사용자 인터페이스 디자인 평가 도구로서의 레피드 프로토타이핑 방법의 유효성 검정

An Empirical Test for Applying the Rapid Prototyping Method to the User Interface Design Evaluation

박제희

한경대학교 안전공학과

研究論文 Original Articles ○ Received : Mar. 13. 2000 ; Accepted : Apr. 6. 2000

1. 서론

2. 연구방법

2-1 프로토타이프 제작
2-2 피실험자
2-3 작업내용
2-4 실험절차

3. 결과와 토의

3-1 작업수행 성공률
3-2 작업수행 시간
3-3 버튼 조작 회수
3-4 오류 유형 분석
3-5 토의

4. 결론

참고문헌

(要約)

실 제품을 제작하기 전 컴퓨터를 이용해 프로토타이프를 제작해 미리 제품은 평가하는 방법이 널리 사용되고 있다. 프로토타이핑 작업으로 제품의 외관을 미리 평가하는 부분은 이미 실효성을 입증 받았다. 그러나 사용자 인터페이스(User Interface) 디자인 부분에 대한 평가에서는 아직 그 유효성에 대한 연구가 충분하지 못한 형편이다. 본 연구는 프로토타이핑 방법에 의한 사용자 인터페이스 디자인 평가가 과연 적절한 방법이 될 수 있는 지에 대해 실험적 검정을 수행하였다. 대상이 되는 제품으로 전자렌지를 선택했으며 이를 컴퓨터를 이용해 프로토타이프를 제작했다. 12 명의 피실험자들을 나누어 실 제품과 프로토타이프에 대한 사용성 평가를 수행하였고 그 결과를 분석하였다. 분석 결과 실 제품과 프로토타이프 사이에 작업성공률, 작업수행시간, 버튼 조작 회수 등에 차이가 있는 것으로 밝혀졌다. 이는 아직도 프로토타이핑 방법이 사용성 평가 도구로 사용하기에는 보완해야할 점이 많이 있다는 것을 의미한다. 토의에서는 이에 대한 원인 규명과 문제점 해결을 위한 보완 사항 등을 제시하였다. 본 연구의 결과는 현장에서 래피드 프로토타이핑 방법을 적용해 제품의 사용성 평가를 수행하려는 디자이너들에게 도움을 줄 수 있을 것이다.

(Abstract)

Rapid prototyping technology has been widely applied to the design process in the industry. This technology made it easy to generate a prototype which acts like a real product in logic. However, this technology has not been validated sufficiently as a usability test method. The purpose of this study was to test the hypothesis : There was no significant difference between a real product and its prototype. An experiment was designed to test it statistically. A microwave oven was selected and its prototype was generated using a rapid prototyping tool. Six subjects used the microwave oven and another six subjects used the prototype to perform five scenario tasks. As a result, there was significant difference between the real product and prototype in success rate, task completion time, and number of buttons pressed. The prototype was more difficult to operate than the real product. Therefore we should be careful when we apply rapid prototyping. technology. In the discussions, the causes of the difference were identified and some guidelines were suggested for who wants to apply rapid prototyping tool to the usability test.

(Keyword)

Rapid prototyping, Prototype, User Interface Design, Usability test, Microwave Oven

1. 서 론

컴퓨터를 이용해 실 제품과 논리적으로 동일하게 조작되는 프로토타이프(prototype)를 만드는 작업을 래피드 프로토타이핑(rapid prototyping)이라 한다[1]. 이 방법을 이용해 실 제품을 제작하기 전 프로토타이프를 만들어 본다면 디자인 작업 수행에 여러 장점을 얻을 수 있다. 제품 전반에 대한 형상을 파악할 수 있으며 조작 과정도 확인할 수 있다. 또한 이를 사용성(usability) 평가에 이용한다면 사용자 인터페이스(user interface) 디자인 상의 문제점을 미리 파악해 적절한 조처를 취할 수 있다.

국내에서도 여러 연구자들이 이에 대한 연구를 수행하고 있으며, 가전사들도 현업에 이를 활용하고 있다. 박재희와 정광태는 냉장고 제어표시판을 프로토타이프로 제작하고 이에 대한 사용성평가를 실시한 바 있다[2]. 송복희 등도 노인을 위한 전자레인지의 디자인 개선 과정에 래피드 프로토타이핑을 활용하였다[3]. 최재현과 박민용도 스마트미디어에 대한 상호작용 방법 평가에 이를 활용하였다[4]. 이외에도 가전사들과 대학의 연구팀들에 의한 활발한 연구가 이루어지고 있다.

