

소프트 키보드의 터치 위치별 지각 불편도 및 근전도 분석

최보리 · 정기효[†]

울산대학교 산업경영공학부

Analysis of Perceived Discomfort and EMG for Touch Locations of a Soft Keyboard

Bori Choi · Kihyo Jung

School of Industrial Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

With diversity of mobile services (e.g., messenger, and social network service) on smartphone, the demand of text input using a soft keyboard is increasing. However, studies on subjective and physiological responses of users for various touch locations are lacking. The present study investigated the ergonomic effects according to touch locations of a soft keyboard on smartphone. The experiment of the present study measured perceived discomfort using Borg's CR-10 scale and electromyography (EMG) on forearm (abductor pollicis longus, and extensor digitorum communis) and thumb (abductor pollicis brevis, and first dorsal interossei) muscles. Perceived discomfort was significantly varied from 0.7 (extremely weak discomfort) to 2.5 (weak discomfort) depending on touch locations. %MVC according to touch locations was only significant at abductor pollicis brevis which varied from 10% to 23%. The experimental results of the present study can be utilized in the ergonomic design of a soft keyboard.

Keywords: Touch Discomfort, Two-Thumb Input, Soft Keyboard, EMG, Smartphone

1. 서론

최근 들어 스마트폰으로 할 수 있는 모바일 서비스의 다양화로 소프트 키보드(soft keyboard)를 이용한 문자 입력 빈도가 증가하고 있다. 스마트폰 이용자의 88%는 스마트폰을 이용하여 정보검색, 이메일 송수신, 웹서핑을 하고 있는 것으로 조사되고 있다(KISA, 2011). 또한, 스마트폰 이용자의 79.6%는 메신저(예 : 카카오톡) 및 SNS(social networking service)를 이용하고 있는 것으로 보고되고 있다. 이러한 모바일 서비스의 사용 확대는 문자 송신과 더불어 소프트 키보드를 이용한 문자 입력 요구를 폭발적으로 증가시키고 있다.

스마트폰의 한글 입력은 <Figure 1>에 나타난 2가지 유형(3×4 자판, QWERTY 자판)의 소프트 키보드를 이용해 이루어지고 있다. 3×4 자판은 하나의 버튼이 여러 개의 자음 또는 모

음을 입력할 수 있도록 되어 있어 총 12개(3×4)의 버튼만으로도 모든 한글을 입력할 수 있다. 반면, QWERTY 자판은 총 26개의 버튼으로 구성된 PC의 두벌식 자판을 스마트폰에 적용한 소프트 키보드로서 자음과 모음이 왼편과 오른편에 구분 배치되어 있다.



(a) 3×4 keyboard

(b) QWERTY keyboard

Figure 1. Soft keyboards for smartphone

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2012-011373).

[†] 연락저자 : 정기효 박사, 680-749 울산광역시 남구 대학로 93 울산대학교 산업경영공학부, Tel : 052-259-2709, Fax : 052-259-2180,

E-mail : kjung@ulsan.ac.kr

2013년 1월 11일 접수; 2013년 3월 5일 수정본 접수; 2013년 3월 6일 게재 확정.

기존 연구들은 소프트 키보드에 대한 다양한 연구를 수행하였으나 3가지 측면(양손 연구 부재, 근전도 분석 부재, 한글 입력 시 스마트폰 grip 위치 고려 부재)의 한계점이 있다. 첫째, 한 손 문자 입력에 대한 기존 연구들은 많으나 양손 문자 입력에 대한 연구는 상대적으로 부족하다. 양손 연구의 부재는 스마트폰 사용 시 주로 한 손이 사용(Karlson, 2006)되고 있기 때문인 것으로 추측된다. 그러나 스마트폰은 서비스와 통신 기능이 발전하면서 터치스크린의 크기도 증가하고 있어 한 손으로 모든 터치 위치를 조작하기 힘들어지고 있다. Kim(2009)은 한 손의 최대 운지 범위를 6cm(가로)×9cm(세로)로 파악하였고, 화면 크기가 3.5inch~4.0inch일 때 사용자 만족도가 가장 높은 것으로 보고하였다. 그러나 최근에 출시되고 있는 스마트폰은 한 손이 도달할 수 있는 운지 범위를 초과하는 제품들이 앞 다투어 출시되고 있다. 예를 들어, 2012년 상반기에 국내에서 구입 가능한 12종 스마트폰의 평균 크기는 6.4cm×12.4cm로 운지 범위를 초과하고 있어 한 손 문자입력이 불편해지고 있다.

