

대형 회전구조물의 정밀위치제어에 관한 연구

최 영 호 · 어 진 우 · 이 대 식
안 태 영*

A Study on Position Control for Large Inertia System

Choi Young-Ho, Eo Jin-Woo, Lee Dae-Sik
Ahn Tai-Young

Abstract

This paper deals with the Z-8000 microprocessor based optimal controller problem of large rotating system.

Control algorithm consists of Global Mode and Fine Mode. In Global Mode, motor is driven with maximum torque, while, in Fine Mode, the speed of response and overshoot improved by multi-gains.

Friction term of the plant was measured in the 1-st test, jerking effect by the nonlinearity of friction was compensated in the 2-nd test and the 3-rd test was carried out to finalize the control system model.

Test results show that the speed of response and overshoot are highly improved.

1. 서 론

진보된 제어이론으로 인하여 대형회전 구조물의 제어문제를 종래의 Isolated Subsystem Design Process에서 One System Process로 다룰 수 있게 되었다. 또한 최근 들어 반도체 산업의 혁신적인 발전으로 저렴하면서 성능이 우수한 Microprocessor가 출현하게 되어 종래의 복잡한 Analog System을 보다 손쉬울뿐 아니라 Size 면에서도 장점을 가지게 되었고 계산기능과 기억

능력이 있어 복잡한 제어이론을 적용할 수 있게 되었다.

본 연구에서는 제어문제를 최적 제어이론과 디지털 제어이론 및 Z-8000 Microprocessor를 사용하여 해결하는 것을 목적으로 한다. PM DC Servo Motor에 의해 구동되는 대형회전 구조물의 주요목적은 주어진 제약조건 ($|V_{max}| < 100$, $|I_{max}| < 300$)을 만족시키며 원하는 위치로 대형 회전 구조물을 충분히 빠른 속도로 정확히 이동시키는 것이다.

모터의 위치제어는 보통 비례제어기, 적분제어

* 정회원

기, 미분제어기 등을 적당히 조합하여 사용하는데 그들의 각각의 특성으로 인하여 정상상태의 오차를 줄이는 경우 정착시간이 연장등을 유발하는 등 본 대형 회전구조물의 주어진 사양을 만족시키기는 어렵게 된다. 또한, 주어진 사양중 가장 중요시 되는 것으로 빠른 시간내에 목표물을 조준할 수 있어야 하는점을 고려하면 최적제어이론을 도입하여 최적시간제어 문제를 설정할 수 있다. 그러나 3 차선형시스템에 있어서 입력 및 상태변수에 제약조건이 있는 경우, 최적시간제어 문제는 상당히 복잡해지며 Bang-bang 형태의 수치입력에 대한 Switching Time을 계산하기 위해서는 수치해석적인 방법만이 가능하게 되어 이러한 방법을 마이크로 컴퓨터로 실현, 제어하기에는 불가능하게 된다.

이러한 어려움을 해결하고자^{1,2)}에서는 PM DC 서어모터를 위한 근사화된 최적시간 디지털 위치제어기를 제안한바 그들의 방법으로는 응답속도가 최적시간제어기를 사용하였을 때 보다 길어진다는 단점과 최종상태에서의 오차가 증가한다는 단점을 갖고 있어 직접 응용하기에는 적합하지 않다고 판명된다. 또한^{3,4)}에서는 페루프시스템의 점근 안정성을 보장하기 위하여 제어입력의 2 차모드를 가지는 변형된 Bana-bang 제어기를 제안한 바 역시 많은 문제점을 내포하고 있다.

