

---

# 단계식 입력 체계를 이용한 시선 추적 기반의 한글 입력 인터페이스 설계

## Design of Korean eye-typing interfaces based on multilevel input system

김호중, Hojoong Kim\*, 우성경, Sung-kyung Woo\*\*, 이건우, Kunwoo Lee\*\*\*

---

**요약** Eye-typing은 인간-컴퓨터 상호작용의 일종으로 시선의 위치 정보를 기반으로 하는 입력 체계이다. 눈동자의 움직임 이외의 물리적 행위를 필요로 하지 않아 거동이 어려운 전신마비 환자들을 위한 입력 수단으로 널리 사용된다. 하지만 eye-typing을 위한 한글 기반의 인터페이스는 거의 제시되지 않은 것이 현실이다. 이에 본 연구에서는 한글 입력에 최적화된 eye-typing 입력 체계를 구현하였다. 우선 큰 잡음과 Midas touch problem으로 대표되는 eye-typing의 특성을 고려하여 설계 목표를 정립하였다. 잡음 문제를 해결하기 위해 개별 버튼의 크기를 극대화하기 위해 단계식 입력 체계를 도입하였고 Midas touch problem을 해결하기 위해 입력 영역 중간에 시선 보류 영역을 두었다. 다음으로 각 음절이 자음과 모음의 조합으로 생성되는 한글의 언어학적 특성에 대한 고찰을 바탕으로 두 종류의 eye-typing 인터페이스를 설계하였다. 각각 자모 일체형, 자모 분리형 인터페이스로 정의한 두 인터페이스는 한글의 자모음을 유형화하여 단계적으로 입력하도록 구현되었다. 그리고 이들의 성능을 검증하기 위해 한글 두벌식 자판과 비교하고 입력 과정에서 시선의 동선을 분석하는 실험을 수행하였다. 그 결과, 제시한 인터페이스가 실용적인 eye-typing 수단으로 활용될 가능성이 충분함을 확인하였다.

**Abstract** Eye-typing is one kind of human-computer interactive input system which is implemented by location data of gaze. It is widely used as an input system for paralytics because it does not require physical motions other than the eye movement. However, eye-typing interface based on Korean character has not been suggested yet. Thus, this research aims to implement the eye-typing interface optimized for Korean. To begin with, design objectives were established based on the features of eye-typing: significant noise and Midas touch problem. Multilevel input system was introduced to deal with noise, and an area free from input button was applied to solve Midas touch problem. Then, two types of eye-typing interfaces were suggested on phonological consideration of Korean where each syllable is generated from combination of several phonemes. Named as consonant-vowel integrated interface and separated interface, the two interfaces are designed to input Korean in phases through grouped phonemes. Finally, evaluation procedures composed of comparative experiments against the conventional Double-Korean keyboard interface, and analysis on flow of gaze were conducted. As a result, newly designed interfaces showed potential to be applied as practical tools for eye-typing.

**핵심어:** *Eye-typing interface design, Eye-typing, Eye tracking, Korean typing interface, Multilevel input system*

---

본 논문은 2016년 서울대학교 학술 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

\*주저자: 서울대학교 기계항공공학부: e-mail: khj2195@snu.ac.kr

\*\*공저자: 서울대학교 기계항공공학부 박사과정: e-mail: wsk0625@snu.ac.kr

\*\*\*교신저자: 서울대학교 기계항공공학부 교수: e-mail: kunwoo@snu.ac.kr

■ 접수일: 2017년 7월 31일 / 심사일: 2017년 8월 17일 / 게재확정일: 2017년 11월 7일

## 1. 서론

Eye-typing이란 시선 추적 장치를 통해 얻은 시선의 위치 정보를 기반으로 입력 기능을 수행하는 인간-기계 상호작용의 일종이다[1]. 눈동자의 움직임만을 이용한다는 특성 때문에 루게릭병(ALS)이나 근위축증 등으로 인해 안구 이외의 부위를 이용한 의사 표현에 어려움을 겪는 환자들을 위한 의사소통 수단으로 널리 쓰이고 있다[2].

Eye-typing 입력 체계를 구축하는 데에 있어서 지상 과제는 Midas touch problem이다[3]. Midas touch problem이란 시선이 사용자의 의도를 완벽하게 반영하지 않기 때문에 나타나는 문제로 시스템이 사용자의 시선을 추적하는 것만으로는 여기에 의도가 담겨있는지를 판단할 수 없기 때문에 발생한다[4]. Midas touch problem이 유독 eye-typing에서 중요한 이유는 마우스나 터치패드 등과는 달리 클릭, 즉 선택을 확정하는 행위(confirmation)가 불분명하기 때문이다. 원하는 곳으로 커서를 가져다 놓는 것은 쉽지만 가능하지만 클릭으로 정의할 만한 행위가 마땅치 않기 때문에 이와 관련하여 많은 연구가 이루어졌다[5].

대표적인 해결책으로는 일정 시간 동안의 응시(fixation for a certain dwell time), 깜빡임, 그리고 별도의 물리적 버튼을 이용한 클릭 등이 있다[5,6]. 먼저 깜빡임의 경우에는 주기적으로 나타나는 생리적 깜빡임과 의도적 깜빡임을 구분하는 것이 관건이다[7]. 하지만 이를 정확히 구분해 내기 위해서는 눈 주변 근육의 움직임을 측정하거나[8] 눈을 근접 촬영한 영상이 필요하기 때문에[9] 별도의 장비가 필요하다는 단점이 있다. 더욱이 안면 근육이 마비된 환자의 경우에는 아예 사용조차 불가능하다는 한계가 있다. 별도의 물리적 입력 장치를 두는 방법 역시 버튼을 작동시킬 능력이 있는 사용자에게만 적용이 가능하다는 측면에서 범용성이 떨어진다. 이에 본 연구에서는 eye-typing에서 이들 중 가장 널리 쓰이는 응시에 의한 시선 체류(dwell)를 기반으로 하는 인터페이스를 구현한다.

