

석유화학 공정부산물의 연소특성에 대한 연구

이 용 일*

(2002년 4월 26일 접수, 2002년 9월 18일 심사완료)

A Study on the Combustion Characteristics of Petrochemical Process By-Product

Yong Il Lee

Key Words : Petrochemical Process(석유화학 공정), By-Product(부산물), Combustion Characteristics(연소특성), Fuel Preheating Temperature(연료예열온도), Combustion Load(연소 부하)

Abstract

Combustion stability is one of the most important factors that must be considered in burning of heavy fuel oil, especially low-grade oil. This paper describes the combustion characteristics of petrochemical process by-product in the combustion furnace of heavy fuel oil. Main experimental parameters were combustion load, excess O₂, fuel preheating temperature and air/fuel ratio. The capacity of CRF(combustion research facility) used in this study was 1.0 ton/hr and the burner is steam jet type suitable for heavy oil combustion and manufactured by UNIGAS in Italy. The fuel used in this experiment were 0.5 B-C, petrochemical process by-product and 3 kinds of 0.5 B-C/process by-product mixtures. The combustion stability was monitored and exhaust gases such as CO, NO_x, SO_x and particulates were measured with the excess O₂ and combustion load. The main purpose of this study is to clarify whether process by-product can be used as a boiler fuel or not in consideration of flame stability and emission properties.

1. 서 론

중질유의 연소에서는 분진, NO_x 등의 환경오염 물질을 줄이는 연구가 필요하다. 특히 NO_x 는 대기중의 수증기와 만나면 스모그 및 산성비의 원인이 된다.

또한 에너지 자원의 고갈로 공정부산물이나 폐유 등의 안전한 처리와 재사용은 점차 중요해지고 있다. 그러나 이러한 저질연료 또는 저질연료와 정상 연료의 혼합연료 연소시는 독성가스 및 유해 금속 성분 등의 오염물 배출과 같은 환경적인 문제가 있다.⁽¹⁾ 폐유와 같은 저질연료에서 금속성분 이외의 무기물은 황, 질소, 인, 염소 및 브롬 등이 있다. 이러한 원소들은 유기물 또는 무기혼합물의

형태로 존재할 수 있다.⁽²⁾

저질연료 연소시 고려해야 할 몇 가지 예로는 저장과 혼합에 필요한 특수설비 및 연료필터, 버너 수정(burner modification) 및 연소 효율을 낮게 하는 연료 중의 이물질 제거 등이 있으며, 버너 노즐과 스트레이너의 빈번한 청소가 필요하다. 일산화탄소, 미연탄화수소(unburned hydrocarbon), 미연소된 분진 및 다이옥신 같은 화학종들은 불완전 연소에 의해 생성될 수 있다. 이러한 배출물들은 연소장의 온도와 농도 등의 엄밀한 계측에 의해 연소효율을 개선함으로써 최소화될 수 있다. 또한 오염물질의 배출을 저감시키기 위한 노즐 형상 설계, 적정 연료분사압력, 과잉공기비, 연료와 공기의 혼합 최적화 및 연료예열온도 선정 등을 통한 연소조건 최적화기술을 필요로 한다.^(3,4)

본 연구에서는 석유화학 공정중에 필수적으로 발생하는 공정 부산물을 보일러 연료로 사용하기 위하여 연소부하 및 산소 농도, 공정부산물과 B-C 혼합비, 적정예열온도에 따른 화염 안정화 및 배

* 회원, SK㈜ 석유제품기술팀
Email : yilee@skcorp.com
TEL : (011)9934-5094 FAX : (042)866-7403

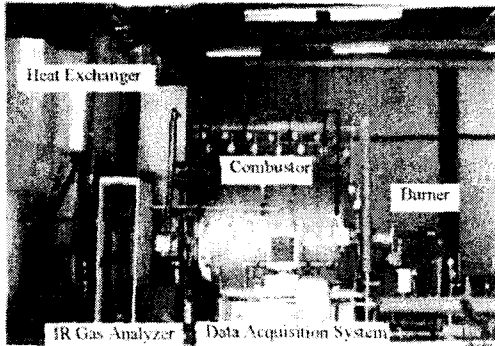


Fig. 1 Combustion facility used for the experiment

기가스 배출특성을 도출하여 공정 부산물의 연소 특성을 파악하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

Fig1 에 본 실험에 사용된 연소시험설비를 나타내었다.

