

산업용 로봇트의 연속경로제어에 관한 연구

최영규* · 卜增男**

■ 차 례 ■

- | | |
|-------------------|--------------|
| 1. 서론 | 5. 소프트웨어의 구성 |
| 2. 연속경로제어 방법 | 6. 실험결과 및 검토 |
| 3. 하드웨어의 구성 | 7. 결론 |
| 4. 연속경로방식의제어 알고리즘 | 참고문헌 |

1. 서론

최근, 컴퓨터기술의 발달에 따른 계산단가의 하락과 날로 증가하는 노동임금과 노동복지에 소요되는 자금의 증가등의 이유로 인하여, 미국, 일본, 유럽등지의 선진각국에서는 산업공정의 자동화시스템 특히 여러 가지 기능을 수행하는 고급산업용로봇트의 개발에 몰두하고 있다. 미국은 1960년대 초부터 연구개발에 착수하여 산업용로봇트의 생산에 양적, 질적향상을 꾀하였고, 일본은 1960년대 말에 미국으로부터 기술도입을 하여 그후 상당한 발전을 보아, 현재는 전세계시장의 50% 이상을 점유하고 있으며, 유럽각국에서도 꾸준히 연구개발에 열중하고 있다.

현재 대부분의 산업용로봇트는 공장내의 작업중, 인간이 하기 곤란한 일 중에서 단순한 부분만을 맡아하고 있으나, 소수의 선진국에서는 운반, 적재 및 조립용로봇트등과 수치제어공작기계를 조화시켜 소위 무인화공장을 운영하고 있다. 그러므로 로봇트의 점진적 개발 및 기하학적 증가로 인하여, 머지않아 제 2의 산업혁명이 닥쳐올 것이라는 것이 전문가들의 의견이다. 국내에서도 산업용로봇트에 관한 인식이 차츰 현실화되어, 최근에는 연구소 및 기업에서 이에 대한 기술도입 및 개발을 서두르고 있다.

한국과학원에서는 전기 및 전자공학과와 생산공학과가 합동으로 1980년에, 원통좌표형의 3개의 자유도를 가진 산업용로봇트를 제작하여 카이셈로봇트 I (KAISEM ROBOT I) 이라고 명명하였다. 이 로봇트는 R, θ , Z 축에 각각 직류서보전동기 (DC ServoMotor) 를 부착하고 있고, 손 (Hand) 과 손목 (Wrist) 은 공압제어에 의존하고 있다. 그러나 이 때에는 서보제어기 (Servo Controller) 가 불완전한 상태였고, 컴퓨터와의 인터페이스 (Interface) 가 완성되지 못한 상태였다.^{[1], [2]}

1981년에는 위의 문제를 해결하여, 교시반복형 (Play-Back Type) 의 점이동 (PTP) 방식의 운동이 가능하게 되었고, 그에 대한 해석을 부분적으로 하였으나, 1대의 서보전동기제어기 (ServoMotor Controller) 에서 3대의 서보전동기에 시분할로 전력을공급하는 데에 문제가 남아 있었다.^[3]

점이동방식은 물건운반과 점용접등에 쓰이거나, 수치제어공작기계에 피가공물을 물릴 때에 쓰이는 것인데, 시점과 종점이 주어지면 R, θ , Z 축으로 한 순간에 한 축씩 구동시켜 로봇트를 움직이는 방식이다. 이 방식의 잇점은 서보전동기제어기가 1대로 가능하고 소요되는 소프트웨어가 비교적 간단하다는 데에 있다.

이에 반해 연속경로 (CP) 방식은 시점과 종점이 주어지면, 두 점사이를 잇는 경로를 로봇트팔이 따라가게 하는 방식으로, 페인팅과 아크용접 및 조립등에 사용된다.^[12] 이 방식에서는 각 축마다 독립된 서보

* 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科

** 正 會 員 : 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科 教授. 工博

전동기제어기가 있어야 하고 각 축의 속도와 위치를 조화시켜주는 소프트웨어가 있어야 하므로, 점이동방식보다는 하드웨어 및 소프트웨어가 훨씬 복잡해진다.

