

전기용량 측정에 의한 기울기 센서연구

김한준, 이래덕, 강전홍, Yu. P. Semenov*, 한상옥**

한국표준과학연구원, 러시아 멘델레프연구소*, 충남대학교**

Study on Inclination Sensor by Capacitance Measurements

Kim Han Jun, Lee Rae Duk, Kang Jeon Hong, Yu. P. Semenov*, and Han Sang Ok**

KRISS, VNIIM*, Chungnam Univ.**

Abstract

금속 평행판 전극 사이에 주입된 액체 유전체의 움직임에 의해서 발생하는 차동 전기용량 변화를 이용하여 기울기 측정센서를 개발하였다. 기울기 $0^\circ \sim \pm 90^\circ$ 의 범위에서 직선에 대한 상관계수가 0.999 99 로 분석이 되어 우수한 선형성을 보였다. 센서의 전극구조를 완벽한 3-전극형 전기용량기로 설계하였기 때문에 외부로부터의 전자기 잡음 및 전기장의 영향에 관계없이 기울기를 정밀하게 측정할 수 있었다. 또한 안정된 디지털 출력을 이용하여 기울기의 정밀측정 뿐만 아니라 장치나 구조물 등의 기울기를 원격조정 또는 monitoring에도 적용이 가능하다.

Key Words : 액체 유전체, 기울기 측정센서, 전기용량기, 3-전극형, 차폐, 원격조정

1. 서 론

산업분야가 다양화, 고도화, 정밀화됨에 따라 임의의 각도를 정확히 측정할 수 있는 방법이 있다면, 정반 또는 기계장치의 수평상태를 측정하거나 건축물의 수평 또는 수직상태를 일회성으로 측정하는 단순함을 넘어서 다양한 산업발전에 기여할 수 있을 것이다. 예를 들면, 대형 교량과 같이 수시로 수평상태가 변화되고 있는 시설물 또는 장치나, 구조물의 기울기 상태를 연속적으로 측정 및 기록해야 할 필요가 있는 경우, 기울기 측정결과를 전기적인 신호로 변환 시켜주는 센서가 있다면 대단히 유용하게 사용이 되어질 것이다. 측정대상물의 수평상태를 측정하기 위하여 사용되는 기존의 방법은 유리판 내부에 액체와 공기방울을 넣어 기울기에 따라 공기방울의 위치가 변화되는 원리를 이용하고 있다. 이와 같은 공기방울형의 기울기 센서의 문제점은 첫째 수평 또는 수직상태를 측정할 수는 있으나 임의의 기울기 각도를 수치로서 정밀하게 측정할 수 없고, 둘째 공기방울의 특성상 사용하는 사람에 따른 오차가 있을 수 있으며, 셋째

전기적인 신호가 나올 수 없기 때문에 원격조정 혹은 항시기록(monitoring) 같은 곳에 이용하는 것은 거의 불가능하다. 최근 연결 로드를 통해 고정 볼에 연결되어 기울기에 따라 X 및 Y방향으로 위치가 변하는 정밀 구와 주변에 고정된 4개의 전극 사이 전기용량을 측정함으로써 2차원 각도를 측정할 수 있는 전기용량형 센서가 발표되었다[1]. 그러나 이러한 센서는 정밀 구의 정지마찰력으로 인하여 미세한 각도변화를 정밀하게 측정하기는 불가능하다. 또한 유리 용기 속에 들어있는 전해액의 기울어짐으로 두 전극사이의 전기저항과 임피던스를 측정하는 방식의 전자식 기울기 센서[2]가 발표되었으나 수직상태와 수평상태는 측정할 수 있어도 임의의 각도를 측정할 수는 없다. 최근 미국 등에서 전기용량형 센서와 공기방울을 겸한 기울기 센서[3], 추의 중력을 이용한 기계적 센서[4], 용기 내부 액체의 전기저항을 이용한 기울기 센서[5] 등이 발표되었으나 이미 위에서 언급한 것과 같은 유사한 단점을 모두 지니고 있다. 본 연구에서는 양면 회로 기판 위에 형성된 한 쌍의 반원형 내부 전극과 이에 대항되는 외부 원형전극으로, 내

부전극 양쪽에 부착하여 제작된 3-단자형 전기용량기형 센서를 개발하였다. 개발된 센서 내부에 최적의 전기적 특성을 지닌 액체 유전체를 주입하면 주입된 액체 유전체가 대상물체의 기울기에 따라 유동함으로써 발생하는 차동의 전기용량 변화를 이용하여 대상물체의 기울기 또는 각도를 정밀 측정 할 수 있는 방법을 개발하였다.

