JESK J Ergon Soc Korea 2022; 41(3): 251-263
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2022.41.3.251
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Ergonomic Design of Physical Buttons for Flip-type Foldable Phones

Guang Jun Piao, Hye Seong Oh, Eui Seung Jung

Korea University, Department of Industrial and Management Engineering, Seoul, 02841

플립식 폴더블 폰 물리적 버튼의 인간공학적 설계

박광준, 오혜성, 정의승

고려대학교 산업경영공학과

Corresponding Author
Eui Seung Jung
Korea University, Department of Industrial and Management Engineering, Seoul, 02841
Email : ejung@korea.ac.kr

Received : May 17, 2022
Revised : May 18, 2022
Accepted : May 20, 2022

Copyright@2022 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: The main purpose of this research is to study the physical button shape of the flip-type foldable phone, which can provide optimal usability and operational satisfaction during a one-handed gripping.

Background: Foldable phones which with larger screens and two different states (Unfolded, Folded) brings difficulties due to poor operability and grip comfort. Furthermore, the physical button of the smartphone has not yet been properly researched to guarantee optimal performance. Therefore, there is a need to ergonomically determine the shape and layout of the physical button that can manipulate the device stably and effectively that is mainly used with one hand.

Method: In this paper, two usability experiments were designed and conducted. In the prior experiment, 8 button length combinations of 2 buttons (9~17, 9~20.5, 9~24, 13~17, 13~20.5, 13~24, 17~20.5, 17~24mm) and 3 combinations of protrusion of 2 buttons (PYVY: both power and volume buttons are protruded, PYVN: power button is protruded while volume button is not, PNVY: power button is not protruded, and volume button is). So, a total of 24 combinations were tested. The dependent variables were evaluated by collecting the operability preference (7-point scale) as a subjective index, and the error rate as an objective index. In the main experiment, 6 physical button layouts were provided, and the optimal layout was obtained in two states by collecting and evaluating the user's operability preference.

Results: As a result of the study, the power button was preferred in the order of 13mm and 9mm, and the length of the volume button was the most preferred in the order of 20.5mm. Users prefer that both power and volume buttons are protruded or just the volume button is protruded, but if both are present, the two buttons must not be of similar length. In addition, it was confirmed that PRU-VLU was the most preferred layout.

Conclusion: In this study, meaningful results were derived through experiments on button length, protrusion or no protrusion, and layout that enables users of flip-type foldable phones to tactilely recognize buttons in two states and to operate them easily, and the influence of the hand size on the layout was confirmed.

Application: Based on the results of the optimal physical button shape level and layout for one-handed gripping postures derived through this study, it can be used as a reference index when designing the physical button for a foldable phone in the future.

Keywords: Foldable phone, Physical Button, Usability Test, One-handed gripping

1. Introduction

통신, 전자제품, 디스플레이 기술의 지속적인 발전으로 스마트폰은 가장 주요한 통화 기능 외에도 웹 사이트 검색, 비디오 시청, 이메일 전송 등 다양한 작업을 수행하는 것으로 발전하여 사람들의 활동에 편리함을 주고 생활 필수품이 되었다(Chen, 2018). 또한 스크린의 변형이 가능한 플렉서블 디스플레이가 새로운 성장 동력으로 나타나면서 차세대 스마트폰으로 불리는 폴더블폰(Foldable Phone)이 대중의 큰 주목을 받게 되었다(Jin and Yu, 2019). Canalys (2022)가 발표한 보고서에 따르면 폴더블 스마트폰이 처음 출시된 2019년부터 2024까지의 성장률은 연간 122%를 달성할 것으로 예측되고 폴더블폰 출하량은 2021년 기준 890만대에서 2024년 3,185만대로 증가할 것으로 예측된다.

폴더블폰은 두 가지 상태(Unfolded, Folded)에서 모두 작업을 수행할 수 있고 사용자의 효율성, 가독성 및 몰입도를 향상시킬 수 있다. 한 번에 더 많은 양의 정보를 제공하고 정보를 더 빨리 읽고 이해도를 높일 수 있으므로 스크롤이 적게 필요하고 큰 화면의 터치 버튼은 입력 오류와 손목 확장(wrist extension)을 줄일 수 있다. 반대로 큰 화면을 갖춘 디바이스는 조작성(operability), 그립감(grip comfort) 및 휴대성(portability)이 저하되는 문제들이 나타나기 시작했다. 한 손으로 모바일 기기를 사용하면 손과 손목에 물리적인 부담을 줄 수 있고, 이러한 부담은 화면이 큰 모바일 기기를 사용할 때 증가할 수 있다(Kim and Sundar, 2014; Lin et al., 2013). 한 손으로 모바일 기기를 파지하고 조작하는 것은 양손 파지 조작 대비 편의성 측면에서 선호될 수 있지만 파지 하는 손에 물리적 부담 혹은 신체적 부하를 줄 수 있고 파지 자세의 안정성을 저하시킬 수 있으며 이러한 불편함은 화면이 큰 모바일 기기를 사용할 때 증가할 수 있다는 사실이 밝혀졌다(Kwon et al., 2021; Gold et al., 2012).

