KIGAS Vol. 23, No. 4, pp 1~9 2019 https://doi.org/10.7842/kigas.2019.23.4.1
(Journal of the Korean Institute of Gas)

노후보일러 유해인자 발굴 및 사고예방에 관한 연구

사민형 · †우인성
인천대학교 공과대학 안전공학과
(2019년 4월 25일 접수, 2019년 7월 8일 수정, 2019년 7월 17일 채택)

A Study on the Identification of Hazardous Factors and Prevention of Accident in Old Boilers

Min-Hyung Sa · †In-Sung Woo
Dept. of Safety Eng., Incheon National University, Incheon 22012, Korea
(Received April 25, 2019; Revised July 8, 2019; Accepted July 17, 2019)

요 약

큰 규모의 산업용 보일러는 고온, 고압을 이용하는 설비이며, 보유수량이 많아 폭발시 엄청난 에너지가 방출된다. 현재 산업용 보일러는 대부분이 LNG, LPG 등의 가스연료를 사용하고 있고, 연료가 설비와 같은 공간에 존재하기 때문에 보일러 사고 발생시 화재, 폭발 등 2차 피해 가능성이 높다. 뿐만 아니라 단위 사고당 2.51명의 사상자를 발생시키는 대단히 위험한 설비로 운영에 특별한 주의와 관리가 필요하다. 일정 규모 이상의 보일러는 에너지이용합리화법, KS, 산업통상자원부 고시 등에 따라 한국에너지공단에서 검사를 실시하고 있다. 본 연구에서는 검사 결과 불합격 사항을 바탕으로 위험인자를 구성하고, 검사원, 기기 관리자, 유지보수 담당자, 제조업체 담당자에게 설문을 실시하여 보일러 안전관리에 중요하게 판단하는 기준을 AHP(계층분석방법)을 통해 분석하였다. 분석결과 공통적으로 인식하고 있는 위험인자는 관리소홀, 계측기 고장, 규격미달, 누수, 누설로 분석되었고, 접속, 용접, 스케일, 부식 등은 상대적 중요성이 낮은 것으로 분석되었다. 모든 집단과 경력에서 중요성이 높다고 인식하고 있는 위험인자는 이미 관리가 잘 되고 있다고 판단되나, 중요성이 낮게 분석된 위험인자는 관리누수가 발생되지 않도록 하여 보일러를 안전하게 사용할 수 있도록 해야 한다.

Abstract - Large-scale industrial boilers operating at high temperature and high pressure, have a large amount of water, and a large amount of energy is released at the time of explosion. Currently, most industrial boilers use gas fuel such as LNG and LPG, etc. and fuel exists in the same space as equipment, so there is a high possibility of secondary damage such as fire or explosion in the event of a boiler accident. Both special care and management are required to operate the very dangerous equipment that causes casualty 2.51 per accident. For boilers of a certain size or more, the Korea Energy Agency conducts inspections in accordance with the Energy Usage Rationalization Act, KS, and public notice of the Ministry of Industry, Trade and Resources. In this research, based on the results of the inspection, the hazard factorss are configured, and a questionnaire is conducted to the inspector, the equipment manager, the maintenance person, and the person in charge of the manufacturer. We analyzed the results by using AHP (Analytic Hierarchy Process). As a result of analysis, generally recognized hazard factorss are not good management, measurement failure, specification failure, water leak, leak analysis, but connection, welding, scale, and corrosion, etc. are relatively less important. It is judged that the adverse factors that are recognized to be highly important among all groups and careers are already well managed, but less important and adverse factors should be well managed to ensure that the safe usage of the boiler.

