*Journal of the Ergonomics Society of Korea*
Vol. 27, No. 2 pp.15-24, May 2008 

# AHP 및 Fuzzy를 이용한 제품기획단계에서의 안전성 평가

박 지 영 · 조 암

동국대학교 산업시스템공학과

# A Safety Evaluation Method for a Product Design Planning Stage: Application of AHP and Fuzzy

Ji Young Park, Am Cho

Department of Industrial & Systems Engineering, Dongguk University, Seoul, 100-715

**ABSTRACT**

As users increasingly recognize the importance of safety and the Product Liability comes into effect, a company should take responsibility of protecting the users who use its product. In order to produce a safe product and satisfy the needs of users, it is critical for developers to evaluate the safety of the product appropriately and understand the characteristics of the product accurately. Furthermore, a safe product can be realized by considering a safety level of the product in a whole product development process. However, in general, product development projects hardly evaluate the safety of a product in the product planning step. In addition, most of safety evaluation methods which are applied in the product planning step have a tendency to be qualitative because a detailed product design can not be specified in this step. Therefore, this research aims at enhancing the performance of the safety evaluation process by applying quantitative methods such as 'AHP' and 'Fuzzy'. AHP can help analysts derive the weight of safety factors. Fuzzy is applied to evaluate the degree of safety of product elements in this paper. The proposed method will be able to improve the safety level of a product by using the quantitative methods in the product planning step.

Keyword: Product development, Safety evaluation, AHP, Fuzzy

## 1. 서 론

최근 사용자에게 발생되는 사고를 보면 제품 제조상의 불량으로 인한 사고보다 제품 자체의 설계가 잘 못 되어 있거나, 안전장치 미비 등에 의한 사고가 많다. 최근 많은 기업들은 6sigma 등 불량을 최대한 감소시키기 위해 노력을 기울이고 있으며, 한국은 2002년 시행된 제조물책임법으로 사용자의 제품 사용 시 안전에 대한 인식이 바뀌고 있다. 미국의 안전연구전문기관인 NSC(National Safety Council)는 국가나 기업은 제품의 결함으로 인한 사고를 철저히 분석하여 그 결과를 해당 제품의 설계에 반영하도록 해야 할 필요가 있다고 하였다. NSC는 사고분석을 통해 얻어진 결과를 재차 설계에 반영해야 한다고 강조하였으며, 사고를 예방하는 비용이 사고를 처리하는 비용보다 경제적이며, 제품의 안전성을 보다 쉽게 확보할 수 있는 방법임을 강조하고 있다.

제품개발은 제품기획단계, 제품설계단계, 제품생산단계의

교신저자: 박지영
주 소: 100-714 서울시 중구 필동3가 26번지, 전화: 02-2260-3376, E-mail: duzen@dongguk.edu

3단계인 제품개발프로세스에 의해서 개발된다. 개발된 제품의 안전성을 높이기 위해서는 제품개발 전(全)과정에서 안전성 평가가 실시되어야 한다. 기존의 제품 안전성 평가방법을 살펴보면 생산된 제품의 사고분석을 통한 사후평가가 대부분이며, 제품에 사용되는 부품의 신뢰도를 활용하여 세부설계단계에서 안전성 평가를 실시하고 있다. 오상준(2006)은 제품수명주기상의 각 단계별 불확실성 및 비용발생 정도에 대하여 제품개발 초기단계일수록 기회 및 제약에 대한 불확실성은 높으나 재조정에 대한 비용과 시간을 절약할 수 있다고 하였다. 이것은 제품개발 초기단계인 제품기획단계가 제품개발에 사용되는 시간 및 비용 측면에서 매우 중요한 단계임을 제시하고 있다. 이용표(2005)는 제품단계별 원가결정 비중에서 초기제품 개념정립이 필요한 개념설계 즉 제품기획단계가 제품원가의 70% 이상을 차지한다고 하였다. 따라서 제품개발프로세스 초기단계에서 제품평가를 실시하는 것이 설계단계 이후 평가나 사후평가보다 효과적임을 알 수 있다. 제품기획단계에서 실시되는 기존의 평가방법은 소비자 요구사항이나 디자이너 요구사항을 제품에 적용하기 위한 방법이 주를 이루고 있다. 그리고 PHA, What-if, Check-list 등의 방법이 제품의 안전성을 평가하기 위해 사용되었다. 이러한 방법은 경험이 풍부한 전문평가자가 자신의 경험을 통해 실시하는 방법으로, 제품평가에 대한 평가 기준이 평가자 마다 다를 수 있으며, 전문가를 확보하기 어려운 중 · 소기업에서는 안전성 평가를 실시하는 것이 쉽지 않다.

따라서 본 연구는 제품기획단계에서 동일한 요소에 대하여 평가할 수 있으며, 안전성 평가에 대한 비전문가도 제품기획단계에서 안전성 평가를 실시할 수 있도록 AHP (Analytic Hierarchy Process)와 Fuzzy방법을 활용하여 제품기획단계에서 사용할 수 있는 안전성 평가방법을 개발하고자 한다.

## 2. 기존 연구

### 2.1 기존의 제품개발프로세스 및 제품기획방법

#### 2.1.1 일반적인 제품개발프로세스

Ulrich & Eppinger(2004)의 제품개발프로세스나 디자인 프로세스를 살펴보면 연구자나 제품, 상황에 따라 여러 단계로 진행되고 있다. 그러나 각 프로세스를 크게 살펴보면 그림 1과 같이 계획 및 개념설계(concept design)에 해당하는 기획단계, 상세설계(detail design)단계, 생산(production)단계로 나누어 볼 수 있다.