상기한 바, 본 대형 회전구조물에서는 기존의 고전제어이론을 이용한 폐환제어기나 최적제어이론을 도입한 최적시간 제어기를 그대로 적용하지 않고 모터의 최대능력을 고려하여 빠른 시간내에 주어진 제약조건을 만족하며 위치제어를 할 수 있도록 다음과 같은 제어 Algorithm을 사용한다⁵⁾

즉, 목표물을 선택한 후 대형회전구조물이 목표물에 근접할 때 까지 최대 Torque 를 모터에 인가하여 빠른 시간내에 이동시키는 Global Mode 와 적정거리 내에서 추적하는 Fine Mode로 나눈다. Global Mode 는 가속구간과 감속구간으로 나뉘어진다. Fine Mode 에서는 Asymptotic Stability 를 보장하고 정상상태의 오차를 줄이기 위하여 비례-적분 제어기를 취한다.

대형회전 구조물을 구동하는 Servo System으로는 정,역전 및 Regenerative Braking이 가

능하고 원활한 제어를 할 수 있을뿐 아니라, 근래에 High Power 용 Transister 가 개발되어 수 KHz 에서도 동작이 가능한 Bipolar PWM Amp. 를 사용하며 Global 가속구간에서는 더 큰 속도 및 가속도를 얻기 위하여 Unipolar PWM Amp. 를 사용한다.

2. Hardware 설명

본 시스템의 Hardware에 대한 구성도가 Fig.1에 주어진다.

TRS-80을 Host Computer로 사용하며 64 KByte RAM과 200KByte의 Disk Memory를 가지며 실험중에 Servo Computer를 제어하며 Line Printer와 PROM Programmer가 부착되어 있다.

Servo Computer는 Z-8000 Microprocessor로 구성되며 8KByte RAM과 24KByte ROM을 Memory로 가지고 있으며 운행중에 있는 대형회전구조물을 제어하는 Digital 제어기를 포함한다.

사용된 대형 회전구조물은 Photo 1에서 보는 바와 같이 약 5t의 Dummy System이며 우측 중단에 있는 것이 PM DC Servo Motor와 감속기이고, 좌측 중단에 있는 것이 Optic Encoder와 Interface이다.

본 연구에서 개발한 Servo Amp가 Photo 2에 주어진다. Line 전압이 115V이고 PWM Signal Frequency는 2.5 KHz이며 Dead Zone은 30 μ s이다. Unipolar Signal은 Bipolar Signal을 생성하여 사용하며 $\frac{dV}{dt}$, $\frac{di}{dt}$ 성분에 의한 Power Transister의 손상을 방지하기 위하여 R-C Series인 Snubber 회로를 Transister가 사이에 연결한다.