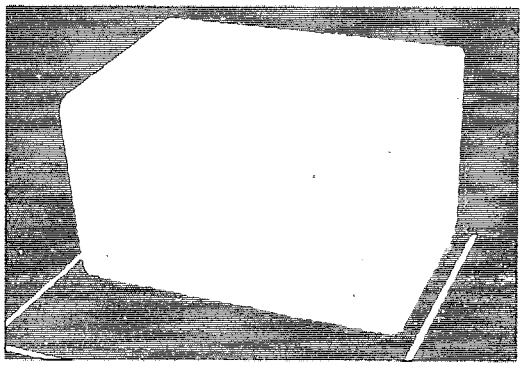
그러나 아직까지 래피드 프로토타이핑 방법을 이용한 사용성 평가가 실 제품을 사용하는 것과 동일한 효과를 낼 수 있는 지에 대해서는 확실한 연구 결과를 얻고 있지 못하다. 박재희와 정광태는 냉장고 제어표시판의 경우 실제품과 프로토타이프가 차이가 없음을 밝힌 바 있다. 그러나 냉장고 제어표시판에서 이루어지는 조작 내용이 지극히 단순한 것이어서 보다 복잡한 모형에 대한 추가 연구가 필요함을 지적한 바 있다[5].

이러한 관점에서 본 연구는 대상 제품을 냉장고 제어표시판보다 복잡한 전자레인지를 선택하고, 래피드 프로토타이핑 방법에 의한 사용성 평가가 유효한 지를 검정하였다. 본 연구에서 검정하고자 하는 가설은 '실 제품과 프로토타이프 간 조작시간과 조작행태에 차이가 없다' 이다. 만일 이 가설이 채택된다면 래피드 프로토타이핑 방법의 실효성은 입증되고 그 사용에 제한이 필요치 않을 것이다. 그러나 반대로 차이가 있는 것으로 밝혀지면 래피드 프로토타이핑 적용에 신중을 기할 필요가 있다는 것을 의미한다.

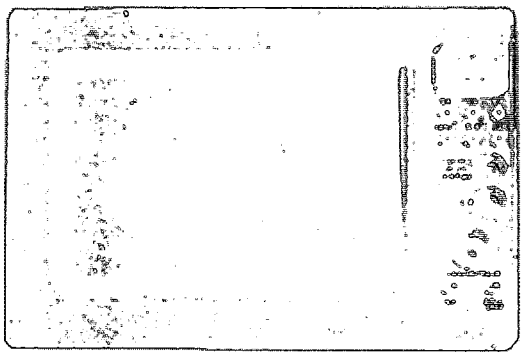
2. 방법

2-1. 프로토타이프 제작

실험 대상 제품으로 전자레인지(대우전자 KOC 972-KS)를 선택하였다(그림 2-1 참조). 이 전자레인지에는 10개의 버튼(파이, 쿠키, 케익, 데우기, 해동, 맛내기, 오븐, 그릴, 조리시작-간편조리, 취소)과 1개의 다이얼(자동조리/시간/무게조절)을 가지고 있다. 전자레인지의 프로토타이프 제작에는 최근 널리 사용되는 래피드 프로토타이핑 도구인 Rapid를 사용하였다. 제작된 프로토타이프는 그림 2-2와 같다.



[그림 2-1] 평가대상 전자레인지



[그림 2-2] 전자레인지의 프로토타이프

프로토타이프는 외관의 크기와 칼라 등이 실 제품과 동일하였으며 도어를 열고 닫는 것도 표현하였다. 또한 버튼 조작 시 나오는 음향과 전자레인지의 가열 시 나는 소리도 샘플링(sampling)을 이용해 표현해주었다. 이런 외적 조건 외에 사용성 평가에 중요한 논리 상의 조작 내용도 동일하도록 프로그램 하였다[6]. 따라서 제작된 프로토타이프는 실 제품과 거의 유사하였다. 다만 제작된 프로토타이프를 컴퓨터 모니터에 띄우고 버튼과 다이얼의 조작을 손대신 마우스를 이용한다는 점에서 차이를 보였다.