또한, 2017년에 출시한 애플의 Iphone X와 삼성전자의 갤럭시 S8은 미니멀리즘(적을수록 훌륭한 디자인, less is more)의 표현으로 오랫동안 기기 전면에 배치했던 물리적 홈 버튼을 배제하였다. 즉, 스마트폰 전면의 터치스크린만 존재하는 형태로 디자인이 되었다(Jang and Yun, 2021). 따라서 스마트폰은 전면 스크린 터치 버튼(on-screen button)의 트렌드를 따라 개발되고 있지만 제조사들은 음량 버튼(Volume Button), 전원 버튼(Power Button), 벨소리/무음 버튼(Ring/Silent Button) 등 물리적 버튼(Physical Button)을 디바이스에 여전히 탑재하고 있다(Giap et al., 2021). 통계 기관 Android Headline (2018) 연구에 따르면 안드로이드 스마트폰 사용자는 하루 평균 65.8번이나 전원 버튼을 눌러 잠금 화면 정보에 액세스하는데, 8시간의 수면 시간을 빼면 평균 15분마다 물리적 버튼으로 화면을 켜야 한다는 의미이다. 하지만 사용 빈도를 떠나 전원 버튼과 음량 버튼도 기술 혁신에 맞춰 기능성이 증가하거나 바뀌고 있다. 이 두 버튼의 기능은 이름이 가리키는 바와 같이 단순하지 않고, 점차 다용도로 기능화 되고 있다. Corsetti et al. (2020)은 생체인식(biometric)으로서의 지문인식 기능이 물리적 버튼에 탑재되었을 때 측면(lateral side), 앞면(front side), 뒷면(back side), 3가지 배치 위치에 대하여 연구하였는데 측면에 있을 때 효율이 가장 높았다. 또한, 가상현실의 환경에서 버튼을 클릭하여 목표를 선택하는 작업에서 버튼의 깊이(Depth) 또는 돌출(Protrusion)의 있고 없음이 사용성에 영향을 준다는 결론을 얻었다(Park et al., 2018). 특히, 스마트폰의 물리적 버튼은 터치스크린의 GUI (Graphical User Interface)와 달리 한 번 제조된 기기에서 변경할 수 없다(Jin & Ji, 2010). 때문에 주로 한 손으로 사용하는 플립식 폴더블폰의 2가지 크기가 다른 상태(Unfolded, Folded)에서 모두 안정적이고 효과적으로 사용할 수 있는 물리적 버튼의 인간공학적 설계 범위를 파악하는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 주로 한 손 파지 자세로 조작하는 전면 스크린 플립식(Flip) 폴더블폰이 접히고(Folded) 펼쳐진(Unfolded) 두 가지 상태에서 물리적 버튼의 사용성에 영향을 주는 설계 변수와 손의 크기의 관계를 연구하고, 최적 조작을 위한 물리적 버튼의 길이(Length)와 돌출부(Protrusion)의 유무에 대해 검토하며 물리적 버튼의 최적 배치(Layout)를 도출하기 위한 연구를 목적으로 한다.

2. Pilot Usability Test

먼저 물리적 버튼의 효율성 있는 형태를 알아내기 위하여 1차로 사용성 실험을 진행하였다. 본 실험의 목적은 인식이 직관적이고 조작하기 쉬운 물리적 버튼 길이(Length)와 돌출(Protrusion)의 유무 즉 형태를 도출하는데 있다.

2.1 Method

2.1.1 Participants

폴더블폰 물리적 버튼 사용성 실험에 참여한 피실험자는 스마트폰 사용 경험이 1년 이상이고, 모두 오른손잡이였고 손목에 영향을 주는 근골격계 질환(musculoskeletal diseases) 없이 건강한 총 36명(남성: 18명, 여성: 18명)을 대상으로 하였다. 실험 참여자들은 20대로 평균 연령은 24.5세(표준편차=2.84)이고 손의 크기를 7차 한국인 손의 길이 인체 치수(Size Korea, 2015)를 기반으로 작은 손(≤33th%ile; 남성 179mm, 여성 165mm 이하; 12명; 남성 평균±표준편차=178.17±0.75, 여성 평균±표준편차=162.67±1.21), 중간 손(33th~67th%ile; 남성 179~186mm, 여성 165~172mm 12명; 남성 평균±표준편차=183±2, 여성 평균±표준편차=169.17±0.98), 큰 손(≥67th%ile; 남성 186mm, 여성 171mm 이상 12명; 남성 평균±표준편차=195.83±5.27, 여성 평균±표준편차=176.17±1.6)의 3가지 그룹으로 나뉘었다.

2.1.2 Apparatus

스마트폰 시장의 61%를 차지하는 삼성, 애플, 샤오미, 화웨이 스마트폰들의 물리적 버튼의 설계 범위를 참고하였고(Table 1) 스마트폰을 소지한 소비자들을 대상으로 정성 인터뷰 조사를 진행하여 버튼 길이는 파워 버튼 3가지(9mm, 13mm, 17mm), 볼륨 버튼 3가지(17mm, 20.5mm, 24mm) 조합을 통한 8가지(두 버튼의 길이가 동일한 경우 제외)와, 버튼 돌출 여부에 따른 3가지(두 버튼 모두 비 돌출 경우 제외)의 조합으로 물리적 버튼 목업을 총 24개 제작하였고 폴더블폰 목업의 길이, 너비, 두께 및 무게 등 치수는 Figure 1과 같이 각각 167.3mm, 73.6mm, 7.2mm, 170g (Unfolded); 87.4mm, 73.6mm, 17.3mm, 170g (Folded)으로 결정하였다. 본 실험에 사용된 폴더블폰과 물리적 버튼의 목업은 Sharp3D로 모델링하였고 3D프린터로 출력하였으며 폴더블폰의 측면(Lateral)에는 그루브(Groove)가 있어 버튼을 부착하고 교체할 수 있도록 설계하였다.

