원키 키보드: 웨어러블 컴퓨팅 환경에서 문자입력을 지원하는 초소형 QWERTY 키보드

One-key Keyboard: A Very Small QWERTY Keyboard Supporting Text Entry for Wearable Computing

이우훈, Woohun Lee*, 손민정, Minjung Sohn**

요약 상용화된 웨어러블 컴퓨팅용 문자입력장치 중 팔목에착용하는 키보드가 많은데 대부분 소형화를 위해 키 수를 줄이는 방식을 택하고 있다. 하지만 충분한 착용성 확보를 위해 키보드의 키 수를 대폭 줄일 경우 보통 문자당 키입력수(KSPC)가 증가하기 때문에 입력효율이 저하되고 학습을 위해 부가적인 노력이 요구되는 등 우수한 웨어러블 키보드를 개발하는데 있어 착용성과 사용성이 상충하는 문제상황에 직면하게 된다. 본 연구는 이런 문제를 해결하기 위해 키 간격을 줄여 극적으로 키보드를 소형화할 수 있는 방법을 탐색하였다. 일련의 실험을 통해 키 간격 7mm인 키보드의 경우 물리적 폼팩터차원에서 착용성과 사회적 수용성이 충분히 긍정적이고 문자입력속도가 3세션 평균 15.0WPM 정도의 가능성 있는 결과를 도출했다. 하지만 수동적인 촉각 피드백과 입력에 대한 충분한 시각적 피드백의 부재가 문자입력수행도를 저하시킨다는 실험참가자들의 지적에 따라 원키 키보드라는 개념을 제안하였다. 전통적인 키보드의 경우 하나의 키에 하나의 문자가 할당한다. 반면 원키 키보드의 경우는 70mmX35mm 사이즈의 단일 키 위에 10*5배열의 QWERTY 키보드 문자배열을 모두 표시하였다. 따라서 일반적인 키보드와는 달리 키 판에서 어떤 문자를 입력했는지 키 입력 순간 손가락의 위치를 센싱하여 해당 문자를 계산하도록 하였다. 원키 키보드에 대한 입력효율 평가를 통해 5세션 평균 18.9WPM의 입력속도와 6.7%에러율을 기록했으며 최고 24.5WPM을 기록했다. 실험결과를 통해 본 연구에서 제안한 원키 키보드는 웨어러블 컴퓨팅 환경에서 착용성, 사회적 수용성, 입력효율성, 학습용이성 등의 상충적 요소에 대한 적절한 절충점을 제시하는 가능성 있는 문자입력장치로 평가되었다.

Abstract Most of the commercialized wearable text input devices are wrist-worn keyboards that have adopted the minimization method of reducing keys. Generally, a drastic key reduction in order to achieve sufficient wearability increases KSPC(Keystrokes per Character), decreases text entry performance, and requires additional effort to learn a new typing method. We are faced with wearability-usability tradeoff problems in designing a good wearable keyboard. To address this problem, we introduced a new keyboard minimization method of reducing key pitch. From a series of empirical studies, we found the potential of a new method which has a keyboard with a 7mm key pitch, good wearability and social acceptance in terms of physical form factors, and allows users to type 15.0WPM in 3 session trials. However, participants point out that a lack of passive haptic feedback in keying action and visual feedback on users' input deteriorate the text entry performance. We have developed the One-key Keyboard that addresses this problem. The traditional desktop keyboard has one key per character, but the One-key Keyboard has only one key (70mmX35mm) on which a 10*5 QWERTY key array is printed. The One-key Keyboard detects the position of the fingertip at the time of the keying event and figures out the character entered. We conducted a text entry performance test comprised of 5 sessions. The participants typed 18.9WPM with a 6.7% error rate over all sessions and achieved up to 24.5WPM. From the experiment's results, the One-key Keyboard was evaluated as a potential text input device for wearable computing, balancing wearability, social acceptance, input speed, and learnability

해심어: Wearable Computing, Text entry, Keyboard

본 논문은 2006년 정보통신 선도기술개발사업의 지원에 의하여 연구되었음

*주저자 : KAIST 산업디자인학과 부교수

**공동저자 : KAIST 산업디자인학과 석사과정

*교신저자 : KAIST 산업디자인학과 부교수; e-mail: woohun.lee@kaist.ac.kr

1. 서론

데스크톱 컴퓨팅과 같이 웨어러블 컴퓨팅 환경에서도 인간과 시스템간의 상호작용을 위해 문자입력은 필수적이다. 데스크톱 컴퓨터에서 일반적으로 사용되고 있는 탁상용 키보드는 입력효율은 우수하지만 역동적인 웨어러블 컴퓨팅 환경에는 적합하지 않다. 웨어러블 컴퓨팅 환경에 적합한 문자입력장치는 착용이나 소지가 용이하고 책상과 같은 안정적인 작업지지면 없이도 무리 없이 사용할 수 있어야 하기 때문이다. 이런 맥락에서 볼 때 음성인식을 통한 문자입력이 가장 이상적이라고 생각할 수 있지만 아직까지 기술적인 측면에서 인식률의 한계가 있고 사회적 수용성 측면에서 폭넓게 이용되기에는 적지 않은 문제점을 내포하고 있다[1].

웨어러블 컴퓨터용 문자입력장치로서 상용화되거나 제안된 유저 인터페이스는 몇 가지 유형으로 구분된다. 물리적 폼팩터의 측면에서 살펴보면 손목착용형 입력장치, 장갑형 입력장치, 파지형 입력장치, 의복일체형 입력장치 등 있다. 한편 입력방식에 따라 구분하면 키 기반 입력장치, 제스추어 인식기반 입력장치, 음성인식기반 입력장치 등이 존재한다. 이 중 가장 보편적인 것은 Matias 등 (1993)의 Halfkeyboard[2], WristPC keyboard, FrogPad, Green등 (2004)의 스틱 키보드(Stick Keyboard)[3] 등과 같이 손목에 착용하는 형태로서 키 입력을 기반으로 하는 키보드이다. 이런 입력장치들은 키 수를 줄이는 방식으로 소형화를 꾀하고 있다. 적은 숫자의 키로 많은 문자를 입력하기 위해서는 부득이 멀티탭이나 조합키 입력방식을 취할 수밖에 없다. 스틱 키보드와 같이 멀티탭방식을 택할 경우 키 수를 극적으로 줄일 수 있지만 KSPC (keystrokes per character)가 증가하여 입력효율(실험에 의하면 10WPM 가량의 입력속도)이 크게 저하된다[3]. Halfkeyboard와 WristPC keyboard위 경우 비교적 입력효율이 우수하지만 손목에 착용하고 일상적으로 사용하기에는 무리가 있다.

