Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.19, No.3, pp. 39-49, December 2000

C-D gain의 변화를 고려한 Fitts 이동시간 추정 모델에 관한 연구

Modeling of Fitts' Movement Time Including Effect of Control-Display Gain

박경수*, 고봉기*, 김운회**

ABSTRACT

During human-computer interaction(HCI), people typically send inputs to computers through electromechanical pointing devices. Many applied studies have therefore evaluated cursor-positioning movements made with various pointing devices. Though there were so many studies about performance of various pointing devices, it was nearly impossible to compare device performance each other until the Fitts' law was applied. It does appear that Fitts' law may predict performance reasonably well for the one C-D gain level. But in varying C-D gain levels, Fitts' law could not predict movement time. This study investigated the effects of C-D gain in mouse movement time and suggested a revised Fitts' model including C-D gain as an independent variable. The revised Fitts' model may use to measure the performance of various devices in varying C-D gain levels.

Keywords: Fitts' law, positioning task, C-D gain, Mouse

* 한국과학기술원 산업공학과
** 대덕대학교 산업공학과

1. 서 론

인간-컴퓨터 상호작용(HCI; Human-computer interaction)에서 사람들은 일반적으로 전자-기계 포인팅장치(electro-mechanical pointing devi ce, 예; 키보드, 마우스, 트랙볼, 라이트펜 등)를 통해 컴퓨터에 입력 신호를 보내고 시각 표시장치(visual display, 예; CRT 화면)를 통해 출력을 받는다(Walker, 1993). 인간-컴퓨터 상호작용을 위한 인터페이스(human-computer interface)는 판독기에 천공카드(punched cards)를 집어넣는 것으로부터 사이버 장갑(cyber glove)을 이용해 3차원 가상 물체를 다루는 것까지 많은 변화를 겪어왔다(MacKenzie, 1995).

마이크로소프트(Microsoft®)사의 Windows 95가 PC 운영체제로 도입되어 많은 사용자들을 확보하게 되면서, 이제 컴퓨터 사용자들은 마우스와 버튼 1개 또는 그 이상의 버튼을 이용해서 모니터상의 아이콘을 움직임으로써 직접적으로 시스템과 상호작용하는데 친숙해지게 되었다. 많은 작업이 마우스를 이용한 포인팅/드래깅(pointing and/or dragging) 작업을 필요로 하게 되었으며, 이제는 마우스가 없는 컴퓨터 작업은 생각할 수 없게 되었다. 마우스 이외에도 컴퓨터 작업 특성에 알맞게 많은 입력장치가 고안되었고 실제로 사용되고 있다. 이러한 예로는 컴퓨터에서 일반적인 작업을 위한 트랙볼, 터치 패드 등을 비롯하여 캐드(CAD)등에서 사용하는 디지타이저, 오락/게임 등에서 사용되는 조이스틱, 입력 편의를 위한 라이트펜, 터치 스크린 등이 있으며, 최근에는 가상현실 환경에서 컴퓨터와 상호작용하기 위한 사이버 장갑, 3차원 입력장치 등을 들 수 있다.

대부분의 컨트롤-디스플레이(control-display) 인터페이스에서 수동 입력장치는 물리적으로 출력장치와 분리되어 있다. 예를 들어 컴퓨터에서 사용되는 마우스, 트랙볼 또는 터치 타블렛(touch tablet) 등은 화면상에 나타나는 커서를 조종한다. 이러한 인터페이스를 최적화하기 위한 한 가지 방법은 가장 좋은 성능을 내는 C-D gain(control-display gain) 또는 이의 역수인 C-D 비(control-display ratio)에서 작업을 수행하는 것이다(Lynn & Joel, 1990). C-D gain은 제어부분의 단위 이동량에 대한 출력장치 상의 커서의 이동량으로 정의할 수 있다(Lynn & Joel, 1986).

$$Control-Display\,Gain = \frac{System(Display)\ Output}{Control\ Input} \quad \cdots\cdots (1)$$

