



소형 가스엔진 열병합발전 시스템의 안전관리 방안에 관한 연구

김소현 · 김민우 · 이은경 · †이정운

한국가스안전공사 가스안전연구원

(2018년 10월 20일 접수, 2018년 12월 10일 수정, 2018년 12월 11일 채택)

A Study on the Safety Management Methods of Micro-Gas Engine Combined Heat and Power System

So-Hyun Kim · Min-Woo Kim · Eun-Kyung Lee · †Jung-Woon Lee

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

(Received October 20, 2018; Revised December 10, 2018; Accepted December 11, 2018)

요 약

지속적인 산업 발전에 따른 에너지 수급의 불안정 및 환경오염 문제가 대두됨에 따라 이에 대한 해결 방안의 일환으로 열병합발전 시스템의 보급이 활발해지고 있다. 국내의 경우 가스엔진을 이용한 열병합발전기의 안전성능에 대한 검사기준이 미비하므로 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 20kW급 가스엔진 열병합발전 시스템에 적용 가능한 안전성능 관련 표준화 연구 수행을 위해 열병합발전 시스템의 국내·외 기준에 대한 안전성능 및 구조/재료 평가기준을 분석하였다. 또한, 위험요소 분석 및 HAZOP (Hazard and Operability Studies)을 이용한 위험성평가를 수행하여 가스엔진 열병합발전 시스템의 안전성능 평가(안)을 도출하였으며, 평가항목으로는 안전성능 관련 엔진 시동, 배관 기밀 성능, 살수 및 온도 상승 성능, 연소 성능, 전기 효율, 열효율, 종합 효율, 습도 성능 등이 포함된다. 가스엔진 열병합발전 시스템의 구조 및 재료와 관련하여 가스 및 수배관, 가스 조절 및 차단밸브, 금속 또는 비금속 재료의 내구성, 내열성, 내한성 등에 대한 평가항목을 도출하였다.

Abstract - The distribution of the combined heat and power system is active as a solution to the instability of energy supply and environmental pollution caused by continuous industrial development. In Korea, the safety standards for combined heat and power system using a gas engine are insufficient therefore the study on this is needed. In this study, the safety performance and structural/material assessment items of domestic and international standards applied to the combined heat and power system were analyzed to carry out a standardization study on safety performance applicable to 20 kW gas engine combined heat and power system. In addition, the safety performance assessment (plan) of the gas engine combined heat and power system was derived by performing risk analysis and risk assessment using HAZOP. Assessment items include engine ignition systems related to safety performance, piping tight performance, watering and temperature rise performance, combustion performance, electrical efficiency, thermal efficiency, overall efficiency and humidity performance. Gas and water pipes, gas control and shut-off valves, durability, heat resistance, and cold resistance of metal or non-metallic materials related to the structure and materials of the gas engine combined heat and power systems.

Key words : gas engine, combined heat and power system, risk assessment, HAZOP, safety standard

†Corresponding author:wooni@kgs.or.kr

Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

한국전력공사의 2017년 전력통계에 따르면 우리나라의 에너지원별 발전은 화력 41.9%, 원자력 26.8%, LNG 18.0%, 집단에너지 6.7%, 신재생에너지 4.2%로 화력발전과 원자력발전이 높은 비중을 차지하고 있다[1,2]. 또한, 국내의 중앙 집중 발전에 대한 높은 의존도로 인해 전력의 주요 생산지역과 소비지역의 불균형에 따른 지역 간 전력 자급률의 격차가 크다[3]. 국내 전력 생산의 가장 큰 비중을 차지하는 화력발전은 대규모 화석연료 사용에 따른 환경오염을 초래하며, 이로 인해 전 세계적으로 고효율의 친환경적인 에너지 공급의 필요성이 대두됨에 따라 분산 전원형 발전 방식인 열병합발전(CHP, Combined Heat and Power System)의 도입이 확대되고 있다[3-5].

제8차 전력수급기본계획(안)에 따르면 국내의 열병합발전 등 분산형 전원 발전량이 2017년 11.2%를 기점으로 2031년 18.7%로 확대 보급될 전망이다[6]. 열병합발전 시스템은 기존의 화력발전소에서 전력 생산 후 폐기되었던 배열을 회수하여 열에너지로 이용하며, 열과 전력을 에너지원으로 사용하므로 에너지 종합 효율이 약 75~90%에 이른다[7-9].

Fig. 1은 열병합발전 시스템의 구성을 나타낸 것으로 열병합발전 시스템은 발전을 통해 열과 전력을 이원화하여 생산한다. 이때 생산된 전력은 가정 및 건물의 전기 시스템에 공급되며, 발전 시 발생하는 배가스로부터 온수 또는 증기를 회수하여 하절

기의 경우 흡수식 냉동기를 통해 냉방 시스템에 적용하고 동절기의 경우 냉온수기 및 급탕탱크를 통해 난방과 급탕에 사용 가능하다.

일반적으로 열병합발전 시스템에 적용되는 원동기로는 가스엔진, 가스터빈, 연료전지 등이 있으며, 발전 규모와 배열회수의 형태에 따라 분류 된다. 가스터빈의 경우 MW급 이상으로 주로 산업용과 건물용에 적용되며, 미국의 Capstone社에서는 30~800 kW 등 소형 가스터빈을 적용한 열병합발전기 제품도 개발하고 있다. kW급 소형 분산 발전의 경우 주로 가스엔진이 적용되며, 가스엔진열병합발전 시스템은 비교적 열효율이 높다. 또한, LNG 등의 가스 연료를 사용하므로 엔진의 수명이 길고 내구성이 뛰어나 유지 보수가 용이한 장점이 있다[8-10].

열병합발전 시스템은 1988년부터 본격적으로 국내에 보급되기 시작하였으며[8], 보급 초기에는 주로 1,000 kW급 이상의 대용량 발전 설비가 보급되었으나 최근에는 500 kW 미만의 중·소형 발전 설비의 보급이 증가하는 추세이다[5]. 또한, 국내에 보급된 열병합발전 시스템 설비는 전량 유럽, 일본, 미국 등 해외에서 수입되어 왔으며[8], 최근에는 국내 기술 개발의 발전으로 인해 국내 개발 제품의 보급이 확대되고 있다[11].

