

원거리 학습을 이용한 실시간 PLC 실습환경 개발 및 적용사례

이성열*

관동대학교 공과대학 컴퓨터학부

A Case Study of On-line PLC Laboratories Using Distance Learning

Lee, Sungyoul

Division of Computers, Kwandong University, Yangyang, 215-802

This paper describes the development of on-line Programmable Logic Controller(PLC) laboratories to teach the detailed operation of a PLC using distance learning approach. The PLC has become a key component to provide intelligence for machines in CIM environment. This study introduces a case study that teaches PLC programming in distance learning environment. The study describes the contents of PLC laboratories and workstation set ups. The study concludes with problems found and proposes the ways to improve the on-line laboratories.

Keywords: PLC programming, distance learning, e-learning, on-line laboratory

1. 서론

최근의 제조현장의 자동화 추세에 따라 PLC 프로그래밍의 수요 및 응용기회가 날로 늘어가고 있다. 이에 따라 대학 및 공장에서도 PLC 교육에 대한 관심이 고조되고 있어, 본 연구에서는 효율적인 PLC 교육의 일환으로 Windows XP의 '원거리 데스크탑 연결' 기능을 이용한 원거리 학습환경에서의 실시간 PLC 실습에 대한 사례연구를 소개한다.

본 연구에서는 인터넷을 이용한 실습장비의 실시간 제어의 개발을 다룬다.

본 연구의 구성은 먼저 원거리 학습에 대한 개요와 워크스테이션 설정방법을 소개한다. 실제 실습에서의 어려움을 낮추고 PLC 명령어들에 대한 사전 지식을 갖도록 하기 위해 개발된 시뮬레이션 프로그램도 설명된다. 다음으로 실습내용이 간략한 PLC 프로그램과 함께 설명된다. 마지막으로 원거리 실습을 통해 도출된 문제점을 토의하고 결론 및 추후과제를 도출한다.

2. 워크스테이션 설정방법

원거리 서버 워크스테이션은 4개의 PLC와 4개의 팬티엄 IV PC가 로크웰 DH485 네트워크를 이용하여 연결되었으며, 그 구조도가 <Figure 1>에 보여진다. <Figure 2>는 실시간 원격 PLC 실습 구성도를 보여 준다. 사용자는 Windows XP가 설치되고 인터넷 액세스가 가능한 PC로부터 XP의 '원거리 데스크탑 연결' 기능을 이용하여 언제 어디서나 원격으로 서버 워크스테이션에 접속할 수 있다. <Figure 1>을 살펴보면, 각 PC의 RS232 시리얼 포트가 Allen Bradley의 1747-PIC 인터페이스 컨버터를 통해 연결되었다. 인터페이스 컨버터의 출력은 다시 DH485 링크 커플러에 연결된다. 이 링크 커플러는 PC와 PLC를 DH485 네트워크에 연결한다. 네트워크 상의 각 PLC는 하나의 전원공급장치(power supply)와 7개의 슬롯 랙을 갖고 있는 SLC 500 5/03 프로세서를 탑재하고 있다. 프로세서 랙에 있는 다른 모듈은 16터미널 AC 입력 모듈, 16터미널 DC 입력 모듈, 8터미널 AC/

*연락처 : 이성열 교수, 215-802 강원도 양양군 양양읍 임천리 7번지 관동대학교 공과대학, Fax : 033-671-4144, E-mail : sylee@kd.ac.kr
2005년 5월 접수, 1회 수정 후 2005년 10월 게재 확정.

DC 출력 모듈과 2채널 입·출력 아날로그 모듈이다. 각각의 프로세서 랙에서 1개의 슬롯은 비어 있다. AC 입력 모듈은 현재로서는 어떤 장비도 연결되어 있지 않아서 시뮬레이션에서도 생략되었다.

