

DME를 이용한 농업용 온풍기와 발전기의 성능 및 배출가스 특성 연구

김신^{1†} · 민경일¹ · 박천규¹ · 이현찬² · 나병기³

¹한국석유관리원 석유기술연구소, ²한국가스공사 연구개발원, ³충북대학교 화학공학과

Performance and Emissions Characteristics of Agricultural Generator and Air Heater using DME Fuel

SHIN KIM^{1†}, KYOUNIL MIN¹, CHEUNKYU PARK¹, HYUNCHAN LEE², BYUNGKI NA³

¹Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality and Distribution Authority
Chugju-Si, Chungcheongbuk-do, 28115, Korea

²DME Research Team, R&D Division, Korea Gas Corporation, 364 Songdo-dong, Yeongsu-gu,
Incheon-city 406-840, Korea

³Department of Chemical Engineering, Chungbuk National University 12 Gaeshin-dong
Heungduk-ku cheongju chungbuk 361-763, Korea

Abstract >> Electric or hydrogen energy source is expected to solve a various issues including energy security and exhaust pollution. However, it is required a lot of time and a variety of development to apply for commercialization. Therefore, it is needed to translation fuels between the future and the present. DME (Dimethyl Ether) can play a reduce exhaust emission from medium- to heavy-duty engines that are mostly used in commercial sector. It have applied to the DME fuel as a various alternative fuel including power generation in many countries. Especially, it is necessary to secure the energy of energy-poor areas that are widely distributed around the world. And Korea also has the energy-poor areas due to geographical characteristics. These areas has been covered by their own energy through some small diesel generators, diesel boiler *etc.* If DME fuels are supplied in new demand such as rural sector with energy poor area, DME fuel will be available in the wider sector. In this study, it investigated performance and emission characteristics of agricultural generator and air heater using DME fuel. So the existing equipment of generator and air heater was modified to apply DME fuel. And combustion characteristics and properties of exhaust gas according to the contents of the DME fuel were evaluated. DME fuel showed a potential application in agricultural generator and air heater.

Key words : DME(Dimethyl Ether), Generator(발전기), Air Heater(온풍기), Load Bank(부하공급장치), Energy-poor areas(에너지빈곤지역), Butane(부탄), Propane(프로판), LPG(액화석유가스)

Nomenclature

[†]Corresponding author : shinnala@kpetro.or.krr

Received : 2016.7.11 in revised form : 2016.8.11 Accepted : 2016.8.30

Copyright © 2016 KHNES

DME : Dimethyl Ether

BD : Biodiesel

THC : Total Hydrocarbon

Subscripts

C ₁₋₄	: Methane, Ethane, Propane, Butane
CO	: Carbon Monoxide
CO ₂	: Carbon Dioxide
CNG	: Compressed Natural Gas
LPG	: Liquefied Petroleum Gas
NO _x	: Nitrogen Oxides
Nm ³	: Normal Cubic Meter

1. 서 론

최근 경제성장에 필요한 에너지원 확보를 위하여 국가별 상황에 맞는 정책을 시행하고 있는데, 국내·외에서 기존 석유에너지를 대체할 수 있는 석유대체 연료는 에너지원 다변화, 에너지 믹스, 에너지 안보 및 자립화 등의 필요성에 따라 개발되고 있다. 또한 상용화되거나 개발 중인 석유대체연료의 보급 활성화를 위하여 국가적 차원의 의무화 정책이 시행되고 있으며 국내에서도 소비되는 경제활동의 에너지원 확보를 위하여 석유대체연료 개발에 박차를 가하고 있는 실정이다¹⁻⁴⁾. 또한 인구의 급격한 증가와 산업화는 환경오염을 부산물로 발생시키고 있으며 그 피해는 다양하게 나타나고 있다. 특히 산업의 가속화를 통한 환경오염은 한 국가만의 문제가 아닌 주변 국가에 영향을 미치는 지구촌 전체의 문제로 환경오염에 대한 관심은 전 세계적으로 확산되고 있다. 지구 온난화 문제에 영향을 미치는 수송 분야의 비율은 약 17%정도이며 그 중 육상이 11%, 해상이 3%, 항공이 3%를 차지하고 있다. 이러한 환경오염에 대한 문제는 수송부문의 연료전환을 통하여 해결될 수 있을 것으로 인식되고 있다¹⁻⁴⁾. 향후 미래의 에너지원으로서 이상적으로 오염물질 배출이 제로이거나 기존 연료와 비교하여 상당량 배출가스를 감소시켜야 하기에 다양한 국가에서는 천연가스(압축천연가스, CNG), 액화석유가스(LPG) 및 메탄올과 같은 대체연

료들을 고려하고 있으며 특히, 경유 대체연료로서 디메틸에테르(dimethyl ether: DME)에 대한 다양한 가능성을 검토하고 있다³⁾.

