

# SFC로 설계된 PLC 제어에서 효율적인 자기진단 기능

(An Efficient Function of Self Test in PLC Control Designed by SFC)

유정봉\*

(Jeong-Bong You)

## 요 약

PLC를 사용한 제어 시스템을 설계할 때 여러 종류의 표준언어중 LD언어가 가장 많이 사용되지만, SFC를 사용하면 제어의 흐름을 알기 쉽고 유지보수가 용이하며, 프로그램의 기술성이 뛰어나다. 그러나 SFC 언어는 조건처리 시 큰 메모리를 요구한다는 단점이 있다. 따라서 SFC로 설계된 시스템은 자기진단기능을 부가하려면 메모리가 상당히 커야 하고, 속도가 늦은 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 자기진단 기능을 효율적으로 처리하는 방법을 제시하고, 실례를 통해 타당성을 확인하였다.

## Abstract

When we design the control system used Programmable Logic Controller(PLC), we program the main algorithm by Ladder Diagram(LD) in many standard language. But if we use an Sequential Function Chart(SFC), we is easy to know the sequential flow of control, to maintenance the controller and to describe a program. Even though a SFC have many merits, A SFC have some problems like a condition and a function of self test. Therefore this thesis show an efficient function of self test and we confirmed its feasibility through actual example.

Key Words : Control system, PLC, Self test, LD, SFC

## 1. 서 론

PLC(Programmable Logic Controller)는 현대산업사회가 활발히 움직이고 있을 때 공정을 제어하고, 안정되고, 규격화되는 제품을 생산하기 위해서는 필수장비가 되어있다.

초기 PLC는 속도가 늦고, 메모리 용량이 적어 제어할 공정이 대교규모로 커짐에 따라 사용하기가 어려웠지만, 마이크로프로세서의 발전에 의해 고도의 기능을 갖는 PLC가 출현하여 대규모의 입출력을 처리할 수 있고, 공정간의 유기적 연결을위한 통신 네트워크에 의해 링크될 수 있으며, 다양한 산술 및 로직 연산기능을 가지게 되었다.

또한 PLC는 기능이 향상되었고, 적용 범위가 확대되었으며, 특히 프로세서 제어 분야에서 중요한 역할을 하게 되었다[1-2].

\* 주저자 : 공주대학교 전기전자제어공학부 부교수  
Tel : 041-521-9156, Fax : 041-563-3689

E-mail : jbyou@kongju.ac.kr  
접수일자 : 2008년 2월 1일  
1차심사 : 2008년 2월 18일  
심사완료 : 2008년 2월 29일

SFC로 설계된 PLC 제어에서 효율적인 자기진단 기능

이처럼 중요한 역할을 담당하는 PLC가 하드웨어의 발전뿐 아니라 소프트웨어 발전도 병행하게 되었고, 소프트웨어의 질적인 향상뿐만 아니라 개발 효율을 높이고 프로그램 기술을 향상시키고자 PLC 프로그램 언어의 표준이 나오게 되었다.

PLC 프로그램 언어는 IEC-1131-3의 국제 규격에서 표준언어를 제시하게 되었고, PLC를 사용한 공정 제어 설계자들은 이 제시된 표준언어를 기준으로 사용하게 된다. PLC의 표준언어는 IL(Instruction List), ST(Structured Text)의 텍스트기반언어와 LD(Ladder Diagram), FBD(Function Block Diagram), SFC(Sequential Function Chart)의 그래픽 기반 언어가 있다[3].

