

Machining Center의 고속 ATC 제어 시스템의 개발

한동창*, 이동일*, 송용태**, 이석규***

Development of Control System of High-speed ATC of Machining Center

Dong Chang Han*, Dong Il Lee*, Yong Tae Song**, Suk Gyu Lee***

ABSTRACT

We use a compound-cam twin arm structure and random tool access method to achieve a faster ATC (Automatic Tool Changer) system for the accurate position and rotation control of a tool magazine and an exchange arm. Based on the data obtained from various sensors, it is possible to follow the sequence of commands in each control step for an exchange arm. However, it is not so easy to reduce the exchange time of the system because of the slow responses of the sensors and execution mode delays of PLC (Programmable Logic Controller) scan time. In this paper, we propose a new programmed limit-switch position control method to obtain the shortest possible delays for the random tool access method and compound-cam twin arm structure. With some experimental results, we have achieved below 0.9sec tool exchange time with the proposed method.

Key Words : ATC(자동공구교환장치), Random tool access method(랜덤 공구지정방식), Tool exchange time(공구교환시간), Magazine(공구수납장치), Compound-cam(복합 캠)

1. 서론

최근 전자 및 정밀 산업이 발전함에 따라 금형과 부품 가공에 사용되는 머시닝센터의 고속화가 급속도로 진행되고 있다. 머시닝센터의 고속화는 주축, 이송계의 고속화와 더불어 비 절삭시간 단축 요소인 공구와 공작물 교환시간 단축을 들 수 있다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 ATC(Automatic Tool Changer)는 머시닝센터(Machining Center)에서 가공에 필요로 하는 공구를 메거진(Magazine)에 수납하고, 공정에 따라 자동적으로 목적하는 공구를 교환 후, 주축에 정확히 장착시키는 장치이다. ATC 시스템의 고속화는 공구지정을 위한 메거진의 회전·위

치결정, 주축과 메거진 간의 공구교환 시간을 줄임으로서 가능하다. 공구지정방식으로는 메거진 내 공구 배열 순서에 따라 공구를 주축에 장착시키는 시퀀셜(Sequential) 방식과 공구의 배열 순서와 무관하게 지령된 공구를 찾아서 장착하는 랜덤(Random) 방식이 있으며, 공구교환시간 단축에 유리한 랜덤 방식이 일반적이다. 교환장치의 구동방식은 복합 캠 구동방식과 서보모터와 기구를 이용한 구동방식^[1] 등이 있으며, 암(Arm)의 취부 방식에 따라 회전 인입암, 트윈(Twin)암, 및 터렛식^[2] 등이 있다. 이중 트윈암 식은 공구지정을 랜덤방식으로 하며, Fig. 3에서 보는 바와 같이 신·구 공구를 동시에 교환할 수 있는 구조로 되어 있어 구 공구를 메거진 포트

2001년 12월 28일 접수
* 영남대학교 전기공학과 대학원
** 영남대학교 기계공학부 대학원
*** 영남대학교 전자정보공학부

에 넣고, 신 공구를 찾아 장착하는 타 방식과 비교해 볼 때 교환시간을 줄일 수 있는 장점이 있다. 아울러 암의 고속회전을 통해서 Fig. 4 암 동작선도상의 구간별 동작 점을 제어함으로써 공구교환을 고속화할 수 있다.

