

중소형 보일러의 안전성 향상에 관한 연구

김대룡 · 이근오*

에너지관리공단, *서울과학기술대학교

(2013년 7월 23일 접수, 2013년 9월 12일 수정, 2013년 9월 12일 채택)

A Study on safety enhancement of Medium and small boilers

Dae-Ryong KIM · Keun-Oh LEE*

Korea Energy Management Corporation, *Seoul National University of Science and Technology

(Received 23 July 2013, Revised 12 September 2013, Accepted 12 September 2013)

요 약

보일러 폭발 등의 사고에 심각한 영향을 미치는 결함이 높은 위험도가 있으므로 사고가 발생하는 것이다. 보일러의 사고발생은 78년도부터 06년까지 총 100건 사고에 379명의 사상자가 발생하였고, 그 규모가 줄지 않고 지속적이고 대형화하고 있다. 보일러 사고의 원인 결함을 분석한 결과 관리부주의로 인한 사고가 54건으로 저수위로 인한 사고 18건 제외한 총 82건 사고의 72%를 차지하고 있다. 외국의 사고내용을 분석한 결과도 또한 비슷한 수치이다. 손상이나 사고원인의 대부분이 취급과 유지 보수 불량에서 기인되는 것은 예전이나 지금이나 변함이 없었다. 검사를 받은 보일러도 사고내용을 분석한 결과 자동제어장치, 안전장치 등의 취급부주의 및 관리부실에 의한 것으로 분석 되었으며, 대형 폭발사고에서는 가장 큰 원인결함은 저수위사고가 가장 큰 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다.

주요어 : 보일러 안전, 보일러 결함, 보일러 사고분석

Abstract - The accidents related to boilers are caused by defects with high risk which can lead to the explosion of the equipment. The number of boiler accidents from 1979 to 2006 is 100 and the casualties totaled 379, and the scale of accidents has been growing larger every year. The analysis has found that the number of accidents caused by carelessness in management is 59, 72% of total 82 cases and 18 by low level of water. The analysis of accidents in foreign countries showed a similar result. From the past till today most of the accidents have been resulted from bad handling and maintenance. The analysis of accidents for the inspected boilers also showed that the major cause of the accidents was bad handling and maintenance of automatic controllers, safety devices, etc. And in the large-scale explosive accidents, the number one cause of them was the low level of water.

Key words : boiler safety, boiler defect, boiler accident analysis

1. 서 론

우리 주변에서 에너지를 이용하지 않고는 생산, 이동 등 모든 일상생활이 안 될 정도이다. 에너지 이용설비 중 보일러는 주요 산업시설과 건물, 가정에

까지 우리주변 사용되지 않는 곳이 없다. 이와 같이 많이 사용되는 보일러는 열원을 공급하기 위한 유류, 가스 등이 공급되어 보일러는 고온 고압으로 운전되고 있어, 취급운전의 잘못된 보일러의 폭발, 화재 등으로 취급자의 인근 주변까지 큰 피해를 미친다는 점과 그 피해범위가 엄청나 사회, 경제적 파급효과는 계산하기 어려운 정도이다.

세계적으로 재해, 재난예방과 관련하여 투자를 아

† To whom corresponding should be addressed.
Korea Energy Management Corp., 388, Poen-daero, Suji-gu,
Yongin-si, Gyeonggi-do, 448-994, Korea
Tel : 031-260-4370 E-mail : drkim5@daum.net

까지 앓는 이유는 사고 발생 시 당사자는 물론 국가 기간시설의 마비와 엄청난 재산피해로 이어져 국가적인 엄청난 손실을 초래하게 된다는 것이다.

따라서, 열사용하는 보일러는 세계적으로 국가에서 관련 법률 등의 규범을 제정하여 관리되고 있다.

이 같은 규범은 일정 유자격자로 하여금 설계, 제조, 설치 현장까지의 각 단계별로 관리 운용되고, 지속적인 품질개선 노력을 기울이는 한편, 많은 관계자와 함께 안전성 향상에 대한 발전적으로 연구향상에 힘쓰고 있다.

