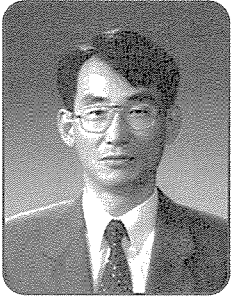


소형 열병합발전 기술 동향(Ⅱ-1)



한국에너지기술연구원
고효율에너지연구부
공학박사 박 화 춘
Tel : (042)860-3162

I. 소형 열병합발전 개요

1. 소형 열병합발전의 필요성

가. 분산발전의 필요성

분산발전 사업은 제한된 에너지 이용효율, 환경오염, 대규모 투자에 따른 투자위험 증가, 발전소 입지난 등 기존 에너지 산업이 안고 있는 많은 문제들을 극복할 수 있는 해결책으로서, 에너지 산업에 일대 혁명과도 같은 변화를 불러올 것입니다. 1978년의 오일쇼크 이후 에너지 자원의 고갈에 대비하여 고효율 발전 시스템의 필요성이 부각된 이래 효율향상을 위한 기술개발이 지속되어 왔으며, 대형발전소 및 송배전망 확충에 소요되는 대규모 투자와 이에 따른 투자위험도를 최소화하고, 환경오염을 최소화하는 동시에 폐열 활용을 통해 에너지 이용효율을 대폭적으로 향상시킬 수 있으며, 투자규모가 작고 대체에너지 혹은 청정연료의 적용이 용이한 분산발전의 중요성이 부각되고 있다.

따라서 날로 중요성을 더해 가고 있는 분산발전의 보급과 기술우위 확보를 위한 선진국의 연구 활동 및 대규모 투자가 점차 집중되고 있다.

- 모든 에너지사업 중에서 Cogeneration의 에너지 효율이 가장 높으며 (80~90%), 에너지절감 효과도 검증되어 있음 (평균 20%)
- 국제환경규제에 대한 대응성이 좋다.

- 도시가스가 청정연료로서 가장 좋다.
- 고효율이므로 단위 에너지(전기+열) 당 연료 소비(CO₂ 발생량)가 적음.
- 우리나라의 높은 에너지 수입비중과, 높은 에너지 생산비용을 고려할 때, 더욱 더 효율이 높은 에너지 시스템을 육성하는 것은 당연함.

○ 열병합발전설비의 장단점

- 소형 열병합 설비의 장점

- 열병합설비는 총 시스템 효율 75~90%로서 한전발전 전기와 열전용 보일러 사용 시보다 에너지 사용 측면에서 15~35% 절감 가능이 가능함.
- 청정연료인 LNG를 사용하여 저 NO_x 연소기술을 적용함으로써 SO_x 및 NO_x 발생량을 줄이고 에너지 효율 향상에 따른 CO₂ 배출을 최소화할 수 있음.
- 분산발전원으로서 대형 발전 및 송배전 설비 설치를 줄일 수 있고, 송배전 손실이 거의 없기 때문에 효율적 에너지 사용이 가능함.

- 소형 열병합 설비의 단점

- 열병합발전 설비의 많은 장점에도 불구하고 보급이 지연되고 있는 것은 보수유지 비용이 상대적으로 높고,
- 에너지 수요와 공급측면의 열전비가 적합하지 못할 경우 에너지 이용효율이 낮을 수 있음.
- 특히 설비 투자비가 상대적으로 크고, LNG를 사용할 경우 연료비가 높아 경제성이 불투명함.

II. 소형 열병합발전 기술개발

1. 가스엔진 열병합발전 시스템 개발

현재 분산형 발전 구동기기 중에서 소형 열병합 발전인 경우에는 가스엔진이 에너지효율이 가장 높고

경제성이 뛰어나기 때문에 국내의 경우 아파트 단지를 중심으로 300kW급 가스엔진 열병합 발전시스템이 가장 많이 보급되고 있다. 친환경적 연료인 천연가스를 이용하여 엔진을 구동하고 고효율 발전기를 사용하여 전기에너지를 생산할 수 있다. 또한 엔진에서 발생하는 배기가스는 높은 열에너지를 함유하고 있으므로 이를 배기열교환기를 통하여 흡수하고 엔진냉각을 위하여 사용하는 냉각수와 함께 냉각수 열교환기를 통하여 외부에서 사용할 수 있는 열에너지로 변환된다.

