

열병합발전용 Dual Fuel Engine의 질소산화물 배출저감에 관한 연구

A Study on the Reduction of NO_x Emission from Dual Fuel Engine for Co-generation System

정 일 래 · 김 용 술 · 심 용 식

국립서울산업대학 산업대학원 환경공학과
(원고접수: 1991. 2. 22)

Il-Lae Chung, Yong-Sul Kim, Yong-Shik Shim

Dept. of Environmental Engineering Graduate School of Industry Seoul National Polytechnic University
(Received 22, February 1991)

Abstract

This study shows the correlation between NO_x emission in the exhaust gas and various operation factors of dual fuel engine for Co-generation system. General tendency was shown that the thermal efficiency was lowered by the change of operation factors. However these were not confirmed on this experiment. Increasing T4 temperature (exhaust gas temperature at turbo-charger inlet) reduces NO_x emission rate. The higher T4 temperature requires lower excess air as the excess air ratio is controlled by T4 temperature on gas mode operation. Another tendency was that NO_x emission rate is reduced in case of increasing boost air temperature, quantity of pilot oil or bypassing flue gas through the exhaust gas boiler. The diameter of the fuel injection nozzle was changed smaller than design value and the injection timing was readjusted. Thus NO_x emission rate could be reduced as retarding injection timing and changing hole diameter of fuel injection nozzle, however maximum engine out-put was decreased by changing fuel nozzle on the diesel mode operation.

1. 서 론

Co-generation system(이하 열병합발전이라 함)은 Total energy system으로서 Energy 이용율이 대단히 높고 상용, 비상용 전력을 공급할 수 있으며 특히 열과 전력이 같은 정도로 필요한 건물에서는 그 효율도가 대단히 높다. 열병합발전에서의 총연료 소비율은 타방법에서 열과 전력을 발생시킬 때와 비교하여 감소하게 되므로 대기로 배출되는 연소 Gas 량도 감소하게 된다. 따라서 연소 Gas와 함께 배출되는 오염물질의 양도 감소하게 되고 결국 대기오염 문제에 있어서 이점을 준다고 할 수 있다.

지난 1970년대 2차례의 oil shock 이후 Energy의 유효이용에 큰 관심을 갖게 되면서 대규모 열병합발전에 대한 경제성 문제가 제기되었고 대용량의 전력과 열의 수송은 수송을 위한 막대한 수송설비 비용과 수송손실을 수반하게 되어 이와 같은 문제점을 해결하는 방법으로 대규모 열병합발전에서 소규모 분산형 열병합발전 방식으로 발전하여 서독에서 최초로 Module화된 System이 상품화되면서 그 보급이 급격히 확대되고 있다. 조명제 등(1989)은 우리나라에서도 Energy 이용율이 높은 고효율 소규모 분산형 열병합발전의 개발과 적극적인 보급의 필요성을 인식하였으며 에너지경제연구원(1989)은 '90년대의 국제 Energy 시장구조는 전력공급 측면에서

열병합발전이 확대되어 소규모 전력생산자(Independent producer)가 다수 출현할 것으로 보고하였다. 이미 일본 및 구미 선진국에서는 소규모 분산형 열병합발전이 활용되고 있으며 실제 Energy 절약에 크게 기여하고 있는 실정이다.

일본은 '80년대에 소규모 분산형 열병합발전이 널리 보급되면서 대기오염에 미치는 영향이 연구검토되어 Diesel engine, Gas engine 및 Gas turbine의 연소특성상 배출량이 비교적 많은 질소산화물(이하 NO_x라고 함) 배출농도에 대하여 1988년 2월부터 규제하기 시작했으며, 우리나라는 1991년 2월부터 열병합발전시설을 배출시설로 신규적용하여 NO_x를 규제하고 있으나 배출허용기준이 일본과 같이 세분화되어 있지는 않다.

본 연구에서는 1988년에 설치하여 가동중인 잠실 롯데월드 소규모분산형 열병합발전시설(Dual fuel engine)의 LNG 운전시 운전조건을 여러가지로 변경하여 운전하면서 각각의 배출 Gas 중 NO_x 농도를

측정함으로써 운전조건 변화와 NO_x 배출농도 변화의 상관관계를 알아보았다.

2. 이 론

2.1 열병합발전(Co-generation system)

단일 또는 복수의 에너지 자원으로 부터 동일 시스템을 사용하여 heat pump 구동 등의 동력과 유효한 열을 생산하거나 또는 전력과 유효한 열을 동시에 생산하여 이용하는 시스템으로서 보통 發電과 排熱을 유효하게 이용할 수 있는 시스템을 열병합발전이라 하며 총 효율이 70~80%로써 에너지 이용율이 대단히 높은 것이 특징이다.

본 연구에 사용된 열병합발전 System flow를 그림 1에 도시하였으며 실제 우리나라 화력발전소의 사용연료시설별 효율을 비교하여 표 1에 나타내었다(에너지통계연보, 1990).

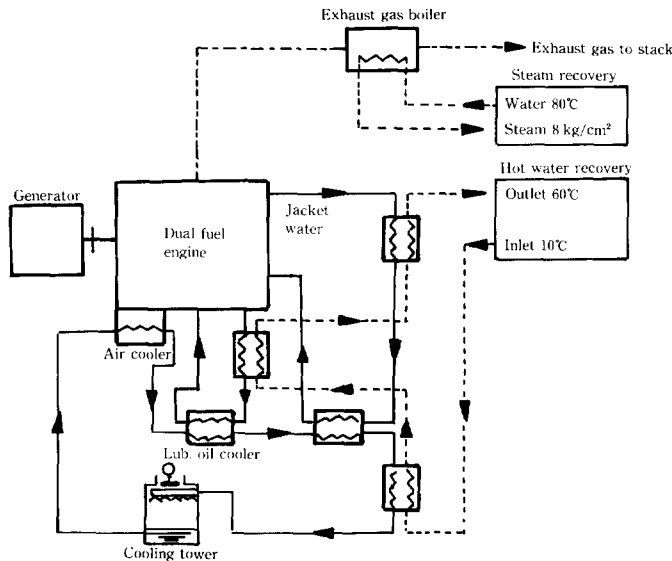


Fig. 1. System flow of dual fuel engine for Co-generation system.