2-2. 피실험자

실험에는 20 대 초반의 여성들이 피실험자로 참여하였다. 총 인원은 12명이었고 실 제품에 6명, 프로토타이프에 6명씩 무작위로 할당하였다. 실 제품의 경우 피실험자의 연령은 19 ~ 22세(평균 20.5 세)이었고, 프로토타이프의 경우 19 ~ 25세(평균 22.0세)이었다. 교육 수준은 대학 재학생이 11명, 대학 졸업생이 1명이었다.

실험 직전에 행해진 설문조사 결과에 의하면, 피실험자들의 전자레인지의 사용 빈도는 거의 사용하지 않는 사람부터

1) Preece, J. et. al.: Human-computer interaction, Addison-Wesley Pub., p. 540,(1994)

2) 박재희와 정광태: 래피드 프로토타이핑 기술을 이용한 냉장고 제어표시판의 사용성평가에 대한 유효성 검증, 디자인학연구, 11(1), 237-244, (1998).

3) 송복희, 윤한경, 정광태, 인간공학적 접근방법을 통한 전자렌지의 유니버설 디자인, 1999년 대한인간공학회 추계학술대회 논문집, 119-122, (1999).

4) 최재현과 박민용: Smart Media 제품군의 서로 다른 인터렉션 형식의 사용성 평가, 인간과 컴퓨터 상호작용 연구회 회보, 9(1), 299-303, (2000)

5) 주2)와 동일

6) 박재희 등, 사용자 인터페이스 디자인을 위한 프로토타이핑 기술개발과 디자인 평가시스템 구축 (최종년도), KRISS-98-121-IR, 한국표준과학연구원, (1998)

자주 사용하는 사람까지 다양했다. 그러나 본 실험에 사용된 전자레인지 모델과 동일한 것을 사용해 본 사람은 아무도 없었다. 또한 프로토타이프를 사용하는 피실험자들 중에서 본 실험에서와 같은 프로토타이핑 된 모델을 다루어 본 경험이 있는 사람은 한 명도 없었다. 그러나 컴퓨터나 마우스 조작이 미숙하여 실험 결과에 영향을 미칠만한 피실험자도 없었다.

2-3. 작업내용

대상 작업을 선정하기 위해 전자레인지로 자주 하는 작업과 중요성이 높은 기능들을 평가하여 5 개의 대표작업을 선정하였다. 이 대표 작업들은 피실험자에게 명령형의 구문으로 제시되었다. 실험에 사용된 대표 작업과 작업 내용은 표 2-1과 같다. 국 데우기는 데우기 버튼을, 빵 만들기는 오븐 기능을, 피자 데우기는 조리시작-간편조리 기능을, 돼지고기 해동하기는 해동 기능을, 우유 데우기는 자동요리 기능을 사용하여 수행할 수 있는 작업이었다. 각 피실험자는 5 개의 작업을 모두 수행하도록 했다. 작업 순서의 효과를 없애기 위해서 5 가지 작업 지시는 무작위로 주어졌다.

[표 2-1] 사용성 평가 대상 작업

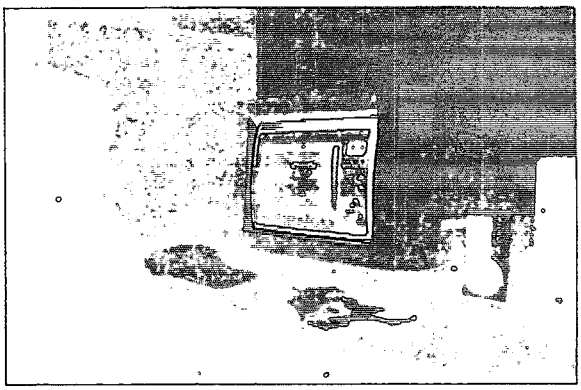
작업	작업내용
국 데우기	국 1인분을 데우세요
빵 만들기	전자레인지의 오븐코스를 이용하여 빵을 만듭니다. 이 때, 오븐의 화력을 강으로 맞추고 3분간 조리하세요.
피자 데우기	슈퍼마켓에서 사 온 냉동피자를 5분간 데우세요.
돼지고기 해동	냉동된 돼지고기(300g)를 해동하세요
우유 데우기	자동조리코스의 우유 데우기 코스를 이용하여 우유(200ml)를 데우세요. 이 때 맛내기는 '약'으로 설정합니다.

