

목표점 선택작업에서 등력성 발 마우스의 최적 반응—조종이득

이경태^{1*} · 장필식² · 이동현¹

¹대불대학교 산업정보공학과 / ²대불대학교 컴퓨터공학과

Optimal Display-Control Gain of the Foot-Controlled Isotonic Mouse on a Target Acquisition Task

Kyung-Tae Lee¹ · Phil-Sik Jang² · Dong-Hyun Lee¹

¹Department of Industrial Information Engineering, Daebul University, YoungAm, 526-702

²Department of Computer Engineering, Daebul University, YoungAm, 526-702

The increased use of computers has introduced a variety kind of human-computer interfaces. Mouse is one of the useful interface tools to place the cursor on the desired position on the monitor. This paper suggested a foot-controlled isotonic mouse which was similar to the ordinary hand-controlled mouse except that positioning was controlled by the right foot and the clicking was performed by the left foot. Experimental results showed that both the index of difficulty(IOD) and the display-control gain(DC gain) varied the total movement time in a target acquisition task on the monitor. The present authors also drew the optimal display-control gain of the foot-controlled isotonic mouse over the index of difficulty of 1.0 to 3.0. The optimal display-control gain, i. e., 0.256, could be used when designing a foot-controlled isotonic mouse.

Keyword: human-computer interface, index of difficulty, foot-controlled mouse, DC gain, positioning

1. 연구 배경과 목적

컴퓨터의 연산 수행속도가 놀랄 만큼 빨라짐에 따라 컴퓨터와 인간이 정보를 교환하는 인터페이스 부분은 상대적으로 병목화되고 있다. 이에 따라 인간과 컴퓨터의 인터페이스 효율성을 연구하는 인간-컴퓨터 인터페이스 분야는 날이 갈수록 그 중요성이 더해가고 있다. 여러 가지 인간-컴퓨터 인터페이스 도구 가운데 모니터 상에 위치정보를 주는 도구로 사용되고 있는 마우스는 English *et al.*(1967)에 의해 개발되었고 그 후 많은 연구가들이 그 효율성과 특성을 연구하였다.

English *et al.*(1967)은 마우스, 조이스틱(joystick), 전위차계 조

종장치('Grafacon' potentiometer), 라이트 펜(light pen)에 대해 컴퓨터 화면 상의 글자나 단어를 선택하는 작업의 수행속도를 측정하였으며, 숙련자나 비숙련자 모두 다른 도구보다 마우스를 사용할 때 가장 빠르게 작업을 수행한다고 보고하였다. Card *et al.*(1978)은 마우스, 조이스틱, step keys, text keys를 대상으로 다양한 크기와 거리를 갖는 문자열(text targets)에 대하여 위치선정작업(pointing)의 수행시간을 측정하였다. 그 결과, 마우스를 사용하는 경우 가장 빠르게 위치선정작업을 할 수 있었고, Fitts' Law(1954)로 해석한 결과 작업 난이도는 수행시간 총변동의 66%를 설명한다고 보고하였다.

이외에도 여러 연구에서 여러 입력장치들에 대하여 위치선

*연락처 : 이경태 교수, 526-702, 전라남도 영암군 삼호읍 대불대학교 산업정보공학과, Fax : 061-469-1265,

E-mail : ktlee@mail.daebul.ac.kr

2003년 8월 접수, 1회 수정 후 2004년 1월 게재 확정.

정작업의 수행시간을 실험적으로 비교하였다. Goodwin(1991)은 3종류의 위치선정작업에 대하여 라이트 건(light gun)과 키보드의 수행성능을 비교하였다. Epps *et al.*(1986)은 컴퓨터 화면상에 있는 목표선택(acquisition)작업에서 6개의 입력장치(마우스, 절대좌표 터치 패드, 상대좌표 터치 패드, 트랙 볼(track ball), 등력성 조이스틱, 등척성 조이스틱)의 작업 수행속도를 비교 분석하였다. Karat *et al.*(1986)은 메뉴 선택작업을 대상으로 터치 패널, 마우스, 키보드의 효율성을 조사하였다. Mackenzie *et al.*(1991)은 위치선정 및 끌기작업(dragging)에서 마우스, graphic tablet, 트랙 볼의 수행속도를 연구하였다.

이들 연구결과의 공통점은 위치선정작업에서 마우스가 가장 빠른 수행시간을 보인다는 것이다. 이와 같이 위치선정작업에서 마우스가 빠른 수행속도를 보이므로, 본 연구에서는 현재 기본 인터페이스 도구로 사용되고 있는 일반 마우스(손 마우스)를 변형하여 발로 위치선정을 할 수 있는 등력성 발 마우스를 제작하였으며, 그 동작특성을 파악하여 하나의 인터페이스 대안으로 제시하고자 한다.

