

移動 CRANE의 制御에 관한 研究

김 상 봉*, 신 민 생**, 김 환 성**, 정 용 길***

A Study on Control of Mobile Cranes

S. B. Kim, M. S. Shin, H. S. Kim, Y. G. Jeong

Abstract

The specifications needed for the mobile cranes are summarized as the following :

- 1) there may be not occurred the oscillation of the cargo at unloading point.
- 2) the required time from departure point to destination point may be as short as possible.
- 3) there may be not a collapse of cargo caused by the oscillation in the course that the crago is mobiling.

In this paper, the linear fractional transformation method is adopted as a method in order to improve the above mentioned problems. A design method of servo system is developed by modifying Davison's method for the case that the homogeneous differential equations of reference input and disturbance are different types. The real time control of a mobile crane system is implemented by 16bits microcomputer with A/D and D/A converters to illustrate the application of the adopted method. The experimental results for the three types of the design methods; linear fractional transformation method, servo system design method and optimal control method are shown for the comparison.

* 부산수산대학교 공과대학 기계공학과 정희원

** 부산수산대학교 대학원

*** 통영수산전문대학 기관학과

1. 序 論

線形 System을 이용한 제어계 설계법으로 레귤레이터(Regulator) 設計法과 서보系 構成法이 많이 이용되고 있다. 레귤레이터 설계법은 주로 極配置 알고리즘이나 최적 제어알고리즘을 이용하여 행해지고 있으며, 서보계설계는 먼저 주어진 目標値와 外亂에 대해 擴大系를 구성한 후 레귤레이터설계법을 이용해서 폐루프계의 피드백則을 얻는 순서로 설계가 행해지고 있으며, 이때 최적레귤레이터 이론을 이용하여 설계된 서보계를 최적서보계라 불리워지고 있으며, 이 이론을 기본으로 한 여러 측면에서의 연구가 행해져 오고 있다.⁽⁵⁾⁻⁽⁹⁾ 레귤레이터구성법중 극배치법은 배치하는 극의 위치에 관련지워 구별 한다고 하면, 指定 해야 할 폐루프계의 固有値를 정확히 指定 한 위치에 配置하는 방법과 任意의 領域內에 배치하는 방법이 있다.

前者의 경우 일반적인 문제점으로 System의 次元이 크게될 경우 計算이 반드시 簡單하지 않다고 하는 것과 극 배치의 계산과정에 포함되는 벡터의 一次 獨立性 檢證등의 어려운 점이 있다. 그러나 後者의 경우는 고유치를 정확히 하나 하나씩 지정하기 보다는 설계사양이 만족 될 수 있는 任意의 領域內에 배치되도록 하는 방법으로 폐루프계의 극을 구체적으로 지정하는 지침에 있어 결핍성을 가지고 있는 경우라든가, 특히 폐루프계의 過度特性인 Overshoot, Rising Time, Settling Time 및 안정도등에 대한 相互補完을 생각 할 경우 有用한 方法이라고 할 수 있다.⁽¹⁾⁽²⁾

港灣이나 倉庫에 필요한 荷役設備로서 크레인이 이용되고 있다. 이와 같은 크레인에 요구되는 仕様으로는, 着荷点에서 貨物の 흔들림이 없어야 되고, 出發点으로부터 착하점까지 되도록이면 빠른시간에 台車가 移動하여 하역의 能率을 높여야 하며, 台車가 이동중에 貨物の 흔들림의 정도가 적어 貨物이 무너지는 것과 같은 일이 발생하지 않을 것 등이다. 크레인의 제어법으로 Maruko(丸子)⁽¹³⁾에 의해 연구된 최적 제어계설계법에 의한 크레인제어와 Mite(美多)

등⁽¹⁴⁾에 의한 最短時間制御가 잘 알려져 있다.

본 論文에서는 주어진 영역 내에 極配置를 행하는 방법중의 하나인 線形分數變換法⁽¹⁾⁽²⁾을 이용한 레귤레이터구성과 서보계구성법에 대해 論하고, 移動 크레인의 시스템에 대해 마이크로컴퓨터와 A/D 및 D/A 變換器를 이용한 實時間制御를 통해서 이들 방법의 유효성을 확인했다.

2. CRANE 實驗裝置의 解析

2.1 裝置의 概要

Fig. 1은 크레인의 位置制御에 대해서 圖式的으로 나타낸 것으로 台車는 벨트와 풀리로 연결하여 直流 서보 모터(DC 12V, 20W, 500rpm)에 의해 驅動되고, 풀리에 연결된 포텐쇼메타(J50S, $\pm 0.1\%$, 2k Ω Copal)로서 台車에 부탁되어 振子の 振動을 측정할 수 있도록 구성되어 있다.

