



열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러) 검사결과를 활용한 안전 및 성능 취약점 분석

김형준 · †오충현*

동국대학교 신재생에너지공학부 박사과정, *동국대학교 바이오환경공학부 교수
(2022년 4월 18일 접수, 2022년 7월 31일 수정, 2022년 8월 1일 채택)

Analysis of Safety and Performance Vulnerabilities Using Heat-Using Equipment(Industrial Boiler) Inspection Results

Hyung-Jun Kim · †Choong-Hyeon Oh*

Dept. of New&Renewable Energy Engineering, Dong Guk Univ., Korea

**Dept. of Bio Enviroment Science, Dong Guk Univ., Korea*

(Received April 18, 2022; Revised July 31, 2022; Accepted August 1, 2022)

요약

한국 정부는 열사용기자재(산업용 보일러)의 폭발, 화재에 대한 위험과 안전한 사용 및 관리를 고려하여 에너지이용합리화법에 따라 열사용 기자재(산업용 보일러) 검사를 수행하고 있다. 이 연구는 열사용기자재(산업용 보일러)에 대한 검사 결과 데이터를 통해 안전 및 성능 취약점을 도출하는데 목적이 있다. 이 연구는 2016년 1월부터 2020년 12월까지의 열사용기자재(산업용 보일러) 불합격 검사결과인 1,249건을 조사하였다. 연구방법은 불합격을 분산 수치가 높은 보일러 타입별 불합격 사유와 검사 방법별 불합격 사유를 통계적으로 분석하는 것이다. 안전 및 성능 취약점 카테고리는 18가지로 축약되었으며, 각 카테고리별 주요 불합격 원인은 검사원들의 의견을 추가 분석하여 제안하였다. 이 연구가 열사용기자재(산업용 보일러)의 안전 및 성능 취약점을 다루는데 기초 자료가 될 것으로 기대한다.

Abstract - The Korean government is conducting heat-using equipment(industrial boiler) inspection in accordance with the Energy Use Rationalization Act because of the heat-using equipment(industrial boiler)'s risks such as explosion and fire, and safe use and management. This paper aimed to setup the safe and performance vulnerabilities from database based on the inspection results for heat-using equipment(industrial boiler). This study surveyed the inspection results of 1,249 heat-using equipment(industrial boiler) which were failed inspection of heat-using equipment(industrial boiler) from january 2016 to december 2020. And the analysis method is to inform safety and performance vulnerability categories of heat-using equipment(industrial boiler) by statistically analyzing the failure reasons of boiler type and inspection type which are high variance in failure rate. The safety and performance vulnerability categories was abbreviated into 18 cases. And each category's main reason for failure was suggested by additional analyzing the opinions of inspectors. This paper would be the basic source and the comprehensive information dealing with the safety and performance vulnerability of heat-using equipment(industrial boiler).

Key words : heat-using equipment, energy use rationalization act, industrial boiler

†Corresponding author:ecology@dongguk.edu

Copyright © 2022 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

우리나라의 산업부문 및 건물부문 운영에 있어서 산업용 보일러의 의존도는 여전히 높은 실정이다. 산업용 보일러는 소독, 세척, 건조, 난방 등을 위하여 고압의 열매를 신속하게 전달할 수 있는 최적의 기기이기 때문이다. 반면 해당 편의성의 이면에는 폭발, 중동, 화재 등 위험성이 공존하는데 2019년 강릉펜션 CO 가스중독 사고 및 2021년 양주 공장 보일러 폭발 사고를 통해 확인할 수 있으며, 이에 보일러의 안전한 사용 및 관리를 위하여 정부는 법률을 제정하여 운영하고 있다.

국내 에너지 관련 법률 중 하나인 [에너지이용합리화법]에서는 국내의 에너지 수급을 안정시키고 에너지의 합리적 이용을 위한 다양한 정책을 담고 있다. 해당 법률에 따른 주요 정책 중 안전관리 부문으로서 열사용기자재 기기에 대한 검사 수행 사업이 [에너지이용합리화법] 제39조(검사대상기기의 검사)에 의거하여 운영 중이며, 열사용기자재의 제조, 설치, 계속사용(개방, 사용중, 운전성능), 개조, 설치장소 변경, 사용중지 후 재사용 시 검사를 받는 방식으로 운영 중이다[1][2].