Eleksen사의 패브릭 키보드(Fabric keyboard)와 같이 스마트 직물을 활용한 의복일체형을 추구하는 키보드 개발사례도 있다. 유연한 소재를 채용하는 키보드의 경우 착용성은 우수하지만 타이핑에 적지 않은 힘이 필요하고 조작감이 좋지 않다는 단점이 있다. 트위들러(Twiddle)와 같은 파지형 키보드는 키 조합 입력방식을 이용해 입력장치를 소형화하였으며 간편하게 한 손으로 장치를 파지하고 문자를 입력할 수 있게 한다. 그러나 문자입력을 위한 키 조합을 암기하지 않으면 입력이 불가능하다는 단점이 있어 일반적인 사용자가 사용하기 위해서는 충분한 훈련이 필수적이다.

스커리(Scurry), 센스보드(Senseboard), 라이트글로브(Lightglove) 등은 손의 움직임을 감지해 이를 키 입력으로 변화시켜주는 문자입력장치들도 있다. 이와 같은 제스처 인식을 기반으로 하는 문자입력장치는 보다 자연스러운 착용방식을 가능하게 하지만 입력오류가 적지 않고 입력에 대한 물리적 피드백이 부족하다는 단점이 있다. 스커리와 유사하게 장갑형으로 제안된 키보드 중에서 키 입력을 기반으로 하는 문자입력장치로 코딩글로브(Chording glove)와 썸코드(ThumbCode)가 있다. 장갑형 키보드의 경우 통상 키조합 방식으로 문자를 입력하게 되는데, 일상생활에서 장갑을 착용해야 한다는 번거로움과 적지 않은 학습이 요구된다는 단점이 있다.

웨어러블 컴퓨팅 환경에서 사용 가능한 키보드는 부담 없이 착용할 수 있어야 하며 충분히 빠른 속도와 낮은 에러율로 문자를 입력할 수 있어야 한다. 또한 일반적인 사용자도 특별한 훈련과정 없이 쉽게 사용할 수 있어야 하고 시장성이 있는 기술을 사용해야 한다[3]. 데스크톱과는 상황이 달라 이러한 요구사항들은 상충하기 쉽고 의미 있는 절충점을 발견하기란 쉽지가 않다. 따라서 현재까지 제안된 문자입력장치 중에서 착용성과 입력효율 그리고 학습용이성 등을 동시에 만족시키는 입력장치를 찾기 어렵다.

본 연구는 KSPC의 증가 없이 QWERTY 키보드를 소형화할 수 있는 방법을 제안하는 데에 초점을 맞추었다. 만약 이것이 가능하다면 착용성, 입력효율 그리고 학습용이성이 모두 우수한 키보드를 만들 수 있기 때문이다. KSPC의 증가 없이 키보드를 소형화하는 방법중 하나는 탁상용 QWERTY 키보드의 키 수 대신 키 간격을 줄이는 것이다. 키 간격을 줄여 키보드의 사이즈를 줄인다면 소형화가 가능하기 때문에 착용성은 향상될 것이다. 반면 인간의 손가락 두께 때문에 키보드의 입력오류는 증가할 것이고 입력속도는 낮아질 것이다. 키보드의 사이즈에 따라 착용성과 입력효율이 상충하는 관계에 있다고 할 수 있다.

과연 어느 정도 키 간격의 키보드라면 현실적으로 수용가능한 착용성과 입력효율을 확보할 수 있을까? 이러한 의문으로부터 본 연구는 착용성 및 사회적 수용성과 입력효율의 상충관계에서 적절한 균형점을 제시할 수 있는 소형 QWERTY 키보드를 개발하고자 하였다.

2. QWERTY 키보드의 극적인 소형화 가능성 탐색

키 간격을 줄여 QWERTY 키보드를 극적으로 소형화한 사례로는 PDA용 그래픽 키보드(Graphic keyboard)와 Targus사와 Dell사의 미니 키보드(mini-QWERTY keyboard)가 있다. 전자의 경우 4mm내외의 간격을 갖는 연속적인 키 배열을 스타일러스를 이용해 조작한다. 후자의 경우 양 손으로 기기를 파지하고 물리적인 버튼(7mm가량의 키 간격)을 두 엄지손가락으로 누르며 문자를 입력한다. 입력효율을 측정한 Kotringer 등(2004)의 선행연구에 따르면 PDA용 그래픽 키보드의 입력 스피드는 13.64WPM이었고 에

러율은 4.11%이었다[4]. 미니 키보드의 경우 60WPM(20분씩 20회 연습 후)의 입력속도를 기록했다[5]. 그래픽 키보드에 비해 미니 키보드가 월등히 우수한 입력효율을 나타낸다.

하지만, 본 연구는 웨어러블 컴퓨팅 환경에서 문자입력장치를 몸에 부담 없이 착용할 수 있어야 하고 문자를 입력할 때 손의 자유도를 최대한 확보해야 한다는 점을 고려하여 PDA용 그래픽 키보드와 같은 물리적 폼팩터로 몸에 쉽게 착용하고 한 손으로 조작할 수 있는 키보드를 개발하고자 하였다. 또한 웨어러블 컴퓨팅과 같이 역동적인 환경을 고려하여 가능하다면 스타일러스와 같은 보조도구 없이도 충분히 문자를 입력할 수 있는 효율적인 방법을 제안하고자 하였다. 이를 위해 우선 키 간격 축소를 통해 키보드를 소형화할 경우 착용성과 사용성에서 어떠한 변화가 일어나는지를 실험하였다.