일반적으로 이러한 C-D gain은 이동 거리나 회전각 등의 출력장치와 제어 파라미터 간의 비율로 표현되며, 컨트롤-디스플레이 작업에 대한 많은 연구에서 이동시간과 C-D gain 간의 U-형태의 관계가 있다는 것이 알려져 있다. 최소 이동시간을 가지는 최적의 C-D gain은 작업 성능에 영향을 미치는 중요한 요소로서, 시간과 정확성이 중요한 작업의 경우 최적 C-D gain은 실험적으로 결정되어야 한다(Lin et al., 1992). C-D gain에 관한 연구는 컨트롤-디스플레이 시스템에서 많이 다루어졌고 중요하게 고려되었다(Lynn & Joel. 1986,

Lynn & Joel. 1990, Buck. 1980, Lin et al. 1992,).

오늘날에는 컴퓨터 입력 작업에 있어서 신뢰성 있는 이동시간(movement time) 예측 모델의 필요성이 대두되고 있다. 비트맵(Bit-mapped) 그래픽 표시가 문자맵(character-mapped) 표시를 대체하고 있으며, 메뉴와 명령어에 걸쳐 아이콘이 큰 인기를 얻고 있고, 사용자 인터페이스는 커서 키와 평션 키 대신 마우스와 풀다운(pull-down) 메뉴를 사용한다. 인간-컴퓨터 상호작용이 보다 직접적이 됨에 따라 인간 움직임에 대한 속도/정확도 모델(speed/accuracy mode l)이 인간-컴퓨터 상호작용과 밀접한 관계를 가지게 되었으며, 타자 수준 모델(keystroke-level model)처럼 디자인 과정에서 컴퓨터 입력 작업에서의 이동 행동(movement activity)을 고려할 필요성이 발생하였다(MacKenzie, 1991). 이에 대한 해결 방안으로는 Fitts 법칙을 들 수 있다. 거리가 A만큼 떨어진 폭 W의 표적을 지적(point)하기 위한 이동시간(movement time; MT)은 공간적 상대 오차 A/W에 로그 비례한다. 즉,

$$MT = a + b \cdot \log_2\left(\frac{2A}{W}\right) = a + b \cdot ID \quad \cdots\cdots (2)$$

A : 표적까지의 거리(Display amplitude)
W : 표적의 폭(Display target width)

로 나타낼 수 있다. 여기서, a와 b는 실험적으로 구해지는 상수이다. 하지만 이 Fitts 법칙은 작업의 난도(ID; Index of difficulty)에 따른 인간 움직임의 이동시간 예측 모델이었기 때문에 C-D gain에 대한 고려가 이루어지지 않았다. 인간이 컴퓨터로 수행하는 작업이 다양해지고 방대해 짐에 따라 각 작업에 적합한 C-D gain도 다양해졌으며, 사용자가 수행하는 작업에 따라 최적의 C-D gain이 빈번히 변화할 수 있다. 최근 컴퓨터 인터페이스에서 가장 보편적인 입력장치로 사용되는 마우스의 경우, C-D gain은 사용자의 편리에 맞추어 쉽게 조절할 수 있게 되었다. 따라서, 컴퓨터 입력 작업 성능 향상을 위해서 C-D gain과 이동시간에 관한 연구가 필요하다. 단순히 표적의 크기, 모양 등이 이동시간에 미치는 영향에 관한 연구(Sheikh & Hoffmann, 1994)와 단순히 C-D gain이 이동시간에 미치는 영향에 관한 연구(Buck, 1980), 입력장치와 입력방식에 따른 C-D gain의 효과에 관한 연구(박재희 & 이남식, 1992) 등이 수행되었고, 많은 연구에서 C-D gain은 입력장치에 따라 최적 수준에서만 고려되었다.

따라서, 본 연구에서는 C-D gain이 이동시간에 미치는 효과를 정량화하고, 이를 통해 이동시간을 추정 모델을 세우고자 한다. 이를 위해 Fitts 법칙을 바탕으로, 표적까지의 거리와 표적의 폭으로 결정되는 난도와 함께 C-D gain을 독립변수로 고려하여 마우스 이동시간에 미치는 영향을 파악하고, C-D gain을 고려한 이동시간 추정 모델을 제안하고자 한다.

