

MEMS형 경사계 센서의 유효성 평가

하 대웅¹ · 김 종문² · 박 효선^{1*}

¹연세대학교 건축공학과, ²Destek

Development of MEMS Inclinometer Sensor System

Dae Woong Ha¹, Jong Moon Kim² and Hyo Seon Park^{1*}

¹Department of Architectural Engineering, Yonsei University, Seoul, 120-749, Korea

²Destek, Seoul, 152-777, Korea

Abstract

Inclinometer sensors are widely applied in many fields. Especially in the field of construction of high-rise buildings also measure the horizontal and vertical help has been applied to monitor. Recent micro electro-mechanical system(MEMS) technology with the development of the many sensors have been developed. In this paper, a MEMS inclinometer is based on a MEMS accelerometer. The sensor can measure the angle of inclination using the relationship between static acceleration and gravity acceleration from an accelerometer. From this principle, inclinometer has been developed that has more accurate. The accuracy is proved by the experiment with laser displacement. Results in the experiment express high-accuracy, stability and economics of MEMS inclinometer. In conclusion, wireless MEMS inclinometer sensor is expected to be applicable in the areas of construction and many other industries with accurate and convenient monitoring system.

Keywords : inclinometer, microelectromechanical system(MEMS), structure health monitoring

1. 서 론

최근 미소전기기계 시스템(MEMS: Micro Electro-Mechanical System)기술의 발달로 인해 많은 센서들이 개발되었다. 대표적인 센서로는 가속도계가 있다. MEMS 기반의 가속도계는 매우 정밀한 계측값을 가지는 장점이 있다. 본 논문에서는 이러한 가속도계를 응용한 MEMS형 경사계를 초점으로 두었다. 일반적으로 가속도계는 동적인 가속도와 정적인 가속도를 동시에 측정하는 센서이다. 특히 정지상태에서는 정적 가속도와 중력가속도 사이에 발생하는 각도를 측정할 수 있다. 이 때 측정된 각도가 센서의 기울기이므로 이를 바탕으로 MEMS 기반 경사계가 개발되었다.

경사계는 여러 산업분야에서 다양하게 사용되고 있다. 특히 건축분야에서는 구조물 시공할 때 수직도나 수평도를 계측하는 장비로 유용하게 이용되고 있다. 하지만 건축분야에서 사용되고 있는 기존의 경사계는 부피나 무게가 클 뿐만

아니라 상대적으로 낮은 정밀도를 가지고 있다. 최근 들어 초고층 건물의 경향이 커지면서 건물의 수직도는 시공시 뿐만 아니라 완공 후에도 중요한 안전기준이라고 할 수 있다. 이에 기존의 경사계를 대체할 만한 경사계의 필요가 대두되고 있다.

본 논문에서 개발한 MEMS 기반의 경사계는 소형이면서 비교적 정밀한 계측값을 가지고 있기 때문에 기존의 센서의 대안으로써 적합한 것으로 판단된다. 또한 무선센서 시스템을 결합하면 그 사용성은 더 커질 것으로 기대된다.

근래에는 MEMS형 경사계의 연구도 활발하게 진행되고 있다. Yu 등(2009)은 큰 기중기를 가지는 바지선의 hook의 움직임을 모니터링하기 위한 센서로 MEMS형 경사계의 사용성을 검증하였다. 또한 서태석 등(2010)은 MEMS형 경사계를 이용한 구조부재의 거동을 계측하는 방법을 제안하고 실험을 통해 그 타당성을 입증하였다.

이러한 연구를 바탕으로 MEMS형 경사계 센서의 유효성

* Corresponding author:

Tel: +82-2-2123-2794; E-mail: hspark@yonsei.ac.kr

Received July 3 2013; Revised August 15 2013;

Accepted August 19 2013

©2013 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

을 검토하기로 하였다.

2. MEMS형 경사계 센서

본 절에서는 MEMS형 경사계 센서의 기본 유닛에 대해 설명하고 경사측정의 원리를 요약하고자 한다. 본 논문에서 개발한 MEMS형 경사계는 Sensing element로 SCA 103T를 이용하였다. Fig. 1은 SCA 103T chip이다. VTI Technology에서 개발된 SCA 103T chip은 각도를 측정하는 chip으로 ±15°와 ±30°의 계측구간을 갖는다. 기본 해상도는 0.001°까지 측정할 수 있는 것으로 검증되었다. 또한 온도와 충격에도 상당한 내구성을 갖는 sensing element로 건축분야에서 사용하기 적합한 것으로 판단되었다.

SCA 103T chip은 차동측정(Differential Measurement)이론을 바탕으로 설계되었다. SCA 103T에서 경사를 감지하는 축은 센서 표면에 평행하게 위치하고 있고 이러한 element를 서로 직교하게 설치하여 MEMS 기반의 경사계 센서로 제작된다.

SCA 103T chip은 실리콘 웨이퍼에 작은 기계소자들이 조립된 형태로 크게 두 개의 Sensing element와 AISC(an Application Specific Integrated Circuit, 응용주문형 집적 회로)로 구성된다.

