

Development of a PLC Serial Communication Training Model Using a Communication Frame Analysis Tool

Jong-Joo Kim*, Seung-min Oh**, Seong-Hyun Park***

*Ph.D Student, Dept. of Computer Engineering, Kongju National University, Chungnam, Korea

**Professor, Dept. of Computer Engineering, Kongju National University, Chungnam, Korea

***Lecturer, Dept. of Computer Engineering, Kongju National University, Chungnam, Korea

[Abstract]

As the manufacturing industry rapidly shifts toward a data-driven smart factory environment, the stable integration of data in production facilities is becoming increasingly important. Although recently developed equipment is evolving to support industrial networks, many lower-level controllers in existing semiconductor equipment still use serial communication. In addition, devices supporting Ethernet-based communication have different manufacturer-specific data frame structures, which causes difficulties in data collection across heterogeneous systems and in integration with higher-level systems. Replacing existing equipment all at once is costly, and relying on external specialists presents limitations in terms of equipment characteristics and maintenance. Therefore, this paper analyzes data frames generated during the data transmission and reception process between industrial PLCs and subordinate controllers using communication auxiliary tools. The data frame structure is segmented by field, and incorrect fields are detected to provide learners with correction guidance. Learners are expected to contribute to cultivating personnel who can understand various communication protocols for different devices based on communication support tools and progressively improve on-site equipment systems.

▶ **Key words:** PLC, Communication, FA Education, SmartFactory, Data Frame Analysis

[요 약]

제조 산업이 데이터 중심의 스마트 팩토리 환경으로 빠르게 변화되면서, 생산 설비의 안정적인 데이터 통합이 중요해지고 있다. 최근 개발되는 설비는 산업용 네트워크를 지원하는 방향으로 발전하고 있으나, 기존 반도체 설비의 하위 컨트롤러는 여전히 시리얼 통신을 사용하는 경우가 많다. 또한, Ethernet 기반 통신을 지원하는 장치도 제조사별 데이터 프레임 구조가 다르므로, 이기간에 데이터를 수집하고, 상위 시스템과 연동 과정에서 어려움이 존재한다. 기존 설비를 일괄 교체하는 것은 비용 부담이 크고, 외부 전문 인력에 의존할 경우, 장비 특성과 유지보수 측면에서 한계가 따른다. 이에, 본 논문에서는 산업용 PLC와 하위 컨트롤러가 데이터를 송수신하는 과정에서 발생하는 데이터 프레임을 통신 보조 도구를 활용하여 분석한다. 데이터 프레임 구조를 필드 단위로 세분화하여 학습하고, 잘못된 필드를 검출하여 학습자에게 수정 가이드를 제시한다. 학습자는 통신 보조 도구를 기반으로 장치별 다양한 통신 프로토콜을 이해하고, 현장 설비의 시스템을 단계적으로 개선할 수 있는 인력 양성에 기여할 것으로 기대된다.

▶ **주제어:** PLC, Communication, FA Education, SmartFactory, Data Frame Analysis

• First Author: Jong-Joo Kim, Corresponding Author : Seung-min Oh

*Jong-Joo Kim (kjjzzang21c@naver.com), Dept. of Computer Engineering, Kongju National University

**Seung-min Oh (smoh@kongju.ac.kr), Dept. of Computer Engineering, Kongju National University

***Seong-Hyun Park (a94270816@gmail.com), Dept. of Computer Engineering, Kongju National University

• Received: 2026. 08. 28, Revised: 2026. 09. 08, Accepted: 2026. 09. 29.

I. Introduction

최근 제조 산업은 단순 자동화의 수준을 넘어 데이터 기반의 고도화된 스마트팩토리 환경으로 빠르게 전환되어가고 있다. 스마트팩토리를 구현하기 위해 생산 설비, 센서, 컨트롤러, 상위 시스템 간의 연결이 중요하며, 설비의 상태를 실시간으로 수집하고 장비 간 데이터를 송수신하는 것이 핵심 기술 중 하나이다. 다양한 장치로부터 데이터를 안정적으로 주고받고, 이를 하나의 통합 네트워크 환경으로 구성하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다[1][2].