본 보고서에서는 R-θ 평면상에서의 연속경로방식의 연구결과를 소개하기로 한다. 이 연구를 위해서 서보전동기제어기 1대를 추가로 제작하여 카이젠로봇1에 부착되어 있는 그것과 더불어 R, θ 2축연동을 가능하게 하였고, 동시에 이들 서보전동기제어기에 적당한 속도제어신호를 공급하는 소프트웨어 알고리즘을 실현하였다.

또한 본 연구에서는 공간상의 시점과 종점을 잇는 직선을 추적하게 하는 알고리즘을 제안, 실현하였는 바 이를 이용하여 임의의 경로를 따라 가게 하려면, 그 경로상의 여러 점에서 필요 위치정보를 입력시켜 수행할 수 있다. 본 연구에서의 컴퓨터는 CPU가 Z-80인 CROMEMCO사의 Z-2 System이 사용되었다.

2. 연속경로제어방법

로봇 팔 (Arm) 이 추적해 가야 할 경로가 공정에서 Base 좌표계의 좌표로 주어지면, 컴퓨터에서는 로봇의 각각의 관절각 (Joint Angle) Trajectory를 계산해서 기억장치에 저장시키는 좌표변환과정이 선행되어야 한다. 그런 다음에 로봇 팔이 실제로 움직일 때에는, 로봇 팔의 Base 좌표계에서 주어진 경로추적문제를, 이미 계산되어 기억된 로봇의 관절각 Trajectory를 추적하는 문제로 나누어서 제어하게 된다.^[19] 이 때에 경로추적특성을 향상시키기 위해서, 각 관절들에 공급되는 위치명령 (위의 좌표변환과정에 의해 계산, 기억된 관절각)을 각 관절의 서보제어기에 적용시켰을 때의 출력오차를 보상하기 위해 위치명령 자체를 변화시켜 전체동작특성을 향상시키는 방법이 소개되고 있으며, 또한 경로상의 현재점의 위치정보뿐만 아니라 미래점의 위치정보를 사용함으로써 급격히 꺾이는 경로에서의 추적특성을 향상시키는 방법이 최근에 소개되었다.^[25]

그리고 로봇 팔이 실제로 움직일 때에는 비선형 간섭 효과 (Nonlinear Coupling Effect)가 생기므로, 보통은 비교적 느린 운동상태를 가정하여 로봇 Dynamics를 선형화하고 간섭효과를 무시하여 서보제어기를 설계하는 Decentralized Linear Servo Control Technique을 사용하고 있다. 그러나 이러한 기준의 서보설계방식은 좀 더 정밀한 운동에는 적합치 않으므로, 요즘은 Nonlinear feedback Control 방식이나 Adaptive Control 방식, Computed Torque -

Drive 방식 및 Decoupling Control 방식등을 사용해서 효과적인 서보설계를 해 보려는 연구가 진행중이다. [20], [21], [22], [23]

그리고 로봇 팔의 구조가 복잡할 때에는 좌표 변환을 Homogeneous Transformation Technique을 사용하여 일반적으로 행하게 되나^[15], 카이젠로봇1은 원통좌표형의 간단한 형태이므로 다음과 같이 쉽게 생각할 수 있다.

그림 1과 같이 로봇 팔이 점 P_i에서 점 P_f까지 직선운동을 하려고 한다.

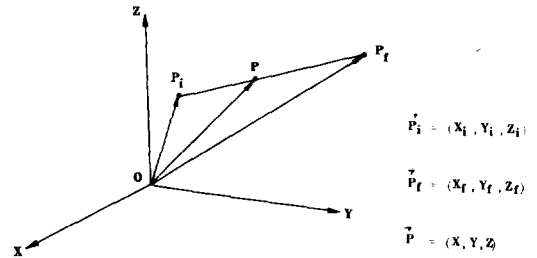


그림 1. 연속 경로

이 때에 점 P의 원통좌표값을 (R_p, θ_p, Z_p)라고 하면 다음 관계식이 성립한다.

$$\begin{aligned} R_p &= (x^2 + y^2)^{1/2} \\ \theta_p &= \text{Arctan}(y/x) \\ Z_p &= Z \end{aligned}$$

그리고 그림 1.에서 다음의 벡터관계식이 성립한다.

