

# 새로운 문자입력장치 개발을 위한 숙련타이피스트의 타이핑 위치 측정

김진영\*(한국생산기술연구원), 이호길(한국생산기술연구원), 황성호(한국생산기술연구원),  
최혁렬(성균관대학교 기계공학부)

## The Measurement of Skilled Typist's Typing Position for Developments of New Text Entry Input Device

J. Y. Kim(KITECH), H. G. Lee(KITECH), S. H. Hwang(KITECH),  
H. R. Choi(School of Mechanical Eng. SKKU)

### ABSTRACT

Skilled typists can type characters or words without looking at keyboard, relying on the finger's relative position. If the relative positions of the fingers can be identified, a virtual keyboard may be accomplished by applying the concept of "DataGlove" or "FingerRing". The virtual keyboard may be efficient as a new mobile input device supporting QWERTY keyboard layout. For the purpose of investigating skilled typing pattern, in this paper the touch-positions of the fingers are measured with a touchscreen while five skilled typists type a long sentence. From these measurements it can be observed that the groups of touch-positions are classified into alphabet characters. Though there are some overlapped groups we can find constant distances capable of being discriminated among the groups from investigation of the change of touch-position for touch-time. Based on the analysis, the prediction algorithm of the constant distance is proposed and evaluated, which is useful for realization of a portable virtual keyboard.

**Key Words** : Text entry input device (문자입력장치), Touch typing (타이핑), Virtual keyboard(가상키보드)

### 1. 서론

최근, 모바일 컴퓨팅 환경이 급성장함에 따라 무선통신기술, 모바일 기기와 관련된 기술, 이와 접목하기 위한 인터넷기술이 활발히 연구·개발되고 있다. 특히, 모바일 기기와 관련하여 소형화에 따른 입력장치의 성능 저하를 향상시킬 수 있는 새로운 모바일 입력장치의 개발이 그 어느 때보다 크게 부각되고 있다. 모바일 컴퓨터의 입력장치와 관련된 기술로 가장 주목받고 있는 것은 음성인식과 필기체인식 기술이며 이미 부분적으로 상용화에 이르렀다. 그러나 음성인식과 필기체 인식기술은 아직 많은 제약들을 가지고 있다. 음성인식의 경우에는 인식률 향상, 명령(command)과 데이터(data)의 분리 인식 기술 등이 관건으로 현재 기술 수준으로는 오히려 사용자가 불편함을 느끼는 부분이 더 많은 실

정이다. 펜 입력방식의 필기체 인식기술 또한 인식 오류 문제, 입력속도 등의 문제를 풀어야 한다. 또한, 간단한 명령 또는 간단한 대화를 입력하는 경우에는 음성인식이나 필기체인식 기술이 훌륭한 대안이겠지만, 장문의 글이나 보고서 등을 작성해야 하는 경우, 음성이나 펜 입력방식으로 문장을 입력한다면 인간 작업자에게 많은 피로를 줄 수 있다. 말 못하는 장애인의 경우는 그것마저 불가능할 것이다. 물론 음성인식이나 필기체인식방식의 입력장치는 향후 새로운 입력장치로써 주도적인 자리를 차지하겠지만, 장문의 문자 입력에 관한 한 기존의 타이핑 입력방식을 빠른 시일 내로 대체하지는 못할 것이다. 최근, 타이핑 입력방식이면서 기존 모바일 기기 입력장치의 단점을 극복할 수 있는 새로운 입력장치의 개발 및 이와 관련된 연구들이 진행 중에 있다. Palm 사는 표준키보드를 기계적으로 3등분