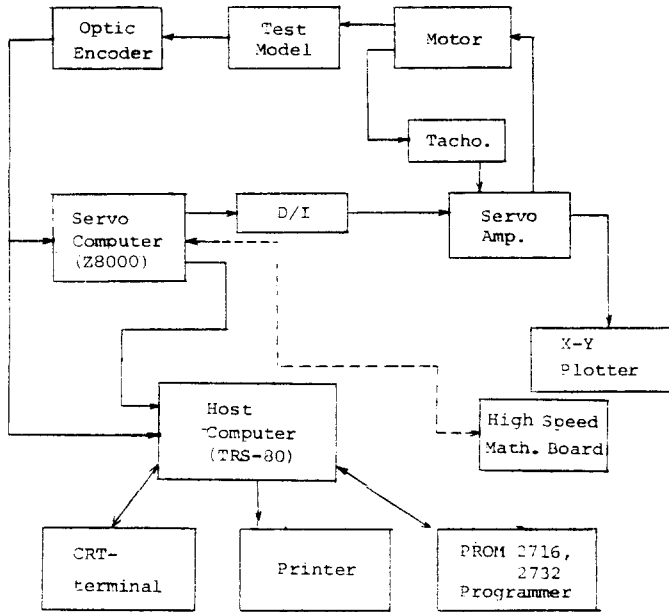


Fig. 1. Hardware 전체 구성도

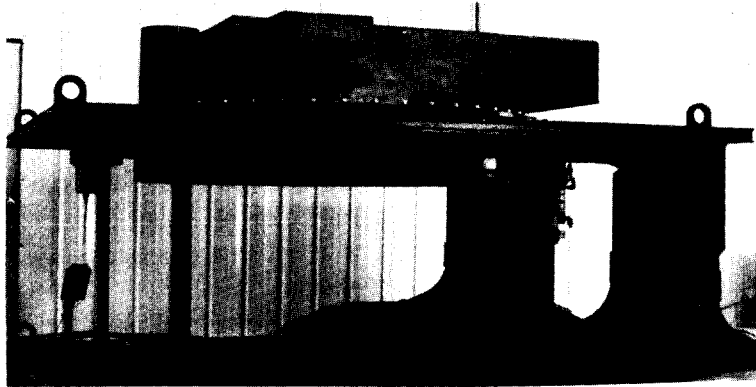


Photo. 1. Dummy System

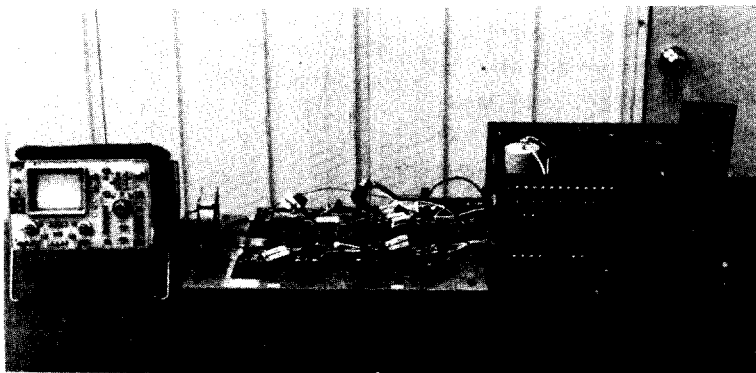


Photo. 2. PWM Servo Amp.

3. Software 설명

Z-8000 Microprocessor 의 PLZ/ASM Language 를 구현할 위치 제어기 알고리즘의 Flow Chart 가 Fig.2 에 주어진다.

INIT와 IACCE 는 다음과 같다.