제품기획단계에서는 사용자의 요구사항과 기술력에 기초

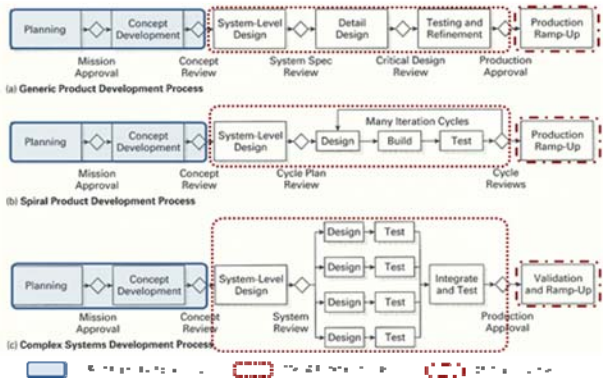


**그림 1.** 제품개발프로세스

한 제품의 기본적인 방향을 설정한다. 제품의 방향성이 결정되면 제품의 기능이나 용도, 감성, 조형적 기호를 설정하고 Concept을 세운다. 이것을 위하여 시장조사와 자료수집을 수행하고 제품의 Positioning(시장에서의 제품 위치확인과 정립)과 Target(제품의 주 구매 혹은 사용대상자)을 명확히 한다. 제품기획과 디자인 Concept에 근거하여 다양한 아이디어를 전개하고 제품의 조형을 구체화해 나간다.

디자인 설계단계에서는 제품의 기능, 구조, 용도, 유행 등을 검토하면서 조형이미지를 다듬어 간다. 또한 제시되는 디자인이 처음의 제품기획이나 Concept의 방향에 맞게 디자인되었는가, 혹은 기능이나 구조상의 문제는 없는가, 시장성은 있는가 등의 여러 방향에서 검토를 행한다. 이 단계가 되면 기능이나 구조가 구체화되기 때문에 디자인의 상세한 부분까지 검토할 수 있게 되며, 여러 각도에서의 디자인평가가 시도된다.

생산단계에서는 결정된 디자인에 따라 Prototype이 제작되며, 제조 설계 및 생산라인 설계를 통한 생산이 실시된다. 또한 생산된 제품에 대한 판매 계획 등이 설계된다.

#### 2.1.2 제품기획방법

Ulrich & Eppinger(2004)의 디자인 프로세스에서 일반적인 제품기획단계를 살펴보면 그림 2와 같다. 일반적인 제품기획단계에서는 소비자의 요구사항을 확인하고, 목표 사양 설정, 제품 개념의 선정 및 시험, 최종 사양을 설정하여 제품개발 계획을 세운다. 주사용자 파악, 경쟁제품 파악, 제품 개념의 타당성 검토, 제조비용 견적, 생산 타당성 평가 및 현재 제품을 사용하는 고객의 실망과 불만사항, 제품군과 관련이 있는 라이프 사이클, 신기술 현황 파악 등이 주요 활동이다. 따라서 기획과정은 사용자 요구 및 특성을 조사하여 다양한 디자인 대안을 만드는 과정이라고 말 할 수 있으며, 이 과정에서 나오는 무수한 아이템들은 모두 평가의 대상이 될 수 있다고 볼 수 있다.

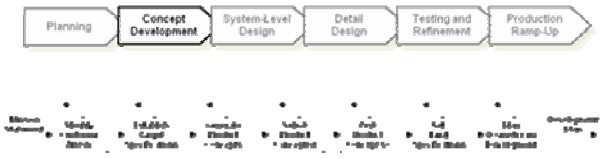


**그림 2.** 일반적인 제품기획단계 프로세스

## 2.2 제품개발프로세스에서 제품평가에 관한 기존 연구

정원과 이익성(2001), 곽효연과 이상도(1997), Shahrokhi와 Coauthor(2004) 등의 연구를 살펴보면 제품개발프로세스에서 제품평가에 의하면 제품기획단계에서는 최근 다양화된 사용자의 요구조건을 만족시키기 위한 평가방법에 대한 연구가 많이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

Hasan, et al.(2003)는 장비와 기계의 디자인이 인간의 안전의 개념에서 더 이상 분리될 수 없으며, 제품 디자이너는 이러한 안전 속성에 대하여 제품 디자인에서부터 고려하여야 한다고 하였다. 최근 사용자가 제품을 선택할 때 사용자의 개성을 중시하여 제품에 대한 감성적인 요인의 요구조건을 더 많이 요구하고 있다. 따라서 제품의 생산 형태는 대량생산체제에서 다품종 소량생산체제로 바뀌고 있으며, 제품개발주기가 더욱 빨라지고, 기업은 이러한 사용자의 욕구를 충족시키기 위하여 보다 빨리 신제품을 개발하기 위해 노력하고 있다. 그러나 제품 사용에 있어서 사용자의 기본적인 욕구인 안전에 대한 사용자의 인식도 향상되었으며, 기업은 2002년 실시된 PL법에 대한 대응방안으로 제품개발 및 생산 시 안전성 평가는 반드시 실시되어야 한다. 그리고 안전성 평가는 제품개발 초기단계에서 시행될수록 시간과 비용의 절약이 이루어 질 수 있을 것이다.

## 2.3 기존의 제품 안전성 평가방법

제품안전평가를 위해 사용된 기법으로 일반적으로 FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)와 FTA(Fault Tree Analysis)가 많이 사용되고 있다. FMEA는 예상 가능한 고장 형태에 따른 영향 정도를 추정하여 신뢰성과 안전성을 평가하는 방법으로 제조물 설계단계에서 많이 사용하고 있다. FTA는 고장을 발생시키는 사상(event)과 원인과의 인과관계를 Boolean function을 사용하여 고장 확률을 구하는 방법이다. 이 두 가지 방법은 제품이 설계단계 또는 제품이

