



소형 가스엔진 열병합 발전시스템 안전기준 개발

권준엽 · 김민우 · †이정운

한국가스안전공사 가스안전연구원

(2021년 6월 4일 접수, 2021년 8월 25일 수정, 2021년 8월 26일 채택)

A Study on the Safety Code Development of Gas Engine Micro Combined Heat and Power System

Jun-Yeop Kwon · Min-Woo Kim · Jung-Woon Lee

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

(Received June 4, 2021; Revised August 25, 2021; Accepted August 26, 2021)

요약

최근 “전력 예비율” 급감에 대한 해결책으로 양방향 송배전이 가능한 마이크로 그리드로 전환되고 있다. 마이크로 그리드는 소규모 분산전원과 부하로 구성되는데, 분산전원의 대표적인 기술로 가정·건물에 적용하는 소형 열병합 발전시스템이 있다.

본 연구에서 가스 소비량 232.6kW(20만 kcal/h) 이내의 소형 가스엔진 발전시스템의 안전기준을 도출하고 발전 시스템, 냉각시스템, 윤활 시스템, 배기 시스템으로 구분하여 안전기준(안)을 개발하였다. 발전시스템의 경우 필터를 설치하고 가스 누출 및 엔진 회전수나 출력이 이상이 발생할 경우 이를 감지하여 시스템을 정지하도록 하였고, 냉각시스템은 냉각수 부족이나 과열이 발생할 경우 시스템이 정지하도록 규정하였다. 윤활 시스템은 윤활유의 압력과 온도를 모니터링 하고 이상이 발생할 경우 시스템을 정지하도록 하고, 배기 시스템은 국내·외 기준과 부합하여 배기가스 배출 농도 규제 값을 지정하였다. 본 연구 결과를 통해 가스엔진 발전시스템의 안전성을 향상시키고 제품 확산·보급에 이바지할 수 있다고 판단한다.

Abstract - Recently, as a solution to the sharp drop in “power reserve ratio”, it is being converted to a micro-grid that enables bi-directional transmission and distribution. A microgrid is composed of a small-scale distributed power supply and a load. As a representative technology of distributed power generation, there is a Micro Combined Heat and Power system applied to homes and buildings.

In this study, a safety standard was developed by dividing the power generation system, cooling system, lubrication system, and exhaust system to derive safety standards for a small gas engine power generation system with a gas consumption less than 232.6kW (200,000 kcal/h). In the case of the power generation system, a filter was installed and the system was stopped by detecting gas leakage and abnormalities in engine speed or output and the cooling system is stipulated to stop the system in case of insufficient cooling water or overheating. The lubrication system monitors the pressure and temperature of the lubricating oil and stops the system when an abnormality occurs, and the exhaust gas emission concentration regulation value was specified in accordance with domestic and foreign standards. Through the results of this study, it is judged that the safety of the gas engine power generation system can be improved and it can contribute to the commercialization of products.

Key words : gas engine, combined heat and power system, safety code & standard

†Corresponding author:ljw@kgs.or.kr

Copyright © 2021 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

전 세계적으로 기존 중앙집중형 발전에서 분산형 발전 시스템으로의 전환을 주요 에너지 정책으로써 추진하고 있다. 기존 중앙 집중형 발전은 초기 구축비용, 건설입지, 송전손실, 기후변화 등의 문제가 발생할 수 있어, 이를 개선하기 위해 최근 가스엔진, 스텔링엔진, 연료전지를 이용하여 열과 전기를 생산하는 m-CHP(micro Combined Heat and Power)와 같은 분산형 열병합 발전 시스템이 대두되고 있다.

해외에서도 열병합 발전에 관한 관심이 높다. 2018년 개정된 “EU 에너지효율지침”에서 2030년까지 기존 목표 값 대비 최소 32.5%의 에너지효율 향상을 제시하였고, 이를 위한 수단으로 열병합발전시스템을 강조하였다. 이에 따라 유럽의 각 국가는 열병합 발전 시스템에 대한 정책적 지원을 실행하고 있다. 독일의 경우 2020년 열병합발전법“KWKG(Kraft Warme Kopplungs Gesetz) 2020”을 통해 고효율 열병합발전(CHP)의 확대 보급을 지원하고 있고, 영국의 경우 HNIP(Heat Network Investment Project)를 통해 건설비 지원을 발표하였다[1]. 중국의 경우에는 “석탄발전 리모델링 행동계획”을 통해 2020년까지 석탄발전 설비에서 열병합발전 비중을 28%까지 확대하며, “13.5 계획”에서 화력발전설비 350GW를 열병합발전으로 리모델링하는 것을 추진한 바 있다[2].

