

小型 熱併合 發電의 妥當性 研究

(4)

金 武 祚

코오롱엔지니어링 자동화사업본부 상무

2. 가스엔진 열병합발전

가스를 연료로 하는 왕복동(往復動) 엔진의 역사는 액체연료 엔진보다 오래되었는데 구미에서는 19세기 전반부터 연구가 시작되었다.

미국에서는 풍부하게 생산되는 천연가스를 이용하는 동력원으로서, 유럽 특히 독일에서는 석탄가스를 이용하는 동력원으로서 19세기 중엽부터 가스엔진이 사용되어 왔다.

유럽에서는 그후의 가솔린엔진 및 디젤엔진의 발달에 의하여 가스엔진은 그다지 나타나지 않았지만 미국에서는 천연가스 산출량의 증대와 가스공급망의 발달에 의하여 착실히 그 기술의 확립과 함께 시장이 확대되어 왔다.

한편 유럽을 비롯한 세계적인 석유 소비국에는 최근 석유대체 연료로의 지향과 가스연소의 무공해성에 착안하여 다시 가스엔진을 응용한 플랜트의 수가 비약적으로 증대하고 있다.

일본에서는 천연가스의 산출량이 적기 때문

에 종래에는 가스연료를 사용하는 원동기가 거의 이용되지 않았지만 유럽과 비슷한 에너지 사정으로 인하여 최근에는 LNG가 석유대체 연료로서 주목을 받고 있다.

천연가스외에 현지 에너지로서 하수소화가스, 축산분뇨가스, 폐기식물가스 등 폐기물의 가스화에 의한 가스엔진 연료로서의 이용도 세계적으로 주목을 받아서 여러가지의 이용방법이 시험되고 있다. 금후 점차로 가스엔진에 의한 연소성능의 향상 등에 관한 기술이 개발될 것으로 기대된다.

가. 가스엔진의 특성

지역분산형 발전을 중심으로 하는 열병합 발전 시스템은 에너지 경제성으로부터 주목을 받고 있는데 그중에서도 특히 가스엔진 시스템은 에너지 이용효율이 극히 높은데도 배기공해가 적은 깨끗한 배기가스만을 발생하므로 산업용

외에도 도심부의 일반사무소건물, 병원, 인텔리전트 빌딩에 이르기까지 착실하게 보급되고 있다.

(1) 도시가스 연료의 이점

(가) 도시가스는 공급이 안정되어 있으므로 공급불안이 없다.

(나) 연료저장 설비가 불필요하여 원동기 설비전체가 간소하게 되는 외에, 정기적으로 연료를 보급할 필요가 없다.

(다) 도시가스에는 유황분이 전무하여 배기중에 유황산화물을 포함하지 않으므로 대기오염상의 문제가 적다.

(라) 배기중에 부식성 물질을 포함하지 않기 때문에 대폭적인 배기열 회수에 의하여 높은 경제성을 얻을 수 있다.

(마) 하절기에 냉방과 관련한 이용방법에 따라 가스요금의 냉방할인이 있고 또 에너지 공급설비 전체의 유효이용 및 세계상의 우대조치 등 여러가지 특전이 있다.

(2) 가스엔진의 이점

(가) 가스엔진은 같은 출력의 가스터빈, 증기터빈 등과 비교하면 효율이 훨씬 높다.

(나) 배기중의 유해방출물, 예를 들면 NOx, CO, HC 등에 관하여 다른 기관에 비하여 대응하기가 쉽다.

나. 가스엔진의 기술개발

가스엔진을 개발함에 있어서 가장 중요한 것은 연료의 열입력에 대하여 동력에 의한 열출력이 점하는 비율을 여하히 많게 할 수 있는가와 남은 배열을 효율성 있게 유효이용하는 부속의 배열회수기기를 개발하는 것에 있다고 할 수 있을 것이다.

동력 즉, 가스엔진을 발전장치로 하는 전력은 열입력에 대하여 가장 부가가치가 높은 것은 말할 필요도 없다.

