

숙련도 차이에 따른 문자 입력 작업 행태 분석

Analysis of text entry task pattern according to the degree of skillfulness

김정환, Junghwan Kim, 이석재, Sukjae Lee, 명노해, Rohae Myung.
고려대학교 정보경영공학부

요약 최근 다양한 기기와 환경에서 문자 입력에 대한 요구가 높아지고 있다. 이에 따라 효율적인 문자 입력 인터페이스 설계를 위해 문자 입력 인터페이스의 평가가 필요한 실정이다. 기존 연구를 살펴보면 문자 입력 시간을 시각 탐색 시간과 손가락 이동 시간으로 나누고 정보처리 이론인 Hick-Hyman Law와 Fitts' Law를 통해 예측, 평가하였다. 하지만 위 두 과정은 연속적(serial)인 과정으로 눈과 손의 coordination(협응)에 대해 관과 하는 한계가 있다. 또한, 기존 문자 입력 시간 예측 모델은 전문가라는 특정 숙련도를 가정하고 만들어졌기 때문에 실제 문자 입력 시간에 비해 과대 측정되어 왔다. 이에 본 연구는 문자 입력 시간 예측 모델에 눈-손 coordination 매개변수를 삽입하고자 눈-손 coordination의 시간을 측정하고 행태를 분석하였다. 또한, 비숙련자와 숙련자의 구분을 통해 시각 탐색 시간과 손 움직임 시간 그리고 눈-손 coordination의 시간과 행태가 어떻게 변화하는 지 분석하였다. 그 결과 눈-손 coordination 시간은 문자 입력 시간과 밀접한 관계가 있었다, 그리고, 눈-손 coordination 시간은 숙련도에 상관없이 문자 입력 시간의 22%를 차지하였다. 또한, 숙련자와 비숙련자의 문자 입력 시간과 비교해 손과 coordination 시간 비율은 차이가 없었다. 하지만, 눈의 움직임 시간 비율은 큰 차이를 나타내었다. 이 결과는 눈-손 coordination과 숙련도 차이를 기존 문자 입력 예측 모델에 매개변수로써 적용하기 위한 기초 자료가 될 것이다.

핵심어: HCI, 눈-손 Coordination, eye-tracking, 문자 입력, 인지모델

1. 서론

다양한 기기와 환경에서의 문자 입력에 대한 요구가 높아짐에 따라 효율적인 문자 입력 인터페이스의 설계 및 평가가 중요해지고 있다. 기존 연구자들은 문자 입력과 같은 HCI에서의 인간 효율을 예측 하기 위한 방법으로 정보처리이론 (human information-processing)을 인용하였다. 연구자들은 문자 입력 인터페이스를 주로 문자 입력 시간으로 평가하였는데, 문자 입력 시간은 정보처리이론에 의해 MHP(Model Human Processor)로 불리우는 모델들로 예측하였다, 이러한 모델은 시스템의 구조와 시스템 각 구성요소의 양적인 매개변수(parameters)로 이루어져 있으며[1], 대표적인 모델로는 GOMS, Hick-Hyman Law, Fitts' Law 등이 있다.

기존 연구자들은 식(1)과 같이 문자 입력 시간을 시각 탐색 과정과 손 움직임 과정의 합으로 계산하였다. 또한, 시각 탐색 시간은 Hick-Hyman Law로, 손 움직임 시간은 Fitts' Law로 예측 하였다[2]. Hick-Hyman Law는 시각 탐색 작업 시 시각 탐색 시간을 반응속도와 자극수의 곱으로 나타내는 인지모델이며, Fitts' Law는 손의 움직임 시간을 두 타겟의 거리와 폭의 함수로 나타낸 것이다[3,

4].