2. 실 험

2.1 피실험자 및 실험장비

본 실험의 피실험자는 마우스를 이용한 입력작업에 익숙하며, 마우스를 사용하는데 신

체적 지장이 없는 대학생 및 대학원생을 대상으로 하였다. 피실험자의 총 인원은 7명이며, 평균 나이는 22.7세이다.

본 실험에는 펜티엄 PC와 21′ 컬러 모니터, 그리고 마이크로소프트 홈 마우스(Microsoft® Home Mouse)를 사용하였으며, 각 실험 조건 제시와 피실험자의 마우스 이동시간을 측정하기 위해 볼랜드 C++ 3.0을 이용 프로그램을 구현하였다.

2.2 실험계획

본 실험의 주 인자는 C-D gain, 모니터 상에 나타나는 표적까지의 거리(A; display amplit ude), 모니터 상에 나타나는 표적의 폭(W; displ ay target width) 등의 3가지이며, 각 인자의 수준은 다음 표 1과 같다.

표 1. 실험의 주 인자 및 수준 수

주 인자	수 준	수준수
C-D gain	1, 4.22, 7.6, 9.5, 12.67	5
Display Amplitude(A) (mm)	100, 200, 300	3
Display Width(W) (mm)	5, 10, 20	3

본 실험에서는 주 인자의 각 수준에서 피실험자가 마우스를 이용해 포인팅(pointing) 작업을 수행하도록 하고 마우스 이동시간을 측정하여 평가자료로 사용한다. 그리고 개인차를 극복하기 위해 피실험자에 대해 blocking을 실시하였다. 표 1에 나타난 바와 같이 실험계획의 인자는 3개이며, 이 중 A와 W는 수행할 작업 난도에 관계된 인자이다. 총 45개(5×3×3)의 실험조건을 가진 반복이 있는 삼원배치법을 사용하였다. 다음의 표 2는 A×W에 따른 작업의 난도를 나타낸 것이다.

표 2. A × W에 따른 난도

A (mm)	W (mm)		
	5	10	20
100	5.32	4.32	3.32
200	6.32	5.32	4.32
300	6.91	5.91	4.91

다음의 그림 1은 모니터 상에 나타나는 실험 조건 제시 화면을 나타낸 것이다. 좌측의 작은 사각형은 시작위치를 나타내며, 우측의 정사각형이 표적을 나타낸다. 피실험자가 준비상태를 알리기 위해 마우스를 움직여 커서를 시작위치에 위치시키면 우측에 표적이 나타난다. 이 때, 피실험자는 마우스를 움직여 표적 안에 커서를 위치시키고 작업 종료를 알리기 위해 마우스 버튼을 클릭한다. 이동시간은 표적이 나타난 후부터 표적 안에 마우스 커서를 위치시키고, 클릭한 순간까지의 시간으로 정의된다.

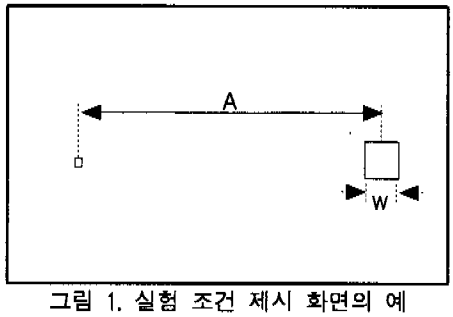


그림 1. 실험 조건 제시 화면의 예

2.3 실험방법

본 실험을 실시하기 전에 먼저 피실험자들에게 실험목적과 실험방법을 숙지시켰다. 피실험자가 실험에 집중할 수 있도록 주위 환경을 소음이 없고, 적절한 조명 상태로 맞추어 주었다. 실험은 5가지 C-D gain 수준에 따라 A×W의 9가지 마우스 이동조건을 제시하고 각 조건 하에서 3회 반복 수행하도록 하였으며, 각 C-D gain 수준에서 피실험자가 C-D gain 수준에 적응하도록 A×W의 실험 조건 9가지를 3회 반복 연습하도록 하였다. 각 C-D gain 한 수준에 대한 실험이 끝나면 피실험자가 피로를 느끼지 않도록 휴식을 취하게 하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 실험 데이터의 처리