2. 전극 설계제작

전체적인 전극구조의 크기가 작으면서 측정감도를 증가시킬 수 있는 방법은 측정되는 전기용량 값을 증가시키거나 측정회로의 측정 주파수를 증가시키는 것이다. 전기용량이 증가되거나 측정 주파수가 증가되면 리액턴스가 감소되고 측정회로에서의 전류가 증가되기 때문이다. 따라서 중앙의 내부 전극을 중심으로 양쪽에 대향 전극을 설치하여 출력 전기용량을 2배로 증가시킨 구조로 설계하였다. 또한 재현성과 안정도가 우수한 전기용량기를 구성하기 위하여 적합한 크기를 지닌 가드링 전극의 적용과 정전차폐를 한 3-단자형 전기용량기로 설계제작 하였다. 즉 그림 1(a)와 같이 양면 회로 기판의 각면에 직경 25 mm인 한 쌍의 반원형 내부전극을 대칭으로 제작하고 그 주변에 폭이 약 5 mm인 가드링 전극을 형성하였다. 내부 전극을 중심으로 양쪽에서 대향되는 외부전극은 내부전극과 동일한 크기와 형상으로 그림 1(b)와 같이 제작하였고 중앙부의 내부전극을 중심으로 대칭인 4개의 3-단자형 전기용량기가 구성되도록 그림 2에서와 같이 금속링을 사용하여 각 전극의 간격과 위치를 고정시킨 후 두 개의 외부전극은 외부에서 병렬 연결 하였다. 액체 유전체를 금속케이스 전 체적의 절반이 채워지도록 주입하면 전극구조 몸체의 기울기에 따른 액체 유전체의 유동위치에 따라 두 전기용량(C_1 , C_2)의 차이가 발생하고 이들의 전기 용량 값의 차이(ΔC)를 측정함으로써 기울기를 측정할 수 있다.

그림 3은 ΔC 측정에 의해 기울기를 측정하기 위한 ratio transformer bridge(이하 RT bridge)회로를 나타낸 것이다.

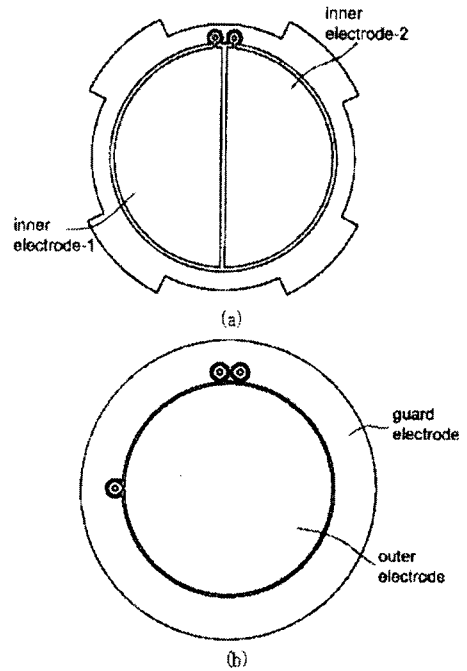


그림 1. 내부 및 외부 전극구조.

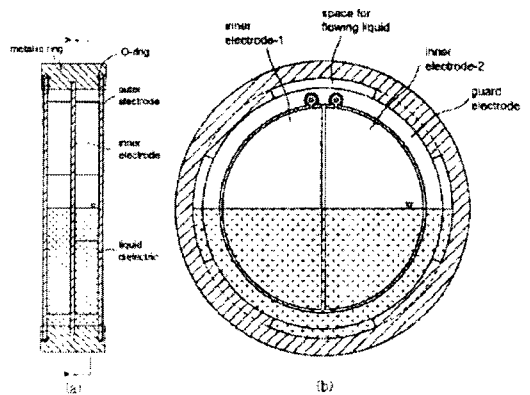


그림 2. 센서 조립구조.