열사용기자재란 일정규모 이상의 압력 및 부피에 달하는 기기로서 크게 산업용 보일러와 압력용기로 구분되고, 그 중 산업용 보일러의 경우는 사용연료가 증유, 경유, 가스 등이 사용됨에 따라 폭발 및 화재사고로 이어질 가능성이 높다[3]. 이에 정부는 [에너지이용합리화법] 제69조(권한의 위임·위탁)에 의거하여 한국에너지공단을 열사용기자재 검사수행기관으로 지정하고 있으며, 동 검사는 1980년 한국에너지공단(출범 당시 에너지관리공단)이 설립된 주된 목적이기도 하다.

본 연구에서는 위 배경에 따라 검사를 받는 열사용기자재 검사대상기기 중 안전사고 발생 가능성이 비교적 높은 산업용 보일러의 검사 판정결과를 활용하여 안전 및 성능 취약점을 분석해보고자 하며, 해당 결과를 활용하여 열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러)의 사용자가 기기 관리 시 참고할 수 있도록 하고자 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러) 검사결과를 수집하고 분석하였다. 조사 대상은 2016년 1월부터 2020년 12월까지의 국내 검사결과 총 19만여 건 중, 불합격으로 판정받은 1,249건이 대상에 해당된다. 분석 방법은 검사연도, 검사종류, 기기종

류, 기기연식, 기기압력, 기기용량별 검사결과 불합격률의 의미를 확인한 후, 통계 결과에 의미를 부여할 수 있는 불합격률의 분산 수치가 높은 대상을 분석하여 안전 및 성능 취약점을 도출하는 방식을 선택하였다.

II. 산업용 보일러의 검사결과 현황

2.1. 열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러) 검사 대상

[에너지이용합리화법] 별표1(열사용기자재) 및 [에너지이용합리화법] 별표3의3(검사대상기기)에 의거, 검사를 받아야 하는 산업용 보일러는 일정 기준 이상의 대상으로서 강철제 보일러와 주철제 보일러, 그리고 소형 온수 보일러로 크게 구분된다. 위 세 가지 종류의 보일러는 또 다시 사용처에 공급되는 열 매체에 따라 온수, 증기, 열매 등으로 나눌 수 있다.

2.2. 열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러) 검사 종류

열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러)를 소유하고 사용 중인 건축주 또는 사업자는 [에너지이용합리화법] 제39조(검사대상기기의 검사)에 의해 검사를 받아야 하고, 제조부터 설치 후 계속 사용하는 전반의 과정에서 구분되는 검사종류별 운영방식은 다음과 같다.

(1) 제조검사

[에너지이용합리화법] 제39조(검사대상기기의 검사) 제1항에 의거, 보일러 제조검사는 보일러 제조사가 보일러를 제작하는 과정에서 받는 검사로서 3단계로 구분된다. 1단계에서는 설계도면 및 강도계산서를 검토하여 해당 재질과 강도의 적합여부를 판정하고, 2단계에서는 제조사 공장 현장을 방문하여 용접 상태를 확인한 후 향후 비파괴 시험기관을 통해 발행되는 비파괴 검사 결과를 검토하여 적합여부를 판정하며, 마지막 3단계에서는 다시금 제조사 공장 현장에 방문하여 해당기기의 수압검사를 수행하여 적합여부를 판정한다.

(2) 설치검사

[에너지이용합리화법] 제39조(검사대상기기의 검사) 제2항제1호에 의거, 보일러 설치검사는 보일러 설치자가 검사대상기기를 설치한 후 받는 검사로서 보일러 설치 현장의 적합성, 계측설비 및 안전장치 작동 여부, 성능기준 만족 여부, 급수처리장치 유효성 등을 확인하여 적합여부를 판정한다.

(3) 계속사용검사

[에너지이용합리화법] 제39조(검사대상기기의 검사) 제4항에 의거, 보일러 계속사용검사는 보일러 설치자가 보일러 설치 후 매년 또는 격년 마다 해당 보일러의 지속적인 사용을 위해 받는 검사로서, 크게 안전검사와 운전성능검사로 나뉜다. 위 두 가지 종류의 검사 중 안전검사는 보일러 개방 후 내부 상태의 안전성을 확인하여 적합여부를 판정하는 개방검사와 보일러 가동 중에 성능기준 준수 여부 및 안전장치 작동 여부를 확인하여 적합여부를 판정하는 사용중검사로 세분화되며, 운전성능검사는 배기가스 성능기준 및 효율 기준 준수 여부에 따라 적합여부를 판정한다.