선진 NC(Numerical control) 메이커들은 랜덤 제어법을 PLC(Programmable Logic Controller) 프로그램 내 응용 명령어(SUB006)^[3]로 구현하여 사용자의 편리성을 제공하고 있으며, 또 암의 동작 구간별 위치제어를 위해 Fig. 3에 내장된 감지장치와 변환기를 이용한 제어를 제품화하여 이용하고 있으며, 국내 머시닝센터에도 수입·적용되어 판매되고 있다^[4]. 그러나 국내 NC 시스템 중에는 랜덤 제어법이 없는 제품^[4]도 있으며, 이 NC 시스템을 적용할 경우 머시닝센터 메이커 엔지니어가 제어법의 내용을 이해하고 구현하기에는 쉽지 않을 것이다. 그리고 암의 위치제어를 근접스위치 등을 부착하여 제어하는 방안도 있으나, 감지센서 응답성·PLC 처리시간 지연 등을 고려할 때 암의 회전수 증가를 통한 교환시간 단축에는 한계가 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 트윈암 타입 ATC에서 선진 NC의 랜덤공구지정 기능을 대체할 랜덤 제어법과 암의 위치제어를 소프트웨어 리미트스위치를 이용한 새로운 제어법으로 공구교환시간 0.9초 이내의 고속 ATC 시스템을 개발한다. 그리고 제시된 제어법의 신뢰성 검증을 위해 실험장치 구현 및 연속반복 운전을 통해 동작상태확인·시간측정을 하고 그 결과를 고찰하였다.

2. 제어법

2.1 근거리 랜덤지정

트윈암 타입 ATC는 최초 수납된 메거진 내 공구들이 교환이 진행됨에 따라 보관 위치가 달라진다. 따라서 프로그램 내 가상의 메거진을 운영하는 방법을 기본 구상으로 해서 공구 데이터의 추적관리가 가능토록 구성한다. 그리고 제어의 구성은 초기 설정치 데이터처리, 교체공구포트 선정, 근거리 회전방향판단, 교환데이터 관리를 기본으로 한다.

2.1.1 초기 설정치 데이터처리

가상의 메거진을 운용하기 위한 초기 설정요소는 가공에 소요되는 총 운용포트 수, 현재 메거진 포트에 수납된 공구정보, 현재 주축에 장착된 공구

정보, 현재 메거진 대기포트 번호이다. 제어기는 수신한 설정데이터를 현재 메거진 상태로 인식하도록 프로그램 내 버퍼를 구성하고 가상의 메거진을 운용한다. 이때 버퍼 내 포트는 실제 메거진 내 포트 배열 순서(CCW)와 동일하게 1,2,...,n 순서로 구현한다.

2.1.2 교체공구포트 선정

가공이 진행되면서 다음 공구교체 지령이 제어기로 수신되면, 제어기는 가상 메거진 버퍼에서 수신된 교체공구와 일치하는 공구번호를 찾고, 1번 포트를 기준으로 공구의 위치를 계산하고, 계산된 번지가 교체될 공구가 보관되어 있는 포트라고 인식한다.

2.1.3 근거리 회전방향 판단 및 정지

메거진의 근거리 회전방향(CW, CCW) 판단을 위해서는 교체공구포트 선정에서 찾은 포트번호와 현재 메거진 대기포트 번호를 기준으로 가상의 메거진을 구현한다. 그리고 교체공구포트가 대기포트와 대각선상의 포트를 직선으로 좌, 우에 위치를 판단함으로써 회전방향을 결정할 수 있다. 회전방향이 결정되면 교체공구포트 번호가 대기포트 번호와 일치할 때까지 회전 후 정지한다. 대각포트번호 · 회전방향판단을 위해 다음과 같은 정의를 하였다.

가. 전제조건

포트번호 부여 : CCW로 번호증가

포트 수 : 짝수 배수 구성

나. 대각포트번호 계산

대각포트번호 계산을 위해서는 대기포트번호

와 $\frac{\text{총포트수}}{2}$ 의 값과의 대소를 비교하여

$\frac{\text{총 포트수}}{2} \geq \text{대기포트번호}$ 이면 식(1)을 적용하고,

$\frac{\text{총 포트수}}{2} \leq \text{대기포트번호}$ 이면 식(2)를 적용한다.

$$\text{대각포트1} = \frac{\text{총포트수}}{2} + \text{현재포트} \quad (1)$$

$$\text{대각포트2} = \text{대각포트1} - \text{총포트수} \quad (2)$$

다. 회전방향 판단

교체공구 포트번호가 좌측, 우측에 놓일 경우의

수는 현재 대기포트 번호와 대각포트 번호의 대소에 따라 결정된다. 예를 들어 찾을 포트번호가 3번일 경우를 생각해 보면, Fig. 1에서 현재 대기포트 번호가 1, 대각 포트번호 10이다. 이 경우 3은 우측에 놓이게 되고 회전방향 판단은 CW, 카운터는 증가하게 된다. 반대로 현재 대기포트 번호가 10이면 대각포트 번호는 1이다. 이때 3은 좌측에 놓이게 되고 회전방향은 CCW, 카운터는 감소한다. 따라서 현재 대기포트 번호와 대각 포트번호의 대소를 판별하고, 가)와 나)를 통해서 방향을 판단한다.

