

(FORCE Transducer이용)가 입력되며 ch B에는 주파수 응답정보(가속도계이용)가 들어가게 된다.

작은 구조물의 가진에는 Impulse Hammer등을 이용하나, 큰 구조물의 경우 대형 Exciter를 사용하여야 하며, 가진기가 없거나 1 ch 주파수 분석기 밖에 없을 경우 일반 Hammer등으로 가진하고, 가속도계로 주파수 응답을 측정하여 구할 수도 있다.

수직 설치형펌프에서는 특히 이와 관련되는 진동 문제가 자주 발생되고 있으며, 고유진동수에 영향을 미치는 인자로서는 토출관의 고정부, 기초 또는 모터 고정부의 강성, 흡입소조의 수위등을 들 수 있으며, 설계관행상 SYSTEM의 고유진동수는 회전수에서  $\pm 20\sim 50\%$  떨어지겠끔 설계하고 있다.

고유진동수에 기인된 진동문제가 발생할 경우 다음과 같은 대책이 있을수 있다.

	결함 변경		강성 변경	
	m 증가 고유진동수감소	m 감소 고유진동수증가	노 증가 고유진동수증가	노 감소 고유진동수감소
수직 설치 펌프	 Motor 상부에 중량물 설치	경량화 설계가 일반 추세이므로 효과가 적다.	 체적 증가	탄성계를 넣는다.
$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ 	개조 비용이 적다.	일반적으로 간 시행하지 않는 다.	강성증가에 따 라서 진동감소, 가장 좋은 방법 이나 비용, 시간 이 걸린다.	강성저하로 진동은 증가될 수 있지만 공진 배율이 낮아지 므로 진동감소

그림 5-13 고유진동수 변화

# 린번미러사이클가스엔진 열병합시스템의 開發

본 자료는 일본 열병합발전센터자료에서 발췌 · 번역한 것임.

## 1. 서론

천연가스연료로 전력과 열을 동시에 공급하는 가스엔진열병합시스템은 에너지절약면(높은 종합효율)과 낮은 탄산가스 배출을 등의 환경친화성 연료로 인하여 급속히 보급되고 있다. 국내에서는平成11년도 말 200만KW가 가동, 大阪가스 관내에서만도 열병합설치대수가 700건을 넘어섰다.

열병합이 설치되어있는 고객으로 볼때 종래에는 전기보다 열수요가 많은 고객에의 보급의 태반을 점하고 있었다. 그러나 근년 가스엔진이나 가스터빈의 기술이 발전되어 높은 발전효율의 열병합기술이 개발됨에 따라 열수요가 비교적 적은 고객도 그의 장점으로 인하여 여러 분야에의 보급이 확대되고 있다. 이런 경향은 금후에도 가속될것으로 예상되며 가스엔진이나 터빈의 발전효율의 향상이 시급한 과제로 대두되고있다.

가스엔진열병합의 출력범위는 주로 100~1000KW이다. 현재 가스엔진은 린번(稀薄燃焼)방식과 스토익(量論比燃焼)방식으로 대별되는데 비교적 저출력은 스토익방식으로, 중대형이 되면 린번방식이 적용된다. 린번방식은 일반적으로 발전효율이 높고 저 NOx인것

이 특징으로서 연소화염의 온도가 낮음으로 엔진 내구성에 우수하다는 특징이 있다.

大阪가스와 미쓰비시중공업은 공동으로 린번방식의 가스엔진미러사이클을 적용, 발전효율이 토크클래스에서는 세계최고인 40%의 가스엔진을 개발하였다. 본 보고서에서 4000시간 이상의 내구시험을 클리어함을 물론平成12년 4월부터 발매를 개시한 280kw 패키지에 관하여 그의 개발의 중요기술 및 성능규격에 대하여 아래에 보고하고자 한다.

## 2. 요소기술개발

여기서는 금회 개발한 미러사이클가스엔진의 기본인 요소기술에 관하여 설명한다.