다음으로 알파벳 기반 문자나 일본어의 경우에는 해당언어의 특성에 맞춘 eye-typing 입력 체계가 이미 제시되었다[10]. 가령, Metrovision 사의 Visioboard 시스템은 Wivik 사의 on-screen 키보드를 eye-typing 인터페이스로 활용하였다[11]. 이에 반해 한글을 기반으로 하는 eye-typing 인터페이스에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 관련 연구에서 컴퓨터 키보드를 본뜬 한글 두벌식 자판을 활용한 사례가 있었을 뿐이다[12]. 여기에 추가적으로 입력 방식이 eye-typing과 유사한 휴대폰의 문자 입력 체계를 차용하는 방안도 생각해볼 수 있다. 하지만 이들은 각자의 입력 방식에 대해서는 한글 입력에 최적화되어 있는 반면 eye-typing에 적용되기에는 부적합하다. 먼저 한글 두벌식 자판은 자음과 모음이 좌우로 나누어 배치되어 있다. 이는 양손으로 번갈아 타자를 치는 데에는 최적화되어 있을지언정 하나의 입력 수단을 가지는 eye-typing으로서는 불필요하게 긴 동선을 초래한다. 한편 휴대폰의 문자 입력 체계는

0~9번의 번호에 자모음을 적절히 묶어서 할당해 놓은 형태를 가진다. 하지만 한 버튼을 연달아 눌러야 하는 경우가 빈번해 [13] 시선 체류 시간을 기반으로 하는 입력 체계에 적용하기에는 효율성이 떨어진다. 이처럼 eye-typing의 특수성과 한글의 언어학적 특수성을 두루 고려한 입력 체계는 아직까지 제시되지 않았다. 때문에 한글을 기반으로 하는 eye-typing 입력 체계의 개발은 한국어를 모국어로 하는 eye-typing 사용자들에게 큰 편의를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

이러한 문제의식에서 비롯하여, 본 연구에서는 한글 입력에 최적화된 eye-typing 입력 체계를 구현하였다. 본 연구의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 설계 목표를 선정하고 단계식 입력 체계(multilevel input system)를 정의한 뒤, 이를 기반으로 두 가지 인터페이스를 구축한다. 이 과정에서 한글 음절 생성을 위한 알고리즘을 적용하고 선택 행위 시간에 대한 최적화 과정을 거친다. 다음으로 3장에서는 사용자 실험을 통해 새로운 인터페이스의 성능을 비교 분석한다. 이때 대조군으로 기존의 한글 두벌식 자판을 본뜬 인터페이스를 구현, 활용한다. 마지막으로 4장에서는 본 연구의 의의와 한계, 그리고 향후 연구 방향에 대해 논의한다.

## 2. 설계

### 2.1 설계 목표

Eye-typing의 모든 입력은 사용자가 모니터를 바라보고 있을 때 시선의 위치에 따라 이루어지며 시선의 움직임은 연속성을 가진다. 시선의 흐름은 곧 사고의 흐름이라고 보아도 무방할 정도로 사용자에게 큰 영향을 미치기 때문에 사용자가 어지러움을 느끼지 않게 하기 위해서는 시선의 경로를 가능한 한 단순하고 직관적이게 만드는 것이 필요하다. 한편 본 연구에서 사용한 모니터 장착형 시선 추적 장치(monitor-mounted eye tracker)의 경우, 비교적 원거리에서 눈동자의 움직임을 측정하기 때문에 도약 안구 운동이나 불수의적인 안구의 움직임 등으로 인해 발생하는 잡음이 크다. Jacob O. Wobbrock은 이러한 오류를 최소화하기 위한 입력 체계 Eyewrite를 제시하였다[14]. Wobbrock은 직사각형 형태인 문자 입력 영역의 각 모서리 부분을 구획으로 삼고 포인터, 즉 시선이 구획들을 거쳐간 순서와 조합을 문자 인식의 기준으로 삼았다. 여기서 관건은 기존의 컴퓨터 자판을 본뜬 입력 체계와는 달리 구획의 개수를 줄임으로써 시선 추적 과정에서 발생하는 잡음에 대한 내구성을 크게 증진시켰다는 것이다. 같은 맥락에서 Majoranta와 Rähäyer시 인터페이스 상의 버튼 각각에 대해 충분한 크기를 확보하거나 버튼 사이의 간격을 최대화하는 전략을 제안하였다[15]. 한편 Midas touch problem을 방지하기 위해서는 입력이 이루어지지 않는 동안에 시선이 머무를 영역이 필요하다[10]. 이러한 논의를 바탕으로 다음과 같은 3가지 설계 목표를 선정하였다.

- ① 개별 버튼의 크기 극대화
- ② 효율적이고 직관적인 동선
- ③ 입력 보류 시 시선이 머무를 수 있는 공간 확보

이 중 입력 장치의 성능에 가장 직접적인 영향을 미치는 것은 첫 번째 항목이므로 이를 지상 목표로 삼아 설계 과정에 반영하였다. 하지만 인터페이스의 전체 크기는 제한되어 있기 때문에 버튼의 크기를 무한정 늘리는 것은 불가능하다. 따라서 제한된 공간에서 개별 버튼의 크기를 극대화시키기 위해서는 하나의 창에 모든 버튼을 띄워 놓는 대신 상황에 따라 일부 버튼만을 띄워 놓는 방식을 채택해야 한다. 즉, 모든 입력 후보군을 나열해 놓고 고르는 것이 아니라 특정 문자에 도달하기 위해서는 특정 경로를 따라 여러 단계를 거쳐야 하는, 이른바 단계식 입력 체계를 제안한다(그림 1). 단계식 입력 체계에서는 먼저 문자들을 몇 개의 그룹으로 묶은 뒤 초기 화면에는 각 그룹을 대표하는 문자들만 띄워 놓는다. 그리고 입력하고자 하는 문자가 속해있는 그룹을 선택하면 해당 그룹에 속해있는 하위 항목들이 펼쳐지게 되고 여기서 다시 어떤 항목을 선택하면 비로소 입력이 이루어지게 된다.

