

# FMEA를 이용한 보일러 사고 원인분석

윤상권 · 장통일 · 임현교\*

충북대학교 안전공학과 대학원 · \*충북대학교 안전공학과

## 1. 서론

보일러는 가정 및 각종 건물, 산업체에서 난방 및 급탕 그리고 동력원으로써 중요한 역할을 하고 있으며, 또한 증기의 사용 증가에 따라 증가하고 있는 추세이다.

이러한 산업용 보일러나 압력 용기의 경우 내부의 높은 압력과 많은 양의 열을 보유하고 있으므로 주로 기기의 파열이나 폭발과 같은 엄청난 파괴력에 의해, 공장이나 사업장의 직접적 또는 간접적으로 많은 손해를 초래하게 된다.

물론 보일러에 대한 자체 검사를 통하여 점검 및 정비를 실시하도록 법적으로 규정하고는 있지만, 점검 대상이 되는 계통 및 부품에 대한 중요성이나 점검의 우선순위, 혹은 고장이 발생하였을 때의 위험성을 명시하고 있지 않아, 자칫 형식적인 검사가 될 우려가 있으며, 그에 따른 잠재 위험성으로 높을 것으로 판단된다.

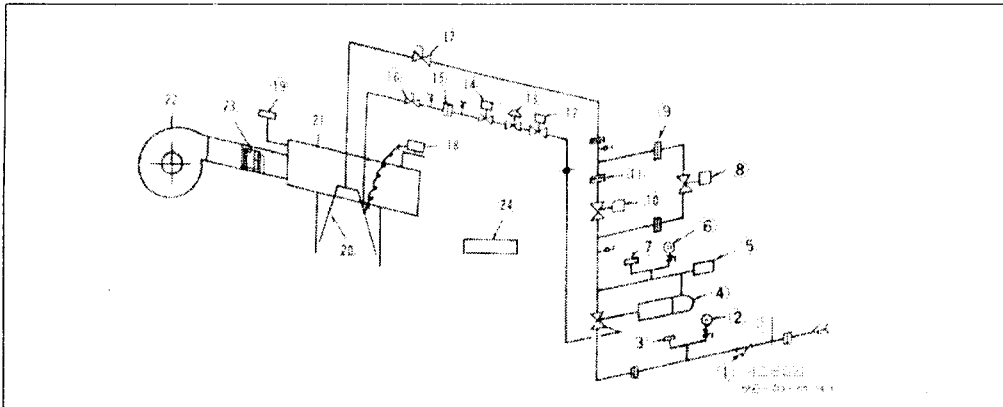
따라서 본 연구에서는 보일러를 구성하고 있는 계통 중, 위험물질인 가스가 계통 내에 상존하고 있는 연료계통을 중심으로, 고장발생형태 및 위험순위를 평가하고 최종적으로 점검이나 정비의 있어서의 우선순위를 밝혀 보일러에 대한 효율적이고 합리적인 안전관리가 이루어질 수 있는 기초를 제시하고자 하였다.

## 2. 연구방법

안전성 평가기법으로서 특히, 정성적인 평가를 할 때에 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 위험 우선 순위를 결정할 수 있다.

또한 분석결과는 차후의 정량적 분석에 이용될 수 있는 기초적인 자료를 제공한다는 특징을 가지고 있다. 본 연구에서도 이러한 FMEA 기법을 이용하여 보일러 사고의 원인에 대한 정성적 평가를 하고자 하였다. 분석대상은 보일러 여러 계통 중에서 연료 계통 공급만으로 한정하였다.

그림 1은 연료 공급계통에 대한 구조를 나타낸 그림이다.



1. 가스스트레너 2. 공급 가스압력계 3. 가스압 저하스위치 4. 가스안전 차단밸브
5. 가스 누설감시스위치 6. 가스압력계 7. 가스압 상승스위치 8. 메인가스 제1차단밸브
9. 메인가스 제1오리피스 10. 메인가스제 2차단밸브 11. 메인가스 제2오리피스
12. 파이롯트가스 제1차단밸브 13. 파이롯트가스 거버나 14. 파이롯트가스 제2차단밸브
15. 파이롯트가스 오리피스 16. 파이롯트가스 콕크 17. 메인가스콕크 18. 점화트랜스
19. 공기압 스위치 20. 가스버너 21. 윈드 박스 22. 압입송풍기 23. 공기댐퍼 조절기
24. 연소안전 제어기

그림 1 보일러의 연료계통 및 명칭

### 3. 연구결과

각 부품에 대한 고장모드를 찾아내고, 그에 대한 원인 및 시스템에의 영향을 평가하였으며, 시스템의 점검 및 보수에 대한중요성 및 우선순위를 부여하기 위하여 RPN (Risk Priority Number ; 위험우선순위)를 구하였다.

RPN은 발생빈도와 시스템에의 영향정도, 그리고 고장발생시의 검출도 등 모두 세 범주로 분류하여 평가하였으며, 각 범주를 5등급의 평가등급으로 나누고 각각의 범주에 대하여 평가한 세 값의 곱으로 나타내도록 하였으며, 그 값의 20%에 해당하는 25를 기준으로 하여 그 이상이 되면, 위험도가 높은 고장모드라고 판단하였다.

표 1은 FMEA를 실시한 결과의 일부를 나타낸 것으로, RPN 평가결과, 그 값이 25이상으로 평가된 부품 및 고장모드들로서 다른 부품에 비하여 위험도가 높다고 판단되는 것들을 그 값이 높은 순서로 나타낸 것이다.

