

플라스틱 필름형 침수센서 개발

이영태^{**†} · 권익현^{*}

^{**}안동대학교 전자공학교육과

Development of Plastic Film Type Submersion Sensor

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

^{**†}Department of Electronics Education, Andong National University

ABSTRACT

In this paper, a plastic film type submersion sensor capable of measuring submersion speed was developed. This submersion sensor is designed as a capacitive type, and it is a sensor that outputs the change in capacitance between the electrode of the submersion sensor and the grounded body as a voltage through a C-V(capacitance-voltage) converter. We developed an submersion sensor in which two electrodes of different lengths are connected in parallel to measure the submersion speed accurately by minimizing the influence of noise such as contamination. When both electrodes of the submersion sensor are exposed to water, the rate of change of water level suddenly increases, so the submersion speed is measured by measuring the time to this point. Since the difference in length between the two electrodes of the submersion sensor does not change in any case, it is possible to accurately measure the submersion speed.

Key Words : Submersion sensor, Plastic film type, Submersion speed, Capacitive, Two electrodes, C-V converter

1. 서 론

기후변화가 빠르게 이루어지면서 중요 시설 및 장비의 집중 강우 등에 의한 침수 모니터링이 중요해지고 있다. 위험 시설 외에도 자동차, 로봇, 건설기계, 농기계 등 실외에서 사용하는 장비의 침수 모니터링도 필요하다. 홍수에 의한 특정 지역의 침수 상황을 모니터링 하기 위해서는 다수의 침수 센서를 배치하고 모니터링 해야 한다. 홍수 등 재난재해에 의한 침수 모니터링은 특정 지역의 침수 상황 정보를 실시간으로 제공할 수 있어서 홍수 관리 및 대피자들의 안전을 확보할 수 있는 장점이 있다. 현장의 침수 상황을 정확하게 전달하여 빠른 대처를 위하여 침수 유무 외에 침수 속도 정보를 함께 제공할 필요가 있다. 침수 센서는 기존의 시설물 또는 장비 등에 부착하여

사용해야 하기 때문에 설치가 쉬워야 한다. 또한 넓은 면적의 침수 상태를 모니터링 하기 위해서는 많은 수의 침수 센서 배치가 필요하며, 경우에 따라서는 일회용으로 사용해야할 경우도 발생하기 때문에 가급적 단가를 낮출 필요가 있다.

본 논문에서는 구조물에 부착이 쉽고, 센서의 단가를 낮추기 위하여 연성인쇄회로기판(FPCB) 기술을 활용하여 플라스틱 필름형 침수 센서를 개발했다. 침수 센서는 물에 노출되거나, 공기 중에 장기간 노출된 상태로 유지되기 때문에 저항(resistive)형 침수 센서와 같은 전극이 노출되는 형태의 센서는 전극의 부식에 따른 출력신호 변화의 우려가 있기 때문에 본 논문에서는 전극을 절연 필름으로 보호되는 정전용량(capacitive)형 센서를 개발했다[1-3]. 개발된 침수 센서는 침수를 모니터링 하기 위한 정전용량 전극과 침수 속도를 모니터링 하기 위한 전극을 병렬 연결하는 형식으로 설계했다. 본 센서는 PET 필름 기판 위에 금 전극을 형성하는 방법으로 개발되었기 때문에

[†]E-mail: ytllee@anu.ac.kr

굴곡이 있는 구조물 등 다양한 형태의 구조물에 양면 테이프 또는 접착제를 이용하여 쉽게 부착할 수 있으며, 제거할 수 있는 장점이 있다. 기존의 침수 센서들에 비해 비교적 저가이다.

2. 플라스틱 필름형 침수 센서

2.1 침수 모니터링 원리

정전용량형 침수 센서는 센서 전극과 접지된 구조물(로봇, 자동차 등) 사이의 정전용량(capacitance)을 측정하는 방식으로 개발되었다. 공기의 유전율과 물의 유전율의 차이가 약 80배인 것을 이용하여 센서 전극과 구조물 사이에 물이 채워질 경우 정전용량이 커지는 것을 감지하는 방식으로 침수를 모니터링 한다[14].

