

SFC 그래픽 언어로 記述된 공정제어 시스템에서 효율적인 에러관리 방법

(Efficient Error Management Method in Process Control System
Described by SFC Graphical Language)

전호익* · 우광준**

(Ho-Ik Jun · Kwang-Joon Woo)

요 약

최근 산업공정 시스템이 복잡해지고 고도의 성능을 요구함에 따라 PLC의 하드웨어와 소프트웨어의 성능이 향상되었다. SFC 그래픽 언어는 순차 논리 알고리즘을 기술뿐만 아니라 인터록 제어 알고리즘과 같은 에러 관리 알고리즘을 기술하는 데에도 적합하다.

본 논문에서는 산업 공정 제어 시스템을 기술하는데 있어서 효과적으로 에러를 관리하기 위해 제한자를 이용한 에러 관리 방법을 제안하였으며, 제안된 방법으로 필름 코팅기 제어 시스템을 구현한 결과 에러 관리가 용이하고 프로그램 메모리의 용량을 줄일 수 있었음을 확인하였다.

Abstract

As the highly complex and precise control functions are required in modern industrial process control system, the complex function models and developed in each hardware and software of PLC. The SFC graphical language is very powerful for describing the sequential logic control algorithm, on the other hand it has problems in describing the interlock logic control algorithm, such as error management algorithm.

In this paper, we propose the efficient error management method using the action qualifiers to design the error management algorithm in industrial process control system described scheme, we realize the error management logic in process control system of film coating machine.

From the experiment results, we confirm that the proposed scheme is very useful in aspects to realize easily the error management logic and to reduce the memory capacity for user's program.

1. 서 론

현대의 산업 공정 시스템은 고도로 복잡하고 정밀

한 성능을 요구함에 따라 다양한 기능의 제어를 요구하며, 공정 시스템이 고도의 생산성과 대규모화함에 따라서 공정간의 유기적인 시스템과 효율적인 에러 관리 시스템을 요구하게 되었다.

이와 같이 현대의 공정 제어기는 고도의 다양한 기능을 갖는 외에도 제어의 신뢰성과 표준화, 그리고 유지 보수의 용이성 등을 요구함에 따라 PLC

* 정회원 : 해전대학 전자계산과 조교수
** 정회원 : 단국대학교 전자과 교수
접수일자 : 1999년 10월 12일

(Programmable Logic Controller)가 개발되었으며, 마이크로프로세서의 발전에 따라 PLC의 성능도 고도로 향상돼 다양한 기능들을 수행할 수 있게 되었으며, 또한 처리 용량이 대폭 확충되어 대규모의 입출력을 처리할 수 있게 되었다.

이와 같이 PLC의 처리 기능 및 용량 등 하드웨어 분야에서의 비약적인 발전과 더불어 소프트웨어 분야에서 다양한 특성의 PLC 프로그램 표준 언어들이 개발되었다. 표준 언어로는 텍스트 기반의 언어로서 Instruction List(IL), Structured Text(ST)가 있고, 그래픽 기반의 언어로서 Ladder Diagram(LD), Function Block Diagram (FBD) 및 Sequential Function Chart (SFC)가 있다[1-7]. 특히, 이들 중 SFC 그래픽 언어는 1977년 프랑스에서 개발된 GRAFCET에 근거한 국제 표준 언어로서, 이산 제어 프로그램에서 순차 제어 논리의 記述에 적합한 記述언어이며 동시에 PLC 프로그램 언어로서, 그래픽에 기반을 둔 언어이므로 제어의 흐름을 이해하기가 쉬우며, 프로그램의 병렬성까지도 記述이 뛰어나며, 유지 보수가 용이하고, 공정 장애의 진단성이 우수하다는 장점 등이 있다. 특히, 시스템의 병렬 처리는 기능 향상의 핵심이 되므로 병렬 처리가 가능할 수 있게 제어를 설계하기 위해서는 알고리즘 記述 후 이를 직접 PLC의 프로그램으로 적용이 가능한 SFC 그래픽 언어가 최적의 방법이 될 수 있다.

