

● 해 설

# 산업용 가스엔진의 기술동향

유 광 택\*

## Trend of Industrial Gas Engine Technology

K. T. Yoo\*

### 1. 서 언

현재, 왕복내연기관은 자동차용 가솔린엔진, 육·해상 산업용 디젤엔진이 주를 이루며, 가스엔진은 육상산업용에 일부 접하고 있다. 가스엔진은 1860년 프랑스의 르느와르, 1867년 독일의 오토에 의해 처음 개발되었고, 르느와르엔진의 열효율은 4%정도, 오토엔진은 14%정도였다. 1910년경 가스엔진은 대형발전용, 공장동력용으로 이용되며, 최근 세계적 환경규제 및 국가 에너지자원 수급추세에 따라, 천연가스전 개발과 함께 천연가스 연료이용 가스엔진에 관심이 주목되어 전세계적으로 개발 보급이 확대되고 있다.

우리나라도 국가경제성장과 더불어 급신장하는 전력소비에 대처하기위해 에너지이용효율 80%를 상회하며, 청정연료를 사용하므로써 수도권지역에서 공해물질 배출저감에 기여하는 가스 열병합 발전설비의 향후 보급전망이 밝은 추세이다.

10MW이하급 소형 열병합 발전시스템은 도심 지역 중·대형건물에 전기와 열을 공급하는 고효율 에너지이용 분산형 전원시스템으로서, 일본의 경우, 1, 2차 오일쇼크이후 국가 에너지 이용효율화 정책하에 소형 열병합 발전시스템용으로 보급된 가스엔진은 '96년 3월말 현재 2,083건에 3,342MW로 총발전설비의 1.6%수준에 이르고 있

다. 우리나라의 경우 '97년 현재 4건에 50MW 수준으로 총발전량의 0.2%를 하회하고 있다. 그러나, 국가주도로 2006년까지 1,400MW(총발전량의 2%) 보급목표를 계획하고 있으므로 가스엔진에 대한 시장 전망은 밝다고 할 수 있다.

본고에서는 소형 열병합 발전설비의 원동기로 사용되는 가스엔진에 대한 연소방식, 배열성능, 가스연료 등 기술특성과 국내 기술현황 및 보급전망을 정리, 소개하였다.

### 2. 가스엔진의 기술특성

#### 2.1 연소특성

열병합 발전 시스템은 전력과 열의 소비처에 설치되기 때문에, 수요처별 기본환경 특성에 따라 가스엔진은 가스연료 배관망이 발달한 도시 또는 그 주변에 주로 보급되며, 이에 반해 디젤엔진은 연료의 입수성과 함께 비교적 환경문제가 적고, 설치공간에 여유가 있는 지방형 시스템에, 가스터빈은 지역냉난방, 산업용 등 열부하가 큰 시스템에 각각 사용되고 있다.

가스를 연료로 하는 엔진에는 불꽃점화식 가스엔진외에, 듀얼퓨얼엔진 등이 있는데, 현재 열병합 발전용 가스엔진은 대부분이 불꽃점화식이 주

\* 쌍용중공업(주) 엔진기술연구부

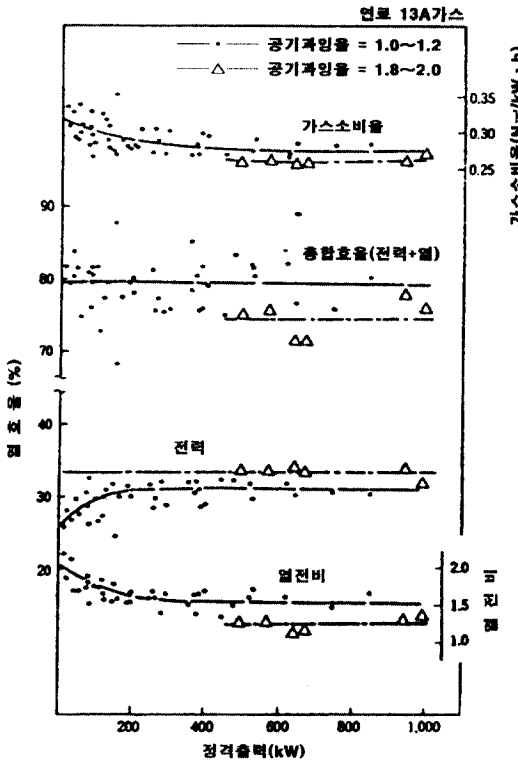
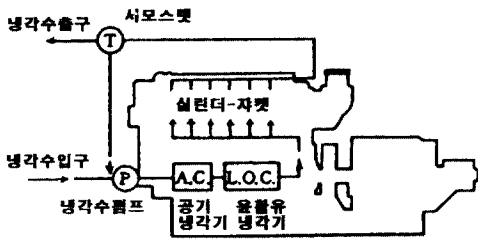


