

# 저 NOx 연소기술

## THE COMBUSTION TECHNOLOGY FOR REDUCTION OF NOx EMISSION

코컴(주) 대표이사 김 광 주

TEL:(02)689-8413

### 1. 머리말

시대에 따라 문제의 부각은 달리해, 우리들에게 새로운 도전으로 다가서고 있는 것이 역사의 한 단면이다. 오늘날 인구의 증가로 도시화 되고, 산업발전은 공해문제를 유발하고 있다.

대기오염 문제는 국내 문제만이 아니고 국제적인 문제가 됐으며, 감시방법도 국제적으로 변하고 있다고 할 수 있다.

산성비는 국내 연료보다 인접국에서 발생하여 이동한 영향이 지대한 바는 주지의 사실이다. CO<sub>2</sub> Gas 배출에 의한 지구의 온난화 현상은 어느 한 나라의 문제는 아니다.

도쿄협약에 의해서 CO<sub>2</sub> Gas의 규제는 효율적인 이용의 단계가 아니라 가용량의 제한이므로 경제성을 넘어선 것이다. 경제 규모의 증가는 필연적으로 에너지 확보가 선행되어야 하듯이 환경 또한 경제발전의 단계에 따라 책임 또한 증대하는 것이 되고 있다. 구미 선진국이나 일본의 경우 대기오염의 억제에 삼가 옷깃을 여밀 정도이고, 이로 인한 투자 또한 엄청나다.

그런데 우리가 이에 무임승차할 수는 없지 않는가. 당연히 국제적인 감시에 대상이 아니될 수 없다. 그동안 국내에서는 대기오염 부분에서 Dust 및 Sox는 많은 단계의 규제가 있어 연료의 질이 향상되었으며, 전기집진기 등에 의하여 많은 개선을 이루었다.

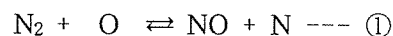
그러나 Nox는 규제치나 시험등에서 새로운 전기를 맞이할 단계가 되었으며, 연료의 전환은 물론이고 Low Nox 연소기술에 의한 장치의 전환과 운전이 병행되어야 할 단계에 돌입하게 되어 있다.

### 2. Nox의 생성

질소산화물은 N<sub>2</sub>O, NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등이 있다. Nox는 NO와 NO<sub>2</sub>의 합계로, 이 가운데 NO가 대부분이다.

NO는 생성기구에 의해서 Thermal NO, Prompt NO, Fuel NO로 분류한다.

Thermal NO는 연소과정에서 공기중의 질소 성분이 잉여 산소와 1800K를 초과했을 때 반응하는 것으로 다음과 같은 과정이다.



①과 ②를 Zeldovich 기구라고 하며, 확대해서 ③까지를 포함하여 Zeldovich라고 한다. 화염의 각 영역에서 NO의 농도분포를 분석하면 연료가 희박한 화염에서는 NO의 분포가 서서히 발생하나, 과농화염에서는 농도가 급격히 상승한다.

이것을 Promptly NO라고 하며, 탄화수소화염에서는 당량비가 1을 넘으면 전체 NO 가운데 Prompt NO가 많아지고 1.4일 때 최대치가 된다. 이 NO는 탄화수소가 분해할 때 CH<sub>2</sub>, CH와 N<sub>2</sub>가 반응해서 생성하는 NCH, CH, NH 등을 경유하는 반응이 있다. Fuel NO는 연료중의 N 성분은 중질유 0.1~0.4%가 포함되어 있으며, 이중의 일부가 고온이 되면, 잉여 O<sub>2</sub>와 반응해서 NO로 전환되며, 전환율은 0.3~0.4이며, N 성분이 많으면 전환율이 낮아진다.

### 3. NOx 연소기술

NOx 생성의 억제방법중 가장 확실한 방법은 연료의 전환이 되겠으나, 이것은 용량이 클 경우 연료비의 부담이 커서 경제성을 검토할 필요가 있다.

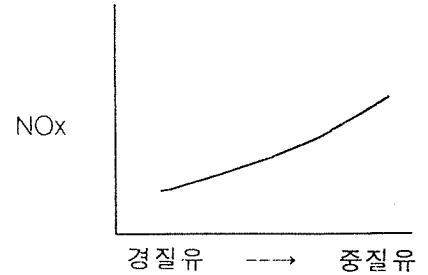
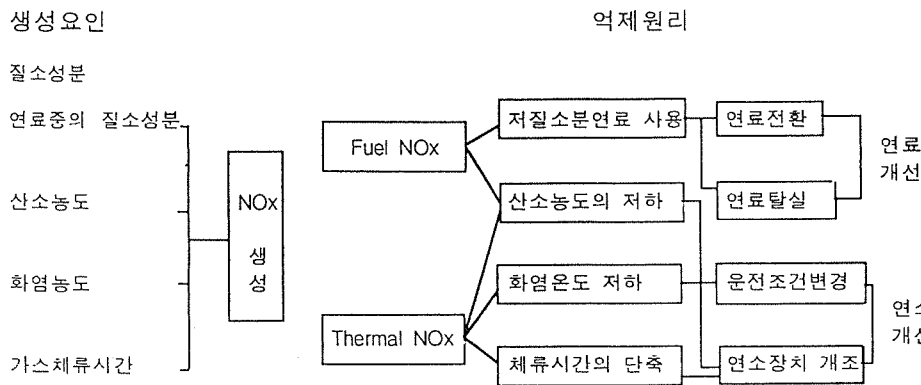
다만 연료중의 N성분이 적은 연료, C/H가 적은 연료는 적극적으로 검토할 필요가 있다.

