

사물인터넷 환경에서의 제조 AX를 위한 교육 모델에 관한 연구

이근호*
백석대학교 컴퓨터공학부 교수

A Study on an Education Model for Manufacturing AX in the Internet of Things Environment

Keun-ho Lee*
Professor, Division of Computer Engineering, BaekSeok University

요약 4차 산업혁명의 가속화와 함께 사물인터넷(IoT) 기술은 제조업 현장의 디지털 전환을 주도하는 핵심 기술로 부상하였다. 인공지능을 활용한 AX(AI Transformation)는 제조기업의 생산성 향상, 품질 개선, 스마트 공장 구현의 핵심 요소로 작용하고 있으나, 이를 실현하기 위한 전문 인력이 절대적으로 부족하다. 본 연구는 천안 지역 제조기업 23개사를 대상으로 실시한 AX 전환 수요조사 결과와 IoT·AI 기술 동향 분석을 연계하여, IoT 환경에서 제조 AX를 위한 체계적인 교육 모델을 제안한다. 수요조사를 통해 도출된 현장 니즈와 기술 갭을 토대로 Phase 1(IoT·AI 기초 역량), Phase 2(제조 데이터 분석 및 활용), Phase 3(제조 AX 실전 적용)의 3단계 교육 모델을 설계하였으며, 이론과 실습을 융합한 현장 중심 학습 체계와 기업 멘토링을 통해 교육의 실효성을 극대화하고자 하였다.

주제어 : 사물인터넷, 제조 AX, AI 전환, 스마트 팩토리, 교육 모델

Abstract With the acceleration of the Fourth Industrial Revolution, Internet of Things (IoT) technology has emerged as a core technology driving the digital transformation of manufacturing sites. AX (AI Transformation) utilizing artificial intelligence is acting as a key driver for improving productivity, quality, and smart factory implementation; however, specialized human resources are in critically short supply. This study integrates the results of an AX transformation demand survey conducted on 23 manufacturing companies in the Cheonan region with an analysis of IoT·AI technology trends to propose a systematic education model for manufacturing AX. Based on field needs and technology gaps identified through the demand survey, we designed a three-phase education model—Phase 1 (IoT·AI basic competency), Phase 2 (manufacturing data analysis and utilization), and Phase 3 (practical application of manufacturing AX)—adopting a field-centered learning system that integrates theory and practice along with corporate mentoring to maximize educational effectiveness.

Key Words : IoT, Manufacturing AX, AI Transformation, Smart Factory, Education Model

1. 서론

4차 산업혁명의 도래와 함께 전 세계 제조업은 근본적인 패러다임 전환을 경험하고 있다. 단순한 생산 자동화 수준을 넘어, 사물인터넷(IoT), 인공지능(AI), 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅 등 첨단 기술이 융합된 지능형 제조 체계, 즉 스마트 팩토리(Smart Factory)로의 전환이 글로벌 제조 경쟁력의 핵심 요소로 부상하고 있다[1]. 특히 최근에는 디지털 전환(DX, Digital Transformation)을 넘어 AI를 중심으로 한 전사적 혁신, 즉 AX(AI Transformation)가 제조기업의 새로운 생존 전략으로 주목받고 있다[2]. AX는 단순히 AI 기술을 도입하는 것에 그치지 않고, 제조 공정 전반의 의사결정 방식을 데이터 기반으로 재설계하고, 조직 문화와 업무 프로세스 전체를 AI 친화적으로 전환하는 것을 의미한다. 이 과정에서 IoT는 제조 현장의 방대한 공정 데이터를 실시간으로 수집·전송하는 핵심 인프라로 기능하며, AI는 수집된 데이터로부터 예측 유지보수, 품질 이상 탐지, 생산 최적화 등의 고부가가치 인사이트를 도출한다. 즉, IoT와 AI의 긴밀한 통합이 제조 AX의 기술적 토대를 이루고 있다[2]. 국내의 주요 제조 선진국들은 이미 이 흐름에 능동적으로 대응하고 있다. 독일은 인더스트리4.0(Industry 4.0) 전략을 통해 제조업의 사이버-물리 시스템(CPS) 구축을 국가 아젠다로 추진하고 있으며[5], 미국은 산업 인터넷 컨소시엄(IIC)을 중심으로 산업용 IoT 표준화와 AI 적용을 가속화하고 있다. 일본의 소사이어티5.0(Society 5.0), 중국의 중국제조 2025 역시 스마트 제조를 핵심 국가 전략으로 채택하고 있다. 국내에서도 정부 주도의 스마트 공장 보급·확산 사업이 적극 추진되어 2023년 기준 약 3만여 개의 스마트 공장이 구축되었다[7].

