

# 공정제어에서 선택시퀀스를 위한 효율적인 리모트 콘트롤 제어방법

공헌택<sup>1</sup>, 김치수<sup>1</sup>, 유정봉<sup>2\*</sup>  
<sup>1</sup>공주대학교 컴퓨터공학부, <sup>2</sup>공주대학교 전기전자제어공학부

## An Efficient Method of Remote Control for Select Sequence in Process Control

Heon-Tag Kong<sup>1</sup>, Chi-Su Kim<sup>1</sup> and Jeong-Bong You<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Computer Science Eng. Kongju University

<sup>2</sup>Division of Electrical & Electronics & Control Eng. Kongju University

**요약** PLC를 사용한 제어시스템에서 SFC 언어를 사용하면 전체 공정의 흐름을 이해하기 쉽고 유지보수가 용이하다. SFC 언어는 단일 시퀀스, 선택 시퀀스, 병렬 시퀀스로 나누어지고, 여러 조건에 맞게 처리하는 선택시퀀스로 프로그램 할 때 선택분기 스텝에 에러가 발생하면 전체 공정이 정지하게 된다. 이 에러스텝이 전체 공정에 크게 영향을 안주는 공정이라면 전체 공정을 정지시키지 않고 에러를 처리하면 손실은 줄어들게 된다. 본 논문에서는 선택시퀀스에서 리모트 콘트롤을 사용하여 선택시퀀스를 효율적으로 제어하는 방법을 제시하고 적용 예를 통해 그의 타당성을 확인하였다.

**Abstract** When we design the control system used Programmable Logic controller(PLC), if we program a Sequential Function Chart(SFC), It is easy to understand the sequential flow of control, to maintenance the controller and to describe a program. SFC language is programmed by a single sequence, a select sequence and a parallel sequence. In a select sequence, when the select step is error, the whole process is stopped. If the error step has no connection the whole process, the loss is down when we debugging the program without stopping the whole process. Therefore, this thesis shows the efficient method of remote control for select sequence and we confirmed its feasibility through actual example.

**Key Words** : PLC, SFC, Ladder Diagram, Select Sequence, Remote Control

### 1. 서론

PLC(Programmable Logic Controller)는 최근에 복잡하고 고도의 기능을 수행할 수 있는 능력을 갖기 때문에 복잡하고 다양한 기능을 요구하는 현대의 공정제어에서 필수 제어기로써 역할을 하고 있다. PLC는 조건처리가 간단하고 인터록을 용이하게 구현하기위해 LD(Ladder Diagram)언어를 가장 많이 사용하고 있지만, LD 언어로 프로그램된 시스템은 유지보수하기가 어려우며, 점접에 에러가 발생했을 때는 에러를 찾아내기가 매우 어려운 실정이다. 이러한 단점을 보완한 것이 SFC(Sequential

Function Chart)언어인데, 이 SFC는 이산 제어 프로그램에서 순차 제어 논리의 기술에 적합한 강력한 그래픽 언어이므로 제어의 흐름을 이해하기 쉬우며, 유지보수가 용이하고, 프로그램의 기술성이 뛰어나고, 기계장치의 진단성이 우수하다는 장점이 있어 공정제어 시스템에서 소형 시스템을 설계할 때 SFC언어를 최근에 빈번히 사용하고 있다.[1-3] SFC언어는 단일 시퀀스, 병렬 시퀀스, 선택 시퀀스로 설계하게 된다. 단일 시퀀스는 첫 스텝부터 마지막 스텝까지 하나의 루틴을 계속 실행하는 형태로 구성되고, 병렬 시퀀스는 여러 루틴을 동시에 실행시키는 형태로 구성된다. 병렬 시퀀스에서는 여러 루틴이 동시에

이 논문은 2009년 공주대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

\*교신저자 : 유정봉(jboyou@kongju.ac.kr)

접수일 09년 10월 06일

수정일 (1차 09년 12월 31일, 2차 10년 01월 18일)

게재확정일 10년 01월 20일

시작되는 시점을 ‘동기’라 하고, 여러 루틴이 실행 완료 되어 다음 스텝으로 진행되기 위해 대기하는 시점을 ‘재 동기’라 한다. 또한 선택 시퀀스는 한 스텝에서 여러 조건에 따라 루틴을 다르게 실행할 수 있는 형태로 구성된다[4-5].

