자동화시스템에서 제어공정을 위한 알고리즘 설계

정용섭*, 박영희**, 윤순배***
*한국폴리텍대학 영남융합기술캠퍼스 메카트로닉스과
**한국폴리텍대학 울산캠퍼스 스마트융합제어과
***한국폴리텍대학 울산캠퍼스 자동화시스템과
e-mail:jys@kopo.ac.kr

Algorithm design for control process in an automated system

Yong-Sub Jung*, Young-Hee Park**
*Dept. of Mechatronics, Yeongnam Convergence Technology Campus of Korea Polytechnic
**Dept. of Smart Convergence Control, Ulsan Campus of Korea Polytechnic
***Dept. of Automation System, Ulsan Campus of Korea Polytechnic

요 약

본 논문에서는 자동화시스템에서 제어공정을 위한 알고리즘 설계에 관한 연구이다. 자동화시스템은 공기압 및 유압 장비의 주요 장치들로 여러 센서를 기반으로 작동한다. 공정 제어는 정의된 공정제어조건에 따라 입력되는 센서의 상태와 출력되는 솔레노이드 밸브 상태에 따라 변한다. 하드웨어 구성은 복동 실린더, 단일 솔레노이드 밸브, 그리고 이중 솔레노이드 밸브가 각각 두 개씩 구성되어 있다. 제안한 알고리즘을 이용하여 서로 다른 솔레노이드 밸브를 이용하여 동등한 제어공정 성능을 확인하였다.

1. 서론

자동화시스템은 스위치, 센서, 실린더, PLC(Programmable Logic Controller) 등과 같은 다양한 부품의 집합체이다.[1)~2)] 생산 시스템은 여러 개의 액추에이터와 공정 상태를 파악할 수 있는 센서와 스위치를 통해서 작동된다. 생산 시스템이 복잡해짐에 따라 제어 대상과 감시해야 하는 센서 수량도 함께 증가 한다.[1)-2)]

생산 분야의 자동화시스템은 지속해서 발전하고 있으며, 생산 공정의 최적화를 위해 정기적인 장비의 유지보수가 필수적이다. 따라서 생산 공정 시스템의 유지보수는 생산 공정의 흐름에 중요한 정비이다.[1)-2)]

자동화시스템은 다품종 소량 생산 환경에 적합하므로 생산성 향상을 위하여 생산 설비에 대한 유지보수는 주도적으로 증가하고 있다.[1)]

가동 중인 생산 설비의 유지보수가 필요한 사항은 다음과 같다.

· 생산 설비에 결함이나 오동작 시 시스템의 가동 중단
· 액추에이터 오동작에 따른 솔레노이드 밸브 교체

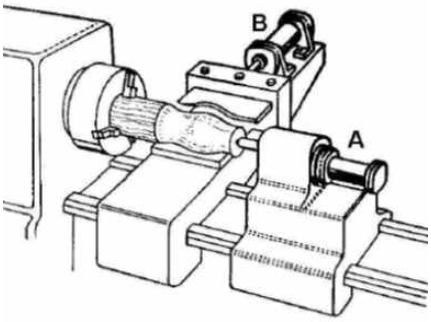
가동 중인 생산 설비를 안정적으로 유지 관리하기 위해서는 사용되는 예비 부품의 재고 관리이다. 이러한 재고 관리는 생산 설비의 즉각적인 유지보수를 할 수 있는 장점은 있지만 모든 예비 부품을 마련한 데는 큰 비용이 발생하는 단점이 있다.

본 논문에서는 자동화시스템에서 제어공정을 위한 알고리즘을 설계하여 서로 다른 솔레노이드 밸브를 교체하여 사용할 수 있도록 관리함으로써 생산 설비의 유지보수의 효율성을 높이고자 한다.

2. 자동화시스템 제어공정

2.1 변이단계선도

공기압 실린더를 이용하여 목공선반을 자동으로 운전하기 위한 [Fig. 1] 자동화시스템과 같이 A 실린더와 B 실린더는 초기에 모두 후진을 유지한 상태이다.