### 2.1 내연기관의 열효율 지배인자

내연기관의 열효율은 아래의 식으로 표현된다.

$$\eta_{th} = \eta_{theory} \times \eta_{gl} \times \eta_{comb} \times (1 - \eta_{cool}) \times \eta_m \times (1 - \eta_{pl}) \quad (1)$$

여기서

$\eta_{theory}$  : 이론사이클효율       $\eta_{gl}$  : 연소의 等容度

$\eta_{comb}$  : 연소효율     $\eta_{cool}$  : 열손실율  
 $\eta_m$  : 기계효율     $\eta_{pl}$  : 펌프 로스율

따라서 열효율의 향상을 위해서는 이들 각각의 효율을 향상시킬 필요가 있다.

## 2. 2 미러사이클에 관하여

압축비와 팽창비가 대략 동일한 통상사이클의 내연기관에 있어서 (1)식의 이론사이클 효율은 다음의 식으로 표현된다.

$$\eta_{theory} = 1 - \epsilon^{-1/k} \quad (2)$$

여기서  $\epsilon$ 는 압축비,  $k$ 는 작동유체의 단열지수이다. 즉 이론사이클효율  $\eta_{theory}$ 를 향상시키기 위해서는 압축비  $\epsilon$ 를 상승시킬 필요가 있다. 역시 천연가스를 연소하는 가스엔진의 경우 압축비  $\epsilon$ 를 상승시키면 관내의 가스온도가 상승함으로 화염 전파 도중에 미연가스가 자着火에 도달하는 녹킹이 발생한다. 녹킹이 발생하면 시린다 내의 온도, 압력이 급상승 함으로 엔진의 파손을 이끈다. 이를 피하기 위해서는 점화시기를 늦출 필요가 있으나 점화시기를 늦추면 연소의 등용도  $\eta_{pl}$ 가 저하함으로  $\eta_{theory}$ 상승효과를 상쇄시키고 만다.

미러사이클은 이들 문제를 해소하는 사이클로서 Miller에 의하여 제안되었다. 통상의 왕복동 내연기관의 경우, 급기변의 클로즈시기와 배기변의 오픈시기는 下死点 부근으로 압축비와 팽창비는 대략 동일하다. 미러사이클에서는 급기변의 실질적인 클로즈시기는 하사점보다 앞 또는 이후에 두는 것으로 실제의 압축비만을 낮추는 수법이다. 이보다 팽창비>압축비로 된다. 팽창비>압축비의 내연기관의 경우는 (2)식의  $\epsilon$ 는 대체로 팽창비로 사용하여도 차질이 없다. 즉 미러사이클을 적용하여 압축의 녹킹이 발생하지 않는 수준에 두고 팽창비를 크게하는 것으로 고효율화가 가능하게 된다.

미러사이클의 적용에 관해서는 지금까지 많은 연구개발이 이루어져 일부는 이미 실용화 된것으로서 어느것이든 열효율과 낮은 스토익연소방식의 엔진을 기본으로 하고있기 때문에 지금까지는 40%를 넘는 높은 열효율로 실용화된것은 없었다. 본 개발에서는 통상사이클에서도 엔진 軸端효율 37%를 42.3%까지 고효율화 시키기 때문에 시뮬레이션 등에 의하여 개발목표를 설정하였다. 팽창비/압축비의 설정에 의한 이론사이클효율  $\eta_{theory}$ 의 향상으로 열효율 3.0% 이상

의 상승을, 나머지의 2.0%를 연소의 等容度, 연소효율, 열손실, 펌프로스율 저감에 의하여 달성할것을 목표로 하고 개발을 추진하였다.

