

刺戟에 의한 反應時間의 學習效果에 관한 研究

徐承錄 †, 李相道 ‡

† 大邱大學校 産業工學科, ‡ 東亞大學校 産業工學科

The Analysis on Learning Effect of Reaction Time to the Stimulus

Seung Lock Seo †, Sang Do Lee ‡

† Department of Industrial Engineering, Dae Gu University,

‡ Department of Industrial Engineering, Dong-A University

ABSTRACT

In this paper, a mathematical model of learning curve is proposed to study the finger's reaction time. The model is a logarithmic linear type which represents a learning curve appropriately, and parameters are estimated by the linear. The learning coefficient and percentage of a reaction time can be easily computed in the mathematical model.

This quantitative approach provides an important information to be used for the working capability qualification for re-employment as well as for the adaptability estimation of aged workers.

I. 序 論

처음 작업을 시작하는 사람은 작업속도가 느리고 작업방법이 서툴거나 또는 도구의 사용, 작업에 대한 지식이 부족함으로 인하여 生産性이 낮거나 혹은 자원의 낭비가 높다. 그러나 작업자가 주어진 업무에 작업의 성질을 익히고 그 작업을 반복하면 할수록 숙련이 되어 단위당 直接勞動投入量은 감소되어 보다 능률적인 효과를 기대할 수 있다.¹⁾ 즉 작업자가 동일 작업을 장기간 반복적으로 계속하면 인간의 適應力에 의하여 점점 더 빠른 시간에 작업을 수행할 수 있게 되는 것이다. 그러므로 學習에 의한 작업의 효율증진은 특정 작업을 수행하는데 필요한 작업시간을 감소시킬 뿐만 아니라 運營費用과 生産費用 및 直接勞動投入量을 감소시키는 결과를 가져다준다.

“學習이란 동일한 機能을 수행하기위한 행위의 反復에 따른 效果가 있을때 학습이 있다”고 정의되고있다.²⁾ 이 정의로 부터 手指反應을 학습에 적용하여 보면, 동일한 기능이란 주어지는 자극에 대한 반응이고, 행위의 반복이란 자극에 대한 반응의 반복회수이며, 그것에 따른 효과란 자극에 대한 반응에 필요한 시간이 절감되는 효과이다.

학습모델은 代數回歸式을 사용하여 학습현상을 적절하게 표현할 수 있는 代數線形이다. 특히 초기학습이나 작업의 실시회수에 대한 소요시간이 평균치로 부터 산포가 큰 경우는 대수회귀식에 의하여 학습계수를 구할수 있다.^{3), 4)} 그러므로 學習曲線의 본질을 수식모델로 전개하여 이를 圖示하므로써 傾向線에 대한 검토가 필요하다.

작업자가 자극에 대한 반응을 하는데 있어서 켜진 램프를 보고 버튼을 누르는 동작을 하기 위해서는 生體 Feedback이 필요하다. Feedback을 포함하는 神經回路를 통과하는데 소요되는 시간과 손가락을 움직이기 위한 시간을 합하여 반응시간으로 볼 수 있다.⁵⁾ 즉 랜덤으로 點燈되는 램프를 보고 對應하는 손가락으로 버튼을 눌러서

끄는 동작을 하므로서, 자극에 대한 遲滯時間 (delay time)을 反應時間으로 측정할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 양손의 반복적인 훈련에 의하여 反應時間의 學習效果를 學習曲線에 의한 수학적 모델로서 평가를 하고, 주어지는 刺戟數와 難易度에 대한 반응시간의 學習效果와 年齡에 따른 反應時間의 遂行成就度의 차이를 비교 검토하여 작업의 能率向上과 雇傭擴大에 필요한 資料를 제공하고자 한다.

II. 實驗裝置 및 方法

손가락의 반응시간을 측정하는 실험장치를 블록다이어그램으로 나타내면 Fig.1과 같다. 실험장치는 각각에 5개씩 버튼과 赤色LED의 램프가 있고 A/D변환기와 함께 컴퓨터에 연결된다. 컴퓨터는 입력된 프로그램에 따라 램프의 위치에 대응하는 신호를 兩手反應器로 전송하면 해당 램프가 켜지고, 피실험자가 버튼을 누르면 반응에 따른 신호를 받아 遲滯時間(램프가 켜진후 버튼을 누를때 까지의 시간)을 계산하여 저장한다. 이 램프가 켜지는 刺戟에 대한 遲滯時間(delay time) 즉, 손가락을 자신이 생각한 바와 같이 움직일때 까지의 시간을 反應時間으로 보았다.

