

# 인체 손가락 해석을 통한 UMPC 키패드 설계 최적화

박수현<sup>†</sup> · 김광일<sup>\*</sup> · 양태승<sup>\*\*</sup>

## Design Optimization of UMPC Keypad Using Human Finger

Soo-hyun Park, Kwang-il Kim, Tae-seung Yang

**Key Words :** Keypad(키패드), Design Optimization(최적 설계), Human Model(인체 모델), Finite Element(유한 요소), Mis-typing Ratio(오타율)

### Abstract

As the mobile electronic product is getting slimmer and smaller, the necessity of keypad is being increased. But the possibility of mis-typing keypad is increased rapidly due to the integrated keypad in the small mobile product. The business division has not considered the methodology of keypad design essentially. In this paper, analysis method and design evaluation standard to reduce the mis-typing of UMPC(Ultra Mobile Personal Computer) is suggested. First, the finite element analysis model and the biomechanical human body model are implemented in order to simulate the exact contact characteristic between finger and keypad. The reliability of analysis model is guaranteed by the comparison of the contact pressure between analysis result and experiment result of the pressure sensor. The design optimization of key shape and layout is derived through the response surface method. The prototype model is produced with the optimized design of keypad, and then it verified the advanced function with user mis-typing detection test. The optimized keypad design reduced the mis-typing ratio from 35% of existing model to 75 of proposed model. If this paper is widely applied to not only UMPC but also the other electronic products, the emotional quality of all products could be improved considerably.

## 1. 서론

UMPC(Ultra Mobile Personal Computer)는 기존 노트북의 단점이던 휴대성문제를 극복하기 위한 새로운 개념의 노트북이다. 대개 5-7 인치 LCD 에 500g 정도의 무게를 가지며, 무선통신기능을 보장하여 인터넷 접근성을 높인 제품이다. 당사의 UMPC 제품 Q1 과 Q1 Ultra 는 Figure. 1 에 나타내었다.

이동성과 휴대성이 강조되는 제품의 특성상

<sup>†</sup> 회원, 삼성전자 기술총괄 생산기술연구소

E-mail : soohyun1.park@samsung.com

TEL : (031)200-2043 FAX : (031)200-0970

<sup>\*</sup> 삼성전자 기술총괄 생산기술연구소

<sup>\*\*</sup> 삼성전자 정보통신총괄 컴퓨터사업부

기존의 1 세대 UMPC 와는 달리 2 세대 UMPC 에는 ‘QWERTY’ 키패드를 배치해 UMPC 의 사용성을 증대 시키도록 하였다. LCD 패널을 크게 하면서 모바일 제품의 소형화를 유지하기 위해서는 키패드가 배치되는 공간에 제약이 따른다. 결국 키패드의 키를 작게 하면서 조밀한 배치를 해야 한다. 이러한 배치는 사용자가 키를 조작할 때 많은 오타를 유발시키게 되고 사용자에게 불편함을 초래한다.



(a) 1st generation:Q1 (b) 2nd generation: Q1 Ultra

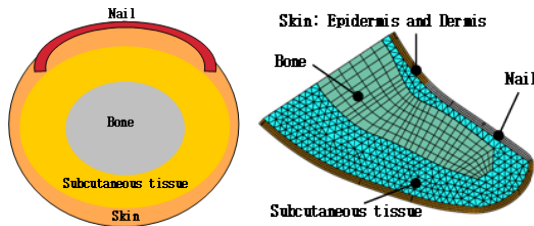
Fig. 1 Design of SAMSUNG UMPC

본 연구에서는 이러한 기존의 키패드를 개선할 수 있는 최적화된 키패드 형상과 배열을 제안하였다. 이를 위해 키패드의 작동 과정을 해석하기 위해 인체 손가락 모델을 구성하고 3 차원 유한요소 해석을 수행하였다. 키패드의 형상과 배열을 7 변수 3 인자의 파라미터 스테디를 통해 반응 표면을 구성하고 최적화 하였다. 최적화 결과를 반영한 검증 모델을 통해 오작동 비를 정의하고 오타 검출 프로그램을 통한 결과 기존 35%에서 7%로 저감시켰다.