전 세계적으로 열병합발전 시스템 보급이 확산됨에 따라 시스템의 성능 및 안전성과 관련된 평가를 수행할 수 있는 시험표준이 요구된다. 열병합발전시스템 관련 해외 표준으로는 일본의 소형 가스엔진 열병합발전 시스템 검사규정인 JIA F 025-06

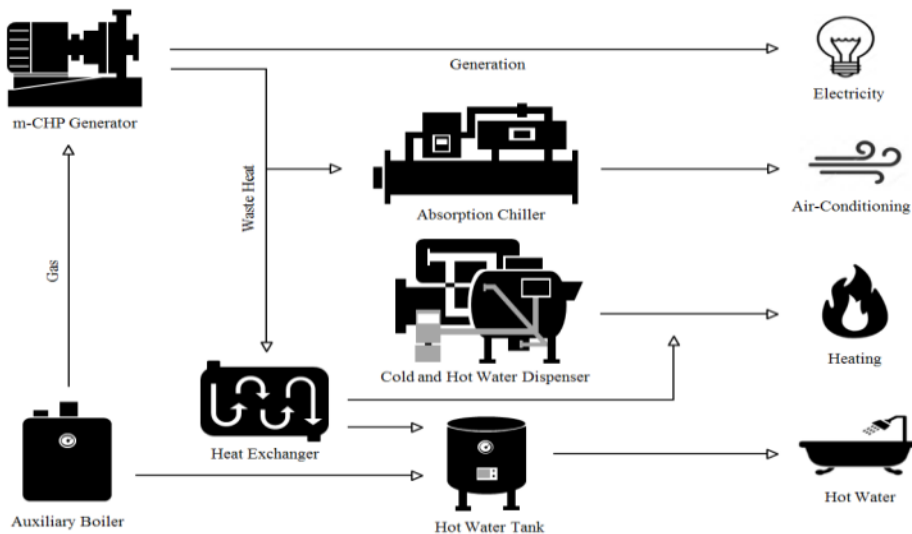


Fig. 1. The diagram of micro-combined heat and power system.

(小型ガスエンジンコージェネ検査規程)을 비롯하여 열병합발전 유닛의 성능 시험방법과 관련된 JIS B 8122 등이 있으며, 유럽의 경우 70 kW급 미만의 소형 열병합발전 설비의 시험표준인 EN 50465 (European Product Standard for Combined Heating Power Systems using Gas Fuel)와 열병합발전 시스템 성능과 관련된 EN 15316-4-4 (Energy Performance of Buildings - Method for Calculation of System Energy Requirements and System Efficiencies - Heat Generation Systems, Building - Integrated Cogeneration Systems)등을 활용하여 열병합발전 시스템의 성능과 안전성에 대해 평가하고 있다. 국내의 경우 가스엔진 열병합발전에 대한 효율평가 및 설치방법 관련 기준만 운용되고 있어 안전성능에 대한 시험 표준이 부재한 상황이며, 가

스엔진 열병합발전의 안전성 향상을 위한 표준화 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 20 kW급 가스엔진 열병합발전 시스템의 위험요소 분석 및 위험성평가를 수행하였으며, 가스엔진 열병합발전 시스템의 안전성능 평가(안)을 도출하였다.

II. 소형 가스엔진 열병합발전기 평가기준 및 위험요소 분석

Table 1은 국내·외 열병합발전 시스템 관련 기준을 나타낸 것으로 유럽의 경우 EN (European Norm)에서 발행된 가스를 주연료로 사용하는 열병합발전 시스템의 구조 및 공정 요구사항 등에 대한 기준인 EN 50465 (European Product Standard for Combined

Table 1. Domestic and international standards for combined heat and power systems

Country	Code No.	Issuing Entity	Code Name	Year
Europe	EN 50465	European Norm	European Product Standard for Combined Heating Power Systems using Gas Fuel	2015
	EN 13203-4		Gas-Fired Domestic Appliances Producing Hot Water	2016
	EN 15316-4-4		Energy Performance of Buildings-Method for Calculation of System Energy Requirements and System Efficiencies	2017
International	IEC 62282-3-100	International Electrotechnical Commission	Fuel Cell Technologies- Part 3-100: Stationary Fuel Cell Power Systems - Safety	2014
	IEC 62282-3-400		Fuel Cell Technologies-Part 3-400: Stationary Fuel Cell Power Systems - Small Stationary Fuel Cell Power System with Combined Heat and Power Output	2016
Japan	JIA F 025-06	Japan Gas Appliances Inspection Association	Regulation for Small Gas Engine Combined and Heat Power System Inspection	2009
	JIS B 8122	Japanese Industrial Standards Committee	Test Methods for Measuring Performance of Cogeneration Unit	2009
	JIS B 8124		Requirements of the Components of the Gas Engine Driven Cogeneration Package	2018
Korea	KS B 8911	Korean Agency of Technology and Standards	Reciprocating Internal Combustion Gas Engines for Domestic Cogeneration - Power and Gas Consumptions Test Methods	2016
	KS B 8912		Domestic Combined Heat and Power Generator using Internal Gas Combustion Engines - Performance Test Methods	2016
	KS B 8913		Combined Heat and Power Unit using Internal Gas Combustion Engines for Building - Performance Test Methods	2017
	SPS KEAA 17	Korea Energy Appliances Industry Association	Domestic Combined Heat and Power Generation System using Internal Gas Engines - Installation Requirements	2016
	KGS AB934	Korea Gas Safety Corporation	Facility/Technical/Inspection Code for Manufacture of Gas Fuel Cells	2016

Heating Power Systems using Gas Fuel)와 온수 및 전기를 생산하는 열병합발전 제품의 에너지소비량 평가와 관련된 EN 13206-4 (Gas-Fired Domestic Appliances Producing Hot Water), 열병합발전 시스템의 에너지성과 관련된 기준인 EN 15316-4-4 (Energy Performance of Buildings - Method for Calculation of System Energy Requirements and System Efficiencies)를 운용하고 있다. IEC (International Electrotechnical Commission)에서 발행된 국제 기준으로는 IEC 62282-3-100 (Fuel Cell Technologies- Part 3-100: Stationary Fuel Cell Power Systems - Safety), IEC 62282-3-400 (Fuel Cell Technologies -Part 3-400: Stationary Fuel Cell Power Systems - Small Stationary Fuel Cell Power System with Combined Heat and Power Output)이 있다. 일본의 경우 소형 가스엔진 열병합발전 시스템의 구조, 재료, 성능 등과 관련하여 JIA (Japan Gas Appliances Inspection Association) 기관의 JIA F 025-06 (Regulation for Small Gas Engine Combined and Heat Power System Inspection), 열병합발전 유닛의 성능 시험 방법 및 시스템 구성 요소와 관련하여 JIS (Japanese Industrial Standards Committee) 기관에서 발행한 JIS B 8122 (Test Methods for Measuring Performance of Cogeneration Unit)와 JIS B 8124 (Requirements of the Components of the Gas Engine Driven Cogeneration Package)가 있다.

국내에는 국가기술기준원의 KS B 8911 (가정용 열병합발전기의 왕복형 내연가스엔진의 출력 및 가스 소비율 시험 방법), KS B 8912 (내연 가스엔진을 이용한 가정용 열병합발전기의 성능 시험방법), KS B 8913 (건물용 내연 가스엔진 열병합발전 유닛의 성능 시험방법)과 한국에너지기술평가원에서 발행한 SPS KEAA 17 (가정용 가스 내연기관 열병합발전 시스템의 설치 요구사항)이 있으며, 한국가스안전공사의 KGS AB 934 (가스용 연료전지 제조의 시설·기술·검사 기준)이 있다.

국외 기준의 경우 열병합발전 시스템의 구조와 재료 및 성능 등 전반적인 내용을 포함하고 있으나 국내 기준의 경우 설치 방법, 가스소비량 시험방법 등 효율 평가에 대해 국한되어 있어 전체적인 시스템의 안전성능 표준에 대한 연구 개발이 필요하다.

