

건축구조물에서 무선 MEMS 센서를 이용한 통신 거리 유효성 평가

The Evaluation of Communication Distance Using Wireless MEMS Sensor in Building Structure

이종호*
Lee, Jong-Ho

천동진**
Cheon, Dong-Jin

윤성원***
Yoon, Sung-Won

Abstract

Wireless MEMS sensors have common features such as wireless communication, data measurement, embedded processing, battery-based self-power, and low cost, and increased measurement effectiveness. Wireless MEMS sensors enable efficient SHM without interfering with location because there is no requirement for triboelectric noise and cumbersome cables. However, there is little research on the communication distance with sensors and data. For instance, existing researches have limited communication distance experiments in civil engineering bridges. It is also necessary to investigate the characteristics of dynamic behavior and the communication distance of architectural structures with different wireless transmission/reception environments. Therefore, in a building structure with walls and slabs instead of open spaces, MEMS sensors and data loggers were used as distance experiments where communication disturbance between the vertical slab and the horizontal wall could actually be communicated.

Keywords : Communication distance, Measurement, Wireless, MEMS, ICP, SHM

1. 서론

최근 노후화된 구조물의 수가 증가하고 그에 따라 사용성이 떨어지고 붕괴 등의 구조적인 문제가 유발되고 있다. 이러한 문제에 접근하기 위해 건설 분야에서는 구조물의 거동을 실시간으로 상태를 파악하고 진단·평가하는 구조물 건전도 모니터링 (Structural Health Monitoring, 이하 SHM) 기술로 국내·외 건설 분야에서 활발하게 연구가 이루어지고 있다¹⁾.

기존 SHM에서 활용되고 있었던 유선 센서는 계측 정확도가 높은 반면 계측 장소의 여건 그리고 데이터로거(Data logger)를 연결하기 위한 케이블에 대한 간섭으로 인하여 자유롭지 못하고, 센서 외 계측 장비의 상당한 무게 그리고 설치 및 해체 간의 측정자 피로도가 높다는 단점이 있다¹⁾. 무선 MEMS 센서는 주로 무선 통신, 데이터 계측 및 내장 처리, 배터리 기반 자체 전력 그리고 저렴한 가격과 같은 공통적인 특징을 가지고 있다^{2,3)}.

스마트 센서의 하드웨어는 일반적으로 응답을 계측하기 위한 센서, 계측된 응답을 디지털 신호로 변환하기 위한 센싱 인터페이스, 데이터 무선 전송을 위한 무선 송수신기, 소프트웨어의 내장 및 무선 센서 구동을 위한 마이크로컨트롤러 그리고 전력공급을 위한 배터리 등의 부품으로 구성된다³⁾. 따라서 스마트 센서를 이용하여 네트워크를 구성할 경우, 각각의 센서 노드가 독자적으로 내장된 프로그램을 통해 계측한 데이터를 처리하고, 자체적으로 저장, 해석, 통신을 할 수 있을 뿐만 아니라, 전력소모를

* 학생회원, 서울과학기술대학교 건축과, 석사과정
Dept. of Architecture, Seoul National University of Science and Technology
** 학생회원, 서울과학기술대학교 건축과, 석사과정
Dept. of Architecture, Seoul National University of Science and Technology
*** 교신저자, 정회원, 서울과학기술대학교 건축학부 교수, 공학박사
School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology
Tel: 02-970-6587 Fax: 02-979-6563
E-mail: swyoon@seoultech.ac.kr

최소화하기 위한 저전력 기술의 활용이 가능하다²⁾³⁾. 최근 스마트 센서를 이용한 실 구조물의 장기적 모니터링이 가능하도록 많은 연구가 진행되고 있다.

국내의 경우 2002년 7월 KAIST를 중심으로 시작된 “스마트 사회기반시설 연구센터”가 설립되어 관련 분야의 국내 연구자들 간의 학제 간 연구활동을 통하여 대형 산업 기반 구조물들의 안전하고 경제적인 설계, 시공 및 유지관리를 위한 스마트 구조기술 개발을 시도하고 있다. 이는 국내에 스마트 센서에 대한 연구를 촉진시켜 현재 MEMS를 이용한 스마트 센서의 개발 연구가 다양하게 진행 중이며 실험실 시제품의 제작 및 테스트가 이루어지고 있다⁴⁾⁵⁾. 이러한 MEMS 관련 기술의 개발은 발전된 국내의 IT 기술에 기인하며 이미 상용화된 SHM 기술과 병합하여 그 적용범위를 확대해가고 있다⁵⁾⁶⁾.

현재 무선 MEMS 센서를 건축구조물에 적용하여 동특성식별 적용성을 검증하였고⁵⁾, 무선 MEMS 센서와 유선 센서를 동시 계측하여 센서의 유효성 평가를 하였다. 또한 무선 MEMS 센서를 이용한 실제 저층건물의 상시진동계측에서 고유진동수 산정이 가능함으로써 무선 MEMS 센서의 계측 유효성은 높아지고 있다¹⁾.

