

고숙련 장비 정비 인력 양성을 위한 모듈형 학습관리시스템(LMS)의 설계 및 구현

임정현, 천창원, 노병희*, 강경민

*아주대학교 AI융합네트워크학과, (주)엠아르오디펜스 AI/IoT 연구개발팀

{wjdguszoqt, chenchangwen, *bhroh}@ajou.ac.kr, kmkang@mrodefence.com

Design and Implementation of a Modular Learning Management System(LMS) for Training Highly-Skilled Equipment Maintenance Personnel

Junghyun Lim, Changwen Chen, Byeong-hee Roh*, Kyeong-min Kang

*Dept. of AI Convergence Network, Ajou University, MRODefence Co.Ltd.

요약

본 논문은 첨단 산업 장비 정비 인력 양성 과정의 디지털 전환을 위한 핵심 인프라로서, 모듈형 학습관리시스템(LMS)을 제안한다. 현대 산업 장비는 고도의 복잡성과 정밀성을 요구하며, 가상현실(VR)과 증강현실(AR) 등 첨단 기술을 활용한 훈련이 도입되고 있으나, 분산된 교육 자원을 통합하고 기술 인력 개개인의 역량을 체계적으로 관리할 플랫폼은 부재한 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 연구에서는 기술 인력 역량 관리, 훈련 성과 분석, 협업 학습 지원 기능을 중심으로 하는 웹 기반 LMS를 설계 및 구현하였다. 시스템은 반응형 웹 기술을 적용하여 다양한 디바이스에서의 접근성을 확보했으며, 성능 평가 결과 평균 100ms 이내의 신속한 UI 응답 시간과 2초 이내의 페이지 로딩 속도를 보여 정비 현장에서의 실용성을 입증하였다. 본 시스템은 향후 S1000D 표준 기술교범과 연동된 AR 훈련 및 xAPI 기반의 정밀 학습 분석을 통합하는 '지능형 디지털 퓨터 생태계'의 허브 역할을 수행할 수 있는 확장 가능한 아키텍처를 갖추고 있어, 산업 기술 교육의 과학화와 효율성 제고에 크게 기여할 것으로 기대된다.

I. 서론

4차 산업혁명 기술의 발전은 첨단 산업 분야의 패러다임을 빠르게 변화시키고 있으며, 특히 장비 정비 교육 및 훈련 분야에서 디지털 전환의 중요성이 그 어느 때보다 강조되고 있다. 항공기와 같은 복잡한 첨단 장비는 조직의 핵심 자산으로, 이의 완벽한 운용 가능성이 숙련된 정비 인력의 체계적인 양성에 달려있다. 이에 따라 관련 산업계는 가상현실(VR)과 증강현실(AR) 기술을 활용한 몰입형 정비 훈련 시스템을 도입하는 등 교육의 과학화를 적극적으로 추진하고 있다 [1].

그러나 이러한 첨단 훈련 콘텐츠들은 개별적으로 개발 및 운용되어 훈련 데이터가 과편화되고, 기술 인력 개개인의 학습 과정과 역량 수준을 통합적으로 관리하는 데 한계를 보이고 있다. 전자식 기술교범(IETM), 시뮬레이션 데이터, 이론 교육 자료 등 다양한 형태의 교육 자원을 하나의 플랫폼에서 제공하고, 개인별 맞춤형 학습 경로를 제시하며, 훈련 성과를 데이터 기반으로 분석할 수 있는 중앙 허브의 필요성이 시급하다.

본 논문은 이러한 문제의식에서 출발하여, 고숙련 장비 정비 인력 양성을 위한 통합 디지털 훈련 허브로서 기능할 수 있는 학습관리시스템(LMS)의 설계 및 구현 결과를 제시한다. 본 연구의 주요 기여는 다음과 같다.

- 과편화된 VR/AR 훈련 콘텐츠, 전자식 기술교범(IETM) 등 다양한 교육 자원을 통합 관리할 수 있는 중앙 허브로서의 모듈형 LMS 아키텍처를 제안
- 기술 인력의 자격 및 훈련 이력을 체계적으로 추적, 훈련 성과를 시각적으로 분석하여 데이터 기반 교육 관리의 핵심 기능들을 설계하고 구현
- 반응형 웹 기술을 적용해 다양한 디바이스에서의 접근성을 확보, 실제 산업 현장에서 요구되는 성능과 안정성을 검증하여 실용성을 입증

II. 관련 연구

고숙련 기술 교육 분야의 디지털 전환은 첨단화되는 장비의 복잡성에 대응하고 기술 인력의 숙련도를 효과적으로 향상시키기 위한 전 세계적인 추세이다. 국내 주요 산업체에서는 VR 기반 정비 교육 체계 등을 도입하여 훈련의 몰입도와 안전성을 높이고 있으며, 해외 선진 사례에서도 AR 기술을 도입하여 정비 인력이 실제 장비 없이 3D 가상 모델을 통해 수리 절차를 반복 훈련함으로써 교육 효과를 극대화하고 있다 [2].