$$\text{문자 입력 시간} = \text{시각 탐색 시간} + \text{손 움직임 시간} \quad (1)$$

이러한 인지모델들은 여러 문자 입력 인터페이스 간의 문자 입력 시간을 비교하여 평가하는데 신뢰성을 보인다. 하지만, 어느 정도 기술을 가진 숙련자만을 가정한다는 점과 연속적인(Serial) 프로세스만을 가정하는 등의 한계가 있다. 이에 김정환 외(2006)는 실제로 문자 입력 시간이 시각 탐색 시간과 손 움직임 시간의 합으로 나타나지 않음을 밝혔다. 다시 말해 문자 입력 작업 시 식(1)의 두 과정이 정확히 양분되어 연속적으로(Serial) 나타나지 않으며, 시각 탐색과 손 움직임이 병렬로 겹쳐서 일어난다는(overlap 또는 coordination) 것이다. 그래서, 이런 협응(coordination)을 반영하지 못한 모델의 예측은 실제 측정 시간보다 과대측정 되게 된다. 김정환 외(2006)는 문자 입력 시의 협응 현상을 도착선행시간(각 음절 입력 시 타겟에 손이 도착시간 - 타겟에 눈이 도착시간)의 측정을 통해 설명하였다[5]. 그림1은 문자 입력 시 눈과 손의 협응이 일어나는 현상을 그래프로 만든 것이다.

* 이 논문은 2007년도 두뇌한국 21사업에 의하여 지원되었음.

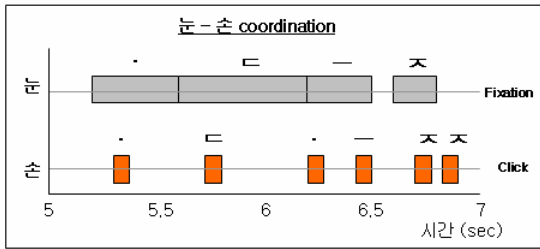


그림1. 눈-손 coordination 그래프

김정환 외(2006)가 주장한 도착선행시간은 손이 도착한 시간(타깃을 누른 시간)만을 기준으로 하여 손이 움직이기 시작한 시간을 정확히 알 수 없다. 이것은 도착선행시간이 문자 입력 시 눈-손 coordination이 일어나는 사실을 말해줄 수는 있지만, 눈-손 coordination이 어떤 행태를 보이는지는 명확히 알 수는 없다는 것이다. 이는 과대 측정된 MHP의 모델을 교정하기 위한 시스템 구조와 각 구성요소의 양적 매개변수를 생성할 수 없는 문제가 있다.

이에 본 연구는 눈 움직임뿐 아니라 손 움직임도 자세히 측정하여 눈-손 coordination 행태를 분석하였다, 그리고, 숙련도 차이에 따른 협응 행태 차이를 측정하였다. 이를 통해 숙련도와 협응 등의 매개변수 시간을 확인함으로써 문자 입력과 같은 HCI 영역에서의 인지모델에 숙련도와 협응 매개변수를 적용 할 수 있을 것이다.

2. 눈-손 coordination 행태 분석

2.1 실험방법

피실험자는 27 - 30세 (남 4, 여 2) 대학원생 6명을 대상으로 하였다.

눈의 움직임을 측정하기 위해 20인치 CRT 모니터와 faceLAB Eye-Tracking (4.2.2 버전), 그리고, 분석 소프트웨어로 gazeTracker가 사용되었다, 손의 움직임을 측정하기 위해서는 SONY Handycam TRV30 캠코더가 사용되었다. 문자 입력은 PC에서 구동이 가능한 '훈민자판' 휴대폰 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하였다.

실험과정은 다음과 같다.

- ① 피실험자는 실험 주의사항을 듣고 '훈민자판'을 연습해본다.
- ② EyeTracking 장비의 Calibration을 시행한다. (이는 calibration 결과에 따라 또는 제시문장이 끝날 때마다 시행 될 수 있다)
- ③ 실험자는 제시문장을 구두로 제시한다.

④ 피실험자는 '메뉴' 버튼을 누른 후, 제시문장을 입력한다. 문자 입력이 끝나면 '종료' 버튼을 누른다.

제시문장은 다음과 같다.

표 1. 제시 문장

번호	제시 문장
1	좀 늦을 것 같아
2	파도 치는 바다
3	합격 추카추카
4	반가웠어

피실험자는 위 4개의 제시문장을 각 1회씩 입력하였다, 숙련도에 따른 그룹 구분은 실험에서 사용되는 '훈민자판'으로 제시문장을 각 50회 이상 사전 연습한 숙련자 그룹(3명)과 실험 당일 처음 '훈민자판'을 사용한 비숙련자 그룹(3명)으로 구분 지었다.