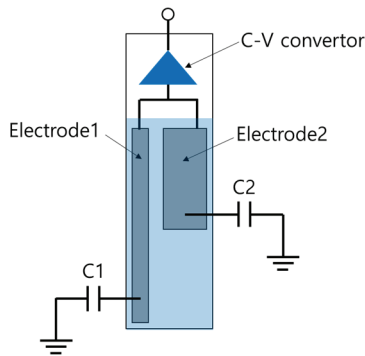


Fig. 1. Principle of submergence detection.

침수 모니터링용 센서 전극은 두개로 나누어져 있으며, 회로적으로 병렬 연결되어 있다. Fig 1에서 C1 전극이 먼저 침수되고 수위가 높아질수록 정전용량 값도 높아진다 [4]. 수위가 C2까지 높아지면 병렬로 연결된 정전용량 센서의 정전용량 값이 갑자기 빠르게 증가하기 시작하여, C1만 노출된 경우와 비교하면 정전용량 변화율(기울기)이 커진다. 정전용량 변화율이 변하는 지점까지의 시간을 측정하여 침수 속도를 계산하는 방법으로 침수 및 침수 속도를 모니터링 할 수 있다. 정전용량형 침수센서는 수위 변화에 따라서 정전용량 값이 변하기 때문에 정전용량의 시간 변화율을 측정하여 침수속도를 계산할 수 있지만, 센서가 노출되어 있는 외부 환경의 영향(오염, 파손, 건조 또는 수분 노출)에 따라서 같은 수위에서도 정전용량 변화율이 달라질 수 있다. 따라서 본 논문에서는 침수속도 측정용 전극을 배치하여 정전용량 변화의 절대값이 아닌 상대 값을 읽는 방법으로 정확한 침수속도 측정이 가능하도록 했다.

2.2 구조 및 설계

침수센서는 두개의 전극, C-V 변환 회로 및 커넥터로 이루어져 있다. 플라스틱 필름 형 침수센서는 PET(polyethylene terephthalate) 필름 상에 접착된 구리 필름을 포토리소그라피 (photolithography) 공정 및 에칭(etching) 공정으로 패턴을 형성한 후에, 니켈과 금을 도금하는 방법으로 전극을 형성하고, 폴리아미드(polyimide) 필름으로 전극을 절연하는 방법으로 제작된다. 전극 형성 시에 함께 형성된 C-V 변환 회로 패턴에 부품을 접착하여 완성한다[4]. 따라서 본 침수 센서는 수위 변화를 정전용량 변화로 감지하고 전압의 형태로 출력한다.

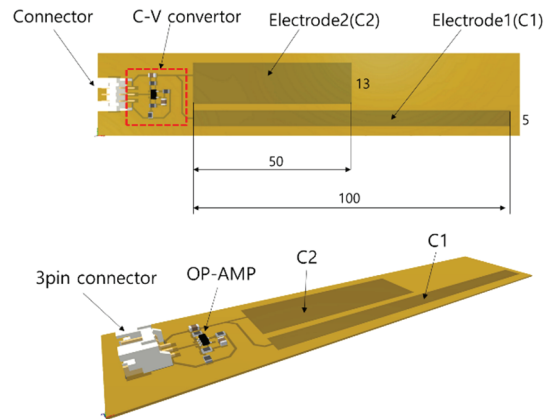


Fig. 2. Sensor structure.

센서의 전극 사이즈는 $50 \times 13 \text{ mm}^2$ (침수 속도 모니터링용 전극, C2), $100 \times 5 \text{ mm}^2$ (침수 모니터링용 전극, C1)이며, 병렬 연결되어 C-V 변환 회로에 연결되어 있다. Fig 3에 C-V 변환 회로를 나타냈다. VDD는 5V, 펄스 입력은 용도에 따라서 펄스의 주파수를 적용할 수 있으나, 본 연구에서는 100kHz, 1Vpp 적용하여 측정했다. 전극의 길이는 적용 환경에 따라서 조절이 가능하여 다양한 환경에 적용이 가능하다. 센서의 C-V 회로 부분 이외에는 모두 폴

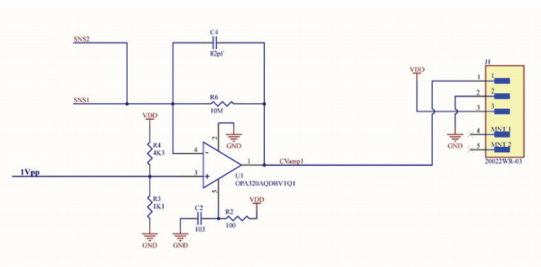


Fig. 3. C-V converter.

