

小型 熱併合 發電의 妥當性 研究

(3)

金 武 祚

코오롱엔지니어링 자동화사업본부 상무

3. 서 독

독일에 관하여는 아직 통일독일에 대한 자료가 없는 관계로 서독에 대한 자료만 조사하였다.

공업선진국에 있어서는 공해문제와 함께 자원유한의 인식이 고취되어 있고 제1차 유류파동 이후 신에너지의 개발을 급선무로 하고 있다.

제2차 유류파동후에도 이점에는 변화가 없지만, 신에너지의 개발에는 막대한 투자가 필요하기 때문에 그보다는 에너지 절약 기기의 개발을 일보 전진시켜, 이제 더한층 에너지 유효이용을 지향하는 방책으로써 지금까지는 버려지던 에너지를 회수 이용하기 위해 倍前의 노력을 하여 손실을 회피하여야 하지 않는가(손실의 회피)하는 사고 방식이 일어나고 있다.

에너지의 비용상승(Cost-up)에 따라서 손실의 회피는 점점 더 효과적으로 되며, 이 사고방

식은 한층 더 중시되어 가고 있다. 이것은 공급지향 중심주의로부터 회수지향 중점주의로의 전환이라고도 일컬어지고 있다.

구주 특히 서독에서는 이와 같은 사고방식에 근거하여 주단위의 대규모 발전으로부터 우선 도시단위의 집중식 열전공급 시스템(Fern Warme)과 도시내에 복수의 플랜트를 분산하여 배치하는 분산식 열전공급시스템(BHK-W)이 지금까지 발전되어 왔다. 최근에는 원거리 열공급(Fern Warem)에 대하여 BHKW를 근거리 열공급(Nahe Warme)라고도 부른다.

이하 이의 발전단계와 배기가스 처리방법 등 최근의 사정에 대하여 알아보자.

가. 서독의 에너지 수지

서독 전체의 에너지 수지의 총 합계를 보면 그다지 화려한 것은 아니다.

서독의 에너지는 수입에 의한 것이 63%, 국

〈표 4-4〉 서독의 에너지 사용비율 및 손실 내역

區 分	使用에너지(100%)	損失(55%) 內譯	DM 換算
發 電 所	30.6(%)	16.83(%)	306(億DM)
工 業	16.5	9.075	165
運 輸 交 通	17.7	9.735	177
家 庭 및 소 량 消 費 者	26	14.3	260
기 타	9.2	5.06	92
합 計	100	55	1,000

내에서 산출되는 것이 37%이었지만, 유효하게 이용되는 에너지는 겨우 27%뿐이며, 55%가 손실이고 비에너지적 이용(예를 들면 화학 원 재료 등)과 수출분은 겨우 18%이다.

만약 연간 에너지 손실을 열손실로 표시하고 이것을 유류연소 보일러 시스템에서 발생하는 것으로 환산하면 여기에 필요한 유류는 1000억 도이치마르크에 상당한다.

나. 서독에 있어서 에너지공급사업체의 종류

서독에는 다음과 같은 에너지 공급사업체가 있다. 즉,

- (1) 전력 혹은 가스단의 상호 연락 시스템에 각각 속하는 관류구조의 대규모 전력 플랜트군 및 대규모 가스 플랜트군
- (2) 전력, 가스 및 열을 개별적으로 공급하는 사업자로서 시·읍·면의 개별 중규모 프랜트군
- (3) 전력, 가스 및 경우에 따라서는 열도 동시에 공급하는 지방자치제의 공익 사업체(Stadtwerke)

가 있다. 이러한 것 가운데 정부와 지방자치체가 에너지 절감 혹은 「손실의 방지」를 목표로 크게 노력하고 있는 처지에 있고 또 장소에 따라서 열, 전력 공급시스템의 여러 종류의 사례가 지방자치체에 의하여 개발되어 왔다.

다. 열전력 결합 시스템의 제 형태

주택의 단열이나 공업의 배열 회수를 별도로 하면 손실을 적게 하는데 큰 효과가 있다고 기대할 수 있는 것은 열전력 결합 시스템(KWK : Kraft-Warme Kopplung)이다.

여기에는 우선 1도시에 1개소라고 하는 광대한 원거리 열공급망과 전력공급망을 갖는 증기 터빈 기준의 중규모 열병합발전 플랜트(HRW=Heizkraftwerk-fern Wärme)가 개발되고, 그 후 이것을 보완하기 위해 소규모의 열병합 플랜트만을 분산시켜 복수 재배치시키는 것이 에너지의 종합이용률이 가장 높다는 점에서 권장되고 있다. 이것은 분산식 열전력 결합(Dezentrale Wärme-Kraft Kopplung)이라고 불리고 있지만 이를테면 분산식 열전공급시스템(BHKW : Blockheizkraftwerke)이라고 불려져야 할 것이다.