이러한 첨단 훈련 콘텐츠의 효과를 극대화하고 체계적으로 관리하기 위한 핵심 인프라로 LMS가 주목받고 있다. LMS는 VR/AR 시뮬레이터, IETM, 동영상 강의 등 다양한 형태의 교육 자원을 통합하는 중앙 허브 역할을 수행한다. 산업 환경에 특화된 LMS는 기술 인력의 자격 및 인증을 관리하고, 훈련 이력을 추적하며, 관리자에게 조직원의 숙련도 현황에 대한 데이터 기반의 분석을 제공하여 운영 안정성 유지에 기여한다.

최근에는 단순한 교육 이수 여부를 넘어 학습 경험 자체를 정밀하게 분석하려는 노력이 이루어지고 있다. 기존의 SCORM 표준은 학습 완료 여부나 점수 등 제한된 데이터만 추적하는 한계가 있었다. 이를 극복하기 위해 차세대 이러닝 표준인 xAPI(Experience API)가 제안되었으며, 이를 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다 [3]. xAPI는 "기술자 A가 AR 클래스를 사용하여 부품 B를 3분 만에 교체 완료했다"와 같이 구체적이고 맥락적인 학습 데이터를 학습 기록 저장소(LRS)에 기록한다. 해외 공공 부문의 전사적 학습 아키텍처(TLA)는 이러한 xAPI와 LRS를 기반으로 분산된 학습 환경의 데이터를 통합하고, 개인화된 학습 경로를 추천하는 것을 목표로 한다.

본 연구는 이러한 기술적 흐름에 따라, 향후 xAPI 기반의 정밀 분석과 AR 콘텐츠 연동이 가능토록 웹 기반의 확장형 LMS를 제안하고자 한다.

III. 제안 시스템 설계

1. 시스템 아키텍처

본 연구에서 제안하는 학습관리시스템(LMS)은 웹 기반 플랫폼으로, 전체적인 구조는 그림 1과 같다. 중앙 LMS를 중심으로 각 핵심 기능 모듈이 유기적으로 연결되어 통합된 서비스를 제공한다.

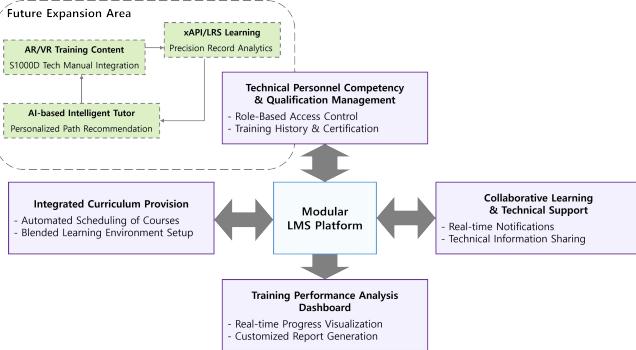


그림 1 제안 시스템의 모듈형 아키텍처

2. 핵심 기능 모듈 설계

제안 시스템은 장비 정비 교육의 특수성을 반영하여, 네 가지 핵심 기능 모듈로 구성된다. 각 모듈의 주요 기능과 교육적 기여는 표 1과 같다.

모듈명	주요 기능	장비 정비 교육 기여
기술 인력 역량 및 자격 관리	역할 기반 접근 제어, 기술 등급 및 자격 인증 관리, 훈련 이력 추적, 안전한 사용자 인증 및 세션 제어	자격 미달 인원의 중요 정비 작업 투입을 시스템적으로 방지하고, 개인별 역량 현황을 투명하게 관리하여 운용 가능성 및 안전성 확보에 기여
통합 교육 과정 제공	수업 일정, 강의실 배정 및 시간표 관리, 중복 감지 및 자동 스케줄링, 수업 평가 및 피드백 시스템	표준화된 정비 절차 교육을 일관성 있게 제공하고, 이론과 실습이 연계된 혼합 학습 (Blended Learning) 환경을 구축
훈련 성과 분석 대시보드	실시간 학습 진도 시각화(막대, 원, 꺾은선 그래프), 개인/팀별 성취도 비교 분석, PDF/엑셀 기반 맞춤형 보고서 생성	관리자가 조직원의 기술적 취약점을 과학적으로 식별하고, 데이터에 기반한 최적의 훈련 계획을 수립하도록 지원
협업 학습 및 기술 지원	내부 이메일, 실시간 푸시 알림, 인스턴트 메시징 및 그룹 채팅, 공지 시스템	정비 현장에서 발생하는 문제에 대한 동료 및 전문가의 지원을 촉진하고, 최신 정비 기술 정보의 신속한 공유 가능