## 2. 3 팽창비/압축비의 설정에 관하여

팽창비와 압축비에 관해서는 먼저 급기 기관내의 맥동을 고려하여 성능계산에 의한 검토를 실시, 적정치를 파악하였다. 그림-1에 팽창비와 추정열효율의 관계를 나타내었다. 팽창비(하사점 기준압축비)를 15로 할시 엔진 축단효율 40%가 달성되는것을 알 수 있다. 이 계산결과를 기초로 팽창비를 15로 하였다. 또한 급기변 클로즈 시기에 관해서는 실험적으로 설정하였다. 표-1에 나타난 6기통의 供試機關을 이용하여 실측한 실 압축비 (급기압력과 압축압력의 관계로 추정)와 最大進角点과의 열효율 및 급기 매니홀드압의 관계를 그림-2에 표시하였다.

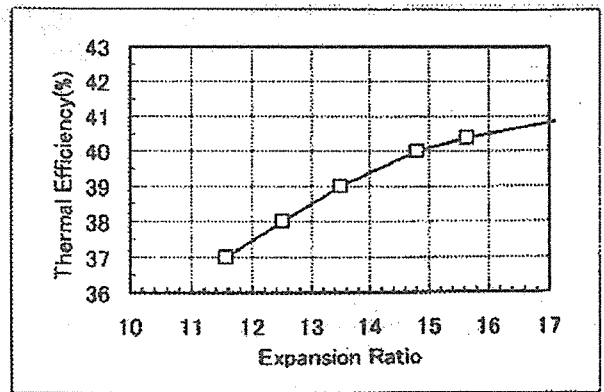


그림-1 팽창비와 열효율의 관계 (계산결과)

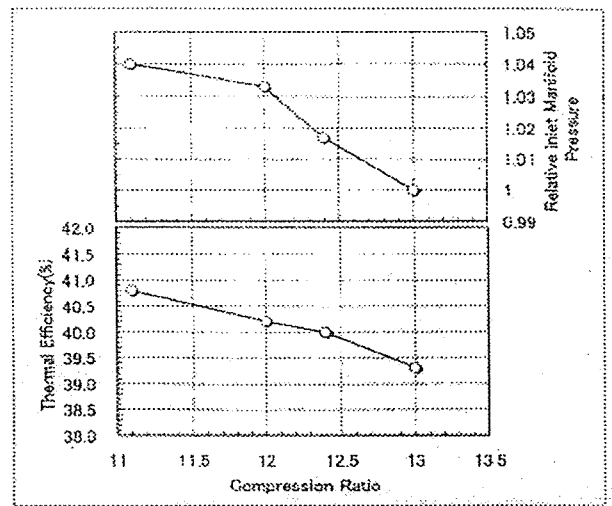


그림-2

실압축비와 열효율, 과급압의 관계 (6기통 시험결과)

실 압축비가 너무 높으면 녹킹이 발생하여 점화시기를 늦출 필요가 있어 열효율이 저하된다.

또한 실 압축비를 너무 내리면 과급기가 요구하는 압력비가 너무 높아진다. 그림-2에 실험결과로 부터 실 압축비 11이 되게 급기변 클로즈 시기를 선택하였다.

표-1 供試機關諸元

실린더 수	1	6
실린더 직경(mm)	170	
스트로크(mm)	180	
정미평균유효압(MPa)	1.2	
엔진회전수(1/min)	1200/1800	
과급방식	외부블로워	배기과급방식

## 2. 4 小容積 空間에서의 연소성능 향상에 관하여

副室式 희박연소 가스엔진은 그림-3에 나타난바와 같이 주 연소실에 희박혼합기가 도입되고 스파크플러그를 갖춘 부실에 가스연료가 도입된다. 압축상사점 앞에서 스파크플러그에 의하여 부실내로부터 연소가 개시되어 연소화염이 주실에 분출, 희박혼합기를 안정적으로 좋은 효율로 연소시키는것이 가능한 시스템이다.

