*Journal of the Ergonomics Society of Korea*
Vol.19, No.3, pp. 23-37, December 2000


# 사용편의성에 영향을 미치는 제품 설계 변수의 통계적 선별 방법

# A Statistical Approach to Screening Product Design Variables for Modeling Product Usability

김종서*, 한성호*

## ABSTRACT

Usability is one of the most important factors that affect customers' decision to purchase a product. Several studies have been conducted to model the relationship between the product design variables and the product usability. Since there could be hundreds of design variables to be considered in the model, a variable screening method is required. Traditional variable screening methods are based on expert opinions (Expert screening) in most Kansei engineering studies. Suggested in this study are statistical methods for screening important design variables by using the principal component regression(PCR), cluster analysis, and partial least squares(PLS) method. Product variables with high effect (PCR screening and PLS screening) or representative variables (Cluster screening) can be used to model the usability. Proposed variable screening methods are used to model the usability for 36 audio/visual products. The three analysis methods (PCR, Cluster, and PLS) show better model performance than the Expert screening in terms of $R^2$, the number of variables in the model, and PRESS. It is expected that these methods can be used for screening the product design variables efficiently.

Keywords: Usability, Evaluation model, Principal component Regression, Cluster analysis, Partial least squares method

* 포항공과대학교 산업공학과
주소 : 경상북도 포항시 남구 효자동 산31 포항공과대학교 산업공학과
전화 : 054-279-2855
E-mail: creator7@postech.ac.kr

# 1. 서 론

사용편의성은 성능, 가격, 디자인, 서비스와 더불어 제품에 대한 소비자의 구매 욕구를 증가시키는 중요한 요인으로, 많은 기업들이 사용편의성이 제고된 제품의 설계에 관심을 기울이고 있다(Myers and Rosson, 1992). 전자제품의 경우, 사용편의성은 학습성, 피드백과 같은 작업수행과 관계되는 객관적인 측면인 수행도와 고급감, 선호도와 같이 사용자의 주관적인 측면인 감성으로 구분된다(Han et al. 1998). 이러한 사용편의성의 개념에 근거하면, 사용편의성이 제고된 제품은 쉽고 편리한 작업수행을 지원할 뿐만 아니라, 사용자를 감성적으로도 충족시킬 수 있는 제품으로 정의할 수 있다.

사용편의성 수준이 높은 제품을 생산하기 위해서는 제품의 설계 단계에서부터 다양한 설계 특성을 갖는 제품들의 사용편의성 수준을 예측하고 평가하는 방법이 필요하다. 예를 들면, 오디오/비디오 전자제품은 디스플레이, 버튼, 조그 다이얼 등의 제품 설계 변수로 구성된다(그림1 참조). 디스플레이 패널에 표시되는 아이템의 색상, 버튼의 개수, 조그 다이얼의 크기는 사용자의 작업 시간, 오류율, 제품의 고급감, 견고성 등의 사용편의성에 크고 작은 영향을 미칠 것이며, 통계적 분석을 통하여 각 변수의 영향을 수리적으로 표현할 수 있다. 이와 같이 제품 설계 변수와 사용편의성간의 연관관계를 수리적 함수관계로 표현한 것을 사용편의성 평가 모델이라고 한다.

사용편의성을 향상시키기 위한 제품 설계 변수의 최적 조합을 모색한다는 측면에서 볼 때, 사용편의성 평가 모델 개발에 관한 연구는 감성 공학과 유사하다. 제품을 구성하고 있는 모든 설계 변수들이 사용편의성에 크고 작은 영향을 미치지만, 사용편의성을 평가하기 위해 모든 제품 설계 변수를 고려하는 것을 불가능하다. 따라서, 보다 효과적으로 사용편의성 평가 모델을 개발하기 위해서는 다른 설계 변수에 비하여 사용편의성에 상대적으로 큰 영향이 있는 제품 설계 변수를 선별하여 모델에 적용하는 과정이 필요하다.

현재까지 진행된 사용편의성 평가 모델 개발에 관련된 연구에서는 사용편의성 평가 모델에 적용할 제품 설계 변수를 전문가의 노하우에 근거하여 선별하였다(Nagamachi, 1995,

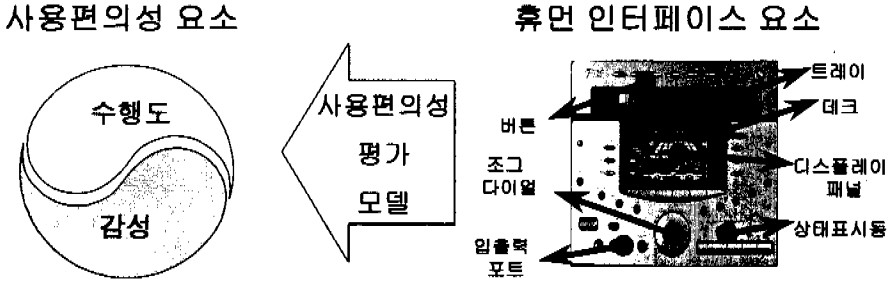



그림 1. 사용편의성 평가 모델의 개념(한성호 등, 1998)

Ishihara et. al., 1996, 한성민 등, 1998, 한성호 등, 1998). 그러나 전문가에 의한 제품 설계 변수 선별 과정은 선별 기준의 모호성, 많은 시간 소요, 제품에 관한 전문 지식이 반드시 필요하다. 또한 수백, 수천 개에 달하는 제품 설계 변수들 간에는 상관관계가 존재하며, 각 변수들이 사용편의성에 미치는 영향의 크기도 다를 것이다. 이와 같이 복잡한 제품 설계 변수간의 연간관계를 전문가가 모두 고려하는 것은 비효율적이고 부정확한 측면이 있다. 이런 특징들은 사용편의성 평가 모델을 개발할 때마다 반복적으로 발생하는 문제점들이다.