램프가 켜지는 위치는 실험방법별로 모든 경우가 한번씩 발생되며 그 순서는 랜덤하게 정해진다. 켜진 램프수에 따라 대응하는 버튼을 모두 동시에 누르면 램프가 꺼진다. 즉 각 施行마다 操作이 독립되어 있어 예측이 불가능한 것이다. 그리고 켜진 램프 이외의 어떤 다른 버튼을 누르고, 켜진 램프를 함께 눌러도 램프는 꺼지지 않는다. 램프가 꺼지면 다음 램프는 0.1초후에 켜지며 反應精度는 0.001초이다.

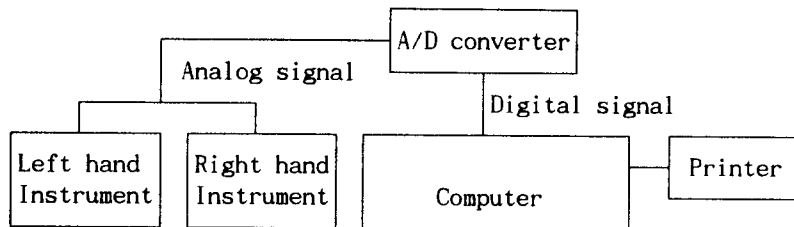


Fig.1 Blockdiagram of Instrument System

피실험자는 실험장치의 정면에 있는 의자에 편안한 자세로 앉게 하고 손은 버튼을 누르기 쉬운 위치에 자연스럽게 올려놓게 하였다. 上體는 램프를 보기쉬운 위치로 정하고 손끝으로 가능한 빠르게 누르도록 하였다.

실험방법은 컴퓨터의 信號音에 켜지는 램프를 보고 左·右手를 이용하여 자극에 대한 반응을 하도록 하였다.

① B1은 左·右側反應器에 랜덤하게 램프가 1개씩 켜질때, 對應하는 손가락으로 누르는 동작.

② B2는 左·右側反應器에 랜덤하게 램프가 2개씩 켜질때, 對應하는 손가락으로 누르는 동작.

③ S1은 左·右側反應器의 동일한 위치에 각각 1개씩 램프가 동시에 켜질때, 對應하는 양손가락으로 누르는 동작이다.

④ AS는 左·右側反應器의 서로 다른 위치에서 각각 1개씩 램프가 동시에 켜질때, 對應하는 양손가락으로 누르는 동작.

실험 1일째 실제 반응시간을 측정하기에 앞서, 실험방법을 익히기 위하여 피실험자들에게 실험방법별로 연습을 1회씩 시켰다. 실험은 매일 오전 10시 부터 각 피실험자별로 24일간을 조사 하였다. 피실험자는 연령이 많은 사무직으로서 국민학교 교사 2명(62세와 64세)과 성장기에 있는 국민학교 학생(12세와 13세)이다.

Ⅲ. 學習曲線의 數學的 Model

反應時間의 學習現象을 代數線形의 형태로 생각할 경우, 실시회수 x 에 대한 소요시간 y 의 母平均 $E(\log y_i) = \mu_i$ ($i=1, 2, \dots, n$)는 $\log t_1 x_i^B$ ($i=1, 2, \dots, n$)의 관계에 있는 것으로 가정하면 $\mu_i = \log t_1 x_i^B$ ($i=1, 2, \dots, n$)이 된다.

그런데 실제로는 여러종류의 조건에 따라 각 회수에 대한 소요시간 y_i 는 평균으로부터 흩어지고 있다. 그 誤差變量을 e_i ($i=1, 2, \dots, n$)라고 하면 자료의 구조는 (1)식으로 표시된다.

$$\log y_i = \log t_1 x_i^B + e_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

여기서 t_1 : 제1회재의 소요시간(既知)

B : x 에 대한 y 의 母回歸係數

e_i : 誤差變量

그런데 B 는 未知로서 이들은 실제자료에서 추정되고 그 推定值를 b (學習係數)라고 하면 (1)식은 다음과 같이 나타내진다.