3. 키 간격 축소에 의한 키보드의 소형화

3.1 착용성과 사회적 수용성 평가

데스크톱 컴퓨팅 환경과는 달리 웨어러블 컴퓨팅 환경에서는 키보드를 몸에 착용해야 한다. 키보드는 입력효율도 우수해야 하지만 편안하게 착용할 수 있어야 하고 일상생활에서도 부담 없이 사용할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 "몸에 착용하기 편한 정도"를 착용성이라 정의하고 "일상적 생활에서도 부담 없이 착용할 수 있는 정도"를 사회적 수용성이라 정의하였다. 키보드의 사이즈는 착용성과 사회적 수용성을 좌우하는 결정적인 요인일 것이다. 키보드의 사이즈가 착용성과 사회적 수용성에 어떠한 영향을 미치는지 실험하였다.

실험을 위한 키보드 모형의 크기는 WristPC keyboard (148mm*65mm*13mm)와 Halfkeyboard (145mm*80mm*18mm)의 제원을 바탕으로 그림 2와 같이 6단계로 수준을 설정하였다. 키보드 프로토타입의 가로 길이는 각각 50mm, 70mm, 90mm, 110mm, 130mm, 150mm이었고 세로 길이는 가로의 1/2이었다. 프로토타입의 두께는 모두 7mm로 통제하였다. 각 모형은 리스트밴드에 부착된 형태로 착용하게 하였다.

실험에는 대학생 12명(남성:6명, 여성:6명)이 참가하였다. 실험참가자의 평균연령은 23.8세이었고 이중 남성은 24.2세이고 여성은 23.3세이었다. 실험진행자가 피험자에게 키보드 모형을 팔에 차게 하고 "착용하기 편한 정도"를 7점 척도(1점: 매우 불편하다, 4점: 보통이다, 7점: 매우 편하다)로 평정하게 하였다. 동일한 상황에서 "키보드를 일상 생활에서 항상 차고 다닌다면 부담스러울지"에 대해 7점 척도(1점: 매우 부담스럽다, 4점: 보통이다, 7점: 전혀 부담스럽지 않다)로 평정하게 하였다. 아울러 시판하는 WristPC keyboard와 Halfkeyboard 샘플을 준비해 전술한 것과 동일하게 착용성과 사회적 수용성을 평정하게 하였다. 실험결과 본 연구는 그림 3과 그림 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

그림 3와 같이 WristPC keyboard의 경우 착용성과 사회적 수용성에 대해 각각 3.8/7.0(표준편차: 1.2), 2.6/7.0(표준편차: 1.1)이라는 결과를 얻었다. Halfkeyboard의 경우는 각각 3.2/7.0(표준편차: 1.2), 2.1/7.0(표준편차: 0.7)이었다.

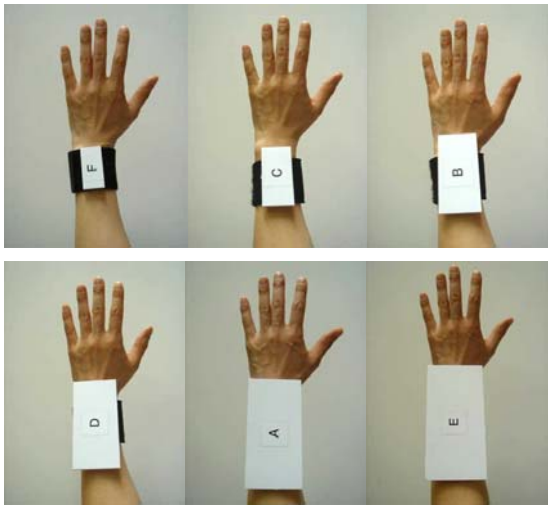

그림 2. 착용성과 사회적 수용성 평가를 위한 모형 (왼쪽 위부터 키보드의 폭이 50mm, 70mm, 90mm, 110mm, 130mm, 150mm)

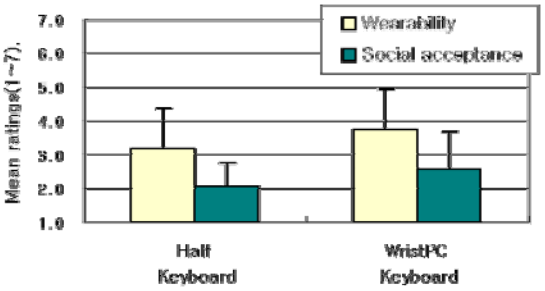

그림 3. Halfkeyboard와 WristPC keyboard의 착용성과 사회적 수용성 평가결과

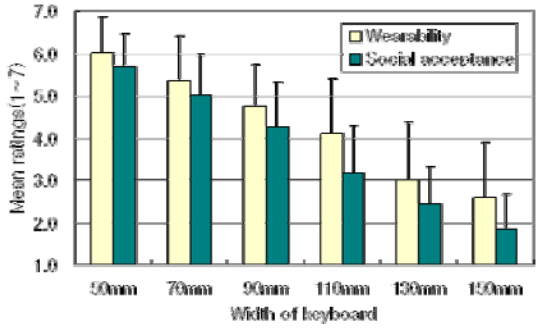

그림 4. 키보드 사이즈에 따른 착용성과 사회적 수용성의 차이

팔목착용형으로 디자인된 WristPC keyboard가 다소 착용성이 우수했지만 사회적 수용성은 현저히 낮았다.

Halfkeyboard의 경우는 착용성과 사회적 수용성 모두 좋지 않은 것으로 나타났다.