**표 1.** 제품개발프로세스에서의 제품평가에 관한 기존 연구

| | 기 획 | 설 계 | 생 산 |
|---|---|---|---|
| Hsiao(2002) | QFD(요구사항) | | FMEA, DFA, AHP를 통한 사후분석(제품) |
| Carbonara와 Scozzia(2006) | 4종류의 Cognitive mapping 작성(인지) | | |
| 이종석(2004) | QFD(요구사항) | AHP, 쌍대분석법(제품) | |
| 박경찬(2005) | QFD or FMEA (요구사항 or 제품) | 파레토분석(제품) | |
| 김경훈, 조재립(2002) | Kano 모델(제품) QFD(요구사항) | | |
| 정원, 이익성(2001) | QFD, FA(요구사항, 제품) | FTA, FMEA(제품) | |
| Basnyat 외(2005) | | Stress point analysis (SPA) method를 실시하여 가장 고장확률이 큰 값을 도출(제품) | |
| Dowlatshahi(2001) | | ① Fault tree나 chain graph에서의 부분별 일어날 확률 도출<br>② Parameter에 대한 case cumulative expected risk (CCER) 값을 구하여 가장 값이 큰 risk를 분석 (제품) | |
| Hasan 외(2003) | | 시제품에 대한 PHA, FTA, FMEA실시(제품) | |
| Shahrokhi 외(2004) | | CAD시뮬레이션으로 안전평가(제품) | |
| Vollmer 외(2000) | | Risk 그래프 작성(제품) | |
| 윤원영, 김현식(2004) | | 서브시스템의 각 부품별로 FMEA를 실시 시제품 신뢰성 시험(제품) | 정규 양산 중 주기적으로 신뢰성을 평가(제품) |
| 정원, 김준홍(2006) | | | 고장 이 후, 고장에 대한 FMEA와 FTA의 값을 프로세스에 도입제품 |

생산된 이후 평가하는 방법이다. 이외에 PHA(Preliminary Hazard Analysis), FHA(Fault Hazard Analysis), What-if, Checklist Analysis, QFD(Quality Function Development), MORT(Management Oversight and Risk Tree), ETA (Event Tree Analysis), MMEA(Misuse Mode and Effects Analysis), THERP(Technique for Human Error Rate Prediction), HAZOP(Hazard & Operability Study), SASA (Systematic Approach to Accident Analysis) 등이 있다.

위의 방법 중 제품기획단계에서 사용되는 방법으로 QFD, PHA, What-if, Checklist Analysis 등이 있다. 제품기획단계에서 자주 사용되고 있는 QFD는 여러 가지 요구사항 중 가장 요구도가 높은 것을 설계 특성으로 변환시키는 방법으로, 안전에 대한 사용자의 요구를 파악할 수 있으나, 사용자의 요구만으로 안전성을 판단하는 것 보다 더 세밀한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

## 3. AHP 및 Fuzzy를 이용하여 제안한 안전성 평가모델

### 3.1 제안된 방법에 사용된 기법

#### 3.1.1 AHP

의사결정자가 추구하는 목표 또는 만족시키고자 하는 기준이 다수이며 복합적인 경우, 선택하고자 하는 대안들간의 체계적인 비교는 의사결정기준들 간의 상대적 중요도를 도출하고 선호되는 정도를 계량화하여, 이를 종합화함으로써 가능하다. 그러나 다기준하에서 선택 가능한 대안들의 선호도 측정과 그에 따른 평가는 의사결정자가 고려해야 할 속성과 측정에 사용되는 척도들이 다양하기 때문에 쉬운 문제가 아니다. 또한 이러한 기준들에는 객관적인 타당성을 입증할 수 있는 기준들이 있는 반면, 의사결정자 또는 의사결정자 집단의 인지에 의해서만 측정될 수 있는 정성적이고 주관적인 기준들도 있다. Saaty(1980)는 AHP(Analytic Hierarchic Process, 계층적 분석방법)는 의사결정요소들의 속성과 그 측정 척도가 다양한 다기준의사결정문제에 효과적으로 적용되어 의사결정자가 선택할 수 있는 여러 가지 대안들을 체계적으로 순위화 시키고, 그 가중치를 비율 척도로 도출하는 방법을 제시한다고 하였다.

#### 3.1.2 Fuzzy

Zadeh(1976)는 퍼지집합의 개념은 각 대상이 어떤 모임에 속한다 또는 속하지 않는다는 이진법 논리로부터, 각 대상이 그 모임에 속하는 정도를 소속함수(membership function)로 나타냄으로써 수학적으로 표현할 수 있다고 하였다. Kir & Folger(1998)은 퍼지이론은 평가대상에 대해서 예 또는 아니오 만으로는 평가하기 어려운 애매한 경우에 대한 문제점을 수학적 접근방법으로 해결하고자 한 것이라고 하였다. 즉 정성적인 퍼지 개념과 정량적인 수학과의 사이를 연결하는 중간적인 역할을 한다.

### 3.2 AHP 및 Fuzzy를 이용한 제품기획단계에서의 안전성 평가모델 제안

사고발생 이후의 안전성 평가나 세부설계단계 이후의 안전성 평가는 사고발생 빈도, 사고 정도 등의 정량적인 분석이 가능하다. 그러나 제품기획단계에서의 안전성 평가는 아직 제품에 대한 구체적인 설계가 이루어지지 않은 단계이므로 수학적 정량적인 분석이 힘들다. 또한 "예" 또는 "아니오"의 이분법적인 평가만으로는 애매한 부분이 있다. 따라서 제품기획단계에서 평가되어야 할 각 요소에 대하여 AHP와 Fuzzy를 적용하여 제품기획단계에서 안전성 평가를 실시할 수 있는 방법을 그림 3과 같이 제시하고자 한다.

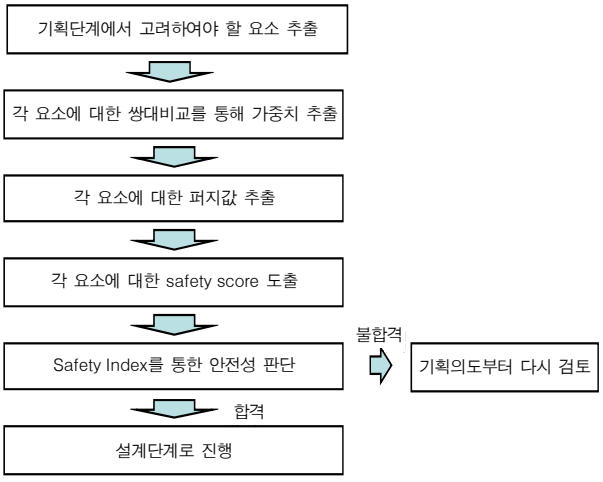


**그림 3.** 제품기획단계의 안전성 평가모형 개발 흐름도

#### 3.2.1 제품기획단계의 안전평가요소 추출

제품요소에 대한 기존 연구를 분류하면 크게 다음의 네 가지 형태로 나누어 볼 수 있다.

