

FMEA 를 이용한 보일러사고 원인의 정성적 분석

윤상권 · 문준식 · 장통일 · 임현교*

충북대학교 안전공학과 대학원 · *충북대학교 안전공학과

1. 서 론

동력으로서 중요한 역할을 하고 있는 증기의 사용이 증가함에 따라 보일러 및 압력용기가 다양화되고, 용기의 기능도 구조면에서나 성능 면에서 현저한 발달을 보이고 있으며, 그 보급대수도 꾸준히 증가하고 있다. 이러한 상황에서 보일러나 압력용기에 관련되는 재해발생은 관계자들의 노력으로 감소하고는 있지만, 아직도 재해사고는 발생하고 있으며 일단 사고가 발생하게 되면 많은 사상자가 생기고 인적·물적 피해와 더불어, 사고 당사자 뿐만 아니라 사회적·국가적으로 그 피해가 파생되어 많은 문제를 야기시키게 된다.

윤상권 등의 연구에 따르면, 이러한 보일러사고의 직접원인 중 불안전 상태에 의해서 발생한 사고의 경우, 점검정비보존의 불량이가장 큰 원인으로 지적된 바 있다. 물론, 보일러에 대한 자체검사를 통하여 점검 및 정비를 실시하도록 법적으로 규정하고 있지만, 그 내용을 보면 점검대상이 되는 계통 및 부품에 대한 중요성이나 점검 우선순위, 혹은 고장이 발생하였을 때의 위험성 등을 명시하고 있지 않아, 자칫 형식적인 검사가 될 우려가 있으며 그에 따른 잠재위험성도 높을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 보일러를 구성하고 있는 계통이나 부품을 중심으로 고장의 발생형태와 그 위험우선순위를 평가하고, 최종적으로 점검이나 정비에 있어서의 우선순위를 밝혀 보일러에 대한 효율적이고 합리적인 안전관리가 이루어질 수 있는 기초를 제시하고자 하였다.

2. 연구방법

시스템의 위험성을 분석하기 위한 정성적 분석방법 중에서 가장 널리 사용되고 있는 FMEA (Failure Modes and Effects Analysis ; 고장모드 및 영향분석)는 시스템을 기능적 구조로 분류하여, 각 계통이나 부품 등에서 발생할 수 있는 고장의 모드를 결정하고, 그로 인한 사건의 영향과 연쇄를 평가하여 시스템 전체에의 영향을 평가할 수 있으며, 시스템의 신뢰도나 안전성에 미치는 중요성이나 위험우선순위를 결정할 수 있다. 또한 분석결과는 차후의 정량적 분석에 이용될 수 있는 기초적인 자료를 제공한다는 특징을 가지고 있다. 본 연

구에서도 이러한 FMEA 기법을 이용하여 보일러 사고의 원인에 대한 정성적 평가를 하고자 하였다.

분석대상은 보일러의 여러 계통 중에서 가장 중요한 역할을 하고, 또한 사고발생의 확률이 비교적 높은 급수 및 증기 계통만으로 한정하였다. 급수 및 증기 계통에 대한 구조는 그림 1 과 같다.