Key words : Industrial Boilers, Analytic Hierachy Process, Inspection

†Corresponding author:insung@incheon.ac.kr
Copyright ⓒ 2019 by The Korean Institute of Gas

Ⅰ. 서 론

보일러는 가정용, 산업용, 발전용에 이르기까지 폭 넓게 사용되고 있는 에너지 사용 설비이다. 난방용 보일러의 경우 2000년에 40,073대에서 2017년 36,982대로 10%가량 그 수가 줄었지만 산업용 보일러의 경우 같은 기간동안 15,430대에서 17,107대로 10%이상 늘어났다[1]. 이용 편의성으로 인해 가스를 연료로 하는 보일러가 96% 이상이다[2].

고온과 고압을 이용하는 보일러의 특성 때문에 사고 발생시 큰 피해를 일으킬 수 있다. 이를 예방하기 위해 해외 선진국에서는 ASME Code, NBBI Code 등 기술 규격을 제정하여 사고발생을 최소화 하는 노력을 하고 있다. 우리나라에서는 1961년 원동기 단속법, 1975년 열관리법, 1980년 에너지이용합리화법 제정을 통하여 일정 용량 이상의 보일러의 경우 설계, 제조, 설치, 사용 단계에서 검사를 받고 사용하도록 규정하고 있다.

보일러가 파손되면 보일러 내의 압력 강하로 인하여 보일러가 보유하고 있는 물이 급격하게 증발하고 체적이 약 1700배로 순간팽창하기 때문에 이로 인한 방출에너지가 엄청나고 고온이므로 위험성이 가중된다. 뿐만 아니라 연료를 취급하고 있는 현장에서 사고가 발생하기 때문에 화재, 폭발 등 연료로 인한 2차 피해도 우려된다. 압력이 높은 상태에서 파손될 경우 보일러 동체, 부속설비, 파편 등이 고속으로 비산하여 이로 인한 피해도 발생된다.

우리나라에서 1978~2003년 사이에 산업용 보일러의 사고는 총 89건으로 223명의 사상자가 발생하였으며, 이 중 사망자의 수는 54명이다. 따라서 보일러 사고는 발생 건당 2.51명의 사상자와 0.61명의 사망자를 발생시키는 대단히 위험한 기기로 그 운영과 관리에 특별한 주의가 필요하다[3].

최근 사례를 살펴보면 2009년 서울 스포츠센터 지하에서 발생한 보일러 폭발 사고로 10명의 사상자가 발생했다.

본 연구에서는 산업용 보일러의 안전관리를 위하여 에너지이용합리화법에 따라 실시하는 검사결과 불합격된 사항을 바탕으로 위험인자 자료를 수집하였다. 이를 통해 각 위험인자의 중요성에 대한 인식 차이를 참여자별로 분석하여 보다 적극적인 사고 예방대책을 고찰하였다.

Ⅱ. 설문조사 방법 및 범위

2.1. AHP(계층분석방법)

계층화 분석방법은 의사결정의 목표나 평가기준이 다수인 복합적인 경우 상호 배반적인 대안들의 정성적 요소를 포함하는 다기준(multi-criteria) 의사결정에 사용된다. 장점으로는 복잡한 문제를 계층화하여 주요 요인과 세부 요인들로 분해하고, 이러한 요인들에 대한 쌍대비교를 통해 중요도를 도출하는데 있다. 적용 절차를 단계별로 살펴보면 1단계에서 상호 관련된 의사결정 사항들을 계층으로 분류하여 의사결정 계층을 설정한다. 2단계에서 의사결정 요소들 간의 쌍대비교로 판단자료를 수집한다. 3단계에서 고유값방법을 사용하여 의사결정 요소들의 상대적인 가중치를 추정한다. 4단계에서 평가 대상이 되는 대안들의 종합순위를 얻기 위해 상대적인 가중치를 종합화 한다. 계층분석방법의 기본 가증은 이원비교는 의사결정자가 2개 대상에 대한 이원비교가 반드시 가능해야하고 중요성(또는 선호도)의 정도는 반드시 역조건을 성립시켜야 한다. A가B보다x배 중요 = B가A보다1/x배 중요