본 연구에서 제작한 키보드 모형의 경우 그림 4와 같이 크기에 따라 착용성과 사회적 수용성이 반비례하는 것으로 나타났다. 피험자내 일원분산분석을 통해 키보드 사이즈가 착용성에 대해 유의한 효과를 미치고 있음을 확인할 수 있었다($F_{(5,55)}$=26.307, p<0.01). 동일한 분석을 통해 키보드 사이즈가 사회적 수용성에 대해서도 유의한 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다($F_{(5,55)}$=53.039, p<0.01). 결국 키보드 크기의 증가는 키보드의 착용성과 사회적 수용성에 부정적임을 명확히 확인할 수 있었다.

착용성과 사회적 수용성 차원에서 실험결과가 최소 4.0 이상이 되어야 긍정적이라고 판단할 수 있다. 실험결과를 살펴볼 때 키보드의 크기는 명함과 비슷한 90mm 이하가 되어야 긍정적이라고 생각될 수 있는데, 70mm와 50mm 키보드의 경우 착용성과 사회적 수용성 차원에서 충분히 긍정적임을 확인할 수 있었다.

3.2 입력효율 예측을 위한 실험

MacKenzie 등(2002)은 그래픽 키보드의 입력속도를 계산하는 모델을 제안하고 기존 QWERTY 키 배열을 채용할 경우 30.04WPM, 가장 빠른 배열인 Metropolis II의 경우 42.94WPM을 예측하였다[6]. 입력속도 계산모델에 따르면 키 간격의 축소는 입력속도에 크게 영향을 미치지 않는다. 그러나 인간의 손가락 두께 때문에 키보드에서 키 간격의 축소는 한계를 갖는다. 키 간격이 줄어들면 키보드의 사이즈는 줄어들지만 주변 키와의 간섭 때문에 입력 오류가 증가할 것이다. 과연 어느 정도까지 키보드를 소형화할 수 있는지를 알아보기 위해 터치스크린을 기반으로 하는 그래픽 키보드를 제작하여 입력효율을 측정하였다.

실험을 위한 키보드는 그림5와 같이 5*10의 배열을 취했다. 착용성 실험에서 긍정적 반응을 얻은 5mm, 7mm, 9mm, 11mm키보드 중에서 입력이 거의 불가능한 5mm 키보드를 제외하고 3 종류에 대해 실험을 실시하였다. 따라서 실험에 사용한 키보드의 크기는 각각 70mm*35mm, 90mm*45mm, 110mm*55mm이었다. 터치스크린 기반 버추얼 키보드에서 문자를 입력하는 방법은 손가락과 스타일러스를 이용할 수 있다. 실험에서 학습효과에 의한 영향을 측정하기 위해 3일에 걸쳐 반복측정을 실시하였다.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q	W	E	R	T	Y	U	I	O	P
A	S	D	F	G	H	J	K	L	↵
Z	X	C	V	B	N	M	.	,	
←	↑	↓	→	Space			Backspace		

그림 5. 터치스크린 기반 그래픽 키보드의 자판 배열

실험은 입력방식(손가락/스타일러스), 키 간격(7mm/9mm /11mm), 세션(1/2/3)등 3가지 변인에 대한 혼합설계로 계획되었다. 입력방법에 따라 피험자간 실험을 실시하고 키 간격과 세션에 대해서는 피험자내 실험을 실시하였다. 실험참가자는 대학생 12명(남녀 각각 6명, 평균연령 23.8세)이었고 이중 6명은 손가락으로 입력하는 그룹(평균연령: 24.3세, 남성 4명: 24.3세, 여성 2명: 24.0세)이었고 나머지 6명은 스타일러스를 사용하는 그룹(평균연령: 23.3세, 남성 4명: 24.3세, 여성 2명: 21.5세)이었다. 한 세션당 각 실험참가자에게는 MacKenzie 등(2003)의 Phrase set중에서 15개의 문장을 제시하였고 그것을 터치스크린 키보드를 통해 입력하도록 하였다[7]. 커서키나 백스페이스키를 이용해 입력도중 오류를 수정할 수 있도록 하였다. 피험자별로 각 시도에 대해 제시한 문자열, 입력한 키순서, 최종 입력된 문자열, 입력시간 등을 기록하였고 이로부터 문자입력속도(WPM: Words per minute), 에러율, 수정되지 않은 순수에러율(Not corrected error rate) 등을 산출하였다[8, 9, 10]. 3번째 세션을 마치고 NASA-TLX[11]를 이용해 각 조건 별로 문자입력에 대한 작업부하를 측정하였다.

실험을 통해 표 1과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 우선 문자입력속도에 대한 독립 T검정을 실시한 결과 스타일러스가 손가락을 이용할 때보다 24%가량 신속하고(t=6.084, df=106, p<0.01), 48%가량 에러율이 적어(t=6.428, df=106, p<0.01) 입력방식간에 유의한 차이를 확인할 수 있었다. 수정되지 않은 순수 에러율의 경우 손가락 조작의 경우 1.5%이고 스타일러스의 경우 0.6%로서 상당한 차이를 보였다. NASA-TLX를 이용한 작업부하 측정결과를 통해서도

표 1. 키간격과 입력방식에 따른 터치 스크린 기반 그래픽 키보드의 입력효율 측정결과

Input method		Speed (WPM)			Not Corrected Error Rate (%)			Total Error Rate (%)			Workload (NASA-TLX)		
		7mm	9mm	11mm	7mm	9mm	11mm	7mm	9mm	11mm	7mm	9mm	11mm
Finger	Session 1	13.0	14.9	16.3	1.6	0.8	0.7	7.8	7.7	5.2	404.2	301.7	219.2
	Session 2	15.2	17.5	19.1	3.4	0.6	0.9	9.2	5.5	5.4			
	Session 3	16.7	18.7	19.2	2.5	2.5	0.9	9.2	7.6	5.3			
Stylus	Session 1	17.6	18.7	18.5	0.5	0.3	0.8	3.6	3.2	3.4	274.2	214.2	243.3
	Session 2	20.0	21.0	21.7	0.7	0.4	0.9	5.5	3.6	4.1			
	Session 3	22.3	23.9	23.3	0.8	0.5	0.7	3.4	2.7	3.2			

스타일러스를 이용할 경우 유의하게 작업부하가 적음을 알 수 있었다 (t=2.163, df=34, p=0.038). 문자입력속도, 에러율, 작업부하라는 차원 모두에서 스타일러스를 이용할 경우 우수한 결과를 나타냈다.