사용편의성에 커다란 영향을 미치는 변수의 선별에 통계적 기법을 응용하면 보다 객관적이고 빠르게 선별할 수 있을 것이다. 변수 선별에 명확한 통계적 기준이 제시되어 있을 경우, 해당 제품의 전문가가 아니더라도 손쉽게 사용편의성 평가 모델에 적용할 변수를 선별할 수 있을 것으로 예측된다. 또한 사용편의성에 영향도가 큰 변수를 이용한 모델의 성능도 우수할 것으로 예측할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 전문가에 의한 제품 설계 변수 방법을 대신할 수 있는 통계적 분석에 근거한 제품 설계 변수 선별 방법을 제안하고, 제안된 방법의 효용성을 검증하고자 한다.

## 2. 제품 설계 변수 선별 방법

사용편의성 평가 모델에 적용할 제품 설계 변수의 선별에 적용 가능한 방법으로 대부분의 기존의 연구에 적용되어 왔던 전문가에 의한 선별 방법 이외에, 주성분 모형, 군집 분석, 부분 최소 자승법 등의 통계적 기법에 근거하여 선별하는 방법이 있다.

### 2.1. 전문가에 의한 선별

기존 대부분의 연구에서, 고급감, 견고성, 기억성과 같은 사용편의성 요소에 영향력이 있는 제품 설계 변수는 전문가에 의하여 선별되었다(Nagamachi, 1991, Jindo, et al., 1997, 한성민 등, 1998). 그러나 실제 대부분의 감성공학 연구에서는 제품 설계 변수의 선별 과정에 대한 정확한 언급이 거의 없다. 자동차 디자인에 감성 공학을 적용시킨 연구(Nagamachi, 1991, Jindo, et al., 1997)에서는 감성 어휘와 제품 설계 변수를 SD Scale (Semantic Differential Scale)로 평가하여 감성 어휘와 제품 설계 변수의 연관관계를 수량화 이론을 통하여 밝혀내고 있다. 위의 연구에서는 감성 어휘를 통계적인 방법을 이용하여 선별하였음이 명시되어 있으나, 제품 설계 변수의 도출에 관하여는 언급이 되고 있지 않다.

전자제품의 사용편의성 평가 기술 개발 연구(한성호 등, 1998)에 적용된 제품 설계 변수의 선별 방법도 역시 전문가 의견에 의존하고 있다. 즉, 수천 개에 달하는 제품 설계 변수를 사용편의성 평가 모델 수립에 모두 사용할 수 없으므로, 모델에 적용할 변수의 수를 줄이기 위하여 제품 설계 변수의 중요도 평가를 실시하였다. 중요도 평가는 연구 대상 제품에 대한 전문적이고 포괄적인 지식과 사용편의성 요소에 대한 명확한 개념을 갖고 있는 전문가들에 의하여 수행되었다. 제품 설계 변수가

존재함으로써 사용편의성에 미치는 영향과 변수의 유형이 변화함으로써 초래되는 사용편의성 수준의 변동 정도를 모두 고려하여, 변수의 사용편의성 요소에 대한 영향도의 크기를 3,2,1로 평가하고, 영향도가 큰 변수부터 차례대로 사용편의성 평가 모델에 적용하였다.

## 2.2. 주성분 모형에 의한 선별

주성분 분석(Principal Component Analysis)은 여러 개의 독립 변수가 상관 관계를 가지고 있을 때, 이들이 갖고 있는 의미를 최대한 반영하며, 초기 변수의 개수에 비하여 훨씬 적고, 서로간에 상관관계가 존재하지 않는 새로운 변수들로 선형 변환하는 통계적 기법이다(Dunteman, 1989). 이 때, 새롭게 도출되는 변수를 주성분이라고 한다. 주성분 모형에 의한 제품 설계 변수 선별 방법은 다음과 같이 제안된다.

제품 설계 변수의 개수가 n개이고, 추출된 주성분의 개수가 p개이면, 표1과 같은 주성분($T_i$)를 도출할 수 있다. 표1에서 $X_j$는 상관 관계가 존재하는 제품 설계 변수들이며, $T_i$는 제품 설계 변수 측정 결과의 주성분 분석을 통해 도출된 상호간에 독립적인 주성분들이다. $P_{ij}$는 주성분 $T_i$와 변수 $X_j$의 연관 계수이다. $SSR(t_i)$는 주성분을 독립 변수로하고 사용편의성 평가 결과를 종속변수로 하는 주성분 모형(Principal Component Regression)을 수립하였을 때 도출할 수 있는 주성분 $T_i$에 의한 변동 설명량이며, 이 값이 클수록, 사용편의성 평가 모델에서 주성분 $T_i$가 설명하는 비중이 크다는 것을 의미한다. $SSR(t_1, \cdots, t_p)$는 전체 주성분 모형에 의한 변동 설명량이며, 식(1)은 변수 $X_1$에 의하여 설명되는 모델의 변동 설명량이다. 변수에 의하여 설명되는 모델의 변동 설명량과 전체 주성분에 의한 모델의 변동 설명량의 비를 나타내는 식(2)는 주성분으로 구한 사용편의성 평가 결과의 전체 변동(Total Variation)에 대한 각 변수의 영향

표 1. 주성분 모형에 의한 변수 추출 원리

| 주성분 \ 변수 | | $X_1$ | $X_2$ | ··· | $X_n$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $T_1$ | $SSR(t_2)$ | $P_{11}$ | $P_{12}$ | ··· | $P_{1n}$ |
| $T_2$ | $SSR(t_2)$ | $P_{21}$ | $P_{22}$ | ··· | $P_{2n}$ |
| ··· | ··· | ··· | ··· | | ··· |
| $T_p$ | $SSR(t_p)$ | $P_{p1}$ | $P_{p2}$ | ··· | $P_{pn}$ |
| $SSR(t_1, t_2, \cdots, t_p)$ | | $\sum_{i=1}^{p} SSR(t_i)P_{i1}^2$ | $\sum_{i=1}^{p} SSR(t_i)P_{i2}^2$ | ··· | $\sum_{i=1}^{p} SSR(t_i)P_{in}^2$ |
| 변수의 영향도 | | $\frac{\sum_{i=1}^{p} SSR(t_i)P_{i1}^2}{SSR(t_1, t_2, \cdots t_p)}$ | $\frac{\sum_{i=1}^{p} SSR(t_i)P_{i2}^2}{SSR(t_1, t_2, \cdots t_p)}$ | ··· | $\frac{\sum_{i=1}^{p} SSR(t_i)P_{i3}^2}{SSR(t_1, t_2, \cdots t_p)}$ |

