人間-機械시스템의 評價모델(I)

(A Model for Man—Machine System Evaluation(I))

李 相 道*· 河 正 鎭*
鄭 重 喜*· 李 東 春**

〈Abstract〉

The main issue of this paper is to quantify the compatability between man and machine in a system.

This paper offers an evaluational model derived from transfer function of control system, and shows a methology of applying efficiency for man and machine to the model to quantify the compatability of a system.

1. 序 論

人間-機械시스템(以下 시스템이라고 稱함)의 設計에 있어서는 人間의 內外的 特性-software적 機能面과 人体의 構造的인 面-을 充分히 考慮하여야 한다.

특히 機械,器具,治具, 지그등의 設計에는 人間中心의 設計가 되어야 함은 두 말 할 나위가 없다. 이러한 人間工學的 基礎위에서 設計된 시스템이라 하여도 人間의 多變性을 完璧하게 受容할 수는 없다. 왜냐하면 人間의 多變性 내지는 複雜性 그 自体가 完璧하게 밝혀지지도 않았지만, 設計를 할 때에는 그 實用性과 經濟性도 考慮되어야 하기 때문이다.

따라서 設計된 시스템이 과연 얼마나 人間의 特性을 잘 受容하고 있으며, 人間과 機械가 서로 調和되어 있느냐 하는 評價는 人間과 機械 그 自体로 부터 시스템 全体를 評價해 보는 演繹的인 方法도 있겠지만, 시스템 全体의 運用結果로 부터 얻어지는 情報를 分析함으로써, 그들의 調和狀態를 類推해보는 歸納的인 方法도 있을 수 있다.

本 硏究에서는 后者의 한 方法으로서 시스템의 入出力關係를 把握할 수 있는 傳達函數를 利用한 評價方法을 提示하고자 한다.

2. 制御시스템과 傳達函数

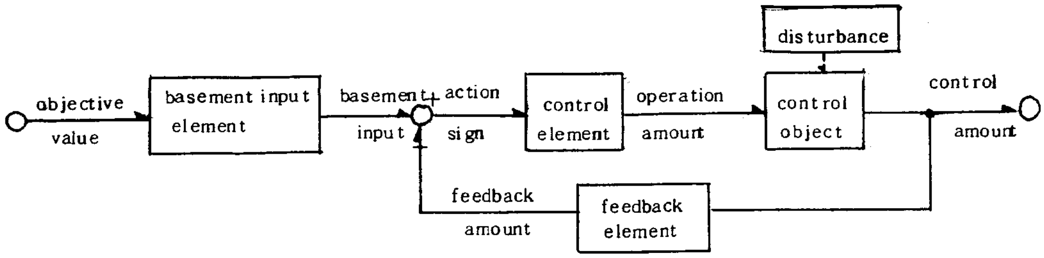
人間과 機械는 여러가지 形態의 結合을 이루며 하나의 制御시스템(control system)을 이룬다. 典型的인 制御시스템에서의 入出力關係를 블록線圖(block diagram)로 나타내면 〈그림 1〉과 같다. 이러한 制御시스템은 制御回路의 構成이 어떻게 되어 있느냐에 따라 〈그림 2〉의 例와 같이 無補償制御시스템(uncompensated system), 支緩制御 시스템(quickened control system)으로 나눌 수 있다.[1)2)]

無補償制御시스템은 〈그림 2 a〉와 같이 시스템內部에서 아무런 補償回路가 없는 시스템을 말한다. b는 支緩制御시스템으로서, 機械部分의 各 要素에서 平行回路로 支緩해 주는 feedforward 시스템을 말하며, c는 促進制御 시스템으로서, 各 要素에서 饋還補償(feedback compensation)해 주는 시스템을 말한다. 그러나 一般 制御系에서는 b와 c의 混合型을 많이 볼 수 있다.