마우스의 이동시간은 1/1000초 단위로 측정되었다. 결과 분석을 위해서 각 실험조건 당 3회 반복한 이동시간의 평균을 계산하여 사용하였다. 표적 밖에서 마우스를 클릭해서 발생한 작위 실수(commission error)가 각 실험조건에서 3회 모두 발생한 경우는 없었으며, 작위실수가 발생한 경우는 제외하고 평균을 구하였다. 일정시간 동안 표적을 클릭하지 못하는 부작위 실수(omission error)는 발생하지 않았다.

3.2 실험결과

각 인자별로 이동시간에 미치는 영향을 살펴보기 위해 각 인자별로 이동시간을 그래프로 나타내 보았다.

그림 2는 A, W 모든 경우에 대해 각 C-D gain 수준별 이동시간을 나타낸 그래프이다. 1, 4.22, 7.6, 9.5, 12.67의 5수준 C-D gain에 대해서 마우스 이동시간을 살펴보면 C-D gain이 7.6인 경우 이동시간이 최소로 나타나는 U-형태의 그래프를 나타내는 것을 알 수 있다.

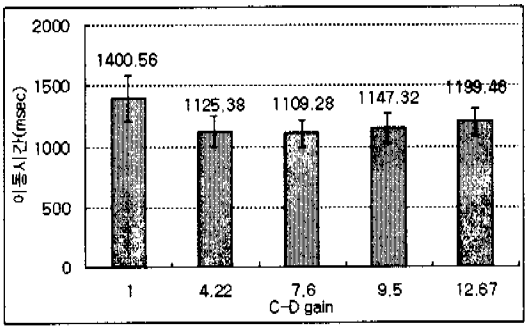


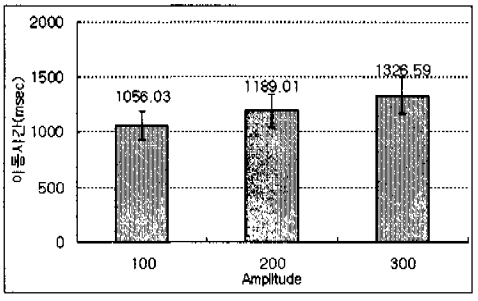
그림 2. C-D gain별 평균 이동시간

표 3은 C-D gain 수준에 따라 던칸 테스트(Duncan's multiple range test)를 실시한 결과를 나타낸 것이다. C-D gain 수준에 따라 이동시간에 유의한 차이가 있음을 알 수 있다.

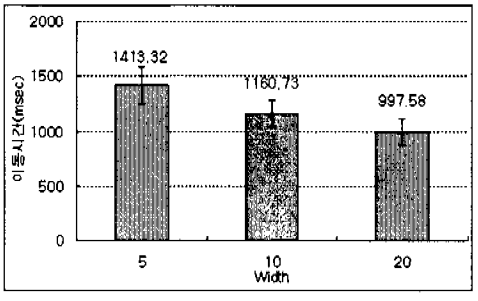
표 3. C-D gain 수준 별 이동시간에 대한 던칸 테스트 결과

Duncan Grouping		Mean(msec)	N	C-D gain
	A	1400.56	63	1
	B	1199.46	63	12.67
	C	1147.32	63	9.5
D	C	1125.38	63	4.22
D		1109.28	63	7.6

그림 3은 5가지 C-D gain 수준 모두에서 A와 W별로 평균 이동시간을 나타낸 그래프이다. A가 증가할수록 평균 이동시간이 증가하고, W가 증가할수록 평균 이동시간이 감소함을 알 수 있다.



(a)Amplitude별 평균이동시간



(b)Width별 평균 이동시간

그림 3. Amplitude, Width별 평균 이동시간

이 실험의 주인자, 즉 C-D gain, A, W가 마우스 이동시간에 미치는 영향을 통계적으로 파악하기 위해 이들 인자를 독립변수로 하고 이동시간을 종속변수로 하여 분산분석을 실시하였다. 유의수준은 5%로 하였고, 분산분석은 통계소프트웨어 SAS®를 사용하였다. 다음 표 4는 분산분석 결과이다.

