

## 고온용 플라스틱 필름 수위 센서 개발

이영태<sup>\*†</sup>

<sup>\*†</sup>안동대학교 전자공학교육과

### Development of Plastic Film Type Water Level Sensor for High Temperature

Young Tae Lee<sup>†</sup>

<sup>\*†</sup>Department of Electronics Education, Andong National University

#### ABSTRACT

In this paper, a high temperature plastic film type water level sensor was developed. The high temperature film type water level sensor was manufactured by attaching a copper film to a polyimide film which can be used for a long time at 250°C, by laminating process and patterning the electrode by etching process. For the performance evaluation of the developed film type water level sensor, the temperature dependence of the capacitance was measured, and the deformation was examined after standing for 8 hours in 150°C air. The developed film type water level sensor can be used at up to 150°C, and can be applied to electric ports and steam devices.

**Key Words** : Water Level Sensor, High Temperature, Capacitive, Polyimide Film, Copper Film, Laminating

#### 1. 서 론

수위 센서는 다양한 분야에서 폭넓게 응용되어지고 있다. 다양한 형태의 수위 센서가 상품화되어 있어서 관련 시장이 빠르게 확대되고 있다. 현재 상품화되어 있는 수위 센서 중에서 비교적 응용 빈도가 높은 형식은 전기 저항 형 수위 센서, 초음파 수위 센서, 광학식 수위 센서 및 정전 용량 형 수위 센서 등이 있다[1-4]. 전기 저항 형 수위 센서는 두개의 전극에 액체가 접촉되면 전기저항이 급격하게 낮아지는 원리를 이용하여 수위를 측정한다. 출력 신호가 커서 정확한 수위 측정이 가능하다. 하지만, 전기 저항 형 수위 센서는 연속 측정이 힘들고, 전극이 액체에 직접 접촉되기 때문에 부식의 문제가 있다. 또한 전기 저항이 너무 높은 액체의 수위 측정이 어려운 문제가 있다. 초음파와 광학 식 수위 센서의 경우는 시스템이 복잡하고, 연속 측정이 아닌 상·하한 등 특정 수위만 측정할

수 있어서 응용 분야도 한정된다. 정전 용량 형 수위 센서는 출력 신호가 비교적 작은 것이 단점이나 전극이 액체에 직접 노출되지 않아서 부식의 우려가 없고, 연속 측정이 가능한 장점이 있다. 일반적으로 정전 용량 형 수위 센서는 금속 전극 형태로 다양하게 개발되어 있다. 금속 전극 형 수위 센서는 다소 무겁고, 부피가 있어서 특정 시스템에 적용하기 위해서는 설치를 위한 공간과 거치를 위한 구조물이 필요하다. 또한 고가이기 때문에 저가형의 시스템에의 적용이 불가능하다. 거치가 간편하고, 저가의 수위 센서의 개발을 위하여 플라스틱 필름에 두개의 평면 전극을 형성하고, 전극을 절연 보호하기 위하여 플라스틱 필름을 라미네이팅(laminating) 기술[5]로 접착한 플라스틱 필름 정전용량 형 수위 센서가 개발되었다[6]. 플라스틱 필름 형 수위 센서는 유연하기 때문에 평탄하지 않은 구조물에도 접착제로 간단하게 거치가 가능하고, 저가인 장점을 가지고 있다. 하지만 플라스틱 필름 형 수위 센서의 경우 고온 환경에서 사용이 불가능한 문제점이 있다. 고온에서 사용이 가능한 플라스틱 필름 형 수위

<sup>†</sup>E-mail: ytleee@anu.ac.kr

센서가 개발된다면, 스팀 기계, 보일러, 전기 온수 포트 등 가전 등 응용 범위를 획기적으로 넓힐 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문에서 150℃ 이상의 환경에서도 사용이 가능한 필름 형 수위 센서 개발을 위해 폴리이미드(polyimide) 필름을 사용했다. 폴리이미드는 250℃에서 장기 사용이 가능하기 때문에 고온용 필름 형 수위 센서 개발에 응용이 가능하다. 폴리이미드 필름 위에 금속 전극을 형성하는 방식으로 고온용 정전용량 형 플라스틱 필름 수위 센서를 개발했다.

