연소개선에 의한 10MW$_e$급 발전용 보일러의 NOx 저감

김태형*· 김성철*· 안국영**· 홍성선***

NOx Reduction in the 10MW$_e$ Power Boiler by Combustion Improvement

Tai-Hyeung Kim, Sung-Chul Kim, Kook-Young Ahn and Sung-Sun Hong

Key Words: NOx reduction, burner nozzle, heavy oil boiler, spray combustion

Abstract

Geometry change of burner nozzle has influence on fuel atomizing and combustion characteristics. NOx reduction technologies can be divided into two method; Before combustion method(NOx treatment of fuel) and After combustion method(NOx treatment of flue gas). In this study, experiments are carried out using difference nozzle and combustion condition change to reduce NOx in heavy oil fired thermal utility boiler. These methods have advantage like easy application and low installation cost. By this method NOx can be reduced by 18% and maintain CO emission level.

1. 서론

화석연료 연소시 보일러 내에서 발생하는 질소산화물(NOx)의 대부분은 일산화질화(NO)와 이산화질소(NO_2)로 존재하며, 일반적으로 NOx의 95% 이상은 일산화질소 형태로 존재한다[1,2]. 일산화질소는 무색, 무취의 유독성 가스이고, 이산화질소는 부식성과 강한 악취를 가지며 광화학 반응을 일으키는 환경오염물질로서 황산화물(SOx)과 함께 산성비

* 전력연구원
** 한국기계연구원
*** 충북대학교 화학공학과

와 스모그의 주원인 물질로서 이를 저감하기 위한 많은 연구가 시도되었다. 질소산화물을 저감하기 위한 기술로는 연소전에 행하는 연료탈질 또는 연료교체 방법, 연소중에 행하는 연소개선[3] 방법, 연소 후에 행하는 배연탈질 방법 등이 있으며, 본 연구에서는 연소개선에 의한 질소산화물을 저감하고자 중유 버너노즐 교체 및 운전조건 변경 방법을 동시에 적용하였다. 중유 버너노즐 형상[4,5]에 따라 연료유의 분무상태(분산도, 분사각, 분무입경, 연료분무량, 분사매체량 등)와 연소상태가 달라지게 되어 연소조건이 변화하게 된다. 본 연구에서는 질소산화물 발생을 억제할 수 있는 연소조건이 되도록 하기 위하여 중유 버너노즐 형태 및 운전조건을 변경하여 10MWe급 발전용 보일러에 적용시켜 질소산화물 발생 저감을 도모하였다.

2. 이론적 고찰

2.1. 질소산화물 생성 이론

연소 중에 발생되는 NOx는 반응된 질소의 종류와 질소를 산화시키는 화학반응에 의해 공기중의 질소분자가 고온상태에서 산화되어 발생하는 Thermal NOx, 연소시 연료에서 발생되는 탄화수소 기가 연소용 공기중의 질소분자와 반응하여 생성되는 Prompt NOx 및 연료중에 포함된 질소 성분이 연소 과정에서 산화되어 발생하는 Fuel NOx로 나눌 수 있다.

일반적으로 Thermal NOx의 발생기구는 Zeldovich에 의해 제시된 반응식 ($O+N_2 \leftrightarrow NO+N$, $N+O_2 \leftrightarrow NO+O$, $N+OH \leftrightarrow NO+H$)으로 설명될 수 있다. 고온에서 O_2가 2O로 분리되어, 이 산소원자가 공기중의 질소분자와 반응하여 NO를 생성하고 동시에 질소원자를 생성하며 이것이 다시 공기중의 산소와 반응하여 NO를 생성한다. Thermal NOx의 생성은 주로 (i) 연소온도가 높을 때, (ii) 연소영역에서 산소의 농도가 높을 때, (iii) 고온영역에서 연소가스의 체류시간이 길 때 많이 발생한다고 알려져 있으며, 특히 온도의존성이 매우 크다.