그림 1 가스엔진의 열효율

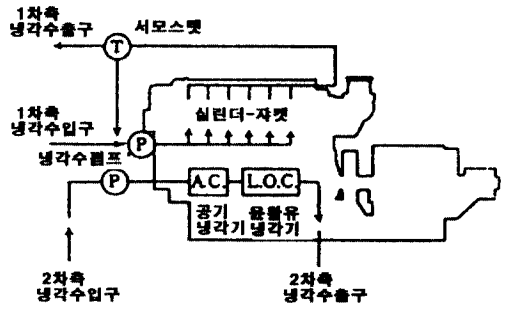
류를 이루고 있다. 불꽃점화식 가스엔진은 카뷰 레 이타식 가스엔진과 회박연소 가스엔진으로 나뉜 다. 카뷰레이타식은 공기와 가스를 이론공연비로 혼합시켜 운전하는 방식으로, 500kW이하의 엔진 에 주로 사용되며, 삼원촉매를 이용하여 배기중에

포함된 NOx, CO, HC를 제거한다. 회박연소식은 예연소실식으로 예연소실에 이론혼합비의 가스혼 합기를 공급, 불꽃점화시킨 후 주연소실의 회박한 가스혼합기를 예연소실의 화염으로 연소시키는 방 식으로, 500kW이상의 엔진에 주로 사용된다. 회 박연소로 열효율은 증가하고 NOx배출은 현저히 저하되지만, 회박혼합기의 연소안정화를 위한 가 스공급시스템의 정교한 제어가 요구된다.

가스엔진 경우에도 디젤엔진처럼, 과급형식은 무과급형식에 비해서 열효율면에서 3~4%, 출력 면에서 약 50% 증가한다. 그림 1은 현재 생산판 매되고있는 가스엔진들의 정격출력시 특성을 보 인다. 그림에는 배기가스대책으로 삼원촉매와 회 박연소를 채용하고있는 기관을 구별해서 나타내 었다. 삼원촉매를 사용하는 엔진은 공기과잉율  $\lambda = 1.0 \sim 1.2$  이론공연비로 공기와 가스를 혼합하는 방식으로, 주로 과급기전단에 설치된 카뷰레이타 를 사용한다. 카뷰레이타에 공급되는 가스의 압력 은 흡입되는 공기의 압력차이로 혼합비를 일정하 게 조정하여, 200mmH<sub>2</sub>O내외의 차압이 되도록 1 kg/cm<sup>2</sup>내외의 압력으로 공급, 레귤레이타를 이용하 여 감압사용한다. 회박연소를 채용하는 엔진은 공 기과잉율  $\lambda = 1.8 \sim 2.0$ 의 초회박공연비로 혼합기를 카뷰레이타로 만들어 주연소실로 보내고, 예연소 실로는 고압의 가스(3.5kg/cm<sup>2</sup>내외)를 가스밸브를 이용하여 공급, 불꽃점화시켜 그 연소화염으로 주 연소실의 회박혼합기를 연소시키므로, 별도의 고 압가스를 만들기 위한 가스압축기가 필요하다. 또 한, 공기과잉율  $\lambda = 1.8 \sim 2.0$  초회박연소엔진은 열



(a) 단일계통 냉각방식



(b) 이중계통 냉각방식

그림 2 엔진냉각수 경로

효율이 33%수준이며, 공기과잉율  $\lambda=1.0\sim 1.2$  엔진의 열병합 발전시스템의 총합열효율(전력+열)은 80%로서 거의 일정수준에서 열전비의 평균치는 1.5이다. 회박연소기관은 배기온도가 낮아 배기열의 회수효율이 나쁘기 때문에 총합효율에서 5% 정도 저하되며 열전비도 조금 낮아지게 된다.