무선 MEMS 센서는 마찰 전기 노이즈와 번거로운 케이블에 대한 요구사항이 없기 때문에 장소 간섭 없이 효율적인 SHM을 가능하게 하지만¹⁾⁷⁾, 센서와 데이터로거의 통신 거리에 대한 연구가 미진한 상태이며 기존 연구들의 경우 토목교량에서의 통신 거리 실험이 한정되어 있었다. 따라서 동적 거동의 특성과 무선 송수신 환경이 상이한 건축구조물의 통신 거리 연구 또한 필요하다. 선행연구에서 유선 센서와 무선 MEMS 센서를 비교하여 주파수별 정확도를 확인하는 실험을 실시하였고 그 결과 고유진동수, 시간이력에서 낮은 오차율을 확인하였다⁸⁾. 또한 거리감쇠(최대 거리 30m) 실험을 통하여 센서와 데이터로거의 유효 계측 거리를 확인하였다⁷⁾.

하지만 일반적으로 무선 기기는 RF 신호이기 때문에 거리가 멀어질수록 거리감쇠가 일어날 수 있고 건축구조물은 벽, 슬래브가 있기 때문에 실내이거나 실외일 때, 그리고 WiFi 네트워크 무선 통신 등의 RF 소스가 진동계측 시 신호 응답에 영향을

줄 수가 있다⁸⁾⁹⁾.

건축구조물의 특성상 벽과 슬래브가 있으므로 실제 거리는 멀어지지 않더라도 층별, 실별로 각 센서마다 데이터로거 하나를 두고 모니터링을 하게 된다면 경제적으로 효율성이 떨어지게 된다.

따라서 개활지가 아닌 벽, 슬래브가 있는 건축구조물에서 MEMS 센서(G-Link 200, Microstrain사)와 데이터로거(WSDA-Base-104, Microstrain사)를 수직방향으로 슬래브와 수평방향의 벽체의 통신 방해로 실제 통신이 가능한 거리 실험으로 실시하였다.

2. 무선 MEMS 시스템

무선 MEMS 시스템은 MEMS 가속도계, 무선 데이터 송신기 그리고 무선 데이터 수신기의 세 부분으로 구성되어 있다⁹⁾. 이 논문에 사용된 센서는 MEMS 가속도계와 송신기가 하나의 노드이기 때문에 두 부분으로 구성되어 있으며 무선 통신으로 데이터를 송수신 한다.

무선 신호의 통신 거리는 무선 출력, 수신 감도, 안테나 이득 값, 무선 케이블 및 각종 액세서리에 의한 손실, 대기 중 손실 그리고 전송 경로 중간에 위치한 장애물 등에 의해 결정되는데 실외 환경에서 최상의 무선 링크를 구축하기 위해서는 무선 안테나 사이에 가시권이 확보되어야 하고 Fresnel zone 영역이 20% 이하로 영향을 받아야 한다. 건물이나 나무와 같은 장애물에 의해 신호가 감쇠되어도 높은 이득의 지향성 안테나를 사용하면 어느 정도 신호 보상이 가능하다. 일반적으로 Fresnel zone 이 20% 이상 차단될 경우 데이터 전송 속도 낮아지거나 데이터가 유실될 수 있다¹⁰⁾.

공장, 사무실, 창고와 같은 실내에서 무선 시스템을 사용하면 무선 안테나 사이에 가시권이 확보되지 않아도 무선 통신이 원활하게 되는 경우가 있지만 무선 품질은 벽이나 파티션과 같은 구조물의 재질에 따라 차이가 발생한다. 일반적인 사무실의 파티션은 무선 신호가 감쇠하기는 하지만 파티션을 통과하여 신호를 전달할 수 있고 콘크리트 재질의 벽은 거의 통과할 수가 없기 때문에 벽 반대편에 신

호가 전달되지 않는다¹⁰⁾.

보통 대기 중 전파 손실이나 장애물에 대한 전파 투과율은 사용 주파수 대역에 따라 차이가 있으며, 주파수 대역이 높을수록 대기 중에서 발생하는 전송 손실도 높아진다. 예를 들어, 5GHz 주파수를 사용할 경우 2.4GHz 주파수를 사용할 때보다 2배 많은 전송 손실이 발생할 수 있으며, 통신 거리도 1/2로 감소한다¹⁰⁾. 이 논문에 사용된 무선 MEMS 센서는 2.4GHz이다.