미러싸이클가스엔진에서는 高膨脹比로 운전하기 때문에 압축상사점에서의 연소실 용적을 작게 하고있다. 이를 위해 연소성의 저하가 생기고 고펽창비화에 의한 효율상승이 상쇄되어 역으로 효율의 저하로 나타난다. 본 개발에서 아주 중요한 과제는 종래의 가스엔진보다 소용적 공간에서 동등 이상의 연소효율을 실현하는것이다. 표-1 및 그림-4의 단기통 시험엔진을 사용하여 主燃燒室形狀開發, 급기 스월(Swirl)비의 적정화, 부실규격의 개발 등을 실시하였다.

### 1) 주연소실형상

主燃燒室形狀에 관해서는 연소실내의 亂流속도를 향상시키는것으로서, 연소속도 향상을 꾀한 高亂流型과 톱클리어런스部를 작게하여 未燃分の 감소를 꾀한 抵未燃分型에 관하여 시험하였다. 시험결과를 그림-5에 나타내었다. 그림-5보다 저미연분형연소실 편이 녹킹 발생이 어렵기때문에 점화시기를 빠르게 할 수

있어 그 결과 연소의 等容度가 오르고 배출 THC농도가 내려 열효율이 높게 되었다는것을 알 수 있었다.

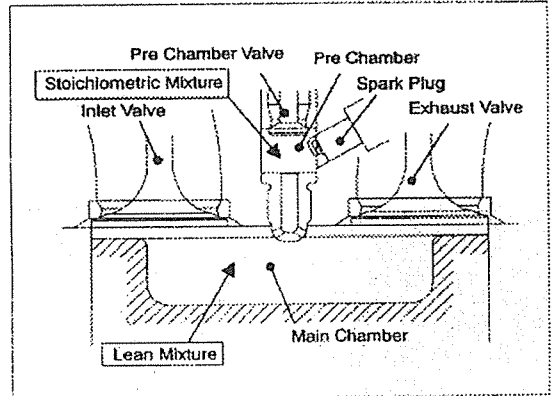


그림-3 부실식 희박연소가스엔진 연소실구성

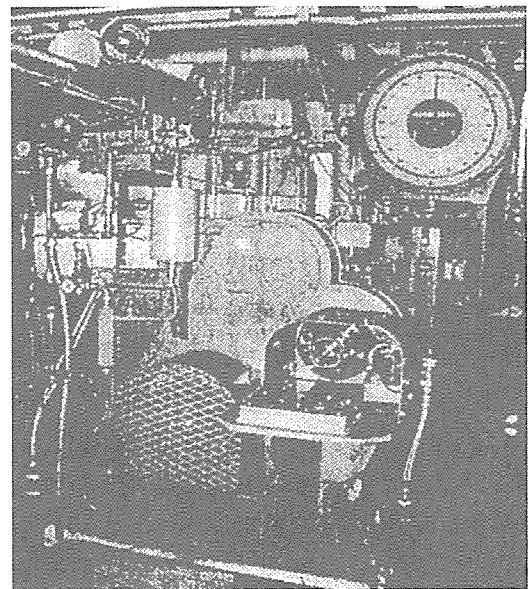


그림-4 단기통 시험기관

### 2) 스월(Swirl)비

다음에 스월의 영향에 관하여 조사하였다. 스월비를 변동시킨 경우 열 발생율의 변화를 그림-6에, 제 성능의 변화를 그림-7에 표시하였다. 그림-6에 나타난바와 같이 스월비를 강하게 하면 열발생율의 최대치가 커져서 열발생기간도 적게 되지만 녹킹 발생이 쉬워진다. 또한 높은 스월비는 고온의 연소가스로부터 실린더 라이너에의 열전달율이 높게되어 열손실도 함께 커진다. 따라서 그림-7에 나타난바와 같이 高스월비의 경우는 배출 THC 농도가 낮은것과는 관계없이 열효율은 향상되지 않는다. 이 시험결과로 스월비를 낮게 설정하는것으로 하였다.