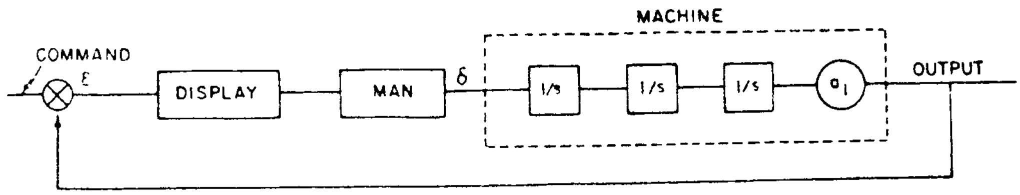
이러한 廢루프 制御시스템의 퍼포먼스(performance)를 나타나는 데에는 傳達函數를 使用할 수 있다.[3) 4)]

傳達函數란 시스템의 入出力間의 關係 또는 그 制御要素의 信號傳達特性을 말한다. 다시 말해서 制御

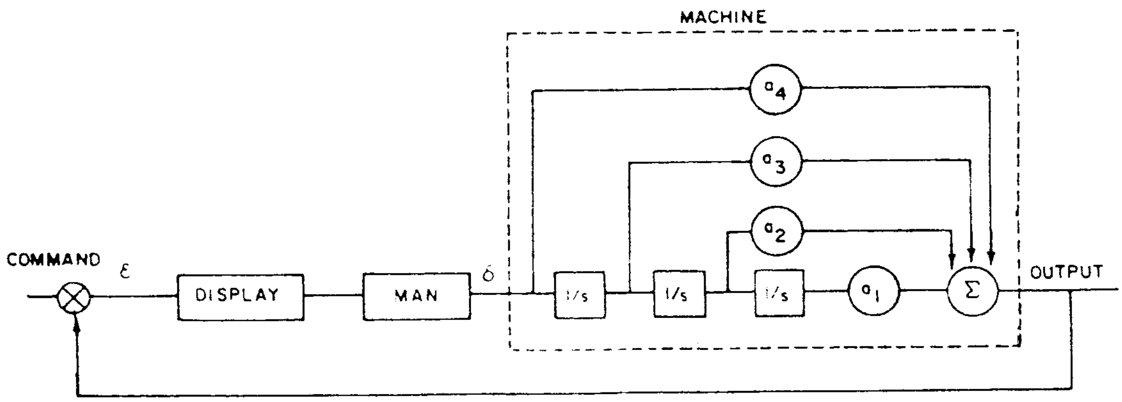
* 東亞大學校 工科大學 工業經營學科
** 慶北工業專門大學 工業經營科



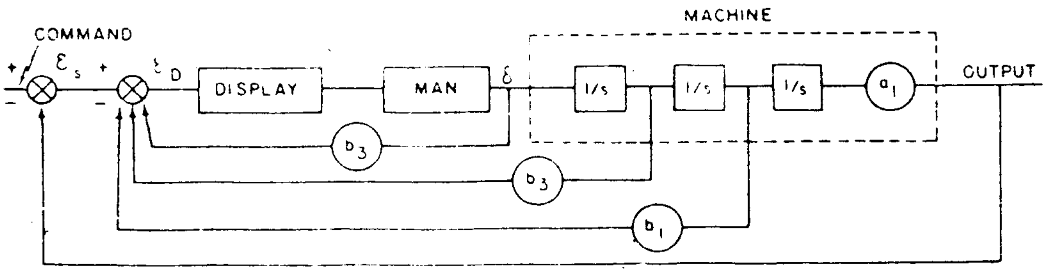
〈그림 1〉 A Block Diagram of Control System



(a). Uncompensated system



(b). Aided control system



(c). Quickened control system

〈그림 2〉 Types of Control System(Adapted from Van Cott H.P. and R.G.Kinkade, p.250)

系 또는 要素의 入力信號와 出力信號와의 關係를 傳達函數라고 하며, "線型 시스템에서 모든 初期値를 0으로 했을 때, 出力信號의 Laplace 變換과 入力信號의 Laplace 變換과의 比"로서 定義되며 [5] 信號의 크기(amplitude)와 位相(phase)의 함수가 된다.

3. 人間—機械시스템의 傳達函数

3·1 인간의 전달함수

制御作業者로서의 人間과 그 行動樣態는 複雜多樣하여 하나의 單純모델로 나타내는 것은 不可能에 가깝다. 人間의 行動樣態는 線型要素 뿐만 아니라 非線型, 動的變化, 確率的 變化를 가지며, 實際로는 그들의 複合型일 때가 많다. 이러한 人間은 經驗에 의하여 學習하는 高度의 適應性(adaptability)를 가진 制御器라고 볼 수 있으며, 그의 퍼포먼스는 動機賦與(motivation), 疲勞(fatigue) 또는 經驗的인 情報等에 의하여도 影響을 받는다. 그 外에도 操作者의 反應에 非線型的으로 기여하는 要素로서는 閾値(threshold), 飽和(saturation), 射程効果(range effect), 豫見(precognition), 母數의 變化 및 最適化等을 들 수 있다. [6]