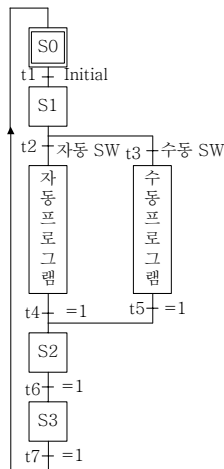
알고리즘 설계시 선택 시퀀스에서는 하나의 루틴에서 에러가 발생했을 때 에러가 발생된 시스템이 정지된다. 이때 강제로 다른 루틴으로 이행되기 위해서는 에러가 발생된 시스템만 정지시켜야 하는데, 전체 시스템을 정지시키고 에러 수정을 해야 하는 불편함을 감수해야 한다. 이러한 불편을 없애고자, 본 연구에서는 리모콘을 사용하여 강제로 다른 루틴으로 분기할 수 있는 방법을 제시하고, 실제로 박물관 조명 컨트롤 박스에 적용하여 그의 타당성을 확인하였다.

## 2. 선택 시퀀스의 개선 방법

### 2.1 선택 시퀀스의 에러처리

SFC 언어의 시퀀스는 단일 시퀀스, 선택 시퀀스, 병렬 시퀀스의 3가지가 있다.

이 중 선택시퀀스의 예는 그림 1과 같다.



[그림 1] 선택 시퀀스

그림 1에서 S1스텝이 활성화되고 t2 천이조건을 만족하면 자동 프로그램이 실행되고, t3 천이조건을 만족하면 수동 프로그램이 실행되는 시퀀스로 어느 특정 조건에 따라 루틴이 달라지는 시퀀스이다, 그런데 이 선택 시퀀스는 S1 스텝에서 에러가 발생했을 때는 t2, t3 천이조건을 만족해도 다음 루틴으로 이행되지 못하게 된다. 공장

자동화 프로그램에서는 S1 스텝에 상관없이 그 다음 프로그램이 동작되어도 무관한 경우가 많아 이처럼 전 스텝이 에러가 발생해도 다음 스텝을 활성화 시킨 상태에서 이전 스텝의에러에 대한 유지보수를 하게 되면 훨씬 시간이 절약되고, 작업 공수도 적게 들어 원가절감으로 제품의 가격 경쟁력을 얻게 된다[6].

### 2.2 선택 시퀀스의 스텝 천이

그림 1에서 S1 스텝이 활성화되고, t2 천이조건을 만족할 때 자동프로그램으로 천이하고, S1 스텝이 활성화되고, t3 천이조건을 만족할 때 수동프로그램으로 천이하게 된다. 이것은 식 (1)에 의해 처리하게 된다.

$$\begin{aligned} \text{자동프로그램} &= S1 \cdot t2 \\ \text{수동프로그램} &= S1 \cdot t3 \end{aligned} \quad (1)$$

윗 식에 의하면 S1 스텝이 비활성화 되면 자동 및 수동 프로그램으로 천이가 될 수 없게 되는 것이다.

또한, 자동 프로그램이나 수동 프로그램이 실행되고 t4 천이조건이나, t5 천이조건을 만족하면 S2 스텝으로 천이하게 된다.

$$S2 = (\text{자동프로그램} \cdot t4) + (\text{수동프로그램} \cdot t5) \quad (2)$$

### 2.3 리모트 컨트롤을 사용한 스텝 천이

2.2절 선택시퀀스의 스텝천이에서 S1 스텝이 에러가 발생했을 때 본 논문에서는 리모콘을 사용하여 강제로 자동 프로그램이나 수동 프로그램으로 천이할 수 있음을 보여준다. 리모콘의 한 스위치를 강제 스위치로 사용하여 이 강제 스위치가 들어오고 t2 천이조건이나 t3 천이조건을 만족하게 되면 강제로 다음 스텝으로 천이하게 된다. 이것은 식 (3)과 같다.