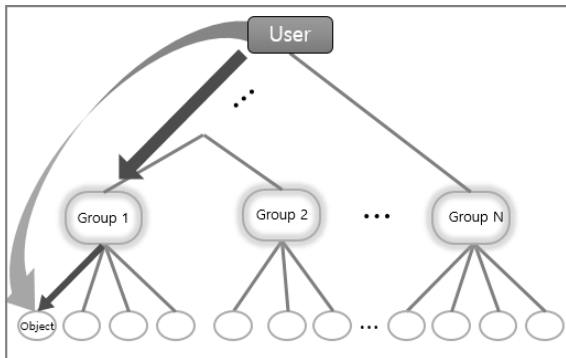


그림 1. 단계식 입력 체계(multilevel input system). 직접 대상을 선택하는 것이 아니라(회색 화살표), 상위 항목을 먼저 선택한 뒤 하위 항목을 선택하는 방식(빨간 화살표).

본 연구에서는 위 설계 목표에 부합하는 두 가지 입력 체계를 설계하였다. 그리고 자음과 모음의 분리 여부를 기준으로 이들을 각각 자모 일체형 인터페이스와 자모 분리형 인터페이스라 정의한다. 두 입력 체계 모두 버튼 크기의 극대화를 위한 단계식 입력 체계를 기본으로 하지만 전자는 두 번째 설계 목표인 직관적 동선 구축에 좀 더 초점을 둔 반면 후자는 세 번째 설계 목표인 입력 보류 시의 시선 체류 공간 확보에 중점을 두고 설계하였다.

## 2.2 자모 일체형 인터페이스

자모 일체형 인터페이스의 가장 큰 특징은 자음과 모음이 한 창에 같이 나타난다는 것이다. 한글의 음절 생성 순서에 입각하

여 초성, 중성, 종성 입력 영역을 순서대로 배치하였다. 초성과 중성은 자음이며 중성은 모음이므로 초성과 중성 부분은 거의 동일한 형태를 가진다. 덧대어 현재 입력 중인 문자를 확대해서 보여주는 영역과 입력된 전체 문자열을 보여주는 영역을 배치하였으며 공백 입력(Space)과 행위 취소(Backspace), 그리고 전체 삭제(Clear)의 기능을 수행하는 영역을 두었다(그림 2).

우선 자음의 경우, 한글에는 쌍자음을 포함하여 총 19 종류가 있다. 이들 중 일부는 다른 자음으로부터 획 추가를 통해 파생된 형태를 가지는데 이를 유형화의 기준으로 삼았다. 가령 'ㅅ'은 'ㅈ'과의 유사한 발음을 근거로 'ㅅ'에 한 획을 추가하여 생성되었고 'ㅆ'은 'ㅈ'의 거센소리에 해당하므로 다시 'ㅈ'에 한 획을 추가함으로써 생성되었다. 이와 같이 각 자음의 소리 및 형태의 연관성을 기준으로 분류 작업을 수행한 결과 19개 자음을 아래와 같이 5개 그룹으로 분류하였으며 각 그룹을 대표하는 기본 음소로는 'ㄱ', 'ㄴ', 'ㄷ', 'ㄹ', 'ㅅ'을 선정하였다. 기본적으로는 자음 간의 파생 관계를 기준으로 두었지만 각 그룹의 크기를 가능한 한 일정하게 하기 위해 몇 가지 예외를 두었다. 가령 'ㄴ' 그룹에 속한 'ㄴ'과 'ㅇ'은 'ㄴ'로부터 파생되었다고 보기 어렵지만 유음이라는 범주에 속하므로 같은 그룹으로 묶었다.

- 'ㄱ'그룹: 'ㄱ', 'ㅋ', 'ㆁ'
- 'ㄴ'그룹: 'ㄴ', 'ㄷ', 'ㅇ', 'ㅇ'
- 'ㄷ'그룹: 'ㄷ', 'ㅌ', 'ㄸ'
- 'ㄹ'그룹: 'ㄹ', 'ㄴ', 'ㄹ', 'ㄹ'
- 'ㅅ'그룹: 'ㅅ', 'ㅆ', 'ㅆ', 'ㅆ'

다음으로 모음은 가장 기본이 되는 구성요소인 점모음 'ㅏ', 'ㅑ', 'ㅓ', 'ㅕ', 'ㅗ', 'ㅛ', 'ㅜ', 'ㅠ'를 이용해 유형화하였다. 기본 창에는 'ㅡ'와 'ㅣ'만 나타나 있지만 각 모음을 선택하면 'ㅡ'의 경우에는 위아래로 'ㅣ'의 경우에는 양 옆으로 각각 2개의 버튼이 나타나게 하였다. 새로이 나타나는 버튼은 1개 혹은 2개의 점모음 'ㅏ'을 나타내는 버튼으로 선택되는 점의 개수에 따라서, 그리고 점과 선의 상대적 위치에 따라 입력되는 모음이 결정되게 하였다. 한편 복모음의 입력은 2개 단모음을 연속적으로 입력함으로써 이루어지게 하였다.

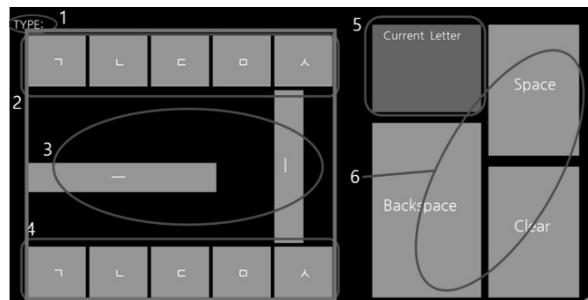


그림 2. 자모 일체형 인터페이스. (1)전체 입력 문자열, (2)초성 입력, (3)중성 입력, (4)종성 입력, (5)현재 입력 중인 음절, (6) Space, Backspace, Clear버튼.