에너지원 확보와 더불어 대기 오염물질의 저감은 다양한 국가들이 대체연료를 개발하는 주요한 원인 중 하나이며 이러한 이유로 전기 및 수소 자동차가 수송 부문의 오염물질을 상당량 해결해 줄 것으로 믿고 있다. 하지만 이러한 연료들을 수송부문에 상용화하기까지는 많은 시간이 필요할 것으로 판단되고 있으며 상용화된다고 하더라도 소형 또는 중소형엔진에만 적용 가능할 것으로 추정하고 있다. 따라서 수송 부문에서 가장 많은 비중을 차지하는 중급 및 중장비 엔진으로부터의 배기배출을 감소시키기 위해서는 보다 다른 기술 및 연료의 보급화가 필요한 실정이다. 국내외 전문가들은 경유 대체연료로서의 디메틸에테르가 미래에너지 상용화 이전 단계의 연료로서 가장 큰 역할을 담당할 수 있을 것으로 추정하고 있다³⁾. DME 연료에 대한 다양한 연구는 국내뿐만 아니라 국외에서도 빠르게 추진되고 있으며 이와 관련된 몇몇 실증평가 연구는 사업화로 추진되고 있다.

다양한 국가에서는 DME 연료의 장점을 살리기 위해 다양한 분야에 적용성을 검토하고 있으며 일부 국가에서는 발전용으로 추진하고 있다. 우리나라의 경우, 지역적 특성으로 인해 도서산간지역의 에너지 빈곤지역이 다양하게 분포하고 있어 에너지 자립을 목적으로 일부 소규모 디젤 발전기, 디젤 보일러 등으로 에너지를 충당하고 있다. 이러한 분야에 적용되고 있는 디젤 발전기 및 온풍기를 대상으로 DME 전용으로 전환 또는 적용하기 위하여 설비를 개조하였으며 이를 통한 성능 및 배출가스 특성 등을 수행하였다. 따라서 본 연구에서는 새로운 DME 연료의 설비 개조, 성능평가의 적합성, 오염원의 배출정도 등을 평가하여 국내 석유대체연료 보급 활성화에 필요한 다양한 기초자료를 확보하고자 하였다.

2. 실험

2.1 평가시료

DME 전용 장비의 성능과 배출가스 특성을 평가하기 위해서는 기본적으로 DME 연료의 다양한 물리·화학적 성질 변화가 어떠한 성능과 배출가스에 영향을 미치는지 확인되어야 한다. 하지만 수많은 온도 변화에 따른 평가는 한계가 있어 대표적으로 국내 유통 인프라가 적용될 것으로 가정하여 액화석유가스(LPG)와의 혼합 조건으로 연료를 선정하였다.

액화석유가스는 프로판과 부탄의 일정비율로 혼합된 연료로서 계절별 혼합비율이 다르게 관리되고 있다. 하지만 본 평가에 이용되는 장비는 대부분 난방용으로 사용될 것으로 판단, 겨울철 기준의 평균값으로 프로판 30 mol%, 부탄 70 mol%의 비율로 선정하였으며 이를 부피로 환산할 경우, 약 25 vol% : 75 vol%가 된다. 발전기의 경우, DME 연료가 가지는 운할성 문제를 고려하여 제작사가 제시한 운할성 첨가제(BD) 1 vol%를 혼합 사용하였다. 따라서 DME 전용 온풍기의 경우, 액화석유가스를 일정비율(0 부피%, 10 부피%, 20 부피%) DME에 혼합하였으며 DME 전용 발전기의 경우, 운할성 첨가제를 1 vol% 혼합을 제외하고 온풍기와 동일한 부피로 혼합하여 평가하였다.

2.2 실험장치 및 평가조건

2.2.1 실험장치

2.2.1.1 DME 전용 온풍기

DME 전용 온풍기는 3만 Kcal/h 급으로 제작되었으며 온풍기 구동은 액화된 DME 연료를 기화시켜 가스 상으로 전환, 연소를 통해 발생된 열량으로 공기를 데워 1 kW급 용량 팬으로 데워진 공기를 외부로 배출시키게 된다.

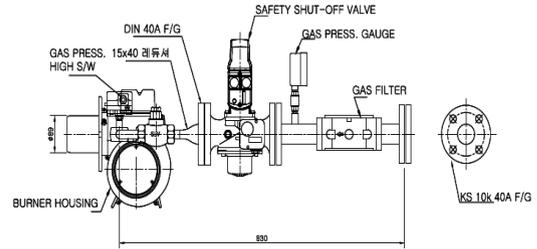


Fig. 1 DME Burner of Air Heater

Table 1 Specification of experimental DME burner

Fuel Consumption (Nm ³ /h)		Capacity (Kcal/h)		Port Size (inch)	Fan Motor (W)	Gas Pressure (kPa)
Min	Max	Min	Max	3/4"	40	2~2.5
3	5	25,000	50,000			

Fig. 1, Table 1은 온풍기의 핵심인 버너의 구조와 사양을 보여주고 있다. 2 kPa의 압력으로 공급된 연료는 가스필터, 가스압력계, 버너로 이동하여 불꽃점화에 의하여 연소하여 열량을 발생시키게 된다.

