

計數 追跡作業時 表示裝置가 遂行度에 미치는 影響에 관한 研究

(A Study on the Effect of Displays for
the Performance in Digital Tracking Task)

李 舜 堯[†] 朴 世 鎮^{††}

Abstract

An experimental study was made to compare digital display with analogue-digital display during a digital pursuit tracking task under the preview information.

The effect of preview on performance during the tracking task was analyzed for the different preview spans and the different characteristics of the information input. The data from ten subjects revealed that the RMS error performance was improved substantially in the case of one preview point than in that of no preview.

It was obtained from the result of the experiments that the improvement ratio of analogue digital to digital display increased to 48%.

I. 序 論

追跡作業(tracking task)이란 주어진 조건에
에서 被制御要素(controlled element)에 대한 反
應을 조절하는 과정을 말한다[1].

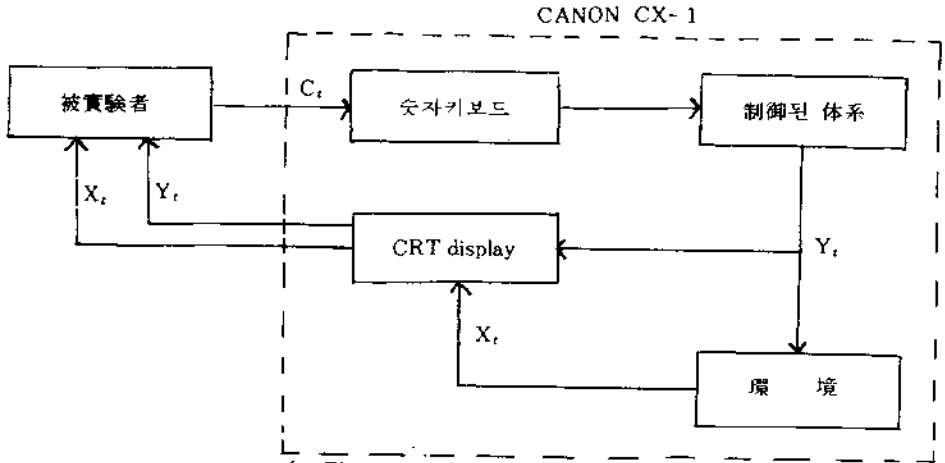
그 追跡作業은 入力되는 情報에 따라 予測
(predictive), 予覺(precognitive), 予見(previ-
ew)體系로 분류될 수 있는데[2], 대부분의 實
生活 속에서 人間の 追跡制御作業에 대한 전형적
인 특징은 "予見될 수 있는 어떤 형태의 情報가
필요한 制御行動 이전에 制御者에게 이용 가
능하다"는 것이다[3]. 즉, 어떤 일의 時点 t
에서 制御者는 미래 시간 간격(t, t+p) 동안
에 入力情報(Xt)나 시스템의 反應(Yt)에 대한
관찰하거나 혹은 부분적인 情報를 가질 수 있
다. 이 予見되는 간격(p:preview span)은 連
續的(continuous) 혹은 離散的(discrete)일 수 있

으며, 無限이거나, 有限, 그리고 固定되거나 變
화할 수 있다.

人間の 追跡 制御 行動에 관한 遂行度(perfor-
mance)에 대해 予見될 수 있는 情報가 어떠한
영향을 미치는 가에 대한 研究들이 많이 報告되
어 있다[4, 5, 6, 7]. 그리고, 시스템의 反應
과 入力情報를 예측하는 기술에 의해 제공되는
予見情報를 다루거나, 그런 예측을 수행하는 人
間에 대한 能力을 分析한 研究結果들이 발표되
어 있다[8, 9, 10, 11].

이들 研究들의 일반적인 結論은 시스템 出力
의 예측 뿐만 아니라 入力되어지는 情報의 予見
은 制御者의 制御遂行度를 改善시켜 준다는 것
이었다. 報告된 研究들의 대부분이 定性的 表示
裝置인 아날로그 表示裝置를 사용하였으며, 連

[†] 高麗大學校 産業工學科
^{††} 高麗大學校 大學院



(그림 II - 1) 實驗의 体系圖

續的인 感覺-運動反應을 포함하는 時間에 대해 連續的인 制御作業에 基礎를 두었다.