## 2.2 배열성능(냉각수열 및 배기가스열)

그림 2는 과급의 유무에 의해 엔진 냉각수 경로의 차이를 보여주고 있다. 일반적으로 무과급기관의 냉각수계통은 단일계통이고 냉각수는 실린더자켓-실린더헤드-배기매니홀드 순으로 흐르게 되어 출입구 온도차가 정격출력에 10℃내외로 되도록 유량이 설정되어 출구온도는 80~95℃의 범위로 설정되어있다. 서모스탯은 저부하시에 엔진이 과냉각되지않도록 출구에서 나온 물의 일부를 입구로 돌리는 장치이다. 이 작용에 의해 부하가 변해도 출구온도는 일정하게 유지된다.

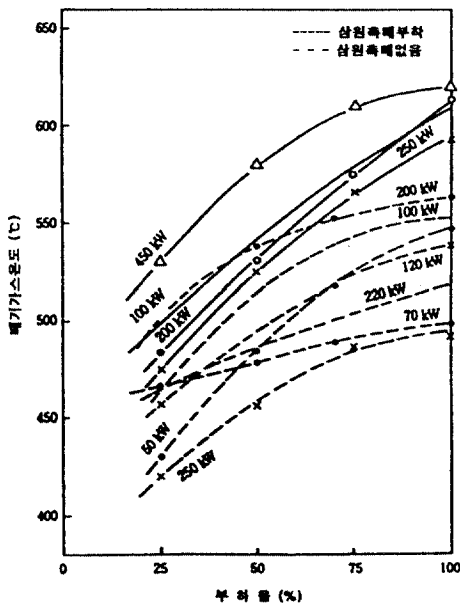


그림 3 가스엔진 배기가스 온도 예

대형기관이나 과급기관의 냉각수경로는 이중계통으로 되어있고, 실린더자켓-실린더헤드-배기매

니홀드의 고온측경로는 소형기관과 동일한데, 공기냉각기와 윤활유냉각기의 냉각수경로는 별도로 설치, 냉각수온도는 통상 40~45℃로 설정되어있고, 이 계통에서 배출되는 열량의 비율은 8%정도이다. 이 열의 유효이용, 냉각수경로의 단순화를 목적으로 단일계통방식을 채용한 예도 있는데, 그 경우 엔진에는 윤활유온도가 100℃이상(이상적으로는 80℃이하)으로 되어, 윤활유의 열화를 빠르게 하여 교환기간의 단축, 엔진의 마모·부식의 증가 등 메인テナンス성이 저하된다. 또한, 흡기의 냉각효과 얻어지지 않아 엔진성능에도 악영향을 미친다.

가스엔진의 배기온도는 그림 3처럼, 공기과잉율에 따라 다르고, 삼원촉매부착시 650℃, 미부착시 550℃정도이다. 한편 열교환기출구온도는 150~160℃까지 수용할 수 있기 때문에 배기열의 70% 정도가 회수 가능하다. 열교환기의 구조형식은 SUS216 또는 304의 파이프를 이용한 연관식이 많고, 관류식과 수관식도 일부 채용된다.