하여 이동시에 접어서 휴대할 수 있는 Palm portable keyboard 와 키보드를 유연한 재질로 만들어 마치 형질을 구기듯이 휴대할 수 있는 유연키보드를 상품화 하였다. 이러한 제품들은 기존 키보드의 형태를 그대로 가지면서 휴대성을 향상시킨 것으로 가장 확실하고 간단하게 실제 이동컴퓨터기에 적용할 수 있는 실용 제품들이다. 그러나 거리에서 서서 사용하거나 비행기나 승용차 실내등과 같이 협소한 장소에서 사용하기에는 제약이 따른다. Twiddler 와 DataEgg[13]는 소형이면서 이동성이 좋아 협소한 장소에서도 사용이 용이한 입력장치이나 글쇠조합방식 키보드의 단점인 기존 키보드 사용자가 별도의 글쇠 학습을 해야한다는 문제점이 있다.

또한 기존의 모바일기기에 입력을 위한 별도의 소프트웨어를 탑재하여 기존 입력장치의 성능을 향상시키고자 하는 연구도 진행중에 있다. Francine Evans[7]는 확률론과 시스템에 미리 구비된 사전(dictionary)에 입각하여 입력자가 중복된 글쇠 중에 원하는 글쇠를 찾아 입력하지 않아도 자동으로 입력하고자 한 문장을 추정해 내는 알고리즘을 제안하였다. Mikael Goldstein[8] 역시 시스템에 사전이 미리 구비되어 있다는 전제하에 총 12 개의 글쇠로 입력된 글자를 추정하는 방법에 대하여 제안하였다. 특히 Mikael Goldstein 는 글쇠의 수가 12 개로 줄어들었음에도 불구하고 기존의 QWERTY 키보드 숙련자가 세로운 학습 없이 타이핑을 훌륭히 해낼 수 있음을 강조하였다 그러나 이들 두 연구는 모바일기기에 미리 사전이 구비되어 있고 입력하는 문자가 그 사전에 등록되어있어야 한다는 전제를 가지기 때문에 시스템의 컴퓨팅 부하 및 많은 메모리를 요구하게 된다. 또한 각 나라마다 다른 언어학적인 모델링이 선행되어야 하기 때문에 알고리즘이 복잡하고 구현이 용이하지 않다는 단점이 있다.

본 논문에서는 1) 기존의 QWERTY 키보드에 숙련된 타이피스트는 자판을 보지않고도 타이핑이 가능하다. 2) 또한 어떤 공간(예를들어 책상위나 무릎 위 같은)내에서도 손가락의 상대적인 위치를 키보드의 각 글쇠로 인식하며 타이핑할 수 있다는 연구확안점을 가지고 기존의 QWERTY 키보드에 숙련된 타이피스트의 타이핑 위치를 측정하고 측정데이터를로부터 타이핑 패턴의 특성을 조사하고자 한다. 그리고 이러한 타이핑 패턴의 특성이 새로운 문자 입력장치의 개발에 적용될 수 있음을 제시하고자 한다. 단, 새로운 문자입력장치의 적용대상은 기존 QWERTY 키보드에 숙련된 타이피스트로 한정한다.

## 2. 터치스크린을 이용한 알파벳 타이핑 실험

Fig. 1 과 같이 기존 QWERTY 키보드 숙련 타이

피스트의 타이핑 패턴의 측정을 위하여 touchscreen 을 사용한다. Touchscreen 은 손가락 끝의 위치를 측정한다. 숙련 타이피스트가 실험 전 대강의 키보드 형태 및 크기를 인지하고 양손 검지의 기준 위치를 잡기 위하여 표준키보드의 실측 글쇠 배치도를 터치 스크린의 뒷면에 부착한다.