그러나 SFC를 이용하여 記述된 제어 시스템에서 발생한 에러를 관리하기 위해서는 각각의 단계마다 발생 가능한 에러를 미리 예측하여 記述하여야만 발생한 에러에 대하여 관리가 가능하다. 이와 같은 방법은 임의의 제어 시스템에서 동일한 에러가 반복적으로 발생되는 경우 에러 발생이 가능한 모든 단계마다 매번 記述하여야하며, 이로 인하여 記述상의 문제점 및 많은 프로그램 공간이 요구된다. 또한 SFC의 기본 성질에 의하여 활성화된 스텝의 액션만이 동작하므로 활성화되지 않은 시점에서 에러가 발생하는 경우에는 이를 감지는 하나 처리를 못하는 문제점이 있으며, Emergency Stop(E-Stop)과 같이 조합논리에 의해 발생 시점이 일정하지 않은 에러는 SFC를 이용하여 記述하기가 매우 어렵다. 또한 모든 에러에 대하여 記述하였다 하여도 이들 에러들은 분산되어 記述되기 때문에 종합적인 관리가 어렵다.

본 논문에서는 이러한 문제들을 해결하기 위한 방법으로 제어 시스템에서 발생 가능한 에러를 임의의 에러 관리 스텝에 정의함으로써 프로그램이 종료할 때까지 에러 관리 상태를 유지 시켜주거나 또는 필요한 작업에서만 특정 에러를 관리할 수 있도록 상태를 유지시켜주는 방법을 제안하였다. 그러나 이러한 방법은 비활성화된 스텝은 액션을 하지 않는 SFC 기본 규칙에 위배가 되나, 본 논문에서는 에러 관리 스텝에 발생 가능한 에러를 정의할 때 에러 관리 스텝을 활성화된 스텝으로 정의함으로써 이러한 문제를 해결하였다.

2. SFC로 記述된 공정 제어 시스템에서의 에러 관리 스텝

SFC를 이용하여 記述된 제어 시스템에서 에러를 효율적으로 관리하기 위해서는 제어 시스템에서 발생 가능한 모든 에러를 임의의 스텝(이를 에러관리 스텝이라 정의한다.)에 記述하고 제어 프로그램이 종료될 때까지 에러를 관리할 수 있도록 에러관리 스텝을 활성화 시켜주거나 또는 필요한 작업에서만 특정 에러를 관리할 수 있도록 상태를 유지시켜 주어야한다.

이러한 에러 관리 스텝을 임의의 시퀀스동안 에러 관리 상태를 유지시키기 위해서는 시퀀스가 Evolution됨에 따라 비활성화된 스텝은 액션을 하지 않는 SFC 기본 규칙에 위배되지 않기 위해서 에러 관리 스텝을 활성화된 스텝으로 정의하였다. 에러 관리 스텝 형식은 그림 1과 같이 에러 관리 스텝을

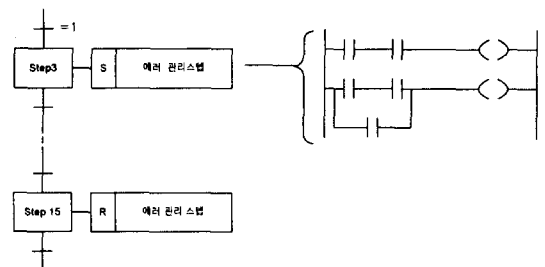


그림 1. 에러 관리 스텝에 의한 에러 관리
Fig. 1. Error Management by Error Management Step

에러 발생시 이를 처리할 수 있는 액션을 정의하고 액션 제안자(Action Qualifier)를 이용하여 에러 관리 스텝을 S(Set)로 지정한 후 이를 실행시키면, 시퀀스의 Evolution에 관계없이 활성화된 상태로 메모리에 상주하여 프로그램이 종료될 때까지 또는 에러 관리 스텝을 R(Reset)으로 제한할 때까지 에러 관리 액션을 실행하게 된다.