이 BHKW에 의한 열, 전 공급은 건물의 건설밀도가 작고 좁은 주택이 많은 지역에서도 경제적으로 실현할 수 있는 것으로 되어 있다.

이와 같은 BHKW이 에너지 유효이용률은 85% 이상, 최근에는 92%까지 이르고 있다. 따라서 BHKW는 통상의 HKW보다 적어도 약 10%, 최신의 것은 약 17% 정도 효율이 좋다. 이것은 단지 원거리 열수송을 근거리 열수송으로 전환하는 것에 의한 「손실의 방지」뿐만 아

니고, 엔진의 우수한 열효율과, 70℃ 이하의 낮은 온도의 열을 원만하게 이용하는 것, 동시에 엔진으로부터의 복사열을 회수하는 것에 의하여 가능하게 된 것이다.

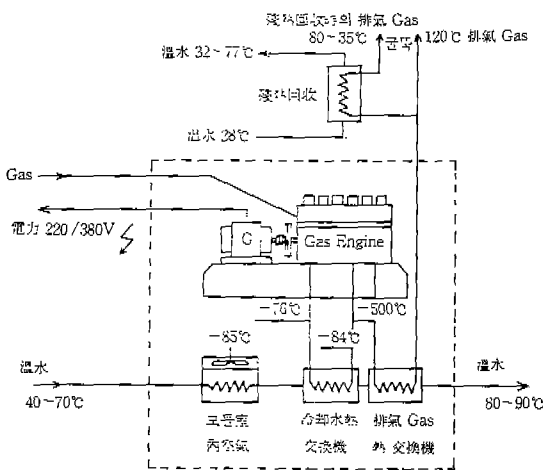
또한, 투자원가에 있어서도, BHKW는 집중식 HKW와 비교하여 한층 더 유리하고, 발전소의 원가와 함께 에너지의 수송 원가도 명백히 낮다.

라. BHKW 모듈과 장점

가스엔진의 배열이나 복사열을 이용하는 BHKW의 표준적인 방식을 모듈이라고 부른다. 즉 그림 4-1의 점선내 기기와 가스엔진 및 발전기를 포함한 것이다.

그림 4-2는 BHKW(분산식 열전공급) 모듈에 의하여 많은 에너지가 어떻게 절약되고, 또 그 결과 대규모 비 열병합 발전 시스템의 유난히 큰 손실이 어떻게 경감될 수 있는가를 나타내고 있다.

대규모의 비 열병합 발전소(전력)와 보일러만의 플랜트(열)에서는 33단위의 전력과 66단위의 열을 얻기 위하여 204단위의 1차 에너지



<그림 4-1> 복사열과 잔열을 회수하는 BHKW 모듈

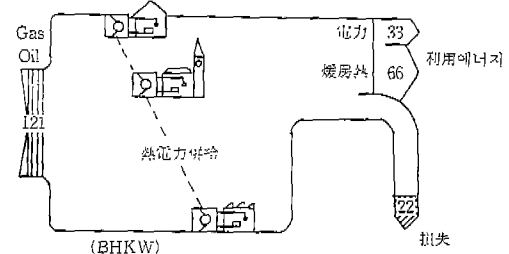
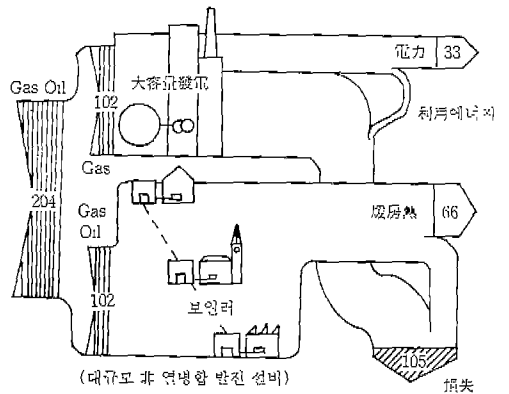
가 필요하다.

그러나 BHKW에서는 같은 33단위의 전력과 66단위의 열을 발생시키기 위하여 필요한 1차에너지를 121단위까지 감소시킬 수 있다.

