

## AHP를 활용한 산업별 소비자위해현황 분석 - 전기전자제품을 중심으로

김사길·변승남  
 경희대학교 테크노공학대학 산업공학과

### Current Status and Analyses of Consumer Injury using the Analytic Hierarchy Program

Sa Kil Kim·Seong Nam Byun

Dept. of Industrial Engineering, College of Advanced Technology, Kyung Hee Univ., Seoul, 449-701, Tel + 82-31-201-2552, E-mail [khuie@khu.ac.kr](mailto:khuie@khu.ac.kr)

#### Abstract

The purpose of this study is to analyse consumer injury and to find current status of industrial consumer injury in the field of consumer product. Also the subject under analysis is to develop a design guidance for the consumer product safety.

We used consulting data of Korea Consumer Protection Board, Korea Product Liability Consulting Center and referred to statistic data of Korea National Statistical Office. Consumer injury data of Korea is insufficient comparing with leading industrialized nations. Therefore, we categorized hazard factors based on current injury data in Korea instead of analysing injury data statistically. And we analyse the hazard factors using the analytic hierarchy process in this study. Through the results, we defined the Consumer Injury Index(CII) to develop a design guidance for the consumer product safety.

*Keyword: Consumer product, Injury data, AHP, Consumer Injury Index(CII)*

#### 1. 연구배경

현대 소비사회는 과학과 기술의 발달로 생활이 윤택해짐에 따라 삶의 질을 중시하는 새로운 소비자 패러다임으로 변화하고 있다. 1980년 소비자보호법을 제정하고 1986년 소비자보호법을 전면 개정하여 소비자 권리를 더욱 강화시켰다. 그리고 1987년 한국소비자보호원을 설립하여 소비자 피해에 대한 국가적 규제활동을 구체화하였다. 더욱이 2002년 제조물책임법(법률 6109호)의 도입을 통해 결함 제품으로 인한 소비자의 피해보상을 법적으로 보장하였으며, 2003년에는 소비자 안전을 보다 구체적으로 실현하기 위한 소비자안전법(안)을 제정하였다. 또한, 현 제조물책임법에 포함되어 있지 않은 집단소송제(소비자단체소송)의 도입을 2008년으로 예정하고 있으며, 영미법계에서 보상적 배상금과는 별도로 가해자의 악의나 의도적 행위 등에 대한 벌금을 추가적으로 배상하게 하는 징벌적 손해배상제도의 도입을 검토하고 있다.

최근 들어 제조업 분야에서 새롭게 부각되는 경쟁 요소는 친환경적(friendly environment) 제품과 안전한(safe) 제품이다. 특히 안전한 제품에 대한 시장의 요구는 급속히 증가하고 있다. 소비자의 안전 의식이 빠른 속도로 강화되

고 있으며, 이에 따른 정부의 소비자 보호 정책 역시 제도적 차원에서 급변하고 있다. 제조물책임법 시행 이후, 제품 사용 중 소비자의 피해 경험은 49%로 조사되었고, 제품 결함으로 인한 피해 사례는 38%, 소비자 과실 34% 그리고 기타 28%로 조사되었다(소비자보호원, 2002). 또한, 2003년 소비자보호원에 집계된 소비자 피해 상담 건수(43만 7천 9백 35건) 중 제품 결함 관련 상담은 3.6% 정도이나, 실제 피해 구제 사례는 제품 및 일반 서비스 분야가 87.4%로 높게 나타났다(소비자보호원, 2003). 한편, 13개의 업종별 제조물책임(PL) 상담센터 중 전자제품 PL 상담센터의 상담 건수는 579건(2004년 9월)으로 2003년 대비 357% 증가하였다(전자제품 PL 상담센터, 2004).

안전한 제품에 대한 시장의 요구가 증가하는 현상은 기업에게 위기이기도 하며 동시에 기회이기도 하다. 기업이 안전한 제품을 시장에 출시하여 경쟁력을 확보하기 위해서는 불가피하게 안전비용(safety costs)이 발생하며, 이에 따라 제품의 단가가 상승하게 된다. 반대로, 기업이 제품의 안전성을 고려하지 않고 저가의 제품을 시장에 출시하게 되면, 안전성이 결여된 제품의 결함으로 인하여 발생하는 각종 사건 및 사고에 대한 처리비용, 즉, 위험비용(risk costs)이 발생된다. 전자는 제품안전경영(PSM; product safety management)을 통해 제품의 안전성을 더욱 중요시하는 경영 관점이고, 후자는 위기경영(RM; risk management)을 통해 위기 상황에 대한 적절한 대응전략을 중요시하는 경영 관점이다. 이러한 경영 관점에 따라 기업의 제품안전 대응 전략은 다음 <그림 1>과 같은 형태로 구분된다.

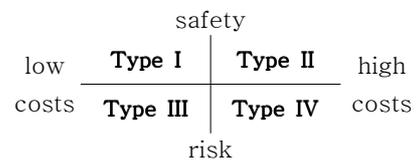


그림 1. 제품안전 대응 기업의 형태

<그림 1>에서 보는 바와 같이 기업의 제품안전 대응은 4 개의 전략으로 구분된다. Type I 전략은 최소한의 안전비용(safety costs)로 제품의 안전성을 추구하는 전략으로 제품 특성상 위해성이 심각하지 않고 제품안전 사고의 빈도가 높지 않다고 판단되는 경우이다. Type II 전략은 안전비용이 높아져 제품의 단가가 상승하더라도 제품의 안전성을 확보하는 것이 더욱 중요하다고 판단하는 전략으로 제품안전 사고로 인한 위해성이 심각하거나 사고의 빈도가 높은 경우이다. Type III 전략은 제품의 안전성 결함으로 인해 발생하는 위기를 최소의 비용으로 극복하려는 전략으로 주로 보증을 통한 위기 대응 전략을 구사

하는 경우이다. 마지막으로 Type IV 전략은 높은 비용이 소요되더라도 제품안전과 관련된 모든 형태의 위기 상황을 적시에 적절하게 대응할 수 있는 즉각적 위기 반응 체계를 구축하는 경우이다. 이러한 제품안전 전략 형태는 제품안전경영과 위기경영의 관점에서 Type I과 Type II는 제품안전경영 관점을 중시하는 전략으로, Type III와 Type IV는 위기경영 관점을 중시하는 전략으로 구분된다.