구가 교환되는 시점인 트윈암이 정 위치를 벗어나 회전을 시작할 때를 시점으로 하였다.

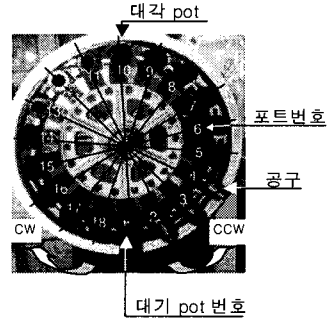


Fig. 1 Configuration of Magazine

가) Case-1 : 현재 대기포트번호 < 대각포트번호
교체공구포트번호가 대각선 기준 우측 범위 내에 놓여 있는가를 조사한다.

- ① 현재 대기포트번호 < 교체공구포트번호 < 대각 포트번호 = CW
- ② 현재 대기포트번호 < 교체공구포트번호 < 대각 포트 번호 ≠ CCW
- ③ 현재 대기포트번호 = 교체공구포트번호 : 매겨진 정지

나) Case-2 : 현재 대기포트번호 > 대각포트번호
교체공구포트번호가 대각선 기준 좌측 범위 내에 놓여 있는가를 조사한다.

- ① 대각포트번호 < 교체공구포트번호 < 현재 대기 포트번호 = CCW
- ② 대각포트번호 < 교체공구포트번호 < 현재 대기 포트번호 ≠ CW
- ③ 대각포트번호 ≤ 교체공구포트번호 < 현재 대기 포트 번호 = CW
- ④ 현재 대기포트 번호 = 교체공구포트번호 : 매겨진 정지

Fig. 1은 매겨진의 구성, 포트번호의 배치, 대기 포트 및 대각포트의 관계를 설명한 그림이다. 그리고 Fig. 2는 매겨진 회전방향 및 정지 판단을 설명한 플로차트이다.

라. 교환데이터 관리

공구교환 후 제어기 내부에 준비된 데이터 버퍼 내의 데이터 또한 실제 매겨진 포트와 일치시켜야 한다. 데이터 갱신 내용은 현재 주축에 장착된 공구번호, 현재 대기포트 번호 및 상호 교환된 공구 데이터이다. 데이터 교체 및 전송 시점은 실제 공

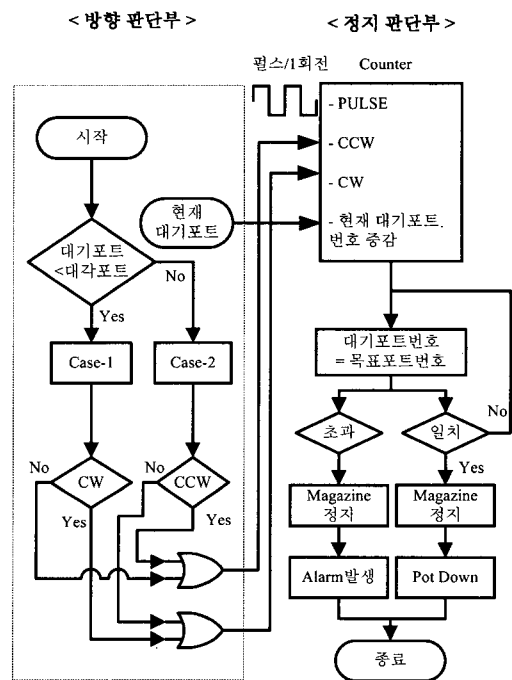


Fig. 2 CW, CCW rotation and STOP of Magazine

2.2 트윈암 위치제어

소프트웨어 리미트switch를 이용한 트윈암의 위치제어는 트윈암의 동작 시점을 기준으로 해서 각각의 제어 점까지의 시간을 계산을 통해서 구하고, 각종 지연 시간(프로그램처리방식 · 기구응답 등)을 계산된 시간에서 제한 시간을 리미트switch 시간으로 하여 제어하는 것을 기본 구상으로 하였다.