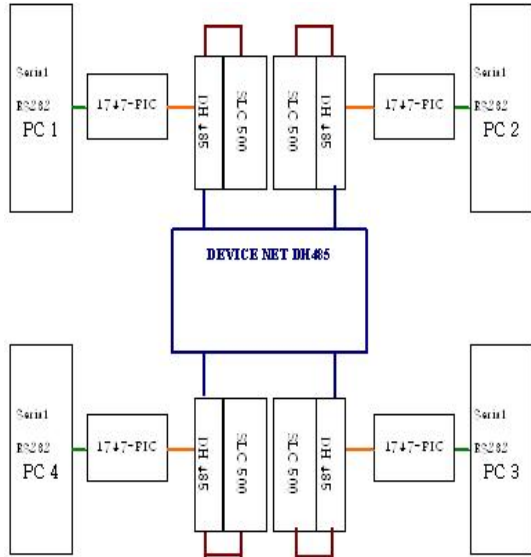


Figure 1. Network structure of 4 PLC and 4 PC.

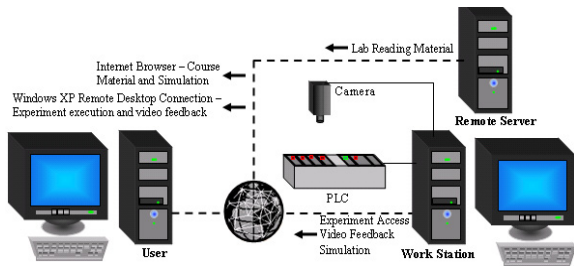


Figure 2. Network structure of real time remote PLC Lab.

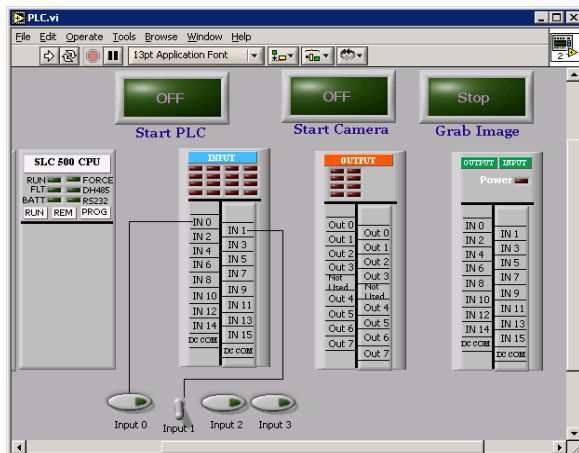


Figure 3. GUI providing virtual switch for the PLC remote control.

각각의 PLC 워크 스테이션은 디지털 출력에 연결된 하나의

스태핑 모터와 아날로그 입·출력에 연결된 제너레이터에 직렬로 연결된 DC 모터로 구성되어 있다. 두 개의 볼트미터가 평행으로 DC 모터와 제너레이터로부터의 출력포트에 연결되었다. PLC에 입력하기 위해서, 실제의 스위치를 사용하는 대신 LabView를 이용한 가상 스위치 메커니즘이 이용되었다. 스위치를 나타내기 위하여, 이 LabView 프로그램은 마우스 클릭으로 상태를 변화시킬 수 있는 아이콘을 제공한다. 이 아이콘으로부터 발생된 출력은 병렬포트의 각각의 비트상태를 변화시킨다. 병렬포트로부터의 이 출력전류는 증폭되어 릴레이를 통해 PLC 입력으로 제공된다. 이들 스위치 외에도 PLC 시작을 위한 가상 스위치가 같은 방법으로 개발되었다.

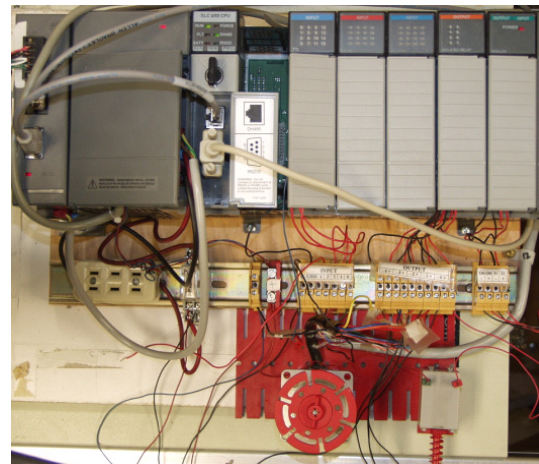


Figure 4. A photo of real SLC 500 PLC.