연소기술에서는 화염의 온도, 고온화염역의 체류시간, 연료의 과농상태 등에 따라 동일조건에서도 생성량이 달라지므로 설비의 선택, 운전방법 등의 면에서 충분하게 검토하여야 할 방법이다. Low Nox Burner 또는 연소 System은 이상

의 세가지 방법을 장치로서 조합하거나 극대화시킨 기술이라고 할 수 있다.

일본기계협회편의 「연소에 수반한 환경오염물질의 생성·기구와 억제법」에 따르면 다음과 같이 정리될 수 있다.

<표 1> NOx 억제기술의 원리



(그림 1) 경질유보다는 중질유가 C/H가 크므로 Prompt NOx 발생이 많고, Burner 전단에서 화염온도가 집중적으로 고온경향이

NOx 억제 연소방법을 간략한 표로서 정리하면 다음과 같다.

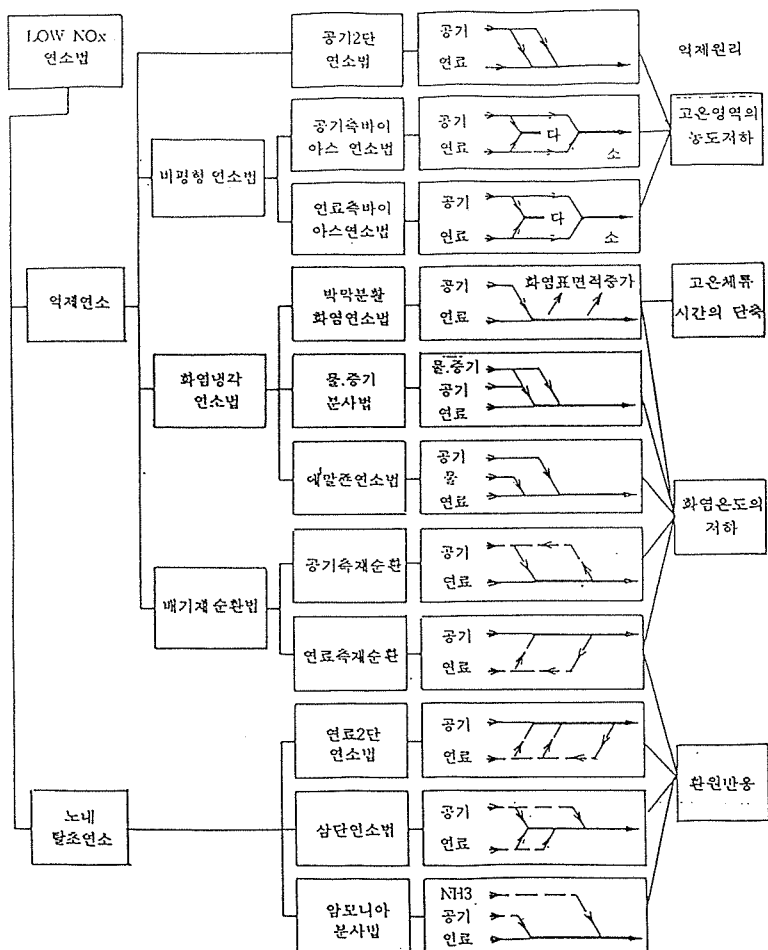
#### 4. 장치 운전에 따른 NOx 배출경향

일본의 성에너지센터가 정리한 운전요인에 의한 NOx 배출경향은 다음과 같다.

##### 1) 연료의 종류

있으므로 NOx가 증가한다. 다음 표는 연료의 종류에 따른 N성분의 함유율이다.

<표 2> NOx 억제 연소법의 분류

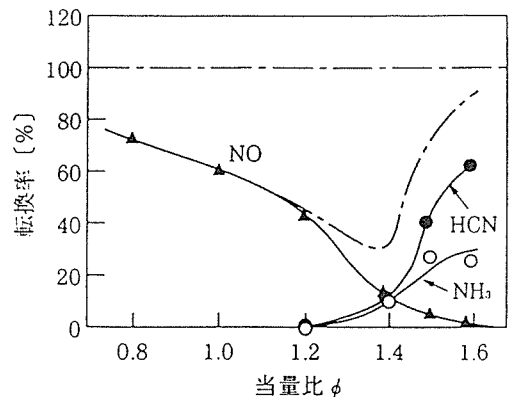


연료의 종류	질소함유율(mass %)
중동계 원유	0.09 ~ 0.22
C 중유	0.1 ~ 0.4
A 중유	0.05 ~ 0.1
경 유	0.002 ~ 0.03
등 유	0.0001 ~ 0.0005
석 탄	0.2 ~ 3.4