2.2.1 트윈암 구성

트윈암 구성은 Fig. 3과 같으며, 인버터에 의해 속도가 제어되는 모터 · Worm gear · Roller gear cam · 동작 구간별 위치 검출 센서로 구성되며 주요 동작은 “정지→ 회전(90°CW)→ 하강→ 회전(180°CW)→ 상승→ 회전(90°CCW)→ 정지”이며, 동작 선도는 Fig. 4에서 보는 바와 같다.

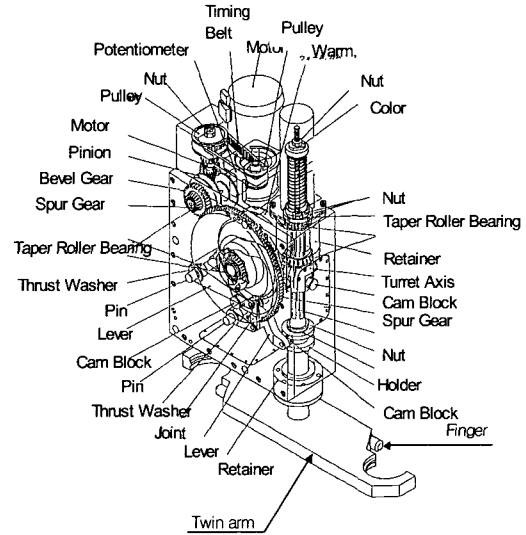


Fig. 3 A schematic diagram of twin arm operation equipment

2.2.2 전제조건

시간 계산을 위해서는 다음과 같은 조건이 필요하며, 동작 점 별 각도는 기구의 동작선도에 표시된 데이터를 이용한다.

- ① 전동기 : AC220V 3상 4극 브레이크 내장, Geared motor(25:1)
- ② Inverter 주파수 : 57Hz 고정, 연속 운전
- ③ 정 위치 센서 : 근접스위치(감도:2.5~10ms 이하)
- ④ 제어기 프로그램 처리속도 설정 : 10ms
- ⑤ 언클램프 각도: 67.5°
- ⑥ 클램프 각도: 292.5°
- ⑦ 정지 시작점 각도: 307.5°