고온의 화염후류 영역에서는 NOx의 생성에 대하여 Zeldovich 기구에 따른 이론과 실험결과가 비교적 잘 일치하고 있지만, 화염면 및 그 근방에서는 Zeldovich 기구 이외의 경로에 의하여 많은 양의 NO가 급격히 생성되는 것이 발견되었다. Fenimore[6]는 메탄-공기, 에틸렌-공기의 예혼합 평판화염에 대하여 실험한 결과 화염대 근처에서 급속한 NO의 생성을 발견하고 이 NO를 "Prompt NO"라고 하였다. 현재까지의 많은 연구결과 Prompt NOx는 탄화수소계 연료에서만 생성되고 온도, 연료의 종류, 당량비 등에 대한 의존성이 비교적 낮고 연소가스의 체류시간에는 무관한 것으로 판명되었다. 그러나 Prompt NOx의 생성과 소멸과정은 아직까지 정확히 알려지지 않고 있다.

화합물의 형태로 연료에 함유되어 있는 질소성분이 산소와 반응하여 생성되는 NOx를 Fuel NOx라고 하며, 연료중 질소의 결합형태는 각각의 질소가 탄소나 다른 원소와 유기적으로 결합된 형태로 되어 있어, 이중구조의 형태보다 쉽게 끊어져 Fuel NOx의 생성속도는 Thermal NOx 보다 빠르게 일어난다. 일반적으로 연료중의 N 성분은 모두 중간생성물 HCN으로 변환하고 이것이 다시 변환되어 화염의 당량비에 따라 NO나 N_2로 발생되게 된다. 따라서 초기에 공기를 적게 유지하는 것이 N_2로 변환될

확률이 높기 때문에 Fuel NOx의 저감에는 좋은 효과를 가진다. Fuel NOx의 생성은 온도 조건보다는 당량비적인 측면에 더욱 민감하므로 배기가스 순환방식이나 물을 주입하는 방식 등의 방법만으로는 Fuel NOx 저감이 어렵기 때문에 대부분의 산업용 버너에서는 연료 및 공기를 단계적으로 연소하는 다단연소 방법과 병행하여 실행되고 있다.

2.2. 분무연소 일반

분무연소는 연료를 안개모양의 분무상으로 미립화시키고 이것이 증발하면서 주위공기와 혼합하여 연소하는 것이다. 연소의 준비과정인 예열 및 증발과정에서 시간과 공간이 적기 때문에 미립화시키므로써 체적에 대한 표면적의 비를 증대시켜 연소하는 방식이다. 연소과정을 보면 고속으로 분출된 유적군은 버너타일과 화염에서 방사열, 순환하는 고온가스의 혼합 등에 의해서 가열된다. 이 단계를 통과하는 사이에 예열된 유적은 표면으로부터 증발하고 착화하여 주위공기의 상대유동 크기에 따라 Envelop화염 또는 Wake화염이 되어 입자 사이를 날면서 화염이 전파되어 기화가 촉진된다. 또한 반응이 급격히 이루어지는 확산연소와 흡사한 연소를 하는 것이다.

실제 버너에서 연소용 공기는 화염의 주위에서 화염 내로 확산하여 개개 입자의 표면에 침투한다. 그와 함께 연료 증기는 유적 표면에서 증발하고, 이 증기와 공기의 혼합비가 적당하게 될 때 연소하게 된다. 분무 개시점을 기점으로 하여 안정화 영역, 혼합영역, 확산화염 영역으로 나눌 수 있다. 또 단면대 분포로 해서 중심축에서 반경방향 외측에 연료의 농도가 대단히 높은 영역, 유적화염, 가스화염으로 구별된다. 이와 같이 화염구조에서 알 수 있는 것은 예열 및 증발시간의 단축과 유동을 자유롭게 하기 위하여 미립화가 잘 되어야 하며, 열원의 공급을 원활하게 하기 위하여 버너 전면, 즉 초기 화염에서 안정적인 열원이 공급되어야 하므로 안정적인 화염이 형성되어야 한다. 입자의 비산에 의하여 화염이 전파되어야 하고 공기와 연료의 혼합비 등이 반응을 촉진하므로 공기의 혼합이 잘 이루어져야 하는 것이다. 여기에 이런 운동을 원활하게 하기 위해서는 연소실의 크기 및 형상과 화염이 잘 조화되어야 함을 알 수 있다. 그러므로 버너는 미립화, 화염안정, 공기혼합이 잘 이루어질 수 있도록 하여야 할 뿐 아니라 연소실과도 조화되도록 하여야 한다.

