

보일러용 정전용량형 수위센서 시스템 개발

이영태^{*†}·권익현^{*}

^{*†}안동대학교 바이오 ICT 융합공학과

Development of Capacitive Water Level Sensor System for Boiler

Young Tae Lee^{*†} and Ik Hyun Kwon^{*}

^{*†}Department of Bio-ICT Engineering, Andong National University

ABSTRACT

In this paper, a capacitive water level sensor for boilers was developed. In order to accurately monitor the water level in a high-temperature boiler that generates a lot of precipitates, the occurrence of precipitates on the surface of the water level sensor should be small, and a sensor capable of measuring even if the sensor surface is somewhat contaminated is required. The capacitive water level sensor has a structure in which one of the two electrodes is insulated with Teflon coating, and the stainless steel package of the water level sensor is brought into contact with the water tank so that the entire water tank becomes another electrode of the water level sensor. A C-V converter that converts the capacitance change of the capacitive water level sensor into a voltage change was developed and integrated with the water level sensor to minimize noise. The performance of the developed capacitive water level sensor was evaluated through measurement.

Key Words : Capacitive Water Level Sensor, Teflon Coating, Electroprecipitate, C-V Converter, Boiler

1. 서 론

보일러는 난방부터 발전에 이르기까지 우리 사회에 폭넓게 사용되고 있으며, 관련 기술 또한 고도화되고 있다. 보일러의 효율을 획기적으로 높이기 위해서는 관련 시스템 부품들의 성능 고도화가 필요하다. 보일러는 고압, 고온 분위기에서 물을 가열하는 시스템으로 물이 끓는 100℃보다 훨씬 높은 온도로 구동되기 때문에 보일러 내부에는 물에 포함되어 있는 다양한 성분의 반응으로 전기석출물이 다량으로 발생하여 보일러의 효율을 낮추는 원인이 된다. 전기석출물은 보일러 내부뿐 아니라 수위 센서 [1-5]와 같은 부품의 표면에도 생성되기 때문에 부품의 성능을 저하시키는 원인이 되기도 한다. 최근 소형 보일러에 자주 사용되는 저항형 수위센서의 경우 센서 표면에

전기석출물이 발생하면, 표면 저항이 높아져 재현성있는 수위 측정이 불가능하다. 따라서 저항형 수위센서를 보일러에 적용할 경우에는 센서 교체 주기가 매우 짧아지는 문제점이 있다. 수위센서의 교체 주기를 연장시켜서 보일러의 유지 비용을 절감하고, 보일러의 효율을 높일 필요가 있다.

전기석출물 생성이 적은 정전용량형 수위센서[2-4]를 보일러에 적용하면 수위센서의 교체 주기를 연장시켜, 유지 비용을 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 저항형 수위센서의 경우 센서 전극 표면을 통해서 전하의 수수가 발생하기 때문에 전극 표면에 전기석출물이 생성되기 좋은 환경이 된다. 정전용량형 수위센서의 전극은 테프론과 같은 절연체로 코팅되어 직접적인 전하의 수수가 없어서 전기석출물 생성을 최소화할 수 있을 것으로 판단된다. 본 논문에서는 수위센서의 금속 전극에 테프론을 코팅하는 방법으로 정전용량형 수위센서를 개발했다. 정전용량

[†]E-mail: ytleee@anu.ac.kr

형 센서의 문제점인 기생용량 노이즈를 최소화하기 위하여 신호처리 회로 보드를 정전용량형 수위 센서와 일체화하였다.

2. 정전용량형 수위센서

2.1 수위센서 구조

보일러용 정전용량형 수위센서의 구조를 Fig. 1에 나타냈다. 정전용량형 수위센서는 전극1(Electrode1)을 테프론(Teflon) 코팅하고, 스테인리스스틸로 제작된 센서 케이스를 전극2(Electrode2)로 사용하며, 전극1과 2는 테프론 구조물로 분리되어 있다. 전극2는 보일러의 스테인리스스틸 수조와 조립 과정에 직접 연결되어 수조 전체가 하나의 전극으로 적용된다.