2.1 무선 MEMS 가속도계

무선 MEMS 가속도계는 Microstrain사에서 개발한 G-Link200 가속도계를 사용하였다. 센서의 크기는 46.6x43x44mm로 3축 가속도계이며 1~8g의 측정범위를 가진다. 자세한 제원은 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Specifications of accelerometer

Accelerometer channels	
Integrated sensors	3 channels(X,Y,Z)
Measurement range	2~8g
Accelerometer bandwidth	DC to 1kHz
Resolution	20-bit
Noise density(±2 g)	25 μg/√Hz
Non-linearity	0.1% full-scale
0g offset(±2 g)	±25mg(typ), ±75mg(max)
0g offset vs temperature(±2g)	±0.1mg/°C(typ), ±0.15mg/°C(max)

가속도계 선정은 무선 MEMS 센서의 사양들을 비교하여 SHM 적용성 평가를 한 연구내용¹¹⁾을 참고하여 고성능에 중점을 두어 선정하였다.

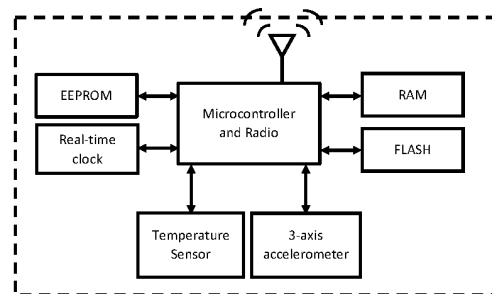
2.2 무선 데이터 송신기

본 논문에 사용된 송신기는 <Fig. 1>과 같이 MEMS 가속도계와 일체형인 노드이며, 노드의 사양은 <Table 2>와 같다. 무선 데이터 송신기는 활성 채널 수 및 샘플링 설정 수에 따라 RF 채널마다 최대 128개의 노드가 있다. 대역폭 계산에 따라 송신기 간의 연결 가능한 채널의 선택폭이 넓다. 무선 통신 거리는 실외(개활지)이고 안테나를 따로 사용

하였을 때 최대 2km, 사용하지 않았을 때는 800m이다. 실내이거나 장애물이 있을 시 50m까지 통신이 가능하다.



(a) Exterior G-Link 200



(b) Inside the node

<Fig. 1> G-Link 200 node¹²⁾

2.3 무선 데이터 수신기

무선 데이터 수신기는 Microstrain사에서 개발한 WSDA-Base-104-LXRS 수신기를 사용하였다. 2.4GHz의 주파수를 가지고, 활성 채널 수 및 샘플링 설정 수에 따라 RF 채널마다 최대 2,000개의 노드 설정이 가능하다<Fig. 2>. 수신기의 크기는 88x70x20mm로 양방향 RF 범위의 0.07~2km까지 통신이 가능하다. 이는 송신 전력 설정에 따라 달라지며 자세한 내용은 <Table 2>에 나타났다.

<Table 2> Maximum range of data logger

Setting	Power output(dBm)	Max. range(km)
Extended	16	2
Standard	10	1
Low	0	0.07

이 무선 데이터 수신기는 출력 전력을 0~16dBm까지 설정할 수 있으며, 전력에 따라 최대 통신 거리가 달라지며 미국 이외에는 10dBm으로 제한 가능하다. 본 논문에서는 기본(출력 전력 10dBm,

최대 거리 1km)으로 설정하여 실험을 하였다.

dBm 단위는 mW를 기준으로 한 전력측정값을 지칭하며 기준의 간편함을 위하여 mW를 기준으로 만든 db전력값을 dBm이라 부른다<Table 3>.

<Table 3> Unit conversion

Power(mW)	Power output(dBm)
1	0
10	10
100	20
1000mW = 1W	30dBm = 0db(W)



<Fig. 2> WSDA-Base-104-LXRS¹³⁾

3. 최대 무선 통신 유효거리 실험

3.1 실험 개요

건축구조물의 벽, 슬래브에 의한 무선 통신 방해 실험을 하기 전, 먼저 무선 MEMS 가속도계의 최대 통신 거리 실험을 위하여 RF 신호 방해와 장애물을 피하기 위해 개활지에서 실험을 하였다. 개활지 실험 후 건축구조물의 벽과 슬래브의 무선 통신 방해 실험을 실시하였다.

3.2 실험 방법

3.2.1 개활지 실험

센서와 데이터로거의 거리를 20m 간격으로 x4m 까지 실험을 하였고 진동계측 방법은 얇은 나무판에 <Fig. 3>과 같이 Drop 가진을 하였다. 나무판에 최대한 같은 높이에서 펜을 떨어뜨리려고 노력하였으며 실험으로부터 유효한 시간이력과 고유진동수를 얻을 수 있는지 실험하였다.



<Fig. 3> Experimental view

3.2.2 수평방향(벽) 실험

장애물인 벽과 벽까지의 거리가 4m인 실에서 실을 하나씩 증가시키면서 진동계측 실험을 하였다. 계측 방법은 개활지와 같고 센서 노드와 데이터로거의 거리를 연결이 끊길 때까지 늘리며 실험을 하였다.