둘째, 스마트폰의 문자 입력은 반복적인 동작으로 근육 피로도를 유발할 수 있어 근전도 분석이 필요하나, 손가락은 근육 크기가 작아 근전도 연구가 부족한 실정이다. Park(2010)과 Ryu(2011)는 터치 위치별 지각 불편도를 실험을 통해 분석하였으나, 근전도는 측정하지 않았다. 또한, Kim *et al.*(2011)은 문자 입력과 관련된 9개 근육에 대해 문자 입력 시 느끼는 주관적 피로도(5점 척도)를 조사하였으나, 근전도는 분석하지 않았다. 한편, Jonsson *et al.*(2011)은 문자 입력 시의 엄지손가락 동작과 엄지손가락 관련 근육에서 측정된 근전도 간의 연관관계를 분석하였으나 문자 입력 위치별 근전도를 분석하지 않은 한계점이 있다.

마지막으로, 소프트 키보드를 탑재한 스마트폰 grip 특성을 고려한 터치 위치별 지각 불편도 분석은 미흡한 실정이다. 스마트폰은 키보드가 터치스크린의 하단부에만 표시되어 스마트폰의 아래쪽을 손으로 감싸 잡게 된다. 그러나 터치 위치별 불편도를 분석한 기존 연구(Park and Han, 2007)들은 일반적으로 터치스크린 전체를 대상으로 실험을 하였기 때문에 grip 위치가 문자 입력을 위한 grip 위치와 상이하다. Grip 위치는 엄지손가락의 운지 범위에 영향을 미치므로 전체 스크린을 대상으로 측정된 지각 불편도를 제한적인 영역만을 사용하는 스마트폰에 적용하기는 어렵다.

본 연구는 실험을 통해 소프트 키보드의 터치 위치별 지각 불편도와 근전도를 분석하였다. 본 연구의 실험은 소프트 키보드의 터치 위치를 25개 영역(5행×5열)으로 구분한 후, 양손 중에서 터치 위치에 가까운 엄지손가락으로 소프트 키보드를 터치하도록 설계되었다. 근전도는 기존 연구(Jonsson *et al.*, 2011)를 참고하여 엄지손가락 움직임에 따른 근육의 활성화 정도를 분석할 수 있도록 엄지손가락과 팔의 4개 근육에서 측정되었다. 본 연구의 실험 결과는 스마트폰을 위한 소프트 키보드 설계 시 유용한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 연구 방법

2.1 실험 참여자

본 실험에는 스마트폰 사용경력이 있는 20대 남자 10명이 참여하였다. 실험참여자의 평균 연령은 24.7세로 나타났으며 실험참여자의 주손(dominant hand)은 오른손인 것으로 조사되었다. 실험참여자들은 실험 당일 엄지손가락 및 상지에 특별한 통증 및 불편함이 없는 것으로 파악되었다.

2.2 근전도 측정 장비 및 근육

본 연구의 실험에는 무선 근전도 측정 장비인 Telemetry(Noraxon, USA)가 사용되었다. 근전도 측정용 표면전극(바이오 프로텍트, 한국)은 지름이 1cm이며, 표면전극 쌍은 중심 간의 거리가 2.5cm가 되도록 측정대상 근육에 부착되었다. 근전도 측정 및 분석은 MyoResearch XP Master Edition(Noraxon, USA)을 이용하여 이루어졌다. 본 연구는 4개의 근육에서 발생하는 전기신호를 측정하기 위해 4쌍의 표면전극(4 channels)이 사용되었으며, 근전도 신호는 1000Hz로 측정되었다.