(4) 개조검사

[에너지이용합리화법] 제39조(검사대상기기의 검사) 제2항제1호에 의거, 보일러 개조검사는 보일러 설치자가 보일러를 개조하는 경우 받는 검사로서 크게 5 가지 상황으로 나뉜다. 증기보일러를 온수보일러로 변경하는 경우, 보일러 섹션의 증감에 의하여 용량을 변경하는 경우, 동체·노통·연소실·경광·천장판·관판·관모음 또는 스테이의 변경 등 대수리인 경우, 연료 또는 연소방법을 변경하는 경우, 철금속가열로를 수리하는 경우 등으로 구분되며 관련 변경 사항의 적정성을 확인하여 적합여부를 판정한다.

(5) 설치장소 변경검사

[에너지이용합리화법] 제39조(검사대상기기의 검사) 제2항제2호에 의거, 보일러 설치장소 변경검사는 보일러 설치자가 보일러 위치를 변경한 후 받는 검사로서, 보일러 설치자는 개방검사와 수압검사를 자체적으로 수행하여 그 적절성을 보장해야 하며, 검사원은 설치 현장을 방문하여 해당 보일러를 설치검사 기준으로 검사 후 적합여부를 판정한다.

(6) 재사용검사

[에너지이용합리화법] 제39조(검사대상기기의 검사) 제2항제3호에 의거, 보일러 재사용검사는 설치자가 일정기간 동안 가동을 멈추었던 보일러를 재사용할 때 받는 검사로서, 개방검사 기준으로 검사 후 적합여부를 판정한다.

아울러 상위 여섯 가지 검사는 [에너지이용합리화법] 별표 3의6(검사의 면제대상 범위)에 의거, 각 검사별 특정 기준에 부합하는 경우 일부 검사가 면제될 수 있다.

2.3. 열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러) 검사 대상기기 압력 및 용량

검사대상기기 압력은 일반적으로 검사대상업체에서 사용하는 열매체의 상용압력이 0.5~1.0 MPa에 해당되므로 검사대상기기 설계 시 허용 가능한 최대 압력(설계압력)을 1.0 MPa로 선정하는 경우가 주를 이룬다.

검사대상기기 용량은 검사대상업체의 업종 및 규모에 따라 상이하나 에너지 효율적 운영을 위하여 소용량의 검사대상기기를 여러 대 보유하는 경우도 많아짐에 따라 1~3톤에 해당되는 검사대상기기가 주를 이룬다.

2.4. 최근 5년 열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러) 검사결과

최근 5년 간(2016년부터 2020년)의 열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러) 연도별 결과는 표 1과 같으며, 불합격률 분산은 0.017로 확인되었고 2020년 검사대상기기 수치가 급격히 낮아진 이유는 보일러 교체 시 신규 보일러로 교체하는 방식이 아닌 시스템 에어컨 등 타 시스템으로 변경함에 따른 결과로 확인된다.

최근 5년 간(2016년부터 2020년)의 열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러) 종류별 결과는 표 2와 같으며, 불합격률 분산은 0.141로 확인되었다.

열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러) 종류별 결과에서 “가스소형온수” 보일러의 불합격률이 타 보일러 종류 불합격률 대비 높은 이유는 해당 보일러

Table 1. Inspection Results of Industrial Boiler by Inspection Year

Contents	Untested*	Fail	Pass	Total	Fail Rate(%)
2016	145	183	31,732	32,060	0.57
2017	226	321	46,350	46,897	0.68
2018	225	366	47,086	47,677	0.77
2019	178	313	46,996	47,487	0.66
2020	62	66	15,751	15,879	0.42
Total	836	1,249	187,915	190,000	-

* Untested : Inspection is not conducted due to insufficient preparation

Table 2. Inspection Results of Industrial Boiler by boiler Type

Contents	Untested*	Fail	Pass	Total	Fail Rate(%)
Gas small hot water boiler	36	67	4,140	4,234	1.58
Steel heating medium boiler	93	74	12,343	12,511	0.59
Steel hot water boiler	38	87	10,178	10,300	0.84
Steel steam boiler	658	1,004	159,171	160,843	0.62
Iron section hot water boiler	1	4	638	643	0.62
Iron section steam boiler	10	13	1,445	1,469	0.88
Total	836	1,249	187,915	190,000	

가 제조검사를 면제받는 기기로서 보일러 제조사의 검사대응 경험부족에 따른 결과로 보인다.