Fig. 1 The photograph of typing test

숙련 타이피스트의 타이핑 특성을 측정하기 위한 실험은 크게 두가지로 나뉘어 수행한다. 첫 번째 실험은 글자수준의 타이핑 특성을 측정하기 위하여 타이피스트가 키보드를 보지 않고 알파벳을 순서대로 반복 타이핑한다 이를 이하 '알파벳 타이핑 실험'이라 칭한다. 두 번째 실험은 장문의 영문을 키보드를 보지 않고 타이핑한다. 이를 '영문장 타이핑 실험'이라 칭한다

실험 결과로 측정된 타이핑의 위치 값들을 알파벳별로 모은다. 즉, 실험자가 'A'라고 생각하고 타이핑한 위치데이터 값들을 하나로 모으고, 'B'라고 생각하고 타이핑한 모든 측정 데이터 값들을 하나로 모은다. 본 논문에서는 이러한 작업을 '알파벳 클러스터링(alphabet clustering)'이라 정의한다. 또한 이렇게 클러스터링된 데이터 그룹들을 통칭하여 '알파벳-클러스터(alphabet-cluster)'라 정의하고 각각의 클러스터에 대해서는 '알파벳 A-클러스터', '알파벳 B-클러스터' 등으로 명명한다.

알파벳 타이핑 실험을 위한 실험 방법 및 조건은 다음과 같다.

- 1) 터치스크린의 뒷면에 표준 키보드의 실측 글쇠 배치도 부착한다.
- 2) 양손의 손가락을 글쇠배치도의 기준 글쇠열에 위치시켜 최초 기준을 잡는다.
- 3) 최초 기준을 잡은 후에는 부착된 키보드 배치도를 보지 않고 알파벳을 A 부터 Z 까지 연속적으로 타이핑한다.
- 4) 한번의 알파벳 타이핑 실험 후, 잠시 휴식(약 1 분)을 가지고 다시 2)번 사항을 수행한다. 이것

- 을 10 회 반복한다.
- 5) 이때 손 전체의 이동을 고려하지 않기 위해 가능한한 손바닥의 하단부를 움직이지 않고 고정된 상태를 유지한다.
  - 6) 본 실험에 참가한 숙련 타이피스트는 4 명이다.
  - 7) 터치스크린의 물리적 위치[mm]는 측정프로그램의 그래픽 화면 단위인 Twip 단위로 매핑된다. 567twip 은 10mm 이다.

영문장 타이핑 실험의 방법 및 조건은 준비된 표본 영문장을 보지않고 타이핑한다는 것 외에는 알파벳 타이핑 실험과 동일하다 영문장 타이핑 실험에 참여한 숙련 타이피스트들은 총 3명이다.

그림 은 알파벳 타이핑 실험 결과 터치의 위치 정확도가 얼마나 되는 지를 알아보기 위해 10 회 반복 측정된 데이터들을 알파벳별로 모아 본 것이다.

알파벳-클러스터의 분포도를 정량적으로 알아보기 위해 클러스터의 평균반경과 평균위치에 관하여 조사하였다. 평균반경과 평균 중심위치에 관한 식은 다음과 같다.

$$\bar{x}_k = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ki}}{n}, \quad \bar{y}_k = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ki}}{n} \quad (1)$$

$$R_k = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(\bar{x}_k - x_{ki})^2 + (\bar{y}_k - y_{ki})^2}}{n} \quad (2)$$

여기서,

- $k$ : 알파벳-클러스터 구분자(index)
- $i$ : 위치군집 데이터 구분자
- $n$ : 타이핑 반복 횟수
- $x_{ki}$ : 알파벳 k-클러스터의 i 번째 데이터의 x 값
- $y_{ki}$ : 알파벳 k-클러스터의 i 번째 데이터의 y 값
- $\bar{x}_k$ : 알파벳 k-클러스터의 x 축 평균 중심위치
- $\bar{y}_k$ : 알파벳 k-클러스터의 y 축 평균 중심위치
- $R_k$ : 알파벳 k-클러스터의 평균반경

Fig. 3 은 계산된 평균 중심위치를 양손의 가로 글쇠열별로 연결하여 그려본 것이다. Fig. 4 는 알파벳-클러스터의 평균반경을 극 좌표에 나타낸 그림이다.