발 마우스로 위치선정작업을 하게 되면, 1) 손을 쓸 수 없는 장애인에게 유용한 대안이 될 수 있으며, 2) 정상인들의 경우는 발로 위치선정작업을 하면서 동시에 손으로는 다른 작업을 할 수 있는 가능성을 제공한다.

조종장치는 그 조종특성에 따라 위치변화로 조종하는 등력성 조종장치(변위 조종장치)와, 가해지는 힘의 크기에 비례하여 표시장치가 조종되는 등척성 조종장치로 구분할 수 있다. 일반 손 마우스는 등력성 조종장치에 해당된다고 할 수 있으며, 본 연구에서도 등력성 조종특성을 갖는 발 마우스의 최적 반응-조종 이득값을 구하고자 한다.

등력성 마우스 사용 시 동작을 구분하면, 이동동작과 조종동작으로 구분되어 진다. 이동동작은 이동하고자 하는 목표점 근처까지의 거친 동작으로 움직이는 것이며, 이동동작 이후에 수반되는 조종동작은 목표점 근처에서 목표점에 도달하게 하는 미세한 동작을 말한다. 마우스의 조종장치와 표시장치의 관계는 표시장치에 나타난 목표점의 거리와 조종장치의 이동거리의 비로써 나타내며, 이는 반응-조종 이득이라고 알려져 있다.

목표점 근처까지 움직이는 시간을 줄이는 데에는 큰 반응-조종 이득이 유리하고, 그 후 정확한 목표점에 도달하는 데는 작은 반응-조종 이득이 유리하다. 최적 반응-조종 이득은 이동동작 시간과 조종동작 시간의 합으로 표현되는 총수행시간이 최소화되는 이득 지점이다. 본 실험에서는 윈도우 기반의 컴퓨터 화면 상에서 아이콘이나 메뉴 선택작업 시 나타나는 작업 난이도(Index of Difficulty, IOD) 영역 1.0~3.0에 대해 최적 반응-조종 이득값을 실험적으로 구하여 제시하고자 한다.

작업 난이도 영역을 3.0 이하로 선정한 이유는 다음과 같다. 화소 단위로 조종해야 하는 그래픽 작업을 제외한다면 윈도우 기반의 프로그램에서 나타나는 아이콘이나 펼친 메뉴의 크기는 대부분 7mm 이상이다. 따라서 커서의 평균 이동거리가 270

mm이라면 Fitts의 식에 의해(<식 1>) 작업 난이도는 3.0을 넘지 않으므로 본 연구에서는 최대 작업 난이도를 3.0으로 정하였다. 또한 문자나 아이콘, 메뉴 선택 등의 작업 난이도를 계산하면 1.0 이상이므로 본 연구에서는 최소 작업 난이도를 1.0으로 하였다. 따라서 작업 난이도 영역 1.0 ~ 3.0은 윈도우 기반의 프로그램 사용 시 나타나는 대부분의 작업 난이도를 포함하고 있다고 할 수 있다.

본 연구에서는 작업 난이도 1.0 ~ 3.0 사이에서 최적 반응-조종 이득값을 실험적으로 구하여 제시하고자 한다. 이렇게 구한 최적 반응-조종 이득값은 발 마우스를 디자인 할 때 유용한 설계지침이 될 수 있으며, 이는 등력성 발 마우스를 사용하여 위치선정작업을 하는 경우 작업효율을 높이는 데 도움을 줄 수 있을 것이다.

$$IOD = \log_2 \frac{2A}{W} \quad (1)$$

W : 목표점의 지름

A : 홈 중심에서 목표점 중심까지의 거리

2. 실험장비 구성

본 연구는 윈도우 기반의 아이콘이나 메뉴 선택작업 시 컴퓨터 화면 상에서 나타날 수 있는 작업 난이도(1.0 ~ 3.0)에 대하여 등력성 발 마우스의 최적 반응-조종 이득을 실험적으로 구하고자 한다. 실험에 사용될 시스템 구성도는 <그림 1>과 같고 발 마우스는 <그림 2>와 같다.

<그림 2>에서 보는 바와 같이 등력성 발 마우스는 크게 두 부분으로 이루어져 있다. 오른쪽에 있는 페달 밑에는 광 마우스(optical mouse)가 달려 있어서 오른 발을 움직여 위치선정을 할 수 있다. 왼쪽에 있는 타원형 페달에는 왼쪽 발을 올려놓고 사용하는데, 이 페달은 일반 손 마우스에 달린 2개의 스위치 기능과 같은 기능을 담당한다. 즉, 왼쪽 페달 발 앞꿈치 쪽을 누르면 손 마우스의 왼쪽 스위치가 눌러지는 것과 같은 기능을 하며, 뒤꿈치 쪽을 누르면 손 마우스의 오른쪽 스위치가 눌러지는 것과 같은 기능을 한다. 발 마우스는 손 마우스와 달리 발가락으로 스위치를 조작하기 곤란하므로 왼쪽 페달을 스위치로 사용하는 것은 유용한 대안이라고 할 수 있다(Lee and Jang, 2000).

