

PLC LD 제어언어와 가상 플랜트 시뮬레이터의 적용

*이 기범, **이 진수

*포항산업과학연구원, ** 포항공과대학교 전자전기공학과

The application of a virtual plant simulator and a Ladder Diagram of PLC

*Gi Bum Lee and **Jin S. Lee

*RIST, **POSTECH

Abstract - This paper represents the application of a virtual plant simulator and a Ladder Diagram of PLC. A target plant is a material transport car that repeatedly conveys along the rails. The whole process is automatically operated by PLC.

The simulation system consists of the POSFA PLC and the virtual plant simulator. We demonstrate that operation of a LD program corresponds to operation of the virtual plant simulator.

1. 서 론

공장 자동화에서 시퀀스 제어를 실현할 수 있는 대표적인 기기는 PLC (Programmable Logic Controller) 시스템 [1]이다. 그 시스템의 제어언어는 LD (Ladder Diagram), IL (Instruction List), FBD (Function Block Diagram), SFC (Sequential Function Chart)가 있다 [2][4]. PLC 시스템은 마이크로 프로세서 기술의 발전과 더불어 점차 고기능화, 소형화, 고속화되고 있다. 또한 PLC의 신뢰도를 높이기 위하여 이중화 시스템을 적용하고 있고 [9], 퍼지 함수를 포함하는 퍼지 PLC도 출현하고 있다 [7].

본 논문에서는 원료 수송카 작업 공정에 순서를 정하고, 작업 공정에 의하여 상태표를 만든다. 그리고 그것으로부터 상태 로직을 구한 후 LD 제어언어를 만들어 낸다. 이렇게 만들어진 LD 제어언어는 POSFA PLC 프로그램 로더에서 작성한다 [6][8].

원료 수송카는 실존하는 시스템과 같이 시뮬레이션하기 위하여 가상 플랜트 시뮬레이터에 적용한다 [3][10]. 원료 수송카의 각 파라미터를 결정하고, 입,출력 컴포넌트를 설정하여 그래픽 형태의 시뮬레이션 조건을 만든다. 여기서, LD 제어언어와 상호 연관관계를 고려하여 입,출력 디바이스를 지정한다.

POSFA PLC와 가상 플랜트 시뮬레이터를 사용하여 시뮬레이션 시스템을 구성한다. 구성된 시스템을 가지고 현장의 원료 수송카를 대신하여 시뮬레이션이 가능함을 보인다. 끝으로 원료 수송카를 제어하는 LD 제어언어와

가상 플랜트 시뮬레이터의 모니터링 결과가 상호 일치함을 보인다.

2. 대상 플랜트의 선정 및 구동 사항

대상 플랜트는 원료의 수송작업을 반복하는 원료 수송카로서 구성도는 그림 1와 같다. 여기서 원료 수송카는 정해진 철로 위를 반복적으로 이동하며 원료를 수송하고 있다.

원료 수송카를 포함한 전 공정은 PLC 시스템에 의하여 자동으로 구동되고 있으며, 전체 진행 공정은 다음과 같다.



그림 1. 원료 수송카 작업 공정

- 1) 초기상태로서 원료 수송카가 S_2 지점에 있고, 원료 탱크에 원료의 높이가 L_1 이하에 있고, V_2 밸브가 닫혀있고, 그리고 K_1 브레이크가 잡혀있으면, V_1 밸브가 열리면서 원료가 원료탱크에 주입된다.
- 2) 일정시간이 지나 원료의 높이가 L_2 높이가 되면, V_1 밸브는 닫힌다.
- 3) 원료 수송카의 전진 스위치를 On하여 S_1 지점으로 이동하게 한다.
- 4) 일정시간이 지나 원료 수송카가 S_1 지점에 도착하면, K_2 브레이크가 작동하여 원료 수송카는 멈춘다.
- 5) 원료 수송카가 멈춘 뒤 V_2 밸브를 열어 원료 저장탱크에 원료를 방출한다.
- 6) 일정시간이 지난 뒤 원료가 줄어들어 L_1 레벨 이하가 되면, V_2 밸브를 닫는다.
- 7) 원료 수송카의 후진 스위치를 On하여 S_2 지점으로 이동한다.
- 8) 일정시간이 지나 원료 수송카가 S_2 지점에 도착하

면, K₁ 브레이크가 작동하여 원료 수송카는 멈춘다.

9) 1)-8)의 과정을 반복 작업하면서 원료를 수송하게 된다.

