

제품안전경영을 위한 사고비용분석의 이론적 접근

*김사길 · 변승남

경희대학교 테크노공학대학 기계·산업시스템 공학부

A Theoretical Approach of Accident Cost Analyses for Product Safety Management

Sa Kil Kim · Seong Nam Byun

College of Advanced Technology in Kyung Hee Univ., 1 Sochen-ni, Kihung-eop,
Yongin-shi Kyongki-do, 449-701, Korea

Abstract

Accident analysis is special concern to researchers in traffic safety. Accident analysis in product safety, however, is not. The needs of product safety management alter it in the world by all manufacturers. The purpose of this study is to propose a theoretical principles for product safety management through the accident cost analyses. The accident cost is a important factor to prevent product accident and to treat some claims of customers. It is sure that this principles can help all making decisions of manufactures with expected accident cost per a product accident and with total expected accident cost.

Keyword : accident cost, product safety.

* 저자 연락처: 경희대학교 테크노공학대학 기계·산업시스템공학부 산업공학전공 박사과정; Tel: (031) 201-2878; E-mail: khsuie@khu.ac.kr; Fax: (031) 203-4004

1. 연구 배경

사고 분석(accident analysis)은 사고 조사(accident investigation)를 통한 사고의 진상을 밝히기 위한 수단이기도 하지만, 사고 원인을 찾아 사고를 예방하는 것이 주요한 목적이다. 그러므로 국가나 기업은 제품의 결함으

로 인한 사고를 철저히 분석하여 그 결과를 해당 제품의 설계에 반영하도록 해야 할 필요가 있다. 미국의 안전 연구 전문 기관인 NSC(National Safety Council)은 제조물의 기획 및 설계 단계에서부터 안전성(safety)을 충분히 고려할 것을 권고하고 있으며, 사고 분석을 통해 얻어진 결과를 재차 설계에 반영해야 한다고 강조하고 있다(Manuele, F.A., 1999). 또한, NSC는 사고를 예방하는 비용이 사고를 처리하는 비용보다 경제적이며, 제품의 안전성을 보다 쉽게 확보할 수 있는 방법임을 강조하고 있다. 다음 <그림 1>은 기업의 사고처리 단계에 따른 비용 관계를 나타내고 있다.

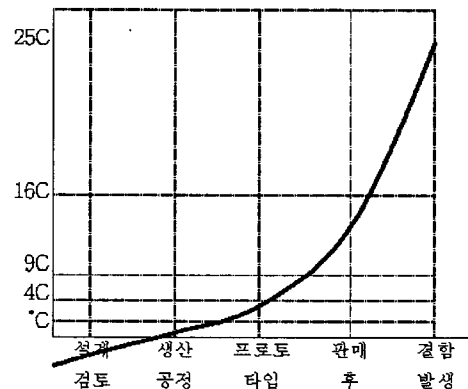


그림 1. 사고 처리 단계별 비용 곡선

기업의 사고 처리비용은 설계검토 단계에서 결함발생 단계로 갈수록 증가하는데, 비용

은 설계검토 단계를 기준으로 25배 증가하는 것을 알 수 있다(단, 사고 처리 단계별 및 행위별 단위 비용이 동일하다고 가정). 결국, 설계검토 단계에서 안전성을 고려한다면, 최소의 사고 처리비용으로 제조물의 결함으로 인한 사고를 예방할 수 있는 셈이다.