[Fig. 1] Automation system

[Table 1] Transition stage diagram

	M1	M2	M3	M4	①	②	③	④
A					편솔	편솔	양솔	양솔
B					편솔	양솔	편솔	양솔

여기서 M1: A 실린더가 후진 상태에서 전진 진행상태
B 실린더는 후진 유지
M2: A 실린더 전진 완료 상태
B 실린더가 후진 상태에서 전진 진행상태
M3: B 실린더 전진 완료 상태
B 실린더가 전진 상태에서 후진 진행상태
M4: B 실린더 후진 완료 상태
A 실린더가 전진 상태에서 후진 진행상태

동작 스위치를 On-Off 하면 A 실린더가 전진하여 공작물을 고정하고, B 실린더가 전진 및 후진하여 공작물을 가공하게 되는데 이때 가공이 완료한 후 A 실린더가 후진하여 고정을 해제하는 자동화시스템 공정을 구성한다.

이에 따른 변이단계선도는 [Table 1]과 같이 구성된다. 각 공정을 나타내는 첫 번째 행정(M1)에서 네 번째 행정(M4)은 생산 설비에서는 유지형(Memory Type) 양-솔레노이드 밸브(양솔; Double Solenoid Valves)보다는 비교적 단가가 저렴한 복귀형(Return Type) 편-솔레노이드 밸브(편솔; Single Solenoid Valves)를 채택하여 자동화시스템을 구축한다.

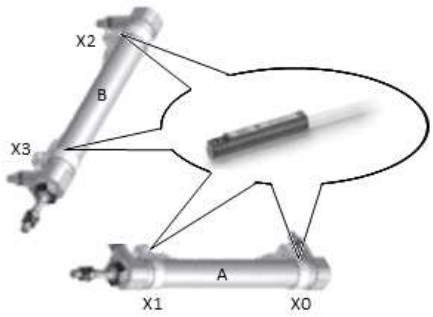
변이단계선도 [Table 1]에서 제어공정 조건인 솔레노이드 밸브 상태를 ① A 실린더와 B 실린더 모두 편솔 제어 ② A 실린더는 편솔 밸브, B 실린더는 양솔 제어 ③ A 실린더는 양솔, B 실린더는 편솔 제어 ④ A 실린더와 B 실린더 모두 양솔 제어로 각각 제어 조건이 다르게 제공된다.

2.1.1 솔레노이드 밸브의 구성

변이단계선도 [Table 1]에서 제공되는 밸브의 종류는 편-솔레노이드 밸브 [Fig. 2]와 양-솔레노이드 밸브 [Fig. 3]으로 각각 구성된다.

[Fig. 2] Single-Solenoid Valves(SSVs)

[Fig. 3] Double-Solenoid Valves(DSVs)



[Fig. 4] Reed sensor

여기서 X0: A 실린더 후진 감지 센서
X1: A 실린더 전진 감지 센서
X2: B 실린더 후진 감지 센서
X3: B 실린더 전진 감지 센서

2.1.2 감지 센서

실린더의 전진 및 후진 감지는 [Fig. 4] 리드 센서와 같이 복동 실린더의 전진과 후진 끝단에 리드 센서(X_n; Reed Sensor)를 부착하였다.

A 실린더와 B 실린더의 후진 감지신호는 X_0과 X_2으로 전진 감지신호는 X_1과 X_3으로 정의한다. 정의된 변이단계선도의 각 행정 위치 조건은 변이단계선도 [Table 1]을 이용하여 리드 센서 [Fig. 4]의 상태를 적용하면 리드 센서 상태 [Table 2]와 같이 표현된다.