300K급 가스엔진 열병합발전시스템에 관련된 주요 요소기술은 크게 원동기 기술, 발전기기술, 제어기술, 주변기기기술, 배열회수관련기술, 운전 및 유지보수, 시공 및 설치관련기술 등으로 나누어져 있다.

가. 배기규제 대응형 가스엔진 개발

국내 천연가스 엔진의 경우 엔진본체는 자체적으로 생산되어 있으나 열병합 발전용 천연가스 엔진의 전자제어장치는 전무한 상태이고, Woodward, Altronic, Waukesha, Heinzmann 등의 국외 전자제어장치에 전적으로 의존하고 있다. 따라서 국내에 열병합 발전시스템을 도입하는데 있어서 천연가스엔진을 포함한 열병합 발전시스템 전체를 고가로 수입하여 사용하고 있으며 A/S에도 많은 시간과 비용이 소모되고 있는 실정이다.

또한 앞으로 차량용 엔진과 마찬가지로 산업용 엔

진의 배기가스 규제치를 점점 강화시킬 계획으로 있으며 기존의 천연가스 엔진으로는 추후 강화되는 배기가스 규제치를 만족시키기 어려울 것으로 보고 있으며 국내에서도 열병합 발전용 고효율 저공해 가스엔진개발이 불가피하고 할 수 있다.

이를 위해서는 배기저감 측면에서 유리한 Rich Burn 엔진과 에너지 효율측면에서 유리한 Lean Burn 엔진 두 가지 방식이 고려되고 있다. 이론공연비 연소와 삼원촉매장치를 적용한 Rich Burn 엔진의 경우 엔진 열부하 증가에 따른 엔진 냉각계의 설계변경이 요구되며 정확한 공연비 제어가 가장 중요하다. 희박 연소 방식의 Lean Burn 엔진에서는 안정적인 점화를 위한 고에너지 점화장치와 정확한 공연비제어가 가장 중요하다.

이를 위하여 차량용 천연가스 엔진과 열병합 발전용 엔진개발에 여러 차례 개발 경험을 가진 한국기계연구원을 중심으로 엔진제작사(대우중합기계), 엔진 제어장치 전문 벤처회사(템스), 발전시스템 전문회사(보국전기)의 축적된 기술을 활용하여 국내 자체기술로 2005년 배기규제에 대응한 300kW급 열병합 발전용 가스엔진을 개발하고 있다.

1) 천연가스엔진의 배기저감 기술

천연가스엔진의 공연비에 따른 성능 특성은 [그림 1]과 같다.

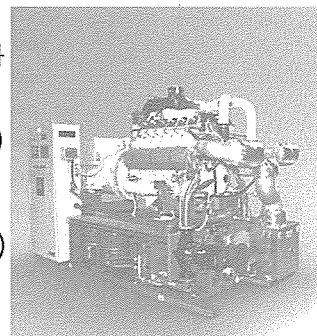
이론공연비 영역에서는 NOx가 많이 배출되나, 삼

고효율 저공해 소형 엔진 열병합발전 시스템 상용화 개발

KIER

▶ 국내 보급용 300kW급 고효율 열병합발전 시스템 상용화

- 대상원동기 : 가스엔진, 사용연료 : LNG
(현 여건에서 가장 고효율, 경제적이며, 주 보급대상)
- 발전용량 : 300kW이상, 열용량 : 450kW이상
- 종합효율 85%이상(현재 80%, 일본 88%, 독일 90%)
(발전효율 32%이상, 열효율 53%이상)
- NOx배출 : 50ppm이하
(2005년이후 규제기준)
- 보수유지 : 6,000시간, 수명 : 30,000시간, 내구수명 : 15년
- 부분부하특성 제고 : 부분부하율 60%이상 시 정격효율의 80%이상 유지

