중유 및 중질잔사유에 대한 첨가제(POWER-Z)의 연소특성 연구

2003 년 1 월

선임연구원 : 추수태 공학박사
TEL : 031-219-2679
FAX : 031-216-9125

고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터

1. 개발기술의 개요

1-1. 서론

최근 국내외의 환경문제 및 에너지수급 조절의 안정성 확보 면에서 현재의 에너지원으로 주로 사용되고 있는 석유는 공해문제의 해결과 연료 이용기술의 효율향상에 대한 해결방안이 없는 한 미래사회에서는 현재와는 다른 형태로 전환된 에너지원으로 이용되어야 할 것이다. 또한 환경문제 해결하기 위해 세계의 각국들은 '대체에너지개발'과 '청정연료의 이용'이 그 대안으로 인식을 같이하고 있으며, 정부주도아래 연구개발 프로그램을 수년간 지속적으로 추진해오고 있다. 하지만 현재의 경제.사회.기술적인 여건에서 볼 때 앞으로도 여전히 석유는 상당 부분 그 사용영역을 차지할 것으로 예측된다.

석유는 정제과정을 거쳐 다양한 형태의 연료로 제조되어 산업의 다양한 영역에서 사용되고 있는데 그 중에서 중유(heavy oil)는 난방, 발전소 및 산업용 보일러 등에 널리 사용되고 있고, 중질잔사유(heavy oil residue)는 아스팔트 등의 도포재로 사용되고 있는 실정이다(주대수(1975), 이우환(1982)). 중유는 값싼 원료임에도 연료 내에 황, ash, 질소 등이 포함되어 있으므로 발전연료로 사용시 연소 후 이들 오염원 성분들에 대한 후처리설비가 요구되어 투자 및 원가상승의 요인으로 인식되고 있다. 탈황설비, 집진설비 및 각종 세정설비 등이 그것이며 이들의 유지보수비가 전 공정에서 상당부분 차지하고 있다.

국내 대부분의 화력발전소들은 중유를 대부분 이용하고 있으며 천연가스, 석탄, 원자력을 사용하고 있는 발전설비에 비해 단위 kWh 당 생산되는 비용이 비교열세에 있는 실정이다. 일부의 중유화력발전설비는 계절별 대체 보조전원으로 이용되기도 하며, 또는 설비가동을 위해 적자운용을 하고 있는 실정에 이르렀다. 결국, 기존의 후처리설비의 고정관리비를 낮추거나 혹은 좀 더 값싼 연료를 사용하는 방법이 적용되지 않으면 현존 중유화력발전설비의 운영에 어려운 문제점에 봉착하게 될 것이다. 그 대안으로 지금의 중유를 대체하여 좀 더 값싼 연료인 중질잔사유를 사용하거나 혹은 중유와 중질잔사유가 혼합된 형태로 운전이 된다면 기존의 화력발전에 상당한 부분 투자비감소로 이어질 것으로 판단된다.

중질잔사유는 온도에 따라 그 성상 차이점을 갖고 있어 중유에 비해 취급과 운전에 상당히 애로사항들이 있어 중유처럼 현장에서 바로 적용하기에는 문제점이 있다. 이를 위해서는 중질잔사유가 중유와 비슷한 성상 및 성질 개선이 반드시 필요하며, 사용전 전처리과정이 요구된다 할 수 있다. 특히, 연소버너의 구조적 개선 작업에는 한계점이 있으므로 첨가제(fuel additive)와 혼합하여 중유와 유사한 버너조작이 가능할 수 있다. 본 연구의 의뢰기관인 테크노바이오(주)는 다년간 연료개선 기술분야에서 가솔린, 경유 및 중유의 연료에 성능개선제를 개발 및 상업화해 온 경험을 갖고 있으며 이에 본 연구에서는

중질잔사유 및 중유에 대한 첨가제에 의한 연소시험운전을 통해 첨가제의 특성을 조사하고자 한다. 연소시험운전을 위한 설비는 고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터의 소각용융로설비를 이용할 것이며, 연료첨가제의 유무에 따라 연소반응후 dust, NOx, CO 등의 농도를 측정하여 비교 조사하고자 한다.