한편, 국내에서도 2019년 제3차 에너지 기본계획(2019-2040)에서 이와 같은 내용을 반영하였으며, 2017년도에 12% 수준이었던 분산형 전원 발전량 비중을 2040년까지 30%로 확대하겠다는 내용을 발표하였다. 이를 통해 소비자의 에너지 생산 참여를 촉진하고, 계통의 분산전원 수용성을 대폭 강화하기로 하였다[3].

m-CHP는 원료를 공급받아 열과 전기를 함께 발생하는 소형 열병합 발전장치로써 가스엔진의 경우 약 30%의 발전효율과 약 50%의 열효율을 나타내고 있어, 종합효율은 80% 이상에 이를 만큼 에너지 이용 효율이 높다. 이처럼 다양한 장점이 있는 m-CHP는 국내외에서 다양하게 보급되고 있으며, 본 연구에서는 가스엔진을 이용한 m-CHP의 안정적인 보급 확산을 목적으로 국내외 안전기준 및 시스템 위험요소 분석 등을 통해 가스소비량 기준 232.6kW 이하에 적용되는 가스엔진 타입 m-CHP 안전기준안을 도출하고자 하였다.

II. 소형 가스엔진 열병합 발전시스템 관련 안전기준 현황

소형 가스엔진 m-CHP 시스템의 안전기준 개발을 위한 대표적인 국내외 관련 안전기준 현황을 조사하여, 관련 시험항목을 분석하였다[4]. 유럽, 일본 등 해외에서는 2000년 후반부터 가스엔진 m-CHP 시스템 안전기준을 제정하여 운영 중이며, 자국 내에 이미 많은 제품 보급이 이루어졌다. 유럽은 EN 50465 (European Product for Combined Heating Power Systems using Gas Fuel)를 대표적으로 운영하고 있으며, 이는 가스입열량 기준 70kW 이하의 가스엔진, 스텔링엔진, 연료전지 타입 m-CHP에 적용하는 기준이다. 특히, 가스엔진 m-CHP에 대하여 EN 50465에 따라 Fig. 1에 주요 구성품, 공급 및 배출 유틸리티를 나타내었다[5].

일본에서는 JIA F 025-06(Regulation for Small Gas Engine Combined and Heat Power System Inspection) 규정을 운영하고 있으며, 액화석유가스 또는 도시가스를 공급하여 발전기를 가동하고, 열 회수를 통해 온수 등을 사용하는 설비에 대하여 적용하고 있다. 다만, 검사대상으로써 전력변환장치부는 제외하고, 발전출력이 10 kW 미만인 것에 한정하고 있다. 또한, 유럽 EN 50465와 달리 m-CHP가 온수탱크를 포함하지 않는 비일체형의 경우, 온수탱크를 적용범위에서 제외하고 있는 것이 특징이다. 일본의 가스엔진 열병합 발전시스템의 검사범위를 Fig. 2에 나타내었다[6].

국내의 경우에는 “산업표준화법”에 따른 KS 표준이 있으며, 가스엔진 m-CHP 전기출력에 따라 구분되어 표준이 운영되고 있다. KS B 8912는 전기출력 3 kW 이하, KS B 8913은 3 kW 초과 20 kW 이하, KS B 8914는 20 kW 초과 50 kW 이하에 적용되고 있다. 본

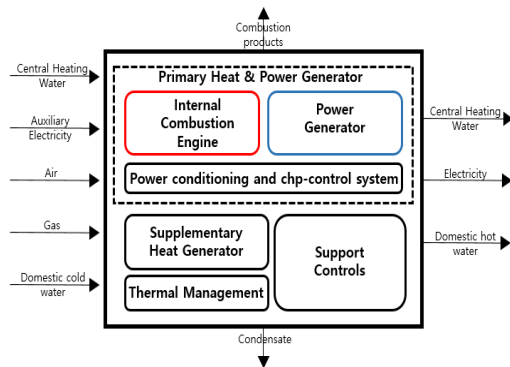


Fig. 1. Typical set-up for an internal combustion engine mCHP appliance (EN 50465)[5]

Table 1. KGS Code and Standards of domestic and foreign cogeneration systems

Country	Code No.	Year	Code Name
Korea	KGS AA112	2020	Facility/Technical/Inspection Code for Manufacture of Gas Engine Heat Pumps Using High-pressure Gases
	KGS AB136	2018	Facility/Technical/Inspection Code for Manufacture of Gas Stirling Engine heat and power Boiler
	KS B 8911	2016	Reciprocating internal combustion gas engines for domestic cogeneration Power and gas consumptions test methods
	KS B 8912	2016	Domestic Combined Heat and Power Generator using Internal Gas Combustion Engines - Performance Test Methods
	KS B 8913	2019	Combined Heat and Power Unit using Internal Gas Combustion Engines for Buildings - Performance Test Methods
	KS B 8914	2018	Combined heat and power generation system using internal gas engine - Electric capacity between 20 kW and 50 kW
Japan	JIA F 025-06	2006	Regulation for Small Gas Engine Combined and Heat Power System Inspection
Europe	EN 50465	2015	European Product Standard for com-bined Heating Power System using Gas Fuel
	EN 12309	2015	Gas-fired sorption appliances for heating and/or cooling with a net heat input not exceeding 70 kW