등력성 발 마우스를 사용하여 최적 반응-조종 이득값을 제시한 첫 번째 연구는 Lee and Jang(2000)이다. 이 연구에서는 바닥에 놓인 발 마우스 위에 발을 올려놓고 밀거나 당겨 조종하였는데 마우스와 바닥과의 미끄럼 마찰계수가 0.47이었다. 여기에 약 11kg 중의 오른발을 올려놓고 조종하므로 발 마우스를 미세하게 조종하기가 곤란하였다. 따라서, 본 연구에서는 발 마우스의 밑면에 지름 20 mm의 캐스터(360° 방향으로 자유롭게 회전하는 바퀴) 4개를 오른발용 페달 네 모서리 부분에

부착하였다(<그림 3> 참조). 이렇게 하여 미끄럼 마찰을 굴림 마찰로 바꾸어 쉽게 위치선정을 할 수 있도록 개선하였다. 본 실험에 사용된 발 마우스의 굴림 마찰계수는 0.09이다.

피실험자는 <그림 2>의 등력성 발 마우스에 양발을 각각 올려놓고 사용한다. <그림 4>는 본 실험에서 사용하는 등력성 발 마우스의 실제 사용 예를 보여주고 있다.



그림 1. 시스템 구성도.



그림 4. 등력성 발마우스 사용 예.

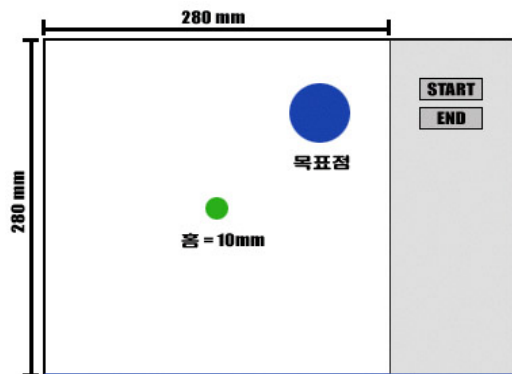


그림 5. 실험화면.



그림 2. 등력성 발마우스(왼쪽은 클릭용 페달, 오른쪽은 위치선정용 페달).

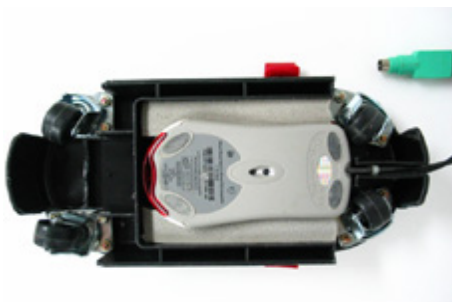


그림 3. 오른발 페달 밑면 사진(가운데에 광 마우스, 네 모퉁이에 캐스터).

3. 예비실험

예비실험에 참가한 5명의 피실험자는 모두 컴퓨터 사용경험이 3년 이상이고 나이는 20~30세의 남자이다. 각 피실험자는 등력성 발 마우스에 익숙해지도록 30분 정도의 학습을 매일 3차례씩 시행하였으며 이 과정을 7일 동안 계속하였다. 즉, 7일 동안 총 630분(각 30분씩 21회)의 학습을 하였으며 각 학습에서 반응-조종 이득값을 변화시켜가며 등력성 발마우스의 동작 특성에 적응하도록 하였다.

수행한 작업은 다음과 같다. 반응-조종 이득 7 수준(0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1.0, 1.5) 각각에 대해 작업 난이도 1.0~3.0 범위의 목표점(원)을 무작위로 생성하여 화면에 나타나도록 하면 피험자는 가능한 한 빨리 오른발 페달을 사용하여 커서를 목표점으로 옮기고 왼발 페달을 사용하여 클릭한다. 수행시간은 목표점이 나타난 후 클릭하기까지 걸리는 시간이다.

피실험자가 충분히 학습하였는지를 파악하기 위해 각 학습 후 작업 수행시간을 측정하였다. 수행시간 측정은 매 학습 후 해당 반응-조종 이득값에서 작업 난이도 1.0~3.0을 갖는 목표점 40개를 무작위로 생성하여 수행시간을 측정하였다.

5명의 피실험자 모두 약 4일이 지난 후부터는 학습곡선이 안정화되었으나 충분한 학습이 이루어지도록 7일까지 학습을 계속하였다. 이렇게 학습곡선이 안정화된 피실험자 5명이 모두 본 실험에 참여하였다.