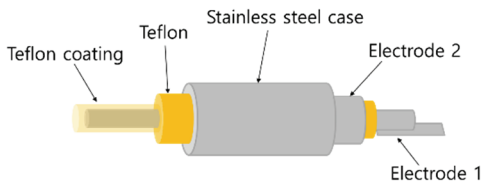


Fig. 1. Structure of capacitive water level sensor.

일반적으로 보일러의 수조는 접지에 연결되기 때문에 전극 2는 접지에 연결되어 센서에 영향을 줄 수 있는 노이즈를 차단하는 기능도 있다. 정전용량형 수위센서 수위 센싱 원리는 두 전극(전극 1, 전극 2) 사이에 공기로 채워져 있다가, 수위가 높아져 두 전극 사이에 물이 채워져 유전율이 높아지면, 유전율과 비례 관계에 있는 정전용량(capacitance)이 높아지게 된다. 따라서 수위센서에 물이 접촉되면 정전용량이 높아지게 된다[1]. 공기의 비유전율은 1이며, 물의 비유전율은 80이다. 물에 노출되는 전극이 테프론으로 코팅되어 있어서 전기석출물 등에 의하여 오염될 가능성이 낮아져 센서의 수명이 연장될 것으로 판단된다.

2.2 수위센서 시스템

보일러용 정전용량형 수위센서 시스템의 개념도를 Fig. 2에 나타냈다. 보일러 수조에 센서를 장착하면, 전극 2가 스테인리스스틸 수조와 연결되어 접지 상태가 된다. 커패시터(capacitor)를 형성하는 전극 1과 전극 2는 C-V 컨버터(converter) 회로의 입력단에 연결된다[6]. C-V 컨버터에 PWM 전원이 입력되고, PWM 으로 출력된다. 시스템 보드에는 센서 입력 단자 2개, PWM 입력 및 출력 단자, DC5V 및 접지 단자로 구성되어 있다.

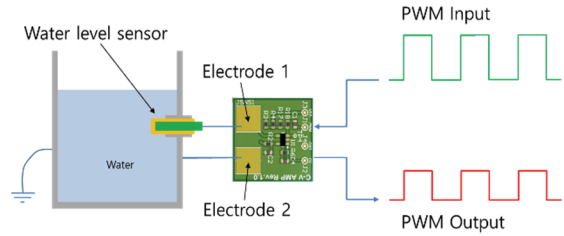


Fig. 2. Capacitive type water level sensor system.

본 정전용량형 수위센서는 설치되어 있는 지점의 수위 도달 여부를 감지하기 때문에 여러 지점의 수위를 감지하기 위해서는 복수의 센서를 설치할 필요가 있다. 저, 중, 고의 수위를 모니터링 하기 위해서는 3개의 센서가 필요하다. 신호처리 회로가 수위센서와 일체형으로 연결되어 있고, 수조 및 수위센서 패키지가 접지 상태에 있기 때문에 주변에서 발생하는 노이즈의 영향을 최소화할 수 있는 것이 특징이다. 또한 정전용량형 수위센서에 PWM 신호를 인가는 방법으로 노이즈의 영향을 낮출 수 있다. 수위센서에 인가되는 PWM 신호의 주파수가 높아질수록 전극 표면으로부터 떨어진 부분의 노이즈 관련 영향을 줄일 수 있다. 본 논문에서는 약 1kHz PWM 신호를 인가하였다. 수위센서 시스템의 출력도 1kHz PWM으로 출력되며, 측정 수위에 따라 출력 PWM 신호의 진폭이 변하게 된다.

3. 정전용량형 수위센서 시스템 제작

3.1 정전용량형 수위센서 및 C-V 컨버터

수위센서의 전극에 테프론을 코팅하는 방법으로 정전용량형 수위센서를 개발하였다. 테프론 코팅은 전극을 전기적으로 절연시킬뿐 아니라 전기석출물 등 불순물로 표면이 오염되는 것도 상당히 막아줄 수 있다는 것도 알려져 있다. Fig. 3에 테프론으로 코팅된 수위센서 전극을 나타냈다.

