

“열흘 만에 집단 폐사하는 새우 양식 ‘재앙’ 막는다”

GIST, 새우 흰반점병

15분 진단 전기화학 센서 개발

- 기계로봇공학과 양성 교수팀, 매년 수십억 달러 양식 피해 입히는 흰반점 바이러스 감염 여부를 항체 없이 15분 만에 감지하는 ‘분자각인’ 고분자 기반 전기화학 바이오센서 개발
- PCR 수준 정확도 갖춘 저비용·고효율 현장 진단 기술로 다양한 수산 바이러스 조기 진단은 물론 식품 안전과 인체 감염병 진단에도 적용 가능... 국제학술지 《*Sensors and Actuators Reports*》 게재

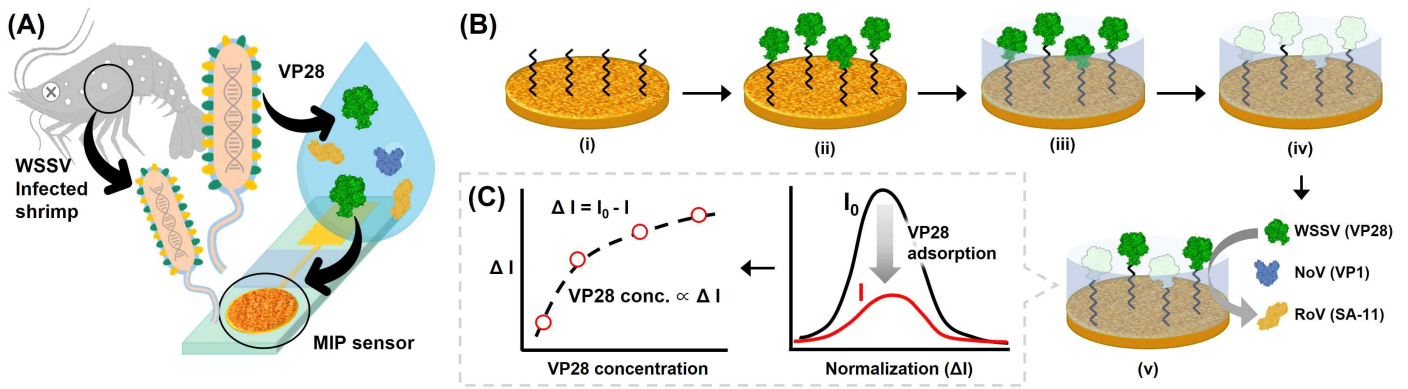


▲ (왼쪽부터) GIST 기계로봇공학과 양성 교수, 윤영란 박사

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 기계로봇공학과 양성 교수 연구팀이 새우 양식 산업에 막대한 피해를 주는 흰반점 바이러스(White Spot Syndrome Virus, WSSV)를 빠르고 정확하게 진단할 수 있는 전기화학 기반 바이오센서를 개발했다고 밝혔다.

이번에 개발된 센서는 양식장에서 실시간으로 바이러스 감염 여부를 확인하고 조기 차단할 수 있어, 대규모 피해를 예방하는 데 기여할 것으로 기대된다. 또한, 이번에 적용된 ‘분자각인 고분자(Molecularly Imprinted Polymer, MIP)*’ 기반 전기화학 센서 플랫폼은 흰반점 바이러스뿐만 아니라 다양한 수산 바이러스와 인수공통 감염병 조기 진단에도 활용할 수 있다.

* 분자각인 고분자(Molecularly Imprinted Polymer, MIP): 특정 분자만 선택적으로 인식하도록 만든 인공 고분자 재료다. 제작 과정에서 목표 분자와 상호작용하며 ‘분자 각인’ 구조를 형성해, 나중에 시료 속에 목표 분자가 있어도 정확하게 잡아낼 수 있다. 이러한 특성 덕분에 MIP는 센서, 분리·정제, 약물 전달 등 다양한 분야에서 천연 항체나 효소를 대신하는 인공 수용체로 활용된다.



▲ 분자각인 고분자 기반 바이오센서를 이용한 흰반점 바이러스(WSSV) 검출 원리 모식도. (A) 흰반점병 진단 지표인 외피 단백질 VP28을 검출하고자 (B) 금 나노 입자 표면에 분자 각인 폴리머를 이용하여 민감도와 특이도를 확보하였다. (C) 개발된 센서는 전기화학적 신호 분석을 통해 흰반점 바이러스의 외피 단백질을 정량적으로 평가하였다.