### 2.3 자모 분리형 인터페이스

자모 분리형 인터페이스에서는 자음과 모음이 함께 나타나지 않도록 하였다. 즉, 창 전체에 자음만 떠 있는 자음 창과 모음만 떠 있는 모음 창이 서로 전환을 통해 오가게끔 설계하였다. 정사각형 형태의 입력 영역은 3\*3, 즉 9개의 영역으로 나누는데 이 중 중앙에 위치한 영역은 아무런 입력도 이루어지지 않는 영역으로 두고 나머지 8개 영역을 버튼 영역으로 사용하였다. 이는 3번째 설계 목표에서 언급한 입력이 이루어지지 않는 동안 시선이 머무를 수 있는 영역에 해당하므로 시선 보류 영역으로 정의하였다. 동시에 이 영역에 현재 입력 중인 음절을 표시함으로써 입력이 제대로 이루어졌는지 확인할 수 있게 하였다. 한편 본 인터페이스의 효율성은 자음 창과 모음 창이 얼마나 자유자재로 전환될 수 있는지, 그리고 창의 상태가 사용자에게 얼마나 명료하게 전달될 수 있는지에 달려 있다. 때문에 입력 영역의 하단에 전환 버튼을 두어 자음 창과 모음 창 간의 전환을 도모하였다. 하지만 자음에서 모음으로, 그리고 모음에서 자음으로 넘어갈 때마다 매번 전환 명령을 내리는 것은 비효율적이므로 현재 입력 중인 음절의 상태에 따라 자동 전환이 이루어질 수 있게 하였다. 가령, 초성 입력단계에서는 자음이 입력됨과 동시에 자동으로 모음 창으로 전환되도록 하였다. 한편 전환 버튼이 위치한 영역에는 전체 입력 문자열이 함께 표시되게 하였으며 사용자에게 창의 상태가 자음인지 모음인지를 알려주기 위해 창의 상태에 따라 시선 보류 영역의 색상을 달리 하였다(그림 3).

자모 분리형 인터페이스의 경우, 자모 일체형 인터페이스와 달리 자음을 다음과 같이 7개 그룹으로 분류하였다. 이 경우 역시 하나의 자음을 입력하기 위해서는 반드시 두 번의 선택 과정을 거치도록 설계하였다.

- 'ㄱ'그룹: 'ㄱ', 'ㅋ', 'ㆁ'
- 'ㄴ'그룹: 'ㄴ', 'ㄴ', 'ㄹ', 'ㄹ'
- 'ㄷ'그룹: 'ㄷ', 'ㅌ', 'ㄷ'
- 'ㅂ'그룹: 'ㅂ', 'ㅃ', 'ㅃ'
- 'ㅅ'그룹: 'ㅅ', 'ㅆ'
- 'ㅇ'그룹: 'ㅇ', 'ㅇ'
- 'ㅈ'그룹: 'ㅈ', 'ㅉ', 'ㅆ'

모음의 경우, 기본 구성요소들 간의 상대적 위치 관계를 기준으로 입력 체계를 구축하였다. 우선 시선 보류 영역을 기준으로 상하좌우로는 단모음 'ㅣ'와 'ㅡ'를 배치하였으며 다시 이들을 기준으로 1개 혹은 2개의 점모음을 선택하게 하였다. 입력 순서는 반드시 횡모음 혹은 종모음을 먼저 입력한 뒤에 점모음을 입력하게 하였으며 이때 입력 결과는 횡모음 혹은 종모음을 기준으로 선택된 점모음이 어느 쪽에 있는지에 따라 결정되게 하였다.

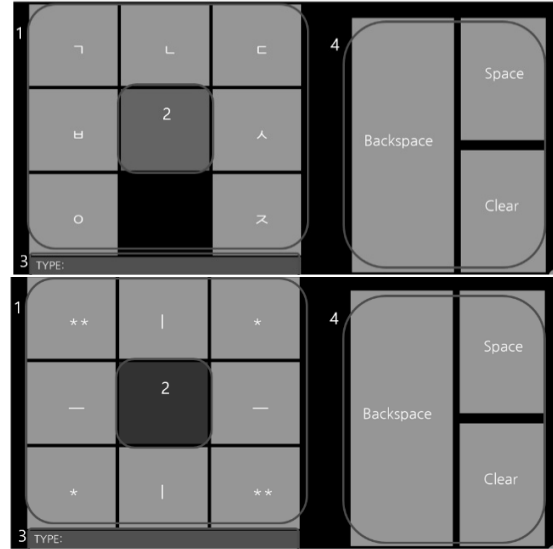


그림 3. 자모 분리형 인터페이스. 자음 창(위), 모음 창(아래). (1)입력 영역, (2)시선 보류 영역 및 현재 입력 중인 음절, (3)전환 및 전체 입력 문자열, (4) Space, Backspace, Clear 버튼.

### 2.4 한글 입력 알고리즘

위 두 인터페이스에서 순차적으로 입력된 한글 음소들로부터 완성된 글자를 만들어내기 위해 유니코드를 기반으로 하는 한글 입력 오토마타를 구현하였다. 자음과 모음은 총 11,172자의 한글 음절과 별도로 유니코드에 저장되어 있기 때문에 각 음소와 이들의 조합으로 완성되는 글자 간의 관계적인 식 (1)이 한글 오토마타의 전이 함수가 된다.

$$X = 44032 + 588x_1 + 28x_2 + x_3 \quad (1)$$

여기서 X는 완성된 음절의 유니코드를 나타내고  $x_1, x_2, x_3$ 는 각각 초성, 중성, 종성의 위치에 들어갈 수 있는 음소들을 순서대로 나열했을 때의 순서 값이다. 유니코드 값 대신 이러한 순서 값을 사용한 이유는 유니코드의 한글 자모에는 실제로 사용되지 않는 겹자음과 복합모음이 포함되어 있기 때문에 이를 거르기 위해서이다. 또한 44032는 한글 음절 중 유니코드 상에서 가장 작은 값을 가지는 '가'의 유니코드 값에 해당한다.