2. 선행 연구 및 문제점

일반적으로 널리 알려져 쓰이고 있는 사고 분석 방법으로 고장위험 및 영향분석(Potential Failure Mode and Effects Analysis)과 결함수 분석(Fault Tree Analysis)이 있다. 고장위험 및 영향분석 기법은 예상 가능한 고장 형태에 따른 영향 정도를 추정하여 신뢰성과 안전성을 평가하는 방법으로 제조물 설계 단계에 널리 쓰이고 있다. 결함수 분석 기법은 고장을 발생시키는 사상(event)과 그의 원인과의 인과관계를 논리 기호(and, or)를 사용하여 고장확률을 구하는 방법이다. 이 밖에도 초기위험분석(Preliminary Hazard Analysis), 고장유형 영향 및 치명도 분석(Failure Mode Effects and Criticality Analysis), 결함위험분석(Fault Hazard Analysis), MORT(Management Oversight and Risk Tree), STEP(Sequentially Timed Events Plotting), 그리고 SCAT(Systemic Causal Analysis Technique) 등이 있다. 그러나 이러한 위험 분석 기법들은 정성적 기법으로 분석자의 주관이 개입되기 쉬우며, 사고 데이터를 이용하여 분석 결과를 활용하기 어렵다는 한계가 있다.

한편, 사고 시나리오를 활용한 사고 분석 기법은 사고의 원인을 보다 구체적으로 밝히고 사고 유형별로 예방책을 강구할 수 있다는 측면에서 그 활용 정도가 높다. 일찍이 Drury는 소비자 제품의 사고분석을 위해 인간 공학적 기법을 활용하여 위험 유형(hazard patterns)과 사고 시나리오를 분석하였다(1983). 그는 위험 유형별로 사고를 당하게 되는 사용자(victims)의 환경(environment)과 행위(task), 그리고 해당 제품(product)의 특성에 따른 사고 유형을 분석하였다. 이러한 사고 시나리오 분석 기법은 훗날 체계적 사고 시나리오 분석 기법(Systematic Accident Scenario Analysis)을 개발하는데 기반을 제공하였다(이동훈, 2000). 또한 작업장 안전 사고에 대한 연구로 작업자의 행위에 중점을 둔 사고 시나리오 분석 기법이 연구되었다(Rachel Benedyk, 1998).

이러한 사고 분석 기법은 사고의 원인을 찾아 설계 지침을 제공하기 위한 방법으로 발전되고 있는 반면, 사고 비용에 관한 연구는

법적 배상 비용을 추산하기 위한 차원에서 진행되었다. 사고 데이터의 분석을 통해 상해의 심각한 정도(injury severity)를 측정하는 척도(ISS: Injury Severity Score)를 개발하였고(Baker S.P., 1974), 이러한 상해 척도는 6개의 수준으로 구분된 AIS(Abbreviated Injury Scale)로 발전되었다(Des Plaines, IL, 1990). AIS를 이용하여 James는 상해 비용(injury costs)을 추정하는 모델을 제시하였다(1993). 또한 미국의 CPSC(Consumer Product Safety Commission)은 NEISS(National Electronic Injury Surveillance System) 데이터를 활용하여 사고 비용을 추정하는 상해 비용 모델(Injury Cost Model)을 개발하여 NEISS와 연동되는 프로그램을 개발하였다. 한편, Rodgers는 JVR(Jury Verdict Research) 데이터를 활용하여 상해에 대한 배상 비용을 추정하였다(1991).

이처럼, 사고의 원인을 찾고자 하는 사고 분석과 사고로 인한 상해 비용을 추정하기 위한 연구가 독립적으로 이루어 졌다. 그러나 사고의 원인을 찾기 위한 사고 분석에 있어 사고 비용을 고려하는 것은 지금까지 시도되지 못하였으며, 현실적으로 지금까지 공개되고 있는 사고 분석 기법들은 사고 비용을 요인 변수로 사용할 수 없는 한계를 보이고 있다.

본 연구는 기존의 사고 분석 기법이 안고 있는 문제를 해결하고자 하였다. 사고 분석에 있어 사고 비용 변수는 기업의 사고 예방 및 위기 경영(risk management) 차원에서 가장 중요한 요소이다. 전술한 바와 같이 사고 비용은 사고 처리 단계가 높아질수록 증가하는 이차 곡선 함수를 보이고 있다. 이 때문에 기업은 사고 비용을 고려하지 않고서는 사고의 예방이나 사후 처리에 있어 어떠한 결정도 내릴 수 없는 것이다. 결국, 사고 분석을 통해 사고의 원인(causes)을 찾고 사고에 대한 손익분석(cost benefit analysis)을 통해 사고의 결과(results)를 예측해야 하는 이중 부담을 안게 되는 것이다. 이처럼 기업이 위기 경영 전략을 결정함에 있어 사고 비용은 중요한 의사 결정 변수이다. 그러므로 본 연구는 기업의 제품안전경영(product safety management)에 활용될 수 있는 사고비용분석(accident cost analysis)의 이론적 접근을 시도하였다.