최근 개발 및 제작되는 컨트롤러들은 Ethernet 기반의 산업용 네트워크 지원이 확대되고 있지만, 기존에 제작된 하위 컨트롤러는 RS-232 또는 RS-485 기반의 시리얼 통신으로 구성되었다[3]. 특히, 반도체 설비를 구성하는 다양한 컨트롤러들은 제조사와 적용 목적에 따라 통신 프레임 구조가 다르게 적용되어 있다. 이에 따라, 신규 설비뿐만 아니라 기존에 제작되어 운영 중인 장비들을 하나의 통신 프로토콜로 통합하거나 상위 제어 시스템과 연동하는 과정에서 어려움이 존재한다. 기존 장비는 통신 사양이 표준화되어 있지 않거나 통신 프로토콜이 다양하게 적용되어 있기 때문에, 스마트팩토리를 구현하기 위해 현장에서 송수신 데이터 프레임을 분석하고, 오류가 발생한 필드를 식별하여 정상 데이터를 송수신할 수 있도록 통신의 역량을 갖춘 엔지니어가 필요한 상황이다[4]. 반면, PLC를 활용한 장비 제어 프로그램 교육 등에 대한 커리큘럼과 교육은 활성화되어 있지만, 이기종 간의 산업용 통신 교육은 상대적으로 미비한 상황이다. 이러한 산업적 요구에 맞추어 시리얼 통신 등 다양한 통신 기법에 대한 기초 교육과 실습 기반의 문제 해결 교육이 필요하다[5][6].

이에, 본 논문에서는 반도체 설비에서 사용되는 다양한 장치의 시리얼 통신 프로토콜을 시뮬레이터로 구현하고, 학습자가 통신 프레임의 구조를 필드 단위로 분리하여 이해할 수 있는 보조도구를 활용한 교육 모델을 제안한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 보조도구를 통한 PLC 통신 교육 제안 모델을 적용하기 위해 산업용 통신에 대한 종류와 데이터 프레임의 구조에 대해 논의한다. 3장에서는 여러 종류의 장치를 시뮬레이터로 구현하고, 통신 보조도구를 활용한 시스템 구성을 제안한다. 4장에서는 제안된 모델을 기반으로 기존 교육과의 학습 성과를 분석한다. 마지막으로, 5장에서 제안된 학습 모델의 평가 결과를 기반으로 결론을 도출한다.

II. Preliminaries

2.1 PLC(Programmable Logic Controller)

PLC는 정해진 공정 프로세스 순서에 맞추어 설비의 입출력 요소들을 순차적으로 제어하며, 설비를 자동으로 운전하기 위한 대표적인 산업용 제어장치이다. PLC는 센서와 스위치 등의 입력 신호를 수집하고, 실린더와 모터 등 액추에이터를 입력된 프로그램에 맞추어 제어한다[7]. PLC 기반 제어 시스템은 산업현장에서 반복적인 작업을 자동화하여, 작업자의 개입을 감소시킨다. 이를 바탕으로, 공정 조건을 안정적으로 유지하고, 설비와 품질의 신뢰성이 향상되도록 한다[8].

2.2 Communication Protocol

PLC는 RS-232C, RS-422/485와 같은 직렬 통신 인터페이스뿐만 아니라, Ethernet/IP, OPC UA 등 다양한 산업용 통신 프로토콜을 지원할 수 있으며, 이를 기반으로 다양한 산업용 컨트롤러와 데이터를 송수신할 수 있다[9]. 설비의 상태 정보를 수집하고, 제어 명령을 전달함으로써 공정의 감시 제어 및 실시간 감시 시스템을 구축하는 핵심 장치로 활용된다.

PLC는 MES(Manufacturing Execution System)와 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 등의 상위 정보 시스템과 연결하여 스마트 제조 환경을 구현하는데 중요한 역할을 수행한다[10].