1-2. 국내.외 관련기술의 현황

연료의 첨가제 연구개발 및 상업화는 지난 수 십년간 진행되어오고 있으며 현재까지도 국내외에서 이 분야에 대한 기술개발이 진행 중에 있다(Cooper (1984), Lynam 등(1990),Matter 등(1997), Duncan 등(1997), Okada 등(1997), Li 등(2002)). 첨가제의 적용범위는 가솔린, 경유, 중유 등의 액상연료에서부터 유연탄 등의 고상연료를 대상으로 하여 적용되어지고 있지만, 각 연료에 대한 다양한 기능성 첨가제의 저변확대에도 불구하고 이들 첨가제의 기능과 명확한 해석에는 기업들의 영업비밀로 알려져 있을 뿐 현재까지 학술적 연구의 결과는 미비한 상태에 있다(백민수 등(1995), 조은성 등(1997), 양관모 등(2000)). 더욱이 지금까지 우후죽순처럼 유사업체의 난립(亂立)으로 실증 실험적인 과정을 거치지 않고 마구잡이식 제품 판매로 인해 첨가제에 대한 기술적 불신이 큰 것도 현재의 상황이다. 그러면, 현재 사용되고 있는 연료별 첨가제를 중심으로 기술 현황에 대해 살펴보도록 하자.

가솔린과 경유는 자동차(신현동(1989),윤재건(1993))에 연료로 사용되기 시작할 때부터 첨가제의 필요성을 가지게 되었으며 현재까지 다양한 기능을 가진 첨가제가 사용되고 있다. 특히, 최근에는 환경문제 개선, 엔진의 수명 연장 등의 시대적 요구사항에 맞추어 다기능성 첨가제(multi-functional additives)로 사용되고 있다. 안티노킹제(anti-knocking agent)는 가솔린의 옥탄가(octane number)를 높여주는 기능을 하는 것으로 사메틸납($Pb(CH_3)_4$)이 사용되며, 산화방지제로 페놀유도체 혹은 아미노페놀 유도체등이 0.1%정도가 첨가된다. 반응활성증진제(아미노프로판계열 화합물)와 동결방지제(아닐린 화합물)등이 사용되기도 하며, 계면활성제(界面活性劑)가 내연엔진의 기화기 장치의 침적물 제거용으로 첨가된다.

디젤연료인 경유는 압축착화의 척도로 세탄가(cetane number)로 표현되는데, 높은 지수값을 유지하기 위해서 이때에도 연소성능 향상을 위한 첨가제(ignition improver)를 넣고 있다. 가솔린과 비교할 때 높은 성능 향상에는 미치지 않지만, 파라핀계 혹은 에스테르류 화합물로 된 성분을 사용하고 있다. 각종 분해 공정 등을 거쳐 얻는 경유유분 속에는 파라핀 계열 탄화수소보다는 세탄가가 낮은 아로마틱(aromatic)계열의 탄화수소가 많아서 세탄가가 낮으므로 이러한 첨가제를 가하여 세탄가를 올리기도 한다. 또한, 저온 유동성을 향상시키기 위하여 첨가하기도 하는데, 저유황 원유로부터 얻은 경유분 속에는 저융점 왁스분이 다량 포함되어 있으므로 추운 지역에서 사용하기 위해서

사용한다(lubricity improver). 이러한 연료 첨가제를 사용함으로써 얻을 수 있는 효과는 연료절감(~10%), 대기오염 물질인 황산화물, 질소산화물 배출농도의 감소, 엔진내부의 부식방지 및 수명 연장, 카본 침전물 제거 등이 있는 것으로 보고하고 있다.

발전소용 사용 연료 목적의 알려진 것으로 천연아스팔트(bitumen)를 물(<30%)과 계면활성제(<1%) 등을 섞어서 제조 판매되고 있는 '오리멀젼(Orimulsion^{TM})'이 있다. 이 액상연료는 BP사와 PDVSA(Petroleos de Venezuela SA)에 의해 상업목적으로 개발된 연료인데, 남미 베네슈엘라에는 전세계 천연아스팔트 매장량의 절반이상을 보유, 이러한 지역적 잇점을 십분 활용하여 제조한 것이다. 천연아스팔트의 원료는 상온에서는 높은 점도를 갖고 있어 발전소용 연료로 직접 사용할 수 없기 때문에 물과 계면활성제를 혼합하여 제조하여 중유처럼 비슷한 성상으로 개질 한 것이다. 이때 사용되는 계면활성제는 물과 중유의 안정한 에멀젼 상태를 유지하기 위한 첨가제로 사용되는데, 개발초기에는 알콜계열 물성들이 많이 사용되었지만 현재는 페놀계열 성분들이 첨가되는 것으로 알려져 있다.