3.2.3 수직방향(슬래브) 실험

수직 방향 슬래브의 통신 방해 실험은 실제 건축구조물의 슬래브에서 진동계측을 실시하였다. 가진은 Heel impulse 가진을 하였으며, 12층 건물에서 실험은 12층에 센서 노드를 설치하고 노트북과 데이터로거를 1층(층고 4.3m)씩 내려가며 실험하였다.



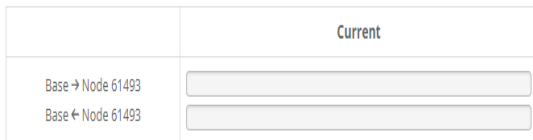
<Fig. 4> Experimental view

실험에 앞서 실제 구조물인 슬래브를 측정하기 위하여 ICP타입 가속도계를 이용하여 슬래브의 고유진동수를 파악한 뒤 무선 MEMS 센서를 이용하여 통신 거리 실험을 하였다. 모든 실험은 동일한 조건의 데이터샘플링 슬래브 최소 2배의 진동수인 64Hz로 설정하였고(2진법으로만 설정 가능), 시간은 50초 동안 계측되었다.

4. 실험 결과

4.1 개활지 통신 거리 실험

이 실험에서는 송신기 전력 설정을 20dBm으로 설정하였고, 수신기는 10dBm으로 설정하였다. 제한 상 최대 거리가 송신기 800m, 그리고 수신기는 1km이다. 20m씩 멀어지며 실험한 결과 최대 80m까지 신호가 잡혔지만 더 멀어지면 <Fig. 5>와 같이 신호가 끊기는 것을 확인하였다. 또한 개활지이기 때문에 바람에 영향을 받아 가속도 값이 실내의 실험보다 낮은 일정하지 않았다.



<Fig. 5> Range test(Disconnect)



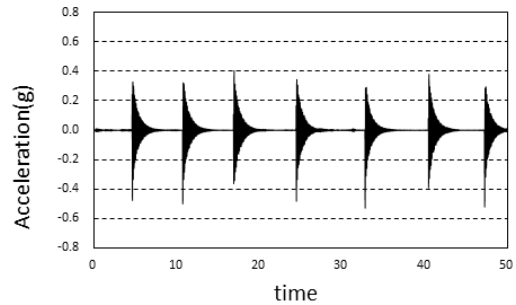
<Fig. 6> Range test(0m)

센서 노드와 데이터로거가 방해 요소 없이 붙어 있을 때는 전류 흐름이 <Fig. 6>과 같이 0~1dBm을 유지하지만 거리가 멀어지거나 방해 요소가 있을 시에는 <Fig. 7>과 같이 전류 흐름이 줄어들었다.

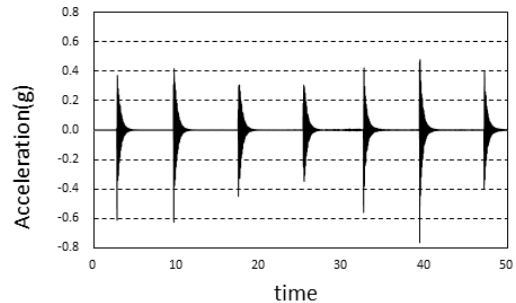


<Fig. 7> Range test(20m)

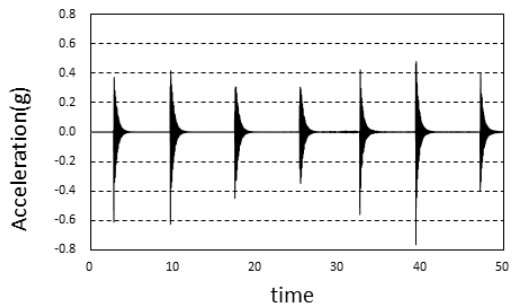
전류 흐름이 감소함에 따라 데이터 손실이 우려되었지만, 가장 멀리 측정된 80m까지도 3,200개의 데이터를 얻을 수 있었다. 개활지에서 실험으로부터 얻은 시계열과형은 <Fig. 8~11>에 나타났다.



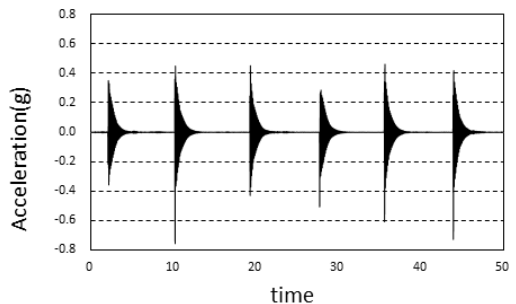
<Fig. 8> Time history(20m)



<Fig. 9> Time history(40m)