Table 1. Thermal efficiency of various power plants.

(unit : %)

Item	Coal-mix	Heavy oil	KEPCO L.N.G	Internal combustion	Co-generation system
Electricity	36.30	38.25	36.65	34.87	39.44
Heat Recovery	—	—	—	—	28.47
Total	36.30	38.25	36.65	34.87	67.91
Prime Mover	Boiler & steam turbine			Diesel engine	DF engine*

*DF Engine denotes dual-fuel engine.

2.2 Dual Fuel Engine

Diesel engine 및 Gasoline engine은 단일연료를 사용하지만 Dual fuel engine(이하 DF engine이라고 함)은 두 가지 연료중 선택하여 사용한다. 즉 사용연료로서 Fuel oil 또는 LNG+Pilot oil(Min. 5%)을 선택할 수 있으므로 어느 한 쪽의 연료수급이 원활하지 못하여도 정상운전이 가능한 잇점이 있다. Gas transmission network에 의한 연료수급이 용이하고 단위발열량이 Fuel oil에 비해 높아서 실질적인 Cost가 낮기 때문에 Diesel engine을 개선하여 DF engine이 개발되었다. 부가하여 LNG를 사용함으로써 Cylinder 내부가 깨끗하고 윤활유를 오래 사용할 수 있으며 대기오염 저감에도 이익을 주고 있다(Obert, 1973).

DF engine의 중요한 특성은 다음과 같다.

Pilot Oil

LNG의 주성분은 Methane으로서 표 2에서 보는 바와 같이 발화온도와 임계압축비가 Fuel oil에 비하여 매우 높다. 일반적으로 Diesel engine은 Cylinder 內에 공기를 30 kg/cm² 정도의 고압으로 압축하여 공기온도는 500~550℃가 되고 그 공기중에 연료를 분사시켜 자연발화한다. 즉 외부로부터 점화되지 않고 즉시 연소하는 것으로서 일명 압축점화기관(Compression ignition engine)이라고 한다(김용성, 1975). 그러므로 Diesel engine을 개선하여 만든 DF engine(본 연구에 사용된 DF engine의 압축비 10.7)에 LNG를 사용할 경우 자연발화가 안

되므로 별도의 점화원이 필요하며 점화원으로서의 Pilot oil이 최소한 5% 이상 필수적이며 이는 연료 분사 Valve의 최소분사량에 해당되고 점화 및 화염 전파에 필요한 최소열 Energy level이다. Pilot oil로는 대부분 경유 또는 Bunker-A油를 사용한다.

운전부하

DF engine에서 LNG 사용에 따른 Governor 계통을 그림 2에 예시하였다.

Engine의 부하(Load)가 감소하였을 때 Governor는 Gas actuator로써 공급되는 Gas량을 감소시키며 동시에 최적의 공연비(AFR)를 유지하기 위하여 공급되는 공기량도 감소시킨다. 이때 일정부하 이하(본 연구실험에 사용된 DF engine은 35% Load인 2,100 KW setting)에서는 LNG 운전이 불가능하다. 액체연료는 순간적으로 정량적 비례제어가 가능하지만 기체연료는 공급 Gas량을 감소하더라도 이미 유입된 공기량 때문에 연료-공기 혼합 Gas가 희박하여져서 화염전파가 늦어진다. 또한 Cylinder 출구 배기 Gas 온도에 의하여 공기량이 조절되기 때문에 순간적인 시차에 의한 공연비(AFR)의 부정확성으로 부분 또는 전체적인 Miss-fire가 발생되어 정상적인 운전이 어려우며 아울러 배기계통에 가연성 Gas가 유출함으로써 폭발 위험성이 존재하므로 이를 방지하기 위한 것이다(Obert, 1973). DF engine은 시동하여 약 35% Load에 도달할 때까지 그리고 35% Load에서부터 정지할 때까지는 Fuel oil을 사용할 수 밖에 없다(Grabbe et al., 1987).