도를 의미하게 된다.

$$\sum_{i=1}^{p} SSR(t_i)P_{ii}^2 \quad \cdots\cdots (1)$$

$$\frac{]\sum_{i=1}^{p} SSR(t_i)P_{ii}^2}{SSR(t_1, t_2, \cdots t_p)} \quad \cdots\cdots (2)$$

주성분 모형을 통하여 도출된 영향도가 큰 변수는 결국 사용편의성 평가 모델에서도 중요하게 고려되어야 할 것으로 가정할 수 있다. 따라서 주성분 모형을 통한 제품 설계 변수의 영향도 산출 과정은 전문가의 평가에 의한 제품 설계 변수의 중요도 산출 과정을 대신할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2.3. 군집 분석에 의한 선별

군집 분석(Cluster Analysis)은 대상들이 지니고 있는 다양한 특성의 유사성을 바탕으로 대상을 동질적인 군집으로 묶거나, 다수의 대상들을 몇 개의 군집으로 구분함으로써 동일 군집내에 속해 있는 공통된 특성들을 조사하는데 쓰이는 기법이다(김충련, 1993). 제품 설계 변수 측정 결과에 대하여 군집 분석을 실시하면, 제품 설계 변수들을 상호간에 배타적으로 포함하고 있는 군집들의 도출이 가능하다. 각 군집에서 대표적인 변수를 하나씩 선별하면 원래의 변수 개수보다 훨씬 적은 수의 제품 설계 변수를 선별할 수 있다.

각 군집에 포함된 변수들을 대표할 수 있는 변수를 선정하는 기준으로는 '변수와 변수가 포함된 군집간의 제곱 상관계수(이하 '변수_군집 상관계수')'와 '변수가 다른 군집과 얼마나 잘 분리되어 있는가를 나타내는 지표(이하 '군집 분리 정도')'를 사용할 수 있다. '변수_군집 상관계수'는 종속 변수를 군집으로 하고 독립 변수로 제품 설계 변수를 택했을 때의 결정계수($R^2$)와 같다. 이 값이 클수록 변수가 군집의 변화와 유사하게 반응하므로, 결국 변수가 군집을 대변할 수 있음을 의미한다. '군집 분리 정도'는 두 단계를 통하여 도출할 수 있다. 먼저 군집내 변수와 다른 군집과의 제곱 상관계수 가운데 가장 큰 값(이하 '외부 군집 상관계수')을 구한다. '외부 군집 상관계수' 값이 작을수록 군집이 서로 분리되어 있음을 의미한다. 그러나 '외부 군집 상관계수' 값만을 이용하여 군집의 분리 정도를 파악하게 되면, '외부 군집 상관계수'는 작아서 조건을 만족하지만, 클수록 좋은 '변수_군집 상관계수' 값이 작은 변수를 군집의 대표변수로 선택할 가능성이 존재한다. 이러한 가능성을 배제하기 위하여 1에서 '변수_군집 상관계수'를 뺀 값과 1에서 '외부 군집 상관계수'를 뺀 값의 비를 변수 선택 기준인 '군집 분리 정도'로 이용한다.

제품 설계 변수의 군집 분석 결과 형성되는 각 군집에 대하여 변수_군집 상관계수 값이 가장 크고, 군집 분리 정도 값이 가장 작은 변수를 해당 군집의 대표 변수로 선정함으로써 원래의 제품 설계 변수의 개수보다 훨씬 적은 수의 변수를 선별할 수 있다.

## 2.4. 부분 최소 자승법에 의한 선별

부분 최소 자승법(Partial Least Squares Method)은 화학 공정과 같이 품질 특성치에 영향을 주는 변수의 수가 무수히 많으며, 관

표 2. 부분 최소 자승법에 의한 변수 추출 원리

| 설명량 \ 변수 | | $X_1$ | $X_2$ | … | $X_n$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $T_1$ | $SS_1$ | $W_{11}$ | $W_{12}$ | … | $W_{1n}$ |
| $T_2$ | $SS_2$ | $W_{21}$ | $W_{22}$ | … | $W_{2n}$ |
| … | | … | … | | … |
| $T_p$ | $SS_p$ | $W_{p1}$ | $W_{p2}$ | … | $W_{pn}$ |
| VIP | | $\sum_{i=1}^{p} SS_i W_{i1}^2 \times \frac{n}{\sum_i SS_i}$ | $\sum_{i=1}^{p} SS_i W_{i2}^2 \times \frac{n}{\sum_i SS_i}$ | … | $\sum_{i=1}^{p} SS_i W_{in}^2 \times \frac{n}{\sum_i SS_i}$ |

심있게 조절하고자 하는 품질 특성치의 수도 많을 경우, 영향을 주는 변수들의 관계와 영향을 받는 품질 특성치들의 관계를 종합적으로 고려하여 새로운 변동 설명 요인을 도출하는 방법이다(Geraldi and Kowalski, 1986).

사용편의성 평가 모델에서 독립 변수인 제품 설계 변수 측정 결과와 종속 변수인 사용편의성 평가 결과에 대하여 부분 최소 자승법을 적용하면, 측정 결과와 평가 결과의 변동을 모두 설명할 수 있는 잠재 변수를 도출할 수 있다. 부분 최소 자승법에 의한 제품 설계 변수 선별 방법은 다음과 같이 제안된다.

표2에서 $X_j$는 상관 관계가 존재하는 제품 설계 변수들이며, $T_i$는 제품 설계 변수와 사용편의성 평가 결과를 설명할 수 있는 잠재 변수이다. $W_{ij}$는 잠재 변수 $T_i$와 제품 설계 변수 $X_j$의 연관 계수이다. $SS_i$는 잠재 변수를 독립 변수로 이용하여 사용편의성의 선형 회귀 모델을 수립하였을 때 도출할 수 있는, 잠재 변수 $T_i$의한 사용편의성 평가 결과의 변동 설명량(Variance Explained)이다. 이 값이 클수록, 사용편의성 평가 모델에서 요인 $T_i$가 설명하는 비중이 크다는 것을 의미한다.