3. PLC 시뮬레이션 소프트웨어의 개발

원거리 PLC 실험이란 원거리에서 인터넷을 통해 PLC를 제어하여 PLC에 연결된 여러 가지 장비들을 목적에 맞게 운영할 수 있도록 프로그래밍하는 것이다. 이런 환경에서는 실험내용에 대한 충분한 사전 준비가 없거나, 간단한 실수가 실험장비 및 실험운영에 치명적인 손상 및 착오를 야기할 수 있다.

추상적인 개념을 그래픽으로 나타낼 수 있다면 매우 효과적인 학습효과를 가져온다는 것은 잘 알려진 사실이다. 이러한 관점에서 위에서 언급한 문제를 최소화하기 위해서, 내셔널 인스트루먼트 사의 LabView를 이용한 대화형 PLC 시뮬레이션 프로그램이 개발되었다. 이 프로그램을 이용하여 학생들은 웹상에서 실제의 PLC의 외관과 거의 유사한 그래픽 영상에서 다양한 PLC의 기능들을 실험 전에 시뮬레이션해 볼 수 있다. 즉, 서로 다른 PLC 인스트럭션에 기인한 이러한 장치들의 동작특성이 시뮬레이션을 통하여 보여진다. 본 연구에서 개발된 시뮬레이션 프로그램에 접속하기 위해서는 인터넷 브라우저에서 URL 주소(<http://dyn241.cie-122.ndsu.nodak.edu:2080/plcsimulation.htm>)를 입력함으로써 가능하게 된다. 이 시뮬레이션 프로그램은 Allen Bradley 사의 SLC 500 PLC의 기능들을 프로그램하였으

며, 작업현장에서의 다양한 통신을 위한 디지털/아날로그 입·출력의 사용을 소개한다.

<Figure 4>는 실제의 PLC 모습을 보여 주고 있으며, <Figure 5>는 시뮬레이션 프로그램의 그래픽 사용자 인터페이스 화면을 보여 주고 있다. 이 화면은 4개의 PLC 워크스테이션 중 하나에 대한 실제의 PLC와 거의 모양이 유사한 그래픽으로 구성되어 있으며, LabView 용어로는 프론트 패널(front panel)이라고 불린다. 시뮬레이션의 배경은 워크스테이션 회로도를 기초로 개발되었다. 시뮬레이션을 시작하기 위해서는 먼저, 화면 위쪽의 시뮬레이션 시작버튼인 화살표 버튼을 클릭한 후, PLC 시작버튼인 'Start PLC' 버튼을 클릭하여야 한다. 화면 오른쪽에 위치한 인스트럭션 선정버튼의 적절한 선택 및 그에 따른 파라미터들의 설정에 따라 다양한 PLC 기능들을 시뮬레이션해 볼 수 있다.

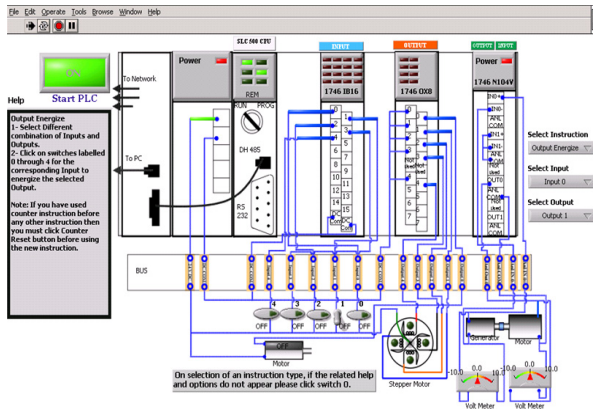


Figure 5. GUI for the simulation of PLC workstation(front panel).

<Figure 5>에서 볼 수 있듯이, 6개의 랙에 왼쪽부터 DH 485 링크 커플러, 전원공급장치, PLC 프로세서, DC 디지털 입력모듈, AC/DC 디지털 출력 모듈, 아날로그 모듈로 구성되어 있다. 연결전선은 5개의 입력선들이 각각 5개의 스위치에 연결되어 있다. 출력 0는 DC 모터에 연결되어 있다. 출력 1에서 4까지는 스테핑 모터의 4개의 코일에 각각 연결되어 있다. 아날로그 모듈의 출력은 DC 모터와 연결되어 있으며, 입력은 제너레이터와 연결되어 있다. 모터와 제너레이터에 병렬로 연결된 2개의 볼트미터도 볼 수 있다. 화면의 좌우편에 몇몇 버튼과 선택 메뉴들을 볼 수 있다. 시뮬레이션의 원활한 수행을 위해, 각각의 인스트럭션과 관련된 Help가 인스트럭션의 선택과 함께 그때그때 제공된다. 서로 다른 인스트럭션마다, 서로 다른 파라미터를 선정해야 하는 어려움이 있어 보이지만, 이것은 시뮬레이션을 SLC 500 PLC 프로그래밍 소프트웨어를 익히기 위한 기초학습으로 이용하기 위하여 의도적으로 그렇게 만들어진 것이다.