이러한 점을 거쳐서 현상태에서 개발이 거의 완료되고 시장성이 있는 중요한 기종에 대하여 그 기술적 내용을 기술한다.

다. 가스 전소 엔진

(1) 재래형 가스엔진

재래형 가스엔진은 가연성 가스를 연료로 사용하는 전기불꽃 점화식의 4사이클 트렁크 피스톤형 엔진으로서 저공해, 장치의 간편함, 경제성 면에서부터 비상한 추세로 급발전하여 제조자는 물론 최종수요자에 이르기까지 인식이 새롭게 바뀌고 있지만 이것을 열병합 발전 시스템으로 사용하는 경우에는 총합효율을 좋게 하는 외에도 출력효율의 향상에 대해서 급후점차로 그 기술적 추구와 대응기기의 개발이 요구될 것이다.

재래형 가스엔진의 총합효율은 열입력에 대하여 약 80~85% 정도로 이중 동력으로서의 열효율은 30~35% 정도가 일반적이다.

가스엔진의 경우 디젤 엔진과 비교하면 압축비가 낮고, 가스의 조기착화 즉, 녹킹 발생 등의 장애 때문에 실린더내의 폭발압력을 높일 수 없다. 이것이 효율향상의 장애가 되기 때문에 이미 동등한 왕복동(往復動) 디젤 엔진이 달성하고 있는 출력효율 40% 이상을 확보할 수가 없는 것이 실상이다.

이것에 박차를 가하도록 도시가스 외에 가스의 종류도 다양하게 펼쳐서 엔진의 출력률이 가스의 성분에 따라서 동일기관에 있어서는 정격출력을 내리지 않으면 안되는 것도 있으므로 기종을 선정할 때는 충분한 주의가 필요하다. 동시에 출력효율도 저하하는 것으로 열병합발

전 시스템의 경제성 등을 검토하는 경우에 중요한 테마로 되는 것도 있다. 일반적으로 엔진 제조자가 제시하고 있는 각 기종의 출력은 도시가스를 연료로 한 경우의 수치라는 것을 부기하여 둔다.

(2) 회박연소형 엔진

에너지 절감, 배기가스의 청정화 요구에 응하기 위하여 개발된 회박연소형 엔진은 예연소실을 사용함과 함께 연소공기를 통상의 가스엔진보다 많이 투입하여 과잉공기률을 높게 하여 고효율화와 배기가스중의 유해한 배출물인 NOx, CO, HC의 저감을 실현시키는 것이다.

주연소실에 들어가는 혼합기의 공연비는 회박연소하도록 이론 공연비보다 대폭 높게 하는 한편 예연소실에는 전용의 연료공급라인, 카뷰레터를 통하여 농후 혼합기에 공급된다.

예연소실내의 혼합기는 강력형 점화장치에 의하여 점화되고 이 화염이 주연소실의 혼합기에 접촉하여 착화하는 것에 의하여 안정연소한다. 일반적으로 회박혼합기의 경우는 안정된 연소를 얻기가 어려우므로 예연소실을 설치함으로써 이 문제를 해결하고 있다.

(가) 엔진효율

회박 연소형 엔진은 재래형 엔진에 비하여 성능면에서 우수한 능력을 갖는 엔진으로서 아래에 성능의 일례를 나타낸다.

① 엔진효율

효율이 비상하게 높은 에너지 절감형 엔진으로서 정격출력시의 출력효율에 관하여 35% 이상을 기대할 수 있다.

② 배기가스 배출물

배기가스중의 유해 배출물이 적은 저공해형 엔진으로서 특히 NOx 배출농도는 재래형 엔진의 약 1/3~1/4로 크게 저하된다.

③ 배열회수량

회박연소의 경우는 연소공기 투입량의 증대에 따라서 그만큼 배기가스량이 증가함과 함께 배기가스출구온도가 저하하지만 배열회수량에 관해서는 그다지 변화가 나타나지 않는다. 한편 자켓 냉각수 회수열량은 동력출력에 의한 출력효율이 좋아진 분만큼 감소하고 있는 경향이다.

