

안전성 평가 Tool 개발

한승용 · 이광원 · 오규형* · 김태훈 · 이정훈** · 신진섭***

호서대학교 안전공학과 · *호서대학교 소방학과 · **(주)킨폭스

***한국과학기술정보연구원

1. 서 론

2040년 수소경제사회를 목표로 전세계 선진국들이 앞다투어 수소에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다. 알려진 바와 같이 수소는 지구상에 가장 많이 존재하는 물질이고 Zero emission이라고 불리울 만큼 청정에너지원으로 각광을 받고 있다. 하지만 대단히 위험한 물질이기도 하기 때문에 제조, 저장, 이용에 있어 각별한 주의가 필요하며 그러기 위해서는 안전에 대한 특별한 노력이 필요하다..

본 연구에서는 안전성 평가를 위한 많은 기법중에서 널리 사용되어지고 있는 FMEA(Failure Mode and Effect Analysis) 기법을 program화 하여 좀 더 사용하기 쉽도록 하고 이 Tool을 사용하여 수소설비의 안전성 평가를 적용해 보고자 한다.

2. 이론적 배경

FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)는 프로펠러 비행기에서 제트엔진 비행기로 전환이 되는 시점에서 복잡해진 조정시스템의 신뢰성 향상을 위해 개발된 기법이다. 이후 NASA에서도 같은 기법을 도입하여 신뢰성 향상과 안전도 향상에 큰 성과를 거둔 바 있다. FMEA는 각 부품 또는 시스템 간의 복잡한 영향관계를 추적하여 신뢰성을 향상시키는 데 큰 공헌을 하고 특히 설계시부터 생산, 출하 뿐만 아니라 사후관리에 까지 적용할 수 있는 안전성 평가 기법 중 하나이다.

FMEA의 목적은 원인이 무엇이든 제품 기능적 구조의 다양한 수준에서, 각각의 규정된 품목의 Failure mode가 초래할 수 있는 사건의 영향과 그 연쇄를 평가하고, 각 Failure mode가 제품의 정상적 기능이나 성능 또는 관련된 과정의 신뢰도나 안전성에 미치는 중요성이나 치명도를 결정하는 것에 있다. 또한 판명된 Failure mode를 검출도(detection), 진단성(diagnosis), 시험성(testability), 교체성(replacement), 보상 및 운용성(operation), 기타 적절한 특성에 따라 분류한다. 이 중 중요도는 물론 분석을 위한 자료의 가용 여부에 따라 고장확률과 소요비용 및 효과도 추정할 수 있다.

FMEA는 크게 1) design FMEA, 2) process FMEA, 3) system FMEA 로 분류할 수 있다. design FMEA는 제조 혹은 운전 이전에 발생할 가능성이 있는 설계상의 잠재적 고장원인을 찾아내는데 있고, 발견된 잠재적 고장과 고장의 원인이 얼마나 자주

그리고 언제 발생하는지에 대한 분석과 잠재하고 있는 심각성을 파악하여 생산될 제품의 품질을 높이고 경제성을 높이는데 사용된다. process FMEA는 시스템들을 그룹화하고 각각의 공정에서 잠재적인 고장 위험을 얻어내어 그로 인해 발생하는 효과들에 대해 분석하고, 발생도를 감소시키거나 검출도를 높이는 등의 적극적인 대처 방안을 마련하여 공정에서 고장이 발생하는 것을 최소화하여 공정의 품질, 신뢰도, 비용 뿐만 아니라 생산성을 최대화 하는데 목적이 있다. 마지막으로 system FMEA는 전체 부품과 공정들을 이루고 있는 system을 대상으로 하여 design FMEA와 유사한 방법으로 system의 기능상 발생 가능한 잠재적 failure mode를 발견하고 mode 들을 통하여 고장의 영향을 최소화 하는데 주안점을 둔다.

아래의 Fig. 1 은 FMEA의 분석 절차를 나타낸 것이다.