따라서 기업은 최소의 비용으로 안전한 제품을 생산하고 이에 따른 경쟁력을 확보하기 위해 제품설계 단계에서 최대의 안전성을 확보하여야 한다. 이러한 제품안전설계의 기본 원칙은 제품 결함으로 인한 사고의 잠재 위험성(hazards)을 제거하거나(eliminate), 줄이거나(reduce), 혹은 경고하는(warn) 데 있다. 그러나 잠재 위험성을 발견하기란 쉽지가 않다. 이 때문에 일반적으로 잠재 위험성은 과거의 사고 데이터와 같은 위해정보(injury information)를 통해 추정된다. 잠재 위험성을 추정하는 메커니즘은 다음 <그림 2>와 같다.

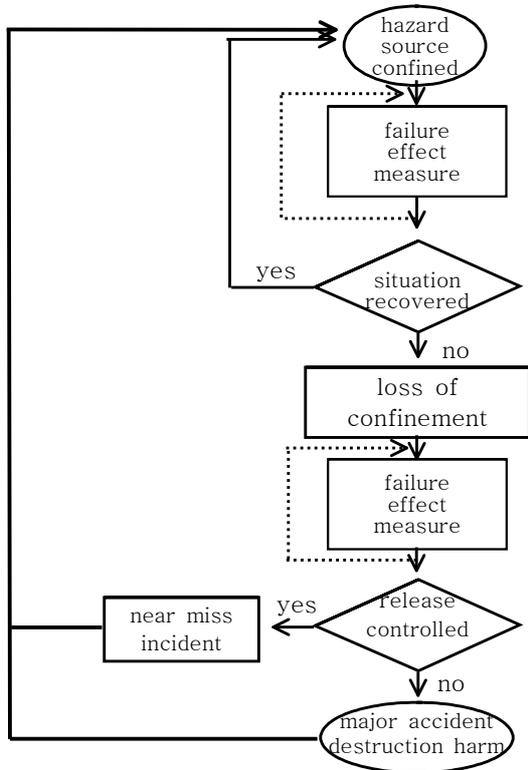


그림 2. 사고 시나리오에 따른 잠재 위험성 분석 모델(Rasmussen, 1997)

사고 시나리오에 따른 잠재 위험성 분석 모델은 크게 잠재된 위험을 관리하는 순환 모드(loop)와 비상 사고에 대처하는 순환 모드(loop)로 구분된다. 또한 순환 모드는 【failure → effect → measure】로 구성되어 있다. 실패(failure)는 의도하지 않은 사건이나 상황의 발생을 의미하고 효과(effect)는 실패로 인한 상황의 변화나 결과를 의미한다. 또한, 측정(measure)은 사건의 발생을 알리거나 조치 혹은 예방하는 활동을 의미한다. Rasmussen (1997)은 기업이 사고 발생 과정에 어느 정도 관여하는가에 따라 사고의 발생 빈도(likelihood)와 사고로 인한 결과(consequence)를 조절할 수 있으며, 잠재된 위험을 관리하는 순환모드의 활동을 활발히 하여 사고에 대처하는 순환모드의 활동을 줄일 수 있다고 주장하고 있다. 이처럼 사고 체계에 대한 이해를 통해 기업은 사고에 대한 예방 및 적절한 대처를 할 수 있으며, 위해정보 분석을 통해 잠재 위험성을 추정하여 위험성을 관리(elimination, reduction, warning)할 수 있다.

기업은 사고 예방적 차원에서 제품안전경영을 하기

위해 잠재 위험을 사고 데이터 기반으로 추정하여 제품설계에 반영하고 제품안전 각종 표준(standards) 및 지침(guidances)을 제품 안전 설계 및 운영에 적절히 반영하여야 한다. 그러나 기업이 제품안전경영을 하는 데는 다음과 같은 네 가지 주요 현안이 있다.

- 첫째, 제품안전경영에 대한 인식 부족
- 둘째, 안전 전문가의 부재
- 셋째, 잠재 위험 분석을 위한 위해정보의 부족
- 넷째, 제품안전 표준의 적용지침 부족

우리나라의 경우, 기업이 소비자의 위해성을 분석하고 그 결과를 제품안전 설계에 반영하고 표준 제정 주체가 소비자 위해성을 기반으로 제품안전 표준을 정립하는 데 한계가 있다. 전술한 바와 같이 소비자 위해성을 분석할 수 있는 소비자 위해정보가 부족하기 때문이다. 따라서 소비자 위해정보를 수집하고 분석하기 위한 정부차원의 체계적 노력이 절실히 요구되고 있다.

본 연구의 목적은 소비자 제품(consumer product)과 관련한 산업별 소비자 위해현황을 분석하고 그 결과를 제품안전 표준에 반영하여 위해성 기반 제품안전 표준체계를 정립하는데 있다. 특히, 전자제품 산업은 소비자 안전 사고의 빈도가 가장 높은 산업분야로 본 연구에서는 전자제품 산업을 중심으로 다루었다. 먼저 소비자 위해현황은 한국소비자보호원의 소비자 상담 자료, PL 상담센터의 상담자료, 통계청의 위해통계자료 등을 바탕으로 분석되었다. 우리나라의 소비자 위해정보는 미국이나 영국 등과 같은 선진국에 비해 부족한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 현존하는 위해정보를 기반으로 산업별 소비자 위해요소(hazard factors)를 분석하고 AHP(Analytic Hierarchy Process)를 활용하여 위해요소에 대한 통계적 분석을 실시하였다. AHP 분석을 통해 소비자위해지수(CII; Consumer Injury Index)를 도출하였으며, 소비자위해지수를 바탕으로 제품안전 설계 지침을 개발하였다. 소비자위해지수란 소비자제품을 사용하는데 있어 안전사고의 빈도(frequency)가 높고 그 사고의 심각성(severity)이 높으며, 그 사고의 노출(exposure) 가능성이 높은 정도를 지수화한 개념이다.