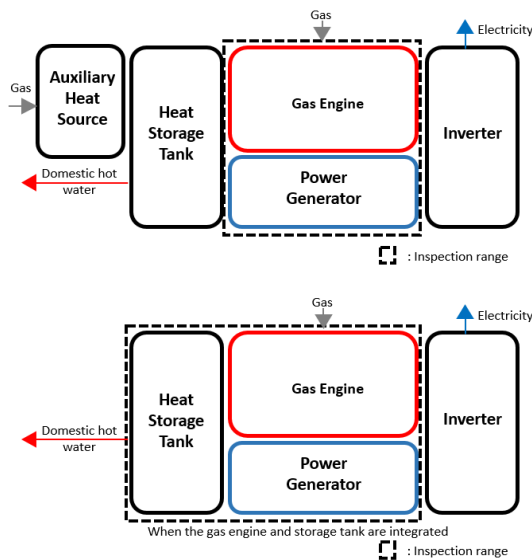


Fig. 2. Japan Gas Engine m-CHP Inspection coverage (JIA F 025-06)[6]

연구를 통해서 가스소비량 기준 232.6 kW 이하에 적용되는 안전기준 개발을 목표로 하고 있으므로 전기효율을 감안하면 모두 분석대상이 될 수 있는 기준이므로 관련 규격을 참고하고자 하였다[7-9].

한편, KGS Code에서는 가스엔진 열병합 발전시스템과 같이 열과 전기를 함께 생산하는 다기능보일러(스털링엔진 방식)에 대한 안전기준과 가스히트펌프에 관한 안전기준 등이 있다[10, 11]. 가스 히트펌프는 가스엔진에서 발생한 동력을 사용하여 압축기를 구동하고, 기화, 응축 등의 과정을 거쳐 냉난방을 하는 시스템이나, 가스엔진 열병합 발전시스템과 동일한 엔진을 사용하기 때문에 함께 검토하였다[11]. 이처럼 안전기준 개발을 위해 검토한 국내·외 기준을 Table 1에 나타내었다.

III. 소형 가스엔진 열병합 발전 시스템 분석

가스엔진 m-CHP 시스템은 연료 및 급기시스템, 발전시스템, 냉각시스템, 유회시스템, 배기시스템 등으로 구성되며, 안전기준의 적용 범위로써 일반적인 시스템의 세부적인 내부 계통도는 Fig. 3.과 같이 나타낼

수 있다.

가스엔진 m-CHP 시스템은 도시가스가 메인밸브와 가스필터를 지나고 제로거버너에서 대기압 수준으로 조정되어 엔진에 유입되는 것으로 시작된다. 연료가 점화되어 연소하면 폭발로 인하여 엔진 내부 피스톤이 상사점에서 하사점으로 이동하여 부피가 증가한다. 이때 피스톤 내부 압력은 대기압에 비하여 0.1bar 정도 낮은 음압이 발생하고, 이 압력차이로 인하여 연소용 공기가 에어 필터를 지나서 공급된다. 연료와 공기는 믹서에서 제조자가 지정한 비율로 혼합되어 혼합가스(연료+공기)를 형성하며 효율을 높이거나 고온에 의한 노킹(knocking)을 예방하기 위해 인터쿨러에서 냉각된 후 스토틀밸브로 공급될 수 있다 [12]. 스토틀밸브로 공급된 혼합 가스는 엔진의 출력에 맞게 엔진으로 공급되고, 엔진의 회전력을 통해 교류전류를 얻게 된다.

엔진에서 연소가 발생하면 많은 열에너지가 발생하여 전체 시스템의 온도가 상승한다. 냉각시스템은 WTS(Water Temperature Sensor)를 통해 온도에 따른 저항 값의 변화를 감지하여 온도를 감시하고 냉각수를 통해 열을 회수하는 역할을 한다. 냉각수는 시스템마다 다르지만 보통 80~90℃를 유지하며 회수된 열에너지는 온수 및 난방용으로 활용하거나 라디에이터 등을 통해 외부로 방출할 수 있다.

