■ 研究論文

Journal of the Human Engineering Society of Korea
Vol.11, No.1, 1992

직접조작방식 입력장치의 성능비교

Evaluating the Performance of Direct Manipulation Input Devices

박 재 희* · 이 남 식*

ABSTRACT

Direct manipulations are composed of pointing operations and dragging operations. In order to find the optimum design parameters (such as C/D ratio, moving direction) for the direct manipulation of a GUI(Graphical User Interface), an ergonomic experiment was devised (2×4×3×8 design) to measure the performance of a mouse(Microsoft) and a trackball (Logitech). The results showed that the mouse was more suitable for the direct manipulation (expecially for the dragging operation) than the trackball, and the suitable C/D ratio was 10 (for the mouse) and 16 (for the trackball). Also the movement direction was a determinant factor in trackball performance.

1. 서 론

컴퓨터의 발전과 더불어 입력장치도 계속적으로 새로운 것들이 개발되어 왔다. 라이트펜, 타블렛, 조이스틱, 마우스등 매우 다양한 입력장치들이 각각의 특성을 갖고 인터페이스 설계 시에 선택되어지고 있다. 특히 최근들어 Graphical User Interface(GUI) 개념의 확산은 지금까지 명령어를 입력하던 방법에서, 화면의 메뉴나, 아이콘 등을 직접조작하여 작업을 수행하는 방식으로 급격히 그 추세가 변경되고 있다. 이에 따라 마우스나 트랙볼 등과 같은 직접조작 방식의 입력장치들이 가장 범용적으로 사용되게 되었다.

컴퓨터를 이용해 수행하려는 작업의 형태에 따라 입력장치의 성능을 비교 분석하는 분야는 Human Computer Interaction(HCI)의 중요한 연구과제로 다루어져왔다. Card등은 CRT상에서의 문장을 선택하는 작업에 대해 마우스, 조이스틱, 텍스트키, 스텝키 등 네 개의 입력장치를 비교 분석하여 마우스의 성능이 가장 우수함을 밝혔다[1]. Gillan 등은 마우스를 사용한 Pointing과 Dragging작업에 대한 성능실험을 실시하여 그 차이를 비교하고, Dragging작업의 특성을 밝혔다[5]. MacKenzie 등은 마우스, 트랙볼, 타블렛 등 세 개의 입력장치를 Pointing과 Dragging 두 작업에 대해 비교 분석하였다. 그 결과 마우스와 타블렛이 Pointing 작업에서 우수한 것으로 나타났으며, Dragging 작업에서는 Drop에러가 상대적으로 적은 타블렛이

* 한국표준과학연구원, 인간공학연구실

마우스나 트랙볼에 비해 우수한 것으로 나타났다[7]. Han등은 Macintosh 환경 하에서 4 형태의 마우스의 사용성평가를 하는 실험을 수행하였다[6]. 이상의 연구들은 주로 마우스의 우수성과 Pointing작업과 Dragging작업의 비교를 통해 각 작업의 특성을 밝히는 데 주 초점을 두고 있다.

본 연구는 의료용영상전송장치(Teleradiology Workstation)의 사용자인테페이스 설계의 일환으로 이루어졌다. 윈도우(Window)설계, 의료종사자의 직무분석을 통한 Prototype 설계, 그리고 입력장치의 최적 파라메터(Parameter) 설정 등은 의료용영상전송장치의 사용편이성을 증대시킬 수 있는 주요 사항들이다[12]. 본 연구의 목적은 의료용영상전송장치에 입력장치로 사용될 수 있는 마우스와 트랙볼을 직접조작 방식의 두 작업형태인 Pointing과 Dragging작업에 대한 성능을 비교, 분석하였으며, 한편, 작업성능에 영향을 끼치는 요인으로 C/D(Control/Display)비에 대한 효과와 이동방향(각도)에 대한 효과도 파악을 함으로써 직접조작방식을 설계하는데 필요한 파라메타들을 구하여, 의료용영상잔송장치의 입력장치 선택과 관련된 인간공학적 기준을 제시하고자 하였다.

2. 실험방법

2-1. 피실험자

피실험자는 컴퓨터 입력장치인 마우스나 트랙볼을 사용한 경험(평균사용년수 : 1.4년)이 있는 5명(남자 4명, 여자 1명)을 대상으로 하였다. 남자 피실험자의 평균연령은 27.5세이었고 여자 피실험자의 연령은 19세이었다.