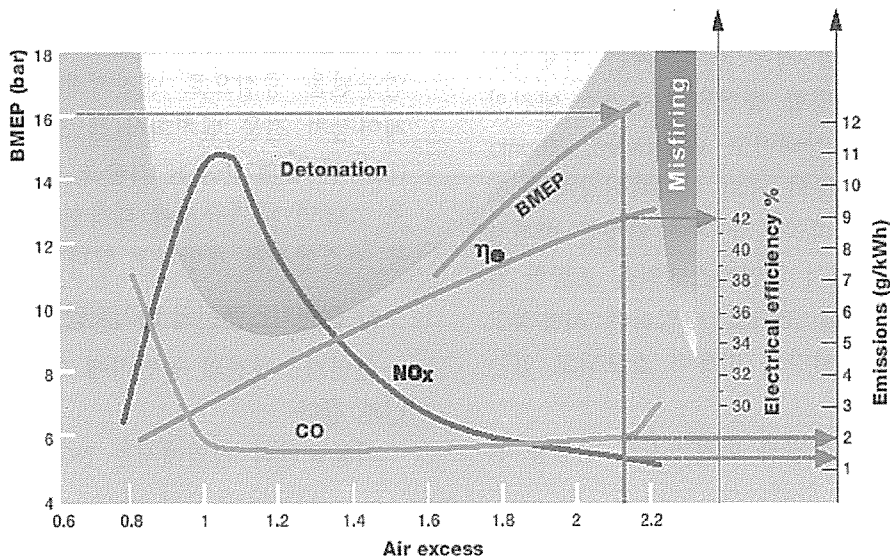


원축매를 사용하여 NOx를 줄일 수 있다. 삼원축매란 미연탄화수소(THC)와 일산화탄소(CO), 산화질소물(NOx)의 세가지 성분(삼원)을 동시에 저감하는 것으로서 THC와 CO는 산화반응을 하여야 하고, NOx는 환원반응을 하여야 한다. 축매에서 공연비 변화에 따른 전환효율은 [그림 2]에 나타나 있으며, 이 세 가지 성분의 전환효율이 높은 곳은 이론공연비 ($\lambda=1.0$)부근이다. 따라서 유해 배기성분을 줄이려면 이론공연비에서 운전하여야 만이 삼원축매의 전환효율이 높아 결론적으로 유해배기가스가 적게 배출된다.

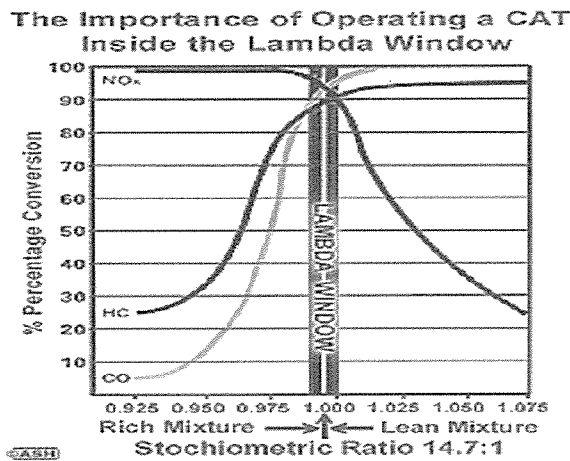
희박영역에서는 엔진의 효율도 증가하고 NOx도 작게 배출되며, 희박영역을 극대화 할수록 NOx의 배출량은 줄어든다. 그러나 희박한계를 지나면 실화가 발생하여 엔진 제어가 불완전해진다. 따라서 실화가

일어나지 않는 범위에서 희박한계를 최대화하는 것이 희박연소 기술의 핵심이다. 희박영역에서 NOx는 이론공연비연소에 비해서 매우 낮게 생성되나, [그림 2]에서 알 수 있듯이 축매에서 NOx의 전환효율은 매우 낮다. 따라서 희박영역에서 NOx를 저감하는 De-NOx 축매의 개발도 시도되고 있지만 그 성능이 미흡한 실정이다. 현재로서는 암모니아(NH3)를 사용하는 SCR(Selective Catalyst Reduction)이 NOx 저감기술로 사용되고 있으나, 장치 비용이 고가일 뿐 아니라 암모니아 사용에 따른 누출 위험성과 유지비용 과다로 작은 엔진에 적용하기에는 아직 요원한 실정이다.