2.1 국내·외 안전성능 평가기준 분석

Table 1의 국내·외 기준을 토대로 가스엔진 열병합발전기의 안전성능과 관련하여 이상 운전조건에서 발생 가능한 사고 예방을 위한 안전장치 및

Table 2. Gas engine combined heat and power system safety performance assessment items

Part	Safety Performance Assessment Items
Safety Performance	<ul style="list-style-type: none"> - Engine Ignition - Gas Pipe Gas Tight - Combustion Performance - Temperature Increase Performance - Watering Performance - Electrical Efficiency - Thermal Efficiency - Overall Efficiency - Humidity Performance - Temperature and Humidity Cycle Test Performance, etc.
Safety Devices	<ul style="list-style-type: none"> - Revolutions per minute (rpm) of Engine - Engine Oil Pressure and Temperature - Temperature of Lubricating Oil and Cooling Water, Heat Exchanged Water - Lubricating Oil Pressure - Power System (Over Voltage, Over Current, Under Voltage, Reverse Power), etc.

안전성능에 대한 평가기준 분석을 수행하였으며, 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 평가항목은 안전성능과 열병합발전 시스템 구동에 필요한 보호장치로 분류하였다.

안전성능에 대한 평가항목으로는 엔진 시동, 가스배관 기밀 성능, 연소 성능, 온도 상승 성능, 살수 성능, 전기 효율, 열효율, 종합 효율, 습도 성능, 온습도 사이클 시험 성능 등이 있으며, 안전 보호장치 관련 평가항목으로는 엔진의 회전속도, 엔진 오일의 압력 및 온도, 냉각수와 윤활유 및 열 교환된 온수의 온도, 윤활유 압력을 비롯하여 과전류, 과전압, 부족전압 및 역전압 등에 대한 전력 시스템 안전장치가 있다.

2.1.1 엔진 시동 성능

엔진 시동에 대한 안전성능은 어떠한 조건에서도 안전하고 확실하게 시동이 수행되는지 확인하기 위한 것으로 일반적으로 실사용 조건에서 시동조작을 수회 실시하여 운전이나 정지 시 백파이어가 발생하지 않아야 한다. 특히, 실외 설치상황을 고려하여 극한의 환경(-20℃) 조건에서 안정적인 시동 성능이 요구된다[17,19].

2.1.2 가스배관 기밀 성능

가스배관의 기밀 성능은 가스 누출과 밀접한 연관이 있는 평가항목으로 발전기 운전 정지 상태에서 가스차단밸브를 통해 누출된 가스량을 확인한다. 이때 발생된 가스 누출로 인해 발전기 내·외부 시스템의 고장 등의 문제가 발생되지 않아야 하며, 가스 접속부에서 열병합발전기의 엔진까지 외부로 누출되는 가스가 없어야 한다[15-17,19]. 이와 관련하여 건물용 연료전지의 경우 KGS AB934에서는 70 mL/h 이하로 규정하고 있으며[24], 소량 누출의 경우 가스엔진 열병합발전에 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

2.1.3 연소상태 성능

연소상태 성능에 대한 시험은 가스엔진 열병합발전기를 동일 조건에서 운전하여 채취한 연소가스의 평균 CO 농도를 측정 및 계산하여 평가한다. Table 3은 국내·외 연소상태 성능 평가방법을 나타낸 것이다[12, 17, 24]. 유럽의 EN 50465는 CO의 제한 농도를 지속적인 감독과 시동 감독으로 구분하여 평가한다.

지속적인 감독의 경우 CO를 연속적으로 측정하여 CO 농도가 0.2%를 초과하기 전에 열병합발전 시스템을 중단해야 하며, 시동 감독의 경우 CO 농도를 연속적으로 측정하여 CO 농도가 0.1%를 초과할 경우 운전되지 않아야 한다. 일본의 JIA F 025-06은 최대부하조건(발전출력 100%)과 최소부하조건(제조업체의 지정 값)에서 CO 농도가 0.28%

이하의 범위에 포함되어야 한다고 명시하고 있다. 국내의 KGS AB 934에서는 연소상태 성능을 불 옴김, 연소상태, 소화, CO 농도 및 역화에 대한 항목으로 분류하여 평가한다. 그 중 가스용 연료전지 가동 후 정격출력상태로 운전을 수행하여 배출되는 연소가스에 포함된 CO 농도의 평균값이 0.10% 이하 범위에 속해야 한다.

2.1.4 온도 상승 성능

온도 상승 성능의 경우 일반적인 운전과 이상 운전조건에서 화재, 화재 등의 사고 위험으로부터 작업자를 보호하기 위해 가스엔진 열병합발전기 부품의 온도가 최대값을 초과하지 않도록 규정한 것이다[15-17]. 제한 온도에 대한 평가 대상으로는 가스 차단밸브 본체에서 가스가 통하는 외표면, 운전 중 운전자가 조작할 수 있는 손잡이, 플라스틱 및 고무등으로 구성된 부품들이 포함되며, KGS AB934에서는 배기온도에 대한 제한 온도를 규정하고 있다 [24].

2.1.5 살수 성능

가스엔진 열병합발전 시스템의 일반적인 운전조건에서 고의로 살수를 하였을 때 가스엔진의 정지 및 시동 불량 등의 문제가 발생하지 않는 것을 확인한다. 살수 성능에 대한 평가 방법은 살수 종료 후 시동조작을 3회 실시하여 이상 없이 시동할 수 있어야 하며, 시스템 운전 중 또는 정지 시에 살수로 인한 역화가 발생하지 않아야 한다[17].

2.1.6 전기 효율

열병합발전 시스템의 전기 효율(η_e , %)은 식 (1)에 의해 산출되며, 열병합발전기의 전기 출력(P_e , kW)은 식 (2)와 같이 발전단의 전기 출력(P_{out} , kW)에서 운전제에 사용된 전력(P_{aux} , kW)을 뺀 값으로 송전단의 전기 출력을 3회 측정하여 그 평균값으로 계산한다. 전기 효율은 제조업체의 지정 값 이상이어야 한다[21,22].

$$\eta_e = 3.6 \times \frac{P_e}{(H_f \times F_f)} \times 100 \tag{1}$$

$$P_e = P_{out} - P_{aux} \tag{2}$$

- H_f : 연료의 총 발열량(MJ/kg 또는 MJ/m³)
- F_f : 가스 소비량(kg/h 또는 m³/h)
- η_e : 열병합발전기의 전기 효율(%)

Table 3. Method of combustion state performance assessment

Country	Combustion State Performance Assessment
Europe	<ul style="list-style-type: none"> - Continuous Supervision · Shutdown before the CO conc. exceed 0.2% - Start-up Supervision · No Start if the CO conc. exceeds 0.1%
Japan	<ul style="list-style-type: none"> - Test Condition : Maximum (Power Output 100%) and Minimum - CO conc. of 0.28% or less in theoretical dry combustion gases
Korea	<ul style="list-style-type: none"> - Fire Transfer - Combustion State - Digestion - CO% (Less than 0.10%) - Back Fire