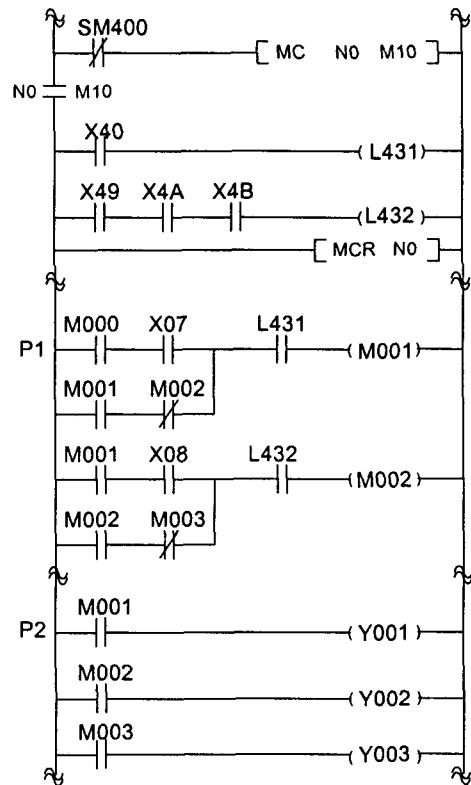
이 표준언어 중 릴레이 로직을 표현하기 위한 표준언어로 릴레이 제어반의 여러 요소를 소프트웨어로 대체시켜 접점 및 코일로 표현할 수 있게 한 LD 언어가 가장 많이 사용되지만, 제어 흐름을 나타내는 순차 제어 논리의 기술에는 많은 어려움이 있어 순차 제어 논리의 기술에 적합한 그래픽 언어인 SFC 언어 사용에 대해 많은 연구를 하고있다. LD 언어로 공정제어를 설계할 때 제어기의 자기진단 기능을 프로그램 하려면 블록으로 설정하여 초기 스캔 시에만 진단하고 중간과정에서의 진단은 하기가 수월하지 않다. 이러한 자기진단기능을 매순간 스캔하려면 메모리의 용량이 커야 된다는 단점이 있다. 또한 SFC언어를 사용하여 자기진단기능을 구현하려면 LD 언어와 마찬가지로 각각의 천이조건마다 자기진단 루틴을 설정을 해야 하기 때문에 메모리 용량이 상당히 크게 필요하게 된다[4-5].

본 논문에서는, 순차 제어 논리를 기술하는데 우수하며, 유지보수가 용이한 SFC언어를 사용하고 자기진단 기능을 SFC언어 중 매크로 블록으로 기술하여 처리하였으며, 매크로 블록의 내용인 자기진단 기능, 즉 각각의 스텝과 트랜지션은 LD언어로 기술하여, 두 가지의 표준언어를 적절히 사용함으로써 프로그램의 효율성을 높였다. 또한 제안된 방법을 글라스 코팅 설비에 적용하여 SFC언어에 의한 자기진단기능의 효율성을 높다는 것을 확인할 수 있었다.

2. 자기진단 기능의 기존의 방법

2.1 LD언어에서의 구현

자기진단 기능은 제어기의 현상태를 파악하여 정상상태인지 불량 상태인지를 판별하여 제어기의 유지보수를 가능하도록 경고하게 된다. 이러한 기능은 LD언어의 특징인 조건과 인터록의 장점을 살린 방식이 된다. LD언어에서의 구현 프로그램 예는 그림 1과 같다.



N0 : 자기진단 기능  
 p1 : 시퀀스 프로그램  
 p2 : 출력 프로그램

그림 1. LD 프로그램의 예  
 Fig. 1. Example of LD Program

그림 1에서 자기진단기능은 프로그램 선두에 N0 블록으로 구성하여 전원이 On 되었을 때 MC (Master Control) 명령을 사용하여 N0 블록을 활성화

화시킨다. 그러면 이 때 자기진단 기능이 동작을 하게 되고 NO블록의 내용이 끝나고 NO 블록은 MCR (Master Control Reset)명령으로 리셋되게 된다.

그러나 이와 같은 형태는 매스캔마다 한번씩 실행을 하여 매스캔 첫 블록에서 지정된 것처럼 자기진단을 한번씩 실행을 하게 되어 전체 시스템에 대한 감시기능이 잘 동작된다.

자기진단 접점에 대한 논리식은

$$L431 = M10 \cdot X40 \tag{1}$$

$$L432 = M10 \cdot X49 \cdot X4A \cdot X4B$$

이다.

