

제품안전을 위한 디자인과정에서의 FMEA 적용 방안에 관한 연구

A Study on The Application of FMEA for Product Safety in Design Process

안인석

한국기술교육대학교 디자인공학과

Ahn, In-Suk

Dept. of Industrial Design Engineering, KUT

정광태

한국기술교육대학교 디자인공학과

Jung, Kwang-Tae

Dept. of Industrial Design Engineering, KUT

• Key words: Product Safety, Product Liability, FMEA

1. 서론

제품 개발 단계에서 고려해야 할 사항이 여러 가지 있지만, 제조물책임(product liability)법의 시행으로 더욱 중요하게 자리 잡은 사항은 제품안전(product safety)이다. 특히 제조물책임법에 대응하는 안전대책에서 예방중심의 노력이 요구되고 있으며 이러한 노력은 디자인 과정에 적용되어야 할 것이다. 그러므로 제품개발과정에서 제품안전에 대응하는 디자인 과정은 중요하게 다루어져야 할 것으로 판단된다. 디자인과정에 제품안전을 고려하기 위해 사전 예방 중심의 안전성 분석 기법으로 시스템 안전 분야에서 오랫동안 사용되어 온 분석 방법을 제품안전 디자인과정에 대한 분석 방법으로 적용할 수 있을 것이다. 특히, 안전성 분석 방법 중에서 FMEA(Failure Mode Effects and Analysis)는 디자인 과정에 적용할 수 있는 가장 알맞은 방법이다. 그러나 안전성 분석 기법으로 제품안전을 다루기에는 추가적인 요소를 고려해야 한다.¹⁾ 제품 디자인 과정에서 FMEA를 적용하기 위해서는 디자인 요소를 분석 기법의 항목으로 응용해야 하기 때문이다. 그러므로 제품안전을 위한 디자인과정에서의 FMEA 적용 방안을 연구하고 그에 대한 사례 연구를 수행하고자 한다.

2. 제품 안전

2.1 제품안전의 원칙

제품안전의 원칙은 4가지로 구분되고 있다. 첫째로는 수명주기(Life cycle)의 원칙으로 단일 단계의 제품안전이 아닌 수명주기별 단계업무에 종합적인 적용이 필요한 제품에 적용되며, 둘째는 인간-기계 시스템(man-machine system)의 원칙으로 제품 자체뿐만 아니라 사용자 및 사용환경 등과의 상호작용을 고려해야 하는 제품에 적용된다. 셋째로는 비용-효과(cost-benefit)의 원칙으로 합리적인 의사결정을 위한 기초적인 실무 척도에 적용되며, 네 번째로는 잔여 리스크(residual risk)의 원칙으로 안전성 확보의 근본적 한계에 대한 인식에 근거한 안전성 개념으로 적용된다. 그리고 제품안전설계에 대한 시스템은 다음 [표1]과 같다.

[표1] 제품안전설계시스템

단계	내용
위험분석 및 전개	· 소비자 제품사용 정보수집 · 위험분석 적용 · 신뢰성 전개
경고문 및 제품사용 지시서 설계	· 경고문 안전설계 · 경고문 시험 및 평가 · 제품지시서 안전설계
설계 검토 및 보증	· 설계 검토 · 설계 신뢰성 보증

2.2 안전성 평가방법

안전성 평가방법으로는 FMEA, FTA(Fault Tree Analysis), HAZOP(Hazard and Operability), HACCP(Hazard Analysis and Critical Control Point) 등이 사용되고 있다. FMEA법은 고장모드 영향분석으로 제품 또는 시스템의 설계개발 초기단계에서 예상되는 고장형태 및 영향을 정성적 또는 정량적으로 사전 파악하고 분석하는 방법으로 설계단계와 공정단계에서 실시하여 제품생산 전에 완료하는 방법이다. FTA(결함수분석)법은 시스템고장을 야기하는 상세 부품까지 원인과 인과관계를 논리기호로 표현하여 고장 트리 구조를 작성한다. 그리고 이에 의하여 고장확률을 구하고 문제가 되는 부분을 찾아내어 제품이나 시스템의 신뢰성을 평가 및 개선하는 방법을 말한다. HAZOP(위험요소 및 운전성분석)법은 화학공장의 공정 위험요소를 정성적으로 분석하는 방법이며, HACCP(위험요소 중점관리기준)법은 식품의 원료, 제조, 가공 및 유통의 전과정에 위해물질이 식품에 혼합되거나 오염되는 것을 막기 위해 사용되는 방법이다. 이상의 방법들 중에서 디자인 결함을 찾고 분석하여 개선대책을 얻을 수 있는 방법으로 FMEA 방법이 가장 적합한 것으로 판단하였다. 제품안전의 평가방법인 고장모드 영향분석을 잠재적 디자인 부적합성 영향 분석으로 디자인과정에서 적용할 수 있는 FMEA를 채택하였고 적용하여 사례연구를 수행하였다.