가스안전차단장치는 이상 소화되었을 경우, 통전 등이 정지되었을 경우, 보일러 수위가 안전 저수위 이하가 되었을 경우, 증기 압력이나 온도가 과도하게 높아졌을 경우 등과 같은 경우에는 폭발 및 위험상태 발생의 방지를 위하여 신속하게 연료를 차단하여야 한다. 이것을 단 시간 내에 작동하게 하는 연소안전장치로써 가장 중요한 역할을 하며, 고장모드인 작동불량은 위험도가 비교적 높은 것으로 평가되어 보일러의 파열과 같은 심각한 결과를 초래할 수 있기 때문에 점검 정비시 가스안전차단장치에 대한 확인 점검이 가장 우선적으로 실시되어야 할 것이다.

가스 누설 감시장치는 작동불량의 고장모드가 발생도, 영향도, 검출도의 평가결과 비교적 RPN 값이 높게 나타나, 내부누설을 대비하여 보일러 작동기능에 이상이 생기지 않도록 수시로 점검할 필요가 있다.

그리고, 가스 압력 저하 스위치에서 발생가능한 고장모드는 작동불량 및 압력불량으로써 사용가스압력이 이상증가 또는 이상감소하게 되면 불완전 연소가 발생하므로 수시로 확인할 필요성이 있는 부품이다.

또한 연소안전제어기 경우에는 고장모드는 작동불량 및 자체고장이 되었을 때 B/R 운전불가으로써 심각한 결과를 초래하기 때문에 자외선방식 또는 정류작용을 이용한 flame rod 에 의한 형식으로 하고, 오동작이 없고 신뢰성이 있는 것으로 사용하고, 수시로 보수점검 및 정비를 하여야 할 것으로 판단된다.

가스버너의 고장모드는 오염상태 및 작동불량으로서, 연소불능상태가 되어 결국 운전을 할 수 없는 상태가 되기 때문에, 잠재위험성이 높은 것으로 판단된다.

이 외에 공급가스 압력계의 고장모드인 압력표시 불량의 경우에는 검출도는 1로 평가되어 비교적 검출이 용이하였지만, 영향도나 발생도는 모두 3 이상인 것으로 평가되어 이에 대한 점검관리를 소홀히해서는 안 될 것으로 판단되었다.

표 2 FMEA 실시 결과 (일부)

Equipment Name	Function	No.	Failure Mode	Failure Cause	Failure Effect		Failure Detection	발생도	영향도	검출도
					Local	End				
가스압 저하스위치	가스압력 저하방지 스위치	3	작동불량	- 자체고장 - 빈번한 작동으로 지침 및 내부마모로 인한 고장	침화불능	운전불가	B/R 경고	3	4	3
가스안전 차단밸브	운전정지시 가스안전 차단밸브	4	작동불량	- 기동신호 없음 - 전자변 코일불량	침화불능	운전불가	B/R 파열	3	4	3
가스누설 감시스위치	가스누설 감시장치	5	작동불량	- 자체고장 - 내부마모고장	침화불능	운전불가	B/R 경고	3	3	3
파일럿가스 거버너	파일럿 연소시 가스압력 조절	11	작동하지 않음	- 기동신호 없음 - 전자변 코일불량	침화불능	운전불가	B/R 경고	3	4	2
			압력불량	- 자체고장				3	4	2
가스버너	가스연료 연소장치	16	오염상태	- 스파크봉 스케일 - 스파크간격 부적당	연소불능	운전불가	B/R 경고	3	3	3
			작동불량					3	3	3
연소안전 제어기	연소화염유무 감시 제어기	20	입출력불량	- 작동불량	침화불능	운전불가	B/R 파열	3	3	3
			단락	- 자체고장				3	3	3

#### 4. 결론 및 추후과제

FMEA를 이용하여 보일러의 연료공급계통에 대한 정성적 분석 및 위험우선순위를 평가한 본 연구의 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 연료공급계통에 있어서 RPN값이 25 이상으로 평가된 고장모드는 가스안전 차단밸브, 가스누설 감시스위치, 가스압 저하스위치, 연소안전제어기, 가스버너 등과 같은 부품들에서 발생할 수 있는 고장모드들로써 이러한 부품들은 점검 정비 시에 우선적으로 이상유무가 확인되어야 할 것으로 판단된다.

둘째, 가장 중요한 부품은 가스안전 차단밸브로 평가되었는데, 보일러의 파열과 같은 심각한 결과를 초래할 수 있으므로 가장 우선적으로 점검되어야 할 것으로 기대된다.

이미 기술한 바와 같이 FMEA는 시스템의 고장을 정성적으로 평가하기 위한 대표적인 기법이지만, 이를 통하여 도출된 고장모드들은 정량적 평가를 하기 위한 기초적인 자료를 제공할 수 있다. 따라서 본 연구에서의 정성적 평가결과를 FTA나 ETA와 같은 정량적 평가기법에 적용할 수 있는 연구가 수행되어야 할 것이다.

## 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, Issues 1-2, pp.35-47, 1997.
- [3] 보일러 및 압력용기 안전사고 사례집, 에너지관리공단, 1996.
- [4] 송수영, 보일러 안전대책에 관한 연구, 동국대학교 행정대학원, 1983.
- [5] 통계로 보는 1997년도 산업재해 원인분석, 산업안전공단, 1998.
- [6] 에너지 관리 실무 교육, 에너지관리공단, 2000.
- [7] 이영순 화학 안전공학 사례연구, 대영사, 1994.
- [8] 제품안전을 위한 리스크 평가기법 및 소프트웨어 활용지침, 한국표준협회, 2000.