또한 배출되는 열풍은 KS B 6311에서 규정된 송풍시험 장치를 추가로 연결하여 풍속 및 온도 측정을 통해 열량을 산출한다. Fig. 2에서와 같이 송풍시험 장치는 농업기계 검정방법(농업용 난방기)와 동등수준으로 제작하였으며 이러한 송풍시험 장치는 온도, 풍량 측정이 가능하며 데이터 수집 장치와 연결되어 실시간 분석·저장이 가능하도록 하였다. 온풍기와 토출구와 송풍관을 연결하여 1 kW급의 열풍은 송풍관을 통과하면서 위치별 온도와 토출면적, 평균풍속 등을 읽어 난방능력을 계산하게 된다.

2.2.1.2 DME 전용 발전기

DME 전용 발전기는 25 kW급으로 제작되었으며

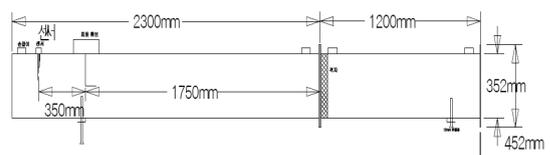


Fig. 2 Blower Test Equipment

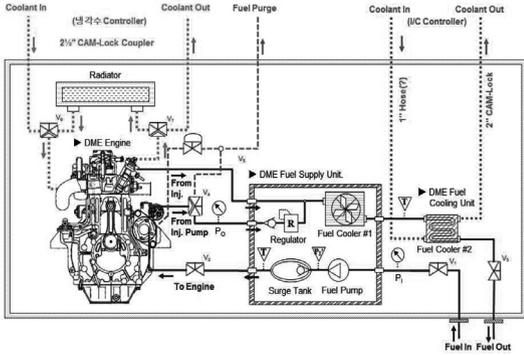


Fig. 3 Fuel Flow Diagram of DME Generator

기계식 엔진형식으로 액화된 DME 연료를 연소하여 전력을 생산한다. 생산된 전력은 일정한 부하를 통해 모두 소진되며 5가지 부하조건에서 평가를 수행하였다. 충분한 예열의 기준을 설정하기 위하여 온도유지 장치인 즉, 냉각수에 센서를 달아 온도가 70°C가 유지되는 시점을 안정화 구간으로 판단, 이후 부하구간 별 배출가스를 측정하였다.

측정방법은 ‘KD2-5모드’ 발전용 엔진에 적용하고 있는 부하별 측정방식을 인용하여 평가하였으며 부하는 25 kW에서 100% (25 kW), 74% (18.5 kW), 50% (12.5 kW), 24% (6.0 kW), 10% (2.5 kW)로 평가를 수행하였다⁵⁾.

Fig. 3, Table 2는 DME 발전기의 연료 흐름도와 사양을 보여주고 있다. 액상으로 공급된 DME 연료

Table 2 Specification of DME generator engine

Items	Specification
Model	HMC D4AF-G Diesel Engine
Engine Type	In-line SOHC
Displacement/ Cylinder No	3,568 cc / 4EA
Fuel Injection Pump	Bosch PES4A Type (In-line Pump)
Injection System	Crankshaft Driven Mechanical Control
Injection Type	DI (Direct Injection)
Fuel Consumption	N/C = 18 L/h
Feul Temp Control	Air & Water Cooling
Exhaust Gas Sampling	Exhaust Manifold

는 압력장치의 연료펌프와 서지탱크를 통해 일정하게 연료를 공급하게 되며 미 연소된 연료는 공급장치를 통해 연료탱크로 순환하게 되는데 피드백 과정에 발생하는 연료압력 변화를 최소화하기 위하여 레귤레이터와 냉각시스템이 장착되어 있다. 또한 DME 연료의 특성상 내구성이 강한 부품의 교체를 통하여 초기 설정된 압력과 온도가 일정하게 유지될 수 있도록 제작하였으며 연소과정에 발생하는 열은 피드백 연료에 높은 열을 전가하기 때문에 냉각장치(공냉 및 수냉 등)를 통해 적정온도(30~35°C)를 유지시켜 주는 장치를 설치하였다. 인라인펌프 및 인젝터 연료 안아웃 포트 및 라인재질은 고무(Rubber)에서 SUS Tube fitting으로 변경하였으며 인젝터 노즐 개변 압력은 200(~220) bar에서 100(~110) bar로 변경하였다. 또한 고무링은 모두 NBR에서 HNBR로 변경, 엔진부하의 자동측정을 위하여 기계식 브란자에서 전자식 브란자로 교체하였다.