### 2.5 선택 행위 선정

본 연구의 eye-typing 인터페이스에서는 선택 행위를 특정 영역을 일정 시간 이상 응시하는 것으로 두었다. 이때 선택의 기준이 되는 시간이 지나치게 짧을 경우 목표 지점을 탐색하는 과정에서 의도치 않게 입력이 이루어지는 Midas touch problem이 발생할 수 있다. 반면 기준 시간이 지나치게 긴 경우

에는 입력의 전반적인 효율성이 떨어지므로 적절한 입력 기준 시간을 선정하는 것은 매우 중요하다. 여기서 관건은 안구 도약 운동으로부터 주시 행위를 구분해내는 것이다. Majoranta와 Bartz에 따르면 한 번의 안구 도약 운동에는 30ms에서 120ms 가 소요되고[1], 단속성 운동의 대기 시간(saccade latency)은 200에서 250ms이므로[1] 그룹 선택 시와 음소 선택 시의 기준 시간을 각각 300ms, 400ms.으로 선정하였다.

### 3. 성능 평가

#### 3.1 실험 개요

본 연구에서 설계한 두 가지 eye-typing 한글 입력 인터페이스의 성능을 검증하기 위해 사용자를 대상으로 실험을 수행하였다. 시선 추적 장치로는 Tobii사의 EyeX Controller를 사용하였고 대조군으로는 그림 4와 같이 C++ OpenFrameWorks을 통해 구현한 한글 두벌식 자판을 두었다.

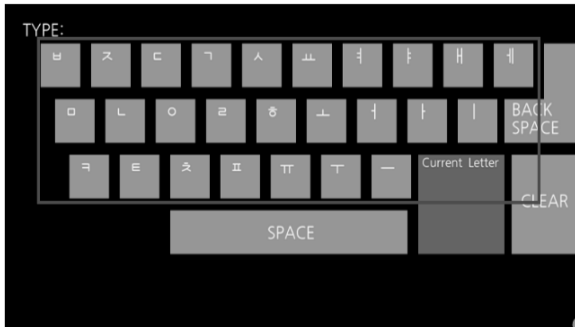


그림 4. 한글 두벌식 자판을 본뜬 인터페이스.

#### 3.1.1 실험 시스템

본 실험의 목적은 서로 다른 형태의 입력 체계들을 공간 효율성의 측면에서 비교하는 것이기 때문에 인터페이스의 전체 크기는 통제되어야 한다. 그렇기 때문에 설계 과정에서 각 입력 체계의 순수 입력 영역이 차지하는 면적을 일치시켰다. 즉, 그림 2에서 녹색으로 표시된 영역 (609,000 pixel<sup>2</sup>)과 그림 3의 1번 영역 (603,450pixel<sup>2</sup>), 그리고 그림 4에 표시된 영역의 면적 (603,450pixel<sup>2</sup>)을 일치시켰다. 모든 인터페이스는 1600\*900픽셀의 모니터 상에서 구현되었으므로 면적의 단위로 평방 픽셀(pixel<sup>2</sup>)을 사용하였다. 그 결과, 자모 일체형 인터페이스, 자모 분리형 인터페이스, 그리고 두벌식 자판 인터페이스의 유효 입력 영역의 면적은 1.2% 미만의 편차를 가진다.

다음으로 개별 버튼의 크기를 비교해보면, 우선 자모 일체형 인터페이스의 경우 10개의 자음 버튼이 23,100 pixel<sup>2</sup>, 2개의 모음 버튼이 44,650 pixel<sup>2</sup>이므로 평균 버튼 크기는 26,700pixel<sup>2</sup>이다. 자모 분리형 인터페이스의 버튼 크기가 62,400pixel<sup>2</sup>인 반면 두벌식 자판 인터페이스는 12,100pixel<sup>2</sup>에 불과하므로 첫 번째

설계 목표인 개별 버튼 크기의 극대화가 두 가지 인터페이스를 통해 잘 구현되고 있음을 확인할 수 있다.

#### 3.1.2 실험 절차 및 방법

평균연령이 25.3세인 총 10명이 실험에 참가하였으며 모든 참가자는 실험 진행에 앞서 최소 10분에 걸쳐 입력 체계에 대한 설명을 들으며 스스로 eye-typing에 익숙해질 수 있는 연습 시간을 부여 받았다. 숙달 과정을 거친 뒤에는 총 5개의 후보군 중 무작위로 주어진 5음절의 문장을 3번씩 입력하게 한 뒤 입력 소요 시간과 시선의 이동거리, 그리고 입력 정정 횟수를 측정하였다. 이 중 입력 소요 시간은 서로 다른 인터페이스 간의 성능을 비교하는 가장 직접적인 지표로 활용되었으며 시선의 이동거리는 인터페이스의 종류에 따라 잡음이 미치는 영향을 가늠하는 지표로 이용되었다.

실험 결과가 입력하는 문장에 의해 영향 받는 것을 최소화하기 위해 각 문장은 2개의 받침 있는 음절 3개의 받침 없는 음절, 그리고 1개 이상의 복모음을 포함하여 12개의 음소로 구성되도록 선정하였다. 한편 대조군인 한글 두벌식 자판은 이미 모든 참가자들이 숙련된 상태라고 보아도 무방하므로 유의미한 비교를 위해 실험 참가자를 전문가 집단(3명)과 비전문가 집단(7명)으로 나눈 뒤 전문가 집단으로부터 얻은 결과만을 비교대상으로 삼았다. 여기서 전문가 집단은 연구자를 비롯하여 1시간 이상의 숙달 과정을 거쳐 본 연구의 입력 체계에 완전히 적응되었다고 판단되는 참가자들로 구성하였다. 본 연구의 입력 체계를 완벽히 익혔다고 보기 어려운 비전문가 집단의 경우, 두벌식 자판과의 숙련도 차이가 입력 시간이나 오타 발생에 영향을 미칠 수 있기 때문에 대조군과의 비교 실험 대상에서 제외하였다.