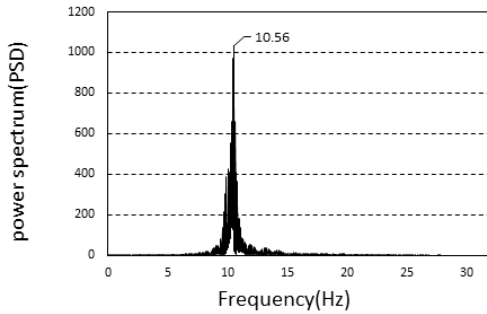


<Fig. 10> Time history(60m)

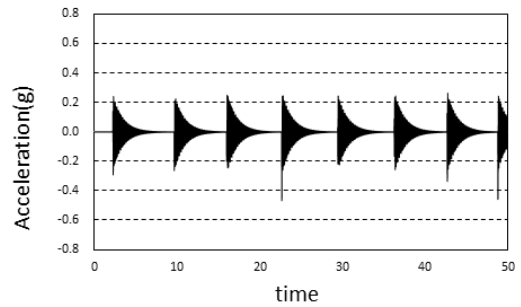


<Fig. 11> Time history(80m)

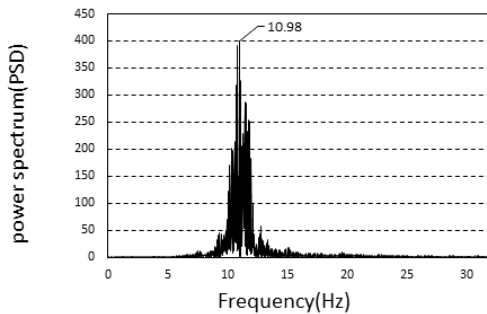
실험에 앞서 ICP 타입 가속도계를 이용하여 나무 판의 고유진동수가 10Hz임을 확인한 후 실험을 하였다. 실험 결과 20m부터 80m까지 고유진동수의 평균값은 10.92Hz였으며<Fig. 12~15>, 시계열과형에서는 손실없이 3,200개의 데이터를 수집하였다.



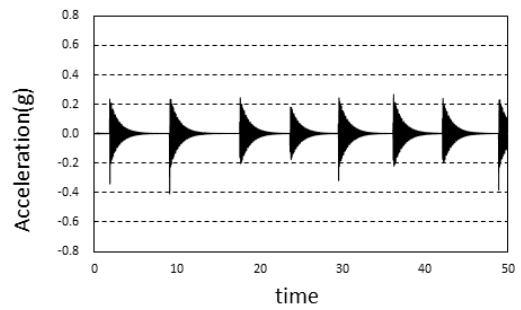
<Fig. 12> Power spectrum(20m)



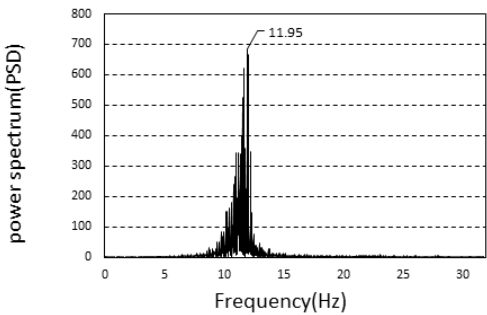
<Fig. 16> Time history(4m)



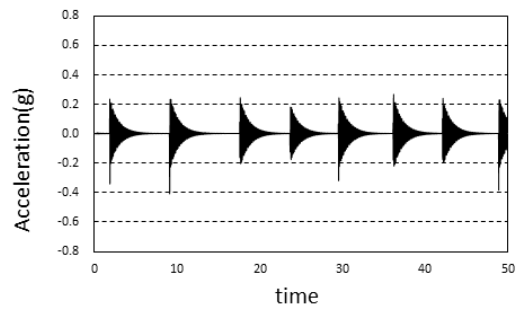
<Fig. 13> Power spectrum(40m)



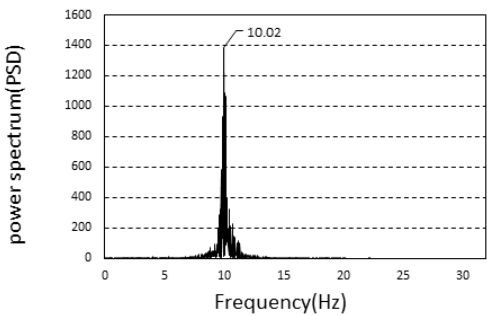
<Fig. 17> Time history(8m)



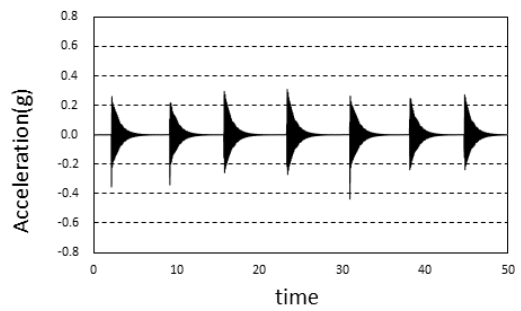
<Fig. 14> Power spectrum(60m)



<Fig. 18> Time history(12m)