2.2.2 배출가스 분석시스템

배출가스 측정은 DME 전용 온풍기발전기가 각각의 부하 또는 일정조건에서 운전될 때 배기관으로부터 배출되는 가스를 분석장치(HORIBA사 MEXA series)와 연계하여 CO, THC, NOx, CO₂, CH₄를 분석할 수 있었다. 분석원리는 CO 및 CO₂가 비분산적외선분석법(NDIR, Nondispersive Infrared), THC는 열식불꽃이온화검출기법(HFID, Heated Flame Ionization Detector), NOx는 화학발광법(CLD, Chemiluminescence Detector), CH₄는 GC-FID (Gas chromatography-FID)을 사용하였다.

2.2.3 평가조건

2.2.3.1 DME 전용 온풍기

20 kg 용기에 충전된 DME 또는 다양한 순도의 연료를 완벽하게 기화시키기 위하여 기화기의 설정온도를 60°C로 하였으며 기화된 연료의 압력을 일정하

계 유지시켜 주기 위하여 2단계의 정압시스템을 설치하였다. 먼저 기화기를 통과한 기체상 연료는 1단계의 정압기에 의하여 50 kPa이하의 압력으로 조정되며 이후 연소버너 전 단계에서 2 kPa으로 조정하여 DME를 공급하게 된다. 공급압력을 2 kPa 이상으로 조정할 경우, 과잉공급으로 인하여 상당히 높은 농도의 CO, CO₂, THC가 나타났으며 보다 낮은 압력을 공급할 경우 희박한 연료공급으로 적정수준 이하로 나타났다. 추가적으로 배출가스 농도(산소의 농도)를 약 11%(±0.4)로 유지하였으며 송풍관의 피토크 및 온도를 통한 열량은 약 44,000 Kcal/h (±2,000)으로 설정하였다.

2.2.3.2 DME 전용 발전기

용기에 충전된 DME 100%(유효성 향상제 1 vol% 포함) 또는 다양한 순도의 연료를 DME 전용 공급장치(피드펌프, 어쿨물레이터 등)에 연결하여 엔진으로 공급되며 공급압력은 1.0±0.1 MPa으로 미 연소된 DME 연료는 리턴라인을 통해 DME 연료통으로 피드백 되며 압력은 0.5±0.1 MPa으로 공급과 리턴압력의 차이가약 0.4-0.6 MPa가 되도록 유지시켰다. 발전기 내 DME 연료의 연소 과정에 발생하는 온도의 상승(피드백 연료 및 엔진 내부)은 엔진동력계 냉각수 시스템을 통하여 온도를 일정하게 유지시킬 수 있도록 냉각시스템으로 연결하였으며 온도조절을 통해 70°C로 안정화될 경우 평가를 수행하였다. 또한 운전모드 및 부하구간은 5포인트로 설정하였으며 로드뱅크를 통해 발전기에서 생산되는 전력(kW)은 모두 소진하는 부하조건으로 평가를 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 연료물성

온풍기, 발전기의 운영에 필요한 DME 연료의 특성을 Table 3에 나타내었다. 이는 한국가스공사에서 생

Table 3 Characteristics of DME fuel

Items	Results
DME Purity (wt%)	99.67
CO ₂ (wt%)	0.06
Methanol (wt%)	0.01
Methyl Formate (wt%)	0.02
Ethyl Methyl Ether (wt%)	0.14
Hydrocarbon (~C4, wt%)	0.09
Sulfur (mg/kg)	1↓
Water (wt%)	0.01↓
Residues (wt%)	0.01↓
Copper Corrosion (40°C, 1h)	1↓
High heating value (MJ/kg)	32
Low heating value (MJ/kg)	29

산된 DME 연료의 순도를 보여주고 있으며 이를 기초로 액화석유가스(LPG)의 혼합비율 조절(10 부피%, 20 부피%)에 따른 배출가스 특성을 평가해 보았다.

3.2 배출특성

3.2.1 DME 전용 온풍기

DME 전용 온풍기를 통해 측정된 결과 중 탄화수소화합물(THC)은 검출되지 않았으며 이는 버너를 통해 연소된 공기와 연료의 비율이 적정수준으로 연료를 모두 소모시킨 것으로 추정하고 있다. 자동차 연소 이론으로 탄화수소화합물의 발생 원인을 확인한 결과 대부분 이론공연비에서 농후한 영역으로 이동할수록 탄화수소화합물 농도가 급격히 증가한다. 반대의 경우로 희박한 영역의 이동을 통해 불완전연소, 실화(Misfire)에 의해 탄화수소화합물이 발생될 수도 있다. 이러한 원인 외에도 다양한 탄화수소화합물의 발생 원인이 있으나 가장 큰 영향은 이론공연비 즉 공기와 연료의 적정비율에 의해 나타나는 것으로 알려져 있다^{4,6)}.