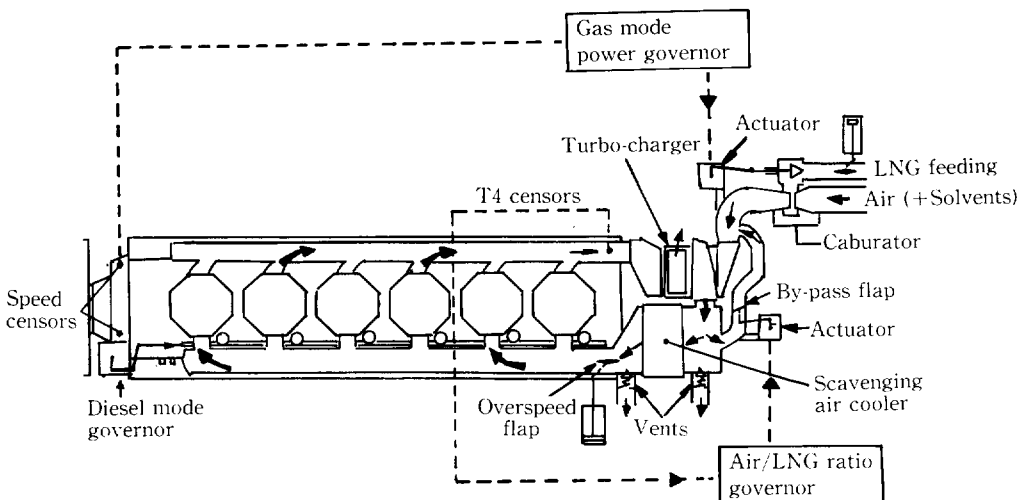
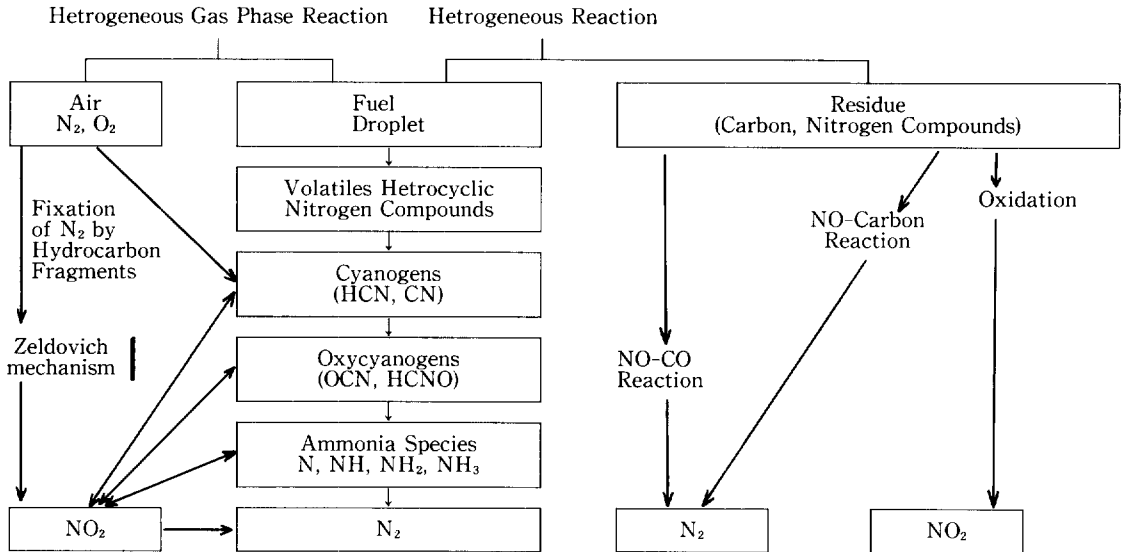


Fig. 2. Schematic diagram of Gas feeding and governing system for DF engine.

Table 2. Properties of fuel gas and oil.

Item	FUEL GAS					FUEL OIL
	Methane	Ethane	Propane	i-Butane	n-Butane	
Ignition temperature (°C)	732	504	481	477	430	300~450
C.C.R.*	12.6	12.4	12.2	8.0	5.5	8~11

*C.C.R denotes critical compression ratio. **Data from ASTM.

**Fig. 3.** Schematic diagram of NO_x formation mechanism.

정석진(1990)은 연소시 생성되는 NO_x 는 반응된 질소의 기원과 이 질소를 산화시키는 화학반응에 의해 Thermal NO_x , Fuel NO_x 및 Prompt NO_x 로 구분하였으며 Fuel NO_x 생성도를 그림 3과 같이 제시하였다.

2.3 Diesel engine의 NO_x 저감방법

DF engine의 연소과정은 Diesel engine과 흡사하므로 Diesel engine의 NO_x 저감방법을 DF engine에 적용할 수 있다. Diesel engine의 NO_x 저감방법은 Thermal NO_x 를 억제하는 것이라고 하여도 과언이 아니다. Engine의 연소형태는 Cycle적 폭발연소로서 연소화염온도가 1,800 °K 이상으로 매우 높으며 공기과잉율이 높은 연소특성때문에 Boiler와 같은 연속연소장치와 비교하여 Thermal NO_x 의 생성율이 매우 높다. 주연소 기간중 연소온도가 높고 고온 지속시간이 길며 산소과잉 상태에 있으므로 그 기간에 대한 연소형태 제어가 Diesel engine에 있어서의 NO_x 저감방법이다. 즉 연소온도를 저하시키고 과잉공기를 제어하여 연소를 완만하게 하는 것이다.

그러나 그것은 Diesel Engine에 부여된 명제이며 저연비 고효율을 달성하는 것과 상반되는 것이다. 그러므로 저연비를 유지하면서 저 NO_x 화를 이룩하는데 어려움이 있다. Obert(1973)는 SI engine으로부터 NO_x 저감을 위한 운전조건은 압축비, Boost air 온도와 압력, 운전속도 및 공기비를 감소할수록 좋으며 또한 연료분사시기를 늦출수록 NO_x 배출농도는 저하된다고 하였다. Diesel engine의 NO_x 저감방법과 그에 따른 문제점을 그림 4에 제시하였다(Nagai, 1987).

3. 실험

3.1 실험용 Engine

실험에 사용한 Engine은 France SEMT PIEL-STICK(社)에서 설계하고 일본 Niigata(社)에서 제작한 14PC2-5V 400 DF engine이며 주요 제원은 표 3에 제시하였다.

3.2 사용연료

Pilot oil은 한국 H정유(社)의 저유황경유를 사용

하였고 LNG는 한국 D 도시가스(社)에서 공급하는 것을 사용하였다. 각각의 성분조성은 표 4, 표 5에 예시하였다.