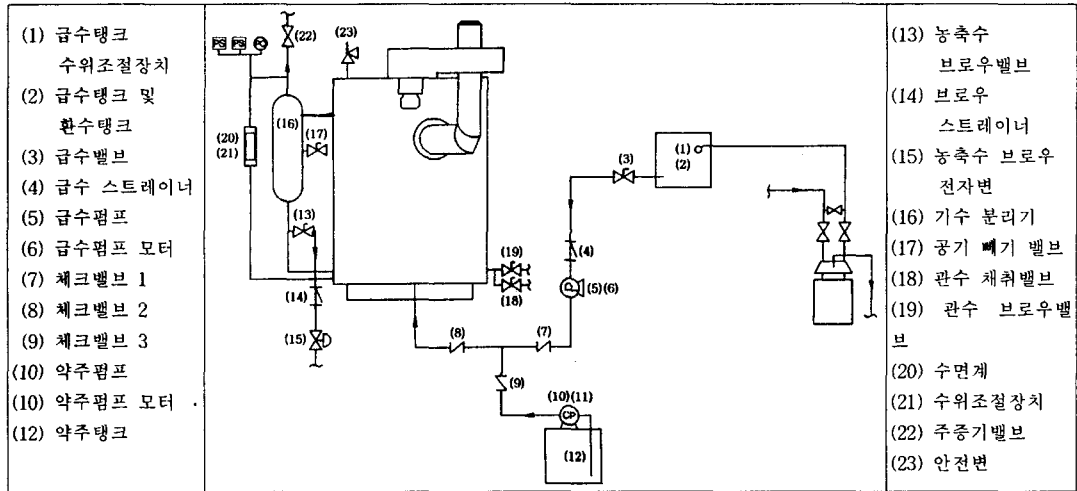


그림 1 보일러의 급수 및 증기 계통도

3. 연구결과

분석은 보일러 전문가와 안전공학 전문가가 팀을 이루어 실시하였다. 먼저, 각 부품에 대한 고장모드를 찾아내고, 그에 대한 원인 및 시스템에의 영향을 평가하였으며, 시스템의 점검 및 보수에 대한 중요성 및 우선순위를 부여하기 위하여 RPN (Risk Priority Number ; 위험우선순위) 를 구하였다. RPN 은 발생빈도와 시스템에의 영향정도, 그리고 고장발생시의 검출도 등 모두 세 범주로 분류하여 평가하였으며, 각 범주를 5 등급의 평가등급으로 나누고 각각의 범주에 대하여 평가한 세 값의 곱으로 나타내도록 하였으며, 그 값이 25 이상이 되면, 위험도가 높은 고장모드라고 판단하였다. 표 1 은 RPN 평가를 위한 각 범주의 평가등급을 나타낸다.

표 1 발생도, 영향도, 검출도의 평가등급

평가 등급	발생도 기준	영향도 기준	검출도 기준
1	발생하지 않음	없음	Very High
2	별로 발생하지 않음	경미	Moderately High
3	가끔 발생함	중대	Low
4	보통으로 발생함	치명적	Remote
5	때때로 발생함	파국적	Very Remote

표 2 는 FMEA 를 실시한 분석결과와 일부를 나타낸 것으로서, RPN 평가 결과 그 값이 25 이상으로 평가된 고장모드들로서 다른 모드에 비하여 위험도가 높다고 판단되는 것들을 RPN 이 높은 순서로 나타낸 것이다.

수위조절 장치의 경우 모두 3 개의 고장모드가 평가되었는데, 보는 바와 같이 그 중 2 개의 고장모드가 위험도가 높은 것으로 나타났으며, 보일러의 파손과 같은 심각한 결과를 초래할 수 있기 때문에, 정비점검 시 수위조절장치에 대한 확인이 가장 우선적으로 실시되어야 할 것으로 판단되었다.

급수펌프의 고장모드인 “빈번한 작동” 은 비록 고장에 의한 영향이 낮게 평가되었다 하더라도, 검출도가 높게 평가되어 적시에 고장을 검출하지 못하였을 경우에는 급수가 적절하게 이루어지지 않아, 보일러의 가장 기본적인 기능에 문제가 발생하기 때문에 자주 점검을 해야 할 필요가 있다.

그리고, 안전변의 경우에는 폐쇄고장이 발생되었을 때, 보일러의 파열이라고 하는 심각한 결과를 초래하기 때문에 이에 대한 점검도 무시할 수 없는 순위라고 할 수 있다.

또한, 약주펌프와 약주펌프모터는 보일러의 관수의 이물질을 제거하는 데 사용되는 약품을 공급하는 역할을 하는 부품으로서, 이 두 부품에 이상이 발생하였을 때는 관수에 약품공급이 중단되고, 이는 관체의 부식이나 스케일의 고착과 같은 결과를 초래하게 되어 결국, 보일러의 파열을 발생시킬 수 있는 잠재위험성이 높을 것으로 판단된다.