2.1.7 열효율

열병합발전 시스템의 열효율(η_{th} , %)은 식 (3)에 의해 산출되며, 열병합발전기의 열 출력(Q_H , kW)은 식 (4)와 같이 계산된다. 열병합발전기의 열효율은 제조업체의 지정 값 이상이어야 한다[21,22].

$$\eta_{th} = 3.6 \times \frac{Q_H}{(H_f \times F_f)} \times 100 \quad (3)$$

H_f : 연료의 총 발열량(MJ/kg 또는 MJ/m³)

F_f : 가스 소비량(kg/h 또는 m³/h)

η_{th} : 열병합발전기의 열효율(%)

$$Q_H = \dot{m} \times C_v \times \Delta T \quad (4)$$

\dot{m} : 물의 유량(kg/h)

C_v : 물의 비열(1.16279×10^3 kWh/kg°C)

ΔT : 온수 공급온도(T_{out})와 환수온도(T_{in})의 차(°C)

2.1.8 종합 효율

열병합발전 시스템의 종합 효율(η_{total} , %)은 2.1.6 전기 효율(η_e , %)과 2.1.7 열효율(η_{th} , %)의 합으로 식 (5)와 같이 산출하며[21,22], KS B 8913에서는 열병합발전기 종합 효율의 경우 총 발열량 기준 70% 이상의 값을 만족하도록 규정하고 있다[22].

$$\eta_{total} = \eta_e + \eta_{th} \quad (5)$$

2.1.9 습도 성능

습도 성능은 환경 안정성에 대한 평가항목으로 실내 설치용 열병합발전기에 적용 가능하다. 습도 성능 평가방법은 열병합발전기를 주위 온도 40°C, 상대 습도 90~95%의 환경에서 48시간 방치 후 절연 저항 시험을 수행하여 기기의 충전부와 외면 사이의 절연 저항이 1 MΩ 이상을 만족하고 절연 파괴가 없어야 한다[21,22,24].

2.1.10 온습도 사이클 성능

온습도 사이클 성능의 경우 2.1.9 습도 성능과 마찬가지로 환경 안정성 관련 평가항목으로 실외 설치용 열병합발전기에 적용되는 성능 평가이다. 온습도 사이클 성능에 대한 평가방법은 저온 서브 사이클을 포함한 24시간 사이클을 5회 실시한 후 2.1.9에 명시된 습도 성능 시험 방법에 따라 검사를 수행하여 절연 저항 1 MΩ 이상을 만족하고 절연 파괴가 발생하지 않아야 한다[21,22,24].

2.1.11 엔진부 안전장치 성능

일반적으로 안전 보호장치와 관련하여 엔진의 회전속도, 엔진 오일의 압력 및 온도, 냉각수, 윤활유, 열 교환된 온수의 온도에 대한 평가항목이 있다. 엔진 회전속도의 경우 제조업체가 지정하는 속도를 초과 시 엔진을 정지하고 가스통로를 자동적으로 차단해야 하며, 오버스피드 발생 시 기계적인 파손이 없어야 한다. 엔진 오일의 압력이 제조업체의 지정 압력 이하로 저하하거나 엔진 오일의 온도가 제조업체가 지정하는 온도를 초과할 경우 엔진을 정지하고 가스통로를 차단하는 기능을 갖추어야 한다. 엔진 냉각액이 제조업체의 지정 온도를 초과하고, 열 교환된 온수가 100°C를 초과하기 전에 엔진 정지 및 가스통로 자동 차단 등의 안전조치가 이루어져야 한다[12,17].

또한, KS B 8912에서는 비상 정지에 대한 안전장치 평가를 수행하도록 규정하고 있으며, 평가방법으로는 열병합발전기의 전원을 입력하지 않은 상태에서 가스통로를 차단하고 재 통전 되었을 때 가스통로가 자동적으로 개폐되어야 한다[22].

2.1.12 전력 계통 안전장치 성능

전력 계통 시스템의 경우에는 과전류, 과전압, 부족전압 및 역전압 등으로 인해 전기부 회로가 단락 또는 단선 되었을 때 가스엔진 열병합발전기의 안전에는 이상이 없도록 조치를 취해야 한다. 전력 시스템의 안전성 평가방법은 전자제어회로의 소자를 고의로 단락 및 단선시켜 가스 누출 등의 문제 발생 여부를 확인하는 것이다.

Table 4는 2.1에 나타난 안전성능 관련 평가항목을 국내·외 기준에 따라 구분하여 나타난 것이다.

2.2 내연기관 발전시스템 구조 및 재료 관련 위험요소 분석

내연기관 발전시스템 위험요소 분석은 위험성평가를 수행하기 위한 연구로 가스엔진의 구조 및 재료와 관련하여 위험 요소 분석 범위를 연료 공급장치, 윤활장치, 냉각장치, 흡·배기 장치, 전기장치, 제어장치로 분류하였으며, 위험요소 분석 결과를 Table 5에 나타내었다.

2.2.1 연료 공급 장치

연료 공급 장치에서 발생 가능한 위험요소는 배관 노화에 따른 부식, 연료공급 배관 체결 불량에 따른 접속부 이격 발생 등이 있으며, 이에 따라 연료 가스가 누출되는 사고가 발생할 우려가 있다. 또한, 이상 운전 에 따른 고압·고온의 연료 주입에 따른

Table 4. Classification of safety performance assessment items

Assessment Items	EN 50465	IEC 62282 Part 3	JIA F 025-06	JIS B 8124	KS B 8912	KS B 8913	KGS AB 934
Engine Ignition	-	-	○	○	○	○	-
Gas Pipe Gas Tight	○	○	○	○	-	-	○
Combustion Performance	○	○	○	○	-	○	○
Temperature Increase Performance	-	○	○	-	-	-	○
Watering Performance	-	-	○	-	-	-	-
Electrical Efficiency	○	○	-	-	○	○	○
Thermal Efficiency	○	○	-	-	○	○	○
Overall Efficiency	○	○	-	-	○	○	○
Humidity Performance	-	-	-	-	○	○	○
Temperature Humidity Cycle Test Performance	-	-	-	-	○	○	○
Safety Device of Engine Part	○	-	○	Only Hot Water	○	○	-
Safety Device of Electrical System	-	○	-	○	-	-	-

가스엔진 열병합발전기 시스템이 과열 될 수 있다. 연료가 공급되는 배관의 길이가 짧을 경우에는 연료가스가 역류해 밸브가 손상될 가능성이 존재한다. 가스 연료가 누출되었을 경우에는 단락된 배선에서 발생된 스파크와 접촉하여 폭발이 발생할 우려가 있어 이에 대한 안전관리가 요구된다.

2.2.2 윤활장치

윤활장치는 가스엔진의 마찰을 감소시키며 외부로부터의 이물질 등을 제거한다. 윤활유가 공급되는 호스는 경화 및 열화로 인해 균열이 발생할 수 있으며, 이에 따라 윤활유 누출 사고가 발생할 우려가 있다. 또한, 윤활유의 품질 저하와 점성 변화에 따른 열화, 외부 환경 변화에 따른 윤활유 온도 상승에 의해 가스엔진이 손상될 가능성이 있으며, 윤활유가 부족할 경우에는 과열 방지가 제대로 이루어지지 않아 엔진 과열과 부속품이 파손되는 등의 문제가 발생할 수 있다.