$$\vec{P}(t) = \vec{P}_i + Vt \frac{\vec{P}_f - \vec{P}_i}{\|\vec{P}_f - \vec{P}_i\|}$$

(직선 P_i P_f 상에서 점 P가 등속운동하고 하므로 그때의 속도는 V가 된다.) 따라서

$$\begin{aligned} R_p(t) &= \left\{ \left(X_i + Vt \frac{(X_f - X_i)}{\|\vec{P}_f - \vec{P}_i\|} \right)^2 + \left(Y_i + Vt \frac{(Y_f - Y_i)}{\|\vec{P}_f - \vec{P}_i\|} \right)^2 \right\}^{1/2} \\ \theta_p(t) &= \text{Arctan} \left\{ \left(Y_i + Vt \frac{(Y_f - Y_i)}{\|\vec{P}_f - \vec{P}_i\|} \right) / \left(X_i + Vt \frac{(X_f - X_i)}{\|\vec{P}_f - \vec{P}_i\|} \right) \right\} \\ Z_p(t) &= Z_i + Vt \frac{(Z_f - Z_i)}{\|\vec{P}_f - \vec{P}_i\|} \end{aligned}$$

로봇 서보제어기의 제어대상이 위치와 속도인 경우에는, 이들에 공급하는 위치명령과 속도명령으로 잇속에 의한 $\{R_p(t), \theta_p(t), Z_p(t)\}$ 값을 사용한다.

그리고 카이젬로봇 1의 로봇 Dynamics 는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} J_{11} & 0 & J_{13} \\ 0 & J_{22} & 0 \\ J_{31} & 0 & J_{33} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{\theta}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{pmatrix}$$

$$J_{11} = M_E \{ e_1^2 + e_2^2 + 2\delta (e_1 \cos \epsilon + e_2 \sin \epsilon) \}$$