따라서 평가 과정에 발생된 충분한 열량과 안정적인 연소는 희박영역에서의 불완전연소나 실화가 발생되지 않았음을 확인할 수 있었으며 농후한 연소로

인한 탄화수소화합물은 발생되지 않는 것으로 나타났다. 이산화탄소(CO₂)의 경우, 6.97%으로 나타났으며 이산화탄소 또한 공연비에 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 하지만 농후 또는 희박한 영역에서의 이동을 통한 배출가스 증가와는 달리 적정 이론 공연비에서 높은 이산화탄소를 배출하는 것으로 알려져 있다^{4,6)}. 따라서 이산화탄소를 저감시키는 가장 효율적인 방법은 연료 사용량을 줄이는데 있으며 DME의 경우 화석연료와 달리 두 개의 탄소와 하나의 산소로 이루어져 있기 때문에 보다 낮은 이산화탄소를 배출했을 것으로 추정하고 있다. 일산화탄소(CO)의 경우, 2.74 ppm으로 나타났으며 이 또한 공기와 연료의 혼합비에서 가장 큰 영향을 받는다. 일산화탄소는 희박한 공연비 영역에서 발생 농도가 낮은 반면 농후한 공연비 영역에서는 일산화탄소가 높게 발생된다. 특히, 연소에 필요한 산소가 부족할 경우, 불완전 연소에 의해 발생될 가능성이 높다⁶⁾. 질소산화물(NOx)의 경우, 27.2 ppm으로 나타났다. 질소산화물 형성에 영향을 미치는 중요한 요소는 공기 연료비, 희석가스비, 점화시기 등이 있으며 공기연료비 영향으로는 약간 농후한 영역에서 높게 나타나는 하지만 상대적인 산소함량의 부족으로 질소산화물 형성을 억제하기도 한다. 반대로 희박영역에서는 풍부한 산소의 영향으로 연소온도의 증가와 함께 질소산화물을 증가시킨다. 또한 미 연소가스가 연료가스와 공기 및 일부 연소된 가스에 영향을 미쳐 질소산화물 발생을 제어한다. 따라서 배기가스 중의 산소농도 및 연소 압력 또는 온도 조절을 통해 일정수준의 질소산화물 형성을 억제할 수 있다^{4,6-7)}.

Table 4 Emission gas of DME 100 in air heater

	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	Test Conditions	
				O ₂ (%)	Quantity of Heat (Kcal/h)
Results	6.97	2.74	27.2	11.03	44,780

Set vaporization temp at 60°C, Set supply pressure at 2 kPa.

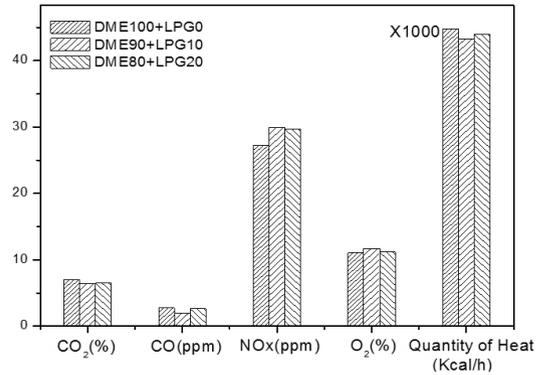


Fig. 4 Emission gas of DME/LPG mixtures in Air Heater

Fig. 4는 DME 100% 연료와 액화석유가스 혼합비율에 따른 배출가스 및 성능 변화를 나타내었다.

LPG 혼합비율이 증가할수록 DME 100% 연료 대비 질소산화물은 증가한 것으로 나타난 반면 이산화탄소와 일산화탄소는 감소한 결과로 나타났다. 앞서 논의된 바와 같이 이산화탄소와 일산화탄소의 배출정도는 공연비와 관련성이 높은 것으로 알려져 있다^{4,6,9)}. 먼저 이산화탄소의 경우, 연소율(완전연소)이 높을수록 이산화탄소가 증가하는 기본적 이론을 통해 DME 100% 연료에 맞춰진 조건으로 LPG 10%, 20% 혼합연료를 연소할 경우 보다 낮은 연소율(낮은 이산화탄소 배출)이 나타난 것으로 판단된다. 이와 함께 평가조건에서의 열량 변화를 보면 DME 100%에서는 약 44,700 Kcal/h의 열량을, LPG 10% 혼합연료에서 43,200 Kcal/h, LPG 20% 혼합연료에서 43,993 kcal/h를 발생시킨 것으로 나타났다. 즉 연소율이 높았던 DME 100%에 비해 상대적으로 낮은 열량을 나타낸 것으로 추정하고 있다. 온풍기의 열량은 기온, 습도 등 다양한 환경적 영향에 민감하기 때문에 정확한 결과라고 판단할 수는 없으나 본 평가에서는 열량이 높을수록 이산화탄소가 높은 비례적 관계로 나타났다.