2-2. 실험장비

실험장비로 I.B.M 호환기종을 사용하였다. 입력장치인 마우스는 Microsoft사의 C3K76F제품을 사용했으며, 트랙볼은 Logitech사의 T-CA1-9F제품을 사용하였다. 실험에 사용된 입력장치에 관한 사항은 다음과 같다.

마우스(마이크로소프트사) : 기계식 마우스로 2-버튼형이다. 현재 가장 널리 사용되는 종류로 해상도는 300 dpi, 전송속도는 1,200 bps이다.

트랙볼(로지텍사) : 광방식의 마우스이며 버튼은 나란히 3개를 가지고 있는 형태이다. 해상도는 300 dpi, 전송속도는 1,200~9,600 bps이다.

실험을 수행하는 프로그램을 작성해 입력장치별 각 작업시간인 1/1,000초까지 기록할 수 있도록 하였다[2]. 또한 입력장치와 표시장치 커서의 이동거리 비인 C/D 비의 변경이 소프트웨어 내에서 가능하도록 하였다.

2-3. 실험절차

실험을 수행하기 전 피실험자들에게 실험의 취지와 목적을 설명한 후, 각 피실험자별로 실험 처리단위에 대해 무작위 순서로 실험을 수행하였다. 피실험자는 Figure 1에 나타난 예와 같이 8방향으로 배열된 일정 크기의 사각형 버튼에 대해, 시작버튼과 대각방향의 종착버튼이 정해지면 직선이동으로 Pointing이나 Dragging작업을 완수하도록 하였다. 피실험자 1인에 대한 실험시간이 4~5의 장시간이 소요되므로 작업도중에 피실험자가 자유롭게 일시 휴식을 취할 수 있도록 하였으며, 일시 휴식시간은 5분을 초과하지 않도록 하였다.

2-4. 실험설계

피실험자는 Table 1에 나타난 바와 같이 4개의 작업조합(마우스-Pointing, 마우스-Dragging, 트랙볼-Pointing, 트랙볼-Dragging)에 대해, C/D비, 이동거리, 표적너비, 이동방향 등 네 요인에 대한 수준을 설정한 후 각 요인의 조합인 192(=2×4×3×8) 처리에 대해 각각 5회 반복실험을 하도록 하였다. 자료처리는 5회의 자료 가운데 로버스트 향상을 위해 최대치와 최소치를 제외한 나머지 3회 자료의 평균치로서 분산분석을 하였으며, 이동시간의 추정은 회귀분석을 실시하였다. 한편, Figure

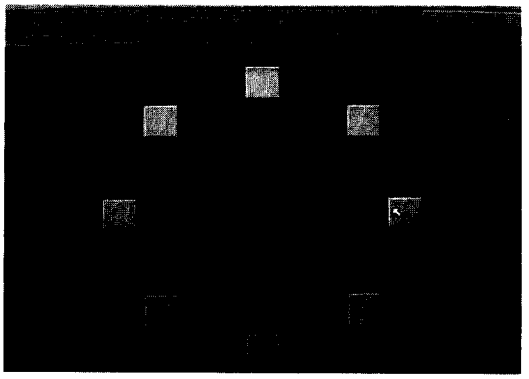

Figure 1. 실험장치의 작업화면

Table 1. 실험의 요인과 수준

요인	이동거리	표적너비	C/D 비	이동방향
수준	256 512	16 32 48 64	4(빠름) 10(보통) 16(느림)	우 우상 상 좌상 좌 좌하 하 우하

주) 이동거리, 표적너비 요인의 단위 : Pixel의 수

1의 실험에 사용된 표적(버튼)은 원으로 하지 않고 사각형으로 설정했는데 그 이유는 실제 대부분의 GUI설계에서 아이콘이나 닫기 버튼 등이 사각형이기 때문이다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 작업내용별 입력장치의 비교

작업내용(Pointing, Dragging)별 입력장치의 평균작업시간 결과를 Table 2에 요약하였다. Pointing작업과 Dragging작업 각각에 대해 두 입력장치의 성능을 비교하기 위해 5원배치 분산 분석을 실시 한 결과 Pointing작업은 ($F_{1,\ 1839}$ =997.767, p= 0.000), Dragging작업은 ($F_{1,\ 1839}$ =182.479, p=0.000)으로 모든 경우에 마우스가 트랙볼보다 우세한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 MacKenzi의 실험에서 나타난 결과와 일치하고 있다[7].