최근 5년 간(2016년부터 2020년)의 열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러) 검사방식별 결과는 표 3과 같으며, 불합격률 분산은 1.711로 확인되었다.

열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러) 검사 방식별 결과에서 “설치검사”와 “장소변경검사”의 불합격률이 타 검사 방식 불합격률 대비 높은 이유는 두 검사방식 모두 최초로 검사대상기기를 설치 한 경우에 확인해야 하는 검사항목이 적용 되므로 불합격 처리에 노출될 가능성이 가장 높기 때문이다.

최근 5년 간(2016년부터 2020년)의 열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러) 기기연식별 검사결과는 표 4와 같으며, 불합격률 분산은 0.023으로 확인되었다.

최근 5년 간(2016년부터 2020년)의 열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러) 기기 압력별 검사결과는 표 5와 같으며, 모수가 없는 20 MPa를 제외한 대상의 불합격률 분산은 0.012로 확인되었다.

Table 3. Inspection Results of Industrial Boiler by Inspection Type

Contents	Untested*	Fail	Pass	Total	Fail Rate(%)
Open Inspection	497	638	85,599	86,734	0.74
Remodeling Inspection	13	21	1,686	1,720	1.22
Structural Inspection	4	26	10,797	10,827	0.24
In-use Inspection	86	141	19,704	19,931	0.71
Installation Inspection	78	183	8,441	8,702	2.1
Installation report	3	1	930	934	0.11
Welding Inspection	6	17	4,481	4,504	0.38
Operational performance Inspection	140	200	55,784	56,124	0.36
Location change Inspection	9	22	493	524	4.2
Total	836	1,249	187,915	190,000	-

Table 4. Inspection Results of Industrial Boiler by Boiler Age

Contents	Untested*	Fail	Pass	Total	Fail Rate(%)
Under 3year	33	72	10,030	10,135	0.71
3year ~ 5year	125	191	19,770	20,086	0.95
5year ~ 10year	268	313	57,122	57,703	0.54
10year ~ 15year	211	280	43,353	43,844	0.64
more than 15year	199	393	57,640	58,232	0.67
Total	836	1,249	187,915	190,000	-

Table 5. Inspection Results of Industrial Boiler by Boiler Pressure

Contents	Untested*	Fail	Pass	Total	Fail Rate(%)
Under 1MPa	99	148	15,941	16,188	0.91
1MPa	649	986	155,877	157,512	0.63
1MPa~5MPa	74	103	14,420	14,597	0.71
5MPa~10MPa	3	6	898	907	0.66
10MPa~20MPa	11	6	772	789	0.76
Over 20MPa	-	-	7	7	0
Total	836	1,249	187,915	190,000	-

Table 6. Inspection Results of Industrial Boiler by Boiler Capacity

Contents	Untested*	Fail	Pass	Total	Fail Rate(%)
Under 1Ton/h	147	147	18,177	18,471	0.8
1Ton/h ~ 3Ton/h	436	658	97,526	98,620	0.67
3Ton/h ~ 5Ton/h	100	179	31,361	31,640	0.57
5Ton/h ~ 10Ton/h	85	197	29,651	29,933	0.66
Over 15Ton/h	68	68	11,200	11,336	0.6
Total	836	1,249	187,915	190,000	-

최근 5년 간(2016년부터 2020년)의 열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러) 기기 용량별 검사결과 는 표 6과 같으며, 불합격률 분산은 0.007으로 확인되 었다.

III. 열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러) 불합격 사유 분석을 통한 안전 및 성능 취약대상 도출

열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러) 검사 결과 불합격 판정은 검사연도별, 기기종류별, 검사방

Table 7. Analyzing the inspection failure reasons of gas small hot water boiler

Contents	O.I	RI	I-U.I	I.I	L.C.I	O.P.I	W.I	S.I	Total
Measuring Instrument, Valve	1		4	9					14
Water Supply				1					1
Etc	1		4						5
Internal Inspection	14								14
Safety Device				4	1				5
External Inspection	1		1						2
Operational performance		1	5	8					14
Place, Setting				11					11
Preparation, Setting	1								1
Total	18	1	14	33	1	0	0	0	67