2.2.3 시간산출

트윈암의 위치제어에 필요한 신호는 트윈암이 정지 상태에서 CW로 선회하여 주축 공구를 언클

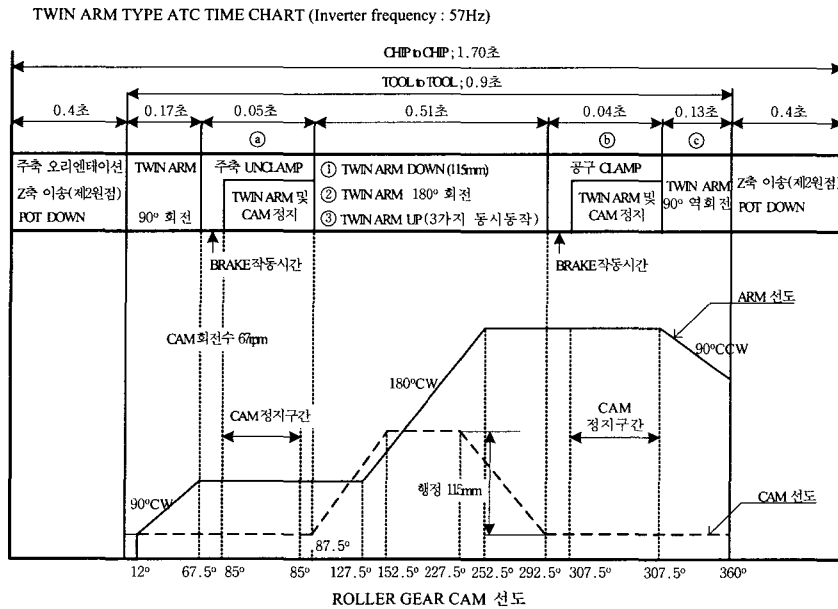


Fig. 4 The operation flow chart of twin arm

램프(Unclamp)하는 점(Fig. 4의 ㉓), CW로 선회를 계속하여 주축에 교환된 공구를 클램프(Clamp)하는 점(Fig. 4의 ㉔), 클램프 후 CCW로 회전하여 정지하기 위한 정지 시작점(Fig. 4의 ㉕)이다.

가. 제어 점 별 시간

시간산출 순서는 우선 전동기의 rpm을 식(3)을 통해서 계산하고, 기어 비로 환산된 부하의 rpm을 식(4)를 이용해서 구한다. 그리고 식(5)(6)을 이용해서 각도별 시간을 계산한다.

$$Motor\ rpm = \frac{120 \times \text{주파수}}{\text{극수}} \quad (3)$$

$$\text{부하 rpm} = \frac{\text{전동기 rpm}}{\text{기어비}} \quad (4)$$

$$\text{부하 1회전당 시간} = \frac{60 \text{ sec}}{\text{부하 rpm}} \quad (5)$$

$$\text{각도당 시간} = \frac{\text{부하 1회전당 시간}}{360 \text{ 도}} \quad (6)$$

Fig. 4는 캠의 동작선도와 식(3) ~ 식(6)에 의해 계산된 제어 점 별 시간을 표시하여 트윈암의 공구 교환을 설명한 그림이다.

나. 시간 지연요소

Fig. 4에 제어 점 별 시간은 리미트스위치 시간으로 할 수 없다. 그 이유로는 여러 가지 요인이 있으나 대표적인 예가 PLC의 프로그램 처리방식, 각종 기구의 응답지연이다.

가) 프로그램 처리방식

PLC의 연산처리 방식은 프로그램을 메모리(CPU system RAM영역)에 저장해 두고 반복하여 연산하는 스캔 타임(Scan time) 방식이다. 스캔 타임 방식은 입력 유닛의 변화를 매 스캔 실행 전에 일괄하여 입력용 데이터 메모리에 집어넣고, 연산 실행 시 입력 데이터는 이 저장된 데이터를 사용한다. 연산 처리 결과는 그때마다 출력용 데이터 메모리에 출력하여 프로그램 실행이 끝나면 출력 데이터 메모리의 내용을 일괄하여 출력 유닛에 출력한다. 따라서 입력 시점에 따라 스캔 설정시간의 최대 2배 정도의 지연요소를 가지고 있다.^[5]

나) 기구 지연요소

본 연구에 적용한 기구의 지연 요소로는 실린더(Cylinder), 솔레노이드 밸브(Solenoid valve)이며, 실린더 30ms, 솔레노이드 밸브 off→ on 30ms, on→ off 20ms의 시간 지연을 가지고 있다.

다. 리미트스위치 시간산출

제어 점 별 시간에서 지연시간의 제한 시간이 리미트스위치 설정 시간이다. 그러나 이 시간이 캠의 제어 점 별 동작구간 범위 내를 만족하는가를 확인하여야 한다. Fig. 4에서 언클램프, 클램프 점들의 허용 시간을 살펴보면 언클램프 구간이 67.5°(80ms) ~ 85°(123ms)이고, 클램프 구간은 292.5°(650ms) ~ 307.5°(686ms)이다. Table 1은 시간지연을 고려한 리미트스위치 시간이다.