입력장치(마우스, 트랙볼)별 작업내용을 비교하면 마우스, 트랙볼 모든 경우에, Pointing작업 시간이 Dragging보다 짧은 것으로 나타나고 있다. 이것은 작업내용상 Dragging작업이 물리적, 심리적 난이도가 높은데 기인하는 것으로 보인다[5].

Table 2. 입력장치별 평균작업시간과 표준편차

(단위 : 초)

task	device \ distance \ width	DISTANCE=256 16	DISTANCE=256 32	DISTANCE=256 48	DISTANCE=256 64	DISTANCE=512 16	DISTANCE=512 32	DISTANCE=512 48	DISTANCE=512 64
Pointing	마우스	1.2722 (0.2925)	0.9233 (0.1973)	0.8168 (0.1661)	0.7339 (0.1874)	1.8847 (0.8358)	1.2318 (0.2521)	1.0621 (0.2150)	1.0146 (0.2182)
	트랙볼	2.4694 (1.1307)	1.5222 (0.3837)	1.3194 (0.3816)	1.2099 (0.3867)	2.8087 (0.8515)	2.0641 (0.5942)	1.7778 (0.4074)	1.5862 (0.4275)
Dragging	마우스	1.9695 (0.6636)	1.5172 (0.6479)	1.3498 (0.5702)	1.1937 (0.4979)	3.3081 (1.7492)	2.4292 (1.3974)	2.1107 (1.1698)	1.9262 (1.0112)
	트랙볼	3.2287 (1.5390)	2.3243 (1.1370)	2.0322 (1.1664)	1.8872 (1.0383)	4.4507 (2.8079)	3.4155 (2.2602)	2.8576 (1.9114)	2.8463 (1.8570)

주) ( )는 표준편차

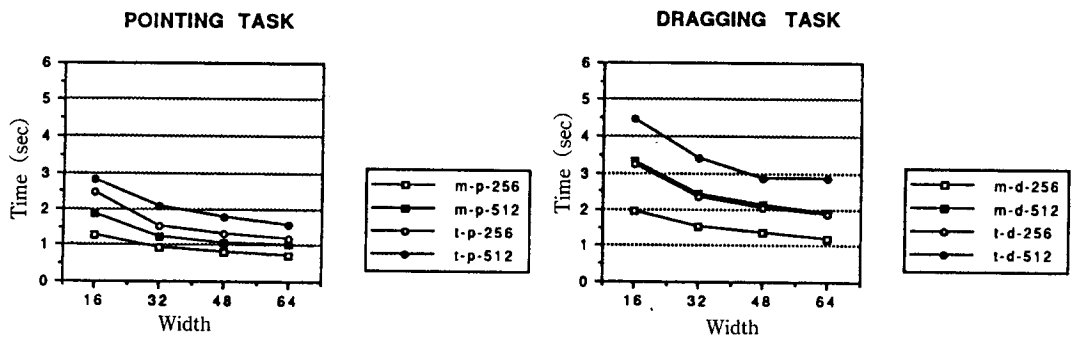

Figure 2. 작업내용별 반응시간

3-2. 이동시간의 추정

Fitts' Law에 의하면 표적까지의 이동시간(MT : Movement Time)은 시작점과 표적사이의 이동거리와 표적너비의 함수로 나타낼 수 있으며, 그 관계는 식(1)에서 보여주는 바와 같이 난이도지수(ID : Index of Difficulty)의 일차식으로 표현할 수 있다[4].

$$MT = a+b\ ID$$

$$ID=LOG_2\ (\text{이동거리}/\text{표적크기}+0.5) \cdots\cdots (1)$$

본 실험에서는 이동거리와 표적너비의 조합인 8개의 ID값에 대해 이동시간을 회귀분석하였다. 각 입력장치, 작업내용, C/D비별 회귀식 모형과 R^2값을 Table 3에 요약하였다. 각 회귀모형에 대한 분산분석결과($F_{1,318}$ =37.384~449.747 p= 0.000)이고, 12개의 회귀식 모두 결정계수(R^2) 의 값이 모두 높아 Fitts' Law모형의 타당성이 입증되었다.