표 4. 주인자와 교호작용에 대한 분산분석

Source	DF	Anova SS	MS	F value	Pr > F
Subject	6	2402966.38	400494.40	14.76	0.0001**
C-D Gain	4	7807093.90	1951773.48	71.92	0.0001**
A	2	3843355.75	1921677.87	70.81	0.0001**
W	2	9214423.79	4607211.89	169.77	0.0001**
C-D Gain×A	8	551002.03	68875.25	2.54	0.0111*
C-D Gain×W	8	253798.90	31724.86	1.17	0.3179
A × W	4	45741.52	11435.38	0.42	0.7982

* significant at 0.05, ** significant at 0.01
SS : Sum of Square, MS : Mean Square

위의 표 4에서 주인자인 C-D gain, A, W 그리고, C-D gain과 A의 교호작용이 이동시간에 유의한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 그림 4에는 주 인자 C-D gain과 A의 교호작용을 살펴보기 위해 A 수준 별로 C-D gain에 따른 평균 이동시간을 그래프로 나타내었다. 그림 4에서 이동시간은 A 수준이 달라져도 U-형태를 가진다는 것을 알 수 있으며, 최소 이동시간이 나타나는 최적 C-D gain은 A 수준에 따라 다르게 결정된다는 사실을 알 수 있다.

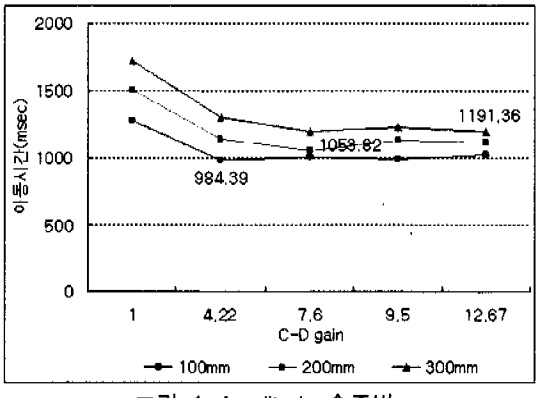


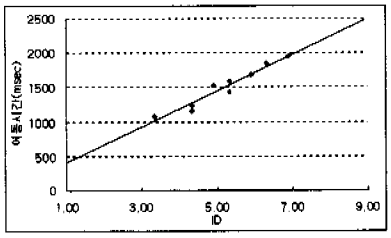
그림 4. Amplitude 수준별
C-D gain에 따른 평균 이동시간

3.3 Fitts 법칙을 통한 이동시간 추정

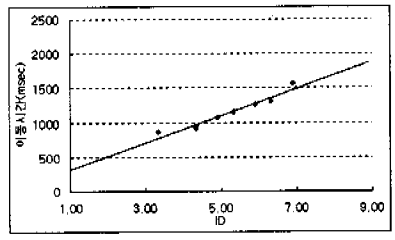
여기서는 Fitts 법칙을 통해 이동시간을 추정해 보도록 한다. 먼저, C-D gain별로 Fitts 법칙을 적용해 이동시간을 추정해 보고, C-D gain 5수준 실험 결과 모두에 대해 Fitts 법칙을 적용해 C-D gain 수준이 달라져도 Fitts 법칙이 이동시간 추정에 유용한지 살펴보도록 한다.

그림 5는 각 C-D gain 조건별로 난도를 독립변수, 이동시간을 종속변수로 회귀분석을 통해 Fitts 법칙을 그래프로 나타낸 것이다. 그래프와 Fitts 법칙을 이용한 이동시간 추정식을 살펴보면 각 C-D gain 별로는 Fitts 법칙이 이동시간 추정에 훌륭한 정량적 모델임을 알 수 있다.