2.3 SECS Protocol

SECS(Semi Equipment Communications Standard)는 반도체 제조 장비 또는 장비 컨트롤러와 컴퓨터 간 데이터를 송수신하기 위한 1:1 대응의 표준 통신 규약이다. 반도체 제조 환경에서 장비의 운전 상태를 감시하고, 공정 조건을 설정하거나 장비의 이벤트 및 오류 정보를 수집한다[11]. SECS-I를 표준으로 통신을 구성하는 경우, RS-232C 직렬 통신 기반으로 8비트 문자에 정지 비트를 포함하여 데이터를 송수신한다. 1:1 연결 구조를 적용하여 연결 관계가 명확하고, 통신 설정 및 유지보수가 비교적 단순하므로, 반도체 설비 내부의 하위 컨트롤러로 사용된다[12]. SECS-II는 메시지 구조와 기능에 관해 규정하며, 주고받을 메시지의 스트림과 함수로 조합된다. 장비의 특성에 맞게 새로운 메시지를 사용자가 정의할 수 있도록 하였으며, 주로 TCP/IP를 기반으로 HSMS를 통해 전송하는 방법으로 활용되고 있다[13].

2.4 PLC Communication Education

PLC 교육은 일반적으로 제어 프로그램 작성 능력을 기반으로 이루어지며, SCADA와 HMI를 연동하여 설비 상태를 모니터링하고, 데이터를 송수신하는 통신 실습이 병행되고 있다. 그러나, 통신 실습은 HMI, SCADA 제조사에서 제공하는 통신 드라이버와 프로토콜을 기반으로 구성되고, 태그 매핑을 중심으로 교육되는 경우가 많아서 송수신 프레임의 구조와 오류 분석에 한계가 있다[14]. 이러한 한계를 보완하기 위해 다양한 산업용 프로토콜과 이기종 장비와 연동한 교육 환경을 구성하기 위한 연구가 이루어지고 있다[15].

III. The Proposed Scheme

3.1 System Configuration

다음의 Fig. 1. 은 PLC의 시리얼 통신 교육을 진행하기 위해 제안 모델인 시뮬레이터의 통신 보조 도구를 활용한 교육 모델과 실제 장비를 활용한 교육 모델에 대한 시스템 구성도를 나타낸 것이다.

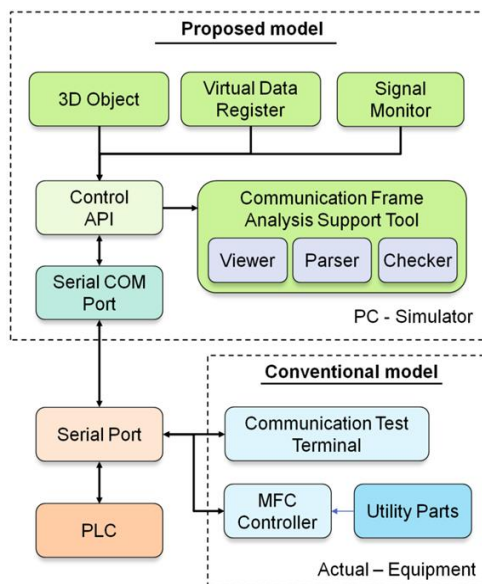


Fig. 1. System Configuration Diagram

제안 모델은 3D 오브젝트를 통해 반도체 유틸리티 부품들을 자유롭게 배치하고 가스 배관을 연결할 수 있도록 구현되었다. ON/OFF 제어가 가능한 디지털 장치(다이아프램 밸브, 솔레노이드 밸브 등)와 0~10V의 아날로그 장치(MFC, 쓰로틀밸브 등)가 라이브러리로 제공된다. 가상 데이터 레지스터 영역은 장치의 디지털 및 아날로그 데이터

를 기록하고, 신호 모니터 기능을 통해 실시간으로 값을 확인할 수 있다. 시뮬레이터는 학습자가 생성한 3D 오브젝트와 배치도를 기반으로, 컨트롤 API를 통해 실제 장비와 유사한 데이터로 조정한다.

통신 보조 도구는, 컨트롤 API를 통해 송수신되는 데이터 패킷을 분석하고 감시하는 기능을 수행한다. Viewer는 시리얼 통신 과정에서 주고받는 데이터를 Hex 또는 ASCII 형식으로 표시하며, 필드별 데이터와 오류 상태를 확인할 수 있는 기능을 내장한다. Parser는 입력된 데이터 패킷을 필드 단위로 세분화하여 필드 테이블에 저장한다. Checker는 Parser에 의해 생성된 필드 테이블에 입력된 데이터 값과 사전 정의된 필드 테이블 값이 일치하는지 여부를 확인한다. 만약, 필드 테이블의 값이 불일치할 경우, 오류가 검출된 필드를 표시하고 자기주도 학습이 가능하도록 오류 해결 방향을 제안한다.