- 동질성(Homogeniety): 중요도는 한정된 범위의 정해진 척도(Bounded Scale)를 통해 표현되어야 한다.
- 독립성(Independence): 평가 대상의 요인들은 특성이나 내용적인 측면에서 서로 관련성이 없어야 한다.
- 기대성(Expectation): 계층구조는 의사결정에 필요한 모든 사항을 완전하게 포함하는 것으로 가정한다.[4][5]

2.2. 국내 보일러 검사 현황

에너지이용합리화법 39조, 한국산업규격(KS Code), 산업통상자원부 고시에 따라 일정 규모 이상의 보일러는 제조 단계에서 도면 검사, 용접 검사, 수압 검사를 실시한다. 설치 단계에서는 설치검사를 실시하며, 설치 후에는 매년 혹은 2년 마다 계속사용검사를 실시하여 설비의 안전

성을 확보하고 있다. 국내에 설치되어 검사를 받고 있는 보일러는 2017년 기준 36,982대 이다.

2.3. 보일러 주요 검사절차 및 방법

(1) 제조검사

보일러 제작 단계에서 설계의 적정성, 사용 재질의 적정성, 용접 상태, 비파괴 검사, 수압 검사 등을 종합적으로 검토하여 설비 건전성을 판단한다.

(2) 설치검사

보일러를 현장에 설치할 때 실시하는 검사로 보일러 설치 상태, 현장 조건, 부속 설비 설치 상태, 안정장치 정상 작동, 배기가스 농도 등을 평가하여 검사한다.

(3) 계속사용검사

보일러를 설치 한 후에 매년 혹은 매2년 마다 실시하는 검사로 보일러를 개방하여 내부를 살펴보는 검사와 사용중에 안전장치와 배기가스 농도를 측정하는 검사로 나뉘어 실시한다.

(4) 개조검사

증기보일러를 온수보일러로 변경하는 경우, 보일러 섹션의 증감에 의한 용량의 변경, 동체, 노통 연소실, 관모음, 스테이의 변경 ,연료 또는 연소방법의 변경 등의 설비 개조를 실시할 경우 적합성을 평가한다.

Ⅲ. 연구 방법

산업용 보일러는 우리나라 산업 전반에 널리 사용되고 있는 기본적인 생산설비이다. 높은 압력과 온도를 사용하는 설비이기 때문에 에너지이용합리화법 39조에 따른 검사 및 기기관리자를 선임하여 안전하게 운영하여야 한다.

본 연구에서는 에너지이용합리화법에 따른 보일러 검사 불합격 사례를 바탕으로 위험인자들의 목록을 구성하고 보일러 검사원, 유지보수업체, 보일러 관리자, 보일러 제조업체 관계자를 대상으로 설문조사를 실시하였다.

위험인자의 분류 방법은 아래 그림과 같이 4단계의 절차를 거쳤으며, 1단계에서 열사용기자재 종류에 따라 분류하고 2단계에서 불합격 사례 분석을 통해 불합격 사유, 기기 정보, 관련 규정, 검사기준 주요내용 등을 분석하였다. 3단계에서 원인과 해결방안, 예방대책을 도출하였고, 이를 바탕으로 4단계에서 위험인자로 최종 분류하였다.

그 결과 아래 표와 같이 노후보일러의 위험인자를 Key Category, Sub Category로 분류하고 52개의 위험인자를 추출하였다. 보일러의 사고 원인은 큰 틀에서 설계 불량, 제작 불량, 관리 불량으로 구분할 수 있지만 본 연구에서는 그러한 관계를 엄밀히 구분하지 않고 보일러 검사원, 유지보수 업체, 보일러 관리자의 관점에서 노후보일러 사고 원인이 되는 요소들을 나열하고, 이에 대한 중요도 분석을 실시하였다. 각 이해관계자가 공통적으로 판단하고 있는 보일러 사고의 영향요인에 대해서는 관리를 강화하고, 다르게 평가하는 영향요인에 대해서는 관리의 누수를 방지하기 위한 자료로 활용할 수 있다.