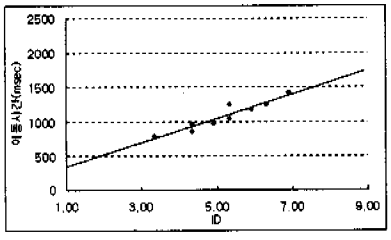
그림 6은 C-D gain 5수준 전체 실험 결과에 대해 Fitts 법칙을 통해 이동시간 추정을 나타낸 그래프이다. 각 C-D gain 수준에 따



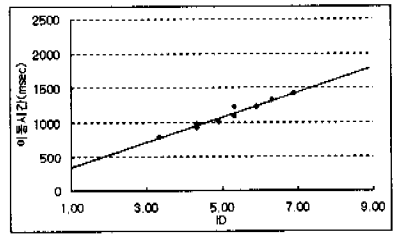
(a) C-D gain = 1 인 경우
MT = 153.44 + 260.39·ID, R^2 =0.9354



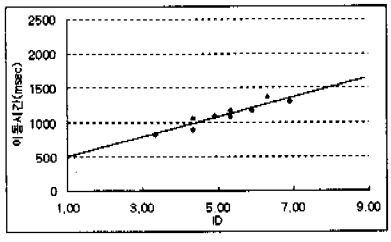
(b) C-D gain = 4.22 인 경우
MT = 133.24 + 194.75·ID, R^2 =0.9428



(c) C-D gain = 7.6 인 경우
MT = 167.97 + 176.72·ID, R^2 =0.8864



(d) C-D gain = 9.5 인 경우
MT = 171.15 + 181.84·ID, R^2 =0.9510



(e) C-D gain = 12.67 인 경우
MT = 357.28 + 145.03·ID, R^2 =0.8693

그림 5. C-D gain 수준 별 Fitts 법칙을 이용한 이동시간 추정

라 같은 난도의 경우라도 이동시간의 차이가 발생하기 때문에 각 C-D gain 수준별인 경우보다 넓게 산포되었으며, 따라서, 난도만을 독립변수로 이동시간을 추정하는 회귀식의 R^2 값이 0.5743으로 크게 감소하였다. 따라서, C-D gain이 고정된 경우에는 Fitts 법칙에서 사용하는 난도만으로도 이동시간 추정에 유용한 모델을 세울 수 있었지만 다양한 C-D gain 조건에서는 난도만으로는 이동시간 추정에 한계가 있다는 것을 알 수 있다.

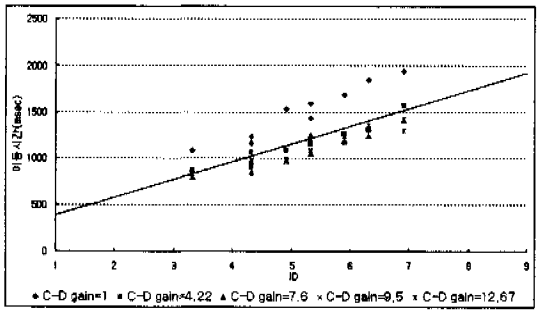


그림 6. 전체 실험 데이터에 대한 Fitts 법칙을 이용한 이동시간 추정

MT = 196.61 + 191.75·ID, R^2 = 0.5743

앞서 표 4의 분산분석을 통해 주인자인 C-D gain, A, W 그리고, C-D gain과 A의 교호작용이 이동시간에 유의한 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 이동작업 시간 추정시 Fitts 법칙에서 A, W는 난도의 형태로 고려해 주고 있다. 따라서, 여러 C-D gain 수준을 가지는 경우 이동시간 추정을 위해 난도 이외에 이동시간에 영향을 미치는 C-D gain 그리고, C-D gain과 A의 교호작용을 고려하여 다음과 같은 이동시간 추정 모델을 제안하고자 한다.

$$MT = a' + c' \cdot (b' \cdot G - A)^2 + d' \cdot ID \quad \cdots\cdots (3)$$

G : C-D gain
ID : Index of Difficulty; $\log_2\left(\frac{2A}{W}\right)$
A : Display target amplitude
W : Display target width

식 (3)는 $c' \cdot (b' \cdot G\text{-}A)^2$ 항과 $d' \cdot ID$항의 두 부분으로 나누어 생각할 수 있다. $d' \cdot ID$ 항은 각 C-D gain 수준에서 Fitts 법칙에 의한 이동시간 추정항이 되고, $c' \cdot (b' \cdot G\text{-}A)^2$ 항은 C-D gain과 A의 교호작용의 효과를 고려해 C-D gain 수준에 따라 이동시간이 2차 함수의 형태를 가질 것으로 기대되어 이동시간 추정 회귀식에 추가한 항이다. 식 (3)에서 A 수준에 따라 이동시간을 최소로 하는 최적의 C-D gain값이 결정된다.