Table 1. Major full screen smartphones currently in the market and their specifications

No.	Manufacture	Model	Height (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)	Weight (g)	Screen size (inch)	Power button			Volume button		
								Length	Protrusion	Location	Length	Protrusion	Location
1	Apple	IphoneX	146.7	71.5	7.4	189	5.8	16	o	Right	23.5	o	Left
2	Apple	Iphone11	146.7	71.5	7.4	189	6.1	17	o	Right	24	o	Left
3	Apple	Iphone12 Pro	146.7	71.5	7.4	189	6.1	17.5	o	Right	25	o	Left
4	Apple	Iphone 13	146.7	71.5	7.65	174	6.1	17	o	Right	24	o	Left
5	Samsung	Galaxy S8	148.9	68.1	8	155	5.8	9.5	o	Right	20.5	o	Left
6	Samsung	Galaxy S21	151.7	71.2	7.9	169	6.2	9.5	o	Right	18	o	Right
7	Samsung	Galaxy Z Flip3	166	72.2	6.9	183	6.9	9	x	Right	18.5	o	Right
8	Samsung	Galaxy Z Fold3	158.2	67.1	14.4	271	14.4	15	x	Right	18.5	o	Right
9	Huawei	P40	148.9	71.1	8.5	175	6.1	8.5	o	Right	18.5	o	Right
10	Huawei	P40pro	158.2	72.6	8.95	209	6.58	9	o	Right	19	o	Right
11	Xiaomi	Mi8	154.9	74.8	7.6	175	6.21	9	x	Right	21.5	o	Right
12	Xiaomi	Mi11	164.3	74.6	8.1	196	6.81	9	x	Right	20	o	Right

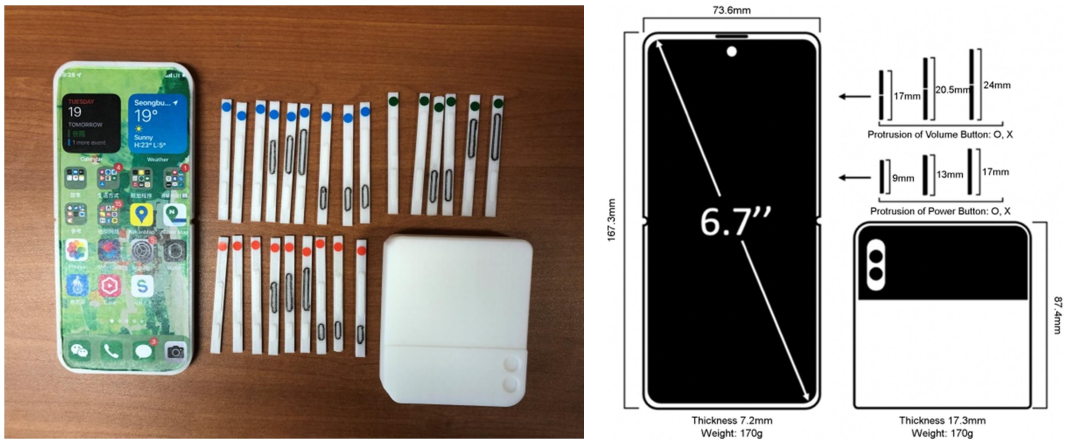


Figure 1. Experimental apparatus

2.1.3 Experimental design

본 실험에서는 폴더블폰의 물리적 버튼 조작과 인식에 영향을 주는 요인을 파악하기 위하여 버튼의 길이(파워 버튼: 9mm, 13mm, 17mm; 볼륨 버튼: 17mm, 20.5mm, 24mm)의 8개 조합(9~17, 9~20.5, 9~24, 13~17, 13~20.5, 13~24, 17~20.5, 17~24)과 버튼 돌출의 유무 2개 수준으로 3개의 조합(PYVY: Power, Volume 버튼이 모두 돌출 됨, PYVN: 파워 버튼이 돌출된 반면 볼륨 버튼이 돌출되지 않음, PNVY: 파워 버튼이 돌출되지 않고 볼륨 버튼이 돌출 됨)을 제공하여 사용성 실험을 계획하였으며, 이를 바탕으로 주관적 평가 지표로는 조작 선호도(Operability Preference)와 객관적 평가 지표인 에러율(Error Rate)을 평가하여 각 물리적 버튼의 사용성에 대하여 평가하였다. 조작 선호도(Operability Preference)는 피실험자 폴더블폰 물리적 버튼을 조작 시 의도한대로 동작하기 쉽고, 또한 이것을 조작하기 쉬웠는지에(Im and Yoon, 2012) 대하여 7-point Likert scale로 평가하였다. 에러율(Error Rate)은 피실험자가 과제 수행 시 해당 버튼을 클릭하지 못 하거나 해당 과제에 해당하는 버튼을 틀리게 클릭하게 경우를 조작 에러로 정의하여 비율로 산출하였다. 또한, 선행연구(Sereshkeh et al., 2020)를 참고하여 10개의 스마트로 진행하는 과업을 결정하였다(Table 3).

2.1.4 Procedure

선행연구(Choi et al., 2017)에 따르면 파지 자세에 따라 interaction 방법이 달라져 사용성에 영향을 미칠 수 있음을 언급함에 따라 이를 참고하여 본 실험은 실험 진행 전 폴더블폰 2개의 상태에 따른 파지 자세(Table 2)에 대하여 안내하였고, 준비 단계와 평가 단계로

Table 2. Grip posture according to the state of the foldable phone

State of foldable phone	Grip posture	Description
Unfolded		Support the rear of the device with the index finger and hold it from both sides.
Folded		The index finger is located on the top of the device, and 3 fingers are on the left side.