첫째, 생리적 특성, 심리적 특성, 인체의 구조, 둘째, Physical, Logical, Functional, 셋째, 인간요소, 사용자 유형, 행위요소, 제품요소의 3가지 요소에 대한 통합 매트릭스를 통해 평가 중요도가 높은 것을 우선으로 하는 방법, 넷째, 기존 사고분석을 통해 얻은 요인에 대하여 다차원척도법을 이용하여 안전요소 선정 후 구성부품 요소와 매칭에 대하여 다차원척도법을 실시한 후 요소를 축약하여 해당하는 구성

부품 요소를 찾아 재설계하는 방법으로 나누어 볼 수 있다.

기존 연구에서 현재 사용되고 있는 제품기획단계의 안전성 평가방법을 이용하여 사례분석을 해 본 결과, 제품기획단계에서는 단계 특성상 제품의 세부설계요소가 결정되어 있지 않으므로 평가자에 따라 같은 방법의 평가를 실시하더라도 다르게 나타날 수 있다. 또한 기존의 방법으로는 경험이 풍부한 전문가가 평가를 실시해야 하므로, 일반 중소기업이나 전문가가 확보되지 않은 기업에서는 제품기획단계에서 안전성 평가를 실시하는 것이 쉽지 않다.

기존의 안전성 평가방법들은 대부분 제품의 자체 결함에 대하여 중점을 두는 반면, 사용자의 오작동에 대한 대비가 미약하다. 따라서 제조사가 고려하지 못한 사용자의 오작동에 의한 사고는 사전에 방지할 수 있도록 하여야 한다. 최근 사용자에 따라 같은 기능의 제품이라도 다르게 설계되는 경우가 많다. 따라서 누가, 언제, 어디서, 어떻게 사용할 것인가에 대한 세부적인 분석이 이루어져야 할 것이다.

기존 연구에서 제품평가를 위해 추출된 평가요소를 분류해보면 크게 다음의 네 가지 형태로 나누어 볼 수 있다.

첫째, 제품을 사용하는 사용자의 생리적 특성, 심리적 특성, 인체의 구조, 둘째, 제품에 대한 Physical, Logical, Functional, 셋째, 개인이나 그룹의 기능적 한계 및 능력에 대한 평가로 인구통계학적 변수, 라이프스타일 변수, 인간 특성변수를 사용하여 인간요소그룹, 사용자 유형, 행위요소, 제품요소에 따라 분류한 방법, 넷째, 기존 사고분석을 통해 견고성, 정확성 등의 감성으로 표현하여 설문조사하고 다차원척도법을 실시한 후 요소를 축약하여 해당하는 구성부품 요소를 찾아 재설계하는 방법으로 다음과 같이 분류할 수 있다.

① 생리적 특성: 시각계, 청각계, 촉각계
심리적 특성: 지각계, 조작, 표시, 색채, 공간, 시간
인체의 구조: 인체계측치, 자세, 동작, 작업영역

② Physical: Size, Shape(font in text), Color, How may, Speed, Displacement, Clearance, Backlighting
Logical: Meaning, Level of detail, Grouping, Arrangement, Sequence, Spatial, movement compatibility
Functional: Usage, Method, Mode

③ 인간요소: 개인이나 그룹의 기능적 한계 및 능력에 대한 표현
인구통계학적 변수 – 성별, 연령, 가족생활주기
라이프스타일 변수 – 직업, 라이프 스타일
인간 특성 변수 – 인간특성특징(시각, 청각, 운동, 인체치수, 인지능력), 사용자 유형(특별한 배려 필요없음, 보조 도구 및 장신구 사용)
행위요소: 사용자 입장에서 목적을 달성하는 데에 상호작용하는 구조에 대한 표현, 제품을 사용하는 중요 요소 행위에 대하여, 시나리오를 만들어 정황적 태스크 분석 실시
제품요소: 개인이나 그룹이 주어진 제품을 이용하는 각종 행위에 대한 표현(Output/displays, Input/control, Documentation, Functional allocation, Operation protocol)
통합적 분석: 개인이나 그룹이 자신의 목적을 달성하기 위하여 제품을 사용할 때에 발생될 수 있는 사용자요구, 잠재된 문제점 등에 대한 표현

위의 3가지 요소에 대한 통합 매트릭스를 통해 평가 중 요도가 높은 것을 우선으로 함

④ 기존 사고분석을 통해 얻은 요인에 대하여 다차원척도법을 이용하여 안전요소 선정 후 구성부품 요소와 매칭: 견고성, 정확성, 재질감, 조작성, 작동성, 편리성, 표시성, 가시성, 지시성, 가독성, 열표시성, 간결성, 분해성, 조립성, 호환성, 마감성, 매끄러움, 부드러움, 위치성, 배열성, 방향성, 맞춤성, 적합성, 기밀성, 균형감, 안정감, 색감, 평형감

위의 기존 연구에서 사용되었던 요소에 대하여 중첩된 요소와 제품기획단계에서 확인할 수 없는 요소를 제거한 57개의 요소가 추출되었다. 세부설계요소가 결정되지 않은 제품기획단계에서 안전성 평가를 위한 요소를 추출하기에 적당한 방법으로 델파이법, KJ법, 설문조사법, 브레인스토밍 법 등이 있으며, 본 연구에서는 이 중 대면 토의를 통해 의견 수립이 용이한 브레인스토밍 방법을 사용하여 요소를 추출하였다. 기존의 연구를 통해 57개의 추출된 요소에 대하여 안전성 평가의 경험이 있는 교수 2명, 대학원생 2명으로 구성된 4명의 평가자의 브레인스토밍 방법을 통해 제품기획단계에서 고려되어야 할 요소를 추출하였다. 요소 추출 시 기획된 제품의 Target의 사용자 특성, 어디서 사용하게 되는가, 언제 사용하게 되는가, 어떤 방법으로 사용하게 되는가 등을 고려하여 요소를 추출하였다. 또한 제품기획단계에서는 세부적인 제품요소가 결정되어 있지 않으며, 제품에 대한 컨셉이 주가 된다는 것을 주의하였다. 추출된 요소로는 성별, 연령, 가족구성원, 직업, 라이프스타일, 시각, 청각, 운동능력, 인체치수, 인지능력, 보조도구 사용유무, Output display, Input control, Documentation, Functional allocation, Operation protocol의 16개의 요소를 추출하였다. 추출 요소는 제품의 종류에 따라 추가 또는 가감의 약간의 변화가 필요할 수 있으나, 위의 16개의 요소는 대부분 제품의 기획단계에서 고려되어야 할 것으로 판단되며 표 2와 같다.