2.2 실험결과

2.2.1 눈과 손의 coordination 행태

눈의 움직임은 크게 Saccade와 Fixation으로 나뉘어 진다 [6]. Saccade는 눈이 빠르게 움직이는 운동이며, 타깃을 중심와(fovea)로 가져오는 역할을 한다. Fixation은 Saccade와 Saccade 사이의 시간(보통 200ms 이상)이며 타깃을 인지하는 역할이다. 타깃의 인지는 주로 Fixation을 통해 이루어진다. 이에 본 실험에서 눈의 데이터는 Fixation의 위치, 시간을 통해 얻어졌다.

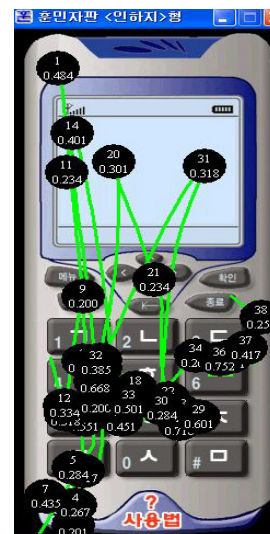


그림2. Fixation 데이터

결과 내용은 크게 3가지로 나누어 진다.

첫째, 도착 선행 시간이 문자 입력 시간과 선형적 관계가 있는 것[5]과 마찬가지로 본 실험에서 측정된 눈-손 coordination도 그림3와 같이 문자 입력 시간과 선형적 관계가 있다. ($R^2 = 0.73$)

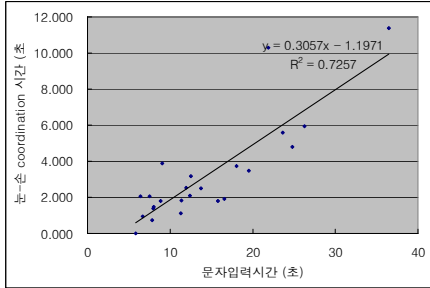


그림3. 문자 입력 시간과 coordination 시간의 관계

또한, 이런 관계는 coordination 시간이 문자 입력 시간에 따라 동일한 비율을 차지하고 있다는 것을 알려준다.

둘째, 문자 입력 작업 시 하나의 음절을 입력하기 위해 눈과 손의 coordination은 그림4와 같은 4가지 형태로 나타난다. (“눈”은 타겟을 향해 움직인 시간부터 다른 타겟으로 움직이기 전까지의 Fixation 시간이고, “손”은 타겟을 향해 움직인 시간부터 타겟을 클릭한 시간까지의 시간이다)

- Case1: 눈의 움직임 안에 손의 움직임이 포함된다
- Case2: 손이 눈보다 먼저 움직인다.
- Case3: 손의 움직임 안에 눈의 움직임이 포함된다.
- Case4: 눈이 손보다 먼저 움직인다.

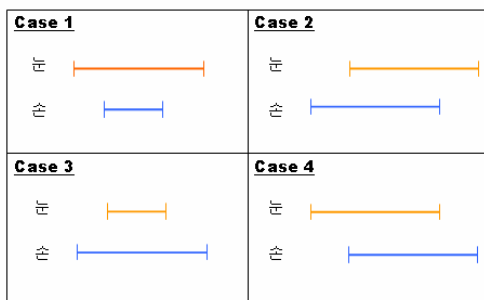


그림4. 눈-손 coordination의 형태

마지막으로 손의 움직임은 그림5와 같이 문자 입력 시간과 선형적 관계가 있다. 그래프는 다음과 같다. ($R^2 = 0.98$)

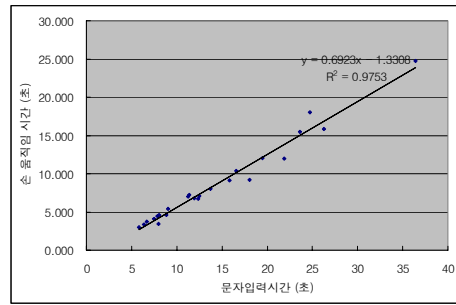


그림5. 문자 입력 시간과 손 움직임 시간의 관계

앞서 말한 바와 같이 Fitts' Law를 비숙련자에게 적용할 수는 없다. 그래서, 본 실험에서는 숙련도와 관계없는 손 움직임 회귀 방정식을 도출하였다. 회귀 방정식은 식 (2)와 같다.

$$y = -1.331 + 0.692 \times x \quad (2)$$

(x = 문자입력 시간, y = 손 움직임 시간)

이를 통해 손 움직임 역시 모든 피실험자의 문자 입력 시간에서 일정한 비율을 차지한다는 사실을 알 수 있다.