분무노즐은 용도와 특성에 따라 매우 다양하므로 여기에서는 2-유체 분무노즐에 한정하여 언급하고자 한다. 2-유체 분무 노즐에서는 큰 속도를 가진 기체를 노즐의 외부 또는 내부에서 분사 액체에 충돌시켜 액적을 발생시킨다. 이 노즐을 사용하면 다른 종류의 노즐을 사용할 경우에 비하여 더욱 미세한 분무를 얻을 수 있으며, 특히 2-유체 노즐이 분무 연소에 응용되는 경우에는 액체 연료와 매체가 쉽게 혼합되므로 매우 유용하다. 그러나 액체의 미립화를 위하여 압축기체를 사용하므로, 다른 종류의 노즐에 비해 같은 정도의 미립화를 위한 에너지 소요량이 훨씬 크다는 단점도 있다. 2-유체 노즐의 전형적인 형태는 노즐 중심부분에 액체가 흐르고, 외곽부분에 기체가 흐르도록 되어 있으며, 대부분은 분출 지점 부근에서 액체와 기체가 서로 충돌하도록 되어 있다. 기체와 액체의 혼합이 분출 직전에 일어나는가 또는 분출 직후에 일어나는가에 따라 각각 내부 혼합식, 외부 혼합식, 중간 혼합식

(Y-jet)으로 불리운다.

분무류 연소에서 화학적인 변화는 순간적으로 이루어지므로 물리적 과정, 특히 에너지, 운동량 및 물질의 이동과정이 연소를 지배한다. 연소용 공기와 분류(Jet)의 혼합과정 해명은 연소의 해명과 직결된다. 화염안정과 공기혼합이 연소실 상류부에서 이루어지므로 연소실 전체의 흐름에 비해서 매우 복잡하고 또 전체 화염의 구조를 지배한다. 더욱이 버너 직후의 흐름양상은 분류와 공기 모두의 혼합영역을 지배한다. 사실 화염안정도 어느 면은 공기와 분류의 혼합 패턴에 따라 변화되므로 상호 밀접한 관계를 갖게 되는 것이다. 이 부분에서 공기혼합은 환상으로 분출되는 분류형태에 따라 변하고 이 형태는 환상 분류의 지배, 중심 분류의 지배 및 동축 분류로 구별될 수 있다.

3. 실험

3.1. 실험노즐 비교

본 실험에 사용된 보일러는 발전용이며 중유전소 옥내 자연 순환형으로 버너가 2단 2열로 총 4개인 전면연소 방식으로서, 버너 한 개당 용량은 시간당 920kg이고, 최대 중유압력은 8kg/㎠ (운전상한치 6kg/㎠), 최대 증기분무압력은 9.5kg/㎠ (운전상한치 7.5kg/㎠)이다. 기존의 버너노즐은 혼합판(Mixing Plate)과 분사판(Spray Plate)이 한 조로 구성되며, 분사판에는 지름 3.5㎜ 크기의 노즐공이 8개 뚫어져 있고 분사각은 70°로 설계되어 있다. 본 실험을 위해 새로 설계된 버너노즐은 다단연소시 초기 연소영역을 연료과잉 상태로 하여 NOx를 저감하는 개념과 유사하도록 하기 위하여 분사각 70°로 기존노즐과 같은 크기의 노즐공 7개와 중심부에 지름 2.6㎜ 크기의 노즐공 1개를 뚫었다(노즐A). 또 다른 한가지는 공기의 혼합특성을 조절하여 연소강도를 낮추고, 분할 화염이 만들어지도록 하기 위하여 기존노즐과 노즐공 개수와 크기는 같으나 70°와 65°인 분사각이 지그재그를 이루도록 개선하였다(노즐B).