**표 2.** 제품기획단계에서 고려되어야 할 요소

| 요 소 | 설 명 |
|---|---|
| 성별 | Target의 성별이 안전성에 미치는 영향 |
| 연령 | Target의 연령이 안전성에 미치는 영향 |
| 가족구성원 | Target의 가족구성 비율이나 수가 안전성에 미치는 영향 |
| 직업 | Target의 직업 유무 또는 종류가 안전성에 미치는 영향 |
| 라이프스타일 | Target의 주 생활 시간, 장소 등의 라이프스타일이 안전성에 미치는 영향 |
| 시각 | Target의 시각이 안전성에 미치는 영향 |
| 청각 | Target의 청각이 안전성에 미치는 영향 |
| 운동능력 | Target의 운동능력이 안전성에 미치는 영향 |
| 인체치수 | Target의 인체치수가 안전성에 미치는 영향 |
| 인지능력 | Target의 인지능력이 안전성에 미치는 영향 |
| 보조도구 사용유무 | Target의 보조도구 사용유무가 미치는 영향 |
| Output/display | 제품의 Output/display가 안전성에 미치는 영향 |
| Input/control | 제품의 Input/control이 안전성에 미치는 영향 |
| Documentation | 제품의 Documentation이 안전성에 미치는 영향 |
| Function allocation | 제품의 Functional allocation이 안전성에 미치는 영향 |
| Operation protocol | 제품의 Operation protocol이 안전성에 미치는 영향 |

### 3.2.2 각 요소별 가중치 계산

제품기획단계에서 안전성을 살펴보기 위하여 추출된 성별, 연령, 가족생활주기, 직업, 라이프스타일, 시각, 청각, 운동능력, 인체치수, 인지능력, 보조도구 사용유무, Output/display, Input/control, Documentation, Functional allocation, Operation protocol 등의 16개 요소에 대해 AHP의 쌍대비교 방법을 이용하여 각 요소별 가중치를 계산하며, 척도는 표 3과 같다.

**표 3.** 쌍대비교 추정치에 대한 변수 정의

| $a_{ii}$ | 정의 |
|---|---|
| 1 | 요인 $i$와 요인 $j$의 중요성이 같다 |
| 3 | 요인 $i$가 요인 $j$보다 약간 중요하다 |
| 5 | 요인 $i$가 요인 $j$보다 어느 정도 중요하다 |
| 7 | 요인 $i$가 요인 $j$보다 상당히 중요하다 |
| 9 | 요인 $i$가 요인 $j$보다 절대적으로 중요하다 |
| 2,4,6,8 | 판단기준 사이의 중간 정도의 중요성 |
| 역수 | 역의 중요성에 대응하는 중요성의 역수 |

각 평가요소 계층에 대해서 얻어진 쌍대 비교치에 대해서 $a_{ij} = W_i / W_j$ 와 같은 수식으로 각 행렬 요소값을 계산하여 식(1)과 같은 쌍대행렬을 생성한다.

요소들의 상대적 중요도는 일반적으로 합이 1인 가중치 $W$로 나타낸다. 즉, n개의 요소가 있는 경우엔 식(2)와 같이 벡터 형태로 표현될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \cdots a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} \cdots a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} \cdots a_{3n} \\ \vdots & \vdots \quad \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} \cdots a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 \cdots w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 \cdots w_2/w_n \\ w_3/w_1 & w_3/w_2 \cdots w_3/w_n \\ \vdots & \vdots \quad \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 \cdots w_n/w_n \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$W^T = (w_1, w_2, \cdots, w_n), \quad w_i \geq 0$$
$$\sum_{j=1}^{n} W_j = 1 \tag{2}$$

이 가중치 벡터 $W$는 다음과 같은 고유치 문제(eigenvalue problem)를 풀어서 도출해 낼 수 있다. $\lambda_{max}$ 는 고유치 중 가장 큰 것을 말하며 이에 대응하는 고유벡터가 식(3)과 같은 가중치 벡터 $W$가 된다. $A$는 쌍대행렬이다.

$$A'W = \lambda_{max} W \tag{3}$$

각 요소들에 대한 대안들의 중요도를 얻기 위해서 앞의 동일한 과정을 수행함으로써 대안들의 상대적 중요도를 나타내는 가중치 벡터를 구한다.

CI와 CR값을 식(4)의 식을 통해 계산한다. 이때, CR값이 10% 이하인 경우에는 받아들이고, 10% 이상이 되면 의사결정자의 결정과정에 일관성이 결여되어 있다고 판단하고 쌍대비교를 재실시한다.

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n-1)$$
$$CR = CI / RI, \quad where\ RI : random\ index \tag{4}$$

일관성 지수 (consistency index: CI) <0.1 받아들임
CR=CI/RI<0.1 받아들임(CR: 일관성 비율)
RI: 임의지수(random index)

### 3.2.3 각 요소의 안전성 중요도, 사고 심각성, 사고 가능성에 대한 퍼지값 추출

추출된 각 요소의 안전성 정도를 파악하기 위하여 중요도, 사고 심각성, 사고 가능성에 대하여 "예" 또는 "아니오"의 대답형식이 아닌 퍼지언어 개념을 이용하고자 하였다.