3. 사고 체계와 사고 비용

사고(accident)란 뜻하지 않은 상해나 재산상의 손해를 가져오는 계획되지 않은 사상(events)의 과정으로 정의되고 있다(Nicholas, 1999). 또한, Nicholas는 사고의 메커니즘(mechanism)을 다음 <그림 2>와 같이 표현한다.

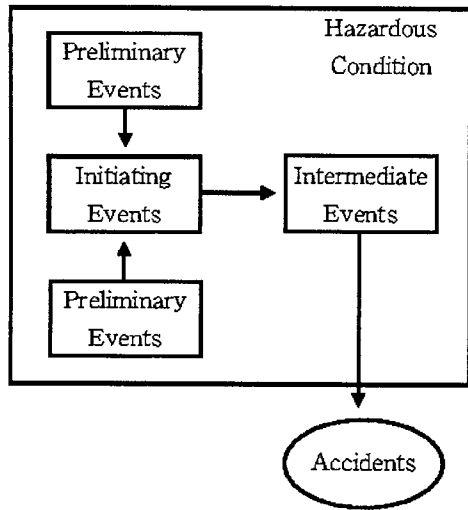


그림 2. 사고의 메커니즘(Nicholas, 1999)

사고의 직접적인 원인을 제공하는 메커니즘이나 상황(condition)을 제공하는 사상(initiating events)은 이에 영향을 미치는 예비사상(preliminary events)에 의해 발생하게 된다. 또한 사고의 발생을 차단할 수 있는 사상의 부재나 사고를 더욱 확장시키는 사상(intermediate events)은 사고의 결정적 원인으로 작용된다. 결국, 인간의 사고 예방 활동은 잠재된 위험 상황(hazardous condition)이나 사고의 원인이 되는 3단계의 사상(preliminary events, initiating events, intermediate events)을 줄이거나 제거하려는 노력이다.

사고 체계의 개념적 메커니즘을 보다 현실적으로 표현하기 위해 인간의 사고에 대한 행위 관점에서 이해할 필요가 있다. 덴마크의 시스템 분석자인 Rasmussen이 제시하고 있는 사고 시나리오 모델(accident scenario model)을 살펴보면 다음 <그림 3>과 같다.

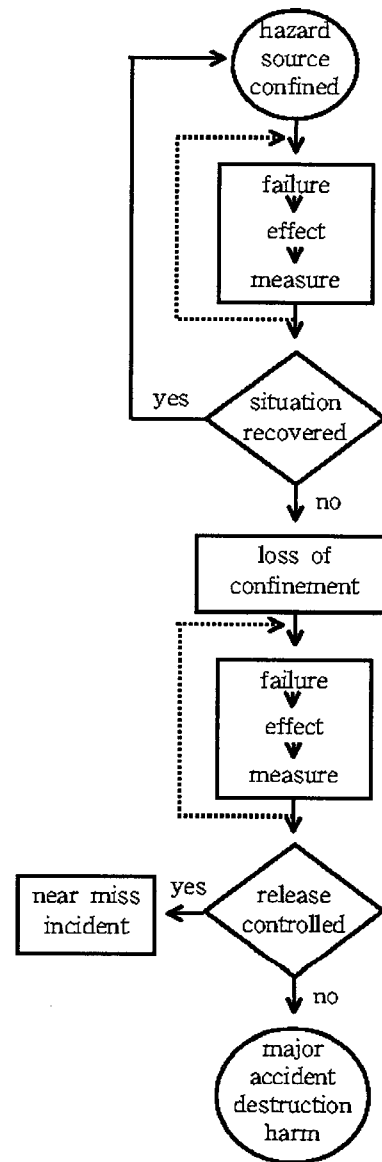


그림3. 사고 시나리오 모델(Rasmussen, 1997)