흰반점 바이러스(WSSV)는 새우 등 갑각류를 감염시켜 흰반점병*을 유발하며 불과 10일 내 집단 폐사를 일으킬 수 있는 치명적 바이러스로, 매년 전 세계 수산 양식 산업에 수십억 달러 규모의 경제적 손실을 초래하고 있다. 현재까지 상용화된 백신이 없어, 감염 개체를 조기에 선별하고 격리하는 것이 피해를 줄일 수 있는 유일한 방법이다.

기존의 PCR(유전자 증폭) 검사는 높은 정확성을 제공하지만, 고가의 장비와 숙련된 인력, 수 시간 이상의 분석 시간이 필요해 현장 적용이 어렵다. 이에 따라 저비용·고속·고정확도의 현장 진단 기술 개발이 절실히 요구돼 왔다.

* 흰반점병(White Spot Disease, WSD): 새우 등 갑각류에 치명적인 흰반점 바이러스(WSSV) 감염으로 발생하는 질병이다. 감염되면 외부 갑각에 흰색 반점이 나타나고, 식욕 부진과 활동성 저하가 이어지며 수일 내 집단 폐사에 이를 수 있다. 전 세계 양식 새우 산업에 막대한 경제적 피해를 주는 대표적인 수산 질병으로, 한 번 발생하면 10일 이내 치사율이 100%에 달할 수 있다. 현재까지 백신이나 치료제가 없어, 조기 진단과 신속한 격리가 피해 확산을 막는 핵심 대응책으로 꼽힌다.

연구팀은 기존에 개발된 금 나노입자 전극 표면에 '분자각인 고분자(MIP)'를 적용하여 흰반점 바이러스(WSSV)의 대표 단백질인 'VP28'을 정밀하게 인식할 수 있는 새로운 전기화학 센서 플랫폼을 구축했다.

여기에 사용된 고분자는 'o-아미노페놀(aminophenol)'이라는 작은 분자들이 반복적으로 연결되어 만들어진 것으로, 전극 표면에 이 고분자를 전기화학적으로 코팅하면 'VP28' 단백질과 꼭 맞는 인식 자리가 생긴다. 이를 통해 항체나 효소 같은 고가의 생체물질을 사용하지 않고도 높은 정확도와 특이성을 확보할 수 있었다.

성능 평가 결과, 센서는 7 나노그램 퍼 밀리리터(ng/mL)*의 낮은 검출 한계(LoD)*를 기록하며 기존 기법보다 민감도가 우수했다. 노로바이러스(NoV), 로타바이러스(RoV)* 등 다른 바이러스 단백질과 비교했을 때 약 4.5배 이상 높은 선택성을 보였고, 분석 시간도 15분 이내로 매우 짧아 신속한 진단이 가능했다.

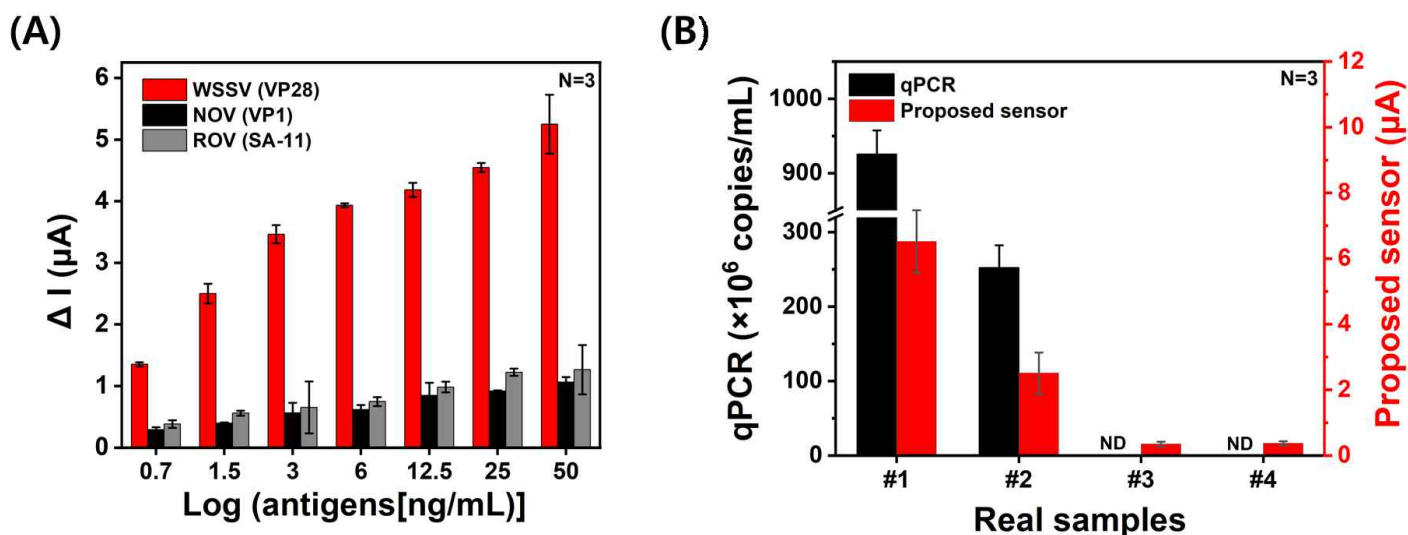
같은 전극을 3회 이상 재사용해도 신호 변화가 13% 이내로 유지돼 경제적 활용 가능성도 확인됐다.