3.3 실험방법

실험은 DF engine을 직접 이용하여, 표 6에서 보는 바와 같이 T4 온도와 Injection timing, Pilot oil 量, Injection nozzle의 직경크기 및 연소용 공기온도 등의 Factor를 설계치와 여러 실험치로 나누어

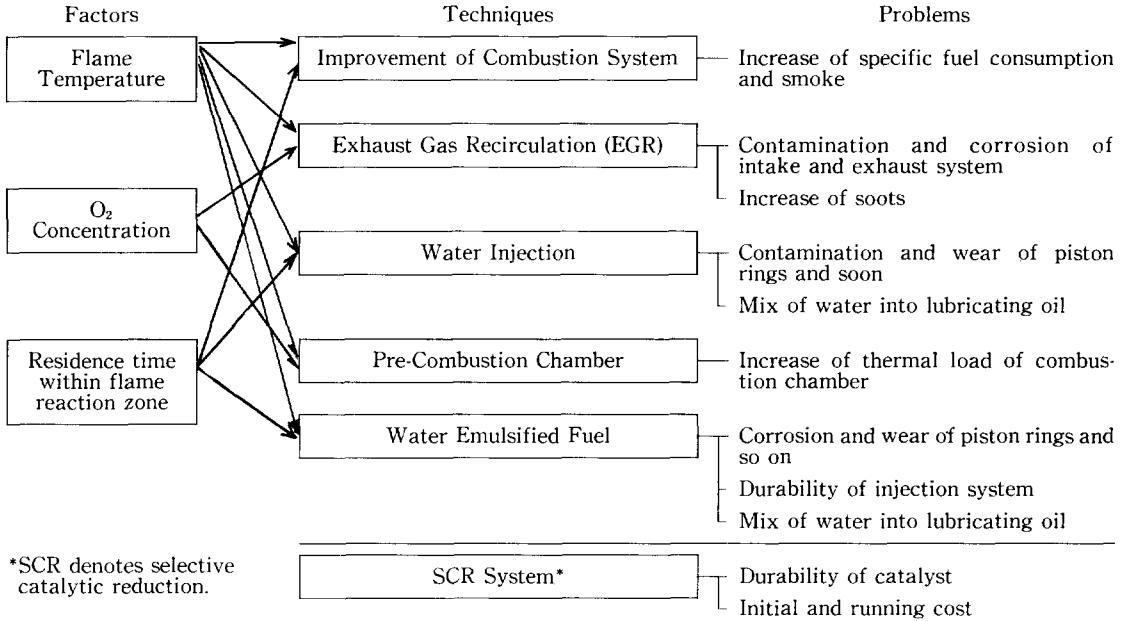


Fig. 4. Reduction method of NO_x emission from diesel engines.

Table 3. Engine specification.

Number of cylinder	Bore (mm)	Stroke (mm)	Volume of stroke (liters)	Volume of combustion (liters)	Compression ratio	Speed (rpm)	Power (ps)	Generator out put (KW)
14	400	460	57.81	5.59	10.7	514	8,400	5,900

*Operating cycle: four-stroke cycle, single acting and V type.

Table 4. Typical analysis of low sulfur diesel oil.

C (wt. %)	H	ash	N	S	Na, K (ppm)	Ca (ppm)	Gross heating value (kcal/kg)
85~86	12~13	0.001	0.07~0.08	0.4>	1	0.04	10,800~11,100

Table 5. Typical analysis of Liquefied natural gas.

Methane (mole %)	Ethane	Propane	i-Butane	n-Butane	N ₂	Gross heating value (kcal/Nm ³)
88.62	9.09	1.62	0.24	0.31	0.12	10,513.9

Table 6. Changing method of the operation factor.

Description	Design	Experiment	Method
T4 Temperature (°C)	580	570, 580, 590	Readjusting set-point of T4 temperature controller for ARC*
Injection timing (BTDC deg. CA)	15	14, 15, 16	Readjusting height of adjust bolt for fuel injection pump
Pilot oil quantity (wt. %)	7	7, 8, 9	Readjusting rack scale of fuel injection pump
Injection nozzle (Dia. of hole, mm)	0.55	0.50	Changing nozzle
Boost air temp. (°C)	30	40	Decreasing flow rate of cooling water for air cooler
Operation mode of exhaust gas boiler	Run	Run & By-pass	Readjusting exhaust gas damper

*ARC denotes air ratio controller.

실험운전하였다. 그리고 배기가스의 폐열회수장치인 Exhaust gas boiler를 By-pass함으로써 결과치에 주는 영향도 조사하였다. 이때 발생하는 NO_x 배출농도를 Stack 측정공에서 각각 측정하였다. NO_x 측정은 NO₂/NO Converter를 부착한 일본 Shimadzu(社)의 NO_x Analyzer(Model URA-106)를 사용하였으며 Zero, Span Adjustment용 Standard gas는 일본 大陽酸素(株) 製品을 사용하였다(N₂ 99.9999% 용기번호 MVN-30436, NO 2,711 ppm 용기번호 MVN-30404). 측정된 NO_x 농도는 (1)식을 이용하여 O₂ 13% 기준으로 환산하였고, 배출가스중의 O₂ 농도는 미국 Bacharach, Inc.의 Combustion Analyzer(Model 300)를 사용하였다.

$$\text{NO}_x(\text{O}_2 13\%) [\text{ppm}] = \frac{(21-13)}{(21-\text{O}_2\%)} \times \text{NO}_x(\text{O}_2\%) [\text{ppm}] \quad (1)$$