增幅器(Pre-amplifier)는 0~5V D/A 변환기의 出力電壓을 입력하여 서보모터의 정, 역회전 구동이 가능하도록 +12~-12V로 增幅를 시키며, 제어부의 플랜트 출력을 A/D 변환시켜 制御則등의 계산을 행하여 플랜트의 입력을 D/A 변환기를 통해서 출력하는 부분으로 구성이 되어 있고, 制御를 위해서 16비트 퍼스털컴퓨터를 利用하고 있으며 제어용 프로그램은 C-언어로 작성되고 있고, A/D 및 D/A 변환기는 PCL-812를 사용했다.

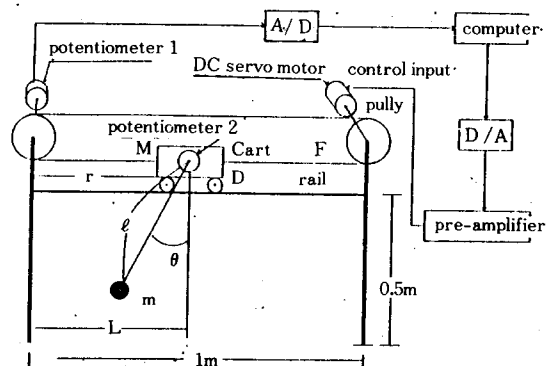


Fig.1 Configuration of crane system

2.2 모델링 (Modeling)

Fig. 1에서 Cart(台車)의 等價質量, 等價粘性摩擦計數, 貨物の質量, 로우프의 길이, 대車の 驅動力, 出發点으로부터 着荷点까지의 거리, 출발점으로부터 Cart까지의 거리, 로우프의 흔들림각을 각각 M, D, m, l, F, L, r, θ 라고 하면 그 運動方程式⁽¹⁾은 台車에 대해

$$(M+m)r + Dr + ml\ddot{\theta} \sin\theta = ml\ddot{\theta} \cos\theta + F \quad (2-1)$$

와 같이 주어지고, 진자에 대해

$$ml^2\ddot{\theta} + mgl \sin\theta = mlr\ddot{r} \cos\theta \quad (2-2)$$

와 같이 된다. 또한, $\theta \approx 0$ (진자의 안정점) 으로 하여 線形 近似化하면, (2-1)식과 (2-2)식은 $\sin\theta \approx 1$ 에 의해

$$Mr + Dr = -m(r - l\ddot{\theta}) + F \quad (2-3)$$

$$\ddot{\theta} + (g/l)\theta = r/l \quad (2-4)$$

로 된다. (2-4)식을 이용하여 (2-3)식을 다시 定理하면

$$Mr + Dr = -mg\theta + F \quad (2-5)$$

로 된다.

여기서 $d = -mg\theta$ 를 외란으로 생각하고, 台車 및 振子の 질량에 관계없이 r이 자유롭게 제어될 수 있다고 假定하면, (-4)식과 (-5)식은 각각

$$r = Ua \quad (2-6)$$

$$\ddot{\theta} + (g/l)Ua = 0 \quad (2-7)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 u_a 는 새로운 入力 變數이고, 다음과 같은 크기로 주어진다.

$$|u_a| \leq \alpha_m \quad (\alpha_m : \text{최대 허용가속도})$$

(2-6)식과 (2-7)식을 狀態方程式으로 表現하면

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (2-8a)$$

$$y = Cx \quad (2-8b)$$

여기서

$$x = \begin{bmatrix} r \\ \theta \\ \dot{r} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}, u = u_a, A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -g/l & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1/l \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

이고, 본 실험장치에서 진자길이는 $l = 0.3[m]$ 이다.

3. 制御系 設計

3.1 서보系 構成法에 의한 設計

本節에서는 Davison이 보였던 積分形 서보系의 構成問題를 목표입력과 외란이 각각 서로 다른 同次 微分方程式으로 표현되는 경우로 一般化하여, 微分演算子法을 이용하여 擴大系를 얻는 알고리즘에 대해 설명한다.

시스템은 (2-8)식에 외란이 다음과 같은 형태로 주어지는 일반적인 경우를 생각한다.

$$\dot{x} = Ax + Bu + \delta \quad (3-1a)$$

$$y = Cx \quad (3-1b)$$

여기서, 외란 δ 와 목표입력 y_r 은 각각 다음의 同次 微分方程式으로 表現된다고 한다.

$$P_d(D)\delta = 0 \quad (3-2)$$

$$P_r(D)y_r = 0 \quad (3-3)$$

이다. 단, D는 微分演算子 $D = d/dt$ 를 의미한다. 誤差函數를 다음과 같이 定義하자.