3.2. 실험방법

본 실험에서 사용된 운전조건 변경 방법은 각각의 버너에 부착된 공기 레지스터의 1차 및 2차 공기댐퍼 위치와 버너 건 위치를 수동으로 조작하는 방법을 사용하였다. 1차와 2차 공기댐퍼는 0~10의 번호가 새겨진 위치에 조작용 핸들을 위치시킴으로서 각각의 공기 댐퍼 개도를 조절하도록 되어있다. 버너 건 위치는 버너 건의 장착 위치를 나타내는 눈금을 지칭하는 것으로 0~22까지 새겨져 있으며, 버너 건이 뒤로 후퇴할수록 값이 커지게 되어 있다. 실험조건에 따른 결과는 2종류의 계측기를 병행 사용하여 배기가스 농도(NOx, CO, O_2, Dust)를 측정하고, 제어실의 기록계로부터 Spray Water, Smoke Density, 윈드박스 및 노내압력을 측정하였으며, 육안관찰에 의한 방법으로 노내 연소상태를 점검하였다. 또한 필요에 따라 1단과 2단에 위치한 관찰창을 통해 광고온계를 이용하여 노내 화염온도를 측정하였다. 각 단별 노내화염온도 측정위치는 좌측 앞쪽, 버너 정면, 우측 앞쪽과 뒤쪽이며 Fig.1과 같다.

3.3. 실험조건

노즐A를 사용한 실험은 기존노즐이 장착되어 운전중인 상태에서 1-2-3-4번 버너 순으로 노즐A로 교체하는 버너의

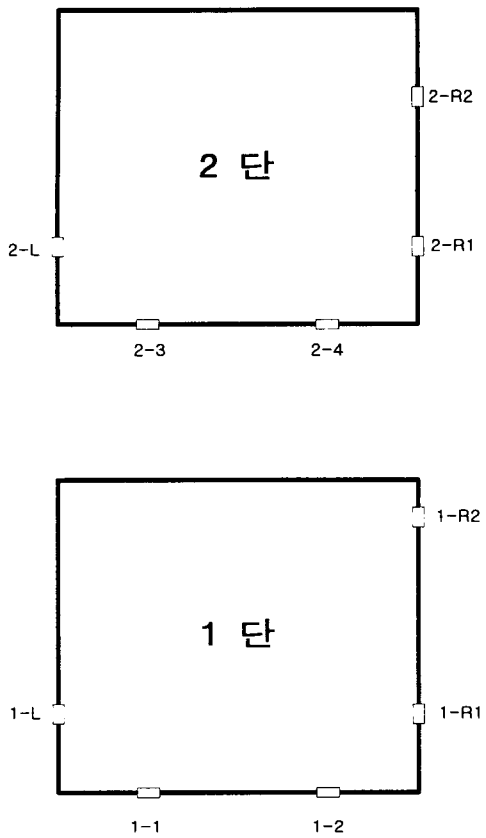

Fig.1 관찰창 위치도

수량을 증가시킴과 병행하여 1차 및 2차 공기댐퍼 위치를 조절하면서 실험을 진행하였다. 실험조건별 공기 댐퍼 및 버너 건 위치는 Table 1과 같으며, 실험조건 1~2는 1번 버너, 실험조건 3~8은 1번과 2번버너. 실험조건 9는 1~3번 버너 그리고 실험조건 10은 모든 버너에 노즐A를 장착하여 실험한 것이다.

노즐B 실험은 버너 4대 모두에 노즐B를 장착한 후 각각의 버너에 부착된 1차 공기와 2차공기 댐퍼 위치 및 버너 건 위치를 조절하여 실험을 실시하였다. 시험조건별 1차 및 2차 공기댐퍼 위치와 버너 Gun 위치는 Table 2와 같다.

Table 1 노즐A의 실험조건별 공기댐퍼 및 버너 건 위치

실험조건	실 험 변 수								
	버너별 1차 댐퍼위치				버너별 2차 댐퍼위치				버너 건 위치
	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	9	5	8	5	4	3	4	3	13
2	6	4	9	5	4	2	4	5	13
3	6	4	9	5	4	2	4	5	13
4	5	4	9	5	4	2	4	5	13
5	5	3	9	5	4	2	4	5	13
6	5	3	9	5	2	2	4	5	13
7	9	5	8	5	4	3	4	3	13
8	9	5	8	5	4	3	4	3	13
9	9	5	8	5	4	3	4	3	13