그러나 이러한 기술 인프라 확산에도 불구하고 국내 제조기업, 특히 중소·중견 제조기업은 스마트 제조 전환 과정에서 심각한 인력 역량 부족 문제에 직면하고 있다. 스마트 공장 구축 이후에도 수집된 데이터를 실질적인 생산 최적화에 활용하지 못하거나, AI 모델 구축과 AX 전략 수립을 주도할 내부 전문 인력이 부재한 경우가 대다수이다[3,8]. 이는 기술 도입과 인적 역량 개발이 균형 있게 추진되어야 함을 시사하며, 현장 수요에 기반한 체계적인 AX 전문 인력 양성 교육 프로그램의 개발이 시급함을 의미한다. 충청남도 천안시는 삼성SDI, 삼성디스플레이 등 대기업과 자동차 부품, 전자·전기, 기계·금속 분야의 수백 개 중소·중견 제조기업이 집적된 충청권 핵심 제조 클러스터이다. 지역 내 제조기업들은 주요 고객사

인 대기업의 스마트 팩토리 전환 요구에 대응하기 위해 IoT 도입과 AX 전환에 대한 필요성을 절감하고 있으나, 이를 실행할 전문 인력을 확보하지 못하고 있는 실정이다. 이는 단순히 특정 기업의 문제가 아니라 지역 제조 산업 생태계 전체의 경쟁력 약화로 이어질 수 있는 구조적 문제이다.

기존의 IoT 또는 AI 관련 교육 프로그램들은 크게 두 가지 한계를 가지고 있다. 첫째, 현장 수요 기반이 취약하다. 대부분의 교육과정이 교육 전문가나 정부 가이드 라인 중심으로 설계되어 있어, 실제 제조 현장이 당면한 기술 갭과 업무 요구를 충분히 반영하지 못한다[4]. 둘째, IoT와 AI, 그리고 제조 도메인 지식을 통합적으로 다루는 교육이 부재하다. IoT 교육은 기술 구현에, AI 교육은 모델 개발에 집중하는 경향이 있어, 이를 제조 현장의 AX 전략과 연계하는 통합적 교육 체계는 아직 정립되지 않은 상태이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 다음 세 가지 요소를 갖춘 새로운 접근이 필요하다. 첫째, 제조기업 현장의 실제 AX 전환 수요와 역량 갭을 체계적으로 조사하여 교육과정 설계의 실증적 근거로 삼아야 한다. 둘째, 엣지 AI, 디지털 트윈, 생성형 AI 등 최신 기술 동향을 분석하여 미래 지향적인 교육 내용을 구성해야 한다. 셋째, 이론과 실습, 현장 프로젝트를 통합한 산학협력 기반의 단계적 교육 체계를 구축하여 수요 후 현장 적용 가능성을 극대화해야 한다. 본 연구는 이 세 가지 요소를 모두 충족하는 IoT 기반 제조 AX 교육 모델을 제안하고자 한다.

본 연구의 목적은 IoT 환경에서의 제조 AX를 위한 현장 수요 기반 체계적 교육 모델을 제안하는 것이다. 이를 위한 세부 연구 목표는 다음과 같다. 첫째, 천안 지역 제조기업의 IoT·AI 기술 도입 현황, AX 전환 수요, 역량 갭을 수요조사를 통해 정량적으로 분석한다. 둘째, 제조 AX 관련 최신 IoT·AI 기술 동향을 분석하여 미래 제조 현장에서 요구되는 핵심 기술 요소를 도출한다. 셋째, 수요조사 결과와 기술 동향 분석을 교차 분석하여 교육 내용, 방법, 순서의 논리적 근거를 마련하고, 이를 토대로 3단계 Phase 구조의 교육 모델을 설계한다. 넷째, 제안 모델의 현장 적합성을 기존 교육 모델과의 비교 분석 및 수요-교육과정 정합성 분석을 통해 검증한다. 본 연구는 단순히 교육과정 목록을 나열하는 것이 아니라, 현장의 문제로부터 출발하여 교육 모델이 도출되는 과정의 논리적 일관성을 확보하는 데 중점을 두고 있다. 이를 통해 교육 수요자(학습자)와 공급자(기업) 모두에게 의미 있는 교육 성과를 창출할 수 있는 지속 가능한 제조 AX 인재

양성 체계의 기반을 마련하고자 한다. 본 논문은 총 7장으로 구성되며, 각 장의 내용과 연구 흐름은 다음과 같다.