표 1 LMS 핵심 기능 모듈

3. 프론트엔드 기술 스택 및 구현

시스템의 사용자 인터페이스(UI)는 기능적 요구사항을 효과적으로 지원하고 최상의 사용자 경험(UX)을 제공하기 위해 검증된 최신 웹 기술 스택을 기반으로 구현되었다. 기본 구조는 웹 표준 기술인 HTML5, CSS3, JavaScript로 구성되며, UI 프레임워크로는 Bootstrap 5를 채택하여 테스크톱, 태블릿, 모바일 등 다양한 디바이스에 최적화된 반응형 웹을 구현하였다. 또한, 데이터 시각화를 위한 Chart.js, 동적 테이블 관리를 위한 DataTables 등 전문 라이브러리를 활용하여 훈련 성과 분석 및 교육 과정 관리와 같은 핵심 기능에 풍부한 상호작용성을 제공한다.

구현된 시스템이 실제 산업 현장에서 요구되는 성능과 안정성을 충족하

는지 검증하기 위해 주요 성능 지표를 측정한 결과는 표 2와 같다. 모든 지표에서 목표 성능을 만족하여, 실제 정비 훈련 환경에서의 높은 실용성을 확인하였다.

평가 항목	성능 지표	측정 결과	정비 훈련 환경에서의 의의
페이지 로딩 성능	초기 콘텐츠 표시 (FCP)	2초 이내	긴급 정비 상황에서 필요한 기술 자료에 대한 신속한 접근을 보장
사용자 경험	UI 응답 시간	100ms 이내	복잡한 메뉴 탐색 및 데이터 조회 시 지연 없는 원활한 사용자 경험을 제공
보안	XSS/CSRF 방어	적용 완료	조직의 교육 정보 및 개인 신상 정보 등 민감 데이터를 안전하게 보호

표 2 시스템 성능 평가 결과

IV. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 복잡한 산업 장비의 정비 인력 양성을 위한 맞춤형 LMS를 설계하고 구현하였다. 제안 시스템은 분산된 교육 자원을 통합 관리하고, 기술 인력의 역량을 체계적으로 추적하며, 데이터 기반의 훈련 성과 분석을 가능하게 하는 통합 디지털 훈련 허브의 기반을 마련했다는 점에서 의의가 있다.

향후 연구는 제안 시스템을 지능형 디지털 튜터 생태계로 발전시키는 데 중점을 둘 것이다. 첫째, 항공우주 산업계에서 활용되는 S1000D 국제 표준 전자식 기술교체 데이터를 파싱하여 AR 클래스를 통해 실제 기체 위에 정비 절차를 시각적으로 오버레이하는 몰입형 훈련 기능을 연동할 것이다. 둘째, 차세대 이러닝 표준인 xAPI를 도입하여, AR 훈련 중 발생하는 기술 인력의 세부적인 상호작용(예: 특정 볼트 체결 시간, 오류 횟수)까지 정밀하게 수집하고 이를 중앙 LRS에서 분석할 것이다. 최종적으로 LRS에 축적된 빅데이터를 활용하여 기술 인력 개인의 숙련도를 예측하고 맞춤형 학습 경로를 추천하는 AI 기반 지능형 튜터 시스템(ITS)으로 고도화하는 연구를 수행할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 중소벤처기업부와 중소기업기술정보진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임. (과제번호: S3433427)

참 고 문 헌

- [1] Hüseyin Ateş, "Integrating augmented reality into intelligent tutoring systems to enhance science education outcomes," *Educational and Information Technologies*, vol. 30, pp. 4435-4470, 2024.
- [2] Sylwia Werbińska-Wojciechowska, and Klaudia Winiarska, "Maintenance Performance in the Age of Industry 4.0: A Bibliometric Performance Analysis and a Systematic Literature Review," *Sensors*, vol. 23, no. 3, 1409, 2023.
- [3] Haiguang Fang, Wenqi Man, Xinmei Kong, and Xu Zhang, "Research on the Cross-media Integration Process of Educational Digital Resources Based on xAPI Data," *3rd International Conference on Educational Technology (ICET)*, pp. 194-198, 2023.