INIT = { 1 : Global Mode
0 : Fine Mode
IACCE = { 1 : 가속구간
0 : 감속구간

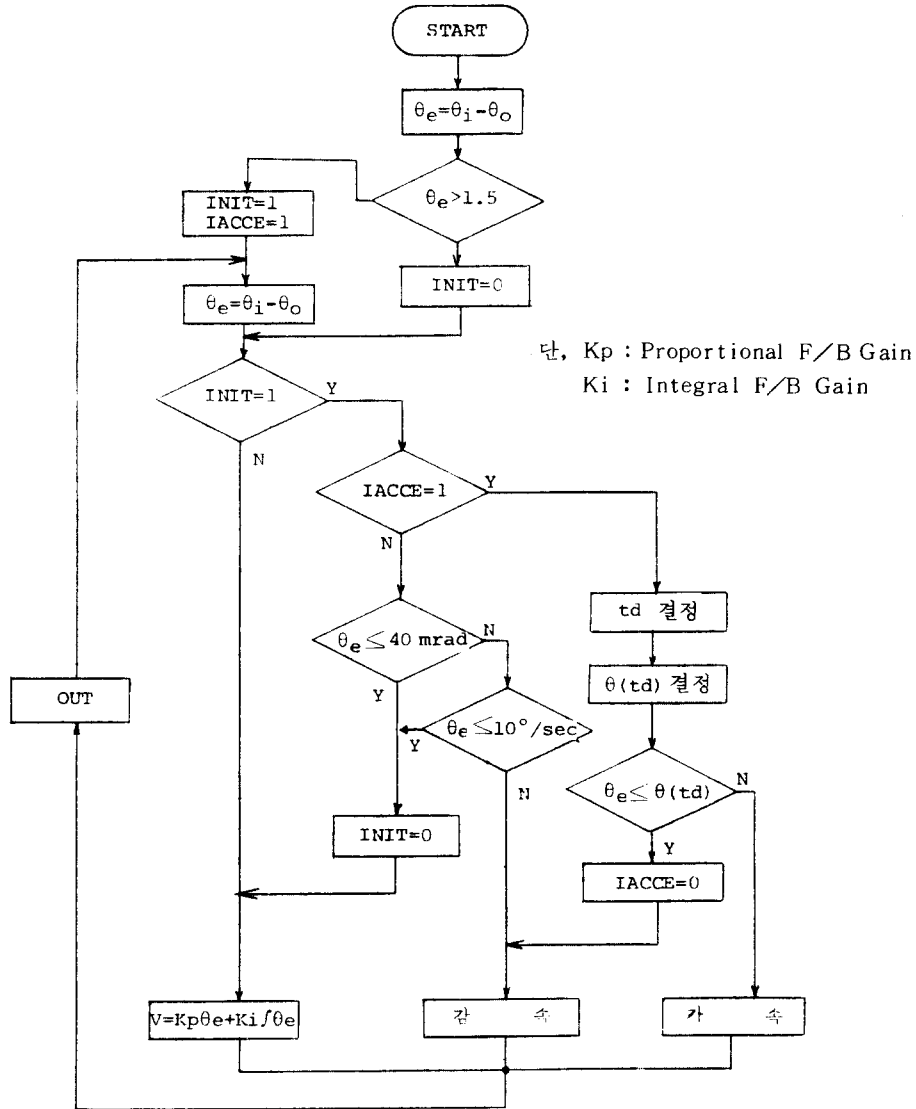


Fig. 2. Flow Chart

초기조건으로 $\theta_e (= \theta_i - \theta_0)$ 를 계산하여 대형회전 구조물의 회전방향을 결정한다. 만약, $\theta_e \leq 1.5^\circ$ 인 경우는 Global Mode 를 거치지 않고 Fine Mode 로 동작하며 $\theta_e > 1.5^\circ$ 인 경우는 Global Mode 로부터 동작을 한다.

가속중에 현재의 오차(θ_e) 및 예측된 위치오차 ($w_d \cdot t_d$) 의 합이 감속시간중에 갈 수 있는 위치 (θt_d) 보다 작은 순간 감속이 시작된다. 감속이 시작된 후, $\theta_e \leq 40 \text{ mrad}$ 이거나 $\dot{\theta}_e (= \dot{\theta}_i - \dot{\theta}_0) \leq 10^\circ / \text{sec}$ 를 만족하면 Fine Mode 로 넘어간다.

Z-8000 Microprocessor 의 PROM 중 4KByte 는 Monitor Program 이 4KByte 는 Digital 제어 알고리즘이 저장되어 있다.

4. 실험

4-1. 1 차시험

대형회전구조물의 Friction 을 측정하기 위하여 다음과 같이 실험한다.

Table. 1. Friction 측정 데이터

구분	순 위	속 도 (V/°/sec)	모타전압 (V)	전류/ 토르크 (Ampere/1b-in)	감속거리 (Degree)	감속시간 (sec)	비 고 (BW+TF)
C. W.	1	54(70)	72.8	(53.0/176)	81.4	3.1	121 1b-in
	2	53(69.3)	72.0	(57.5/191)	80.7	2.75	134 1b-in
C. C. W.	3	54(70.6)	71.0	(35.0/116)	91.1	3.0	125 1b-in
	4	50(65.3)	70.0	(75/249)	81.5	3.0	116 1b-in

4-2. 2 차시험

Friction Torque 를 무시하고 최적 궤환 이득 (Parameter I) 을 결정한 경우의 응답이 Fig. 3에 주어진다. 1차시험에서 예상된 것과 같이 대형회전구조물의 베어링등에 의한 Friction 으로 인하여 Low Velocity Command에서 Jerking 현상이 유발됨을 볼 수 있었다.