진행하였다. 준비단계에서는 실험 참여자에게 연구 목적, 실험 내용 및 실험 절차에 대해 자세히 설명한 후 실험 참여자들의 손의 길이를 측정하였다. 인체 측정 후 피실험자들은 24개의 목업을 그립 하고 책상에 앉은 정적인 상태와 0~5km/h의 속도로 걷는 동적인 상태에서 결정한 10개의 과업을(Table 3) 폴더블폰 2개의 상태(Unfolded, Folded)에서 진행하고 각각의 목업에 대해 조작 선호도(Operability Preference)를 평가하였다. 또한, 반복된 목업 조작 실험에 따른 피로를 제거 하기 위해 6개 물리적 버튼 평가 후 피실험자들에게 5분씩 충분한 휴식시간을 부여하였다.

Table 3. Representative tasks used

Task	Sub task
Call	1. Reject a call by pressing the power button
	2. Increase or decrease the volume by pressing the volume button during an ear-to-ear call
Send/read text	1. Press the power button to turn on the screen
	2. Write or read text
	3. Press the power button to turn off the screen
Listen to music	1. Press the power button to turn on the screen and then select and listen to music
	2. Press the volume button to increase or decrease the volume
	3. Press the power button to turn off the screen
Read internet information	1. Press the power button to turn off the screen
	2. After searching and reading information on the Internet, press the power button to turn off the screen

2.2 Results

2.2.1 Preference

조작 선호도(Operability Preference)에 대한 분산분석(ANOVA) 결과, Table 4와 같이 유의수준 0.05에서 버튼 길이와 버튼 돌출 여부가 모두 통계적으로 유의미한 차이가 있었으며, 성별과 손의 크기 간 차이는 유의하게 나타나지 않았다.

Table 4. ANOVA results for operability preference

Source		SS	Df	MS	*F*	*p*-value
Button length		204.147	7	29.164	17.964	0.000**
Button protrusion		47.146	2	23.573	14.520	0.000**
Button length*Button protrusion		20.280	14	1.449	0.892	0.567
Hand size		1.083	2	0.542	0.334	0.716
Sex		0.010	1	0.010	0.006	0.936
Tukey HSD	Button protrusion	PYVY, PNVY > PYVN				
	Button length	13~20.5, 9~20.5 > 9~17, 13~17 > 13~24, 17~20.5 > 9~24 > 17~24				

**p<.0010

Figure 2와 같이 PYVN의 선호도가 전반적으로 가장 낮고 PNVY의 선호도는 전반적으로 파동이 없고 만족스러워 하며 파워 버튼 길이가 각각 9, 13, 17일 때 볼륨 버튼의 길이 20.5는 항상 가장 높은 선호도를 보였다. PYVY일 때 버튼의 길이가 9~20.5 및 13~20.5일 때 총24개 방안에서 가장 높은 선호도를 보였지만 다른 길이 조합은 PNVY에서 보다 낮거나 비슷한 선호도를 보였다. 사후분석의 결과 버튼 돌출(Protrusion)의 경우 PYVY, PNVY은 동일한 집단군을 이루었고 독립적인 집단으로 나타난 PYVN보다 더욱 높은 선호도를 확인하였다. 버튼 길이(Length)의 경우 볼륨 버튼이 제일 긴 9~24와 17~24은 독립적으로 집단으로 나타나 가장 낮은 선호도로 확인되었고 17~20.5, 13~24와 13~17, 9~17는 각각 2개의 동일한 집단군으로 나타났으며 9~20.5, 13~20.5도 동일한 집단군으로 형성되면서 가장 높은 선호도가 확인되었다.

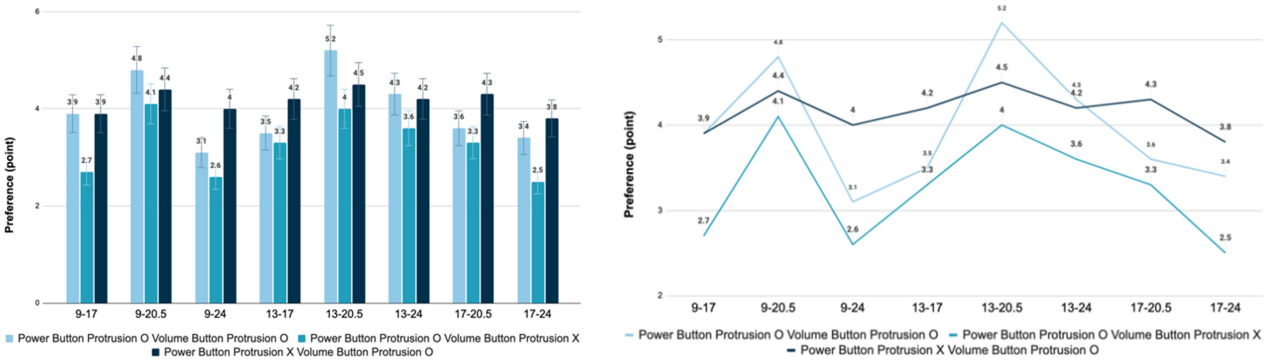


Figure 2. Preference by button length and button protrusion

2.2.2 Error rate

에러율(Error Rate)에 대한 분산분석(ANOVA) 결과, Table 5와 같이 유의수준 0.05에서 버튼 길이(Length), 버튼 돌출(Protrusion), 버튼 길이*버튼 돌출 교호작용은 모두 통계적으로 유의미한 차이가 있었으며, 성별과 손의 크기 간 차이는 유의하게 나타나지 않았다.