### 3.2 실험 결과

#### 3.2.1 입력 소요시간

본 연구에서 설계한 두 가지 인터페이스와 한글 두벌식 인터페이스를 이용해 5음절 문자열을 입력하는 데에 걸린 시간의 평균치는 그림 5와 같다. 전반적인 입력 소요 시간이 오타 횟수가 늘어남에 따라 큰 폭으로 증가하는 경향을 보였기 때문에 오타 횟수 1회를 기준으로 따로 묶어서 나타냈다. 한편 한글 두벌식 자판의 경우, 단계식 입력 체계에 비해 단순한 입력 절차와 실험 참가자들의 높은 숙련도로 인해 오타가 2회 이상 발생하는 경우가 없었다.

다음으로 전문가 집단의 경우 역시 높은 숙련도로 오타가 2회 이상 발생하는 경우가 매우 적었기 때문에 이는 무시하였다. 비전문가 집단으로부터 얻은 결과 중 오타가 2회 미만인 경우와 비교해보면 전문가 집단의 평균 입력 소요 시간이 자모 일체형의 경우에는 23.5%(t=0.001, p<.05), 자모 분리형의 경우에는 26.4% (t=0.00001, p<.05)만큼 짧은 것으로 나타났다.

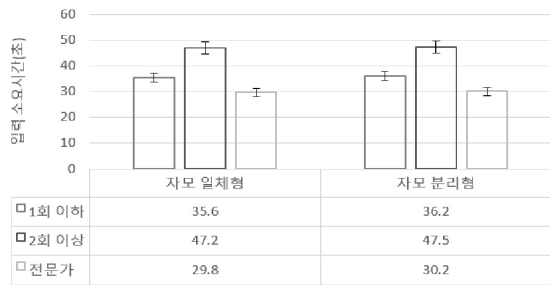


그림 5. 인터페이스 종류에 따른 소요 시간(5음절 문자열 입력 시)

이제 전문가 집단으로부터 얻은 결과를 대조군인 한글 두벌식 자판과 의식적인 깜빡임을 선택 행위로 선정한 Seo와 Kim의 연구에서[17] 얻은 실험 결과와 비교해보자면, 우선 자모 일체형과 자모 분리형 인터페이스는 한글 두벌식 자판에 비해 각각 16.0% ( $t=0.16, p<.05$ ), 14.9% ( $t=0.19, p<.05$ )만큼 단축된 입력 시간을 가지는 것으로 나타났다.

하나의 음소를 입력하는 데 걸리는 시간을 따져보면 각 입력 문자열은 총 12개의 음소로 이루어졌으므로 자모 일체형과 자모 분리형 인터페이스에서 각각 2.97초, 3.02초가 소요되었다. 한편 Seo와 Kim의 연구에서는 ‘안녕하세요’를 비롯하여 총 5개의 5음절-12음소 문자열을 입력하는 데에 평균 40.8초가 소요 되었으므로[17] 본 연구에서 제안한 자모 일체형 및 분리형 입력 체계가 각각 27.0%, 26.0%만큼 단축된 입력 시간을 가지는 것으로 나타났다. 이를 음소 입력 속도, 즉 분당 입력하는 음소의 개수로 나타내어 비교해보면 그림 6과 같다.

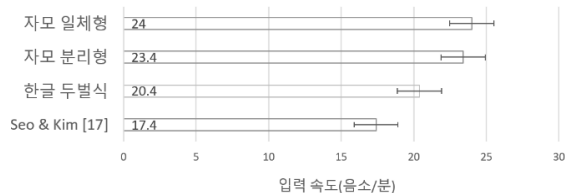


그림 6. 인터페이스 종류에 따른 평균 입력 속도

### 3.2.2 시선 이동거리

시선의 이동거리는 각 입력 체계에 잡음이 미치는 효과를 나타내기 위한 지표로 활용되었다. 시선 움직임은 그 목적에 따라 두 종류로 나눌 수 있다. 먼저 응시점을 현재 버튼에서 다음 버튼으로 옮기는 과정에서 도약 안구 운동이 나타나고, 입력을 위해 응시점에서 체류하는 과정에서 잡음에 의해 발생하는 불규칙적인 움직임이 발생한다. 이 중 잡음에 의한 움직임이 전체 이동 경로에 미치는 영향을 측정하기 위해 그림 6의 왼편과 같이 특정 문자열을 입력하는 데에 필요한 시선의 최소 이동거리를 계산하였다. 여기서 시선의 최소 이동거리는 입력을 위해 거쳐야 하는 버튼들의 중심을 최단 거리로 연결한 경로로 잡았다.

이에 반해 실제 시선 추적을 통해 입력하는 경우, 그림 6의 오른편과 같이 버튼 위에서 머무르는 동안 발생하는 추가적인 이동 때문에 동선의 길이가 증가하였다. 이러한 현상 자체는 선택 행위를 시선의 머무름으로 약속한 eye-typing의 특성상 자연스러운 것이지만 버튼의 크기가 작아질수록 선택 행위가 원활하게 일어나지 못한다는 문제가 나타났다.

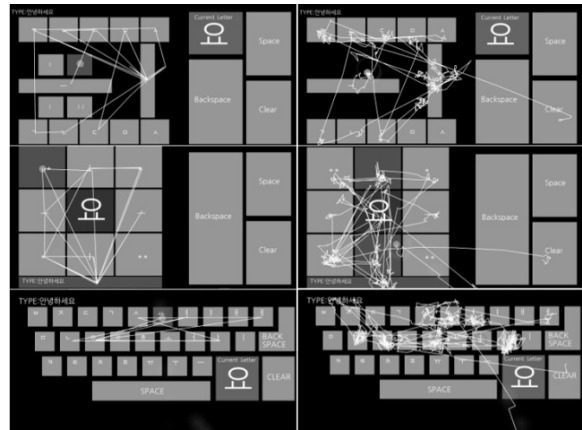


그림 7. ‘안녕하세요’ 입력 시 이상적인 최단 이동경로와 (왼쪽) 실제 이동경로 (오른쪽). 위에서부터 순서대로 자모 일체형 인터페이스, 자모 분리형 인터페이스, 한글 두벌식 자판 인터페이스.

