 제작

SAW 센서를 제작하기 위해 설계된 마스크는 설계 조건에 따라 제작되었다. Fig. 4 및 5는 설계된 mask 패턴을 나타낸다. Fig. 4의 mask-1은 Cr/Au를 증착하기 위한 mask이고 Fig. 5의 mask-2는 TiO₂를 증착하기 위한 mask이다. 이들 마스크는 설계된 4 종류의 SAW 센서를 한 장에서 모두 제작하기 위해 mask를 4등분하여 각 영역 별로 다른 종류의 SAW 센서를 설계하였다. 이렇게 함으로써 한 장의 mask를 이용해 두 종류의 중심주파수와 IDT 형태를 비교할 수 있게 하였다. 이들 마스크는 AUTOCAD로 설계된 후 마스크 제작용 quartz기판에 크롬을 이용하여 제작하였다. Fig. 6과 7는 실제 제작된 마스크 사진이다.

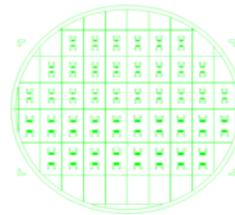


Fig. 4 Design drawing of mask-1 pattern for SAW biosensor.

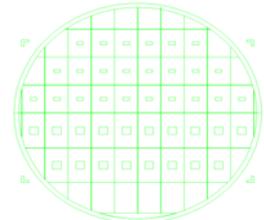


Fig. 5. Design drawing of mask-2 pattern for SAW biosensor.

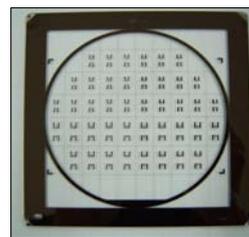


Fig. 6 Photo of fabricated mask-1.

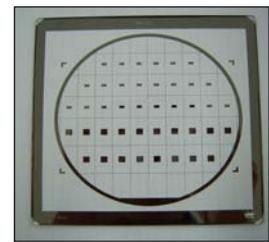


Fig. 7 Photo of fabricated mask-2.

2.3.2 실험용 지그제작

SAW 센서의 입력단과 출력단 사이에서 발생할 수 있는 임피던스차에 의한 반사를 막기 위해 실험용 지그를 제작하여 측정 시 발생할 수 있는 오차를 최소화 하였다. 실험용 지그는 SAW 센서의 크기에 맞게 제작된 PCB기판과 SMA타입 커넥터 그리고 접지와 커넥터 고정을 위해 사용되는 알루미늄 벌크로 구성되어 있다. Fig. 8는

제작된 시험용 지그이다.



Fig. 8 Photo of test jig for SAW device.

3. 실험 및 결과

3.1 실험장치

SAW 센서는 온도측정을 위해 제작된 온도용 SAW 센서와 습도측정을 위해 감지막에 TiO₂를 증착한 습도용 SAW 센서 두 가지가 있다. 온도측정은 Fig. 9에서 보는바와 같은 진공건조오븐을 이용하여 제작된 SAW 디바이스를 테스트한 후 항온항습기를 이용하여 다시 측정하였다.

습도측정은 Fig. 10에서와 같은 항온항습기를 이용하였으며 실험을 위한 시스템 구성은 Fig. 11과 같으며 SAW 센서의 정확한 주파수 변화를 측정하기 위해 50 MHz~20 GHz 범위의 회로망 분석기(HP8750D, Hewlett Packard, USA)를 이용하였다.

제작된 SAW 디바이스의 주파수 특성을 알아보기 위해 회로망분석기의 S 파라미터 중 투과 계수인 S_{21} 파라미터를 측정하였다.



Fig. 9 The vacuum



Fig. 10 The constant temperature and humidity controller.



Fig. 11 SAW device measurement setup.

3.2 실험방법

온도측정을 위한 본 실험을 하기 전에 제작된 SAW 디바이스의 동작 특성을 알아보기 위해 진공건조기를 이용하여 4개의 SAW 디바이스(80 MHz single IDT, 80 MHz double IDT, 160 MHz single IDT, 160 MHz double IDT)에 대해 30°C~80°C까지 10°C단위로 변화시키며 온도변화에 따른 공진주파수 변화를 각각 측정하였다.

진공건조기를 이용하여 각 SAW 디바이스의 작동 특성을 분석하여 최적센서 구조를 선정 한 후 항온항습기를 이용하여 상대습도 60%에서 온도를 -20~80°C까지 10°C씩 변화시키며 선정된 SAW 디바이스를 이용하여 다시 측정하였다. SAW 디바이스의 히스테리시스를 분석하기 위하여 -20에서 80°C까지 온도를 올리며 주파수 변화를 측정 한 후 다시 80°C에서 -20°C까지 온도를 내리며 공진주파수를 측정하였다.