4. 실험계획 및 실험

본 실험은 반응-조종 이득값과 작업 난이도의 변화에 따른 수행시간의 변화를 알아보기 위한 것이다. 앞 장에서 설명한 등력성 발 마우스 사용을 학습한 5명의 피험자가 본 실험에 참가하였다. 고려한 요인은 반응-조종 이득값, 작업 난이도, 피실험자이며 관측변수는 수행시간이다.

반응-조종 이득값 수준은 등력성 발 마우스의 동작특성을 잘 파악할 수 있도록 가능한 넓은 범위를 고려하였는데, 예비 실험을 통하여 7 수준을 채택하였고 그 값은 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1.0, 1.5이다. 실험에 채택한 반응-조종 이득값 영역 중 0.1 ~ 0.5 사이에서는 그 간격을 0.1 단위로 정밀하게 채택한 이유는 예비 실험결과 이 영역에서 최적 반응-조종 이득값이 존재할 것이라고 예상했기 때문이다.

작업 난이도는 1.0, 1.7, 2.3, 3.0의 4 수준으로 하였다. 작업 난이도를 1.0 ~ 3.0으로 한정된 이유는 앞에서 설명한 바와 같이 원도우 기반에서 아이콘, 메뉴, 또는 문자선택을 하는 작업의 경우 최대 작업 난이도가 3.0 이하이기 때문이다.

실험순서는 다음과 같다. 먼저 반응-조종 이득값과 피험자를 임의로 선택하고, 피실험자는 <그림 1>과 같이 실험 시스템 앞에 앉아 오른발은 오른쪽 페달에, 왼발은 왼쪽 페달에 놓는다. 모니터 상에 <그림 5>와 같은 화면이 나타난다. <그림 5>의 가로 280 mm × 세로 280 mm 인 정사각형 부분이 작업영역이며 오른쪽 회색 직사각형 부분은 실험의 시작과 끝을 제어하는 제어영역이다. 작업영역 한 가운데에 시작점, 즉 홈(home)이 있으며 홈의 지름은 10 mm이다.

<그림 5>의 오른쪽 부분에 있는 시작 버튼(START)을 누르면 실험이 시작된다. 피실험자가 오른발로 발 마우스로 움직여 커서를 홈 위치에 놓고 왼발로 왼쪽 페달 발꿈치 부분을 눌렀다 때는 순간 실험 소프트웨어가 4개의 작업 난이도 가운데 임의로 1개를 생성하고 이 값을 바탕으로 목표점(원)의 지름(W)과 홈과 목표점 간의 거리(A)를 계산하여 작업화면 상에 표시한다. 목표점은 홈을 기준으로 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315° 중의 임의의 한 방향에서 표시된다. 이렇게 목표점이 화면 상에 나타나면 피실험자는 오른쪽 페달을 사용하여 가능한 한 빨리 커서를 목표점 안으로 옮기고 왼쪽 페달 앞꿈치를 눌러 클릭한다.

관측변수는 수행시간이다. 수행시간은 <그림 5>의 홈 안에 커서가 놓인 상태에서 왼발 끝을 눌렀다 때는 순간(이때 목표점이 화면에 나타난다)부터 피실험자가 오른쪽 페달을 사용하여 가능한 한 빨리 커서를 목표점(원) 안으로 이동하고 왼쪽 페달 앞꿈치를 눌러 클릭할 때까지이다. 실험 프로그램은 Visual Basic으로 작성하였으며, 매 시행마다 반응-조종 이득값, 피험자, 작업 난이도, 수행시간이 프로그램에 의해 자동으로 저장되도록 하였으며, 수행시간은 1/1000 초 단위로 측정하였다.

목표점(원)은 다음과 같은 절차로 프로그램에 의해 자동 생성된다. 먼저 4개의 작업 난이도(1.0, 1.7, 2.3, 3.0) 중의 하나가

임의로 선택된다. 그 후 홈의 중심과 목표점 중심 간의 거리(A)는 최소 20mm, 최대 80mm 범위 내에서 무작위로 선택된다. 이렇게 선택된 작업 난이도와 A값을 바탕으로 식 (1)을 만족하는 목표점의 지름(W)이 결정된다.

본 실험계획은 1차 단위가 이원배치법인 단일 분할법(split plot design)이다. 즉, 반응-조종 이득과 피험자가 1차 단위이고 작업 난이도는 2차 단위이다. 작업 난이도(4 수준)를 2차 단위로 놓은 이유는 실험조건을 실제 컴퓨터 사용 시와 유사하도록 하기 위함이다. 즉, 실제 컴퓨터 작업을 할 때 작업자가 작업 난이도를 임의로 선택할 수는 없다. 따라서, 본 연구에서도 피험자가 작업 난이도를 선택하는 것이 아니라 프로그램 상에서 1.0 ~ 3.0 범위에서 무작위로 주어지도록 하였다. 즉, 임의의 반응-조종 이득값과 임의의 피험자를 선택하여 실험을 시작하면, 그 조합에서 작업 난이도 4수준 중 하나가 프로그램 상에서 무작위로 선택되어 해당 목표점(원)이 화면에 나타나고 피험자는 이를 수행한다. 작업 난이도 4 수준이 모두 선택될 때까지 계속한다.