2.2.3 냉각장치

냉각장치는 윤활장치와 위험요소가 유사한 것으로 분석되었으며, 냉각수가 공급되는 호스의 경화 및 열화에 따른 균열, 배관 체결 불량에 따른 냉각수 누출 사고가 발생할 우려가 있다. 또한, 냉각수가 부족하거나 냉각장치를 구성하고 있는 Cooling Fan, Thermostat, Water Pump 등의 부품 오작동에 의해 Over Heat가 발생하여 가스엔진 열병합발전시스템 손상 및 이에 따른 화재, 폭발 사고가 발생할 수 있다.

2.2.4 흡·배기 장치

흡·배기 장치는 공해 방지용 촉매장치를 비롯하여 소음과 배기가스의 배출 온도를 낮춰주는 머플러 등으로 구성되어 있다. 가스엔진 열병합발전 시스템 가동상태에서 연소 중 수분이 혼합되는 이상조건 발생 할 때 연소가 지연되거나 점화 불량 등의 문제가 발생할 수 있다. 또한, 흡기밸브의 오작동과 실린더 개스킷 등의 파손에 의해 흡기부 측으로 연료가 누출되거나 가스엔진의 과열 사고가 발생할 우려가 있다. 연료의 혼합비 불량 및 점화계통, 머플러 등의 고장 시 배기부 측으로 미연소된 불완전한 연소 가스가 배출되어 역화 및 후화 등의 현상이 발생하여 가스엔진의 안전성에 영향을 줄 가능성이 존재한다.

2.2.5 전기장치

전기부에서 발생 가능한 사고위험으로는 절연피복

Table 5. Analysis of risk factors for gas engine combined heat and power system

Department	Cause of Risk Factor	Result of Risk Factor
Fuel Supply System	<ul style="list-style-type: none"> - Pipe Aging - Corrosion Occurrence - Faulty Fuel Supply Piping Tightening - Separation from Pipe Connection - High Pressure and High Temperature Fuel Supply - Less Plumbing Length, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fuel Gas Leak - CHP System Over Temperature - Damaged Valve due to Backflow of Fuel Gas, etc.
Lubrication System	<ul style="list-style-type: none"> - Hose Hardening and Deterioration - Cracks and Abrasion - Low Quality of Lubricant - Deterioration due to Changes in Lubricating - Lubricant Temperature Rise - Lack of Lubricant - Decreasing of Ignition Point, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Leak of Lubricant - Damage to the CHP System - Overheating of CHP System - Broken and Ignited System Parts - CHP System Explosion and Fire, etc.
Cooling System	<ul style="list-style-type: none"> - Hose Hardening and Deterioration - Cracks and Abrasion - Faulty Pipe Tightening - Lack of Cooling Water - Failure of Parts (Cooling Fan, Thermostat, Water Pump, etc) 	<ul style="list-style-type: none"> - Leak of Cooling Water - Over Heat Occurred - CHP System Explosion and Fire, etc.
Intake-Exhaust System	<ul style="list-style-type: none"> - Temperature Drop in CHP System - Mixture of Water During Combustion - Intake Valve Poor Operation - Cylinder Gasket Break - Fault of Ignition System - Faulty of Fuel Mixture - Muffler Failure, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Combustion Delay - Faulty of Ignition - Overheating of CHP System - Flue Leak to Intake Air - Emission of Unburned Gas to Exhaust - Ignition due to Hot Exhaust Heat, etc.
Electric System	<ul style="list-style-type: none"> - Damaged Insulate Coat - Faulty of Wiring Protection, Ignition Switch - Ignition Plug Contamination - Overload Protection Fault - Connector Off - Faulty of Connection, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Wiring Damaged - Faulty of Ignition and No Combustion - Over Current Occurred - Electric Fire Occurred, etc.
Electronic Control System	<ul style="list-style-type: none"> - Malfunction of Sensors (Intake Air Generator Composition Sensor, Temperature Sensor, Cooling Water Temperature, Oxygen Sensor, Crank Angle and Ignition Control Sensor, etc) 	<ul style="list-style-type: none"> - CHP System Over Temperature - Fuel Liquefaction - CHP System Explosion and Fire, etc.

및 배선 보호장치의 손상에 따른 스파크 발생에 따른 전기 화재의 위험이 있다. 전기부를 구성하고 있는 점화 스위치의 오작동이나 점화 플러그가 오염될 경우에는 점화가 제대로 이루어지지 않아 미연소 가스가 발생하여 열병합발전 시스템에 손상을 야기할 수 있으며, 과부하 보호장치의 고장으로 인해 과전류가 발생할 수 있고 커넥터 이탈, 접속 불량 등의 원인으로 전기 화재가 발생 가능성이 있다.

2.2.6 제어장치

가스엔진 열병합발전기의 제어장치는 각종 센서로 구성되고 센서의 종류는 연료 주입 센서, 공기 유량 센서, 흡·배기 온도 센서, 냉각수 온도 센서, 산소 센서 등이 있다. 제어장치의 경우 센서의 고장 및 오작동에 의한 사고 발생 위험이 있어 이에 따른 내연기관 발전 시스템의 과열 및 이상연료 주입에 따라 연료가 액화되어 화재 폭발이 발생할 수 있다.

III. 소형 가스엔진 열병합발전기 위험성평가

위험성평가(Risk Assessment)는 플랜트의 공정 및 시스템의 유해 및 위험 요소를 사전에 조사하여 그에 따른 사고 및 부상의 발생 빈도, 사고의 강도

를 추정 및 결정하여 위험 요소 저감 대책을 수립하는 과정을 일컫는다. 위험성평가 기법으로는 Check List, 4M (4M Risk Assessment), CCA (Cause- Consequence Analysis), HAZOP (Hazard & Operability Studies), PHA (Preliminary Hazard Analysis),

Table 6. Result of HAZOP study of micro-gas engine combined heat and power systems