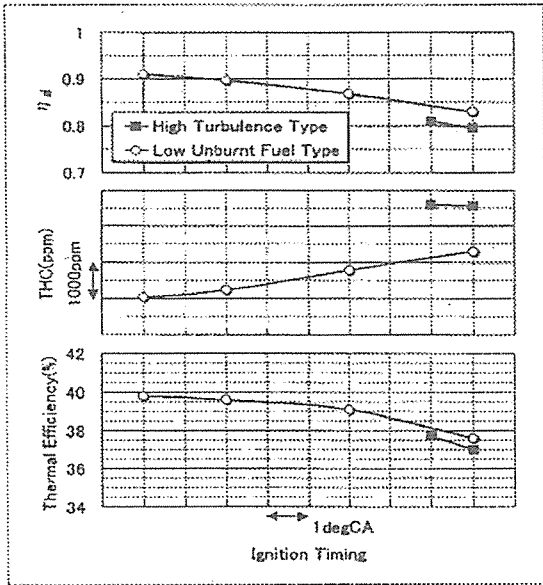


그림-5 주연소실형상의 제 성능에의 영향 (단기통 시험결과)

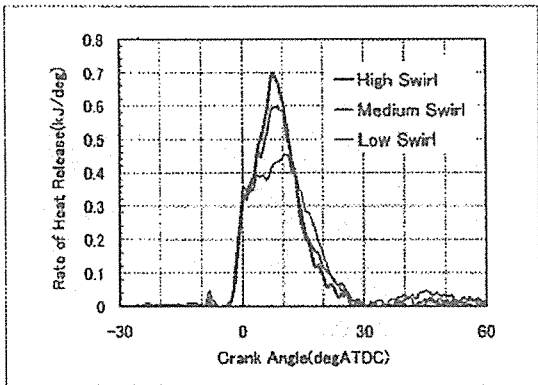


그림-6 스월비의 열발생을 패턴에 미치는 영향

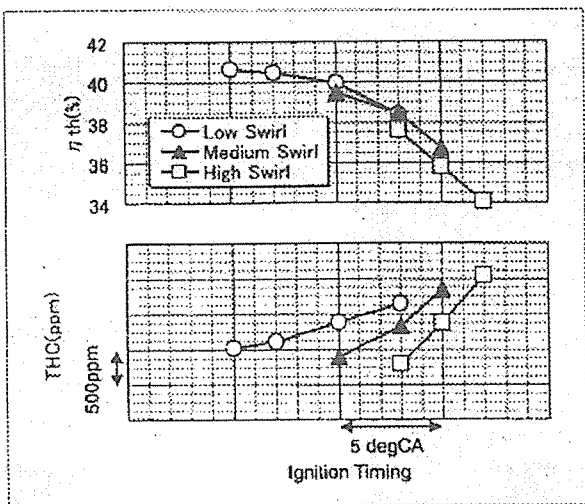


그림-7 스월비의 제 성능에대한 영향 (단기통시험결과)

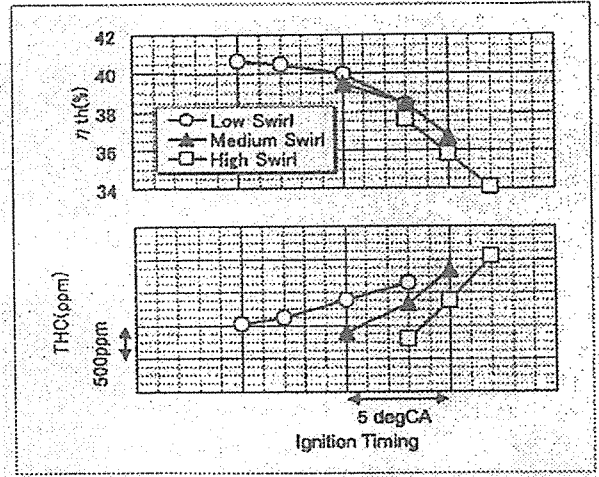


그림-8 부실사양개발을 위한 해석결과

### 3) 副室

부실식 가스엔진에서는 부실내의 火花點火와 부실로부터의 토치화염의 운동이 주실의 연소에 크게 영향을 미친다는 것을 알게 되었다. 즉 부실 내부형상과 噴孔규격이 연소효율, 열발생기간에 크게 관여한다. 여기서 그림-8에 나타난바와 같이 3차원 CFD나 가시화 시험을 활용, 최적의 부실규격 (용적, 噴孔)을 개발하였다.