이때 하나의 에러 관리 스텝은 에러를 처리할 수 있는 여러 동작으로 구성되므로 이들 각각의 에러 처리 루틴을 記述하여야 한다. 그러나 PLC의 기종에 따라 SFC의 임의의 스텝에 또 다른 액션을 SFC로 정의하는 것이 지원되지 않으므로 본 논문에서는 대부분의 PLC에서 지원되는 방식으로 그림 1과 같은 하이브리드SFC(Hybrid SFC)형식에 따라 에러 관리 스텝이 활성화되어 실행되는 액션인 에러 처리 루틴을 LD를 이용하여 記述하였다. 또한 LD언어로 記述된 에러 처리 루틴이 너무 방대하거나, 에러 성격 상 부분 관리할 필요가 있을 경우 다수개의 에러 관리 스텝을 사용하여 記述하는 것이 필요하다. 그림 2와 같이 에러 1 관리 스텝에서 에러 2 관리 스텝으로의 Evolution을 위해 “=1”인 천이 조건을 사용하여야 한다.

이때 “=1”인 천이조건에 의해 점화된 스텝은 1 스캔사이클 동안만 활성화 상태를 유지하므로 제어 시스템의 1 스캔사이클이 짧은 경우 에러 1 관리 스텝이 활성화되지 못하는 경우가 발생하므로 그림 3과 같이 스텝 3의 LD언어로 記述된 에러 처리 루틴에 별도의 출력을 할당하여 할당된 출력을 스텝 4로의 천이 조건으로 사용하여 상기의 문제점을 해결하여 에러 관리 스텝의 사용에 의한 에러 관리 방법에 유연성을 부여하였다.

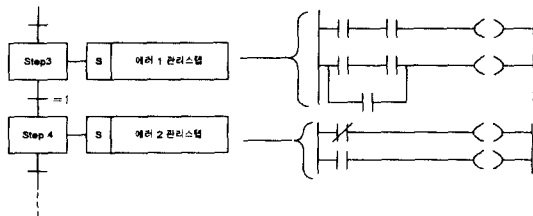


그림 2. 다수개의 에러 관리 스텝에 의한 에러 관리
Fig. 2. Error Management by Multiple Error Management Steps

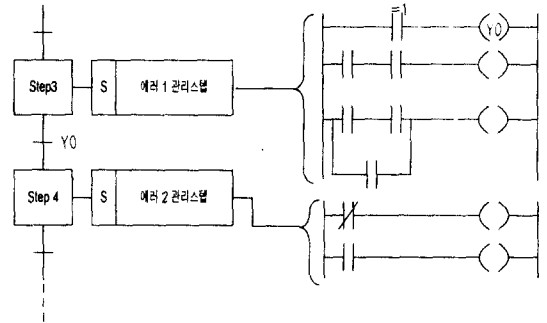


그림 3. 다수개의 에러 관리 스텝의 Evolution
Fig. 3. Evolution of Multiple Error Management Steps

3. 적용 예제

3.1 시스템 개요

본 연구에 적용한 공정 시스템은 기판에 필름을 코팅 후 일정시간동안 일정온도로 기판을 가열하는 필름 코팅기로 기계적 구조의 개략도를 그림 4에 나타내었으며, 그 세부적인 기능적 사양 및 관리해야할 발생 가능한 에러는 다음과 같다.

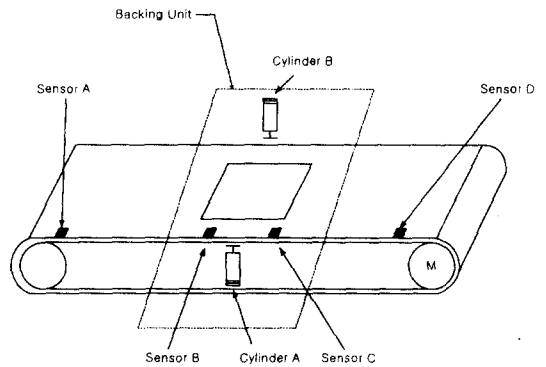


그림 4. 필름 코팅기의 구조
Fig. 4. Configuration of Film Coating Machine

1. 상류 장치로부터 기판이 이송되어 센서 A에 감지되면 롤러 모터(Roller Motor)가 구동되어 Baking부로 이송한다. 이때, 센서 A가 감지된 후 일정 시간 안에 기판이 Baking부의 정위치에 도달하지 못하면 롤러 에러를 발생시킨다. (롤러 타임아웃 에러(Roller Time Out Error))