리이미드 필름이 접착되어, 센서 전극이 절연되어 있으며, 물에 직접 노출되지 않아서 부식의 우려도 없다. 플라스틱 필름 형 침수센서는 침수 모니터링이 필요한 부분에 양면 테이프나 접착제로 부착하여 사용할 수 있으며, 굴곡이 있는 구조물에도 부착이 가능하다.

2.3 제작

현재 우리나라에는 FPCB 외주 제작을 위한 기반이 잘 구축되어 있어서 개발 및 생산이 효과적으로 이루어질 수 있다.

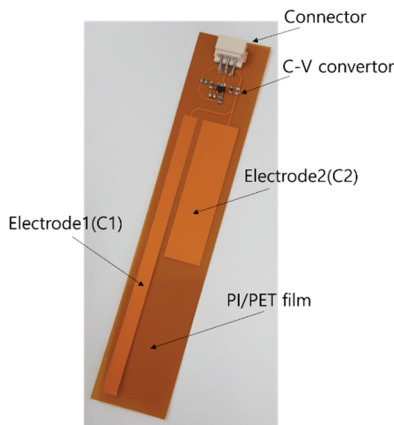


Fig. 4. Photo of the fabricated submersion sensor.

본 논문에서는 센서를 디자인하고 CAD 작업을 통한 PCB 거버파일(gerber file) 형태로 전문 업체에 보내 FPCB를 제작하고, 관련 부품을 부착하여 센서를 완성하였다. 제작된 센서의 사이즈는 PI/PET 필름의 두께는 약 $95\mu\text{m}$, 금전극의 두께는 약 $20\mu\text{m}$ 이다. 침수센서 전체 사이즈는 $133 \times 26\text{mm}^2$ 이다. 제작된 센서의 사진을 Fig. 3에 나타냈다. 제작된 센서 기판에 OP-AMP 등 C-V 변환기 회로 형성을 위한 부품을 납땜으로 고정하고, 전원 및 출력 신호용 전선을 형성하기 위한 커넥터를 부착하여 완성한다.

2.4 측정 시스템

필름형 침수센서의 특성 평가를 위하여 제작된 센서를 양면 테이프를 이용하여 접지에 연결된 금속 구조물에 부착하고, 센서에 전원 및 멀티미터(multimeter)를 연결하여 측정했다. 펌프로 수위를 높이면서 실시간으로 측정했다. 펌프의 인가 전압을 조절하여 물의 공급 유량을 제어하면서 침수 속도를 측정을 실시하였다.

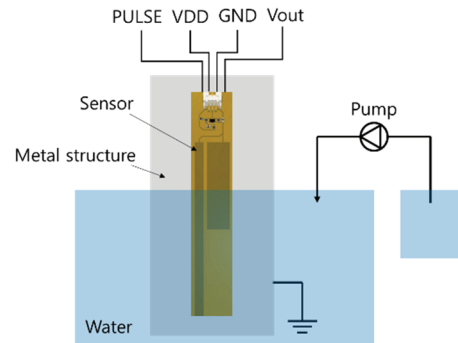


Fig. 5. Measurement setup.

3. 결과 및 고찰

수위를 높이면서 침수센서의 출력특성의 측정 결과를 Fig. 6에 나타냈다. Fig. 6에서 전압 변화율(기울기)이 갑자기 변화는 구간부터 침수속도 모니터링용 전극(C2)까지 수위가 도달한 결과이며, 침수 모니터링용 전극(C1)에 수위 도달 후, 50mm 상부에 배치된 침수속도 모니터링용 전극(C2)에 도달할 때까지의 시간(t)을 측정하여 침수속도 ($50\text{mm}/t$)를 계산할 수 있다. 침수 속도 측정을 위하여 DC 펌프(pump)의 유량을 조절하여 급수 속도를 제어하였다. Fig. 7에 펌프를 이용하여 급수 유량(ml/sec)을 조절하면서 침수속도(mm/sec)를 측정한 결과를 나타냈다.