## 2. 고온용 필름 수위 센서

### 2.1 필름 형 수위 센서의 구조

필름 형 수위 센서는 플라스틱 필름 위에 두개의 평면 전극을 형성하고, 전극 보호를 위한 플라스틱 필름이 접착되어 있는 구조로, 두 전극 사이의 정전용량(capacitance) 변화를 측정하는 방법으로 수위를 측정할 수 있다[5]. 필름 형 수위 센서는 유연하기 때문에 구조물의 굴곡 부분에도 접착이 가능하며, 필름 형 수위 센서를 거치하기 위한 공간이 필요하지 않기 때문에 센싱 환경에 전혀 영향을 주지 않는 장점이 있다.

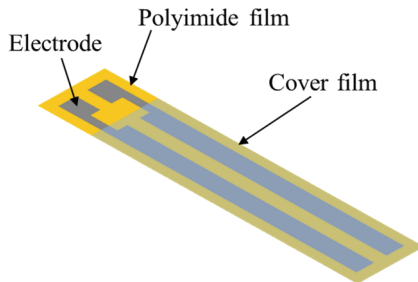


Fig. 1. Plastic film type water level sensor.

플라스틱 필름 형 수위 센서를 고온 용으로 개발하기 위하여 폴리이미드 필름(polyimide film)을 사용했다. 고온용 필름 수위 센서는 폴리이미드 필름 위에 구리 필름을 라미네이팅(laminating) 공정으로 접착하고, 구리의 에칭(etching) 공정으로 전극 패턴을 형성하는 방법으로 제작했다. 필름 형 수위 센서의 전극을 용액으로부터 절연 보호하기 위하여 절연 잉크를 스크린 프린팅 하거나(Fig 1), 라미네이팅 공정으로 플라스틱 필름을 접착하는 방법을 적용할 수 있으며, Fig 2에 나타낸 것과 같이 전극이 형성된 면을 구조물에 고온용 접착제 또는 테이프로 접착하는 방법을 사용할 수 있다.

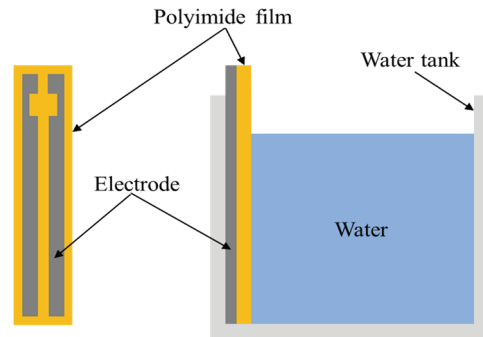


Fig. 2. Water level sensor attached to the water tank.

Fig 2와 같은 형태로 고온용 수위 센서를 개발한다면 폴리이미드 필름 위에 구리 필름을 라미네이팅하고 에칭 공정만으로 제작이 가능하며, 상품화를 위한 대량 생산이 매우 간단해 진다. 폴리이미드 필름은 250℃에서 장기 사용이 가능하기 때문에 전기 온수 포트와 같이 물을 끓이는 장치나 스팀을 생성하기 위한 기계 등에 응용이 가능하다. 폴리이미드 필름을 사용해서 제작된 고온용 수위 센서의 사진을 Fig 3에 나타냈다. 제작된 수위센서의 사이즈는  $170 \times 25 \times 0.025 \text{ mm}^3$  이고, 전극의 두께는  $20\mu\text{m}$ 이다. Fig 4에는 비이커에 접착된 수위 센서의 사진을 나타냈다.

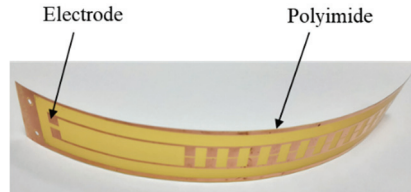


Fig. 3. Photograph of fabricated high temperature film level sensor.