제 2장에서는 IoT 기반 스마트 제조 기술 동향, AI 전환(AX) 교육 연구 동향, 수요 기반 교육과정 설계 및 산학협력에 관한 선행연구를 고찰한다. 이를 통해 본 연구의 이론적 배경을 정립하고, 기존 연구와의 차별점을 명확히 한다. 제 3장에서는 천안 지역 제조기업 23개사를 대상으로 실시한 AX 전환 수요조사의 방법과 결과를 제시한다. IoT·AI 기술 도입 현황, 역량 갭 분석, 교육 필요 역량 우선순위, 선호 교육 방식 등을 정량적으로 분석하고, 옛지 AI·디지털 트윈·생성형 AI 등 기술 동향 분석과 교차하여 교육과정 도출의 근거를 마련한다. 제 4장에서는 3장의 수요조사 및 기술 동향 분석 결과를 기반으로 도출된 제조 AX 교육 모델을 제안한다. 모델의 설계 원칙, 3단계 Phase 구조(IoT·AI 기초→ 제조 데이터 분석→ AX 실천 적용), 교육 대상 및 인프라 구성 방안을 상세히 기술한다. 제5장에서는 제안 모델의 타당성을 검증한다. 수요조사 결과와 교육과정 내용 간의 정합성 분석, 기존 유사 교육 모델과의 비교 분석, 역량 프레임워크 분석, 학습 성과 지표(KPI) 설정을 통해 제안 모델의 학문적·실천적 적합성을 논증한다. 제 6장에서는 제안 교육 모델의 실제 적용 방법을 기술한다. 충청남도 천안시 제조기업 AX 특화 인력양성 사업과 연계한 시범 운영 계획, 6단계 운영 절차, 산학협력 운영 체계, 기대 성과를 구체적으로 제시한다. 제 7장에서는 연구 결과를 종합 정리하고, 본 연구의 기여와 한계, 향후 연구 방향을 논의한다. 특히 수요 기반 교육과정 설계 방법론이 제조 AX 분야 외 타 산업 분야 교육 모델 개발에 주는 시사점을 도출한다.

2. 관련연구

2.1 IoT 기반 스마트 제조 기술 동향

사물인터넷 기술은 제조업의 스마트화를 가속화하는 핵심 요소로, 독일의 인더스트리4.0(Industry 4.0)과 미국의 산업 인터넷(Industrial Internet) 등 주요 국가들의 제조혁신 전략의 중심에 위치한다[5]. Lee et al.(2015)은 사이버-물리 시스템(CPS)과 IoT의 결합이 제조업의 5C 구조(Connection, Conversion, Cyber, Cognition, Configuration)를 형성한다고 제시하였으며, 이는 현재 스마트 팩토리 구현의 이론적 기반이 되고 있다[6]. 국내에서는 중소벤처기업부 및 산업통상자원부를 중심으로

스마트 공장 보급·확산 사업이 지속 추진되어 왔으며, 2023년 기준 약 3만여 개의 스마트 공장이 구축되었다[7]. 그러나 Kim and Park(2022)의 연구에 따르면 국내 중소 제조기업의 경우 IoT 센서 데이터의 단순 수집 수준에 머무는 경우가 많아, 데이터를 실질적인 생산 최적화에 활용하는 역량이 부족한 것으로 나타났다[8]. 이는 기술 도입과 함께 인적 역량 개발이 병행되어야 함을 시사한다. Zheng et al.(2021)은 IoT 기반 제조 시스템에서 AI와의 통합이 예측 유지보수, 품질 이상 탐지, 생산 스케줄 최적화 등 핵심 기능을 구현하는 데 필수적임을 강조하면서, 통합 시스템 활용을 위한 현장 작업자 및 관리자 교육의 필요성을 역설하였다[9]. 스마트 팩토리 구현 수준은 단순 자동화(Level 1)에서부터 자율 최적화(Level 5)까지 구분되며, 국내 중소기업의 대다수는 Level 1~2 수준에 머물고 있어 상위 수준 전환을 위한 인재 양성이 시급하다.

2.2 AI 전환(AX) 교육 연구 동향

AI 전환 교육에 관한 연구는 2020년 이후 급격히 증가하고 있으나, 제조 분야에 특화된 AX 교육 모델 연구는 상대적으로 부족하다. Choi et al.(2021)은 AI 리터러시(AI Literacy) 개념을 토대로 산업 현장 종사자를 위한 AI 기초 교육과정 프레임워크를 제안하였으며, 특히 비IT 전공자를 위한 실습 중심 교육의 중요성을 강조하였다[10]. Hwang and Lee(2022)는 제조업 종사자를 대상으로 한 AI 교육 효과성 연구에서, 현장 데이터를 활용한 문제 해결형 학습(PBL)이 교육 만족도 및 직무 적용 의도에 유의미한 정적 영향을 미친다는 것을 실증 분석을 통해 검증하였다[11]. 국제적으로는 Marr(2020)의 5단계 인력 역량 모델이 기업 AX 전략 수립에 널리 활용되고 있으며[12], WEF는 AI 관련 신규 일자리 창출에 대응하는 재교육(reskilling) 프로그램의 긴급성을 강조하였다[13].