## 2. 연구방법

본 연구의 진행 절차와 방법은 다음 <그림 3>과 같다

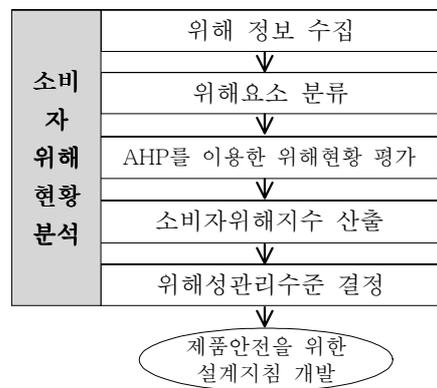


그림 3. 연구절차 및 방법

### (1) 위해정보 수집

위해 정보(injury information)를 수집하는 단계로, 본 연구에서는 한국소비자보호원의 소비자 위해 자료, PL 상담센터의 상담자료, 통계청의 위해통계, 대법원의 재해관련 손해배상 소송자료 그리고 제품 리콜 자료를 참고하였

다. 개하고 있는 각종 소비자 위해정보 통계자료를 수집하였다.

**(2) 위해요소 분류**

제품안전 관련 사고를 유발할 가능성이 있는 모든 잠재 위험(risk) 원인을 관련 문헌 조사와 소비자 위해정보를 바탕으로 계층적으로 구분하였다. 모두 3개의 계층적 구분으로 대분류 위해요소, 중분류 위해요소 그리고 소분류 위해요소로 구분되었다.

**(3) AHP를 활용한 위해현황 평가**

각 위해요소의 위해정도를 AHP 기법을 활용하여 상대적 가중치를 계산하였다. 위해현황은 대분류 수준, 중분류 수준 그리고 소분류 수준에 따라 위해정도가 표시되었다.

**(4) 소비자위해지수(CII; Consumer Injury Index) 산출 및 위해성관리수준(ICL; Injury Control Level) 결정**

3개의 수준에 따른 위해정도(가중치)가 결정되면, 대분류 위해지수, 소분류 위해지수 그리고 소분류 위해지수의 곱에 의해 소비자위해지수를 산출하였다. 또한 소비자위해지수를 높은 순서로 정리하여 위해성관리수준을 결정하였다.

**(5) 제품안전 설계지침 개발**

위해요소 관리수준이 결정되면, 관리수준에 따라 제품안전 설계에 반영하여야 하는 우선순위가 결정되므로, 이를 바탕으로 산업별 제품안전 설계지침을 개발하였다.

**3. 위해현황 분석**

**3.1 위해정보 수집**

본 연구에서 수집된 위해정보는 한국소비자보호원의 소비자 위해 자료, PL 상담센터의 PL 상담 자료, 통계청의 위해통계 자료, 대법원의 재해관련 손해배상 소송자료 그리고 제품 리콜 자료이다.

**• 한국소비자보호원의 소비자 위해 자료**

한국소비자보호원은 위해정보 지정 소방서(18 개소)와 병원(39 개소)을 통해 위해정보를 보고받고 있다. 또한 수신자 부담용 직통전화인 핫라인(080-900-3500)을 통해 소비자들의 피해 사례를 수집하고 있으며, 안전넷(<http://safe.cpb.or.kr>)을 통해 위해정보를 소비자가 직접 신고할 수 있도록 운영하고 있다.

수집된 위해정보에 대해 소비자보호원은 위해경위, 피해자 및 해당 사업자의 의견, 관련 규격 및 법규내용 등을 통해 사실확인 조사를 실시하고 위해정보평가 실무위원회를 통해 1차 및 2차 평가를 실시하고 있다. 소비자보호원의 위해정보는 통계적 분석을 통해 소비자와 기업에게 공개되고 있으며, 사고 예방 차원에서 필요한 경우, 소비자에게 공개하고 있다. 본 연구에서는 소비자보호원에서 공

**• PL 상담센터의 PL 상담 자료**

PL 상담센터는 13개의 업종별로 구성되어 있으며, 한국소비자보호원에서 운영하고 있는 소비자분쟁조정위원회와는 별도로 PL 관련 소비자의 불만 및 분쟁 발생 시 신속한 피해구제로 소비자의 피해구제를 원활하게 지원하고 제조업자의 부담을 완화하기 위해 2002년 설립되었다.

PL 상담 건수가 가장 높은 전자제품 PL 상담센터의 경우, 2004년 1월 1일부터 동년 9월 30일까지 집계된 상담 접수 건수는 총 578 건으로 확대사고(53 건), 품지사고(33 건), 제품불만(350 건) 그리고 기타 PL 관련(142 건)으로 나타났다.

**• 통계청의 위해통계 자료**

통계청의 위해통계는 범죄, 안전, 사고 그리고 재해로 구분되며, 제품안전 사고와 관련된 위해통계는 안전, 사고 그리고 재해 통계이다. 안전 통계는 소방인력 및 장비에 관한 통계이고 사고 통계는 주로 교통사고를 중심으로 발생건수, 사망자수 그리고 부상자수에 대한 자료로 제공되고 있다. 또한 재해 통계는 화재원인, 화재 발생지역 그리고 산업별 재해건수 및 재해자수 등에 대한 통계자료이다.

본 연구에서 통계청의 자료는 주로 재해통계를 참고하였으며, 재해의 원인, 장소, 인명피해 그리고 산업별 재해건수 등을 통해 소비자 위해현황을 검토하였다.

**• 대법원의 재해관련 손해배상 소송자료**

대법원에서는 각종 소송 판례 정보를 공개하고 있으며, 재해관련 손해배상 판례 중에는 시설물이나 제품 등의 원인으로 발생한 재해에 대한 손해배상 판례들이 있다. 본 연구에서는 우리나라 대법원 판례 중 제조물책임과 관련된 일부 판례를 참고하였으며, 주로 미국 대법원의 제조물 책임소송과 관련된 판례 자료를 통해 소비자 위해성을 검토하였다.