### 2. 5 고효율과급기의 개발에 관하여

미러사이클엔진에서는 實壓縮比를 내리기 위하여 급기변의 開口면적이 피스톤이 하사점보다 훨씬 위에 있는 시점에서 적어지고 체적효율이 대폭으로 저하된다. 이로 인하여 동일 출력을 유지하기 위하여는 보다 높은 급기압력이 필요하다. 즉 저유량 고압력비의 과급기가 필요하다. 양산되고 있는 과급기 중에는 미러사이클엔진과 같은 저유량 고압력비로 과급기 효율이 높은 것은 존재하지 않았다. 과급기 효율이 낮으면 아무리 엔진의 筒內싸이클로 고효율화 하여도 배기압력이 높아져, (1)식의 펌프로스율이 커지기 때문에 열효율은 향상되지 않는다. 즉 미러사이클엔진에서는 고효율과급시스템이 필수조건이다. 여기서 미러사이클 용으로 최적화한 과급기를 개발하였다. 과급기는 터빈, 압축기의 각 구성요소를 최적화 하고 고효율화를 도모한다. 터빈에서는 動翼내부와 출구손실을 저감한 신형 3차원 동익을 적용, 노즐의 翼形狀과 스크롤 형상의 최적화에 의한 고효율화를 꾀하였다. 압축기에서는 羽根車 내부의 2차 흐름손실을 감소한 신형 삼차원 羽根車 적용과 스크롤형상의 개량에 의하여 고효율화를

피하였다. 이 결과 이 클래스에서는 세계 최고수준의 과급기 종합효율 62~66%를 달성하였다.

이상의 요소기술을 조합함으로써 엔진축단효율 42.3%, 발전효율 40%를 실현할 수 있었다.

### 3. 실용화 개발

개발한 요소기술을 6기통기관에 적용, 실용화를 위한 개발을 수행하였다.

#### 3. 1 電子制御空燃比 콘트롤시스템

공연비를 최적범위로 제어하기 위하여 연료가스외 공기의 유량을 제어할 필요가 있다. 금번 개발한 미러사이클가스엔진에서는 전자제어공연비 콘트롤시스템을 적용하였다. 본 시스템은 급기 매니폴드의 온도, 압력, 엔진 회전수를 기초로 필요 연료가스 공급량을 산출, 전자변에 의하여 가스공급량을 제어하는 것이다. 이것에 의하여 외기조건의 변화에 관계없이 공연비를 최적치로 제어하기 때문에 높은 엔진 신뢰성 성능을 항상 유지할 수 있게 되었다.

#### 3.2 高耐久性 이리듬 플러그의 적용

미러사이클가스엔진에서는 종래의 가스엔진보다 실린더내의 압력이 높게되어 점화플러그의 점화 요구전압이 높게된다. 따라서 종래의 백급점화플러그는 전극소모가 많아 2000시간 이상의 수명을 유지하기 곤란하였다. 여기서 본 개발엔진에서는 높은 내구성을 갖는 이리듬플러그를 새로 개발, 장착하였다.

#### 3. 3 점화시기의 설정

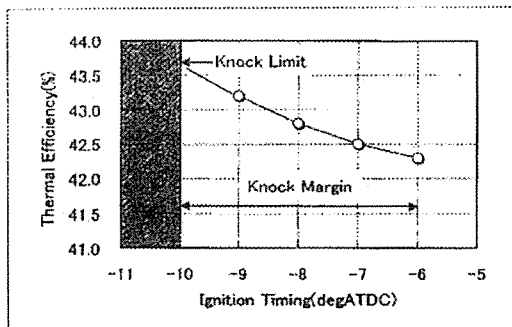


그림-9 점화시기와 열효율 관계

점화시기의 설정에 관해서는 그림-9에 나타난바와 같이 녹킹한계로부터 4크랭크 각도를 遲角하였다. 이로 인해 엔진의 신뢰성을 확보하였다.