두 개의 Sensing element는 가속도를 측정하며 위치변화에 의해 발생하는 가속도와 중력가속도의 관계를 이용하여 경사를 계측한다. 다시 말하면, 측정된 가속도와 중력가속도 사이의 각이 결국 센서에서 감지되는 경사값이다.

이러한 원리로 신호는 Signal conditioning and filtering

에서 유용한 값을 걸러내고 EEPROM(Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) calibration memory로 전달된다. A/D converter는 Analog값을 Digital 데이터로 변환하는 역할을 하고, 여기서 변환된 데이터는 SPI(Serial Peripheral Interface)를 거쳐 출력된다. Fig. 2에서 기술한 과정을 diagram으로 표현하였다.

계측된 가속도를 이용하여 경사각을 출력하는 원리는 다음과 같다. 센서에 발생하는 경사각은 중력가속도와 센서의 각을 의미한다. 다시 말해 센서의 위치변화로 발생된 X축의 가속도(a_x)와 중력가속도(g)의 관계는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_g = g \times \sin\alpha \tag{1}$$

(1)에서 α 는 센서의 경사를 의미하며 (2)와 같이 변환될 수 있다.

$$\alpha = \sin^{-1}(a_g/g) \tag{2}$$

센서에서 측정되는 가속도와 경사도의 관계는 간단하게 Fig. 3과 같이 표현할 수 있다.

다시 말해서 $\sin 30^\circ$ 는 0.5g를 의미하며 이는 $\sin^{-1}(0.5g)$ 가 30° 이라는 것을 말하고 있다.

기본적으로 경사계 센서에서 출력되는 값은 전압이다. 센서 로거를 통해 출력되는 전압은 각도로 변환된다. 출력 전압과 센서 각의 관계는 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 표시된 화살표는 SCA 103T 센싱 패키지 위에 그려진 화살표를 의미한다.



Fig. 1 SCA103T

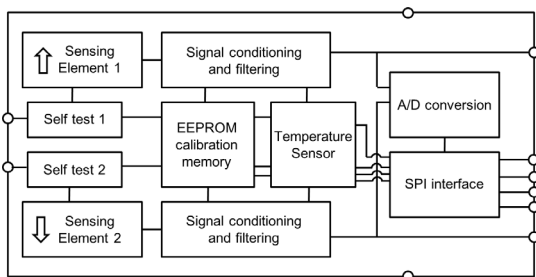


Fig. 2 Functional block diagram

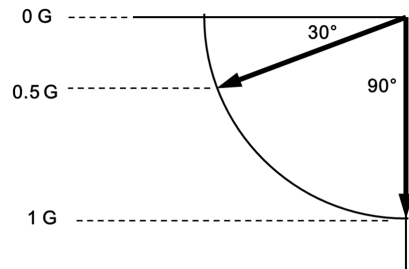


Fig. 3 Measurement inclination

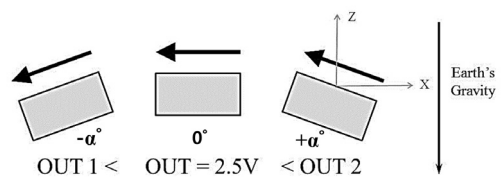


Fig. 4 Behavior of the analog output

3. 실험

앞서 설명한 MEMS형 경사계의 정확성과 신뢰성을 평가하기 위해서 실험을 실시하였다. 실험은 H형강 단순보 모델을 사용하였다. 수평상태를 시작으로 한 쪽 단부의 높낮이를 조절하여 경사각을 만드는 방법을 계획하였다.

본 실험에서는 최근 개발된 MEMS형 경사계를 도입하였다. 그리고 경사계와 비교센서로는 레이저 변위계를 사용하였다. 실험체 하부에는 2개의 레이저 변위계를 설치하고 레이저 변위계 사이의 거리와 각 레이저 변위계의 측정값을 이용하면 실험체의 경사각을 계산할 수 있다. 계산식은 식 (3)과 같다.

$$\alpha = \tan^{-1}[(L_1 - L_2)/D] \tag{3}$$

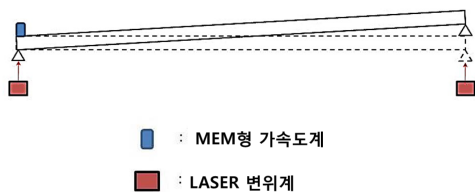


Fig. 5 Experiment model

Table 1 측정결과 비교

	MEMS (measurement)	Laser (theory)	Error (%)	Error (°)
case 1	0.000	0.000	0.0	0.000
case 2	0.100	0.133	24.8	0.033
case 3	0.273	0.258	5.8	0.015
case 4	0.396	0.394	0.5	0.003
case 5	0.497	0.518	4.1	0.021
case 6	0.622	0.637	2.4	0.015