$$+ I_{ZE}^E + M_A (a_1^2 + a_2^2) + I_{ZA}^A$$

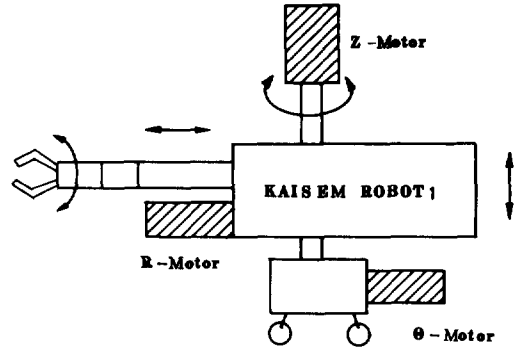


그림 2. 카이젬 로봇 1의 Manipulator

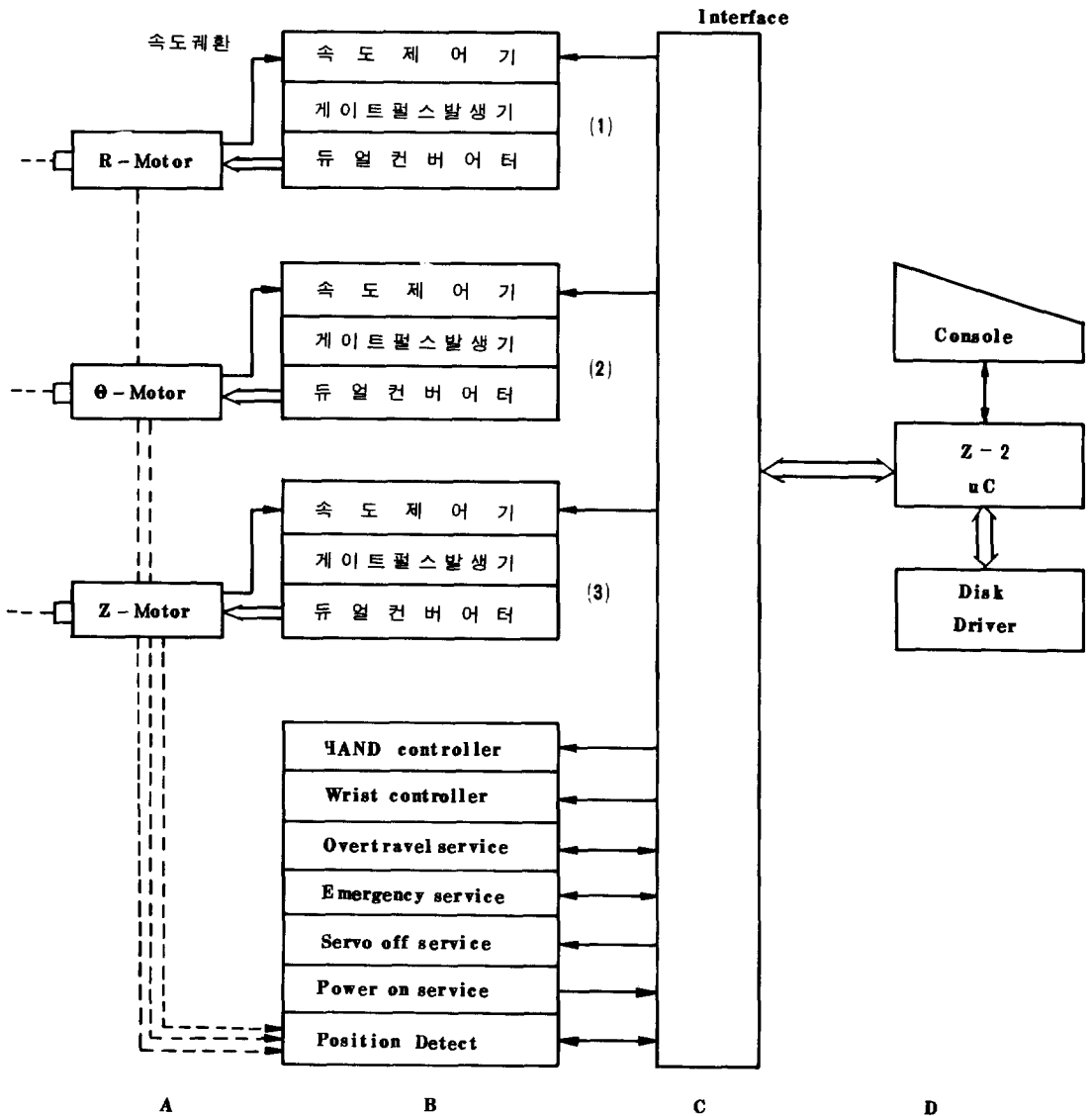


그림 3. 카이젬 로봇 1의 제어시스템 기능구성도

$$M_c \{ (\theta_3 \gamma_3 \tan \theta_{p3} - d - e)^2 + C_2^2 \} + I_{2c}^2 + (M_B + M_D) \{ t_1 + \theta_3 \gamma_3 \tan \theta_{p3} \}^2 + (t_2 - b_2)^2 + I_{2T}^2$$

$$N_1 = -2 \dot{\theta}_3 \dot{\theta}_1 \{ M_c (\theta_3 \gamma_3 \tan \theta_{p3} - d - e) + (M_B + M_D) (t_1 + \theta_3 \gamma_3 \tan \theta_{p3}) \} \gamma_3 \tan \theta_{p3}$$

윗식과 같이 Dynamic Equation 이 매우 복잡하므로, 본 연구에서는 윗식을 Decentralized Linear Model로 바꾸어서 서보제어기를 구성하였다.

그러나 이 때의 서보제어기는 속도서보제어기로 실현되어 경로추적방식이 앞에서 언급한 바와 동일하지는 않다.

이에 대한 논의는 4절에서 자세히 하기로 한다.

3. 하드웨어의 구성

카이젬로봇트 1의 팔은 R, θ, Z의 원통좌표형이고 손목은 90° 회전가능하며, 손의 개폐가 가능하다.

카이젬로봇트 1의 Manipulator 는 그림 2 에, 그의 제어시스템기능구성도는 그림 3 에 각각 도시하였다.

카이젬로봇트 1의 제어시스템은 그림 3 에서와 같이 크게 4부분으로 나뉘는 바, 그림 3 에서 A는 직류서보전동기를 포함한 Manipulator 부분이고, B는 서보제어기이며, C는 인터페이스, D는 로봇트의 두뇌인 컴퓨터이다. 그림 3 에서 B의 (1), (2), (3)은 동일한 서보전동기제어기로 그의 블록선도는 그림 4 와 같다.