그럼에도 불구하고, 시스템 내에서의 人間의 傳達函數에 대하여는 많은 硏究가 되어 왔으며, 代表的으로 다음과 같은 例를 들 수 있다. [7]

3·1·1 Phillips 모델

phillips는 階段函數(step function)의 應答에 基準을 두고 다음과 같은 人間의 傳達函數를 提示하였다.

$$Hm(S) = K\frac{(1+T_A \cdot S)}{S} \cdot e^{-DS} \cdots\cdots\cdots (1)$$
$$\fallingdotseq \frac{K}{S} \cdot e^{-DS} \quad (T_A \to 0)$$

여기서, D ; operator의 傳達遲延

T_A ; 豫期時定數

3·1·2 Tustin 모델

$$Hm(S) = \frac{K(1+T_A \cdot S)}{S} \cdot e^{-DS} \cdots\cdots (2)$$

Tustin의 모델은, Phillips의 모델과 比較해 볼 때 나타내는 모양과 T_A가 極小라는 假定만 빠졌을 뿐 相互 同一하다.

3·1·3 Ragazzini 모델

$$Hm = K_1(K_2 + K_3 S + \frac{K_4}{S}) \cdot e^{-DS} \cdots\cdots (3)$$

단 K_1, K_2, K_3, K_4 : operator의 tracking 定數

Ragazzini 모델은 operator의 應答을 完全히 非線型으로서, 人間의 傳達函數는 時間에 따라 變하며, 또 랜덤한 特性을 지니고 있다는 것을 前提로 하고 있다.

3·1·4 Hyndman & Beach 모델

$$Hm(S) = \frac{K}{S^2 + 2\xi w_n S + w_n^2} \cdot e^{-DS} \cdots\cdots (4)$$

式(4)에서의 分母는 2次遲延系를 뜻한다.

3·1·5 McRuer & Krendel 모델

$$Hm(S) = K \cdot \frac{(1+T_A S)}{(1+T_L S)+(1+T_N S)} \cdot e^{-DS} (5)$$

여기서 K : 利得

T : operator의 豫期時定數

T : 適應時定數(誤差平滑化 遲延時定數)

T : 神經筋肉系 遲延時定數

McRuer & Krendel 모델은 補償回路를 使用한 閉루프 追跡制御에 대하여 有効한 모델로 評價받고 있으며, 각 패라메타의 값은 대략 다음과 같은 것으로 알려져 있다.

$D = 0.2$ 초 ± 20 %

$T_A = 0.0 \sim 2.5$ 초

$T_L = 0.0 \sim 20$ 초

$T_N = 0.1$ 초 ± 20 %

$K = 1 \sim 100$

3·1·6 藤井澄二·井口雅一모델 [8]

$$Hm(S) = h\left[\left\{\cdots + (\tau_{D2})^2 S^2 + (\tau_{D2}) S\right\} + 1 + \left\{\frac{1}{\tau_{I2} S} + \frac{1}{(\tau_{I2})^2 S^2} + \cdots\right\}\right] \cdots (6)$$

여기서 h : 利得

L : 傳達遲延

1 : 比例動作(P動作)

左側 { } : 各階의 微分動作(D動作)

右側 { } : 積分動作(I動作)

式(6)은 人間의 制御動作을 比例動作, 微分動作, 積分動作으로 나누어 表現하는 一種의 記述函數(descriptive function)이다. 現實的으로 보아 人間의 制御動作은 一階微積分動作으로 表現할 수 있기 때

문에 式(6)은 다음과 같이 簡略히 나타낼 수 있다.

$$Hm(S) = h\left(\tau_D S + 1 + \frac{1}{\tau_I S}\right) \cdot e^{-LS} \cdots (7)$$

以上과 같이 人間의 傳達函數에 관하여 알아 보았지만, 制御工學的 表現에 의한 論理式들이 人間을 完全하게 代表할 수 있는 모델은 못된다. 그러나 人間의 傳達函數는 人間-機械 시스템에서의 人間의 制御特性을 理解하고 그 퍼포먼스의 限界를 理解할 수 있다는 點에서 계속 硏究의 必要가 있다고 할 수 있다.[9]

3 · 2. 機械의 傳達函數

시스템에서의 機械란 시스템을 構成하는 하드웨어(hardware) 全体를 일컫는다. 시스템 내에서의 機械部分의 構成이 〈그림 2〉와 같이 되어 있다면 各各의 傳達函數는 다음과 같이 하여 求할 수 있다.