Node	Deviation	Cause	Consequence	Safety measures
Fuel System	Corrosion (Crack)	- Crack of Arts due to Aging	- Leakage of the Fuel Gas	- Gas Leakage Detector - Periodic Inspection Components
	Separation	- Installation Inattention - Occurrence of Vibration	- Screw and Fastening Band Loosening - Leakage of the Fuel Gas	- Gas Leakage Detector - Periodic Inspection Components
Lubricating System	Corrosion (Crack)	- Crack of Parts due to Aging - Occurrence of Parts Vibration	- Leakage of the Engine Oil - Engine System Overheating	- Automatic Shut-off Function when Engine Exceeds Certain Temp.
	Exceed Use Period	- Non-compliance Exchange Cycle of Lubricant	- Engine Damage due to Friction - Engine System Overheating	- Automatic Shut-off Function when Engine Exceeds Certain Temp.
	Low Level	- Failure of Oil Level Sensor	- Engine Damage due to Friction - Engine System Overheating	- Automatic Shut-off Function when Engine Exceeds Certain Temp.
Cooling System	Exceed Use Period	- Non-compliance Exchange Cycle of Cooling Water	- Engine Damage due to Friction - Engine System Overheating	- Automatic Shut-off Function when Engine Exceeds Certain Temp.
Intake Exhaust System	Corrosion (Crack)	- Insufficient Tightness of Intake Valve	- Gas Backflow to Intake Manifold - Explosion within Suction Pipe	- Periodic Inspection Components of Intake System
	Malfunction	- Filter Aging and Moisture Mixing in the Cylinder	- Delay of Combustion - Back-fire at the Next Cycle	- Periodic Inspection Components of Intake System
	Less Flow	- Failure of Air Flow Sensor - Decreasing of Air Ratio	- Occurs of Misfire, Unburned Gas - After-fire in the Exhaust System	- Periodic Inspection Components of Intake System
	Misplacement	- Wrong Way to Installation - Dry Thing near Exhaust System	- Ignition by Radiative Heat Transfer - Fire Accident	- Perform Installation Inspection - Compliance of Distance Separation
Electric Control System	Contamination	- Contamination by Carbon on the End of Spark Plug	- No Effective Spark and Explosion - After-fire in the Exhaust System	- Periodic Inspection and Replacement of Electric System
	Crack	- Leakage of the Fuel Gas	- Flow into Power Distributor - Explosion by Ignition Flame	- Gas Leakage Detector - Periodic Inspection Components
	Malfunction	- Tear of Wire's Insulating Coating - Poor Contact of Connector	- Ignition by High-Temp. Equipment - Ignition by Leaked Gas	- Gas Leakage Detector - Periodic Inspection Components

What-if 등이 있다[25-27]. 본 연구에서는 정성적 위험성평가 기법인 HAZOP 을 이용하여 소형 가스엔진을 적용한 열병합발전기의 위험성평가를 수행하였으며, 가스엔진을 구성하는 주요 장치에 따라 연료장치, 윤활장치, 냉각장치, 흡·배기장치, 전기·제어장치로 Node를 구분하였다. 각 Node에서 사고발생 위험성이 있는 것으로 판단되는 요소를 이탈현상으로 선정하여 위험요소에 따른 원인과 결과를 분석하였으며, 이에 대한 안전조치 대책에 대한 연구 결과를 Table 6에 나타내었다.

3.1 연료장치

연료장치에서는 연료 배관, 분사노즐 등 각 부품의 부주의한 설치와 진동에 의한 이격이 발생 할 수 있다. 또한, 장기간 사용할 경우 실린더 개스킷이 손상되거나 노화에 따른 균열 문제가 있다. 이때, 연료계통 내부의 압력으로 인해 연료가 누출되고, 시스템 내부의 전기장치인 디스트리뷰터와 같은 배전기에서 점화불꽃으로 인해 폭발 및 화재가 일어날 수 있다. 이에 대한 안전조치 대책으로는 주기적인 구성품 점검 및 가스누출검지를 통한 차단 장치 설치 등이 있다.

3.2 윤활장치

윤활장치의 경우 씰(Seal) 부분의 손상, 구성품의 노화 등으로 윤활유가 누출될 우려가 있으며, 시스템 내부의 고온부와 접촉하면서 화재 발생 우려가 있을 수 있다. 특히, 엔진의 성능과 수명, 고장발생 측면에서 윤활유는 절대적 영향을 미치기 때문에 철저한 관리 및 교환이 필요하다. 윤활유 누출 및 센서의 고장 등은 엔진부의 마찰열을 유발하며, 엔진의 온도가 급상승하기 때문에 특정 온도가 초과될 때 시스템의 운전을 정지하는 제어장치가 필요하다.

3.3 냉각장치

엔진의 내부 온도가 너무 높으면 기계적 강도가 저하되고, 과냉각의 경우 엔진의 효율이 떨어지고 불완전 연소가 발생되어 연료 소비량이 증가하는 등 성능 문제가 발생한다. 이 때문에 냉각수는 내연기관 발전장치에서 필수적이며, 윤활유와 더불어 주기적인 관리가 필요하다.

3.4 흡·배기 장치

흡·배기 시스템에서는 흡기 밸브의 밀착이 제대로 이루어지지 않아 내연기관 행정 시 기밀이 유지되지 않을 경우 연료가스 및 연소가스가 흡기 매니폴드와 역류하여 역화를 일으킨다.

또한, 흡기구에서 빗물이 유입되거나, 공기 필터를 거쳐 수분이 제거되지 않으면 실린더 내에서 연소가 지연되고 점화가 정상적으로 이루어지지 않을 수 있어 역화를 유발하게 된다. 소형 가스엔진 열병합발전기는 배기구의 설치도 중요한 요소이다. 20 kW급 가스엔진 열병합발전기 운전 시 약 550℃의 고온의 배기가스가 배출되는데, 이때 배기구근처의 나뭇가지의 나뭇가지 등 건조물은 배기열에 의해 착화될 우려가 있으므로 흡·배기 시스템의 구성품의 주기적인 점검과 교체가 요구되며, 설치 시 안전검사 수행을 통해 배기구와 주변 시설물과의 이격거리가 충분하지 확인하는 절차가 반드시 필요할 것으로 판단된다.

3.5 전자·제어 장치

전기 시스템은 전기배선, 점화장치, 시동장치 등의 전장품으로 구성되어 있다. 시스템 안팎으로 전기 배선에 일정한 장력을 가했을 때 과열된 주변 장치에 접촉되거나 커넥터에서 배선이 이탈되는지 여부 등을 확인할 필요가 있다. 이는 단락 및 단선된 전기 배선이 점화원이 되어 시스템 내부의 누출된 가스과 반응하여 폭발될 우려를 예방하기 위한 것으로 시스템 내부의 가스누출 검지와 주기적인 점검이 필요하다.

한편, 점화장치의 스파크 플러그는 운전 중 고온 및 고압 조건에 노출되어 있으며, 스파크 플러그 선단이 카본 등에 오염되어 효과적인 점화가 일어나지 않을 수 있다. 이때, 미연소된 연료 혼합가스가 배기 시스템으로 유입되어 후화가 발생할 우려가 있으므로 교체주기를 준수하여 원활한 유지관리가 필요할 것으로 판단된다[28,29].

IV. 소형 가스엔진 열병합발전기 안전성평가기술 개발

Table 7은 Table 1에 나타난 국·내외 기준 분석, 가스엔진 열병합발전기 위험요소 분석 및 위험성평가결과를 토대로 내연기관 발전시스템 구조와 재료 관련 평가항목을 나타내었다. 구조 관련 평가항목으로는 가스 주입부, 가스차단밸브, 가스 및 배기가스 배관, 연소가스통로, 엔진 점화장치, 엔진부 보호장치, 열병합 발전기부 제어장치 및 차단기 등이 있다.

4.1 열병합발전 시스템 구조 관련 평가기술

4.1.1 가스 주입부

일반적으로 가스 주입부의 경우 외부에 노출되어 외부에서 용이하게 목시 할 수 있는 구조를 갖추어

Table 7. Structural and material assessment items of internal combustion engine power system

Department	Assessment Items
Structure	<ul style="list-style-type: none"> - General Internal Combustion Engine System - Gas Injection - Gas Disposal Valve - Gas and Exhaust Pipe - Combustion Gas Passage - Engine Ignition and Protection - Generator Control - Generator Breaker, etc.
Materials	<ul style="list-style-type: none"> - Gas Pipe - Packings and Seals - Combustion Gas Passage - Insulation - Vibration Insulating Material - Noise Material, etc.