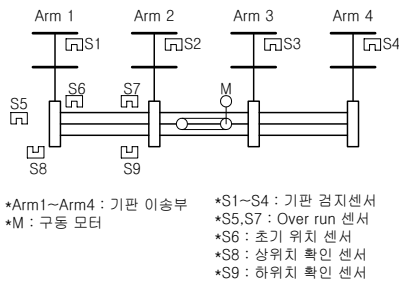
$$\begin{aligned} \text{자동프로그램} &= (S1 \cdot t2) + (\text{강제 SW} \cdot t2) \\ \text{수동프로그램} &= (S1 \cdot t3) + (\text{강제 SW} \cdot t3) \end{aligned} \quad (3)$$

프로그램시 윗 식에 의해 프로그램하게 되면 리모콘에 의한 다음 스텝으로의 강제 천이가 발생하게 되고, 에러가 발생한 스텝에 대한 유지보수를 자유롭게 할 수 있게 된다.

## 3. 캐링 로봇 시스템에의 적용

### 3.1 캐링 로봇 시스템

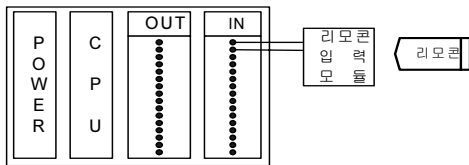
본 연구과제에서는 LCD 기판을 제작하기 위한 기판 이송시스템인 캐링 로봇에 적용하였다. 본 연구과제에 적용되는 캐링 로봇 시스템은 그림 2와 같다. 캐링 로봇은 LCD 제조장비에서 유리기판을 이송하기 위한 시스템으로 현재 4개의 서브 작업 공정으로 구성되며, 4개의 서브 작업을 마치면 다음 공정으로 이송시키기 위해 캐링 로봇도 4개의 Arm으로 구성된다. 이 캐링 로봇은 각 서브 작업이 끝나면 동시에 4개의 기판을 이송시킬 수 있는 장점이 있으며, 인덱싱(Indexing) 이송 방식에 비해 장비의 공간적 크기를 줄일 수 있다는 것이 장점이다.



[그림 2] 캐링 로봇 시스템 구성도

### 3.2 리모콘 입력 모듈

리모콘 입력 모듈은 그림 3과 같다. 리모콘은 PLC 입력 모듈 중 2 점접을 사용하고, 하나는 정지 스위치로, 다른 하나는 강제 스위치로 사용하게 된다.



