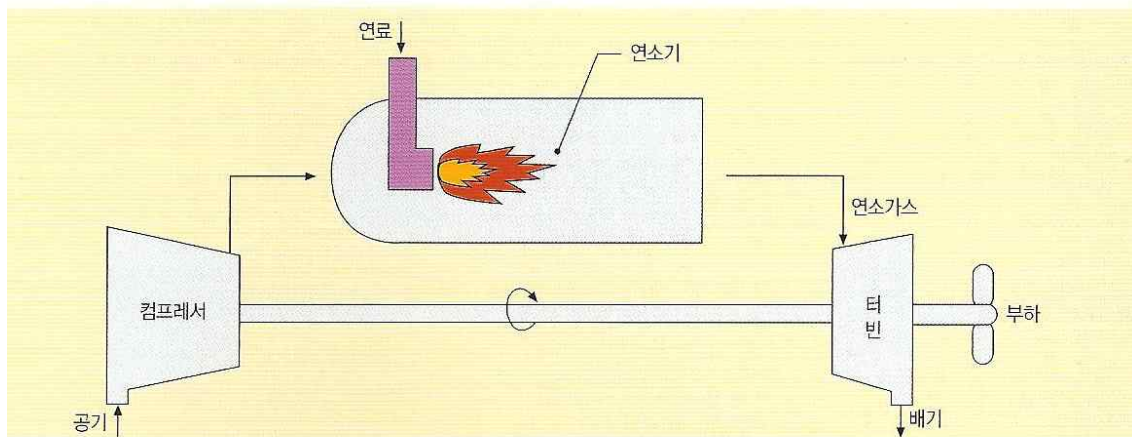


■ 가스터빈 기술

I 가스터빈의 작동원리

가스터빈은 가스 등의 연료를 동작 유체의 내부 또는 외부에서 연소시켜 동작 유체에 열에너지를 준 다음 고압, 고온의 가스를 만들어서, 이것을 터빈에 공급함으로써 직접 회전할 수 있게 한 원동기이다. 가스터빈은 크게 압축기, 연소기, 터빈의 3부분으로 구성된다.



(그림1) 가스터빈의 작동원리

(그림1)은 가스터빈의 작동원리를 보여주는 그림으로 먼저 공기를 압축기로 압축한 후 연소기로 보내 고압, 고온의 연소가스를 만들어서 터빈을 동작시키고, 연소된 가스를 대기 중에 방출한다. 즉 가스터빈 사이클은 압축→가열→팽창→배기의 4과정으로 이루어진다.

(가) 압축기(Compressor)

대기 중의 공기를 흡입하여 압력을 상승시킨 후 연소기로 보낸다. 연소에 필요한 산소를 공급하는 역할을 하며, 단열압축 과정이므로 공기온도가 상승한다.

(나) 연소기(Combustor)

연소기에 유입된 압축공기를 연료와 혼합, 연소시켜 높은 에너지의 연소가스를 만든다. 등압가열 과정으로서 연소가스 온도를 터빈 메탈이 견딜 수 있는 온도까지 상승시킨다.

(다) 터빈(Turbine)

연소기에서 나온 고온, 고압의 연소가스가 팽창하면서 터빈의 회전날개에 충동, 반동력을 주어 기계적인 에너지로 변환한다. 터빈에서 얻은 기계적 에너지는 압축기에서 공기를 압축하는데 필요한 에너지로 공급되며 나머지는 발전기를 구동하는데 이용되어 전력을 생산한다. 단열팽창 과정으로서 가스압력, 온도가 떨어지며, 배기가스는 대기로 방출되거나 배열회수 보일러로 들어간다. 압축기에서 소모되는 동력이 터빈출력의 60%정도를 차지하고 높은 온도의 배기가스가 대기로 방출되므로 가스터빈 단독 운전만의 효율은 대용량 증기터빈에 비해 비교적 낮다.

II 가스터빈의 성능

(가) 출력과 열소비율

가스터빈 성능은 출력(kW)과 열소비율(Kcal/kWh)로 나타내며, 가스터빈 열소비율은 사용된 연료의 발열량에 근거하여 산정되며 보통 제작사는 저위 발열량(LHV)으로 표시하지만 한국전력공사에서는 고위발열량(HHV)에 의해 표시한다.