열병합 발전시스템의 총합효율을 향상시키기 위해서 열기관을 고온화해야 하므로, 고온에 노출되는 부품의 소재로서 세라믹 적용연구가 일본의 경우 활발히 이루어지고 있다. 세라믹 소재 가스엔진은 실린더 벽면, 피스톤 등 고온의 연소가스가 접하는 부분에 세라믹 재료를 사용하여, 종래의 금속제 가스엔진과 비교하여 에너지의 동력변환효율이 향상되고, 또한 배열의 유효 이용이 가능하다. 더욱이 세라믹에 의한 단열효과에 의하여 수냉장치부분이 필요하지 않아서 엔진의 컴팩트화, 경량화, 메인テナンス성을 꾀할 수 있다.

## 2.4 가스연료

가스엔진용 연료로 천연가스가 가장 많이 이용되며, 일부 석탄진유가스, 소화가스, LPG(프로판, 부탄)등도 이용된다. 이때, 가스엔진의 출력성능은 연료가스에 따라 차이가 있다.

### (1) 가스연료 조성

일반적으로 공급되고 있는 가스연료는 혼합가스이다. 표 1에 공급가스의 대표 성상을 보인다. 동일 종류라도 제조소에따라 다르기 때문에 이용

표 1 대표적 가스연료 조성에

가 스	화 학 조 성 (Vol%)									비중	저위 발열량 kcal/Nm <sup>3</sup>	이론 공연비	이론 혼합기 발열량 kcal/Nm <sup>3</sup>	메탄가
	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>					
도시가스(6C)	45.0	26.0	1.6	0.8	0.6	1.0	3.0	15.0	7.0	0.55	4,050	4.2	779	55.0
도시가스(13A)		88.0	6.0	4.0	2.0					0.65	9,950	11.0	829	63.0
메탄가스		100.0								0.72	8,620	9.5	820	100.0
프로판가스				100.0						1.96	21,600	23.8	870	35.0
부탄가스					100.0					2.70	28,400	31.0	886	10.5
석유가스	50.2	23.0				0.4	14.1	3.1	9.2	0.57	3,700	3.7	786	33.0
하수소화가스	3.0	60.0						32.0	5.0	1.12	5,210	5.8	768	130.0

표 2 가스연료의 적용성

항 목	13A	소화가스	LPG	6C
출력비(%)	100	90	90	60(N/A)
과 급	○	○	△	×
삼원촉매	○	○	○(N/A)	○(N/A)
희박연소	○	△	○	◎

◎ : 양호, ○ : 가능, △ : 곤란,  
× : 불가, (N/A) : 무과급으로 가능.

시에는 연료조성을 사전에 확인할 필요가 있다.

(2) 메탄가

가스연료의 가스엔진에 대한 적합성을 나타내는 중요한 지수로서 메탄가를 기준한다. (표 1) 메탄가가 높을수록 녹킹이 일어나기 어렵고 녹킹은 엔진 출력의 증가에 따라 증가하는 경향이 있기 때문에, 메탄가는 출력한계를 결정하는 중요한 지수이다. 녹킹상태로 운전을 계속하면 피스톤 손상을 유발하기 때문에 부하강하 등의 조치가 필요하다. 녹킹이 일어나기 쉬운 연료(낮은 메탄가)를 사용하기 위해서는 압축비 및 냉각수온도를 낮추거나 점화시기지연 등의 운전방안이 있다.

이상의 연료가스의 특성이 가스엔진의 성능에 미치는 영향을 정리하면 표 2처럼 된다.

2.5 배기가스 저공해대책

가스엔진의 저NO<sub>x</sub>화 대책으로 후처리와 연제

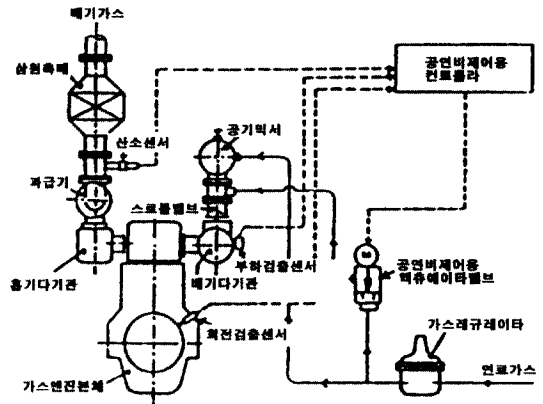


그림 4 카뷰레이식 가스엔진에서 공연비제어 시스템 개념도

어, 2가지로 대별된다.