Table 5. ANOVA results for error rate

Source		SS	Df	MS	*F*	*p*-value
Button length		0.495	7	0.071	6.28	0.000**
Button protrusion		0.481	2	0.24	21.33	0.000**
Button length*Button protrusion		0.948	14	0.068	6.013	0.000**
Hand size		0.014	2	0.007	0.619	0.539
Sex		0.008	1	0.008	0.749	0.387
Tukey HSD	Button protrusion	PNVY < PYVN, PYVY				
	Button length	9~17< 13~20.5, 9~20.5, 13~24< 13~17, 17~24, 9~24, 17~20.5				

**p<.0010

Figure 3와 같이 PNVY의 경우 파동이 적고 전반적으로 가장 낮은 에러율을 나타났지만 버튼 길이 9~20.5과 9~24 조합에서 조금의 증가를 확인할 수 있다. PYVN일 때 전반적으로 PNVY 방안보다 높은 에러율을 보였고 3개의 서로 다른 파워 버튼 길이에서 볼륨 버튼의 길이가 증가할수록 에러율도 증가하는 것을 확인할 수 있다. PYVY의 경우, 파워 버튼 길이 9mm 및 13mm일 때 상대적으로 낮

은 에러율을 확인할 수 있지만 그 중에서 13~17 조합은 매우 높은 에러율을 나타났고 파워 버튼 길이 17mm일 때 모두 가장 높은 에러율을 확인할 수 있다. 사후분석의 결과 PYVY는 독립적인 집단군을 이루어 동일한 집단군을 이룬 PNVY와 PYVN보다 높은 에러율을 확인할 수 있다. 버튼 길이(Length)의 경우 독립적인 집단군을 이룬 9~17은 가장 낮은 에러율을 나타났고, 13~20.5, 9~20.5, 13~24은 에러율이 높은 순으로 동일한 집단군을 이루어 나머지 버튼 길이 조합보다 낮은 에러율을 확인할 수 있다.

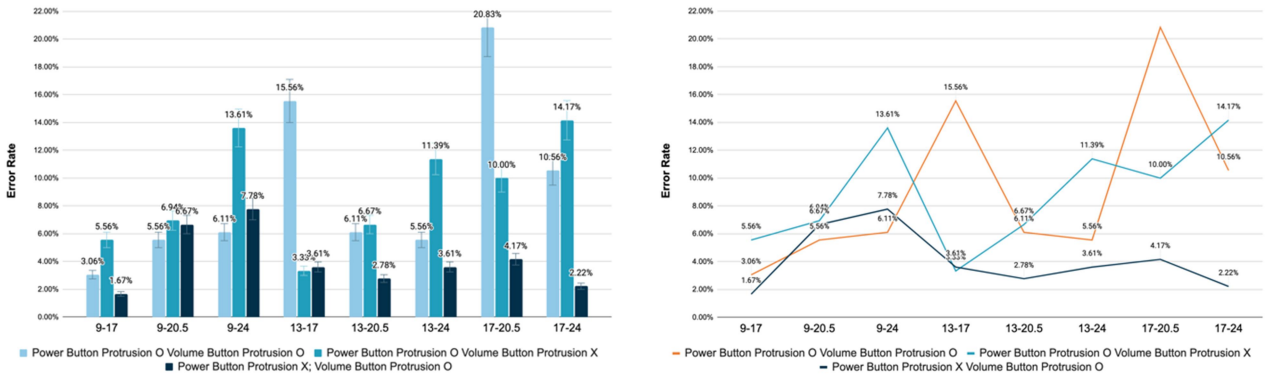


Figure 3. Error rate by button length and button protrusion

3. Main Usability Test

1차 사용성 실험을 기반으로 도출한 물리적 버튼의 형태를 참고하여 2차 사용성 실험의 폴더블폰 목업을 설계하였다. 2차 실험에서는 사용자가 한 손 파지 자세로 플립식 폴더블폰으로 해당 과업을 조작 시 2가지 상태(Folded, Unfolded)에서 사용성이 최적인 배치(Layout)를 도출하고자 실험을 진행하였다.

3.1 Method

3.1.1 Participants

본 폴더블폰의 레이아웃 평가에 참가한 피실험자는 1차 사용성 실험과 동일하게 모두 손목에 영향을 주는 근골격계 질환(musculoskeletal diseases)없고 오른손잡이인 건강한 총 27명(남성: 16명, 여성: 11명)을 대상으로 하였다. 실험 참여자들은 20대로 평균 연령은 24.41세(표준편차=3.13)이고 손의 크기를 7차 한국인 손의 길이 인체 치수(Size Korea, 2015)를 기반으로 작은 손(≤33th%ile; 남성 179mm, 여성 165mm 이하; 8명; 남성 평균±표준편차=177.75±1.26, 여성 평균±표준편차=163.50±1.26), 중간 손(33th~67th%ile; 남성 179~186mm, 여성 165~172mm 10명; 남성 평균±표준편차=183.33±1.97, 여성 평균±표준편차=168.25±2.06), 큰 손(≥67th%ile; 남성 186mm, 여성 171mm 이상; 9명; 남성 평균±표준편차=195.83±5.27, 여성 평균±표준편차=177.00±1.0) 3가지 그룹으로 나뉘었다.

3.1.2 Apparatus

실험 장비 중 폴더블폰과 물리적 버튼 목업의 치수는 1차 실험에서 사용한 목업의 치수와 1차 실험의 결과(버튼 돌출 여부: PNVY; 버튼 길이: Power button 13mm, Volume button 20.5mm)를 기반으로 하였고 소프트웨어 Sharp3D를 이용하여 모델링 하였으며 3D 프린터로 해당 물리적 버튼 레이아웃을 조립 가능한 목업 제품을 Figure 4와 같이 출력하였다.