2-4. 실험절차

본 실험이 시작하기 전에 피실험자들의 나이와 전자레인지 사용 경험을 묻는 설문조사를 하였다. 본 실험에서 모든 피실험자들은 첫 번째 시도에서 5 가지 작업을 각 작업 당 2 분의 제한시간을 가지고 한 작업 씩 수행하도록 했다. 피실험자가 수행한 각 작업은 성공과 실패로 판정되었다. 주어진 제한 시간 내에 작업을 완수하지 못하거나 잘못된 작업을 수행하였을 경우 실패로 간주하였다.

피실험자들은 실패한 작업에 한해서 두 번째 시도를 하게 하였다. 만일 두 번째 시도에서도 실패하면 사용자 설명서를 참조하게 한 후 세 번째 시도를 하도록 하였다. 이 때에도 각 작업 당 2 분의 시간이 주어졌다. 세 번째 시도에서 실패했을 경우에는 더 이상의 기회가 주어지지 않았다. 단, 작업할 때 피실험자들이 시간에 대한 압박감은 갖지 않도록 하기 위해 제한 시간은 알려 주지 않고 최대한 빨리 수행할 것을 권고하였다. 실험이 다 끝난 후에는 작업의 난이도와 전자레인지 사용에 있어서의 문제점을 서술하는 설문조사와 토의를 하였다.

조작 시간과 조작 내용 등에 관한 데이터를 얻기 위해, 실제품을 사용할 때는 피실험자의 조작행동에 초점을 맞추어 실험 장면을 비디오 카메라로 녹화하였다. 녹화된 비디오테이프는 이후 결과 분석에 이용되었다. 프로토타이프를 사용한 피실험자의 수행결과는 Rapid에서 자동으로 조작내용과 시간을 기록한 로그(log) 파일을 이용하였다. 그림 2-3에 프로토타이프를 이용한 실험장면이 나타나 있다.



[그림 2-3] 프로토타이프를 이용한 실험장면

3. 결과 및 토의

일반적으로 인간성능(human performance)이나 작업수행도(task performance)를 평가하는 정량적 척도로 작업 수행 속도와 정확도가 사용된다. 본 연구에서도 속도 측면에서는 작업수행시간을, 정확도 측면에서는 작업수행 성공률과 버튼 조작 회수 등을 분석하였다. 표준 버튼 조작보다 버튼 조작회수가 많았다는 것은 오류를 많이 범했다는 것을 의미한다. 이들에 대한 검정의 유의수준은 0.05로 하였다. 그 외 피실험자들의 난이도에 관한 주관적 평가와 오류 유형 분석 등을 수행하였다.

3-1. 작업수행 성공률

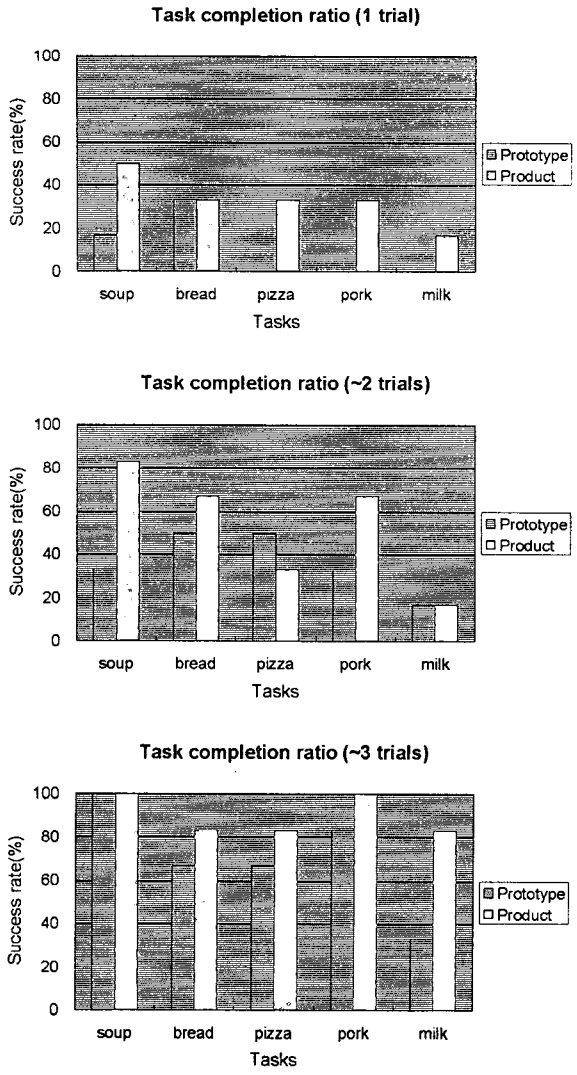
그림 3-1은 작업 수행 성공률을 나타낸다. 세 그림은 각각 첫 번째, 두 번째, 세 번째 시도까지의 작업수행 성공률을 누적하여 나타낸 것이다. 첫 번째 시도에서 실 제품이나 프로토타이프나 5 가지 모든 작업에 있어 50% 이하의 낮은 성공률을 보였다. 전자레인지가 비교적 간단한 제품임에도 불구하고 피실험자들은 조작에 어려움을 겪었다.