2.2 제어공정 변수

2.2.1 행정 단위별 제어변수

변이단계선도 [Table 1]을 이용하여 제어공정 변수를 식(1)과 같이 표현된다.

$$
\begin{aligned}
M_1 &= (M_0 \cdot S_1 + M_1) \cdot \overline{M_2} \\
M_2 &= (M_1 \cdot S_2 + M_2) \cdot \overline{M_3} \\
M_3 &= (M_2 \cdot S_3 + M_3) \cdot \overline{M_4} \\
M_4 &= (M_3 \cdot S_4 + M_4) \cdot \overline{M_{after}}
\end{aligned}
\qquad \text{식(1)}
$$

여기서 M_0: 동작 스위치
M_1: 첫 번째 행정(실린더 A 전진)
M_2: 두 번째 행정(실린더 B 전진)
M_3: 세 번째 행정(실린더 B 후진)
M_4: 네 번째 행정(실린더 A 후진)
$S_1 \sim S_4$: 각 행정의 위치 상태 조건 (State Condition)

[Table 2] Reed sensor status

	M1	M2	M3	M4	→ Mn
A	X1 / X0				
B	X3 / X2				
Con DiTi on	X0 · X2	X1 · X2	X1 · X3	X1 · X2	
	S1	S2	S3	S4	

$$M_0 = SW_{motion}$$
$$\overline{M_{n+1}} = M_{after} \quad \text{식(2)}$$

여기서 M_0: 첫 번째 행정을 위한 최초 조건

$\overline{M_{n+1}}$: 다음 동작 직전 공정의 제어 함수

동작 스위치(M_0)와 네 번째 행정(M_4) 다음 제어공정 변수는 식(2)으로 나타낸다.

이때 각 행정에는 이전 행정과 현재 행정의 센서 조건이 만족한 상태에서 자기 유지를 수행하고, 다음 행정에서 자기 유지가 해제가 된다.

식(1)을 공정 제어 함수화하면 [Fig. 5] 제어공정 변수와 같이 표현하여 나타낼 수 있다.

$$M_1 = (M_0 \cdot S_1 + M_1) \cdot \overline{M_2}$$
$$M_2 = (M_1 \cdot S_2 + M_2) \cdot \overline{M_3}$$
$$M_3 = (M_2 \cdot S_3 + M_3) \cdot \overline{M_4}$$
$$M_4 = (M_3 \cdot S_4 + M_4) \cdot \overline{M_1}$$

Mn Mn-1 CDTn Mn $\overline{Mn+1}$

[Fig. 5] Control process variable

2.2.2 제어공정 설계

제어공정 변수 [Fig. 5]를 이용하여 식(1)과 식(2)에서 식(3)의 기본 알고리즘이 표현된다.

식(3)에서 M_1은 공정 시작 스위치에 의해서 첫 번째 공정의 자기 유지를 하여 실린더 A를 전진 운동할 수 있게 한다. $M_{(2\cdots last-1)}$은 두 번째부터 마지막 전까지의 공정으로 두 번째 공정 M_2는 첫 번째 공정 M_1의 자기 유지를 해제와 더불어 첫 번째 공정 완료 신호가 된다. 또한 다음 공정을 할 수 있게 한다.

$$M_1 = (SW_{motion} \cdot S_1 + M_1) \cdot \overline{M_2}$$
$$M_{(2\cdots last-1)} = (M_{n-1} \cdot S_n + M_n) \cdot \overline{M_{after}} \quad \text{식(3)}$$
$$M_{last} = (M_{last-1} \cdot S_{last} + M_{last}) \cdot \overline{M_{last+1}}$$

$$M_n = (M_{n-1} \cdot S_n + M_n) \cdot \overline{M_{after}} \mid n = 1 + (n-1) \quad \text{식(4)}$$

M_{last}는 마지막 공정 시작 신호로 자기 유지 상태이다. 이 공정에서 자기 유지를 해제하기 위해서는 이전 공정과 같이 M_{last+1}의 공정 신호로 자기 유지를 해제를 할 수 있다. 자동화시스템 공정에서는 마지막 다음 공정은 첫 번째 공정이 된다. 그러므로 M_{last+1}은 M_1으로 사용할 수 있다. 이와 같이 마지막까지 이전 행정과 다음 행정은 서로 연관관계를 유지하며 자동화시스템의 공정 제어 함수가 이루어진다.