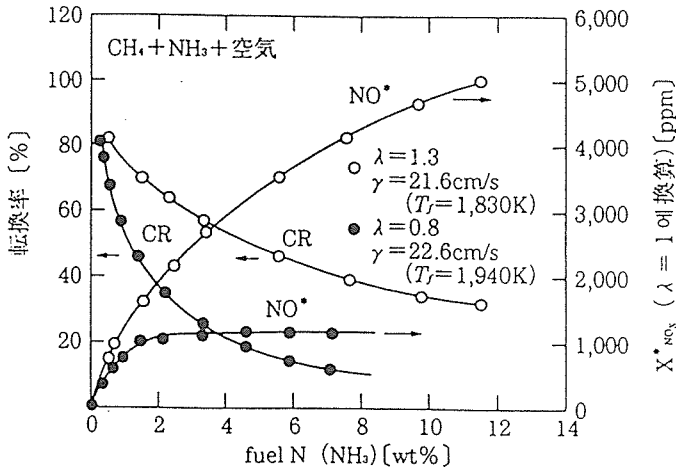
##### 2) 연료중의 N 성분

연료중의 질소성분이 증가할수록 NOx의 생성은 증가한다. 다만 비례적이라고 할 수는 없다. 전환율은 일정하지 않기 때문이다.

이른바 Fuel Nox는 (그림 2&3)에서 나타난 바와 같이 당량비가 클수록 전환율이 낮아진다. (그림 3)에서 공기비가 1.4에 비해서 Fuel Nox가 낮으며, 어느 값에서는 포화상태가 된다.



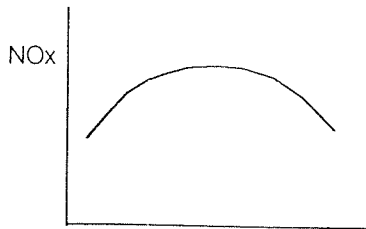
(그림 2)



(그림 3)

3) 공기비

공기비는 (그림 4)처럼 어느 값까지는 상승하나, 어느값에서는 공기비가 높을수록 낮게 된다.



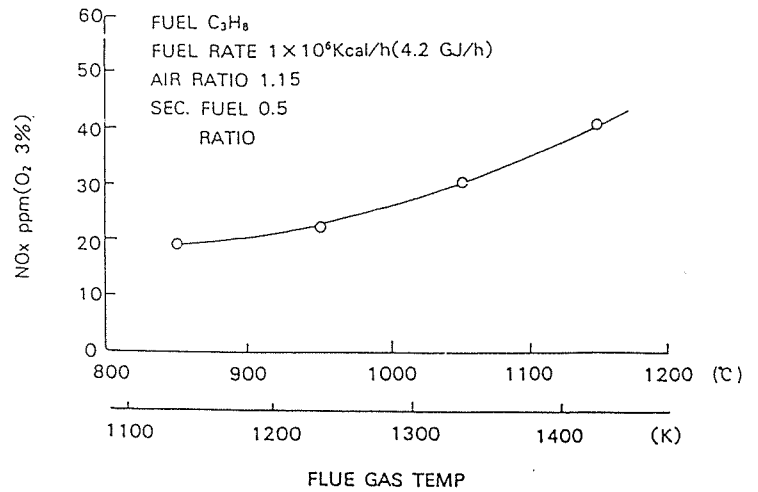
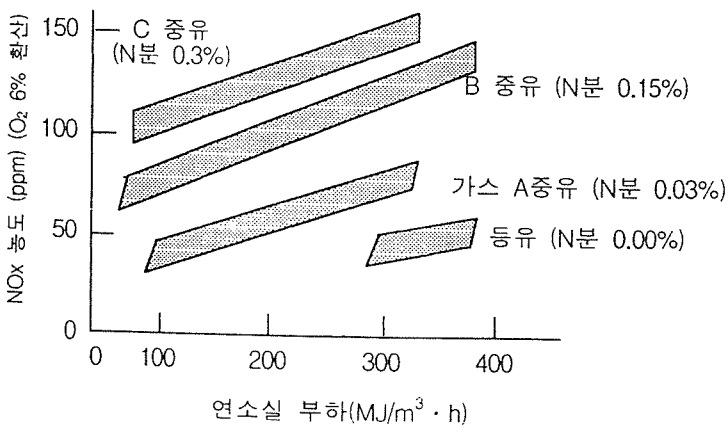
(그림 4) 공기비 대

4) 연소실 부하

연소실 열부하(Kcal/m<sup>3</sup>h)는 증기할수록 노내 온도가 상승하므로, NOx는 증가한다. (그림 5)는 연소실 부하와 NOx 농도를, (그림 6)은 연소실 출구 가스온도와 NOx 농도 증가를 나타낸다.