**• 제품 리콜(recall) 자료**

제품 리콜은 제품의 기능(functional) 혹은 성능(performance)의 문제보다는 안전성(safety)의 문제로 수행된다. 강제적 리콜이든 자발적 리콜이든 해당 제품의 안전성의 문제로 리콜이 수행되는 경우, 해당 제품의 위해성이 사용자에게 노출되어 있다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 언론을 통해 공개된 각종 리콜 자료를 수집하여 소비자 위해성을 검토하였으며, 미국 소비자제품안전위원회(CPSC; Consumer Product Safety Commission)에서 공개하고 있는 리콜 정보를 참고하였다. 미국 소비자제품안전위원회는 일일 단위로 리콜 정보를 업데이트하여 홈페이지([www.cpsc.gov](http://www.cpsc.gov))에 공개하고 있으며, 기업이나 개인이 요구하는 경우, 이메일을 통해 리콜 자료를 무료제공하고 있다.

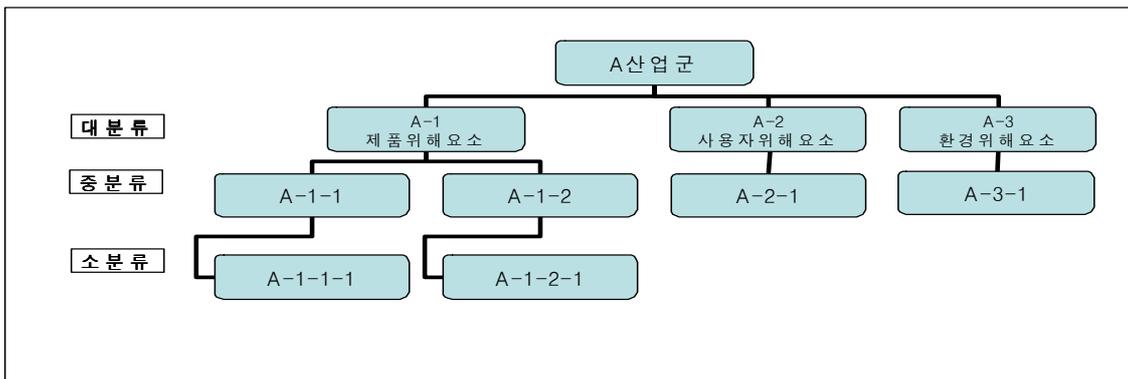


그림 4. 위해요소의 계층적 구조

**3.2 AHP 분석을 위한 위해요소 분류**

소비자 위해정보를 바탕으로 제품안전 관련 소비자 위해요소를 3개의 계층으로 구분하였다. 3개의 계층은 대분류 위해요소, 중분류 위해요소 그리고 소분류 위해요소로 그 계층적 구조는 위의 <그림 4>와 같다.

전자제품 산업의 경우, 대분류 위해요소는 제품 위해요소, 사용자 위해요소 그리고 환경 위해요소로 구분되며, 중분류 위해요소 총 10개 그리고 소분류 위해요소 총 32개로 구분된다. 전자제품 산업의 위해요소 분류는 다음과 <표 1>과 같다.

**3.3 위해요소에 대한 AHP 평가**

AHP(Analytic Hierarchical Process) 기법은 Saaty(Wharton School, Pennsylvania Univ., 1960)에 의해 최초로 고안된 과학적 다기준(multi-criteria) 의사결정 방법으로 기준 및 속성 간의 쌍대비교(dual comparison)를 통해 가중치를 산출하고 합리적 대안을 선택하는 기법이다. 일반적으로 AHP 방법은 복잡한 의사결정 문제를 체계적으로 세분화하여 분석할 수 있도록 도와주며, 분석 대상의 속성들 사이의 계층적 구조에 대한 연관성 분석이 용이하다. AHP 기법을 통해 얻을 수 있는 이점은 다음과 같다(Saaty & Vargas, 1991).

- 판단의 일관성 유무에 대한 점검도구를 제공한다.
- 기준들 간의 상호작용 효과를 고려할 수 있다.
- 다수 의사결정자의 참여시 단순 가중치를 지양하고 갈등문제를 해결할 수 있다.
- 정성적 요소를 모형에 고려하여 주관적 판단을 체계적으로 계량화 할 수 있다.
- 부제를 분석해서 평가하고 이를 다시 종합하여 최종결정을 내리는 AHP의 논리구조가 인간의 의사결정 구조와 유사하여 현실의 문제에 적용하기에 용이하다.

표 1. 전자제품 산업의 위해요소 분류

대분류	중분류	소분류	비고
제품	전기적 위험	감전 누전 스파크	
	열화재 위험	과열 화재 유독가스 발생	
	방사선 위험	전자파 발생 방사능 물질 자외선 X-선 레이저	
	운동성 위험	과열 충격 부품낙하 분진 진동 소음	
	비운동성 위험	상해성 외형 중량 전도(성)	
사용자	성별	남 / 여	
	나이	1-12세: 아동층 13-19세: 청소년층 20-59세: 성인층 60세이상: 노년층	
	성향	계산형 무모형-자신만만 무지형	
환경	사용장소	온도 습도 직사광선	
	접지(그라운드)	유 / 무	

또한, AHP 기법을 활용하여 의사결정을 할 경우 다음과 같은 전제조건을 고려하여야 한다(Saaty, 1986).

- 역수비교(reciprocal comparison): 속성 A가 속성 B보다 X배 선호된다면, 속성 B는 속성 A보다 1/X배 선호된다.
- 비교가능성(comparability): 기준이나 속성에 대한 선호도는 제한된 척도로 나타내야 하며, 속성들은 비교 가능해야 한다.
- 독립성(independence): 선호도를 표현할 때 판단 기준들은 속성들과 독립적이어야 한다.
- 기대성(expectation): 의사결정의 목적을 위하여 계층적 구조는 완전해야하며, 모든 대안들과 기준들은 모든 계층에 표현 되어야 한다.

이상에서 설명한 바와 같이 AHP 기법은 소비자 위해 현황에 대한 데이터 기반 통계 분석이 어려운 상황에서 위해요소에 대한 우선순위를 결정하기에 적합한 분석도구이다. 따라서 본 연구에서는 제품안전 관련 소비자 위해요소를 3개의 계층으로 구분하고, AHP 기법을 활용하여 각 위해요소에 대한 우선순위를 결정하였다.