도출된 위험인자들에 대해 공통적으로 발생되는 상태, 부위, 기준, 작동 등으로 우선 분류한

Fig 1. Classification of hazard factors of old-age boiler.

Table 1. Definition of old age boiler hazard factors category

Key Category	Sub Category	위험인자 개수
균열 , 파열	변형 , 팽출	3
	소손 , 파열 등	9
기준 부합 여부	규격미달	7
	미부착 /불필요 설치	2
기타 관리 불량	관리 소홀	2
	미부착 /불필요 설치	1
	접속 , 용접	5
막힘 , 부식 , 누수	누수 ,누설	9
	스케일 , 부식	9
작동 (고장) 여부	계측기 고장	5
합계		52

Table 2. Survey response result

구분	응답 구분	응답수	응답비중
대상	검사원	19	31.7%
	유지보수업체	11	18.3%
	제조업체	16	26.7%
	조종자	14	23.3%
경력	5년 이하	21	35.0%
	6년 ~ 10년	14	23.3%
	11년 ~ 15년	8	13.3%
	16년 ~ 20년	6	10.0%
	20년 초과	11	18.3%
총합계		60	100%

다음 세부적인 카테고리를 정의하였다. 정의된 카테고리에 대해 2차적으로 보일러 관련 학계 전문가, 산업계 전문가, 검사 전문가 들의 개별 자문을 통해 위험인자들에 대한 최종 카테고리를 구성하였다.

위험인자 리스트를 기반으로 한 설문을 개발하고, 설문을 실시한 결과 보일러 검사원 19명(32%), 보일러 제조업체 16명(27%), 보일러 관리자 14명(23%), 보일러 유지보수업체 11명(18%) 총 60명이 응답하였다. 응답자의 경력은 5년 이하가 21명으로 가장 많았고, 6~10년 이하가 14명, 20년 초과 11명, 11~15년 8명, 16~20년 6명이었으며, 경력 10년 이하의 인원이 50% 이상을 차지하고 있었다.

노후보일러의 검사 항목, 검사 부위, 검사 부위별 세부항목들을 정의하여 중요도를 산출하였다. 중요도 산출방방법은 응답자가 순차적으로 정의된 항목별 우선순위 비교 응답에 대해 각 항목별 행렬을 구성하여 쌍대비교로 변환하고, 쌍대비교로 변환된 행렬의 상삼각(Upper Triangle)에 응답한 횟수가 기입되고 하삼각(Lower Triangle)에 상삼각의 역수값이 기입된다.

그리고 각 열의 합계를 각각 구한 다음 각 셀의 값을 열의 합계로 나누어 상대적 기여도를 산출한다. 마지막으로 각 열의 값을 평균하여 각 행의 중요도(우선순위)를 산출한다.

Ⅳ. 연구 결과

4.1. 위험인자 중요도 산출 결과

검사 항목의 전체 중요도 산출은 상대적 우선순위로 각 열의 정규화 결과를 평균치로 산출하였다.

(1) 검사카테고리 중요도

중요도(우선순위)가 가장 높은 검사 카테고리는 “균열, 파열”로 산출되었고, 막힘, 누수, 부식 > 기준부합 여부 > 작동(고장)여부 순으로 분석되었다.

(2) 검사 항목의 중요도

중요도(우선순위)가 가장 높은 검사 항목은 “관리 소홀”로 분석되었고, 계측기 고장 > 규격미달 > 누수, 누설 순으로 분석되었다.

(3) 주요 검사부위의 중요도

중요도(우선순위)가 가장 높은 검사부위 항목은 “동체”로 분석되었고, 계측기 > 버너 > 안전밸브 > 배관 > 운전성능 순으로 분석되었다.