$$e = y - y_r$$

(3-2)식과 (3-3)식에서 $P_d(D)$ 와 $P_r(D)$ 의 最小公倍 多項式을

$$P(D) = \text{l.c.m.}(P_d, P_r) = D^q + \alpha_{q-1}D^{(q-1)} + \dots + \alpha_0 \quad (3-5)$$

와 같이 定義하고, (3-1b)식과

$$P(D)y_r = 0 \quad (3-6)$$

의 성질을 이용하여 (3-5)식의 다항식을 (3-4) 식에 작용시켜, 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$e^{(q)} + \alpha_{q-1}e^{(q-1)} + \dots + \alpha_0 e = CP(D)x \quad (3-7)$$

(3-6)식을 狀態方程式으로 표현하면 다음과 같이 된다.

$$z = Nz + MP(D)x$$

단, $z = [e \ e^{(1)} \ e^{(2)} \ \dots \ e^{(q-1)}]^T$ (3-8)

$$N = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ & & & \vdots & & \\ & & & & & \vdots \\ \alpha_0 & & & & & -\alpha_{q-1} \end{bmatrix}, \quad M = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ C \end{bmatrix}$$

(3-1b)식에 P(D)를 작용시켜 P(D) $\delta = 0$ 의 관계를 이용하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P(D)x = AP(D)x + BP(D)u \quad (3-9)$$

(3-8)식과 (-9)식을 이용하여 擴大系를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$x_e = A_e x_e + B_e v \quad (3-10)$$

$$e = C_e x_e \quad (3-11)$$

단,

$$A_e = \begin{bmatrix} A & 0 \\ M & N \end{bmatrix}, \quad B_e = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$C_e = [0 \ 1 \ 0 \ \dots \ 0]$$

$$x_e = [P(D)x^T \ z^T]^T, \quad v = P(D)u$$

이다.

(3-10)식의 制御則 v를

$$\begin{aligned} v &= P(D)u \\ &= F x_e \\ &= [F_1 \ F_2] x_e \end{aligned} \quad (3-12)$$

와 같이 주어진다 하고, 양변에 P(D)⁻¹를 작용시키면

$$\begin{aligned} u &= F P(D)^{-1} x_e \\ &= [F_1 \ F_2] P(D)^{-1} [P(D)x^T \ z^T]^T \end{aligned} \quad (3-13)$$

로 되고, 새로운 상태변수 ζ 를 다음과 같이 정의하면

$$\zeta = P(D)^{-1} z \quad (3-14)$$

(3-13)식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$u = [F_1 \ F_2] [x^T \ \zeta^T]^T \quad (3-15)$$

(3-14)식의 관계를 이용하여 (3-8)식을 表現하면

$$\zeta = N\zeta + \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} e \quad (3-16)$$

와 같이 나타내어진다. 단 I는 단위행렬(Identity Matrix)를 의미하고, (3-15)식과 (3-16)식은 각각 서보系制御則 및 서보補償器로 주어지게 된다.

3.2 線形分數 變換法에 의한 設計

시스템모델 (2-8)식에 대한 레귤레이터의 制御則

$$\lambda = \frac{\rho - \alpha}{\lambda} \quad (3-17)$$

여기서, α, γ 는 任意的 定數이고, λ 와 ρ 는 각각 λ -plane과 ρ -plane의 변수이다.

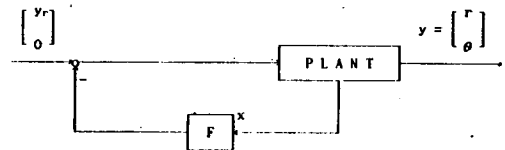


Fig.2 Regulator control system

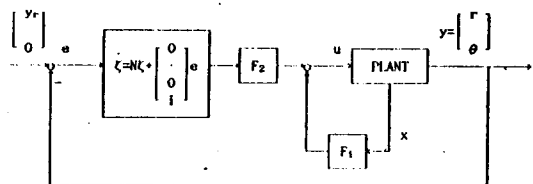


Fig.3 Servo control system

과 擴大系(3-10)식에 대한 制御則을 구하는 方法으로 여기서는 線形分數變換法을 이용하도록 하고, 다음과 같은 線形分數函數를 생각한다.

4. 實 驗

振子の 흔들림이 없이 주어진 目標値에 追從할 수 있는 제어계 설계법으로서 3절에서 보여진 설계법을 이용하여 마이크로 컴퓨터에 의한 실시간제어를 행했다. 실험을 간단하게 하기 위해 목표입력이 階段形態이고, 외란이 없을 경우에 대해서 샘플링시간을 7ms로 하여 실험을 행했으며, 종래의 실험결과와 比較檢討를 위해 最適制御 設計法을 이용했다. 3절에서 보인 設計알고리즘과 최적제어 설계법에 대한 설계파라미터들은 다음과 같다.