3. 제품 안전을 위한 FMEA 적용방안

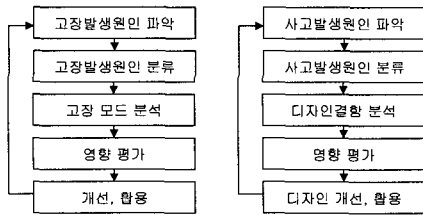
3.1 FMEA 적용방안

FMEA는 디자인 단계에서부터 제품을 생산하는 단계까지 적용할 수 있는 평가 방법이고, 고장 모드 개선 활동을 통하여 사전에 예방하고자 하는 신뢰성 활동의 하나이다. 원래 신뢰성 예측 기법으로 사용되는 FMEA 방법을 제품 개발 단계에서 디자인 과정에 적용함으로써 제조물 책임에 대응하는 방안을

1) 이용희, 남지화, 제품안전을 위한 안전성 분석기법 개선 검토, 대한인간공학회, p503

모색한다.

[그림1] 일반적인 FMEA 실시과정과 제품안전을 위한 FMEA 실시과정



3.2 FMEA 적용사례

3.2.1 사례연구 - 압력밥솥

FMEA의 적용사례로 압력 밥솥을 선택하였다. 압력밥솥은 고온 고압에 의한 조리기로서 안전성이 매우 중요한 제품이다. 제품안전을 위한 장치로 자동증기배출장치, 뚜껑결합감지장치, 이상점검표시기능, 잔류압력제거장치, 과열방지도퓨즈, 한계압력안전장치 등이 있다. 압력밥솥의 신제품 개발에서 안전성은 고려해야 할 우선 대상이 되므로 안전에 관련된 고장 모드를 소비자 제품사용 정보를 조사하여 분석기법에 적용한다. 압력밥솥의 사고 유형을 살펴보면 아래 [표2]와 같다. 아래의 [표2]의 사고 유형에 대한 디자인 결함을 분석하기 위하여 FMEA를 실행한다.

[표2]사고유형(소비자보호원)

구분	폭발	이상온도 (뜨거운물 등)	화재	불명	계
건수(%)	32(50.8)	25(39.7)	4(6.3)	2(3.2)	63(100)

3.2.2 FMEA 적용

압력밥솥의 기본구조는 뚜껑 부분과 솥 부분으로 나누어지며, 이 중에서 뚜껑 부분에 대하여 FMEA를 적용하였다. 뚜껑 부분을 선택한 이유는 위의 [표2]에서처럼 조사된 사고유형이 폭발은 잠금장치, 이상온도는 수증기(뜨거운 물) 배출구가 뚜껑과 관련되어 있기 때문이다.

압력밥솥의 사고유형에서 나타나는 폭발과 이상온도(수증기)를 선택하여 그에 대한 잠재적 디자인 부적합 원인으로 5가지를 도출하였으며, 부적합 원인에 대한 발생도와 검출도를 구하였다. 그리고 위험우선순위는 아래 [표3]과 같이 구했으며, 각각의 디자인 부적합성에 해당하는 디자인권고 조치사항을 수행하고 조치결과로서 위험우선순위값을 구하였다.