#### 3. 4 내구시험과 분해점검 평가

상품화 하기에 앞서 내구시험을 실시하였다. 그림-10에 280KW 엔진축단효율의 추이를 나타내었다. 축단효율은 42~43%를 유지하고 있는것을 알 수 있다. 또한 4000시간의 시점에서 엔진을 분해점검하여 피스톤, 피스톤링, 급기변, 副室弁 등은 통상의 가스엔진과 동일한 수준의 마모량으로서 문제가 없는것으로 확인되었다.

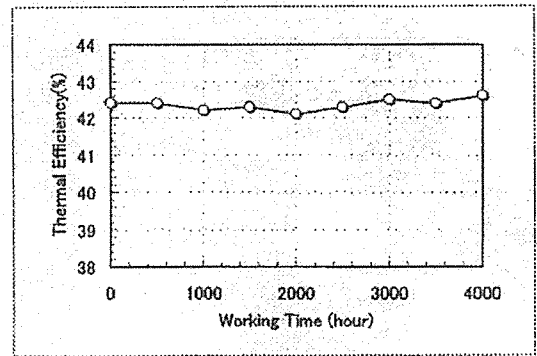


그림-10 내구시험시의 엔진축단효율의 추이

## 4. 미러사이클엔진 패키지규격과 그의 특징

### 4. 1 패키지 규격

엔진 형식	GS6R,GS12R,GS16R
형식	4사이클
기통배열	직렬6,V형12,16기통
연소방식	린턴
과급방식	배기과급
착화방식	전기점화
실린더 직경(mm)	170
스트로크(mm)	180
배기량(m³)	24.51~65.37 × 10 <sup>-3</sup>
발전출력(kW)	280~1100
엔진 회전수(min <sup>-1</sup> )	1200/1800
팽창비 (하사점기준 압축비)	15
실압축비	11
엔진발전효율(%)	40
(온수+증기) 회수율(%)	35
종합효율(%)	75
NOx저감대책	간이요소탈초방식
NOx(O <sub>2</sub> =O%) (ppm)	150

표-2 개발한 가스엔진과 패키지의 규격

개발한 미러사이클가스엔진과 패키지규격을 표-2에 나타냈다. 발전출력 범위는 280~1100kw를 계획하고 있다. 280KW 패키지는平成12년 4월부터 판매를 시작하였고平成12년도 중에는 1100kw까지의 시리즈화를 계획하고 있다.

그림-11에 개발한 280kw 저온수회수 패키지의 개관도를 표시하였다. 탈초방식은 大阪가스에서 개발한 簡易尿素脱硝방식을 적용하였다.

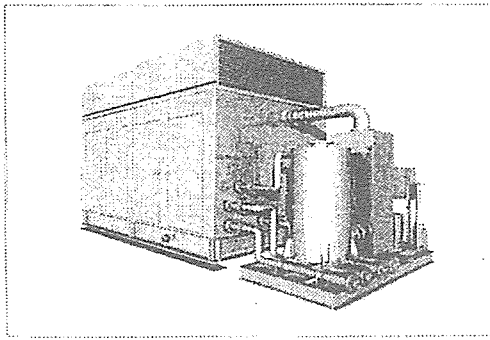


그림-11 280kw패키지 개관도

#### 4.2 패키지의 특징

본 개발 미러사이클엔진패키지의 특징을 요약하면 아래와 같다.