(나) 엔진의 구조

회박연소를 실현하기 위하여 실린더 헤드에 예연소실을 갖는 외에 2개의 체크변으로 된 가스변이 장비되어 있다. 가스변은 실린더 헤드의 측면부분에 부착되어 있고 처음의 불변은 예연소실의 폭발압력에 의해 작동하여 역화(逆火)를 방지하며 다른 평형 밸브에 의하여 가스유량을 조정하고 있다.

회박혼합기를 연소하는 것으로서 지금까지의 엔진과 동등한 출력을 얻기 위해서는 엔진에의 공급 공기량을 대폭 증가시킬 필요가 있고 그 목적을 위하여 대용량형의 과급기, 대구경 급기관, 대용량 기화기의 채용이 불가피하게 된다.

예연소실내의 농혼합기를 완전히 착화하여 화염으로 하기 위하여는 큰 점화 에너지가 필요하므로 강화형 점화장치를 사용하여 각 사이클마다 안정 연소시킬 수 있도록 배려하고 있다.

라. 이중 연료 엔진

이중 연료 엔진은 가스연료를 사용한 가스엔진, 가스터빈, 가스연소 보일러 터빈에 비하여 가장 높은 출력 효율을 얻을 수가 있다. 기본적인 구조 및 연소 원리는 디젤 엔진과 같이 기름에 의해 압축착화한 것으로 디젤 엔진과 동등한 높은 열효율이 얻어진다. 이 엔진은 중유전소시의 디젤 모드와 중유 가스 혼소시의 이중

연료 모드 2 종류가 있는데 이 운전 모드에 대해서 기술한다.

(1) 이중 연료 엔진의 운전모드

(가) 기동, 정지

기름으로 기동정지를 하며 부하 약 25%까지는 기름운전하는 것이 일반적이다.

(나) 이중 연료 모드

엔진 부하가 25% 이상으로 되어 이중연료 모드에 전환하면 가스연료가 서서히 공급되고 그 열량에 상당하는 만큼의 액체 연료의 공급량이 감소하지만 가스 연료의 점화에 필요한 최소한의 기름으로 엔진부하 100%에 상당하는 에너지량의 7~10% 정도는 항상 공급해야 한다.

(다) 안전기구

가스연료의 공급압력 저하시에는 디젤 모드로 되고 통상정지, 긴급정지에 관계없이 신속하게 디젤 모드 운전으로 되어 가스 연료가 기내에 남지 않은 상태에서 정지한다.

(2) 연료

액체 연료는 일반 디젤 엔진에 사용하고 있는 기름이라면 대부분 사용 가능하고 기체 연료로는 일반 도시 가스를 사용할 수가 있다. 단지 천연가스나 메탄을 주체로 한 가스 연료외에는 모두 적합하지만 특수가스의 경우는 출력을 제한하지 않으면 안되는 것도 있으므로 주의할 필요가 있다. 또 어느 것으로 하여도 가스 연료만으로는 운전할 수 없고, 항상 액체 연료를 필요로 하는 점에도 주의해야 한다.

그 특징을 살펴보면 아래와 같다.

(가) 디젤 엔진과 동등하거나 그 이상의 높은 신뢰성

(나) 가스 연료 엔진으로는 약 40%의 높은 출력 효율

(다) 배열 회수를 포함하면 70~80%의 총합 효율이 얻어진다.

(라) 액체, 기체연료의 가격변동에 대하여 유연한 운용이 가능

마. 다중 연료 엔진

다중 연료 엔진이란 일반적으로 2종 이상의 다른 연료를 연소시킬 수 있는 기관을 총칭한다. 이 종류의 기관으로는 종래의 이중연료엔진이 있는데 이것은 가스연료를 주체로 하여 액체연료를 과일릿 화염으로써 점화하는 혼합연소이고 불꽃점화 및 압축점화라고 하는 형태의 다른 연소를 개별로 실현시키는 것은 아니었다.