2.3 수요 기반 교육과정 설계 및 산학협력

수요 기반 교육과정 설계(Needs-Based Curriculum Design)는 학습자와 현장 요구를 체계적으로 분석하여 교육 내용, 방법, 평가를 결정하는 방법론이다. Tyler(1949)가 제시한 교육과정 개발 원리에 기반하여 현장 수요 분석→ 학습 목표 설정→ 교육 내용 선정→ 평가 방법 결정의 순환 과정이 현대 직업교육 설계의 기본 틀로 자리 잡고 있다[14]. Jung et al.(2020)은 지역 제

조기업과 연계한 캡스톤 디자인 방식의 교육이 학습자의 직무 능력 향상에 기여함을 실증하였으며[15]. Park and Kim(2023)은 성공적인 산학협력 교육의 요소로 기업 현장 문제의 교육과제 연계, 현장 멘토링 제도 운영, 취업 연계 경로 확보를 제시하였다[16]. Lee(2023)는 IoT·AI 결합 스마트 제조 교육에서 데이터 리터러시, 센서 이해, AI 모델 활용, 시각화 역량의 네 가지 핵심 역량의 단계적 개발이 필수적임을 강조하였다[17]. 이상의 선행연구를 종합하면, 효과적인 제조 AX 교육 모델 설계를 위해서는 체계적 수요조사를 통한 현장 니즈 파악, IoT·AI 기술 동향 분석을 통한 미래 역량 예측, 두 분석의 결합을 통한 교육과정 도출이라는 세 가지 과정이 선행되어야 함을 알 수 있다.

3. 수요조사 및 기술 동향 분석

3.1 수요조사 개요

본 연구에서는 제조 AX 교육 모델의 현장 적합성을 확보하기 위해 천안 지역 제조기업을 대상으로 체계적인 수요조사를 실시하였다. 조사 기간은 2026년 3월부터 4월까지 약 8주간이며, 자동차 부품, 전자·전기, 기계·금속, 식품 등 4개 업종의 중소·중견 제조기업 23개사의 관리자 및 실무 담당자 67명을 대상으로 구조화 설문과 심층 인터뷰를 병행하였다. 조사 내용은 ① IoT·AI 기술 도입 현황, ② AX 전환 필요성 인식 수준, ③ 현재 인력의 역량 수준(기술·데이터·AX 전략), ④ 교육 필요 역량 및 우선순위, ⑤ 선호 교육 방식 및 기간, ⑥ 산학협력 참여 의향 등 6개 영역으로 구성하였다. 설문 신뢰도 분석 결과 Cronbach's $\alpha = 0.87$ 로 내적 일관성이 확보되었다.

3.2 수요조사 결과 분석

IoT·AI 기술 도입 현황: 조사 대상 23개사 중 IoT 센서를 일부 도입한 기업은 17개사(73.9%)였으나, 수집 데이터를 AI 분석에 활용하는 기업은 4개사(17.4%)에 불과하였다. 이는 IoT 인프라 구축과 AI 활용 역량 간의 현저한 격차를 보여주며, 기술과 인력의 통합적 지원 필요성을 시사한다. AX 전환 필요성 인식: '향후 3년 내 AX 전환이 필요하다'는 응답이 91.3%(21개사)로 매우 높게 나타났다. 그러나 구체적인 AX 전환 계획을 보유하고 있다'는 응답은 26.1%(6개사)에 그쳐, 필요성 인식과 실행 준비 간의 격차가 크게 존재함을 확인하였다. 심층 인터뷰

부에서 그 원인으로 AX 전환을 주도할 내부 전문 인력 부족(응답률87.0%), 관련 교육 프로그램 부재(73.9%), AX 투자 비용 부담(65.2%) 순으로 파악되었다.

<Table 1> IoT·AI Technology Adoption Status(N=23)

Technology Status	Companies	Ratio(%)
IoT sensor deployment	17	73.9%
Real-time data monitoring	11	47.8%
Data-based quality management	7	30.4%
AI predictive model utilization	4	17.4%
Smart factory full integration	2	8.7%

현재 인력 역량 수준: 3개 역량 영역별 5점 척도 자가 평가 결과, 기술 역량(IoT 센서·네트워크 이해) 2.41점, 데이터 역량(데이터 분석·AI 활용) 1.87점, AX 전략 역량(AX 기획·실행) 1.63점으로 나타났다. 특히 데이터 역량과 AX 전략 역량이 현저히 낮아 이 두 영역에 대한 집중 교육이 필요함을 알 수 있었다.