Table 3. 이동시간의 회귀분석결과

장 치	작 업	C/D 비	회 귀 식 모 형	R^2	$F_{1,318}$	P
마우스	Pointing	4	- 0.096 + 0.364 ID	0.886	449.747	0.000
		10	- 0.036 + 0.322 ID	0.830	358.313	0.000
		16	- 0.421 + 0.450 ID	0.859	178.651	0.000
	Dragging	4	- 0.129 + 0.628 ID	0.709	84.059	0.000
		10	- 0.347 + 0.691 ID	0.707	82.781	0.000
		16	- 0.789 + 0.774 ID	0.820	150.275	0.000
트랙볼	Pointing	4	- 0.216 + 0.639 ID	0.882	196.609	0.000
		10	- 0.176 + 0.582 ID	0.836	160.874	0.000
		16	- 0.213 + 0.565 ID	0.838	370.184	0.000
	Dragging	4	- 0.581 + 1.061 ID	0.697	78.017	0.000
		10	0.455 + 0.726 ID	0.605	37.384	0.000
		16	- 0.398 + 0.881 ID	0.606	60.847	0.000

3-3. C/D비의 효과

일반적으로 표적에 커서를 위치시키는 작업은 큰 이동동작과 미세한 조정동작으로 구분되어져 있다. 이동동작은 이동거리와, 조정동작은 표적의 너비와 관계가 깊다. 최적의 C/D비를 결정하기 위해서는 이동시간과 조정시간의 두 요소를 절충해야만 한다[9].

본 연구에서는 4유형의 작업조합, 마우스-Pointing(M-P), 마우스-Dragging(M-D), 트랙볼-Pointing(T-P), 트랙볼-Dragging(T-D)에 대해 C/D비의 효과를 파악하기 위해 분산분석을 실시하였다. 분산분석을 실시한 결과 유의수준 $\alpha = 0.05$에서 모든 작업조합에 C/D비에 따른 작업시간의 영향이 있는 것 (M-P : $F_{2,893} = 4.696$, $p = 0.009$, M-D : $F_{2,893} = 4.512$, $p = 0.0100$, T-P : $F_{2,893} = 13.687$, $p = 0.000$, T-D : $F_{2,893} = 5.004$, $p = 0.007$)으로 나타났다.

Table 3으로부터, 4유형의 작업조합에 대해 각각 이동시간을 최소로하는 C/D비 값을 구하기 위해, 3개 회귀식의 접점을 구해 ID굼간별 최적 C/D비를 구하면 다음과 같다. 마우스-Pointing의 경우 ID값 3.0을 기준으로 그 이하에서는 C/D비 16이 3.0이상에서는 C/D비 10이 좋은 것으로 나타났다. 마우스-Dragging의 경우는 ID값 4.5를 기준으로 그 이하에서는 C/D비 16이 가장 빨랐고 C/D비 4가 가장 느렸으나, 4.5이상에서는 반대현상이 나타났다(Figure 3 참조). 이는 이동거리가 짧고 표적이 큰 경우 (ID가 작은 경우) C/D비가 크더라도(둔감해도) 충분한 성과를 기대할 수 있다는 것을 나타내고 있다. 이러한 사실은 이동시간과 조정시간의 절충이 필요하다는 원칙과 일치하고 있다.

트랙볼-Pointing의 경우는 ID값에 관계없이 C/D비가 16, 10인 순서로 우세한 것으로 나타났다. 트랙볼-Dragging의 경우는 ID값 5.5이상에서는 C/D비 10이 1.1~1.5 사이에서는 C/D비 16이 1.1이하에서는 C/D비 4가 좋은 것으로 나타났다 (Figure 3 참조). 트랙볼의 경우는 전반적으로 C/D비가 클수록 성과가 좋은 것으로 나타나고 있다.

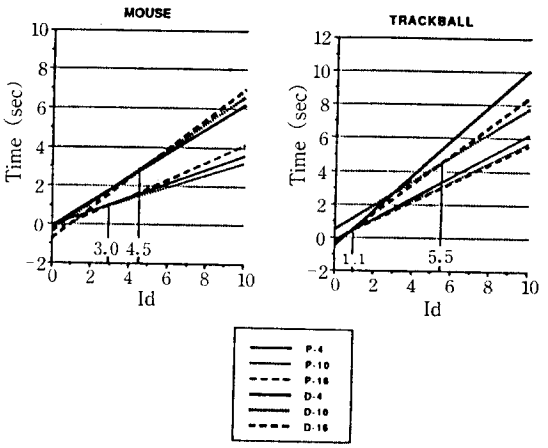

Figure 3. C/D비에 따른 이동시간

이는 C/D비가 작을수록 트랙볼은 표적 위에 정위치시키지 못하고 표적을 쉽게 지나치는 경향이 크게 나타나기 때문인 것으로 판단할 수 있다.