으로서 시퀀스의 Evolution과 관계없이 에러 관리 스텝을 R(Reset)로 제한할 때까지 활성화 상태를 유지한다. 따라서 에러 관리 스텝이 활성화 상태가 유지되는 동안 스캔됨으로서 그림 7에 LD언어로記述된 에러 관리가 정상 기능적 시퀀스의 Evolution에 관계없이 이루어진다.

따라서 제안된 방법은 기존의 방법에서와 같이 다양한 에러에 대한 관리를 위해 반복적으로記述하지 않아도 되므로 스텝 수를 줄일 수 있으며, 또한 E-Stop과 같은 발생

시점이 일정치 않고 조합논리로 구성된 에러 관리를記述하는데 용이하다.

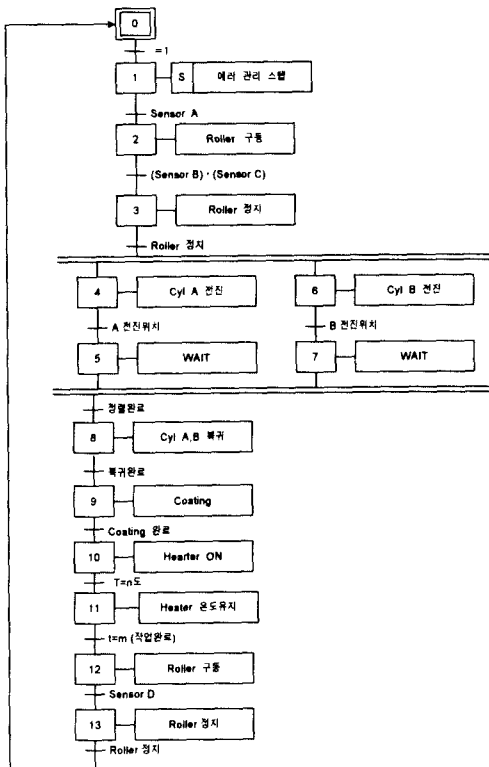


그림 6. 에러 관리 스텝을 적용한 제어 알고리즘
Fig. 6. Control Algorithm Including Error Management Step