그간 우리나라는 안전에 대한 신뢰성을 얻기 위하여 일정 주기로 실시하고 있는 기기의 정비 점검의 주기의 최적방안에 대한 연구, 대규모 석유화학 단지에서의 위험도 기반검사(Risk-Based Inspection)기법을 도입 적용을 시도하는 등 안전성향상을 위한 R&D 발전되어 왔다.

그러나, 중소규모의 열사용기기인 중소형보일러 사고의 빈도가 높게 나타나고 있다.

중소규모의 공장에서 다양한 종류의 구조설계, 제작, 설치, 사용되고 있다. 보일러 설치현장에서 사용되는 여러 종류의 중소형보일러의 경우 일부기업을 제외하고는 지속적인 기술개발을 위한 투자여력부족과 시공과 취급 등 각 단계별 관련 전문가에 대한 실무 기술역량강화에 대한 전문조직의 체계구축과 투자, 처우, 잦은 이직 등으로 전문지식 기술 향상력 부족등 여러 원인으로 안전성향상의 기반시스템이 취약한 실정이다.

또한, 안전사고의 각급 원인은 정확히 통계적으로 관리되고, 발전적인 안전성 향상을 위한 연구체계 또한 관심과 투자가 미미한 실정이다.

현재 보일러는 일정한 압력과 크기 용량이 비교적 규모화 된 기기에 대하여 검사대상기기로 규정하여 검사기관에서 보일러 사고예방을 위한 통계를 관리와 지속적인 기술지도를 하고 있는 것은 다행이라 할 수 있으나, 검사대상기기외의 소형보일러에 대하여는 그 어떤 시스템도 작동되지 않고 자율적으로 시장에 맡겨져 있는 실정이다.

이번 연구에서는 검사기관에서 관리 파악하고 있는 보일러 사고통계자료를 기반으로 다양한 최적의 분석기법을 적용하여 사고원인과 사고 유형 등 사고의 분류체계를 연구, 사용현장에서의 위험우선순위, 집중관리요소에 대한 대안을 구축하여 사고예방 단계별 중점 관리사항을 파악하여 보일러 안전성향상을

위한 알고리즘을 개발하는데 기여할 것으로 판단된다.

2. 이론적인 고찰

2-1 손상과 결함

보일러의 손상요인은 직접적, 간접적인요인 등 복합적으로 손상이 일어난다. 보일러의 손상과 결함요인은 설계에서 폐기 전 단계까지의 5가지로 단계별 사고의 직접적인 요인과 더불어 사용 중 장치 파손의 원인을 제공할 가능성이 높은 간접적인 단계로 분류할 수 있다.

설계과정에서는 각진 불연속부, 이음노치의 집중응력, 용접부 위치 선정, 응력계산 누락은 우수한 제작된 보일러도 사용 중에 폭발사고의 요인이 될 수 있다.

제작과정에서 모재, 용접재 선정과 관리부실도 사고의 요인으로 작용되고 있다.

사용단계에서는 설계 한계를 넘는 조건에는 재료의 열화를 가속시킨다. 즉, 결정학적, micro-조직적인 변화인 재질열화와, 부식, 마모 손상 등 화학적, 기계적인 원인에 의해 발생하는 형상학, 기계적, 화학적으로 발생하는 균열 열화 등도 있다.

온도의 영향을 많이 받는 곳의 결정조직 변화 또는 미세 조직의 변화는 재료의 강도를 저하시키고, 부식, 마모로 인한 두께 감소 등은 안전율을 감소로 재료의 강도한계를 넘어가거나, 미세균열, 재질열화, 환경적 요인에 의한 균열에 의한 응력집중은 급격한 파손으로 이어 질 수 있다. 재료열화는 부식, 침식, 금속조직의 변화, 균열, 부풀음, 비틀림 및 내부 장치의 이상, 누설 등이 있다. 따라서 보일러는 주기적으로 점검과 감시를 통해 안전성을 확보해야 한다.