연소시험설비는 크게 연료 및 공기 공급계통, 버너, 연소실, 열교환기 및 프로브와 분석기로 구성되어 있다. 연료탱크에서 나온 연료는 고압의 연료펌프에서 압력이 상승되어 버너로 이송되며 중간에 연료의 온도를 조절할 수 있도록 연료예열기를 설치하였다. 블로어로부터 공급되는 연소용 공기는 직접 버너로 공급되며 공기량 제어를 위해서 인버터를 사용하여 블로어의 회전수를 제어하였다. 연소실 벽이 과열되는 것을 방지하기 위하여 연소실 주위에 냉각수가 흐를 수 있도록 수관을 설치하였다. 연소기 하류로 배출된 연소가스는 열교환기에서 외기와 열교환되어 온도가 강하된 후 대기로 배출된다. 연소실(Combustion Chamber)에는 화염감지기(Flame Detector)가 설치되어 연료라인의 솔레노이드 밸브(Solenoid Valve)와 연결되어 실험 도중에 발생할 수 있는 역화(Flashback)나 소화(Blowoff)와 같은 긴급상황에 연료의 공급을 차단하도록 하였다. 고압연료펌프, 강제순환팬(Forced Draft Fan), 유도순환팬(Induced Draft Fan) 및 배기냉각팬(Exhaust Cooler Fan)은 변속모터(Variable Speed Motor)로 구동되며 그 각각의 속도는 주파수 인버터(Frequency Inverter)를 사용함으로써 각각 임의로 조절할 수 있도록 하였다.

본 실험에 사용된 버너는 증기 발생량이 1 ton/hr 용량으로 연료량은 대략 100% 부하시 70kg/hr 이다. 연소기에 공급되는 연료의 온도는 연료예열기에서 40~120℃로 예열하여 버너로 공급된다.

연소실(Combustion Chamber)은 내측 직경이 1.3m 인 원형 터널(Circular Tunnel)형으로 폭 40cm 인 6 개의 섹션으로 구성되어 있다. 연소실 주위는 물 재킷(Water Jacket)으로 구성되어 있으며 냉각수에 의해 냉각된다. 연소실 내부의 화염 관측을 위해 6 개의 관측창과 다수의 측정 홀을 만들었다. 연소실의 전면부는 Burner Quartz 로서 캐스타블(Castable)을 사용하였으며 연소실 전면에 화염감지기(Flame Detector), 점화기(Ignitor) 및 Pilot Burner 를 설치하였다. Pilot Burner 의 연료로는 LNG 를 사용하였으며 중질유 초기연소시 Pilot Flame 의 연료로 사용하였다.

버너는 중질유 연소시 주로 사용하는 스팀분무(Steam Jet) 방식이며, 연료펌프와 공기 팬이 직결되어 운전되는 상업용 버너(Commercial Burner)와 달리 연료펌프와 공기 팬 구동 모터를 별도로 구비함으로써 연료와 연소용 공기의 공급을 독립적으로 제어하도록 하였다. 각각의 모터는 주파수 인버터를 사용하여 임의의 속도로 조절할 수 있게 함으로서 댐퍼조작의 필요성을 제거하였다.