특히 프로토타이프를 사용한 피실험자들은 '빵 만들기' 작업을 제외하고는 모두 실 제품에 비해 낮은 성공률을 보였는데, 이는 프로토타이프가 아무리 실 제품과 동일하게 구현되었다 해도 컴퓨터라는 매체가 주는 생소함이 작업 성공에 어려움을 안겨주었던 것으로 판단된다.

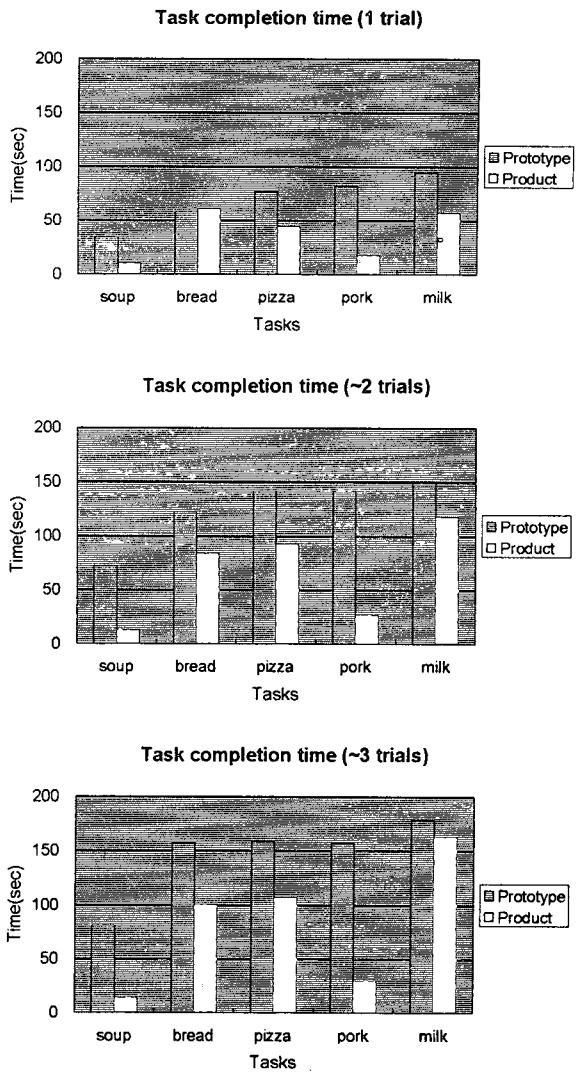
2차, 3차까지 누적된 성공률은 점차적으로 증가하고 있으나 일부 작업은 3차에서도 성공률이 높지 않게 나왔고, 여전히 프로토타이프의 성공률이 낮게 나타나고 있다.

3-2. 작업수행 시간

그림 3-2는 피실험자들이 작업을 수행하는데 걸린 평균 시간을 나타낸다. 세 그림은 각각 첫 번째, 두 번째, 세 번째 시도까지의 작업수행시간을 누적적으로 나타낸 것이다. 만일 오류 없이 작업을 수행한다면, 5가지 작업 각각에 대해 5초 이상의 시간은 소요되지 않는다.



[그림 3-1] 작업수행 성공률



[그림 3-2] 작업수행시간

총 작업수행 시간, 즉 첫 번째 시도에서 세 번째 시도까지의 누적적인 작업수행 시간에 대해 분산분석을 실시하였다. 분산분석 결과 실 제품과 프로토타이프 간 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($F_{1,10} = 10.01$, $p = 0.0101$). 즉, 프로토타이프 조작에 더 많은 시간이 걸렸다고 말할 수 있다. 작업내용 간에도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($F_{4,40} = 4.91$, $p = 0.0026$). 그러나 조작대상물과 작업내용 간의 상호작용은 없는 것으로 나타났다($F_{4,40} = 0.92$, $p = 0.4641$).