사고 시나리오 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. 이처럼 인간이 사고 발생 과정에 어느 정도 관여하는가에 따라 사고의 발생 빈도(likelihood)와 사고로 인한 결과(consequence)를 조절할 수 있다. 또한, 인간은 잠재된 위

험을 관리하는 순환모드의 활동을 활발히 하여 사고에 대처하는 순환모드의 활동을 줄이려는 노력을 하고 있다. 이처럼 사고 체계에 대한 이해를 통해 인간은 사고를 예방하거나 사고에 대한 적절한 대처를 하고 있다. 그러나, 이러한 인간의 사고 과정(accident process)에 대한 개입은 비용을 수반한다. 또한, 위험 요소를 줄이거나 제거하는데 소요되는 비용과 사고의 결과로 인한 비용과는 서로 상충효과(trade off effects)를 보이고 있다. 그러므로, 인간은 잠재된 위험을 관리하는 순환모드의 활동을 극대화하여 사고와 사고비용을 최소화 할 수 있다.

그러나, 기업활동에 있어 사고에 대한 관점은 또 다른 측면을 내포하고 있다. 즉, 기업은 사고를 최소화시키는 것을 목적으로 하는 것이 아니고 사고 체계와 관련된 사고 비용(accident cost)을 최소화하는 것을 목적으로 하고 있다. 이른바 위기 경영(risk management)의 측면에서 잠재된 위험을 관리하는 비용과 사고에 대처하는 비용을 비교 분석해야 하는 것이다. 이는 결국 사고에 대한 비용 이익분석(cost benefit analysis)과 일맥상통한다.

4. 제품안전경영을 위한 사고 비용

제품을 생산·판매하여 이익을 극대화하여야 하는 제조기업은 제품의 안전성 문제가 제품의 원가를 상승시킨다는 구시대적 경영 사고를 버리지 못하고 있는 것이 사실이다. 그러나, 오늘날 제품안전에 대한 인식은 제품원가의 측면이 아닌, 제품안전 품질 측면에서 새로운 경쟁력 요소로 작용되고 있다. 또한, 제조물책임과 같은 법적 규제를 통해 제품사고로 인해 예상되는 사고 처리비용이 점점 늘어나고 있다. 그러므로 제조기업은 제품의 잠재위험을 관리하는 비용과 제품안전사고로 인한 처리 비용의 적절한 비교 분석이 요구된다. 이러한 사고 체계에 대한 이해를 근간으로 기업의 제품 안전 경영(product safety management) 활동에 대한 비용 분석이 오늘날의 제조기업에게 절실히 요구된다. 기업의 제품안전경영 활동에 따른 사고 비용의 개략적 내용은 다음 <표 1>과 같다.

표 1. 제품안전경영에 따른 사고 비용

구분	비용 요소
잠재 위험 관리	· 제품안전설계
	· 위험요소분석
	· 제품의 안전성 시험
	· 위험정보 수집 및 분석
사고 처리	· 제품안전 시정 조치
	· 제품사고의 피해자에 대한 배상
	· 제품사고로 인한 소송
	· 사고제품에 대한 잠재 수요 격감

이처럼 제품안전경영을 위해 수반되는 비용 요소는 전술한 바와 같이 잠재위험을 관리하는 비용과 사고처리 비용으로 구분된다. 그리고 각 비용 요소들에 대한 정량적 비용 산정을 통해 제품안전경영을 위한 의사결정 변수로 활용하여야 한다. 그러나 각 비용 요소들에 대한 정량적 비용 산정은 각 제조기업의 특수성과 경영환경에 따라 다를 수 있으며 제품안전사고의 피해자에 대한 배상비용 추정이 어렵다. 다만, 제품안전사고의 발생 시, 실제로 피해자에게 배상한 비용들의 평균 비용만을 활용할 수 있다. 그러나, 이러한 평균 비용으로 잠재된 제품안전사고를 해석하는 데는 한계가 있다.