4.1 서보계 設計일 경우

擴大系는

$$x_e = A_e x_e + B_e v \quad (4-1)$$

$$A_e = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -32.67 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B_e = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 3.333 \\ 0 \end{bmatrix}$$

와 같이 주어지고, 階段形 入力일 경우 $P_r(D) = \frac{d}{dt} = D$ 이고, 외란이 없을 경우 $P_r(D) = 0$ 이므로 $P(D) = D$ 로 되어 서보補償器는

$$\zeta = y - y_r$$

로 되며 주어진 설계영역 D : (중심: $\alpha = -30$, 반경: $r = 29.8$)에 대한 피이드백 行列에 정리 1에 의해

$F = [3.54143903 \quad 3.84234836 \quad 3.38926563 \quad 1.32957712 \quad 1.47457769]$ 와 같이 구해지며 이때 그 페루프극은 $\lambda_i(A_e - B_e F) : \{-0.916533366 \pm j0.676103133 - 1.19921335 - 2.39431574 \pm j5.02360249\}$ 와 같이

주어진다. 단, (3-20)식에서 $Q=I, R=1$ 이다.

4.2 線形分數 變換法에 의한 레귤레이터設計

시스템 (2-8)식에 의해 페루프극이 중심 $\alpha = -80$, 반경 $r = 79$ 인 圓版내에 비치되도록 피이드백則을 구한 結果는 다음과 같다.

피이드백행렬 F 는

$$F = [5.99956416 \quad 9.98050033 \quad 6.23384717 \quad 1.40569706]$$

이고 페루프극은 $\lambda_i(A - BF) : \{-2.25016613 \pm j3.34822478 - 3.2093516 \pm j5.25099831\}$ 와 같이 주어진다.

단, (3-20)식의 荷重行列은 $Q=I, R=1$ 로 주었다.

4.3 最適制御法

(2-8)식에 대해 評價函數

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

$$Q = \text{dige}[1 \quad 10 \quad 0 \quad 0], \quad R = [0.02] \quad (4-2)$$

를 最小로 하는 피이드백행렬은

$$F = [7.07106781 \quad 20.1807096 \quad 6.57734314 \quad 1.68483177]$$

이고, 페루프극은

$$\lambda_i(A - BF) : \{-1.14638441 \pm j1.23337767 - 4.94994146 \pm j7.54752452\}$$

와 같이 주어진다.

4.4 觀測器의 設計

본 실험의 경우, 距離와 角度만을 포텐쇼메터를 사용하여 測定하고 있으므로, 나머지 狀態를 관측하기 위해 最小次元 觀測器를 다음과 같이 設計했다. 단, 觀測器의 극은 $-10, -10$ 으로 했다.

$$m(t) = A_m(t) + B_y(t) + J_u(t) \quad (4-3)$$

$$x(t) = C_m(t) + D_y(t) \quad (4-4)$$

시스템 (2-8)식 또는 (3-10)식의 페루우프시스템이 線形分數變換(3-17)에 의해 變換되었을 때 그 變換된 시스템이 다음과 같이 定義된다고 하자.

$$\Sigma(\Phi, \Gamma) : x_r(k+1) = \Phi x_r(k) + \Gamma u_r(k) \quad (3-18)$$

여기서, 시스템의 피이드백則은 다음과 같이 주어
진다고 하자.

$$u_r(k) = F_r \times (k) \quad (3-19)$$

시스템 (2-8)식 또는 (3-10)식의 任意로 指定한 領域내 極配置 문제를 다음과 같은 정리를 이용하여
해결할 수 있다. ^{[1][2]}

[定理 1]

線形分數 變換式 (3-19)식을 (2-8)식 또는 시
스템 (3-10)식에 작용하여 얻은 變換된 시스템
(3-18)식에 대해 다음과 같은 리카치 방정식:

$$P = \Phi^T P \Phi + Q - \Phi^T P \Gamma (R + \Gamma^T P \Gamma)^{-1} \Gamma^T P \Phi \quad (3-20)$$

$Q > 0, R < 0$

을 滿足하는 正定대칭해 P를 이용해서 구성되는 피
이드백행렬

$$F = -(R + \Gamma^T P \Gamma)^{-1} \Gamma^T P \Phi \quad (3-21)$$

은 시스템 (2-8)식 또는 擴大系 (3-10)식의 페루
우프계의 모든 極을 中心이 α , 半徑이 r인 圓板
(Disk)내로 配置되게 한다. 단, (2-8)식에 대해

$$\Phi = \frac{A - \alpha I}{r}, \quad \Gamma = \frac{B}{r}$$

또는 (3-10)식에 대해

$$\Phi = \frac{A_e - \alpha I}{r}, \quad \Gamma = \frac{B_e}{r}$$

이다.