3·2·1 無補償制御 시스템

$$Hc(S) = \frac{\text{output}}{\text{input}} = a_1 \times \frac{1}{S} \times \frac{1}{S} \times \frac{1}{S} = \frac{a_1}{S^3} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

3·2·2 支緩制御 시스템

人力(ξ)에 대한 出力은

$$\text{output} = \delta a_4 + \delta \cdot \frac{1}{S} \cdot a_3 + \delta \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{1}{S} a_2 + \delta \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{1}{S} \cdot a_1 = \delta\left(a_4 + \frac{a_3}{S} + \frac{a_2}{S^2} + \frac{a_1}{S^3}\right)$$

이 되어 傳達函數는

$$Hc(S) = \frac{\text{output}}{\text{input}} = \frac{1}{\delta} \cdot \delta \cdot \left(a_4 + \frac{a_3}{S} + \frac{a_2}{S^2} + \frac{a_1}{S^3}\right) = \frac{1}{S^3}\left(S^3 a_4 + S^2 a_3 + S a_2 + a_1\right) \cdots\cdots (9)$$

가 된다.

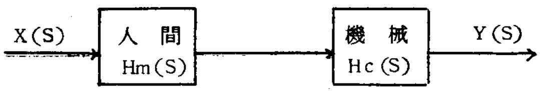
3·2·3 促進制御 시스템

〈그림 2 c〉처럼 多重 feedback 되므로 順次的 等價브록線圖(sequential equivalent block diagram)를 그려가면서 求한다거나 Baysian Gain Formular에 의하여 計算하면 된다. 求해진 傳達函數는 다음과 같다.

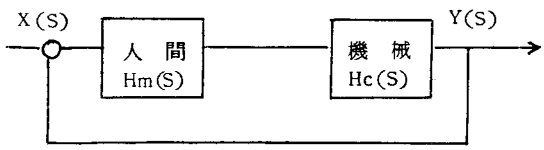
$$Hc(S) = \frac{\frac{1}{S} \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{1}{S} \cdot a_1}{1 + \left(\frac{1}{S} \cdot b_2 + \frac{1}{S} \cdot \frac{1}{S} \cdot b_1\right)} = \frac{a_1}{S^3 + S^2 b_2 + S b_1} \cdots\cdots (10)$$

3 · 3. 시스템의 傳達函数

어떠한 시스템이든지 간에 人間-機械 시스템은 人間이라는 要素와 機械라는 要素로 槪括하면 다음 〈그림 3〉과 같은 간단한 等價開 루프 또는 閉루프로 된다.



(a) Open Loop System



(b) Closed Loop System

〈그림 3〉 Equivalent Block Diagram of Man-Machine System

따라서 〈그림 3 a〉와 같은 開루프시스템에서의 全体의 傳達函數는

$$Hs(S) = Hm(S) \cdot Hc(S) \cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

가 되고, (b)와 같은 경우에는

$$Hs(S) = \frac{Hm(S) \cdot Hc(S)}{1 + Hm(S) \cdot Hc(S)} \cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

에 의하여 全体 시스템의 傳達函數를 구할 수 있다. 式(11)과 (12)에서의 Hm(S)와 Hc(S)는 各各 3.1과 3.2에서 選擇하거나 그에 準해서 計算하여 代入하면 된다.

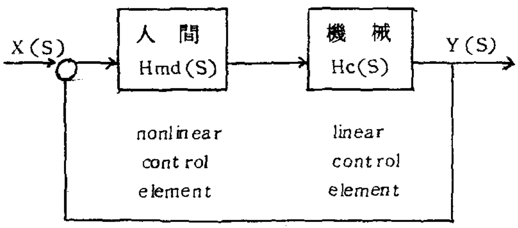
4. 시스템의 評價모델

前述한 바와 같이 傳達函數는 出力信號에 대한 入力信號의 Laplace 變換比이며, 信號의 크기와 位相

에 대한 函數이다.