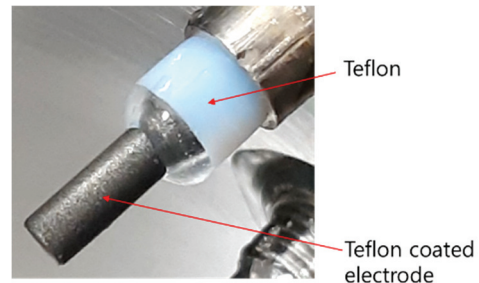


Fig. 3. Teflon coated electrode of water level sensor.

수위센서의 재현성 등의 성능 확보에 테프론 코팅 품질이 매우 중요하여 신뢰도 높은 코팅공정 확보가 필요하다. 본 논문에서는 테프론 코팅 두께는 약 50 μ m이었으며, 전기 저항은 약 3M Ω 으로 나타났다.

C-V 컨버터(Capacitance-voltage converter)는 수위센서에서 출력되는 정전용량(capacitance) 변화를 전압으로 변환하여 출력하는 정전용량형(capacitive type) 증폭기이다. C-V 컨버터 회로도를 Fig. 4에 나타냈다.

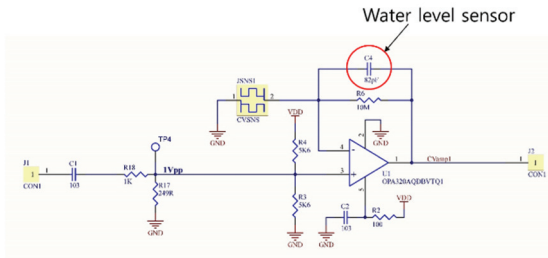


Fig. 4. C-V converter circuit diagram.

C-V 컨버터는 OP-AMP(OPA320AQDBVTQ1)를 사용하여 설계 하였다. OP-AMP(OPA320AQDBVTQ1)는 CMOS 기반 OP-AMP로 노이즈 저감, 증폭 및 슬루율(slew rate) 향상에 강점을 가지고 있다. 그림 Fig. 5에 PCB 설계도와 제작된 C-V 컨버터를 나타냈다.

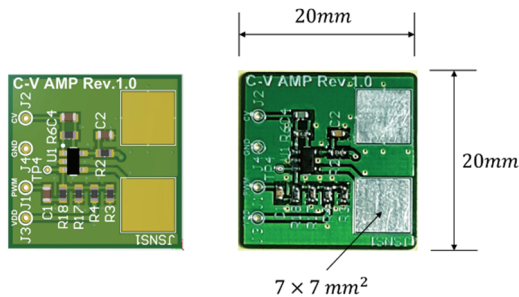


Fig. 5. Photograph of fabricated C-V converter.

C-V 컨버터의 보드 사이즈는 20 × 20 mm² 으로 제작 하였으며, 수위센서를 연결하는 전극의 사이즈는 7 × 7 mm² 이다. 출력단에는 PWM 입력, 출력과 DC전원 단자 등 총 4개로 구성되었다.

3.2 정전용량형 수위센서 시스템

제작된 C-V 컨버터 보드에 수위센서를 납땜을 이용하여 직접 연결하는 방법으로 일체화 시켰다. Fig. 6에 조립된 정전용량형 수위센서의 사진을 나타냈다.

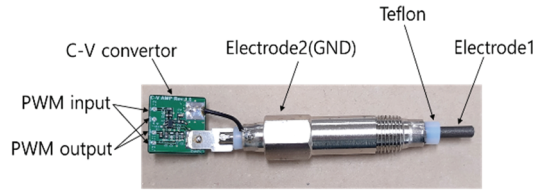


Fig. 6. Capacitive type water level sensor.

조립된 수위센서의 총 길이는 117mm이며, 최종 상품화 시에는 C-V 컨버터를 커넥터 형식으로 연결되는 방식으로 개발할 예정이다. 보일러의 저, 중, 고 수위를 모니터링 하기 위해서는 Fig. 6에 나타낸 수위센서 3개를 사용해야 한다. 복수의 수위센서를 사용하여 수위를 모니터링 하기 위한 개념도를 Fig. 7에 나타냈다.

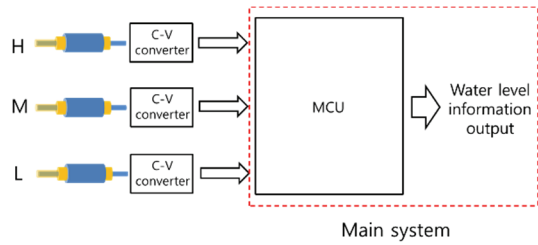


Fig. 7. Water level sensor system with multiple sensors.