<Fig. 15> Power spectrum(80m)

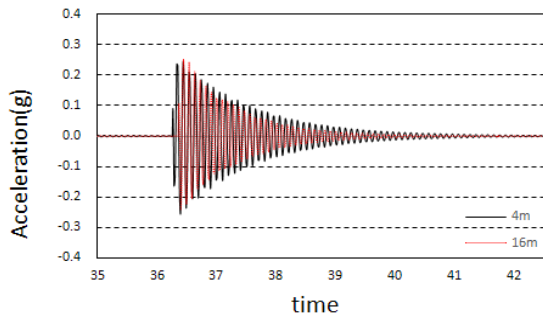


<Fig. 19> Time history(16m)

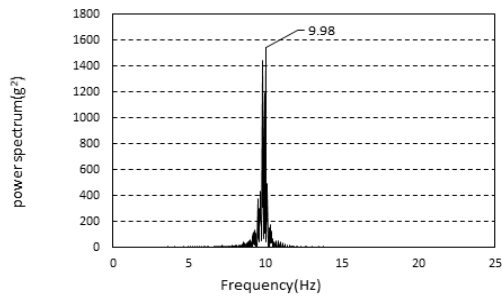
4.2 수평방향 통신 거리 실험

수평방향 통신 거리 실험 역시 거리감쇠는 없었으며<Fig. 20>, 최대 통신 거리는 장애물이 있을 시 제원상의 거리보다 가까운 16m, 즉 벽 4개를 통과 가능하였다. 시계열과형은 <Fig. 16~19>에 나타났다.

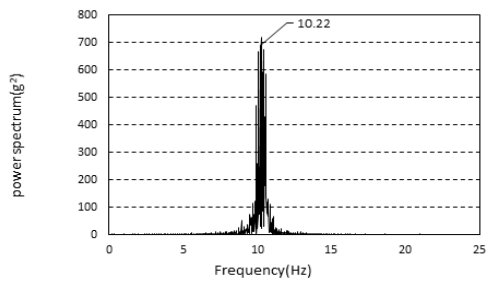
<Fig. 20>의 Decay curve는 4m와 16m의 시계열 그래프이다. 2개의 Curve 모두 거리감쇠는 보이지 않고 평균 10.24Hz의 깨끗한 파형을 나타냈으며 고유진동수 그래프 또한 깨끗하게 나타났다<Fig. 21~24>.



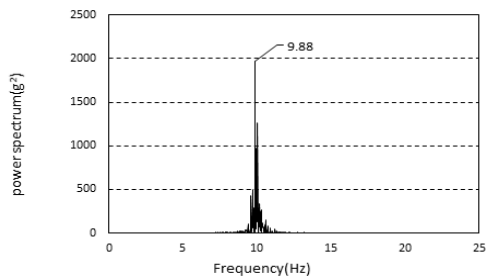
〈Fig. 20〉 Comparison of decay curve(4m, 16m)



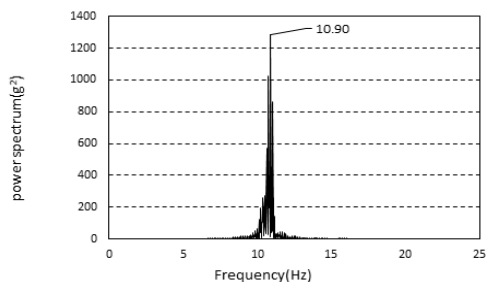
〈Fig. 21〉 Power spectrum(4m)



〈Fig. 22〉 Power spectrum(8m)



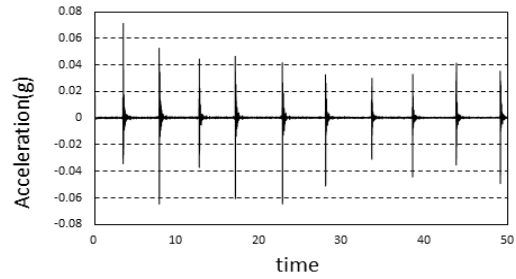
〈Fig. 23〉 Power spectrum(12m)



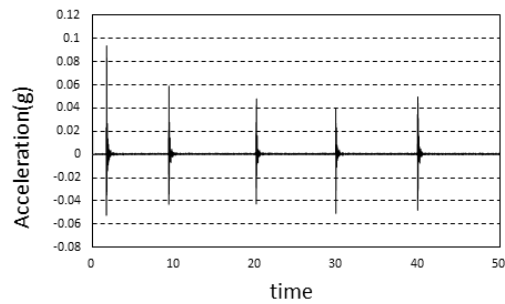
〈Fig. 24〉 Power spectrum(16m)