時間에 대해 離散的인 追跡 制御作業은 朱 東元 등의 研究에서 다루어졌으며 [12], 追跡 制御作業이 時間에 대해 離散的이며 制御行動이 計數 制御(digital control)인 Kvalseth의 研究는 追從 追跡作業(pursuit tracking task)과 補整追跡作業(compensatory tracking task)사이의 遂行度 比較에 추가적인 자료를 제공하였다 [2].

報告된 研究들의 대부분이 時間에 대해 連續的인 追跡 制御作業을 다루었는데 반해, 離散的인 追跡制御作業은 그에 상응하는 研究가 활발하게 進行되지 않았다 [3, 13].

그리고, 表示裝置의 경우에 있어 대부분의 研究들이 定量的 表示裝置인 디지털 表示裝置나 定性的 表示裝置인 아날로그 表示裝置만을 사용하였다. 그러나 入力情報를 感知하는 制御者의 感覺次元에서 볼 때 多次元의 視覺의 情報가 單一元의 視覺의 情報보다 더 유용하다. 즉, 多次元의 刺戟이 주어질 때 制御者의 徑路容量(channel capacity)이 單一次元의 刺戟보다 더 커진다는 것이 많이 報告되어 있다 [1, 14, 15, 16, 17]. 또한 定量的 表示裝置에 變化傾向이나 方向 등의 定性的 表示를 가하면 단독의 定量的 表示裝置나 定性的 表示裝置보다 判讀時間이 훨씬 좋다는 研究들이 報告되어 있다 [18, 19, 20].

따라서, 本 研究에서는 表示와 定量的 表示가 結合된 아날로그-디지털 表示裝置를 사용하여 予見될 수 있는 情報가 離散的인 計數 追從追跡

制御作業時에 遂行度 改善에 어떤 효과를 미치는지를 實驗을 통해 조사하고, 디지털 表示裝置만을 사용하였을 경우와의 遂行度 比較를 행하여 人間-機械 시스템의 設計時 表示 裝置의 선정에 하나의 基準을 마련함을 目的으로 한다.

II. 實驗設計 및 方法

人間-機械 시스템에서 人間과 機械사이의 干涉作用(interface)을 하는 器具로 Canon CX-1 컴퓨터를 사용하였으며 [21], 이를 사용한 本 實驗의 体系圖는 그림 II-1 과 같다.

컴퓨터를 통해 被實驗者에게 入力情報를 제시해 주기 위해 다음 식을 사용하였다 [22, 23].

$$X_t = \sum_{i=1}^3 A_i \cos(tW_i + V_i) + U_t \dots \dots \dots (1)$$

- A_i = 自己聯關計數(Autocorrelated coefficient)로 일정한 常數
- W_i = 일정한 常數
- V_i = 矩形分布를 하는 確率變數(0, 2π)
- U_t = 平均이 0인 正常雜音(Normal noise), σ_u^2 은 常數
- t = 回數

그리고, 被實驗者가 制御한 行動(C_t)에 따라 나타나는 制御된 시스템의 出力은 다음의 制御 函數

$$Y_t = \lambda_1 Y_{t-1} + \lambda_2 C_t \dots \dots \dots (2)$$

λ_1, λ_2 = 常數

에 의해 制御된다 [3, 22].

實驗設計를 위해 予見되는 간격, 自己 聯關計

數, 正常雜音의 分散, 그리고 被實驗者의 네가지 要因을 선정하였으며, 予見되는 間격은 0, 1, 2, 3, 自己聯關計數는 0.0과 0.9, 正常雜音의 分散은 10, 100 그리고 被實驗者는 10名으로 하여 각각을 要因들의 수준으로 하였다.

디지털 表示裝置의 경우 ①식과 ②식에 의해 X_t 와 Y_t 의 값이 나타나게 된다. 制御行動(C_t)이 숫자 키보드를 통해 취해지게 되면, 현재의 X_t 와 Y_t 의 값과 예상되는 情報 X_{t+1}, X_{t+2}, \dots 들이 나타난다. 가능한 한 많은 예상정보를 被實驗者들에게 제공하였으며, 制御行動의 Postview를 없애기 위해 5초내에 反應하도록 하였다. 時限이 초과하게 되면 먼저 反應한 C_{t-1} 값이 C_t 값이 되도록 하였으며 被實驗者들은 $X_t - Y_t$ 의 誤差를 최소화하도록 지시받게 된다.

아나로그 디지털 表示裝置의 경우에는 X_t 와 Y_t 의 값이 표시되기 바로 전에 表示裝置 뒷부분에 좌표축과 함께 스케일링된 X_t 및 Y_t , 予見되는 情報들이 아나로그로 표시되며, 가타는 디지털 表示裝置의 경우와 같다.

