

# 보일러 사고원인 분석과 대안에 관한 연구

정규록·김대룡\*·이근오\*\*

서울산업대학교 산업대학원 · \*에너지관리공단 · \*\*서울산업대학교 안전공학과

## 1. 서론

보일러는 내부에 고온·고압의 증기와 고온수를 보유하고 있기 때문에 항상 사고의 위험성을 안고 있는 기기이다.

이러한 위험성 때문에 선진국에서는 일찍이 ASME Code, NBBI Code 등 기술규격을 제정하여 안전사고 대안에 노력을 기울여 왔고, 우리나라는 1961년 원동기단속법, 1975년 열관리법, 1980년에 에너지이용합리화법을 재개정을 통하여 변화를 거치면서 보일러는 일정규모 이상일 경우 검사를 받도록 규정하여 국민의 인명과 재산의 안전과 에너지절약, 기후변화에 대안을 법률로 정하고 있다.

보일러의 안전관리는 산업현장 안전합리화를 떠받치고 있는 큰 축이다. 소홀히 할 수 없는 중요한 사항이다. 더구나 안전관리는 돈으로 가치를 따질 수 없는 소중한 생명을 지키는 일이기도 하다. 안전관리를 위한 투자를 단순한 비용의 지출로 볼 것이 아니라 날로 치열해지는 경제전쟁 속에서 기업의 경쟁력은 물론 국가경쟁력을 위한 중요한 투자라는 인식을 가지고 안전관리를 위해 나서야 할 시점이다.

따라서, 보일러의 설계에서부터 사용되고 최종 폐기까지의 실제 발생된 사고에서 그 요인을 찾아내고, 분석하여 반복적인 사고를 미연에 방지하기 위한 그 대안을 마련하여 안전한 사회구현을 위한 일익을 담당 하는데 목적으로 연구하게 되었다.

## 2. 연구방법

본 연구는 보일러의 사고를 미연에 방지하기 위한 대안을 마련하기 위하여 실제 발생된 사고사례와 그 사례별 원인을 분석하기 위하여 관련제도와 보일러에서 생길 수 있는 여러 결함과 사고원인의 기본내용을 조사하고 사고사례의 내용과 비교분석하여 사고예방의 대안 도출하고자 하는 것이다.

## 3. 사고 분석결과와 그 대안

### 3.1 사고 현황분석과 대안

<Table.1> 및 <Table.2>에서 보일러와 넓은 범위의 열사용 압력용기 사고에서 보는 바와 같이 보일러는 '78년도부터 '04년까지 총 92건 사고에 284명의 사상자가 발생한 사고에 대한 전반적인 원인분석 결과를 종합하여 본 결과이다.

<Table 1> 사고발생 현황('78~'04)

(단위:건)

사고기간	보일러				압력용기				총합계
	검사	무적	비검사	합계	검사	무적	비검사	합계	
78~80	11	8	5	24	1	3	2	6	30
81~85	1	4	4	9	3	9	2	14	23
86~90	4	4	4	12	1	1	3	5	17
91~95	10	2	5	17	1	1	2	4	21
96~00	10	2	7	19	4	0	4	8	27
01~04	6	1	4	11	2	3	1	6	17
합 계	42	21	29	92	12	17	14	43	135

<Table 2> 인명손실 현황('78~'04)

(단위:명)

사고 기간	사 망			증 상			경 상		
	보일러	압력용기	합계	보일러	압력용기	합계	보일러	압력용기	합계
78~80	15	5	20	24	2	26	21	14	35
81~85	8	23	31	9	12	21	13	26	39
86~90	8	8	16	11	3	14	24	4	28
91~95	6	4	10	12	8	20	83	5	24
96~00	15	8	23	11	7	18	10	4	14
01~04	2	12	14	11	16	27	1	5	6
합 계	54	60	114	78	48	126	152	58	210

과거에는 드럼이나 동체 자체의 파열사고와 같은 대형 참사로 이어지는 사고가 많았지만, 오늘날에는 보일러의 설계와 제작기술, 그리고 법령의 정비가 이루어져 그와 같은 동체 자체의 파열사고는 무허가로 제작, 위법 설치한 것을 제외하고는 거의 찾아볼 수 없는 것으로 분석되어 지속적인 기술개발 접목이 사고 예방의 대안인 것으로 파악되었다.