(나) 가스터빈 정격

일반적으로 국제 표준화 기구(ISO)에서 규정하는 조건에서 정격을 결정하며, 그 조건이란 대기온도 섭씨 15°C, 대기압 1.013Bar, 상대습도 60%를 말한다. 보통 두 가지 정격이 정의되는데, 연속 운전할 수 있는 터빈 입구 가스온도에서 낼 수 있는 출력을 기저부하 정격(Base Load)이라 하고, 기저부하 정격보다 높은 터빈 입구 가스온도에 상응하는 출력을 일컫는 첨두부하정격(Peaking Rating)이 있다.

(다) 가스터빈 성능에 영향을 주는 요소

• 대기온도

정격부하에서 운전 중일 때, 가스터빈은 모든 대기온도 범위에 걸쳐 일정한 체적의 공기를 흡입하나, 대기온도가 낮아지면 공기밀도가 상승하여 질량유량이 증가하며, 압축 후 공기온도 또한 낮아진다. 이와 같은 압축공기는 정해진 터빈 입구 가스온도까지 가열되어야 하기 때문에 연료량이 증가한다. 따라서 가스터빈 출력은 대기온도가 저하함에 따라 증가한다. 그러나 연료량 증가율보다 출력증가율이 더 크기 때문에 가스터빈 열소비율은 감소한다.

• 습도

대기 중 습분은 공기질량뿐만 아니라 공기의 엔탈피에도 영향을 준다. 습도에

의한 영향은 아주 작지만 터빈효율에 부정적인 영향을 미친다. 또한 습도는 NOx를 억제하는데 요구되는 증기 혹은 물 주입량에도 영향을 준다.

- 대기압

대기온도와 같은 방법으로 가스터빈 성능에 영향을 준다. 즉 대기압이 증가함에 따라 공기밀도는 증가하고, 터빈을 통과하는 공기 질량도 증가한다. 그러나 대기온도와는 달리 연료소비율의 증가는 출력 증가율과 같으므로 가스터빈 열소비율은 변함이 없다.

- 입구 및 배기압 손실

입부필터, 입구 공기냉각기, 입구 소음기와 같은 공기유입 계통의 구성품, 또는 배열회수 보일러와 같은 가스터빈에 배압을 부여하는 배기계통의 구성품을 통한 압력손실은 가스터빈의 압력비를 감소시켜 성능을 저하시킨다.

- 운전시간

가스터빈을 운전함에 따라 공기, 물 혹은 연료중의 오염물질에 기인한 블레이드의 부식 및 침식, 부착물, 밀봉간극의 증가 때문에 운전 시간이 누적됨에 따라 가스터빈 성능이 떨어지는데, 이 경우 정기적인 점검이 필요하다.

Ⅲ 가스터빈 연소기

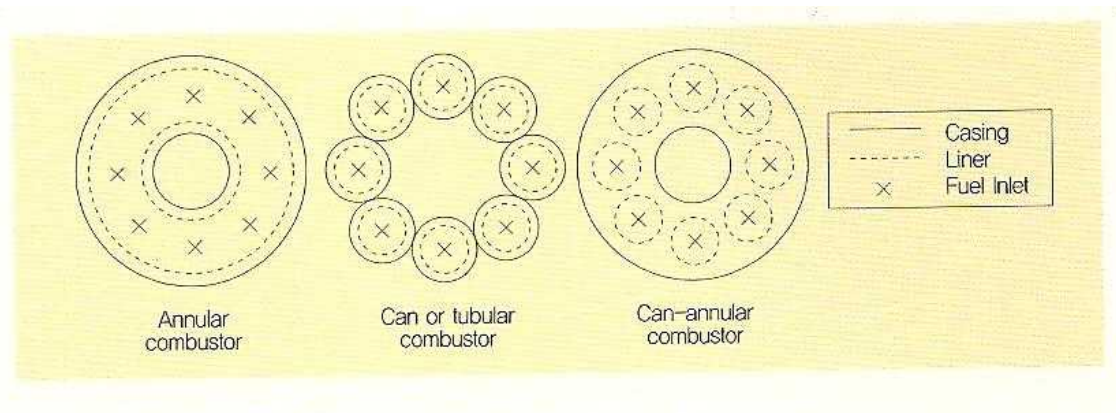
(가) 연소기 원리

가스터빈 연소기는 압축기로부터 나온 고온, 고압의 공기를 연료와 반응시켜 높은 에너지를 갖게 하고 이를 터빈에 전달하여 터빈을 구동하는 역할을 수행하는 부분으로 가스터빈의 심장부라 할 수 있다. 최근 발전용 가스터빈은 성능 향상과 친환경을 위해 연소기에서 연소온도 및 압력이 매우 높고 이론 당량비 이하로 연소하기 때문에 가스터빈의 운전 신뢰도를 높이고 저 NOx 운전을 하기 위한 가스터빈의 운용기술의 확보가 필수적이다.