4. 실험 및 검토

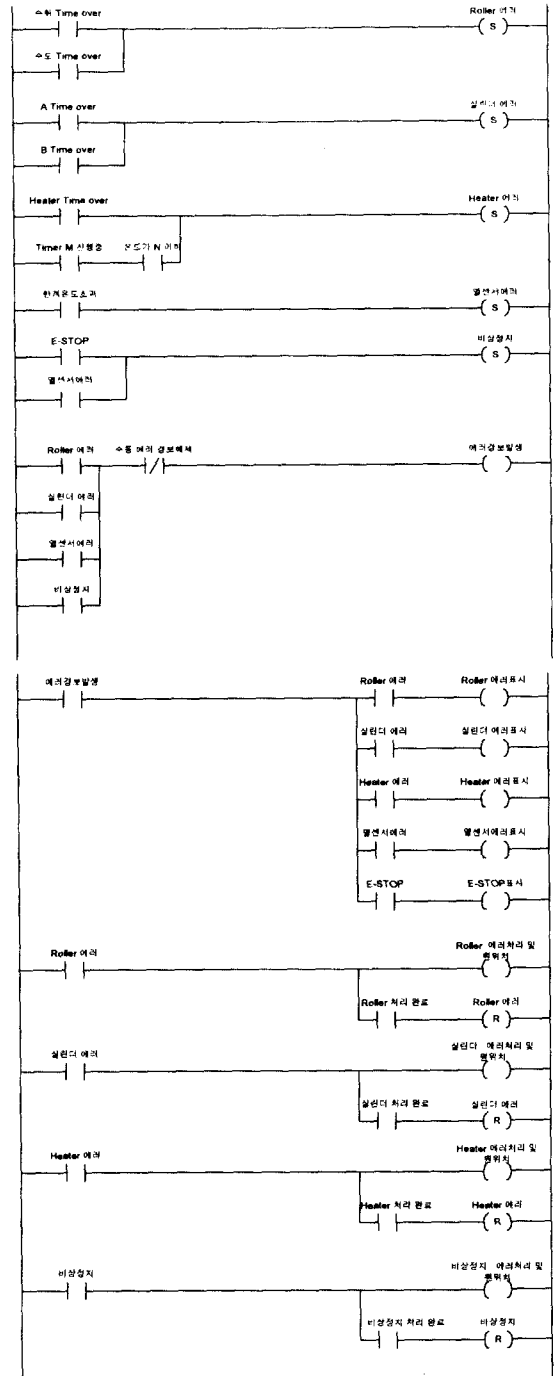


그림 7. LD로記述한 에러 관리 스텝.
Fig. 7. Error Management Step Described by LD.

SFC 그래픽 언어로 記述된 공정제어 시스템에서 효율적인 에러관리 방법

SFC 언어로 記述된 필름 코팅기의 제어 알고리즘을 LG GLOFA GM-3 PLC를 사용하여 실험하였으며, 편집프로그램은 GMWIN Ver 3.0을 이용하였다.

그림 8은 기존의 방법에 의해 SFC언어로 작성된 실행 프로그램을 나타내었다. 에러를 관리하기 위해서는 SFC언어의 특성상 활성 스텝만이 액션을 할 수 있고 비활성 스텝은 액션을 할 수 없기 때문에 각각의 시퀀스 단계마다 발생 가능한 에러를 記述하여야만 에러의 관리가 가능하다. 따라서 동일한 에러가 반복적으로 발생하는 경우 에러 발생시 가능한 모든 단계마다 매번 記述하여야하며 이로 인하여 記述상의 문제점 및 많은 프로그램 메모리 공간이 요구된다

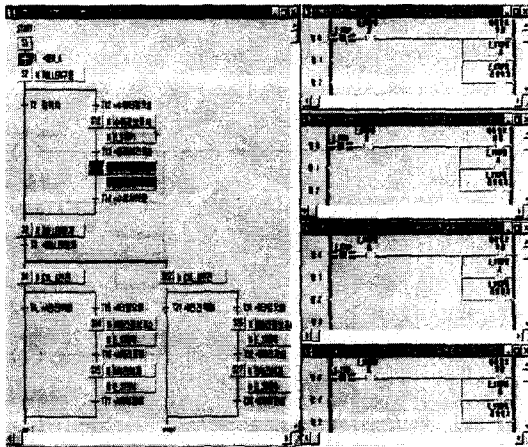


그림 8. 기존 방법에 의한 필름 코팅기의 실행 프로그램
Fig. 8. Execution Program of Film Coating machine by Conventional Method

또한 활성화되지 않은 시점에서 에러가 발생하는 경우에는 이를 감지하는 하나 이에 해당하는 에러 처리 스텝이 활성화되지 못하므로 해당 에러를 처리할 수 없는 문제점이 있으며, E-Stop과 같이 조합 논리에 의해 발생 시점이 일정하지 않은 에러는 SFC 언어를 이용하여 記述하기가 어렵다.

그림 9에는 제안된 방법에 의해 하이브리드 (Hybrid) SFC언어로 작성된 실행 프로그램을 나타내었다. S1 스텝을 제안한 에러 관리 스텝으로 할당하고 이에 해당하는 에러 관리, 즉 필름 코팅기에서 발

생 가능한 모든 에러의 발생 입력조건에 따른 출력 처리루틴을 LD언어로 작성하였다. 이와 같이 프로그램 초기에 에러 관리 스텝을 액션 제한자 S(Set)로 제한함으로써 LD언어로 작성된 에러 관리루틴이 매 스캔 사이클 시간마다 스캔됨으로서 프로그램이 시작부터 종료 때까지 또는 해당 에러 관리 스텝을 액션 제한자 R(Reset)로 제한 할 때까지 에러 관리 상태를 유지시킨다.