2.2 실험방법

화염의 안정성을 파악하기 위하여 공정부산물, Bunker-C 또는 공정부산물과 Bunker-C 혼합연료에 대해서 각각 부하와 공기비를 바꾸어가며 화염을 관찰하였으며, 관찰결과를 카메라로 촬영하여 화염의 직접사진을 얻을 수 있었다. 연소부하는 디지털 유량계와 유량조절기를 사용하여 연료유량을 제어함으로써 원하는 부하를 얻을 수 있었으며 공기비는 공기댐퍼 및 블로어의 회전수 제어를 통해 원하는 공기비를 얻을 수 있었다. 또한 배기가스 중의 산소농도를 측정하여 과잉공기의 상태를 파악할 수 있었다. 배기가스 라인의 댐퍼조절과 노내압 조절기로 연소실 내부의 압력을 제어할 수 있었다. 화염 및 연소 상태는 비디오카메라와 연결된 모니터를 통하여 알 수 있었으며 노내 이상 연소시 화염이 소화되도록 시스템을 구성하였다. 또한 중질유 예열온도, 연소부하 및 공기비가 변할 경우에 Bunker-C 유와 공정부산물의 혼합연료에 대해 NOx 및 CO 등의 배기가스와 분진 측정을 통해 화염상태를 파악하였다.

Table 1 Fuel Specifications

	Petrochemical By-product	0.5% Sulfur Bunker-C Oil
API Gravity, 60/60° F	2.3	19.4
Specific Gravity, 15/4 °C	1.0569	0.9373
Flash Point, °C	86	102
Carbon, wt. %	76.8	87.3
Hydrogen, wt. %	8.2	11.4
Oxygen, wt. %	14.5	Lt 0.5
Sulfur, wt. %	0.03	0.45
Nitrogen, wt. %	0.0144	0.2103
Saybolt Viscosity, 50 °C	41.4	160
Pour Point, °C	-22.5	15.0
Water & Sediment, vol. %	W: 0, S: 1.2	W: 0, S: 0.2
Carbon Residue, wt. %	6.73	6.24
Ash, wt. %	0.093	0.01
G.H.V, kcal/kg	8,536	10,540
Al, mg/m ³	1.3	N.A.
B, mg/m ³	4.8	N.A.
Ba, mg/m ³	24.9	N.A.
Fe, mg/m ³	7.7	N.A.
Mg, mg/m ³	7.9	N.A.
Mo, mg/m ³	60.6	N.A.
Na, mg/m ³	4,287	N.A.
Zn, mg/m ³	15.2	N.A.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시료분석

공정부산물과 Bunker-C 유의 성분 분석결과를 Table 1 에 나타내었다. 공정부산물 분석결과 동점도는 41.4cSt 로 경유와 Bunker-C 유의 중간점도의 유분으로 나타났으나,⁽⁵⁾ 연료의 비중은 1.0569 로 Bunker-C 유보다 0.06~0.1 정도 높아서 아스팔트와 유사한 특이한 유분이다. 발열량은 8,536 kcal/kg 으로 Bunker-C 유 대비 20% 정도 낮은 수준이며, 발열량이 낮고 침전물이 많아서 불안전 연소 및 화염 불안정을 유발할 가능성이 높을 것으로 보여진다. 또한 Na 함량은 4,287ppm 으로 통상의 Bunker-C 유의 20ppm 보다 약 200 배 이상으로 보일러 및 주변기기의 부식에 대한 우려가 큰 유분이다. 연료중의 질소 및 황함량은 각각 144ppm 및 300 ppm 으로 NO_x 및 SO_x 에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단된다. 공정부산물의 점도 및 발열량 등의 물성을 분석한 결과 보일러 연료로의 사용가