연소실 부하는 보일러 설계에 의한 연소실 크기, 연소용 공기온도 등에 따라 직접적으로 영향을 받는다. 동일 설계에서도 연소량에 따라 변하고, 버너 자체에서도 연소량의 증가에 따라 화염이 증대되고, 화염온도가 상승하므로 NOx가 증가한다.

(그림 5) 연소실 부하

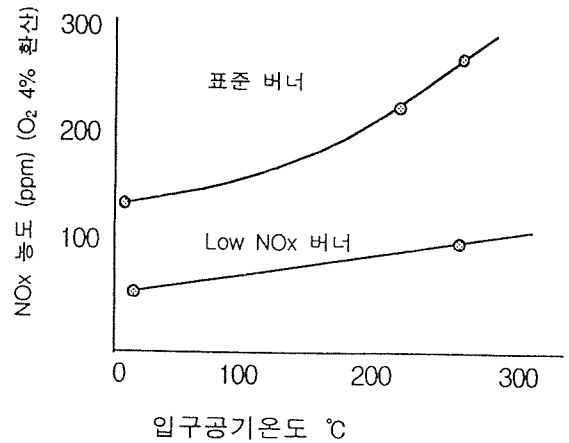


(그림 6) 연소실 출구가스 온도

5) 화염온도

화염온도 상승은, Nox 상승이 되는 것은 이미 기술된 바와 같다.

연소용 공기온도나 노내 온도가 상승하면, 화염온도는 상승, 노내에서 피가열측 온도가 높거나, Water Wall이 아닌 노벽일 때, 과열관이 배치될 때 노내온도는 상승한다.



(그림 7) 연소용 공기온도와 Nox 관계

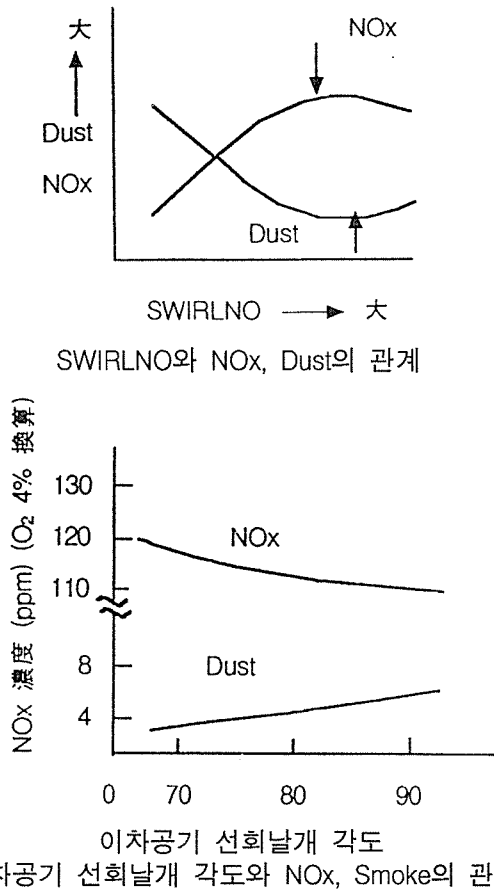
6) Register Draft Loss

Burner의 Throater에서 공기속도가 빠르면 Nox 발생이 많아진다. 공기속도가 빠르면 연료 분무류와 혼합이 빨라지고, 연소속도는 증가하므로 화염온도는 시초부문에서 상승, 따라서 화염온도가 일정한 기울기를 가지고 상승한다.

7) 공기 선회도

연소용 공기의 선회도가 크게 되면 분무류에서 미연소 가스와 연소용 공기의 혼합이 촉진되므로, Nox 생성은 많게 된다.

그러나 과도한 선회가 발생하면 화염의 직경이 확대, 분산되어 화염온도가 하강한다.