본 개발에서는 대우종합기계에서 생산하는 기존의 국산가스엔진을 이용하여 2005년 배기규제를 만족하는 엔진을 개발하고자 한다.



[그림 1] 공연비 변화에 따른 엔진 성능변화

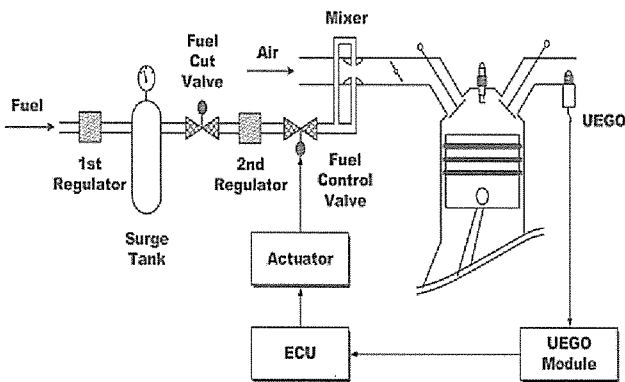


[그림 2] 공연비 변화에 따른 삼원축매의 전환효율

2) 엔진 제어장치 개발

가. 제어시스템

엔진의 공연비는 Throttle 개도(開度) 및 엔진스피드에 따른 공기량과 레귤레이터로부터 믹서에 공급되는 연료(NG)량에 따라 결정된다. 믹서와 1차, 2차 레귤레이터의 기계적인 조정으로 기본 연료 공급량이 정해지며, 별도의 Throttle 밸브를 이용하여 연료공급라인의 개도를 제어함으로써 믹서로 공급되는 연료량을 제어할 수 있도록 구성된다. 즉 하나의 Throttle 밸브는 부하와 회전수를 제어하고, 믹서 전단에 설치된 Throttle 밸브를 통하여 연료량만을 제어하여 공연비 조절이 가능하도록 하였다.



[그림 3] 연료공급시스템

나. 고효율 발전기 및 통합디지털 제어감시 시스템 개발

계통 연계 운전방식의 열병합발전 시스템의 경우 제어 시스템은 단순한 전압 제어기능 외에 보다 고도화된 제어와 보호를 위한 기능을 필요로 하며, 고품질의 전력공급과 관계된 전압제어의 속응성, 병렬 운전의 경우 부하 추종성 등을 위해 현대의 계측 및 제어 기법이 적용된 다양하고 융통성있는 고성능의 디지털형 제어 시스템의 개발이 필요하며, 동시에 성능평가를 위한 시험 및 환경시험, 연계시험 등의 수행이 필수 불가결한 요소로 판단된다.

열병합발전 시스템처럼 상시 운전되어지는 시스템의 경우 고장으로 인한 전체 손실은 열병합발전 시스템의 장점에 비례하여 커짐으로 시스템의 고장과 오동작을 미연에 방지할 수 있는 감시·제어 시스템의 필요성이 절실함. 이러한 감시·제어 시스템은 원동기 및 발전기 시스템의 운전 상태에 대한 실시간 모니터링을 포함하여, 이상 상태의 감지 및 경보 기능

을 포함하며, 시스템의 운전 데이터 로깅, 이벤트 데이터 로깅, 그리고 운전 파라미터 등의 설정 등을 할 수 있어야 한다.