이에 대하여 본항에서 기술하는 것은 동일 엔진에서 불꽃 점화가스 연소와 압축착화 디젤 연소를 부품교환하는 일 없이 각 기기의 제어만으로써 임의로 선택할 수 있는 다중연료엔진이고 이것은 지금까지의 기존시장에서는 찾아볼 수 없는 완전히 새로운 개념의 기관이다.

이 종류의 엔진을 개발함으로써 가스 및 디젤 양기관의 설치가 필요한 방재용 발전설비를 확보하고자 하는 경우 등은 본기관을 사용함으로써 설비투자의 저감이나 설비면적의 축소가 가능하게 되어 그 경제적 이점이 커진다.

(1) 구조

본 기관은 종래의 가스엔진과 같이 연료가스계통과 이에 따르는 전기 착화계통을 갖는 외에, 디젤 엔진으로서의 연료분사계통을 갖고 기타 다중연료엔진의 기능상 필요한 기기, 제어계를 갖추고 있다. 실린더 헤드 부분은 연소실 중앙에 점화 플러그, 실린더 벽부근에 연료분사변을 장비하여 가스기관 및 디젤 기관의 기능을 만족시키는 구조를 하고 있다.

연료분사변을 실린더 외벽부근에 설치하기 때문에 연료의 분사방향을 실린더 중심으로 향하는 측면분사(Side Injection)형을 채용하고 있다.

(2) 기관의 이용방법

가스엔진 열병합 발전 플랜트를 설치하여 사용 가스엔진 발전장치를 갖는 시설, 예를 들면 대형 건물 등에서도 소방법에 의하여 저장가능한 액체연료를 사용하는 별도의 방재용 발전장치가 필요하게 되는 경우가 많다. 단지 이 방재용 발전장치를 실제로 사용하는 경우는 드물고 평상시는 완전히 유휴설비로 되어 버린다.

이와 같은 경우 열병합 발전 플랜트에 본기관을 사용하면 가스연료 운전중에 방재용 발전장치의 운전지령이 내려질 때 가스운전에서는 자동적으로 방재용 디젤 발전장치로 모드 전환이 되고 동일기관에 있어서 발전장치로서의 기능을 지속적으로 유지하는 것이 가능하게 된다. 또 기관이 정지 상태일 경우는 자동적으로 방재용 발전 장치로서 대기하는 상태가 된다.

이로 인하여 다중연료엔진은 가스엔진 열병합 발전시스템 채용 시설에서 전용의 방재용 자가발전장치를 생략할 수 있게 되어 이들의 설비기기, 보수관리, 설치공간 등에 관한 절감이 도모된다.

기타 상기 이외의 설비전체로서 절대로 장기정전이 허용되지 않은 계산기, 정보기기설비 등 각종 플랜트에 있어서 발전설비에 본 기관을 넓게 이용할 수 있고, 일반건물, 병원 등 외에 제조공장 등에 있어서도 많은 효과를 발휘할 수 있다.

바. 냉각수의 특성

(1) 고온수 배열 회수 시스템

가스엔진은 연소에 수반하는 과잉 공기율이 거의 1로서 디젤 엔진은 다량의 흡입공기에 의하여 연소실이 냉각되는 반면 전적으로 연소실의 냉각은 실린더 냉각수에 의하여 이루어지므로 실린더 냉각수의 열량은 많아진다.

실린더 냉각수의 온도는 열수요면에서 본다면 될 수 있는 한 온도가 높고 부가가치를 올린 고온수가 좋겠지만 일반 엔진의 경우는 그 출구온도가 80~90℃ 정도인 것이 많다. 이 온도는 상온 대기압하에서 증발하지 않은 것으로 냉각수 순환 펌프의 캐비테이션 부식의 방지 등 열병합 발전 시스템 전체 구성 부속기기를 고려하더라도 비교적 취급이 쉬운 온도이다.

다만 가스 엔진의 유휴유와 과급기부(過給器付) 엔진의 경우 연소공기 냉각용 냉각수는 온도 수준을 그다지 높게 할 수 없고 엔진 출구에서 55℃ 정도까지가 한계이다. 은수수영장 등 수요측에 저온 수준의 배열이 필요할 경우는 그대로 사용할 수 있지만, 일반적으로는 냉각탑 등에 의하여 그 배열을 대기에 방출시키는 경우가 많다.