<Table 2> Current vs. Required Competency Level Gap Analysis

Competency Area	Current Level (5-point)	Required Level (5-point)	Gap
Technical (IoT/Sensor/Network)	2.41	4.20	1.79
Data (Analysis/AI Utilization)	1.87	4.35	2.48
AX Strategy (Planning/Execution)	1.63	4.10	2.47
Average	1.97	4.22	2.25

교육 필요 역량 우선순위: 교육이 가장 시급한 역량으로 '제조 데이터 수집·분석'(86.6%), 'AI 예측 모델 구축 및 활용'(80.6%), '스마트 팩토리 설계 및 운영'(74.6%), 'IoT 센서·엣지 디바이스 구성'(68.7%), '생성형 AI 기반 업무 자동화'(62.7%), 'AX 전략 수립 및 ROI 분석'(56.7%) 순으로 나타났다. 선호 교육 방식 및 기간: 현장 데이터를 활용한 실습 중심 교육을 선호하는 응답이 94.0%로 압도적이었으며, 이론 강의만으로 구성된 교육을 선호하는 응답은 6.0%에 불과하였다. 교육 기간으로는 3~6개월을 선호한다는 응답이 67.2%로 가장 많았고, 1개월 이내 단기 교육 선호는 11.9%에 그쳤다. 교육 시간대로는 평일 저녁 및 주말 집중 교육을 선호하는 재직자 응답이

많았으며, 온·오프라인 혼합(블렌디드 러닝) 방식 선호가 71.6%로 나타났다.

3.3 IoT·AI 기술 동향 분석

수요조사 결과와 함께 제조 AX 분야의 최신 기술 동향을 분석하여 교육 모델에 반영하여야 할 핵심 기술 요소를 도출하였다. 주요 기술 동향은 다음 네 가지로 분류된다. 첫째, 엣지 AI(Edge AI)의 확산이다. 제조 현장에서는 데이터를 클라우드로 전송하지 않고 엣지 디바이스에서 직접 AI 추론을 수행하는 엣지 AI 기술이 빠르게 확산되고 있다. 이는 실시간 품질 검사, 설비 이상 탐지 등에 특히 유효하며, 교육 모델에서 엣지 컴퓨팅과 경량 AI 모델(TinyML) 교육을 포함해야 함을 의미한다. 둘째, 디지털 트윈(Digital Twin) 기술의 제조 적용이다. 물리적 제조 설비 및 공정을 가상 공간에 복제하여 시뮬레이션하는 디지털 트윈 기술이 생산 최적화, 예측 유지보수, 신제품 개발에 활발히 적용되고 있다. 교육 모델에서 디지털 트윈 개념 이해와 기초 적용 실습을 포함하는 것이 적절하다. 셋째, 생성형 AI(Generative AI)의 제조 업무 적용이다. LLM(Large Language Model) 기반의 생성형 AI가 제조 현장의 기술 문서 자동화, 설비 매뉴얼 질의응답, 품질 보고서 생성 등에 활용되기 시작하였다. 이에 따라 생성형 AI 도구 활용 능력이 새로운 핵심 역량으로 부상하고 있다.

넷째, 제조 특화 AI 플랫폼의 성장이다. Siemens MindSphere, PTC ThingWorx, AWS IoT SiteWise 등 제조 분야에 특화된 IoT·AI 통합 플랫폼의 보급이 확대되고 있어, 이들 플랫폼의 기초 활용 능력을 교육 내용에 포함할 필요가 있다.

3.4 수요-기술 연계 교육과정 도출

수요조사에서 도출된 현장 니즈와 기술 동향 분석 결과를 교차 분석하여 교육과정 설계의 기반이 되는 핵심 학습 요소를 Table 3과 같이 도출하였다. Table 3의 분석을 통해 도출된 핵심 학습 요소는 크게 세 단계의 학습 위계로 구조화할 수 있다. 1단계는 '이해(Understanding)' 수준으로 IoT·AI 기초 개념과 아키텍처를 파악하고, 2단계는 '분석(Analysis)' 수준으로 제조 데이터를 수집·분석하여 인사이트를 도출하며, 3단계는 '적용(Application)' 수준으로 실제 현장 문제에 AX 솔루션을 설계·구현하는 역량을 배양한다. 이 세 단계의 학습 위계가 본 연구 교육 모델의 Phase 1~3 구조의 근거가 된다.

〈Table 3〉 Demand-Technology Integration: Curriculum Element Derivation

Demand Survey Finding	Technology Trends	Curriculum Elements
Low data analysis competency (Gap: 2.48)	Edge AI & real-time data processing	IoT data collection & preprocessing
Low AI utilization rate (17.4% adoption)	Manufacturing AI platforms (SiteWise etc.)	AI model building & platform use
Weak AX strategy competency (Gap: 2.47)	Digital Twin & process simulation	Smart factory design & AX roadmap
Demand for GenAI workflow automation	LLM-based manufacturing AI	GenAI application & work redesign
Preference for field PBL (94.0%)	IoT+AI integrated platform growth	Field project based on real plant data