이 현상을 보상하는 방법은 여러가지가 있으나 궤환이득을 증가시킴으로써 Friction 의 영향을 상대적으로 감소시켰다.

- i) 대형회전구조물을 최대속도로 구동
- ii) 모타의 최대속도, 전압 및 전류측정
- iii) 입력전압 제거 (이때는 $i_a = 0$)
- iv) 대형회전구조물이 멈출때까지 시간 및 위치측정

이에 대한 결과는 Table.1에 주어지고 Friction 은 다음과 같이 계산된다.⁵⁾

$$K_t \cdot i_a = J \cdot \frac{d\omega_a}{dt} + T_f = 0$$

$$T_f = J \cdot \frac{(\omega_a)_{\max}}{t_d}$$

계산된 Friction 이 Table.1 비고란에 주어진다.

Friction Torque 가 Nonlinearity 를 가지며 또한 무시할 수 없을 만큼 큰 양임을 알 수 있었다.

이 양은 제어제에 Disturbance로서 큰 영향을 미치며 제어알고리즘에 있어서 감속시간을 결정할 때 이양이 필요하게 된다.

궤환이득은 Performance

$$J = \int_0^{\infty} \{ t x^T Q x + R u^2 \} dt$$

을 최소화 하도록 결정했으며⁶⁾ 궤환이득을 2배 (Parameter II) 및 2.5배 (Parameter III) 증가시킨 경우의 응답이 Fig.4와 Fig.5에 주어진다.

Fig.4에서 보는 바와 같이 Low Speed Command 에 대한 특성이 개선되었음을 볼 수 있었고 궤환이득이 2.5배인 경우에서와 같이 특성이 양호함을 볼 수 있었다.⁵⁾