4. 결과 및 고찰

4.1 T4 temperature 조절 결과

T4 temperature는 Cylinder 출구 Exhaust gas manifold를 통과한 Turbo-charger 입구측의 배기가스 온도를 말한다. Turbo-charger 입구의 배기가스 온도는 각 cylinder로부터의 배기 Gas가 집합된 상태로서 Engine 출력에 따라 비교적 일정하다. Cylinder 출구에서 매우 고속인 배기가스는 Turbo-charger 입구에서 속도가 저하되어 속도 Energy가 열 Energy로 변화하며, 배기가스 manifold 마찰손실이 열로 변화함으로써 Cylinder 출구의 온도보다 더 높다(김용성, 1973). Turbo-charger를 부착한 DF engine은 연소용 공기의 공급 압력을 조정함에 따라 소정의 공기과잉율을 얻게 된

다. 공기과잉율을 직접 계측한다는 것은 거의 불가능하기 때문에 비교적 정확한 계측이 용이한 Turbo-charger 입구온도와와의 상관관계를 Engine을 설계한 France Pielstick(社)에서 그림 5와 같이 제시하였다. 결국 T4 temperature(Turbo-charger 입구 배기가스온도)를 높일수록 공기과잉율은 적게 된다.

DF engine에서의 공기과잉율의 변화와 배출가스중의 NO_x 배출농도와와의 상관관계를 알아보기 위하여 Turbo-charger 입구 배기가스 온도를 설계치 580°C 및 비설계치 570°C, 590°C로 조절하여 각각 6회 이상의 실험으로 그림 6과 같은 결과를 얻었다.

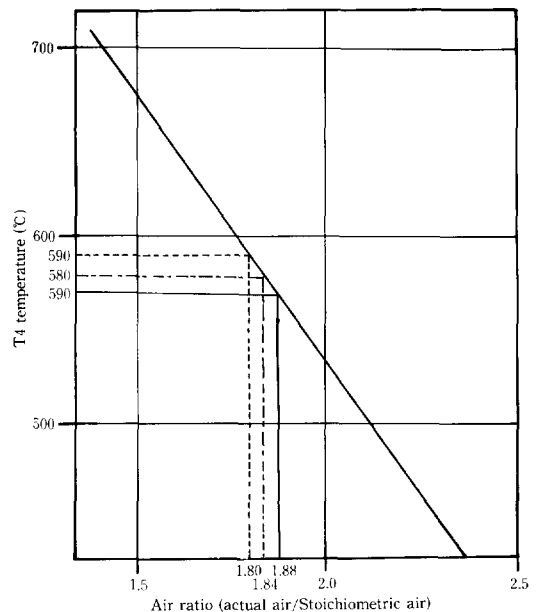


Fig. 5. Correlation between T4 temperature and air ratio.

설계치로 운전시 NO_x 배출농도는 400~420 ppm이었으며, 10°C 낮춘 570°C에서는 520~550 ppm 그리고 10°C 상승시킨 590°C에서는 350~380 ppm으로써 T4 temperature가 높을수록 NO_x 배출농도가 감소하였으며 실험범위 내에서의 상관계수는 -0.9964로서 상관관계가 매우 밀접한 것으로 나타났다. 이것은 공기과잉율이 적어지면 NO_x 생성원인 질소량이 적어지기 때문이며 또한 T4 temperature를 올리면 초기열발생율과 초기연소기간에 주는 영향이 적고 주연소 및 후연소 연소기간에 영향을 많이 미치므로 연료 혼합 Gas(LNG+Air)의 착화성이 좋게 되어 급속단계 연소하는 것으로 미루어 고온에서의 체류시간의 감소로 인하여 NO_x 생성속도가 저하하는 것으로 생각된다.

4.2 Injection timing 조정 결과

Diesel engine에서 Injection timing(분사시기)을 늦춤으로서 NO_x 배출농도를 저감하는 것은 공기과잉율을 낮추는 방법과 더불어 이미 오래 전부터 알려지고 사용되어 왔다(Ferguson, 1986). 그러나 DF engine의 주연료인 LNG는 Intake valve가 열림과 동시에 연소용 공기와 혼합되어 압축되고 단지 점화원인 Pilot oil 7%만을 분사하기 때문에 분사시기 조정에 의한 배출농도 변화는 크지 않을 것으로 예측하였다.

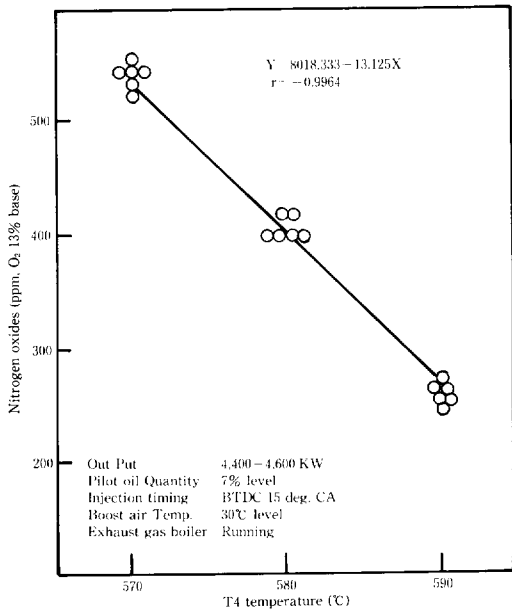


Fig. 6. Correlation between NO_x emission and T4 temperature.