반복은 각 조합당 48회씩 시행되도록 하였다. 따라서 총 시행횟수는 6720회(반응-조종 이득 7수준 × 작업 난이도 4수준 × 피험자 5명 × 반복 48회)이다.

5. 실험결과 및 분석

본 실험의 목적은 반응-조종 이득값과 작업 난이도가 수행시간에 영향을 줄 것이라는 것을 검증하고 이로부터 1.0 ~ 3.0 사이의 작업 난이도에 따른 최적 반응-조종 이득값을 구하는 것이다.

반응-조종 이득, 작업 난이도, 피험자 조합에 대한 등력성 발 마우스의 수행시간에 대한 기초통계량은 <표 1>에서 볼 수 있다. 전체적으로, 동일한 작업난이도에서는 반응-조종 이득 0.3 근처에서 평균 수행시간이 가장 적음을 알 수 있다.

반응-조종 이득과 작업난이도가 수행시간에 영향을 주는 지를 통계적으로 검증하기 위하여 분산분석을 행하였다. 실험 계획에서 밝힌 바와 같이 분할법에 의한 분산분석을 행하였다. <표 2>는 개체-내 효과검정에 대한 분산분석이다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 작업 난이도 변화는 수행시간에 영향을 미친다고 할 수 있으며($P < 0.05$), 이는 예상한 바와 같다. 개체-간 효과에 대한 분산분석은 <표 3>에 나와 있다. 이 분석결과에서도 예상한 바와 같이 반응-조종 이득, 피험자 및 그 교호작용이 유의함을 알 수 있다($P < 0.05$). 결론적으로, 반응-조종 이득, 작업 난이도, 피험자 모두 수행시간에 영향을 준다고 할 수 있다. 피험자 간에도 수행시간의 차이를 보였으나 본 연구의 목적이 피험자 간 수행시간의 차이를 알아보는 것이 아니기 때문에 이를 해석하지 않기로 한다.

관심있는 두 요인인 반응-조종 이득, 작업 난이도, 그리고 그 교호작용이 수행시간에 영향을 준다고 할 수 있으므로 이

두 요인과의 각 조합에 대한 신뢰구간 추정은 의미 있는 일이다. 이들 조합의 수행시간에 대한 95% 신뢰구간이 <표 4>에 나와 있다. 작업 난이도별로 반응-조종 이득값 변화에 따른 수행시간의 변화 경향을 알아보면 <그림 6>과 같다. <그림 6>

표 1. 등력성 발 마우스의 수행시간에 대한 기초통계량

(단위 : msec)

			반응-조종 이득															
			0.1		0.2		0.3		0.4		0.5		1.0		1.5		합계	
			평균	s.d	평균	s.d	평균	s.d	평균	s.d	평균	s.d	평균	s.d	평균	s.d	평균	s.d
작업 난이도	1.0	피험자1	879	112	854	97	758	63	791	99	871	119	845	179	849	168	835	131
		피험자2	866	112	784	89	720	76	769	60	802	137	1019	190	1003	163	852	166
		피험자3	768	93	801	89	709	78	830	100	750	87	884	128	969	232	816	149
		피험자4	827	120	804	62	719	81	808	99	803	112	1023	289	1224	423	887	264
		피험자5	793	92	793	85	701	69	813	84	845	138	988	183	1349	422	897	277
		합계	826	114	807	88	721	76	802	91	814	126	952	212	1079	353	857	209
	1.7	피험자1	986	127	1015	176	869	93	1035	220	983	170	1086	233	1059	265	1005	201
		피험자2	957	145	934	141	839	133	903	94	996	205	1242	256	1170	270	1006	231
		피험자3	891	138	960	166	784	92	928	124	945	212	1047	201	1205	324	966	227
		피험자4	1034	180	950	122	822	110	945	160	1032	256	1266	350	1644	519	1099	376
		피험자5	916	134	916	129	857	106	991	153	999	221	1406	354	1622	451	1101	369
		합계	957	153	955	151	834	111	960	162	991	215	1209	312	1340	449	1035	296
	2.3	피험자1	1190	153	1130	181	1000	155	1222	229	1221	310	1228	297	1321	421	1187	279
		피험자2	1087	129	1055	155	1073	204	1117	189	1225	304	1496	442	1512	478	1224	351
		피험자3	1026	149	1107	161	944	153	1170	235	1232	328	1483	429	1648	460	1230	378
		피험자4	1211	249	1095	184	972	123	1236	230	1220	286	1699	484	1973	687	1344	493
		피험자5	1093	173	1057	178	928	139	1124	174	1158	223	1535	415	2371	757	1324	584
		합계	1121	187	1089	173	984	164	1174	217	1211	291	1488	442	1765	682	1262	435
	3.0	피험자1	1306	188	1300	199	1250	269	1372	273	1600	513	1533	380	1655	452	1431	374
		피험자2	1241	156	1388	262	1165	217	1342	343	1425	394	1837	531	1977	575	1482	474
피험자3		1123	160	1278	244	1053	176	1303	259	1689	434	1627	476	2119	669	1456	518	
피험자4		1299	229	1251	234	1183	225	1454	287	1775	453	1898	547	2497	786	1622	618	
피험자5		1230	184	1241	275	1120	177	1282	307	1369	380	2534	763	2860	915	1662	833	
합계		1240	195	1292	248	1154	223	1351	299	1572	460	1886	652	2222	809	1531	591	
합계			1036	162	1036	165	923	144	1072	192	1147	273	1384	404	1601	573	1171	383