한글 두벌식 인터페이스와 같이 버튼의 크기가 작은 경우, 시선 추적 과정에서 발생하는 잡음 때문에 시선의 위치가 머무르던 버튼 영역을 빠져나가는 현상이 빈번하게 나타났다. 이때 시선이 버튼 내에 머무른 시간의 측정은 처음부터 다시 이루어져야 하기 때문에 입력하는 데에 걸리는 실질적인 시간은 늘어났다. 적외선 센서를 통해 얻은 영상 정보를 이용하는 시선 추적 장비의 특성상 조명이나 눈의 크기, 안경 착용 여부 등 주변 환경 및 사용자의 신체적 특성에 따라 장비의 성능이 달라졌기 때문에 잡음의 발생 정도도 상황에 따라 다양하게 나타났다. 물론 같은 문자열을 입력할 때 드는 최단 경로의 길이가 한글 두벌식 인터페이스에서 가장 짧았다는 점은 눈의 이동을 최소화 하면서도 입력을 가능케 한다는 두벌식 인터페이스의 이점을 보여주기도 한다. 하지만 P.Isokoski에 따르면 시스템이 사용자에게 오랜 시간 동안 특정 영역을 응시하도록 요구하는 경우에 오히려 사용자의 스트레스가 증가하며[18] 모니터라는 작은 영역 내에서 이루어지는 안구 도약 운동이 사용자에게 중대한 불편감을 야기할 것으로 여겨지는 않는다. 따라서 입력에 필요한 시선의 이동경로를 최소화하는 것보다는 불필요한 응시 행위를 최소화하는 것이 보다 안정적인 eye-typing을 위해 더 우선시되어야 한다. 실제로 실험 결과에서도 새로이 설계한 두 인터페이스에서 입력 소요 시간이 비교적 균일하게 나타났던 반면 두벌식 자판의 경우에는 편차가 크게 나타났다(정정 횟수 0인 경우의 입력 소요 시간표준편차: 3.8vs. 6.2 vs. 15.3).

인터페이스의 특성을 정량적으로 비교하기 위해 각 인터페이스에 대해 이상적인 최단 경로와 실제 경로의 거리를 비교한 결과를 표 1에 나타내었다. 입력 문자열은 '안녕하세요'로 통일하였으며 실제 경로 길이는 전문가 집단으로부터 얻은 데이터 중 정정 횟수가 0인 경우의 평균값을 취해 사용하였다.

표 1. 각 인터페이스에 대한 '안녕하세요' 입력 시 최단경로와 실제 경로

인터페이스 종류	최단 경로(pixel)	실제 경로(pixel)	비율
자모 일체형	7268	19357	2.66
자모 분리형	8236	18329	2.23
한글 두벌식	5809	18281	3.15

그림 7에서 최단 경로에 대한 실제 경로의 비율이 작을수록 잡음에 의해 경로가 늘어나는 효과, 즉 잡음에 의한 지연 효과가 적게 나타난다. 따라서 잡음에 의한 영향이 한글 두벌식, 자모 일체형, 자모 분리형 순서로 크게 나타난다는 것을 알 수 있다. 이는 개별 버튼의 크기를 작은 순으로 나열한 것과 일치하므로 첫 번째 설계 목표를 구현함으로써 잡음에 대한 내구성을 높이는 결과를 얻었다.

이러한 차이를 시각적으로 확인하고, 더 나아가 시선의 이동 양상을 분석하기 위해 시선이 머무른 위치를 히트 맵(heat map)으로 나타내었다(그림 8). 머무르는 위치가 특정 영역에 집중될수록 히트 맵 상에서 붉은색으로 표시되는 영역이 많이 나타난다. 그림 8에서 자모 일체형 및 분리형 인터페이스에 비해 한글 두벌식 자판의 히트 맵에서 붉은 색 영역이 더 두드러지게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 한글 두벌식 자판으로 입력을 하는 과정에서 때때로 비정상적으로 오래 동안 한

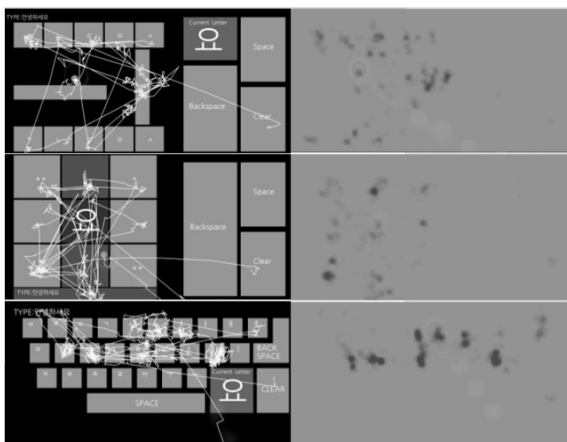


그림 8. '안녕하세요' 입력 시 시선 히트 맵. 위에서부터 순서대로 자모 일체형 인터페이스, 자모 분리형 인터페이스, 한글 두벌식 자판 인터페이스.

지점을 응시해야 한다는 바를 의미한다. 따라서 개별 버튼의 크기가 작은 한글 두벌식 자판에서 잡음에 의한 입력 지연이 더 많이 나타난다는 결론을 다시 한번 얻을 수 있다

#### 4. 결론

본 연구에서는 한글 입력에 최적화된 eye-typing 입력 체계를 구현하였다. Eye-typing의 관건이 잡음에서 기인하는 불안정성을 해결하는 데에 있다는 점에 착안하여 3가지 설계 목표와 단계적 입력 체계의 개념을 제시하였으며 이를 토대로 자모 일체형 인터페이스와 자모 분리형 인터페이스를 구현하였다. 이는 다음과 같은 기여점을 갖는다. 첫째, 한글의 언어학적 특수성을 적절히 고려하면서 eye-typing의 효율성 제고를 꾀하였다. 자모 일체형 인터페이스에서는 각 음절이 초성, 중성, 종성으로 구성되는 한글의 특성을 이용해 효율적이고 직관적인 동선에 기반한 입력 체계를 구현하였다. 둘째, 효과적인 eye-typing의 관건인 Midas touch problem을 해결하기 위해 입력 영역 내부에 입력이 직접적으로 관여하지 않는 영역을 두었다. 자모 분리형 인터페이스의 시선 보류 영역과 자모 일체형 인터페이스의 초성-중성 간 영역을 통해 의도치 않게 발생하는 입력을 최소화하였다.