마. BHKW의 장점

표 4-5는 BHKW기술의 모든 중요한 장점을 총괄적으로 요약한 것이다. 열, 전 병합의 분산식 혹은 그 변형은 가까운 장래, 서독은 물론, 다른 많은 공업국이나 발전도상국에 있어서 총합에너지 수지의 개선을 위하여 결정적으로 기여하고, 이것에 의하여 경제적인 장점을 얻은 입장이라고 보여진다.

바. BHKW의 기술적 발전



<그림 4-2> 대규모 비 열병합 발전설비와 BHKW의 소요 일차 에너지 비교

〈표 4-5〉 BHKW의 장점

1. 대용량 발전+보일러 시스템에 비하여 1차 에너지를 35~45% 절약할 수 있다.
2. 투자원가는 통상의 원거리 집중식 열공급 시스템보다 30~50% 적다.
3. 전력과 열의 총합 이용률이 최고이다.
4. 분산식은, 저온도의 열도 회수하여 이용할 수 있다.
5. 지해시에는, 긴급전원시설로 된다.
6. 천연가스, 소화가스, 쓰레기가스, 폐기물 저장가스 및 석탄가스, 난방유 등에의 적합성이 있다.
7. 에너지의 합리적 이용에 의하여 수입에너지(석유, 가스, 석탄, 우탄)의 절약이 가능하다.
8. 열출력과 전기출력과의 융통성있는 사용 방식이 가능하다.
9. 히트 펌프, 냉동기와와의 조합이 가능하다.
10. 전력의 Peak Cut(첨두 부하 억제) 용으로 사용할 수 있다.

1981년말 서독에는 BHKW 모듈은 건설중인 것을 포함하여 100개소 이상 설치되고, 1983년 10월에는 255개소, 1987년 4월에는 340개소로 증가되었다.

내연발전에 의한 열병합 발전은 1975년에 처음으로 하이덴 하임시에 설치한 이후 오늘에 이르러서는 충분히 신뢰받을 수 있는 고도의 수준에 달하고 있다. 여기에서 사용되는 내연기관으로는 2 혹은 4 행정의 불꽃점화형 가스엔진 또는 디젤 엔진, 두과급(無送給) 혹은 터브차-저부 등이다.

그래서 일반적으로 플랜트 전체의 연비효율을 올리고 그러면서도 고장에 의한 가동률 저하의 위험성을 극력 피하기 위하여, 복수대의 엔진을 대수제어에 의하여 운전하는 대수제어 방식이 채용되고 있다.

발전기는 동기 혹은 비동기 발전기로서 공익사업체의 계통과 병렬운전시킨다. 한 플랜트의 드기는 대체로 소비자의 열수요에 의하여 결정되지만 특히 공업용의 분야에서는 작업이나 생산고에 의한 전력수요에 의하여 결정된다.

BHKW 모듈에 의한 열, 전력 공급시스템이 적합한 열수용가는 병원, 실내수영장, 주택지역, 학교, 공장 등과 외기온도에 영향을 받는 공업가열, 110℃까지의 프로세스 가열을 하는 곳 등이다.

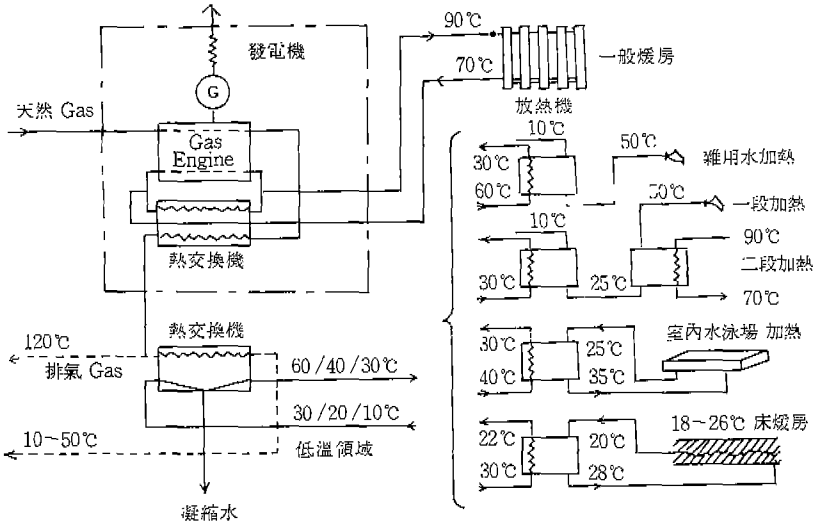
플랜트의 운전은 완전히 자동화되고, 유지관리는 그다지 필요하지 않다. BHKW 시스템의 규모는 전기출력 250~2,000kW이지만, 최근에는 이것보다 큰 출력(전기출력 9MW)이나, 역으로 적은 출력의 플랜트도 운전될 수 있도록 되어 있다.