키 간격이 문자입력 수행도에 미치는 영향을 상세히 분석하면 스타일러스보다는 손가락을 이용할 경우 큰 영향이 있음을 알 수 있다. 손가락으로 조작하는 경우 피험자내 일원 분산분석결과 키 간격이 입력속도($F_{(2,34)}$=18.721, p<0.01)와 에러율($F_{(2,34)}$=6.909, p<0.01)에 유의한 영향을 미치는데 키 간격이 줄어들수록 수행도가 저하됨을 알 수 있었다. 스타일러스로 문자를 입력하는 경우는 키 간격이 입력속도($F_{(2,34)}$=3.294, p=0.049)에만 유의한 영향을 미쳐 키 간격이 늘어남에 따라 문자입력속도가 증가함을 알 수 있었다(그림 6의 상단과 중간).

손가락으로 문자를 입력하는 경우 세션누적에 의한 학습이 문자입력속도에 유의한 영향($F_{(2,34)}$=18.826, p<0.01)을 미치는데 첫 세션의 경우 14.7WPM에서 세 번째 세션의 경우 18.2WPM으로 현저한 향상을 관찰할 수 있었다(표 1). 반면 에러율은 6.9~7.4% 수준으로 학습효과와 무관한 것으로 나타났다. 스타일러스로 조작하는 경우에도 학습효과는 문자입력속도에 유의한 영향($F_{(2,34)}$=37.454, p<0.01)을 미쳐 첫 번째 세션에서는 18.3WPM이었던 것이 세 번째 세션에서는 23.2WPM까지 증가하였다. 에러율의 차원에서 보면 3.1~4.4%로 손가락을 이용할 경우에 비해 1/2수준이었으며 학습이력에 의한 유의한 영향($F_{(2,34)}$=5.116, p=0.011)을 확인할 수 있었다. 그러나 표 1과 같이 세션 별 추이를 살펴볼 때 단순 증가나 감소가 아니어서 세션누적이 에러율 증감에는 큰 영향이 없음을 알 수 있었다.

그림 6의 하단과 같이 NASA-TLX로 측정된 작업부하 측면에서 볼 때 손가락을 이용한 문자입력은 키 간격에 유의한 영향을 받는다(χ_2=10.333, df=2, p<0.01). 반면 스타일러스를 이용하는 경우는 유의한 영향을 미치지 않았다. 손가락의 경우 키 간격이 7mm와 11mm일 때 작업부하가 각각 404.2(표준편차: 93.0)와 219.0(표준편차: 100.9)로서 2배에 가까운 차이를 보였다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 스타일러스를 이용할 경우 손가락에 비해 작업수행도가 우수하고 작업부하가 경미함을 확인할 수 있었다. 그러나 웨어러블 컴퓨팅 환경에서 스타일러스를 이용한 문자입력은 바람직하지 않다. 입력보조도구를 항상 소지해야 하는 번거로움이나 번잡한 작업행태가 사회적 수용성을 감소시킬 우려가 있기 때문이다. 키간격이 7mm인 소형화 그래픽 키보드에서 손가락을 이용하여 문자를 입력할 경우 각 세션별로 13.0WPM, 15.2WPM, 16.7WPM의 문자입력속도를 기록했다. 3세션을 평균할 경우 15.0WPM이었고 현저한 학습효과를 확인할 수 있었다. MacKenzie 등(2001)의 연구에 따르면 휴대폰(멀티탭방식)을 통한 문자입력의 경우 초기입력속도가 7.2WPM 정도였고 20~30분간 20세션의 학습을 거친 후 15.5WPM 가량의 수준에 도달하였다[12]. 이러한 실험결과와 비교할 때 키간격을 축소한 초소형 QWERTY 키보드는 문자입력수행도 차원에서 충분한 활용가능성을 내포할 것으로 예상되었다.

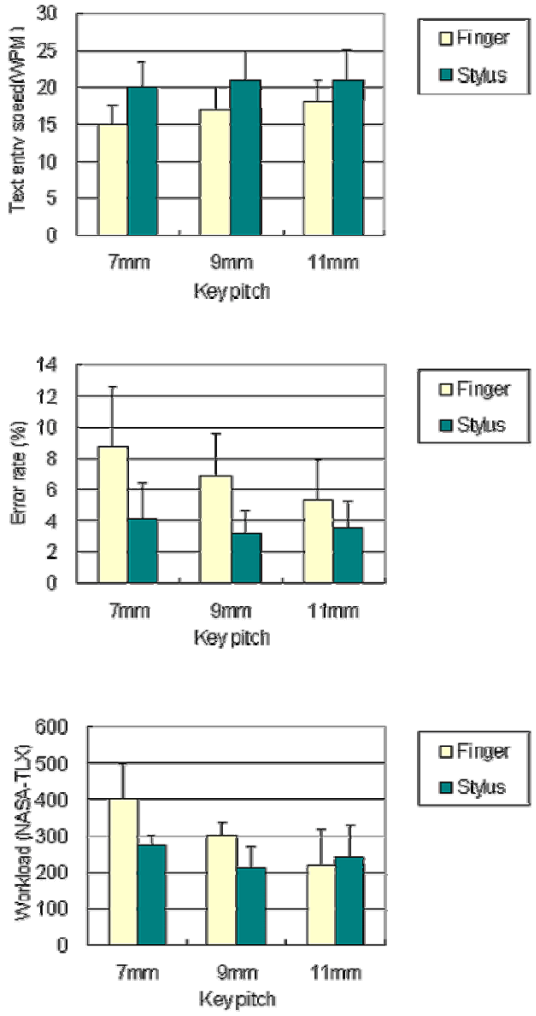

그림 6. 키 간격 차이에 따른 그래픽 키보드의 문자입력수행도 비교 (상: 문자입력속도, 중: 에러율, 하: 작업부하)

하지만 많은 피험자들이 딱딱한 화면을 눌러야 하기 때문에 키보드의 자연스러운 키감과 같은 수동적 촉각 피드백(passive haptic feedback)이 부재하고 키가 작아 어떤 버튼이 눌렸는지 확인하기 곤란하다고 지적하였다. 이러한 이유 때문에 입력의 에러율이 높았고 작업부하를 크게 느끼고 있는 것으로 추정되는데 이에 대한 개선이 문자입력수행도를 향상시킬 것으로 생각되었다.

