

2축 MEMS 가속도 센서를 이용한 2차원 디지털 경사계

송기무, 이진우
 세종대학교, 두원공과대학

A two dimensional digital clinometer with dual axis micromachined accelerometers

Ci-Moo Song,
 Sejong University,

Jin-Woo Lee
 Doowon Technical College

Abstract - This paper deals with a new two dimensional clinometer based on dual axis micromachined accelerometers. The clinometer is a small and low-cost product, which is mainly developed to help golfers read easily the tilt of a putting green. First, this paper proposes the principle of two dimensional clinometer and also a calibration method to improve accuracy with respect to the offset voltage and sensitivity of a accelerometer. Experimental results show that the proposed clinometer can provide useful information on the tilt of an inclined plane.

1. 서 론

MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)기술의 발달과 더불어 가속도 센서의 응용분야가 더욱 확대되고 있으며, 가속도 센서는 크게 자동차 산업과 가전산업에 적용되어 움직임을 모니터링(monitoring)하고 상황을 검출하는 분야와 종래에 상대적으로 고가의 미소 기계 부품을 사용하는 제품과 항공 및 관성항법 산업에 적용되는 계측제어분야로 나눌 수 있다. MEMS 제품이 자동차 산업에서 성공을 거두는 데는 거의 20년이 걸렸으며, 오늘날 성숙한 기술을 바탕으로 한 저가의 양산을 통하여 전통적인 관성 응용분야와 새롭게 부각하는 응용분야에서 성공적으로 적용되기에 이르렀다[1].

가속도 센서는 동적인 가속도와 정적인 가속도를 동시에 측정하는 센서로서 동적인 가속도가 영인 상태, 즉 정지한 상태에서 측정된 정적인 가속도는 중력 가속도에 의한 가속도 성분이 되며, 이를 이용하면 경사각을 구할 수 있다[2]. 어떤 평면의 경사각 측정을 요구하는 응용분야는 다양하며, 본 논문은 새로운 응용분야로서 퍼팅그린(putting green)의 경사각을 간단하고 편리한 방법으로 측정하는 골퍼용 경사계의 개발과 관련된 것이다. 골퍼에서 정확한 퍼팅을 하기 위해서는 퍼팅그린의 경사를 정확하게 읽어야 할 필요성이 있기 때문이다. 기존에 제안된 경사각 측정 방법[2]는 1차원 경사계에 대한 것이다. 한편, 저가의 MEMS 가속도 센서는 소자에 따라서, 동작 조건에 따라서 센서의 응답특성이 변하는 특징이 있으며, 이를 보정하기 위한 적절한 보상방법을 사용하여야 한다[3].

본 논문에서는 2차원 평면의 경사각을 측정하기 위한 2축 가속도 센서를 사용한 경사계의 원리를 제시하고, 퍼팅그린의 경사각 측정 환경을 고려한 2차원 디지털 경사계를 제작하고 실험을 통하여 제안된 방법의 타당성을 보이고자 한다.

2. 가속도 센서를 이용한 2차원 경사계

2.1 MEMS 가속도 센서

MEMS 기술을 사용한 저가의 소형 가속도 센서는 오프셋 전압(offset voltage)과 감도(sensitivity)가 변동하는 특징이 있으며, 표 1에 나타난 Freescale Semiconductor사의 2축 가속도 센서인 MMA6260Q는 온도에 따라 오프셋 전압과 감도가 변하며, 소자에 따라서도 변하는 특성을 보인다. 따라서 오프셋 전압과 감도에 대한 적절한 보상을 하여야 각각 정밀한 오프셋 전압 V_{OFF} 와 감도 K_a 를 식 (1)에 사용하여 정밀한 가속도 a 의 측정이 가능함을 알 수 있다.