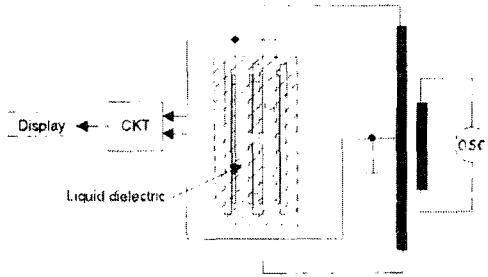


그림 3. 센서의 전기용량 차이 측정회로.

차동의 전기용량을 비교 측정시 단순한 전기용량 측정회로보다 RT bridge를 사용하는 것이 훨씬 안정된 결과를 얻게된다[6]. 안정한 전기용량 측정을 위하여 액체 유전체는 다음과 같은 특성을 지니고 있어야 한다. 첫째로 손실계수($\tan \delta$)가 10^{-4} 이하로 작아야하고, 둘째 금속에 대해 부식성이 없어야 하고, 셋째 원활한 유동을 위해서 점도가 낮아야 하고, 넷째 전극표면과의 부착력보다 액체 자체의 응집력이 커야 한다. 이 연구에서는 $\tan \delta$ 가 약 2×10^{-4} 인 실리콘 오일을 유전체로 사용함으로써 전기용량 측정 시 컨덕턴스 평형조절이 완전히 무시 가능 하였다. 전극 면에 대한 액체의 부착력보다 액체 자체의 응집력을 증가시키기 위해서 모든 전극표면을 테프론 등의 재질로 코팅하였다. 부착력이 응집력보다 크게되면 센서 몸체가 흔들리거나 회전했다가 원 위치로 돌아온 후에도 전극표면에는 액체가 묻어있게 되고 이것은 측정에 큰 오차를 만드는 원인이 되기 때문이다. 이렇게 제작된 기울기 센서를 그림 2(b)와 같이 내부 전극의 절연 중심선이 수직상태를 유지하도록 놓으면 센서의 두 전기용량 값의 차이가 0이 된다. 그러나 내부 전극의 절연 중심선이 기울어지면 액체 유전체를 포함하고 있는 두 내부전극의 표면적이 달라지기 때문에 두 전기용량기의 전기용량 차이는 증가하게 된다. 즉 기울기의 크기에 따라 전기용량의 차이가 증가하게 되어 기울기가 $\pm 90^\circ$ 일 때 전기용량 값의 차이가 최대가 된다.

3. 실험결과 및 분석

본 연구에 의해 제작된 전극구조에서 조립에 의해 형성된 내부공간의 50%에 해당되는 공간에 액체 유전체가 주입이 되었을 때 최적의 측정값을 얻을 수 있었다.

이 센서를 이용한 기울기의 측정결과에 대한 재현성과 측정 주파수 영향을 분석한 결과 그림 4와

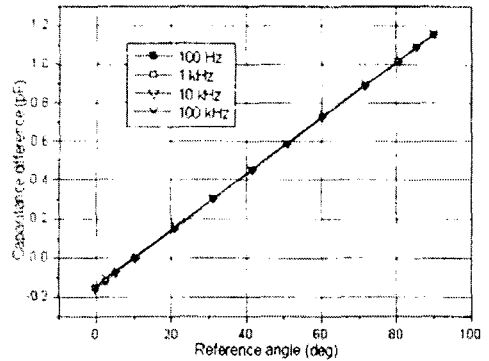


그림 4. 측정된 기울기의 주파수 영향.