4. 원키 키보드에 의한 문자입력효율 개선

터치스크린 기반 그래픽 키보드 실험을 통해 키 간격을

줄여 키보드를 소형화하는데 충분한 가능성이 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 손가락을 이용할 경우 키 간격이 줄어듦에 따라 에러율이 높아지며 문자입력속도가 낮아지고 또한 작업부하가 증가함을 확인할 수 있었다. 착용성과 사회적 수용성에 대한 평가결과를 통해 일상적으로 무리 없이 수용되기 위해서는 7mm이내의 키 간격이 필수적이다. 따라서 본 연구는 7mm키보드의 우수한 착용성과 사회적 수용성을 살리면서 작업수행도를 향상시킬 수 있는 방법으로 원키 키보드(One-key keyboard)의 개념을 제안하였다.

원키 키보드란 말 그대로 단 한 개의 키를 갖는 키보드이다(그림 7의 상과 하). 전통적인 키보드의 경우 하나의 키에 하나의 문자가 할당되는데 비해 원키 키보드는 하나의 키판 위에 QWERTY 키보드 문자배열을 전부 표시한다. 그렇게 함으로써 키 간격을 7mm까지 극적으로 줄일 수 있기 때문이다. 표시된 문자판에서 어떤 문자을 선택하여 눌렀는지 손가락의 위치를 센싱하여 스위치가 눌릴 때 해당 문자를 입력하도록 하는 메커니즘이다. 이는 Rekimoto 등 (2003)이 제안한 PreSense keypad[13]와 유사하게 터치센싱과 키 입력을 동시에 이용하는 상호작용방식이다. 하지만 본 연구는 키보드의 소형화를 위해 통합된 하나의 키를 사용한다는 측면에서 차이가 있다. 원키 키보드는 일반적인 키보드와 동일한 기구를 갖기 때문에 사용자에게 충분한 키감을 제공한다. 또한 시스템 피드백을 LED 배열을 통해 전달하기 때문에 어디를 터치하고 있으며 어떤 키가 눌렸는지에 대해 충분한 시각적 정보를 제공할 수 있다.

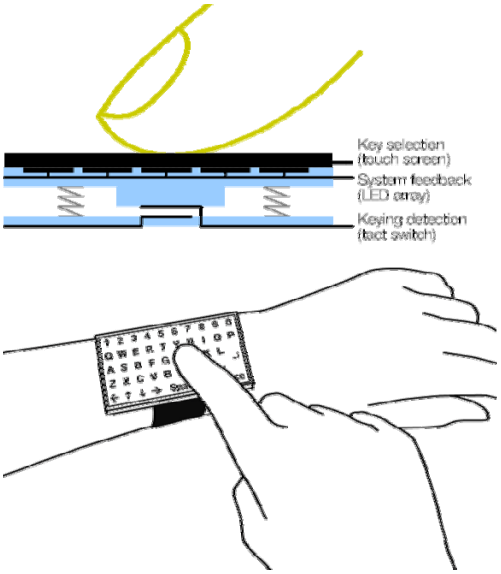

그림 7. 원키 키보드의 개념 (상: 원키 키보드의 구조, 하: 원키 키보드의 사용 장면)

4.1 원키 키보드 프로토타입 제작

원키 키보드는 키보드와 동일한 소재와 형태로 구현되어야 최선이지만 손가락 위치 감지와 액티브 디스플레이가 곤란하므로 일반적인 터치스크린(3.5인치)과 LED 배열을 이용하였다(그림 8의 상단). 그림 8 상단의 프로토타입과 같이 키보드의 실제면적은 70mm*35mm이어서 명함보다 작은 사이즈이다. 키 배열은 그림 5와 동일하게 하였다. 키보드와 유사하게 키 입력에 대한 수동적 촉각 피드백을 제공하기 위해 그림 8 의 상단 오른쪽 사진과 같이 택트 스위치 8개를 설치하였다.

원키 키보드에서는 키 판에 놓인 손가락 위치를 파악함으로써 문자입력은 물론 메뉴선택과 프리포인팅 작업도 지원할 수 있게 하였다(그림8의 중간과 하단). 입력장치를 마우스 모드로 전환할 경우 손가락 위치의 상대적인 변화량을 GUI 포인터의 위치변화량으로 매핑시키고 스위치 눌림을 마우스 클릭 이벤트로 변환하여 웨어러블 컴퓨터에 전송하도록 하였다.