(1) 3원촉매법 (후처리)

가스엔진의 배기가스 중에는 NO<sub>x</sub>, HC, CO를 포함하고 있어 이들을 무해한 N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>로 변화시키기 위해서는 산화와 환원의 양작용을 동시에 행해야한다. 3원촉매법은 백금촉매와 적당한 산소농도의 유지에 의해, NO<sub>x</sub>의 환원과 HC, CO의 산화반응이 동시에 진행하도록 하고 있다. 그림 4에 시스템의 개념도를 나타낸다. 또 그림 5는 벤치테스트로 엔진 실운전중 배기가스특성을 측정된 결과이고, 표 3은 삼원촉매를 부착했을 때 엔진성능에 미치는 영향의 예를 보인다. 현재 일본

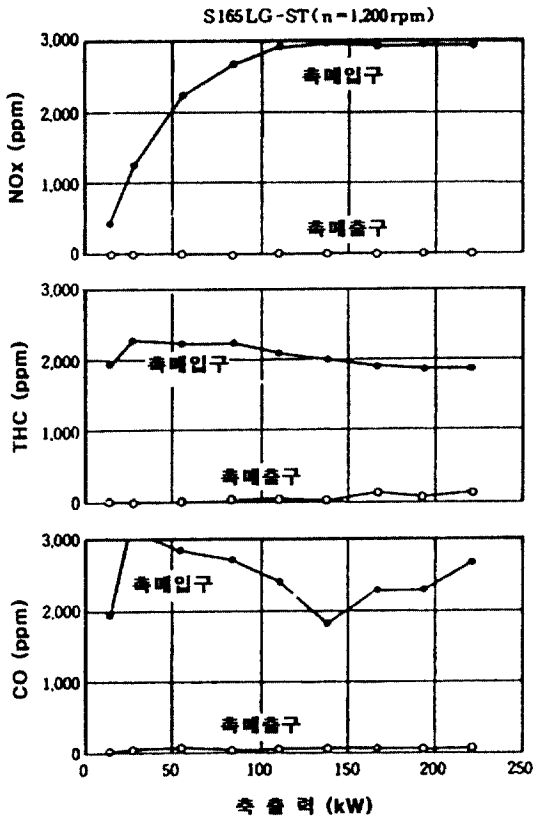


그림 5 삼원촉매에 의한 효과(벤치테스트)

에서는 삼원촉매부착 가스엔진은 기초개발 단계를 마치고 필드테스트중에 있는데, 해결해야할 기술 과제로 O<sub>2</sub>센서의 신뢰성의 향상, 촉매의 내구성의 향상, 촉매의 피독에 의한 성능 저하 방지등이 있다.

(2) 회박연소법(연소제어)

공기과잉율을 높게 취하여 연소가스의 온도를 낮추어서 NOx생성을 근원적으로 억제함과 동시에 압축비를 높여서 고출력, 고효율을 추구하는 방

표 4 회박연소 효과에 (출력: 575kW/1.200rpm)

연소방식	축출력효율	배가스열회수	냉각열회수	열회수율	총합효율	NOx
회박연소	35.2 %	19.4 %	21.6 %	41.0 %	76.2 %	400 ppm
보통연소	32.4 %	20.3 %	29.5 %	49.8 %	82.2 %	2,000 ppm