본 연구의 위해요소에 대한 AHP 분석 절차 및 내용은 다음과 <그림 5>와 같다.



그림 5. AHP 분석 절차

**(1) 제품안전 전문가 대상 AHP 평가**

AHP 평가는 한국표준협회 제품안전 관련 전문위원 7명, 각 산업군별 제품안전 및 품질 실무자 20명 그리고 학계 안전 전문가 10명을 대상으로 2개월간 실시되었다. AHP 평가의뢰 및 평가 응답 현황은 다음 <표 2>와 같다.

표 2. AHP 평가의뢰 및 응답 현황

평가대상	의뢰 수	응답 수	응답률(%)
표준협회 전문위원	7	7	100
제품안전 및 품질 실무자	20	17	85
학계 안전 전문가	10	10	100
계	37	34	91.9

AHP 평가에 대한 전문가의 응답률은 평균 91.9%로 실무 전문가의 응답이 다소 저조하게 나타났다. 실무 전문가의 응답률이 낮은 이유는 본 연구의 목적과는 별도로 평가의 결과가 소속 회사에게 불리하게 작용할 수도 있다는 불안감 때문인 것으로 판단된다.

AHP 평가지는 대분류, 중분류 그리고 소분류 위해요소의 구분 없이 계층별로 두 개의 위해요소에 대한 쌍대비교를 하는 방식으로 구성되어 있다(표 3). 또한 본 평가에 사용된 두 개의 위해요소에 대한 위해성 비교 척도(scale)는 Saaty(1960)가 사용한 9점 척도를 응용하여 다음 <표 4>와 같이 5 가지의 구분으로 사용하였다.

표 3. 쌍대비교 예

A	9	7	5	3	1	3	5	7	9	B
			√							

표 4. 위해요소 비교 척도

척도	정의
1	동등하게(equal) 중요
3	약간(weak) 중요
5	매우(strong) 중요
7	확실히(very strong) 중요
9	절대적으로(absolute) 중요

**(2) 위해요소의 기하평균 산출**

본 연구의 AHP 분석은 3개의 계층(대분류, 중분류, 소분류)별 위해요소의 쌍대비교 방식이다. 모든 위해요소들을 둘씩 짝을 지어 비교하므로 어떠한 한 계층에 포함되어 있는 요소들의 수가 n개이라면, 쌍대비교의 수는  $nC_2$ , 즉  $n(n-1)/2$ 개이다. 이러한 이원비교를 체계적으로 수행하기 위해서는 일종의 입력자료 (input data)로서 정방행렬을 사용한다.

예를 들어, 음식료 산업의 대분류 위해요소에 제품, 사용자 그리고 환경 위해요소가 있다. 제품 위해요소는 식료품에 유해물질이 포함되어 있거나 식료품 자체가 변질되는 것과 같은 위해성이고, 사용자 위해요소는 제품의 문

제는 없으나 사용자의 특성에 따라 적절하지 못한 섭취나 식음 등으로 인한 위해성이다. 또한 환경 위해요소는 식료품의 저장 및 보관 환경의 문제로 제품이 변질되거나 유해물질이 유입되는 등의 위해성을 의미한다. 이들 위해요소를 비교기준(표 4)에 의해 쌍대비교를 한다면 이러한 쌍대비교의 결과는 <표 5>와 같은 '3 X 3'의 정방행렬로 나타낼 수 있다.

표 5. '3 X 3'의 정방행렬

평가 기준(K)	제품(A1)	사용자(A2)	환경(A3)
제품(A1)	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$
사용자(A2)	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$
환경(A3)	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$

평가 기준(K)은 <표 4>의 1, 3, 5, 7 그리고 9(또는 이의 역수)가 되며,  $a_{11}, a_{12}, a_{13}$  등 a로 표기된 것들은 각 요소들을 쌍대비교한 평가치를 바탕으로 코딩(coding)한 결과이다.

**(3) 위해요소의 계층별 가중치 계산**

계층 내의 위해요소들 간의 가중치(local weights)는 쌍대비교의 결과를 나타내는 정방행렬의 고유벡터(eigen vector)에 의해 구할 수 있다. 일반적으로  $n \times n$ 의 입력행렬 A에 대하여  $[A \cdot W = r \cdot W]$ 를 만족하는 스칼라 r과  $n \times 1$ 의 고유벡터 W( $(W_1, W_2, \dots, W_n) \cdot T$ )가 존재한다. 이러한 경우 고유벡터 W 가운데에서  $\sum W_j = 1$ 을 만족하는 고유 벡터가 그 계층 내의 요소들 간의 가중치(local weights)가 된다.

입력 행렬 A로부터 고유 벡터 W를 구하는 방법은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 A \cdot W &= r \cdot W \\
 (A - rI) \cdot W &= 0 \quad (\text{식 1}) \\
 (\text{단, } 0 &\text{은 } n \times 1 \text{의 열 벡터})
 \end{aligned}$$

<식 1>에서 고유벡터 W가 0이 아닌 해를 갖기 위해서는 행렬  $(A - rI)$ 의 행렬식은 0이 되어야 한다. 이러한 경우 방정식  $|A - rI| = 0$ 을 행렬 A의 특성방정식(characteristic equation)이라 한다. 즉, 행렬식  $|A - rI| = 0$ 은 변수 r의 n차 다항 방정식이 된다. 특성방정식의 근  $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, n)$  중에서 가장 큰 근의 값,  $\lambda_{max}$ (maximum eigen value),을 구하면 이 고유치  $\lambda_{max}$ 에 대응하는 고유 벡터 중에서  $\sum W_j = 1$ 을 만족하는 고유벡터가 그 계층 내의 요소들 간의 가중치(local weights)가 된다.

또한, AHP 기법에서의 계층 내 가중치는 주관적인 판단에 기초한 쌍대비교에 의해 얻어진다. 따라서 평가 구성요소간의 상대적 중요성을 비교할 때 전이적 일관성(transitive consistency) 및 기수적 일관성(cardinal consistency)이 얼마나 유지되고 있는지가 문제가 된다. 전이적 일관성이란, 가령 A1, A2, A3을 비교할 때 중요성의 정도에서  $[A1 > A2]$ 이고  $[A2 > A3]$ 이면  $[A1 > A3]$ 가 성립해야 함을 의미한다. 만일 주관적인 판단 과정에서  $[A1 > A2]$ 이고  $[A2 > A3]$ 일 때  $[A3 > A1]$ 로 조사한다면 이것은 전이적 일관성이 없다고 할 수 있다. 기수적 일관성이란, 예컨대 A1이 A2 보다 2배 중요하며 A2가 A3 보다 3배 중요하다고 조사했다면 A1은 A3 보다 6배 중요하다고 조사되어야 함을 의미한다.