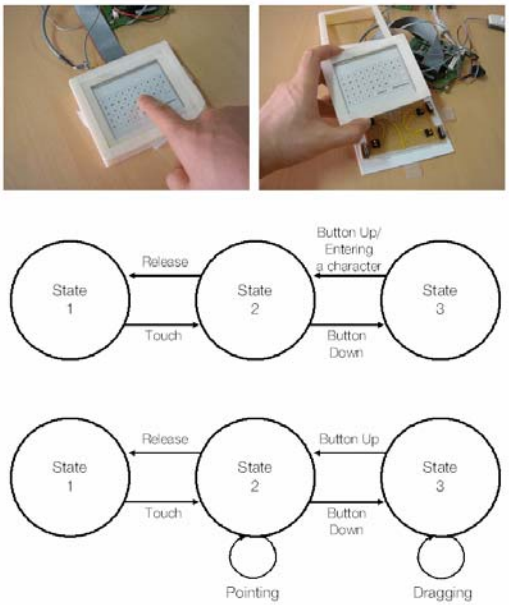

그림 8 원키 키보드의 구현(상: 프로토타입, 중: 키보드로 사용할 경우 상태전이도, 하: 포인팅 장치로 사용할 경우 상태전이도)

이와 같이 하여 터치패드와 유사한 방식의 포인팅 장치를 구현하였고 클리킹을 위한 이벤트 발생도 별도의 손가락 이동 없이 키 판을 누름으로써 쉽게 수행할 수 있게 하였다. 또한 키 판을 누른 채 손가락을 이동할 경우 드래깅 작업도 쉽게 수행할 수 있다.

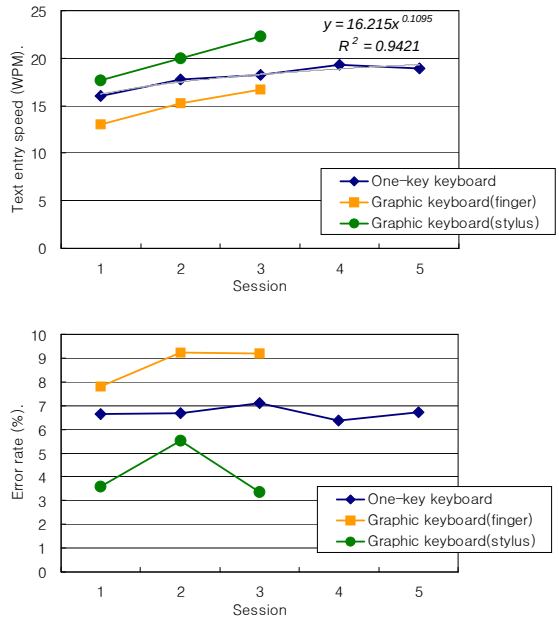

그림 9. 원키 키보드의 문자입력수행도 비교 (상: 문자입력속도, 하: 에러율)

4.2 원키 키보드의 입력효율 평가

원키 키보드의 입력효율은 앞에 기술한 그래픽 키보드와 유사한 방법으로 진행되었다. 학습효과를 확인하기 위해 5일간 5세션의 실험을 실시하였다. 실험에는 총 16명의 대학생(평균 23.8세)이 참가하였다. 실험참가자 중에서 8명(평균 23.9세)은 남성이었고 나머지 8명은 여성(평균 23.8세)이었다. 각 피험자는 제시되는 문장 15개를 순서대로 원키 키보드로 입력하였다[7]. 실험에서 백스페이스 키를 이용한 기본적인 오류수정을 허용하였다. 3번째 세션이 끝나고 터치스크린 그래픽 키보드 실험과 동일하게 NASA-TLX를 통한 작업부하를 측정하였고 일반 키보드를 통한 문자입력 수행도를 측정하였다.

실험결과 원키 키보드를 사용할 경우 5세션 평균 18.9 WPM (표준편차: 2.1)의 입력속도와 6.7%(표준편차: 2.7)의 에러율, 0.9%(표준편차: 1.00)의 교정되지 않은 순수 에러율, 242.8(표준편차: 99.8)점의 작업부하(NASA-TLX)를 기록하였다. 5세션의 연습결과 최고 24.5WPM의 문자입력속도를 기록했다. 실험결과를 앞의 터치스크린 그래픽 키보드와 비교하기 위해 3세션의 기록만을 취할 경우 문자입력속도는 17.3WPM, 에러율은 6.8%, 교정되지 순수 에러율은 1.5%이었다. 이와 같은 데이터를 손가락으로 입력한 그래픽 키보드에 대한 실험결과 비교할 때 문자입력속도는 15.3% 증가, 에러율은 27.9% 감소, 교정되지 않은 순수 에러율은 17.6% 감소, 작업부하는 47.4% 감소하는 효과를 보였다. 특히 문자입력 속도의 향상과 에러율의 감소는 물론 작업부하가 47.4% 줄어든 것은 괄목할 만한 결과이다.

문자입력속도 측정결과에 대한 분산분석결과 세션누적에 따른 유의한 학습효과($F_{(4,60)}$=17.230, $p<0.01$)를 확인할 수 있었다. 하지만 에러율 차원에서는 유의한 차이를 발견할 수 없었다($F_{(4,60)}$=0.194, $p=0.941$). 세션 누적에 따른 문자입력속도 증가현상을 학습곡선의 형태로 모델링한 결과 100세션 후에는 약 26.8WPM의 입력속도가 예상되었다. 원키 키보드가 명함보다 작은 사이즈의 키보드라는 사실을 감안할 때 이러한 결과는 상당히 우수한 수행도라고 할 수 있다.

실험이 진전될수록 대부분의 실험참가자들은 일반 키보드를 사용하는 것과는 달리 키를 더듬어 누르는 방식을 취하였다. 키간격이 조밀하여 손가락이 여러 문자를 가리기 때문에 일반적인 타이핑 방법을 취할 경우 어떤 문자를 입력하는지 확인하기 어렵기 때문이다. 따라서 손가락이 터치하는 영역에 대한 시각적 피드백을 확인하며 문자를 선택하여 입력하는 행동을 보였다.

4. 결론

현재까지 웨어러블 컴퓨팅 환경에서 사용하기 위해 개발된 문자입력장치 중에서 착용성, 입력효율성, 학습용이성 등이 모두 우수한 키보드를 발견하기란 쉽지 않다. 본 연구는 소형화 QWERTY 키보드의 일종인 원키 키보드를 제안하여 요구특성 간의 상충관계를 극복할 수 있는 가능성을 탐색하였다.