이상으로부터 본 실험에 사용된 최소 ID값 (이동거리 256, 표적너비 64) 2.17과 최대 ID값 (이동거리 512, 표적너비 16) 5.02 사이 구간을 기준으로 최적 C/D비를 구하면, 마우스-Pointing의 경우 10, 16, 마우스-Dragging의 경우는 4, 16으로 나타났으며, 트랙볼의 경우는 Pointing, Dragging 모두 16이 좋은 것으로 나타났다.

3-4. 이동방향의 효과

단순한 문장의 입력을 주로하던 경우와 달리 GUI에서는 360° 전 방향으로의 커서의 이동이 이루어지게 된다. 상하, 좌우 스크롤바, 풀다운메뉴, 다이얼로그박스 등의 사용은 좌에서 우로, 상에서 하 방향으로의 이동에 그치지 않고 전방향으로의 입력장치의 이동을 요구하고 있다. 본 연구에서는 4유형의 작업조합 마우스-Pointing(M-P), 마우스-Dragging(M-D) 트랙볼-Pointing(T-P), 트랙 볼-Dragging(T-D)에 대해 입력장치의 이동방향에 따른 차이가 있는지 알아보기 위해 분산분석을 실시하였다. 유의수준 $\alpha = 0.05$에서 4유형 모두 이동 방향별로 차이가 있는 것으로 나타났

다(M-P : $F_{7,893}$=2.432, p=0.021, M-D : $F_{7,893}$=2.927, p=0.005, T-P : $F_{7,893}$=3.186, p=0.005, T-D : $F_{7,893}$=4.131, p=0.000). 또한 유의수준 0.05 에서 이동각도별 student newman-kuel test를 한 결과는 평균이동시간의 그룹을 다음과 같이 지워질 수 있다.

0°	180°	270°	90°	315°	225°	135°	45°	····· 이동각도
(1.7535)	(1.8184)	(1.8778)	(1.9051)	(1.9515)	(2.0696)	(2.1119)	(2.1483)	····· 평균시간

마우스-Pointing작업을 제외한 나머지 작업들의 경우 직선운동 (0°, 90°, 180°, 270°)과 사선운동 (45°, 135°, 225°, 315°)간의, 특히 트랙볼-Dragging의 경우, 차이가 크게 나타나고 있다. 따라서 윈도우시스템, 메뉴 등의 설계에 있어, 사선방향의 작업 빈도가 적게 나타나도록 윈도우와 메뉴의 배치가 필요하고, 팝업메뉴나 윈도우를 편한 화면 위치에 옮긴 후 작업이 이루어질 수 있도록 하는 설계 등이 필요할 것이다.

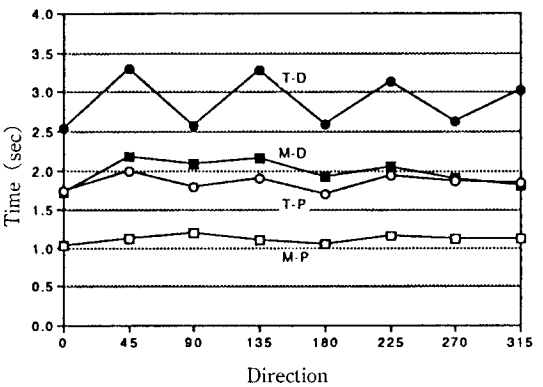

Figure 4. 이동방향별 평균작업시간

4. 결 론

본 연구의 실험결과에서도 Card[1], MacKenzie [7]등의 실험에서와 같이 마우스가 트랙볼에 비해 작업성능 면에서 우수한 입력장치로 나타났다. 그럼에도 불구하고 의료용기기를 비롯한 컴퓨터 응용기구들에 트랙볼이 주로 장착되어 사용되는 것은 마우스 사용시 별도의 작업공간이 필요함에 비해 트랙볼은 키보드 내에 함께 부착될 수 있다는 장점에 기인하고 있으며, 또한 사무용 컴퓨터와 다르게 작업빈도수가 적음에 따라 작업성능보다는 공간적 제약성 등이 더 큰 요소로 고려되고 있다고 판단할 수 있다[11].

Fitts' Law에 대한 모형은 본 실험에서도 입력장치의 성능을 비교하는 유용한 도구로서 그 타당성이 입증되었다. 커서의 기계적 이동속도를 결정하는 C/D비의 효과는 모든 작업조합에 대해 차이가 있는 것으로 나타났다. 마우스는 ID값이 작은 경우에는 C/D비 16이 좋고, ID값이 큰 경우에는 C/D비 10 (Pointing)과 4 (Dragging)가 좋은 것으로 나타났다. 트랙볼의 경우는 Pointing, Dragging 모든 경우에 C/D비 16이 좋은 것으로 나타났다.