Table 1 The calculation of limit switch time

(표의 단위:ms)

항 목	Un-clamp	Clamp	Twin arm 정지	정지 Limit switch
① 동작 시작점 (정지- 각기구)	170	130	770	900
기구 동작 허용시간	50	40	130	
지연요소-1	기구지연 (Solenoid valve)	60* ¹	50* ²	-
	연산처리 지연시간	20/25	20/25	20/25
② 지연요소-1계	80/85	70/75	20/25	20/25
Limit switch시간 산출 (①-②)	90/85	660/655	750/745	880/875
지연요소-2	③ Timer 계수	0/5	0/5	0/5
	연산 지연 (10ms Timer)			
④ 총지연시간(②+③)	80/90	70/80	20/30	20/30
지령시점-1(①-④) (연산처리지연)	90/80	660/650	750/740	880/870
지령시점-2(①-④) (연산처리정상)	100/90	670/660	760/750	890/880
기구동작 가능 시간범위	80~123	650~686	-	-
예상 Limit switch 시간-1	80	650	740	870
예상 Limit switch 시간-2	85	660	750	880
예상 Limit switch 시간-3	90	670	760	890

Scan time : 10ms, Inverter frequency : 57Hz,

*¹ : Solenoid valve+Cylinder=30ms+30ms=60ms (동작),

*² : Solenoid valve+Cylinder=30ms+30ms=60ms (동작).

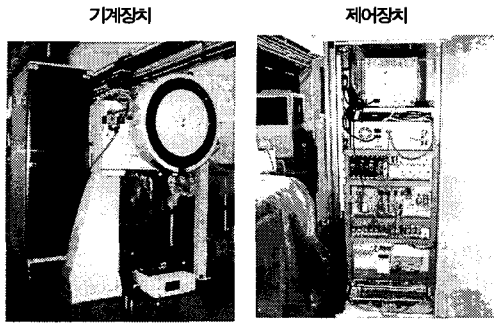


Fig. 5 Experimental system

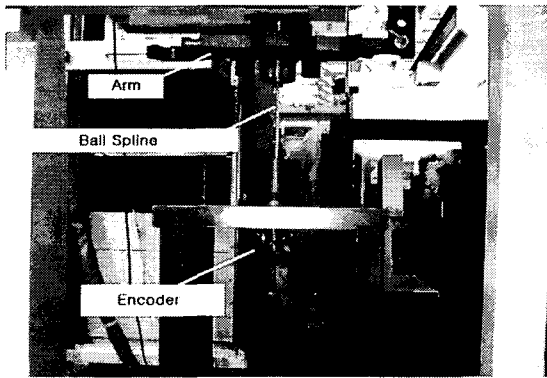


Fig. 6 Measurement equipments

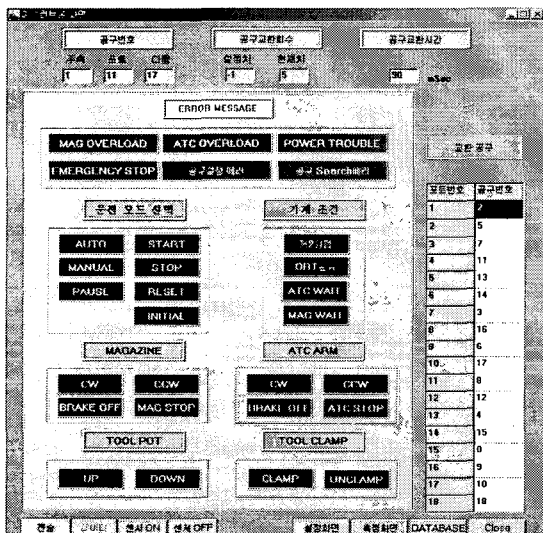


Fig. 7 The panel of operation, monitoring

3. 실험

3.1 실험장치 및 방법

실험장치 구성은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 기
기 조작, 감시, 설정 및 측정(Fig. 7) 등의 NC기능을
대신할 컴퓨터, 기기 구동 프로그램을 연산처리 하
는 PLC로 구성된 제어장치, 상부에 매거진·하부
의 트윈암·주축을 간소화 한 툴 홀더용(Tool holder)
주축 및 프레임으로 구성하였으며, Fig. 6의 측정장
치를 이용하여 ATC의 성능을 측정할 수 있도록 하
였다. ATC 구동용 프로그램은 실제 머시닝센터
ATC 구동 시퀀스에 제시한 제어법을 반영하여 구
현하였다.