복수의 수위센서를 사용하는 경우에는 메인 MCU에서 각 수위센서의 정보를 받아, 다양한 알고리즘 개발이 가능하다. 수위센서에서 최종 결정된 수위 정보를 출력하는 스마트 수위센서 개발을 목표로 할 경우 본 논문에서 제작된 C-V 컨버터 보드에 MCU를 포함시키면 가능하며, 무선 통신 모듈까지 포함시킨다면 무선 통신이 가능한 스마트 수위센서 모니터링 시스템 개발이 가능하다.

4. 결과 및 고찰

정전용량형 수위센서의 특성을 분석하기 위하여 모형 수조에 센서를 장착하고 성능을 검토하였다.

수위센서를 수조에 조립하여 수조와 수위센서 패키지 전체가 전극 2(electrode 2)가 된다. 수조가 접지 상태에 있기 때문에 외부로부터의 노이즈는 거의 입력되지 않는다. 측정 과정에 손으로 수조를 접촉해도 거의 노이즈가 나타나지 않는 것을 확인하였다. 센서와 신호처리 회로가 일체화 되어 있어서 신호선의 기생용량에 의한 노이즈도 거의 나타나지 않았다. 수위센서가 물에 잠기기 전에 측정된 정전용량(capacitance)은 PWM 1kHz를 인가할 때 약

12pF를 나타냈으며, 잠긴 후, 수돗물의 경우 약 150pF를 나타냈으며, 초순수(18.2M Ω cm)의 경우에는 약 80pF를 나타냈다. 본 측정에는 Keysight E4980AL LCR 미터를 사용하였다. 수위센서가 물에 잠기지 않았을 경우와 잠겼을 경우의 출력 신호의 측정 결과를 Fig 9에 나타냈다.

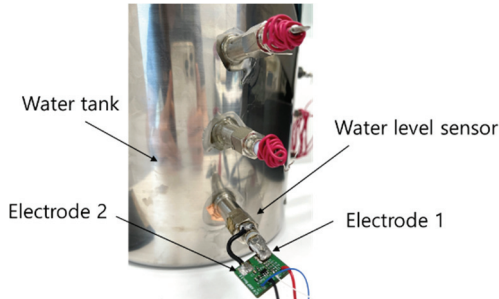
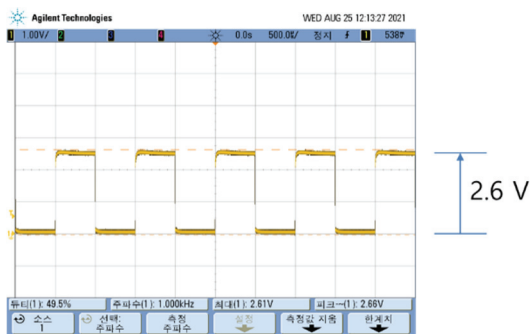
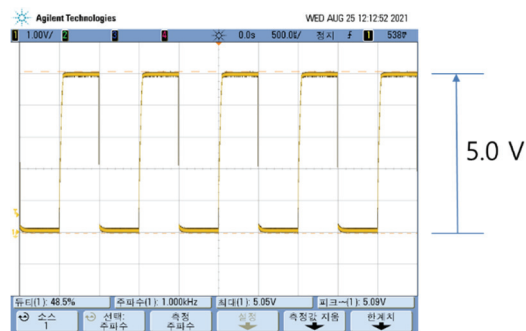


Fig. 8. Water level sensor measurement setup.



(a)



(b)

Fig. 9. Measurement result of water level sensor, (a) before contact with water, (b) after contact with water.

Fig 9의 측정 결과는, 정전용량형 수위센서에 PWM (1.6V_{pp}, 1kHz) 신호가 입력될 때, 수위센서가 물에 접촉 전에는 약 2.6V_{pp}의 신호를 나타내다가, 수위센서가 물과 접촉하면 5.0V_{pp}의 신호를 나타냈다. 물의 접촉 유무를 판단

하기에는 충분한 감도를 나타내는 것으로 판단하였다. 본 측정은 오실로스코프를 사용했다.