어떤 한 계층 내에 있는 모든 요소들 사이의 가중치를 설정한다는 것은 그 요소들 사이에 전이적 일관성 및 기수적 일관성이 성립함을 전제하고 있다. 그러나 주관적인 판단에 기초한 쌍대비교에 의해 어떤 한 계층 내에 있는 모든 요소들 사이의 가중치를 설정하는 경우에는 전이적 일관성 및 기수적 일관성의 성립이 보장되지 않는다.

따라서 쌍대비교의 결과로부터 모든 구성요소들 사이의 가중치를 도출할 때에는 전이적 일관성 및 기수적 일관성이 과연 지켜지고 있는지의 여부를 검토해야 한다. 만일 쌍대비교의 분석 결과, 비일관성의 정도가 크다면 쌍대비교의 과정을 재검토하여 수정해야 할 것이다.

전이적 일관성과 기수적 일관성의 성립 여부를 검증하는 방법은 다음과 같다. 어떤 한 계층 내 요소들 사이의 쌍대비교 결과를 기입한 입력행렬을 A라고 하자. 요소들의 개수가 n개라면 A는  $n \times n$ 의 정방행렬이 된다. 이 계층 내의 평가 구성요소들 사이에 기수적 일관성이 성립하는 실제의 가중치가 선형적으로 알려져 있다고 가정하면, 이 가중치들은  $[W=(W_1, W_2, \dots, W_n) \cdot T]$ 와 같은  $n \times 1$ 의 열벡터(column vector)로 나타낼 수 있다. 만일 행렬 A가 기수적 일관성을 충족한다면 행렬 A와 벡터 W 사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$A \cdot W = N \cdot W \quad (\text{식 2})$$

(단, N은 요소들의 개수를 나타내는 스칼라 숫자)

<식 2>에서 W의 실제 값은 평가자가 알 수 없으며, 단지 입력행렬 A를 이용하여 추정할 수 있을 뿐이다. 이렇게 추정된 가중치 벡터를 W라고 하면, 행렬 A와 벡터 W 사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$A \cdot W = \lambda_{\max} \cdot W \quad (\text{식 3})$$

(단,  $\lambda_{\max}$ 는 최대 고유치)

<식 2>와 <식 3>으로부터 행렬 A가 기수적 일관성을 충족한다면  $\lambda_{\max} = N$ 이 성립함을 알 수 있다. 행렬 A의 일관성의 정도가 높으면 높을수록  $\lambda_{\max}$ 는 N에 가까워진다. 이러한 특성을 이용하여 일관성 지수(consistency index: CI)는 다음의 식에 의하여 구할 수 있다.

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (\text{식 4})$$

<식 4>의 일관성 지수를 이용하여 기수적 일관성 여부의 검증은 먼저 척도 1에서 9 사이의 값으로부터 무작위로 추출하여 작성한 역수 행렬(reciprocal matrix)로부터 일종의 일관성 지수(무작위 지수; random index; RI)를 구한 후, CI와 RI 사이의 비율(일치 비율; consistency ratio; CR)을  $[(CI \times RI) \times 100]$ 에 의해 구한다. 일반적으로 이 일치 비율이 10% 이내이면 허용 가능한 것으로 판정한다. 만일 일치 비율 10%를 초과하면 이원비교에서의 비일관성을 해결하기 위해 행렬 A를 다시 작성하는 것이 바람직하다.

#### 4. 전자제품 산업 위해현황 분석 결과

AHP 분석 과정을 통해 대분류, 중분류 그리고 소분류 위해요소에 대한 산업별 위해현황을 분석한 결과는 다음과 같다.

##### 4.1 대분류 수준의 위해현황

위해요소	가중치	CI	CR
제품	0.495		
사용자	0.362	0.001	0.003
환경	0.144		

##### 4.2 중분류 수준의 위해현황

- 제품 위해요소에 따른 위해현황

위해요소	가중치	CI	CR
전기적	0.399		
열화재	0.242		
방사선	0.158	0.045	0.040
운동성	0.141		
비운동성	0.517		

- 사용자 위해요소에 따른 위해현황

위해요소	가중치	CI	CR
성별	0.128		
나이	0.551	0.029	0.050
성향	0.321		

- 환경 위해요소에 따른 위해현황

위해요소	가중치	CI	CR
사용 장소	0.625		
접지	0.375		

#### 4.3 소분류 수준의 위해현황

- 제품(전기적) 위해요소에 따른 위해현황

위해요소	가중치	CI	CR
감전	0.53		
누전	0.27	0.007	0.011
스파크	0.195		

- 제품(열화재) 위해요소에 따른 위해현황

위해요소	가중치	CI	CR
과열	0.263		
화재	0.462	0.007	0.012
유독가스발생	0.275		

- 환경 위해요소에 따른 위해현황

위해요소	가중치	CI	CR
전자과발생	0.354		
방사능물질	0.283		
자외선	0.115	0.006	0.005
X-선	0.131		
레이저	0.118		

- 제품(운동성) 위해요소에 따른 위해현황

위해요소	가중치	CI	CR
과열	0.261		
충격	0.293		
부품낙하	0.187		
분진	0.085	0.020	0.016
진동	0.091		
소음	0.084		

- 제품(비운동성) 위해요소에 따른 위해현황

위해요소	가중치	CI	CR
상해성외형	0.567		
중량	0.156	0.041	0.070
전도성	0.277		

- 사용자(성별) 위해요소에 따른 위해현황

위해요소	가중치	CI	CR
남	0.419		
여	0.581		

$$V_i = \sum X_{ij} \cdot W_j \quad (\text{식 } 5)$$

소비자위해지수(CII)를 계산한 결과와 위해성관리수준(ICL)을 임의로 설정하여 제품안전 설계에 반영하여야 할 위해요소의 집합을 표현한 결과는 다음 <표 6>과 같다.