이상연료 주입 등의 사고가 발생하지 않도록 한다.

4.1.2 가스차단밸브

이상 운전 및 가스 누출 시 가스의 인입을 차단하는 기능을 가진 가스차단밸브는 2개 이상을 직렬로 장착하여 엔진 정지 및 손상 등 비상시에 가스통로를 자동으로 차단할 수 있는 구조를 갖추어야 한다.

4.1.3 가스배관

가스배관 및 연결부는 연료의 누출을 방지하기 위해 내압시험을 통해 열병합발전기 구동에 적합한 구조로 설계되어야 하며, 정압 및 부압에 대한 강도를 가져야 한다. 이상 운전에 따른 가스 누출 사고 발생 시 누출되는 가스가 열병합발전기 내부로 유입되지 않고 외부 방출이 용이한 구조를 갖추어야 한다.

4.1.4 연소가스통로

연소가스통로는 연소가스의 온도와 엔진의 진동 및 드레인에 충분한 강도를 가지며 드레인의 경우 용이하게 배출 가능한 구조를 갖추어야 한다. 각종 케이싱은 운전 및 점검에 따른 반복 사용에 의한 내구성을 갖추어야 하며 외부로부터 이물질 등이 유입하지 않도록 설치 및 장착되어야 한다.

4.1.5 엔진 점화장치

엔진 점화장치의 경우 점화 시 열병합발전기의 내·

외부 기기에 장애를 초래하지 않는 구조로 설계되어야 하며, 점화장치를 구성하고 있는 플러그와 점화장치의 정상작동 여부 및 오염도를 정기적으로 점검하여 운전 시 가스엔진이 어떠한 조건에서도 점화 불량이 발생하지 않도록 안전관리가 요구된다.

4.1.6 엔진 보호장치

엔진부 보호장치는 Over Speed, 엔진 오일의 압력 저하 및 온도 상승 등에 따라 열병합발전기의 가스엔진을 정지하고 가스 통로를 차단하여 사고 발생 위험으로부터 작업장 및 운전자의 안전을 보호하도록 설치될 필요가 있다. 또한, 발전기 내부의 과부하 및 외부 전기회로의 단락 등에 의한 감전, 화재 등의 위험이 발생할 우려가 있으므로 내연기관 발전 시스템을 보호하는 장치가 장착 및 작동되어야 한다.

4.2 열병합발전 시스템 재료 관련 평가기술

내연기관 발전시스템을 구성하는 재료 관련 평가항목으로는 가스 배관, 패킹 및 씰재, 연소가스통로, 단열재, 소음재 등이 있다. 일반적으로 내연기관 발전시스템에 사용되는 재료는 기계적·열적·화학적 조건에서 충분히 견디는 것을 사용하여야 한다. 한국가스안전공사의 KGS AB934에 명시된 내식성을 가진 금속 재료는 주물, 다이캐스팅으로 만든 주물, 스테인레스, 표면처리강, 알루미늄 및 알루미늄합금, 구리 및 구리합금이 있으며, 비금속 재료를 사용할 경우에는 염수분무시험에 적합한 것을 사용할 것을 명시하고 있다. 이는 가스엔진 열병합발전기에 적합한 재료 선정 시 평가 자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

4.2.1 가스배관

가스 배관은 일반적으로 금속 재료를 사용하므로 내구성, 내압성, 난연성, 내열 및 내한성을 갖춘 재료로 구성되어야 하며 이에 대해 극한의 온도 및 압력 조건에서 시험을 수행하여 재료 적합성을 검증할 수 있다. 이와 관련하여 일본의 JIA F 025-06에서는 염수분무시험을 통한 부식성 적합 검사, 500℃ 온도 조건에서의 내열성 시험, -10℃ 온도 조건 하에서 내한성 시험 등을 수행하여 균열 및 변형 여부 검증을 통해 재료 적합성을 검토하도록 명시하고 있다. 본 연구 과제의 시험 대상인 20 kW급 가스엔진 열병합발전기의 경우 발전 후 가스엔진에서 약 500~560℃의 배기가스가 배출되므로 배관에 사용되는 재료에 대한 적합성 검사가 필수적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

Table 8. The list of gas engine CHP system safety performance assessment items

Department	Assessment Items
Safety Performance	<ul style="list-style-type: none"> - Engine Ignition State - Actual Infiltration Performance of Gas Pipe and Passage - Watering Performance - Gas Consumption - Temperature Increase Performance <ul style="list-style-type: none"> · Normal Temperature Increase Performance · Abnormal Temperature Increase Performance - Combustion State Performance - Safety Performance of Power Department <ul style="list-style-type: none"> · Heat Recovery Efficiency · Electrical Power Capability · Power Generator Efficiency Performance · Insulation Performance, etc. - Engine Vibration - Performance of Sensors (Cooling Water, Lubricant, etc.) - Gas Leak Detector, etc.
Structure and Material	<ul style="list-style-type: none"> - Gas and Water Pipe - Gas Valve - Gas Shut-off Valve - Metal/Non-metal Material - Generator Control System - Durability - Tolerance to Cold - Heat-resisting Property - Corrosion Resistance - Intake/Exhaust Valve - Spark Plug, etc.

4.2.2 패킹 및 씰재

배관에 사용되는 패킹 종류 및 씰재의 경우 질량 변화율이 적은 고무 또는 플라스틱 등의 재료로 된 제품을 사용하여야 하며, 온도 변화에 대한 내구성을 갖추어야 한다.

4.2.3 연소가스통로

연소가스통로에 사용되는 금속재료는 내부식성을 갖춘 것으로 표면에 내식처리가 된 것을 사용하도록 명시되어 있고, 금속재료 이외의 재료를 사용할 경우에는 연소가스의 온도와 압력 및 드레인에 충분히 견디는 재료를 사용하여야 한다.

4.2.4 단열재 및 소음재

열병합발전기의 가스엔진 주위에 사용되는 단열재와 소음재는 연소하지 않는 것을 사용해야 하며 연소될 경우 10초 이내 자연적으로 소화되는 재료를 사용해야 한다.

4.3 열병합발전 시스템 안전성능 평가(안)도출

Table 8은 가스엔진 열병합발전기의 위험요소 분석 및 HAZOP을 통한 위험성평가를 수행한 결과로 도출된 안전성능 평가항목을 나타낸 것이다. 안전성능 관련 평가항목은 엔진점화, 가스 통로 및 배관의 기밀 성능, 살수 성능, 가스 소비량, 온도 상승 성능(정상 시, 이상 시), 연소 성능, 전기 효율, 열효율, 종합 효율, 습도 및 온습도 사이클 성능 등이 있다. 또한, 가스엔진 열병합발전기 구조 및 재료 관련 평가항목으로는 가스 및 수배관, 밸브, 금속/비금속 재료 성능, 발전기 제어 시스템과 가스엔진 열병합발전기에 사용되는 재료의 내구성, 내한성, 내열성 및 내부식성에 대한 평가항목을 도출하였다.