표 2. 분산분석표(개체-내 효과검정)

요인	제III 유형 제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
작업난이도	4.28×10^8	3	1.43×10^8	3373.0	0.000
작업 난이도 × 반응-조종 이득	6.63×10^7	18	3.68×10^6	96.5	0.000
작업 난이도 × 피험자	4.48×10^6	12	3.73×10^5	9.78	0.000
오차(작업 난이도)	1.91×10^8	5007	38174		

표 3. 분산분석표(개체-간 효과검정)

요인	제III 유형 제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
Intercept	9.22×10^9	1	9.22×10^9	36081.3	0.000
반응-조종 이득	3.25×10^8	6	5.42×10^7	212.2	0.000
피험자	2.30×10^7	4	5.76×10^6	22.5	0.000
반응-조종 이득 × 피험자	9.30×10^7	24	3.88×10^6	15.2	0.000
오차	4.20×10^8	1645	255502		

에서 보는 바와 같이 작업 난이도가 높을수록 수행시간이 커짐을 알 수 있으며 이는 예상과 일치한다.

또한, 최적 반응-조종 이득값과 수행시간과의 관계는 전체적으로 반응-조종 이득값이 0.1에서 0.3까지 증가함에 따

라 수행시간은 감소하다가, 반응-조종 이득값 0.3부터는 수행시간이 점차 증가하는 경향을 보인다. 이는 본 실험에서 고려한 작업 난이도 1.0 ~ 3.0 범위 안에 포함되는 아이콘이나 메뉴 선택 작업에서는 등력성 발 마우스의 최적 반응-조종 이

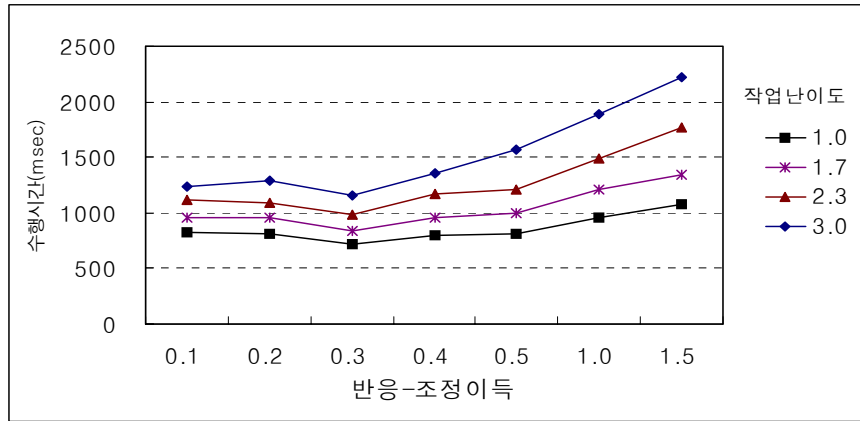


그림 6. 작업 난이도와 반응-조종 이득 변화에 따른 수행시간 변화 경향.