正理 1의 알고리즘에서 시스템 (2-8)식에 대한 피
이드백행렬(3-21)식으로 구성되는 페루프계는 레규
레이터구성이 되며, 擴大系(3-10)식에 대해 구해지
는 피이드백행렬(3-21)식으로 구성되는 페루프계는
Servo계 구성이 된다. 레규레이터에 대한 페루프계
의 블록線圖는 Fig. 2와 같고, (3-12)식을 이용한
(3-15)식의 制御則과 (3-16)식의 서보補償器로 구
성되는 페루프계의 블록선도는 Fig. 3과 같다.

위에서 보인 서보계 구성 알고리즘은 다음과 같이

정리할 수 있다.

Step 1. 외란과 목표입력에 대해 최소공배다항식
P(D)를 구한다.

Strp 2. 오차방정식(3-4)식와 상태방정식(3-1)식
에 최소공배다항식P(D)를 작용시켜 확대계(3-10)식
을 구한다.

Step 3. 확대계(3-10)식에 대해 (3-20)식의 리카
치방정식을 풀어 피이드백칙(3-21)식을 얻는다.

단,

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} -1.00000000D+01 & 0.00000000D+00 \\ 0.00000000D+00 & -1.00000000D+01 \end{bmatrix}$$

$$\hat{B} = \begin{bmatrix} -1.00000000D+02 & 0.00000000D+00 \\ 0.00000000D+00 & -1.32670000D+02 \end{bmatrix}$$

$$\hat{J} = \begin{bmatrix} 1.00000000D+00 \\ 3.33330000D+01 \end{bmatrix}$$

$$\hat{C} = \begin{bmatrix} 0.00000000D+00 & 0.00000000D+00 \\ 0.00000000D+00 & 0.00000000D+00 \\ 1.00000000D+00 & 0.00000000D+00 \\ 0.00000000D+00 & 1.00000000D+00 \end{bmatrix}$$

$$\hat{D} = \begin{bmatrix} 1.00000000D+00 & 0.00000000D+00 \\ 0.00000000D+00 & 1.00000000D+00 \\ 1.00000000D+01 & 0.00000000D+00 \\ 0.00000000D+00 & 1.00000000D+00 \end{bmatrix}$$

이다.

여기서, 觀測器 (4-3)식, (4-4)식을 샘플링시간
7cm로 離散化하면 다음과 같다.

$$m(k+1) = \hat{A}_D m(k) + \hat{B}_D y(k) + \hat{J}_D u(k) \quad (4-5)$$

$$\hat{x}(k) = \hat{C}_D m(k) + \hat{D}_D y(k) \quad (4-6)$$

단,

$$\hat{A}_D = \begin{bmatrix} 9.51229425D-01 & 0.00000000D+00 \\ 0.00000000D+00 & 9.51229425D-01 \end{bmatrix}$$

$$\hat{B}_D = \begin{bmatrix} 4.87705755D-01 & 0.00000000D+00 \\ 0.00000000D+00 & -6.47039225D-01 \end{bmatrix}$$

$$\hat{J}_D = \begin{bmatrix} 4.87705755D-03 \\ 1.62566959D-01 \end{bmatrix}$$

$$\hat{C}_D = \begin{bmatrix} 0.0000000D+00 & 0.0000000D+00 \\ 0.0000000D+00 & 0.0000000D+00 \\ 1.0000000D+00 & 0.0000000D+00 \\ 0.0000000D+00 & 1.0000000D+00 \end{bmatrix}$$

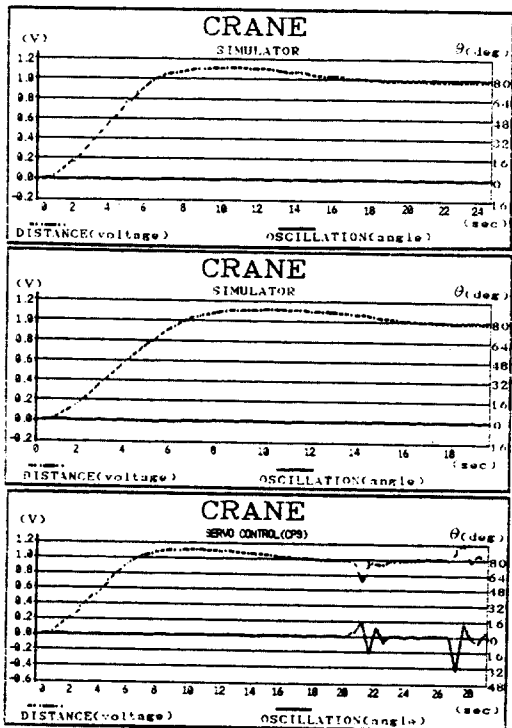
$$\hat{D}_D = \begin{bmatrix} 1.0000000D+00 & 0.0000000D+00 \\ 0.0000000D+00 & 1.0000000D+00 \\ 1.0000000D+00 & 1.0000000D+00 \\ 0.0000000D+00 & 1.0000000D+00 \end{bmatrix}$$

이다.