다음은 위 3가지 눈-손 coordination 형태의 결과를 가지고 숙련자와 비 숙련자의 차이를 비교해 보았다.

2.2. 숙련도 차이에 따른 분석

2.2.1 눈-손 coordination

표2와 같이 숙련자와 비숙련자의 총 문자 입력 시간 차이는 유의하다 ($p=0.001$). 하지만, 흥미롭게도 숙련도와는 상관없이 문자 입력 시간에 대한 눈-손 coordination 시간과 손의 움직임 시간의 비율은 일정하다. 이는 T-검정에 의한 통계적 차이도 유의하지 않다(coordination: $p=0.102$, 손: $p=0.594$).

수정 하고자 하는 문자 입력 시간 예측 인지모델에서 눈-손의 coordination 시간은 중요한 매개변수인데, 그 비율은 숙련자와 비숙련자 구분 없이 문자 입력 시간의 22%이다. 이 비율은 문자 입력 인지 모델에서 coordination 매개변수를 추가할 수 있는 중요한 수치이다.

표2. 그룹별 각 움직임 시간 비율 비교

	숙련자		비숙련자		T-검정
	시간	비율	시간	비율	
문자 입력	8.862	-	19.828	-	0.001*
눈 움직임	5.388	61%	6.606	33%	0.001*
손 움직임	5.011	57%	12.189	61%	0.102
coordination	1.764	20%	4.612	23%	0.594

(단위: sec)

그러나, 문자 입력 시간 중 눈 움직임 시간 비율은 숙련도에 따라 차이가 있다. (숙련자 61%, 비 숙련자 33%) 그리고, 이것은 통계적으로도 유의한 차이가 있다(p=0.001). 이제까지의 결과로 문자 입력 시간은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{문자 입력 시간} = \text{눈 움직임 시간} + \text{손 움직임 시간} - \text{눈과 손의 coordination 시간} \quad (3)$$

또한, 표2를 그래프로 나타내면 그림6과 같다.

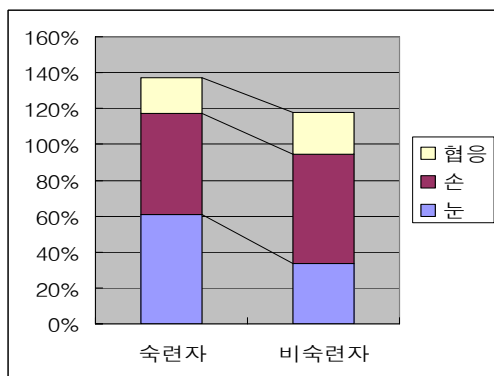
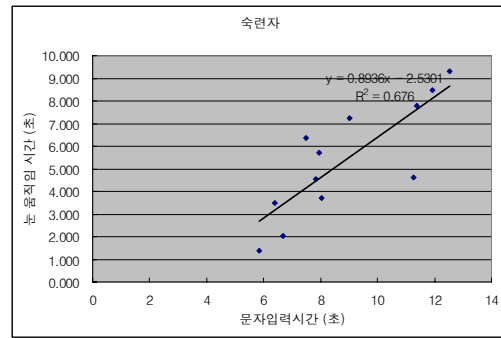
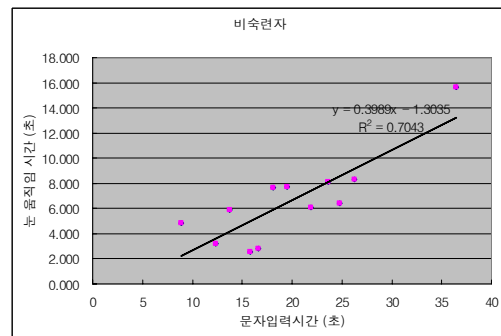


그림6. 그룹별 각 움직임 시간 비율

표2에서 식(3)과 같이 계산하면 숙련자의 경우 문자입력시간이 98%로 거의 100%로 근접한다. 하지만, 비숙련자는 71% 밖에 되지 않음을 알 수 있다. 표2와 그림6의 데이터는 타겟에 관련된 눈-손의 움직임을 측정했기 때문에 이 데이터로 미루어 볼 때, 비 숙련자의 경우 문자 입력 시간에서 타겟에 관련된 움직임 외 나머지 29% 가량이 눈과 손 모두 타겟과 상관없는 움직임을 하고 있는 것을 알 수 있다. 곧, 타겟을 찾고 있는 시간인 것이다. 그에 비해 숙련자의 경우 문자 입력시간의 대부분을 타겟을 클릭하는데 사용한다. 위를 통해 얻어진 데이터를 통해 숙련자와 비숙련자의 눈 움직임 시간과 문자 입력 시간의 관계를 그림 7과 같이 나타내 보았다.