근전도 측정 대상 근육은 유관 연구(Jonsson *et al.*, 2011)를 참고하여 엄지손가락 동작 관련 2개 근육과 나머지 손가락(검지, 중지, 약지, 소지) 동작 관련 2개 근육으로 선정되었다(<Figure 2>). 엄지손가락 관련 근육으로는 엄지손가락 외전(abduction)과 관련된 내재근(intrinsic muscle) 1종(abductor pollicis brevis, APB)과 외재근(extrinsic muscle) 1종(abductor pollicis longus, APL)이 선정되었다. 선정된 APB와 APL은 외전근(abductor muscle)이며 내전근(adductor muscle)인 adductor pollicis(AP)는 심부근(deep muscle)이어서 표면근전도로는 측정이 불가능하여 제외되었다. 나머지 손가락 관련 근육으로는 굽힘(flexion) 동작과 관련된 내재근 1종(first dorsal interossei, FDI)과 펴기(extension) 동작과 관련된 외재근 1종(extensor digitorum communis, EDC)이 선정되었다.

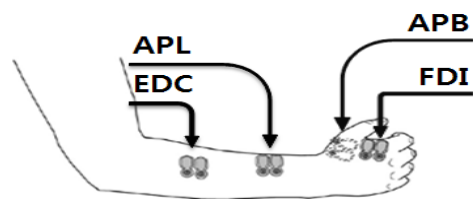


Figure 2. Forearm and hand muscles selected for EMG measurement (APL : abductor pollicis longus, EDC : extensor digitorum communis, APB : abductor pollicis brevis, FDI : first dorsal interossei)

2.3 실험 계획

본 연구의 실험은 one factor (터치 위치) within subject design

으로 설계되었다. 독립변수(independent variable)인 터치 위치는 <Figure 3>에 나타난 것과 같이 25개(5행×5열)로 결정되었다. 터치 위치 중 왼쪽(1열과 2열)은 왼손 엄지손가락으로 조작할 때 측정된 값을 사용하였으며, 오른쪽(4열과 5열)은 오른손 엄지손가락으로 조작할 때 측정된 값을 사용하였다. 중앙(3열)은 왼손과 오른손 엄지손가락으로 공히 조작될 수 있으므로 두 엄지손가락으로 조작하여 얻은 측정값의 평균을 사용하였다.

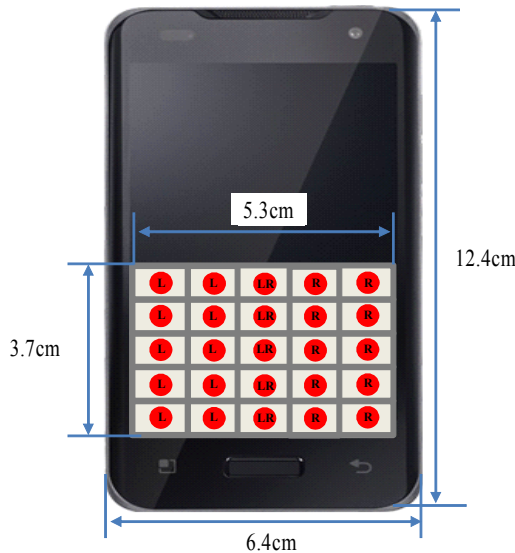


Figure 3. Touch location(L : left thumb, R : right thumb, LR : left and right thumbs)

본 연구의 종속변수(dependent variable)는 지각 불편도(perceived discomfort)와 %MVC (maximum voluntary contraction)로 선정되었다. 지각 불편도는 <Figure 4>에 나타난 Borg's CR-10 scale(Kwon *et al.*, 2009; Borg, 1998)을 사용하여 측정되었다. %MVC는 최대 근력 발휘 시 측정된 MVC 대비 비율(%)로 계산되었다(Kim and Jung, 1999; Lee and Lee, 1981). 본 연구의 MVC 측정은 Caldwell protocol(Chaffin *et al.*, 1999)을 응용하여 이루어졌다.