회귀식 추정의 편의를 위해 식 (3)의 $c' \cdot (b' \cdot G\text{-}A)^2$인 부분을 전개하여 각 항의 계수를 구할 수 있도록 회귀식을 다음과 같이 변형하였다.

$$MT = a + b \cdot G^2 + c \cdot G \cdot A + d \cdot A^2 + e \cdot ID \quad \cdots\cdots (4)$$

표 5 는 위 모델을 적용하여 실험 결과로부터 얻어진 회귀분석 결과를 나타낸 것이다.

표 5. 회귀분석을 통한 파라미터 추정결과

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0 : parameter=0	Prob>|T|
Intercept	1	181.538	94.636	1.918	0.0622
C-D gain^2	1	1.722	0.654	2.633	0.0120
A×C-D gain	1	- 0.244	0.042	- 5.791	0.0001
A2	1	0.004	0.001	3.769	0.0005
ID	1	206.608	20.100	10.279	0.0001

표 5의 결과에서 다양한 C-D gain 수준에서 이동시간을 추정하기 위한 모델은 다음과 같다.

$$MT = 181.538 + 1.722 \cdot G^2 - 0.244 \cdot G \cdot A + 0.004 \cdot A^2 + 206.608 \cdot ID$$

$$R^2 = 0.8384 \quad \cdots\cdots\cdots (5)$$

실험 데이터를 이용하여 구한 식 (5)의 이동시간 추정 모델의 R^2 값은 0.8384로 C-D gain 수준이 변화할 때 난도만으로 이동시간을 추정한 Fitts 법칙의 R^2 값 0.5743보다 높게 나왔다. 식 (4)의 이동시간 추정 모델은 C-D gain 수준이 변화할 때 Fitts 법칙 보다 이동시간 추정에 유용하다고 볼 수 있다.

4. 결 론

서론에서 언급한 바와 같이 시스템 성능 향상을 위해서는 입력장치의 최적 C-D gain을 결정해야 하는 것이 중요한 요소이다. 그리고, 최근 컴퓨터의 발달과 더불어 많은 다양한 종류의 작업이 컴퓨터로 이루어지고 있고 이에 적합한 입력장치도 개발되어 사용되고 있다. 따라서, 작업의 난도 또한 다양해지고 있으며 작업 난도에 따른 적정 C-D gain의 결정과 조절은 중요한 문제로 대두되었다. 이 문제를 해결하기 위해서는 먼저 C-D gain과 작업 난도가 작업 수행시간에 미치는 영향을 알아보는 것이 필요하다. 본 연구에서는 가장 보편적인 컴퓨터 입력장치로 사용되는 마우스를 이용해 정량적 평가 방법인 Fitts 법칙의 유용성을 살펴보았고, C-D gain이 이동시간에 미치는 영향을 살펴봄으로써 난도와 C-D gain을 고려한 이동시간 추정 모델을 세울 수 있었다.

본 연구에서 C-D gain을 독립변수로 고려하여 제안한 식 (4)의 이동시간 추정 모델은 수행할 작업의 난도와 표적까지의 거리를 이용하여 최적의 C-D gain 수준을 추정해 볼 수 있는 장점이 있으며, 이를 이용하여 작업 수행시마다 C-D gain을 조절하여 준다면 작업성능 향상을 기대할 수 있다. 각 개별 C-D gain 수준에서 이동시간을 추정하는데 유용한 기존의 Fitts 이동시간 추정 모델을 이용해 작업 조건에 따른 최적 C-D gain 수준을 결정하기 위해서는 표적까지의 거리와 폭에 따라 여러 수준의 C-D gain을 제시하고 각 경우의 이동시간을 측정해야 하지만, C-D gain을 고려한 이동시간 추정 모델은 그러한 불편을 없앨 수 있다는 점에서도 의의를 찾을 수 있다.