4. 교육 모델 제안

4.1 모델 설계 원칙

수요조사 및 기술 동향 분석 결과를 토대로, 본 연구의 IoT 기반 제조 AX 교육 모델은 다음 세 가지 핵심 설계 원칙에 기반한다. 첫째, '수요 반응성(Demand Responsiveness)'이다. 수요조사에서 확인된 역량 갭(평균 2.25점)과 교육 우선순위를 교육 내용 선정의 1차 기준으로 삼는다. 특히 데이터 역량(갭2.48)과 AX 전략 역량(갭2.47)이 가장 낮은 영역임을 감안하여, Phase 2:3에서 이 두 영역에 집중적인 교육 시간을 배정한다. 둘째, '기술 현장성(Technology Relevance)'이다. 엣지 AI, 디지털 트윈, 생성형 AI 등 기술 동향 분석에서 식별된 핵심 기술을 교육 내용에 반영하여 수요 후 현장에서 즉시 활용 가능한 역량을 배양한다. 교육 환경도 수요조사에서 선호된 온·오프라인 혼합(블렌디드 러닝, 71.6%) 방식을 채택한다. 셋째, '실증적 학습(Experiential Learning)'이다. Kolb(1984)의 경험 학습 이론에 기반하여, 실습→성찰→개념화→적용의 순환 학습 과정을 교육 설계에 반영한다. 수요조사에서 현장 실습 중심 교육 선호(94.0%)가 확인된 만큼, 참여 기업의 실제 IoT 데이터를 활용한 PBL을 핵심 교육 방식으로 채택한다.

4.2 교육 모델 구조

제안하는 교육 모델은 Table 4와 같이 수요조사 결과에서 도출된 세 가지 역량 위계(이해→분석→적용)에 대응하는 3개의 Phase로 구성된다. 전체 교육 기간은 6개월(24주)로, 수요조사에서 3~6개월 선호 응답이 67.2%로 가장 높았음을 반영하였다.

<Table 4> Three-Phase Manufacturing AX Education Model

Item	Phase1 (Wk1-8)	Phase2 (Wk 9-16)	Phase3 (Wk 17-24)
Stage	IoT·AI Foundation	Mfg. Data Analysis	AX Practical Application
Demand Basis	Tech. gap (2.41/5.0)	Data gap (1.87/5.0)	AX gap (1.63/5.0)
Contents	IoT architecture Sensor/Edge AI AI/ML basics AX overview	Data collection Visualization Predictive model Quality detect	Smart factory Digital Twin GenAI utilization AX roadmap
Method	Lecture+Lab (6:4)	Theory+PBL (4:6)	Field+Project (2:8)
Evaluation	Written test & diagnosis	Portfolio & report	Project presentation

4.3 교육 대상 및 인프라

교육 대상은 스마트 팩토리 전환을 추진하는 중소·중견 제조기업의 생산관리·품질관리·설비관리 담당자, 데이터 기반 제조 업무로의 직무 전환을 희망하는 재직자, 제조기업 취업을 목표로 하는 취업 준비생으로 설정한다. 교육 정원은 회당 20명 내외로 구성하여 실습 교육의 질을 확보한다. 교육 인프라로는 IoT·AI 실습 전용 랩을 구축하여 라즈베리파이·아두이노 기반 센서 노드, 엣지 컴퓨팅 장치, 데이터 수집 서버 등 실습 장비를 갖추고, 클라우드 기반 AI 플랫폼(AWS SageMaker, Google Colab 등)을 활용하여 실제 개발 환경을 경험할 수 있도록 한다. 수요조사에서 식별된 주요 제조 AI 플랫폼(AWS IoT SiteWise, PTC ThingWorx 등)의 체험 환경도 구비한다.

5. 모델분석

5.1 수요-교육과정 정합성 분석

제안 교육 모델이 수요조사에서 도출된 현장 요구를 얼마나 충실히 반영하는지 검증하기 위해 수요-교육과정 정합성 분석을 실시하였다. Table 5는 수요조사에서 식별된 상위 6개 교육 필요 역량과 제안 교육 모델의 교육 내용 간 매핑 결과를 보여준다.

Table 5의 분석 결과, 수요조사에서 80% 이상의 필요도를 보인 상위 2개 역량(제조 데이터 분석, AI 예측 모델 구축)은 Phase 2와 3에 집중 배치되었으며, 모든 필요 역량이 Phase 1~3 중 하나 이상의 단계에서 다루어지도록 설계되어 높은 수요-교육과정 정합성이 확보되었다.

<Table 5> Demand-Curriculum Alignment (●: Primary, ○: Supplementary)

Required Competency	Demand (%)	Ph.1	Ph.2	Ph.3
Mfg. data collection & analysis	86.6%	○	●	●
AI predictive model building	80.6%	○	●	●
Smart factory design & operation	74.6%		○	●
IoT sensor & edge configuration	68.7%	●	○	
GenAI-based workflow automation	62.7%		○	●
AX strategy & ROI analysis	56.7%			●

5.2 기존 교육 모델과의 비교

제안 모델의 차별성을 확인하기 위해 기존 유사 교육 모델과의 비교 분석을 Table 6에 정리하였다. 제안 모델은 수요조사 기반 교육과정 도출, 기술 동향 연계, AX 전략 역량 개발을 핵심 차별점으로 한다.