III. 實驗結果

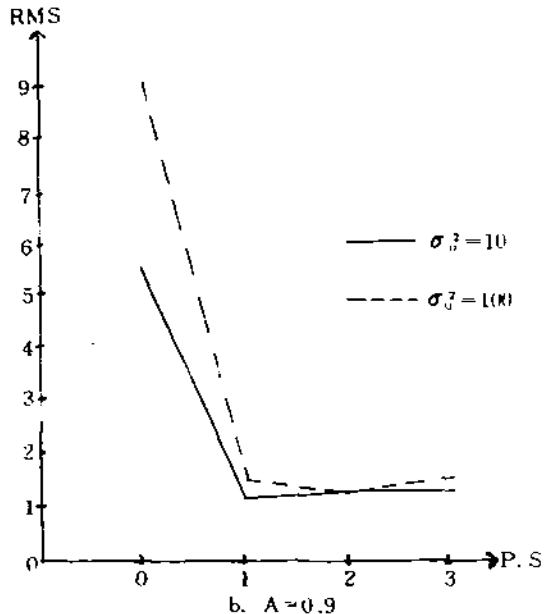
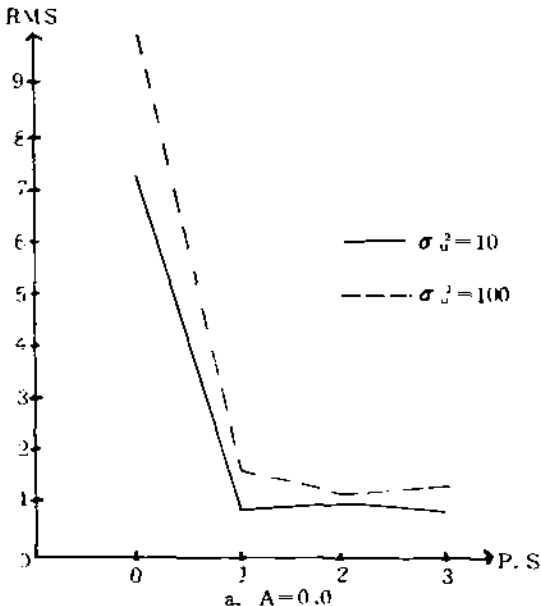
人間-機械 시스템에서의 遂行度를 평가하기 위해 RMS(Root mean squared) 誤差를 사용하

였다[24].

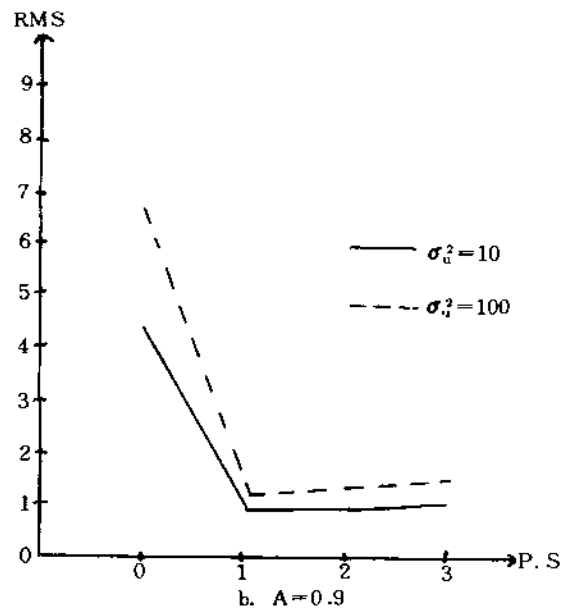
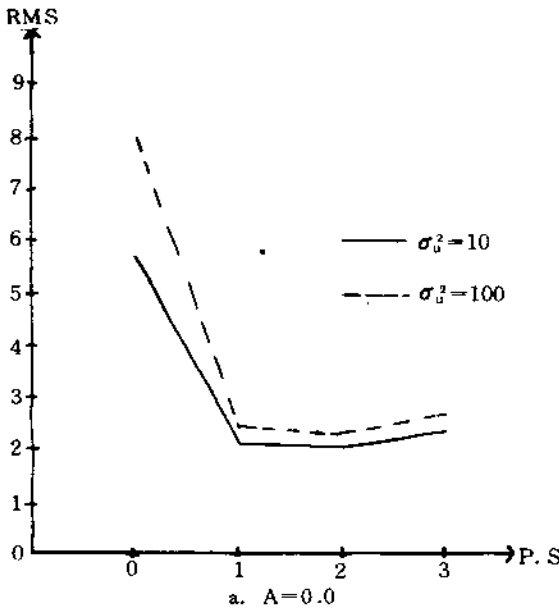
각 被實驗者들에 의한 實驗結果 각 조건에 대해 RMS 誤差가 얻어졌으며, 이들에 대한 分散分析結果를 나타낸 것이 表III-1이다.