식(3)은 j 번째 제품 설계 변수에 의한 모델의 변동 설명량을 의미하며, 각 변수에 의한 변동 설명량과 전체 변동량과의 비를 나타내는 식(4)는 전체 변동에 대한 제품 설계 변수의 영향도라고 볼 수 있다.

$$\sum_{i=1}^{p} SS_i * W_{ij}^2 \quad \cdots\cdots (3)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{p} SS_i W_{ij}^2}{\sum_i SS_i} \quad \cdots\cdots (4)$$

각 변수의 영향도 값에 전체 제품 설계 변수의 수 n을 곱하여 영향도의 평균을 1로 변환한 값을 VIP(Variable Importance in Projection)라고 부르며, VIP 값이 1보다 큰 변수는 다른 변수들에 비하여 변동 설명량이 크다는 것을 의미한다(Umetri AB, 1996). 이와 같은 개념을 적용하면, 다른 변수에 비하여 사용편의성 평가 결과의 변동 설명량이 큰 변수, 즉 VIP가 1보다 큰 변수를 사용편의성에 영향이 큰 변수로 선별할 수 있으며, 이

과정은 전문가의 노하우에 의한 제품 설계 변수의 중요도 산출 과정을 대체할 수 있다.

## 3. 사용편의성 평가모델 개발

### 3.1. 전자제품의 사용편의성 평가실험

통계적 기법에 근거한 제품 설계 변수 선별 방법의 유효성을 검증하기 위하여 사용편의성 평가 기술 개발 연구(한성호 등, 1998)에서 수집된 제품 설계 변수 측정 결과와 사용편의성 평가 결과 데이터를 이용하였다.

전자제품의 설계 변수는 '버튼의 개수', '몸체의 색상'과 같이 다른 설계 변수와는 무관한 변수와 '상태 표시등의 Color Coding', '디스플레이 아이템의 인식 정도'와 같은 다른 제품 설계 변수와 밀접한 연관관계를 갖는 변수로 구분할 수 있다. 이러한 특성들을 포괄적으로 고려한 88개의 오디오/비디오 제품의 설계 변수가 개발되었다(한성호 등, 1998). 88개의 제품 설계 변수는 '몸체 색상의 개수', '디스플레이 면적'과 같이 실측을 통하여 측정하는 유형(Measure type, 27개)과 '몸체 굴곡의 정도', '콘트롤의 광택'과 같이 전문가의 Rating을 통하여 측정하는 유형(Rating type, 34개), 그리고 '몸체의 색상', '미디어 로딩 방법'과 같은 다양한 대안 가운데 선택하는 범주형(Category Type, 27개)의 변수로 구분할 수 있다.

사용편의성 평가 실험을 통해, '몸체의 크기', '컨트롤의 개수', '디스플레이 패널의 색상' 등 총 88개의 제품 설계 변수가 36종의 실제 제품들에 대하여 측정되었다. 또한, 30명의 피실험자들이 실제 오디오/비디오 제품을 관찰하거나 간단한 조작을 하면서 느끼는 '고급감', '견고성', '기억성' 등과 같은 사용편의성 요소의 수준을 100점 만점으로 평가한 사용편의성 평가 결과를 수집하였다.

### 3.2. 제품 설계 변수 선별 결과

전문가에 의한 제품 설계 변수 선별(이하 '전문가 선별')과정은 제품 설계 변수의 유형에 관계없이 선별이 가능하므로 88개의 제품 설계 변수(한성호 등, 1998)가 모두 선별 과정에 적용되었다. 반면에 주성분 모형에 의한 제품 설계 변수 선별(이하 '주성분 선별')과 군집 분석에 의한 제품 설계 변수 선별(이하 '군집 선별') 그리고 부분 최소 자승법에 의한 제품 설계 변수 선별(이하 '부분최소자승법 선별')은 변수들간의 상관관계나 고유값(Eigen-value) 등을 구하는 통계적 분석 과정이 필요한데, 범주형의 변수는 이러한 분석에 적합하지 않으므로 선별 과정에서 제외하였다. 본 연구에서는 다른 선별 방법들과의 객관적인 비교를 위하여, 이후 분석에 있어서 전문가 선별도 범주형 변수를 제외한 61개의 제품 설계 변수만을 고려하는 것으로 가정하였다.

통계적 기법에 근거한 제품 설계 변수 선별 방법중 주성분 선별 과 부분최소자승법 선별은 선별 과정에 있어서 사용편의성 평가 결과가 필요하다. 따라서 사용편의성 평가 기술 개발 연구(한성호 등, 1998)를 통해 개발된 32개의 사용편의성 평가 모델을 예측 성능을 기준

표 3. 사용편의성 요소의 정의 및 예측성능(한성호 등, 1998)

| 사용편의성 요소 | 정 의 | 예측성능 |
|---|---|---|
| 품 위 감 | 제품으로부터 느껴지는 고상하고 우아한 느낌을 평가하는 감성요소 | 0.99 |
| 안 락 성 | 제품이 심리적으로 편안하고 여유있게 느껴지는 정도를 평가하는 감성요소 | 0.98 |
| 주 목 성 | 제품이 시선을 끌며 감탄을 자아내는 정도를 평가하는 감성요소 | 0.82 |
| 볼 륨 감 | 제품의 크기와 부피, 입체적 형태 등에 관한 감성요소 | 0.88 |
| 정 교 성 | 제품의 섬세하고 꼼꼼함을 평가하는 감성요소 | 0.71 |
| 견 고 성 | 제품이 단단하고 튼튼하게 보이는 정도를 평가하는 감성요소 | 0.72 |

표 4. 선별된 제품 설계 변수 개수 (단위 : 개)

| 선별방법 | 견고성 | 볼륨감 | 안락성 | 정교성 | 주목성 | 품위감 | 평 균 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 전문가 선별 | 26 | 5 | 30 | 42 | 18 | 37 | 26.3 |
| 주성분 선별 | 26 | 35 | 26 | 28 | 32 | 32 | 29.8 |
| 군 집 선별 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20.0 |
| 부분최소자승법 선별 | 20 | 20 | 16 | 25 | 20 | 15 | 19.3 |

으로 상($0.9 < R^2$ ), 중($0.8 < R^2 < 0.9$), 하($0.7 < R^2 < 0.8$)로 구분하고 각 그룹에서 사용편의성 평가 모델을 2개씩 선택하였다(표3 참조).