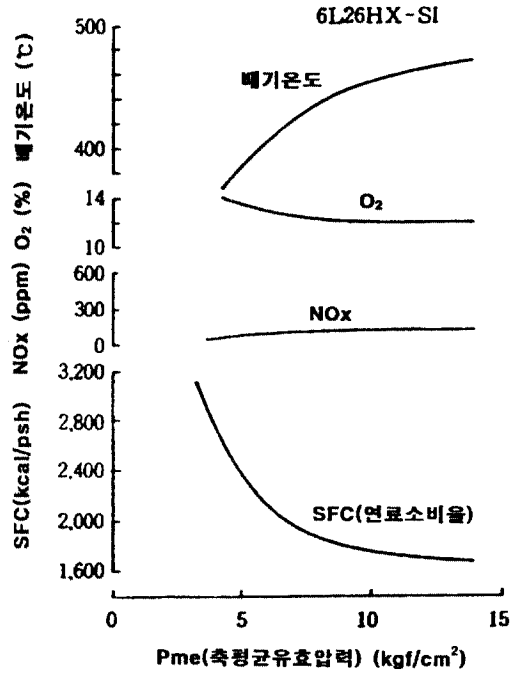


그림 6 회박연소가스기관의 NOx 및 주요기본성능

표 3 배기처리 유무에 의한 히트밸런스 변화

(엔진출력 250kW)

배기처리	축출력	배기가스	자켓냉각
유	34.0%	28.0%	21.1%
무	35.1%	28.8%	20.0%

배기처리	오일냉각	공기냉각	기타
유	8.3%	2.0%	6.6%
무	7.0%	2.9%	

법이다. 회박연소법은 단실식과 부실식이 있다. 단 실식은 연소실내의 공기유동을 활발히 하는 것에

표 5 MAN-B&W의 28/32 디젤방식과 가스방식의 주요사양 비교

	28/32H (Diesel engine)	28/32SI (Gas engine)
Type	4cycle, in-line, intercooled, turbocharged	←
Power/cyl.×Speed	220 kW×750 rpm	200kW×750 rpm
Bore×Stroke	280 × 320 mm	←
Compression ratio	13.3 : 1	10 : 1
Mean effective pressure	17.9 bar	16.2 bar
Max. combustion pressure	130 bar	←
Turbocharging principle	constant pressure system	←
Fuel quality acceptance	HFO(700 cSt/50°C)	Natural gas

의해 회박혼합기의 연소를 빠르게하고 안전한 운전상태를 얻는 방법이다. 피스톤을 포함한 연소실 형상의 연구에 의하면 공기과잉을 1.5~1.7에서 NOx는 수백ppm 수준을 이룰 수 있다. 부실식은 실린더헤드에 점화원을 가진 작은 부실을 설계하고, 적당한 혼합기를 공급해서 점화를 하는 것에 의해 주실내의 회박혼합기의 안전한 연소를 얻는 방법이다. 이 경우 공기과잉을 2.0정도까지 안정한 연소를 얻는 것이 가능하고 NOx 200~300ppm이하(O<sub>2</sub>=0%) 수준으로 된다(그림 6). 부실식은 단실식에 비해서 구조가 복잡하고 소형엔진에의 적용이 곤란한 반면, NOx저감과 함께 열효율을 향상시킨다. 표 4는 그 예로 열효율 3~4%의 향상을 얻은 결과인데, 배기온도의 저하에 의해 열회수율이 저하되어 총합열효율은 낮아지게 되나 배기밸브 등 고온부분의 온도가 저하해서 내구성은 향상될 수 있다

2.5 선진사의 중형 가스엔진 제품에

유럽의 대표적 엔진원천기술사인 MAN-B&W는 기존 디젤엔진을 가스엔진으로 변경, 개발하였다. 그림 7은 개발된 가스엔진의 연소실 개략도를 나타내며, 예연소실과 스파크플러그가 설치된 곳에 기존 디젤엔진에서는 연료 분사밸브가 설치된다. 표 5는 디젤엔진과 가스엔진의 주요사양을 비교, 나타내었다.