윤활시스템에서는 윤활유가 시스템에서 순환됨으로써, 냉각, 윤활, 밀봉, 세정 등의 역할을 수행한다. 윤활유는 엔진에서 발생하는 열을 회수하여 엔진을 냉각하며, 피스톤 내부로 유입된 윤활유는 얇은 막을 형성하여 기계적 마찰을 줄이는 윤활작용을 한다. 또한 혼합가스가 시스템 외부로 유출되지 못하도록 밀봉의 역할을 하며, 연소 시 발생하는 카본 및 슬러지를 세척하는 세정의 역할을 한다.

현재 가스엔진 발전시스템의 연료는 탄화수소계

연료를 대표적으로 사용하고 있다. 따라서, 작동시 일산화탄소(CO)와 질소산화물(NOx)의 배출이 함께 수반되어 배출가스에 대한 안전기준이 요구될 것이다. 한편, 고온의 배기가스 열에너지를 회수하여 열효율을 증가시킬 수도 있음을 고려하여야 한다.

가스엔진 m-CHP 시스템은 이외에도 사용 목적 등에 따라 시스템을 설계하거나 추가적인 장치들을 설치할 수 있으나, 일반적 시스템의 각 작동 공정에서 발생할 수 있는 위험요소를 분석하여 안전기준 프로토타입을 도출하고자 하였다.

IV. 소형 가스엔진 열병합 발전 시스템 위험요소 분석

가스엔진 m-CHP 시스템의 안전기준 개발을 위해 각 시스템상에서의 위험요소를 분석하였다. Table 2는 위험요소 분석을 위해 4가지로 시스템을 구분하고 주요 구성부품을 나타내었다.

4.1 발전시스템

발전시스템은 연료와 공기를 공급하는 장치로부터 엔진, 발전기를 포함하는 시스템으로 정의하였다. 먼저 연료 및 공기 필터를 적절한 주기로 교체하지 않았을 때 엔진 내부에 이물질이 유입되어 엔진 손상, 효율 저하 등의 안전문제가 발생할 수 있다. 또한 제로거버너 내부 고무패킹의 손상으로 인한 연료가스 누출, 액체연료를 사용하는 내연기관과 달리 기체연료를 사용함으로써 고온 건조한 연소실에서의 밸브시트 손상[13], 믹서 및 스토틀밸브 이상으로 인한 엔진 불완전 연소가 발생할 수 있으며, 이외에도 엔진 실린더 내부 압력, 온도, 미연소 가스가 자연발화 한계에 도달

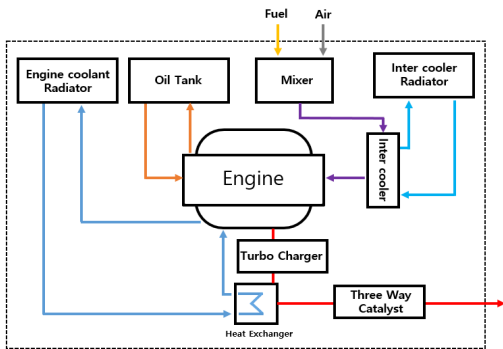


Fig. 3. Schematic diagram of m-CHP system using gas engine

Table 2. Gas Engine Cogeneration system component

System	Component
Power Generator System	Main valve, Gas Filter, Air Filter, Regulator, Zero Governor, Mixer, Intercooler, Throttle Valve, Gas Engine, Generator
Cooling System	Radiator, Heat Exchanger, Pump, Thermo Control valve
Lubrication System	Oil tank, Oil Filter, Limit Switch, Oil pump
Exhaust Gas	Turbo Charger, Heat Exchanger, Silencer, catalyst

하면 엔진 내부 노킹이 발생할 수 있다[14]. 엔진에 이상이 발생할 경우, 출력 변화를 유발할 수 있으며, 이때 발전기에서 발전되는 전력의 주파수가 정상범위를 벗어나 전력계통 및 부하에 안전문제가 발생할 수 있다.

4.2 냉각시스템

냉각시스템의 주요 부품은 냉각수 펌프, 열교환기, 제어 밸브 등으로 구성된다. 냉각수 펌프는 냉각수가 고온의 열을 회수할 수 있도록 유체를 순환시키는 역할을 하고 있으나, 냉각수 펌프의 고장, 냉각수 부족 문제, 온도·압력·유량 등 각종 센서와 컨트롤 밸브의 고장 등은 냉각수의 온도 상승을 유발할 수 있으며, 이는 엔진 과열에 따른 시스템 손상으로 이어질 수 있으므로 엔진부에서는 추가적으로 온도제어에 대한 안전 프로토콜이 필요할 것으로 판단된다.