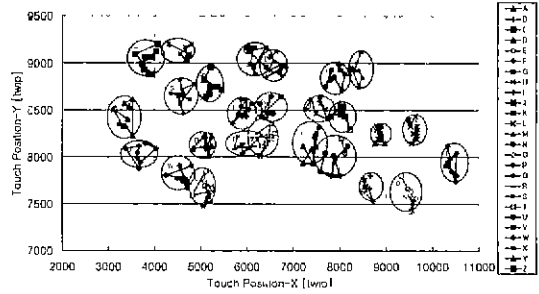


Fig. 2 Measured touch-positions using touchscreen

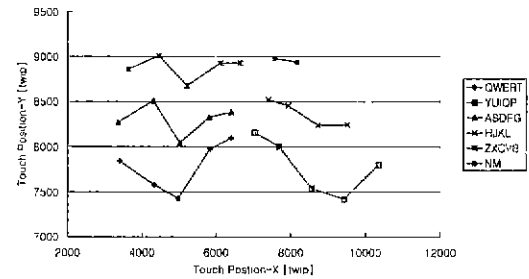


Fig. 3 Average center points of alphabet character groups

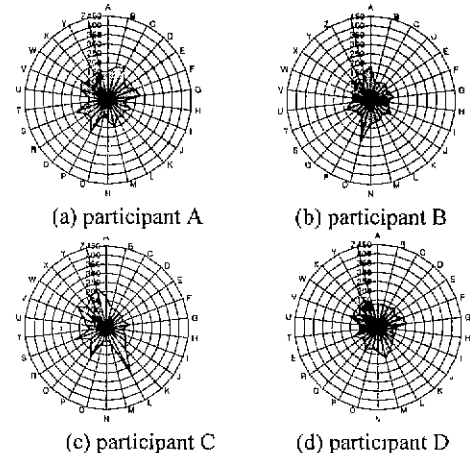


Fig.4 Average radius of alphabet character groups

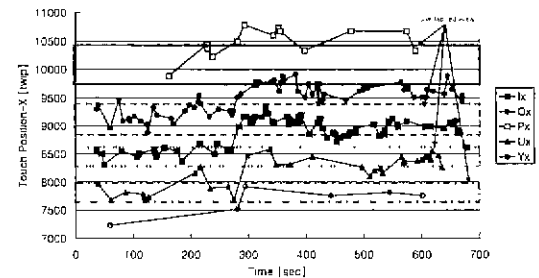


Fig. 5 The change of x-values of touch-positions for touch-time about keyset 'YUIOP'

수행한 실험 결과 및 고찰을 요약하면 다음과 같다.

1) 알파벳 클러스터링을 통하여 몇 개의 알파벳-클러스터를 제외하고는 그 구분을 명확히 할 수 있는 일정한 분포와 위치를 가진다는 것을 알 수 있다. (Fig. 2)

2) 'R-T', 'F-G', 'V-B'와 'Y-U', 'H-J', 'N-M'에 해당되는 그룹에서는 겹쳐지는 영역이 발생되었다. 이 글쇠들은 겹치가 타이핑하는 영역으로서 겹치는 알파벳 타이핑시 다른 손가락이 1 개의 세로글쇠열(QAZ, WSX, EDC, IK, OL, P)을 담당하는것에 비해 2개의 세로글쇠열(왼손:RFV 와 TGB, 오른손: UJM 와 YHN)을 담당한다. 따라서 이러한 겹침현상은 키 눌림, 키의 모양 등의 촉감을 통해서 전달되는 타이핑을 위한 부가기준정보가 없어짐으로 인해 인간이 무의식적으로 자연스러운 자세를 취한 결과이다.

3) 알파벳-클러스터의 평균 중심위치를 양손의 가로 글쇠열(QWERT, YUIOP, ASDFG 등)로 연결하여 그려본 결과(Fig 3), 직선이어야 할 연결선이 손끝의 형상과 같은 곡선을 이루었다. 이것 역시 실제 키보드의 물리적 제한이 없어짐으로써 인간이 무의식적으로 자연스러운 자세를 취한 결과이다.

