

확장현실 기반 조선소 용접 훈련 시뮬레이터를 위한 용접 훈련장치 및 트래킹 기능 개발

박병하, 정성오, 김미진, 김영범

한국전자기술연구원

bhpark@keti.re.kr, pkcsoh88@keti.re.kr, mj_kim1023@keti.re.kr, ybkim@keti.re.kr

Development of a Welding Training Device and Tracking Functions for an XR-Based Shipyard Welding Training Simulator

Park Byoung Ha, Jung Sung Oh, Kim Mee Jin, Kim Young Beom

Korea Electronics Technology Institute

요약

본 논문에서는 조선소 용접 공정 작업자의 기량 향상을 위해 용접 종류, 작업변수 및 용접데이터에 따른 가상환경 기반 용접 훈련이 가능한 확장현실 기반 조선소 근로자 교육훈련용 시뮬레이터의 용접 훈련장치 개발과 센서 퓨전 방식 정밀 트래킹 및 가시화 기능 개발에 관해 논한다. 확장현실 기반 용접 훈련 시뮬레이터는 전류, 전압, 작업각, 진행각 등 작업데이터 수집, 고실감 용접 이행 가시화, 맞춤형 작업 가이드를 제공하고 햅틱 효과 및 센서퓨전 방식 6축 정밀 트래킹 기능을 수행하는 토치 장치를 통한 XR 용접 작업 가상훈련 통합 환경을 제공한다.

I. 서론

조선, 플랜트, 기계 등 중대형 구조물 제조현장의 생산 공정 중 용접 공정은 전통적으로 인력 의존도가 높고 고도의 숙련 기술을 요하는 핵심 공정이나 인력난과 기존 숙련공의 은퇴로 인해 생산성 및 품질 유지 문제에 직면해 있는 상황이다. 이러한 문제해결을 위해 AI 기반의 로봇 용접 자동화, 무인화 등을 추진하고 있으나 오랜 기간 현장에서 취득한 제조 경험 기반 노하우를 보유한 숙련 작업자의 용접 작업 기반 생산 품질 관리의 필요성은 아직도 높은 상황이다.

특히 용접, 도장, 배관, 조립 등 고난도 수작업 의존도가 높은 조선업의 경우 숙련자의 은퇴, 퇴직이 집중되면서 현장 숙련 경험 유실 및 외국인 노동자 증가에 따른 기술전수 문제가 심각한 분야 중 하나이다. 신규 인력의 숙련 속도 단축 및 품질 안정성 확보를 위해 제조현장 고숙련 전문 인력의 노하우 및 작업 정보를 디지털화 및 구조화하고 이를 활용한 실감형 가상훈련 시스템을 통해 저숙련자 투입 준비 기간 단축, 훈련비용 절감 및 신속한 현장 전문인력 확보에 기여할 수 있다.

본 논문에서는 선박 용접 공정의 숙련 기술 전수와 현장 상황 대응 능력 향상을 위해 용접 숙련 작업자의 작업 데이터 기반 디지털 교본화를 통한 숙련 경험 지식관리 체계 구축과 이를 활용하여 용접 종류, 작업변수 및 용접데이터에 따른 고실감, 고정밀의 확장현실 기반 용접훈련이 가능한 조선소 근로자 용접 가상훈련 시뮬레이터의 용접 훈련장치 개발과 센서 퓨전 방식 정밀 트래킹 및 가시화 기능 개발에 관해 논한다.

II. 본론

확장현실 기반 조선소 근로자 교육훈련용 시뮬레이터는 전류, 전압, 작업각, 진행각, 용접속도, 아크길이, 가스유량 등 용접데이터에 따른 용융풀, 용접비드, 모재용융 등의 고실감 용접이행 가시화와 숙련자 용접데이터 기반 기술전수 훈련시나리오 및 훈련자 용접직무 능력 레벨에 따른 인스

트럭션 가이드 제시 기능을 제공한다. 또한 용접 헬멧, 시편 및 토치 장치의 센서 퓨전(IMU, Optical 등) 방식 6축 정밀 트래킹 기능을 지원한다. 이를 통해 가상환경에서 선박 건조에서 필수적인 용접 공정 종류 및 조건에 따른 실감형 용접 가상훈련을 수행하게 된다.