Pilot oil 분사시기 조정과 NO_x 배출농도의 변화를 알아보기 위하여 설계치인 BTDC 15 deg. CA와 비설계치인 BTDC 16 deg. CA 및 BTDC 14 deg. CA로 분사시기를 조정하여 각각 6회 이상의 실험을 하였다. 그림 7에서 보는 바와 같이 분사시기가 1도

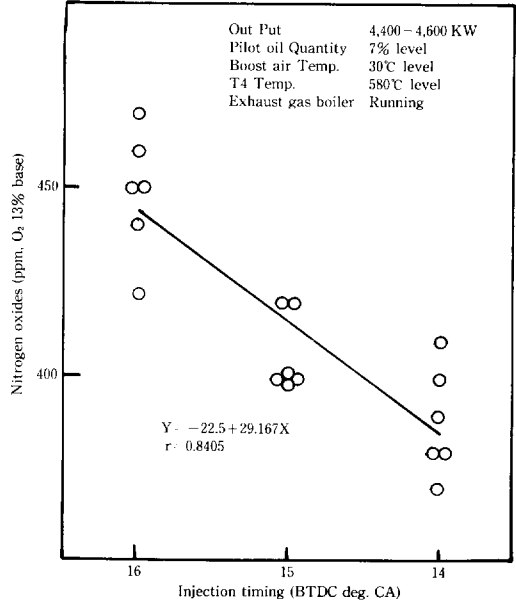


Fig. 7. Correlation between NO_x emission and pilot oil injection timing.

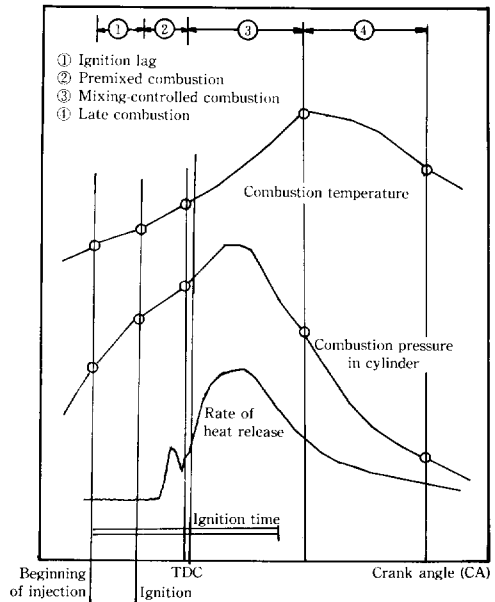


Fig. 8. Typical combustion process of diesel engine.

Table 7. Certification of analysis in exhaust gas.

Mode/Item	Dust (g/Nm ³)	Soot	NO _x (ppm)	SO _x (ppm)	NH ₃ (ppm)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (%)	HC (ppm)
Gas	0.012	2>	540	23	1>	11.6	5.5	0.04	340
Diesel	0.007	2>	1,520	200	1>	11.6	6.6	0.01>	21

빠른 上死點前(BTDC) 16度에서는 NO_x 배출농도가 약 50 ppm 증가하였고 반면에 분사시기를 1도 늦춘 BTDC 14度에서는 약 20 ppm 감소하였으며 실험범위 내에서의 상관계수는 0.8405로 상관관계가 비교적 밀접한 것으로 나타났다. 이렇게 분사시기를 늦추므로 인한 NO_x 배출농도 저하는 그림 8의 연소과정중 후기연소기간에 열발생율이 많아지므로써 주연소기간의 연소최고압력이 낮아지고 연소온도가 낮아지기 때문인 것으로 생각된다(Nagai, 1990).

4.3 Pilot oil量 조절 결과

Pilot oil은 연료가스 혼합기(LNG+Air)의 점화원이므로 이량이 많아질수록 점화원의 열 Energy가 커져서 혼합가스의 연소상태에 많은 영향을 미치게 된다.

Pilot oil량의 변화와 NO_x 배출농도의 상관관계를 알아보기 위하여 설계치인 7%와 비설계치인 8%, 9%로 증가시키면서 실험하였다. 실험결과로서 그림 9에 예시한 것처럼 Pilot oil량이 증가할수록 배출되는 NO_x 농도는 증가하는 경향으로 나타났으며 실험범위내에서의 상관계수는 0.6895로써 상관관계가 비교적 양호하였다. 이것은 Pilot oil의량이 증가하면 초기연소기간 중 열발생율이 증가하여 단기연소하여 고온에서의 체류시간이 감소하는 효과가 있으나 Pilot oil량의 증가에 따른 연소최고압력 및 연소온도가 증가하므로써 오히려 NO_x 생성속도가 빨라져 배출농도가 증가하는 것으로 생각된다. Diesel mode 운전시 NO_x 배출농도는 Gas mode 운전 전에 비하여 약 3배이며 참고적으로 본 연구에 사용된 DF engine의 Diesel/Gas mode의 공장시험성적을 표 7에 예시하였다.

4.4 Injection nozzle의 교체 결과

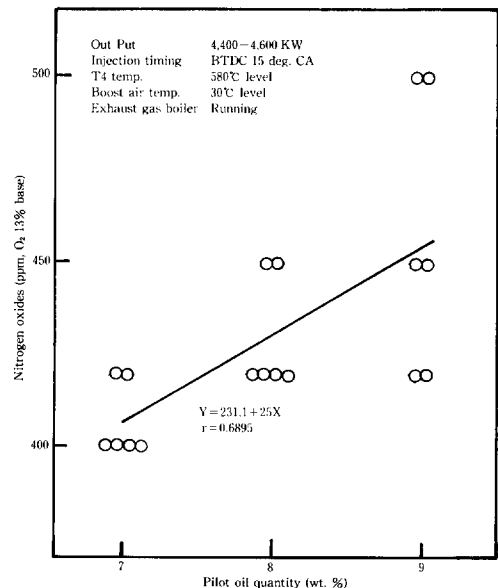
본 연구 실험에 사용된 DF engine의 Fuel injector는 Needle type automatic valve로써 이 연료분사밸브의 사양은 표 8에 예시하였다.