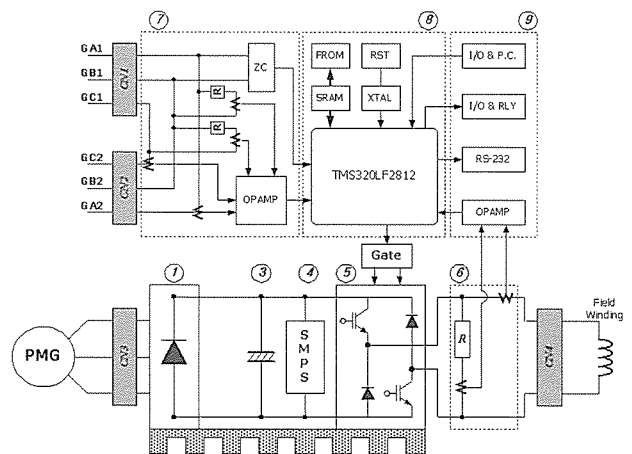
열병합발전 적용을 위해서는 용도 분석, 부하 패턴 분석을 통한 운전 방안 결정과 계통 연계 검토 에너지 밸런스 검토 등의 수요측 검토는 물론, 투자 회수 기간 분석과 내부 수익률 계산 등의 경제성 평가를 필수적으로 수행하는데 반하여 실제로 열병합발전 시스템이 설치되고 운용되는 시점에서는 실제 운용 효율 평가를 등한시하는 경향이 있다. 감시·제어 시스템은 데이터 로깅 및 분석 지원으로 열병합발전 시스템의 운용 효율 평가 및 운전 여건 변화에 따른 최적 운전 조건을 구현함으로써 고 부가가치의 제어 시스템을 실현할 수 있다.

1) AVR 및 통합 제어시스템 구성

가) AVR

AVR은 소형 열병합발전기(COGEN-300 Program) 제어용으로 적용되며 열병합발전기의 상용·연속운전용으로 적용되며 다음의 기능을 보유하도록 설계, 제작되었다.

- 발전기의 보호 기능 보유
- 계통연계운전 및 병렬 운전 가능
- 발전기 단독 혹은 통합제어시스템과의 연계운전 가능
- PMG(permanent magnet generator) 또는 보조 Exciter에 의한 Brushless형 AVR
- 유효/무효 전력 및 주파수 계측 기능
- 전압 matching 기능



[그림 4] AVR의 전체 구성도

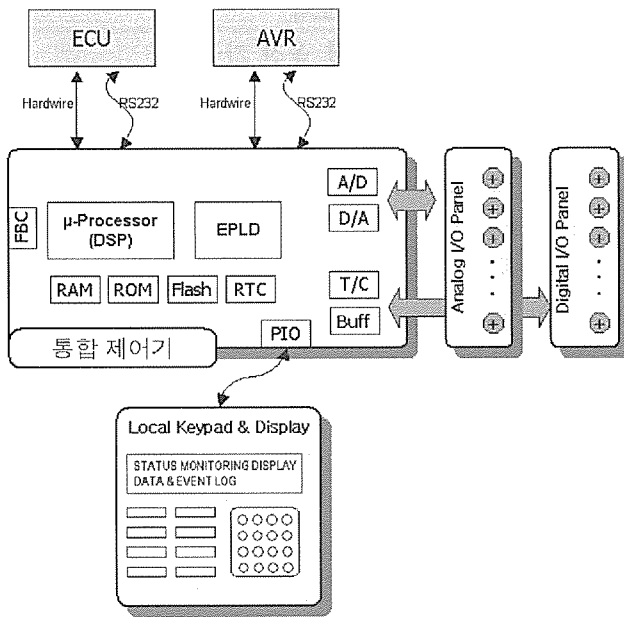
나) 통합제어시스템

- 통합제어장치 개요

통합제어장치는 기존의 엔진구동 동기발전기의 제어를 위해서 필요로 하는 엔진 제어장치, 자동 전압조정장치, 발전기 및 계통연계장치, 보호장치 등의 제어 장치 및 기능을 통합적으로 관리함으로써 제어의 정밀도, 과도응답성 등의 기술적인 측면에서의 성능을 향상시키고 발전기 제어반의 구성에 있어서도 개별 제어를 조합하여 설계, 제작함으로써 시스템 크기를 축소시키고, 총 시스템 가격을 낮출 수 있다.