중요한 것은, 발전 유닛에 사용되고 있는 엔진(트럭용 또는 선박용)의 수명이다. 하이덴 하임에는 이와 같은 엔진은 지금까지 전면 오버홀없이 45,000 시간 이상 전부하 운전되고 있다. 하수처리용 소화가스를 연료로 하는 엔진은 8,000시간 이상의 수명실적이 있다.

에너지의 유효이용률은, 난방기간을 통하여 측정된 결과, 배기가스의 이용법에 따라 변화되고 있다. 예를 들면, 배기가스를 50℃ 이하까지 냉각시키는 배기가스 잠열의 철저 이용법은 더욱 새로운 기술의 발전에 연관될 것이다.

배기가스 잠열은, 예를 들면 히트 펌프를 설치하지 않고도 85%의 총합유효이용률을 93% 이상으로까지 개선하여 배기가스, 연도에 대한 투자 원가를 종래 필요액의 1/4 이하로까지 저하시킬 수 있다. BHKW의 영역에서만 보더라도 낮은 온도로부터도 열회수가 가능하고, 열을 철저히 이용할 수 있는 것이다.

그 예로 그림 4-3에 잠용수 가열, 일단가열, 이단가열, 수영장 가열 및, 바닥난방의 예가 제



〈그림 4-3〉 BHKW 배기가스 잠열의 이용방법

시되어 있다.

플랜트는 기존의 전력망에 용이하게 연계되고, 문제없이 공익사업체의 전력과 병렬운전된다. 대부분의 경우, 플랜트는 변압기 스테이션(변전소)의 저전압선에 접속된다. 이 변압기 스테이션은 기존의 것이다.

플랜트는 10~60초 이내에 자동적으로 기동된다. 따라서 BHKW는 다른 어떠한 발전소보다도 짧은 시간내에 전력을 발생할 수 있다.

사. BHKW 모듈과 타방식 조합의 검토

내연 기관에 열병합 발전인 BHKW 모듈은 이미 완성되어 있는 다른 각종 방식과의 조합도 가능하다.

(1) 엔진+첨단부하용 보일러

이 조합은 가장 일반적인 것이다. 이것은 엔진의 운전시간이 비교적 길고 전체설비를 절감하고 경우에 따라서는 130°C 이상 온수를 공급하는 것도 가능하다.

(2) 엔진+컴프레서와 등축에서의 비동기 발전기(텐덤장치)

이것은 발전과 히트 펌프운전을 동시에 하는 것이다.

(3) BHKW 모듈+전동 히트 펌프

이 조합은 밀집된 지역의 변두리에 있는 고립된 건물에 적합하다. BHKW 모듈은 밀집된 지역에 열을 직접 공급하지만, 한편 발전된 전력은 동시에 주위의 건물에 공급된다. 이와 같은 조합은 유류연소 보일러 플랜트에 비하여 입력에너지를 반 정도 감소시킬 수 있다.

(4) BHKW 모듈+냉기이용 스크류 컴프레서

이 조합은 소규모 및 대규모의 공업에서 흥미를 갖는 조합방식이다.

(5) BHKW 모듈+흡수식 냉동기

이 조합은 모두 가스엔진을 써서 이용할 수 있고 비교적 단기간에 계획하여 건설할 수도 있다.

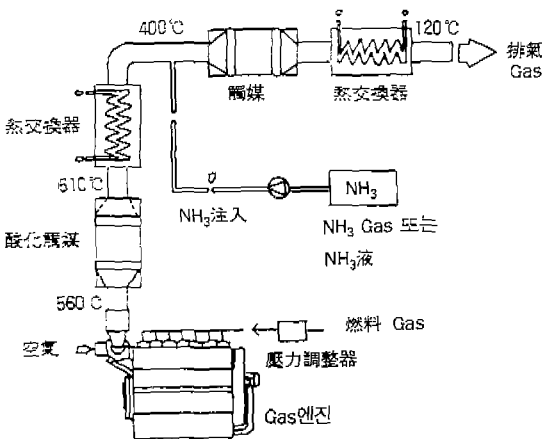
아. BHKW의 1차 에너지에 대하여

BHKW의 가스엔진의 연료로서는 천연가스가 최적이라고 생각된다. 왜냐하면 천연가스는 남후 수년에 걸쳐서 이용가능하다고 생각되기 때문이다. 1980~1981년에 걸친 시점에서는, 세계의 천연가스원은 총량 264m³에 이르고 있다. 기타 에너지로는 폐기물 건류로부터의 Pyrolyse-gas가 이용 가능하다. 10만인의 도시에서 배출되는 폐기물로 전기출력 2,000~3,000kW, 열출력 3,000~5,000kW를 발생시킬 수 있다.