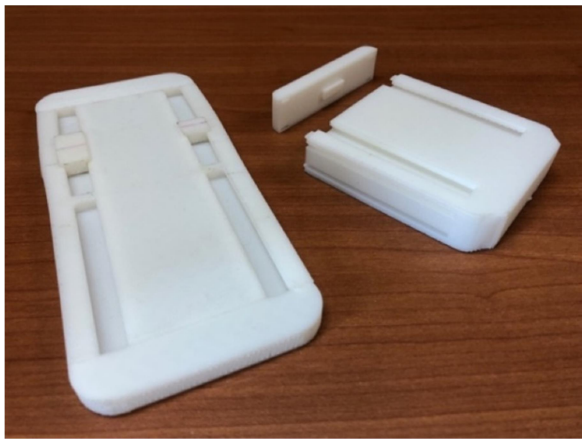


Figure 4. Experimental apparatus

3.1.3 Experimental design

본 실험에서는 폴더블폰 양쪽 측면에 물리적 버튼이 위치한 6가지 레이아웃 방안을 기반하여 물리적 버튼의 조작과 인지에 최적인 방안을 도출하기 위해 실험을 계획 하였다. 피실험자들은 이를 바탕으로 하여 요구된 한 손 파지자세로 각 레이아웃 방안(Table 6)을 조작한 후 주관적 평가인 조작 선호도(Operability Preference) 및 각 레이아웃의 사용성에 대하여 평가하였다.

Table 6. Layout of flip-type foldable phone

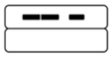
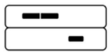
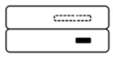
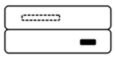
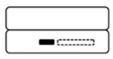
Layout	Unfoled	Folded		Discription
PRU-VRU		Front		In the unfolded state, both the power and volume buttons are placed on the right and up, and the physical buttons are mainly operated with the thumb.
		Right		
PRD-VRU		Front		In the unfolded state, the power button is placed on the right upper side, the volume button is placed on the lower side, and in the folded state, the layout is located below and above.
		Right		
PRU-VLU		Front		In the unfolded state, the power and volume buttons are placed on the right and left, respectively, and the volume button is mainly operated with the index finger.
		Right		

Table 6. Layout of flip-type foldable phone (Continued)

Layout	Unfoled	Folded		Discription
PRU-VLD		Front		In the unfolded state, the volume button is placed on the lower left side and the volume button is operated with the middle finger or ring finger.
		Right		
PRD-VLU		Front		In the unfolded state, the power button is placed on the bottom and the volume button is placed on the upper left.
		Right		
PRD-VLD		Front		In the unfolded state, the power button and the volume button are placed on the bottom of both sides, respectively.
		Right		

3.1.4 Procedure

2차 실험에서는 1차 실험과 같이 실험 진행 전 폴더블폰 상태에 따른 파지 자세(Table 2)에 대하여 안내하였고, 준비 단계와 평가 단계로 진행하였다. 준비 단계에서는 실험 참여자에게 연구 목적, 실험 내용 및 실험 절차에 대해 자세히 설명한 후 실험 참여자들의 손의 길이를 측정하였다. 인체 측정 후 피실험자들은 6가지 레이아웃의 목업을 그립 하고 책상에 앉은 정적인 상태와 0~5km/h의 속도로 걷는 동적인 상태에서 과업을 진행하고(Table 2) 각각의 목업에 대해 조작 선호도(Operability Preference)를 7-point Likert scale로 평가하였다.

3.2 Result

레이아웃의 선호도에 대한 분산분석(ANOVA) 결과, Table 7와 같이 유의수준 0.05에서 레이아웃, 손의 크기 모두 차이가 있는 것으로 분석되었다.

Table 7. ANOVA results for preference of layout

Source	SS	Df	MS	*F*	*p*-value
Layout	234.846	5	46.969	26.581	0.000**
Hand Size	17.014	2	8.507	4.814	0.009
Sex	0.052	1	0.052	0.030	0.864
Tukey HSD	PRU-VLU, PRD-VRU, PRU-VRU> PRU-VLD, PRD-VLD > PRD-VLU				

**p<.0010

Figure 5에서 보는 바와 같이 Layout은 PRU-VLU, PRD-VRU, PRU-VRU 순으로 선호도 점수가 가장 높은 것으로 나타났다. PRU-VLU 경우에 작은 손 피실험자들이 가장 선호하였고 중간 손과 큰 손 사용자들의 선호도 차이는 아주 적다. PRD-VRU 경우엔 작은 손과 중간 손 사용자들은 높은 선호도를 보였으나 큰 손 사용자들은 해당 레이아웃에 대해 낮은 선호도를 나타났다. PRU-VRU 경우에는 큰 손 사용자가 가장 선호하였고 중간 손, 작은 손 순으로 선호도 점수를 확인할 수 있다. 나머지 세 가지 레이아웃은 비교적 낮은 선호도를 나타났고 그 중에서 PRD-VLU는 조작하기 어렵다는 결과를 나타냈다. 사후분석 결과, 조작 선호도가 PRU-VLU, PRD-VRU, PRU-VRU의 순으로 동일한 집단군을 이루어 동일한 집단군을 이룬 PRU-VLD, PRD-VLD 보다 높은 선호도를 나타났고 PRD-VLU는 독립적인 집단군을 이루어 제일 낮은 선호도를 나타났다.