그러므로 제조기업은 새로운 제품의 개발에 있어 제품의 수급할 만한 안전성 수준(acceptable safety level)을 결정하기 위해 유사제품이나 수집된 위해 정보 자료를 토대로 사고의 피해자에 대한 배상 비용을 추정하여야 한다.

5. 제품안전사고의 배상비용 추정

제품안전사고의 피해자에 대한 배상비용은 다음 <그림 4>의 제품안전사고 모형을 통해 유추할 수 있다.

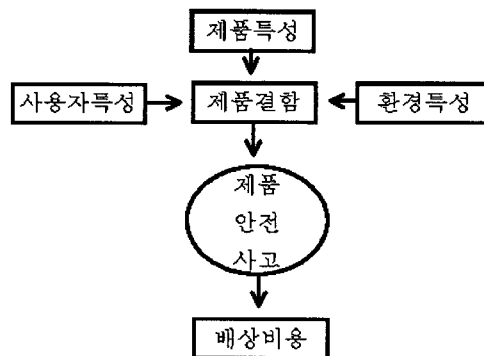


그림 4. 제품안전사고 모형

제품안전사고에 직접적인 원인이 되는 사

상(event)은 제품의 결함(defects)이고 제품의 결함은 제품 특성(product characteristics), 사용자 특성(user characteristics) 그리고 환경 특성(environment characteristics)의 복합적이고 잠재된 위험 상황(hazardous conditions)에 의해 제품안전사고의 형태로 나타난다. 또한 제품안전사고의 결과로 피해자에 대한 배상비용이 발생하게 된다. 그러므로 배상비용의 추정은 전술한 위험 상황의 각 요인(factors)에 대한 확률적 통계 분석을 통해 가능하다. 확률적 통계 분석을 위해 잠재된 위험 상황은 위험 상황의 정도에 따라 구분되어야 한다. 이러한 구분(categorization)은 제품 결함에 영향을 주는 제품 특성, 사용자 특성 그리고 환경 특성의 확률적 빈도(frequency)에 의한 위험 상황의 수준(severity)으로 나타난다.

또한, 위험 상황의 수준은 배상비용의 각 요소들과 결합하여 배상비용을 추정할 수 있다. 배상비용의 요소는 해당 제품의 특성에 따라 조금씩 상이하나 일반적으로 안전경제분석가(safety economist)로 저명한 Miller의 구분에 따르고 있다. Miller는 제품안전사고에서 발생할 수 있는 배상비용을 다음 <표 4>와 같이 제시하고 있다.

표 2. 배상비용 기준표(Miller, 1990)

상해 정도	배상 비용				
	병원 비용	가계 손실 비용	임금 손실 비용	직장 손해 비용	소송 비용
* AIS 1	731	312	1,004	157	283
AIS 2	5,033	2,273	7,939	1,046	1,812
AIS 3	16,910	8,687	31,404	2,351	9,939
AIS 4	141,127	25,605	81,466	3,139	42,469
AIS 5	275,597	38,608	159,377	4,292	80,436
AIS 6 (사망)	5,859	92,014	428,316	6,186	64,205

*비용 단위 : U.S. \$

* AIS : Abbreviated Injury Scale

Miller가 제시하고 있는 배상비용 요소는 병원비용, 가계손실비용, 임금손실비용, 직장손해비용 그리고 소송비용이다. 병원비용은 제품안전사고로 인한 병원치료비용을, 가계손실비용은 사고로 인해 피해자의 가계에 예상되는 소득에 대한 손해비용을, 임금손실비용은 피해자가 회복 기간 동안 받지 못하는 임금과

실업으로 인해 예상되는 비용을, 직장손해비용은 피해자로 인해 해당 직장이 손해를 입게되는 비용을, 그리고 소송비용은 해당 사고로 인해 피해자가 부담하는 소송 관련 비용을 포함한다. 이와 같은 배상비용의 요소는 보험회사의 손해사정원칙에 의해 보다 자세히 구분되어 있다. 또한 미국의 CPSC(Consumer Product Safety Commission)에서 구분하고 있는 상해비용(injury costs)에 자세히 나타나 있다.