Table 1 노즐A의 실험조건별 공기댐퍼 및 버너 건 위치

실험조건	실 험 변 수								
	버너별 1차 댐퍼위치				버너별 2차 댐퍼위치				버너 건 위치
	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	7	5	6	4	4	4	4	4	9
2	8	8	5	6	3	2	5	5	8
3	6	5	6	4	4	4	4	4	9
4	6	5	6	5	4	4	4	4	9
5	6	6	6	5	4	4	4	4	10
6	7	6	7	5	4	4	4	3	10
7	7	5	7	5	4	4	4	4	10
8	7	6	8	5	4	4	4	4	10
9	7	6	7	6	4	4	4	4	10
10	8	6	6	5	4	4	4	4	10
11	7	6	7	4	4	3	4	4	11
12	8	5	7	5	4	5	4	4	10
13	8	6	5	5	4	5	4	4	10
14	8	5	6	5	4	5	4	4	12
15	8	5	9	5	4	5	4	4	10
16	7	5	8	5	4	4	5	5	10
17	7	5	7	5	4	4	6	4	10
18	7	5	9	5	4	5	5	4	10
19	7	5	8	5	3	4	5	3	10
20	7	5	7	5	3	4	4	3	8
21	7	5	9	5	3	4	4	3	8
22	7	4	8	5	4	4	5	3	8

4. 결과 및 고찰

4.1. 노즐A 실험

연돌에 설치된 측정기로부터 NOx와 CO 배출농도 및 산소농도를 동시에 측정하였으며, 산소농도 4.0%를 기준으로 하여 NOx와 CO 배출농도를 계산하였다. Fig.2에 나타낸 NOx 저감율은 실험전 배출농도와 각각의 실험조건에서 배출된 농도를 비교하여 표현한 것이고, CO는 실험조건별 배기가스 중의 농도이다. 1차 및 2차 공기 댐퍼 위치와 건 위치가 동일하고, 노즐A의 장착 수량이 증가함에 따라 CO 발생이 증가하는 성향을 나타냈다. 이는 노즐이 다르면 적정 운전조건도 달라지는 현상으로 볼 수 있다. 1번과 2번 버너에 노즐A를 장착하고 운전조건을 변화시킨 시험조건4에서 8.3%의 질소산화물 저감율을 보였다. 본 노즐의 경우 노즐 교체 수량이 증가함에

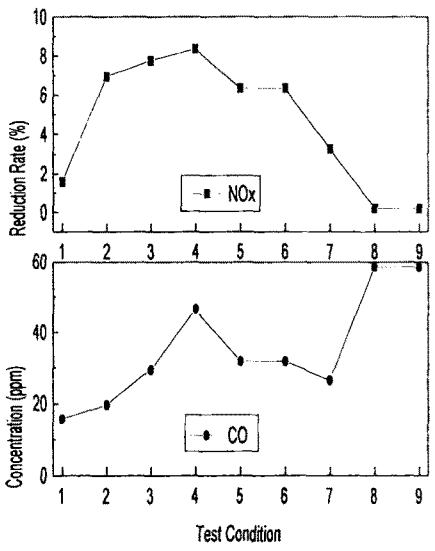

Fig.2 NOx 및 CO 변화

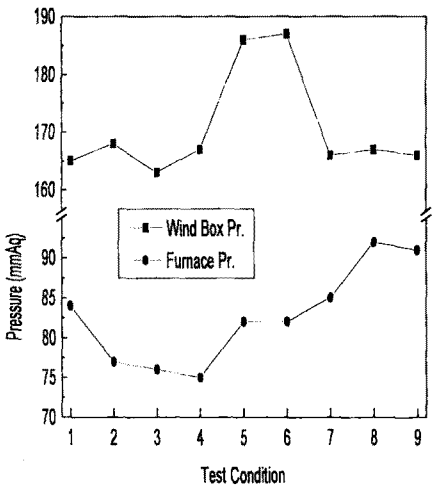

Fig.3 윈드박스 및 노내압력 변화

따라 0.1~0.2kg/㎠의 중유공급압력이 상승하였고, 육안 관찰에 의한 노내 화염상태는 더욱 개선되는 것으로 나타났다.