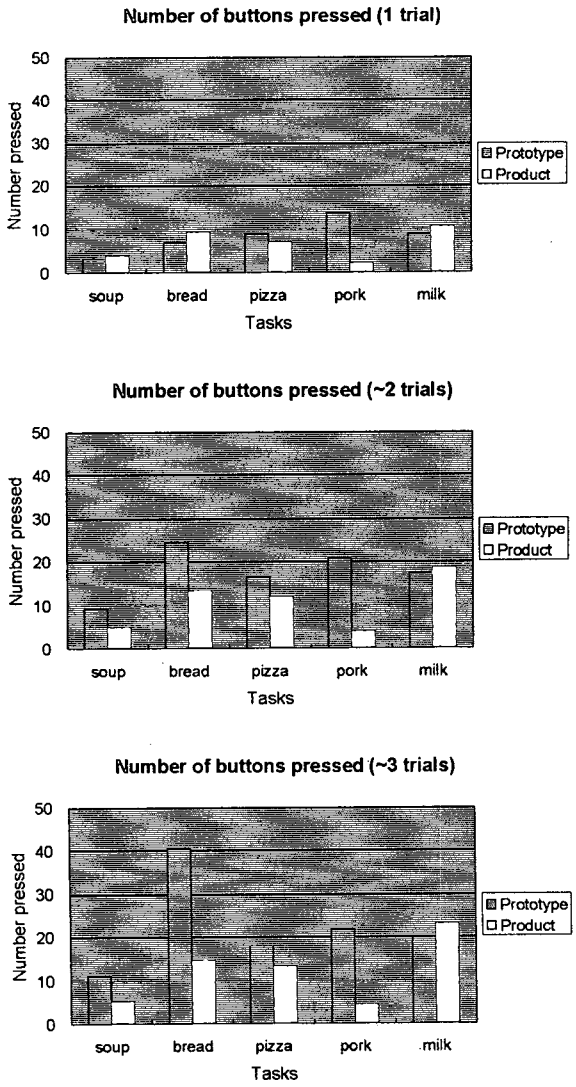
3-3. 버튼 조작 회수

그림 3-3은 각 작업을 수행할 때의 평균 버튼 조작회수를 나타낸다. 세 그림은 각각 첫 번째, 두 번째, 세 번째 시도까지의 버튼 조작 회수를 누적적으로 나타낸 것이다. 오류 없이 수행하였을 때의 버튼 조작 회수는 국 데우기 2 회, 빵 만들기 5 회, 피자 데우기 2 회, 돼지고기 해동하기 3 회, 우유 데우기 4 회이다.

총 버튼 조작 회수, 즉 첫 번째 시도에서 세 번째 시도까지의 누적적인 버튼 조작 회수에 대해 분산분석을 실시하였다. 분산분석 결과 조작대상물 간의 차이가 존재하였다($F_{1,10} = 4.87$, $p = 0.0518$). 즉, 실 제품을 사용할 때가 프로토타이프를 사용할 때보다 버튼 조작 회수가 적었다. 그러나 작업내용($F_{4,40} = 2.06$, $p = 0.1045$)이나 조작대상물과 작업내용 간의 상호작용($F_{4,40} = 1.17$, $p = 0.3374$)은 없었다.

3-4. 오류 유형 분석

실 제품과 프로토타이프를 조작하는 과정 상의 오류 유형에 차이가 있는 지 알아보기 위해 5 개 대상 작업 각각에 대해 발생한 모든 오류들을 조사 분석하였다. 분석 결과 실 제품이나 프로토타이프 양 쪽에 비슷한 유형의 오류도 발견되었지만, 다른 유형의 오류도 발견되었다.



[그림 3-3] 버튼 조작 회수

특히 '돼지고기 해동하기' 작업의 경우 실 제품과 프로토타이프의 오류 유형이 많이 달랐다. 즉, 실 제품의 경우 대부분 피실험자들이 다이얼 조작 단계에는 쉽게 이르나 무게를 정확히 맞추지 못하는 오류를 많이 범한 반면, 프로토타이프를 사용한 피실험자들은 다이얼 조작 대신 다른 버튼들을 누르는 오류를 많이 범했다. 이는 컴퓨터 상에 구현된 다이얼이 입체감도 부족하고 조작이 어렵고 피드백 정보가 부족하여 피실험자들이 무의식적으로 다이얼 조작을 회피하는 경향에서 기인한 것으로 판단된다.