- 통합제어장치 구성

통합제어장치는 고속 마이크로프로세서인 DSP를 기본 CPU로 하여 외부 장치(센서 및 액추에이터)와의 인터페이스를 위한 다수의 입출력 장치를 포함하며, 사용자 인터페이스를 위한 LED 및 LCD디스플레이와 푸시버튼으로 구성된 로컬 키패드 앤 디스플레이 패널, 그리고 ECU와 AVR 등의 외부 제어장치와 연결하기 위한 직력 통신포트 등으로 구성된다.

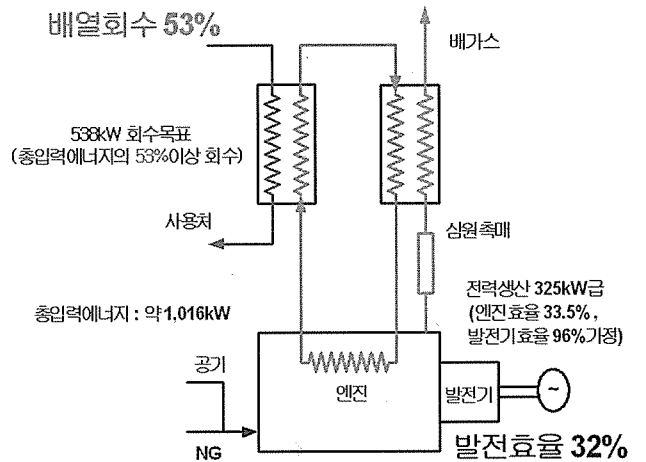


[그림 5] 통합제어시스템의 구성도

다. 배열회수 기술 개발

열병합발전시스템의 전체 효율은 엔진효율과 배열회수효율의 합으로 나타낼 수 있으며, 시스템 전체 효율을 증가시키기 위해서는 엔진효율 향상과 더불어

배열회수효율의 향상이 필수적이라 할 수 있다.



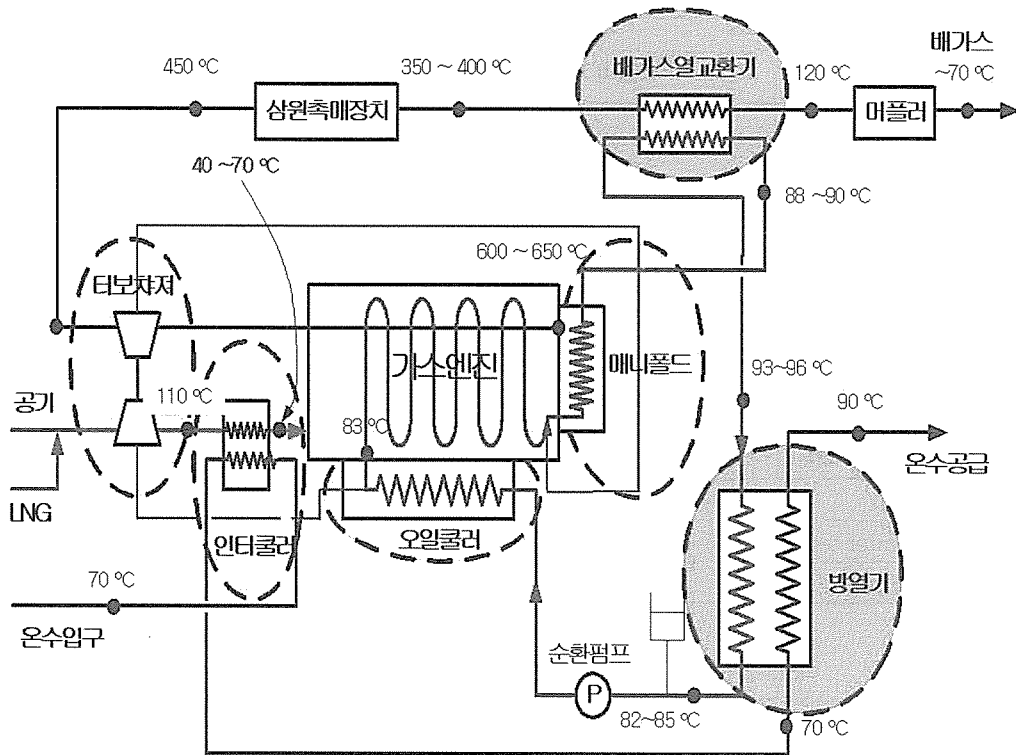
[그림 6] 소형열병합발전 시스템의 계통도

소형열병합발전 시스템의 계통도는 [그림 6]과 같고, 열정산은 [그림 7]와 같이 축출력을 통한 전기생산, 엔진자켓, 매니폴드, 배기가스 열교환기, 오일쿨러, 인터쿨러 등을 통한 열생산, 그리고 손실분으로 나뉜다.