* O.I : Open Inspection, RI : Remodeling Inspection, I-U.I : In-use Inspection, I.I : Installation Inspection, L.C.I : Location Change Inspection, O.P.I : Operational Performance Inspection, W.I : Welding Inspection, S.I : Structural Inspection

식별, 기기연식별, 압력별, 용량별 등에 따라 다소 차 이가 있을 수 있으나, 기기종류별 기술 특성과 검사방 식별 검사항목에 따른 편차가 가장 큰 요인일 수밖에 없다. 그리고 불합격 판정 사유는 검사원별로 상세 의 견이 상이하므로 해당 내용에 대한 면밀한 검토를 통 한 카테고리 최소화가 필요한 부분이다. 위 카테고리 최소화 과정을 통하여 최종적으로 안전 및 성능 취약 대상이 어떠한 조건에서 발견되는지를 도출하는데 노력을 기울였다.

우선 기기종류별로 불합격 사유를 분석하는 것으 로 방향을 정하였고, 각각의 기기종류에 대한 검사방 식별 불합격 사유를 카테고리화 하였다. 그리고 불합 격률이 높은 3개의 대상 카테고리에 대해서는 좀 더 세분화하여 그 사유를 분석해보고자 하였다.

열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러) 검사결과를 활용한 안전 및 성능 취약점 분석

첫 번째 조사대상은 가스소형 온수보일러이며 해당 기기의 검사방식별 불합격 사유는 표 7과 같다.

가스소형 온수보일러 검사대상기기의 경우 불합격률이 높은 세 가지 검사 방식별 불합격 사유는 ‘개방검사-내부검사’, ‘설치검사-장소, 세팅’, ‘설치검사-계측기, 밸브’로 확인되었다.

세부적으로 위 항목별 검사원 대표 의견은 ‘개방검사-내부검사’의 경우 ‘누수’, ‘설치검사-장소, 세팅’의 경우 ‘보일러 바닥 미고정’, ‘설치검사-계측기, 밸브’의 경우 ‘안전밸브 설정압력 기준 미달’이다.

두 번째 조사대상은 열매를 매체로 사용하는 강철 보일러이며 해당 기기의 검사방식별 불합격 사유는 표 8과 같다.

열매를 매체로 사용하는 강철보일러 검사대상기기의 경우 불합격률이 높은 세 가지 검사 방식별 불합격 사유는 ‘운전성능-배가스성분’, ‘개방검사-내부검사’, ‘사용중검사-운전성능’으로 확인되었다.

세부적으로 위 항목별 검사원 대표 의견은 ‘운전성능-배가스성분’의 경우 ‘CO 기준(200ppm 이하) 미달’, ‘개방검사-내부검사’의 경우 ‘누수’, ‘사용중검사-운전성능’의 경우 ‘CO 기준(200ppm 이하) 미달’이다.

세 번째 조사대상은 강철제 온수보일러이며 해당 기기의 검사방식별 불합격 사유는 표 9와 같다.

강철제 온수보일러 검사대상기기의 경우 불합격률이 높은 세 가지 검사 방식별 불합격 사유는 ‘개방검사-내부검사’, ‘운전성능검사-배가스성분’, ‘사용중검사-운전성능’으로 확인되었다.

Table 8. Analyzing the inspection failure reasons of Steel heating medium boiler

Contents	O.I	R.I	I-U.I	II	L.C.I	O.P.I	W.I	S.I	Total
Measuring Instrument, Valve				1					1
Etc		2	4						6
Internal Inspection	12								12
Exhaust gas Component						37			27
Installation Place					1				1
Safety Device				4	2				5
External Inspection	3		1						4
Operational performance		2	7	4					13
Place, Setting				2					2
Material							2		1
Preparation, Setting	2								2
Total	17	4	12	11	3	37	2	0	74

Table 9. Analyzing the inspection failure reasons of Steel hot water boiler

Contents	O.I	R.I	I-U.I	II	L.C.I	O.P.I	W.I	S.I	Total
Measuring Instrument, Valve	1			5					5
Specification								1	1
Water supply				1					1
Etc			1						1
Internal Inspection	53								53
Exhaust gas Component						12			12
Hydro test		2							2
Safety Device				2					2
External Inspection	2								2
Welding							1		1
Operational performance			3						4
Place, Setting				3					3
Total	56	2	4	11	0	12	1	1	87