또한, 하수처리장에서 발생하는 바이오 가스(소화가스, 주성분 메탄)도 사용 가능하다. 이 가스의 경우는 10만명이 배출하는 하수로부터 500kW의 전기출력을 얻을 수 있다. 열출력은 소화조를 가열하여 다시 600kW를 얻을 수 있고, 히트-펌프를 사용하여 하수로부터도 뽑아 올릴수록 한다면 다시 1,000~2,000kW의 열출력이 얻어지게 된다.

또 이 하수처리의 분야에 있어서는 연구에 따라서 하수 슬러지로부터 대량의 가스와 기름을 만들 수 있다.

기타 석탄가스를 사용하는 것도 가능하다.



〈그림 4-4〉 선택 촉매방식

이것은 대규모의 가스화 플랜트의 가스로도, 기타 각지역 분산되어 있는 저 칼로리 가스로도 사용할 수 있다. 서독에 있어서는 후자의 예에 대해서 프로젝트가 이루어져서 실험되고 있다. 석탄을 가스화하여 이것을 BHKW 모듈에 사용하는 응축식 터빈에 의한 발전소로서 석탄을 전력에 변환하는 것에 비하여 큰 이점이 있다. 즉, 1차 에너지의 이용률은 32%에서 75% 이상으로 상승한다. 이 중 약 30%가 전력으로, 45%가 열에 해당되고 있다.

자. 에너지 수송비

에너지 정책상 BHKW를 기존의 전력, 가스, 열의 발생과 배송 시스템에 조합하여 넣을 때는 에너지의 수송비도 포함하여 비교 검토해 보는 것이 좋다.

기름을 제외한다면 에너지는 가스의 형태가 가장 경제적인 수송형태이다. 즉, 가스는 전력의 17%의 수송효과가 있고 난방용 온수의 71배의 수송력이 있다.

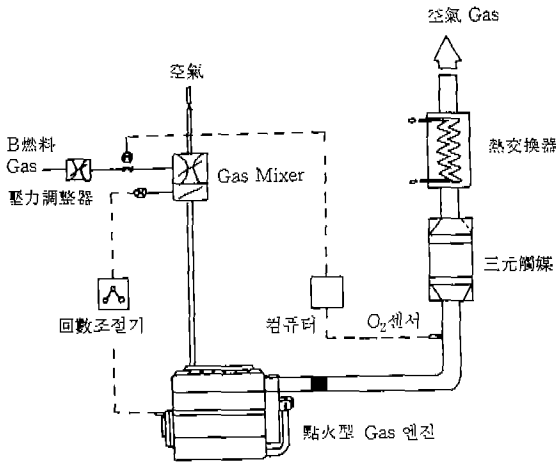
차. 배기가스 대책에 대하여

1983년에는 산성비에 의하여 삼림이 고사하는 현상이 사회적인 문제가 되고 공해문제도 심각하게 되었다.

BHKW도 그 대상으로 되어 NOx, CO, HC를 규제하는 법규가 제정되었다.

배기가스 대책으로는, 다음의 세가지 방법이 있다.

- (1) Selektion Katalysator(선택촉매) 방식
세라믹 촉매와 환원제(암모니아, NH₃)의 조합법(그림 4-4 참조)



<그림 4-5> 3원 촉매방식

(2) 3원 촉매방식

산소(O₂) 센서에 의하여 배기가스중의 산소 농도를 측정하여 NO_x, CO, HC의 정화효율이 함께 최량으로 되도록 연료를 조정하여 배기가스를 3원촉매에 통하는 방식(그림 4-5 참조)

(3) 희박 연소 방식

공기와 연료의 혼합비를 제어하여 NO_x를 저감하는 방식으로 공기비를 크게 잘라서 연료를 희박하게 하여 엔진에 공급하는 방식

제 5 장 소형 열병합 발전의 기술적인 검토

1. 디젤 엔진 열병합 발전

내연 기관의 출현은 19세기의 중엽으로 거슬러 올라가지만 바로 최근까지 전적으로 동력발생장치로 사용되고 동시에 배기열이나 냉각수 열로 배출되는 대량의 열을 회수하는 일은 없었다. 근년에 들어서 에너지 자원의 경제적 전

략적 가치관의 변화에 의하여 가격의 앙등과 에너지 절감이 중요해졌기 때문에 내연기관은 동력, 열발생 장치로서 보여지고, 열병합 발전 시스템에 있어서 중심적인 위치를 차지하게 되었다.