4) 알파벳-클러스터의 평균반경의 크기가 측정프로그램에서 작성한 글쇠의 반경에 충분히 들어올 정도로 작아 알파벳-클러스터의 밀집도 상당히 우수한 것을 알 수 있다. (Fig. 4)

영장문의 경우도 알파벳 타이핑 실험과 유사한 결과가 나왔다. 영장문의 알파벳-클러스터들의 평균반경은 350[tipw]이하의 값을 가졌다 이것은 실제 키보드의 글쇠반경 376[tipw]보다 작은 값이다. 따라서 장문을 타이핑하는 경우에도 알파벳 타이핑 실험과 마찬가지로 숙련타이피스트들은 키보드가 없는 공간에서도 공간적인 타이핑 패턴을 가진다. 또한 알파벳 타이핑 실험시에도 나타났듯이 양손의 겹치가 타이핑을 담당하는 부분에서 영역의 겹침이 특히 많이 일어남을 볼 수 있다. 그러나 타이핑 시점을 고려한 시간영역에서 관찰하여 보면, 겹침의 담당역역인 'R-T', 'F-G', 'Y-U', 'H-J'에서 공간적 겹침이 확연하지만 Fig. 5 와 같이 시간에 따른 타이핑 위치를 보면 거의 겹침이 일어나지 않음을 볼 수 있다. 이것은 시간이 지남에 따라 손이 전체적으로 이동하거나 각 손가락의 굽힘이나 펴의 상대적 스케일이 변동되고 있음을 의미한다. 하지만 특정시간에 고정하여 각 알파벳-클러스터의 데이터들의 시간에 대한 변동을 살펴보면 각 측정 데이터가 어느 클러스터에 소속되는지를 구분할 수 있는 일정 거리를 두고 변동되고 있음을 알 수 있다.

### 3. 변동량 추정 알고리즘

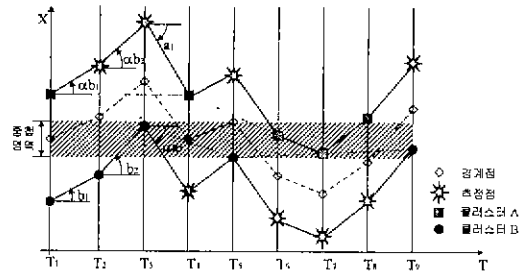


Fig. 6 The concept of time-variant predictin algorithm

앞절에서 공간적으로 서로 겹쳐지는 두 알파벳-클러스터의 데이터를 측정 시간에 따라 나열하면 서로 구분할 수 있는 일정 거리를 두고 나열됨을 알 수 있었다. 이러한 두 클러스터 데이터값들의 시간에 따른 변화의 흐름을 구할 수 있으면 두 클러스터들을 서로 구분할 수 있다. 따라서 이러한 데이터값들의 시간에 대한 변화의 흐름을 추정하는 추정알고리즘을 제안하며, 이것을 알파벳-클러스터의 '변동량 추정 알고리즘'이라 정의한다.

변동량 추정 알고리즘의 개념은 Fig. 6 과 같다. Fig. 6 에서 클러스터 A(사각형)와 클러스터 B(원형)의 데이터들의 시간에 대한 변동)는 동일하다고 가정하자. 이러한 가정에 따라 입력된 데이터가 없는 시점의 값들을 추정할 수 있다. 즉, 클러스터 A의  $T_2, T_3$  시점에서는 입력된 데이터가 없다. 그러나 앞서 언급한 가정을 따른다면 클러스터 B의  $T_2, T_3$  시점에서의 변동량  $b_1, b_2$ 로부터 클러스터 A의  $T_2, T_3$  시점의 위치값을 추정할 수 있다.