Table 10. Analyzing the inspection failure reasons of Steel steam boiler

Contents	O.I	R.I	I-U.I	I.I	L.C.I	O.P.I	W.I	S.I	Total
Measuring					2				2
Measuring Instrument, Valve	3		7	26					36
Engineering work							5		5
Specification								5	5
Water supply				45					45
Etc	7	9	45	4	2	3			70
Internal Inspection	472								472
Exhaust gas Component						144			144
Exhaust gas temperature						1			1
Corrosion	1								1
Installation status					9				9
Installation Place					1				1
Hydro test		4							4
Safety Device				47	3				50
Efficiency						3			3
External Inspection	14		23						37
Welding							2	6	8
Operational performance		1	39	17					57
Place, Setting				35					35
Preparation, Setting	19								19
Total	516	14	114	174	17	151	7	11	1004

Table 11. Analyzing the inspection failure reasons of Iron section hot water boiler

Contents	O.I	R.I	I-U.I	I.I	L.C.I	O.P.I	W.I	S.I	Total
Internal Inspection	2								2
External Inspection	1								1
Operational performance			1						1
Total	3	0	1	0	0	0	0	0	4

세부적으로 위 항목별 검사원 대표 의견은 ‘개방검사-내부검사’의 경우 ‘누수’, ‘운전성능검사-배가스 성분’의 경우 ‘O2 기준(4% 이하) 미달’, ‘사용중검사-운전성능’의 경우 ‘CO 기준(200ppm 이하) 미달’이다.

네 번째 조사대상은 강철제 증기보일러이며 해당 기기의 검사방식별 불합격 사유는 표 10과 같다.

강철제 증기보일러 검사대상기기의 경우 불합격률이 높은 세 가지 검사 방식별 불합격 사유는 ‘개방검사-내부검사’, ‘운전성능검사-배가스 성분’, ‘설치검사-안전장치’로 확인되었다.

세부적으로 위 항목별 검사원 대표 의견은 ‘개방검사-내부검사’의 경우 ‘누수’, ‘운전성능검사-배가스 성분’의 경우 ‘CO 기준(200ppm 이하) 미달’, ‘설치검사-안전장치’의 경우 ‘가스누설자동차단장치 미설치’이다.

다섯 번째 조사대상은 주철섹션 온수보일러이며 해당 기기의 검사방식별 불합격 사유는 표 11과 같다.

주철섹션 온수보일러 검사대상기기의 경우 불합격률이 높은 세 가지 검사 방식별 불합격 사유는 ‘개방검사-내부검사’, ‘개방검사-외부검사’, ‘사용중검사-운전성능’로 확인되었다.

세부적으로 위 항목별 검사원 대표 의견은 ‘개방검사-내부검사’의 경우 ‘누수’, ‘개방검사-외부검사’의 경우 ‘배관 누수’, ‘사용중검사-운전성능’의 경우 ‘CO 기준(200ppm 이하) 미달’이다.

마지막 여섯 번째 조사대상은 주철섹션증기보일러이며 해당 기기의 검사방식별 불합격 사유는 표 12와 같다.

Table 12. Analyzing the inspection failure reasons of Iron section steam boiler

Contents	O.I	R.I	I-U.I	II	L.C.I	O.P.I	W.I	S.I	Total
Etc			2						2
Internal Inspection	8								8
External Inspection	2								2
Preparation, Setting	1								1
Total	11	0	2	0	0	0	0	0	13

주철섹션증기보일러 검사대상기기의 경우 불합격률이 높은 세 가지 검사 방식별 불합격 사유는 ‘개방검사-내부검사’, ‘개방검사-외부검사’, ‘사용중검사-기타’로 확인되었다.

세부적으로 위 항목별 검사원 대표 의견은 ‘개방검사-내부검사’의 경우 ‘누수’, ‘개방검사-외부검사’의 경우 ‘부식’, ‘사용중검사-기타’의 경우 ‘배기가스 온도상한스위치 미작동’이다.