퍼지 집합이론에서 변수는 불확실성을 나타내는 멤버쉽 함수(membership function)를 갖는다. 멤버쉽함수는 [0,1]

의 전체 집합에서 정의된다. 전체 집합 $R$에서 퍼지 부분 집합 $A$는 다음 조건 식(5)를 따른다.

$$\begin{aligned} &\mu_A(x_0) = 1 && \text{만일 } \exists x_0 \in R \\ &A_\alpha = \{x \mid \mu_A(x_0) \geq \alpha\} && \forall \alpha \in [0,1] \end{aligned} \quad (5)$$

삼각퍼지수(triangular fuzzy number)는 다음과 같은 멤버쉽함수를 갖는 퍼지수이다. 여기서 $a \leq b \leq c$ 이고, a와 c는 퍼지수 $A$의 끝점을 의미한다. 따라서 삼각퍼지수는 식(6)과 같이 $(a,b,c)$로 표시될 수 있으며 이때, $\mu_A(b) = 1$이 된다.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \dfrac{x-a}{b-a} & x \in [a,b] \\ \dfrac{x-c}{b-c} & x \in [b,c] \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (6)$$

그림 4는 Park & Kim(1990)이 제안한 삼각함수 값으로, 이를 이용하여 제품기획단계에서 안전성을 알아보기 위해 추출한 16개 요소의 안전성 중요도, 사고 심각성, 사고 가능성에 대한 안전성 언어평가값을 구한다.

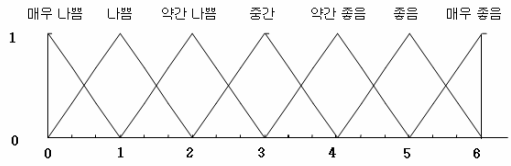


**그림 4.** 언어변수에 대한 퍼지 소속값

평가항목에 대한 상대적 중요도 점수 $w_i$와 기하평균을 이용한 평가항목의 안전성 평가점수 $R_i = \sqrt[3]{s_i \cdot c_i \cdot l_i}$ 를 사용하여 제품의 안전성 점수($S$)를 구하였다.

$$S = \sum_{i=0}^{n} w_i \cdot R_i$$

### 3.2.4 안전성 판단

AHP기법을 통해 구해진 각 요소의 가중치와 퍼지언어값의 퍼지곱셈을 이용 추출한 안전성 평가점수를 가지고 제품에 대한 안전성을 판단하였다. 가중치와 퍼지값의 곱으로 구해진 값은 표 4의 안전지수를 적용하여 안전성 평가를 실시하였다. 안전성 평가의 값이 High값 이상인 경우 설계단계로 진행시키고, Low값 이하인 경우는 불합격 처리하여 다시 제품 컨셉을 고려하도록 하였다.

위의 4단계의 방법을 적용하여 사용하기 편리하도록 Visual Basic 6.0을 이용하여 프로그래밍 하였다.

**표 4.** 안전지수

| Safety | Category | Index scale |
|---|---|---|
| A | Maximum | 1.0 |
| B | High | ↑ |
| C | Medium | ↕ |
| D | Low | ↓ |
| E | Minimum | 0.0 |

## 4. 사례분석

사례분석은 그림 5와 같이 칼날부를 올려놓게 되면 본체 안쪽의 하단 부위에 눌림 작동 스위치가 있어서 칼날부에 용기를 결합하지 않은 상태에서도 칼날이 돌아가며 작동하는 형태의 소형믹서기에 대하여 실시하였다.

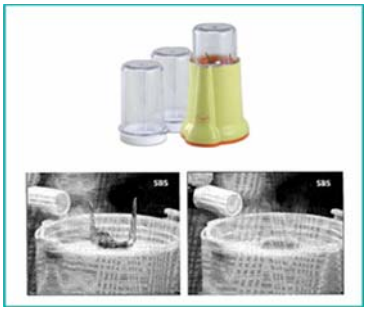

**그림 5.** 사례분석에 사용된 소형믹서기

이 형태는 현재 판매되고 있는 소형믹서기중 사고가 가장 많이 발생하는 것으로 알려져 있는 제품이다. 본 연구에서는 제품의 세부설계나 생산이 이루어지기 전단계인 제품기획단계에서의 평가이므로 실제 제품을 보여주지 않고, 제품에 대한 스케치를 가지고 제품기획에 대한 설명해 준 뒤 이 제품에 대하여 평가하도록 하였으며, 앞의 평가요소를 추출한 평가자 4명에게 평가요소 추출 전에 실시하였다.

### 4.1 기존의 방법을 적용한 사례분석

제품기획단계에서는 생산될 제품의 사용자 요구조건을 반영하며, 제품의 컨셉을 결정하는 단계이다. 따라서 제품의 구체적인 상세 설계가 이루어 지지 않았으므로, 제품의 하부 부품에 대한 고장률이나 사고율을 통한 안전성 평가는 힘들다. 기존의 방법과 도출된 평가요소를 통한 평가를 실시하기 위해 가정용 소형믹서기에 대한 사례분석을 실시하고자 한다.

기존의 방법으로는 제품기획단계에서 가장 많이 사용되고 있는 PHA, What-If 분석, Check list 방법을 사용하여 평가하였고, 안전성 평가요소를 추출한 안전성 전문가 3인이 평가를 실시하였다. 3인의 평가 내용을 정리한 내용은 표 5, 표 6, 표 7과 같다.