또한, 실제 감염 새우 조직과 양식장 물 시료에서도 센서는 표준 PCR 검사와 유사한 정확성을 보였으며, 고염도 환경에서도 안정적인 성능을 유지해 양식 현장에서 즉시 적용할 수 있음도 입증됐다.

* 나노그램 퍼 밀리리터(**ng/mL**): 용액 1밀리리터(**mL**) 안에 포함된 물질의 양을 나노그램(**ng**, 1그램의 10억분의 1) 단위로 나타내는 농도 단위로, 생명과학이나 의학, 화학 분야에서 흔히 사용된다.

* 검출 한계(**LoD, Limit of Detection**): 분석법이나 장비가 시료 속 특정 물질을 신뢰할 수 있게 구별해 검출할 수 있는 가장 낮은 농도를 말한다. 즉, 시료 속 물질 농도가 LoD보다 낮으면 정확한 검출이 어렵고, LoD 이상일 때만 존재 여부를 확실히 확인할 수 있다. LoD는 일반적으로 배경 신호와 통계적 분석을 통해 산출되며, 분석법의 민감도 평가나 검증에서 중요한 기준으로 사용된다.

* 노로바이러스(**Noro Virus, NoV**), 로타바이러스(**Rota Virus, RoV**): 해수 환경에서도 흔히 발견되는 장관계 바이러스로, 구토와 설사 등 위장관염을 일으킨다. 양식장 수질 오염의 주요 원인 중 하나로도 꼽힌다.



▲ 개발된 센서의 성능 확인. 개발된 센서는 (A) 노로바이러스(**NoV**)와 로타바이러스(**RoV**) 대비 약 4.5배 높은 전류 신호 차이를 보였으며, (B) 실제 새우 조직(#1,2)과 양식 해수(#3,4) 시료에서도 표준 PCR 검사와 유사한 바이러스 검출 경향을 나타냈다.

연구팀이 개발한 전기화학 센서는 기존 면역검출법(**PCR, ELISA, LFA**)*과 달리 제작이 간단하고 저비용으로 대량 생산할 수 있으며, 현장에서 즉시 사용할 수 있는 실용성을 갖췄다. 이에 따라 높은 정확도를 제공하는 **PCR**과 신속검사의 편리함을 동시에 충족하는 차세대 현장 진단 플랫폼으로 자리매김할 것으로 기대된다.

* 면역검출법(**PCR, ELISA, LFA**): 생체 내 특정 단백질, 항원, 항체 또는 유전물질을 선택적으로 검출·정량화하는 기술이다. 민감도와 특이도, 분석 속도, 현장 적용성 등에 따라 적절히 활용되며, 진단, 환경 분석, 식품 안전 등 다양한 분야에서 널리 사용된다.

양성 교수는 "이번 연구를 통해 저비용·고효율 현장 진단 플랫폼으로 양식업 현장에서 조기 진단을 통한 감염병 예방이 가능해졌다"며, "향후 다양한 바이러스 진단 플랫폼으로 확장해 수산업, 식품 안전, 인체 감염병 진단 등에도 응용할 수 있을 것"이라고 말했다.

GIST 기계로봇공학과 양성 교수가 지도하고, 윤영란 박사가 제1저자로 수행한 이번 연구는 과학기술정보통신부·한국연구재단 중견연구자지원사업의 지원을 받았다. 연구 결과는 국제학술지 《센서스 앤 액츄에이터스 리포트(Sensors and Actuators Reports)》에 2025년 8월 17일 온라인으로 게재됐다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Sensors and Actuators Reports (IF: 7.6, 2024년 기준)
- 논문명 : Molecularly Imprinted Poly(o-aminophenol)-Based Electrochemical Sensor for the Quantitative Detection of a VP28 Biomarker for White Spot Syndrome Virus
- 저자 정보 : 윤영란 박사(GIST, 제1저자), 양성(GIST, 교신저자)