Table 3. Inspection category Importance analysis result

카테고리	전체
균열 , 파열	0.457
막힘 , 부식 , 누수	0.284
기준부합 여부	0.233
작동 (고장) 여부	0.068
기타 관리불량	0.007

Table 4. Results of importance analysis of inspection items

주요 검사 항목	전체
관리소홀	0.275
계측기 고장	0.220
규격 미달	0.157
누수 , 누설	0.157
변형 , 팽출	0.071
소손 , 파열 등	0.056
미부착 /불필요 장치	0.030
스케일 , 부식	0.030
접속 , 용접	0.005

Table 5. Analysis of importance of main inspection department

주요 검사부위	전체
동체	0.505
계측기	0.242
버너	0.166
안전밸브	0.075
배관	0.014
운전성능	0.003

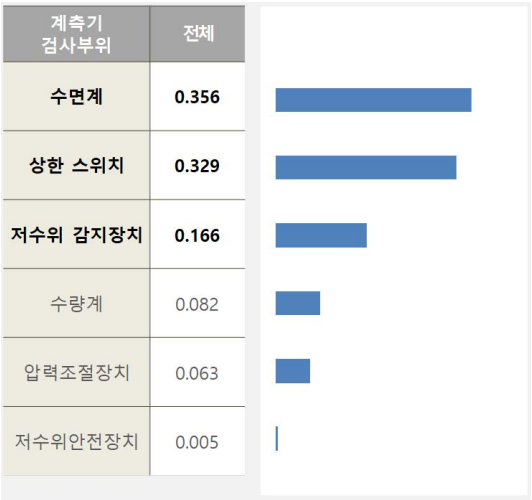
4.2. 위험인자 세부 검사부위의 중요도

(1) 동체 중요도 산출 결과

검사부위 “동체”의 중요도가 가장 높은 항목은 “관판”으로 산출되었고, 연락관 > 보일러 형식 > 가셋스테이 순으로 분석되었다.

Table 6. Result of inspection site importance degree analysis (body)

Table 7. Result of inspection site importance degree analysis (instrument)



(2) 계측기 중요도 산출 결과

검사부위 “계측기”의 중요도가 높은 항목은 “수면계”로 산출되었고, 배기가스 상한스위치 > 저수위 감지장치 순으로 분석되었다.

4.3. 경력별 위험인자 중요도

전체적으로 중요도가 높은 카테고리는 “균열, 파열”로 산출되었고, 경력 연수에 따라 주요 카테고리는 상이하게 분석되었다.

(2) 검사 항목의 중요도

경력 변수에 따른 큰 차이 없이 “관리 소홀”이 중요도가 가장 높은 검사항목으로 분석되었다.

(3) 주요 검사부위의 중요도

경력 연수와 무관하게 공통적으로 주요 검사부위로 “동체”가 가장 중요한 것으로 분석되었다. 계측기가 그 다음으로 중요한 것으로 분석되었으나 경력 6~10년, 20년 초과의 경우 버너가 2순위로 분석되었다.

4.4. 경력별 세부 검사부위의 중요도

경력에 따른 세부 검사부위는 차이가 있는 것으로 산출되었고, 동체의 경우 20년 이하에서는 상위 2~3개 부위에 대한 중요도 지수가 매우 크게 나타났다. 계측기의 중요도 또한 경력 11~20년에서는 “수량계”가 가장 낮게 산출된 반면 6~10년에서는 “수량계”가 가장 높은 중요도를 나타내어 상반된 결과가 나타났다.

(1) 동체 중요도 산출결과

전체적으로 “관판”에 대한 우선순위가 높은 것으로 산출되었고, 11~20년에서는 “보일러 형식” > “관판” 순으로 분석되었다.