한편, 비검사대상기기는 아무리 작은 용량이라도 개관적인 전문적인 기준에 따른 기술검토 등의 절차가 없어 내부에는 위험요소가 항상 존재한다는 것을 인지하여야 하고, 무적기기는 안전의 신뢰성이 없는 것과 그에 따른 관리자의 지식부족이 더해져 사고가 나면 대부분 대형 사망사고가 일어나는 것으로 분석되고 있다.

따라서, 비검사 대상기기와 무적기기의 관리를 위한 대안으로 제조업계의 일정규모의 제조시설과 제작업체 종사자의 자격요건, 생산제품의 유통과정 추적관리, 제품의 제작 전 전문가의 검토가 이루어지는 형식승인제도 마련, 설치시 부실시공 여부의 확인제도를 도입하여 원천적인 사고 예방체계가 마련되어야 할 것으로 분석된다.

### 3.2 사고예방의 여러 대안

안전사고는 그 원인을 파악하여 대안을 찾고 그 대안을 참조하여 사고를 미연에 방지하는 것이 최선의 방법이다. 제도적장치는 정부와 검사기관이 안전사고의 내용을 정확히 분석하여 제조, 시공, 사용단계에서 사고가 재발되지 않도록 제도개선과 제조, 시공, 사용 취급기술자, 관리자에 대하여 꾸준한 기술지도와 대안을 마련하는 노력이 있어야 한다.

### 3.3 사고예방의 과제

사고내용의 분석결과 사고의 원인은 각 단계별로 제조단계에서는 설계 및 제작 불량, 설치 및 시공단계에서는 부실시공, 사용단계에서는 저수위 사고 등 관리부주의로 분석된바 있다.

제조단계에서의 가장 큰 결함요인은 규정된 검사를 받지 않고 제작한 무적, 유효기한의 경과 등 무검사로 인하여 전문적인 검토와 신뢰성이 보증되지 않은 기기이다. 즉 법적으로는 불법으로 제작된 기기이며, 강도, 구조 등의 문제점을 가지고 있는 기기로서 사용 중에 대부분 파열사고로 이어지는 것으로 분석된바 있다. 따라서, 제작자나 감독기관의 책임하에 해결되어야 할 과제이다.

설치시공단계의 보일러는 설치 시 제반규정에 맞게 안전장치가 시공되고, 조종자가 관리하기 쉽도록 각종 안전장치 등 부속시설을 신뢰도 높은 기기를 설치 시공하여야 한다.

설치시공후의 안전관리는 기기의 기능점검, 보수유지관리 등 각종의 안전 점검대책을 강구하는 것이 설치 시공 후 취급관리자와 조종자의 인수과정에서 반드시 필요하다.

사용단계에서의 조종자의 운전 및 취급불량, 안전장치 등의 미정비로 인한 사고는 모두 관리 소홀에 대한 취급부주의에 속한다. 보일러 사고를 방지하기 위하여 장치기기의 고장을 사전에 발견하여 언제나 정상적인 상태로 운전하는 것이 필요하다.

따라서, 정기적인 전문기관으로 부터의 점검과 교육, 기술세미나, 관련기술지 구독 등이 필요한 것으로 분석된다.

### 3.4 사고의 종류

- 동체(드럼)의 파열
- 노통, 수관, 연관 등의 파열 및 균열
- 동체, 노통, 화실의 압력 및 수관, 연관 등 전열면의 팽출
- 덮개나 관 등의 빠짐
- 부속품, 부속장치(과열기, 절탄기) 및 증기관과 급수관의 파열파손
- 내화벽돌의 붕괴
- 연도나 노 내의 가스폭발, 역화, 그 외의 이상연소
- 이상증발(프라이밍, 포오밍, 워터해머 등의 현상)