한편, 자기진단 기능의 접점이 반영된 시퀀스 프로그램의 상태방정식은

$$M001 = \{ (M000 \cdot X07) + (M001 \cdot \overline{M002}) \} \cdot L431 \tag{2}$$

$$M002 = \{ (M001 \cdot X08) + (M002 \cdot \overline{M003}) \} \cdot L432$$

### 2.2 SFC언어에서 일반적인 구현 방법

SFC 언어에서의 사용 예는 그림 2와 같다. 그림 2에서 1번 스텝을 자기진단 기능 블록으로 사용하여 1번 스텝을 "SE"(Set Step)스텝으로 속성을 부여하고 시작하게 된다. 그러면 1번 스텝이 활성화되었을 때 이 블록이 활성화되고 X40 접점이 On되면 L431 접점이 On 되며, X49, X4A, X4B 접점이 On 되면 L432 접점이 On된다. 그리고 t1 트랜지션이 조건을 만족하게 되면 2번 스텝이 활성화된다. 이때 1번 스텝은 "SE"속성에 의해 리셋되지 않고 활성화된 상태로 남아있게 된다. 그러나 이 1번 스텝안의 접점 L431은 X40의 처음상태에 따라 On 또는 Off를 그대로 유지하게 되는 문제점을 나타내게 된다. L432 접점도 마찬가지로 유지하게 된다.

그러면 이와 같은 방법도 초기 1스캔시에만 활성화 상태로 되어 1스캔시에만 자기진단 기능을 발휘하게 된다.

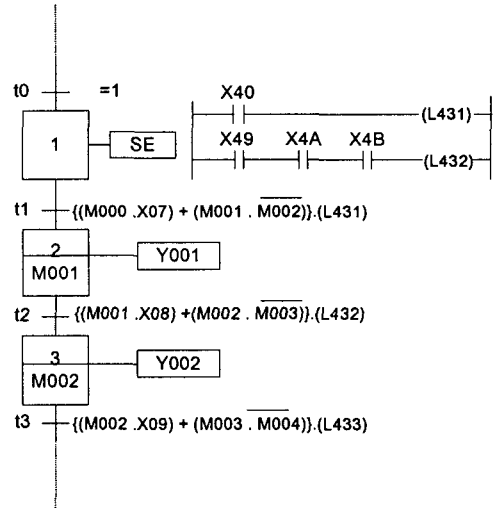


그림 2. SET 명령을 사용한 SFC  
Fig. 2. SFC using SET Instruction

### 3. SFC언어에서 제안된 자기진단기능

SFC언어에서 복잡한 시스템을 용이하게 기술하기 위해 매크로스텝을 사용하게 된다. 매크로 스텝은 한 스텝을 세부적으로 나타내기 위해 SFC언어의 그래픽 표현을 명확히 할 수 있게 한다. 매크로 스텝의 개념은 그림 3에서 설명된다.

2/M40으로 주어진 매크로 스텝은 그림 3 (a)에서 표현된다. 그림 3 (b)는 M40에 매크로 스텝 2/M40을 대응하기 위해 사용된다면, 그림 3 (c)의 SFC가 얻어진다.

또한 PLC에서 사용되는 매크로스텝은 2가지로 나누어진다. 하나는 매크로스텝의 확장이 END를 확인하고 다음 스텝으로 진행 가능한 것이 있고, 다른 하나는 매크로스텝의 확장이 END를 확인하지 않고 다음 스텝으로 진행 가능한 것이 있다.

본 논문에서는 그림 4 (b)의 매크로 스텝을 자기진단블록으로 사용하는 방법을 제시한다. 그러면 그림 4 (a)와 같이 B1블록의 스텝11과 스텝12에 자기진단 기능들을 설정하면 활성화스텝이 어느곳에 있어도 자기진단 기능들을 항상 스캔하여 자기진단 논리를 사용하고 있는 출력 논리식에 영향을 주게 된다.