### 3.2.1. 변수 선별 결과 분석

표4는 사용편의성 요소별로 각 선별 방법에 의하여 선별된 제품 설계 변수의 개수를 나타낸 것이다. 전문가 선별은 사용편의성 요소에 대하여 제품 설계 변수 각각의 중요도를 전문가가 판단하는 방법이므로, 사용편의성 요소별로 선별된 제품 설계 변수의 수가 다양하다. 정교성의 경우 전체 61개의 변수 가운데 69%에 해당하는 42개의 제품 설계 변수가 선별되었다. 이와 같이 많은 제품 설계 변수가 선별된 경우는 적은 수의 변수를 선별함으로써 발생할 수 있는 정보의 손실을 최소화하려는 전문가의 의도에 기인한 것으로 유추할 수 있다. 또한 볼륨감과 같이 매우 적은 수의 변수가 선별된 경우는 제안된 제품 설계 변수가 해당 사용편의성 요소의 변화를 설명하기에 충분하지 않기 때문으로 유추할 수 있다(표4 참조).

이러한 현상을 통하여, 전문가 선별이 경우에 따라 탄력적으로 변수를 선별할 수 있다는 장점을 가지고 있음을 알 수 있다, 그러나 너무 많은 수의 변수를 선별하기 때문에, 제품 설계 변수 선별로서의 의미가 감소될 수 있다.

주성분 선별과 부분최소자승법 선별은 사용편의성 평가 결과에 대한 제품 설계 변수의 영향도가 평균 이상인 것을 추출한 것으로, 주성분 선별 결과가 부분최소자승법 선별 결과에 비하여 변수 개수가 많은 편이다(표4 참조). 부분최소자승법을 통해 선별된 변수의 개

표 5. 부분최소자승법 선별과 주성분 선별의 변수 개수 비교 (단위 : 개)

| | 견고성 | 볼륨감 | 안락성 | 정교성 | 주목성 | 평 균 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 주성분 & 부분최소자승법 공통 선별 개수 | 11 | 18 | 11 | 22 | 16 | 12 |
| 부분최소자승법 선별 변수 개수 | 20 | 20 | 16 | 25 | 20 | 15 |
| 공통 변수 비율(%) | 55 | 90 | 69 | 88 | 80 | 80 |

표 6. 전문가 선별과 다른 선별 결과의 공통 변수 비율 (단위 : %)

| | 견고성 | 볼륨감 | 안락성 | 정교성 | 주목성 | 품위감 | 평 균 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 주성분 선별 | 38 | 100 | 50 | 40 | 39 | 57 | 54 |
| 부분최소자승법 선별 | 31 | 100 | 43 | 36 | 28 | 32 | 45 |
| 군집 선별 | 31 | 0 | 30 | 33 | 17 | 24 | 22.5 |

수와 주성분 선별과 부분최소자승법 선별에 의하여 공통으로 선별된 개수의 비율은 평균 77%이며, 정리하면 다음 표5와 같다(공통 변수 비율 = (공통 변수 개수 / 부분최소자승법 선별 개수)). 이러한 결과에 근거하면, 다른 선별 방법들에 비하여 높은 공통 변수 비율을 보이는 주성분 선별과 부분최소자승법 선별은 사용편의성을 분석하는 사람의 의도에 따라 선택적인 적용이 가능하다. 예를 들면, 적은 수의 변수를 선별하고자 한다면 부분최소자승법 선별을 적용하고, 사용편의성 평가 결과에 비하여 제품 설계 변수 측정 결과에 주안점을 두고 변수를 선별하려면 주성분 선별을 적용하는 것이 가능하다.

전문가에 의하여 선별된 변수 개수와 다른 방법을 통해 선별된 변수중에서 전문가 선별 결과와 공통인 변수 개수의 비는 표6과 같다 (공통 변수 비율 = (공통 변수 개수 / 전문가 선별 개수)). 전문가 선별 결과 5개 변수가 선별된 볼륨감을 제외하면 전문가의 노하우에 의하여 이루어지는 전문가 선별과 통계적 기법에 근거한 선별 방법들과의 공통 변수 비율은 평균 35%로 낮은 편이다.

군집 선별은 제품 설계 변수의 측정 결과에 의하여 생성되는 군집의 개수에 따라 변수의 개수가 결정되기 때문에 사용편의성 평가 결과와는 무관하므로, 사용편의 성 요소에 관계없이 20개의 동일한 변수가 선별되었다. 군집 선별은 한번의 선별로 모든 사용편의성 요소에 적용이 가능하다는 장점과 선별된 변수들의 사용편의성 요소에 대한 영향도의 크기를 파악할 수 없는 단점을 가지고 있다.