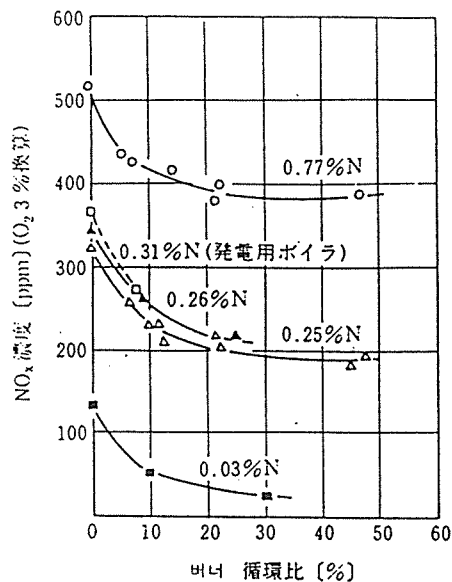


(그림 8) SWIRLNO, NOx

8) 배기가스 재순환량

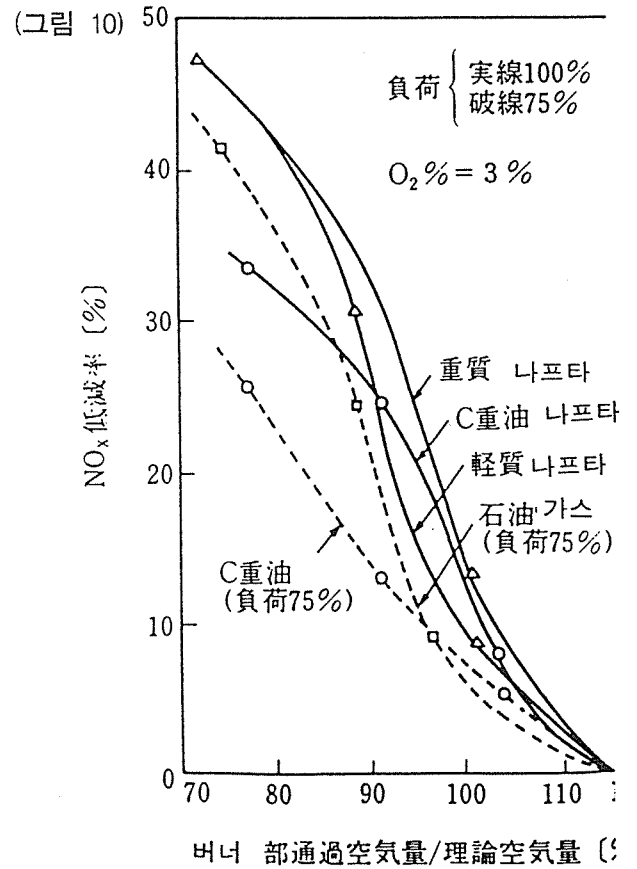
배기가스의 재순환량이 많을수록 화염온도는 하강한다. 따라서 재순환량은 산소농도가 낮아지므로, 반응속도가 늦어 화염의 고온역이 감소하는 역할도 한다.

(그림 9)



9) 2단 연소

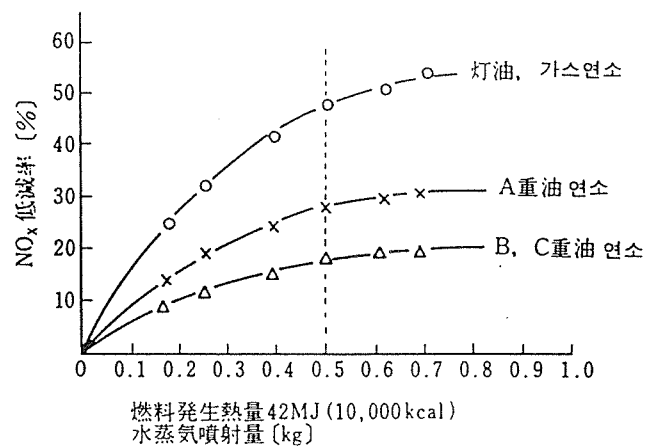
연소용 공기를 2단으로 나누어서 공급하는 방식. 고온부에서 환원 분위기를 조성하여 NOx를 억제하는 방법. 1단 부위에서 연소용 공기를 작게 하는데 따라 NOx가 억제된다.



10) 기타

화염온도를 낮추기 위해서 물 또는 증기를 분사하는 방법이 있다.

(그림 11)



## 5. Low Nox 연소장치 실제

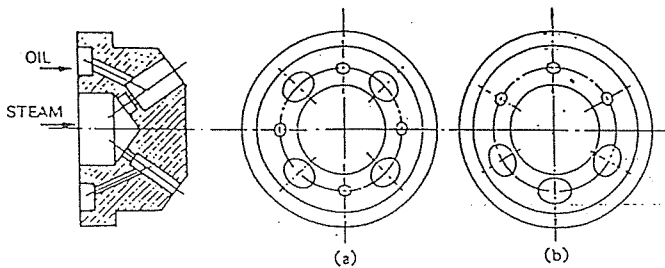
### 1) 연소 농염 연소식

연소과정에서 환원성 분위기를 형성하는 방법중의 하나인 연료 농염 연소방식은 몇가지 방법이 있다. (그림 12)에 나타난 바와 같이 Bias 방식으로 X형과 D형이 있다.

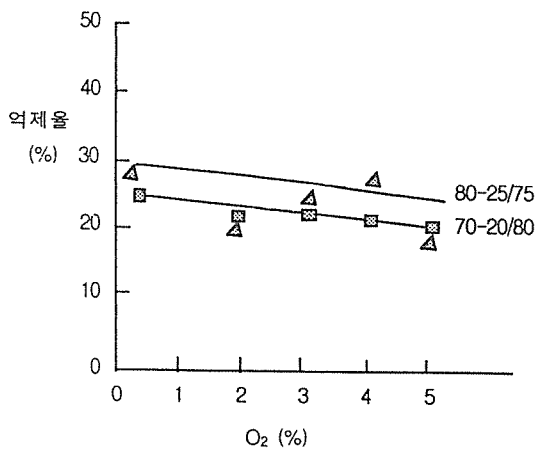
작은 Nozzle이 10~30% 큰 Nozzle이 70~90%의 면적비를 갖는 바, 직경의 면적비가 클수록 Nox의 감소율이 크며, 분무각도에 의한 차도 있다.