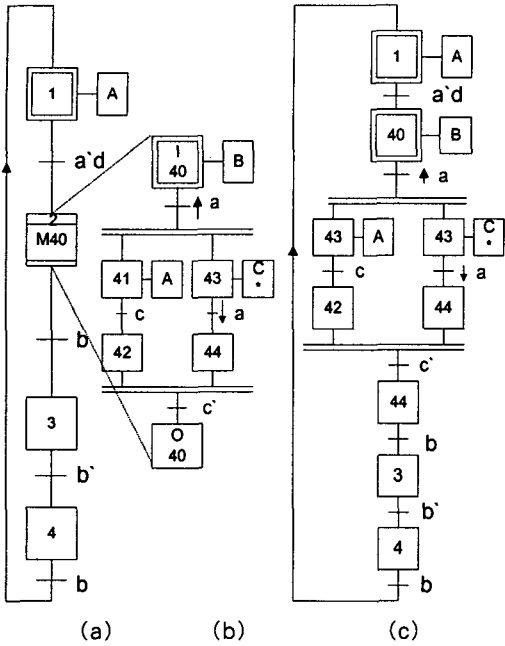


그림 3. 매크로시스템 (a) 매크로시스템을 갖는 SFC  
 (b) 매크로시스템의 확장  
 (c) 매크로시스템이 없는 등가 SFC  
 Fig. 3. Macrostep (a) SFC with Macrostep  
 (b) Macro Step Expansion  
 (c) Equivalent SFC without Macrostep

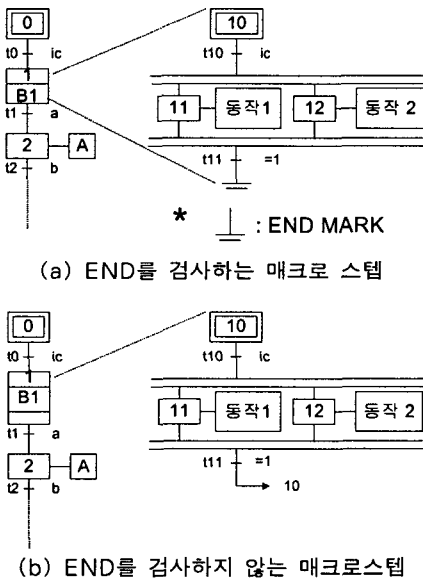


그림 4. 매크로시스템  
 Fig. 4. Macrostep

## 4. 적용 예

### 4.1 시스템 개요

본 연구에 사용된 시스템은 글라스 코팅 설비이며, 10인치 이상의 글라스를 레지스트 코팅하는 설비로써 LCD 장비에 사용될 수 있고, 기타 특수 글라스 생산 설비로 이용될 수 있다. 이설비는 그림 5와 같이 코팅하기 위한 글라스를 레지스터부로 이송하기 위한 인입부와 인입부로부터 전송받은 글라스에 레지스트를 뿌리고 글라스를 회전시켜 레지스터를 전체 글라스에 일정하게 도포하여 건조시켜 코팅하는 레지스터부, 그리고 레지스터부에서 코팅된 글라스를 적재함으로 이송하기 위한 반송부의 3개 Unit로 구분된다.

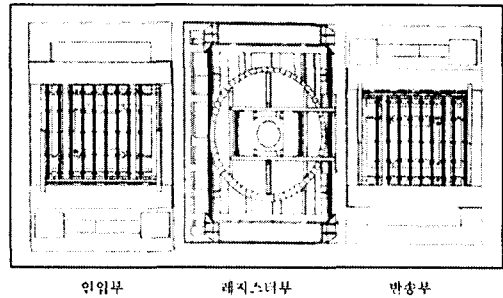


그림 5. 글라스 코팅 설비  
 Fig. 5. Configuration of Glass Coating Instrument

### 4.2 알고리즘 설계

그림 5의 시스템에 대해 알고리즘을 설계하면 그림 6과 같다. 그림 6에서 이중 사각형으로 된 스텝은 초기스텝으로 SFC의 시작을 나타낸다. 그리고 S2 스텝부터 S12스텝까지는 블록을 나타내며, 이 블록은 액션 내부가 래더 다이어그램으로 다시 작성될 수 있음을 나타낸다. S2 스텝부터 S4스텝까지는 공용 프로그램 부분이다. 이 중 S3 스텝이 본 논문에서 제안한 END를 검지하지 않는 매크로시스템을 사용한 자기진단 블록이다. S2스텝이 동작하고 t2 트랜지션이 조건을 만족하면 S3스텝이 활성화된다. 그러면 자기진단기능이 동작을 하게 되며, 이와 동시에 t3

트랜지션이 조건을 만족하게 되어 S4스텝으로 이행하게 된다.