離散化된 觀測器를 制御프로그램으로 實現시켜 제어를 향하였으며, 制御 프로그램은 C언어로 作成되었다.

4.5 실험결과

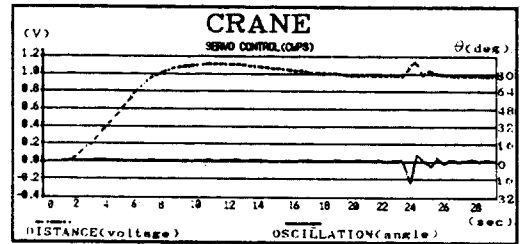
4.1절, 4.2절과 4.3절에서 보인, 서보계 구성법, 선형분수 변환법, 최적레규레이터 제어법의 피이드백 행렬을 이용해서 Fig. 1에 보인 크레인계의 실제적인 실험을 행한 결과는 각각 Fig 4, Fig 5, Fig 6과 같다.



a) mass 78g

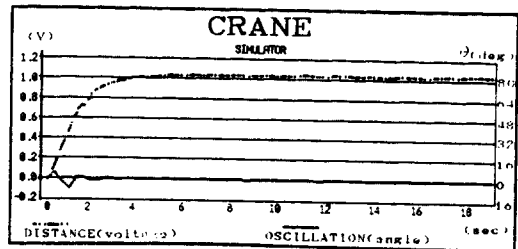
b) mass 598g

c) mass 78g with disturbance

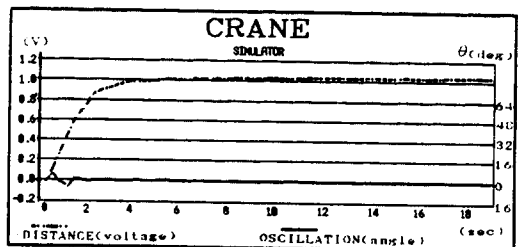


d) mass 598g with disturbance

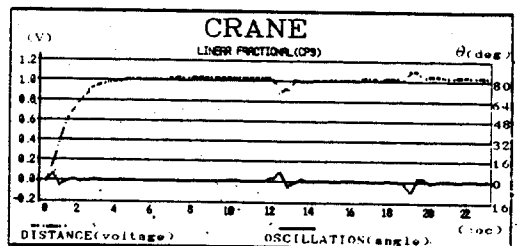
Fig.4 Experimental results of servo control system using linear fractional transformation method (disk: $\alpha=-30, r=29.8$)



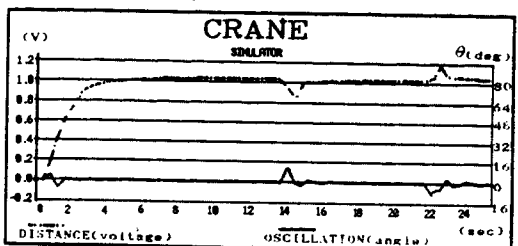
a) mass 78g



b) mass 598g



c) mass 78g with disturbance



d) mass 598g with disturbance

Fig.5 Experimental results of regulator using linear fractional transformation method (disk: $\alpha=-80, r=79$)