Table 1. Legal Basis, Establishment Time and Coverage by Comprehensive Plan in Energy Sector

단 계	손상 및 결함 원인
설계	구조적 노치, 용접부의 위치, 두께 등
재료	재료의 선정, 관리
재료 제조	manufacture, shaping, casting, forging에서 결함
제작, 설치	welding, heat treatment, installation
사용 중	excessive severe service condition, 과열, corrosion, fatigue, wear, 스케일 손상

Table 1. Number of Installed Boilers by Boiler types(보일러 유형별 보일러 설치현황)(2007)

Section	Vertical (입형)	Flue-smoke tube (노연)	Water tube (수관)	Once-through (관류)	Cast iron (주철)	Etc. (기타)	Total
Number of Boilers	2,189	16,893	3,100	11,528	1,428	1,056	36,194

Table 2. Number of Installed Boilers by Year('81~'05)(연도별 보급추이)

year (연도)	Vertical (입형)	Flue-smoke tube (노연)	Water tube (수관)	Once-through (관류)	Cast iron (주철)	Etc. (기타)	Total
81~85	87	774	167	46	81	7	1,132
86~90	157	1,890	460	443	159	32	3,141
91~95	528	4,778	788	1,692	448	406	8,640
96~00	634	4,950	826	2,695	315	150	9,570
01~05	562	3,450	519	4,526	288	353	9,698
Total	1,968	15,842	2,760	9,402	1,291	948	32,181

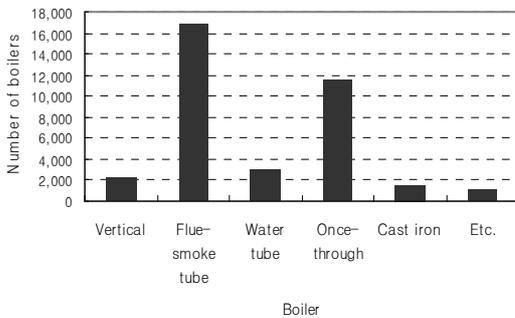


Fig. 1. Number of Installed Boilers by Boiler types(보일러 유형별 보일러 설치현황)(2007)

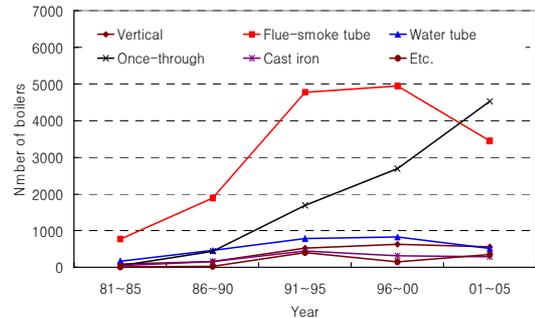


Fig. 2. Number of Installed Boilers by Boiler types(보일러 유형별 보일러 설치현황)(2007)

그러나, 사고가 발생한 경우 여러 결함의 요인에 기인한 사고는 현실적으로 그 원인을 찾는 것은 사용 시간이 많이 경과한 상황과 여러 복합 요인이 된 사고의 경우는 분석이 더욱 어려워진다.

2-2. 위험 분석기법

일반적으로 위험성을 분석하는 방법으로는 정성적 평가와 정량적 평가가 있다. 대규모 산업, 원자력과 같이 대형사고 잠재한 곳에서는 이러한 평가로 위험성을 분석 평가하고 대처하고 있다.

정성적 분석기법으로는 HAZOP(Hazard and Operability Study), 고장모드 및 영향분석(Failure Modes and Effects Analysis : FMEA) 등이 있으며, 정량적 분석기법에는 치명도 분석(Criticality

Analysis : CA), 결함수목분석(Fault Tree Analysis : FTA) 등 많은 기법들이 개발되어 있다.

그러나, 중소형 보일러의 경우 보일러 사고의 위험성 평가는 대부분 부분적인 전체 플랜트한 분야로 단순하게 평가되거나, 또한 각 부분품의 기능적 결함 및 고장모드를 인과관계를 연계하여 분석하는 기법들이 일부 소개되고 있을 정도이고, 다양한 유형의 보일러 사용 및 관리조건에서는 더욱 이러한 분석결과 의 신뢰성을 얻기가 힘들다.

따라서, 고전적인 비울대비법과 추세성향 등으로 정성적으로 분석하여 가장 쉽게 일상적으로 관리할 수 있는 기법으로 하여도 그 결과는 FMEA 등에 의한 방법과 유사한 결과가 도출된다는 것을 알 수 있다.