- 사용자(나이) 위해요소에 따른 위해현황

위해요소	가중치	CI	CR
아동층	0.424	0.047	0.052
청소년층	0.138		
성인층	0.072		
노년층	0.366		

- 사용자(성향) 위해요소에 따른 위해현황

위해요소	가중치	CI	CR
계산형	0.081	0.004	0.006
무모형	0.409		
무지형	0.510		

- 환경(사용장소) 위해요소에 따른 위해현황

위해요소	가중치	CI	CR
직사광선	0.313	0.000	0.001
습도	0.495		
온도	0.192		

- 환경(접지) 위해요소에 따른 위해현황

위해요소	가중치	CI	CR
유	0.388		
무	0.612		

### 5. 위해성관리수준에 의한 설계 지침

위해성관리수준(ICL; Injury Control Level)이란 소비자위해지수(CII)가 높은 위해요소 집합에 대해 제품안전 설계를 위한 통제 수준이다. 즉, 소비자위해지수가 높은 순서로 순위를 지정하여 해당 제품의 특성에 맞도록 설정한 최소 위해순위를 위해성관리수준이라 한다. 예를 들어 A제품을 생산하는 기업이 A제품의 해당 산업인 식품산업에서 위해성관리수준을 '10'으로 설정하였다면, 소비자위해지수가 큰 순서로 상위 10개의 위해요소만을 제품안전 설계에 반영하고 나머지 위해요소는 반영하지 않아도 제품안전에 문제가 발생하지 않는다고 볼 수 있다.

소비자위해지수는 대분류-중분류-소분류 위해요소 집합 내 원소들의 복합 가중치(composite or global weights)이다. 각 계층 내에서 동질적인 요소들 간의 쌍대 비교를 통하여 계층 내의 가중치(local weights)를 구한 후, 일관성에 대한 검토를 하여 일치 비율이 수용 가능한 범위에 들어왔다고 판단되면 다음에는 이를 종합하여 궁극적으로 해결하고자 하는 문제에 대한 최하위 계층의 요소들(즉, 소분류 위해요소) 사이의 복합 가중치를 설정하여야 한다. 복합 가중치의 설정은 계층 간의 가중치를 이용하여 일종의 가중평균을 구하는 방법으로 행해진다. 본 연구에서 위해요소의 계층구조는 1) 대분류 위해요소, 2) 중분류 위해요소, 3) 소분류 위해요소라는 3개 계층으로 구성되어 있다. 일반화하여 표현하면, 각 평가 수준별 가중치의 집합을  $W_j = \{W_1, W_2, \dots, W_m\}$ , 평가 기준  $j$ 에 대한 의사결정 중의 한 요소  $i$ 에 대한 가중치를  $X_{ij}$ 라 하면, 최종 평가 수준에 대한 의사결정  $i$ 의 가중치  $V_i$ 는 소비자위해지수이며, 다음 식으로 계산된다.

표 6. 전자제품 산업의 위해성 관리

대분류(가중치)	중분류(가중치)	소분류(가중치)	CII	위해순위	
제품 (0.416)	전기적 위험 (0.399)	감전(0.531)	0.088	2*	
		누전(0.274)	0.045	8*	
		스파크(0.195)	0.032	11	
	열화재 위험 (0.242)	과열(0.263)	0.026	16	
		화재(0.462)	0.047	7*	
		유독가스 발생(0.275)	0.028	14	
		방사선 위험 (0.158)	전자파 발생(0.354)	0.023	17
	사용자 (0.396)	방사능 물질(0.283)	방사능 물질(0.283)	0.019	20
			자외선(0.115)	0.008	29
			X-선(0.131)	0.009	27
레이저(0.118)			0.008	28	
운동성 위험 (0.141)		파열(0.261)	0.015	23	
		충격(0.293)	0.017	21	
		부품낙하(0.187)	0.011	25	
비운동 성 위험 (0.061)	분진(0.085)	0.005	32		
	진동(0.091)	0.005	31		
	소음(0.084)	0.005	33		
환경 (0.188)	상해성 외형(0.567)	중량(0.156)	0.014	24	
		전도(성)(0.277)	0.004	34	
	성별 (0.128)	남(0.419)	0.021	19	
		여(0.581)	0.030	13	
	나이 (0.551)	아동층(0.424)	0.092	1*	
		청소년층(0.138)	0.030	12	
		성인층(0.072)	0.016	22	
		노년층(0.366)	0.080	3*	
	사용 성향 (0.321)	계산형(0.078)	0.010	26	
		무모형-자신만만(0.447)	0.057	6*	
무지형(0.475)		0.060	4*		
사용장 소 (0.625)	온도(0.313)	0.037	10*		
	습도(0.495)	0.058	5*		
	직사광선(0.192)	0.023	18		
접지(그 라운드) (0.375)	유(0.388)	0.027	15		
	무(0.612)	0.043	9*		

\* ; 위해성관리수준(ICL=10)

또한, 제품안전 설계에 고려하여야 할 위해요소 리스트(ICL=10)는 다음과 같다.

- ① 사용자의 연령층이 12세 이하의 아동층 일 경우의 위해성
- ② 제품에 의한 감전의 위해성
- ③ 사용자의 연령층이 60세 이상의 노년층 경우의 위해성
- ④ 사용자의 무지한 사용 성향에 의한 위해성
- ⑤ 사용 환경의 습도에 의한 위해성
- ⑥ 사용자의 무모한 사용 성향에 의한 위해성

- ⑦ 제품의 화재위험으로 인한 위해성
- ⑧ 제품의 누전으로 인한 위해성
- ⑨ 접지가 없을 경우의 위해성
- ⑩ 사용 환경의 온도에 의한 위해성

### 6. 결론

본 연구를 통해 소비자 제품과 관련한 산업별 소비자 위해현황을 분석하고 분석 결과를 바탕으로 전자제품 산업의 제품안전 설계 지침을 개발하였다. 소비자 위해현황을 분석하기 위해 소비자 위해요소를 분류하여 위해요소에 대한 전문가 평가를 실시하였다.