### 3.5 사고의 주요원인

- 1) 이상저수위로 인한 보일러의 과열
  - 급수장치의 고장 또는 이상에 의한 급수능력 부족
  - 분출밸브의 이상으로 보일러수가 누설
  - 급수밸브나 체크밸브의 고장으로 보일러수가 급수탱크로 역류
  - 급수내관의 구멍이 스케일 등으로 막혀 급수불능 및 급수량의 감소
  - 수면계 유리의 오손에 의하여 수위를 오인하는 경우
  - 수면계의 막힘이나 고장 또는 밸브개폐의 잘못으로 수면계에 정확한 수위가 나타나지 않은 경우
  - 자동급수 제어장치의 고장 또는 이상이 생겨 작동불량이나 불능일 때
  - 증기 토출량이 과대한 경우
  - 급수장치가 증발능력에 비해 과소한 경우
  - 캐리오버나 프라이밍이 생겨 보일러수가 수적의 상태에서 증기와 함께 토출되는 경우
  - 보일러 연결부분에서 누출이 되는 경우
  - 정전인 경우
- 2) 보일러의 수처리 불량으로 인한 스케일 및 슬러지 생성, 부착, 보일러 용수의 농축 혹은 유지분 등으로 인한 보일러의 과열
  - 지하수나 하천수를 침전 여과 및 정수(상수)처리하지 않고 급수로 사용
  - 정수기 관리부실 및 기능저하로 정수처리 되지 않은 물을 급수사용
  - 응축수에 유지분이 누입되어 급수사용(예 : 급유예열기 관의 부식)
  - 정비주기가 늦어지거나 블로워 다운을 주기적으로 실시하지 않을 시
- 3) 보일러 관수관리 불량으로 인한 내부의 부식 발생
  - 관수의 적정 pH(8~10) 관리를 하지 않을 때
- 4) 연료 속의 유황분 등으로 인한 외부부식의 발생
  - 배기가스 온도가 노점온도 이하로 유지되거나 관 환관부의 누수시
- 5) 급냉, 급열의 반복으로 인한 과대한 내부응력에서 오는 보일러재의 균열과 그루우빙의 발생
  - 정지된 보일러를 점화시 급격히 부하를 걸 때
- 6) 최고사용압력을 초과하는 압력초과 운전
- 7) 안전장치나 자동제어장치 및 기타장치의 고장
  - 안전밸브의 주기적인 기능점검 미실시
  - 압력차단장치의 기능이상
  - 자동급수장치의 기능이상
- 8) 워터해머로 인한 배관 및 밸브류 파손
  - 배관의 굴곡부에 응축수가 고여 있을 때
  - 관이 냉각된 상태에서 송기시
  - 캐리오버를 일으킨 경우

- 9) 연소장치의 기동, 정지조작 순서의 잘못, 기타 연소조작의 불량 등
- 점화시에 프리퍼지의 불충분 또는 잊어버린 경우
  - 불완전 연소상태가 지속될 때

### 3.6 사고방지 주요대안

- 1) 제조업체에서 법에 의한 제조검사를 필한 기기를 설치하고, 검사기관으로부터 설치, 사용검사를 받고 사용해야 한다.
- 2) 자동장치를 과신하지 말고 관리자는 무인운전을 하지 않도록 하여야 한다.
- 3) 이상저수위 발생은 수면계 및 맥도널 저수위차단기의 배관에 스케일부착, 블로워 다운 조작 미숙 등으로 인한 사고 발생이 가장 일반적이므로 정비점검을 철저히 하고 블로워 다운 조작 훈련이 필요하고, 사고원인에 대해 전반적인 예방점검이 필요하다.
- 4) 보일러에 사용되는 급수 및 관수에 대해 전처리나 후처리의 관리를 철저히 하여 보일러내부의 스케일부착이 없도록 하고, 산업체의 경우 검사주기와 상관없이 3개월 정도 연속 사용시는 오버홀을 해주는 것이 좋다.
- 5) 유류 중에는 유황성분이 함유되어 있어 보일러 배기가스온도가 노점온도 이하일 때는 결로가 생겨 보일러 강재에 외부부식을 시키므로 배기가스온도가 노점온도 이하로 유지되지 않도록 하기 바람직하다.
- 6) 보일러 및 압력용기는 사용중에 항상 반복응력을 받고 있으므로 가능한 기 기 사용시에 급격하게 부하를 걸지 않도록 하여야 한다.
- 7) 최고사용압력은 그 기기가 사용할 수 있는 한계압력이므로 압력이 초과하지 않도록 안전밸브나 제어장치의 인터록 시스템의 기능에 대한 철저한 점검 및 관리를 하여야 한다.
- 8) 이상증발은 포오밍, 프라이밍, 캐리오버 등을 총칭하는 것으로 이것의 방지대책으로는 유지분 누입방지 및 불순물이 농축되지 않도록 블로우다운을 주기적 실시(3회/일)한다.
- 9) 송기시에 워터해머가 발생치 않도록 사전에 충분한 조치를 취한다.
  - 증기관의 굴곡부에 응축수가 고여 있는 상태에서 송기시 응축수가 있는 부분이 진공상태가 되어 강한 흡인력의 원인 제공이 되므로 트랩 등에 의해 응축수 제거를 완전히 하여야 한다.
  - 송기에 앞서 관을 충분히 데워준다.
  - 송기시에 급히 송기시키지 말 것(주증기밸브 급개는 급물)
  - 배출시에 응축수가 잘 배출 될 수 있는 구조 및 배출장치를 부착해야 한다.
- 10) 연소와 관련되는 부속장치의 기능점검 및 운전관리 철저히 불완전연소 또는 불량연소로 인한 역화, 가스폭발 사고를 미연에 방지하여야 한다.
  - 연도의 굴곡이 심한 경우, 연도가 너무 긴 경우, 연도에 가스포켓이 있는 경우, 연도에 습기가 차기 쉬운 경우 등의 구조적인 문제점을 사전에 제거한다.