(나) 연소기 종류

연소기는 형태에 따라 캔형, 캔 환형 및 환형 등으로 나눌 수 있으며, 연소분사 형태에 따라 단단 및 다단 연소기로 구분된다. 연기기 형태는 가스터빈 제작사별 고유한 형상 및 구조를 갖고 있으며, 예를 들면 GE 가스터빈 연소기는 전통적으로 캔형 타입이며, 지멘스 가스터빈 연소기는 환형타입을 채용하고 있다. ABB 기술을 채용한 Alstom Power는 사일로 타입과 최신형에 채용한 환형타입

(ABB 24모델)을 채용하고 있다.



(그림2) 가스터빈 연소기 형태

IV 가스터빈의 NO_x 발생 및 저감

(가) NO_x의 생성

가스터빈 연소기에서 연소 중에 발생하는 NO_x중에는 공기 중의 질소가 고온에서 산화되어 생성되는 열적 NO_x(thermal NO_x)와 연료 중에 포함되어 있는 질소성분이 연소과정에서 NO로 전환되어 생성되는 연료 NO_x(Fuel NO_x)가 있다. 일반적으로 발전용 가스터빈은 천연가스나 경유가 사용되는데 이들 연료에는 질소화합물이 거의 함유되어있지 않아 연료 NO_x가 거의 없다. 따라서 가스터빈에서 NO_x에 대한 대책은 열적 NO_x의 저감에 중점을 두고 있다.

열적 NO_x는 다음 반응식과 같이 Zeldovich 메커니즘에 의해 생성되는 것으로 알려져 있다. 이 메커니즘에 의하면 NO_x 생성은 화염온도에 대해서는 지수적으로 증가하고 고온영역에서의 체류시간에 비례하여 증가한다. 따라서 NO_x 저감을 위해서 이들 NO_x 생성에 관여하는 인자의 영향을 억제하는 것이 중요하며 그중에서도 영향이 큰 화염온도를 저하시키는 것이 가장 효과적이다.

(나) NO_x 저감방법

가스터빈연소기에서 발생하는 NO_x를 저감하는 방법으로는 물 또는 증기를 주입하여 연소를 제어함으로 NO_x를 저감하는 습식법과 물이나 증기를 사용하지 않고 NO_x를 제어하는 건식법이 있다. 그리고 일단 발생한 NO_x를 가스배출 후 처리로 제거하는 방법이 있다.

• 물/증기분사

연소시 연료와 함께 물 또는 증기를 함께 분사하여 화염온도를 낮추어 고온에

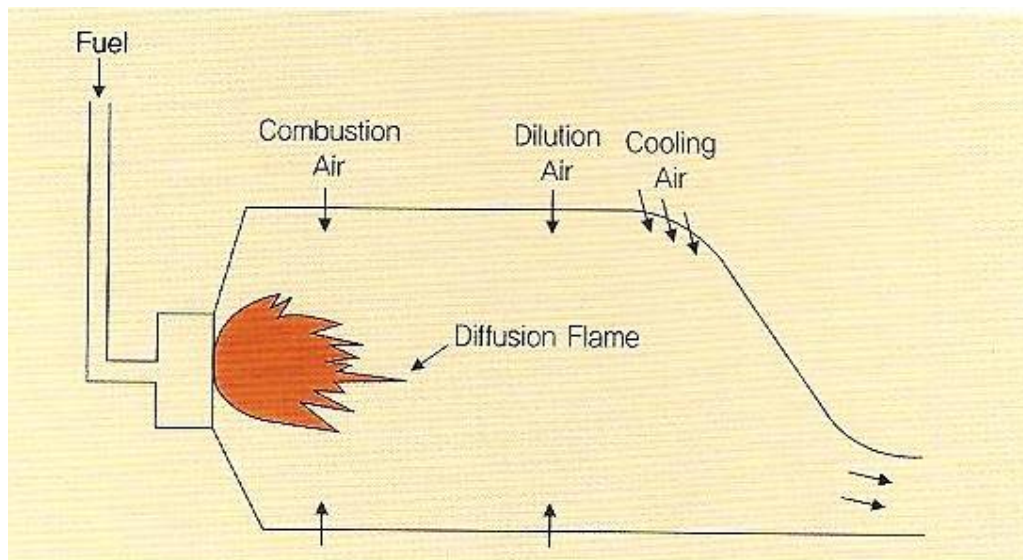
서 발생하는 열적 NOx를 저감하는 방법이다. 이 방식은 연소기 개조를 하지 않고 연료노즐 등 부분적인 개조를 통해 비교적 간단하고 확실하게 NOx를 저감시킬수 있기 때문에 가장 널리 쓰이고 있는 방법이다. 그러나 이 방법은 열효율을 떨어뜨리고 용수비용 과다 등의 문제가 있어 최근에는 일부 가스터빈에만 적용되고 있다.