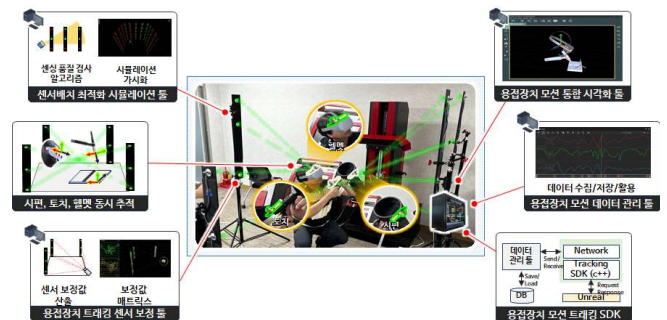


Fig. 1. XR 기반 조선소 용접 훈련 시뮬레이터 구조

용접 토치 훈련장치는 센서퓨전 방식 정밀 트래킹과 함께 햅틱효과(아크, 가스 진동 햅틱 피드백), 시편 상호작용(쇼트 현상, 가스발생 반발력 재현)과 실행제어 기능을 지원한다.

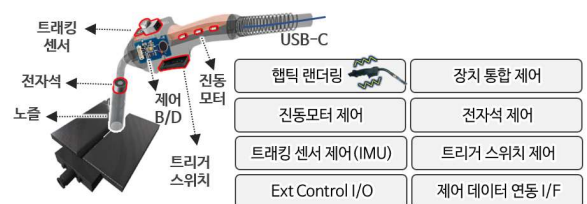


Fig. 2. XR 기반 용접 훈련 시뮬레이터용 용접 훈련 장치 기능

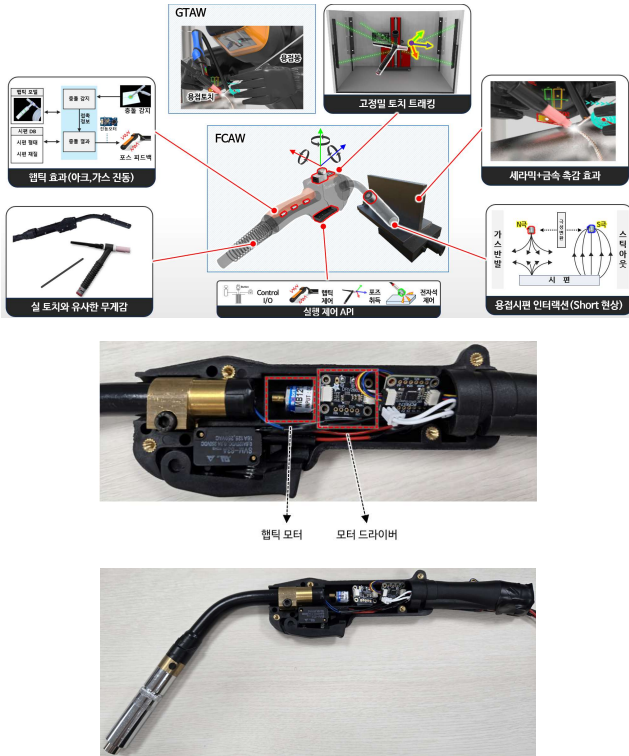


Fig. 3. XR 기반 용접 훈련 시뮬레이터용 용접 훈련 장치 구조

이를 위해 실제 FCAW(플럭스 코어드 아크 용접) 토치 바디를 사용하여 원형 전자석, 트래킹 센서, 토치 스위치, 햅틱 모터 및 MCU 모듈[1]로 구성되고 토치 스위치 인가 상태에서 시편에 접근 시 전자석과 햅틱모터가 작동하게 된다. MCU 모듈과 햅틱 모터 드라이버 모듈 및 GPIO 확장 모듈은 I2C Bus 를 통해 제어 명령 및 상태 데이터를 송수신한다.

용접 작업 시 발생하는 햅틱 피드백 제공을 위한 모터 제어 기능은 시뮬레이터에서 설정된 진동효과(ID 1~123)에 따라 모터 드라이버 제어를 수행한다. 토치 스위치는 I2C GPIO 확장 모듈에 연결된 토치 스위치 상태를 MCU 모듈에서 확인 후 PC로 전송하게 되고, 시편 상호작용을 위한 전자석 제어 기능은 1채널 I2C 전원 릴레이 모듈 통한 전자석 구동 제어를 통해 수행하게 된다. 이러한 용접 훈련장치 스위치 상태 확인, 전자석 실행, 햅틱모터 제어를 위한 API 개발을 통해 FCAW 용접 훈련용 토치 장치 기능을 검증하였다.