3. LD 제어언어 표현

3.1 상태표 작성

그림 1에 나타나 있는 원료 수송카의 순차 공정을 기본으로 하여 입력 변수와 출력변수를 선정한다. 원료 수송카의 현재시각 kT에서의 작업공정을 기준으로 하고, 다음시각 (k+1)T로의 작업공정을 순차적으로 나열하여 상태표로 정리하면 표 1 같다. 여기서 '1'은 스위치의 On 상태이고 '0'은 스위치의 Off 상태이다. 그리고 'X'는 입.출력 스위치 상태와 무관함을 나타낸다.

표 1. 원료 수송카의 공정 상태표

상태	현재 시간 kT						다음 시간 (k+1)T						비 고				
	위치 레벨		수송카 벨브 브레이크		수송카 벨브 브레이크		Y1 Y2 Y3 Y4 Y5 Y6		Y1 Y2 Y3 Y4 Y5 Y6								
	S1	S2	L1	L2	C1	C2	V1	V2	K1	K2		C1		C2	V1	V2	K1
P1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	수송카 정지 S2
P1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	X	X	1	0	1	X	벨브 연다
P2	0	1	0	0	X	X	1	0	1	X	X	X	1	0	1	X	원료 투입한다
P2	0	1	X	1	X	X	1	0	1	X	0	0	0	0	X	X	벨브 닫는다
P3	0	1	X	1	0	0	0	0	X	X	1	0	0	0	0	0	이동 지시
P3	0	X	X	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	수송카 이동
P4	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	수송카 정지 S1	
P4	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	X	X	0	1	X	1	벨브 연다
P5	1	0	0	0	X	X	0	1	X	1	X	X	0	1	X	1	원료 방출한다
P5	1	0	1	X	X	X	0	1	X	1	0	0	0	0	X	X	벨브 닫는다
P6	1	0	1	X	0	0	0	0	X	X	0	1	0	0	0	0	이동 지시
P6	X	0	1	X	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	수송카 이동

3.2 상태 논리식

원료 수송카의 작업 공정을 수행하기 위하여 출력제어 값이 '1'이 되어야 한다. 따라서 표 1에서 출력변수의 값이 '1'이 되는 출력값을 집합으로 구성하여, 각 출력별 로 상태 논리식을 정리하면 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= X_{12}\bar{X}_{11}X_{14}\bar{Y}_1\bar{Y}_2\bar{Y}_3\bar{Y}_4 + \bar{X}_{11}X_{14}Y_1\bar{Y}_2\bar{Y}_3\bar{Y}_4 \\
 &= (X_{12}+1)\bar{X}_{11}X_{14}\bar{Y}_1\bar{Y}_2\bar{Y}_3\bar{Y}_4 \\
 Y_2 &= X_{11}X_{13}\bar{X}_{12}\bar{Y}_1\bar{Y}_2\bar{Y}_3\bar{Y}_4 + X_{13}\bar{X}_{12}Y_1\bar{Y}_2\bar{Y}_3\bar{Y}_4 \\
 &= (X_{11}+1)X_{13}\bar{X}_{12}\bar{Y}_1\bar{Y}_2\bar{Y}_3\bar{Y}_4 \\
 Y_3 &= X_{12}\bar{X}_{14}\bar{X}_{11}\bar{Y}_1\bar{Y}_4 \\
 Y_4 &= \bar{X}_{13}\bar{X}_{12}X_{11}\bar{Y}_3\bar{Y}_6 \\
 Y_5 &= \bar{X}_{11}X_{12}\bar{X}_{13}\bar{Y}_4 \\
 Y_6 &= X_{11}\bar{X}_{12}\bar{X}_{13}\bar{Y}_3
 \end{aligned} \tag{1}$$

3.3 LD 제어언어 표현

순차 공정에 의거하여 공정 상태표를 구하였고, 그 상태표로부터 상태 논리식을 구하였다. 따라서 상태 논리식으로부터 LD 제어언어를 구할 수 있다. 이때 논리식의 곱 연산은 LD 제어언어의 AND 로직으로 연결하고, 더하기 연산은 LD 제어언어의 OR로직으로 연결한다. AND, OR 로직 연결은 조건판단부에 위치시키며, 출력

로직은 출력부에 위치시킨다[5]. 이와 같은 방법으로 구한 LD 제어언어는 그림 2과 같다.