4.3 윤활시스템

윤활시스템은 금속 표면에 유막을 형성하여 마찰을 감소시키고 발생하는 이물질을 씻어 깨끗이 하거나, 시스템을 밀봉하는 등의 역할을 한다. 이 때문에 윤활유는 부식물, 이물질을 제거하기 위해 주기적으로 윤활유와 기름 필터를 교체하여야 한다. 또한, 윤활유도 냉각수와 마찬가지로 시스템이 작동함에 따라 지속해서 소모된다. 이때 소모된 윤활유를 적절히 보충해주지 않거나 윤활유 내 기포가 다량 함유될 경우, 윤활시스템에서의 압력이 감소하게 되어 시스템의 내구성 문제, 효율 감소 등의 문제를 발생시킨다. 이와 반대로 윤활유가 과잉 공급되거나 과열되어 overflow 될 경우, 누출된 윤활유로 인해 전체 시스템에 손상이 발생할 수 있다. 또한, 윤활유 온도가 과도하게 상승할 경우 윤활유의 점성이 감소하며, 이로 인해 기계적 마찰로 인한 손상, 내구성 저하가 야기될 수 있다.

4.4 배기시스템

배기시스템은 엔진에서 발생한 배기가스를 옥외로 배출하는 시스템이다. 배기가스 내에는 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx) 등이 포함되어 있으며, 일산화탄소와 질소산화물은 전력부하가 증가함에 따라 증가한다. 특히 일산화탄소 발생은 시스템 가동 초기에 급격히 증가하는데[15], 일산화탄소가 사람이 거처하는 실내로 배출될 경우, 중독사고를 유발하는 가스로써, 배기시스템에서의 기밀 유지, 실내로 유입되지 않는 구조 등은 사용환경에서 중요한 안전항목이 된다.

또한, 엔진에서 배출되는 가스는 약 700°C 수준의 고온의 가스이며, 일반적으로 열 회수 과정을 거치지 만, 열 회수 장치의 오작동 등의 문제로 화재 발생, 배

기시스템 기밀재료인 내열 실리콘의 손상을 유발할 수 있다. 한편 반대로 배기가스 열을 과량 회수할 경우, 온도가 감소하게 되어 질소산화물이 수증기와 쉽게 응축됨으로써 부분적인 강산을 나타내게 되고 결과적으로 배기가스 통로에 부식을 유발하여 안전사고의 원인이 될 수 있다[16].

V. 소형 가스엔진 열병합 발전 시스템 안전기준(안) 개발

국내·외 안전기준 중요사항을 비교하여 Table 3에 나타내었고, 앞서 분석한 안전기준 및 위험요소를 활용하여 발전시스템, 냉각시스템, 윤활시스템, 배기시스템의 위험요소에 대응될 수 있는 안전기준안을 Table 4과 같이 나타내었다.

5.1 발전시스템

엔진 내부에 이물질 유입으로 인한 위험성을 예방하기 위하여 연료 및 공기필터를 설치하도록 하였다. 특히 국내 KGS AB136에서는 가스통로에 필터를 설치하도록 규정하고 있는데[10], 이를 반영하여 국내 소형 가스엔진 열병합 발전시스템의 가스통로의 가스 인입구 근처 또는 자동 차단밸브 전단에 필터를 설치하도록 규정하고 필터 여과제의 최대 직경을 규정하여 이물질 유입으로 인한 위험성을 예방하고자 하였다. 또한 공기필터는 교환주기를 명시하도록 하여 적절한 시기에 교체할 수 있도록 하였다.

한편, 누출로 인한 위험을 차단하기 위해 EN 12309 등에서는 금속이 아닌 재질에 대하여 이탈, 손상 등으로 인하여 누출이 발생하여 위험이 발생하지 않도록 규정하고 있다[17]. 이처럼 누출에 의해 위험분위를 방지하기 위해 시스템에서 연료가스의 누출을 감지하고, 누출을 검지할 경우 시스템이 정지하는 장치를 갖추도록 하여 누출로 인한 사고를 예방하고자 하였다.

정상적인 주파수(60Hz)의 교류전력을 발전하기 위해 엔진 회전수는 일반적으로 1800 rpm 수준으로 유지되고 있으나, 제로 거버너, 믹서, 스톱 밸브, ECU, 시스템 등의 문제로 인하여 엔진 출력이 안전범위를 벗어날 수 있으며, 노킹이 발생할 경우 엔진에 손상이 발생하여 엔진 출력에 이상이 발생할 수 있다. 이는 국내외 안전기준 분석 결과, 국내 KS B 8912, KGS AA112 및 일본 JIA F 025 06 등 엔진부 보호장치 관련 기준에서도 엔진 회전수에 이상이 발생하면 시스템이 정지하도록 규정하고 있어[6,8,11], 안전기준안에서는 제조사가 정한 범위를 벗어날 경우 엔진보호장치를 작동시키는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

Table 3. Comparison table of important domestic and international safety standards