본 연구의 실험은 6단계 절차(실험 소개, 표면전극 부착, MVC 측정, 연습 시행, 본 실험, debriefing)로 수행되었다. 첫째, 실험에 대한 소개를 하고 실험참여 동의서를 받았다. 둘째, 표면전극을 측정 대상 근육에 부착하였다. 셋째, 앉은 자세에서 힘을 최대한 발휘할 때의 MVC를 측정하였다. 넷째, 실험 방법 및 절차에 익숙해지도록 연습 실험을 실시하였다. 다섯째, 무

작위 순서로 다양한 위치(25개)를 터치하는 본 실험을 수행하였다. 마지막으로, 실험 결과에 대한 실험참여자의 의견을 인터뷰(debriefing)하였다.

2.4 분석방법

근전도 신호는 4단계 절차(정류, RMS 평활화, RMS 평균값 계산, %MVC 계산)를 통해 분석되었다. 첫째, 측정된 근전도 신호를 정류(rectification)하였다. 둘째, 정류된 신호에서 잡음(noise)을 제거하기 위해 평활화(smoothing; RMS window = 100 ms)하였다. 셋째, 평활화된 RMS (root mean square)의 평균값을 계산하였다. 마지막으로, 계산된 RMS 평균값을 MVC로 나누어 %MVC를 계산하였다.

본 연구의 통계 분석은 유의수준(α) 0.05에서 MINITAB 16.0 (Minitab Inc., USA)을 이용하여 이루어졌다. 분산분석(analysis of variance, ANOVA)은 one factor within subject ANOVA로 이루어졌으며, 사후분석(post-hoc analysis)은 Bonferroni test를 활용하여 이루어졌다.

3. 결과

지각 불편도는 <Table 1>에 나타난 것과 같이 터치 위치별 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다($F(24, 215) = 7.38, p < 0.001$). 터치 위치별 지각 불편도는 0.7(거의 불편하지 않음)~2.5(약간 불편함)의 범위로 나타나 최대 3.5배 차이가 있는 것으로 파악되었다. 한편, 왼손과 오른손 엄지손가락 간의 지각 불편도 차이는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다($F(1, 238) = 0.04, p = 0.84$).

Table 1. Perceived discomfort for each touch location

Row number	Column number				
	1	2	3	4	5
1	0.95(0.14)	0.85(0.17)	1.38(0.27)	0.90(0.19)	1.25(0.16)
2	0.85(0.17)	0.70(0.17)	1.18(0.25)	0.80(0.19)	1.15(0.21)
3	1.20(0.29)	1.05(0.30)	1.33(0.43)	1.05(0.29)	1.30(0.32)
4	1.80(0.34)	1.45(0.34)	1.85(0.44)	1.40(0.37)	1.85(0.37)
5	2.45(0.22)	1.90(0.28)	2.00(0.35)	1.90(0.28)	2.30(0.21)

Note : the number in parentheses indicates standard deviation of perceived discomfort.