$$V_{out} = V_{OFF} + K_a \cdot a \quad [V] \quad (1)$$

<표 1> MMA6260Q 가속도 센서의 주요 사양

acceleration range	±1.5g	
sensitivity	740(min), 800(typ), 860(max)µV/g	$T_A=25^\circ C, V_{DD}=3.3V$
sensitivity	0.015%/°C	$-20^\circ C \leq T_A \leq 85^\circ C$
zero g V_{OFF}	1.485(min), 1.65(typ), 1.815(max)V	$T_A=25^\circ C, V_{DD}=3.3V$
zero g V_{OFF}	2.0mg/°C	$-20^\circ C \leq T_A \leq 85^\circ C$

2.2 2차원 디지털 경사계

그림 1은 xy 평면상에 위치한 2축 가속도 센서의 기준좌표를 나타내고 있으며, 경사각 θ 만큼 기울어진 xy 평면상에 중력가속도 g 에 의해 가장 크게 나타나는 가속도, 즉 지면에 가장 가까운 원주상의 점과 원의 중심점 z 를 연결하는 선분위에 나타나는 가속도 g_θ 를 나타내고 있다. 한편 중력 가속도

g 의 크기와 작용방향은 지표면에 대하여 항상 일정하기 때문에 그림 1의 가속도 g_θ 는 항상 식 (1)과 같고, 경사각 θ 와의 관계는 식 (2)와 같다.

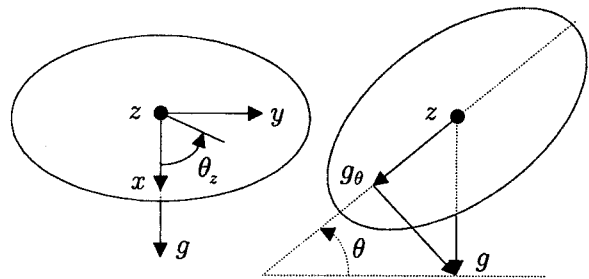
$$0 \leq g_\theta \leq g \quad (1)$$

$$g_\theta = g \cdot \cos(\pi/2 - \theta) = g \cdot \sin\theta \quad (2)$$

그러므로 가속도 센서를 이용하여 중력 가속도에 의한 g_θ 를 측정하면 식 (2)의 관계로부터 경사각 θ 를 식 (3)과 같이 구할 수 있으며, 식 (1)에 의하여 경사각의 범위는 식 (4)와 같다.

$$\theta = \sin^{-1}(g_\theta/g) \quad (3)$$

$$0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \quad (4)$$



<그림 1> xy 평면의 기준좌표와 경사각

그림 2는 정지한 xy 평면, 즉 중력가속도만 작용하는 xy 평면에서의 가속도의 관계를 나타낸 것으로 xy 축에 각각 위치한 가속도 센서의 의한 xy 축 가속도 g_x, g_y 를 나타내고 있다. 그림 2에서 가속도 g_θ 와 xy 평면의 회전각 θ_z 을 이용하여 가속도 g_x, g_y 를 구하면 식 (5)와 같다.

$$g_x = g_\theta \cdot \cos\theta_z, \quad g_y = g_\theta \cdot \sin\theta_z \quad (5)$$

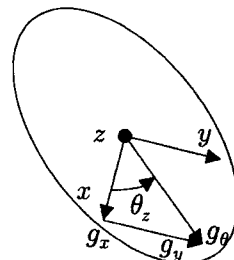
식 (5)에서 가속도 g_θ 를 구하면 식 (6)과 같다.

$$g_\theta = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \quad (6)$$

한편, 식 (5)를 이용하여 xy 평면의 회전각 θ_z 를 구하면 식 (7)과 같으며, θ_z 의 범위는 식 (8)과 같다.