표 4. 반응-조종 이득값과 작업 난이도 조합에서의 신뢰구간

DC Gain	IOD	평균	표준오차	신뢰구간	
				하한값	상한값
0.1	1.0	826.268	10.349	805.970	846.566
	1.7	956.667	14.460	928.305	985.028
	2.3	1121.034	20.748	1080.339	1161.730
	3.0	1239.972	26.869	1187.270	1292.673
0.2	1.0	807.064	10.349	786.767	827.362
	1.7	954.923	14.460	926.562	983.285
	2.3	1088.810	20.748	1048.115	1129.506
	3.0	1291.572	26.869	1238.870	1344.273
0.3	1.0	721.240	10.349	700.942	741.538
	1.7	834.100	14.460	805.738	862.461
	2.3	983.569	20.748	942.873	1024.264
	3.0	1154.141	26.869	1101.439	1206.843
0.4	1.0	802.086	10.349	781.789	822.384
	1.7	960.308	14.460	931.947	988.670
	2.3	1173.719	20.748	1133.024	1214.415
	3.0	1350.747	26.869	1298.045	1403.449
0.5	1.0	814.271	10.349	793.973	834.569
	1.7	991.186	14.460	962.824	1019.547
	2.3	1211.186	20.748	1170.490	1251.881
	3.0	1571.792	26.869	1519.090	1624.494
1.0	1.0	951.910	10.349	931.612	972.208
	1.7	1209.440	14.460	1181.079	1237.802
	2.3	1488.087	20.748	1447.391	1528.782
	3.0	1885.903	26.869	1833.201	1938.605
1.5	1.0	1078.896	10.349	1058.598	1099.193
	1.7	1339.751	14.460	1311.389	1368.112
	2.3	1765.136	20.748	1724.441	1805.832
	3.0	2221.558	26.869	2168.856	2274.260

득값이 0.3 근처에 존재하는 것을 알 수 있다.

실험 전에는 작업 난이도가 달라지면 최적 이득값이 달라질 것으로 예상했으나 윈도우 환경하에서 나타날 수 있는 작업 난이도 1.0 ~ 3.0 범위에서는 <그림 6>에서 보는 바와 같이 작업 난이도가 달라져도 최적 반응-조종 이득값의 변화는 민감하지 않았다. 다만, 작은 작업 난이도 경우보다 큰 작업 난이도에서는 수행시간이 반응-조종 이득값의 변화에 민감하게 반응하는 경향을 보임을 알 수 있다(<그림 6>).

대부분의 컴퓨터 모니터 상에서 위치선정작업을 하는 경우 작업 난이도 자체는 작업자가 선택하는 것이 아니라 일정 범위 내에서 주어지는 것이라고 할 수 있다. 따라서 작업난이도 별로 따로따로 최적 반응-조종 이득값을 제시하는 것보다는 본 실험에서 고려한 작업난이도 전 범위(1.0 ~ 3.0)에 대해 최적 반응-조종 이득값을 제시할 필요가 있다. <표 5>는 작업 난이도 1.0 ~ 3.0 영역에 대해 반응-조종 이득값에 따른 평균 작업 수행시간을 나타낸다.

<표 5>에서 최적 반응-조종 이득값은 0.1 ~ 0.5 사이에 존재함을 알 수 있으며, 이는 사전실험을 통해 예상한 바와 일치한다. 최적 반응-조종 이득값을 추정하기 위해 반응-조종 이득 0.1부터 0.5까지의 범위에서 수행시간에 대한 회귀식을 구하면 식 (2)와 같으며 이 식은 수행시간의 변동을 73.5%까지 설명해 주고 있다($R^2=0.735$).

$$\text{수행시간(msec)} = 174.6 - 1539(\text{DC Gain}) + 3007(\text{DC Gain})^2 \quad (2)$$

식 (2)를 최소로 하는 반응-조종 이득이 최적 반응-조종 이득값이라고 할 수 있으며 이 값은 0.256이다. 따라서, 작업 난이도 1.0 ~ 3.0 범위 내에서 최소 수행시간을 갖는 등력성 발 마우스의 최적 반응-조종 이득값은 0.256이라고 할 수 있다.

앞에서 설명한 바와 같이 윈도우 환경하에서 마우스를 사용하여 메뉴나 아이콘, 또는 텍스트 위치선정을 하는 경우의 작업 난이도는 1.0 ~ 3.0 사이에 있다. 이런 환경하에서 작업할 때 반응-조종 이득값 0.256은 최소 수행시간을 갖는 최적 반응-조종 이득값이라고 할 수 있다.

6. 결론

컴퓨터의 빠른 연산속도에 대해 컴퓨터와 인간이 정보를 교환하는 인터페이스 부분은 상대적으로 느리기 때문에 그 인터페이스의 효율성을 연구하는 인간-컴퓨터 인터페이스 분야는

날이 갈수록 그 중요성이 더해가고 있다.

인간-컴퓨터 인터페이스 도구 중 마우스는 컴퓨터 화면상의 위치를 선정한 후 선택(클릭)하는 매우 직감적이며 신속한 인터페이스이며, English 등 많은 연구자들의 연구에 따르면 위치선정작업에서 마우스는 다른 인터페이스 도구보다 빠른 수행시간을 보였다.