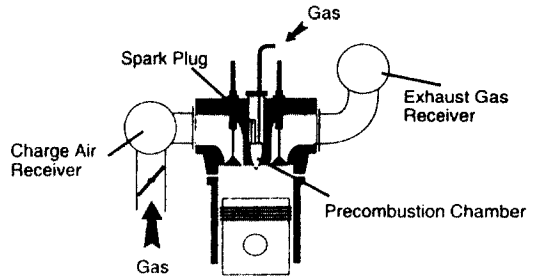


그림 7 MAN-B&W의 28/32 가스엔진 연소실 개략도

3. 국내 가스엔진 기술현황 및 보급전망

3.1 기술현황

현재 국내 산업용 중·대형 가스엔진시장은 극히 열악한 시장여건이어서 엔진 제작사들 중심으로한 생산기술 구축 및 체계적인 기술개발이 수행되지 못하고 있다. 표 7에서와 같이 국내 4개소 건물 열병합용으로 주변 System 과 결합 설계되어 설치된 실적이 있으며, 기술개발의 경우 '93년~'96년동안 통상산업부 지원하에 정부주도 에너지절약 기술개발사업으로 쌍용중공업이 디젤엔진을 개조한 200kW급 가스엔진 시제작 기술개발을 수행한 실적이 있을 뿐이다.

또한, 국내 엔진제작사들의 기술수준은 엔진 원천기술을 선진사로부터 도입·생산하는 기술제휴 생산방식으로서, 현재 디젤엔진 생산기술을 극복하는 수준에 머물고 있다. 표 6은 가스엔진 관련 국내기술수준을 선진사와 개략 비교하였다.

표 6 가스엔진 국내기술수준 비교

	국내수준	선진사
· 설계기술	50	100
- 기본설계	(30)	
- 성능해석	(70)	
· 생산기술	80	100
- 주조	(90)	
- 가공	(90)	
- 조립·시운전	(70)	
· 부품개발/시험평가	50	100

한편, 일본의 Niigata, Yanma, 유럽의 MAN-B&W, Wartsila, 그리고 미국의 Caterpillar, Cummins 등 외국의 선진사들은 기존 디젤엔진을 이용하여, 500kW이하는 카뷰레이터방식의 가스엔진으로, 500kW이상은 회박연소방식으로 80년대 중반부터 개발 시작하여 90년초 이미 상품화 완료하였다.

### 3.2 보급전망

국내 가스엔진의 수요처 특성은 전력이 주로되며 열전비가 낮은 열소요처로서 중·소규모의 철강, 기계 산업설비시설 및 도심지역 호텔, 백화점, 스포츠센터 등 대형 건물의 열병합 발전시스템이 주요 대상 시장이 된다.

시장여건은 도심지역 발전설비의 디젤유 사용규제, 배가스 배출규제 등 정부 환경정책 및 하계 Peak 전력 관리, 동·하절기 에너지원 수급균형유지 등을 위한 국가 전력수급 정책을 고려시 이러한 수요처에 보급·확대될 수 있는 좋은 여건에 있다.

표 7 국내 건물용 가스 열병합 발전시스템 설치현황

건 물 명	엔 진 형 식	단위용량(kW)×대수	제작/설치사
· 인터콘티넨탈호텔	Dual Fuel	2,000kW×2대	Niigata/쌍용중공업
· 신라호텔	Dual Fuel	2,500kW×1대	Wartsila
· 롯데월드(잠실)	Dual Fuel	6,000kW×6대	Niigata
· 롯데백화점(부산)	Gas	2,500kW×3대	Niigata/쌍용중공업
	계	50,000kW	

표 8 일본의 가스 열병합 시스템 도입실적('96년 3월 현재)

구분	용도	'90	'91	'92	'93	'94	'95
가스엔진 열병합	민생용 (용량 MW, 누계)	71	88	107	131	151	169
	산업용 (용량 MW, 누계)	62	72	83	105	123	131
	소계	133	160	190	236	274	300
가스터빈 열병합	민생용 (용량 MW, 누계)	27	39	48	65	77	86
	산업용 (용량 MW, 누계)	771	943	1,036	1,227	1,355	1,522
	소계	798	982	1,084	1,292	1,432	1,608
계		931	1,142	1,274	1,528	1,697	1,908

그러나, 환경 친화적이며, 고효율 에너지 이용 시스템인 가스 열병합 발전은 에너지 요금체계의 불합리성(전기요금대비 가스요금 고가), 잉여전력의 매전 저단가 책정, 설비자의 금융·세계 지원 제도 부재 등 정부정책의 미비로 인한 설비의 경제성이 문제가 되어 국내 보급·활성화가 지연되고 있다.