Table 8. Results of importance analysis by career (inspection category)

카테고리	전체	5 년 이하	6 년 ~10 년	11~20 년	20 년 초과
응답자수	60	‘	14	14	11
균열 , 파열	**0.457**	**0.419**	**0.354**	0.428	**0.359**
막힘 , 부식 , 누수	0.284	0.363	0.146	**0.505**	0.165
기준부합 여부	0.233	0.185	0.74		0.028
작동 (고장) 여부	0.068	0.085	0.088	0.066	0.135
기타 관리불량	0.007	0.008		0.004	0.026

Table 9. Results of importance analysis by career (inspection items)

주요 검사 항목	전체	5 년 이하	6~10년	11~20년	20년 초과
응답자 수	60	21	14	14	11
관리소홀	**0.275**	**0.279**	0.157	**0.302**	**0.357**
계측기 고장	0.22	0.231	0.087	0.051	0.081
규격 미달	0.157	0.162	**0.164**	0.048	0.074
누수, 누설	0.157	0.141	0.122	0.101	0.045
변형, 팽출	0.071	0.078	0.045	0.028	0.025
소손, 파열 등	0.056	0.044	0.043	0.038	0.018
미부착 /불필요 장치	0.03	0.039		0.017	0.026
스케일, 부식	0.03	0.026	0.022	0.01	0.009
접속, 용접	0.005			0.01	0.01

Table 10. Results of importance analysis by career (inspection site)

주요 검사부위	전체	5 년 이하	6 년 ~10 년	11~20 년	20 년 초과
응답자 수	60	21	14	14	11
동체	**0.505**	**0.547**	**0.341**	**0.702**	**0.311**
계측기	0.242	0.217	0.102	0.354	0.221
버너	0.166	0.182	0.185	0.078	0.294
안전밸브	0.075	0.096	0.092	0.063	0.06
배관	0.014	0.035	0.03	0.052	
운전성능	0.003	0.005		0.028	0.021

Table 11. Results of importance analysis by career (body)

동체 검사부위	전체	5 년 이하	6 년 ~10 년	11~20 년	20 년 초과
응답자 수	60	21	14	14	11
관판	**0.262**	**0.243**	**0.136**	0.252	**0.160**
연락관	0.201	0.2	0.136	0.150	0.124
보일러 형식	0.165	0.229	0.116	**0.758**	0.117
가셋스테이	0.141	0.149	0.085	0.048	0.043
연소실	0.111	0.127	0.098	0.187	0.136
접속 플랜지	0.066	0.073	0.062	0.052	0.036
플랜지가스킷	0.032	0.038	0.029	0.032	0.040
하부	0.021	0.024	0.024	0.033	0.020
검사구	0.002	0.016	0.008	0.008	0.010

Table 12. Analysis of Importance by Career (Instrument)

계측기 검사부위	전체	5년 이하	6~10년	11~20년	20년 초과
응답자 수	60	21	14	14	11
수면계	**0.356**	**0.374**	0.403	**0.431**	0.317
상한 스위치	0.329	0.330	0.437	0.248	**0.327**
저수위 감지장치	0.166	0.205	0.144	0.153	0.087
수량계	0.082	0.354	**0.545**	0.024	
압력조절장치	0.063	0.072	0.053	0.092	0.041
저수위안전장치	0.005	0.003	0.074	0.072	0.005

(2) 계측기 중요도 산출 결과

경력변수에 따른 계측기의 중요도는 상이하게 나타났고, 대체로 “수량계”와 “배기가스 상한스위치”가 중요한 검사부위로 분석되었다.

4.5. 대상별 위험인자 중요도

대상 구분별 주요 위험인자에 대해 카테고리 중요도는 “균열, 파열”, 검사 항목으로는 “관리 소홀”의 순으로 분석되었다. 대상에 따라 차 순위의 위험인자 우선순위는 상이한 차이를 보였다.