## 3.3. 사용편의성 평가 모델 개발 방법

선별된 제품 설계 변수들을 독립 변수로 하고, 제품별 30명의 피실험자들의 사용편의성 요소 평가 결과의 평균을 종속 변수로 사용하여

사용편의성 평가 모델을 개발하였다. 모델의 독립 변수로 선별된 제품 설계 변수의 1차 항, 2차 항, 교호작용 항을 고려하였다. 모델의 자유도를 고려하여, 경우에 따라 단계별 방법(Stepwise Regression)또는 후진 제거법(Backward Elimination)을 선택적으로 적용하여 사용편의성 평가 모델의 변수를 선정하였다. 다중 회귀 모델에서 독립 변수들 사이에 다중 공선성이 존재하면 모델의 회귀 계수 추정과 모델 결과 해석에 문제가 발생하기 때문에, 이를 해결하기 위하여 각 독립 변수의 VIF(Variance Influence Factor)값을 구하여 이 값이 5~10이하가 될 경우에 다중공선성의 영향이 적다고 가정하였다(전치혁 등, 1998). 따라서 사용편의성 평가 모델을 개발하는 과정에서는, 모델에 포함된 모든 독립 변수의 VIF값이 10이하가 될 때까지 독립변수를 제거하는 과정을 반복하여 초기 모델을 도출하였다. 초기 모델을 구성하는 독립 변수중에서 최대 VIF 값을 갖는 변수를 제거하여 개선 모델을 생성하였으며, 개선 모델을 구성하는 변수중에서 최대 VIF 값을 갖는 변수를 제거하는 과정을 반복적으로 수행함으로써 여러 개의 사용편의성 평가 모델 대안을 생성하였다. 초기 모델과 개선 모델의 결정계수($R^2$), 예측 잔차 제곱합(PRESS), 독립 변수의 개수 등을 고려하여 최종 사용편의성 평가 모델을 결정하였다. 이와 같은 모델링과정에 대한 보다 상세한 설명은 김종서(2000) 및 한성민 등(1998)의 연구에 기술되어 있다.

## 3.4. 사용편의성 평가모델의 성능분석

통계적 기법에 근거한 제품 설계 변수 선별 방법의 효용성을 검증하기 위하여 전문가 선별 결과를 이용하여 수립된 모델과 주성분 선별, 군집 선별, 부분최소자승법 선별 결과를 이용하여 수립된 모델의 결정계수, 예측 잔차 제곱합, 독립 변수의 개수와 같은 모델 성능을 분석하였다.

### 3.4.1. 결정계수

결정계수($R^2$)는 그림2에 나타난 것과 같이,

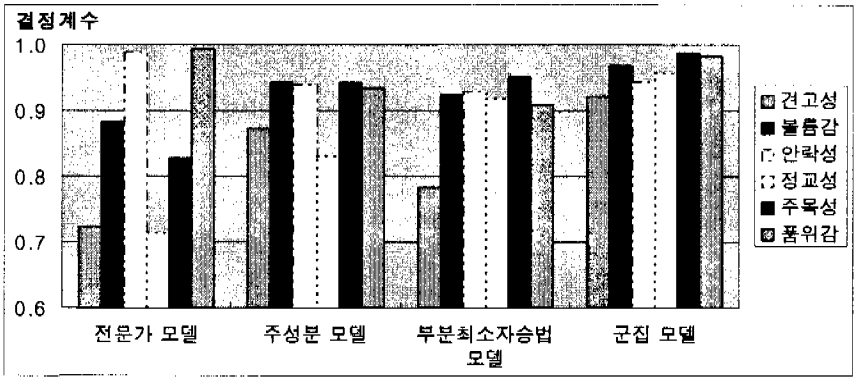



그림 2. 사용편의성 평가 보델의 결정 계수($R^2$)

모델 결정 계수의 평균 : 전문가(0.86), 주성분(0.91), 부분최소자승법(0.90), 군집(0.96)

모든 사용편의성 요소에 대하여 0.7 이상의 값을 나타내므로, 모델의 예측력이 전반적으로 우수하다고 평가할 수 있다. 군집 선별 모델의 평균 $R^2$가 0.96으로 가장 좋으며, 주성분 선별 모델과 부분최소자승법 선별 모델의 $R^2$도 0.9 이상으로 우수하다. 전문가 선별 모델은 매우 높은 $R^2$를 보이는 사용편의성 요소도 있으나, 반면에 낮은 $R^2$를 보이는 사용편의성 요소도 존재하기 때문에 평균 $R^2$ 값(0.86)이 다른 방법에 비하여 낮은 것으로 나타난다. 전반적으로 전문가 선별에 비하여 통계적 분석에 근거하여 제품 설계 변수를 선별하는 방법이 훨씬 높은 모델 예측력을 갖는다고 볼 수 있다.

### 3.4.2. 독립 변수의 개수

주성분 선별 모델과 부분최소자승법 선별 모델중에는 전문가 선별 모델과 군집 선별 모델의 독립 변수의 절반 이하의 변수 개수를 갖는 모델이 존재한다(그림3 참조). 볼륨감의 경우에는 6개 이하의 변수로도 높은 $R^2$를 갖는 모델의 도출이 가능하다. 군집 선별결과를 이용한 볼륨감 평가 모델의 변수 개수가 다른 방법에 비하여 많은 이유는 초기 모델의 변수 개수가 14개로 많았으며, 후진 제거법으로 변수를 하나씩 줄이는 방식으로 모델을 도출하였기 때문이다. 주성분 선별 모델과 부분최소자승법 선별 모델의 변수 개수가 적은 이유는 사용편의성 평가 결과의 변동을 통계적으로 잘 설명하는 변수를 이용하여 모델을 도출하였기 때문으로 유추할 수 있다.

### 3.4.3. 예측 잔차 제곱합

예측 잔차 제곱합(Predicted REsidual Sum of Squares, PRESS)은 작을수록 모델의 예측력이 안정화되어 있음을 의미한다. 그림4를 보면, 절대적으로 우월한 PRESS 값을 보이는 선별방법은 존재하지 않는다. 그러나, 전문가 선별 모델의 PRESS 값(평균 1706.39)이 통계적 분석을 통하여 제품 설계 변수를 도출한 경우의 PRESS 값(세 방법의 평균 396.47)에 비하여 훨씬 큰 것으로 나타났다. 특히 부분최소자