화면상의 다양한 LED들은 각 장치의 true 또는 false 상태를 나타내기 위해 색상이 변화된다. 연결된 장비의 상태변화를 나타내기 위해서도 또한 인디케이터의 색상변화가 사용되었다. <Figure 6>은 인디케이터의 색상으로 모터의 작동과 정지

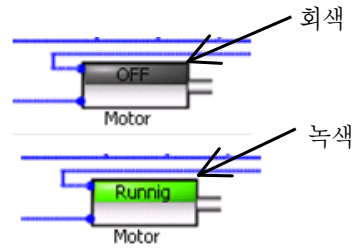


Figure 6. Changing color of indicator for the motor's stop and start.

를 보여 주는 한 예이다.

입·출력에 연결된 전선들도 색상으로 전류의 흐름을 보여주도록 작성되었다.

4. PLC 실습내용

실습 담당교수에 의해 사전에 작성된 실습 매뉴얼 및 실습과제물은 보통 상업용 e-learning 소프트웨어를 이용하여 웹 상에 게시될 수 있다. 본 연구에서는 'Blackboard' 소프트웨어가 이용되었다. 원거리 실습을 이용하려면, 먼저 실습 담당교수로부터 사용자의 ID를 해당 실습과목의 학생목록에 등록승인을 받아야 하는데, 이 절차는 보통 학생들이 그 과목을 신청하게 되면, 실습교수가 사전에 해당 학생들의 개별적인 과목 ID들을 등록 인증을 해놓음으로써 처리된다. 일단 과목등록이 이루어지면, 사용자는 Windows XP 등의 '원거리 데스크탑 연결' 기능을 이용하여 인터넷을 통해 사용자 ID와 패스워드 등 간단한 인증 절차를 거쳐서 원격 실습서버에 연결될 수 있다. 즉, Start → All Programs → Accessories → Communications → Remote Desktop Connection을 클릭하면 <Figure 7>과 같은 Remote Desktop Connection 윈도우가 뜨게 되며, 여기에 원격서버의 IP 주소를 입력하고 'Connect'를 클릭하면 서버에 연결을 시도할 수 있다.

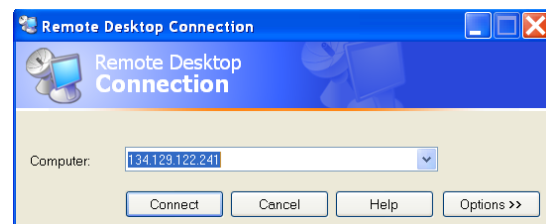


Figure 7. Input window for the remote desktop connection.

이때 연결을 시도하면, 기존의 사용자가 있는 경우는 기존 사용자가 새로운 사용자의 접속을 승인해야만 연결되도록 기존 사용자에게 대한 보호장치가 되어 있다. 기존의 사용자가 없거나 또는 기존의 사용자가 접속을 허용하면, 사용자는 장비에 전원을 켜고, PLC 프로그래밍 소프트웨어인 RSLogix 500을

실행한 후 작업 환경 파라미터들을 설정하고, 실습과제에 따라 프로그램하고, 장비를 구동하여 출력 데이터를 수집한 후, 장비의 구동을 종료할 수 있다.

PLC의 실습내용은 할당된 실습시간 및 실습교수의 재량에 따라 다양하게 구성될 수 있겠지만, 본 연구에서는 다음과 같은 몇 가지 주요내용만 소개한다.