실험조건별 윈드박스 압력과 노내압력 변화는 Fig.3과 같다. 윈드박스 압력은 운전조건이 동일할 경우 노즐A의 영향을 무시할 수 있으나, 노내압력은 실험조건1과 7에 비해 실험조건 8과 9에서 약간 상승하여 6mmAq의 차압이 감소했다. 그러나 윈드박스 압력과 노내압력은 운전조건에 따라 더욱 큰 변화를 보였다.

4.2. 노즐B 실험

연돌에 설치된 배기가스 측정기로부터 NOx와 CO 배출농도 및 산소농도를 동시에 측정하였으며, 산소농도 4.0%를 기준으로하여 질소산화물과 일산화탄소 배출농도를 계산하였다. Fig.4에 나타낸 NOx 저감율은 실험전 배출농도와 각각의 실험조건에서 배출된 농도를 비교하여 표현한 것이며, CO는 실험조건별 배

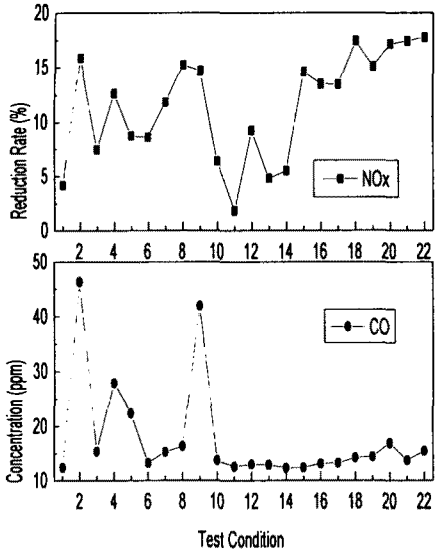

Fig.4 NOx 및 CO 변화

기가스 중의 농도이다. 그림에 나타난 바와 같이 15% 이상의 높은 NOx 저감율을 나타낸 실험조건은 2, 8, 18, 21 및 22 이었다. 특히 실험조건22는 NOx 저감율이 17.8%로 배기가스 중으로 배출되는 NOx가 가장 적었다. 그림에 나타난 바와 같이 CO 배출농도가 20ppm을 초과하는 실험조건은 2, 4, 5 및 9 이었으며, 가장 높은 CO 배출농도를 보인 실험조건2에서도 노내 연소상태는 양호하게 나타났다. 또한 NOx 저감율이 15% 이상인 실험조건 중에서 시험조건2를 제외하고는 16.4ppm 이하로 매우 적은양의 CO가 발생되에 불완전연소 현상이 거의 심화되지 않는 것으로 나타났다. 실험조건1에 비해 실험조건3의 NOx 저감율이 3.3% 증가하였지만, CO 발생의 급격한 증가현상은 보이지 않았다. 실험조건7과 8 및 실험조건15와 18은 CO 변화가 거의 없었지만, NOx 감소율은 각각 3.4%와 3.9%의 차이가 있었다. 실험조건20과 21은 3번버너 1차공기 댐퍼위치를 7에서 9로 변화시키고, 그 외의 운전조건은 동일한 조건이며, NOx 저감율과 CO 발생은 크게 다르지 않았다. 실험조건12와 14를 비교하면 3번버너 1차공기 댐퍼 위치와 건 위치만 다르고 나머지 운전조건은 동일한 경우이며, CO 발생 변화는 거의 없었으나, NOx 저감율은 3.7%의 차이를 보였다.

모든 버너에 노즐B를 장착하여 수행한 전체 실험조건 중 몇몇 조건에 대하여 측정된 노내 화염온도는 Fig.5와 같다. 측정된 운전조건에서 노내 화염온도 편차는 동일한 측정위치일 경우 1단에서 50~120℃, 2단에서 40~160℃로 나타나 2단에서의 변화폭이 크게 나타났다. 1단에서는 1-L의 온도가 1,370~1,420℃ 범위로 가장 높은 온도분포를 나타냈고, 2단에서는 2-R1의 온도가 1,400~1,440℃ 범위로 가장 높았다. 실험조건1과 3