그런 중에도 디젤 엔진은 내연기관 중에서 가장 열효율이 높은 열기관으로 평가되고 많은 분야의 산업용 원동기로 사용되는 한편 비교적 대형 기관이 사용되는 선박이나 공장, 화학플랜트 등에서는 엔진 배기열, 냉각수열의 유효 이용이 오래전부터 행해져 왔다. 그러나 수백 kW급의 디젤 기관이 에너지 플랜트(중래는 동력플랜트)의 중핵으로서의 위치를 점하게 된 것은 극히 최근부터이다.

여기에서는 디젤 엔진의 동력, 열발생장치의 관점에서 특성 등의 대요를 기술한다.

가. 디젤 엔진의 특징

디젤 엔진의 작동은 다른 내연기관과 마찬가지로 흡입, 압축, 연소(팽창), 배기의 4행정 사이클로 이루어져 있지만, 작동의 가장 큰 특징은 흡입행정에서 공기만을 흡입하고 연료는 압축행정 중점에서 공급되는 점에 있다.

그 특징을 보면 표 5-1과 같다.

나. 디젤 엔진의 열효율, 히트 밸런스

디젤 엔진의 출력범위는 일반 산업용의 수마력에서부터 대형선박 주기관의 수만 마력에 이르기까지 그 범위가 넓고 또 과급(過給)의 유무, 연소방식 등으로도 분류되는 바와 같이 디젤 엔진에는 여러 가지가 있다. 이 때문에 그 특성치에도 큰 폭이 있다. 열병합발전 시스템에서는 엔진의 배열을 이용하기 때문에 엔진의 열수지(히트 밸런스)는 중요한 특성이다. 디젤

〈표 5-1〉 디젤 엔진의 특징

기 본 원 리	작 동	특 징
1. 공기 압축후 연료를 공급한다.	1. 연료의 자기착화 온도까지 공기를 압축한다(압축비가 크고 작동압력이 높다).	1. 열효율이 높다.
2. 자기착화 연소	2. 연료를 분무상태로 하여 분사공급한다(혼합상태가 불균일하면 매연이 발생하기 쉽다).	2. 배열의 이용효율이 비교적 낮다.
	3. 연료, 공기의 혼합과 연소가 동시에 진행된다(O ₂ 과잉 혼합상태에서 연소).	3. 무거운 구조로 되어 있다.
		4. 비점이 낮은 연료(경유, A중유 등)가 사용된다.
		5. 배열회수 장치가 매연으로 오염되기 쉽다.
		6. NO _x , CO, HC의 발생 레벨이 낮다.
		7. 환원작용에 의한 NO _x 처리가 곤란하다.

엔진의 열시지중 몇 가지 예를 그림 5-1에 표시한다. 그림에서는 엔진 출력의 크기 순서로 나타내었지만 경향다운 것은 보이지 않고 거의 일정하다. 그림에 나타낸 값은 정격출력시의 것이다.

그림 5-2는 과급(過給) 디젤 기관 히트 밸런스의 전형적인 예로서 여기서 말하는 축출력은 엔진축단에 있어서의 동력을 기준으로 하고 배기가스에 대해서는 엔진출구(과급기 출구)에서 배기가스가 브유하는 엔탈피를 나타낸다.

더욱이 냉각수열에도 이용 불가능한 정도의 열도 포함되기 때문에 실제로 이용 가능한 열량은 히트 밸런스에서 나타내는 열량의 50% 정도로 된다. 배열 중에서 회수되지 않은 열은 폐열이 되어 엔진실로부터 연돌이나 냉각수관을 통하여 실외로 배출되지만, 도중에 열교환기 연도 등의 표면으로부터 실내에 방열되는 것으로서 히트 밸런스에 나타낸 기타의 열량 3~4%에 발전기의 발열량이 함께 가산되고 엔진실의 환기량을 필요로 한다. 통상 연료소비량(열량 환산)의 8% 정도의 발열량이 예상된다.