$$\theta_z = \tan^{-1}\left(\frac{g_y}{g_x}\right) \quad (7)$$

$$-180^\circ \leq \theta_z \leq 180^\circ \quad (8)$$



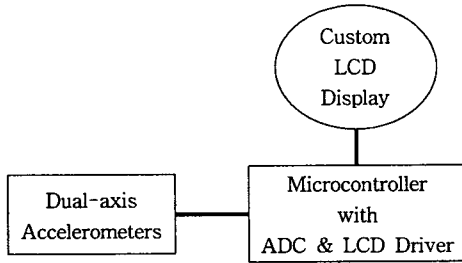
<그림 2> 정지한 xy 평면상에서의 가속도

2차원 경사계는 2축 가속도 센서를 그림 1의 평면상 기준좌표에 부착하고, 정지한 상태에서 2축의 가속도 성분을 측정한 후에 식 (6)을 이용하여 가속도 g_θ 를 먼저 계산하고, 식 (3)에 의하여 경사각 θ 를 구하며, 식 (7)을

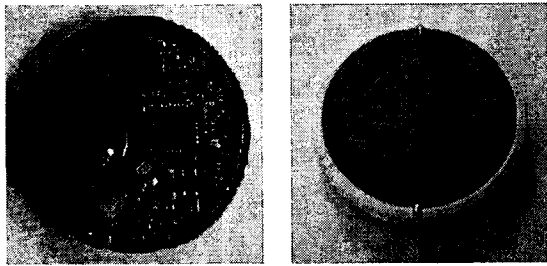
이용하여 xy 평면의 회전각 θ_2 를 구한 값을 이용하여 만들 수 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 2차원 디지털 경사계는 퍼팅그린의 경사각을 측정할 목적으로 사용 환경을 고려하여 제품의 사양 및 설계가 이루어졌으며, 그림 3의 경사계 구성도에 나타난 바와 같이 경사계의 주요 구성 요소는 10-bit A/D 변환기와 LCD Driver를 내장한 Microchip사의 PIC16F913 마이크로컨트롤러(Microcontroller)와 그림 4에 나타난 전용 LCD, 그리고 표 1에 나타난 2축 MEMS 가속도 센서이며, 제작한 경사계의 사진은 그림 4와 같다. 그림 4에 나타난 전용LCD는 2자리 수를 표현하도록 되어 있으며, 회전각 θ_2 는 가장 근사한 값을 눈금으로 나타내도록 하였다.