(表III-1) RMS 誤差에 의한 分散分析結果

表示裝置 변 동	디 지 탈		디지털 아나로그	
	DOF	F	DOF	F
PS	3	142.479	3	474.581
VAR	1	15.706	1	48.039
A	1	0.994	1	18.992
SS	9	0.932	9	0.803
PS VAR	3	6.786	3	20.919
PS A	3	1.641	3	4.875
PS SS	27	0.892	27	0.840
VAR A	1	0.001	1	0.042
VAR SS	9	1.202	9	0.891
A SS	9	0.531	9	1.462
PS VAR A	3	0.480	3	0.374
PS VAR SS	27	1.186	27	0.724
PS A SS	27	0.875	27	1.320
VAR A SS	9	1.232	9	0.652



(그림III-1) 予見되는 間격에 따른 RMS 誤差의 變化(디지털)



(그림 III - 2) 예상되는 간격에 따른 RMS誤差의 變化(아나로그-디지털)

이 表에서 알 수 있듯이 予見되는 간격과 正常雜音의 分散이 두 表示裝置 使用시의 RMS 誤差에 큰 影響을 끼쳤고, 被實驗者들에 의한 影響은 없었다 ($P < 0.01$). 그러나 自己關聯 計數는 두 表示裝置에서 差이를 보이고 있다.

그림 III-1 과 그림 III-2 에 나타난 바와 같이 予見되는 간격이 있을 때와 없을 때의 差이가 현저했으나, 追加적인 予見간격에 대해서는 특히 顯著한 傾向을 보여주질 않았다. 또한 어느 경우에도 σ_v^2 이 10인 경우가 100인 경우보다 RMS 誤差가 더 적었다.

두 表示裝置 使用시의 RMS 誤差에 의한 遂行度 比較를 하기 위해서 모든 조건에 대해 確立된 T-檢定을 각 被實驗者들에 대해 실시하였다. 그 結果 10名중에서 8名이 아나로그-디지털 表示裝置를 使用하였을 경우에 더 적은 RMS 誤差를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 또한 그 差이가 어느 정도인가를 計量的으로 보기 위해 다음 식을 통해 점수를 산출하여, 디지털 表示裝置 使用시의 점수에 대한 아나로그-디지털 表示裝置의 상대적인 改善정도를 표시하는 改善率을 다음 식에 의해 구하였다 [25].

$$\text{점수} = \frac{\sum_{t=1}^{30} \{e(t)\}^2}{\sum_{t=1}^{30} \{X_t\}^2} \times 100$$

$$e(t) = X_t - Y_t$$

$$X_t = \text{目標值}$$

改善率 =

$$\frac{\text{디지털 表示裝置의 점수} - \text{아나로그 디지털 表示裝置의 점수}}{\text{아나로그 디지털 表示裝置의 점수}} \times 100$$

그 結果 전체 조건 중 80% 정도가 平均 48%의 改善를 보여주었다.

IV. 結 論

本 實驗의 結果에 의하면 予見되는 간격이 있을 경우와 없을 경우에 遂行度의 差이가 현저했다. 追加적인 予見간격에 대해서 그 간격이 1인 경우와 差이가 거의 없었는데 이는 予見 간격이 주어질 때 制御者는 바로 다음 수치에만 관심이 있으며, 予見간격이 증가될 때 短期情報 保管量이 많아지기 때문에 差이가 나타나지 않은 것으로 생각된다.

이는 K. Ito 등의 研究에 의한 것과 같이 (2) 制御者가 자기 자신의 反應時間 지연을 보상하기 위해 이에 상당하는 부분만의 前方 目標置에 특히 주목하여 그 이상의 目標置는 거의 이용하고 있지 않다는 결론과 相應된다.

두 表示裝置 使用시에 自己關聯計數(A)가 아나로그-디지털의 경우에만 影響을 끼쳤다. 그 이유는 目標置의 경향이나 變化率 등을 나타내는 定性的 表示가 함께 제시되었기 때문에 目標

의 追的에 利點이 있었던 때문에 생각된다.