Table 3. Number of accidents by boiler types(보일러 유형별 사고건수)(‘78~’06)

Section	Vertical (입형)	Flue-smoke tube(노연)	Water tube		Cast iron (주철)	Etc. (기타)	Total
			드럼형	관류형			
Number of accidents (사고 수)	37	27	10	9	6	11	100

Table 4. Number of casualties by boiler types(기기종별 사상자수)(‘78~’06)

section	Vertical (입형)	Flue-smoke tube (노연)	Water tube (수관)	Once-through (관류)	Cast iron (주철)	Etc. (기타)	Total
Number of deaths (사망자)	26	20	5	6	1	7	65
Number of injuries (중경상자)	80	78	8	108	11	29	314
Total (합계)	106	98	13	114	12	36	379

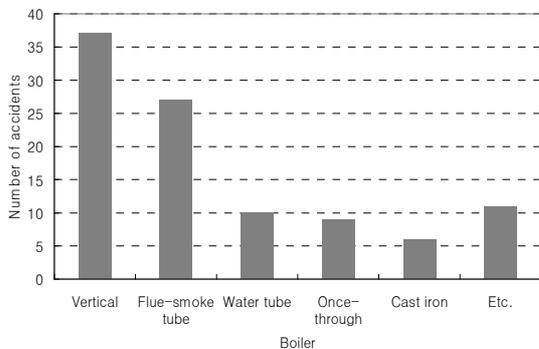


Fig. 3. Number of accidents by boiler types(보일러 유형별 사고건수)(‘78~’06)

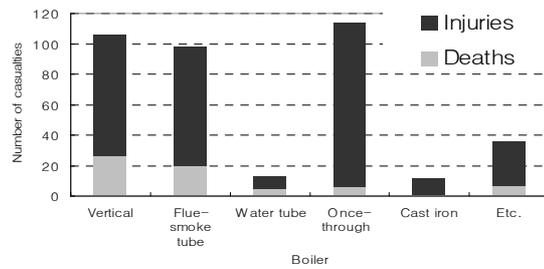


Fig. 4. Number of casualties by boiler types(기기종별 사상자수)(‘78~’06)

3. 사고 사례별 원인고찰

3-1 보일러보급추이

현재 에너지이용합리화법에 의한 검사대상기기를 기준으로 보일러 종류 유형별 보일러 설치현황이다. 전체보일러 중 가장 많이 보급되어 관리되고 있는 보일러는 노통연관식 보일러이다. 그 다음은 수관식 관류형 보일러이다.

최근 보일러의 보급추이를 보면 많이 보급된 노통연관 보일러는 정채되고 있으나, 수관형 관류보일러는 보급이 증가되고 있다. 이는 대부분 중소규모의 열사용 시설에서 검사에 대한 규제가 비교적 적고, 다관식 대수제어 시스템 개발보급 등의 사유이다.

3-2 사고요인별 분석

기기종류별 사고를 분석한 결과 입형보일러(관류 포함)의 사고가 46건으로 전체 103건 중 45%로 가장 많이 발생되었고, 그 다음이 노통연관 보일러로서 28건으로 27%의 사고발생빈도를 보이고 있는 것으로 분석되어, 보일러의 사고는 소형으로 제작되는 보일러에 집중되고 있어 소형보일러의 안전성향상에 중점을 두어야할 것으로 분석되었다.

또한, 보일러종류별 사상자수[Table 4]를 비교하면 관류형과 입형보일러가 높게 나타나고 있다. 관류 및 입형의 소형보일러의 경우 다중이용시설에 많이 보급되고 있으며, 대부분 취급자를 임명하지 않거나 관리기술과 경험이 부족하다. 또한, 사소한 안전관리 부주의, 연도가스 등 누설에 의한 대형 참사를 부를 수 있는 것으로 파악되고 있어, 중소규모의 보일러에 대한 철저한 관리 및 담당자의 주기적인 기술교육시행에 힘을 주어야할 것으로 분석된다. 노통연관

Table 5-1. Number of casualties per an accident by boiler types(보일러 종류별 사상자 비율)(‘78~’06)

section	Vertical (입형)	Flue-smoke tube (노연)	Water tube (수관)	Once-through (관류)	Cast iron (주철)	Etc. (기타)	Average (평균)
Number of deaths per an accident	0.7	0.7	0.5	0.7	0.2	0.6	0.7
Number of injuries per an accident	2.2	2.9	0.8	12.0	1.8	2.6	3.1
Number of casualties per an accident	2.9	3.6	1.3	12.7	2.0	3.3	3.8