[그림 3] PLC 리모콘 입력 모듈

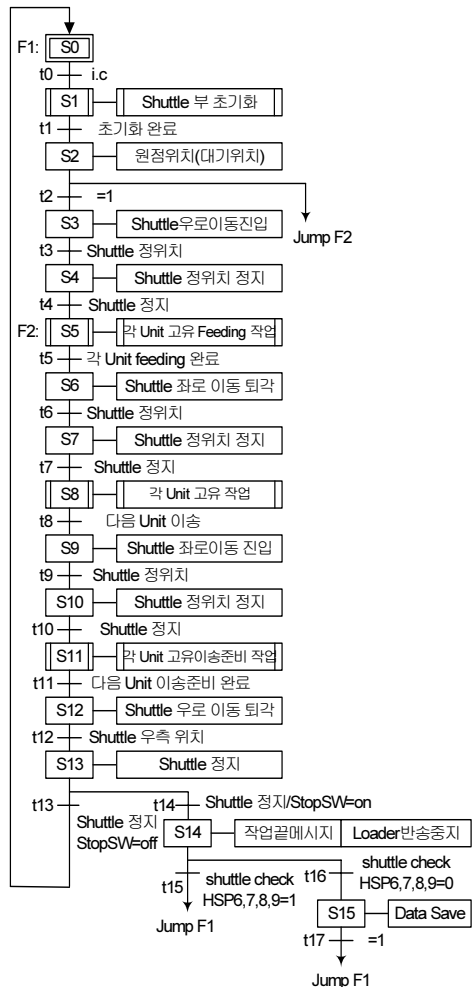
정지 스위치는 전체 시스템을 강제로 정지 시키기 위한 스위치로 비상 동작이 발생했을 때 사용하며 PLC의 인터럽트 점접으로 사용하게 된다. 그리고 강제 스위치는 본 논문에서 개선된 선택 시퀀스의 강제 천이를 위한 강제 스위치이다. 강제 스위치가 들어오게 되면 정지되어 있는 어느 스텝에서 다음 천이 조건을 만족하게 되면 강제로 다음 스텝으로 천이하게 된다.

### 3.3 알고리즘 설계

알고리즘은 그림 4와 같다. 그림 4에서 S1 스텝에서 모든 Arm을 초기화하고 리모콘 입력을 받아들일 준비를

하게 된다. S2 스텝에서 shuttle을 대기위치로 보내고, 이미 대기위치이면 바로 shuttle을 정위치에 정지하도록 하는데, 이미 대기위치이면 각 unit 고유작업으로 바로 점프하도록 한다. 이때 대기위치에서 에러가 발생을 해도 리모콘을 이용하여 각 unit 고유feeding 작업 스텝으로 강제로 이동시키고 shuttle에 대한 에러를 수정할 수 있도록 한다.

S14 스텝에서 작업이 끝나고 작업 끝 메시지가 발생하지 않게 되면 에러가 발생하고 전체 공정은 S14 스텝에서 머물러 있게 된다. 그러나 메시지가 발생하지 않아 전체 공정을 멈추게 되면 작업 공수가 높아져 전체 제품의 공수가 올라가 제품 원가가 높아지게 되고 제품의 가격 경쟁력은 떨어지게 된다.



[그림 4] 알고리즘

이러한 단점을 없애기 위해 리모콘을 사용하여 t15 조

건을 만족하게 되면, 강제로 F1의 S0 스텝으로 천이시켜 전체 공정은 동작시키고 메시지 에러를 처리할 수 있도록 한다. S15 스텝도 동일한 동작으로 "Data Save" 동작에 문제가 생겨도 전체 공정을 동작 시켜야 된다면 리모콘의 강제 스위치에 의해 강제로 F1의 S0 스텝으로 천이시켜 전체 공정을 동작시킬 수 있도록 한다.

이와 같은 동작을 프로그램할 때 다음 식 (4) 에 맞게 프로그램한다.

$$\begin{aligned}
 S5 &= (S4 \cdot t4) + (\text{강제}SW \cdot t1) \\
 S0 &= (S13 \cdot t13) + (S14 \cdot t15) + (\text{강제}SW \cdot t15) \\
 &\quad + (S15 \cdot t17) + (\text{강제}SW \cdot t17)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

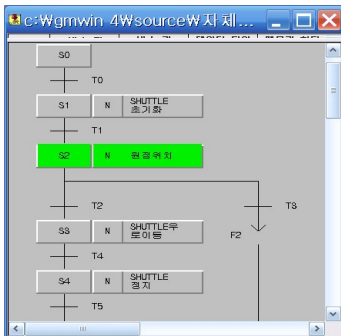
#### 4. 실험결과 및 검토

본 연구를 위해서 PLC는 LG 산전의 GLOFA GM4기종의 CPU를 사용하였으며, 편집 프로그램은 GMWIN Ver 4.17을 사용하였다.[7]

캐링로봇 시스템은 4개의 서브작업 공정으로 구성이 되고, 그림 4의 알고리즘에서 S5 스텝, S8 스텝, S11 스텝이 4개의 서브 작업이 동시에 수행된다.