遂行度 比較에서 아날로그-디지털 表示裝置가 더 나은 遂行度를 보여주었다. 이것은 定性的 表示에 定量的 表示를 가한 多次元의 視覺의 情報가 주는 잇점때문에 디지털의 단독적 사용보다는 아날로그와 디지털이 결합된 表示裝置의 사용이 더 나은 遂行度를 나타낸 것으로 생각된다. 多次元의 視覺의 情報에 대한 Smith의 研究에 의하면 單一次元일 경우보다 탐색작업에서 45~70%, 갯수를 세는 작업에서 63~70%의 平均時間이 감소되었음을 보여주었는데 [18]. 本實驗의 追跡 作業의 경우 약 48%의 改善率은 그 에 상응할 만하다.

이러한 結果는 自動制御體系로 구성된 生産工程 중에서 制御狀態를 監視 또는 制御하기 위한 表示裝置 선정에 많은 도움이 될 것이다.

參 考 文 獻

- [1] Huchingson, R.D., *New Horizons for Human factors in design*, McGraw-Hill Inc., 1981.
- [2] K. Ito & M. Ito "On the predictive, pre-cognitive and preview manual tracking systems", *Memoris of the Faculty of Engineering*, Nagoya University Vol. 29, No. 1 May 1977.
- [3] Kvalseth, T.O., "Effect of preview on digital pursuit controp performance", *Human Factors*, Vol. 20, No. 3, 1978.
- [4] Crossman, E.R.F.W., "The information-capacity of the human motor-system in pursuit tracking", *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 1960.
- [5] Poulton, E.C., "Postoiew and preview in tracking with complex and simple inputs", *Ergonomics*, 7, 1964.
- [6] Kvaleth, T.O., "A preview-constraint model of rotary arm control as an extension of Fitt's law", *Journal of Experimental Psychology*, 102, 1974.
- [7] Kvalseth, T.O., "A model of linear arm movements with preview constraints", *Ergonomics*, 18, 1975.
- [8] Adam, E.E. and Ebert, R.J., "A comparison of human and statistical forecastical forecasting", *AIIE trans.* 8, 1976.
- [9] Wierwille, W.W., "Improvement of the human operator's tracking performance by means of optimum filtering and predictions", *IEEE trans.* HTE-5, 1964.
- [10] Gottsdanker, R.M., "The accuracy of prediction motion", *Quarterly Journal of Experimental psychology*, 43, 1952.
- [11] Rouse, W.B., "A model of the human in a cognitive prediction task", *IEEE trans.* SMC-3, 1973.
- [12] 朱東元, 朴世鎮, 李舜堯, "目標出現의 不確實性이 追跡作業에 미치는 영향에 관한 研究", *大韓人間工學會誌*, Vol. 3 No. 1, 1984
- [13] Kvalseth, T.O., "Digital man-machine control systems: The effects of preview lag..", *Ergonomics*, Vol. 22, No. 1, 1979.
- [14] Anderson, No and Fitts, P., "Amount of information gained during brief exposures of numerals and colors", *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 56, 1958.
- [15] Kanarick, A.F. and Peterson, R.C., "Redundant color coding and keeping-track performance", *Human Factors*, Vol. 13, No. 2, 1971.
- [16] Coren, S., Porac, C. and Ward, L.M., *Sensation and perception*, Academic Press, 1979.
- [17] Woodson, W.E., *Human Factors design handbook*, McGraw-Hill Inc., 1981.
- [18] McCormick, E.J., *Human factors in engineering*. McGraw-Hill Inc., 1976.
- [19] Kurke M., "Evaluation of a display incorporating quantitative and checking-reading characteristics", *Journal of Applied Psychology*, Vol. 40, 1956.
- [20] Oatman, L., "Check-reading accuracy using

- an extended-pointer dial display", *Journal of Engineering Psychology*, Vol. 3, 1964.
- [21] Canon CX-1 Instruction Manual
- [22] Sheridan, T.B. and Ferrell, W.R., Man-machine systems: Information, control and decision models of human performance, MIT Press, 1974.
- [23] Cox, D.R. and Miller, H.D., The theory of stochastic processes, Chapman and Hall, 1977.
- [24] Poulton, E.C., Tracking skill & manual control, Academic Press, 1974.
- [25] Toshiyuki Yamashita, "Analysis of the feedforward control in pursuit tracking behavior", *Journal of the Human Engineering society of Japan*, Vol. 20, No. 2, 1984.