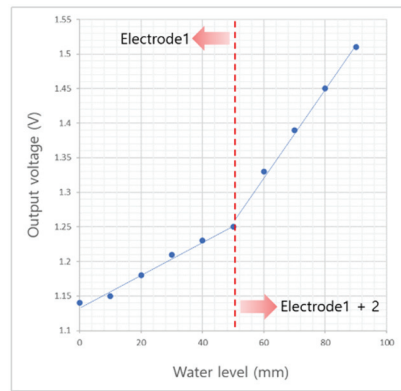


Fig. 6. Output voltage measurement result for water level change.

Fig. 7의 침수속도 측정은 펌프를 이용하여 특정 급수 속도로 물을 공급할 때, 수위가 침수 모니터링용 전극(C1)에 도달하여 침수가 감지된 이후 침수 속도 모니터링용 전극(C2)에 수위가 도달할 때까지의 시간을 측정하여 계산하는 방식으로 했다. 침수 모니터링용 전극과 침수 속

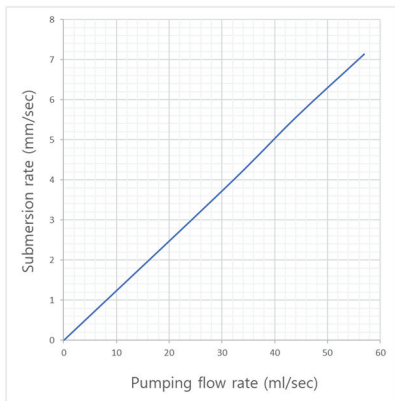


Fig. 7. Results of submersion rate measurement for pumping flow rate.

도 모니터링용 전극의 길이 차인 50mm에 수위가 도달할 때까지의 시간을 측정하여 침수속도를 계산한다. Fig. 7에서 급수 속도에 대한 침수속도 측정 결과 직선성이 우수하며, 감도도 비교적 우수한 것으로 판단된다. 침수 모니터링용 전극(C1)에 수위가 도달한 이후부터 침수속도 모니터링용 전극(C2)에 수위가 도달할 때까지의 출력 펄스(pulse)를 카운트하는 방법으로 시간 측정이 가능하다. 펄스의 카운트에 의한 시간 측정 및 침수속도 계산은 컴퓨터 또는 마이크로프로세서를 이용하여 가능하도록 오픈 소스코드 등의 개발이 필요하다. 필름형 침수 센서에 8bit 정도의 소형 마이크로프로세서를 추가한다면 침수, 침수 속도, 예상 침수 시간 등의 정보를 직접 제공할 수도 있다.

Fig. 8에 3종류의 입력 펄스 주파수, 1kHz, 10kHz, 100kHz에서 수위 측정 결과를 나타냈다. 입력 펄스 주파수 1kHz

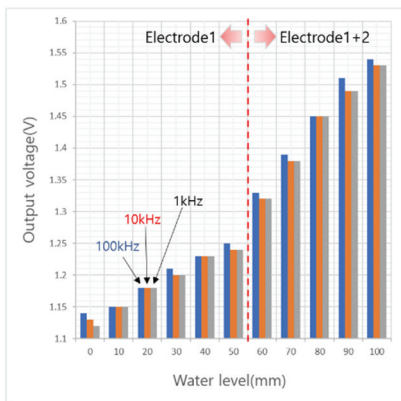


Fig. 8. Measurement result of frequency-variable output voltage by water level change.