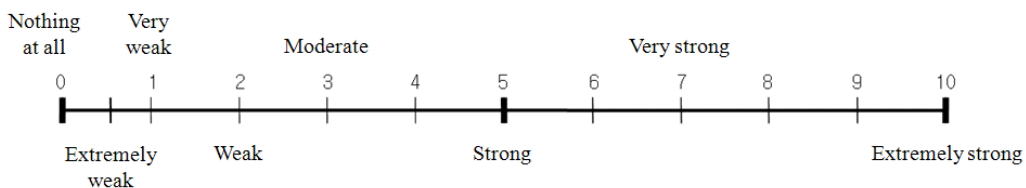


Figure 4. Borg's CR-10 scale

터치열의 지각 불편도는 <Figure 5>(a)에 나타난 것과 같이 2번열과 4번열이 다른 열(1번, 3번, 5번)보다 유의하게 낮은 것으로 분석되었다($F(4, 235) = 2.99, p = 0.02$). 터치열별 지각 불편도는 2번열($\bar{x} \pm SE, 1.19 \pm 0.13$)과 4번열(1.21 ± 0.13)이 가장 낮게 나타났으며, 그 다음으로는 1번열(1.45 ± 0.13), 5번열(1.54 ± 1.13), 3번열(1.55 ± 1.60) 순으로 낮게 나타났다. 이러한 경향성은 소프트웨어 키보드 조작을 위한 왼손과 오른손 엄지손가락의 초기 위치가 2번열(왼손)과 4번열(오른손) 주변이기 때문인 것으로 추정된다.

터치행의 지각 불편도는 <Figure 5>(b)에 나타난 것과 같이 상단행(1번행~3번행)이 하단행(4번행과 5번행)보다 유의하게 낮은 것으로 분석되었다($F(4, 235) = 36.37, p < 0.001$). 터치행별 지각 불편도는 2번행(0.94 ± 0.09), 1번행(1.03 ± 0.09), 3번행(1.19 ± 0.14)이 가장 낮게 나타났으며, 그 다음으로는 4번행(1.67 ± 0.16)과 5번행(2.11 ± 0.12) 순으로 낮게 나타났다. 이러한 경향성은 소프트웨어 키보드 조작을 위한 엄지손가락의 초기 위치가 상단행(특히, 2번행)이기 때문인 것으로 추정된다.

터치 위치별 %MVC는 측정대상 4개 근육 중에서 엄지손가락 외전과 관련된 내재근인 APB만 유의한 것으로 파악되었다($F(24, 216) = 3.55, p < 0.001$). 왼손 엄지손가락의 APB는 <Figure 6>(a)에 나타난 것과 같이 1번열(10 ± 0.9), 2번열(13 ± 1.2), 3번열(23 ± 1.8) 순으로 증가하는 것으로 나타났다. 오른손 엄지손가락의 APB는 5번열(16 ± 1.8), 4번열(18 ± 1.5), 3번열(23 ± 1.8) 순으로 증가하는 것으로 분석되었다. 또한, APB는 <Figure 6>(b)와

같이 1번행(13 ± 1.4)에서 5번행(20 ± 1.8)으로 내려갈수록 증가하는 것으로 파악되었다. 이러한 경향성은 APB가 엄지손가락의 외전 시 활성화(수축)되기 때문인 것으로 추정된다.

4. 토의

본 연구는 소프트웨어 키보드의 터치 위치별 지각 불편도와 근전도를 실험을 통해 분석하였다. 기존 연구들은 한손 엄지손가락을 이용한 소프트웨어 키보드 연구에 초점이 있었으나(Park, 2010; Jonsson *et al.*, 2011), 본 연구는 양손 엄지손가락을 이용한 소프트웨어 키보드 조작 특성을 평가한 부분이 차별화된다. 또한, 본 연구는 소프트웨어 키보드 조작 시 엄지손가락의 근전도를 측정하였다는 측면에서 의의가 있다. 본 연구를 통해 파악된 터치 위치별 지각 불편도 및 근전도는 스마트폰을 위한 소프트웨어 키보드 설계 시 유용한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구의 지각 불편도는 소프트웨어 키보드의 상단부(1번행~3번행)에서 현저히 낮게 나타났다. 그러나 기존 연구들(Park, 2010)은 소프트웨어 키보드의 중간 부분이 다른 위치들(예 : 상단부 및 하단부)보다 지각 불편도가 낮은 것으로 보고하였다. 이러한 차이는 본 연구와 기존 연구 간의 소프트웨어 키보드 표시 위치가 <Figure 7>과 같이 상이하기 때문인 것으로 추정된다. 본 연구의 소프트웨어 키보드는 스마트폰의 하단부에 표시되어 실험 참여자들의 엄지손가락 초기 위치가 소프트웨어 키보드의 상단부(예