전통 모델은 실제 장비를 활용한 통신 교육 모델로, PC의 통신 테스트 터미널 프로그램을 이용하여 장비와 시리얼 통신의 데이터를 송신하고, 응답 데이터를 수신한다. 통신이 정상적으로 이루어질 경우, 실제 MFC 컨트롤러와 시리얼로 연결하여 데이터를 주고받으며, 오류가 발생할 때 보정하는 실습을 진행한다.

3.2 System Process

다음의 Fig. 2. 는 산업용 PLC를 통해 시뮬레이터에 접속하여 필요 데이터를 송수신하기 위한 시리얼 통신 과정을 나타낸 시스템 프로세스이다.

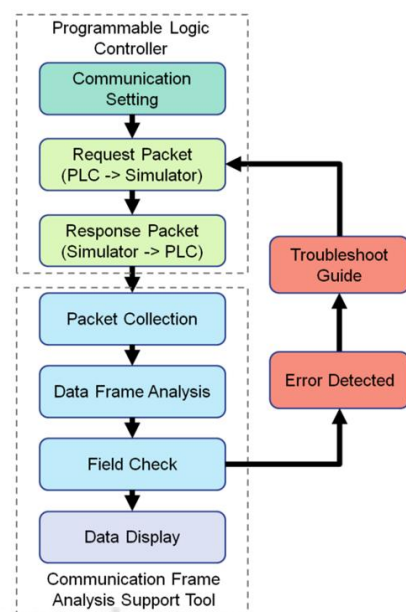


Fig. 2. System Process

첫 번째, 산업용 PLC를 통해 PC의 시리얼 포트와 통신 케이블을 통해 연결하고, 통신 속도 및 패리티 비트 등에 대한 통신 파라미터를 설정한다. 시뮬레이터에 연결된 장치의 요청 데이터 프레임에 맞추어 패킷을 시뮬레이터로 송신한다. 시뮬레이터는 수신된 데이터 프레임을 분석하여 응답 패킷을 PLC로 송신한다.

두 번째, 시뮬레이터의 통신 보조 도구는 요청 및 응답 패킷 데이터를 수집하여 분석한다. 분석된 데이터 프레임은 필드 단위로 세분화하고 뷰어를 통해 Hex 또는 ASCII 형식으로 표시한다.

세 번째, 이 과정에서 데이터의 프레임 형식이 맞지 않거나 이상 데이터가 파악될 경우, 학습자가 수정 코드를 작성할 수 있도록 시뮬레이터를 통해 오류 항목을 표시하고, 조치 가이드 메시지를 제공하게 된다.

3.3 오류 탐지 및 트러블 슈팅

다음 Table 1. 은 시뮬레이터에 구성된 MFC 컨트롤러 등 통신 장치들과 데이터를 송신 및 수신하는 과정에서 발생할 수 있는 오류를 학습자가 분석할 수 있도록 탐지하기 위한 검사 항목 중 일부를 나타낸 것이다.

Table 1. Data Frame Field

Field	Error Detection Method	Action
Header	Header format check	Check header
ID	Device ID comparison	Modify ID
CMD	Command code comparison	Check CMD
RESP	Response code check	Check RESP
TYPE	Data type comparison	Modify type
LEN	Data length comparison	Modify length
Data	Byte order check	Check H/L
Data	Value range check	Modify value
CHK/CRC	Checksum recalculation	Recalculate CHK/CRC
END	End delimiter check	Check END

먼저, 송신 또는 수신된 데이터 패킷을 필드 단위로 세분화하고 필드 테이블에 맞추어 구조화한다. Header와 END에 해당하는 필드는 데이터 프레임의 시작과 종료를 나타내는 코드로 일치 여부를 검사한다. ID 필드는 접속 대상인 장치와 일치하는지 확인하기 위한 식별 번호로, 디바이스 ID 정보를 검사하고 학습자에게 접속 기기에 대한 정보를 제공한다. CMD와 RESP 필드는 연결된 기기에서 제공하는 요청 명령과 응답 명령에 대한 유효성 및 대응 관계에 대해 검사하게 된다. TYPE과 LEN 필드는 데이터를 송수신하는 과정에서 데이터 형식과 데이터의 길이가

실제 일치하는지 여부를 판단하는 기준으로 사용된다.