다. 냉각수의 특성

디젤 엔진의 냉각방식에는 공냉식, 수냉식이 있지만 열병합 발전시스템용의 대상이 되는 것은 모두 수냉식이다. 또한 현재는 수냉식에서도 순환식에 한하고 가스엔진에서 볼 수 있는 바와 같은 비등 냉각식은 존재하지 않는다. 디젤 엔진의 냉각수 순환계는 소형, 무과급 엔진에 많은 1냉각 계통식과 대형, 과급엔진에서 채용되고 있는 2 계통 냉각식(실린더 블록, 실린더 헤드를 냉각하는 고온수계와 윤활유, 공기 냉각계의 저온 냉각계로 분리)이 있다. 열병합 발전 엔진에서는 후자의 것이 많다.

1계통 냉각방식에서는 냉각수열의 전부를 엔진출구온도 80~95℃ 정도의 온수로 하여 배출할 수 있다. 단 엔진 출입구의 온도차는 엔진 내의 부분적인 고온이나 국부적인 비등, 유속의 저하에 의한 벽면, 물간의 열전달률의 저하를 피하기 위하여 통상 5℃ 전후로 유지한다.

한편 2차 냉각식의 경우는 실린더 냉각수열 그림 5-1은 1계통냉각식의 경우와 같은 온도 수준에서 배출될 수 있지만 윤활유, 공기 냉각

	0.5	1.6			1.8	2.7	
기타	4.5	20.8	4.3	4.3	3.5		
空氣冷却水	5.5		10.0	7.1	4.0	6.0	6.3
Oil冷却水	17.3		3.9		5.5	5.5	4.9
실린더冷却水			14.3	13.3	13.0	13.0	14.2
排氣 Gas							
	31.0	39.6	26.1	31.0	31.0	33.3	31.3
軸出力	41.2	38.0	41.4	40.2	43.0	40.0	40.6
엔진出力 (ps/rpm)	360/ 1,800	600/ 1,500	800/ 420	900/ 750	3,000 /600	3,600 /720	平均

〈그림 5-1〉 디젤 기관의 히트 밸런스(過給기관)

수 온도는 35℃ 정도(엔진 출입구 온도차 5℃ 이내)로 설정되어 있는 것이 많고, 유효이용이 어렵다.

이 열량이 의외로 많고 고과급기관에서는 10% 이상이다.

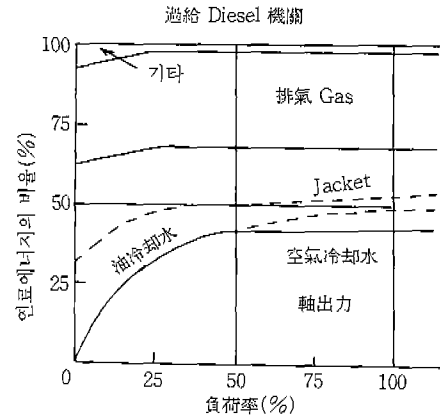
라. 배기가스 특성

(1) 배기가스의 온도, 유량

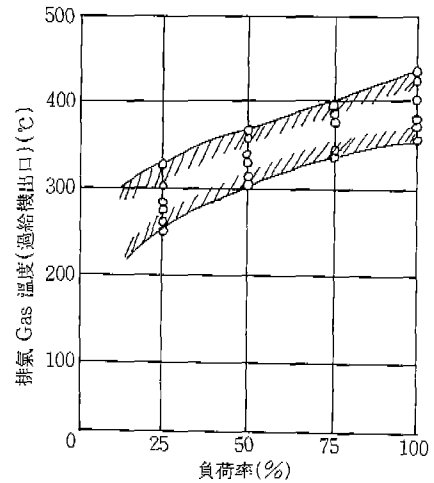
디젤 엔진의 배기열의 비율은 그림 5-2와 같이 가스엔진 등에 비하여 높지만 배기가스 온도는 그림 5-3 같이 출력변화에 따라서 크게 변화하고 그 온도 수준은 비교적 낮다.

배기가스의 유량은 무과급(無過給) 엔진의 경우 기관회전속도에 거의 비례하며 계산으로 구할 수 있지만 과급기관(過給機關)의 경우는 출력변화에 의하여 배기가스의 양도 크게 변화하기 때문에 제작자의 데이터에 의해 구해진다. 그러나 개략 검토할 경우는, 정격출력시의 값을 다음식으로 추정할 수 있다.