Table 5-2. Number of casualties per an accident by year(연도별 사상자 비율)(‘78~’06)

year (년도)	Number of accidents (사고 수)	Number of deaths (사망자 수)	Number of injuries (중경상자 수)	deaths per an accident	injuries per an accident
78~80	24	15	45	0.63	1.88
81~85	9	8	22	0.89	2.44
86~90	12	8	35	0.67	2.92
91~95	17	6	98	0.35	5.76
96~00	19	15	18	0.79	0.95
01~05	13	9	57	0.69	4.38
06	6	4	39	0.67	6.5
Total	100	65	314	0.65	3.14

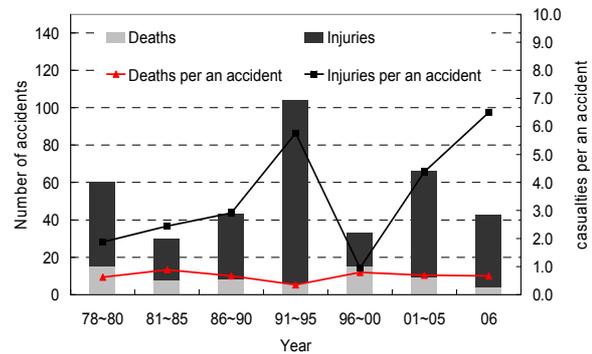
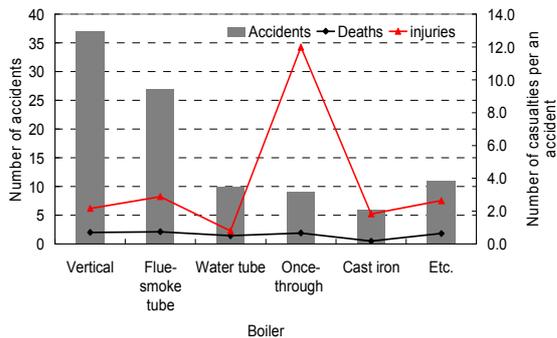


Fig. 5-1. Number of casualties per an accident by boiler types(보일러 종류별 사상자 비율)(‘78~’06)

Fig. 5-2. Number of casualties per an accident by year(연도별 사상자 비율)(‘78~’06)

Table 6-1. Number of accidents by causes in Korea(한국-원인별 사고건수)(‘78~’06)

year (년도)	Careless management (관리부주의)	Careless construction (시공부주의)	The low-water level (저수위)	Careless manufacture (제작부주의)	Etc. (기타)
78~80	16	-	3	5	-
81~85	7	-	1	1	-
86~90	5	2	3	2	-
91~95	10	4	3	-	-
96~00	10	3	5	-	1
01~05	8	2	3	-	-
06	3	1	-	1	1
Total	59	12	18	9	2

Table 6-2. Number of accidents by causes in Korea(한국-원인별 사고건수)(‘78~’06)

year (년도)	Careless management (관리부주의)	Careless construction (시공부주의)	The low-water level (저수위)	Careless manufacture (제작부주의)	Etc. (기타)
96~97	626	27	821	62	-
98~99	685	58	736	47	28
00~01	983	32	956	65	86
02~03	616	29	553	84	52
Total	2,910	146	3,066	258	166

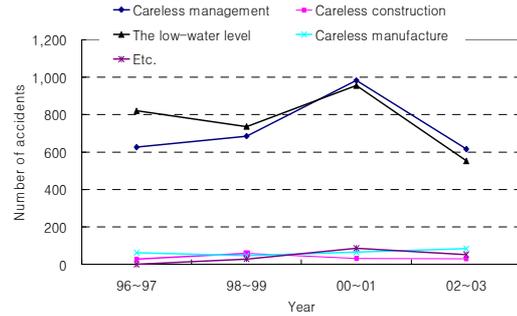
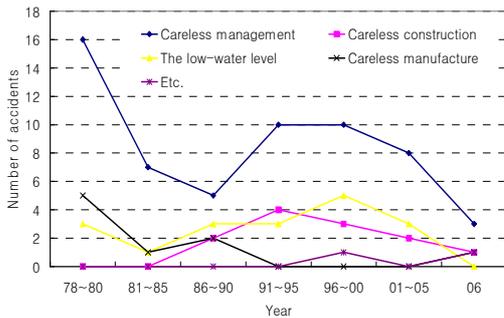