System	Korea	Japan	Europe
Power Generation System	<ul style="list-style-type: none"> The system must be stopped before the maximum safe speed specified by the manufacturer is exceeded. (KS B 8912) 	<ul style="list-style-type: none"> When the engine speed exceeds the specified value, the engine is stopped and the gas passage is automatically shut off. (JIA F025 06) 	<ul style="list-style-type: none"> The possibility of an uncontrolled formation of inflammable mixture, the uncontrolled ignition of inflammable mixtures as well as the uncontrolled leakage of inflammable mixtures of process gasses have to be avoided by using insufficient measures. (EN 50465)
Cooling System	<ul style="list-style-type: none"> When the engine coolant exceeds the specified temperature, the engine stops and the gas passage automatically closes. (KGS AA112) 	<ul style="list-style-type: none"> If the engine coolant exceeds the specified temperature, engine must be stopped and the gas passage automatically blocked (JIA F025 06) 	<ul style="list-style-type: none"> The limit thermostat shall cause at least safety shut-down before the water flow temperature exceeds 110°C (EN 50465)
Lubrication System	<ul style="list-style-type: none"> The operation of the system must be stopped before the lubricant pressure falls below the pressure specified by the manufacturer (KS B 8912) 	<ul style="list-style-type: none"> When the pressure of the lubricating oil drops to the specified pressure, there must be a function to stop the engine and automatically close the gas passage (JIA F025 06) 	<ul style="list-style-type: none"> Leakage from the lubricating-oil system or as a result of a fault or crack in parts of the appliance where lubrication-oil is designed to be present, there shall be no escape of oil into the room where the mCHP appliance is installed

Table 4. Gas engine m-CHP system safety standard

System	Safety standards for each component of Micro Gas Engine Heat and Power system
Power Generation System	<ul style="list-style-type: none"> The gas filter should be installed near the gas inlet or in front of the automatic shut-off valve, and the maximum diameter of the filter medium should be 1.5 mm or less and the pin gauge of 1 mm cannot pass through. The system should be equipped with a safety device that monitors fuel gas leaks and automatically stops when a leak is detected. If the engine speed decreases from the rotation speed specified by manufacturer, it should stop the engine and have a device to automatically shut off the fuel gas passage.
Cooling System	<ul style="list-style-type: none"> If the engine coolant temperature exceeds the specified temperature, the engine must be stopped and a device with a function to automatically shut off the fuel gas passage shall be provided. It should have a structure with two or more safety devices that stop the engine before the temperature of the hot water that has been heat-exchanged with the gas engine coolant exceeds 100°C. It should be structured so that the remaining amount of coolant should be easily checked.
Lubrication System	<ul style="list-style-type: none"> If the lubricating oil pressure decreases the specified value, the engine must be stopped and the fuel gas passage is automatically blocked. If the temperature of the lubricating oil exceeds the specified value, the engine must be stopped and the fuel gas passage must be automatically shut off. However, this does not apply to a system that manages the lubricating oil temperature with the cooling water temperature. If the lubricating oil in the system overflows, it is drained and does not affect the operation of the system, or the system must be stopped if it is not drained.
Exhaust Gas	<ul style="list-style-type: none"> The concentration of carbon monoxide (CO) in the exhaust gas should be less than 1,000 ppm. The concentration of nitrogen oxide (NOx) in the exhaust gas should be less than 10 ppm. The exhaust temperature of the exhaust gas should be less than 260°C.

또한, 엔진보호장치 작동 시, 엔진을 정지하고 가스 통로의 차단밸브가 닫히도록 구성하는 방안을 적용하는 것이 합리적일 것이다.

엔진부 보호장치 관련 기준에서도 엔진 회전수에 이상이 발생하면 시스템이 정지하도록 규정하고 있어[6,8,11], 안전기준안에서는 제조사가 정한 범위를 벗어날 경우 엔진보호장치를 작동시키는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한, 엔진보호장치 작동 시, 엔진을 정지하고 가스통로의 차단밸브가 닫히도록 구성하는 방안을 적용하는 것이 합리적일 것이다.