표 2 FMEA 실시 결과 (일부)

Equipment Name	Function	No.	Failure Mode	Failure Cause	Failure Effect		Failure Detection	발생도	영향도	검출도
					Local	End				
수위조절 장치	수위조절	20	저수위 전극봉 기능상실	스케일 부착 전극봉 결함	안전수위이하로 수위저하	보일러 파손	보일러 고온 경보	3	4	4
			고수위 전극봉 기능상실	스케일 부착 전극봉 결함	급수펌프 작동 신호 발생 無	관체 고수위	없음	3	3	4
급수펌프	관체에 급수공급	5	빈번한 작동	급수 또는 관수 누설	펌프수명저하	없음	없음	4	2	4
안전변	관체 고압방지	23	폐쇄고장	밸브자체고장	관체 증기압상승	보일러 파열	없음	2	4	4
약주펌프	관체에 약품공급	10	출구 약주압력 없음	펌프고착 모터 구동력 없음 구동축계 절손	약주 공급 불능	관체 부식 촉진	육안	3	2	5
약주펌프 모터	약주펌프 구동력발생	11	모터 출력없음	펌프고착 burning-out 기동신호 없음	약주펌프 구동불능	관체 부식촉진	육안	3	2	5
농축수 블로우 전자변	관체내 농축수 자동배출	15	작동하지 않음	기동신호 없음 전자변 coil불량 밸브 자체고장	농축수 자동배출 능	관체내 스케일생성 및 부식촉진	육안	3	2	4

이 외에도 급수탱크 수위조절장치의 “수위조절기능 상실”이나 급수펌프의 “출구 급수압력 없음”의 경우에는 검출도가 1로 각각 평가되어 비교적 검출이 용이하였지만, 발생도나 영향도는 모두 3 이상인 것으로 평가되었으므로 이에 대한 관리도 소홀히 해서는 안 될 것으로 판단되었다.

4. 결론 및 추후과제

FMEA를 이용하여 보일러의 급수 및 증기 계통에서 발생할 수 있는 고장모드에 대한 정성적 분석 및 위험우선순위를 평가한 본 연구의 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

급수 및 증기 계통에 있어서 RPN의 값이 25 이상으로 평가된 고장모드는 수위조절장치, 급수펌프, 안전변, 약주펌프 및 약주펌프모터와 같은 부품들에서 발생할 수 있는 고장모드들로서, 이러한 부품들은 점검 및 정비 시에 우선적으로 이상유무가 확인되어야 할 것으로 판단되었다.

특히, 가장 중요한 부품은 수위조절장치로 평가되었는데, 보일러의 파손과 같은 심각한 결과를 초래할 수 있으므로 가장 우선적으로 점검되어야 할 것으로 기대된다.

앞에서도 언급한 바와 같이 FMEA는 시스템의 고장을 정성적으로 평가하기 위한 대표적인 기법이지만, 이를 통하여 도출된 고장모드들은 정량적 평가를 하기 위한 기초적인 자료를 제공할 수 있기 때문에, 본 연구에서의 정성적 평가결과를 FTA나 ETA와 같은 정량적 평가기법에 적용할 수 있는 연구가 추가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 단순히 고장모드에 대한 위험우선순위를 평가한 본 연구의 결과에 대하여, 각 부품들에 대한 고장확률을 확보한 후, FMECA와 같은 치명도 분석이 정량적으로 추가되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Stamatis, D.H., Failure Mode and Effect Analysis-FMEA from Theory to Execution, ASQ Quality Press, 1995.
- [2] Goossens, L.H.J. and Cooke, R.M., "Applications of Some Risk Assessment Techniques : Formal Expert Judgement and Accident Sequence Precursors", *Safety Science*, Vol.26, Issues1-2, pp35-47, 1997.
- [3] 塩見 弘, 島岡 淳, 石山敬幸, FMEA, FTA의活用, 日科技連, 1987.
- [4] 鈴木順二郎, 牧野鉄治, 石坂茂樹, FMEA, FTA 実施法, 日科技連, 1995.
- [5] 보일러 및 압력용기 안전사고 사례집, 한국 에너지 관리공단, 1996.