소비자 위해현황 분석은 제품 위해요소, 사용자 위해요소 그리고 환경 위해요소의 세 가지 대분류 수준을 상위로 하여 중분류와 소분류 위해요소에 대한 소비자 위해현황을 AHP 기법을 활용하여 분석하였다. 분석 결과, 사용자 그리고 환경 위해요소가 모두 중요한 위해요소로 분석되었다. 이러한 결과를 통해 소비자 위해성을 제품 자체의 위해성으로만 평가하였던 기존의 한계를 극복하였으며, 사용자 측면과 사용 환경 측면의 소비자 위해성 역시 중요한 위해요소로 작용한다는 기존의 이론적 연구 결과를 실증적으로 밝혀냈다. 또한 위해요소에 대한 소비자위해성지수(CII)와 위해성관리수준(ICL)을 이용한 기업의 제품안전 설계 지침을 제공하였다.

이상과 같은 소비자 위해현황 분석에 대한 본 연구의 결과는 다음과 같은 의의를 갖는다.

첫째, 소비자 위해정보가 부족한 우리나라 현실에서 제품 관련 소비자 위해 현황을 실증적으로 분석하였다. 소비자 위해현황은 위해정보 수집체계를 통해 오랜 기간 수집된 자료에 대한 통계적 분석을 통해 신뢰성 있는 분석 결과를 얻을 수 있다. 그러나 본 연구에서는 부족한 위해자료를 대신하기 위해 전문가 평가를 AHP 기법을 활용하여 체계적으로 수행하였으며, 그 평가 결과는 통계적 유의성을 충분히 갖고 있는 실증분석 결과라 할 수 있다.

둘째, 소비자 위해현황 분석 결과를 토대로 위해요소에 대한 소비자위해성지수와 위해성관리수준을 통해 기업에게 효과적인 제품안전 설계 지침을 제공하고 있다. 따라서 본 연구를 통해 제시하고 있는 제품안전 설계지침을 통해 기업은 소비자 위해성을 기반 제품안전경영을 수행할 수 있을 것으로 기대한다.

제품안전경영을 위한 기업의 우선 과제는 제품안전 설계이며, 제품안전 설계를 위해서는 본 연구와 같은 관련 제품의 소비자 위해성에 대한 구체적인 연구가 각 산업분야별, 그리고 각 제품별로 필요하다. 또한 위해성의 허용수준에 대한 결정 및 관리 방법에 대한 명확한 기준을 데이터 기반으로 구축할 필요가 있다.

### 참고문헌

[1] Albert J.D.(2001), Reconstruction is no accident, *For The Defense*, March 2001, pp. 33-37.

[2] Ali S.A.(2002), Using logistic regression to estimate the influence of accident factors on accident severity, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.34, pp.729-741.

[3] Birgitte Rasmussen(1997), Accidents and risk control, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 10, No. 5-6, pp. 325-332.

[4] Chira-Chavala T.(1994), Potential safety benefits of intelligent cruise control systems, *Accident Analysis and*

*Prevention*, Vol. 26, No. 2, pp.135-164.

[5] Daughety A.F.(1995), Product safety; liability, R&D, and signaling, *The American Economic Review*, December 1995, pp. 1187-1206.

[6] Denise Benel and Dick Sawyer, Product hazard analyses and human factors evaluations, *Essex Corp.*, pp. 163-167.

[7] Drury C.G.(1983), Human factors in consumer product accident investigation, *Human Factors*, Vol. 25, No. 3, pp. 329-342.

[8] Gordon Hayward(1996), Risk of injury per hour of exposure to consumer products, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 28, No. 1, pp. 115-121.

[9] Hale A.R.(1990), Human error models as predictors of accident scenarios for designers in road transport systems, *Ergonomics*, Vol. 33, No. 10-11, pp. 1377-1387.

[10] Inman R.R.(1998), A cost-benefit model for production vehicle testing, *IIE Transactions*, Vol. 30, pp. 1153-1160.

[11] Joy Townsend(1997), Cost effectiveness scenario analysis for a proposed trial of hormone replacement therapy, *Health Policy*, Vol.. 39, pp. 181-194.

[12] Kal W.M., An integral model for product liability and safety using hazard analysis, *Journal of Industrial and Systems Engineering*, Vol. 22, No. 53, pp. 78-88.

[13] Khan F.I.(2001), SCAP; a new methodology for safety management based on feedback from credible accident-probabilistic fault tree analysis system, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. A87, pp. 23-56.

[14] Kim, S.K.(2003), A Theoretical Approach of Accident Cost Analysis for Product Safety Management, XVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association.

[15] Knight, J.C.(2002), Safety critical systems: challenges and directions, *ICSE'02*, pp.19-25.

[16] Lee D.H.(2000), A systematic approach to accident scenario analysis for designing safer products: child nursery equipment case studies, *Thesis for degree of doctor of philosophy*, Kunghee University, Seoul Korea.

[17] Miceli T.J.(1993), The cost of product liability for small vs. large firms, *Journal of Products & Toxics Liability*, Vol. 15, pp. 125-143.

[18] Miller T.R. et. al.(2000), The consumer product safety commission's revised Injury Cost Model, *Final report to the U.S. Consumer Product Safety Commission*, Public Service Research Institute, MD 20705-3102.

[19] Mulder S.(2001), Setting priorities in injury prevention; the application of an incidence based cost model, *Injury Prevention: Journal of the International*

2005 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회  
2005 5월 13일~14일, 충북대학교

*Society for Child and Adolescent Prevention.*

[20] OECD(1983), Product Safety; Risk management and cost-benefit analysis, *Director of Information in Organization for Economic Co-operation and Development.*

[21] Paul Bybutt(2003), Major hazards analysis: An improved method for process hazard analysis, *Process Safety Progress*, Vol.22, No.1, pp.21-26.

[22] Shaun C.R.(2002), Comparing measures of injury severity for use with large databases, *The Journal of Trauma*, August 2002, pp. 326-332.

[23] Warne C.A.(1982), Designing out accidents - first understand the problem, *Applied Ergonomics*, Vol. 13, No. 1, pp. 2-6.