모든 작업조합에 대해 이동방향에 대한 효과도 있는 것으로 나타났는데 마우스-Pointing을 제외한 모든 작업에 직선운동과 사선운동의 차이가 크게 나타나고 있으며 사선방향의 작업시간이 상대적으로 오래 걸리는 것으로 나타났다.

이상에서 나타난 바를 컴퓨터의 User Interface 설계시 고려해야 할 설계지침으로 요약한다면 다음과 같은 사항을 제시할 수 있다.

- 입력장치의 사용이 빈번한 작업의 경우로 공간적여유가 있다면 마우스의 장착이 트랙볼보다는 유리할 것이다. 그러나 의료용 영상전송장치와 같은 의료용 기기등에서는 사용자 집단의 성격과 사용환경 등을 감안한 선호도 조사 등이 더 필요할 것이다.

-C/D비의 설정은 마우스의 경우 ID에 따라 최적

C/D비가 4-16에서 변하므로 현재 보통 사용되는 C/D비 10의 경우가 추천된다. 트랙볼의 경우는 C/D비를 16으로 결정하는 것이 성능향상에 도움이 될 것이다.

- 이동방향에 대한 요소도 사선방향의 이동이 되도록이면 일어나지 않도록 설계를 하거나 팝업 메뉴나 윈도우 등을 사용자가 원하는 위치에 이동시킨후 작업할 수 있도록 설계하는 것이 좋을 것이다.

본 연구과제의 후속으로 다음과 같은 부분에 대한 추가연구가 요청되어진다. 마우스패드 크기의 작업시간에 대한 효과, 작업시간을 고려한 최소버튼의 크기, 제 3의 입력장치와의 비교 등이 추가로 연구되어질 수 있는 분야들이다.

새로운 기술발전에 힘입어 입력장치에서도 성능이 향상된 신제품들이 계속적으로 개발이 되고 있는데, 이러한 제품을 선택하는데에는 작업내용과 성격들을 파악하여 그것들에 맞는 입력장치들을 채택하여야 할 것이다. 또한 입력장치의 개발에서도 인간요소를 고려한 설계로 사용자들이 더욱 만족할 수 있는 제품의 개발이 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Card, S.K., English, W.K. and Burr, B.J., "Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, stepkeys and text keys for text selection on a CRT", Erogonomics, Vol.21, pp.601-613, 1978.

[2] Crosbie, J., "A simple turbo pascal 4.0 program for millisecond timing on the IBM PC/XT/AT", behavior research methods, Instruments, & Computers, Vol.21, No. 3, pp.408-413, 1989.

[3] Cushman, W.H. and Rosenberg, D.J., "Human factors in product design", Elsevier, 1991.

[4] Fitts, P.M., "The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement", Journal of Experimental Psychology, Vol.47, pp.381-391, 1954 .

[5] Gillan, D.G., Holden, K. and Adam, S., "How does Fitts' law fit pointing and dragging?", Proceedings of the CHI '90 Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.227-234, 1990.

[6] Han, S.H., Jorna, G.C., Miller, R.H. and Tan, K.C., "A comparison of for the macintosh interface", Proceedings of the Human Factors Society 34th Annual Meeting, pp.267-271, 1990.

[7] MacKenzie, I.S., Sellen, A., and Buxton, W., "A computer of input devices in elemental pointing and Dragging tasks", Proceedings of the CHI '91 Conference on Human Factors in Computing System, pp. 161-166, 1991.

[8] Maguire, M.C., A review of human factors guidelines and techniques for design of graphical human-computer interfaces, In Human-computer Interation, Preece, J. and Keller, L., pp.161-184, 1989.

[9] McCormick, E.J. and Sanders, M.S. "Human Factors in Engineering and Design (6Ed.)", McGraw-Hill, 1987.

[10] Verplank, B. and Oliver, K., "Microsoft Mouse : Testing for Redesign", Proceedings of Interface 89, pp.257-261, 1989.

[11] 인공지능연구센터, PC 대중화와 인간과 컴퓨터 상호작용, 1991.

[12] 한국표준과학연구원, 의료용 영상전송장치의 User Interface 설계에 관한 연구(1차년도), 1991.