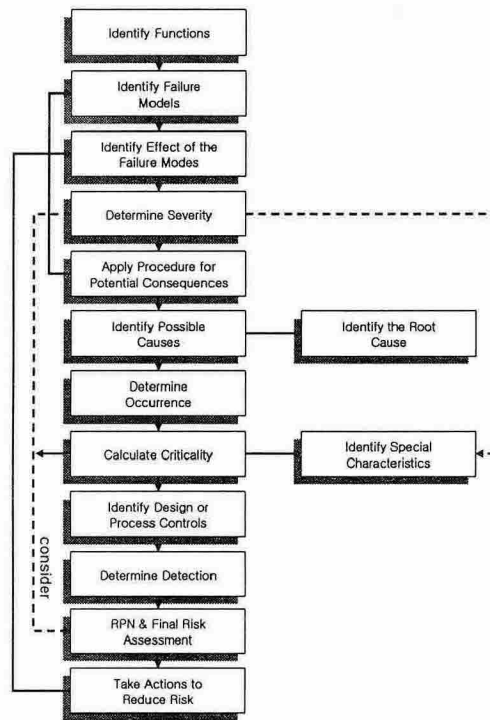


Fig. 1. The diagram of FMEA

FMEA는 불량형태와 그 영향들을 분석하는 것을 의미한다. 구체적으로 살펴보면 잠재적 고장의 형태를 분석하여 각각의 고장들이 어떤 형태로 발생될 것인가라는 관점에서 접근하는 귀납적 정성적 안전성 평가 기법이며, 제품이나 시스템 또는 공정 흐름상의 잠재적 고장으로 인한 risk를 1) 심각도(Severity), 2) 발생도(Occurrence), 3) 검출도(Detection) 등을 기초로 하여 여러 관점에서 평가하고 평가된 결과를 토대로 분석을 실시한 후 각각의 지의 risk에 따라 1부터 5까지의 수치를 적용하고, 적용된 각각의 심각도(S), 발생도(O), 검출도(D)를 바탕으로 RPN(Risk Priority Number = 심각도 × 발생도 × 검출도)을 도출한다. 도출된 RPN을 통해 잠재위험이 가장 큰 부품 혹은 시스템을 찾아내고 순차적으로 정렬하여, 높은 RPN을 가진 부품부터 적절한 조치를 취하여 전체 시스템의 위험성을 감소시키거나, 발생도 또는 검출도 수치를 낮추기 위한 대책을 마련할 수 있게 한다.

3. FMEA 평가 프로그램

FMEA를 수행함에 있어 가장 중요한 것은 분석 대상에 대한 분류와 design, process, system FMEA 수행 시 필요로 하는 심각도(S), 발생도(O), 검출도(D) 수치의 기준 정의이다. 본 연구에서 개발되는 안전성 평가 Tool은 분석 대상의 산업분류에 따른 Severity, Occurrence, Detection 뿐만 아니라 design, process, system 등 분석 방식에 따라 분석자가 참고할 수 있도록 하였고 또한 분석대상에 따라 기준 수치의 수정이 가능하게 개발되었다.

분석을 함에 있어 Severity, Occurrence, Detection 수치의 산정이 대단히 중요한 분석요소로 작용하지만 분석하는 대상의 산업이나 동일 부품이라 할지라도 수행의 목적에 따라 수치가 달라질 수 있으므로 각각의 수치에 대한 기준의 정립이 대단히 중요하다고 할 수 있다. 본 안전성 평가 Tool에서는 5점법이나 10점법을 사용할 수 있도록 하였고, 각 점수의 기준의 예는 아래의 Table 1.과 같다.

Table 1. 심각도, 발생도, 검출도의 기준

심각도	기준
5	중대사고 (인명피해 + 재산피해), 조업 불가
4	중대사고 (재산피해 발생)
3	생산 불량, 경미한 사고 (조업일시 정지)
2	조업 일시 정지
1	피해 없음

발생도	기준
5	1년 중 1번 정도 발생
4	10년 중 1번 정도 발생
3	100년 중 1번 정도 발생
2	1,000년 중 1번 정도 발생
1	발생빈도 거의 없음 (1번/만년)

검출도	기준
5	검출확률 불가능
4	검출확률은 희박하나 가능한 경우
3	검출확률 낮음
2	관리시스템을 통해 확인
1	현 관리에 의해 검출 확률 높음, 육안으로 확인 가능

실제로 FMEA를 수행할 때 관찰하는 부품의 고장유형을 결정해야 하는데 이 역시 숙련된 지식이 요구되어 진다. 이에 본 tool에서는 각 부품별로 수많은 신뢰도 data handbook에서 사용되고 있는 고장유형들을 정리, 발췌하여 database화 시킬 수 있도록 하여 사용자의 편의성을 도모하고 분석결과의 신뢰도를 향상시킬 수 있도록 하여 추후 정량적 평가에도 손쉽게 적용가능 하도록 하였다.

개발된 안전성 평가 Tool 은 아래의 Fig. 2. 와 같다.