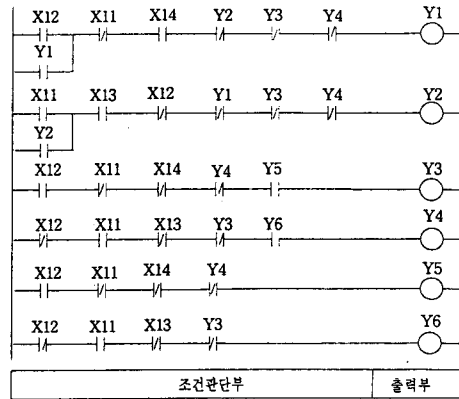


그림 2. 원료 수송카 제어를 위한 LD 제어언어

4. 시스템 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 시스템 구성

원료 수송카의 순차 공정을 시뮬레이션하기 위하여 그림 3과 같이 시뮬레이션 시스템을 구성한다. 본 시스템은 POSFA PLC 시스템[6]와 가상 플랜트 시뮬레이터[10]로 구성된다. 시스템 연결 방법은 그림 3에서 보여주는 바와 같이 PLC의 CPU 유닛에 RS-232C 시리얼 통신을 사용하여 프로그램 로더를 연결한다. 그리고 이더넷 유닛의 이더넷 통신을 사용하여 가상 플랜트 시뮬레이터와 연결한다.

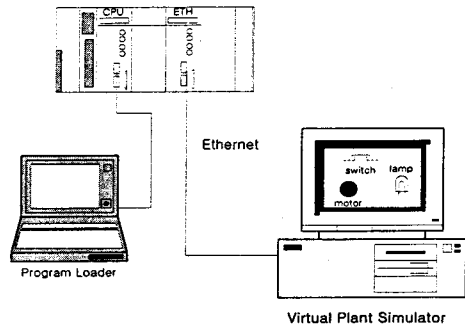


그림 3. 플랜트 시뮬레이션을 위한 전체 구성도

프로그램 로더는 PLC 시스템을 구동하기 위하여 LD 프로그램을 편집하는 편집기로서 그림 2와 같은 LD 프로그램을 작성한다. 작성된 프로그램을 컴파일한 후에 PLC CPU 유닛으로 프로그램을 다운 로딩한다.

한편, 가상 플랜트 시뮬레이터에서는 원료 수송카에 대한 그래픽 화면을 구성한 후에 원료 수송카를 움직이기 위한 각각의 센서 및 스위치에 대한 가상 플랜트 컴포넌트를 화면에 배치시킨다. 그리고 각각의 컴포넌트에 입.출력 응답 특성을 LD 프로그램과 연관지어 지정한다.

PLC 시스템을 RUN 시킨 후 가상 플랜트 시뮬레이

터도 함께 RUN 시킨다. 그리고 해당 컴포넌트의 조건을 맞추면서 LD 프로그램이 정상적으로 동작하는지 모니터링한다.

4.2 LD 제어언어 편집

그림 2에 구해진 LD 제어언어를 프로그램 로더를 이용하여 화면 편집하면 그림 4와 같다. Windows 98 환경에서 구동되는 POSFA PLC용 프로그램 로더로서 LD, IL, FBD, SFC 편집 기능이 가능하다. 본 논문에서는 LD 편집기를 사용하여 원료 수송카의 운전 방법에 대하여 프로그래밍한 것이다. PLC 입.출력을 위한 접점 디바이스는 원료 수송카의 구동 Actuator와 연결되어 있다.

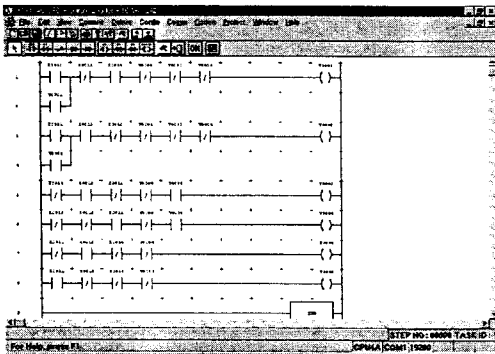


그림 4. 로더의 LD 프로그램 구성 화면

4.3 컴포넌트 배치 및 화면 구성

원료 수송카의 기본 화면을 구성한 다음 각각의 벨브 및 레벨 컴포넌트에 대한 심볼들을 생성시킨다. 원료 수송카의 운전 모드에 맞도록 각각의 컴포넌트를 배치시키면 그림 5과 같은 화면을 얻을 수 있다.

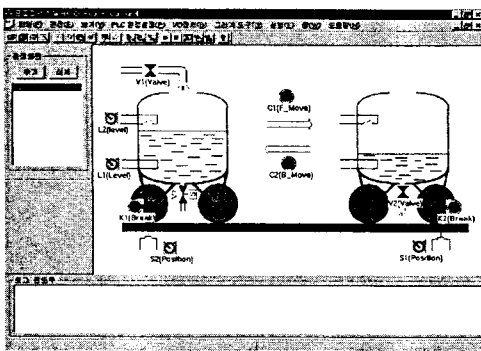


그림 5. 시뮬레이터의 원료 수송카 구성 화면

그림 5에 나타나 있는 각각의 컴포넌트 속성을 정하기 위하여 그림 6에 보는 바와 같이 입.출력 연관성을 이용하여 상호 연결 관계를 결정한다.