에서 100kHz 사이의 주파수 구간에서는 비슷한 출력을 나타냈다. Fig. 8의 그래프에서 수위 50mm와 60mm의 출력 전압의 증가 폭이 현저하게 커진 것을 확인할 수 있어서 이 지점을 비교적 간단하게 찾을 수 있을 것으로 판단된다. 입력 펄스는 1kHz에서 100kHz 사이의 적당한 주파수를 사용하면 된다. 이 범위에서 벗어나는 구간의 주파수를 사용하면 출력 펄스의 모양이 왜곡되는 문제가 발생할 수 있다.

필름형 침수 센서가 설치된 물통의 수위를 변화시키면서 센서의 출력 특성을 평가했다. 수위가 높아지면 비례하여 정전용량이 증가하고, 출력 전압이 높아진다. 측정 결과 수위에 비례하는 전압이 출력되고, 두 전극이 모두 잠기는 지점까지 수위가 높아지면 출력 전압의 변화 폭이 커지는 변곡점이 명확하게 나타나, 이 지점 감지가 가능했다.

본 센서를 적용하여 침수 수위, 침수 속도 및 시간 등 침수와 관련된 다양한 정보를 제공할 수 있다. 침수 경보시에 단순히 침수 유무 정보 외에도 침수 속도와 제한 수위까지 도달 시간 등을 동시에 제공할 수 있어서 침수에 대한 효과적인 대처가 가능하게 한다.

필름형 침수센서는 유연한 플라스틱 필름 기반으로 제작되기 때문에 굴곡이 심한 구조물에도 접착하여 사용이 가능하며, 제작 단가가 낮은 것이 특징이다. 기존의 침수 센서의 경우 침수센서의 설치를 위하여 거치 구조물이 필요하여서 설치부의 한계가 있으나 필름형 침수센서의 경우에는 양면 테이프나 접착제로 접착하는 형식이어서 어디에나 부착할 수 있다[2,3].

본 논문에서는 침수 모니터링을 위하여 정전용량형(capacitive type) 센서를 개발했다. 일반적으로 많이 사용되는 저항형(resistive type)의 경우 전극이 공기 중에 노출되어 장기간 사용할 경우 전극이 산화 등의 영향으로 오동작의 우려가 있어서 정전용량형이 유리할 것으로 판단되었다. 정전용량형 침수센서의 경우 침수 수위가 높아지면 비례하여 정전용량도 높아지기 때문에 침수 수위를 알 수 있다. 따라서 침수 수위의 시간 변화율을 계산하면 침수 속도를 알 수 있다. 침수는 일반적으로 긴급 상황이어서 침수 속도는 매우 중요한 정보가 될 수 있다. 정전용량형 침수센서의 경우에도 전극을 보호하고 있는 절연 필름의 오염에 의한 침수 수위의 시간 변화율이 변화할 수 있다. 본 논문에서는 침수센서 전극 2개를 병렬 연결하는 방식으로 시간 변화율의 변화에 관계없이 항상 정확한 침수 속도 측정이 가능한 센서를 개발하였다. 실제 측정을 통해서 침수 속도를 정확하게 측정할 수 있음을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 플라스틱 필름형 침수센서를 개발하였다. 침수센서의 오염 등으로 감도가 달라질 수 있어서 정확한 침수 속도 측정이 힘들 수 있다. 본 논문에서는 길이가 다른 두개의 전극을 병렬로 연결한 침수센서를 개발했다. 본 침수센서는 오염 등으로 감도가 달라져도 두 전극의 길이차는 변하지 않기 때문에 정확한 침수 속도를 측정할 수 있다. 본 침수센서는 플라스틱 필름 형태로 제작되어 어떠한 형태 및 재질의 구조물에도 접착하여 사용할 수 있으며, 제작 단가가 매우 낮은 것이 장점이다.

감사의 글

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

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. Young Tae Lee, and Ik Hyun Kwon, "Development of capacitive water level sensor system for boiler", J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology, Vol. 20, No. 3, pp. 103-107, 2021.
3. 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.
4. A. Qurthobi, R. F. Iskandar, A. Krisnatal and Weidzikarvina, "Design of capacitive sensor for water level measurement", J. Phys.: Conf. Ser., Vol.776, ICOPIA, pp. 1-6, 2016.

접수일: 2022년 6월 8일, 심사일: 2022년 6월 21일,
게재확정일: 2022년 6월 21일