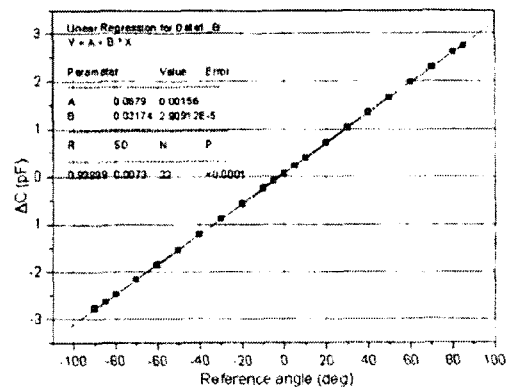


그림 5. 측정된 기울기 $0^\circ \sim \pm 90^\circ$ 에서의 선형도.

같았다. 즉 측정주파수 100 Hz ~ 100 kHz 범위에서 잘 일치되는 우수한 직선특성을 나타내었다. 그림 5는 측정구간 $0^\circ \sim \pm 90^\circ$ 에서의 기울기 측정 및 분석결과를 나타낸 것이다. 이러한 측정은 그림 2(a)와 같이 전극구조가 수직으로 설치된 상태에서 장치나 구조물 등의 기울기를 측정하는 것이 가장

이상적이지만 현장에서 장치나 구조물 등의 기울기를 측정할 때 약간 측면으로 기울어(tilt) 질 수가 있다. 이러한 상황을 측정 분석한 결과 그림 6과 같았다.

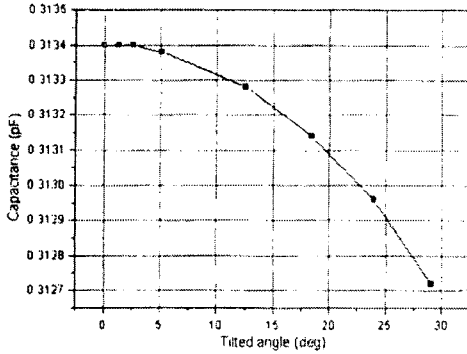


그림 6. 센서의 측면 기울기에 의한 영향.

즉 약 2.5° 까지 tilt에 대한 영향이 전혀 없었다. 그 이상의 경우 액체유전체 증가공간과 감소공간이 서로 동일하더라도 두 전극간의 평행 전기장이 액체 유전체의 기울기(tilt)에 의해 굴절되는 영향을 받게 됨을 알 수 있었다.

4. 결 론

전기용량값을 차동으로 측정할 수 있는 전극 구조내에 주입된 액체 유전체의 유동에 따라 전기용량 값 차이가 발생되어 기울기를 측정할 수 있는 전기용량을 응용한 측정방법을 개발하였다. 기울기 0° ~ ±90° 의 범위에서 직선에 대한 상관계수가 0.999 99로 분석이 되었으며 측정주파수 100 Hz ~ 100 kHz 범위에서 각 측정값은 잘 일치되는 우수한 직선특성을 보였다. 이 방법에서는 양면 회로기판 위에 형성된 전극구조와 이를 지지하고 있는 금속 링에 의해 완벽한 차폐구조를 지니고 있기 때문에 외부로부터의 전자기 잡음 또는 전기장 변화요인을 완벽하게 차단하고 있으므로 별도의 차폐장치가 필요 없이 장치나 구조물 등의 기울기를 정확하게 측정할 수 있는 특징을 갖는다. 또한 기울기를 전기용량의 변화로 측정하여 아날로그 또

는 디지털로 변환할 수 있기 때문에 기울기의 정밀측정 뿐만 아니라 장치나 구조물 등의 기울기를 원격조종 또는 항시기록에도 사용이 가능하게 된다.

감사의 글

본 연구 논문은 주식회사 ACC의 위탁연구에 의해 이루어 졌으며, 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

- [1] 장지수 외, 국내 실용신안등록출원 1999-28442, 1999.
- [2] 에드워드패커스, 국내 특허출원 1987-5237, 1987.
- [3] Shijo, et al., US patent 6032375, 1997.
- [4] Tianfu Li, US patent 6073356, 1998.
- [5] Harold L. Swartz, et al, US patent 6023971, 1997.
- [6] B. Hague. "Alternating Current Bridge Methods", Pitman Publishing, pp. 484-540, 1991.