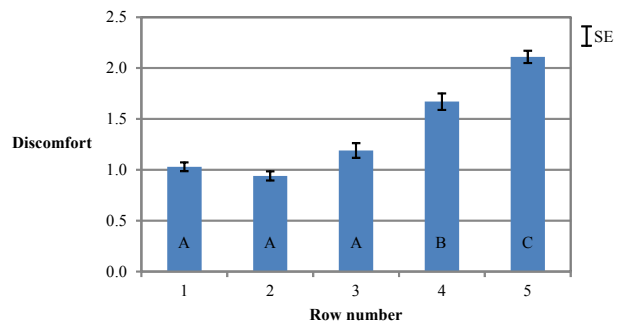
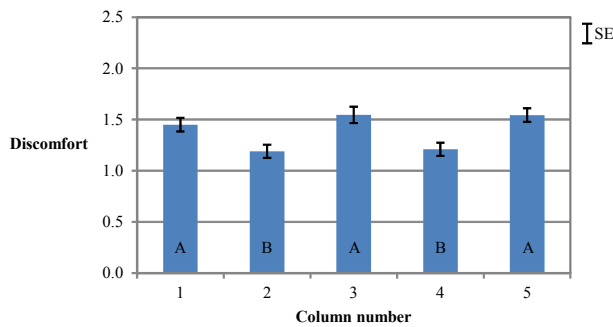


Figure 5. Perceived discomfort for touch columns and rows

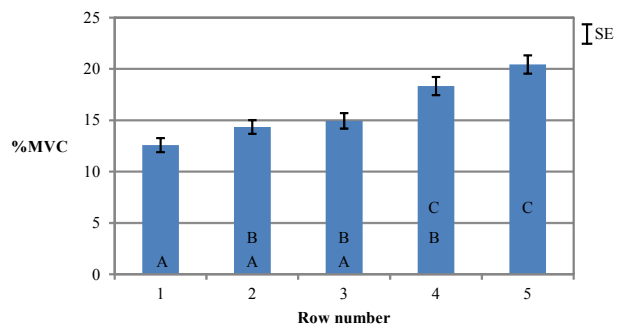
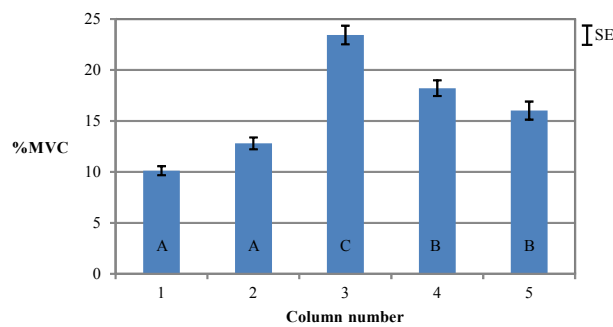


Figure 6. %MVC of APB muscle for touch column and row

: 2번째)에 위치하게 된다(<Figure 7>(a)). 반면, 기존 연구들의 소프트 키보드는 화면 전체에 표시되어 엄지손가락의 초기 위치가 소프트 키보드의 중앙에 위치하게 된다(<Figure 7>(b)).

엄지손가락의 외전 근전도는 내재근인 APB가 외재근인 APL보다 민감하게 측정할 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 엄지손가락의 외전 동작에 따라 내재근인 APB가 유의하게 변하는 것으로 나타났다. 반면, 외재근인 APL은 엄지손가락이 외전 되더라도 측정값 변화가 유의하지 않은 것으로 나타났다. 따라서 근육 수축이 작은 엄지손가락의 터치 작업에 대한 근전도 측정은 내재근인 APB가 외재근인 APL보다 우수한 것으로 추측된다. 그러나 본 연구의 결과를 일반화하기 위해서는 보다 심도 있는 후속 연구(in-depth study)가 필요하다.