습도측정 실험은 항온항습기내에서 수행하였다. 우선 TiO₂를 증착하지 않은 SAW 센서를 이용하여 습도에 대한 안정성을 파악하기 위해 30°C와 40°C에서 각각 상대습도를 50%에서 90%까지 10%단위로 변화시키며 실험하였다.

측정에 사용된 주파수는 SAW 디바이스의 중심주파수인 80 MHz와 160 MHz로 하였으며 분해능을 1601포인트로 설정하고 span을 1 MHz로 하여 측정하였다. 또한 입력단과 출력단 사이에서 발생할 수 있는 임피던스 차에 의한 반사를 막기 위해 시험용 지그를 제작하여 실험 시 발생할 수 있는 오차를 최소화 하였다.

3.2 실험결과

3.2.1 온도측정 실험결과

본 실험에서 SAW 디바이스의 중심주파수는 80 MHz와 160 MHz로 설계되었으나 공정과정과 주위 환경에 의해 변화할 수 있으므로 최종 제작된 SAW 디바이스의 주파수 특성을 실제 측정을 통해 확인해야 한다.

진공건조기를 이용한 온도측정 실험 결과 160 MHz SAW 디바이스의 온도에 대한 주파수 변화가 80 MHz SAW 디바이스의 주파수 변화보다 약 2배 정도 크게 나타났으며 작동 주파수가 2배로 증가한 것에 비해 삽입손실은 크게 증가하지 않았다. 온도 센서로는 작동 주파수가 높아 감도가 높고 크기도 작은 160 MHz SAW 디바이스가 더 적합한 것으로 나타났다.

보다 정확한 실험을 위해 -20°C에서 80°C까지 온도를 변화시킬 수 있는 항온항습기를 이용하여 160 MHz SAW 디바이스의 온도 변화에 대한 주파수 변화를 실험하였다. Fig. 12와 13은 160 MHz의 single IDT와 160 MHz의 double IDT SAW 디바이스의 실험 결과를 각각 나타낸다. 실험 결과 진공건조기를 이용했을 때와 같이 double IDT SAW 디바이스의 주파수 변화가 약간 크게 나타났으나 IDT의 선폭이 얇은 double IDT가 온도 변화에 따른 파형의 왜곡이 나타나 신호 안정성이 떨어지는 것으로 나타났다. 특히 중심 주파수 근처에서 TTE에 의한 노이즈가 큰 double보다 노이즈가 적고 온도 변화에 대해 신호가 안정적인 single IDT SAW 디바이스가 온도 측정용 SAW 센서로 더 적합한 것으로 나타났다. 한편, Fig. 12에서 온도 측정시 SAW 센서의 히스테리시스는 거의 무시할 정도로 작은 것으로 나타났다.

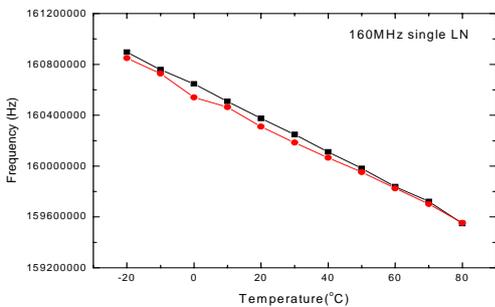


Fig. 12 Variation of the center frequency according to the temperature change on the 160MHz single SAW device.

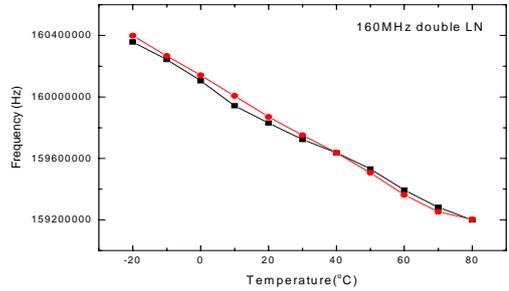


Fig. 13 Variation of the center frequency according to the temperature change on the 160MHz double SAW device.

3.2.2 습도측정 실험결과

Fig. 14는 제작된 4개의 센서 중 1개의 결과를 보여주며, TiO₂를 증착하지 않은 상태에서 습도 변화에 대한 안정성을 평가하기 위해 30°C와 40°C에서 상대습도를 50%~90%까지 변화시키며 실험한 결과이다. 실험 결과 4개의 SAW 센서 모두 습도 변화에 대해 중심주파수의 변화가 거의 없어 TiO₂를 증착하지 않은 상태에서는 습도 변화에 대해 안정적인 것으로 나타났다. 따라서 향후 제작된 SAW 디바이스의 감지층에 TiO₂를 증착하여 습도변화에 따른 SAW 디바이스의 주파수 변화를 측정하여 최종적으로 SAW 습도센서를 제작할 예정이다.