4.3 수직방향(슬래브) 통신 거리 실험

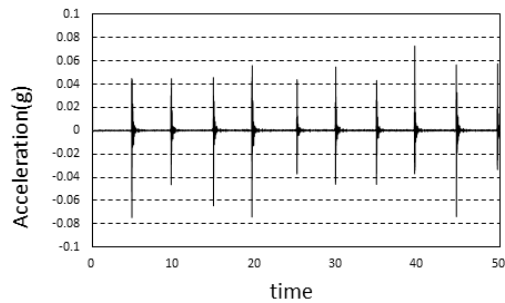
수직방향 통신 거리 실험 결과 12층부터 9층까지 계측되었다. 건물의 층고는 4.3m로서 최대 거리 약 13m까지 계측이 가능하였다. 이는 벽의 통신 거리 보다 약 3m 더 미치지 못했다. 실험으로부터 얻은 그래프는 <Fig. 25~33>에 나타냈다.



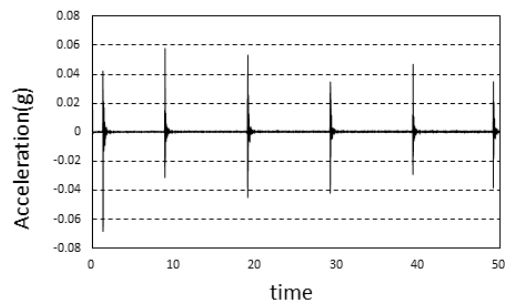
〈Fig. 25〉 Time history(12F)



〈Fig. 26〉 Time history(11F)

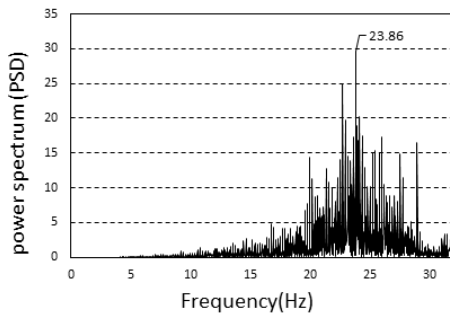


〈Fig. 27〉 Time history(10F)



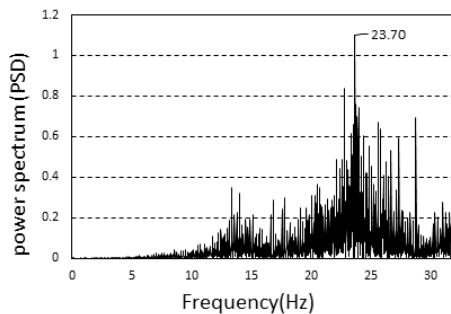
〈Fig. 28〉 Time history(9F)

수평 방향 통신 거리 16m에 비해서 가까운 13m 까지 계측된 이유는 일반적인 사무실의 파티션은 무선 신호가 감쇠하기는 하지만 파티션을 통과하여 신호를 전달할 수 있고, 콘크리트 재질의 벽은 거의 통과할 수가 없어서 슬래브 반대편에 신호가 전달 되지 않기 때문이다¹⁰⁾.

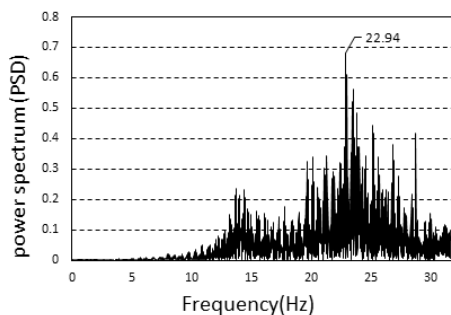


<Fig. 29> Power spectrum(12F, ICP)

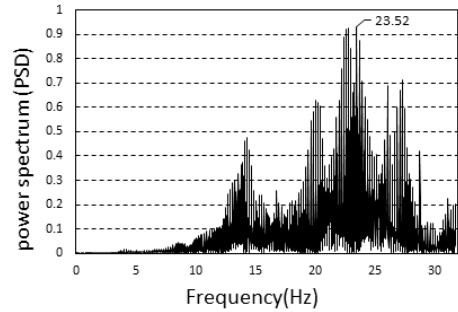
<Fig. 29>와 같이 먼저 ICP 타입 가속도계를 이용하여 고유진동수를 파악 한 뒤 무선 MEMS 센서로 실험을 하였다.



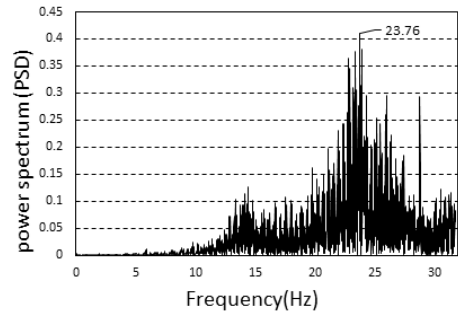
<Fig. 30> Power spectrum(12F)



<Fig. 31> Power spectrum(11F)



<Fig. 32> Power spectrum(10F)



<Fig. 33> Power spectrum(9F)

모든 실험에서 제원상의 최대 거리에 크게 미치지 못하였으며 연결이 끊기기 전까지는 데이터 손실 없이 계측되었다. 제원상의 통신 거리와 각 통신 거리 실험 결과는 <Table 4>에 나타났다.