$$\log y_i = \log t_1 x_i^b + e_i \quad (2)$$

$$e_i = [\log y_i - \log t_1 x_i^b]$$

여기서 回歸式 $\log t_1 x_i^b$ 의 推定은 각 회수 x_i 에 대응하는 y 의 실측치 y_i 와 回歸線 $\log t_1 x_i^b$ 로 부터의 차 즉 殘差의 自乘의 합은 (3)식을 최소화 하면 된다.

$$S = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n [\log y_i - \log(t_1 x_i^b)]^2 \quad (3)$$

(3)식의 계산을 正規方程式으로 나타내면 (4)식으로 된다

$$\sum_{i=1}^n \log y_i \log x_i = \log t_1 \sum_{i=1}^n \log x_i + b \sum_{i=1}^n (\log x_i)^2 \quad (4)$$

(4)식에서 학습계수 b 를 구하면 그결과에서 (5)식을 얻는다.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n \log y_i \log x_i - \log t_1 \sum_{i=1}^n \log x_i}{\sum_{i=1}^n (\log x_i)^2} \quad (5)$$

이들로부터 回歸線(學習曲線)은 (6)식으로 나타내지며 즉 (7)식과 같다.

$$\log y = \log t_1 + b \log x \quad (6)$$

$$y = t_1 x^b \quad (7)$$

다음에 t_1 및 b 가 未知인 경우는 이론적으로 既知인 경우와 같이 되어 (3)식을 偏微分하여 正規方程式으로 나타내면 (8)식이 된다.

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n \log y_i &= n \log t_1 + b \sum_{i=1}^n \log x_i \\ \sum_{i=1}^n \log y_i \log x_i &= \log t_1 \sum_{i=1}^n \log x_i + b \sum_{i=1}^n (\log x_i)^2 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

따라서 學習係數 b 및 제1회재의 소요시간 t_1 은 (8)식의 방정식을 풀면 그 결과로 (9)식, (10)식이 된다.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n \log y_i \log x_i - \sum_{i=1}^n \log y_i \cdot \sum_{i=1}^n \log x_i / n}{t_1 \sum_{i=1}^n (\log x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n \log x_i)^2 / n} \quad (9)$$

$$t_1 = \text{Anti log} \left[\left(\sum_{i=1}^n \log y_i - b \sum_{i=1}^n \log x_i \right) / n \right] \quad (10)$$

이들로부터 學習曲線은 (11)식이 되며, (12)식으로 나타낼 수 있다.

$$\log y = \log t_1 + b \log x \quad (11)$$

$$y = t_1 x^b \quad (12)$$

다음에 學習率 P를 구하기 위해서는 (5)식, 또는 (9)식에서 얻어진 학습계수 b를 (13)식으로 두고, (13)식을 (14)식에 적용하면 소정의 학습을 P값을 얻을 수 있다.

$$b' = -b \quad (13)$$

$$P = (1/2)^{b'} \times 100 (\%) \quad (14)$$

IV. 實驗結果 및 考察

Table 1.은 10대의 Child A, Child B의 실험결과를 나타내고, Table 2.에는 60대의 Old A, Old B의 실험결과를 생략하여 그 일부를 實驗條件에 따라刺戟數와 難易度로 구분하여 나타낸 것이다.

Table 1. Record of both hands test (Subject : Child).
(unit : sec)

		실험 조건			
피실험자	일자	자극 수		난이도	
		B1	B2	S1	AS
Child A	1	0.521	0.820	0.692	1.206
	2	0.516	0.736	0.582	1.000
	3	0.458	0.745	0.492	1.026
	4	0.424	0.672	0.432	0.844
	5	0.388	0.628	0.476	0.698
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	22	0.310	0.424	0.282	0.432
	23	0.292	0.524	0.308	0.477
	24	0.273	0.471	0.280	0.462
Child B	1	0.512	0.720	0.524	1.020
	2	0.515	0.666	0.428	0.917
	3	0.428	0.663	0.436	0.809
	4	0.406	0.536	0.428	0.739
	5	0.398	0.639	0.400	0.696
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	22	0.309	0.491	0.454	0.466
	23	0.267	0.457	0.284	0.432
	24	0.321	0.526	0.260	0.394

Table 1,2의 기초자료를 이용하여 學習係數 b는 (9)식에 적용하였으며, 學習率 P는 學習係數 b를 (13)식에 대입하여 (14)식에서, 그리고 제1회재의 所要時間 t₁은 (10)식에 적용하였다. 이러한 값들을 표로 나타낸것이 Table 3이다.