동 방식을 채택했을 때 화염의 직경이나 길이가 확대되며 Butterfly 현상도 초래한다. 분무 Nozzle이 2개씩 배열하는 방법도 있다. (그림 13)는 Bias 연소방식에 의한 Nox의 억제율의 한 예이다.

(그림 12) Bias 분무기



(그림 13) Bias 분무의 NOx 억제율

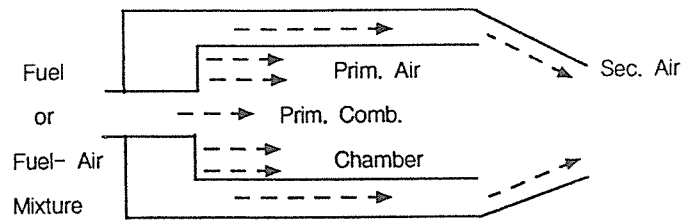


### 2) 공기 2단 연소식

연소의 시초 부분에 공기부족 상태를 형성하는 방법이 공기 2단 연소식의 한 방법이다. (그림 14)는 동 방법을 나타내고 있다.

Nox의 억제율은 공기 배분에 따라 다르며, 그 경향은 운전방법에서 예를 보였다.

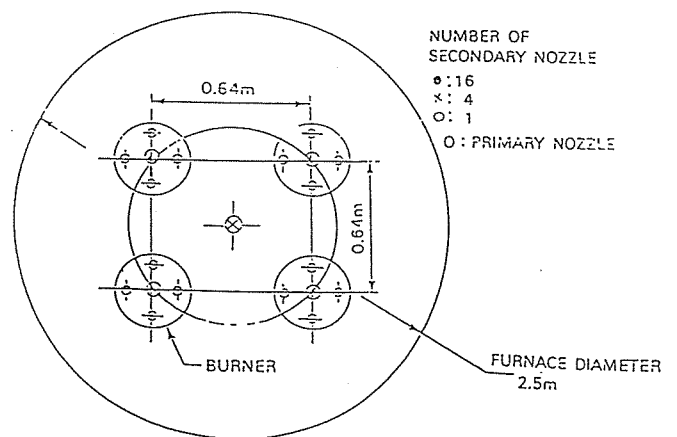
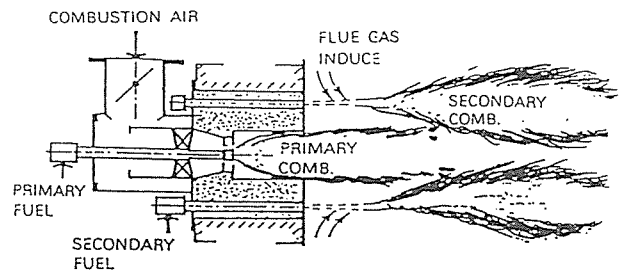
동 방법은 노벽에 탄소분이 퇴적하는 예도 있으므로, Flame Holder의 크기 등에 주의할 필요가 있다.