4.1 PLC의 기본 입·출력, 타이머, 카운터 기능

PLC의 가장 기본적인 기능들은 릴레이 입력기능, 릴레이 출력기능, 래치(latch), 언래치(unlatch)를 포함할 수 있다. 이 실습의 목적은 PLC 프로그래밍 소프트웨어인 RSLogix 500을 이용하여 PLC에 연결된 소형 DC 모터를 켜고 끄는 간단한 사다리 논리(ladder logic) 프로그램을 작성하는 것이다.

이 실습은 첫 번째 PLC 실습이기 때문에 사용자가 실습 매뉴얼의 실습절차를 단계적으로 따라 가면 원거리로 원격서버에 로그인 하고, 환경설정, 단계적인 사다리 논리 프로그래밍을 통해 첫 번째 과제인 스위치의 On/Off에 의한 간단한 모터구동 프로그램(<Figure 8>)을 완성할 수 있다. 그 자세한 절차는 PLC 구동을 위한 가상 스위치를 제공하는 사용자 인터페이스 프로그램(<Figure 3>)을 실행하고, RSLogix 500 프로그램을 실행한 후에 사용 예정인 PLC에 대한 노드번호 및 환경설정을 해야 하는데, 이러한 환경설정은 한 번 설정한 후 저장하면 다음에 다시 로그인할 때에는 다시 불출하여 이용할 수 있다. <Table 1>은 SLC 500 PLC의 7 슬롯들에 대한 환경 설정표를 보여 준다.

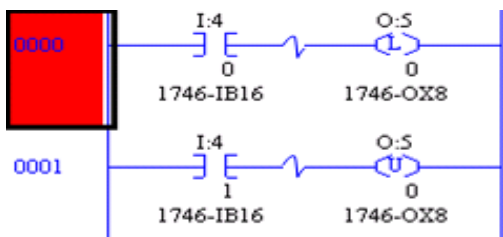


Figure 8. Operating motor using Latch and Unlatch.

Table 1. PLC Module arrangement for the SLC 500

PLC Module Arrangement		
Slot	Module	Description
0	1747-L531	SLC 500 Processor 5/03 8K Mem. OS 5/03
1	None	
2	1746-IG16	16 Inputs TTL
3	1746-IA16	16 Inputs 100/120 VAC
4	1746-IB16	16 Inputs(Sink) 24 V DC
5	1746-OX8	8 Outputs Isolated Relay
6	1746-N104V	2 Ch In/2 Ch Out

첫 번째 실습과제를 성공적으로 실행한 사람은 첫 과제의 프

로그래를 보완하여 카운터와 타이밍 기능을 이용해야만 해결할 수 있는 추가적인 2-3개의 프로그램을 단계적으로 완성하도록 요구하였다. 모터의 동작 및 정지 여부는 회전, 확대, 축소 기능이 있는 줌 카메라 영상 피드백(<Figure 9>)을 통해 원격으로 확인할 수 있다.

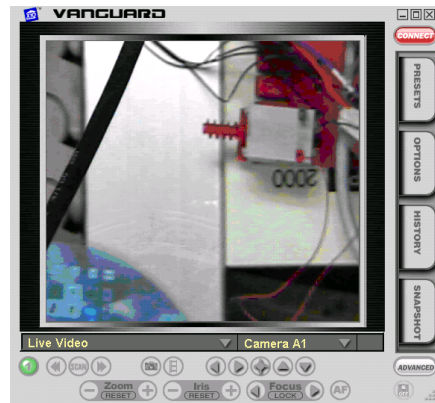


Figure 9. Image feedback from the monitoring camera showing running motor.

4.2 시퀀서(sequencer)

이 실습의 목적은 하나의 소형 스테핑 모터를 작동시키기 위한 다소 복잡한 형태의 RSLogix 프로그램을 작성하는 것이다. 1746 OX8 AC/DC 릴레이 출력의 출력 터미널 1, 2, 3, 4에 연결되어 있는 200 펄스/회전 스테핑 모터를 On/Off 토글 스위치를 이용하여 구동시킬 수 있는 시퀀서 출력(SQO) 인스트럭션을 이용한 사다리 로직 프로그램을 작성하고 실행하는 실습이다. 첫 번째 과제는 앞 실습에서처럼, 실습 매뉴얼을 빠짐없이 따라 하면 프로그램이 완성될 수 있도록 작성되었다. 추가적으로 첫 번째 과제를 기초로 스위치를 누를 때마다 모터의 속도가 증가되도록 하는 프로그램으로 향상시키도록 요구되었다.