(가) 무과급기관의 경우



〈그림 5-2〉 過給 DIESEL 機關의 히트 밸런스 특성



〈그림 5-3〉 디젤기관의 배기 GAS 온도 (과급기 출구) 특성의 예

$$Q_g = 0.85 \times 30 \times n \times V_s \frac{t_g + 253}{t_a + 273} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

(나) 과급기관의 경우

$$Q_g = (1.8 \sim 2.4) \times 14 \times F \times \frac{1}{1,296} \cdot \frac{t_g + 273}{273} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

여기서

$$Q_g : \text{온도 } t_g \text{에 있어서 배기가스 유량} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

n : 엔진 회전속도(rpm)

Vs : 엔진 배기량(m^3)

tg : 배기가스 온도($^{\circ}C$)

ta : 대기온도($^{\circ}C$)

F : 연료유량(kg/h)

그런데 1.8~2.4는 空氣過剩率의 표준으로서 엔진의 크기에 따라 다르다. 예를 들면 실린더 경 150mm에서는 1.8, 200mm급 이상의 엔진에서는 2.4정도의 수치를 취한다.

(2) 배기가스 성분

디젤 엔진에 있어서 연소과정은 전술한 바와 같이 혼합과 연소가 동시에 진행되어(확산연소) 혼합기에 농도의 분포가 생기기 쉽다. 이 때문에 평균농도에서는 1.5~2.4배(전부하시)의 공기과잉 상태에서 운전되지만 국부적으로는 공기가 부족한 부분이 존재하고 매연의 발생을 완전히 방지하는 것은 극히 어려워 디젤 엔진의 배기에는 미량의 매연이 포함된다. 그 농도는 엔진의 크기에 따라 다르며 일반적으로 대형기관일수록 낮다.

예를 들면 100ps 정도의 소형기관에서는 50~80mg/Nm³ 정도 포함되지만 500ps급의 과급기관에서는 10~20mg/Nm³ 정도이다. 매연은 랑기가스온도, 벽면온도의 저하에 따라서 벽면의 부착이 촉진되어 열교환기의 능력을 급격히 저하시키는 것으로 열교환기의 설계에는 매연의 부착을 방지하든가 청소가 용이한 구조를 취하고 또한 열교환기 출구의 가스 온도가 200 $^{\circ}C$ 이하로 저하하지 않도록 하는 주의가 필요하다. 디젤 엔진의 랑기가스에 포함된 NOx는 열효율의 향상과 함께 증가되는 경향이 있다.

최근의 열병합발전 시스템의 보급에 따라서 배기량출에 의한 영향이 주목받게 됨에 따라 종래에는 대형 발생원에만 적용되어 오던 대기

오염방지법에 정치용 디젤 엔진(연료소비량 50ℓ/h 이상)이 포함되었고(1988년 2월 1일), NOx의 기준치는 950ppm(잔존산소 13% 환산치)으로 되었다. 디젤 엔진에 있어서 NOx의 배출량과 엔진효율과의 사이에는 부의 상관성이 있고 이 규제치를 연소의 개선으로 만족시키면 수 %의 연비율의 악화를 수반한다. 한편 후처리에서는 장치대, 운전비의 증가에 의하여 경제성의 악화를 초래하는 문제가 있다. 또 미립자 성분의 규제치는 0.1g/ m^3 로 되어 있지만 디젤 엔진의 경우 그 내용은 대부분 매연으로서 전술한 바와 같이 기관의 작동이 정상(연소기구에 이상이 있는 경우에는 매연 배출량의 증가를 수반한다)이라면 규제 수준을 초과하는 것은 없다.

배기가스량의 SO₂ 농도는 혼합비와 연료종의 유황 함유율로서 정해지며 연료의 선택에 의해서만 저감이 가능하다.

마. 소음, 진동

디젤 엔진은 왕복동(往復動) 기관으로서 간헐(間歇) 연소기관이기 때문에 약간의 소음, 진동을 수반하는 것은 피할 수 없다. 그러나 최근에는 왕복동 부품의 경량화, 가공정도(加工精度)의 향상이 진전되고 발전기 세트의 방진장치 기술이 실용화됨으로써 건물에의 진동 전달이 문제가 되는 일은 드물어졌다.

소음에 대해서도 기계실을 독립한 엔진실로 하는 것에 의하여 만족한 결과가 얻어지고 있다. 오히려 발전기 세트의 방진설치에 수반하여 배관류 접속부의 절손, 지진파와의 공진으로 인한 파괴가 문제가 된다. 이를 방지하는 데는 배관의 가동 접속, 스톱퍼 등 과대진동 방지 장치의 설치가 필요하다.

다음호에 계속