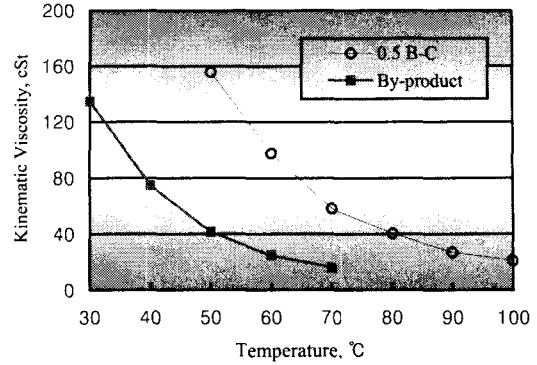


Fig. 2 Kinematic viscosity variations with fuel preheating temperature

능성은 있으나 화염안정성 및 유분의 성상이 배기가스 배출에 미치는 영향과약을 위해 공정부산물 자체 또는 Bunker C 유와의 혼합시 연소특성에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 2 에 Bunker-C 유와 공정부산물의 온도별 점도를 나타내었다.⁽⁶⁾ 공정부산물은 50°C에서의 점도가 41.4cSt 로 Bunker-C 유보다 120cSt 정도 작으며, 이 차이는 연소시 Bunker-C 유보다 예열온도를 30°C 정도 작게 하여도 됨을 의미한다. 또한 중질 유연소시의 적정점도가 30~40cSt 임을 고려할 때, Bunker-C 유와 공정부산물 연소시 적정 연료예열온도는 각각 80~100°C와 50~70°C임을 알 수 있다.

3.2 화염의 거시적 관찰

Fig. 3 에 공정부산물, Bunker-C 유 및 공정부산물과 Bunker-C 유 혼합연료에 대해 과잉공기량이 변할 경우에, 화염의 측면사진을 나타내었다.

Bunker-C 유와 공정부산물이 100%일 경우와 Bunker-C 유 90%, 70%, 50%에 공정부산물이 혼합되었을 경우에, 연소공기량을 증가시켜서 배기가스중의 산소농도가 각각 2%, 4% 및 6%로 증가될 경우이다. 배기가스중의 산소농도가 2%에서 Bunker-C 유 화염의 변동이 매우 심함을 알 수 있으며 산소농도가 증가할수록 화염안정성이 양호해짐을 알 수 있다.^(7,8) 그러나 공정부산물 만의 연소시는 산소농도가 증가하여도 화염안정성이 개선되지 않음을 알 수 있다. 이는 공정부산물의 발열량이 낮고 이물질이 많기 때문으로 판단된다. 연료 혼합비별 화염 관찰결과 공정부산물이 10% 혼합될 경우 가장 양호한 화염을 얻을 수가 있었으며 공정부산물의 혼합비가 50% 이상 증가하면 연소 성능이 급격하게 악화되었다. 공정부산물이 10%

혼합될 경우는 공정부산물 중의 침전물 등의 이물질에 의한 불완전연소 등의 부정적 영향보다 중질유의 점도 강하 효과로 인한 연소개선 때문으로 판단된다.

Fig. 4 에 공정부산물, Bunker C 유 및 공정부산물과 Bunker-C 유 혼합연료에 대해 파잉 공기량

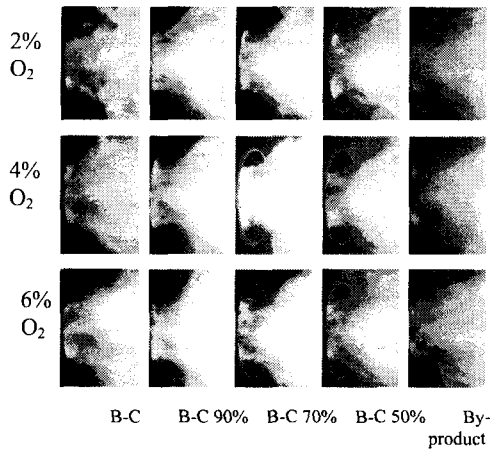


Fig. 3 Photographs of flame cross-sectional axial view with petrochemical by-product and Bunker-C oil mixing ratio and excess oxygen

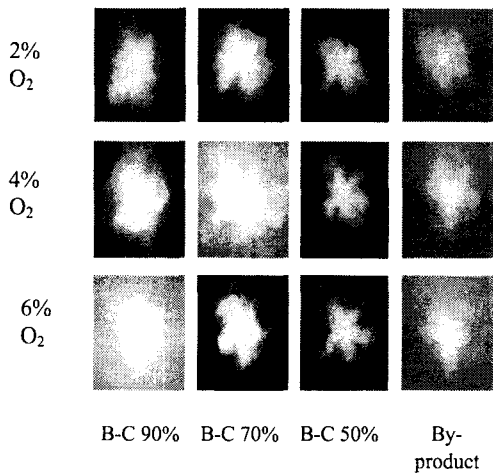


Fig. 4 Photographs of flame cross-sectional radial view with petrochemical by-product and Bunker-C oil mixing ratio and excess oxygen

이 변할 경우, 화염의 단면사진을 나타내었다.