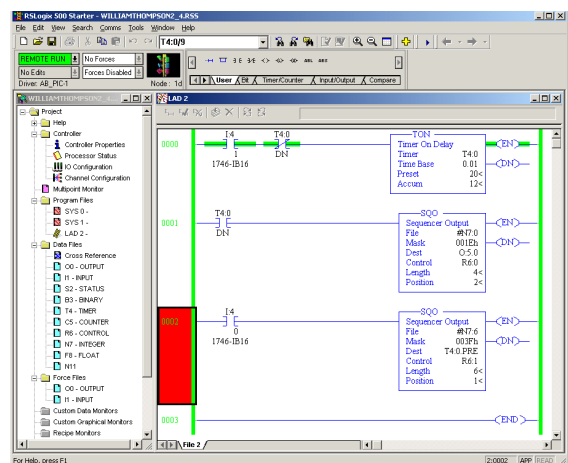


Figure 10. An example program that changes motor's speed by clicking switch.

4.3 통신 인스트럭션(Communication Instructions)

이 실습의 목적은 PLC/PC 네트워크 상에서 PLC의 동작 및 프로그래밍을 익히는 것이다. ASCII 문자 및 스트링 통신 인스트럭션이 소개된다. PC의 하이퍼 터미널과 PLC 사이의 통신, PLC와 PLC 사이의 데이터 핸들링이 다루어진다. 첫 번째 과제로 PLC에서 ASCII 문자를 RS232 포트를 통하여 보내면 PC에서 그 문자를 읽는 프로그램을 실습 매뉴얼을 따라 하면 완성될 수 있도록 작성하였다. 추가적으로 외부장치로부터 보내진 문자를 PLC에서 읽는 과제와 외부에서 START 명령어를 PLC로 보내면 DC 모터가 작동하고 STOP 명령어를 받으면 모터가 정지하는 프로그램을 요구하였다. 또한 위의 내용을 2대의 PLC 사이에서 통신하는 프로그램도 요구되었다.

5. 실습 결과에 대한 토의

본 단원은 미국 N주에 위치한 2개의 주립대학(A와 B)이 3년간 공동으로 '원거리 학습기회를 강화하기 위한 실시간 온라인 공학실습의 개발' 프로젝트를 수행하는 과정에서 전문 컨설팅 회사에 의뢰해서 얻어진 실습학생들의 면담조사 결과를 정리한 것이다. A 대학에서 2개의 실습강좌가 개발되었으며, B 대학에서 1개의 실습강좌가 개발되었다.

본 연구에서는 B 대학에서 개발된 '자동제조 시스템' 실습강좌를 중심으로 분석하였다. '자동제조 시스템' 실습에서는 한 학기 동안 22명의 학생이 총 11개의 온라인 실습을 수행하였으며, 그 중 원거리로부터 PLC 프로그램을 작성하고 업로딩하는 4개의 PLC 실습이 수행되었다. 이 실습은 사용자가 정확하게 PLC 프로그램을 작성하였을 경우, PLC에 연결되어 있는 소형 모터 등을 원거리에서 원하는 속도, 방향 등으로 작동시킬 수 있으며, PLC 위쪽에 설치된 카메라를 통하여 모터 동작을 실시간으로 모니터링할 수 있도록 설계되었다.

실습학생들의 면담내용을 요약하면 크게 접근성 및 실습 스케줄링, 성능 등으로 나눌 수 있다. 접근성에 있어서, 이론적으로는 주중 어느 때나 접속 가능하여야 하지만, 본 실습에서는 허용된 PLC 워크 스테이션이 2대로 제한되어 있어서, 동시에 오직 2명만 사용할 수 있었다. 그러나 이러한 제약은 실제의 PLC 실습에서도 하나의 PLC에 한 사람만이 실습할 수 있는 것과 같은 경우이며, 이 문제의 해결방안으로는 서로 다른 서버 컴퓨터에 연결된 다수의 PLC 워크 스테이션의 설치 또는 한두 대의 PLC 워크 스테이션의 설치와 직접 실습에 참여하지 않는 학생들은 인터넷을 통해 다른 학생이 실시하는 실습광경을 모니터링할 수 있는 영상 피드백 시스템의 구축을 염두에 둘 수 있다.