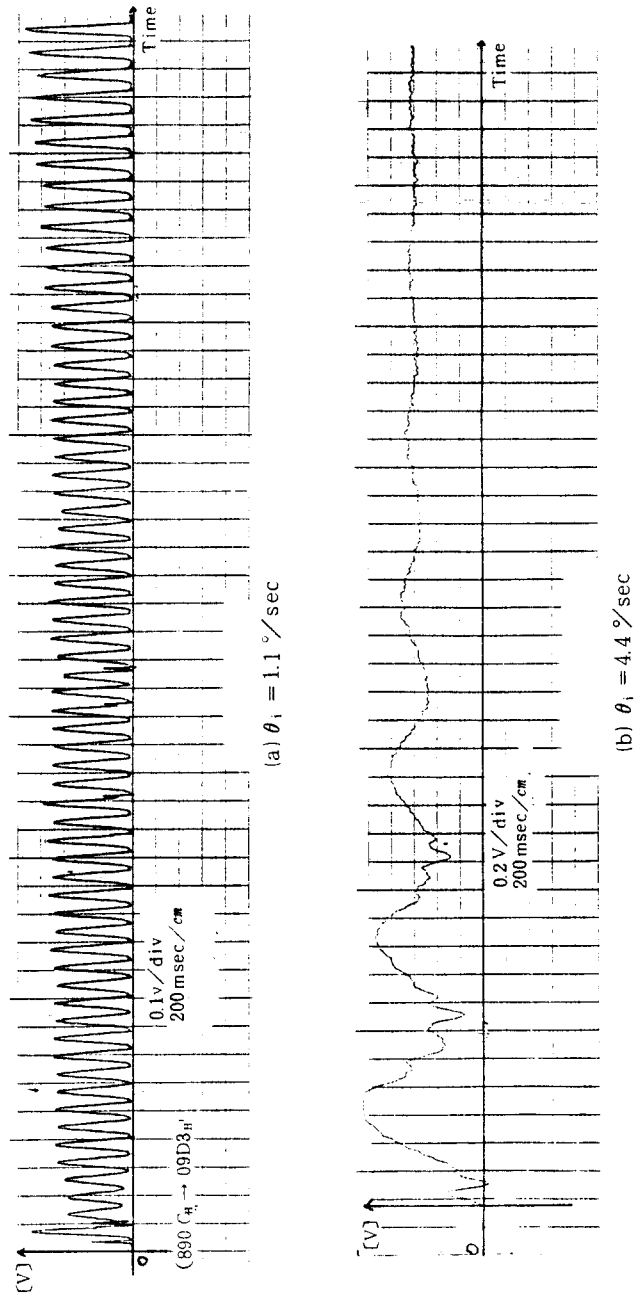
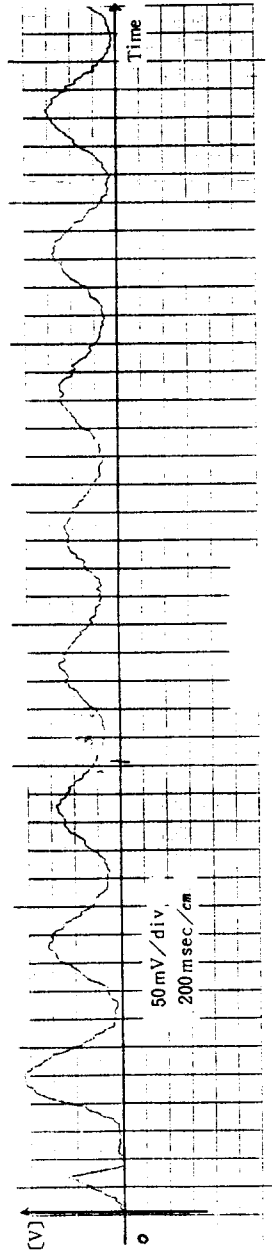
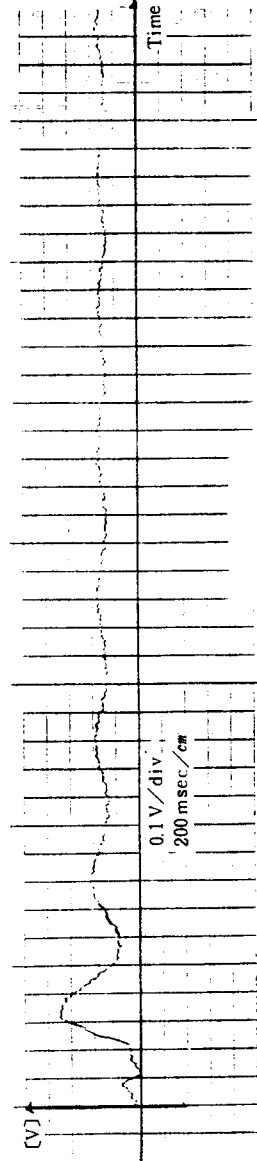


Fig. 3. Parameter I 에 대한 대형 회전구조물의 속도 응답
(단, 1V는 1.3°/Sec)



(a) $\theta_i = 0.55^\circ/\text{sec}$



(b) $\theta_i = 1.1^\circ/\text{sec}$

Fig. 4. Parameter II 에 대한 대형 회전구조물의 속도 응답
(단, 1V는 1.3°/sec)