- (1) 발전효율 40%, 종합효율 75%
- (2) 低熱電比 (열회수량/전력량비) 0.86
- (3) 콤팩트한 패키지(280kw)
- (4) 부하투입특성의 향상

常用防災兼用機로서도 對應可能

- (5) 환경친화성 낮은 CO2 배출량

발전효율은 종래의 린번엔진에 비하여도 5% 이상이 상승되었고 100kw클래스 이상의 가스엔진에서는 세계최고의 40%를 달성하였다. 그림-12에 중소형 가스엔진의 발전출력과 발전효율의 관계를 나타냈다. 200~300kw클래스에서는 스토익(三元촉매) 엔진이 주류이므로 본 개발 미러사이클엔진 280kw과의 발전효율 차이는 6% 이상되어 열수요 주체의 스토익엔진과의 차별화가 명확하여 졌다.

또한 열회수를 포함한 종합효율도 종래의 린번엔진과 변화가 없고(75%) 이에 수반하여 열과 전기의 比인 열전비가 저하, 처음으로 발생전력이 열회수량을 상회하였다. 주요 중소형 가스엔진의 열전비를 그림-13에 나타내었다. 스토익엔진에서는 발전효율이 낮은 만큼 열전비가 1.7로 높은것에 반하여 린번미러사이클엔진에서는 약 절반인 0.86에 불과하다. 금후에도 이에

대한 개발은 가속될것으로 사료된다.

따라서 종래시장 뿐만아니라 종래형 열병합에서는 利点이 없었던 열수요가 적은 사무실빌딩이나 수퍼마켓, 전력수요가 많은 조립공장이나 기계가공공장 등과 같은 새로운 분야에의 판매도 기대된다. 또한 280kw패키지는 사무실빌딩 등에 판매를 위하여 반입이 용이 하도록 구성기기의 유닛화나 패키지의 콤팩트화를 꾀하였다.

또한 본 개발엔진에는 전자제어 고연비제어시스템을 적용하여 린번엔진에서 불리한점으로 되어있는 시동성이나 부하 투입특성도 대폭적으로 향상되었다.

환경면에서도 고효율화에 수반하여 동일한 열회수량의 종래기종보다 탄산가스배출량이 약 13% 감소되어 경제성, 환경성의 양면으로도 금후의 확대 판매가 기대된다.

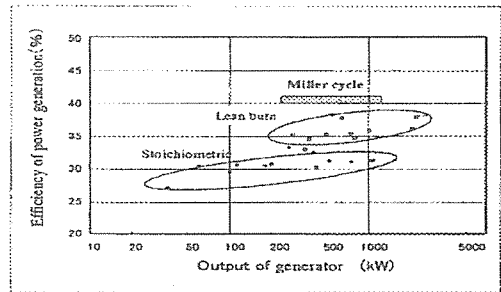


그림-12 중소형 가스엔진의 발전효율

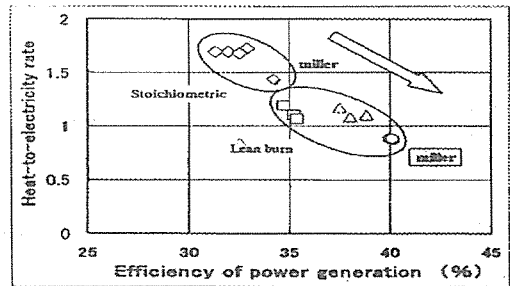


그림-13 중소형 가스엔진의 열전비

### 5. 마지막으로

린번 가스엔진의 고효율화는 금후에도 가속될것으로 사료되며 따라서 가스열병합시스템이 신규분야에 다시 확대 판매되어 나갈것으로 확신한다.

최적의 열병합만이 열병합이 금후에도 확대 판매되느냐 하는 가장 중요한 관건이다. 예로서 열수요가 많은 고객에 대하여는 스토익가스엔진을, 전력수요가 많은 고객에 대하여는 고효율인 린번 가스엔진을 추천함으로서 需要家에게 수요에 알맞는 최적의 열병합이라는 것을 확신하도록 하여야 할것이다.