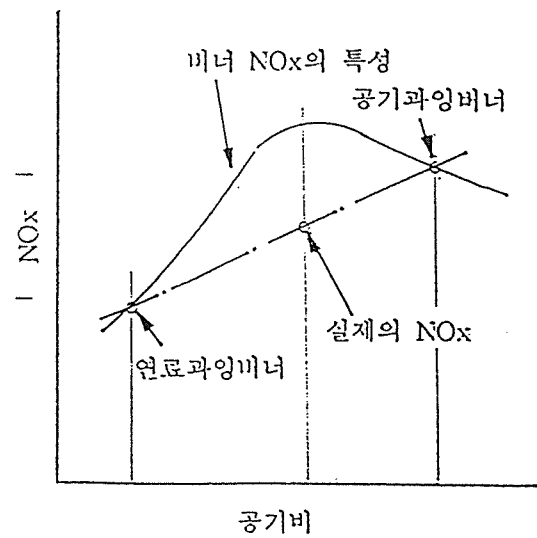
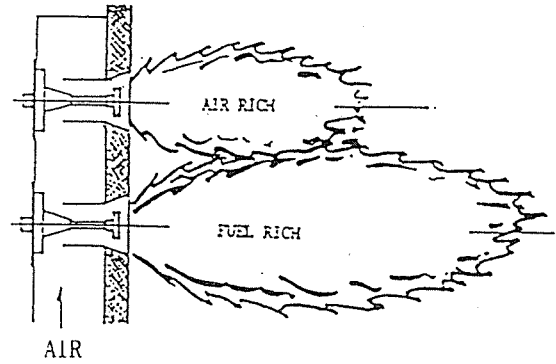
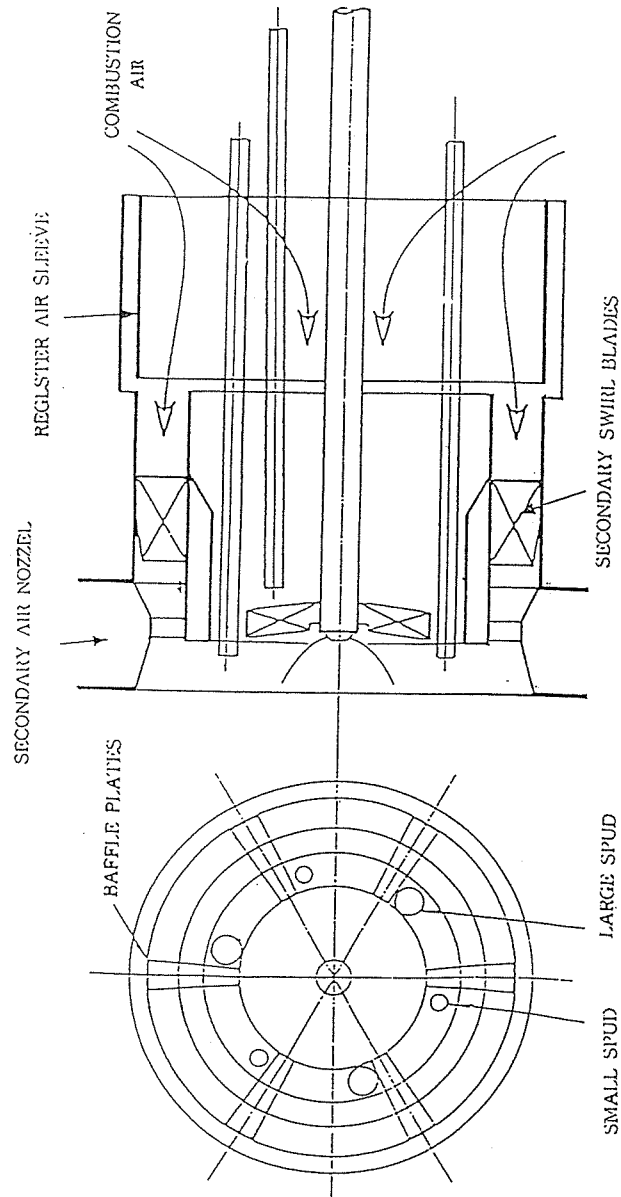
(그림 14) 공기 2단식

(그림 15)는 연료를 2단으로 나누어 연소하는 방식이다.

(그림 15) NOx 억제 연소법의 분류 < 1 >



(그림 16) 상하 2단 Bias 효과



5) 배기가스 재순환식

연소가스 또는 배기등을 재순환시켜 화염의 온도도 낮추고, 공기 희박에 의하여 연소반응을 늦게 하는 방법이 있다.

(그림 17)은 배기의 재순환 방식으로, 동 방법에 의한 Nox억제율은 재순환 가스량에 따라 다르다.

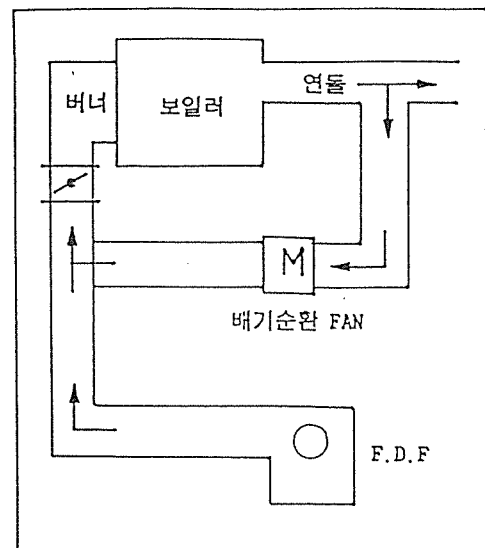
(그림 17) 배기 재순환식 및 Nox 억제효과

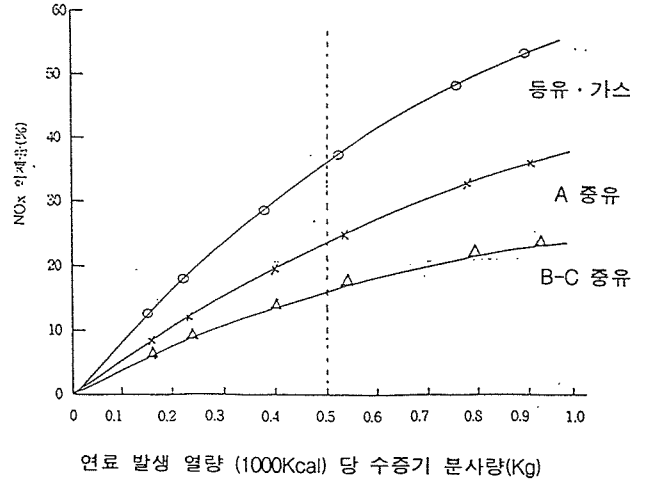
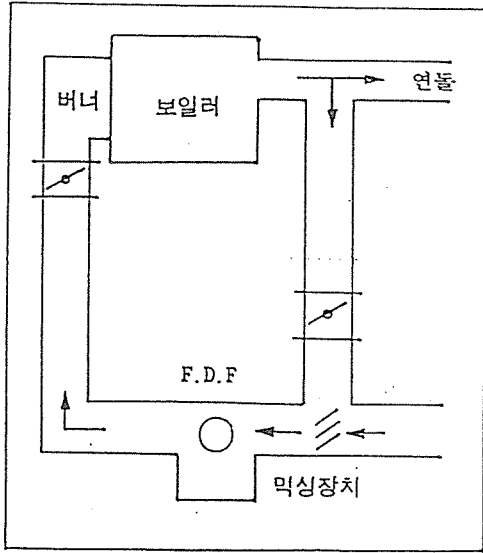
4) 상하 2단 연소식