공정부산물 만의 연소시 또는 공정부산물과 Bunker-C 유가 각각 50%씩 혼합된 연료의 경우, 화염 강도가 육안관찰로도 매우 미약함을 알 수 있다. 공정부산물이 10% 섞인 혼합연료의 경우 산소농도가 4%일 경우 화염의 연소특성이 양호한 것으로 보여지며, 산소농도가 6%일 경우는 공기량이 과다인 상태로 화염이 매우 밝음을 알 수 있다.

3.3 공정부산물 연소특성

공정부산물 연소시 화염안정성이 매우 불량하고 악취가 매우 심하게 나며 연소실 내부는 뿌연 상태로 화염형태가 분명하게 관찰되지 않는다. 또한 대기중으로 배기가스 배출시 백연발생이 심하게 나타난다. 화염은 연소중 소화하는 경우가 종종 발생하며 이는 공정부산물의 낮은 발열량과 높은 침전물량에 기인하는 것으로 판단된다.⁽⁷⁾

Fig.5 와 Fig. 6 에 배기가스 중의 산소농도를 각각 4%로 고정하고 연소부하가 50%, 75%일 경우에 Bunker-C 유, 공정부산물 및 Bunker-C 유/ 공정부산물 혼합연료의 배출특성을 나타내었다. NOx 및 SOx 는 실험 범위내에서 100ppm 이내로 매우 낮은 농도로 배출되며, 이는 공정부산물 중의 질소(Nitrogen) 및 황(Sulfur)함량이 각각 144ppm 및 300ppm 으로 미량이기 때문이다.^(8,9)

공정부산물 연소시 CO 배출량은 650~3,500ppm 으로 매우 높게 나타났다. 이는 연료중의 이물질과 연료의 저발열량이 불완전 연소를 유발하기 때문으로 판단된다.⁽⁷⁾

연소부하가 50%에서 75%로 증가하면 CO 배출농도가 2,500ppm 에서 1,300ppm 으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 공정부산물의 발열량이 낮기 때문에 부하증가시 연소실 내부의 열발생량이 증가하여 연소조건 개선에 기여하기 때문으로 판단된다. 다만 부하변동시에도 분진의 함량변화는 크게 나타나지 않고 있는데 이는 분진의 주성분이 연료중에 과량(4,287ppm)으로 존재하는 Na 이기 때문이다. 이는 포집된 분진 관찰결과 대부분 흰색의 분말이라는 측면에서도 알 수 있으며, 분진의 성분분석결과 주성분이 Na₂SO₄ 임을 확인하였다.

Fig. 7 과 Fig. 8 에는 산소농도가 변할 경우 CO, NOx, SOx 및 분진의 배출특성을 나타내었다. 배기가스 중의 산소농도가 4% 이내에서 CO 배출농도가 7,500ppm 이상으로 급격하게 증가하였으며, 연료의 quality 가 낮은 저질연료의 경우 화염안정화 및 완전연소를 위해 연소조건 개선이 필요함을

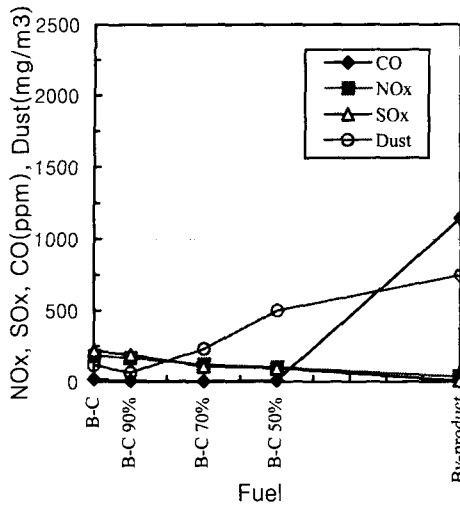


Fig. 5 Emission Characteristics at 50% Load(O₂: 4%)