3.2.3 결과 및 디자인과정에서의 적용 방안

뚜껑잠금장치와 수증기배출장치의 폭발과 이상온도(수증기) 사고유형에서 잠재적 디자인 부적합성에 대한 분석 결과는 [표3]과 같다. 그리고 5가지의 디자인 부적합 원인에 대한 디자인 권고조치사항을 수행하면 위험우선순위값이 작아진다. 이것은 디자인 결함을 줄이게 되어 제품안전에 효과가 있음을 의미한다. 그러므로 디자인 과정에 대한 안전성 분석 기법 적용은 디자인 권고조치 결과를 제품디자인에 반영하여 수행하는 것이다. 밥솥의 경우 제품디자인 단계에서 폭발에 대한 디

자인 대책으로 재료의 선정과 압력제어밸브의 품질에 대한 디자인 조치사항으로 수행하였다. 그리고 이상온도(수증기)에 대한 디자인 대책으로는 배출구에 대한 길이 조절 디자인과 배출구 이물질 제거를 위한 장치의 분리 조립이 쉬운 디자인 그리고 수증기 배출구의 방열 시스템 디자인 제안을 조치내용으로 수행하였다.

[표3]압력밥솥의 디자인 FMEA

잠재적 디자인 부적합 형태 및 영향분석 (디자인 FMEA)

제품 구성부품 및 요소	잠재적 디자인오류 형태	디자인오류의 잠재적 영향	위험도	디자인오류의 잠재적 원인/구조	발생도	현 디자인 관련	검출도	위험우선순위	디자인 권고 조치 사항	조치결과				
										디자인 조치내용	발생도	검출도	위험우선순위	
압력밥솥 뚜껑 잠금장치	잠금장치의 오류로 파손	고온 고압의 내부 증기가 폭발하여 화상과 폭발대 미은 등 심각한 파손으로 인한 부상 초래 가능	10	잠금장치 재료 내부 결함	5	양몰리도트 잠금장치 디자인	5	250	재료의 비파괴 검사 실시	디자인 재료 비파괴검사 확인 체크리스트 작성	10	3	3	90
										수증기의 압력에 내부 높은 나 배출되는 장치 불량	5	압력제어밸브	4	200
수증기 배출구	수증기의 온도/가압	수증기 발생량 과 위험이 발생하여 인체 부상이나 수증기 유출로 인한 파손이 발생	9	수증기 배출구의 길이가 짧아 방열효과가 미약하여 수증기 배출이 지연	5	배출구 내부와 뚜껑의 두께가 수증기 배출 지연	5	250	수증기 배출구와 배출김이 방열시 온도 낮추고 수증기 배출 속도감	수증기 배출구 길이 조정	9	3	2	54
				수증기 배출구의 길이가 짧아 방열효과가 미약하여 수증기 배출이 지연					5	수증기 배출구 길이 조정	9	2	3	54
				배출구에서의 수증기의 온도 낮추는 장치가 없음					5	없음	4	200	배출구의 방열할 수 있는 방열김을 디자인 제안	9

디자인과정에서의 제품안전 대책은 FMEA를 수행함으로 효과를 얻을 수 있으나, 주의해야 할 사항도 포함하고 있다. 그것은 디자인 부적합에 대한 제품에서의 고장과 안전에 대한 노하우와 경험을 필요로 하며 FMEA 적용에 대한 경험을 함께 필요로 하기 때문이다. 사고에 대한 대비책으로 잠재적 디자인 부적합 분석이 가능하며, 분석결과를 디자인과정에 제고하여 제품안전에 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

4. 결론 및 향후 연구과제

기업체에서는 제조물책임에 대한 대응 전략을 마련하고 사전 예방에 대한 방안과 사후 대책으로 보증을 들고 있다. 본 논문에서는 사전예방 대책으로 디자인 과정에서 제품안전에 대한 디자인 부적합성을 파악하여 제품디자인에 적용하는 방안을 수행하였으며 그 방법으로 FMEA 적용방안을 제시하였다. 향후 연구과제로는 제품안전을 위한 제품 시스템 분석 방법으로 FTA 기법을 적용하여 디자인과정에 응용하는 방안과 인간-제품 인터랙션을 규명하여 이를 제품디자인에 적용하는 연구 및 실제적인 제품안전 기준을 디자인에 적용하는 방법을 연구할 예정이다.

참고문헌

- 장중순, 효과적인 FMEA 실시 절차에 관한 연구, 대한설비관리학회 제4권 6호, pp69-77, 1999
- 이용희, 남지화, 제품안전을 위한 안전성 분석 기법 개선 검토, 대한인간공학회, pp503-508