1. 刺戟數 및 難易度에 따른 學習效果

Table 3.에는 刺戟數에 따른 반응시간의 學習效果로서 左·右側反應器에 랜덤하게 램프가 1개씩 켜질때(B1)와 램프가 2개씩 켜질때(B2) 對應하는 손가락으로 누르는 동작의 반응시간에 대한 學習率, 學習係數 및 初期時間이다. 初期時間 t₁에 대한 자극의 반응시간은 日常的인 개념과 같이 램프 2개일때 보다 램프 1개일때가 반응시간이 빠르게 나타나고 있다. 學習效果적인 측면에서 高齡의 피실험자인 경우는 램프 2개일때가 램프 1개일때 보다 초기시간은 늦지만 學習效果는 더 높다. 즉 Old A의 경우 램프 1개일때 학습효과는 7.34% (100-92.66)이지만 램프 2개일때는 12.34%

Table 2. Record of both hands test (Subject : Old).
(unit : sec)

		실험 조건			
피실험자	일자	자극 수		난이도	
		B1	B2	S1	AS
Old A	1	0.809	1.476	1.136	2.302
	2	0.667	0.980	0.862	1.834
	3	0.583	0.971	0.626	1.677
	4	0.678	0.859	0.688	1.490
	5	0.689	1.152	0.826	1.605
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	22	0.547	0.668	0.484	0.865
	23	0.612	0.814	0.524	0.829
	24	0.512	0.757	0.556	0.890
Old B	1	0.991	2.015	1.550	2.703
	2	1.124	1.684	1.144	2.261
	3	0.772	1.334	1.040	2.212
	4	0.718	1.252	1.100	1.707
	5	0.604	0.845	0.514	0.945
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	22	0.517	0.669	0.460	0.855
	23	0.481	0.651	0.508	0.768
	24	0.430	0.598	0.496	0.763

Table 3. The ratio of learning and the learning coefficient.
(unit : sec)

		실험 조건			
피실험자	분석방법	자극 수		난이도	
		B1	B2	S1	AS
Child A	학습율 P(%)	85.86	88.93	82.93	80.11
	학습계수 b	-0.220	-0.180	-0.270	-0.320
	초기시간 t_1	0.569	0.871	0.719	1.315
Child B	학습율 P(%)	87.66	92.02	90.75	81.79
	학습계수 b	-0.190	-0.120	-0.140	-0.290
	초기시간 t_1	0.552	0.726	0.525	1.132
Old A	학습율 P(%)	92.66	87.66	86.45	79.56
	학습계수 b	-0.110	-0.190	-0.210	-0.330
	초기시간 t_1	0.736	1.298	0.953	2.489
Old B	학습율 P(%)	85.26	77.92	80.67	76.85
	학습계수 b	-0.230	-0.360	-0.310	-0.380
	초기시간 t_1	1.054	2.009	1.393	2.754

(100-87.66)이고, Old B는 각각 14.74%와 22.08%이다. Table 3.을 기초로 하여 학습곡선을 그린것이 Fig. 2, 3이다.

Table 3.에서 難易度에 따른 學習效果는 동일한 위치에 각각 1개씩 램프가 동시에 켜질때(S1)와 서로 다른 위치에 각각 1개씩 램프가 동시에 켜질때(AS) 對應하는 손가락으로 누르는 동작의 반응시간에 대한 학습율, 학습계수 및 초기시간이다. 자극수에 의한 반응시간의 결과와 같이 초기시간 t_1 은 難易度가 낮은 S1이 높은 AS 보다