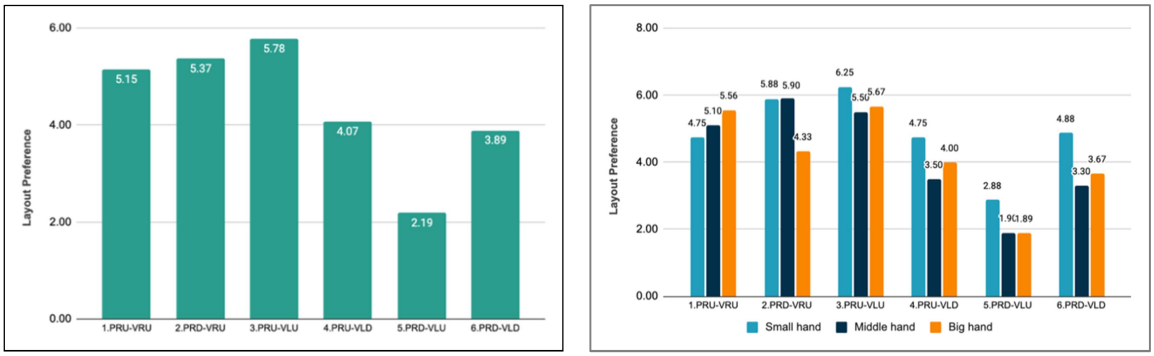


Figure 5. Preference by layout and gripping posture

4. Discussion

본 실험에서는 스크린이 일반 스마트폰보다 더욱 큰 플립식 폴더블폰 물리적 버튼의 기존 미비 된 설계 변수에 대해 검토하고 그것을 한 손으로 조작할 때 사용성이 물리적 버튼의 길이, 돌출 여부, 레이아웃 및 피실험자의 손의 크기에 따른 유의미한 차이가 있는지 파악하기 위하여 조사를 수행하였다. 1차 실험에서는 버튼 길이와 돌출 여부를 24개 조합으로 제공했을 때 피실험자가 촉각적으로 정확하게 인식하는 것이 가능하고 조작 선호도가 높은 버튼 형태를 도출하였다. 실험 결과, 사용자에게 제공되는 버튼의 길이와 돌출 여부에 따른 유의미한 차이가 발생했다. 2차 실험에서는 이를 기반으로 6가지 레이아웃을 제공했을 때 피실험자가 조작하기 쉽고 물리적 버튼에 접근하기 쉬운 레이아웃을 확인하였다. 실험 결과, 레이아웃과 손의 크기에 대하여 통계적으로 유의미한 차이를 발견하였다.

버튼의 형태에 있어서 PYVN 시 모든 버튼 조합에서 모두 제일 낮은 선호도를 보였고, 파워 버튼의 길이가 9mm와 13mm일 때만 쉽게 인식할 수 있지만 볼륨 버튼의 길이가 길어질수록 에러율이 급격하게 증가한다. 볼륨 버튼은 파워 버튼과 달리 "증가"와 "감소" 2개의 분리된 기능이 있어서 비 돌출 상태이면 촉각적으로 인지하고 조작하는 데 더욱 많은 어려움을 느끼기 때문이다. PYVY 시 파워 버튼 길이 17mm일 때 모두 낮은 선호도와 높은 에러율을 나타났고, 9mm, 13mm일 때 볼륨 버튼 길이 24mm 외에 모두 만족스러운 선호도 점수를 확인할 수 있었는데 13~17에서 에러율이 급격하게 증가하는 경향을 보였다. 그 중에서 13~20.5, 9~20.5 순으로 총 24개 조합에서 제일 높은 선호도 점수를 나타났다. 이를 통해 2가지 버튼 모두 돌출 하였을 경우 파워 버튼이 17mm인 것을 선호하지 않고 볼륨 버튼의 길이는 20.5를 가장 선호하지만, 13~17와 같이 길이가 비슷하고 모두 돌출되었으면 인식하는데 어려움이 있게 된다. PNVY의 경우에서 전반적으로 낮은 에러율과 높은 선호도를 확인할 수 있다. 사로 다른 버튼을 바로 인식할 수 있고 적당한 길이인 상태에서 조작하기 쉬운 것으로 해석된다.

버튼의 레이아웃에 있어서 PRU-VLU, PRD-VRU, PRU-VRU 순으로 선호도 점수가 가장 높은 것으로 나타났고 실험 군 그룹(작은 손, 중간 손, 큰 손) 간의 선호도 모두 유의미한 차이가 나타났다. 선호도가 가장 높은 PRU-VLU은 Folded, Unfold 두 가지 상태에서 모두 두 가지 버튼을 쉽게 인식할 수 있고 엄지로 파워 버튼, 검지 및 중지로 볼륨 버튼을 편하게 조작할 수 있다. 작은 손 사용자가 가장

선호하였고 중간 손과 큰 손 사용자도 높은 선호도 점수를 보였다. PRD-VRU는 Folded 상태에서 두 가지 버튼이 아래 위로 배치되어 쉽게 인지하고 접근하기 쉽지만 Unfolded 상태에서 큰 손 사용자의 검지 손가락은 아래 쪽에 위치한 파워 버튼을 조작하는 데 어려움이 있는 것을 확인하였다. PRU-VRU은 기존 스마트폰에서 많이 사용되는 레이아웃인데 손이 작을 수록 선호도가 낮아 지는 경향을 확인할 수 있다. 이것은 윗 쪽에 배치에 되어 있는 볼륨 버튼에 접근하여 조작하기가 어려운 것으로 해석된다. 나머지 3가지 레이아웃 PRU-VLD, PRD-VLU, PRD-VLD은 모두 2가지 버튼을 인식하기엔 쉽지만 힘이 적은 약지 또는 소지로 볼륨 버튼을 클릭해야 되거나 파워와 볼륨 버튼이 멀리 떨어져 있어서 버튼을 접근하고 조작하는데 어려움이 존재하여 낮은 선호도를 나타났다.

5. Conclusion

본 연구는 플립식 폴더블폰의 물리적 버튼 형태와 레이아웃에 대한 조사를 진행하기 위함으로 다양한 버튼 길이 수준과 버튼 돌출 유무 및 레이아웃을 제공하여 사용자가 2가지 상태(Folded, Unfolded)에서 촉각적으로 버튼 인식이 가능하고 조작이 용이한 버튼 길이, 돌출 유무 및 레이아웃에 대한 유의미한 결과를 도출하였으며, 해당 폴더블폰의 물리적 버튼의 선호 형태와 레이아웃을 확인할 수 있었다.