그러면 S3스텝은 END를 검지하지 않는 매크로스텝이기 때문에 S4스텝이 활성화되어도 S3스텝의 매크로스텝은 리셋 되지 않고 활성화상태로 남아있게 된다. 따라서 주프로그램이 계속 동작하고 있는 상태에서 S3스텝인 자기진단 기능 블록은 계속 시스템의 자기진단 기능을 동작시키게 된다.

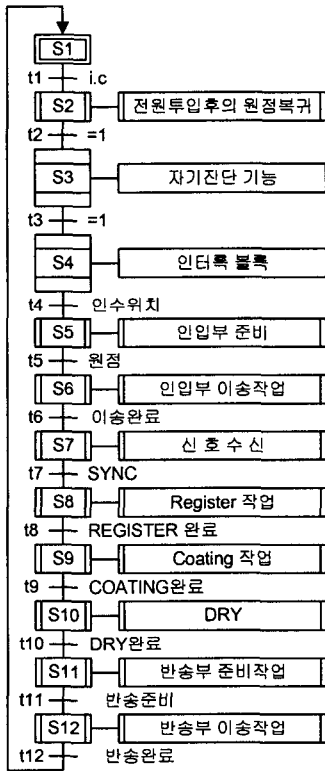


그림 6. 시스템 알고리즘  
Fig. 6. System Algorithm

### 5. 실험 결과 및 검토

글라스 코팅 설비를 제어하는 PLC는 미쓰비시 기종의 Q02H CPU를 사용하였으며, 편집 프로그램은 SW5D5C-GPPW 프로그램이다[6-7].

SW5D5C-GPPW 프로그램은 전체 알고리즘을 SFC언어로 작성하고, SFC의 각 스텝과 천이조건을

LD언어로 프로그램 할 수 있는 것이 특징이다.

그림 7에서 좌측의 SFC는 Main 프로그램을 나타내고 있고, 우측의 SFC는 B1블록의 SFC를 나타내고 있다.

그림 7에서 2번 스텝인 B1블록이 활성화 되어 있고, 우측의 B1블록의 0번스텝이 활성화되어 두 개의 SFC가 동시에 들고 있음을 나타내고 있다.

그리고 2번 트랜지션 조건을 만족하여 그림 8의 3번 스텝인 B2블록이 활성화됨을 알 수 있다.

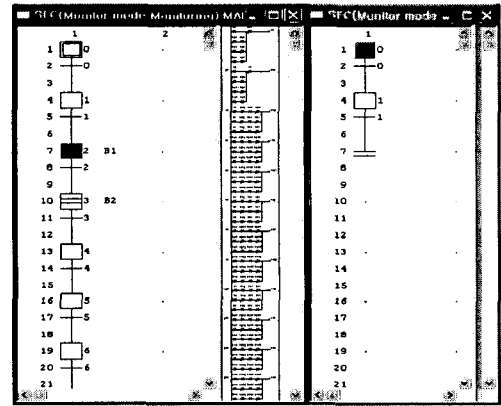


그림 7. 자기진단 기능 블록의 활성화  
Fig. 7. Activation of Self Test Function Block.

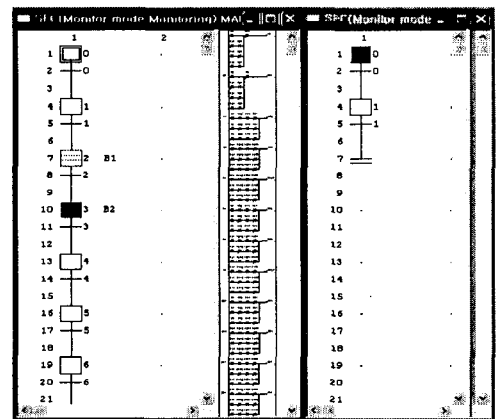


그림 8. 인터록 블록의 활성화  
Fig. 8. Activation of Interlock Block.