또한 3.1에서 소개한 人間의 傳達函數는 人間의 行動樣態中 線型要素만을 취한 不完全한모델이거나 記述函數에 不過하므로 人間을 完璧하게 代表할 수는 없다.

따라서 人間의 制御特性을 가장 잘 代表하는 假想의 傳達函數를 Hmd(S)라고 하고, 대개의 制御시스템이 閉루프인 것을 想起한다면 시스템은 다음<그림 4>와 같이 代表시킬 수 있다.



<그림 4> Represensative Simple Control System having Linear and Nonlinear Control Element.(Adapted from Chestnut, p.267)

<그림 4>와 같은 경우의 全体 시스템의 傳達函數는

$$Hs(S) = \frac{Y(S)}{X(S)} = \frac{Hmd(S) \cdot Hc(S)}{1 + Hmd(S) \cdot Hc(S)} \quad \cdots\cdots\cdots (13)$$

로 나타낼 수 있다.

式(12)와 (13)을 比較하면 똑같은 形態를 취하나 式(12)에 의한 方法은 시스템을 代表하기에는 不完全함을 말해 준다. 따라서 理論的으로는 式(13)에 의한 評價가 이루어져야 함을 알 수 있다.

5. 考 察

5·1. 能率및 效率의 利用

式(13)에서의 Hmd(S)는 假想的인 表記函數(descriptive function)로서 完全 規明되지 못한다. 따라서 本 硏究에서는 傳達函數의 代用으로 人間의 能率과 機械의 效率을 代替使用하는 可能性에 대하여 알아보고자 한다.

傳達函數가 크기(A)와 位相(P)의 函數이므로

$$H(S) = f(A, P(t)) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

로 쓸 수 있다. 또한 人間의 能率과 機械의 效率도 量(Q)과 時間(t)의 函數로 볼 수 있기 때문이다.

$$E = f(Q, t) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (15)$$

로 쓸 수 있다. 式(14)와 (15)에서의 A와 θ는 同質의 槪念이 되며, P는 時間(t)의 函數이므로 式(14)와 (15)는 同一視할 수 있다.

따라서 式(13)에 있어서 人間의 完全한 傳達函數는 求하기가 어렵고 不可能에 가까우므로 그러한 非線型傳達函數 대신에 人間의 能率과 機械의 效率을 代替시켜 시스템을 評價하는 方法도 可能하다고 본다. 우리가 흔히 使用하는 能率이나 效率은 單純한 百分率로 나타내지만, 그러한 퍼포먼스의 結果가 導出될 때까지는 시스템 內部에서는 많은 線型, 非線型, 動的, 確率的 過程을 거쳐 나온 하나의 總括된 量으로 볼 수 있는 것이다.

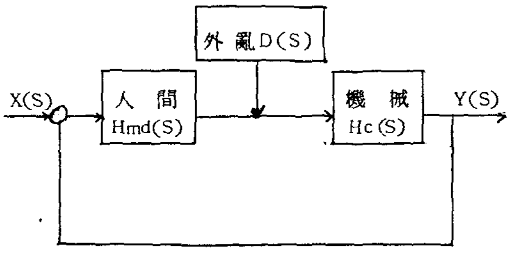
따라서 어떤 面에서 보면 能率이나 效率과 같은 結果的인 出力을 利用하여 시스템의 內部를 評價하는 것이 오히려 正確性을 기할 수 있으리라는 豫測도 할 수 있다.

能率이나 效率等은 外部環境에 의하여 影響을 받는다. 따라서 人間의 能率은 Lowry 係數를 0으로 둔 狀態, 機械는 標準使用 狀態에서 測定한 값을 基準으로 하면 되리라고 생각된다.

例를 들어 시스템 A의 能率과 效率이 各各 0.7, 0.9, 시스템 B가 0.8, 0.8이라고 한다면 式(13)에 따라 A 시스템은 0.3865, B시스템은 0.3902가 얻어진다. 式(13)의 極限값은 1/2 이므로 A시스템은 77.3%, B시스템은 78.04%의 整合性을 보이고 있다고 評價할 수 있다.

5·2. 外亂의 考慮

그러나 實際的인 面에서는 人間이나 機械는 外亂(disturbance)的 要素에 많은 影響을 받게된다.