연소가스의 흐름이 상향으로 흐르는 연소방식에서는 하단 Burner에서, Fuel Rich 상태로 Low Nox 분위기를 만들고, 상단 Burner에서는 Air Rich 상태로 하단 Burner의 미연소부분을 연소하는 방식이다.

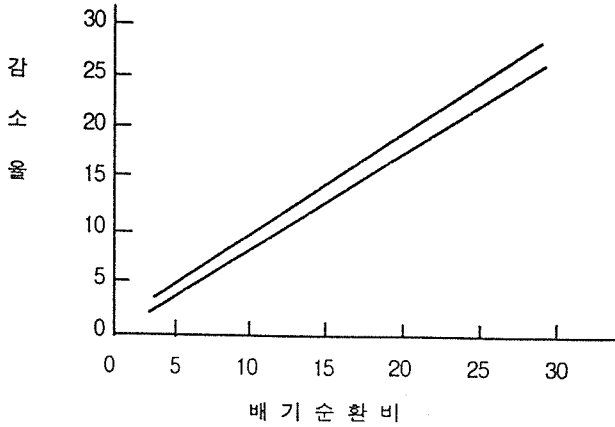
(그림 16)은 이 방법의 화염과 Nox 발생의 모양을 보여주고 있다.

이와 유사한 방법으로 상단 Burner 상부에서 연소용 공기를 공급하는 방식도 있다.





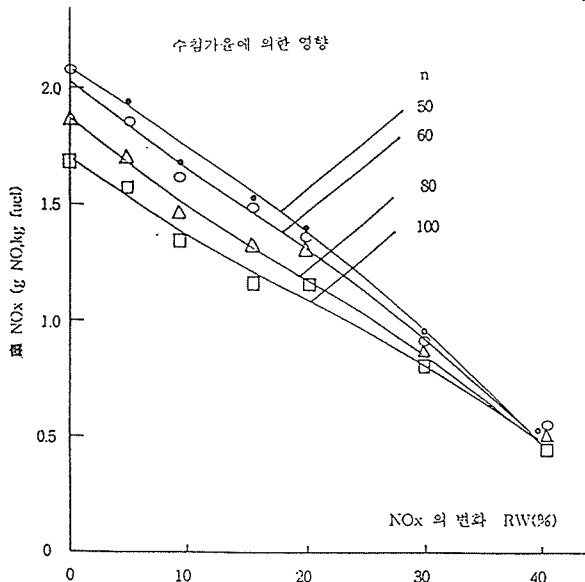
**Nox 억제효과 배기 재순환(순환비와 감소율)**



**6) 기타**

화염온도를 낮추는 방법으로 물을 분사하는 방법, 증기를 분사하는 방법이 있다. (그림 18)의 상단은 물의 첨가를, 하단은 증기 분사방식의 효과를 나타낸 한 예이다.

(그림 18) 물 및 수증기 분사시의 Nox 억제효과



**6. Nox 억제 방법의 비교**

각종 Nox 억제방법을 비교한 예는 다음과 같다.

형식	Nox 억제효과			일반적 특징
	Thermal	Fuel	Prompt	
연소가스 자기 재순환식	○	△	△	통풍 손실, 증대, 연소실 내 온도낮은 경우 효과 크다.
분할 화염식	○	△	△	간편, 연소실내 온도 낮은 경우 화염이 크게된다.
공기 2단 연소식	○	○	○	Fuel Nox에 효과적, 화염 커져서 Soot 발생
농염 연소식	◎	○	△	Thermal, Fuel NOx에 효과적
연료 2단 공급식	◎	○	○	Prompt NOx에 효과적
초저공기비 연소식 (O <sub>2</sub> , 0.5급 성능)	◎	◎	◎	효율, 설비보존 유지

(기호설명 : ◎-효과 대, ○-효과 중, △-효과 소)

**7. 맺는말**

지금까지 저 NOX 연소기술에 대하여 설명하였다.

현재 일본 등 선진국에서는 NOX의 배출기준을 강화하고 있다. 특히 대도시 지역에서는 대폭강화된 NOX 배출기준을 지자체의 지도기준으로 정하여 이행을 독려하고 있다. 우리도 NOX 배출억제에 관심을 두어야 할 시기가 되었으며 본 자료가 이에 도움이 되었으면 한다.