

13 Wire-DED 방식 적층제조 공정 모니터링 및 제어 방법

연구자 정보: 지능화뿌리기술연구소 주문형생산연구부 이협 수석연구원 기술이전문의 | tlo@kitech.re.kr

기술 구분

기술 분류

기계/소재 전기/전자 섬유/화학 바이오/의료

기술 단계 구분

기초원천기술 **상용화·제품화 기술**

기술 개요

본 기술은 금속 선재 기반 Wire-DED 공정에서 발생하는 불량률을 실시간으로 감지하고 제어하여 적층 품질과 공정 신뢰성을 높이는 지능형 모니터링·제어 기술

고에너지 열원(레이저, 아크, 플라즈마 등)로 모재를 용융시키고 금속 선재를 공급하는 과정에서 송급 불균형이나 열축적 편차로 발생하는 스텐빙(stubbing), 번백(burn-back)과 같은 불량을 효과적으로 억제

용융풀 발광 신호를 활용한 작업 거리 추정과 피드백 제어, 좌표별 오차 누적 데이터를 반영한 피드포워드 제어, 통전·하중 센서 기반의 적응형 송급 제어를 통해 선재 공급 불량률과 형상 편차를 자동 보정

레이저 기반 LW-DED뿐만 아니라 아크 기반 WAAM 등 다양한 열원 시스템에 적용할 수 있으며, 조선, 에너지, 항공우주 등 대형 금속부품 제조 분야에서 활용성과 높은 사업화 잠재력 보유

주요도면/사진

Wire-DED 적층제조 공정 중 발생하는 열적 불균형 문제

용융풀 발사 광량 측정을 통한 작업거리 측정 방법

층간 작업거리 누적 오차 공간맵 구성 및 보상 방법

다중 센서 측정치 기반의 선재 공급속도 제어 알고리즘

기술의 특징 및 장점

기존 기술 한계	개발 기술 특성
[입열량-선재공급 불균형에 따른 공정 불안정] 기존 Wire-DED 공정에서는 열원 출력·이송·송급 속도 미세 불일치로 스텐빙·번백 등 오류 발생, 공정 중 열 축적 및 환경 변화로 상황이 수시로 변함	[센서 기반 실시간 송급 제어 알고리즘] 통전 센서·하중 센서로 선재 상태(과공급·부족·비접촉 등)를 실시간 감지하여 송급 속도를 적응적으로 조절, 입열·송급 균형을 유지
[설계치 대비 적층 높이 편차 누적에 의한 형상 불량] 기존 기술에서는 위치별 열축적 차이로 비드 높이가 설계와 불일치하고, 누적되면 허용오차 초과로 공정 중단 발생	[피드백 + 피드포워드 복합 제어 프레임워크] 각 층의 실제 적층 높이 오차를 즉시 보정(피드백)하고, 좌표별 누적 오차를 다음 레이어 변수에 선재 반영(피드포워드)하여 누적 편차를 억제
[공정 중 선재의 상태를 단순 센서 한 가지로만 판단] 기존 시스템은 용융풀 온도/위치 등 단일 센서만으로는 선재와의 접촉상태·과부하·비접촉 등 복합 원인을 정확하게 판별하기 곤란	[다중 센서 융합에 기반한 선재 상태 인식] 전기적 접촉(통전)과 물리적 하중 정보를 결합해 선재-모재 접촉 여부 및 과도한 하중 여부를 정밀 판별, 다양한 실패 상황을 구분·대응

기술 적용제품 및 활용 분야

[대형 금속 구조물] 선박 블록 보강재, 플랜트 배관, 풍력 허브, 열교환기 하우징 등 - 두께 편차·공정 불안정에 민감해 실시간 제어 필수

[항공우주 부품] 엔진 하우징, 터빈, 고압 연료탱크 등 - 정밀·신뢰성이 요구되는 다축 로봇 기반 적층에 효과적

[보수·재생(Repair)] 터빈 블레이드, 랜딩기어, 금형, 브레이크 등 - 기존 형상과의 정밀 접합에 유리

[맞춤형 부품] 복곡면 지지대, 의료 임플란트, 방산·로봇 부품 등 - 형상 자유도와 작업거리 보상에 강점

[주요 산업] 조선·해양, 에너지·플랜트, 항공·우주, 국방·방산, 정밀기계·의료기기 분야에 폭넓게 활용 가능

국·내외 시장 동향

[시장 규모] 금속 DED/WAAM 시장은 2023년 약 4억 달러에서 2025년 7.5억 달러로 성장, 2033년에는 51억 달러에 이를 것으로 전망됨

[지역 동향] 북미·유럽이 수요를 주도하며, 중국·한국·일본은 정부 지원을 기반으로 기술 도입이 빠르게 확산 중

[주요국 사례] 미국은 Sciaky, NASA, Lockheed Martin이 상용화를 이끌고, 유럽은 Cranfield대-WAAM3D, Gefertec, Naval Group 등이 활발히 실증 진행. 중국은 대형 구조물과 군수·우주 부품 제작에 적용 확대

[산업별 적용] 항공우주는 고가 소재 부품 제작·수리에, 조선·해양은 대형 프로펠러·블록 적층에, 발전·에너지는 터빈·노즐 제작·보수에, 국방은 아전 수리·신속 보급에 활용. 중장비·금형 분야에서는 수명 연장과 비용 절감 효과. 조선·발전설비·중장비 제조사, 항공우주·방산 기업, 금형·MRO 업체, 용접 장비·로봇 제조사 수요처

기술 완성도

해당되는 단계에 체크 표시

TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
-------	-------	-------	-------	--------------	-------	-------	-------	-------

TRL 5 구성품/Breadboard의 성능이 유사환경에서 입증된 단계

지식재산권 현황

No.	특허명	출원일자	출원번호	등록번호
1	삼차원 프린팅 방법 및 삼차원 프린팅 시스템	2022. 11. 30.	10-2022-0164896	-
2	삼차원 프린팅 장치 및 이의 작업 거리 보정 방법	2023. 11. 29.	10-2023-0169956	-
3	직접 용착 적층 장치 및 방법	2024. 11. 08.	10-2024-0158232	-