실험방법은 데이터 설정 패널에 공구 데이터·
교환순서 등의 운전관련 데이터를 설정하고, Fig. 7
패널에서 운전 반복회수 설정 후 시작 스위치를 눌
러 연속반복 운전을 하였다. 본 연구의 목표인 공
구교환시간 0.9초에 대한 실험을 총 10만회 실시하
여 제어의 정확성·안정성을 확인하였다. 그리고
최대로 단축 가능한 시간을 알아보기 위하여 트윈
암 모터의 입력 주파수를 1Hz씩 증가하는 방법으
로 실험한 결과 61Hz(0.8초)까지 가능하였다. 주파
수를 61Hz에 고정하고 30만회 동작실험 후 55,000
회 측정 실험을 하였다.

3.2 실험결과

3.2.1 근거리 랜덤지정

공구교체 지령에 따른 교환포트 선정, 근거리
회전, 교환 후 데이터 관리 상태를 실제 매거진 가
동상태·PLC 구동 프로그램 진행상황·Fig. 7의 패
널상의 기록·Table 2(Tool pot의 반복정도) 측정
결과와 비교·분석하여 제어의 정확성과 기구동작의
안정성을 확인할 수 있었다. 제시된 제어법은 머시
닝센터 ATC시스템뿐만 아니라 유사한 타 기종에도
사용될 수 있을 것이다. 그러나 제어법 구현 시 여
러 명령어를 조합하여 구현하여야 하므로 다소 어
렵고 복잡하다. 따라서 선진 NC시스템과 같이 응
용 프로그램의 하나인 모듈화가 필요함을 알 수 있
었다.

3.2.2 트윈암 위치제어

소프트웨어 리미트스위치를 이용한 트윈암의 제
어 점별 동작상태 및 교환시간 측정은 실제 암의
동작과 Fig. 7·Fig. 8의 모니터링을 통해서 확인하

었다. Fig. 8의 측정결과에서 보는 바와 같이 언클램프(*2) · 클램프(*3) · 정지(*4) · 교체시간(*5) 등 각 제어 점별 계산된 리밋스위치 시간이 순차적으로 동작되는 것을 볼 수 있었다. 그리고 암의 정밀도 및 교환시간은 Table 2 · Table 3의 측정결과를 얻을 수 있었다. 그 결과 제어의 정확성과 기구 동작의 안정성이 확인되었으며, 교환시간 0.9초를 만족하였다. 46만회 실험동안 계산된 리밋스위치 시간이 기구의 동작 허용범위를 벗어나지 않았으나, 보다 확실한 검증을 위해서는 향후 교환회수를 증가시킨 실험과 더불어 기계상태 변화에 따른 제어의 정확성 · 안정성 분석이 필요하다. 그리고 Table 3에서 보듯이 교환시간이 Fig. 7을 이용하는 경우가 다소 늦은 것을 알 수 있는데 이것은 PLC 연산처리 후 전송된 결과의 모니터링 시간이므로 각종 지연 요소에 의한 차가 발생함을 알 수 있다. 따라서 정확한 시간 측정을 위해서는 제어기를 이용하지 않는 별도의 측정장치가 필요하다.

Table 2 The performance of ATC system^[6]

실험항목	목표치	실험결과
반복교환시의 Arm의 위치 정밀도	±1mm	0.1mm
Arm의 backlash	지정 없음	1.4mm
Arm의 강성(140kgf-cm시)	±1mm	2.3mm
Tool pot의 반복정도	±0.1mm	6.7μm

Table 3 Tool exchange time (Tool to Tool)

항 목	목표치	제어기측정 (Fig. 8)		패널측정 (Fig. 7)
		57Hz	61Hz	61Hz
최고 소요시간	0.9초	1.1초	1초	1.16초
최소 소요시간	0.9초 이내	0.9초	0.8초	0.89초
평균 소요시간	-	0.9초 ^{*1}	0.8초 ^{*1}	1초 ^{*2}