**표 5.** PHA 평가 결과

| 제품명: 소형믹서기 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 위험원 번호 | 위험원 내용 | 사고 심각도 | 발생 빈도 | 위험도 크기 | 대책안 적용 |
| 1 | 화재의 위험 | A | 5 | III | 주의 표시 |
| 2 | 감전의 위험 | A | 5 | III | 주의 표시 |
| 3 | 용기부와 칼날부의 분리 보관시 손가락 베임 또는 절단 위험 | B | 2 | I | 분리보관시 칼날부를 보호할 수 있는 보호캡 설치 |
| 4 | 용기부와 칼날부의 결합이 제대로 되어 있지 않았을 경우 용기부가 분리되어 깨지며 피부에 손상을 주거나 눈에 튀어 실명할 수 있음 | B | 2 | I | 용기의 재질을 유리가 아닌 플라스틱이나 다른 소재로 대체 |
| 5 | 내용물이 너무 많아 칼날이 회전하다가 용기 밖으로 넘치는 동시에 용기가 분리되면서 칼날에 의해 베이거나 또는 절단 | B | 1 | I | 용기에 채워질 수 있는 내용물의 양에 대한 적정위치를 눈에 잘 보이게 표시 |

**표 6.** What-If 평가 결과

| 제품명: 소형믹서기 | | |
|---|---|---|
| What -If 질문 | 결과 | 대책안적용 |
| 모터가 탄다면 | 화재 | 주의 표시 |
| 물을 넣어서 분쇄한다면 | 감전 | 주의 표시 |
| 용기부와 칼날부를 분리 보관한다면 | 손가락 베임 또는 절단 | 분리보관시 칼날부를 보호할 수 있는 보호캡 설치 |
| 용기부와 칼날부의 결합이 제대로 되어 있지 않다면 | 용기부가 분리되어 깨지며 피부에 손상을 주거나 눈에 튀어 실명할 수 있음 | 용기의 재질을 유리가 아닌 플라스틱이나 다른 소재로 대체 |
| 내용물이 너무 많아 칼날이 회전하다가 용기 밖으로 넘친다면 | 베이거나 또는 절단 | 용기에 채워질 수 있는 적정위치를 눈에 잘 보이게 표시 |

기존의 제품기획단계에서 평가되는 방법은 대부분은 정성적인 평가방법으로, 제품에 대한 평가항목이 정해져 있지 않아 같은 방법이라 하더라도, 평가자의 기준에 따라 분석

**표 7.** Check-list 평가 결과

| 제품명: 소형믹서기 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Check-list | 매우 있다 | 있다 | 보통 | 없다 | 매우 없다 |
| 화재의 위험이 있는가? | | V | | | |
| 감전의 위험이 있는가? | | V | | | |
| 용기와 칼날이 분리되어 위험성이 있는가? | V | | | | |
| 용기와 칼날부의 결합이 누가 사용하여도 용이한가? | | V | | | |
| 작동하다가 용기와 칼날이 분리 될 수 있는가? | | V | | | |

결과가 조금씩 다르게 나타났다. 또한 같은 방법으로 평가한 내용을 정리하기에도 어려움이 있었다.

따라서 제품기획단계에서 실시한 안전성 평가 결과에 대하여 보다 쉽게 알아볼 수 있는 방법과 다수의 평가자가 평가를 실시하더라도 평가 결과를 취합하기 용이한 방법이 필요하다고 판단된다.

### 4.2 제안한 방법을 적용한 사례분석

기존의 안전성 평가방법으로 안전성 평가를 실시한 평가자 4명에게 본 연구에서 제안한 모형을 적용하여 평가를 실시하였다. 사례분석으로 실시한 소형믹서기에 대한 안전성 평가 결과 각 평가요소에 대한 가중치는 표 8과 같이 나타났으며, 안전지수는 0.273, D 단계로 제품기획단계에서 제품생산에 대하여 재고려가 필요한 것으로 나타났다.

**표 8.** 사례분석에 사용된 소형믹서기의 안전성평가 가중치 (C.R.=0.893)

| 요소 | 가중치 | 요소 | 가중치 | 요소 | 가중치 | 요소 | 가중치 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 성별 | 0.095 | 연령 | 0.105 | 직업 | 0.013 | 시각 | 0.017 |
| 요소 | 가중치 | 요소 | 가중치 | 요소 | 가중치 | 요소 | 가중치 |
| 청각 | 0.008 | 운동 | 0.041 | 인체치수 | 0.102 | 인지능력 | 0.121 |
| 요소 | 가중치 | 요소 | 가중치 | 요소 | 가중치 | 요소 | 가중치 |
| 가족생활주기 | 0.053 | 라이프스타일 | 0.073 | 보조도구 사용유무 | 0.186 | Output /display | 0.072 |
| 요소 | 가중치 | 요소 | 가중치 | 요소 | 가중치 | 요소 | 가중치 |
| Input /control | 0.053 | Documen-tation | 0.012 | Functional allocation | 0.018 | Operation protocol | 0.031 |