FMEA Ver.1.0 - [프로젝트]										
파일(F) 편집(E) 창(W) 도움말(H)										
프로젝트 기준관리 FMEA작성										
번호	기능	잠재적 불량형태	불량 잠재적 영향	신뢰도 비율	불량 영향의 중요도/매카니즘	발생빈도 현실계관리 예상	검출 가능성	R PN	권고조치사항	
1	인접 부품에 의한 파손	외부누출	가스의 외부누출	5	RFN의 파손	정기점검, 알람	1	5	유지보수 관리 철저	
2	중요 기능의 파손			5	수소에 의한 부식	정기점검, 알람	3	15	유지보수 관리 철저	
3				5	외부충격에 의한 누설	N/A	1	15	설계도면 확인	
4				5	허용압력 초과	조립 후 확인	2	10	공급시스템 분석	
5				5	배관의 휘성 파괴	정기점검	3	15		
6				5	진동에 의한 너트 풀림	정기점검	2	30		

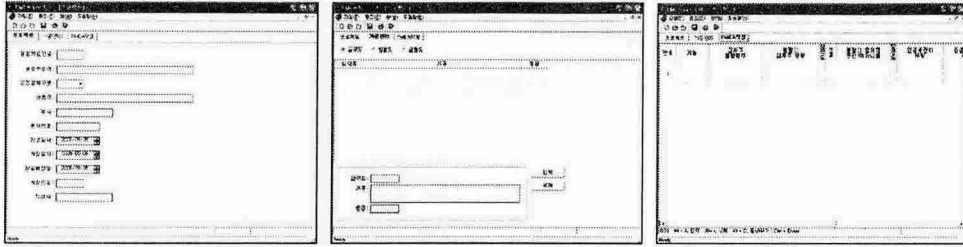


Fig. 2. 안전성 평가 Tool 및 적용 예

위의 과정에 의하여 평가, 분석된 제품의 failure mode는 다시 feed-back 되어 제품의 안전성을 향상시키게 된다. 이 때 각각의 분석에 의해 도출된 많은 문제점과 개선점이 개별적으로 추진되어서는 안 된다는 것이며, feed-back 된 정보를 종합하여 체계화된 종합적인 대책으로 보고하고, 추진하여야 한다는 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 FMEA 기법을 손쉽게 사용할 수 있는 tool을 개발하였다. Tool에 구축되어 있는 Severity, Occurrence, Detection 및 각 부품의 failure mode database를 활용하여 design, process, system에 대한 FMEA를 전문가가 아니더라도 쉽게 사용할 수 있도록 하였고 이 tool을 수소설비에 적용시켜서 분석을 시행하여 보았다. 이것을 토대로 평가된 고장에 대한 결과를 정리하고, 높은 고장 등급으로 평가된 부품이나 시스템에 대한 원인 및 대책을 정리해야 할 것이며, 모든 항목에 대해 가능한 보완 및 개선안을 마련하고 보완 조치 후 재평가가 이루어져야 할 것이다.

위와 같은 보완 사항 및 재평가에 대한 절차 또한 database화 되어야 한다. 구축된 database 역시 운영자의 필요에 따라 Severity, Occurrence, Detection의 지표와 시스템이나 시스템을 구성하는 부품에 대한 여러 failure mode를 reliability data handbook 등을 통해 미리 축적해 놓음으로 하여 차후에 적용범위를 광범위하게 설정하여 대규모 산업에 대한 FMEA가 가능하게 하였다. 보다 효과적인 프로그램의 사용을 위해서는 차후 신뢰할만한 자료를 바탕으로 하여 Severity, Detection 등 분석결과에 영향을 미치는 요인이나 각종 부품 및 시스템에 대한 가능한 많은 failure mode가 수집되어야 할 것이다.

참고문헌

1. IEC 60812, "Analysis techniques for system reliability - procedure for failure mode and effect analysis", IEC.
2. MIL STD 1629A, "Procedures for performing a failure mode effects and

- criticality analysis", DOD, 1980 Nov., pp 4-6.
3. SAE J 1739 "Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA) Reference Manual", SAE, Warrendale PA, 2000 Jun.
 4. Ford production system, "Failure mode & effects analysis handbook supplement for machinery", Ford, 1996.
 5. ICH Steering Committee, "Draft consensus guideline quality risk management Q9", 2005. Mar., pp 7.
 6. H. Pentti, H. Atte, "Failure mode and effects analysis of software-based automation systems", VTT industrial systems, 2002 Aug., pp 11-13.
 7. J. Braband, "A remedy for a serious flaw in the risk priority number concept", Siemens, 2004 Feb., pp 7-9.
 8. 장중순, 안동근, "효과적인 FMEA 실시", 품질경영학회지 제25권 제1호, 1997년 3월., pp 156-171

본 연구는 과학기술부에서 시행한 21C 프론티어 연구개발 사업(고효율 수소 에너지 제조·저장·이용 기술개발사업)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.