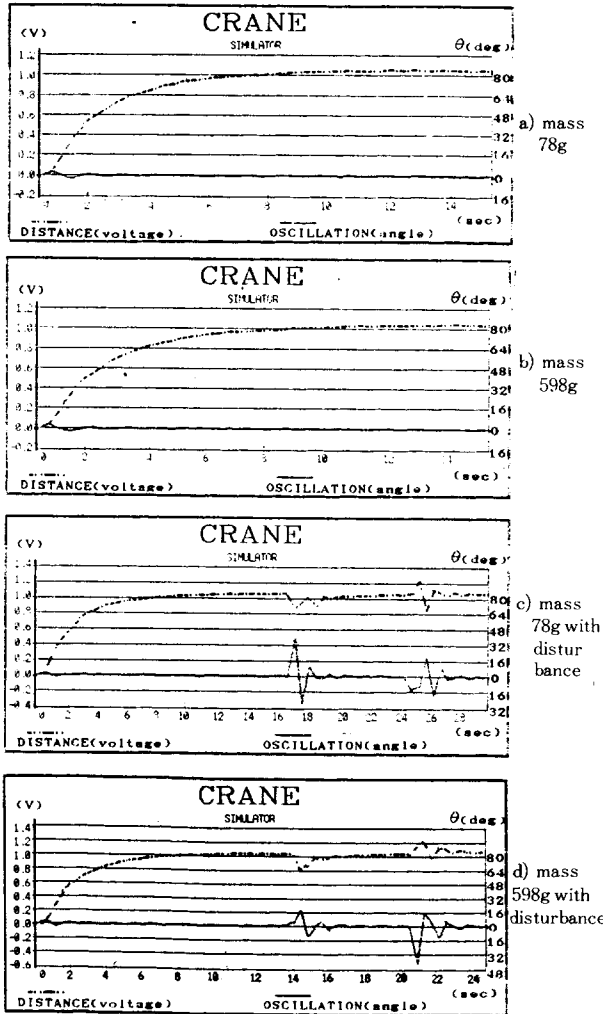


Fig. 6 Experimental results of optimal design regulator

서보계구성법과 선형분수변환법 및 최적레귤레이터법 등 3가지 방법의 실험결과인 Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6에 의하면 台車가 출발하여 目標値에 도달할 때까지 일어나는 진자의 振動은 서보계구성법의 경우는 진자의 진동이 거의 발생하지 않고 있으며, 선형분수변환법의 경우는 발생초기인 1~2초 사이에 5도~6도 정도의 진동이 발생하고 있고, 최적레귤레이터법의 경우가 출발초기인 1~2초 사이에 3도 정도의 진동이 발생하고 있다. 또 台車가 出發하여 2초 이후부터 목표 도달치에 도달할때까지는 진자의 진동

이 없이 목표치에 도달하고 있음을 알 수가 있다.

Settling time은 서보계구성법의 경우가 18Sec, 선형분수변환법의 경우가 6Sec, 최적레귤레이터 설계법의 경우는 10Sec로서 선형분수변환법의 경우가 3가지 방법중에서 가장 빨리 목표치에 도달함을 알 수 있다. 그리고, 서보계구성법의 경우가 선형분수변환법이나 최적레귤레이터설계법의 경우에 비해 출발 초기에 진자의 진동이 거의 발생하지 않고, 이동중에도 진자의 진동이 없이 안정된 상태로 목표치에 도달 하지만, Overshoot가 발생하여 목표치에 도달할 때까지 소요되는 시간이 두가지 방법보다 지연되는 특성을 보여주고 있다. 이와 같은 결과는 시스템의 모델 방식을 세울때 적분기가 하나 포함된 형태(1형서보계)로서 속도가 자유롭게 제어될 수 있음에도 불구하고 서보계구성으로 인하여 또 하나의 적분기 추가된 형태로 되어 2형서보계가 되고 말았으므로, 그 형태에 대한 특성의 결과로서 이러한 응답을 보여주고 있음을 알 수 있다. 또 서보계구성법과 선형분수변환법 및 최적레귤레이터제어법 등의 3가지 방법에 진자의 질량증가와 임의로 가해진 외란이 시스템에 미치는 영향을 살펴보기 위해서, 진자의 질량이 78g일때와 이보다 7.55배 증가한 598g일때의 실험결과인 Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6을 비교해 보면, 진자의 질량이 78g일와 7.55배 증가한 598g일때의 응답결과는 큰 차이가 없음을 알 수가 있다. 대車가 목표치에 도달한 후 손으로 진자에 가해진 임의의 외란에 의해서 발생한 진자의 진동에 대한 台車의 응답속도를 살펴 보면, 서보계구성법의 경우에는 진자의 질량이 78g일 때 16도와 33도의 외란을 가하면, 3초내에 완전히 진자의 진동이 억제되면서 台車가 목표치에 추종하고 있으며, 7.55배 증가한 598g일때 가한 18도의 외란에 대해서도 역시 3초내에 진동억제와 함께 목표치에 추종하고 있고, 선형분수변환법의 경우가 진자의 질량이 78g일 때 진자에 가해진 8도의 진동에 대해서 2초내에 진자의 진동을 억제시키면서 台車가 목표치에 추종하고 있고, 7.55배 증가한 598g일 때 가해진 12도의 외란에 대해서도 역시 台車가 2초내에 진자의 진동을 억제하면서 목표치에 도달하고 있으며, 최대

레귤레이터법의 경우는 진자의 질량이 78g일 때 각도 40도의 외란을 가하면 4초만에 완전히 진자의 진동이 억제되면서 台車が 목표치에 추종하고 있으며, 7.55배 증가한 598g일때 가한 18도와 40도의 외란에 대해서도 4초만에 진동억제와 함께 목표치에 추종하고 있다는 것을 알 수 있다.