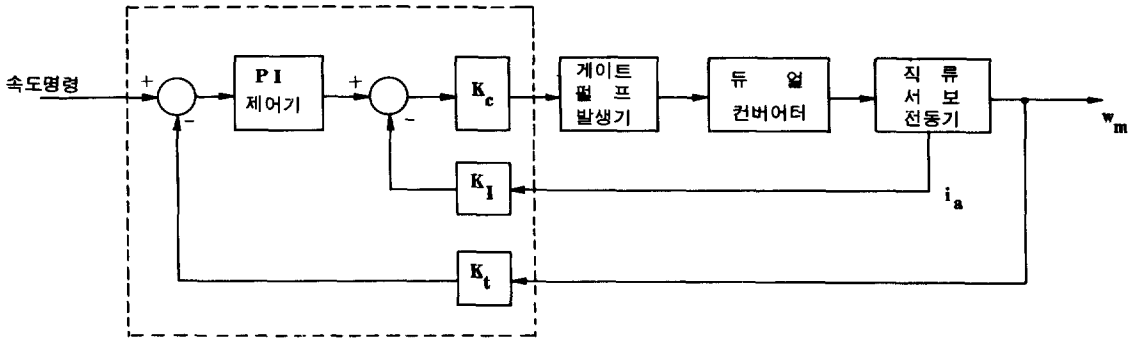


그림 4. 서보 전동기 제어기의 블록선도

카이젬로봇트 1에서는 SCR (Silicon Constolled - Rectifier) 을 12개 사용하는 듀얼컨버터를 파워 증폭기로 사용하고 있다.

듀얼컨버터는 3상전파제어정류기 2개를 서로 거꾸로 하여 병렬로 붙여 놓은 것으로, 정역회전이 가능하고 회생제동도 가능하다.^[18]

그리고 위치감지장치로는 전동기내에 장치된 리졸버 (Resolver) 를 사용한다.

4. 연속경로방식의 제어알고리즘

카이젬로봇트 1은 보통의 수치제어공작 기계와는 달리 R, θ, Z 방향으로만 운동이 가능하고, 또한 서보 제어기의 직접제어대상이 위치가 아니고 속도이다. 따라서 경로추적을 위한 위치제어를 소프트웨어에 의존하게 되는데, 그 제어방식이 개루프제어방식인 경우에는 일반적인 알고리즘을 만들기 어려울 뿐더러, 외란에 대처하기도 어렵다.

그러므로 폐루프제어방식을 Real Time 으로 실현하는 것이 바람직하다. 카이젬로봇트 1의 CPU는 Z-80로서 Clock Cycle 이 4MHZ 이고 1 Word가 8. B t 이므로, 복잡한 계산을 처리하기가 곤란하다.

따라서 요구되는 알고리즘 어느 정도의 근사식이 된다. 하더라도, 그 계산이 아주 간단해야 한다.

다음에서는 두가지의 Algorithm을 제시하고 있는데, 전자는 정확한 반면에 복잡하고 후자는 매우근사된 반면에 간단하다.

그림 5 와 같이 시점 A와 종점 B를 잇는 직선으로 로봇트 팔이 따라 가게끔 하는 방법을 생각해 보자.

그림 5 에서 O는 팔의 회전중심이고, P'는 팔의 끝점의 현재위치를 나타낸다. (원래 P'가 P;에 있어야 하는데, 외란에 의해 이탈되었다고 가정하자.) 그림 5 에서 직선 AB를 여러 점으로 나눈이유는 경로의 중간점들의 위치정보를 이용하여 알고리즘의 동특성을 향상시키려는 데에 있다.

그림 5 에서 P'의 위치정보는, 위치감지부에서 (r

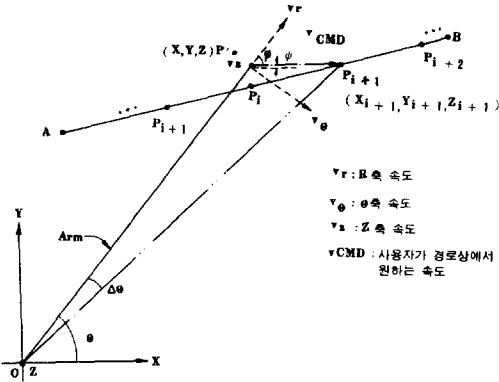


그림 5. 로봇트 팔이 경로 AB를 갈때의 모양

θ, Z 의 원통좌표가 입력된다. 이때의 직각좌표 (x, y, Z) 가 계산될 수 있다.