(2) 비등 냉각식 배열회수 시스템

가스엔진 배열회수 시스템 중에서 前述한 온수로 냉각하는 방식외에 자켓 온도가 최고 121℃까지 허용되는 비등 냉각 방식(Ebullient Cooling System) 엔진이 있다.

이 시스템은 가스엔진의 실린더 자켓 및 헤드로부터의 발산열을 물의 비등현상을 이용하여 저압증기로서 회수하는 시스템이다. 또한 동시에 배기가스의 열을 회수하여 발생 증기량을 증가시킬 수가 있다. 이 시스템에서는 온수와 기수(汽水) 혼합물과의 비중차에 의하여 자켓수가 자연순환 되는 것으로 자켓 순환수 펌프나 온도 조절변을 장비할 필요는 없다.

원리를 살펴보면 자연순환 보일러와 동일하

고 가스엔진 자체가 가열원으로 되어 보일러 드럼에 상당하는 기수 분리기를 엔진보다 상부에 설치하고 상승관은 엔진 상부의 자켓 냉각수 출구헤더와 접속하며 하강관은 엔진하부의 자켓 냉각수 입구와 접속한다.

하강관으로부터 유입된 포화수에 가까운 온수는 자켓, 실린더 헤드에서 가열되어 기수 혼합물로 되고 상승관을 통하여 기수분리기에 도입된다.

기수분리기에서는 증기와 온수로 분리되어 상부의 증기는 수요측에 공급된다. 기수분리기의 증기 인출구에는 압력조정변이 설치되어 있어서 내압을 일정하게 유지하는 외에 수위조정변, 수위계, 안전변, 압력계 등도 장비되어 있다.

비등 냉각방식을 채용하는 경우의 엔진측의 특징은 아래와 같다.

- (가) 엔진내부에서의 온도구배가 적어서 부품의 열응력이 낮아진다.
- (나) 실린더, 자켓의 온도가 높아서 연소실 주변의 오염이 적고 유산부식 등의 내식성이 높으며 그 결과 다소 저질의 연료라도 사용할 수가 있다.
- (다) 자켓 냉각수 계통의 가스켓, O링, 패킹류에 대해서 내고온, 내압성이 있는 것을 필요로 한다.

- (3) 통상 냉각과 비등냉각 방식과의 차이
(아래 표 참조)

사. 배기가스의 특성

가스엔진의 배기가스량은 디젤엔진보다 약간 적다. 이것은 가스의 경우 디젤 엔진에 비하여 과잉 공기율이 낮고 연소용 공기량이 적기 때문이다. 따라서 가스엔진의 배기가스 온도는 디젤의 경우보다 아주 높은데도 불구하고 배기가스유량이 적기 때문에 배기가스 열량은 디젤엔진보다 약간 적어지는 경향이 있다.

다만, 디젤 엔진의 경우는 배기가스 온도수준이 낮고 액체연료중의 유탄분 등 때문에 열교환기 출구의 배기가스 온도를 너무 낮게 할 수는 없으며 회수가능 온도차가 적어지므로 가열용 등에 회수하여 이용가능한 열량은 가스엔진보다 적어지는 경향이 있다.

아. 연료소비율과 발열특성

(1) 가스엔진 히트 밸런스의 특징

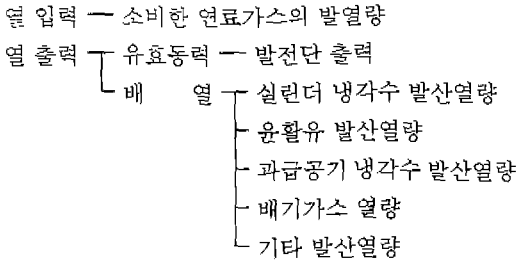
가스엔진의 히트 밸런스를 분류하면 다음의 표와 같이 나타낼 수 있다.