연구 결과 파워 버튼은 13mm, 9mm 순으로 선호하고 볼륨 버튼의 길이는 20.5mm를 가장 선호하였다. 두 가지 버튼이 모두 돌출되었거나 볼륨 버튼만 돌출 된 경우를 선호하지만 모두 돌출된 경우 2가지 버튼의 길이가 유사하면 안된다. 가장 선호하는 레이아웃은 PRU-VLU로 확인할 수 있다.

본 연구를 통해 도출된 한 손 파지 자세에 대한 최적 물리적 버튼의 형태 수준과 레이아웃의 결과를 통해 향후 폴더블폰 물리적 버튼 설계 시 도움이 되는 자료로 활용될 수 있으며, 본 연구의 한계로는 두 가지 물리적 버튼이 모두 오른쪽 측면에 배치되어 있는 상황을 고려하여 버튼의 형태를 확인하였지만, 양쪽 측면에 각각 배치되어 있는 상황도 고려하고 이번 연구 결과를 바탕으로 폴더블폰의 물리적 버튼 해당 레이아웃에 최적의 위치를 도출해 내는 연구가 필요하다.

Acknowledgement

본 연구는 4단계 두뇌한국21에 의해 지원되었습니다.

References

Android Headline, Study: Android Users Look At Their Phone 65.8 Times A Day. https://www.androidheadlines.com/2018/08/study-android-users-look-at-their-phone-65-8-times-a-day.html (retrieved August 01, 2018).

Canalys, Foldable Smartphone Shipments to exceed 30 million in 2024. https://canalys.com/newsroom/foldable-smartphone-shipments-2024 (retrieved February 14, 2022).

Chen, L., Research on the Influence of Smartphone Using Behavior on Driving Reliability. MS thesis. *Chongqing Jiaotong University*, 2018.

Choi, Y., Jung, H., Park, J. and You, H., Analysis of grip posture for ergonomic smartphone interface design. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 61, No. 1, pp. 1058-1061), Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications., 2017.

Corsetti, B., Sanchez-Reillo, R. and Guest, R.M., Ergonomics in Mobile Fingerprint Recognition Systems: A User Interaction Evaluation. *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, (pp. 382-389), Springer, Cham., 2020.

Giap, D.B., Le, T.N., Wang, J.W. and Wang, C.N., Wavelet Subband-Based Tensor for Smartphone Physical Button Inspection. *IEEE Access*, 9, 107399-107415, 2021.

Gold, J.E., Driban, J.B., Thomas, N., Chakravarty, T., Channell, V. and Komaroff, E.G., Postures, typing strategies, and gender differences in mobile device usage: An observational study. *Applied Ergonomics*, 43(2), 408-412, 2012.

Im, K.S. and Yoon, J.S., Usability evaluation about the smart phone screen size change for one-handed. *Journal of Korea Design Forum*, (36), 139-148, 2012.

Jang, S.K. and Yun, J.Y., User Experience Research of the Degree of Minimalism Expression Relevant Presence of Physical Home Button on Smartphones. *Proceedings of HCI Korea*, 237-242, 2021.

Jin, Y. and Yu, E., An Evaluation of User Experience of Foldable Phones in Terms of Design Attributes and Proposed Future Design Directions. *Journal of Integrated Design Research*, 18(4), 63-80, 2019.

Jin, B.S. and Ji, Y.G., Usability risk level evaluation for physical user interface of mobile phone. *Computers in Industry*, 61(4), 350-363, 2010.

Kim, K.J. and Sundar, S.S., Does screen size matter for smartphones? Utilitarian and hedonic effects of screen size on smartphone adoption. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 17(7), 466-473, 2014.

Kwon, D.H., Choi, Y.G., Kim, M.J. and You, H.C., Effects of Hand Dominance, Hand Size, and Device Size on the Grip Posture of Smartphone for Physical and Graphical user Interfaces. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 40(5), 259-268, 2021.

Lin, C.L., Chang, W.Y. and Hung, C.C., Compensating pixel circuit driving AMOLED display with a-IGZO TFTs. *IEEE Electron Device Letters*, 34(9), 1166-1168, 2013

Park, K., Kim, D. and Han, S.H., Touch or Push?: Button Design for VR HMD using Hand Interaction. *Proceedings of the ESK Conference*, 56-60, 2018.

Sereshkeh, A.R., Leung, G., Perumal, K., Phillips, C., Zhang, M., Fazly, A. and Mohomed, I., VASTA: a vision and language-assisted smartphone task automation system. In *Proceedings of the 25th International Conference on Intelligent User Interfaces* (pp. 22-32), 2020.

Size Korea *Home Page*, https://sizekorea.kr/human-meas-search/human-data-search/meas-item (retrieved, 2015).

Author listings

Guangjun Piao: kjpark@korea.ac.kr
Highest degree: BS, Department of Industrial Design, Hohai University
Position title: MS Candidate, Department of Industrial and Management Engineering, Korea University
Areas of interest: Ergonomics, Human-computer Interaction, Usability Evaluation

Hye Seong Oh: ohsku77@korea.ac.kr
Highest degree: BS, Department of Medical Engineering, Korea University
Position title: MS Candidate, Department of Industrial and Management Engineering, Korea University
Areas of interest: Ergonomics, Human-computer Interaction, Usability Evaluation

Eui Seung Jung: ejung@korea.ac.kr
Highest degree: PhD, School of Industrial Engineering, Pennsylvania State University
Position title: Professor, Department of Industrial Management Engineering, Korea University
Areas of interest: Ergonomics, Human-computer Interaction, Usability Evaluation, Interaction Design