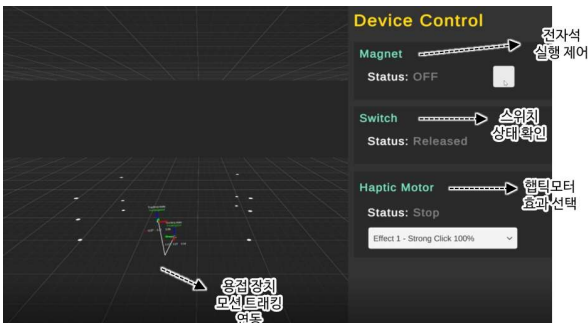


Fig. 4. XR 기반 용접 훈련 시뮬레이터용 용접 훈련 장치 기능 제어 SW

조선소 용접 훈련 시뮬레이터 기반 용접 가상훈련 상호작용은 용접 훈련 장치(용접 토치장치, 용접헬멧 및 용접시편)의 센서 퓨전 방식 정밀 트래킹을 통해 수행된다. 기존 단일 센서 적용 광마커 방식(마커 오를루전 등) 및 마그네틱 센서 방식(자기장 간섭 등) 단점을 보완하기 위해 광학, IMU

등 다중 센서 융합의 Inside-out 방식 용접장치 정밀 트래킹 구조로 설계되었다.

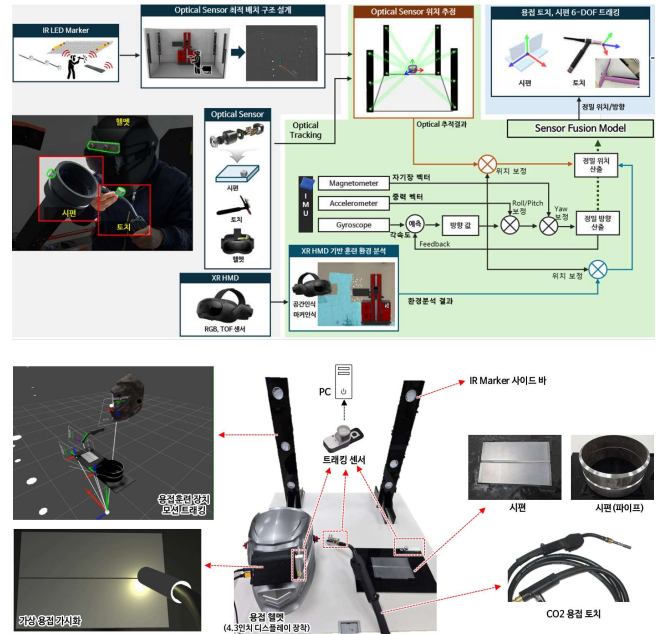


Fig. 5. 센서 퓨전 방식 용접 훈련장치 트래킹 기능 구조 및 환경

센서 퓨전 방식 6축 정밀 트래킹 기능을 통해 FCAW 용접 작업 자세(아래보기,수평보기, 수직보기, 위보기) 별 토치장치의 이동 패턴(좌>우, 우>좌, 원형, 상진, 하진 방향, 스트링어, 위빙 이동 등) 데이터 수집, 분석 및 훈련 공간 내 용접 토치 모션 궤적 가시화를 수행한다.

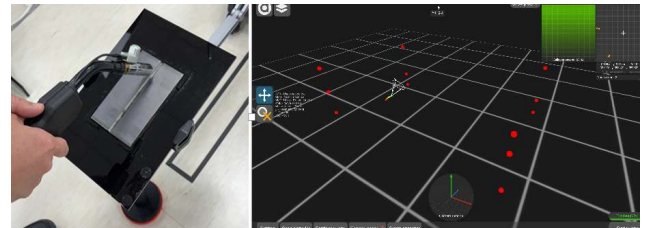


Fig. 6. 아래보기 자세(1G) 용접 토치장치 트래킹 궤적 가시화

III. 결론

본 논문에서는 선박 제조현장에서 인력 의존도가 높고 고도의 숙련도가 필요한 용접 공정의 신속한 기량 향상을 위한 확장 현실 기반 조선소 근로자 교육훈련용 시뮬레이터의 용접 훈련장치 개발과 센서 퓨전 방식 정밀 트래킹 기능 개발에 관하여 논하였다. 향후 개발 기능은 FCAW 용접 훈련 뿐 아니라 GTAW(가스 텅스텐 아크 용접) 훈련장치 개발에 활용될 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.RS-2024-00508239, 확장현실(eXtended reality) 기반 조선소 근로자 교육훈련용 용접 시뮬레이터 개발)

참 고 문 헌

- [1] Adafruit QT Py-SAMD21 Dev Board with STEMMA QT (<https://learn.adafruit.com/adafruit-qt-py>).