Table 13. Results of importance analysis by respondents (inspection category)

카테고리	전체	검사원	유지보수 업체	제조업체	관리자
응답자수	60	19	11	16	14
균열, 파열	0.457	0.348	0.307	0.538	0.532
막힘, 부식, 누수	0.284	0.306	0.154	0.660	0.345
기준부합 여부	0.233	0.362	0.025		0.082
작동 (고장) 여부	0.068	0.066		0.151	0.207
기타 관리불량	0.007	0.009		0.005	0.057

Table 14. Results of importance analysis by respondents(Inspection items)

주요 검사 항목	전체	검사원	유지보수 업체	제조업체	관리자
응답자 수	60	19	11	16	14
관리소홀	**0.275**	**0.248**	**0.267**	**0.356**	**0.305**
계측기 고장	0.220	0.241	0.038	0.232	0.130
규격 미달	0.157	0.148	0.184	0.140	0.141
누수, 누설	0.157	0.149	0.139	0.256	0.137
변형, 팽출	0.071	0.092	0.041	0.118	0.071
소손, 파열 등	0.056	0.074	0.060	0.127	0.063
미부착 /불필요 장치	0.030	0.045	0.055	0.058	0.015
스케일, 부식	0.030	0.053	0.046	0.075	0.084
접속, 용접	0.005	0.022		0.007	0.015

Table 15. Results of importance analysis by respondents(Inspection site)

주요 검사부위	전체	검사원	유지보수업체	제조업체	관리자
응답자 수	60	19	11	16	14
동체	**0.505**	**0.603**	**0.467**	1.184	0.717
계측기	0.242	0.263	0.215		0.492
버너	0.166	0.156	0.403	**1.765**	**0.860**
안전밸브	0.075	0.126	0.089	0.074	0.144
배관	0.014	0.068			0.079
운전성능	0.003	0.009	0.009	0.001	0.027

Table 16. Results of importance analysis by respondents(body)

동체 검사부위	전체	검사원	유지보수업체	제조업체	조종자
응답자 수	60	19	11	16	14
관판	**0.262**	**0.286**	0.12	0.456	0.336
연락관	0.201	0.205	0.351	0.314	**0.402**
보일러 형식	0.165	0.202	**0.744**	0.266	0.164
가셋스테이	0.141	0.158	0.03	0.164	0.378
연소실	0.111	0.111	0.019	**0.688**	0.151
접속 플랜지	0.066	0.151			0.312
플랜지 가스킷	0.032	0.03		0.188	0.139
하부	0.021	0.039	0.075	0.155	0.068
검사구	0.002	0.027	0.025	0.019	0.025

(1) 검사 카테고리 중요도

주요 검사 카테고리의 중요한 요인으로는 “균열, 파열”이 산출되었고, 제조업체 관계자의 경우 “막힘, 부식, 누수”가 중요 요인으로 응답한 것으로 분석되었다.

(2) 검사 항목의 중요도

전체적인 중요 검사 항목으로는 “관리 소홀”이 산출되었고, 제조업체에서는 “계측기 고장”, “누수, 누설”의 산출 결과가 높게 나타났다.

Table 17. Results of importance analysis by respondents(instrument)

계측기 검사부위	전체	검사원	유지보수업체	제조업체	조종자
응답자 수	60	19	11	16	14
수면계	**0.356**	**0.403**	0.302	0.384	0.356
상한 스위치	0.329	0.336	0.468	**0.583**	**0.544**
저수위 감지장치	0.166	0.218	0.121	0.161	0.149
수량계	0.082	0.352	**0.679**		0.142
압력 조절장치	0.063	0.103	0.066	0.09	0.167
저수위 안전장치	0.005	0.008	0.009	0.006	0.038

(3) 주요 검사부위의 중요도

대상 구분별 검사부위에 대해서는 “동체”가 가장 중요도 높은 인자로 산출되었다. 마찬가지로 대상에 따라 차 순위 위험인자 우선순위는 상이한 것으로 분석되었다.

4.6. 대상별 세부 검사부위의 중요도

(1) 동체 중요도 산출결과

동체의 대상 구분별 검사부위의 우선순위는 차이는 있으나 가장 높은 주요 위험인자는 “관판”으로 분석되었다.