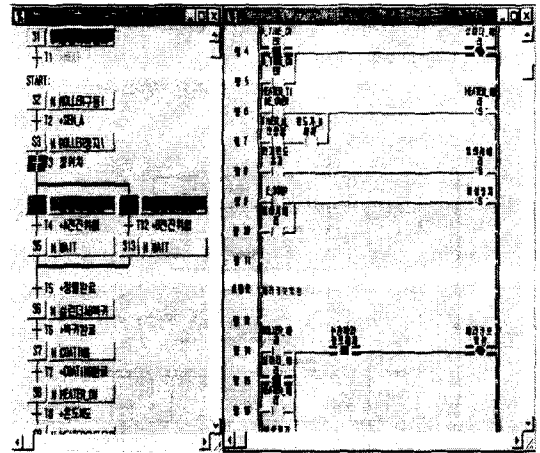


그림 9. 제안된 방법에 의한 필름 코팅기의 실행 프로그램
Fig. 9. Execution Program of Film Coating Machine by Proposed Method

이와 같이 제안한 에러 관리 스텝을 이용함으로써 기존의 방법에서와 같이 중복되는 에러를 반복적으로 記述하지 않아도 되므로 프로그램의 크기를 줄일 수 있으며, 비활성스텝 시퀀스에서 발생하는 에러에 대해서도 해당 에러를 처리할 수 있으며, 또한 E-Stop과 같은 조합논리에 의해 발생시점이 일정하지 않은 에러에 대해서도 간단히 記述할 수 있으며 즉각적인 에러 처리가 가능하다.

그림 10에는 컴파일 결과에 의한 필름 코팅기의 프로그램 크기를 비교하였다.

표 1에는 제안된 에러 관리 스텝을 이용함으로써 제어 스텝에서 반복되어 발생하는 에러를 하나로 통합하여 記述함으로써 프로그램의 크기를 기존의 방법보다 최대 42.67%까지 줄일 수 있었으며, 또한 모든 에러를 하나의 스텝에서 記述함으로써 시스템 전

체의 에러를 효율적으로 관리할 수 있었다.

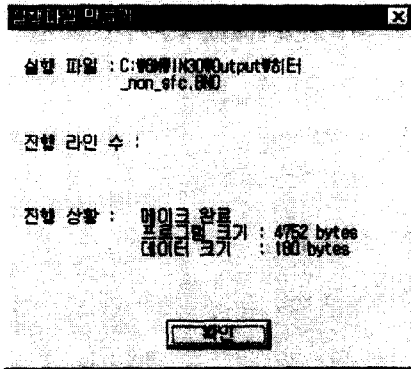
5. 결 론

SFC로 記述된 제어 시스템에서 에러 관리에 관한 문제점들을 해결하기 위한 방법으로 제어 시스템에서 발생 가능한 에러를 임의의 에러 관리 스텝에 정의함으로써 프로그램의 종료까지 에러 관리 상태를 유지시켜주거나 또는 필요한 시퀀스에서만 특정 에러를 관리할 수 있도록 에러 관리 상태를 유지시킬 수 있도록 에러 관리 스텝의 활성화 영역을 액션 제한자 S(Set) 및 R(Reset)로 설정하여 관리하는 방법을 제안하였다.