소형화 키보드 모형에 대한 착용성 및 사회적 수용성 평가를 통해 최소 90mm이하 크기의 키보드가 의미 있음을 파악하였다. 또한 터치스크린 기반 그래픽 키보드를 이용한 실험을 통해 키 간격 7mm 키보드에서도 충분히 의미 있는 입력수행도(3세션 평균 입력속도: 15.0WPM, 에러율: 8.7%)를 얻을 수 있었다. 이러한 실험결과를 바탕으로 키간격 7mm인 원키 키보드를 제작하였다. 원키 키보드는 그래픽 키보드와는 달리 키 입력에 대해 자연스러운 수동적 촉각 피드백과 터치하는 영역에 대한 시각적 피드백을 제시할 수 있도록 하였다. 그 결과 문자입력 테스트 3세션 평균 17.3WPM의 입력속도와 6.8%의 에러율을 기록했다. 5세션 최고 24.5WPM의 입력속도를 관찰했고 학습곡선에 의한 예측에 따르면 100세션 연습 후 약 26.8WPM 정도에 도달할 것으로 평가되었다. 명함보다 작은 사이즈로 착용성이 우수한 키보드라는 점을 감안할 때 이 정도 수준의 입력수행도는 일상적으로 받아들여질 수 있는 충분한 의미를 가질 것으로 평가된다. 또한 원키 키보드는 문자입력 외에도 프리 포인팅을 통한 메뉴 선택과 같은 작업도 수행할 수 있어 현실적으로 충분한 응용가능성을 내포하고 있다고 할 수 있다.

연구를 통해 관찰된 문제점 중 입력오류의 수준이 낮지

않다는 것은 향후 개선해야 할 과제 중 하나이다. 문자 간격에 비해 손가락이 두껍기 때문에 입력하는 문자를 정확히 선택하지 못하거나 키를 누르는 도중 손가락의 위치에 변화가 생겨 오류가 발생하는 경우도 관찰되었다. 이는 키간격의 극적인 축소 때문에 발생하는 불가피한 문제인데, T9이나 MacKenzie 등(2001)이 제안한 LetterWise [12]와 같은 키 입력의 모호성해소기술을 응용한다면 상당 수준 입력오류를 줄이고 입력속도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] B. Shneiderman, "The Limits of Speech Recognition", Communications of the ACM, Vol.43, No.9, pp.63-65, 2000

[2] E. Matias, I.S. MacKenzie, and W. Buxton, "Half-QWERTY: A One-Handed Keyboard Facilitating Skill Transfer from QWERTY", In proceedings of INTERCHI 1993, ACM Press, pp.88-94, 1993.

[3] N. Green, J. Krugerm, C. Faldu, and R.S. Amant, "A Reduced QWERTY Keyboard for Mobile Text Entry", In extended abstracts of the ACM conference on human factors in computing systems, ACM Press, pp.1429-1423, 2004.

[4] T. Kotringer and T. Grechenig, "Comparing the Immediate Usability of Graffiti 2 and Virtual Keyboard", In extended abstracts of the ACM conference on human factors in computing systems, ACM Press, pp.1175-1178, 2004.

[5] E. Clarkson, J. Clawson, K. Lyons, and T. Starner, "An Empirical Study of Typing Rates on mini-QWERTY Keyboards", In extended abstracts of the ACM conference on human factors in computing systems, ACM Press, pp.1288-1291, 2005.

[6] I.S. MacKenzie and R.W. Soukoreff, "Text entry for mobile computing: Models and methods, theory and practice", *Human-Computer Interaction, 17*, pp.147-198, 2002.

[7] I.S. MacKenzie and R.W. Soukoreff, "Phrase sets for evaluating text entry techniques", In extended abstracts of the ACM conference on human factors in computing systems, ACM Press, pp.754-755, 2003.

[8] I.S. MacKenzie and R.W. Soukoreff, "Measuring Errors in Text Entry Tasks: An Application of the Levenshtein String Distance Statistic", In extended abstracts of the ACM conference on human factors in computing systems, ACM Press, pp.319-320, 2001.

[9] I.S. MacKenzie and R.W. Soukoreff, "Metrics for text entry research: An evaluation of MSD and KSPC, and a new unified error metric", In proceedings of the conference on human factors in computing systems, ACM Press, pp.113-120, 2003

[10] I.S. MacKenzie and R.W. Soukoreff, "Recent developments in text-entry error rate measurement", In extended abstracts of the ACM conference on human factors in computing systems, ACM Press, pp.1425-1428, 2004.

[11] S.Hart and L. Staveland, "Development of NASA-TLS (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research", In Human mental workload, P. Hancock & N. Meshkati (Ed), North-Holland: Elsevier, pp.139-183, 1988.

[12] I.S. MacKenzie, H. Kober, D.Smith, T. Jones & E. Skepner, "LetterWise: Prefix-based disambiguation for mobile text input", In proceedings of the ACM symposium on user interface software and technology(UIST 2001), pp.111-120, 2001.

[13] J. Rekimoto, T. Ishizawa, C. Schwesig, and H. Oba, "PreSense: Interaction Techniques for Finger Sensing Input Devices", In proceedings of the ACM symposium on user interface software and technology(UIST 2003) pp.203-212, 2003.

이 우 훈

1986년 3월 ~ 1990년 2월 KAIST 산업디자인학과 졸업 (공학사). 1991년 4월 ~ 1993년 3월 (일본) 큐슈예술공과대학 (예술공학석사). 1993년 4월 ~ 1996년 3월 (일본) 큐슈예술공과대학(공학박사). 1996년 3월 ~ 2002년 3월 (주)대우전자 디자인연구소 선임연구원. 2002년 4월~현재 KAIST 산업디자인학과 교수. 관심분야는 유저 인터페이스 디자인, 제품 디자인

손 민 정

2000년 3월 ~ 2005년 2월 KAIST 산업디자인학과 졸업(공학사). 2005년 3월 ~ 현재 KAIST 산업디자인학과 석사과정. 관심분야는 HCI, 웨어러블 컴퓨터