## 5. 결 론

기존의 디자인 프로세스에서 제품기획단계의 안전성 평가

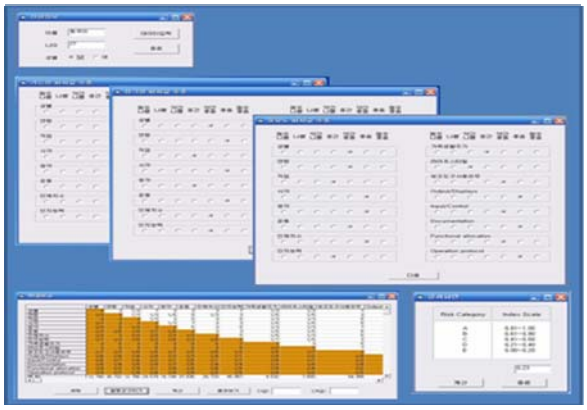

**그림 6.** 소형믹서기를 통한 제품기획단계의 안전성평가 결과

를 살펴보면, 제품기획단계에서는 안전성 평가가 이루어지지 않거나 정성적인 방법의 평가가 주를 이루고 있다. 따라서 기획단계의 디자이너가 안전성 평가를 쉽게 할 수 없거나, 애매한 부분이 있었다. 이러한 부분을 해결하기 위하여 기존의 연구에서 사용된 제품평가요소를 분류하여, 제품기획단계의 안전성 평가에 사용 가능한 16개의 요소를 브레인스토밍 방법을 이용하여 도출하였다. 도출된 각각의 평가요소의 안전성 평가에 미치는 가중치는 제품에 따라 다르게 나타날 수 있으므로 AHP를 사용하여 각각 평가요소의 가중치를 구하였다. 안전성에 미치는 정도를 파악하기 위하여 안전성 중요도, 사고 심각성, 사고 가능성에 대해 안전성 언어 평가를 Fuzzy를 이용해 실시하여 안전지수를 구하였다. 제안한 방법과 기존의 방법을 비교하기 위하여 소형믹서기를 이용하여 사례분석을 실시하였다. 기존의 방법으로 제품기획단계에서 주로 사용되고 있는 PHA, What-If 분석, Check-list 방법을 통해 사례분석을 실시하였으며, 제안한 방법을 통한 안전성 평가도 실시하였다. 기존의 방법들은 위험원에 대한 각각의 사항에 대한 파악을 할 수 있는 장점이 있으나, 정성적인 방법으로 평가 결과에 대한 안전성 정도 결과에 대한 결정해야 하므로, 평가 결과를 결정하기에 애매한 부분이 있었다. 제안한 방법은 기존의 정성적인 방법과 같이 자세한 사항을 파악할 수 없는 단점이 있으나, 안전지수를 이용하여 제품에 대한 전반적인 안전성 정도를 쉽게 파악할 수 있었으며, 비전문가와 다수의 평가자의 의견을 수렴하기 용이한 것으로 파악되었다.

이와 같이, 제품기획단계에서부터 안전성 평가가 이루어지면, 재설계를 실시하여야 하는 경우 시간과 비용을 줄일 수 있으며, 사용자는 보다 안전한 제품을 사용할 수 있고, 기업은 사용자의 안전을 고려하는 기업의 의무를 지키며 제조물책임법에 대한 근본적인 대책을 마련할 수 있을 것으로 생각된다.

## 참고 문헌


곽효연, 이상도, 디자인 프로세스에서 평가방법의 문제점과 퍼지이론의 적용, 공업경영학회지, Vol.20, No.42, pp.59-66, 1997.

김경훈, 조재립, 고객지향적 품질향상을 위한 신제품개발에 관한 연구, 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, 2002.

김재정 외 공역, 재품개발론, 한올출판사, 2004.

박경찬, DFSS(Design For Six sigma)를 적용한 기능성 유형의 디자인 프로세스 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 2005.

오상준, 원가 절감, 제품개발 단계에 집중하라, LG주간경제, 2006.

윤원영, 김현식, 신뢰성 설계 프로세스에 관한 사례분석, 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, 2004.

이용표, 신제품개발프로세스, 오토저널, vol.27, No.1, 2005.

이종석, 중소기업 제품의 품질확보를 위한 디자인 프로세스 개선에 관한 연구, 세종대학교 대학원, 박사학위 논문, 2004.

정원, 김준홍, 제품개발 과정에서 AMSAA 모델의 실용적 활용방법, IE Interfaces, Vol.19, No.1, 19-25, 2006.

정원, 이익성, 제조물 안전 설계를 위한 QDRD의 적용, 경영과학연구, Vol.10, 57-65, 2001.

Basnyat, S., Navarre, D. and Palanque, P., Complexity of Design in Safety Critical Interactive Systems, 2nd Workshop on Complexity in Design and Engineering. Glasgow, Scotland. UK 10th-12th, 45-58, 2005.

Carbonara, N. and Scozzi, B., Cognitive maps to analyze new product development processes, Technovation, Volume 26, Issue 11, November, 1233-1243, 2006.

Dowlatshahi, S., The role of product safety and liability in concurrent engineering, Computers & Industrial Engineering, Vol.41, 187-209, 2001.

Hasan, R., Bernard, A., Ciccotelli, J. and Martin, P., Integrating safety into the design process: elements and concepts relative to the working situation, Safety Science, Volume41, Issues2-3, 155-179, 2003.

Herder, P. M. and Weijnen, P. Quality criteria for process design in the design process - industrial case studies and an expert panel Computers & Chemical Engineering, Volume 22, Supplement 1, 15 March, S513-S520, 1998.

Hsiao, S. W., Concurrent design method for developing a new product, International Journal of Industrial Ergonomics, Vol.29, Issue.1, 42-55, 2002.

Hsiao, S. W. and Chou, J. R., A creativity-based design process for innovative product design, International Journal of Industrial Ergonomics, Volume 34, Issue 5, 421-443, 2004.

Kir, G. J. and Folger, T. A., Fuzzy sets, Uncertainty, and Information, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jerssey, 1988.

Park, K. S. and Kim, J. S., Fuzzy Weighted-Checklist with Linguistic Variables, IEEE TRANSACTION ON RELIABILITY, Vol.39, No.3, 1990.

Saaty, T., The Analytic Hierachy Process, McGraw Hill, 1980.

Saaty, T., A scaling method for priorities in hierarchical structures, J. Mathematical Psychology, Vol. 15, 234-281, 1997.

Shahrokhi, M. A. and Bernard, A. C., Risk assessment/prevention in industrial design process, IEEE International Conference on System, Manand Cybernetics, 2592-2598, 2004.

Ulrich, K. T. and Eppinger, S. D., Product Design and Development(3rd Ed.), McGraw-Hill, 2004.

Vollmer, T., Borcherding, K., Hellriegel, G. and Penzhorn, R.-D., Process control under safety aspects, Fusion Engineering and Design, Vol. 48, No. 1, 57-61, 2000.

Zadeh, L. A., A fuzzy algorithmic approach to definition of complex and imprecise concept, International Journal of Man-Machine Studies, Vol.8, 249-291, 1976.

## ◐ 저자 소개 ◑

❖ 박 지 영 ❖ duzen@dongguk.edu

동국대학교 산업기술대학원 산업시스템공학 석사
현 재: 동국대학교 산업시스템공학과 박사과정
관심분야: 제품안전, Usability, 감성공학

❖ 조 암 ❖ amcho@dongguk.edu

Waseda University (Japan) 박사
현 재: 동국대학교 산업시스템공학과 교수
관심분야: 입체영상, VR, 안전공학, 감성공학

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2008년 02월 28일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2008년 04월 10일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2008년 05월 27일