본 연구의 APB에 대한 %MVC는 기존 연구의 APB에 대한 %MVC보다 높은 것으로 나타났다. 본 연구의 APB에 대한 %MVC는 터치 위치별로 평균 10%~23%로 분석되었다. 반면, Gustafsson *et al.*(2010)은 문자 입력 시 APB의 %MVC를 평균 1.3%~12.7%로 보고하였다. 이러한 차이는 본 연구와 기존 연구 간의 %MVC 계산 대상의 차이에 기인하는 것으로 추정된다. 본 연구의 %MVC는 엄지손가락으로 터치하는 실제시간(active contraction period) 동안 측정된 근전도를 대상으로 계산되었다. 그러나 Gustafsson *et al.*(2010)은 300단어의 문자를 입력하는 전체 시간을 대상으로 분석하여 문자 입력 간의 동작 휴지기간(resting period)이 분석에 포함되어 본 연구와 차이가 있다.

본 연구에서는 엄지손가락을 제외한 나머지 손가락 동작과 관련된 근전도(EDC와 FDI)는 터치 위치별로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 경향성은 터치 위치가 변하더라도 스마트폰을 잡고 있는 손가락들(검지, 중지, 소지, 약지)은 근육 수축이 발생하지 않기 때문인 것으로 추정된다. 한편, 형상과 크기가 상이한 스마트폰을 대상으로 실험을 하면 스마트폰을 잡은 손가락들의 자세가 달라져 EDC와 FDI가 유의한 차이를 보일 것으로 예상된다.

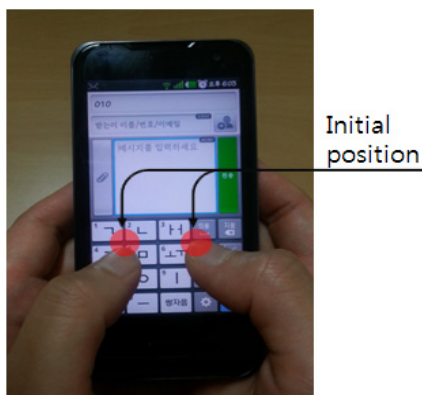
엄지손가락의 근육생체신호를 종합적으로 분석하기 위해

서는 외전과 내전 동작과 관련된 근육을 동시에 측정해야하나 내전과 관련된 근육은 심부근이어서 표면근전도로 측정할 수 없는 한계가 있다. 본 연구는 엄지손가락 근전도를 외전 동작과 관련된 근육(APL와 APB)에 대해서만 측정하였다. 그러나 엄지손가락의 근육생체신호를 종합적으로 이해하기 위해서는 외전과 내전 동작과 관련된 근육을 동시에 측정하는 것이 바람직하다. 그러나 본 연구는 표면근전도 사용으로 인해 심부근인 adductor pollicies(AP)를 측정하지 못한 한계점이 있다.

터치열별 지각 불편도와 APL 근육의 %MVC는 상이한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 터치열별 APB 근육의 %MVC는 엄지손가락이 외전될수록 증가하는 것으로 분석되었다(<Figure 6>(a)). 반면, 터치열별 지각 불편도는 1열, 3열, 5열이 2열 4열보다 높은 것으로 파악되었다(<Figure 5>(a)). 이러한 차이는 지각 불편도가 다양한 요인(예 : 엄지손가락의 굽힘, 펴, 외전, 내전)의 종합적인 결과로 나타나는 주관적인 지표인데 비해 APL근육의 %MVC는 엄지손가락의 외전 측면만을 나타내는 지표이기 때문인 것으로 추정된다.