그러므로, 22명의 학생이 특정시간에 몰릴 경우, 학생수에 따른 적절한 사전 사용시간 계획이 세워져야만 불필요한 접속 실패로 인한 시간낭비를 피할 수 있다.

실습의 성능면에서는 사용자의 실수 등으로 기기가 고장나거나 오작동을 하게 되면, 기기의 수리완료 시까지 실습이 중단된다. 특히 이러한 일이 주말에 발생되면 영문을 모르는 다른 사용자는 수리완료 시까지 무작정 기다려야 하는 문제점이 있다. 이러한 문제의 해결을 위해 실습기간 동안 실습실에 상주할 수 있는 수리보존 인력이 요구된다.

그밖의 특기할 의견으로는 모든 실습이 개인별로 이루어졌기 때문에, 결과적으로 문제해결능력은 더 향상되었다는 응답이 있었다. 주로 이메일로 의견을 교환하기 때문에, 실습교수와 의 면담이 다소 제한적이라는 의견과 모든 실습은 온라인 실습 매뉴얼에 의존하기 때문에 보다 예제 중심의 상세하고 체계적인 실습 매뉴얼의 보완이 절실히 요구된다는 의견도 있었다. 하지만 아무리 잘 작성된 매뉴얼이 준비되었다라도 실습학생이 실습 전에 충분한 시간 동안 매뉴얼을 읽고 이해한 후에 실습에 임하는 자세는 성공적인 실습뿐만 아니라, 장비의 에러율을 줄여서 다른 사람에게 주는 시간적 피해를 최소화할 수 있을 것으로 사료된다. 온라인 학습에 대한 선호도는 주관적인 것으로 나타났다.

6. 결론 및 추후연구

원거리 학습방법에 의한 실시간 온라인 실습은 인터넷의 강력한 통신기능을 실습장비와 접목하여 구축될 수 있으며, 인터넷만 연결되어 있다면, 언제 어느 곳에서나 접속 가능하여 실습장소까지의 이동을 위한 시간 및 교통비의 절감은 물론 실습시간의 유연성을 허락하며, 실습장비의 공동이용기회의 증가로 실습비용의 획기적인 절감을 가져올 수 있는 차세대 실습대안이라고 할 수 있다. 실제의 원거리실습을 통해서 크게 접속 용이성, 고장 시 대책, 매뉴얼 보강문제 등이 대두되었지만, 이들 문제는 학생수에 따른 개별실습 시간계획, 실습실 상주보존 및 수리인력 보강, 실습예제 위주의 체계적 실습 매뉴얼의 보완 등으로 개선될 수 있을 것이다.

하지만, 처음에 언급했던 원거리실습의 두드러진 이점들 외에도 문제해결능력의 향상과 동료들 간의 문제토의 기회의 증대를 통한 개인 실력향상 등의 부수적 효과도 보고되고 있다.

추후과제로는 현재는 PLC 실습을 위주로 개발되었지만 같은 개념으로 로봇 프로그래밍, CIM 등 다양한 자동화 관련 실습들의 개발이 뒤따라야 할 것이다.

참고문헌

- Dong, Andy and Agogino, Alice M.(1998), Managing design information in enterprise-wide CAD using smart drawings', *Computer-Aided Design*, 30(6), 425-435.
- Hirsch, B. E., Thoben, K. -D. and Hoheisel, J.(1998), Requirements upon human competencies in globally distributed manufacturing, *Computers in*

Industry, 36(1-2), 49-54.
National Instruments, *LabVIEW User's Manual*, July 2000 Edition.
Allen Bradley, *Online SLC 500 Instruction Set manual*.

Allen Bradley, *RSLogix 500 Software Help*.
Lee, S., Ebeling, K.A., and Ahmed, S.A.(2003), Simulation for Enterprise Manufacturing Network, *Proceedings of 2003 KIIE Fall Conference*.



이성열

인하대학교 기계공학 학사
텍사스주립대 산업공학 석사
노스다코타주립대 산업공학 박사
현재: 관동대학교 컴퓨터학부 교수
관심분야: CAPP, 컴퓨터 비전, 메타휴리스틱스 응용