예를 들면 (그림 6), On, Off 푸쉬버튼 컴포넌트의 입력(ibcontrol)은 User input이 되고, 출력은 PLC의 X 입력 디바이스에 할당한다. 그리고 PLC 출력 디바이

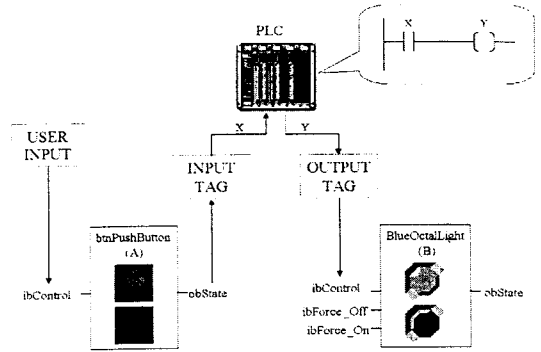


그림 6. PLC와 입.출력 컴포넌트간의 구성

스 Y은 표시램프 컴포넌트의 입력(ibcontrol)에 할당한다. 따라서 외부에서 User가 푸쉬버튼 컴포넌트를 On 입력하면, PLC는 LD 제어언어를 연산하여 출력 디바이스 Y로 On 출력을 내보내며, 그 출력을 입력으로 받은 표시램프 컴포넌트는 On이 되게 된다.

그림 5에서 표현하고 있는 원료 수송카의 컴포넌트 구성은 PLC에 있는 LD 프로그램의 수행 결과와 가상 플랜트 시뮬레이터 수행결과가 상호 유기적으로 동작하여야 하므로, 전체적 운전 시퀀스를 따라가며, 컴포넌트의 태그 값을 정한다. 원료 수송카의 입.출력 컴포넌트와 PLC 입.출력 디바이스의 대응관계는 표 2과 같이 할당하였다.

표 2. 컴포넌트의 입.출력 대응 관계

출력 컴포넌트	입력 컴포넌트
S1 컴포넌트 출력	PLC X11 입력
S2 컴포넌트 출력	PLC X12 입력
L1 컴포넌트 출력	PLC X13 입력
L2 컴포넌트 출력	PLC X14 입력
PLC Y1 출력	C1 컴포넌트 입력
PLC Y2 출력	C2 컴포넌트 입력
PLC Y3 출력	V1 컴포넌트 입력
PLC Y4 출력	V2 컴포넌트 입력
PLC Y5 출력	K1 컴포넌트 입력
PLC Y6 출력	K2 컴포넌트 입력

4.4 시뮬레이션 결과

원료 수송카 시스템에 대한 전체 공정을 시뮬레이션하기 위하여 그림 3과 같은 PLC 시스템을 구축한다. 그리고 그림 2에 근거하여 LD 프로그램을 그림 4과 같이 작성하고, 가상 플랜트 그래프를 그림 5과 같이 작성한다.

종합적인 시뮬레이션을 하기 위하여 PLC를 RUN 상태로 놓은 다음, 가상 플랜트 시뮬레이터를 RUN 상태로 만든다. 그리고 원료 수송카의 원료 수송 상황에 근거하여 각각의 레벨 및 위치 센서 입력을 결정한다.

시뮬레이션 결과를 보면, 원료 주입 중인 공정에서는 그림 7의 LD 모니터링 화면과 그림 8의 시뮬레이터 모니터링 화면을 얻을 수 있다. 여기서 LD 모니터링 화면에서 마킹된 접점은 On 상태를 나타내고 있으며, 시뮬

레이터 모니터링 화면에서 벨브(V1)가 Open 되어 있고, Break(K1)가 On되어 있고, 그리고 Position(S2)이 On되어 있음을 나타내고 있다.

원료 수송카의 정방향 이동 중인 공장에서는 그림 9의 LD 모니터링 화면과 그림 10의 시뮬레이터 모니터링 화면을 얻을 수 있다.

결과적으로 각 공정별 벨브 On, Off 상태 및 정방향/역방향 On, Off 상태 그리고 브레이크 On, Off 상태가 정상적으로 동작하고 있음을 관찰할 수 있었고, LD 모니터링 화면의 접점 On, Off 상태 역시 정상적으로 동작하고 있음을 관찰할 수 있었다.