V. 결론

본 연구에서는 가스엔진 열병합발전 시스템의 보급의 활성화 및 안전성 검사기준의 표준화 연구에 기여하고자 20 kW급 가스엔진 열병합발전기의 안전성능 평가항목을 도출하고자 하였다.

가스엔진 열병합발전 시스템의 안전성능 평가항목을 도출하기 위해 국·내외 연료전지와 가스엔진을 사용한 열병합발전 시스템 및 가스용 연료전지 관련 기술기준을 검토하고 내연기관 발전 시스템의 구조 및 재료 관련 위험요소 분석, HAZOP을 이용한 위험성평가를 통해 소형 가스엔진 열병합발전기 안전성능 관련 평가(안)를 도출하였다.

20 kW급 가스엔진 열병합발전 시스템의 안전성능과 관련하여 본 연구를 통해 도출된 평가항목은 안전성능과 구조/재료로 분류 할 수 있다. 가스엔진 열병합발전 시스템의 안전성능 관련 평가항목으로는 엔진부를 구성하는 엔진의 시동 성능, 가스 통로 및 배관의 기밀 성능, 엔진의 살수 성능, 정상 시 또는 이상 운전 시 화재로부터 가스엔진 열병합발전 시스템을 보호하기 위한 구성품 및 재료의 온도 상승 성능, CO 농도 및 연소상태 등을 검사하는 연소 성능이 있다. 또한, 발전기부 안전성능 평가항목인 전기 효율, 열효율, 종합 효율을 비롯하여 가스엔진 열병합발전기의 환경 안정성과 관련된 습도 및 온습도 사이클 성능 등의 시험항목이 있다.

가스엔진 열병합발전 시스템의 구조 및 재료 관련

평가항목으로는 가스 배관을 비롯하여 냉각수가 통과하는 수배관의 구조와 재료, 배기가스 배관 성능, 가스 조절 및 차단밸브와 열병합발전 시스템에 사용되는 금속/비금속 재료의 내구성, 내부식성, 내한성 및 내열성 등의 평가항목이 포함된다.

본 연구 결과는 향후 국내에서 개발되는 20 kW급 가스엔진 열병합발전 시스템의 안전성능 평가에 활용될 예정이며, 소형 가스엔진 열병합발전 시스템의 안전한 사용 및 보급에 기여할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2018년도 정부(중소기업청)의 재원으로 WC 300 프로젝트 기술개발지원사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(No. S2563281, 소형 분산 열병합발전 시스템 개발)

REFERENCES

- [1] Korea Electric Power Corporation, "2017 Statics of Electric Power in Korea", 87, 5-27, (2018)
- [2] Korea Energy Economics Institute, "2017 Yearbook of Regional Energy Statistics", (2017)
- [3] Hyundai Research Institute, "VIP Report-Structural Problems and Improvement Plans of Domestic Electricity Supply", 1-8, (2013)
- [4] Kwon, O. J., "A Study on Smart Energy Network Model for Industrial Complexes Utilizing Distributed Power Resources", Soongsil University Master's Thesis, 1-7, (2018)
- [5] The Korea Energy Management Corporation, "2003 Cogeneration Technology Guidebook", 20-203, (2003)
- [6] Ministry of Trade Industry and Energy, "A Basic Plan for 8th Power Supply", (2017)
- [7] Choi, J. J., Park, B. S., Jung, D. H., Kim, H. J., Kang, S. H., Im, Y. H. and Song, D. S., "The Operation Characteristics of Domestic Stirling Engine and Reciprocating Gas Engine Cogeneration Systems", The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, 739-743, (2010)
- [8] Jeong, J. Y., "A Study on Application of Small-Scale Gas Cogeneration Facilities and Their Wider Uses", Hanyang University Master's Thesis, 1-7, (2007)
- [9] Korea Energy Management Corporation, "2003 Cogeneration Technology Guidebook", 10-25, (2003)
- [10] Korea Energy Agency, "2017 Group Energy Project Handbook", (2017)
- [11] Oh, S. H., Kim, H. Y., Park, W. S. and Kim, S. M., "Standardization Study on Performance Test Method of Combined Heat and Power System for Buildings", Journal of Standards and Standardization, 7(2), 41-54, (2017)
- [12] EN 50465, "European Product Standard for Combined Heating Power Systems using Gas Fuel", European Norm, (2015)
- [13] EN 13203-4 "Gas-Fired Domestic Appliances Producing Hot Water", European Norm, (2016)
- [14] EN 15316-4-4, "Energy Performance of Buildings-Method for Calculation of System Energy Requirements and System Efficiencies", European Norm, (2017)
- [15] IEC 622-2-3-100, "Fuel Cell Technologies- Part 3-100: Stationary Fuel Cell Power Systems - Safety", International Electrotechnical Commission, (2014)
- [16] IEC 62282-3-400, "Fuel Cell Technologies-Part 3-400: Stationary Fuel Cell Power Systems - Small Stationary Fuel Cell Power System with Combined Heat and Power Output", International Electrotechnical Commission, (2016)
- [17] JIA F 025-06 "Regulation for Small Gas Engine Combined and Heat Power System Inspection", Japan Gas Appliances Inspection Association, (2009)
- [18] JIS B 8122, "Test Methods for Measuring Performance of Cogeneration Unit", Japanese Industrial Standards committee, (2009)
- [19] JIS B 8124, "Requirements of the Components of the Gas Engine Driven Cogeneration Package", Japanese Industrial Standards committee, (2018)
- [20] KS B 8911, "Reciprocating Internal Combustion Gas Engines for Domestic Cogeneration - Power and Gas Consumptions Test Methods", Korean Agency of Technology and Standards, (2016)
- [21] KS B 8912, "Domestic Combined Heat and Power Generator using Internal Gas Combustion Engines - Performance Test Methods", Korean Agency of Technology and Standards, (2016)
- [22] KS B 8913, "Combined Heat and Power Unit using Internal Gas Combustion Engines for Building - Performance Test Methods", Korean Agency of Technology and Standards, (2017)

- [23] SPS KEAA 17, "Domestic Combined Heat And Power Generation System Using Internal Gas Engines -Installation Requirements", Korea Energy Appli- ances Industry Association, (2016)
- [24] KGS AB934, "Facility/Technical/Inspection Code for Manufacture of Gas Fuel Cells", Korea Gas Safety Corporation, (2016)
- [25] Kang, S. J., "Case Study of Domestical Risk Assessment Trends and Analysis", Hanyang University Doctoral Thesis, 37-90, (2015)
- [26] You, C. H., Kim, J. Y., "HAZOP Study for Risk Assessment and Safety Improvement Strategies of CO₂ Separation Process", Korean Chemical Engineering Research, 56(3), 335-342, (2018)
- [27] Guide, K., "Risk and HAZOP", (2018)
- [28] Kim, C. K., "Automotive Engineering, 4th Edition", Bogdoo, (2017)
- [29] Lee, I. G. and Jung, D. H., "Automobile Fire", GoldenBell, (2014)