특히, DATA 필드는 실제 장치의 상태 값을 나타내는 영역으로, 데이터의 타입과 길이가 일치하는지 확인하고 오류 유무를 검증한다. 이 과정에서 바이트 스왑에 따른 상태 값 해석 오류가 발생하면, 통신 자체는 정상적으로 보이지만 잘못된 값이 적용될 수 있다. 잘못된 값에 대한 입력을 방지하기 위해 데이터 영역의 바이트 배열, High Byte와 Low Byte의 순서, 데이터 타입 별 해석에 대한 오류를 진단하고, 허용 가능 값인지 확인한다.

마지막으로, CHK/CRC 필드는 송수신 데이터의 무결성을 검증하는 영역으로, 데이터 프레임 필드 항목에 입력된 값을 종합하여 CRC 또는 체크섬 연산 결과를 검증한다.

IV. System Evaluation

본 연구는 MELSEC Q PLC 교육에 참여한 전체 학생을 대상으로 사전 평가를 진행하였고, 기초 통신 이론에 대한 이해 수준이 유사한 학습자를 대상으로 선정하였다. 선정된 학습자는 두 개의 집단으로 구분하였으며, 집단별 나이와 성별은 Table 2. 과 같다.

Table 2. Composition of participants by group

Group	Number of Participants	Male	Female	Age Range
A	15	15	0	21-24
B	15	15	0	21-25

교육 진행은 전체 학생을 대상으로 실시하였으나, 실험 분석은 초기 학습 수준의 차이가 사후 평가 결과에 미치는 영향을 최소화하기 위해 사전 평가 결과를 기준으로 선정된 학습자만 Table 3. 의 절차에 따라 실험 및 평가에 참여하였다.

Table 3. Evaluation Procedure

Stage	Procedure	Main Content
1	Pre-test and evaluator selection	Basic Communication Knowledge
2	Common Education	Basic training in serial communication
3	Model based training	Group A : Simulator Group B : Terminal-based real device
4	Post-test	RS-485 Communication Connection, Frame Analysis, and Error Resolution

먼저, 공통 교육 과정을 통해 시리얼 통신의 기본 개념에 대해 학습하였으며, 각각 학습 모델을 기반으로 RS-232C 통신을 연결하고, 데이터를 송수신하는 과정에 대해 학습하였다. 사후 평가는 RS-485 통신 기반의 장치를 대상으로 학습자가 직접 통신을 연결하고, 데이터를 송수신하도록 하였다. 이 과정에서 정상적으로 데이터를 송수신하기까지 소요된 시간을 분석하고, 문제 해결 시나리오를 기반으로 추가적인 평가를 진행하였다. 사후 평가를 통해, 새로운 통신 환경을 기반으로 학습자가 데이터 프레임 분석하고, 문제를 해결하는 과정에서 A 그룹과 B 그룹의 수행 결과를 비교 및 분석하였다.

제안 모델의 교육 효과를 검증하기 위해, 다음의 Fig. 3. 와 같이 A그룹은 실제 장비와 유사한 환경의 가상 시뮬레이터를 통해 학습을 진행하였고, B그룹은 터미널 기반 프로그램과 실제 장비를 활용하여 학습을 진행하였다.



Fig. 3. Real equipment and virtual simulator

실험에 사용된 장비는 반도체 분야에서 활용되는 부품에 대한 학습을 위해 제작된 것이며, 가스 레귤레이터, 밸브류 등 다양한 장치들로 구성된다. 특히, MFC 컨트롤러, 쓰로틀 밸브와 같은 일부 장치들은 시리얼 통신 기능이 내장되어 있으며, 통신 프레임의 구조가 다르게 적용되어 있다.

본 연구에서 실제 장비를 기반으로 통신 실습을 하는 학습자가 경험하는 프레임 해석의 어려움을 보완하기 위해 다음 Fig. 4. 과 같이 시리얼 통신 시뮬레이터에 통신 보조 도구를 구현하였다. 시뮬레이터에서 제공되는 장치의 통신 프로토콜 구조는 실제 장비와 유사한 환경으로 구현되었다.