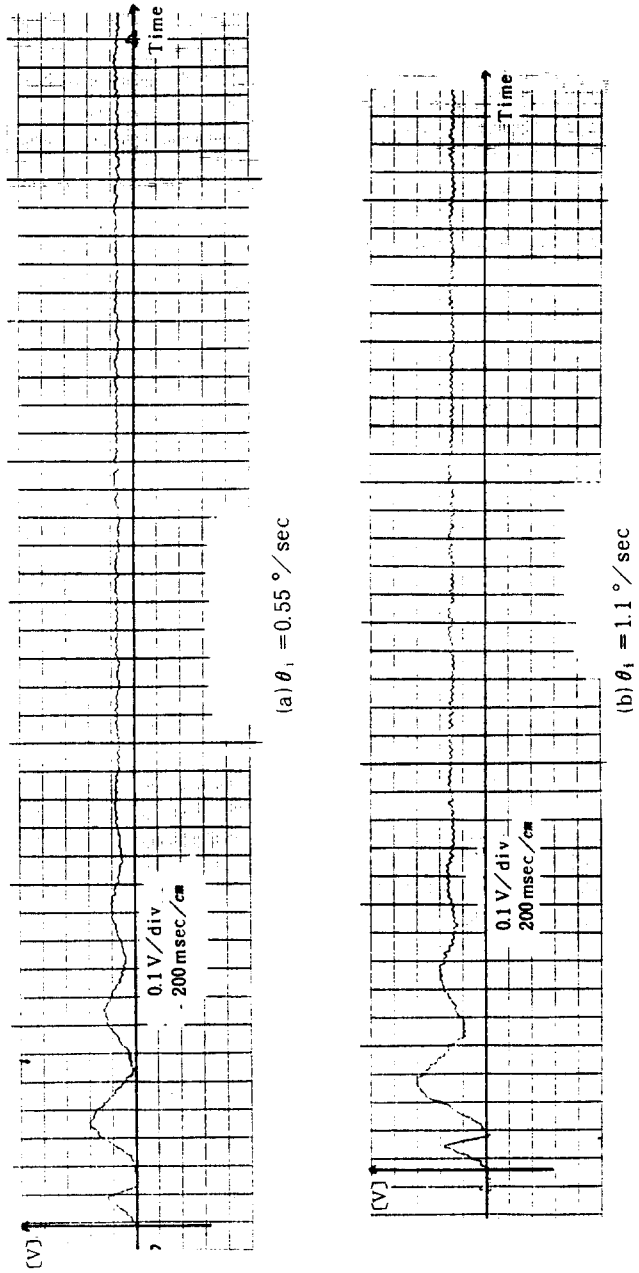


Fig. 5. Parameter III 에 대한 대형 회전구조물의 속도 응답
(단, 1V는 1.3°/sec)

4-3. 3차시험

Global 및 Fine Mode 전 알고리즘에 대한

실험이며 2차실험의 결과로서 또한 속응성 및 Overshoot문제를 개선하기 위하여 Fig.6과 같이 Fine Mode에서는 Multigain을 사용한다.

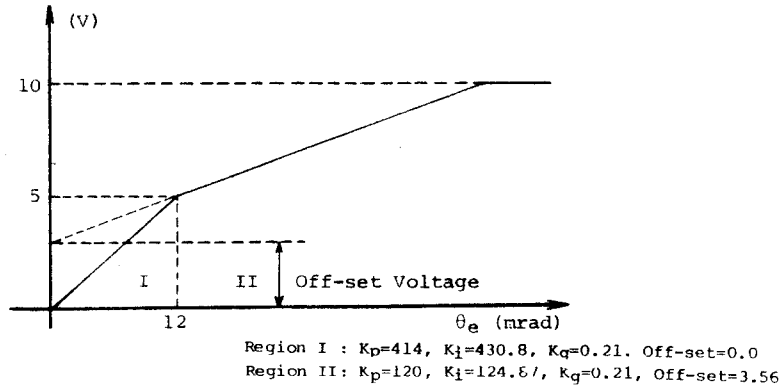


Fig. 6. Fine Mode에서의 Improved Multigain

Region II에서는 Region I과의 Discrete 전압을 두지 않기 위하여 Off-set 전압을 인가한다. 이에 대한 응답은 Fig.7에 주어진다. Fig.7

에서와 같이 Overshoot를 가지며 응답속도에 있어서도 장점을 가짐을 알 수 있었다.