## 2. 인체 손가락 유한 요소 해석

### 2.1 인체 손가락 모델링

키패드가 눌러지는 순간에 인체 손가락의 생체 역학 반응을 모사하기 위해 유한 요소 모델을 개발하였다. 인체 손가락은 피부(skin), 피하조직(subcutaneous tissue), 뼈(bone), 그리고 손톱(nail)의 4 가지 부분으로 구성된다. 본 해석에 사용된 인체 손가락은 Figure. 2 와 같고, 178cm 의 보통 남자의 뼈 구조와 손가락 표면을 3 차원 스캐닝하여 구성하였다. 인체 손가락의 물성은 인체 해석 물성 이론에 의해 정의되고 상용 해석 프로그램인 ABAQUS 에 맞는 데이터베이스를 구축하였다. 손톱과 뼈는 탄성 모델, 피부와 피하조직은 4 차 Ogden 모델의 hyperelastic 모델로 데이터베이스화 하였다. 손가락을 구성하는 부위에 맞는 적용



(a) front section (b) side section  
**Fig. 2** Finite element model of a fingertip

**Table 1** Proper material model

	Constitutive Equation	
Skin	Hyperelastic model	4th order Ogden
Subcutaneous	Hyperelastic model	4th order Ogden
Nail	Elastic model	
Bone	Elastic model	

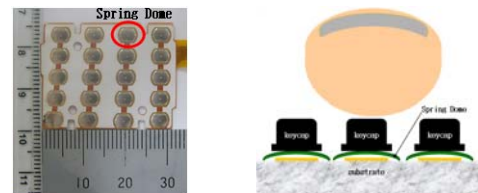
재료 모델을 Table. 1 에 나타내었다.

### 2.2 키패드 구조

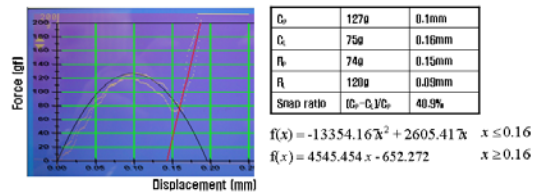
UMPC 용 소형 키패드는 플라스틱 키 아래에 있는 스프링 돔에 의해 작동하게 된다. 키패드의 스냅비(snap ratio)는 사용자의 촉각적인 느낌에 직접적으로 영향을 미친다. 40%이하의 스냅비를 가진 키패드는 약한 촉각적 느낌을 갖지만, 아주 긴 수명을 보장하는 반면에, 40~60%의 스냅비를 가진 키패드는 뛰어난 촉각적인 느낌과 상대적으로 긴 수명을 보장한다. 키패드의 스냅 비율은 작용하중(F1)과 접촉저항력(F2)의 차이를 작용하중(F1)으로 나누어서 계산 할 수 있다. 본 연구에 사용된 키패드의 스냅비의 정확한 측정을 위해, Figure. 3 과 같이 스프링 돔의 Stiffness 는 정반위에 두고 누른 후, 로드셀을 이용하여 측정하였다. 실험에서 얻어진 스프링 돔의 stiffness 결과는 Figure. 4 와 같고 데이터 피팅(fitting)을 거친 후, 스프링 돔의 spring element 로 사용하게 된다.

### 2.3 경계 조건 및 검증 실험

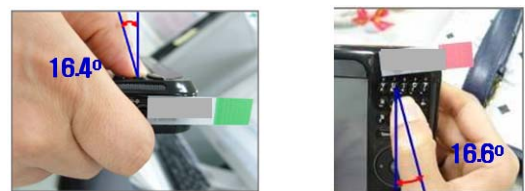
UMPC 키패드의 사용자 그립(grip) 조사를 통해서 얻은 대표적인 사용자의 그립 포지션은 Figure. 5 와 같다. 엄지손가락은 LCD 정면에서 볼 때, 16.6° 기울어 졌고, 옆면에서 볼 때, 16.4° 기울어져 있는 상태에서 키패드에 작용을 하게



**Fig. 3** Spring dome of keypad



**Fig. 4** Fitting the characteristic of spring dome



(a) side-view (b) front-view  
**Fig. 5** Non-linear spring fitting

된다. 이를 바탕으로 엄지손가락을 키에 위치시키고, 키 아래 부분에는 스프링 돔의 효과를 나타내는 비선형 스프링 요소를 적용하였고 Figure. 6 과 같다. . 실제 UMPC Q1 Ultra 의 ‘K’ 버튼을 눌러서 압력센서를 이용한 접촉 응력을 측정 한 결과를 Figure.7 에 나타내었다. Table.2 에 의하면, 해석과 실험의 오차는 12.1% 정도로 나타났다. ‘오타’는 키패드 사용시 원하지 않는 키를 작동시키는 일련의 행위로 정의하였다. 특정 키가 작동하는 순간, 주변의 키가 받는 하중의 비(ratio)를 ‘오작동 비’라고 정의 하여 하중 관점에서 오작동 비의 지수를 명명하였다. 오작동 비의 계산을 하기 위하여 Figure. 8 과 같이 가운데에 있는 5 번 키를 누르는 순간 주변에 있는 다른 키(4, 6 번 키)가 받는 하중