5. 결 론

원료 수송카 작업 공정에 대한 순서를 정하고, 작업 공정에 의한 상태표를 만들었다. 그것으로부터 상태 로직을 구한 후 PLC용 LD 제어언어를 구하였다. 그리고 가상 플랜트 시뮬레이터를 이용하여 원료 수송카의 시뮬레이션용 화면을 구성하였다.

LD 프로그램을 검증하기 위하여 POSFA PLC와 가상 플랜트 시뮬레이터를 사용하여 직접 시뮬레이션을 실시하였다. LD 제어언어 및 가상 플랜트 시뮬레이터 모니터링 결과가 실제 공정과 일치하고 있음을 보였다.

(참 고 문 헌)

- [1] I. G. Warnock, Programmable Controllers, Operation and Application, Prentice-Hall Inc., 1988
- [2] IEC, IEC 1131-1 general information, IEC 1131-3 programming language
- [3] Joao Palma, Luis L, Jose A, Filomena S, "A multi purpose process simulator for automation engineering laboratory", pp931-935, ISIE'97
- [4] Martin O., Stefan J., Karl A., "Implementation aspects of the PLC standard IEC 1131-3", Control Engineering Practice, pp547-555, 1998
- [5] Melco, Melsec A-series PLC CPU manual
- [6] POSCON, POSFA PLC CPU Programming manual, 1994
- [7] Klockner Moeller, FuzzyTECH 40 Programming software manual, 1997
- [8] 이기범, "PLC O/S 알고리즘 구현", 대한전기학회 '95 하계 학술대회논문집, Jul. 1995
- [9] 이기범, 이진수, "PLC의 고장 발생 주기에 대한 failure rate 산출과 redundancy 시스템의 MTTF/reliability 평가", '98자동차어학술회의논문집, pp. 384-387, Sep. 1998
- [10] 이기범, 이진수, "PLC 프로그래밍을 위한 가상 플랜트 시뮬레이터 구현", 대한전기학회 '98추계학술대회, pp475-477, Nov. 1998

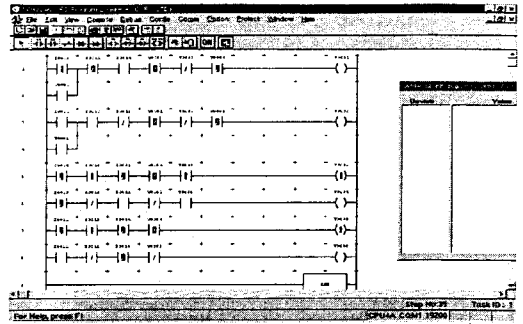


그림 7. 원료 주입 중 LD 모니터링 화면

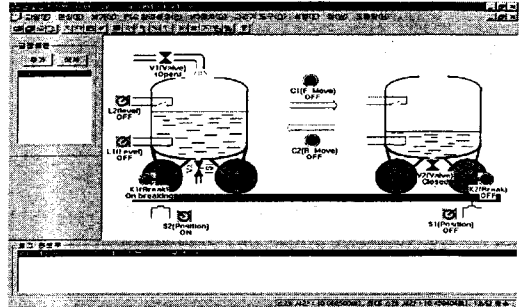


그림 8. 원료 주입 중 시뮬레이터 모니터링 화면

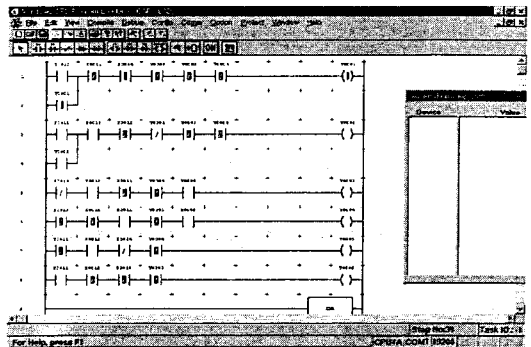


그림 9. 수송카 정방향 이동 중 LD 모니터링 화면

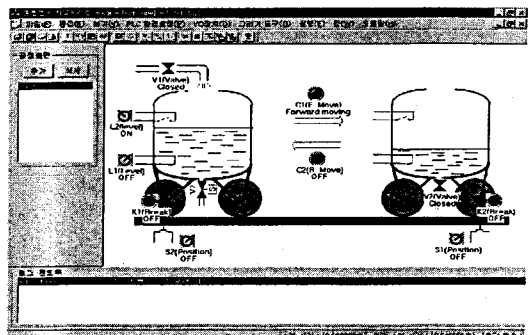


그림 10. 수송카의 정방향 이동 중 모니터링 화면