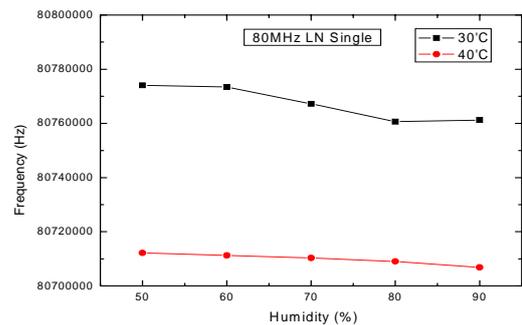


Fig. 14 Variation of the center frequency according to the relative humidity change on the 80MHz single SAW device.

4. 결론

본 연구는 다중시설/설비의 환경 및 안전을 위

한 모니터링 기술로서 무선센서 네트워크 기술을 적용하고자 하였다.

무선계측센서로서 별도의 자체 전원이 필요 없이 외부 안테나 입력신호만으로도 센서의 구동과 계측된 신호의 송신이 가능한 센서로서 표면탄성파(SAW)를 이용한 센서 제작하였다. 압전기판으로서 LiNbO₃ 기판의 자체 온도특성을 이용하여 온도측정이 가능한 센서를 설계·제작하였다. 표면탄성파의 중심주파수는 80 MHz와 160 MHz로 설계하였으며 각각의 주파수에서 표면탄성파 전극패턴으로서 single IDT와 double IDT를 설계·제작하여 그 특성을 시뮬레이션 하였다. 반도체 공정을 적용하여 4" LiNbO₃ 압전기판에 SAW 디바이스를 제작하였다. 제작된 SAW 디바이스의 주파수 특성을 회로망분석기로 측정된 결과 시뮬레이션 결과와 거의 일치하였으며 예비 온도측정 시험결과 전체적으로 온도가 증가함에 따라 SAW 디바이스의 중심주파수는 거의 직선적으로 감소하는 것으로 나타났다. 실험결과로부터 SAW 디바이스의 중심주파수에 따른 감도를 비교한 결과 160 MHz SAW 디바이스가 80 MHz 보다 약 2배정도 감도가 높은 것으로 나타났다. 전극 구조에 따른 특성을 검토한 결과 single IDT SAW 디바이스가 double IDT SAW 디바이스 보다 안정적인 특성을 나타내어 온도측정 센서로 더 적합한 것으로 나타났다. 한편 습도용 센서를 제작하기 위한 기초연구로서 습도 감지막을 SAW 디바이스에 증착하지 않은 상태에서 습도에 따른 공진주파수 변화를 측정된 결과 습도변화에 거의 안정적인 특성을 나타내었다. 따라서 향후 SAW 디바이스의 감지막에 습도에 민감하게 반응하는 TiO₂를 증착하여 습도 센서를 제작할 예정이다. 전체적으로 2년차 연구에서는 1년차 연구에서 개발된 SAW 센서에 무선 송수신 안테나를 적용하여 자체 구동전원이 필요 없이 외부 안테나 신호만으로도 온습도 측정이 가능한 SAW 무선센서를 개발할 예정이다.

참고 문헌

1. B. F., Spencer, Ruiz-Sandoval, M., and Gao, Y. "Frontiers in structural health monitoring", Proc. of the China-Japan Workshop on Vibration Control and Health

- Monitoring of Structures and Third Chinese Symposium on Structural Vibration Control, Shanghai, (2002)
2. B. F. Spencer, "Opportunities and challenges for smart sensing technology", Proc. of the First International Conference on Structural Health Monitoring and Intelligent Infrastructure, Tokyo, 13-15 Nov., (2003)
3. S. J. Dyke, Caicedo, J. M., and Johnson, E. A., "Monitoring of a benchmark structure for damage identification", Proc. of the Engineering Mechanics Specialty Conference, (2000)
4. Y. Fujino, and Abe, M. "Structural health monitoring in civil infrastructures and research on SHM of bridges at the University of Tokyo", Proc. of the Third World Conference on Structural Control, Vol. 1, pp.125-140, (2002)
5. W. D. Iwan. "R-SHAPE: A real-time structural health and performance evaluation system", Proc. of the US-Europe Workshop on Sensors and Smart Structures Technology, 33-38 (2002)
6. A. Mita, and Takahira, S. "Damage index sensors for smart structures", Proc. of the Third World Conference on Structural Control, Vol. 2, pp.29-34, (2002)
7. J. Kahn, R. Katz, and K. Pister, "Next century challenges: Mobile networking for "Smart Dust"", In Proceeding of the ACM/IEEE International conference on Mobile Computing and Networking, Seattle, USA, Aug. pp.271-278 (1999)
8. W. Heinzelman, J. Kulik and H. Balakrishnan, "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks", In Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, Seattle, USA, Aug. pp.174-185, (1999)