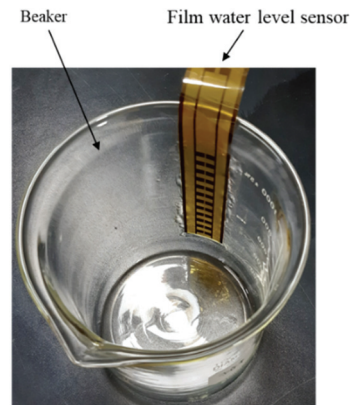


Fig. 4. Film level sensor bonded to the beaker.

## 2.2 수위 측정 시스템

제작된 고온용 필름 수위 센서의 성능을 평가하기 위한 측정 시스템을 구축했다. 고온용 필름 수위 센서의 내열 특성을 평가하기 위하여, 플라스틱 필름 수위 센서가 접착된 비이커에 물을 채우고, 열을 가하면서 정전용량 및 내구성을 평가하였다. Fig. 5에 나타난 것과 같이 필름 수위 센서가 접착된 비커(beaker)에 일정 높이의 물을 담아 일정한 수위를 유지하고, hot plate로 온도를 높이면서 정전용량을 측정하였다. 필름 수위 센서의 정전용량 변화를 LCR 미터를 이용하여 측정하여, 정전용량의 온도 의존성을 측정하였다.

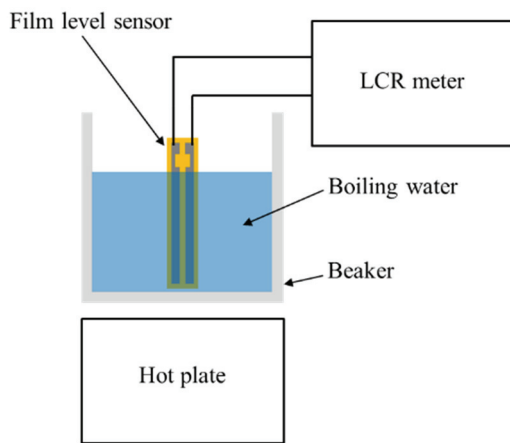


Fig. 5. Measurement setup.

LCR미터를 이용하여 정전용량을 측정할 때의 주파수는 500kHz로 설정하였다. 정전용량과 유전율은 비례하기 때문에 유전율이 변하면 정전용량도 변하게 된다. 물의 경우 100Hz, 20°C에서 비유전율이 약 80.103이나 100°C에서는 55.72으로 떨어진다[7]. 정전용량 형 수위 센서를 이용하여 수위를 측정 할 때에는 물의 온도에 대한 비유전율 변화를 고려해야 한다. 고온용 필름 수위 센서를 150 °C의 항온항습기에 8시간 동안 방치한 후에 정전용량 및 내구성을 측정하여 내열 특성을 평가하였다.

## 3. 결과 및 고찰

고온용 필름 수위 센서를 개발하기 위하여 폴리이미드 필름에 구리 필름을 라미네이팅(laminating) 공정을 이용하여 접착하고, 에칭(etching) 공정을 이용하여 전극 패턴을 형성했다. 폴리이미드 필름은 250°C에서 장기간 사용이 가능하기 때문에 150°C까지 사용이 가능한 정전용량 형

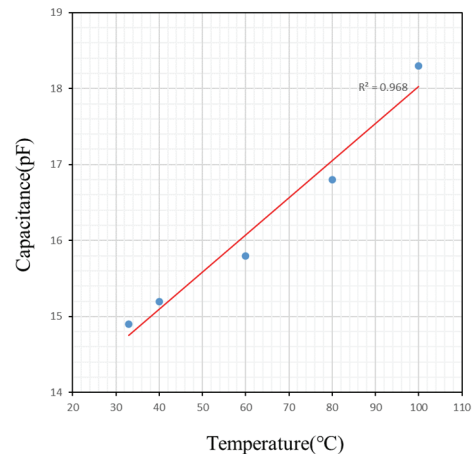


Fig. 6. Measurement of capacitance at 20 and 100 degrees at constant water level.