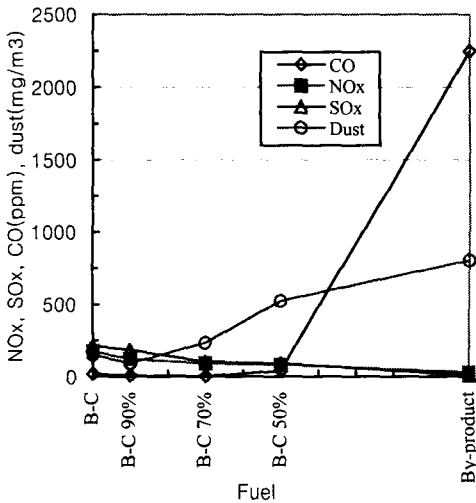


Fig. 6 Emission Characteristics at 75% Load(O₂: 4%)

의미한다.

공정부산물의 배기가스 측정결과 연료의 예열온도가 70℃일 경우 연소상태가 가장 양호한 것으로 나타났다. 연소설비의 부하가 50%일 경우 배기가스 중의 산소농도가 각각 4, 6%일 경우 연료예열온도를 5℃ 간격으로 50℃에서 75℃까지 바꾸어가며 화염상태를 관찰하였다

이때 연료예열온도가 70℃일 경우 배기가스중의 CO 배출농도가 가장 낮았으며, 거시적 화염특성이 양호하였다. Table 2 에 연료예열온도별 CO 배출농도를 나타내었다.

Table 2 CO Variations with fuel preheating temperature

Fuel Preheating Temperature, °C	50	55	60	65	70	75
CO(O ₂ 4%), ppm	3,120	2,670	2,415	2,296	2,206	2,380

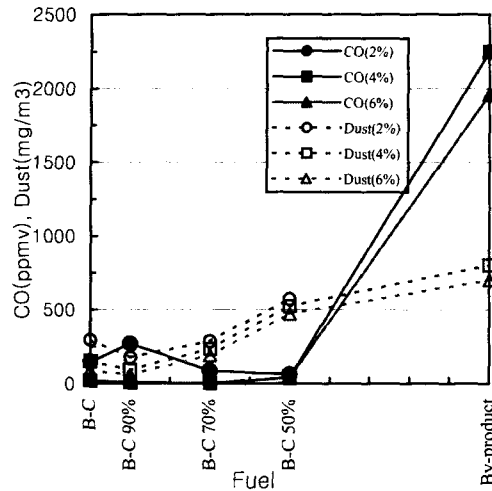


Fig. 7 CO and Dust Variations with Excess Oxygen. (Load: 50%)

스팀분사압력은 통상의 Bunker-C 유 연소시 사용하였던 1.8kg/cm² 보다 0.2 kg/cm² 낮은 1.6 kg/cm² 에서 화염특성이 양호하였으며, 이는 공정부산물의 동점도가 통상의 Bunker-C 유보다 100~300cSt 정도 낮기 때문으로 판단된다.⁽⁷⁾

Fig. 3-8 에서 알 수 있듯이 공정부산물만의 연소시 CO 및 분진 배출량의 과다 및 화염불안정성으로 보일러 연료로 사용이 어려운 것으로 판단된다.

3.4 공정부산물과 Bunker-C 유 혼합연소

Fig. 2 에 연료의 예열온도에 따른 공정부산물과 Bunker-C 유의 점도변화를 나타내었다. 혼합연료의 연료예열온도는 Fig. 2 에 나타난 공정부산물과 Bunker-C 유의 점도를 고려하여 결정하였다.

공정부산물과 Bunker C 유 혼합연료의 연소실험결과, 공정부산물의 혼합비가 10%일 경우 연소특성이 가장 양호하게 나타났다. 이 경우 CO 및 분진의 배출치가 가장 낮았으며 Bunker-C 유 단독연소시보다 양호한 배출특성을 나타내었다.