2.3 알고리즘 설계

본 연구에서 사용된 식(3)을 이용하여 반복된 각각의 공정 제어가 이루고 있는 것을 알 수가 있다.

반복되는 공정 제어 함수를 이용하여 식(4)으로 알고리즘을 설계하였다. 여기서 n은 공정 제어 요소의 위치를 나타낸 것이다. 반복적으로 이루어지는 각 공정 제어 위치를 제어변수로 묶어 n번째 공정 제어 함수로 표현한 것이다. M_n은 임의의 행정 위치에서 동작하는 공정 제어 함수의 결과 수식이다.

식(4)을 이용하여 서로 다른 솔레노이드 밸브를 제어할 수 있다. 이때 A 실린더를 편-솔레노이드 밸브를 사용할 경우 M_2 행정 시작에서 M_1 행정이 자기 유지 해제되어 바로 후진을 하게 된다. M_1 행정에서 SET 명령어로 자기 유지를 하고, M_4 행정에서 RST 명령어로 자기 유지해제를 하면 양-솔레노이드와 같은 결과를 얻게 된다.

3. 실험 및 고찰

3.1 PLC 프로그램

각종 솔레노이드 밸브를 채택하여 설계한 알고리즘을 바탕으로 PLC 래더 프로그램을 완성하여 실험한 결과로 [Fig. 6] 편솔 밸브(A, B)에서부터 [Fig. 9] 양솔 밸브(A, B)까지 도시하였다.

[Fig. 6] 편솔 밸브(A, B)는 A 실린더, B 실린더 모두 편-솔레노이드 밸브를 채택하여 PLC 프로그램으로 실험한 것이다. [Fig. 7] 편솔 밸브(A), 양솔 밸브(B)는 A 실린더는 편-솔레노이드 밸브, B 실린더에는 양-솔레노이드 밸브를 채택하여 PLC 프로그램으로 실험한 것이다.

$$M_nZ = (M_{n-1}Z \cdot S_nZ + M_nZ) \cdot \overline{M_{after}Z} \mid n = 1 + (n-1) \quad \text{식(5)}$$

[Fig. 8] 양솔 밸브(A) 편솔 밸브(B)는 A 실린더는 양-솔레노이드 밸브, B 실린더는 편-솔레노이드 밸브를 채택하여 PLC 프로그램으로 실험한 것이다. [Fig. 9] 양솔 밸브(A, B)는 A 실린더, B 실린더 모두 양-솔레노이드 밸브를 채택하여 PLC 프로그램으로 실험한 것이다.

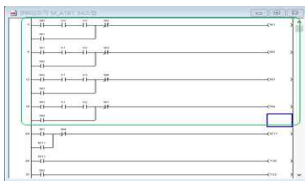
3.2 인덱스(Index) 알고리즘 설계

일반적으로 실린더를 이용한 자동화시스템 공정은 솔레노이드 밸브를 어떤 것을 채택하는가에 따라 공정 제어 회로가 변화하게 된다.