Fig. 6-1. Number of casualties per an accident by boiler types(보일러 종류별 사상자 비율)(‘78~’06)

Fig. 6-2. Number of casualties per an accident by year(연도별 사상자 비율)(‘78~’06)

Table 7. Number of accident by boiler types and causes(보일러 유형별, 원인별 사고현황)

Section	Vertical (입형)	Horizontal tube(노연)	Water tube(수관)	Once-through h(관류)	Cast iron (주철)	Etc. (기타)	Total
Careless management	23	12	6	6	3	10	60
Careless construction	4	2	2	3	-	-	11
The low-water level	5	10	2	-	1	-	18
Careless manufacture	5	2	-	-	2	-	9
Etc.	-	1	-	-	-	1	2
Total	37	27	10	9	6	11	100

Table 8. Inspected Boiler vs non-inspected Boiler(검사유무별 사고현황)

구분	Number of accidents (사고 수)	Number of deaths (사망자 수)	Number of injuries (중경상자 수)	deaths per an accident	injuries per an accident
Boiler inspected (검사)	44	25	130	0.6	3.0
Boiler excluded inspection (검사대상 제외)	34	13	123	0.4	3.6
Boiler non-inspected (검사미필)	22	15	61	0.7	2.8
계	100	53	314		

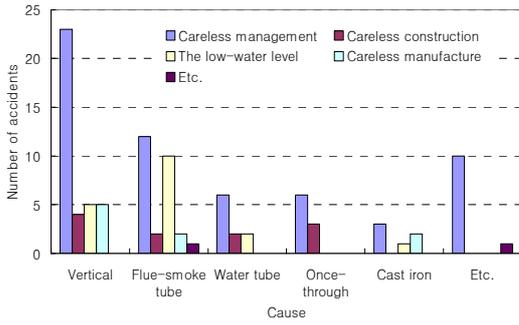


Fig. 7. Number of accident by boiler types and causes(보일러 유형별, 원인별 사고현황)

식 보일러는 다른 보일러에 비하여 통계관리 기간중 중형보일러로 오랫동안 사용되어 보급대수도 많으며, 용량이 크므로 사고발생시 사망피해가 많은 것이 특징이다. 따라서, 노통연관식 보일러 사고에서 우선 관리 요인을 집중분석하여 사고 예방 기술개발에 관심을 가져야 한다.

인명피해는 총 379명으로 사망사고가 65명으로 17%를 차지하고 있는 것으로 분석되어 보일러 사고는 사고발생시 그 피해정도가 크다는 것을 알 수 있다. 따라서, 보일러는 전문적인 자격체계관리와 지속적인 기술지원 체계가 필요하고, 제조에서 폐기까지 체계적인 사고예방 알고리즘을 각 단계별로 개발하여 구축하는 노력과, 피해정도가 높은 이러한 보일러는 시장의 자율적인 관리보다는 철저히 국가관리 사무로서 관리 되어야 할 것이 판단된다.

한국의 보일러 사고는 지난 28년(1978년~2006년) 동안 총 100건으로 년 평균 3.4건 발생하였고, 인명피해는 총 379명으로 년 평균 13.1명, 인명피해는 사고건당 3.8명 (미국 0.1명 이하, 일본의 경우 1명)로 외국과 비교할 때도 일본의 3.8배, 미국의 38배 수준으로 비교적 높은 것으로 분석 되어, 사고의 지속성과 높은 인명피해의 정도를 보아 사고를 최소화하기 위한 사고 예방 프로그램의 기술투자과 법적 제도적 장치의 근본적인 대안 마련이 필요한 것으로 분석되었다.