지금까지의 결과를 정리해보면 한 수준의 C-D gain에 대해 Fitts 법칙은 이동시간 추정에 유용한 정량적 모델이지만, 여러 수준의 C-D gain에 대해서는 Fitts 법칙에서 고려한 난도만으로는 이동시간 추정에 한계가 있음을 밝혔다. 따라서, 독립변수로 C-D gain을 도입한 이동시간 추정모델을 고려해야 하며, 본 연구에서는 식 (4)와 같은 모델을 제안하였으며, 다양한 C-D gain 수준이 제시되는 경우 C-D gain을 고려하지 않은 Fitts 모델보다는 이동시간 추정에 더 유용한 것으로 나타났다.

본 연구 결과로부터 수행할 작업의 난도 수준에서 최적 C-D gain 수준을 결정함으로써

작업 성능 향상을 기대할 수 있고, 입력장치를 설계 시 다양한 작업 난도 수준에 맞춰 최적 C-D gain을 설정할 수 있도록 C-D gain 수준을 조절할 수 있는 기능을 제공하는 것이 바람직하다고 판단된다.

참고 문헌

Lynn Y. Arnaut & Joel S Greenstein. (1986), Optimizing the touch tablet: The effects of control-display gain and method of cursor control, *Human Factors*, 28(6), 717-726.

Lynn Y. Arnaut & Joel S Greenstein. (1990), Is Display/Control gain a useful metric for optimizing an interface?, *Human Factors*, 32(6), 651-663.

Buck, L. (1980), Motor performance in relation to control-display gain and target width, *Ergonomics*, Vol 23, No. 6, 579-589.

Hoffmann, E. R. & Sheikh, I. H. (1994), Effect of varying target height in a Fitts' movement task, *Ergonomics*, Vol. 36, No. 7, 1071-1088

MacKenzie, I. S. (1991), Fitts' law as a performance model in human-computer interaction, Doctoral dissertation, Univ. of Toronto.

MacKenzie, I. S. (1995), Input devices and interaction techniques for advanced computing. *Virtual environments and advanced interface design*, 437-470.

Lin, M. L, Radwin, G. R. & Vanderheiden, G. C. (1992), Gain effect on performance using a head-contorolled computer input device, *Ergonomics*, Vol 35, No. 2, 159-175.

Sheikh, I. H. & Hoffmann, E. R. (1994), Effect of target shpae on movement time in a Fitts' task, *Ergonomics*, Vol 37, No. 9, 1533-1547.

Walker, N. (1993), Spatial and temporal characteristics of rapid cursor-positioning movements with electromechnical mice in human-computer interaction. *Human Factors*, 35(3), 431-458.

박재희 & 이남식 (1992), 직접조작방식 입력장치의 성능비교, *대한인간공학회*, Vol 11, No. 1, 103-109.

저자 소개

◈ **Kyung-soo Park** received the B.S. degree in Mineral & Petroleum Engineering from Seoul National Univ. in 1965, the M.S. degree in Industrial & Systems Engineering from Univ. of Florida in 1969, and the Ph.D. degree in Industrial & Operations Engineering from Univ. of Michigan in 1973, respectively. Since 1981, he has been with the department of industrial engineering at Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST).

◈ **Bong-kee Koh** is a Ph.D. student of industrial engineering at KAIST. He received the B.S. and M.S. degrees in industrial engineering from KAIST.

◈ **Un-hoi Kim** received the B.S. degre Industrial Engineering from Se National Univ. in 1986, the M.S. deg in Industrial Engineering from KAIST 1989 and the Ph.D. degrees in Indus Engineering from KAIST in 1998. Si 1994, he has been with the departmen industrial engineering at Daeduk colle

논문접수일(Date Received): 2000/11/30
논문게재승인일(Date Accepted): 2000/12/30