공정부산물의 혼합비가 70%일 경우는 CO 배출

농도가 공정부산물 10% 혼합시와 유사하였으나, 연료중의 Na 함량의 증가로 분진배출량이 급격하게 증가하였다. 분진측정시 포집한 시료 확인결과, 통상의 미연 탄소분인 검은색과는 대조적으로 대부분 흰색의 Na 성분으로 판명되었으며, 분석결과 Na_2SO_4 로 나타났다. Fig. 7 및 Fig. 8에 나타난 바와 같이 연소시험설비의 부하 및 공기비를 변수로 한 실험결과 CO 및 분진 등의 배출특성을 고려하면 공정부산물이 20% 이내로 혼합될 경우, 연소특성이 Bunker-C 유와 유사하게 양호한 것으로 나타났다.

분진배출량은 연료의 종류에 상관없이 산소농도의 증가에 따라 감소하는 것으로 나타났으며, 공정부산물이 10% 혼합된 연료의 경우 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 동점도가 낮은 공정부산물의 혼합으로 혼합연료의 점도가 낮아진 효과가 연소능향상에 기여한 것으로 판단되며, 공정부산물의 혼합량이 더 증가하면 부산물중의 이물질과 낮은 발열량이 분진증가에 기여하는 것으로 판단된다. 산소농도가 2%일 경우, 공정부산물만의 연소화염은 매우 불안정하여 CO, NOx, SOx 및 분진 측정이 불가능하였다. 산소농도가 4, 6%일 경우 CO 배출특성은 연료의 종류에 상관없이 낮게 배출되나 공정부산물만의 연소시는 연소실에 산소량이 충분하여도 CO 농도가 급격하게 증가한다. 또한 연소실 내부의 산소농도가 상대적으로 작은 2%일 경우는 불완전연소로 인한 연료별 CO 배출특성에 많은 편차를 보인다.

SOx 배출농도는 산소농도에 상관없이 부산물 혼합비가 증가할수록 선형적으로 감소한다. 이는 Bunker-C 유 대비 부산물중의 황함량이 매우 낮기 때문으로 판단된다. 또한 산소농도가 증가할수록 SOx 농도가 감소하는 것은 연소가스유량증가에 따른 희석효과로 판단된다.

NOx 배출농도도 SOx와 유사하게 공정부산물의 배합량이 증가할수록 감소하는 경향을 보인다. 이는 Table 1에서 나타났듯이 부산물 중의 질소함량이 Bunker-C 유 대비 7% 정도로 매우 낮아서 Thermal NOx 보다 Fuel NOx의 비중이 크기 때문으로 판단된다. 또한 SOx와는 다르게 연소실 내부의 산소농도가 증가하면 NOx 농도가 증가하는 경향을 보인다. 이는 중질유의 연소 특성상 산소농도 증가에 따른 연소개선 및 고온영역의 확대의 효과라고 판단된다. 이는 Fig. 7에서 산소농도가 증가할수록 CO 및 분진의 배출농도가 감소하는 것과 같은 맥락으로 해석할 수 있다. Fig. 8에서 보여지듯이 연소실 내부의 산소농도가 상대적으로

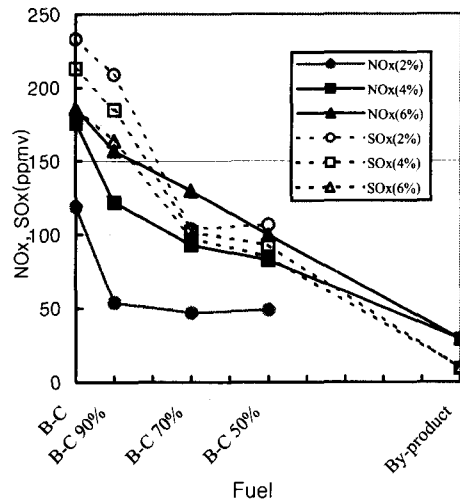


Fig. 8 NOx and SOx Variations with Excess Oxygen (Load: 50%)