Hole 직경 0.55 mm nozzle 사용시 대기압 상태에서 분사압력이 240 kg/cm²이지만 Hole 직경 0.50 mm nozzle은 대기압하에서의 분사압력이 그보다

Table 8. Specification of fuel injection nozzle.

Number of holes	Diameter of each holes (mm)	Injection angle (deg.)
10	0.55	140

높은 260~270 kg/cm²에 달한다. 그림 10에 양 Nozzle의 분사압력을 나타내었다. 분사압력이 높을수록 분무입자가 미세하고 분무입자 도달거리가 늘어나서 Pilot oil 분사시 연료입자의 분산이 좋아지므로써 연소상태를 개선할 수 있다(전효중, 1983). 배출농도와의 관계를 알아보고자 Nozzle hole의 직경이 0.50 mm인 fuel injection nozzle로 바꾸어 각각 6회 이상 실험하였다. 결과는 그림 11에 나타냈다. Nozzle hole 직경이 작은 것을 사용하였을 때 NO_x 배출농도가 감소하는 경향이 있으나 상관계수가 0.5232로써 상관관계가 비교적 낮은 것으로 나타났으며 오히려 Diesel mode 운전시 운전부하를 90% 이상 올릴 수 없었다. 이는 Nozzle hole 직경

**Fig. 9.** Correlation between NO_x emission and pilot oil quantity.

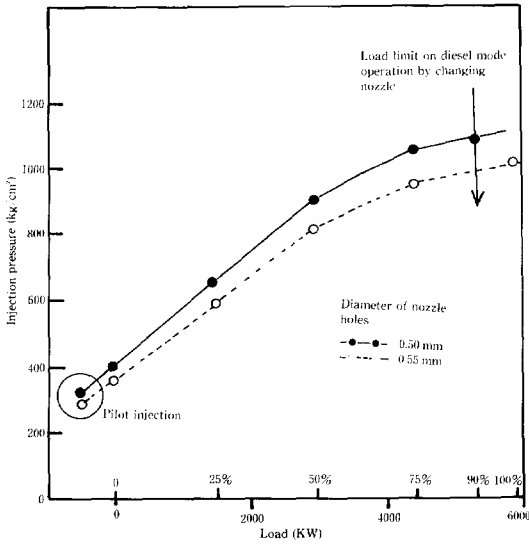


Fig. 10. Comparison of injection pressure.

소용 공기온도를 올리면 압축초기의 연료가스 혼합기 온도가 상승하고 착화성이 좋아지며 Knocking 현상이 적어진다. 연소용 공기의 온도를 변화시키므로써 이에 따라 배출되는 NO_x 농도변화를 알아보고자 설계치인 30℃와 비설계치인 40℃로 운전하면서 각각 12회 이상 실험하였다. 결과는 그림 12에 나타난 바와 같이 연소용 공기온도가 30~35℃이면 NO_x 배출농도가 400~420 ppm, 40~45℃로 증가시키면 450~500 ppm으로써 증가하는 경향이 뚜렷하며 상관관계수는 0.9413으로 상관관계가 매우 밀접하였다. 그리고 배기가스 폐열회수장치인 Exhaust gas boiler를 운전하지 않고 By-pass시키면서 NO_x 배출농도를 측정할 결과 운전한 경우보다 50 ppm 이상 높았다. 이때의 배기가스 온도가 Engine 출구에서는 570~590℃로 일정하였으나 Stack 출구에서는 By-pass시 200~220℃로써 Exhaust gas boiler 운전시 150~170℃보다 약 50℃ 높은 온도가 지속되면서 NO_x 생성속도에 영향을 주는 것으로 생각된다.

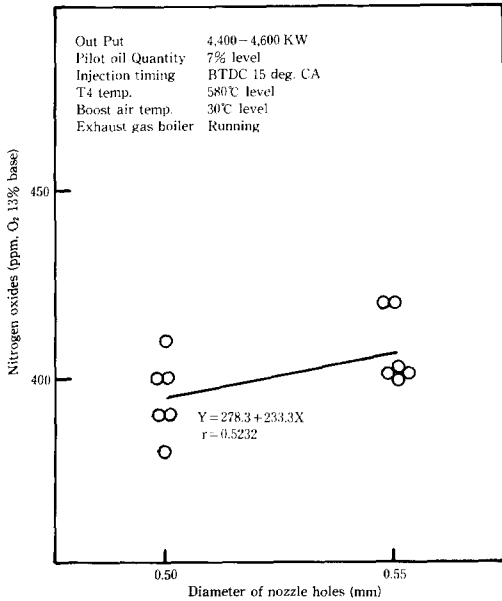


Fig. 11. Correlation between NO_x emission and nozzle size of fuel injector.

이 설계치보다 작기 때문에 분사량도 줄어들어서 운전부하 90%일때 최대분사량이 되는 것으로 생각된다.