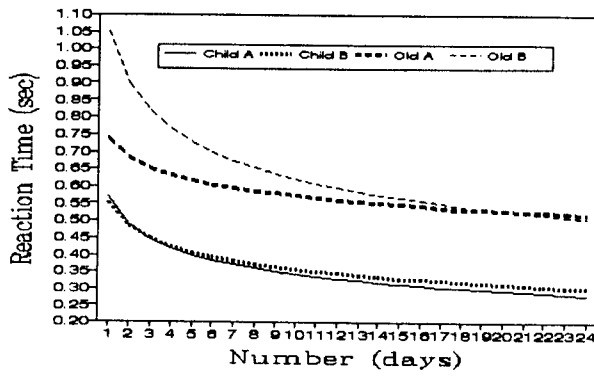


Fig.2 Learning curve of one lamp by both hands

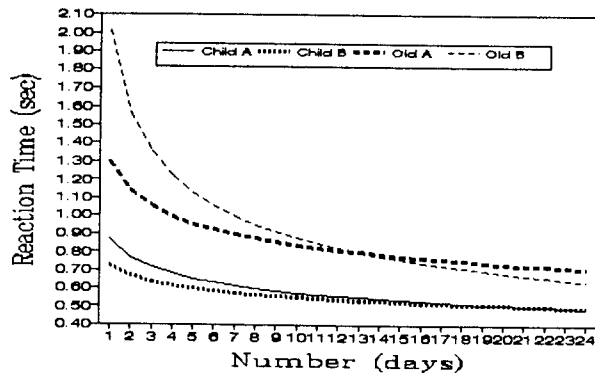


Fig.3 Learning curve of two lamp by both hands

더욱 빠르게 나타나고 있으나, 學習效果적인 측면에서는 難易도가 높은 AS가 學習效果가 더 높다. Table 3.을 기초로 하여 학습곡선을 그린것이 Fig. 4, 5이다.

刺戟數가 증가하고 難易도가 높아짐에 따라 初期反應時間이 높은 이유는 大腦에서 순간적으로 意思決定을 해야 할 처리시간이 지체되기 때문인 것으로 보인다. 學習效果가 刺戟數와 難易도가 증가함에 따라 대체로 높아지는 것은 상대적으로 높은 初期反應時間에 의한 것으로 보인다. 그러나 10대 국민학생의 경우 刺戟數의 감소에 따라 學習效果가 높아지는 것은 단순자극에 빨리 적응하기 때문인것 같다.

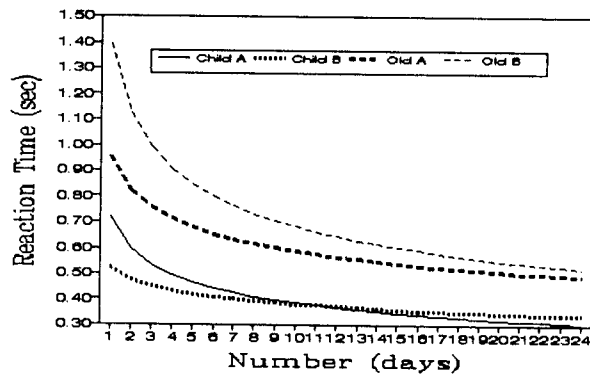


Fig.4 Learning curve of one synchronise by both hand

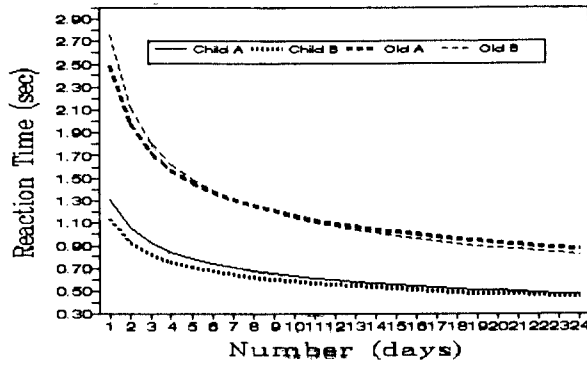


Fig.5 Learning curve of asynchronise lamp by both hand

2. 年齢에 따른 遂行成就度

Table 4.는 실험조건과 수행성취율(말기학습율-초기학습율)을 각 피실험자별로 나타낸 것이다. 여기서 수행성취율이 크면 클수록 學習效果는 높다는 것을 의미한다. 刺戟數 B1에서 10대의 피실험자를 제외한 나머지 전체는 刺戟數의 증가와 난이도가 높아짐에 따라 수행성취율은 높아지고 있다. 따라서 반복회수가 증가함에 따라 60대의 고령자도 자극에 대한 반응의 기능을 향상시킬수 있음을 나타낸다.