이상의 확률적 영향 분석을 통한 배상비용 추정 방법을 정리하면 다음 <그림 5>와 같다.

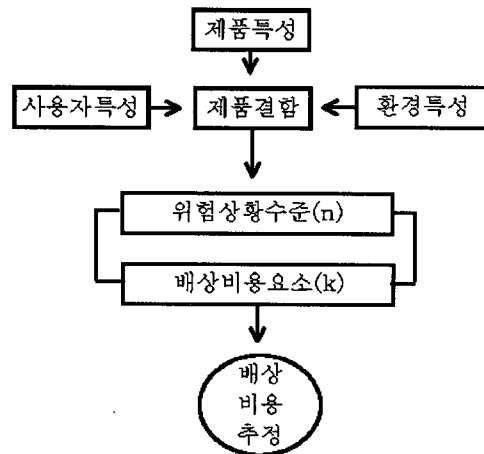


그림 5. 배상비용 추정 모델

<그림 5>의 배상비용 추정 모델은 다음 3단계의 과정을 통해 배상비용을 추정하고 있다.

• 1단계(위험 상황 수준의 결정) : 제품결합에 영향을 주는 잠재 위험 요소에 대한 제품특성, 사용자특성 그리고 환경특성의 통계적 빈도분석을 통한 위험 상황 수준(severity) 구분(n 개의 군집).

• 2단계(배상비용 요소의 결정) : 해당 제품의 특성에 맞는 배상 비용 요소를 기존 사고 데이터나 손해사정원칙에 준하여 결정(k 개의 배상 비용 요소).

• 3단계(배상비용 추정) : 위험 상황 수준과 배상 비용 요소를 통한 배상비용 추정(N·K, 벡터의 내적)

6. 결론 및 향후 연구방향

제품 안전 경영(product safety management)을 위한 제조기업의 제품안전사고 비용의 추정은 오늘날 세계 모든 기업에게 관심이 집중되고 있다. 이는 잠재위험 요소를 관리하는데 투자해야 하는 비용과 제품안전사고로 인해 제조기업이 감수해야 하는 사고비용을 비교하여 제품안전경영 정책을 결정해야 하는데, 정량적인 사고비용의 추정이 어렵기 때문이다. 또한, 제품안전사고에 있어 피해자에 대한 배상비용을 추정하는 것이 가장 어렵다.

본 연구는 제품안전사고에 대한 배상비용을 확률적 통계 분석을 통해 정량적으로 추정하는 이론적 방법을 찾는 것을 목적으로 하였다. 다만, 본 연구에서 제시하고 있는 배상비용 추정 방법에 대한 실증적 검증에 대한 연구 한계를 보이고 있다. 이는 국내 제조기업의 제품안전사고에 대한 자료가 전혀 구축되어 있지 않은 상황이기 때문이다. 그러나 외국의 경우, 우수한 위해 정보 수집 체계를 갖추고 있으므로 추후, 외국 자료에 대한 실증적 연구가 선행되어야 할 것으로 본다.

참고자료

- [1] Birgitte Rasmussen(1997), Accidents and risk control, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 10, No. 5 6, pp. 325 332.
- [2] Daughety A.F.(1995), Product safety; liability, R&D, and signaling, *The American Economic Review*, December 1995, pp. 1187 1206.
- [3] Drury C.G.(1983), Human factors in consumer product accident investigation, *Human Factors*, Vol. 25, No. 3, pp. 329 342.
- [4] Gordon Hayward(1996), Risk of injury per hour of exposure to consumer products, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 28, No. 1, pp. 115 121.
- [5] Inman R.R.(1998), A cost benefit model for production vehicle testing, *IIE Transactions*, Vol. 30, pp. 1153 1160.
- [6] 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.

[7] Prunella W.J.(2002), Societal costs of injuries; the key to rational decision making, *U.S. Consumer Product Safety Commission*.