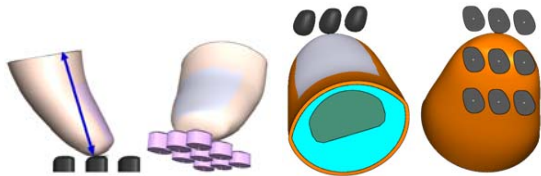
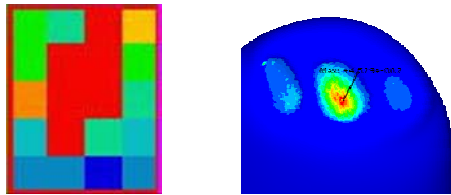


Fig. 6 Keypad analysis model



(a) sensor test (b) analysis result

Fig. 7 Keypad analysis model

Table 2 Contact pressure comparison

	Analysis	Test	Error rate
Maximum Contact Pressure (MPa)	0.04529	0.04039	12.1%

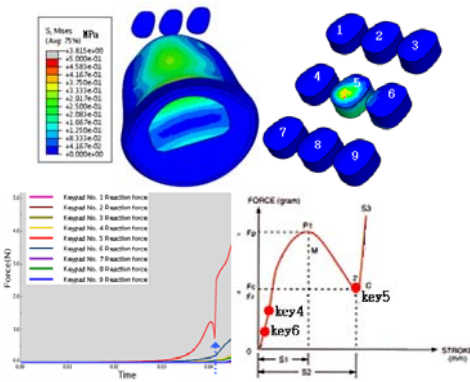


Fig. 8 Analysis of mis-typing ratio

을 해석하여 하중 비를 계산하여 Table. 3 에 도시 하였다.

### 3. 키패드 설계 최적화

#### 3.1 키패드 설계 변수의 선정

키패드 형상 및 배열 설계의 주요 인자를 Figure. 9 와 같이 7 가지를 선정하고, 7 변수 3 인자 수준의 직교 배열표를 이용하여 27 가지 경우에 대한 해석을 수행하였다. 키 넓이(A), 키의 높이(B), 수직 기울기(C), 키 사이의 간격인 피치(pitch, D), 키 중심간의 각도(E), 키 경사면의 기준(F), 키 윗면의 슬로프(slope, G)를 7 가지 변수로 선정하였다. 7 가지 변수를 3 수준으로 나누어 직교 배열표를 구성하였다. 직교 배열표를 통한 각 반응을 이해 한 후, 반응 표면 분석을 통한 최적화를 수행하였다. 5 번 키를 누를 때, 4 번 키가 받는 주효과와 6 번 키가 받는 주효과를 Figure. 10 에 나타내었다. 직교 배열표에 의한 27 가지 경우에 대한 해석은 ABAQUS 의 Python 언어를 이용하여, 자

Table 3 Active Force and mis-typing ratio

	No. 4 Key	No. 5 Key	No. 6 Key
Active force (N)	0.050 N	0.746 N	0.261 N
Mis-typing ratio	6.8 %	100 %	34.9 %