표의 열출력 중에서 유탄유와 과급공기 발산열량은 양적으로도 적고 온도수준도 낮은 것으로 통상 회수되지 않고 손실열로써 발산하고 있다.

히트 밸런스의 특징은 왕복식 내연기관의 공통된 특징으로 배기가스에 의한 고온의 배열이 비교적 적고, 100℃ 전후 실린더의 냉각수 열

항 목	통 상 냉 각 방 식	비 등 냉 각 방 식
냉각수 엔진출구 온도	80~90℃	최고 121℃
유탄유 및 연소공기 냉각수 계통	자켓 냉각수와 공통	독립 계통
자켓 냉각수 순환 펌프	필 요	불필요
자켓 냉각수 온도조절변	필 요	불필요
실린더 슬리브	표준형	특수형

<표>



량이 회수가능 열량의 반분에 가깝게 점하고 있는 것으로서 가스엔진에서는 배열을 모두 증압 즉 3~9kg/cm²의 증기로 회수하는 것은 그다지 좋은 방법이 아니다. 배열을 증기로 회수할 때는 온수, 저압증기 1kg/cm² 증압 3~9kg/cm²의 조합으로 유효열수를 도모하는 것이 필요하다.

가스 엔진의 열수지는 각 제작자마다의 모델, 회전수 등에 따라 다르지만 특징으로 들 수 있는 것은 아래와 같다.

- (가) 동력과 배열을 모두 회수할 수 있으면 총합효율은 80~85%로 극히 높아진다.
- (나) 냉각수 배열과 배기가스 배열의 비율은 기종에 따라서 모두 다르다.
- (다) 연료 소비율 즉 kcal/kWh는 부하율이 높을수록 좋고 낮을수록 나쁘게 되며 이것은 과급도가 낮은 왕복식 내연기관의 공통된 특성이다.

자. 공해대책

가스 엔진이 소규모 분산형 발전장치의 원동기로 적용됨에 따라서 새로이 공해대책을 검토할 필요가 생겼다. 주요한 공해원인은 소음, 진동 및 배기 가스중의 유해물질인데 소음과 진동은 주요원동기 그 자체에 기인하는 것이므로 열병합 발전 시스템의 경우는 특히 인간의 거

주공간에 근접하여 설치되므로 종래 이상의 저감노력이 요구되는 것은 명백하다.

또한 기술상 가장 문제가 되는 것은 배기가스중의 유해물질로 특히 NO_x의 배출량은 엄격하게 규제되고 있다.

현재는 가스 엔진에 의한 열병합 발전 시스템이 대기 오염방지법에서 말하는 「특정시설」에 해당되지 않기 때문에 규제의 범위밖에 있지만 가까운 장래 개정되어 규제의 망이 씌워질 것은 틀림없다고 본다. 배기가스중의 오염물질은 사용하는 연료가스의 종류에 따라서 다른데 비교적 깨끗한 도시가스를 사용하더라도 NO_x의 배출은 피할 수가 없다.

가스 엔진에 대해서는 삼원촉매를 사용하여 배기가스중의 NO_x를 분해하는 것이 가능하지만 촉매의 수명등 각종 문제점을 내포하고 있어서 기관본체의 개선에 의한 NO_x 저감법의 개발 등 각종 공해방지 대책이 도모되고 있다.

차. 금후의 과제

에너지 유효이용의 관점에서 가스엔진 열병합 발전 시스템의 설치 방식은 종래 기술의 조합, 연장에 의하여 에너지 수요층의 근처에 설치한 것이었는데 이것이 대단히 효율적이란 것이 실증되고 있다.

가스엔진에 의한 열병합 발전 시스템은 최종수요가 다종 다양한 운전 방법에 대응하기 때문에 금후에 주어지는 과제는 시스템의 안전성, 신뢰성 이외에 경제성, 용이한 조작성은 말할 것도 없고 전력회사, 가스회사, 기기제작자의 기술을 집약하여 Maintenance-free, 소형 패키지화, 저공해화에서 무공해화 등 환경 적합성에도 우수한 가스엔진과 그 주변기기를 개발하도록 해야겠다.

☛ 다음호에 계속