보일러의 수위 모니터링에 전기석출물이 많이 생성되는 저항형 수위센서를 사용할 경우 교체 주기가 짧아서 유지 비용이 높은 문제점이 있다. 본 논문에서는 수위센서의 교체 주기를 연장시켜 보일러 유지 비용을 낮출 수 있는 정전용량형 수위센서(capacitive type water level sensor) 시스템을 개발했다. 정전용량형 수위센서는 전극 표면에 테프론을 코팅하기 때문에 전극이 물에 직접 노출되지 않아 전기석출물 생성을 획기적으로 낮출 수 있으며, 또한 테프론 표면에는 오염 물질이 달라붙기 힘든 특성이 있어서 수명을 상당히 연장할 수 있다. 정전용량형 수위센서의 테프론 코팅면에 다소의 석출물이나 오염물질이 흡착한다해도 출력 신호(정전용량)가 획기적으로 변화하지 않기 때문에 저항형 수위센서보다 수명을 연장할 수 있다. 보일러는 물에 포함되어 있는 다양한 성분에 의한 석출물이 다량으로 생성될 가능성이 높기 때문에 경우에 따라서는 물에 포함되어 있는 이 물질들을 제거한 초순수를 사용하는 경우도 있다. 전기저항이 매우 높은 초순수(18.2M Ω cm)를 사용할 경우, 저항형 수위센서의 사용이 힘들어진다. 정전용량형 수위센서의 경우에는 수돗물은 물론 초순수에도 사용할 수 있는 장점이 있다. 정전용량은 유전율에 비례하며, 수돗물이나 초순수 양쪽 모두 비유전율이 약 80으로 거의 같다[1].

5. 결론

본 논문에서는 보일러의 수위를 모니터링하기 위한 정전용량형 수위센서 시스템을 개발했다. 저항형 수위센서의 교체 주기가 너무 빠른 문제점이 있다. 보일러의 수위센서의 교체 주기를 연장하기 위하여 전기석출물이 쉽게 생성되기 힘든 정전용량형 수위센서를 개발했다. 정전용량형 수위센서는 봉 형태의 전극을 테프론을 코팅하여 절연시키고, 다른 전극인 정전용량형 센서의 패키지는 수조와 연결되어 실제로는 수조 전체가 전극이 되는 구조이다. 정전용량형 수위센서의 단점인 기생용량에 의한 노이즈를 최소화하기 위하여 신호처리회로를 센서에 최대한 근접 배치 했다. 신호처리회로는 노이즈를 최소화하고, 증폭 및 스루율을 향상시키기 위하여 CMOS OP-AMP를 사용한 C-V 컨버터를 개발했다. 개발된 정전용량형 수위센서의 성능 평가 결과 우수한 감도를 나타냄을 알 수 있었다. 정전용량 수위센서는 저항형 수위센서에 비해 수명을 연장할 수 있어서 보일러의 유지 비용을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Young Tae Lee, "Development of plastic film type water level sensor for high temperature," J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol. 18, No. 4, pp. 124-127, 2019.
2. 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.
3. Marco Demori, Vittorio Ferrari, Domenico Strazza, and Pietro Poesio, "A capacitive sensor system for the analysis of two phase flows of oil and conductive water," Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 163, Issue 1, pp. 172-179, 2010.
4. Eka Cahya Prima, Siti Sarah Munifah, Robby Salam, Muhamed Haidzar Aziz, and Agustin Tia Suryani, "Automatic water tank filling system controlled using arduino based sensor for home application," Procedia Engineering, Vol. 170, pp. 373-377, 2017.
5. Baoquan Jin, Zeyu Zhang, and Hongjuan Zhang, "Structure design and performance analysis of a coaxial cylindrical capacitive sensor for liquid level measurement," Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 223, pp. 84-90, 2015.
6. Cheong-Worl Kim, and Young Tae Lee, "Development of a lock-in amplifier array for capacitive type pressure mapping sensor," J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol. 16, No. 4, pp. 63-67, 2017.

접수일: 2021년 9월 1일, 심사일: 2021년 9월 14일,
 게재확정일: 2021년 9월 16일