*1: Sampling회수 1000회 간격 100ms

*2: 1500회 측정데이터

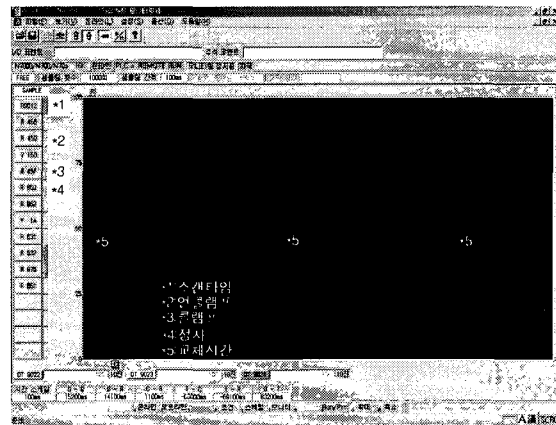


Fig. 8 The time measurement device of PLC system

Table 4 Comparison for exchange time of tool Maker catalog 및 현지조사 (Twin arm)^[4]

Maker	한국 H 사	한국 D 사	일본 B 사	한국 N 사	한국 W 사	실험시스템
주축 rpm	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	-
CNC	Yasnac 일본	Faunc-0 MC 일본	CNC-A 00 일본	Faunc-0 MC 일본	Faunc-0 Mi 일본	FARA-N 한국
주축테이퍼	#30	#30	#30	#30	#30	#30
Tool-to-Tool	1sec	1.5sec	1.1sec	2.5sec	0.9sec	0.8sec

4. 결론

본 연구에서는 머시닝센터의 트윈암 타입 ATC에서 공구교환에 걸리는 시간을 최소화하기 위해 기존에 적용되고 있는 선진 NC의 랜덤 제어법과 센서와 변환기를 이용한 암의 위치제어를 대체할 소프트웨어 리밋스위치를 이용한 새로운 제어법을 제안하였고 공구교환시간 0.9초 이내의 고속ATC 제어 시스템을 개발하였다. 그리고 제시한 제어법의 안정성, 신뢰성 확인을 위해 46만회의 동작 실험을 통해서 검증하였고, 공구교환시간을 0.9초 이하로 실현함으로써, 고속 ATC 시스템에 적용 가능성을 확인하였고, Table 4의 상용화된 머시닝센터와 비교해 볼 때 보다 향상된 결과를 얻을 수 있었

다. 아울러 제시된 제어법은 머시닝센터 ATC시스템뿐만 아니라 유사한 타 기종에도 사용될 수 있다.

향후 연구 과제로 ATC시스템이 기구적인 한계 수명에 접근함에 따른 제어의 정확성과 극한환경 및 장시간 연속운전(72시간)에서도 제어의 정밀성이 유지되는지를 확인하여야 한다. 그리고 제시된 제어법의 사용상의 편의를 위해 선진 NC메이커의 상용화된 응용 명령어와 같이 모듈화가 필요하다.

후 기

본 연구는 한국기계연구원 자동화연구부 Robot 제어 Group의 도움으로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 고정환, 강기영, 이상조, “서보모터를 이용한 자동공구교환장치의 개발,” 한국정밀공학회지, 제 16권, 15호, pp. 66~73, 1999.
2. Web site, <http://www.machinet.com>.
3. YASKAWA, “YASNACJ300/J100 PLC 프로그램밍소프웨어,” 자료번호 SI_C884-01, pp. 4-1~6-86, 1998.
4. 송용태, “HSYS R&D 고속ATC 사양분석표,” 하이스알앤디, pp. 1~5, 2001.
5. 삼성전자, “FARA PLC N-700 사용자 Manual,” 삼성전자 메카로닉스팀 제어기사업그룹, pp. 26, 2001.
6. 김두형, “3차년도 최종보고서(제2절 ATC신뢰성 시험기개발),” 기계연구원, pp. 5, 2001.