일산화탄소는 일반적으로 농후한 연소 분위기 및 산소 함량 부족 등의 조건에서 불완전 연소에 의해 증가된다. 하지만 분자 내 산소를 함유한 DME 100%

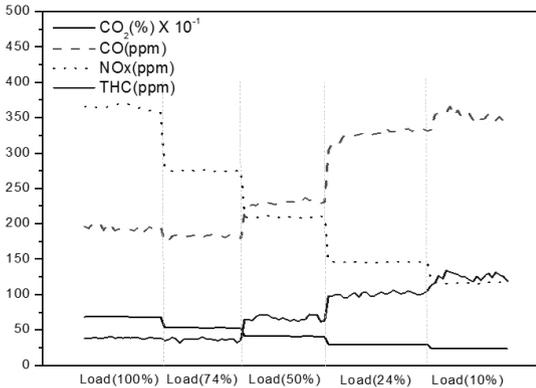


Fig. 5 Emission gas of DME+BD mixtures in Generator

연료에서는 오히려 높은 일산화탄소를 배출하였으나 발생된 열량을 고려할 경우, 오히려 DME 100%에서 연소가 잘 일어난 것으로 나타났다. 질소산화물과의 연계성을 고려할 경우, 높은 열량은 높은 질소산화물을 생성시킬 것으로 추정하였으나 반대로 DME 100%에서 낮은 배출량을 보였으며 이는 미 연소가스(일산화탄소 등)에 의한 질소산화물 생성 감소와 연계된 결과로 판단된다. 전반적인 결과를 보면 이산화탄소와 열량에서는 DME 100%에서 보다 높은 연소성을 보이는 반면 일산화탄소와 질소산화물의 결과에서는 오히려 불완전한 연소를 보인 것으로 나타났다. 따라서 LPG 혼합비율에 따른 뚜렷한 배출가스의 변화는 발생되지 않은 것으로 판단되며 단지 반복 또는 표준 편차 내 일정한 변화로 동등수준의 결과로 추정된다.

3.2.2 DME 전용 발전기

DME 전용 발전기를 통해 측정된 결과는 이산화탄소, 일산화탄소, 질소산화물, 탄화수소화합물이며 5구간의 부하조건을 통해 발생된 배출가스 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

DME 전용 발전기를 통해 DME 연료(99%+BD 1%)에 대한 평가를 수행한 결과, 부하가 감소할수록 연소율이 낮아지는 것으로 이산화탄소 배출량이 부하 감소와 함께 감소되는 것을 확인하였다. 일산화탄소

의 경우, 이산화탄소와는 반대로 부하가 감소할수록 단계별로 증가하는 것으로 나타났으며 이는 앞서 논의된 바와 같이 공기와 연료 혼합비에 의한 영향으로 부하가 감소할수록 불완전 또는 미 연소에 의하여 일산화탄소가 증가한 것으로 판단하고 있다. 탄화수소화합물 또한 동일한 원인으로 증가했을 것으로 추정된다^{4,6,8,10}.

질소산화물의 경우, 다양한 질소산화물 형성 조건 중 압력과 열량에 의한 Thermal NOx 형성이 가장 높은 것으로 알려져 있으며 부하가 감소할수록 점차 감소하는 것으로 보아 Thermal NOx에 의해 발생된 결과로 판단된다^{6,7}.

DME 연료의 순도 변화는 LPG 연료의 혼합 증가를 가정하였으며 모두 동일한 조건에서 평가를 수행하였다. 전반적으로 부하율이 증가할수록 이산화탄소와 질소산화물은 단계별로 증가하는 것으로 나타났으며 일산화탄소와 질소산화물은 부하 증가에 따라 단계별로 감소하는 패턴으로 나타났다.

Fig. 6(A)에서는 DME 연료와 DME+LPG 혼합 연료간의 연소에 의한 이산화탄소 배출경향을 비교한 그래프이다. DME99+BD1, DME89+LPG10 +BD1간 배출가스 변화는 전 부하구간에 걸쳐 변화의 폭이 작은 반면 DME79+LPG20+BD1에서는 전 부하구간에 걸쳐 보다 높은 변화를 보였다. 또한 부하가 증가할수록 혼합비율과 상관없이 높은 이산화탄소 배출하는 것으로 보아 연소율이 높아지는 것으로 판단된다. 일산화탄소의 경우는 Fig. 6(B)에서와 같이 LPG 혼합비율에 따라 일산화탄소가 증가하는 경향으로 나타났으며 부하가 증가할수록 일산화탄소 배출정도가 점차 감소하는 경향으로 나타났다.