4.5 Boost air temperature 조절 및 Exhaust gas boiler By-pass 결과

Boost air란 연소용 공기를 말하며 일반적으로 연

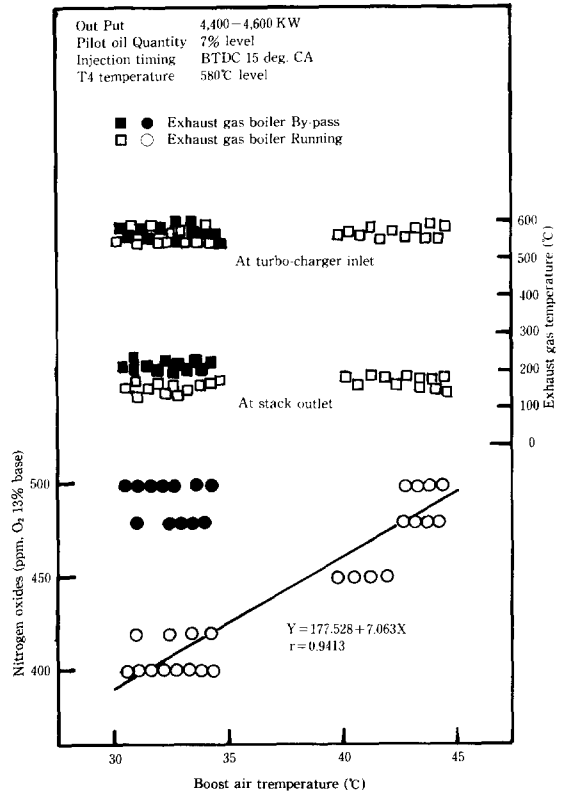


Fig. 12. Correlation between NO_x emission and boost air temperature.

5. 결 론

본 연구에서는 Energy 절감 측면에서 보급이 점차적으로 확산되고 있는 고효율의 소규모 열병합발전 system 중에서 Dual fuel engine을 원동력으로 하는 고정오염원에 대하여 운전조건을 변경하면서 배출가스 중의 질소산화물 배출농도를 측정하여 상관관계를 알아보았다.

일반적으로 설계 및 제작자가 제시하는 운전조건에서 가장 좋은 Engine 출력을 얻을 수 있으며 연료소모율이 가장 적으므로 열효율이 가장 높았다. 그러나 본 연구에서는 운전조건의 변화에 따른 연료소모율의 증가 즉 열효율의 저하를 고려하지 않고 NO_x 배출농도가 감소하는 운전조건만 찾고자 실험 및 연구하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Turbo-charger 입구 배기가스온도(T4 temperature)를 상승시키면 결국 과잉공기율이 감소되어 NO_x 배출농도가 감소하는 경향이 있다. 이는 Gas 운전시 T4 temperature에 의하여 공기과잉율이 조절되기 때문이다.

2) 연소용 공기온도를 상승시켜 공급하거나, Pilot oil의 량을 증가하여 운전할 때 또는 Exhaust gas boiler를 운전하지 않으면 NO_x 배출농도가 증가하는 경향이 있다.

3) Gas 운전시 Pilot oil의 분사특성을 개선하여 NO_x 배출농도와의 관계를 알아보고자 nozzle hole 직경이 설계치보다 더 적은 것으로 교체하고 또한 Pilot oil 분사시기를 늦추면 NO_x 배출농도가 감소하는 경향이 있으나, Diesel mode로 운전할 때 Nozzle 교체로 인하여 Engine 최대출력의 감소를 가져온다.

參 考 文 獻

김용성(1975) 선박주기관, 재판, 한국해대대학 해사도서 출판부, 611 pp.
 박일환(1989) 소규모분산형 열병합시스템 개요, '89열병합발전기술교육교재, 에너지관리공단, 297 - 331.
 에너지경제연구원(1989) 1990년 국내외 에너지전망.
 에너지경제연구원(1990) 에너지통계연보, 352 pp.
 전효중(1983) 내연기관장의 도서출판 일중사, 518 pp.
 정석진(1990) 질소산화물 저감기술. 21세기 에너지관련

기술위크샷(대기오염제어기술분야), 한국동력자원연구소, 35 - 46.

조명계 등(1989, 1990) 단위건물용 엔진구동 Co-generation system 개발연구(I)(II), 한국동력자원연구소.

한국동력자원연구소(1989) Co-generation system.

中川 洋(1989) 데이젤機關の技術, 次世代内燃機關のためのキーテクノロジー, 日本機械學會, 51 - 62.

Daugus, C. (1983) The PC2-5 Engine, S.E.M.T Pielstick, France.

Ferguson, C.R. (1986) Combustion and Emissions, in Internal Combustion Engines applied thermosciences, John Wiley & Sons, New York, 371 - 431.

Obert, E.F. (1973) Compression Ignition Engines, in Internal Combustion Engines and Air Pollution, Third edition, Intext Educational Publisher, New York, 567 - 632.

Heywood, J.B. (1989) Pollutant Formation and Control, in Internal Combustion Engine Fundamentals, International edition, McGRAW-Hill Book Company, New York, 567 - 667.

Honam oil refinery Co., Ltd. (1990) Typical analysis report.

Korea gas corporation (1990) Heating value analysis report.

Grabbe, M.D., K. Weireter and G. Grosshans (1987) A highly supercharged dual fuel engine reduces emission in burning solvents, S.E.M.T Pielstick, France.

Niigata Engineering Co., Ltd. (1988) Instruction Manual for Niigata Diesel Engine.

Sumika Chemical Analysis Service Co., Ltd. (1988) Certification of Anaysis in exhaust gas, No. C63017.

Tateo Nagai (1987) 데이젤機關のNO_x低減對策, NIIGATA DIESEL NEWS, Niigata Engineering Co., Ltd. 15 - 17.

Tateo Nagai, Masayoshi Kawakami (1990) 中速デイゼル機關におけるNO_x低減, 日本船用機關學會誌, 25(5), 4 - 15.

U.S. Environmental Protection Agency (1985) Stationary large bore diesel engines & dual fuel engines, in Compilation of Air Pollutant Emission factors, 3.4-1 - 3.4-2.