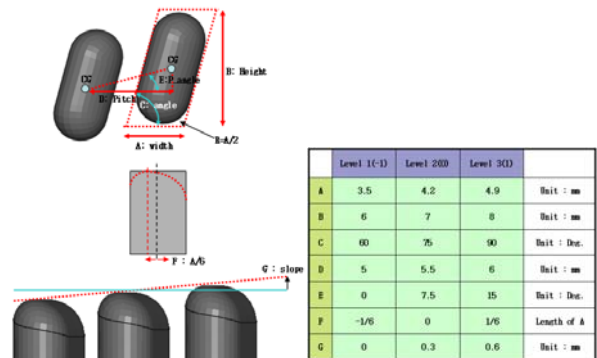


Fig. 9 Design variable of keypad

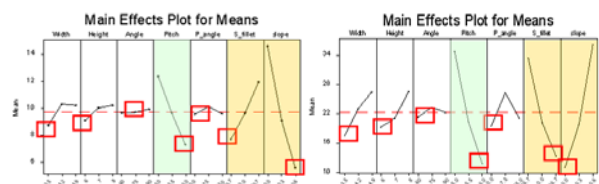


Fig. 10 Main effect plot

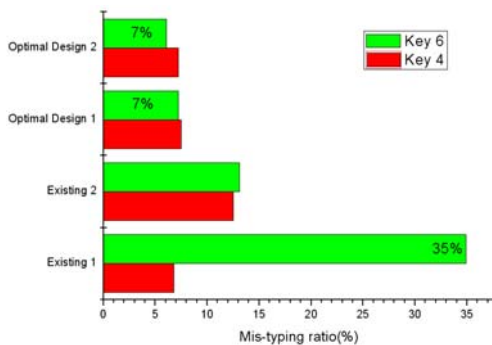
동화하여 해석 입력 파일을 생성하였다. 각 경우에 대한 오작동 비를 외연적 적분법(implicit)으로 해석하고 반응 표면을 구하였다. 5 번 키를 누를 때 4, 6 번 키의 오작동 비를 줄이는 영향을 분석하면, 키의 너비, 높이, 기울기, 피치, 중심간 각도(A, B, C, D, E)는 같은 경향을 보인다. 그러나 경사면, 슬로프(F, G)는 상반 되는 결과를 보인다. 4, 6 번 키의 피치(D)는 커져야 오작동 비를 줄이는 주효과를 보이는 반면에, 경사면(F)과 슬로프(G)는 서로 상반되는 결과를 나타낸다. 변수 민감도는 슬로프(G), 피치(D), 경사면(F)의 순서이다.

### 3.2 반응 표면 구성을 이용한 최적화

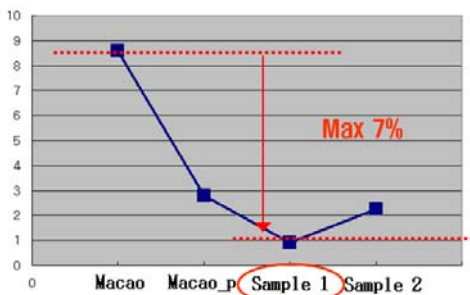
직교 배열 구성을 통한 해석 결과를 이용해 1 차 근사 반응 표면 이용하게 되면 예상 최적해는 음수가 나오기 때문에 사용할 수 없다. 따라서,

**Table 4** Mis-typing ratio of response surface method

	Existing model		Kriging - Fletcher - Reeves model		Kriging - PQRSM model	
	No. 4	No. 6	No. 4	No. 6	No. 4	No. 6
Mis-typing ratio	6.8 %	34.9 %	7.4 %	7.2 %	7.2 %	6.1 %



**Fig. 11** Mis-typing ratio of optimal design



**Fig. 12** User's mis-typing ratio

Kriging - Fletcher - Reeves 와 Kriging - PQRSM 의 2 차 근사 모델의 경우 반응 표면을 통한 예상 최적해와 실제 해석의 오작동 비가 유사함을 확인 할 수 있다. 기존 모델과 2 차 반응 표면을 이용한 근사 모델의 최적해의 오작동 비를 해석한 결과를 Table 4 에 나타내었다. 최적화를 통한 결과 오작동 비는 Figure. 11 과 같이 기존 35%에서 7%로 개선됨을 나타낸다. 최적안을 prototype 모델로 제작해서 실제 사용자들을 대상으로 C++ 오타 검출 프로그램을 사용하여 얻은 결과 역시 Figure. 12 에 나타내었고 최적화 모델의 해석 결과를 잘 반영하고 있다.

## 4. 결 론

3 차원 인체 모델 손가락 해석을 통해, UMPC 키패드의 설계 최적화를 수행하였다. 본 연구에서 인체 손가락에 대한 유한요소 모델을 구축하였고, 정확한 구조와 적용 재료 모델을 사용하여 키패드와 손가락의 접촉 특성을 규명하였다. UMPC 를 손으로 잡는 위치를 통계 조사를 통해서, 키패드의 비선형적인 물리적인 작동 메커니즘을 해석하였다. 키패드의 형상과 배열에 대한 7 가지 설계변수를 정의하고 반응 표면법을 통해 최적의 결과를 제시하였다. 해석 결과와 prototype 모델을 제작하여 실험한 결과는 비슷한 오작동 비를 나타내고 있다. 손가락 이외에 더 나아가, 인체 손, 팔, 그리고 전신에 대한 모델링 및 물성 정보를 설계에 반영할 수 있게 된다. UMPC 만이 아니라 휴대폰, 텔레비전, 그리고 세탁기 등의 모든 전자제품까지 적용되어서 설계단계에서 시행착오를 줄이고 감성 품질을 개선시킬 수 있을 것이다. 키패드의 최적화에 대한 본 연구는 조그 셔틀이나 터치패드 같은 감성 품질을 중요시 하는 인터페이스로 확장될 것이다.

## 참고문헌

- (1) ABAQUS User's manual
- (2) J. T. Cheung, M. Zhang, 2006, "Finite element modeling of the human foot and footwear," *ABAQUS User's Conference*
- (3) J. Z. Wu, R. G. Dong, W. P. Smutz, A. W. Schopper, 2003, "Modeling of time-dependent force response of fingertip to dynamic loading," *Journal of biomechanics*, 36