사고 원인별로 분석한 결과 관리부주의에 의한 것이 한국이나 미국이나 가장 높다. 관리부주의 사고에서 별도로 분류한 저수위 사고만 보아도 높은 수치를 보여 주고 있다. 따라서 이 두 가지 요인에 의한 사고가 가장 높게 도출되었으므로 이 같은 사고원인을 우선적으로 관리되어 사고 예방할 수 있는 알고리즘

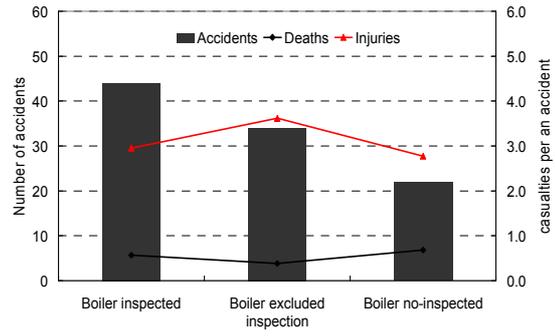


Fig. 8. Inspected Boiler vs non-inspected Boiler (검사유무별 사고현황)

개발에 대한 연구투자가 필요한 것으로 분석되었다. 사고 원인중 한국은 취급부주의가 59건으로 전체사고의 60%를 차지하고 있다. 현재 이러한 사고에 대해서도 사고의 보고 등 사고발생 관리 체계 또한 마련되어 있지 않고 있어 뉴스보도나 행정기관 사고원인 조사 의뢰가 있어야 기술관리를 전담하고 있는 검사기관에서 사고현장의 접근이 가능한 것으로 되어 있어 지속적인 안전관리 기술향상에 구조적인 장애요인으로 분석된다. 그리고, 사고에 대한 기술조사에서도 피해규모가 큰 규모만 관리되고, 사소하거나 경미한 안전사고는 파악될 수 없는 것으로 되어 있어 사고 예방을 위한 기술발전을 위하여 법률적 체계를 정비하여야 할 것으로 분석된다. 이와 같은 사고보고 체계가 정비될 경우 유사한 사고가 재발되지 않도록 사고의 기술적인 분석체계를 도입하여 사고보고내용을 정밀 분석하여, 여러가지 제도적 접근과 이를 기반으로한 기술지도와 교육 및 홍보도 병행될 경우 안전성향에 기여할 것으로 분석된다.

그리고, 저수위사고가 18건으로 18%를 차지하고 있어 저수위 예방을 위한 보일러용수관리, 저수위검출 및 제어시스템 개선 등 구조적 기술개발과 시설기준의 우선 발전되고, 사용중 관리시스템, 설치 및 시공기준도 우선적으로 개발되어야 할 것으로 분석되었다.

보일러 종류별 사고원인을 분석한 결과에서도 여러 보일러 공통으로 취급부주의가 가장 비율이 높은 것으로 분석되었으며, 특히, 노통연관 보일러의 경우 상대적으로 저수위 사고의 원인이 입형 및 수관보일러에 비해 2~3배 높은 37%로 높게 분석되어 노통연관 보일러의 저수위 검출 및 관리기술의 우선적으로 기술적인 개발과 사고 예방을 위한 알고리즘의 개발

이 우선되어야 할 것으로 분석되었다.

규정된 검사 등 각종 규정을 철저히 준수하였는지에 대한 형태를 분석한 결과 총 100건 중 검사와 관련된 법률과 검사기준을 지키지 않는 등 검사규정을 지키지 않은 검사를 필하지 않은 검사미필보일러와, 검사대상에서 제외되어 자율적으로 관리를 하고 있는 보일러가 전체사고의 56건의 사고가 발생하여 전체 사고의 반이 넘고 있다. 이와 같이 검사를 받지 않고 사용하는 보일러 또한 소형임에도 불구하고 사고건당 0.7명의 사망자가 나타나고 있는 것으로 분석되고 있어 소형보일러의 관리에 더욱 세심한 관리 시스템이 마련되어야 할 것으로 분석되었다. 검사를 받지 않아도 되는 자율관리 보일러도 전체사고의 34%이고, 사고건당 사상자수가 가장 높은 3.6명으로 관련 법률과 제조, 설치 및 시공 등 기준을 준수하는 것이 중요한 것으로 분석되었다. 검사대상 제외보일러의 관리를 위하여 외국에서도 법률로 관리하고 있으나, 우리나라에서 폐기된 보일러 제조업허가, 형식승인 제도 도입 등 특별관리 대책 마련이 시급한 것으로 분석되었다.