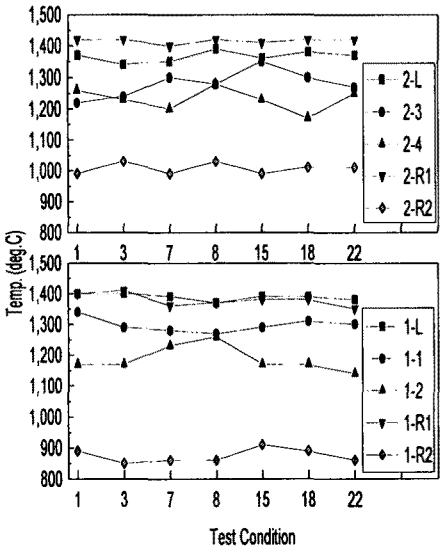

Fig.5 노내 화염온도 변화

은 1번버너 1차공기 댐퍼 위치가 실험조건1에서 7인 것을 실험조건3에서는 6으로 변화시키고, 나머지 공기 댐퍼와 건 위치는 동일한 운전조건이다. 실험조건 1의 1단 온도는 890~1,400℃, 2단 온도는 990~1,420℃ 범위이다. 실험조건 3의 1단 온도는 850~1,410℃, 2단 온도는 1,030~1,420℃ 범위이다. 실험조건1을 기준으로 하여 실험조건3의 노내 화염온도를 비교하면 1-1, 1-R2, 2-L, 2-4의 온도는 30~50℃ 감소하였고, 1-R1, 2-3, 2-R2 온도는 10~40℃ 상승했으며, 그 외에는 동일하였다. 실험조건7의 2번버너 1차공기 댐퍼를 5에서 6으로, 3번버너 1차공기 댐퍼를 7에서 8로 변화시키고, 그 외의 운전조건에 대하여는 변화를 주지 않은 것이 실험조건8이다. 실험조건7의 1단 온도는 860~1,390℃ 범위이고, 2단 온도는 990~1,400℃ 범위이었다. 실험조건 8의 1단은 860~1,370℃ 범위이고, 2단 온도는 1,030~1,420℃ 범위이었다. 실험조건7을 기준으로 실험조건8의 온도를 비교하면 1-R2는 변화가 없고, 1-L, 1-1, 2-3 온도는 10~20℃ 감소하였고, 그 외에는 10~80℃ 상승하였다. 실험조건 18은 시험조건 15에서 1번버너 1차공기 댐퍼를 8에서 7로, 3번버너 2차공기 댐퍼를 4에서 5로 변화시키고, 나머지 운전조건은 동일하게 유지한 것이다. 실험조건15의 1단 온도는 910~1,390℃ 범위이고, 2단 온도는 990~1,410℃ 범위이었다. 실험조건18의 1단은 890~1,390℃ 범위이고, 2단 온도는 1,010~1,420℃ 범위이었다. 실험조건15를 기준으로 실험조건18을 비교하면 1-1, 2-L, 2-R1, 2-R2는 10~20℃ 상승했고, 1-R2, 2-3, 2-4는 20~60℃ 감소되고 그 외에는 변화가 없었다.

Spray Water량은 Fig.6과 같이 시간

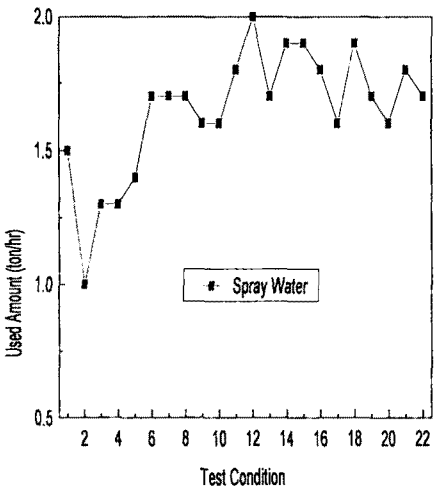

Fig.6 Spray Water량 변화

당 1.0~2.0톤 이었으며, 대부분의 조건에서 시간당 1.6톤 이상이 소모되었다. 실험조건1과 비해 실험조건3의 소모량이 시간당 0.2톤 적었고, 실험조건14는 실험조건 12보다 시간당 0.1톤 많이 소모되었다. 실험조건20과 21은 시간당 0.2톤의 차이가 있다. 실험조건7과 8 및 실험조건15와 18은 변화가 없었다.