S2 스텝인 원점위치로 이동한 후 대기상태에서 에러가 발생했을 때는 S3스텝으로 이동하지 못하고 멈춘 상태로 대기하게 된다. 그러나 이 에러가 큰 문제가 없는 에러라고 한다면, 리모콘을 사용하여 바로 F2의 S5스텝으로 이동시켜 전체 작업 공정을 멈추지 않도록 하는 것이 중요하다.

이러한 상태는 그림 5와 같고, 그림 5에서는 현재 S2 스텝이 활성화 상태로 있으며, 이 S2 스텝에서 에러가 발생하여 현재 이 스텝에서 멈추어 있다.



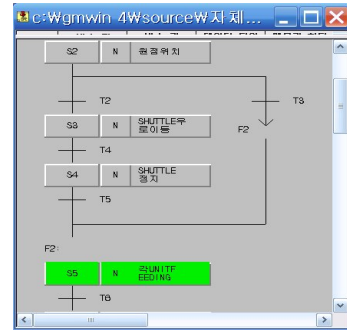
[그림 5] S2 스텝 활성화 상태

이 상태에서 강제로 S5스텝으로 이동시키기 위해서는 t3 트랜지션이 만족한 상태에서 리모콘의 강제 sw를 on 시키면 S5스텝으로 이동한다. 이것은 그림 6과 그림 7에서 확인할 수 있다.

그림 6에서 t3 트랜지션(IX0.0.3)접점과 리모콘의 강제 SW(IX0.3.1)가 on이 되면 그림 7의 F2 : S5스텝으로 강제 점프하게 됨을 알 수 있다.

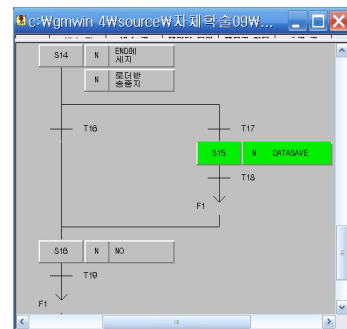


[그림 6] T3 트랜지션과 강제 SW=On상태



[그림 7] S5 스텝 활성화 상태

또한 그림 8에서는 S15 스텝이 활성화 상태인데, 현재 이 스텝에서 에러가 발생했을 때 리모콘의 강제 SW를 on 시키면 그림 10과 같이 초기 스텝으로 천이한다.

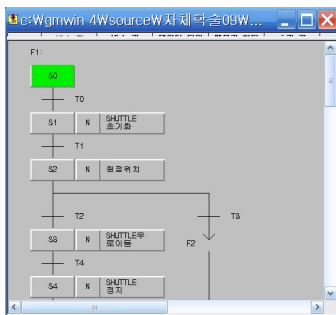


[그림 8] S15스텝 활성화 상태



[그림 9] T18 트랜지션과 강제 SW=On상태

그림 9에서 t18 트랜지션(IX0.2.2)접점과 리모콘의 강제 SW(IX0.3.1)가 on이 되면 그림 10의 F1: S0스텝으로 강제 점프하게 됨을 알 수 있다.



[그림 10] S0 초기스텝 활성화

결국 본 연구를 통해 SFC에서 한 스텝에서 에러가 발생했을 때 전체 공정에 미치는 영향이 거의 없다면 전체 SFC를 정지시키지 않고 리모콘을 사용하여 강제로 원하는 스텝으로 이동시키는 것이 가능함을 확인하였다.