그리고 직선 AB간의 중간점들인 $A_i, P_{i-1}, P_i, P_{i+1}, \dots, B$ 들은 교시과정에서 FORTRAN으로 계산하여 기억장치에 기억시킨다.

그림 5.와 같은 기하학적 상태에서 다음과 같은 알고리즘을 제안한다.

알고리즘 1

- 1) 로봇트 팔의 현재위치 (r, θ, Z) 를 입력시킨다.
- 2) 입력된 좌표를 직각좌표로 변환한다.

$$x = r * \cos \theta$$

$$y = r * \sin \theta$$

- 3) $\Psi = \text{Arctan} \left(\frac{y_{i+1} - y}{x_{i+1} - x} \right)$
- 4) $\Phi = \theta - \Psi$
- 5) $Q = \{ (x_{i+1} - x)^2 + (y_{i+1} - y)^2 + (z_{i+1} - Z)^2 \}^{1/2}$
- 6) R축속도명령 $V_r = V_{CMD} * \cos \Phi$
 θ 축속도명령 $V_\theta = V_{CMD} * \sin \Phi$
 Z 축속도명령 $V_z = (z_{i+1} - Z) * V_{CMD}/Q$
- 7) 위의 V_r, V_θ, V_z 를 D/A Converter를 거쳐서 각 서보전동기제어기에 입력시킨다.
- 8) 로봇트 팔이 P_{i+1} 에 가깝게 접근하면 9),로 아니면 8)로 가라.
- 9) P_{i+1} 이 종점 B이면 11)로 가고, 아니면 10)으로 가라.
- 10) $P_{i+2} = P_{i+1}$, 그리고 1)로 가라.
- 11) 정지시킨다.

즉 $V_r = V_\theta = V_z = 0$

그러나 위의 알고리즘을 마이크로컴퓨터로 처리하기에는 너무 복잡하므로 다음과 같은 근사방법을 사용한다.

그림 5.에서 직선 AB간을 아주 많은 구간으로 쪼개면 직선 OP' 와 직선 OP_{i+1} 이 서로 평행하다고 가정할 수 있고 따라서 알고리즘은 다음과 같이 간략화된다.

알고리즘 2

- 1) 로봇트 팔의 현재위치 (r, θ, Z) 를 입력시킨다.
- 2) $\Delta r = r_{i+1} - r$
 $\Delta \theta = \theta_{i+1} - \theta$
 $\Delta Z = z_{i+1} - Z$
- 3) $D_1 = (\Delta r)^2 + (r * \Delta \theta)^2$
 $D_2 = D_1 + (\Delta Z)^2$
- 4) $E_1 = D_1^{1/2}$
 $E_2 = D_2^{1/2}$
- 5) $\alpha = V_{CMD} / E_2$
- 6) R축속도명령 $V_r = \alpha * (\Delta r)$
 θ 축속도명령 $V_\theta = \alpha * r * (\Delta \theta)$
 Z 축속도명령 $V_z = \alpha * (\Delta Z)$
- 7) 위의 V_r, V_θ, V_z 가 D/A Converter를 거쳐서 입력된다.
- 8) 로봇트 팔이 P_{i+1} 에 가깝게 접근하면 9)로, 아니면 8)로 가라.
- 9) P_{i+1} 이 종점 B이면 11)로 가고, 아니면 10)으로 가라.
- 10) $P_{i+2} = P_{i+1}$ 그리고 1)로 가라.
- 11) 정지시킨다. 즉 $V_r = V_\theta = 0$

본 연구에서는 후자의 알고리즘에 기준하여 소프트웨어를 구성하여 실현하였다. 위의 알고리즘은 어셈블리어로 구성하였고, 직선 AB간의 중간점들은 FORTRAN Program에 의해 쉽게 구했으며, 어셈블리어와 FORTRAN간의 Data 교환은 Common Area를 통해서 쉽게 이루어졌다.