<그림 3> 2차원 디지털 경사계의 구성도



<그림 4> 2차원 디지털 경사계의 내부 및 외부 사진

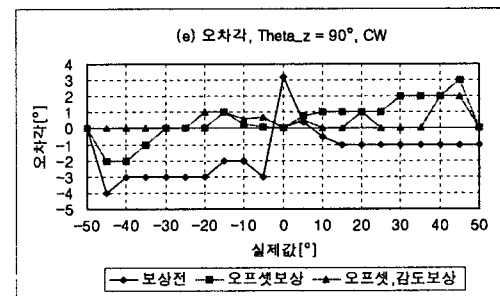
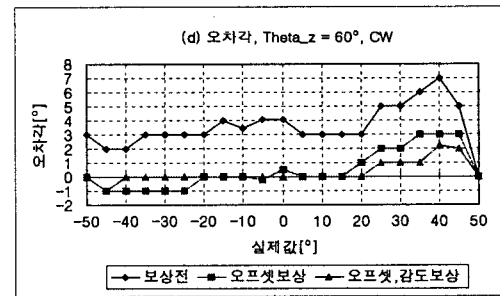
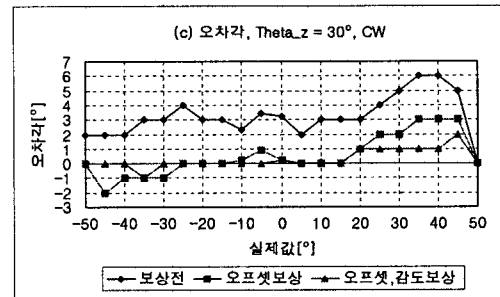
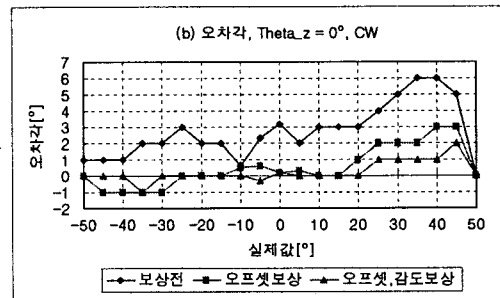
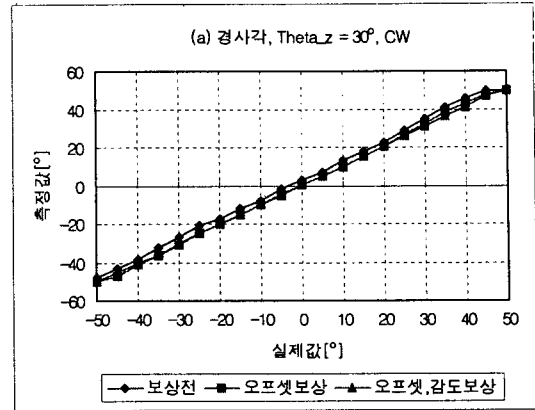
실험은 완전히 조립된 제품(I'MARK)을 사용하여 진행하였으며, 측정의 정밀도를 높이기 위하여 256개의 데이터를 평균한 값을 사용하였다. 그림 5는 2차원 디지털 경사계의 측정 정밀도를 나타낸 것으로 그림 5(a)는 회전각 $\theta_2 = 30^\circ$ 인 경우에 대한 실제 경사각에 대한 측정 경사각을 나타낸 것이다. 그림 5(b), 그림 5(c), 그림 5(d), 그림 5(e)는 각각 $\theta_2 = 0^\circ$, $\theta_2 = 30^\circ$, $\theta_2 = 60^\circ$, $\theta_2 = 90^\circ$ 에 대한 측정 오차 각도를 나타낸 것이다. 그림 5에서 센서의 공칭 데이터를 사용하여 측정된 경우를 "보상전"으로 표시하고, 실험으로 수평상태에서 측정된 오프셋 전압을 사용하여 측정된 경우를 "오프셋보상"으로 표시하고, 실험으로 $\pm 1g$ 조건에서 측정된 감도와 앞에서 측정된 오프셋 전압을 함께 사용하여 측정된 경우를 "오프셋, 감도보상"으로 표시하였다. 표 1의 MEMS 가속도 센서의 주요 사양으로부터 알 수 있는 바와 같이 오프셋 전압과 감도를 해당 센서에 대해서, 사용 조건에서 직접 측정하여 사용함으로써 그림 5에 나타난 바와 같이 측정 정밀도를 상당한 정도로 개선할 수 있다. 즉, 그림 5의 실험 결과로부터 경사각을 정밀하게 측정하기 위해서는 오프셋 전압과 감도를 보정하는 것이 필요함을 알 수 있으며, 이를 통하여 $\pm 2^\circ$ 범위의 경사각 측정 정밀도를 얻을 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 2축 MEMS 가속도 센서를 사용한 2차원 경사계의 동작원리를 제시하고, 퍼팅그린의 경사각을 측정하기 위한 2차원 디지털 경사계를 제작하고 실험을 통하여 제안한 방법의 타당성을 보였다. 또한 실험을 통한 오프셋 전압과 감도를 구하여 센서에 따른 특성과 사용 조건에 따른 특성을 반영한 실험결과를 제시하여 정밀한 경사각 측정을 위해서는 오프셋 전압과 감도에 대한 보상이 필요함을 보였다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. M. Stauffer, "Market Opportunities for Advanced MEMS Accelerometers and Overview of Actual Capabilities vs. Required Specifications", IEEE Position Location and Navigation Symposium, PLANS 2004, pp. 78-82, 2004, April.
- [2] Application Note: Measuring Tilt with Low-g Accelerometers, Freescale Semiconductor, Inc., AN3107, pp. 1-7, 2005, 5.
- [3] 진용, 박찬국, 지규인, "온도에 따른 저급 IMU의 특성 분석 및 보상", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2365-2367, 2000, 7.



<그림 5> 2차원 디지털 경사계의 측정 정밀도