## 5. 결론

PLC를 사용하여 공정제어를 설계할 때 LD 언어를 사용하면 전체 공정의 흐름을 파악하기 어렵지만 SFC 언어를 사용하면 전체 공정의 흐름을 파악하기가 용이하여 유지보수를 쉽게 할 수 있다. 그러나 SFC 언어로 설계했을 때 아주 경미한 에러가 한 스텝에서 발생하면 전체 공정에 미치는 영향이 대단히 크게 되어 큰 손실로 이어지게 된다. 이러한 손실을 줄이기 위해 리모콘을 사용하여 강제로 전체 공정을 살릴 수 있다는 것을 본 연구를 통해 확인하였고, 이와 같은 방법을 사용하여 공정제어를 설계하게 되면 손실을 줄여 제품의 가격 경쟁력을 높일 수 있는 좋은 방법이 될 것이다.

## 참고문헌

- [1] R.W.Lewis, "Programming Industrial Control Systems Using IEC1131-3", The Institution of Electrical Engineers, 1992.
- [2] M. Zhou and E Twiss, "Design of Industrial automated systems via relay ladder logic programming and Petrinets", IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics -part C ; Applications and Reviews, Vol 28, No 1, pp137- 150, 1998.
- [3] 유정봉, "Improvement of Memory Efficiency in Hierarchical Control Structure described by SFC", 한국과학기술학회 논문지, Vol. 7, No. 2, p126-p130, 2006.
- [4] Giuseppe Casalino, Giorgio Cannata, Giorgio Panin, Adrea Caffaz "On a Two level Hierarchical Structure for the Dynamic Control of Multifingered Manipulation", Proceedings of the 2001 IEEE, International Conference on Robotics & Automation Seoul Korea, 2001.
- [5] Bong-Suk Kang and Kwang-Hjun Cho, "Discrete Event Model Conversion Algorithm for Systematic Analysis of Ladder Diagrams in PLCs" Journal of Control, Automation and systems Engineering, Vol 8. No5, p401- 406, May, 2002.
- [6] G.Frey and L.Litz, Formal methods in PLC Programming, Proceedings for the IEEE Conference on Systems Man and Cybernetics SMC 2000, Nashville, Oct. 8-11, 2000.
- [7] "Programming Manual (SFC)", Mitsubishi, QnA series, 2006.

공 헌 택(Heon-Tag Kong)

[정회원]



- 1984년 5월 : Northeast Missouri State University 전산학과(학사)
- 1987년 12월 : Utah State University 전산학과(석사)
- 1998년 2월 : 단국대학교 대학원 전산통계학과(박사)
- 1988년 1월 ~ 1990년 3월 : 한국국방연구원 전산체계연구부
- 1990년 4월 ~ 현재 : 공주대학교 컴퓨터공학부 교수

<관심분야>

병렬처리 알고리즘, 객체지향 데이터베이스

**김 치 수**(Chi-Su Kim)

[정회원]



- 1984년 2월 : 중앙대학교 전자계산학과 졸업(학사)
- 1986년 8월 : 중앙대학교 대학원 전자계산학과 졸업(석사)
- 1990년 8월 : 중앙대학교 대학원 전자계산학과 졸업(박사)
- 1990년 9월 ~ 1992년 8월 : 공주교육대학교 전임강사

- 1992년 9월 ~ 현재 : 공주대학교 컴퓨터공학부 교수

<관심분야>

병렬처리 알고리즘, 객체지향 데이터베이스

---

**유 정 봉**(Jeong-Bong You)

[종신회원]



- 1988년 2월 : 단국대학교 전자공학과 (공학사)
- 1990년 8월 : 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1998년 8월 : 단국대학교 전자공학과(공학박사)
- 1990년 7월 ~ 1993년 9월 : (주)신도리코

- 1999년3월 ~ 2000년 2월 : 생산기술연구원 비상근 연구원
- 1999년 8월 ~ 현재 : 공주대학교 전기전자제어공학부 부교수

<관심분야>

PLC제어, 마이크로프로세서 제어, BLDC 모터제어, 공장 자동화 알고리즘 설계.