3. 결론

본 연구에서 그간 보일러 안전과 관련된 연구는 규모가 큰 발전소, 석유화학의 대형보일러나, 보급대수가 많은 가정용보일러에 대하여 여러 분석기법으로 등 세세한 많은 연구가 있었으나, 중소형 보일러에 대한 연구가 미약하였다. 이번 연구를 통하여 주로 사고가 많이 집중되고 있는 것은 대형이 아니라 중소형 보일러이다. 이러한 중소형보일러의 안전성향상을 위하여 사고사례를 중심으로 한 체계적인 보일러 규모별, 보일러 종류, 사고로 인한 재해내용, 사고요인별 다양한 정량적 분석기법으로 안전성 향상의 방향에 대한 우선대책 순위를 도출하는데 큰 의의가 있었다. 이번 연구에서 사고의 형태를 분석한 결과에서도 초기에는 드럼이나 동체 자체의 파열사고와 같은 대형 사고로 이어지는 사고가 많았지만, 최근에는 보일러의 설계와 제작기술, 그리고 법령의 정비가 이루어져 그와 같은 동체 자체의 파열사고는 무허가로 제작하여 위법 설치한 것을 제외하고는 사고가 미미한 것으로 분석되어 제조기술과 관리체계가 많은 발전을 보여 주고 있음이 입증되었으나, 중소형보일러의 사고 사례의 분석한 결과에서 한국의 보일러의 안전사고발생은 지난 29년(1978년~2006년) 동안 총 100건으로

년 평균 3.4건/년 발생하였고, 인명피해는 총 379명으로 평균 13.1명/년, 인명피해는 사고건당 3.8명 (미국 0.1명 이하, 일본의 경우 1명)으로 나타나 일본의 3.8배, 미국의 38배로 높은 수준이며, 매년 3건 전후의 사고가 지속적으로 반복되고 있어 보일러의 안전성향상을 위한 기술투자와 제도적 개선 등 관심을 가져야 한다는 것에 대하여 논리적 근거를 제시하였다.

또한, 사고요인을 분석한 결과 관리상의 문제점인 취급부주의 사고가 59건, 파열사고의 주된 원인인 저수위로 인한사고 18건으로 전체의 사고의 77%로 높으며, 외국의 사고내용을 분석결과에서도 비슷한 수치이다. 이 같은 사고는 손상이나 사고원인의 대부분이 자동제어장치 등의 취급부주의와 철저한 유지관리로 일상적인 취급자의 운전관리 시스템의 개선이 필요하며, 이와 같이 사고가 지속되고 있음을 보여 주고 있으며, 검사를 받지 않는 보일러는 전문성이 부족한 무자격자가 취급되고, 각종 안전장치가 작동되지 않은 것이 주된 요인으로 분석되고 있어 설치 시공과 운전관리의 제도적인 정비요인으로 분석되고, 특히, 인명피해가 큰 파열사고의 원인이 되는 저수위 사고의 안전성향상을 위한 예방시스템과 저수위안전장치 기술개발을 우선적용 등 보일러 설계에서부터 폐기단계까지 손상과 결함 요인을 기반으로한 다양한 기술개발과 제도개선, 기술의 지속적 현장 기술보급 지원과 홍보가 병행될 경우 사고예방을 최소화할 수 있는 것으로 분석되었으며, 향후, 보일러의 안전성향상을 위한 매뉴얼화된 알고리즘의 개발에 있어 보일러안전성 향상을 위한 알고리즘을 개발에 기여할 것으로 예상된다.

참고문헌

1. Sang-Kwun Yoon (2003), "Cause Analyses of Boiler Accidents and Their Counter-plans Based on Accident Cases", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 18-3, Korea.
2. Felix Barreras (2004), "Behavior of a High-Capacity Steam Boiler Using Heavy Fuel Oil : Cold-End Corrosion" , Fuel Processing Technology 86 (2004) 107-121, Spain
3. Seon-Sun Lee (2006), "Fault Diagnosis of Induction Motor for Elevator", Korea
4. 에너지통계연보(2013) “에너지관리공단”