제시한 입력 체계의 성능을 검증하기 위해 대조군인 한글 두벌식 자판과의 성능 비교실험을 수행하였다. 그 결과, 본 연구에서 설계한 자모 일체형 및 분리형 인터페이스는 한글 두벌식 자판에 비해 평균 입력 시간이 더 짧은 것으로 나타났다. 이는 한글 두벌식 자판의 작은 버튼 크기와 시선 추적 과정에서 발생하는 큰 잡음이 맞물려 응시 도중에 시선이 목표 영역을 벗어나면서 나타나는 현상이었다. 시선이 목표 영역을 벗어나면 입력 시간의 측정이 초기화 되므로 입력 시간이 늘어나게 된다. 이러한 현상은 개별 버튼의 크기가 증대된 인터페이스에서는 거의 관찰되지 않았다. 사용자의 스트레스가 조절하기 위해서는 입력 과정에서 응시 시간을 가능한 한 줄여야 하므로[6,18] 본 연구에서 설계한 인터페이스는 한글 두벌식 자판에 비해 eye-typing 입력 체계로 쓰이기에 더 적합하다고 할 수 있다. 하지만 본 연구는 근본적으로 모니터 장착형 시선 추적 장비에 기반했기 때문에 그 성능이 사용자와 모니터 간의 상대적인 위치에 영향을 많이 받는다는 한계를 지닌다. 따라서 본 연구팀은 이를 웨어러블 장비에 기반한 증강 현실 인터페이스 형태에 문자열 자동완성 기능과 같은 편의 기능을 추가하여 제시한다면 향후 한국어를 모국어로 하는 eye-typing 사용자들에게 실제로 사용될 수 있을 것으로 기대한다.

#### 참고문헌

[1] Hutchinson, T. E., White, K. P., Martin, W. N., Reichert, K. C. and Frey, L. A. Human-computer in-

- teraction using eye-gaze input. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*. 19(6). pp. 1527-1534. 1989.
- [2] Schnakers, C., Perrin, F., Schabus, M., Hustinx, R., Majerus, S., Moonen, G. and Laureys, S. Detecting consciousness in a total locked-in syndrome: an active event-related paradigm. *Neurocase*. 15(4). pp. 271-277. 2009.
- [3] Jacob, R. J. K., Leggett, J. J., Myers, B. A. and Pausch, R. Interaction styles and input/output devices. *Behaviour & Information Technology*. 12. pp. 69-79. 1993.
- [4] Ghysels, E., Santa-Clara, P. and Valkanov, R. The MIDAS touch: Mixed data sampling regression models. *Finance*. 2004.
- [5] Velichkovsky, B., Sprenger, A. and Unema, P. Towards gaze-mediated interaction: Collecting solutions of the "Midas touch problem". In *Human-Computer Interaction INTERACT'97*. Springer US. pp. 509-516. 1997.
- [6] Ohno, T. Features of eye gaze interface for selection tasks. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Asian Pacific Computer and Human Interaction (APCHI'98)*. pp. 176-182. 1998.
- [7] Bhaskar, T. N., Keat, F. T., Ranganath, S. and Venkatesh, Y. V. Blink detection and eye tracking for eye localization. In *TENCON 2003. Conference on Convergent Technologies for the Asia-Pacific Region*. Vol. 2. pp. 821-824. IEEE. 2003.
- [8] Ferreira, A., Celeste, W. C., Cheein, F. A., Bastos-Filho, T. F., Sarcinelli-Filho, M. and Carelli, R. Human-machine interfaces based on EMG and EEG applied to robotic systems. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 5(1). 10. 2008.
- [9] Chau, M. and Betke, M. Real time eye tracking and blink detection with usb cameras. *Boston University Computer Science Department*. 2005.
- [10] Kotani, K., Yamaguchi, Y., Asao, T. and Horii, K. Design of eye-typing interface using saccadic latency of eye movement. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 26(4). pp. 361-376. 2010.
- [11] Majaranta, P. and Rähkä, K. J. Twenty years of eye typing: Systems and design issues. *Proceedings of the 2002 symposium on Eye Tracking Research & Applications*. pp. 15-22. 2002.
- [12] 이창정, 전길우, 김정규. A Study on the Indirect Keyboard Control System based on the Gaze Tracing by Haar Classifiers. *한국차세대컴퓨팅학회 논문지*. 7(6). pp. 44-45. 2011.
- [13] 정광태, 채이식, 권오성, 이동하, 김재환. 휴대폰의 사용자 인터페이스 설계를 위한 사용자들의 기초 사용특성 분석. *산업공학 (IE interfaces)*. 15(1). pp. 73-81. 2002.
- [14] Wobbrock, J. O., Rubinstein, J., Sawyer, M. W. and Duchowski, A. T. Longitudinal evaluation of discrete consecutive gaze gestures for text entry. In: *Proceedings of the 2008 symposium on Eye tracking research & applications*. pp. 11-18. 2008.
- [15] Majaranta, P. and Rähkä, K. J. Text entry by gaze: Utilizing eye-tracking. *Text entry systems: Mobility, accessibility, universality*. pp. 175-187. 2007.
- [16] Bartz, A. Eye movement latency, duration and response time as a function of angular displacement. *Journal of Experimental Psychology*. 64. pp. 318-324. 1962.
- [17] 서한석, 김치용. 시선 입력 장치에 의한 한글 입력 시스템 설계에 관한 연구. *한국디지털콘텐츠학회 논문지*. 5(3). pp. 239-244. 2004.
- [18] Isokoski, P. Text input methods for eye trackers using off-screen targets. *Proceedings of Eye Tracking Research & Applications Symposium 2000*. pp. 15-22. 2000.