수위 센서 개발이 가능했다. 본 연구에서 개발한 고온용 필름 수위 센서의 온도 의존성을 평가하기 위하여 물의 온도를 30°C에서 100°C까지 변화시키면서 정전용량을 측정하였다. 측정 결과, 온도가 높아질수록 정전용량이 증가하였다. 물의 온도가 높아지면 비유전율이 감소하여 정전용량이 낮아져야 하나, 높아지는 것은 온도가 높아지면서 발생하는 수증기가 물에서 노출되어 있는 수위 센서 전극 부에 코팅되어 정전용량을 증가 시키는 역할을 하였다. Fig. 6에서 온도에 대한 정전 용량 변화가 직선성을 나타내고 있어서, 보상을 통한 출력 정상화가 가능할 것으로 판단된다.

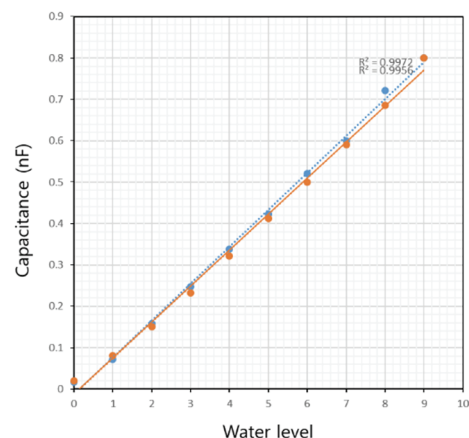


Fig. 7. Ultra-pure water and tap water level measurement result.

Fig. 7에 18.2MΩ의 초순수와 수돗물을 이용하여 수위를 측정된 결과를 나타냈다. 측정 결과는 초순수와 수돗물 모두 거의 같은 결과를 나타냈다. 초순수를 사용하는 시스템에 수위 측정에 사용이 어려운 저항형 수위 센서와는 달리 정전용량 형 수위 센서는 초순수 수위 측정에도 사용이 가능하다. 필름 수위 센서의 내열 특성을 평가하기 위하여 150℃로 설정된 항온습습기에 8시간 동안 방치한 후, 다시 실온에서 2시간 방치했다. 열이 가해진 필름 수위 센서의 구조적 변형을 관찰한 결과, 얇은 폴리이미드 필름의 열 변형이 관찰되었으며, 고온의 공기 중에 직접 노출된 구리 전극의 산화 현상이 일부 관찰되었다. 제작된 필름 수위 센서의 기본 정전용량은 1kHz주파수에서 약 3.1pF이었지만, 150℃에서 8시간 방치 후에는 1kHz에서 3.8pF으로 다소 높아졌다.

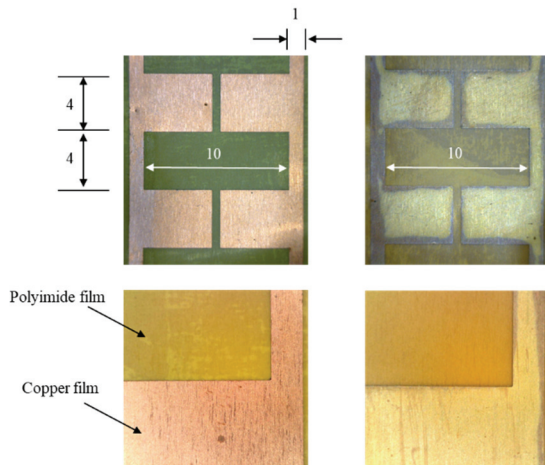


Fig. 8. Electrode before and after standing for 8 hours at 150 degrees.