5. 소프트웨어의 구성

본 논문에서 제작된 소프트웨어의 구조는 그림 6과 같이 크게 4부분으로 나뉜다.

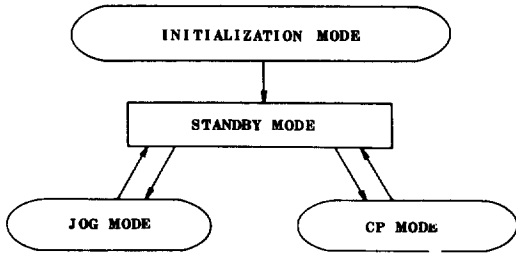


그림 6. 카이젬 로봇트 1의 소프트웨어구조

JOG MODE는 일종의 교시과정이며, 이때에 교시자가 로봇트를 Manual로 움직이며, 위치와 작업순서를 교시한다.

CP MODE는 일종의 수행과정이며, JOG MODE에서 교시된 점들을 잇는 경로를 추적하며 교시된 작업을 수행한다. 이때의 반복횟수는 교시자가 임의로 지정한다. 이때의 소프트웨어는 주프로그램 1개와 부프로그램 5개로 구성되어 있고, 전체가 4 K Bytes 정도가 된다.

6. 실험결과 및 검토

카이젬로봇트의 Z축의 기계적특성이 불량하여, 본 연구에서는 R-θ 평면상에서의 연속경로방식만을 실험

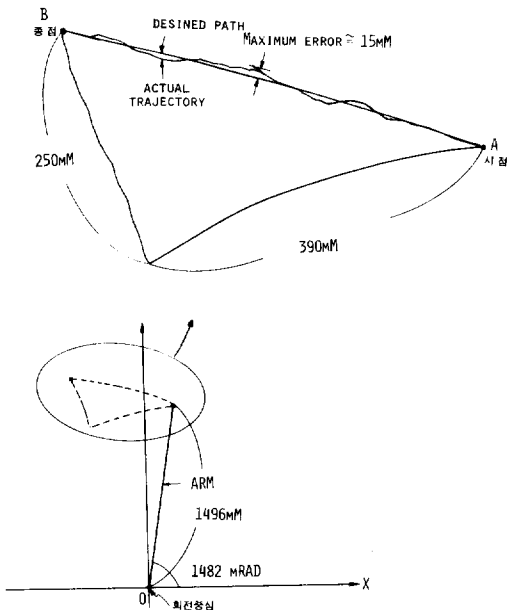


그림 7. 연속경로시의 로봇트 팔의 궤적

험하였다. 그림 7.은 속도명령 V_{CMD} 를 100 mm/sec 로 주었을 때의 로봇트 팔끝의 궤적이다. 서보제어기에 작시에, 게이트펄스분배기에서 많은 펄스들이 밀집되어 있어서, 초기 실험에서는 간섭효과에 의한 SCR의 오동작이 유발되었다. 그리고 회로내의 각종 Flip-Flop들이 외부 Noise에 의해 쉽게 오동작하였다.

이러한 문제들은 적절한 Lowpass Filter들을 달아 줌으로써 어렵지 않게 해결되었다.

그리고 소프트웨어의 부담을 줄이고, 좀 더 해석적인 설계방식을 채택하기 위해서는 서보전동기제어기가 위치제어까지 하게끔 하는 것이 시급하다.

7. 결 론

본 연구에서는 카이젬로봇트 1의 연속경로운동제어를 실현하는 제어장치의 하드웨어 및 제어알고리즘에 대하여 기술했다. 그러나 로봇트 팔의 운동속도가 빠르게 될 때에는 Dynamics의 Nonlinear Effect와 Coupling Effect가 두드러지게 되므로, 좀 더 발전된 제어알고리즘이 필요하게 된다. [16], [20], [21], [22], [23]

그리고 이러한 발전된 알고리즘을 실현하려면, 서보제어기를 기존의 Analog Type에서 Digital Type으로 변환하는 것이 바람직하다.