실험조건별 윈드박스 압력과 노내압력은 그림 4-12와 같다. 윈드박스 압력은 164~200mmAq, 노내압력은 81~94mmAq, 차압은 76~109mmAq로 나타나 노내압력 변화가 가장 적었다. 윈드박스 압력은 실험조건1에서 가장 높고 실험조건9에서 가장 낮았으며, 노내압력은 실험조건18이 가장 높고 실험조건4가 가장 낮았다. 윈드박스 압력과 노내압력 차이는 시험조건3이 가장 높고 실험조건2에서 가장 낮았다. 실험조건3은 실험조건1에 비해 윈드박스압력과 노내압력이 조금 감소하였고, 두 차압은 조금 상승하였다. 실험조건8은 실험조건7보다 위

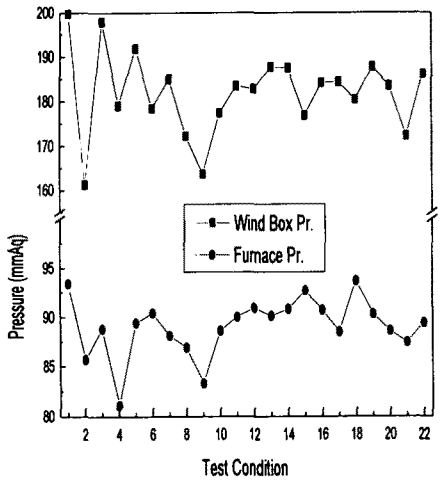

Fig.7 윈드박스 및 노내압력 변화

드박스압력이 13mmAq 감소하고 노내압력은 1mmAq 감소함으로서 차압은 12mmAq 상승하였다. 실험조건4와 실험조건5를 비교하면 실험조건5의 윈드박스 압력이 13mmAq 높아지고 노내압력은 8mmAq 높아졌다. 실험조건14의 윈드박스압력은 실험조건12보다 4mmAq 높았으나, 노내압력은 변화가 없었으며 실험조건18은 실험조건15에 비해 윈드박스 압력은 3mmAq 상승하고, 노내압력은 1mmAq 상승하였다.

5. 결론

일반적으로 NOx를 저감하는 운전조건일 경우 CO 증가 현상이 나타나기 쉬우나 NOx도 저감되면서 CO 발생도 줄이는 운전조건을 찾을 수 있었다.

보일러 각 버너에 설치된 공기댐퍼 위치 특성이 동일하지 않은 것을 알 수 있었으며, 이는 기계적인 특성이 조금씩 다르기 때문으로 사료된다.

노즐A는 기존노즐 사용시에 비해 노내 화염상태는 양호하였으나, NOx 발생량이 증가함으로 실험 목적에 적합하지 않은 것으로 판단 되었다.

노즐B는 질소산화물 저감효과가 매우 우수한 것으로 나타났으며, CO가 50ppm 정도 발생되는 운전조건에서도 노내 연소상태는 양호하였고, 2번과 4번 버너에 비해 1번과 3번 버너의 1차 공기댐퍼를 많이 개방하는 조건에서 NOx 저감효과가 우수하였다.

참고문헌

(1) Cernansky, N. P. and Sawyer, R. F., 15th Symp. (Int.) on Combustion, The Combustion Institute, (1974).

(2) Hayhurst, A. N. and Vince, I. M., Progress in Energy and Combustion Science, 6.(1980).

(3) Cernansky, N. P. and Sawyer, R. F., 15th Symp. (Int.) on Combustion, The Combustion Institute, (1974).

(4) Hayhurst, A. N. and Vince, I. M., Progress in Energy and Combustion Science, 6.(1980).

(5) Fenimore, D. C., 13th Symp. (Int.) on Combustion, The Combustion Institute, (1971).

(6) Fenimore, D. C., 13th Symp. (Int.) on Combustion, The Combustion Institute, (1971).