본 연구의 지각 불편도 실험 결과에 따르면 <Figure 8>과 같은 소프트 키보드 배열이 추천된다. 지각 불편도가 상대적으로 높은 좌측, 우측, 그리고 하단에는 조작 빈도가 상대적으로 낮은 환경설정 및 특수기능 버튼이 배치된다. 한편, 지각 불편도가 상대적으로 낮은 상단부와 중앙부에는 사용 빈도가 높은 한글 자음과 모음 버튼이 배치된다. 본 연구에서 제안하는 배열은 양손 문자 입력 시 사용자의 불편도를 최소화할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 본 연구의 배열은 천지인 한글 배열을 대상으로 하였으나 다른 한글 배열(예 : 나랏글)에도 동일하게 적용될 수 있어 기존 자판 배열에 익숙한 사용자들의 수용성이 높을 것으로 기대된다.

본 연구의 결과를 일반화 및 활용성을 제고하기 위해서는 다양한 실험참여자(예 : 성별, 연령)와 스마트폰 유형에 대한 후속 실험이 필요하다. 본 연구의 실험에는 20대 남성 10명이 참여하였다. 따라서 실험 결과를 일반화하기 위해 보다 다양한 연령대와 성별 조합에 대한 후속 실험이 요구된다. 또한, 본



(a) Position observed in this study



(b) Position reported in Park (2010)

Figure 7. Comparison of the thumb's initial position

연구의 실험은 한 종류의 스마트폰을 이용하여 이루어졌다. 최근 들어 스마트폰의 형상과 크기가 다양해지고 있으므로 본 연구 결과의 활용성을 제고하기 위해 다양한 형태의 스마트폰을 대상으로 한 후속 연구가 필요하다.



Figure 8. A soft keyboard proposed in this study

참고문헌

- Borg, G. (1998), *Borg's Perceived Exertion and Pain Scales*, Champaign, IL : Human Kinetics.
- Chaffin, D. B., Andersson, G. B. J., and Martin, B. J. (1999), *Occupational Biomechanics (3rd ed.)*, New York : John Wiley and Sons.
- Gustafsson, E., Johnson, P. W., and Hagberg, M. (2010), Thumb postures and physical loads during mobile phone use-A comparison of young adults with and without musculoskeletal symptoms, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, **20**, 127-135.
- Jonsson, P., Johnson, P. W., Hagberg, M., and Forsman, M. (2011), Thumb joint movement and muscular activity during mobile phone texting-A methodological study, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, **21**, 363-370.
- Karlson, A. (2006), Interface design for single-handed use of small devices, *UIST 2006 Adjunct Proceeding*.
- Kim, J. (2009), A study on mobile phone usability for touch phone design -Focus on User analysis of display size and fingering area, *Journal of the Korean Society of Design Culture*, **15**(4), 141-149.
- Kim, J. and Jung, M. (1999), The comparison of sensitivity of numerical parameters for quantification of electromyography (EMG) signal, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **25**(3), 330-335.
- Kim, K., Park, J., Kim, G., and Son, K. (2011), A Comparative evaluation about force and fatigue on thumb according to input type for repetitive use of mobile phone, *Journal of the Biomedical Engineering Research*, **32**(4), 312-317.
- KISA(2011), Smart Phone Usage Statistics in Year 2011. Korea Internet and Security Agency.
- Kwon, O., You, H., and Jung, K. (2009), Identification of the maximum acceptable frequencies of upper-extremity motions in the sagittal plane. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, **19**(3), 212-222.
- Lee, M. and Lee, G. (1981), An EMG analysis for estimating the individual capabilities of the rectus femoris muscle, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **7**(2), 3-17.
- Park, Y. (2010), *User Interface Design for One-handed Touch Interaction with Mobile Devices*, Unpublished doctoral dissertation, Pohang : POSTECH.
- Park, Y. and Han, S. (2007), Effects of touch key location and size on one-handed thumb input, *Proceedings of the 2007 Spring Conference of Ergonomics Society of Korea*, 305-309.
- Ryu, T. (2011), Performance analysis of text entry with preferred one hand using smart phone touch-keyboard, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 259-264.