참 고 문 헌

- [1] 송상섭 ; "A Study on the servo-controller for an industrial robot", 한국과학원 석사학위논문, 1980년 1월
- [2] 김승원 ; "Mp-based controller for play back-type industrial robot", 한국과학원 석사학위논문, 1980년 1월
- [3] 장태규 ; "A study on the development of a up-based industrial robot system", 한국과학기술원 석사학위논문, 1981년 1월
- [4] 신동렬 ; "A mp-based control of industrial robot", 한국과학기술원 석사학위논문, 1982년 1월
- [5] P.C. Sen and M. L. McDonald; "Thyristorized DC drives with regenerative braking and Speed Reversal", IECI - 25, No. 4, November, 1978.
- [6] Cromemco Z-2 MDS Manual.
- [7] Ott; "Noise reduction technique".
- [8] Thyristor Phase - controlled Converters and

- Cycloconverters, B. R. Pelly. Wiley, 1971.
- [9] S. B. Dewan and A. Straughen; "Power semiconductor circuits", John Wiley & Sons, 1975.
- [10] T. Krishnan and B. Romanaswami; "Speed control of DC motor using thyristor dual converter", IECI-23, No. 4, Nov., 1976.
- [11] B. I. Lango, R. Krishnan; "Firing circuit for three-phase thyristor-bridge rectifier", IECI-25, No. 1, Feb. 1978.
- [12] E. Freund and M. Syrbe; "Control of industrial robots by means of microprocessors", JACC 1978, P. 167.
- [13] David F. Stout, Milton Koufman; "Hand book of operational amplifier circuit design", McGraw-Hill, 1976.
- [14] 박영제 ; "산업용로봇의 몸체의 설계 및 제작", 한국과학원 석사학위논문, 1980년 1월
- [15] Richard P. Paul; "Robot manipulator: mathematics, programming, and control", MIT Press, 1981.
- [16] M. Vukobratovic, D. Stokic; "Scientific fundamentals of robotics 2: control of manipulation robots", Springer-Verlag, 1982.
- [17] Bengt Seger; "Application of an industrial robot with contrinuous path control", 7th International Symposium on Industrial Robots.
- [18] 최영규 ; "산업용로봇트 카이젠 1의 연속경로 제어에 관한 연구", 한국과학기술원 석사학위 논문, 1982년 1월
- [19] D. E. Whitney; "The mathematics of coordinated control of prosthetic arms and manipulators", Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, ASME, Dec. 1972.
- [20] E. Freund; "Path control for a redundant type of industrial robot.", 7th International Symposium on Industrial Robots.
- [21] S. Dubowsky and D.T. DesForges; "The application of model referenced adaptive control to robotic manipulators", ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, September, 1979.
- [22] M. Vukobratovic and D. Stokic; "Simplified ontrol procedure for strongly coupled large-scale nonlinear mechanical systems", Autom. and Remote Control, Vol. 39, No. 11, 1978.
- [23] M. Vukobratovic and D. Stokic; "Contribution to the decoupled control of large-scale mechanical systems", Automatica, Jan. No. 1, 1980.
- [24] Richard E. Hohn, "Computed path control for an industrial robot", 8th International Symposium on Industrial Robots.
- [25] Yoshikazu Nish; "Methods to realize accurate continuous path control for an industrial robot", SYSTEMS AND CONTROL, JAACE, Vol. 24, No. 3, 1980.

祝 「特別會員 新規加入」

■ 東亞大學校 圖書館

住 所: 釜山市 西區 東大新洞 3街 1
電 話: (051) 43-0011
加入日字: 1983年 2月 3日

■ 서울市立 精讀圖書館

住 所: 鍾路區 華洞 1
電 話: 724-5365
加入日字: 1983年 2月 14日

■ 三星綜合建設株式會社

代表者: 安 秉 暉
住 所: 永登浦區 汝矣島洞 1-620
電 話: 782-3936
加入日字: 1983年 2月 22日

■ 東國大學校 圖書館

住 所: 中區 筆洞 3街 26
電 話: 267-8131
加入日字: 1982年 12月 13日

■ 韓國電力技術株式會社

代表者: 鄭 根 謨
住 所: 永登浦區 汝矣島洞 1-771
電 話: 783-7701
加入日字: 1982年 12月 21日

■ 鶴山技術 圖書館

住 所: 鍾路區 東崇洞 1-38
電 話: 763-1235
加入日字: 1983年 2月 1日