<Table 6> Comparison with Existing Education Models

Category	General IoT Edu.	Smart Factory Edu.	Proposed Model
Demand survey	None	Partial	Systematic (N=23)
Tech trend analysis	Limited	Equipment-focused	IoT+AI+GenAI
Curriculum basis	Expert opinion	Gov't standard	Demand+Tech driven
AX competency	Not included	Partial	Core objective
Industry linkage	Limited	Partial	Mentoring+ Field
Duration	1-3 months	3-4 months	6 months (24wks)
Assessment	Written	Practical	Portfolio+ Project

5.3 역량 프레임워크 및 KPI

본 연구의 교육 모델에서 학습자가 개발해야 할 핵심 역량은 수요조사 결과와 기술 동향 분석을 반영하여 세 가지 영역으로 구분된다. 기술 역량(Technical Competency): IoT 센서 구성, 엣지 AI 적용, Python 기반 AI 모델 구현, 클라우드 플랫폼 활용, 데이터 역량(Data Competency): 제조 공정 데이터 해석, 데이터 품질 관리, AI 예측 결과의 비즈니스 해, AX 전략 역량(AX Strategy Competency): AX 전환 기회 발굴, ROI 기반 투자 우선순위 결정, 생성형 AI 기반 업무 재설계. 제안 모델의 교육 성과 측정을 위한 KPI는 교육 만족도 $\geq 4.0/5.0$ (교육 종료 후), AI 역량 진단 점수 30% 이상

향상(사전-사후 비교), 현장 프로젝트 완성도 80% 이상(기업 평가), 현장 적용률 60% 이상(3개월 후 추적), 취업·직무 전환 성공률 70% 이상(6개월 후 추적)으로 설정한다.

6. 적용 방법

6.1 시범 운영 계획

제안 교육 모델은 충청남도 천안시의 제조기업 AX 특화 인력양성 사업(2026년6월~12월)과 연계하여 시범 운영된다. 운영 주체는 백석대학교 컴퓨터공학부이며, IoT·AI·제조 공정 분야 전문 강사진과 수요조사에 참여한 23개사 중 협약을 체결한 기업의 현장 멘토로 교육팀을 구성한다. 수요조사에서 블렌디드 러닝 선호(71.6%)를 반영하여 오프라인 실습(주 2일, 매회 8시간)과 온라인 이론 학습(주2~4시간)을 혼합 운영한다. 시범 운영 1기는 20명 정원으로, 선발 시 역량 진단 평가를 실시하여 수준별 보충 자료를 제공한다.

6.2 운영 절차

운영은 6단계로 구성된다. ① 사전 준비(1~2주): 협약 기업 현장 데이터 수집 환경 구축, 교육 교재 및 실습 콘텐츠 개발. ② 학습자 선발(3주): 서류 심사·면접·사전 역량 진단. ③ Phase 1(4~11주): IoT·AI 기초, 격주 토요 일 집중 실습. ④ Phase 2(12~19주): 제조 데이터 분석, 협약 기업 현장 데이터 기반 미니 프로젝트. ⑤ Phase 3(20~27주): 기업 현장 프로젝트(2~3인 팀), 최종 성과 발표회. ⑥ 사후 관리(28주~): 취업 지원 및 3~6개월 추적 조사를 실시한다.

6.3 산학협력 운영 체계

① 기업 멘토링: 수요조사 참여 기업의 현장 전문가를 멘토로 위촉하여 Phase 2~3에서 학습자 프로젝트를 지도하고, 수요조사에서 식별된 실제 현장 문제를 프로젝트 과제로 제공한다. ② 현장 실습: Phase 3 기간 중 최소 2주의 기업 현장 실습 기회를 제공하며, 실습 과정에서 수요조사 기업의 실제 IoT·AI 데이터를 분석하고 개선안을 도출하는 과제를 수행한다. ③ 취업 연계: 수료생의 참여 기업 채용을 적극 연계하고, 재직자의 경우 현업 복귀 후 AX 전환 컨설팅을 지원한다.