일산화탄소는 앞서 논의된 바와 같이 농후한 연소 분위기에서 불완전 연소에 의해 발생할 가능성이 높다고 알려져 있다^{4,6}. 따라서 낮은 부하에서의 연소는 연료의 공급이 과하게 되며 이로 인해 미연소 또는 불완전연소에 의해 상대적으로 높은 일산화탄소를

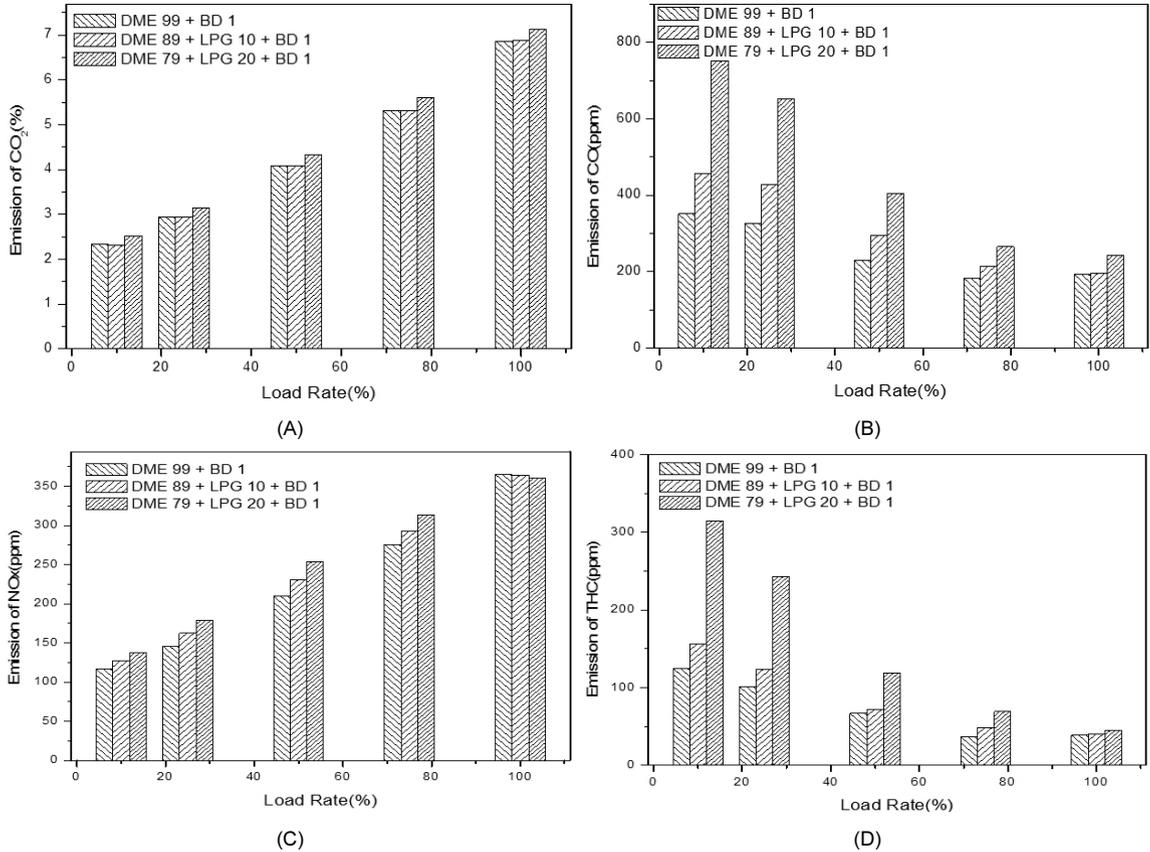


Fig. 6 Emission gas of DME/LPG mixtures in Generator

발생시킨 것으로 판단하고 있다. 또한 LPG 혼합비율이 높을수록 DME 전용 발전기에서의 연소는 불완전 또는 미연소 되어 일산화탄소를 높게 배출시키는 것으로 판단된다^{8,10}.

Fig. 6(C)는 DME+LPG 혼합비율에 따른 질소산화물의 배출농도를 나타내었다. 80% 부하 조건까지 LPG 혼합비율에 따라 뚜렷한 질소산화물의 증가로 나타난 반면 100% 부하조건에서는 오히려 LPG 혼합비율이 증가할수록 질소산화물을 미량 감소되는 것으로 나타났다. 이는 100% 부하를 제외하고 LPG 함량이 높아질수록 상대적 열량 차이에 의하여 발생된 결과로 판단하고 있으며 100% 부하에서는 최적화된 DME 발전기 시스템에서의 상대적 높은 연소에 의한 결과로 판단된다^{6,7}.