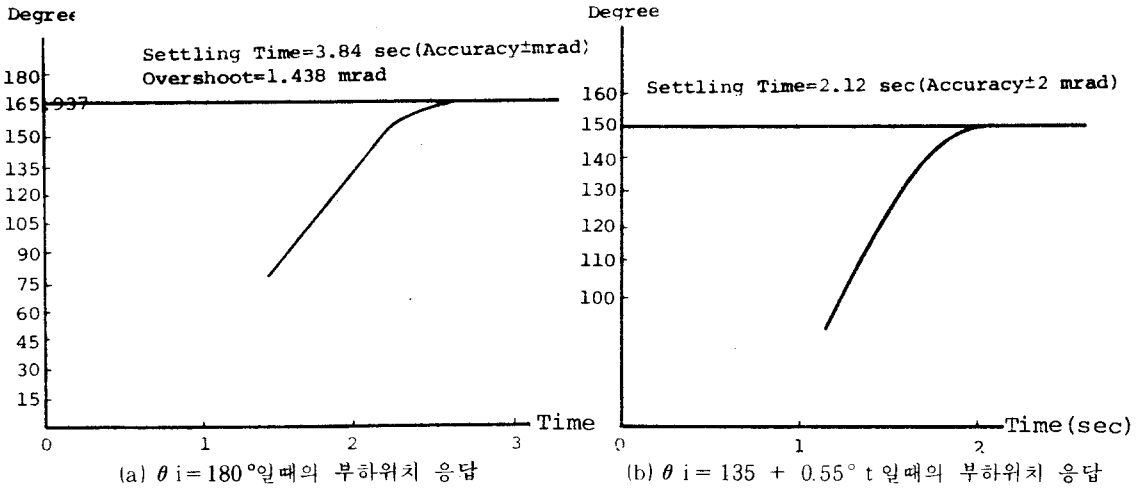


Fig. 7. 전체실험

5. 결 론

지금까지 대형회전구조물의 전체 실험결과를 살

펴 보았다. 먼저 Friction을 측정하였고 이양이 제어체에 Disturbance로 영향을 주어 Jerk-

ing 현상을 유발 시켰다. 보상으로 Fine Mode의 궤환이득을 증가 시켰으며 속응성 및 Overshoot 면에 장점을 가지도록 Multigain을 사용했다.

Motor의 최대 능력을 이용하는 Global Mode를 두어 응답속도를 더욱 증가 시켰다.

Servo Amp.로는 Global 가속시는 Unipolar PWM Amp.를 사용하였으며 그외 Mode에서 Regenerative Braking이 가능한 Bipolar PWM Amp를 사용했다.

본 연구에서 Fine Mode에서 더욱 많은 Gain을 사용한다면 응답특성을 증가 시킬 수 있을 것으로 사료된다.

參 考 文 獻

1. B. Szabados, N.K. Sinha and C.D. Di Cenzo, "Practical Switching Characteristics for Minimum Time Position Control Using a Permanent Magnet Motor," IEEE IECI Vol.IEIC-19, Aug. 1972.
2. B. Szabados, N.K. Sinha and C.D. Di Cenzo, "Time Optimal Digital Position Controller Using a PM DC Servo-motor," IEEE IECI, Vol.IECI-19, Aug. 1972.
3. P.K.C. Wang, "Analytical Design of Electrohydraulic Servo-mechanisms with Near Time-optimal Response," IEEE AC, Vol.AC-8, Jan. 1973.
4. Jonh D. Ferguson and Dennis L. Stephens, "Time Optimal Control with a Dual Mode Constraint," IEEE IECI Vol. IECI-21, No.2, May 1974.
5. D.S. Lee, "A Study on Turret Drive Servo Control System," KAIST M.S. Thesis, 1984.
6. B.H. Kwon, "A Study on Output F/B Controller and Observer using time-multiplied performance index," KAIST M.S. Thesis, 1984.