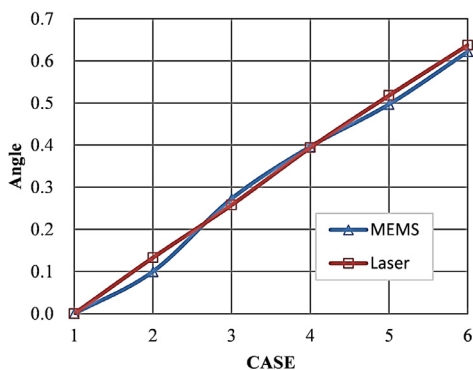


Fig. 6 Laser displacement vs Wireless MEMS inclinometer

여기서, L_1 , L_2 는 각 레이저 변위계에서 측정되는 수직변화량 값을 의미하며, D 는 두 레이저 변위계의 거리를 말한다.

실험체와 실험체 모델 프레임은 Fig. 5와 같다.

실험은 수평상태를 포함하여 총 6단계로 나누어 실시하였다. 결과는 Table 1과 Fig. 6과 같다. 약 24.8%의 상대오차를 보이는 CASE2의 경우를 제외하면 상대 오차율이 최대 5% 내외인 것으로 확인되었다. CASE2의 경우에서 발생하는 오차는 레이저 변위계의 일시적인 입력전압 오차로 판단된다.

결과를 종합해 볼 때 MEMS형 경사계의 정확성이 비교적 우수하다고 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 MEMS 기술을 기반으로 하는 SCA103T chip을 이용한 MEMS형 경사계에 대한 연구 및 실험을 평가 기술하였다.

그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) MEMS형 경사계는 기존의 경사계 센서에 비해 소형으로 설치가 간단하다는 이점이 있다.
- 2) 초고층 구조물 건설경향이 두드러진 현재의 건축분야에서 정밀한 수직도를 판단하고 작업공간을 확보할 수 있는 점에 있어서 MEM형 경사계가 현재의 대안으로 적합한 것으로 판단된다.
- 3) 실험결과 성능이 입증된 레이저 변위계와 큰 오차가 발생하지 않는 것으로 판단되어 무선 MEMS형 경사계의 정확성과 신뢰성을 입증하였다.

결론적으로 무선 MEMS형 경사계 센서는 기존 센서 시스템의 대안으로 판단된다. 기존 모니터링 시스템에서 사용하던 센서들의 단점을 극복하고 문제점들을 개선하는 센서로 적합하다.

특히 건축분야에서 사용되어 오던 경사계 센서부분에서 개선된 성능을 보이고, 크기 적인 면에서 경량화에 대한 문제를 해결하였다. 그리고 센서 자체의 내구성과 안정성 그리고 정확성 또한 괄목할 만한 수준이다.

앞으로 초고층 건물의 시공에 있어 중요한 센서로서 MEMS형 경사계의 사용이 적합할 것으로 결론지을 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0018360).

참 고 문 헌

- Lee, H.M., Kim, J.M., Sho, K., Park, H.S. (2010) A Wireless Vibrating wire Sensor Node for Continuous Structure Health Monitoring, *Smart Master. Struct.* 19.
- Michelle C., Leticia G. (2005) Measuring Tilt with Low-g Accelerometers, *Freescale Semiconductor*, Application Note.
- Seo, T.S., Youn, S.W., Im, H.C. (2010) Study on Measurement of Structural Member using Wireless MEMS Tiltmeter.
- VTI Technologies Data Sheet for the SCA 103T Differential Inclinometer Series.
- Yu, Y., Ou, J., Zhang, J., Zhang, C., Li, L. (2009) Development of Wireless MEMS Inclination Sensor System for Swing Monitoring of Large-scale Hook Structures, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(4).

요 지

경사계 센서는 여러분야에서 널리 적용되고 있는 센서 중의 하나이다. 특히 건축분야에서는 초고층 건물의 수직도와 수평도를 계측하고 모니터링하는데 적용되어 왔다. 최근 미소전기기계 시스템(MEMS: Micro Electro-Mechanical System)기술의 발달로 인해 많은 센서들이 개발되었다. 본 논문에서 논하고자 하는 MEMS형 경사계는 MEMS형 가속도계를 기반으로 한다. 정지한 상태에서 가속도계로 계측되는 정적 가속도와 중력가속도 사이의 관계를 이용하면 센서에 발생하는 경사를 계측할 수 있기 때문이다. 이러한 원리 때문에 좀 더 정확하고 이점을 갖는 경사계가 개발되었다. 보 실험을 통하여서 레이저 변위계와의 차이를 검증하였다. 실험결과 무선 MEMS형 경사계 센서 시스템은 높은 정확도, 안정성, 장기모니터링에 대한 경제성을 갖는 유용한 시스템을 확인할 수 있었다. 결론적으로 무선 MEMS형 경사계 센서 시스템은 건축분야에서 그리고 다른 여러 산업분야에서 정확하고 편리한 모니터링 시스템으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 경사계, *microelectromechanical system(MEMS)*, 구조물 모니터링