<Table 4> Comparison communication distance

Hindrance	Specifications(m)	Result(m)	Error(m)
Outdoor	1,000	80	-920
Wall	50	16	-34
Slab	50	13	-37

개활지에서 실험한 결과, 제원이 1km인데 반하여 80m로서, 제원보다 통신 가능 거리를 훨씬 못 미치는 것을 알 수 있었다. 구조물에 의한 간섭의 경우도 벽체의 경우 제원이 50m이지만, 실험치는 16m이었으며, 슬래브의 경우 제원이 50m이지만, 실험치는 13m로 계측되었다.

5. 결론

건축구조물에서 실험을 통한 무선 MEMS 센서의 제원상 통신 거리와 실제 통신 거리를 비교하여 통신 거리의 유효성을 확인하였다.

1) 개활지에서의 최대 통신 거리는 1km였지만 실험 결과 제원 거리 보다 920m 더 못 미친 80m까지 연결이 되었다. 실외 환경에서 최상의 무선 링크를 구축하기 위해서는 무선 안테나 사이에 가시권이 확보되어야 하고, 날씨상태 그리고 건물이나 나무와 같은 장애물에 의해 결과가 관이할 수 있다.

2) 수평 방향(벽)의 최대 통신 거리는 16m이며 수직 방향(슬래브)는 13m까지만 연결이 가능하였다. 벽과 슬래브의 거리 차이의 이유는 벽이나 파티션 그리고 슬래브와 같은 구조물의 재질, 두께 등에 차이가 발생하는 것을 알 수 있었다.

3) 3가지의 최대 통신 거리 실험에서 실측 최대 거리는 제원 거리에 미치지 못하였고, 특히 실내의 통신 거리를 봤을 때 현재의 기술로는 건축구조물 내에서는 각 센서 노드 당 하나의 데이터수신기를 설치해야만 데이터 전송 속도가 낮아지거나 데이터 유실을 피할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2016R1A2B2014064)

References

1. J. H. Lee, S. W. Yoon, The Evaluation of Effectiveness on Horizontal Transient Vibration Measurement of Low-rise Building Using Wireless MEMS Sensor, Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol. 17, No. 3, pp. 55~62, September, 2017
2. Spencer, B. F., Ruiz-Sandoval, M. E., Kurata, N., Smart sensing technology: opportunities and challenges, Structural Control and Health Monitoring, 11(4), 349-368.
3. E. J. Kim, S. J. Cho, S. H. Sim, A Recent Research Summary on Smart Sensors for Structural Health Monitoring, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 19, No. 3, pp. 010-021, May, 2015
4. J. H. Yi, H. S. O., C. B. Yun, Performance Evaluation of Smart Accelerometers for Structural Health Monitoring, Journal of the Korea Society of Civil Engineering, Vol. 26, No. 4, pp. 605-609, 2006
5. H. J. Kim, B. Y. Kim, W. J. Kim, Evaluation of Wireless MEMS Sensor for System Identification of Building Structures, Architectural Institute of Korea, Vol. 25, No. 11, pp.3-10, 2009
6. G. H. Heo, W. S. Lee, M. G. Kim, Structural Health Monitoring System Employing Smart Sensor Technology Part 1: Development and Performance Test of Smart Sensor, Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 11, No. 02, pp.134-144, 2007
7. A. Sabato, Maria Q. Feng, Feasibility of Frequency-Modulated Wireless Transmission for a Multi-Purpose MEMS-Based Accelerometer, Sensor, Vol. 14, 2014
8. A. S. Maria Q., F. Y. Fukuda, D. L. Carni, Member, IEEE, G. F. Fortino, Senior Member, IEEE, A Novel Wireless Accelerometer Board for Measuring Low-Frequency and Low-Amplitude Structural Vibration, IEEE Sensors Journal, Vol. 16, May 1, 2016
9. J. H. Lee, S. W. Yoon, Analysis of Vibration Measurement Performance of Wireless MEMS Sensor, Proceedings of Korean Association for Spatial Structures, Vol. 13, No. 1, May. 26. 2017
10. http://www.witree.co.kr/banner_02/1550
11. Kurata, N., Suzuki, m., Saruwatari, S., Morikawa, H., Actual Application of Ubiquitous Structural Monitoring System using Wireless Sensor Networks, Procee-

dings of The 14Th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China

12. Microstrain, G-Link-200 Datasheet (8400-0102) RevA-10, Williston, 2017

13. Microstrain, WSDA-USB_Datasheet_8400-0074, Williston, 2017

- Received : October 19, 2017
- Revised : November 07, 2017
- Accepted : November 08, 2017