IV. 결론

본 연구는 열사용기자재 검사대상기기(산업용 보일러)의 검사결과, 불합격에 대한 의미 있는 결과 도출을 위하여 검사연도, 검사종류, 기기종류, 기기연식, 기기압력, 기기용량별 불합격률을 확인해본 결과, 검사연도, 기기연식, 기기압력, 기기용량별 불합격률

Table 13. The safety and performance vulnerabilities of heat-using equipment(industrial boiler)

	O.I - Internal Inspection	O.I - External Inspection	II - Place, Setting	II - Measuring Instrument, Valve	II - Safety Device	O.P.I - Exhaust gas Component	I-U.I - Operational performance	I-U.I - Etc
Gas small hot water boiler	leak		unfixed of boiler's floor	failure of safety device's set pressure standard				
Steel heating medium boiler	leak					failure of CO standard(below 200ppm)	failure of CO standard(below 200ppm)	
Steel hot water boiler	leak					failure of O2 standard(below 4%)	failure of CO standard(below 200ppm)	
Steel steam boiler	leak				not installed of gas leakage shut-off device	failure of CO standard(below 200ppm)		
Iron section hot water boiler	leak	pipe leak					failure of CO standard(below 200ppm)	
Iron section steam boiler	leak	corrosion						not working of exhaust gas temperature limit switch

* O.I : Open Inspection, II : Installation Inspection, O.P.I : Operational Performance Inspection, I-U.I : In-use Inspection

은 분산 수치는 0.1 미만으로 분석의 의미가 부족함을 보였고, 기기종류· 검사종류별 불합격률의 분산 수치는 0.141과 1.711로 분석의 의미가 있음이 확인되었다. 최종 분석대상으로 선정된 기기종류· 검사종류별 불합격 대상에 대한 불합격 사유를 정밀 분석하여 안전 및 성능 취약점을 도출하였으며, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

검사종류별 불합격률 분산수치가 1.711로 가장 높음을 고려하여, 기기종류를 우선적으로 나열한 후 각 기기에 대한 검사종류별 불합격 사유를 세부적으로 분석하였다. 총 6개의 검사대상기기의 검사종류별 불합격 사유 카테고리 중 발생 빈도가 높은 상위 3개별 선정하였으며, 해당 선정 대상의 세부적인 분석을 위하여 검사원별 의견을 추가 반영하여 주요 사유를 도출하였다. 6개 검사대상기기의 검사종류별 불합격 사유를 정리한 것이 본 논문의 핵심 결과이며, 해당 내용을 정리하면 표 13과 같다.

각 검사대상기별 불합격 사유 카테고리를 종합적으로 살펴보면 모든 검사대상기기에서 확인된 불합격 사유는 ‘개방검사-내부검사’ 카테고리이며, 세부 사유는 ‘누수’로 확인되었다. 두 번째로 많은 카테고리는 ‘운전성능-배가스성분’과 ‘사용중검사-운전성능’으로 세부 사유는 CO 기준(200 ppm 이하) 미달과 O₂ 기준(4% 이하) 미달로 확인되었다. 세 번째로 많은 카테고리는 ‘개방검사-외부 검사’로 배관누수 및 부식으로 확인되었다. 그 밖의 카테고리는 ‘설치검사-

장소, 세팅’과 ‘설치검사-계측기, 밸브’, ‘설치검사-안전장치’, ‘사용중검사-기타’로 세부 사유는 보일러 바닥 미고정, 안전밸브 설정압력 기준 미달, 가스누설자동차단장치 미설치, 배기가스 온도상한스위치 미작동으로 확인되었다.

이상의 연구결과로부터 산업용 보일러의 안전 및 성능 관련 주요 취약부를 보다 철저히 관리하여 불의의 사고를 예방할 수 있기를 기대한다.

다만 연구결과에서 확인된 주요 불합격 사유 외 불합격 사유 또한 세심한 주의가 요구되므로 모든 불합격 사유에 대한 전반적인 관리가 필요하다고 판단된다.

REFERENCES

- [1] ENERGY USE RATIONALIZATION ACT. <https://www.law.go.kr/LSW/lsc.do?dt=20201211&subMenuId=15&menuId=1&query=%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80%EC%9D%B4%EC%9A%A9%ED%95%A9%EB%A6%AC%ED%99%94%EB%B2%95#undefined>
- [2] Sa M. H., and Woo I. S., "A Study on the identification of Hazardous Factors and Prevention of Accident in old boilers", Journal of the Korean Institute for Gas, KIGAS, 23(4), 1-3, (2019)
- [3] Lee, K. O., "Measures for Preventing Pressure Fracture of Fire and Flue Tube Boiler", KOSOS, 19(4), 14-15, (2004)