3-5 토의

지금까지의 분석 결과를 요약하면 다음과 같다. 즉, 프로토타이프를 사용하는 것이 실 제품을 사용하는 것보다 작업수행 성공률이 낮았고, 작업수행 시간이 오래 걸렸고, 버튼 조작 회수가 많았다. 또한 일부 조작 오류의 유형에서도 차이를 보였다. 이런 결과를 볼 때 '실 제품과 프로토타이프 간 조작시간과 조작행태에 차이가 없다' 라는 가설은 기각될 수 밖에 없다. 따라서 래피드 프로토타이핑에 의한 사용성 평가 시 절대적인 주의가 요구된다.

즉, 래피드 프로토타이핑에 의한 사용성 평가 결과 얻어진 데이터는 절대적 평가치로는 적용할 수 없다. 구성이 비슷한 여러 대안에 대한 상대적 평가치로 그 의미를 가질 수 있다. 그러나 이것도 오류 유형 분석에서 예를 들었듯이 제품의 구성 오브젝트(object)가 크게 다를 경우 부정확한 정보를 줄 수도 있다. 일례로, 음식의 무게를 다이얼로 맞추는 경우와 버튼으로 맞추는 전자레인지가 있다고 할 때, 프로토타이핑 방법을 적용하면 실 제품을 사용할 때와 비교해 다이얼을 사용하는 전자레인지가 아주 안 좋은 평가치를 받을 수 있는 위험이 있다.

그러면 래피드 프로토타이핑 방법은 사용성 평가에 전혀 사용할 수 없는가? 아쉽게도 현재의 기술로는 경제적 측면이나 정량적 평가 측면에서 볼 때 래피드 프로토타이핑을 대신할 만한 기술은 없다고 보여진다. 대신 래피드 프로토타이핑 방법이 실 제품을 이용한 평가와 어떤 점에서 차이를 보이는지를 규명하여 결과 해석에 제한점을 확실히 하거나, 적극적으로 이를 보완하는 기술과 방법을 개발하는 노력이 필요하다고 할 수 있다.

이에 본 연구 과정을 통해 프로토타이핑 방법과 실 제품 사이에 보여진 차이의 원인을 규명하고 그것을 줄이기 위한 방법 등을 다음과 같이 네 가지로 정리하였다.

첫째, 프로토타이프의 크기와 실 제품의 크기가 다를 수 있는 것이 문제가 된다. 프로토타이프는 컴퓨터 상의 모델이므로 제품의 크기가 모니터의 크기보다 클 경우에는 가로와 세로의 비를 맞추어서 실 제품보다 작게 만들 수 밖에 없다. 이렇게 할 경우 기능 조작 시 참조되어져야 할 문자들이 알아보기 어려울 정도로 작아질 수가 있다. 이번 실험을 하는 과정에서도 피실험자들은 실 제품을 다룰 때보다 프로토타이프를 다룰 때, 글자나 숫자를 알아보는 데 많은 노력이 필요했다. 이를 해결하기 위한 대안으로 표시 부분만을 확대하여 문자를 읽을 수 있는 방법이 있다. 그러나 이것도 아주 작은 공간에서는 화면의 복잡성을 더해 인지적인 부하가 커지는 새로운 문제가 생길 수 있다.

둘째, 실 제품으로는 쉽게 알 수 있으나 프로토타이프로는 알아 보기 힘든 경우가 있다. 예를 들면, 다이얼과 버튼을 실 제품에서는 쉽게 구별할 수 있었으나, 프로토타이프에서는 구별하기 어려웠다. 또한 프로토타이프의 경우 표시장치를 버튼으로 잘못 지각하는 피실험자가 많았다. 예를 들면, 디스플레이 되어있는 문자를 버튼기능을 가진 것 등으로 착각하는 것이다. 구현된 프로토타이프에 입체감이 부족해서 생기는 문제인 것 같다. 시각적으로 입체감을 강조하는 방법이 있겠으나 한계가 있고, 궁극적으로 가상현실(Virtual Reality) 등을 이용해 입체시를 제공하는 방법이 강구될 필요가 있다.