그림 8에서 B2블록이 활성화되어도 우측의 B1블록은 계속해서 활성화 되어 있음을 알 수 있다.

그리고 3번 트랜지션 조건을 만족하여 그림 9의 4

SFC로 설계된 PLC 제어에서 효율적인 자기진단 기능

번 스텝이 활성화됨을 알 수 있다.

그림 9에서 4번 스텝이 활성화 되어도 우측의 B1블록은 계속해서 활성화 되어 있고, B1블록의 자기진단 기능은 계속해서 시스템을 검사하고 있게 된다.

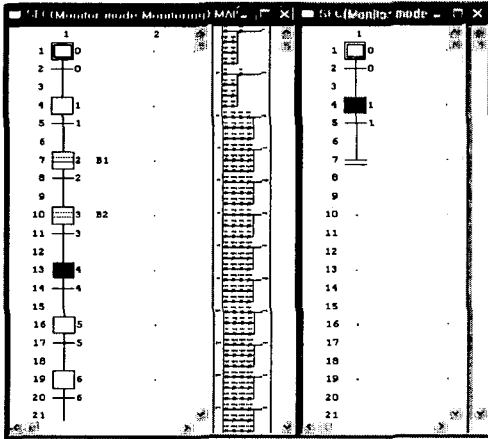


그림 9. 4번 스텝 활성화  
Fig. 9. Activation of Step 4.

결국 LD 프로그램에서는 자기진단 기능을 구현하기는 용이하지만, SFC 프로그램에서는 SET 명령과 RESET 명령을 사용하고, 각각의 트랜지션에서 각각의 점점에 대한 조건들을 매번 사용해야 하는 불편이 있다. 그러나 본 연구에서 제안한 방법을 사용하면 SFC 프로그램에서 간단히 자기진단 기능을 구현할 수 있음을 확인하였다.

## 6. 결 론

PLC를 사용하여 복잡한 제어 시스템을 설계할 때 제어의 흐름을 이해하기 쉽고 유지보수가 용이한 SFC언어를 사용하여 프로그램하는 연구가 활발히 진행되고 있다. SFC언어를 PLC에 적용할 때 시스템의 자기진단기능을 효율적으로 프로그램하는 것은 매우 중요한 과제라고 생각된다.

본 논문에서는 SFC언어를 PLC에서 프로그램할 때 자기진단 기능에 대한 효율적인 실현 방법을 제시하였고, 적용 예를 통해 타당성을 확인함으로써 SFC언어를 사용하여 프로세스 제어 시스템 설계를 할 때 효율적으로 자기진단 기능을 적용할 수 있음

을 확인하였다. 앞으로 SFC언어를 사용한 복잡한 프로세스 제어 시스템설계에서 순차 및 조합 제어 논리를 효율적이고 용이하게 기술하고 실현할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 공주대학교 자체학술연구비 지원에 의해 수행되었음.

## References

- [1] 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.
- [2] Giuseppe Casalino, Giorgio Cannata, Giorgio Panin, Andrea 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.
- [3] R.W.Lewis, "Programming Industrial Control Systems Using IEC1131-3", The Institution of Electrical Engineers, 1992.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] "Programming Manual (MELSEC-Q)", Mitsubishi, QnA series, 2006.
- [7] "Programming Manual (SFC)", Mitsubishi, QnA series, 2006.

## ◇ 저자소개 ◇

### 유정봉 (庾正鳳)

1964년 3월 5일생. 1988년 2월 단국대학교 전자공학과 졸업. 1990년 8월 동대학원 전자공학과 졸업(석사). 1998년 8월 동대학원 전자공학과 졸업(박사). 1990년 7월~1993년 9월 (주)신도리코. 현재 공주대학교 전기전자제어공학부 부교수. 주요관심분야는 PLC 제어, 마이크로프로세서 제어, BLDC 모터 제어, 디스플레이 장비, 공장자동화 알고리즘 설계 등.