(2) 계측기 중요도 산출결과

계측기에 대한 대상 구분별로 우선순위 차이는 있으나 “배기가스 상한스위치”, “수면계”가 중요한 요인으로 분석되었다.

V. 결 론

본 연구에서는 노후보일러 관련 업무 종사자인 검사원, 기기 관리자, 유지보수 업체 담당자, 제조업체를 대상으로 설문조사를 실시하고 이를 경력 연수별, 관련 업무 종사자 별로 분석하여 상대적인 위험성이 큰 노후 설비의 중점 관리 요소와 누수되는 관리 요소를 종합적으로 분석하였다.

검사 카테고리에서 중요도가 크다고 설문된

순서는 균열 및 파열, 막힘/부식/누수, 기준 부합 여부의 순서이며, 검사항목에서는 관리소홀, 계측기 고장, 규격미달, 누수/누설의 순으로 중요도가 평가되었다. 주요 검사부위에서는 동체, 계측기, 버너의 순으로 중요도가 평가되었다.

동체부분의 중요도를 산출한 결과 동체에서 중요도가 가장 높은 항목은 관판이고, 연락관, 보일러 형식, 가셋스테이 순으로 산출되었다. 계측기 부분에서는 중요도가 가장 높은 항목은 수면계로 산출되었고, 배기가스 상한스위치, 저수위 감지장치 순으로 산출되었다.

응답 대상별로 판단하고 있는 위험인자를 살펴보면 검사원의 경우 전체적인 위험인자 중요도와 동일하게 분석되었다. 검사원의 경우 에너지이용합리화법에 따른 검사기준에 따라 검사를 수행하고 있고, 여러 현장에서 경험을 통해 보일러의 관리 요소에 대해 종합적인 시각을 갖고 있다고 판단된다. 이와 반대로 제조업체 종사자는 검사원, 유지보수업체, 기기관리자와 가장 다른 시각을 가지고 있었다. 제조업체 종사자의 경우 보일러 제조공장에서 주로 근무하고 있어 설치 현장과 경험을 공유하는 시간이 적어서 시각차가 있는 것으로 판단된다. 유지보수 업체의 경우 검사원과 유사한 응답결과를 보였고, 기기 조종자는 제조업체와 유사한 인식을 가지고 있었다.

경력연수별로 위험인자의 중요성을 인식하는 정도를 분석해본 결과 5년이하 그룹과 6년~10년 이하 그룹의 인식이 유사했고, 11년~20년, 20년 초과 그룹은 각기 다른 인식을 가지고 있었다.

공통적으로 판단하고 있는 위험인자는 균열 및 파열, 관리소홀, 동체, 계측기였다. 설문 대상 그룹에서 공통적으로 응답한 위험인자는 비교적 관리가 잘 되고 있다고 판단된다. 그러나 응답률이 낮은 위험인자도 사고로 이어질 수 있는 요소이다. 따라서 중요도가 낮다고 인식하고 있는 항목들에 대해서도 관리필요성이 있다고 판단된다.

REFERENCES

[1] *Energy Statistics Handbook*, Korea Energy Agency, (2018)

[2] *Energy Consumption by Energy Source by Boiler*, KOSIS, (2019)

[3] Lee, K. O., “Measures for Preventing Pressure Fracture of Fire and Flue Tube Boiler”, *KOSOS*, 19(4), pp.14-15, (2004)

[4] L.G. Vargas, “An Overview of the Analytic Hierachy Process and Its Applications”, *European Journal of Operational Research*, 48, 3, (1990)

[5] 이성근, 윤민석, “AHP 기법을 이용한 마케팅의사결정”, 석정, 16-19, (1994)

[6] “Examples of safety accidents in boilers and pressure vessels”, *KEMCO*, 3-7, (2001)

[7] ENERGY USE RATIONALIZATION ACT.