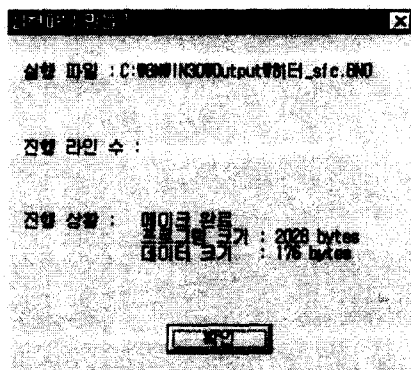
이와 같이 공정제어기의 제어 알고리즘 설계를 위한 언어로서 SFC 그래픽 언어를 채택함으로써 병렬 시퀀스를 포함한 제어 알고리즘의 記述를 용이하게 하였으며, 제안된 에러 관리 스텝을 이용함으로써 공정 시스템에서 반복되어 발생하는 에러를 통합하여 記述함으로써 프로그램 메모리 용량을 대폭 줄일 수 있었으며, 모든 에러를 하나의 스텝에서 記述함으로써 시스템 전체의 에러를 효율적으로 관리할 수 있고, 또한 에러 관리 스텝의 활성화 영역을 액션 제한자 S(Set) 및 R(Reset)로 설정함으로써 E-Stop과 같이 조합 논리에 의해 발생시점이 일정하지 않은 에러 등에 대해서도 프로그램의 記述를 용이하게 할 수 있을 뿐만 아니라 실시간 에러 처리가 가능하게 됨으로서 SFC 그래픽 언어를 사용하여 공정 제어 시스템의 설계시 에러 처리에 관한 記述상의 문제점 및 실현상의 문제점을 해결하여 공정 시스템의 신뢰성 및 생산성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] R. W. Lewis, "Programming Industrial Control System Using EC1131-3," The Institution of Electrical Engineers, 1992.
- [2] T. Korthon and J. D. Decotignie, "Improving Time Performances of Distributed PLC Applications," Proceedings on Emerging Technologies and Factory Automation, IEEE, 1996.
- [3] Robert E. Smith, "Robotic Vehicles will Perform Tasks Ranging from Production Retrieval to Sub-assembly Work in Factory of Future," Industrial Engineering, pp.62 - 72, Sep., 1983.
- [4] Masaharu Oku, Takao Kokubu, Shigeru Masuda and Kenzo Kamiyama, "Application of the Encapsulated Actuator Model to the Sequential Control Machines,"



(a)



(b)

그림 10. 컴파일 결과에 의한 필름 코팅기의 프로그램 크기 비교

- (a) 기존 방식에 의한 프로그램 크기
- (b) 제안된 방법에 의한 프로그램의 크기

Fig. 10. Comparison of Program Size in Film Coating Machine by Compiling Results.
(a) Program Size of Conventional Method
(b) Program Size of Proposed Method

표 1. 기존 방법과 제안된 방법의 필름 코팅기의 프로그램 크기 비교.

Table 1. Comparison of Program Size between Conventional Method and Proposed Method in Film Coating Machine.

단위: Byte

기존의 방법	제안된 방법	크기 감소 비율(%)
4,752	2,028	42.67

- Short Papers IEEE/ASME Transactions on Mechatronics,
Vol. 1, No. 4, pp. 290 - 294, Dec., 1996.
- [6] Takao Kokubo, Kenzo Kamiyama, Masaru Omura and
Makoto Tachikawa, "Enhancement of the Tire Industry,"
In Proc. IECON'90, Vol. II, pp. 880 - 885, 1992.
- [7] T.kouthon, M. A. Peraldiabd and J. D. Decotignie,
"Distributing PLC Control," International Conf. on IEC,
IEEE 21'st, Vol. 2, pp. 1614 - 1619, 1995.

◇ 저자소개 ◇

전 호 익 (田昊益)

1962년 11월 18일생. 1984년 단국대학교 전자공학과
졸업. 1986년 단국대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사).
1998년 단국대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사).
현재 혜전대학 전자계산과 조교수.

우 광 준 (禹廣俊)

1946년 11월 8일생. 1974년 한양대학교 전자공학과 졸업.
1977년 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사).
1980년 Univ. de Strasbourg I 전자계측공학(D.E.A).
1983년 Institut National Polytechnique de Grenoble
계측제어(Docteur ingenieur). 현재 단국대학교 전자공
학과 교수.