따라서 3가지 방법 모두 임의로 가해진 외란에 의해서 발생한 진자의 진동에 대해서 진자의 질량에는 관계없이 선형분수 변환법의 경우가 2초내에 진동을 억제시키고 있고 서보계구성법과 최적레귤레이터법의 경우가 3초와 4초내에 진자의 진동을 억제시키면서 목표치에 추종하고 있으므로, 진자의 질량증가는 외란에 의한 진자의 진동에 대한 응답속도에 영향을 미치지 않고 있음을 알 수 있다. 즉, 본 실험에서는 서보계구성법과 선형분수변환 및 최적레귤레이터제어법 등 3가지 방법 모두가 진자의 질량이 기준질량 보다 7.55배 증가해도 질량증가가 시스템의 제어제거의 영향을 미치지 않고 있으며, 台車が 목표치에 도달하여 안정된 후에 임의로 가해진 외란에 의해서 발생한 진자의 진동에 대해서도 진자의 질량에는 관계없이 진자의 진동을 감쇄시키고 동시에 台車는 항상 목표치를 추종하고 있다는 것을 알 수 있다.

결과적으로 크레인이 이동제어에는 서보보상기 구성법보다, 레귤레이터 구성법이 보다 유리함을 알 수 있다.

5. 結 論

본 研究에서 提案한 서보계구성법과 선형분수변환법에 의한 제어계의 설계는 페루우프계의 特性인 速應性, 振動特性, 安定度 등을 考慮할 경우 모두가 그 유효성이 크다고 할 수 있으며, 位置 移動時와 外亂에 의해서 진동 등이 발생하는 裝備 등에 폭 넓게 이용될 수가 있으므로, 각종 産業機器 및 軍事用 裝備 등의 壽命延長 및 運轉의 容易와 原價節減 등에 크게 寄與할 수 있을 것으로 기대된다.

그리고, 크레인 시뮬레이터설계에 본 방법을 적용하여 마이크로컴퓨터로서 실시간제어를 행한 결과 주

어진 목표치에 일정시간 후 정상편차 없이 추종하고 있고, 任意로 가해진 외란에 대해서도 로바스트(강인)함을 알 수가 있으므로 본 연구에서 제안된 제어계의 설계는 各種 産業分野에 크게 이바지 할 수 있을 것으로 思料된다.

參考文獻

1. KIm S. B. and Furuta K. : Regulator Design with Poles in a specified Region, INT, J. Control, Vol. 47, No. 1, pp. 143~160, 1988.
2. Furuta K. and Kim S. B. : Pole Assigment in a Specified Disk, IEEE Trans. Auto. Control, AC-32, No. 5, pp. 423~427, 1989.
3. Astrom K. J. and Wittenmark B. : Computer Controlled Systems, Theory and design, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, 1984.
4. Kuo B. C. : Digital Control Systems, Holt, Rineha and Winston, Inc, 1980.
5. Jonhson C. D. : Accommodation of Extenal Disturbances in Linear Regulartor and Servo-machanism Problem, IEEE Trans. Auto. Control, AC-16, No. 6, p. 635~644, 1971.
6. Wolovich W. A. and Ferreira P. : Output Regulation and Tracking in Linear Multivatiable Systems, IEEE Trans. Auto. Control, AC-24, No. 3, pp. 460~465, 1979.
7. Davison E. J. : The Output Control of Linear Time Invariant Multivariable Systems with Unmeasurable Disturbances, IEEE Trans. Auto. Control, AC-17, No. 5, pp. 620~629, 1972.
8. 安田ら : 最適ロバスト サーボの構成, 計測自動制御學會 論文集, 24-8, pp. 817~822, 1988.
- 0; 9. Gupta K. : Frequency-Shaped Cost

- unctionals : Extension of Linear Quadratic-Gaussian Design Methods, J. Guidance Control, 3-6, pp. 529~535, 1980.
10. 古田ら：メカニカル システム 制御；
オーム社，1984
11. Kwakernaak H. and Sivan R. : Linear Potimal Control Systems, Wiley Interscience, 1972.
12. Ackermann J. : Parameter Space Design of Robust Control Systems, IEEE Trans, Auto, Control, AC-25, No. 6, pp. 1058~1072, 1980.
13. 丸子：パルス モータを用いた クレーンの 振ね止め 制御, 長剛技術科學大學 卒業論文, 1979.
14. 美多, 金井：トロリーの 最大速度に 注目した クレーンの最適運轉法, 計測自動制御學會論文集, 1-6, pp. 833~838, 1979.

'91 日·韓 FA 技術交流 심포지움 및 관련회사 산업시찰 참관안내

- 장 소 : 1. 동경, 선루트 호텔
2. 일·한 FA 합동심포지움 참가 및 산업시찰 예정
동경근교 : 日本 IBM (株) } 산업시찰
 : 日立製作所 (株)
나고야근교 : 日本電裝 (株) }
- 일 시 : 1991년 11월 26일~29일 (3박 4일)
 11월 26일 : 서울출발
 11월 29일 : 서울도착
- 참가비 : 회 원 : ₩950,000
 비회원 : ₩990,000
 (항공료, 숙식비, 산업시찰비 포함)