5.2 냉각시스템 안전장치

냉각시스템의 구성요소에 이상이 발생하거나, 엔진에서 비이상적인 출력이 발생되는 경우 등에서는 소형 가스엔진 열병합 발전시스템이 과열될 수 있다. 이로 인해 국내외 안전기준에서는 냉각수의 온도는 제조자가 지정한 온도를 초과하기 전에 기기를 정지하는 구조로 할 것을 명시하고 있다. 국내 KS B 8912, KGS AA112, 일본의 JIA F 025 06 등에서 냉각수 온도 범위를 제조자가 지정한 온도 범위를 벗어날 경우 기기가 정지하도록 규정하고 있다. 또한, JIA F 025 06은 이외에도 열교환된 온수가 100℃를 초과할 경우 정지하도록 규정하고 있으며[6], 유럽의 EN 50465에서도 유수의 온도가 110℃를 초과하기 전에 차단하도록 규정한다[5]. 이는 물을 냉각수로 사용하는 경우와 온수 및 난방수의 온도가 100℃ 이상에서는 기화됨으로써 펌프, 배관 등의 손상을 유발할 수 있기 때문이다. 본 안전기준안에서는 냉각수 온도는 물 이외에 다른 냉각유체를 사용할 수 있는 경우를 감안하여, 제조자가 냉각시스템의 온도 안전범위를 지정하고, 그 지정범위를 초과하거나, 열교환된 온수 및 난방수의 온도가 100℃를 초과하는 경우에 시스템이 안전하게 정지하도록 규정하였다. 또한, 냉각수의 잔량을 쉽게 확인할 수 있는 구조로 하도록 하여 냉각수 부족으로 인한 안전사고를 예방하고자 하였다.

5.3 윤활시스템 안전장치

윤활시스템은 가스 엔진부에서의 운전 안전성 등을 유지하기 위한 핵심적인 부품으로써, 윤활유의 온도상승 여부, 잔량 등을 모니터링하고 제어하는 것이 중요하다. 이에 윤활유는 시스템을 작동시킬수록 일정량 소모될 수 있음 감안하여, 윤활유의 압력으로 잔량을 확인하고, 일정압력 이하가 될 경우 시스템을 정지하도록 규정하였으며, 윤활유가 overflow될 경우 시스템은 이를 drain 하여 정상작동 할 수 있도록 하였다. 다만, 윤활유의 온도는 냉각수의 온도와 연계되어 동시에 상승되기 때문에 냉각수시스템 안전장치로

대체가 가능할 것으로 판단된다.

5.4 배기가스 농도 및 온도

배기시스템에서는 가스엔진 m-CHP 특성상, 일산화탄소, 질소산화물 등이 배출되고 고온의 배기가스 온도가 형성될 수 있으며, 이는 국내의 안전기준 현황 및 국내 법령 등을 고려하여 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

현재 KGS AA112는 일산화탄소 농도를 2800 ppm 이내로 규정하며[11], 그 밖에 KS B 8913 및 유럽의 EN 50465 등에서는 정상 연소조건에서 일산화탄소의 배출량을 1,000 ppm 이내로 규정하고 있다[5,8]. 특히 EN 50465에서는 정상 연소조건뿐만 아니라, 비이상 연소조건에서도 2,000 ppm 이내로 일산화탄소 배출을 규제하고 있다[5]. 본 안전기준안에서는 일산화탄소가 실내에 누출될 경우, 치명적인 중독사고를 유발할 수 있고, 정격상태에 도달한 후 3시간 동안 측정하고 있음을 감안하여, 1,000 ppm으로 규정하여 적용하고자 하였다. 한편, 질소산화물은 희박연소, 흡기온도의 감소, 삼원촉매설치 등을 통해 감소시킬 수 있다고 알려져 있다[12]. 다만, 질소산화물은 국내 관계법령 등에서 농도를 이미 규제하고 있으며[18], 본 연구에서는 “국내 대기관리권역 대기환경 개선에 관한 특별법” 관련 내용을 준용하여, 10 ppm 이내로 제시하였다. 또한 배기가스 배출구에서 나오는 배기가스 온도가 260℃를 초과할 경우 시스템을 정지하도록 반영하여, 고온 배기가스가 주변 가연물, 시설물 등에 화재를 유발하거나, 손상을 유발하지 않도록 하였다.

VI. 결론

본 연구에서는 가스엔진 m-CHP 관련 국내외 안전기준 및 위험요소 분석을 통한 가스 소비량 232.6kW급 소형 가스엔진 열병합 발전시스템의 안전기준안을 도출하였다.

(1) 발전시스템은 엔진, 믹서, 스톱밸브, 발전기 등으로 구성되어 엔진의 출력을 이용하여 교류전류를 발전하는 역할을 한다. 해당 시스템에 발생할 수 있는 이물질 유입, 연료가스 누출, 엔진 손상 등으로 인한 위험을 방지하기 위해 가스필터 설치하도록 하고 필터의 성능을 지정하였으며, 가스 누출을 감지하여 자동으로 정지하거나 엔진 출력과 회전수를 모니터링하여 자동으로 정지하도록 안전기준을 개발하였다.

(2) 냉각시스템은 냉각수 펌프, 열교환기 등으로 구성되어 전체 시스템의 온도를 관리한다. 냉각수 부족, 냉각수 과열 등으로 인한 위험을 방지하기 위해 냉각

수 잔량은 쉽게 확인할 수 있는 구조로 지정하고 냉각수 온도가 지정한 온도를 초과하여 상승하거나, 냉각수와 열교환된 온수의 온도가 100℃를 초과하기 전에 시스템이 차단되도록 안전기준을 개발하였다.