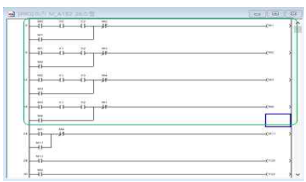
식(5)는 알고리즘 설계 식(4)에서 도출된 [Fig. 6] 편솔 밸브(A, B)에서부터 [Fig. 9] 양솔 밸브(A, B)의 공통된 PLC 프로그램을 활용한 인덱스(Z) 알고리즘이다. [Fig. 10] 인덱스 변수를 활용하여 여러 행정 단위를 하나의 행정 단위로 표현한 제어공정으로 공통된 PLC 프로그램을 표현한 것이다. [Fig. 11] 각 솔레노이드 밸브 출력은 A 실린더와 B 실린더 모두 편-솔레노이드 밸브를 사용한 출력 코일이다. 서로 다른 솔레노이드 밸브를 채택하여도 제어가 같도록 출력 접점을 두 개로 구분 지어 자기 유지(SET) 명령어와 자기 유지해제(RST, Reset) 명령어를 적용하였다. 이 출력 회로는 소프트웨어적으로 처리하고 하드웨어에서 서로 다른 솔레노이드를 사용할 수 있도록 하였다. 이는 생산 설비의 유지보수 시에 하드웨어 조건인 솔레노이드 밸브가 변경되어도 가능하게 하였다.

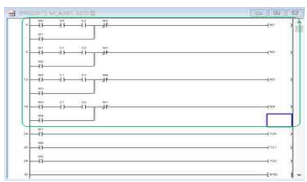
4. 결론

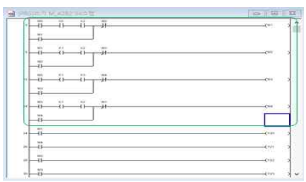
공기압 실린더를 이용하여 A 실린더, B 실린더를 동작시키는 데 있어 서로 다른 솔레노이드 밸브를 채택하여 알고리즘을 설계하여 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.



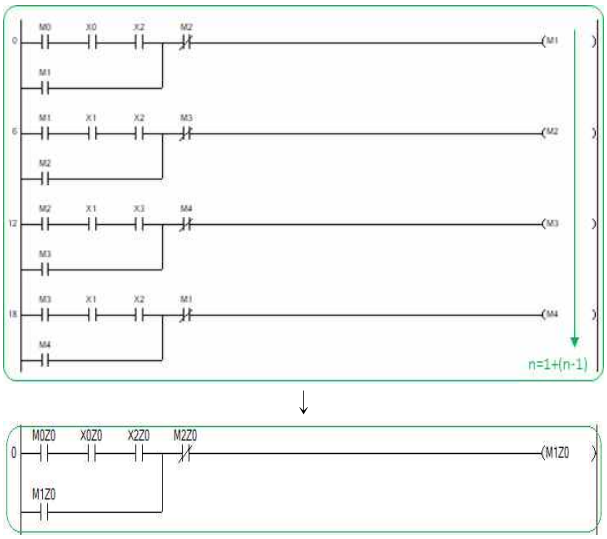
[Fig. 6] SSVs(A, B)



[Fig. 7] SSVs(A), DSVs(B)

[Fig. 8] DSVs(A) SSVs(B)



[Fig. 9] DSVs(A, B)



[Fig. 10] Control process using index variables

[Fig. 11] Each solenoid valves output

1. 설계한 알고리즘으로 서로 다른 솔레노이드를 채택할 시에도 같은 제어공정 조건을 수행하였다.
2. 설계한 알고리즘으로 제어공정 회로의 변경 없이 다수의 실린더를 제어하는 데 있어 공정관리 및 유지보수가 편리함을 확인하였다.
3. 제안한 최종 알고리즘에서 인덱스(Index) 함수를 추가하여 n개의 실린더를 동시에 관리할 수 있는 공정 제어 함수가 가능함에 따른 서로 다른 솔레노이드 밸브를 채택으로 인한 공정 제어 회로와 관리, 그리고 유지보수가 가능함을 확인하였다.

참고문헌

[1] 김영빈, 정용섭, “자동화 시스템 고장 진단을 위한 CAN 통신 제어기 설계”, 산업기술교육훈련학회논문지, 제26권 제1호, pp. 37-42, 2021년.

[2] Yong-Sub Jung, Janghyun Cho and Clare Chisu Byeon, “Development of Single-Channel Thread Sensor for Rotary Bobbin by Optical Sensing”, Journal of Trans. Korean Soc. Mech. Eng., Vol. 38, No. 10, pp. 1085~1091, 2014.