현재 국내 건물용 열병합용으로 설치·운용중인 가스엔진은 표 7과 같으며 설비개소 총 4개소, 총발전용량 50MW로 지극히 미흡한 실정이며 이 중 가스전소엔진은 부산 롯데백화점 1개소 뿐이다.

따라서, 시장 및 정부정책 여건상 관련제도 등의 개선기간을 고려시 국내 열병합용 가스엔진의 보급은 2000년대 초 전개될 것으로 예상되며, 그 이전까지는 대형 건물 열병합용으로 출력대 2000kW ~ 4000kW의 중·대형급이 일부 수요 전망된다.

국내 에너지수급은 총에너지원의 97%를 수입에 의존하고 있으며 금액규모는 연간 약 200억달러에 이르는 실정이며, 기후변화협약('92년 6월) 및 OECD가입에 따라 온실화가스 배출량 억제를 준수해야할 입장에 처해 있다.

이에 따라 정부는 국가적 관점에서의 에너지절약기술의 필요성 인식과 함께 '96년 말 국가 에너지기술개발 10개년 계획('97~2006년)을 수립하였으며, 정부주도 중점추진부문으로 소형 열병합 사업을 확정하여, 국내 보급촉진·활성화를 위한 기술개발 추진, 정책·제도개선 등 실무 추진기구로서 산·학·연 13개 기관 전문가로 구성된 사업단을 '97년 4월 구성하여 현재 운영중에 있다.

국내 소형 열병합 발전시스템을 2006년까지 총 용량 1,400MW수준으로 보급할 경우, 연간 약 1조원의 에너지절약이 예측되고 있으며, 5MW급이하 소형 열병합의 경우에 가스엔진식 1894대, 687MW의 도입을 예상하고 있다. 표 8은 일본의 가스 열병합 시스템 도입실적을 나타내고 있으며 에너지 수급환경이 유사한 우리나라도 이러한 추세로 전개되리라 예측된다.

## 4. 결 언

세계적 화석연료 매장량을 고려할 때, 천연가스는 원유에 비해 가용기간이 장기화될 수 있으므로 향후 21세기 중반부터는 육상, 산업용·발전용 원동기로서 가스엔진이 디젤엔진을 대체할 전망이다. 해상 선박용 주·보기관에는 가스연료의 저장수단 등 기술적 문제가 극복되지 않는 한 디젤엔진이 계속 탑재될 것으로 전망된다.

우리나라도 세계적 환경규제 추세에 대응 및 에너지원 수급균형유지를 위해서 천연가스 보급망을 전국적으로 확대·구축중에 있으며, 화석연료 부재국인 우리 현실에서 고효율 에너지이용 기술인 소형 가스열병합 발전 등을 보급 확대함으로써 국가 에너지절약에 기여할 수 있을 것이다.

국내 산업용 엔진 생산업체의 기술수준은 선박용 중·대형 디젤엔진과 일부 특수 육상용 중형 디젤엔진 생산기술 및 품질 안정화 수준에 머물고 있으며, 최근 국가 경제난과 연동된 고비용 생산구조로 인하여 기존 디젤엔진 사업경쟁력 확보에 고군분투하고 있으며, 국내 고유 디젤엔진 또는 가스엔진 개발을 위한 투자여력이 거의 없는 실정이다.

국내 산업용 엔진의 세계적 경쟁력 확보와 선진 엔진기술 수준으로의 도약을 위해서 관련 관·산·학·연 종사자들이 장기적인 안목에서 조화로운 협력으로 기술개발에 노력할 때 국내 엔진산업의 미래는 밝아질 것으로 사료된다.

---

### 필자소개

1983년 서울대학교 공과대학 조선공학과 졸업  
 1986년 한국해양대학 대학원 박용기계공학과 수료  
 1982~1987년 한진중공업 설계부  
 1988~현재 쌍용중공업(주) 엔진기술연구부

---