본 연구에서는 일반 손 마우스의 대안으로 손 마우스의 동작특성과 유사한 등력성 발 마우스를 제작하고 그 최적 반응-조종 이득을 실험을 통해 제시하였다. 화소 단위로 조종해야 하는 그래픽 작업을 제외하고, 아이콘이나 메뉴 선택을 하는 대부분의 윈도우 기반 프로그램에서의 작업 난이도는 3.0 이하이므로 본 연구에서 선정한 작업 난이도 영역 1.0 ~ 3.0은 실제적으로 자주 나타나는 작업 난이도를 대부분 포함한다고 할 수 있다.

본 연구는 이런 작업환경하에서 반응-조종 이득값을 0.1부터 1.5까지 변화시켜가며 작업 수행시간을 최소화하는 최적 반응-조종 이득값을 실험적으로 구하였고, 이로부터 반응-조종 이득값에 따른 수행시간을 예측하였다(<식 2>). 본 연구에서 제시하는 최적 반응-조종 이득값은 작업 난이도 1.0 ~ 3.0 범위에서는 0.256이다.

실험 전에는 작업 난이도가 달라지면 최적 반응-조종 이득값이 달라질 것으로 예상했으나 윈도우 환경하에서 나타날 수 있는 작업 난이도 1.0 ~ 3.0 범위에서는 <그림 6>에서 보는 바와 같이 작업난이도가 달라져도 최적 반응-조종 이득값의 변화는 민감하지 않았다. 따라서 컴퓨터 화면 상에서 작업 난이도가 3.0 이하인 아이콘이나 문자열, 메뉴 선택작업 등을 등력성 발 마우스를 사용하여 작업하는 경우에는 반응-조종 이득값을 0.256으로 선정하여 작업할 것을 추천한다. 이 기준은 등력성 발 마우스를 사용하는 경우에 작업효율을 극대화할 수 있는 설계기준으로 사용될 수 있을 것이다. 특히 손을 쓸 수 없는 장애인의 경우 유용한 인터페이스 대안이 될 수 있을 것이다.

참고문헌

Card, S.K., English, W. K. & Burr, B. J. (1978), Evaluation of mouse, rate-controlled isotonic joystick, step keys, and text keys for selection on a CRT, *Ergonomics*, 21, 601-613.
 English, W.K., Engelbart, D.C., & Berman, M. L. (1967), Display-selection techniques for text manipulation, *IEEE Transactions on Human Factors in*

표 5. 작업 난이도 1.0~3.0 범위에서 반응-조종 이득값에 따른 등력성 발 마우스의 평균 수행시간.

	반응-조종 이득						
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1.0	1.5
수행시간 (단위: msec)	1036	1034	923	1071	1150	1379	1601

- Electronics*, HFE, 8(1), 5-15.
- Epps, B.W., Synder, H.L., & Muto, W.H. (1986), Comparison of six cursor control devices on a target acquisition task, *Proceedings of the Society for Information Display*, 302-305.
- Epps, B.W. (1986), Comparison of six cursor control devices on Fitts' law models, *Proceedings of the 30th Annual Meeting of the Human Factors Society*, Santa Monica, CA, 327-331.
- Fitts, P.M.(1954), The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Attitude of Movement, *Journal of Experimental Psychology*, V, 47.
- Karat, J., MacDonald, J.E., & Anderson, M. (1986), A Comparison of menu selection techniques: touch, panel, mouse, and keyboard, *International Journal of Man-Machine Studies*, 25, 73-88.
- Lee, K. T. and Jang, P. S. (2000), Optimal DC Gain in the Foot-controlled Mouse, *Proceeding of the 2000 Spring Conference of ESK and International Ergonomics Symposium*, Kyungju, Korea, 270 -273.
- MacKenzie, I.S., Sellen, A., & Buxton, W. (1991), A Comparison of input devices in elemental pointing and dragging tasks, *Proceedings of the CHI'91 Conference on Human Factors in Computing Systems*, 161-166.
- Goodwin (1991), N. C., Cursor Position on an Electronic Display Using Lightgun, or Keyboard for Three Basic Tasks, *Human Factors*, 17(3), 289-298.



이경태

전남대학교 산업공학과 학사
한국과학기술원 산업공학과 석사
한국과학기술원 산업공학과 박사
현재: 대불대학교 e-비즈니스학부 산업정보공학과 교수
관심분야: HCI, 작업관리, 작업안전



이동현

대불대학교 산업공학과 학사
현재: 대불대학교 산업공학과 석사 과정
관심분야: HCI, MMI



장필식

서울대학교 조선공학과 학사
한국과학기술원 산업공학과 석사
한국과학기술원 산업공학과 박사
현재: 대불대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야: HCI, 음성인식, 시스템 개발