a. 숙련자의 경우



b. 비 숙련자의 경우

그림 7. 숙련도에 따른 눈 움직임과 문자입력시간의 관계

숙련자와 비 숙련자의 눈 움직임을 회귀 방정식으로 나타내면 식(4,5)와 같다.

$$\text{숙련자 } y = 0.894x - 2.530 \quad (4)$$

$$\text{비숙련자 } y = 0.399x - 1.304 \quad (5)$$

(x = 문자 입력 시간, y = 눈 움직임 시간)

이로써 타겟에 관련된 문자입력 시간과 눈 움직임 시간의 회귀식, 손 움직임의 회귀식 그리고, 눈-손 coordination 의 비율을 알게 되었다. 이 경험적 데이터는 기존 문자 입력 인지모델에 숙련도와 coordination 매개변수를 적용하기 위한 기초 자료가 될 것이다.

3. 결론

눈-손의 coordination을 이해하는 것은 문자 입력과 같이 HCI에서의 입력 방법을 이해하고 디자인하는데 중요한 기초 정보를 제공한다[7]. 본 연구에서는 김정환 외(2004)의 논문을 바탕으로 눈-손 coordination을 자세히 측정하고 기존 문자 입력 모델에 숙련도와 눈-손 coordination 매개변수를 추가하기 위한 각 요소의 시간과 회귀 방정식을 연구하였다. 본 연구를 통해 문자 입력 시 눈-손 coordination의 다음 4 가지 행태를 밝혔다.

1. 눈-손 coordination 시간은 문자 입력 시간과 선형적 관계가 있으며 숙련도에 상관없이 문자 입력 시간의 20%를 차지한다.

2. 하나의 음절을 입력하기 위해 눈-손의 움직임은 그림 3과 같은 4가지의 형태로 나타난다.

3. 숙련자와 비숙련자의 상관 없이 타겟에 관련된 문자 입력 시간 대비 손 움직임 시간 비율, coordination 시간 비율은 차이가 없었으나, 눈 움직임 시간은 크게 차이가 났다. 이는 숙련자가 타겟을 찾는 시간을 거의 사용하지 않는 반면에, 비숙련자는 전체 문자 입력 시간의 30% 가량을 타겟을 찾는 데 사용한 것이다. 또한, 숙련자와 비숙련자의 눈 움직임 회귀식은 식(4,5)와 같다.

4. 기존에는 문자 입력 시 손 움직임을 Fitts' Law를 통해 예측 하였는데, 숙련도 요소가 추가된 문자 입력 시간 예측을 위해 식(3)과 같은 회귀식을 도출하였다.

하지만, 추후연구로 숙련도에 대한 명확한 구분이 필요하다. 그림8은 전체 피실험자에 대한 눈-손 coordination 형태의 빈도수를 막대그래프로 나타낸 것이다. 그림8 에서 보듯이 숙련자 비숙련자 구분 없이 Case 2의 형태가 상당히 많이 나타난다.

기존 연구에서 눈은 손보다 먼저 움직인다고 밝혀졌다[8]. 하지만, 본 실험에서는 case2, case3과 같이 손이 먼저 움직이는 형태가 월등히 많이 나타난다. Fixation 데이터 분석 결과 거의 모든 실험자가 타겟을 클릭하고 바로 다음 타겟으로 손을 움직이는 행태를 보여주었다. 이는 눈보다 손이 먼저 움직이기 보다는 눈이 타겟에 도착하기 전까지 눈은 타겟을 찾지 못한 것이다. 즉, 눈이 saccade 운동을 하는 것이다. 눈이 saccade 운동을 하는 중에도 손은 눈과 함께 움직인다.