이것을 수식으로 표현하면 식(3)~(9)와 같다. 클러스터 A의 변동량 추정은 식(3)~(5)에 해당되며, 클러스터 B의 변동량 추정은 식(6)~(8)에 해당된다. 노이즈 성분을 제거하기 위하여 식(3), 식(6)의 이동평균을 사용한다.

클러스터 A의 변동량 추정식은 다음과 같다

$$\overline{X_A}(T_i) = \sum_{j=i-n}^i \frac{X_A(T_j)}{n}, \text{ 단 } i > n \quad (5.1)$$

$$a_i = \frac{\overline{X_A}(T_i) - \overline{X_A}(T_{i-1})}{T_i - T_{i-1}} \quad (5.2)$$

$$\overline{X_B}(T_i) = \overline{X_B}(T_{i-1}) + \alpha \cdot a_i \quad (5.3)$$

여기서,  
 $T_i$  : 입력 시점

$n$  이동평균 갯수

$\overline{X_A}(T_i)$ :  $T_i$  시점에서  $X_A$  의 이동평균값

$a_i$ : 클러스터 A 의 변동량

$\alpha$ : 변동량 추정 계인 ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )

$\overline{X_B}$ : 클러스터 B 의 변동량 추정값

클러스터 B 의 변동량 추정식은 다음과 같다.

$$\overline{X_B}(T_i) = \sum_{j=i-n+1}^i \frac{X_B(T_j)}{n}, \text{ 단 } i > n \quad (5.1)$$

$$b_i = \frac{\overline{X_B}(T_i) - \overline{X_B}(T_{i-1})}{T_i - T_{i-1}} \quad (5.2)$$

$$\overline{X_A}(T_i) = \overline{X_A}(T_{i-1}) + \alpha \cdot b_i \quad (5.3)$$

여기서,

$\overline{X_B}(T_i)$ :  $T_i$  시점에서  $X_B$  의 이동평균값

$a_i$ : 클러스터 B 의 변동량

$\alpha$ : 변동량 추정 계인 ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )

$\overline{X_A}$ : 클러스터 A 의 변동량 추정값

이렇게 추가된 추정된 점들에 의해 두 클러스터 사이의 경계를 식(10)과 같이 결정하여 공간적으로 서로 겹쳐진 클러스터 영역의 값들을 분리할 수 있다.

$$\overline{X_c}(T_i) = \frac{\overline{X_A}(T_i) - \overline{X_B}(T_i)}{2} \quad (10)$$

앞서 언급한 가정과 수식으로부터, 서로 중첩하는 영역이 존재하는 알파벳-클러스터의 시간에 대한 변동량을 추정하여 겹쳐진 두 영역을 구분할 수 있는 변동량 추정알고리즘을 개발하였다.