Fig. 4. Communication Frame Analysis Support Tool

시뮬레이터에서 제공하는 장치에 맞추어 PLC의 통신 속도 등을 설정하고, 지정된 프로토콜에 맞추어 데이터 프레임을 전송한다. 시뮬레이터에서 PLC 송신 프레임의 필드 항목 테이블을 세분화하여 검사하고, PLC에게 데이터를 피드백한다. 검사 결과 데이터 구조에 문제가 있을 경우, 여러 상태를 표시하며 조치 가이드를 통해 수정 및 보완할 수 있도록 제안하는 기능을 내장한다.

다음 Table 4. 은 A그룹과 B그룹의 통신에 대한 기초 지식 수준을 확인하기 위한 사전 평가 결과를 나타낸 것이다.

Table 4. Pre-test Results

Evaluation item	A Group	B Group
PLC Programming	57.3	62.0
Basic serial communication	35.3	32.7
Communication parameter	25.3	29.3
Frame structure	23.3	21.3
Error detection	14.7	17.3
Average	31.2	32.5

사전 평가 결과, PLC 프로그램 작성 및 활용 능력에서 두 집단의 점수가 상대적으로 높았지만, 통신에 대한 이론, 파라미터 등에 대한 기초 지식은 상대적으로 낮았다. 이는, 학습자들이 PLC 프로그램에 대한 기초 지식은 보유하고 있으나, 시리얼 통신의 프레임 구조 등의 사전 이해가 부족했음을 의미한다. 전체 평균 A그룹은 31.2 점이며, B그룹은 32.5 점으로 나타났으며, 두 집단 간의 평균 차이는 1.3점으로 크지 않아 교육 전 기초 수준은 유사한 것으로 판단하였다.

다음 Table 5. 은 사후 평가 과정에서 수행 항목별 과제를 해결하는데, 소요된 시간을 측정한 것이다.

Table 5. Post-test Results (Completion Time)

Evaluation item	A Group	B Group	p-value
PV Read Time(min)	17 (13-27) ±4.26, n=15	19 (12-25) ±4.24, n=15	0.169
SV Write Time(min)	26 (21-38) ±4.19, n=14	36 (28-45) ±4.59, n=12	<0.001
SV Error Resolution Time(min)	12 (8-17) ±2.76, n=12	18 (10-28) ±6.34, n=9	0.030

PV Read 시간 측정은 제공되는 매뉴얼을 기반으로 대상 장치에 맞추어 통신 파라미터를 설정하는 시간부터 현재 값을 읽어 오기 위한 송신 프레임 작성하여 데이터를 정상적으로 수신하는데 걸린 시간을 측정한 것으로 두 집단 간 차이가 크지 않았다. SV Write의 시간 측정은 대상 장치에 설정값을 입력하는 데이터 프레임을 송신하고, 정상 데이터 수신까지 걸린 시간을 나타낸다. 이 과정에서, 학습자는 데이터 필드와 체크섬 또는 CRC를 직접 설정한다. 시간 측정 결과 A 그룹은 평균 26분이 소요되었지만, B그룹은 36분이 소요되면서 시간의 격차가 벌어졌다. SV Error Resolution의 시간 측정은 바이트 스왑, 체크섬 코드 오류 등의 잘못된 코드를 제공하고, 학습자가 오류를 분석해 정상적으로 데이터를 송수신하기까지 걸린 시간을 나타낸 것이다. 측정 결과, A 그룹은 평균 12분이 소요되었지만, B그룹은 평균 18분의 시간이 소요되었다.

다음 Table 6. 은 사후 평가에 따른 학습자의 통신 성공률을 나타낸 것이다.

Table 6. Post-test Results (Success Rate)

Task Success Rate	A Group	B Group
PV Read	15/15 (100%)	15/15 (100%)
SV Write	14/15 (93.3%)	12/15 (80.0%)
SV Error Resolution	12/15 (80.0%)	9/15 (60.0%)
Final Success	12/15 (80.0%)	9/15 (60.0%)

사후 평가의 성공률은, 두 집단이 PV Read 과제에서는 유사한 수행 결과를 보였으나, SV Write와 SV Error Resolution 과제에서는 A 그룹이 B 그룹보다 높은 성공률을 보였다. 특히, SV Error Resolution 과제에서 A 그룹은 80.0%, B 그룹은 60.0%의 성공률을 보였다.