작은 2%의 경우, NOx 배출농도가 매우 작게 나타났는데, 이는 Fig. 3-4의 화염사진에서 알 수 있듯이 불완전연소의 증가에 그 원인이 있다.⁽⁹⁻¹¹⁾

4. 결론

석유화학공정에서 필수적으로 생기는 공정부산물에 대한 연소실험 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 공정부산물만의 단독연소는 화염불안정 및 일산화탄소와 분진 배출량의 과다로 연료로 사용시 어려움이 있는 것으로 나타났다.
- (2) Bunker-C 유와의 혼합연소실험 결과, 공정부산물의 혼합비가 20% 이내일 경우 화염의 특성이 양호하였다.
- (3) Bunker-C 유와 공정부산물의 혼합연료에 대한 연소실험 결과, 공정부산물의 혼합비가 10%일 경우 분진의 배출량이 가장 적게 나타났으며, Bunker-C만의 연소시 보다 양호한 연소성능을 나타내었다.
- (4) 공정부산물의 혼합비가 증가할수록 분진배출량도 증가하였으며, 이는 부산물의 낮은 발열량과 높은 이물질 및 Na 함량에 기인하였다.
- (5) 공정부산물 중의 황함량이 Bunker-C 유에 비해 무시할 정도로 작기 때문에 SOx의 배출농도는 공정부산물의 함량이 증가할수록 감소하였다.
- (6) NOx 배출농도는 공정부산물의 함량이 증가할수록 감소하였으며, 이는 공정부산물 중의 Fuel

Nitrogen 감소에 의한 Fuel NO_x 저감 및 공정부산물 중의 침전물 및 낮은 발열량에 기인한 화염온도 저하에 따른 Thermal NO_x 저감의 영향이 복합적으로 작용한 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) Gulyurtlu, I., Lopes, H. and Cabrita I., 1996, "The Determination of Emissions of Pollutants from Burning Waste Oils," *Fuel* Vol. 75 No 8, pp. 940~944.
- (2) Barreiros, I. and Carvalho, M.G., 1993, "Combustion of the Near Burner Region and Measurements of NO_x and Particulates Emissions in Heavy Fuel Oil Spray Flames," *Combustion and Flame*, Vol.92, pp.231~240.
- (3) Min, J. H., Shin, D. H., Choi, S. M., 1999, "An Experimental Study on the Bed Combustion Phenomena in MSW(Municipal Solid Waste) Incinerator," *Transactions of KSME (Part B)*, Vol. 23, No. 2, pp. 159~165.
- (4) Ahn, K. Y., Kim, H. S., Ahn, J. H, Pae, H. S., 2000, "The Performance Evaluation of a Gas Combustor," *Transactions of KSME (Part B)*, Vol. 24, No. 10, pp. 1194~1209.
- (5) Korea Petroleum Institute, "The Specification and Quality of Petroleum Products," 1999, pp. 76~82.
- (6) Lee, Y. I., Han, J. S., 2001, "A Study on the Spray Characteristics of Hydrocarbon-fuels with Viscosity Variations," *ILASS-Korea*, Vol. 6/No 3, pp. 23~32.
- (7) SK Corporation, 1995, "An Introduction to Heavy Fuel Oil," pp. 61~90.
- (8) Kojima, Sakai, Yokugawa, 1994, "Fuel Oil of Large-scale Marine Diesel Engine-Usage of Low Quality Fuel Oil and Air Pollution," *Sanhaedang*, pp. 208~232.
- (9) Lee, Y. I., 1996, "The Countermeasures to Reduce Nitric Oxides," SK Corporation, pp. 26~48.
- (10) Stephen C. Wood, 1994, "Select the Right NO_x Control Technology," *Chemical Engineering Progress* Vol. 90/No. 1, pp. 32~38.
- (11) Ashutosh Garg, 1994, "Air Staging, Fuel Staging, and Internal Flue Gas Recirculation are among the Design Features that Help Reduce NO_x Emissions," *Chemical Engineering Progress* Vol. 90/No. 1, pp. 46~49.