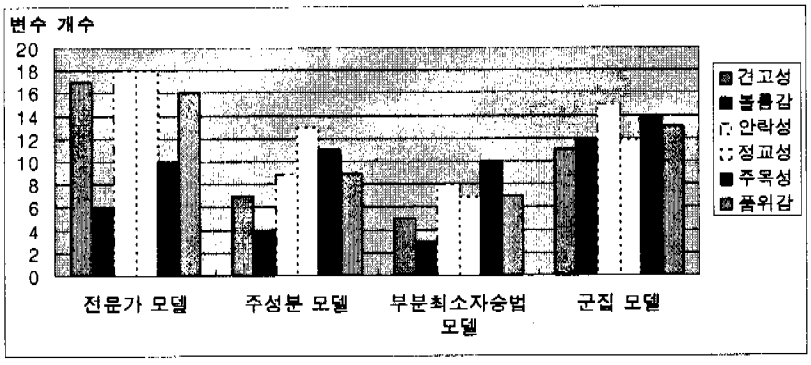



그림 3. 사용편의성 평가 모델의 변수 개수

모델 변수 개수의 평균 : 전문가(14.2), 주성분(8.8), 부분최소자승법(6.7), 군집(12.8)

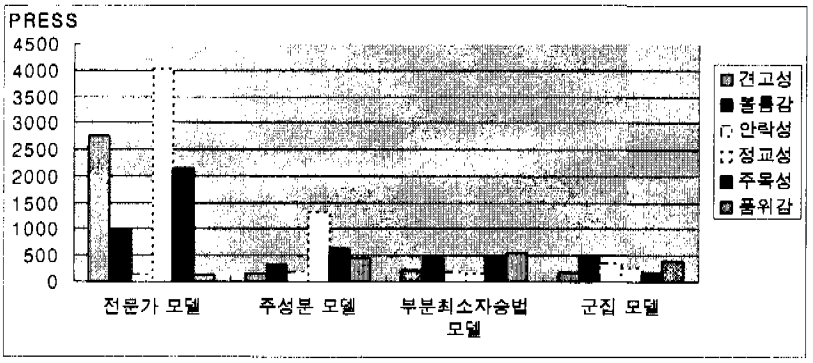



그림 4. 사용편의성 평가 모델의 PRESS

모델 PRESS의 평균 : 전문가(1706), 주성분(518), 부분최소자승법(353), 군집(319)

승법 선별 모델과 군집 선별 모델의 PRESS 값은 6개 사용편의성 요소 모두에 대하여 작으면서도 변동이 크지 않다. 따라서, 부분최소자승법 선별 모델과 군집 선별 모델의 예측력이 상당히 안정적임을 알 수 있다.

전문가 선별 결과를 이용한 모델은 평균 14개의 변수를 이용하여 0.85 정도의 $R^2$값을 나타낸다. $R^2$값이 높은 안락성, 품위감 모델의 경우에는, 모델에 포함된 변수의 개수가 많기 때문에 효과적인 모델이라고 볼 수 없다. 모델의 안정성을 의미하는 PRESS 값도 매우 크다. 이러한 경향으로부터 전문가 선별은 통계적으로 의미가 적은 변수도 선별하기 때문에, 모델의 예측력이 다른 선별방법의 결과를 이용한 모델에 비하여 우수하지 않으며, 모델이 안정적인 성능을 나타내지 못한다고 결론지을 수 있다.

주성분 선별 결과를 이용한 모델은 평균 9개의 제품 설계 변수만으로도 $R^2$가 0.91 정도의 높은 모델 예측력을 보여준다. 전반적으로 안정적인 모델 성능을 보여주지만, 특정 사용편의성 요소의 경우에는 안정적이지 못한 경우도 발생한다. 주성분 선별은 비교적 적은 제품 설계 변수를 이용하여 사용편의성을 평가, 설명하는 모델을 수립하는데 적합한 방법으로 판단된다.군집 선별 결과를 이용한 모델은 평균 13개 정도의 제품 설계 변수로 $R^2$값이 0.96정도의 매우 뛰어난 모델 예측력을 나타낸다. 다른 선별 방법의 결과를 이용한 모델이 비하여 매우 안정적인 모델 예측력도 갖고 있다. 비슷한 수의 독립 변수를 갖으면서도 상대적으로 낮은 $R^2$ 값을 보이는 전문가 선별 모델과 비교해 볼 때, 군집 선별은 사용편의성에 영향을 미치는 제품 설계 변수를 효과적으로 선별하고 있음을 알 수 있다. 부분최소자승법 선별 결과를 이용한 모델은 평균 7개의 제품 설계 변수로 $R^2$가 0.90정도의 높은 모델 예측력과 비교적 안정적인 예측 성능을 보여준다. 주성분 선별 결과를 이용한 모델의 성능과 부분최소자승법 선별 결과를 이용한 모델의 성능이 거의 유사하며, 부분최소자승법 선별에 의하여 선별된 변수의 평균

표 7. 모델의 목적에 적합한 변수 선별 방법

| 모델 목적 | 변수 선별 방법 |
|---|---|
| 정확한 사용편의성 예측 및 평가 | 주성분 선별, 군집 선별, 부분최소자승법 선별 |
| 용이한 해석 | 전문가 선별 |
| 안정적인 사용편의성 예측 | 군집 선별, 부분최소자승법 선별 |
| 적은 독립 변수 | 주성분 선별, 부분최소자승법 선별 |

77%가 주성분 선별에 의하여 선별된 변수와 일치하는 점을 감안하면, 주성분 선별과 부분최소자승법 선별은 서로 대체 가능하다고 볼 수 있다.

통계적 분석에 근거한 선별 방법의 결과를 이용한 모델은 전문가 선별 결과를 이용한 모델에 비하여 적은 변수 개수로도 안정적이면서도 높은 예측성능을 보여준다. 그러나 변수 선별 방법이 설계 변수 측정 결과의 분포 분석에만 의존하고 있기 때문에, 모델에 포함된 변수의 해석이 용이하지 않은 경우도 발생한다. 반면에 전문가 선별은 전문가의 노하우에 의하여 변수를 선별하기 때문에 변수 하나하나의 해석이 상대적으로 용이하다. 이와 같은 경향을 종합하면, 개발하려는 사용편의성 평가 모델의 목적에 따라 변수 선별 방법의 선택적인 적용이 가능하다(표7 참조). 사용편의성 평가 모델의 목적이 보다 정확한 사용편의성 예측인 경우에는 주성분 선별, 군집 선별, 부분최소자승법 선별이 적합한 방법이며, 정확한 평가 결과 예측보다는 모델에 포함된 변수가 상식적으로 이해 가능한 변수가 모델에 포함되는 것이 목적인 경우에는 전문가 선별이 적합한 방법이다. 예측 성능이 정확하면서도 안정적인 모델을 개발하고자 한다면 군집 선별과 부분최소자승법 선별이 바람직하며, 적은 수의 독립변수가 모델에 포함되는 것이 목적이라면 주성분 선별과 부분최소자승법 선별이 적합한 방법이다.