사후 평가 결과, 통신 보조 도구를 활용한 시뮬레이터 교육 모델이 RS-485 장치의 데이터 프레임 분석 및 오류 해결 과정에서 과제 수행 시간과 성공률이 전통 교육 모델에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

V. Conclusions

최근 산업현장에서 스마트팩토리가 급격하게 확산되면서 장비 간 통신에 대한 수요가 증가하고 있으나, 기존에 제작되어 운용되고 있는 반도체 설비들은 시리얼 통신이 주류를 이루고 있으며, 자체적으로 통신 프로토콜을 변경하고 운용하기에 내부 기술 인력이 부족하다. 이를 보완하고자 자기주도학습이 가능한 통신 보조 도구를 활용한 시뮬레이터 기반 교육 모델과 실제 교육 현장에서 이루어지고 있는 교육 모델을 비교 및 분석하였다. 통신 교육은 사전 지식수준에 따라 문제 해결능력에 영향을 줄 수 있으므로, 사전 평가를 시행한 후 지식수준이 유사한 학습자를 기준으로 선정하였다. 교육 과정에서, 통신 보조 도구를 활용한 그룹은 송수신 데이터의 필드 별 값과 에러 유무 상태를 확인하고, 정상 데이터 패킷으로 수정할 수 있었다. 지속된 에러는, 통신 보조 도구에서 제안하는 조치 가이드의 지침에 따라 데이터 패킷을 스스로 수정하였다. 반면, 전통 교육 그룹은 터미널 기반의 프로그램 교육으로, 통신 프레임의 오류가 발생된 필드를 파악하는데, 어려움을 느꼈다. 비교 결과, 기초 교육 후 제공되는 단순 매뉴얼을 활용한 실험에서는 제공되는 프레임 구조에 맞추어 데이터를 송수신하기 때문에 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 반면, 설정값을 입력하고 통신 프레임의 오류를 분석하여 수정하는 과정에서는 데이터 프레임의 구조, 체크섬, 바이트 스왑 등의 이해가 필요한 부분의 핵심 과정은 제안 모델인 A 그룹이 B 그룹에 비해 완성 시간 및 성공률에서 앞서는 것으로 파악되었다.

향후 연구에서는 학습자의 다양한 교육 환경과 지식수준을 고려하여, 통신 보조 도구를 활용한 교육 효과에 대해 다각도로 연구할 필요가 있다. 또한 학습자를 기반으로 실제 산업현장에 제안 모델은 시뮬레이터의 보조 기능을 활용하여 통신 프레임 구조에 대해 세부적으로 분석하고 오류에 대한 지침을 통해 자기주도학습이 가능하다. 이를 기반으로 통신에 대한 원활한 교육 및 오류에 대한 분석이 가능할 것으로 보인다. 본 연구는 반도체 분야뿐만 아니라 다양한 장비를 제조하는 현장에서 내부적인 기술 인력을 양성하고, 스마트팩토리 등 발전에 기여할 것으로 보인다.