- 예혼합 연소

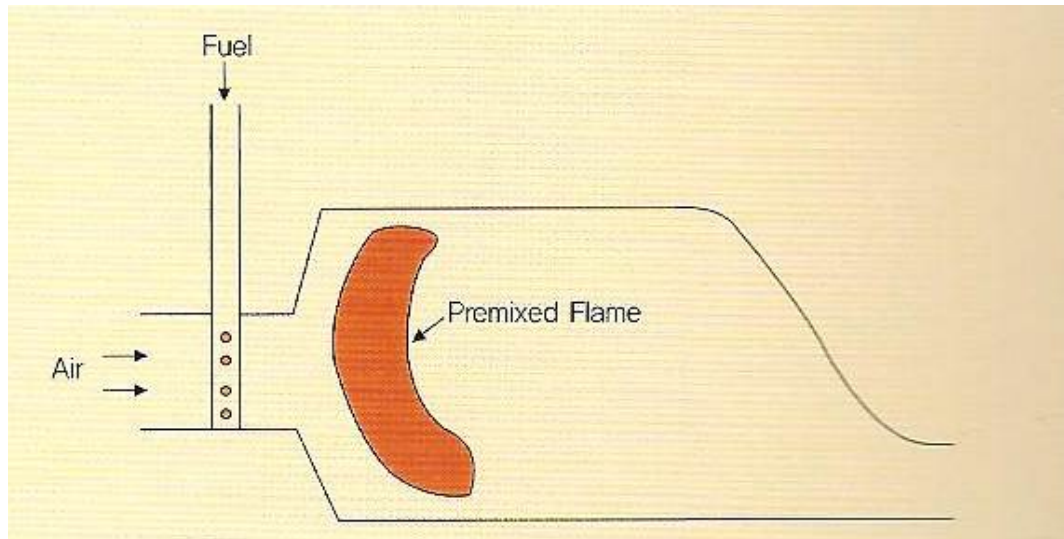
이 방법은 연료와 공기를 미리 혼합하고 이론 당량비 이하에서 연소함으로써 상대적으로 화염온도를 낮추어 NOx를 저감하는 방식으로 최근 설치된 가스터빈 설비에 대부분 채용되고 있다. 시스템 성능이 물/분사 방식에 비해 높은 장점이 있으나 반면에 연소 안정화영역이 좁아 연소 불안정이 발생할 수 있다는 단점이 있어 최근 이를 해결하기 위한 연구가 진행 중에 있다.

- 촉매연소

이 방법은 연료와 공기의 희박 예혼합기를 연소기내에 설치한 촉매층에서 1,100°C 전후의 온도로 반응시키는 것으로서 국소적인 고온영역이 존재하지 않기 때문에 열적 NOx가 거의 발생하지 않는 초저 NOx연소가 가능하다. 그러나 이 방법이 실용화되기 위해서는 촉매의 내구성 향상이 중요하며 이에 대한 연구가 진행 중에 있다.