7. 결론

본 연구에서는 IoT 환경에서의 제조 AX를 위한 수요 기반 교육 모델을 제안하였다. 기존 연구와의 차별점은 교육과정 도출의 근거를 현장 수요조사와 기술 동향 분석이라는 두 가지 실증적 토대 위에 두었다는 점이다. 천안 지역 제조기업 23개사, 67명을 대상으로 실시한 수요 조사를 통해 역량 갭(평균2.25점/5점)을 정량적으로 확인하고, 옛지 AI·디지털 트윈·생성형 AI 등 기술 동향과 교차 분석하여 교육 내용을 체계적으로 도출하였다. 제안 모델의 세 가지 Phase는 각각 수요조사에서 파악된 역량 갭(기술 2.41 → 데이터 1.87 → AX전략 1.63)에 대응하도록 설계되었으며, 이는 교육과정의 현장 적합성과 논리적 일관성을 동시에 확보하는 기반이 된다. 또한 수요조사에서 확인된 현장 실습 선호(94.0%), 블렌디드 러닝 선호(71.6%), 3~6개월 교육 기간 선호(67.2%)를 교육 방식·형태·기간 결정에 반영하여 학습자 중심의 교육 설계를 실현하였다. 본 연구의 한계로는 수요조사 대상이 천안 지역에 국한되어 있어 결과의 일반화에 제약이 있다는 점과, 시범 운영 전 단계이므로 교육 효과에 대한 실증 데이터를 확보하지 못하였다는 점을 들 수 있다. 향후 연구에서는 시범 운영 결과를 분석하여 교육 효과를 실증적으로 검증하고, 수요조사를 충청남도 전역으로 확대하여 교육 모델의 범용성을 높이는 방향으로 연구를 발전시킬 계획이다.

REFERENCES

- [1] K. Schwab, The Fourth Industrial Revolution, Crown Business, New York, 2017.
- [2] L. Da Xu, W. He, and S. Li, "Internet of Things in Industries: A Survey," IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol.10, No.4, pp.2233-2243, 2014.
- [3] H.J.Park and I.S.Cho, "The Effect of Perceived Organizational Support on the Innovative Behavior of Organizational Members for the Activation of Smart Factories in Small and Medium Manufacturing Enterprises," Journal of Global Business Administration, Vol.18, No.1, pp.119-139, 2021. (in Korean)
- [4] J.M.Joo and H.J.Na, "An Analysis of Domestic Research Trends on the Internet of Things (IoT)," Informatization Policy, Vol.22, No.3, pp.3-15, 2015. (in Korean)
- [5] H. Kagermann, W. Wahlster, and J. Helbig, "Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0," National Academy of Science

and Engineering (acatech), Frankfurt, 2013.

- [6] J. Lee, B. Bagheri, and H. A. Kao, "A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems," *Manufacturing Letters*, Vol.3, pp.18-23, 2015.
- [7] Ministry of SMEs and Startups, "2023 Smart Factory Dissemination Status Report," Korea Smart Manufacturing Industry Association, Seoul, 2023.
- [8] S.P.Lee, H.S.Ko, H.U.Jung, and S.B.Park, "Construction of a Manufacturing Big Data Analysis Platform for Small and Medium Enterprises," *Informatization Research*, Vol.17, No.3, pp.239-253, 2020. (in Korean)
- [9] T. Zheng, M. Ardolino, A. Bacchetti, and M. Perona, "The Applications of Industry 4.0 Technologies in Manufacturing Context: A Systematic Literature Review," *International Journal of Production Research*, Vol.59, No.6, pp.1922-1954, 2021.
- [10] Y.M.Lee and Y.S.Park, "A Study on the Conceptualization of AI Literacy and the Design of Liberal Arts Education," *The Journal of Language & Literature (Eomunnonjip)*, Vol.85, pp.451-474, 2021. (in Korean)
- [11] O.S.Ha and J.W.Jung, "The Effects of Problem-Based Learning (PBL) on University Students' Self-Directed Learning Ability, Problem-Solving Ability, and Self-Efficacy," *The Journal of Yeolin Education*, Vol.29, No.5, pp.73-93, 2021. (in Korean)
- [12] B. Marr, *The Intelligence Revolution: Transforming Your Business with AI*, Kogan Page, London, 2020.
- [13] World Economic Forum, "The Future of Jobs Report 2020," World Economic Forum, Geneva, 2020.
- [14] R. W. Tyler, *Basic Principles of Curriculum and Instruction*, University of Chicago Press, Chicago, 1949.
- [15] W.H.Heo, "A Case Study on the Industry-Linked Capstone Design Program," *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol.11, No.6, pp.119-125, 2020. (in Korean)
- [16] Y.H.Choi and J.G.Myung, "A Study on the Support Plan for Talent Development of Supplier Companies in the Smart Manufacturing Industry," *Journal of Practical Engineering Education*, Vol.12, No.1, pp.177-186, 2020. (in Korean)
- [17] J.H.Cho and W.S.Shin, "Development and Application of a Readiness Assessment Framework for Smart Factory Adoption by SMEs," *Journal of Korean Society for Quality Management*, Vol.47, No.1, pp.1-15, 2019. (in Korean)

이 근 호(Keun Ho Lee)

[종신회원]



- 2006년 8월 : 고려대학교 컴퓨터학과(이학박사)
- 2006년 9월 ~ 2010년 2월 : 삼성전자 DMC연구소 책임연구원
- 2010년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 컴퓨터공학부 교수

<관심분야>

AX, AI보안, 침해사고대응, 융합보안, 개인정보보호, 블록체인, 산업보안, 취약점분석, 모의해킹 등