<그림 5> Simple Control System having Disturbance

<그림 5>에서는 外亂은 機械要素만 받는 것처럼

되어있으나, 사실은 機械뿐만 아니라 人間도 그 影響을 크게 받는다. 人間과 機械에 미치는 外亂을 各各 Dm(S), Dc(S)라 두면 시스템의 出力 Y(S)는

$$Y(S) = \frac{Hmd(S) \cdot Hc(S)}{1+Hmd(S) \cdot Hc(S)} \cdot X(S) + \frac{Hm(S)}{1+Hmd(S) \cdot Hc(S)} \cdot Dm(S) + \frac{Hc(S)}{1+Hmd(S) \cdot Hc(S)} \cdot D_c(S) \cdots\cdots (16)$$

가 된다. $Hmd(S) \cdot Hc(S) = \eta$ 라 두어 간단히 하면

$$Y(S) = \frac{1}{1+Hmd(S) \cdot Hc(S)} \left\{ Hmd(S) \cdot X(S) + Hmd(S) \cdot Dm(S) + Hc(S) \cdot Dc(S) \right\}$$

$$= \frac{\eta}{1+\eta} \left\{ X(S) + \frac{Dc(S)}{Hmd(S)} + \frac{Dm(S)}{Hc(S)} \right\} \cdots\cdots (17)$$

와 같이 쓸 수 있다.

式(17)에서의 出力 Y(S)는 外亂에 의하여 增減된다는 것을 알 수 있다. 이러한 外亂은 시스템의 狀態에 나쁜 影響을 미치는 要素와 좋은 影響을 미치는 要素로 나누어 볼 수 있다. 오퍼레이타의 心理的配慮에 의한 動機賦與, 作業環境 및 條件의 改善, 教育訓練의 强化等은 人間에 미치는 外亂의 改善이라고 볼 수 있으며, 物理·化學的 使用條件의 最適化, 保全業務의 强化, 使用方法에 대한 教育訓練等은 機械의 外亂을 改善하려는 것으로 볼 수 있다. 이러한 概念은 시스템의 生產性을 向上시키려는 方法論[10]과도 相通한다.

6. 結 論

人間과 機械가 시스템 內에서 相互 얼마나 調和되고 있느냐 하는 評價를 計量的으로 나타내 보이기 위하여 傳達函數와 그것을 利用한 하나의 方法論을 提示하여 보았다. 理論的으로는 式(11)이나 (12)에 의하여 評價되어야 하나, 人間의 傳達函數가 完全解明되지 못한다는 점에서 記述函數的 表現으로서 式(13)을 提示하였으며, 傳達函數 代身에 그와 同質의 槪念인 能率과 効率을 利用하여 評價해보는 方法을 취하였다.

특히 考察에서 外亂的 要素를 考慮해 봤을 때, 그것이 곧 生產性向上의 問題와 根源을 같이함을 알수 있어 式(13)과 能率이나 効率의 利用方法이 可能함을 볼 수 있었다.

시스템 內에서의 人間과 機械間의 整合性評價를 시스템 運用結果로 부터 얻어지는 情報에 의하는 歸納的인 方法은 어떤 情報를 利用하느냐에 따라 여러가지 方法이 있을 수 있다. 시스템의 運用過程에서 빚어지는 여러가지의 誤謬(error)도 人間과 機械間의 不整合에서 오는 情報疎通(communication)의 不充分에서 비롯된다고 볼 수 있어 그것을 利用한 評價方法도 可能하다고 본다. 次期에 이에 대하여 계속 硏究하고자 한다.

〈參考文獻〉

1. 朴景洙, "人間工學", 英志文化社, 1982, pp.225~227
2. Van Cott H.P. & R.G.Kinkade, "Human Engineering Guide to Equipment Design", American Institute for Research, Washington D.C., 1972, p.250
3. Chustnut H., "Systems Engineering Tools", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1965, p.209
4. システム・エンジニアリング研究グループ譯, "システム・エシジニアリンワ", 產業能率短期大學出版部, 1972, pp.207~209.
5. Benjamin C.Kuo, "Automatic Control System", 4th Ed., Prentice-Hall, Inc., 1975, p.73
6. 朴景洙, 前揭書, p.223
7. システム・エンジニアリング研究グリープ, 前揭書, p.221
8. 李根熙, "人間工學", 創知社, 1981, p.166
9. 朴景洙, 前揭書, p.224
10. 李相道, "生產性 向上을 위한 勞動科學的 硏究" 釜山 水產大學大學院博士學位請求論文, 1983