## 4. 결 론

본 연구는 사용편의성 평가 모델을 수립하는 과정에서 주관적이고 임의적인 경향이 높은 전문가에 의한 제품 설계 변수 선별 방법(전문가 선별)을 대체할 수 있는 선별 방법, 즉 제품 설계 변수의 측정 결과와 사용편의성 평가 결과를 이용한 객관적인 통계분석에 근거를 둔 제품 설계 변수 선별 방법(제품 설계 변수 측정 결과의 군집 분석을 이용한 선별 방법(군집 선별), 제품 설계 변수 측정 결과의 주성분 과 사용편의성 평가 결과의 주성분 모형을 이용한 선별 방법(주성분 선별), 제품 설계 변수 측정 결과와 사용편의성 평가 결과의 변동을 동시에 설명할 수 있는 잠재 변수를 부분 최소 자승법에 근거하여 도출하여 변수를 선별하는 방법(부분최소자승법 선별))을

제안하고, 제안된 방법들을 실제 사용편의성 평가 모델 수립에 적용함으로써 그 효용성을 입증하고자 하였다.

제안된 선별 방법을 이용한 사용편의성 평가 모델은 전문가 선별 결과를 이용한 모델에 비하여, 적은 수의 독립 변수만을 이용하여 우수한 예측성능을 나타내어 제안된 변수 선별 방법의 유효성을 확인할 수 있었다. 사용편의성 평가 모델 개발 과정의 취약점으로 여겨지던 불확실하고 주관적인 제품 설계 변수와 사용편의성간의 연관관계 설정과정을 사용편의성에 대한 정량화된 제품 설계 변수의 중요도를 제공함으로써 모델 개발 과정의 충실도 향상에 기여한 것에 본 연구의 의의가 있다.

제안된 선별 방법을 이용한 사용편의성 평가 모델에 포함된 변수의 해석이 용이하지 않은 경우도 존재하므로, 각 선별 방법별 특성을 충분히 고려하여, 개발하고자 하는 모델의 목적에 적합한 선별 방법의 사용이 필요하다. 또한 통계적 분석에 근거한 세가지 선별 방법들은 완전히 새로운 규격을 갖는 제품 설계 변수가 등장하거나 제품의 종류가 조금만 바뀌게 되면 분석을 다시 수행해야 한다. 즉, 선별 결과의 재적용이 불가능하다는 단점이 존재한다. 반면, 사용편의성 평가 모델에 필요한 제품 설계 변수의 통계적 선별 방법은 기준이 모호하며, 시간과 비용이 많이 소요되는 전문가에 의한 제품 설계 변수 선별 과정을 효과적으로 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고 문헌


김종서, 사용편의성에 영향을 미치는 제품 설계 변수의 통계적 선별 방법, 석사학위논문, 포항공과대학교, 2000.

김충련, SAS라는 통계 상자, 데이터플러스, 1993.

전치혁, 정민근, 이혜선, 공학응용통계, Postech PRESS, 1998.

한성민 김광재, 한성호, 윤명환, 전자제품의 사용편의성 평가 모델 개발, 대한인간공학회 추계학술대회, (pp. 321324), 1998.

한성호 윤명환, 김광재 조성준 외, 사용편의성 평가 기술 개발, 선도기술사업 연구 보고서 (Unpublished), 포항공과대학교, 1998.

Dunteman, G. H., Principal Components Analysis, SAGE Publications, 1989.

Geraldi, P. and Kowalski, B. R, Partial Least-Squares Regression: A Turorial, Analytica Chimica Acta, 185, 1 17, 1986.

Han, S. H., M. H. Yun, J. Kwahk, S. W. Hong, Usability of consumer electronic products, Proceedings of the 5th pan-pacific conference on occupational ergonomics, (pp 208-211), Kitakyushu, Japan, 1998.

Ishihara, S., Ishihara, K., Nagamachi, M., Matsubara, Y., Analysis of Kansei Structure on Women's Suit Design by Neural Networks, In R.J. Koubek and W. Karwowski(Ed), Manufacturing Agility and Hybrid Automation-I, 1996.

Jindo, T. and Hirasago, K., Application Studies to car interior of Kansei engineering, Interantional Journal of Industrial Ergonomics, 19 105-114, 1997.

Myers, B. A. and Rosson, M. B, Survey on User Interface Programming, Proceedings of CHI Conference on Human Factors in Computing System, New York, Masic Book, 1992.

Nagamachi, M, Kansei Engineering: A new ergonomic consumer-oriented technology for product development, International Journal of Industrial Ergonomics, 15 3-11, 1995.

Nagamachi, M., An Image Technology Expert System and Its Application to Design Consultation, International Journal of Human-Computer Interaction 3(3) 267-279, 1991.

Umetri AB, User's Guide to SIMCA-P, Umetri AB. 1996.

## 저자 소개

◈ **김종서**

포항공과대학교 산업공학과 학사
포항공과대학교 산업공학과 석사
현재 포항공과대학교 산업공학과 박사과정
관심분야: 감성공학, 가상현실, HCI

◈ **한성호**

서울대학교 산업공학과 학사
서울대학교 산업공학과 석사
Virginia Polytechnic Institute & State University, Dept. of Industrial and Systems Engineering, Ph. D.
현재 포항공과대학교 산업공학과 부교수
관심분야: HCI, Product interface design and evaluation, Human factors engineering

논문접수일(Date Received) : 2000/11/2
논문게재승인일(Date Accepted) : 2000/12/11