Table 4. Performance accomplishment rate of subjects

피실험자	학습율	실험 조건			
		자극 수		난이도	
		B1	B2	S1	AS
Child A	초기학습율	0.917	0.918	0.874	0.747
	말기학습율	0.998	0.997	0.998	0.996
	수행성취율	0.081	0.079	0.124	0.249
Child B	초기학습율	0.930	0.941	0.950	0.796
	말기학습율	0.998	0.998	0.999	0.996
	수행성취율	0.068	0.057	0.048	0.200
Old A	초기학습율	0.945	0.843	0.870	0.584
	말기학습율	0.998	0.996	0.997	0.992
	수행성취율	0.053	0.153	0.127	0.408
Old B	초기학습율	0.845	0.606	0.741	0.484
	말기학습율	0.997	0.992	0.995	0.991
	수행성취율	0.151	0.386	0.254	0.507

Fig. 6의 遂行成就度 측면에서 각 피실험자별로 차이를 나타내고 있다. 즉 Old B의 수행성취율이 가장 높으며, 다음으로 Child A 이다. 이러한 원인은 신체적인 조건과 연령에 따르기 보다는 동기, 태도 및 의욕에 기인한 것으로 보인다. 즉 遂行成就도가 높은 피실험자는 자발적인 욕구가 강한 반면에, 그 보다 낮은 피실험자는 실험을 해야만 한다는 의무감으로 실험에 대한 동기유발이 적었기 때문인 것으로 판단된다.

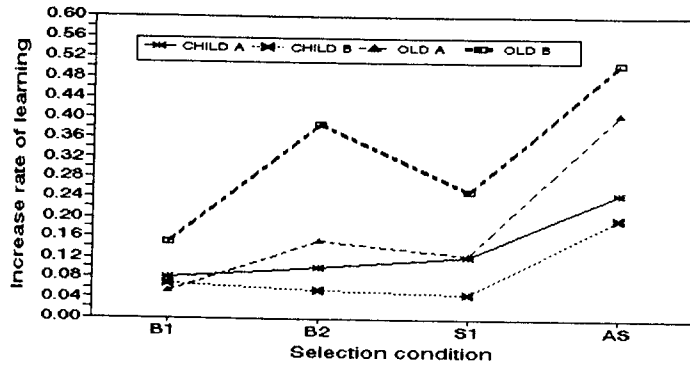


Fig.6 Improvement ability rate of each subjects

v. 結 論

양손의 반복적인 훈련으로서, 反應時間이 자극의 증가와 難易度의 정도에 따라 변화하는 과정을 學習曲線에 의한 수학적 모델로서 평가 하였다. 그리고 주어지는 자극수와 難易度에 따른 遂行成就度를 연령에 따라서도 분석하여 보았다.

분석한 결과로부터 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 자극수가 1개일때 보다는刺戟數 2개일때가, 또한 難易度가 높을수록 높은 學習效果를 나타내었다.

2. 자극수와 難易度의 비교에서 나타난 學習效果는刺戟數에 의한 원인 보다는 난이도에 대한 영향이 더 많았다.

3. 年齡에 따른 學習效果는 신체적인 조건이나 연령에만 국한되는 것이 아니라 하고자하는 의욕 즉 동기유발에 의한 강한 욕구의 정도에 따라 다르게 나타났다.

4. 고령자에게서도 반복회수의 증가에 따라서는 學習效果를 기대할 수 있었다.

向後, 자극에 대한 반응시간의 學習效果를 기초로하여 실제 작업을 중심으로한 중 고령자의 學習效果에 대한 연구가 요구된다.

參 考 文 獻

- 1) Paul Figurs, Charles A. Myers, "Personel Administration", International Student Edition McGraw-Hill, inc., p.165, 1977.
- 2) 千住鎮雄 編著, 辛承憲·徐承祿 共譯, 作業管理, 서울, 螢雪出版社, pp. 255-233, 1985.
- 3) 師岡孝次, 習熟性工學, 建帛社, pp. 7-13, 1990.
- 4) James, R. B., Jose, M. A. T., and Arnoold, L. S., "Parameter Estimation Methods for Discrete Exponential Learning Curves", AIIE Transactions, Vol. 8, No. 2, pp. 184-194, 1976.
- 5) 內田 謙, "言語(動作用語)と手のき", The Japanese J. of Ergonomics, Vol. 26, No. 3, pp. 134-138, 1990.