셋째, 프로토타이프의 오브젝트 중 특히 조작이 어려운 것들이 실 제품과의 차이를 만들 수 있다. 본 연구에서도 버튼보다 원운동을 하는 다이얼을 조작하는데 특히 어려움이 많았다. 실 제품에서의 다이얼 조작은 청각적, 촉각적 피드백이 제공됨으로 인해 매우 쉬운데 비해 프로토타이프에서는 마우스 직선운동으로 다이얼의 원운동을 만들어야하기에 매우 어려웠다. 특히 실제품에서는 눈으로 표시창에 집중하고 손으로 다이얼을 돌릴 때 목표값을 맞추기 전 손이 다이얼을 놓칠 염려

가 없으나, 프로토타이프의 경우에는 마우스가 다이얼 상에 제대로 된 위치에서 조작하고 있는 지와 표시창을 번갈아 가면서 살펴야 하기 때문에 효율적인 조작을 하기가 어려웠다. 따라서, 프로토타이프 설계 시 각각의 오브젝트 조작 자체가 어렵지 않도록 방법을 강구하고 필요한 기술을 개발해야 할 것이다.

넷째, 실 제품의 경우 사람의 손으로 촉각을 느끼며 대상물을 직접 조작하는 반면, 프로토타이프의 경우 마우스를 매개로 하여 조작하는 간접 조작 방식이다. 이러한 조작 방식의 차이가 둘 사이의 차이를 불러올 수 있다. 이미 박재희 정광태의 연구[7]에서 이에 대한 지적이 있었는데 터치스크린 등을 사용하는 후속 연구를 필요로 한다.

4. 결 론

본 연구에서는 가전 제품 가운에 중급 정도의 복잡함을 지닌 전자레인지를 대상으로 하여 래피드 프로토타이핑에 의한 사용성 평가에 대한 타당성을 검정하였다. 사용성 평가 결과 전자레인지 실 제품과 프로토타이프 상에 차이가 있는 것으로 나타났다.

따라서 래피드 프로토타이핑 방법에 의한 결과를 사용성 평가 척도의 절대적 기준치로 사용해서는 안 된다는 점과 이 방법의 제약을 알고 사용해야 한다는 점을 밝혔다. 그러나 그렇다고 아직까지 대체할 방법이 없는 상태에서 경제성과 효용성이 높은 래피드 프로토타이핑 방법을 무시할 필요는 없다. 다만 이 방법이 실 제품을 사용했을 때와 어떠한 차이를 보이는 지를 규명하여 정확하게 사용하려는 노력이 요구된다.

아직까지 이러한 부분에서 충분한 연구와 검정이 이루어지지 못한 상태이다. 지금까지 냉장고 제어표시판, 전자레인지 등 조작 난이도가 초, 중급에 해당하는 가전 제품에 대한 연구가 수행되었는데, VCR 과 같은 보다 복잡한 모델에 대한 연구가 요청된다. 또한 터치스크린을 사용하여 프로토타이프를 조작할 경우 실 제품과의 차이를 줄일 수 있는 지도 더 연구될 필요가 있다.

참고문헌

o 박재희 등: 사용자 인터페이스 디자인을 위한 프로토타이핑 기술개발과 디자인 평가시스템 구축 (1차년도), KRISS-97-092-IR, 한국표준과학연구원, (1997)

o 박재희 등: 사용자 인터페이스 디자인을 위한 프로토타이핑 기술개발과 디자인 평가시스템 구축 (최종년도), KRISS-98-121-IR, 한국표준과학연구원, (1998).

o 박재희, 정광태: 래피드 프로토타이핑 기술을 이용한 가전제품의 사용성 평가 상의 문제점, 인간과 컴퓨터 상호작용 연구회 회보, 7(1), 197-200, (1998).

o 박재희, 정광태: 래피드 프로토타이핑 기술을 이용한 냉장고 제어표시판의 사용성평가에 대한 유효성 검증, 디자인학연구, 11(1), 237-244, (1998).

o 송복희, 윤한경, 정광태, 인간공학적 접근방법을 통한 전자렌지의 유니버설 디자인, 1999년 대한인간공학회 추계학술대회 논문집, 119-122, (1999).

o 최재현, 박민용: Smart Media 제품군의 서로 다른 인터렉션 형식의 사용성 평가, 인간과 컴퓨터 상호작용 연구회 회보, 9(1), 299-30, (2000).

o Emultek Ltd.: Rapid user manual, Emultek Ltd.,(1996)

o Green, P., Boreczky, J., and Kim, S.E.: Applications of rapid prototyping to control and display, Automotive electronic displays and information system, SP-809, SAE, 23-44, (1990)

o Preece, J. et. al.: Human-computer interaction, Addison-Wesley Pub., (1994)

7) 주 2)와 동일