(3) 유회시스템은 오일 탱크, 필터, 펌프 등으로 구성되어 시스템의 유회, 밀봉, 냉각, 세정, 방청의 역할을 한다. 유회유 부족 및 과열로 인한 위험을 예방하기 위해 시스템은 유회유의 압력, 온도를 모니터링 하여 이상이 발생할 경우 정지해야 한다. 다만 냉각수 온도로 유회유 온도를 제어하는 경우 냉각수 온도 모니터링으로 대체할 수 있도록 하였다. 또한 유회유가 과열되어 overflow 되는 경우에도 시스템은 drain을 통해 안정적으로 동작하거나 시스템이 정지하도록 안전기준을 개발하였다.

(4) 배기시스템은 국내·외 관련 기준과 부합화 하여 일산화탄소 농도 1,000ppm, 질소산화물 농도 10ppm 이내로 규정하고, 배기가스 온도는 260℃ 이내로 하는 안전기준을 개발하였다.

본 연구결과를 바탕으로 향후 국내에 설치될 수 있는 소형 가스엔진 열병합 발전시스템의 안전성을 제고하고, 안전기준을 규격화하여 해당 제품의 보급 및 상용화를 지원할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2018년도 정부(중소기업청)의 재원으로 WC300 프로젝트 기술개발지원사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(No.S2563281, 소형 분산 열병합 발전시스템 개발)

REFERENCES

- [1] Oh, S. S., Low-carbon heating and cooling policies in Europe and the role of regional heating and cooling, Korea Energy Economics Institute, Korea, (2020)
- [2] Kim, N. Y., and Lee, S. K., China's power system reform, Korea Energy Economics Institute, Korea, (2021)
- [3] 3rd Energy Master Plan, Ministry of Trade, Industry and Energy, Korea, (2019)
- [4] Kim, S. Y., Kim, M. W., Lee, E. K., and Lee, J. W., "A Study on the Safeth Management Methods of Micro-Gas Engine Combined Heat and Power System", Journal of the korean institute of gas, 22(6), 76-89, (2018)
- [5] EN 50465, "European Product Standard for combined Heating Power System using Gas Fuel" European Norm, (2015)
- [6] JIA F 025-06 "Regulation for Small Gas Engine Combined and Heat Power System Inspection", Japan Gas Appliances Inspection Association, (2009)
- [7] KS B 8912, "Domestic Combined Heat and Power Generator using Internal Gas Combustion Engines - Performance Test Methods", Korean Agency of Technology and Standards, (2016)
- [8] 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)
- [9] KS B 8914, "Combustion gas engine cogeneration system Electrical output greater than 20 kW and less than 50 kW", Korean Agency of Technology and Standards, (2018)
- [10] KGS AB136, "Facility/Technical/Inspection Code for Manufacture of Gas Stirling Engine heat and power Boiler", Korea Gas Safety Corporation, (2018)
- [11] KGS AA112, "Facility/Technical/Inspection Code for Manufacture of Gas Engine Heat Pumps Using High-pressure Gases", Korea Gas Safety Corporation, (2020)
- [12] Choi, J. J., Park, H. C., "The Experimental Evaluation and Verification of a 300kW small Engine Cogeneration System", The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, 332-337, (2009)
- [13] Lee, J. H., Kim, Y. M., Choe, Y. H., Sin, D. S., Choe, M. H., Min, G. H., Choe, B. C., Lee, C. H., and Sin, D. H., "Development of 350kW gas engine power generation system using LFG", The Korean Society for New and Renewable Energy, 276-285, (2005)
- [14] Ghaedi, A., Gorginpour, H., and Noroozi, E., "Operation Studies of the Power Systems Containing Combined Heat and Power Plants", Journal of Operation and Automation in Power Engineering, 9(2), 160-171, (2021)
- [15] Son, H. S., Kim, D. H., Bang, H. S., "Study on the development and Field Application Tests of a Class Package Type Gas Engine Co-generation System", The Korean Society of Mechanical Engineers, 761-766, (1999)
- [16] Kim, M. S., Baik, Y. J., Park, S. R., and Ra, H. S., "Observation Studies on Field Operation of a

Exhausted Heat Recovery System for a 300 Class Small Gas Engine Cogeneration System”, Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigerator Engineering, 22(5), 248-257, (2010)

- [17] EN 12309, “Gas-fired sorption appliances for heating and/or cooling with a net heat input not exceeding 70kW” European Norm (2014)
- [18] Special Law on Air Environment Improvement in Air Management Areas, Congress, Korea, (2021)