(그림3) 재래식 확산연소

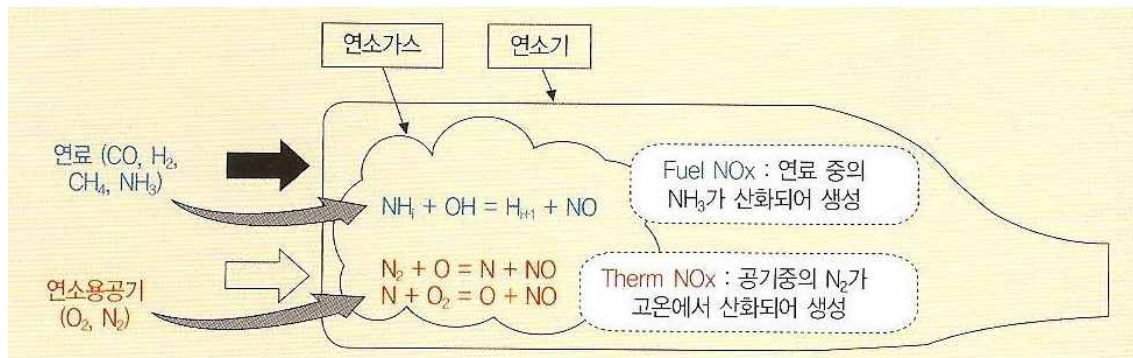


(그림4) 희박 예혼합연소

V 석탄가스 연료 연소용 저NOx 가스터빈 기술

석탄가스는 저 칼로리 연료로 천연가스 등과 같은 고 칼로리 연료와는 달리 불연성 성분을 많이 포함하고 있어 화연온도가 낮으므로 화염을 안정화시키는 기술이 매우 중요하다.

석탄가스와 천연가스의 주성분인 메탄의 이론 단열화염 온도를 비교하면 석탄가스는 당량비가 1.0 근처에서 최고화염온도가 약 1,700°C인 반면에 메탄은 최고 단열화염온도가 2,200°C 정도이므로 석탄가스의 화염온도가 500°C 정도 낮다. 따라서 석탄가스 연료용 가스터빈 연소기는 천연가스의 고칼로리 연료와 비교하여 연소 안정성이 떨어진다. 특히 부분 부하에서의 연소안정성을 확보하기 위해서 연소기 입구에 부 연소실을 설치하고, 항상 안정된 화염을 형성시켜 보염성능이 유지되도록 한다. 가스터빈 연소기로부터 생성되는 NOx에는 열적 NOx와 연료 NOx의 2가지가 있다. 아래 그림은 열 NOx와 연료 NOx의 생성 기구를 설명한다. 열 NOx는 1,600°C 이상의 연소가스에서 공기 중의 질소가 산소와 반응해서 생성되며, 연료 NOx는 연료 중에 포함된 암모니아(NH3) 등의 질소 화합물이 연소기내에서 산화하여 생성된다. 저 칼로리 석탄가스 연료용 가스터빈 연소기에서는 연료 NOx의 억제가 중요하다. 연료 NOx를 저감하는 연소기술로는 2단연소법(rich-lean 연소법)이 효과적인 방법으로 사용되고 있다. 2단연소법에서 연소기 구조를 1차 연소영역과 2차 연소영역으로 분리한 2실 구조를 사용한다. 1차 연소영역에는 2차공기의 도입을 억제하고, 연료당량비를 높여 연료과잉 조건으로 연소하여 NOx 발생을 억제한다.



열효율을 향상시키기 위해 저 칼로리의 석탄가스용 가스터빈의 연소온도를 높일 경우 연소기 벽면 냉각기술을 향상해야 한다. 석탄가스는 천연가스 연료와 비교해서 연료량에 대한 공기량이 대폭적으로 감소하므로 희석용 공기를 없애고 트랜지션 피스(Transition piece)를 2중구조로 만들어서 충돌냉각(Impingement Cooling)을 하고, 트랜지션 피스 냉각용 공기를 연소기 벽면냉각용으로 재이용하여 냉각공기량의 부족을 보충한다. 또한, 부연소실과 1차 연소 영역에 충돌냉각과 필름냉각(Film Cooling)을 조합한 적층냉각구조를 사용하여 냉각효율을 높인다. 이상에서 살펴본 건식 가스정제를 사용하는 칼로리 석탄가스 연료사용 저 NO_x 가스터빈 연소기 개발에 있어서 화염안정성의 향상, Fuel NO_x 저감 연소기술 그리고 벽면냉각기술의 고성능화 등 설계시 고려해야 할 중요한 변수들을 (그림6)과 같이 정리할 수 있다.