| | | |
|--------------|-----------------|--------------------|
| 연료입력 100% | 전력 생산 30~33% | 축출력 = 30~33% |
| | 열 생산 48~53% | 엔진 자켓 = 20~25% |
| | | 배기가스 열교환기 = 20~25% |
| | | 오일쿨러 및 인터쿨러 = 3~5% |
| | | 열 손실 = 10~20% |

[그림 7] 소형열병합발전 시스템의 열정산

일반적으로 내연기관의 효율은 20~40% 수준이며, 나머지 60~80%의 에너지는 대기 중에 버려지게 되는데, 이때의 배열 온도가 400~600°C 정도이므로 많은 유용한 에너지가 대기 중으로 사라진다고 볼 수 있다. 이 버려지는 열을 효과적으로 회수할 수 있다면 유효한 에너지를 얻을 수 있게 되어 총열이용율을 70~85%까지 끌어 올릴 수 있다. 즉, 40~45%의 연소열이 배열회수장치에서 회수되어야 한다는 점을 생각하면, 배열회수장치의 설계기술 개발은 기술적으로 매우 중요함을 알 수 있다.

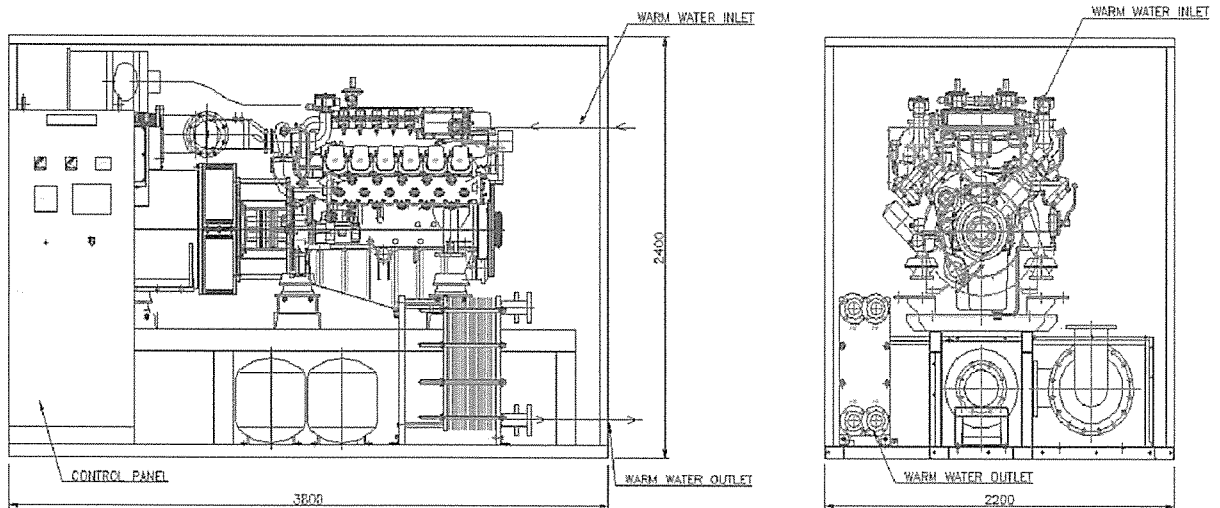


[그림 8] 배열회수 시스템 개략도

라. 시스템 기술 개발

1) 가스엔진 열병합발전시스템의 구성

[그림 9] 는 300kW급 개발시스템의 외형도이다.



[그림 9] 개발시스템 외형도