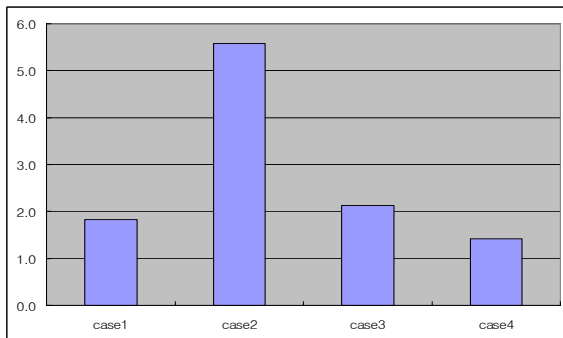
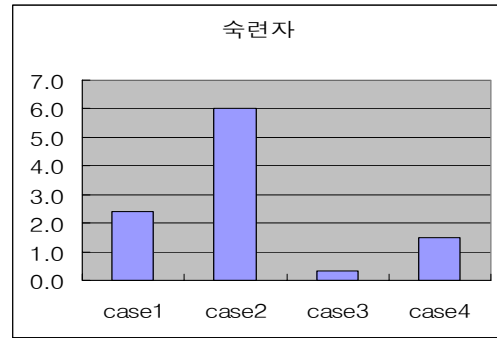


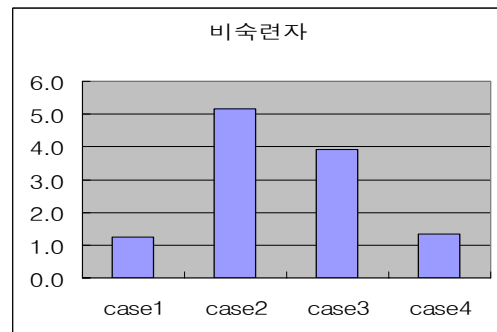
그림8. 문자 입력 시 눈-손 coordination의 형태

숙련자의 눈-손 coordination 행태만을 분석한 경우에도 그림9와 같이 전체 피실험자의 데이터와 유사하다. (case 2,3의 경우가 전체의 62%이다). 숙련자가 비숙련자에 비해 문자 입력 시간의 차이를 보이지만 눈보다 손이 먼저 움직이는

눈-손 coordination 행태의 변화는 보이지 않는 것이다. 하지만 모든 숙련자가 이와 같은 행태를 보이는 지는 연구가 필요하다.



a. 숙련자



b. 비 숙련자

그림9. 문자 입력 시 숙련도에 따른 눈-손 coordination의 형태

하지만, 본 논문에서 밝힌 문자 입력 작업 행태의 4가지의 결과, 눈-손 coordination 시간의 비율 그리고, 숙련도에 따라 눈 움직임 시간의 차이 등은 HCI에 적용된 MHP에 협응과 숙련도를 적용하기 위한 매개변수를 적용하는데 기초가 될 것이다.

참고문헌

- [1] Olson R. J. and Olson M. G., "The Growth of Cognitive Modeling in Human-Computer Interaction Since GOMS", *Human-Computer Interaction*, Vol. 5, No 2&3, 221-265, 1990
- [2] Mackenzie, I. S., *Motor Behavior Models for Human-Computer Interaction*. In J. M. Carroll (Ed.) *HCI models, theories, and frameworks: Toward a multidisciplinary science of Human-computer*

Interaction, .27-54. San Francisco: Morgan Kaufmann., 2003

- [3] 김상환, 명노해. “이동전화의 한글입력 인지모델에 관한 연구”, *HCI 2001*. 평창. 한국. 2001
- [4] 김인수, 김봉건, 최재현, “이동전화 단말기의 이론적 한글 입력 수행도 비교 평가”, *대한인간공학회 학술대회*, 부산, 한국, 2004
- [5] 김정환, 홍승권, 명노해, “한글 문자 입력 인터페이스 개발을 위한 눈-손 Coordination 에 대한 연구”, *대한인간공학회 학술대회*, 대전, 한국, 2006.
- [6] 김유창, 프레스작업자의 숙련도에 따른 눈과 손움직임 패턴의 차이에 대한 연구. 박사학위논문, 한국과학기술원, 1997.
- [7] Smith. A. B., Ho. J., Ark W., and Zhai S. Hand eye coordination patterns in target selection. *In Proceedings of ACM Symposium of Eye Tracking Research and Applications (ETRA)*, pages 117--122, 2000
- [8] Anderson. J. R. and Lebiere. C., *The Atomic Components of Thought*, Lawrence Erlbaum associates, London, 1998.