열처리 전, 후의 전극 사이즈를 측정한 결과 사이즈의 변화가 거의 없는 것을 확인하였으며, 라미네이팅 공정으로 제작된 구리 필름의 박리 현상은 관찰되지 않았다. 150℃의 온도에 노출된 폴리이미드 필름의 두께 25μm(전극 포함 45μm)로 매우 얇기 때문에 다소의 변형이 발생하였지만, 필름 수위 센서는 구조물에 접착하여 사용하는 형식이기 때문에 폴리이미드 필름의 변형은 무시해도 괜찮을 것으로 판단된다. 또한 구리 전극의 산화 문제도 구리 전극이 고온의 공기 중에 노출되는 경우가 없기 때문에 무시해도 괜찮을 것으로 판단된다.

개발된 고온용 필름 수위 센서는 150℃ 이상에서 사용이 가능할 것으로 판단된다. 물을 끓이는 과정에서 수위 측정이 가능하기 때문에 전기 온수 포트, 스팀 장치,

보일러 등 고온 분위기에서 수위 측정이 필요한 시스템에 응용이 가능하다. 고온용 플라스틱 필름 형 수위 센서는 제조 단가가 낮고, 제조 공정이 간단하기 때문에 상품화될 경우 다양한 응용 분야가 도출될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

고온용 필름 수위 센서를 개발했다. 고온에서 장기 사용이 가능한 폴리이미드 필름에 구리 필름을 라미네이팅 공정으로 접착하고 전극 패턴을 에칭하는 방법으로 제작되기 때문에 150℃까지 사용이 가능하다. 고온용 필름 수위 센서는 플라스틱 필름 형으로 유연성이 우수하며, 구조물의 굴곡 면과 같이 불규칙한 면에도 부착이 가능하며, 구조물에 접착하여 사용하는 형식이기 때문에 센싱 대상 환경에 영향을 주지 않는다. 또한 폴리이미드 필름 상에 접착된 금속 필름의 에칭 공정으로 전극을 형성하기 때문에 다양한 형태의 복잡한 전극 형성이 가능하며, 다양한 사이즈로 생산이 가능하다. 고온용 필름 센서는 전기 포트와 같이 물이 끓이는 시스템이나, 스팀 장치, 보일러 등 다양한 용도로 응용이 가능하다.

#### 감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(317072-04).

#### 참고문헌

1. Ferran Reverter, Xiujun Li, and Gerard C.M. Meijer, "Liquid-level Measurement System Based on a Remote Grounded Capacitive Sensor," *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol.138, Issue 1, pp.1-8, 2007.
2. Chengning Yang, Shiping Chen, and Guoguang Yang, "Fiber Optical Liquid Level Sensor Under Cryogenic Environment," *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol.94, Issues 1-2, pp.69-75, 2001.
3. V.E Sakharov, S.A. Kuznetsov, B.D. Zaitsev, I.E. Kuznetsova, and S.G. Joshi, "Liquid Level Sensor Using Ultrasonic Lamb Waves," *Ultrasonics*, Vol.41, Issue 4, pp.319-322, 2003.
4. K. Chetpattananondh, T. Tapoanoi, P. Phukpattaranont, and N. Jindapetch, "A Self-calibration Water Level Measurement Using an Interdigital Capacitive Sensor", *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol.209, pp.175-182, 2014.

5. Sun-Joong Ryu, "Experimental Analysis for the Effect of Part's Dimensional Tolerance on the Pressing Pressure Uniformity of Laminator Equipment", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 16, No. 4, pp.52-58, 2017.
6. Ik Hyun Kwon, Cheong Worl Kim, and Young Tae Lee, "Development of Capacitive type Digital Water Level Sensor," The 30<sup>th</sup> Annual Conference of the Korean Sensors Society, Vol.30, No.1, pp174, 2019.
7. C.G. Malmberg, and A.A. Maryott, "Dielectric Constant of Water from 0°to 100°," Journal of Research of the National Bureau of Standards, Vol.56, No.1, pp1-8, 1956.

---

접수일: 2019년 12월 22일, 심사일: 2019년 12월 23일,  
게재확정일: 2019년 12월 27일