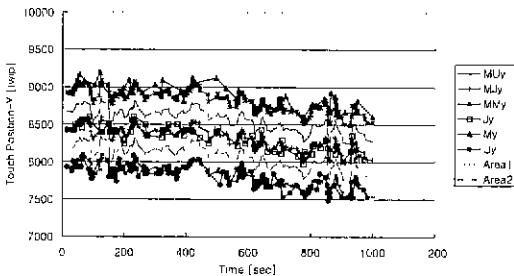


Fig. 7 The result of time-variant prediction for 'WSX' keyset

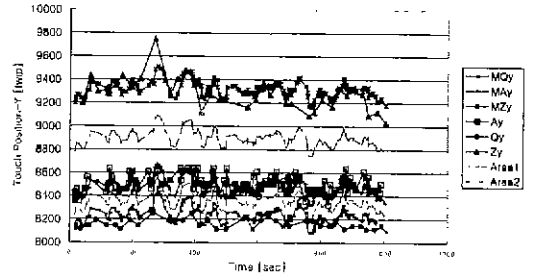


Fig. 8 The result of time-variant prediction for 'QAZ' keyset

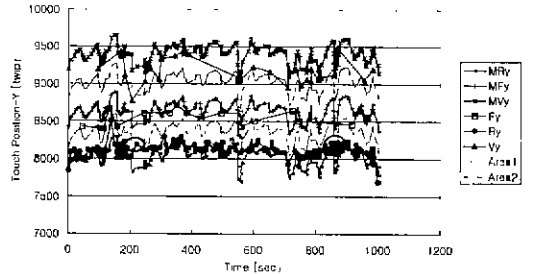


Fig. 9 The result of time-variant prediction for 'RFV' keyset

영문장 타이핑시 세로 글쇠열의 구분에 변동량 추정알고리즘을 실제 적용하여 보았다. 경계점의 초기값으로 기존의 영문장 실험에서 구한 평균 중심위치를 사용하였다. 변동량 추정 계인은 1, 이동평균 갯수는 10 개로 하였다.

적용결과, Fig. 7 의 'WSX' 열과 같이 원본 데이터 자체로도 충분히 각 키의 구분이 확인한 글쇠열 뿐만 아니라 Fig 8 의 QAZ 글쇠열과 같이 각 글쇠의 간격이 일정하지 않고 공간적으로 서로 영역의 겹침이 일어나는 글쇠들도 훌륭히 구분할 수 있었다. 범례의 Qy, Ay, Zy 는 각각 실제 Q, A, Z 글쇠에 대한 Y 축 입력 데이터값들이다. MQy, MAy, MZy 는 변동량 추정 알고리즘에 의해 구해진 Q, A, Z 에 대한 변동량 추정값들이다. 그러나 클러스터간의 간격에 비해 급격한 변화가 일어날 경우에는 구분을 잘하지 못했다. 또한, 추정 초기치를 잘못 설정하면 오프셋이 계속 누적되어 구분율을 떨어뜨린다.

변동량 추정알고리즘의 글쇠 구분 성능을 평가 하기 위하여 표준 글쇠매치와 글쇠재배치에 의한 구분 성능을 비교 평가하여 보았다. 여기서 표준 글쇠배치에 의한 구분성능이란 touchscreen 뒷면에 부착된 일반적인 글쇠배치에 의해 숙련타이피스트가 타이핑한 위치가 어느 글쇠에 해당하는지 구분하는 것을 의미하며 글쇠 재배치에 의한 구분성능이란 알파벳-클러스터의 평균중심위치를 글쇠의 중

심점으로, 알파벳-클러스터의 평균반경을 글쇠의 크기로 재배치하여 숙련타이피스트가 타이핑한 위치가 재배치한 어느 글쇠에 해당하는지 구분하는 것을 의미한다. Fig. 10 과 Fig. 11 은 'RFV' 글쇠열과 'UJM' 글쇠열에 대한 구분성능을 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 전반적으로는 변동량 추정 알고리즘을 적용한 경우가 구분성능이 우수함을 알 수 있다. 단, Fig. 10 에서 글쇠재배치의 구분성능이 변동량 추정 알고리즘 적용의 경우보다 다소 우수함을 볼 수 있는데 이것은 앞서 언급한 변동량 추정 알고리즘은 클러스터간의 간격에 비해 급격한 변화가 일어날 경우, 글쇠 구분성능이 떨어지기 때문이다.