Fig. 6(D)는 DME+LPG 혼합비율에 따른 탄화수소화합물의 배출농도의 변화를 나타내고 있다. 부하가 증가할수록 LPG 혼합비율에 따른 상대적 배출농도는 감소하며 100% 부하에서는 거의 동등수준으로 나타났다. 탄화수소화합물 또한 연료의 공연비와 상관성이 높은 것으로 알려져 있으며 일산화탄소와 마찬가지로 농후한 연소 분위기에서 불완전, 미연소 되어 높은 탄화수소화합물로 배출시킨 것으로 판단된다^{4,6,8,10}.

4. 결 론

국내 DME 연료의 보급을 위한 적용성을 위하여 제작된 농업용 DME 온풍기, 발전기 각 1대와 한국

가스공사에서 생산된 DME 100%연료 그리고 공인 인증 표준물질(Certified Reference Material)로 제작된 DME-LPG 혼합물질 2종(10 부피%, 20 부피%)을 통해 DME 연료에 LPG 혼합에 따른 성능 및 배출가스 특성을 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) DME 전용 온풍기

DME 100%, DME에 LPG 혼합비율 10 부피%, 20 부피% 혼합연료를 통해 평가를 수행한 결과, 탄화수소화합물은 배출되지 않았으며 이산화탄소와 열량은 DME 100%에서 상대적으로 높은 연소율로 나타난 반면 일산화탄소와 질소산화물에서는 반대의 결과로 나타났다. 따라서 DME에 LPG 가 20%까지 혼합될 경우, 혼합비율에 따른 명확한 배출가스의 변화는 발생되지 않았다.

2) DME 전용 발전기

DME 99%+BD1%, DME+BD에 LPG 혼합비율 10 부피%, 20 부피% 혼합연료를 통해 평가를 수행한 결과, 부하(Load)가 증가할수록 일산화탄소와 탄화수소화합물은 감소하는 반면 질소산화물과 이산화탄소는 증가하는 경향을 보였다. 이는 높은 부하조건일수록 높은 연소율로 나타났으며 100% 부하조건에서 DME 연료의 함량이 높을수록 낮은 오염물질을 배출하였다. 또한 DME 연료에 LPG의 혼합비율이 증가할수록 불완전 또는 미연소에 의하여 배출가스가 증가하였다.

3) DME 전용으로 개조된 온풍기, 발전기를 통해 다양한 평가를 수행한 결과, DME 100% 연료를 사용할 경우, 가장 큰 연소효율 및 낮은 배출가스를 가지는 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 2015년 DME 연료의 보급 활성화를 위한 연구사업으로 “DME 공급, 설비운영 및 상용 법

령(안) 도출용역”으로 수행되었으며 한국가스공사 관계자분들께 깊이 감사드립니다.

References

1. J. K. Kim, E. S. Yim, and C. S. Jung, “Study on Comparison of global biofuels mandates policy in transport sector”, *New & Renewable Energy*, Vol. 7, No. 4, 2011, pp. 18-29.
2. S. N. Naik, V. V. Goud, P. K. Rout, and A. K. Dalai, “Production of first and second generation biofuels : A Comprehensive review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, 2010, pp. 578-597.
3. “Despite Potential as Automotive Fuel, DME Faces Stiff Competition from Cheap CNG“, *EC Regulation 582/2011 and Hart Energy Research & Consulting*, Hart Energy Publishing, LLLP, 2014.
4. “Review of prior studies of fuel effect on vehicle emissions”, *CRC Report E-84*, 2008.
5. 환경부, “제작 자동차 배출허용 기준·소음허용 기준의 검사방법 및 절차에 관한 규정 [별표11] KC-1 8 모드 측정방법”, 2008.
6. “Advanced Automotive Environmental Engineering”, *AutoEnv*, 2010, www.autoenv.org.
7. K. T. Lee, H. S. Cha, K. M. Chun, and S. H. Song, “Generating efficiency and NOx emissions of a gas engine generator fuelled with biogas”, *The Korea Society for New and Renewable Energy*, 2009, pp. 306-309.
8. S. H. Lee, S. M. Oh, Y. Choi, and K. Y. Kang, “Effect of n-Butane and Propane on Performance and emission characteristics of an SI engine operated with DME-blended LPG fuel”, *Fuel*, Vol. 90, 2011, pp. 1674-1680.
9. T. S. Lee, J. Y. Sung, and D. J. Park, “Experimental investigations on the deflagration explosion characteristics of different DME-LPG mixtures”, *Fire Safety Journal*, Vol. 49, 2012, pp.

- 62-66.
10. S. H. Lee, S. M. Oh, Y. Choi, J. H. Cho, and K. G. Cha, "Performance and Emission Characteristics of a DI Diesel Engine Operated with LPG/DME Blended Fuel", Transaction of Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 17, No. 5, 2009, pp. 53-60.