## 4. 결 론

보일러의 안전사고발생은 '78년도부터 '04년까지 총 92건 사고에 284명의 사상자가 발생하였다. 또한 그 규모가 줄지 않고 지속적이고 대형화 하고 있다.

과거에는 드럼이나 동체 자체의 파열사고와 같은 대형 참사로 이어지는 사고가 많았지만, 오늘날에는 보일러의 설계와 제작기술, 그리고 법령의 정비가 이루어져 그와 같은 동체 자체의 파열사고는 무허가로 제작하여 위법 설치한 것을 제외하고는 사고가 거의 없는 것으로 파악되었다.

사고원인을 분석한 결과 사고를 예방할 수 있는 관리부주의로 인한 사고가 54건, 파열사고의 주된 원인인 저수위로 인한 사고 18건, 총 72건으로 전체의 사고의 78%를 차지하고 있는 것으로 분석 되었다. 외국의 사고내용을 분석한 결과도 또한 비슷한 수치이다. 이 같은 사고는 주의의무와 철저한 유지관리로 사전에 최소화할 수 있는 사고로 분석되었다.

손상이나 사고원인의 대부분이 취급과 유지보수 불량에서 기인되는 것은 예전이나 지금이나 변함이 없는 것으로 분석되었다. 검사를 받은 보일러도 사고내용을 분석한 결과 자동제어장치 등의 취급부주의 및 관리부실에 의한 것으로 나타났다. 또한 무적기기는 부실한 기기를 무자격자가 제대로 관리를 하지 않아 각종 안전장치가 작동되지 않은 것이 주된 요인이었다.

따라서, 취급 부주의, 유지관리 불량에 의한 사고 예방하기 위해서는 각종제도를 현장 중심의 안전관리 검사체계로 하고, 관리감독기관의 유사사고를 예방을 위하여 현장 출장시 꾸준한 기술지원과 교육 및 홍보를 지속화하고, 또한 파열사고의 큰 원인이 되는 저수위 사고 예방을 위하여 저수위안전장치의 부가적 이중 설치 등 각 단계별, 원인별, 사고유형별 도출된 대안을 실현함으로써 더욱 줄일 수 있는 것으로 분석되었다.

## 참고문헌

1. 에너지관리실무교육 교재 2000~2005년판 (에너지관리공단)
2. 일본 해외연수보고서 (2004년판 에너지관리공단)
3. Boiler Pressure Vessel Code(VI), The American Society of Mechanical Engineers, '95
4. National Board Inspection Code, NBBI, '97
5. 에너지이용합리화법령집, 에너지관리공단, pp.53~100, 2004
6. 검사기준집 에너지관리공단, 통상산업부 고시 제 2005-20호, pp 1~142
7. 보일러·압력용기 구조와 취급방법, 에너지관리공단 pp.9~27, 2005
8. 부식 및 방지기술, (사)한국부식학회, pp.1~23, pp.175~205, 1997
9. JIS규격 보일러 및 압력용기(일본규격협회) pp.598~662, 1993
10. 열관리 실무집 (열관리협회) pp.73~85, 2004