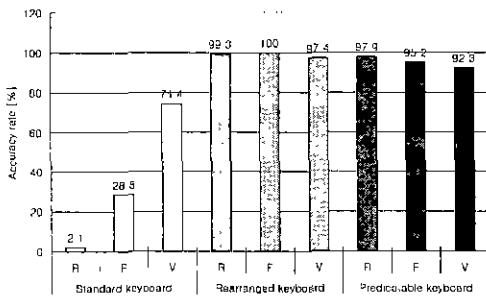


Fig. 10 The comparison of discrimination performance about 'RFV' keyset

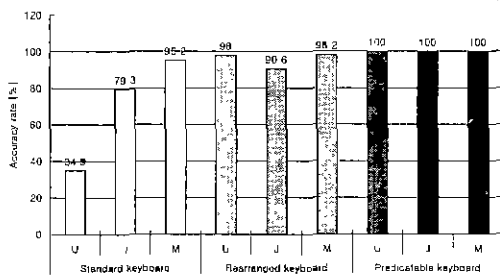


Fig. 11 The comparison of discrimination performance about 'UJM' keyset

## 5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 최근의 모바일 컴퓨팅 환경이라는 새로운 컴퓨터 환경에 신속히 대응할 수 있는 새로운 장문의 문자입력장치 개발이 시급히 요구됨에 따라 새로운 문자입력장치의 하나로써 숙련타이피스트의 타이핑 패턴을 이용하는 새로운 키보드 파라다임을 제안하기 위해 숙련타이피스트의 타이핑 위치를 측정하고 타이핑 패턴 특성을 조사하였다. 또한 이러한 타이핑 패턴특성의 조사로부터 타이핑 패턴의 공간적 겹침 영역을 구분할 수 있는 변동량 추정 알고리즘을 개발하였으며 그 성능을 평가하였

다. 성능평가 결과, 숙련타이피스트의 타이핑 패턴 특성의 분석을 통한 변동량 추정 알고리즘이 상당히 우수한 결과를 보여주고 있으며 이것은 숙련타이피스트의 타이핑 패턴 특성과 변동량 추정 알고리즘을 휴대가 가능하며 손가락의 위치를 측정할 수 있는 Dataglove, FmgRing, Touch panel 등의 차세대 입력장치에 적용하여 이들 입력장치들이 새로운 가상의 키보드로 활용될 수 있음을 보여준다.

향후 연구 과제로는 좀더 많은 실험자와 다양한 실험을 통하여 보다 신뢰성 있고 일반적인 숙련 타이핑 패턴을 분석하는 것이 필요하다. 또한 변동량 추정 알고리즘의 성능향상을 위하여 오타처리 문제, 초기 추정치 설정 문제 등을 해결하는 것이 필요하다.

## 참고문헌

- [1] 김진영, 가상키보드의 개발을 위한 숙련타이핑 패턴에 관한 연구, 석사학위논문, 성균관대학교, 2000.
- [2] Klockenberg E. A., *Rationalization of typewriters and their operation*, Berlin, 1926.
- [3] Kroemer H. H. E., "Human engineering the keyboard," *Human Factors*, Vol. 14, pp. 51-64, 1972.
- [4] Robert R., "The chording glove," *IEEE transactions on system, man and cybernetics*, Vol. 29, No. 2, pp. 186-191, 1999.
- [5] Fukumoto M. and Tonomura Y., "Body coupled FmgRing," *Proceedings of CHI'97*, ACM press, pp. 147-154, 1997.
- [6] Andrew V., "The WristCam as input device," *IEEE*, pp. 199-202, 1999.
- [7] Mikael G., "Non-keyboard QWERTY touch typing," *Proceeding of CHI'99*, ACM press, pp. 32-39, 1999.
- [8] Francine E., *Resolving ambiguity in overloaded keyboards*, 1997.
- [9] Kapandiji I., *The physiology of the joints*, Vol. 1, Churchill Livingstone, NewYork, 1982.
- [10] Andrew M. G., "The Learning of novel finger movement sequences," *Journal of neurophysiology*, Vol. 72, No. 4, pp. 1596-1610, 1994.
- [11] Andrew M. G., "Use of tactile afferent information in sequential finger movements," *Exp Brain Res*, 107, pp. 281-292, 1995.
- [12] Waleed K., *GRASP, Recognition of Australian sign language using instrumented gloves*, M.S. thesis in the University of New South Wales, 1995.
- [13] <http://www.tifaq.com/keyboards.html>, Alternative keyboards-typing injury FAQ.