REFERENCES

- [1] CHOU, S. Y., DEWABHARATA, A., & YU, T. H. K. . "From industry 4.0 to the fourth industrial revolution", Journal of information and management, Vol. 38, No. 1, pp. 14-25, 2018. DOI: 10.20627/jsim.38.1_14
- [2] Schlemitz, A., & Mezhuyev, V., "Approaches for data collection and process standardization in smart manufacturing: Systematic literature review", Journal of Industrial Information Integration, Vol. 38, pp. 100578, 2024. DOI: 10.1016/j.jii.2024.100578
- [3] Kim, D.W, Jeon, J. M., Lee, B. H., Kim, H. S., Lee, H. G., "Application Implementation for the SECS Protocol Communication between Equipments and a Host in a Semiconductor Process," In Proceedings of the Institute of Control, Robotics and Systems Conference, pp. 293-293, 2000.
- [4] Laghari, S. A., Manickam, S., & Karuppayah, S., "A review on SECS/GEM: A machine-to-machine (M2M) communication protocol for industry 4.0." International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications, Vol. 10, No. 2, pp. 105-114, 2021.
- [5] Rudiansyah, H., Ridwan, R., Purnomo, W., Hadiani, D., & Arrizik, M. Z., "Design and Build of Communication Protocol Trainer Tools on Networks between PLCs and HMIs", Journal La Multiapp, Vol. 5, No. 6, pp. 849-859, 2024. DOI : 10.37899/journallamultiapp.v5i6.1633
- [6] Rosado-Munoz, A., Munoz-Mari, J., Calpe-Maravilla, J., Guerola-Tortosa, J., & Blay-Corcho, W., "An industrial communication networks laboratory for distributed automation systems", International Journal of Engineering Education, Vol. 21, No. 5, pp. 964-972, 2005.
- [7] Ujam, C. J. "Design and Implementation of PLC-Based Automation for Smart Manufacturing Systems" International Journal of Science, Architecture, Technology, and Environment, Vol. 3, No. 1, pp. 743-756. , January 2026 DOI: 10.63680/ijstate0126094.078
- [8] Han, J. S., & Yoo, J. S., "Design and Implementation of Modbus Communications for Smart Factory PLC Data Collection." The Journal of the Korea Contents Association, Vol. 21, No. 4, pp. 77-87, 2021, DOI : 10.5392/JKCA.2021.21.04.077
- [9] Han, E., Park, S. M., & Hong, S. E., "Design and Implementation of Web-based PLC Laboratory for Industrial Automation Training", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 11. No. 1, pp. 101-106, 2010, DOI: 10.5762/KAIS.2010.11.1.101
- [10] Hudedmani, M. G., Umayal, R. M., Kabberalli, S. K., & Hittalamani, R., "Programmable logic controller (PLC) in automation." Advanced Journal of Graduate Research, Vol. 2, No. 1, pp. 37-45, 2017. DOI: 10.21467/ajgr.2.1.37-45
- [11] Jo, J. G., Park, H. L., & Lyoo, J. (2003). Implementation of SECS/GEM Communication Protocol for Wafer Aligner. In Proceedings of the IEEK Conference (pp. 2553-2556). The Institute of Electronics and Information Engineers.
- [12] Choi, H.I., Park, S. S., Choi, Y. Y., "Development of Serial Communication Program for Semiconductor Equipment and Host by SECS-I", Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, pp. 955-958, 1997.
- [13] Lim, Y. M., Hwang, I. S., Kim, W. S., Park, G. D., "Design of Software Architecture for Integrating of Messages between Semiconductor Equipments." Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 12, No. 2, pp. 151-160, 2007.
- [14] Lee, S., "Integration Of Motion Control Teaching Components Into The Programmable Logic Controller Course." In 2009 Annual Conference & Exposition, pp. 14-776, June 2009.
- [15] Arrizik, M. Z., "Rancang Bangun alat Trainer Protokol Komunikasi pada Jaringan antar PLC dan HMI Sebagai Media Pembelajaran", Politeknik Manufaktur Bandung, 2024.

Authors



Jong-Joo Kim received his M.S. degree in Computer Engineering from Kongju National University in 2023. He is currently pursuing a Ph.D. in the same department at Kongju National University since 2024.

I am interested in configuring automation systems such as smart factories and IOTs applied with computers.



Seung-min Oh received the B.S. and Ph.D. degrees in computer engineering from Chungnam National University, Republic of Korea, in 2009 and 2015, respectively. From 2016 to 2019, he was a Postdoctoral

Researcher with the Network Research Laboratory, University of California at Los Angeles, Los Angeles, CA, USA. Since 2019, he has been an Associate Professor with the Department of Computer Science and Engineering, Kongju National University. His research interests include routing protocols and applications for sensor networks, the Internet of Things (IoT), and the Internet of Vehicles (IoV).



Seong-Hyun Park received the B. S. degree in College of Arts and Music from Chungnam National University, Korea in 2017. The M. S. and Ph. D. degrees in Computer Engineering from Kongju National

University, Korea, in 2017, 2020. He is currently a teaching in the Department of Computer Science & Engineering. Kongju National University. He is interested in computer music, convergence Education. and Real Time System and Management and Cloud computing and Communication