Figure 1 은 각종 오염배출인자에 대해서 석탄을 1 로 기준으로 할 때 중유와 기체연료 및 오리멀젼과의 비교를 한 것이다. SO_2 및 NOx의 배출 결과에서 50%이상 저감 효과가 관찰되는 것을 알 수 있다. 이러한 오리멀젼의 효과는 물과 계면활성제와 혼합한 중유는 혼합전의 연료에 비해 약 1 만배 정도 작은 미립자 상태로 만들어져 산소와 접촉할 수 있는 기회가 많아지면서 완전 연소를 가능케 하는 원리다. 또한 오리멀젼의 제조는 물과 오일이 강제 혼합 되도록 혼합기 내에 임펠러를 설치하여 고속 회전시키면서 혼합하도록 하여 제조하며, 이렇게 제조된 연료는 연소용 버너에 의해 연소실에 분사될 때 중유입자 (30-150μm)중에 위치한 물입자 (10-30μm)가 고열에 의해 급격한 기화 및 폭발현상을 일으켜 중유 입자를 더욱더 작은 입자로 분산시켜준다.

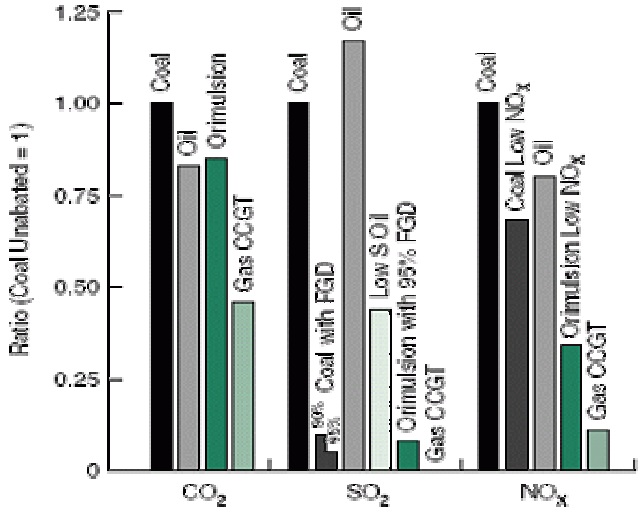

Figure 1. Comparison of emissions from various fuels.

중유에 대한 첨가제 연구결과를 보고한 것을 살펴보면(Kim 등(2002)), 유.무기 화합물들을 첨가제(combustion improver agent)의 조성으로 사용하였는데 금속 나프테네이트(metal(Fe, Mg, Ca)-naphthenate), 스테아레이트(stearate), 및 유기유제(solvents) 등이 유기화합물로, 카보네이트(carbonate) 및 나이트레이트(nitrate) 화합물들이 무기화합물로 사용되었고 이들의 사용량은 1~5wt% 미만으로 작은 량이 사용되었다. Witzel 등(1995)은 세너스피어 발생장치(cenosphere generator)를 사용하여 중유입자를 세너스피어 형상으로 만들어서 공기와 반응정도를 조사하는 실험을 하였는데, 이때 반응상태정도를 연료첨가제(철함유 유기화합물)에 따라서 비교하였다. 첨가제는 세너스피어구조를 잘 형성하며, 보일러실험에서 입자감소가 60%이상 향상되는 것을 관찰하기도 하였다. 국내는 현재 10 여개 정도의 관련 중소기업들이 있으며, 특히 최근에는 중유 등의 저급유에 대한 첨가제 개발 및 판매를 목적으로 한 벤처기업들이 있다.

본 연구의 의뢰기관인 **테크노바이오**는 석유류 연료에 대한 효율적 사용 및 친환경연료로의 전환을 목표로 지난 8 년이 넘도록 이 분야에 끊임없는 노력을 경주해 왔으며 정부로부터 우수기업으로 인정을 받았다. 또한, 'Power-Z Series' 제품을 개발하여 휘발유, 경유, 중유 등에 절유(節油) 및 오염원 저감 목적으로 개발한 제품으로 자동차 및 각종 산업용 보일러용으로 널리 사용되고 있다. 특히, 삼성물산(주), (주)코오롱, (주)현대건설, (주)한진중공업 등 국내 80 여개 유수기업들의 산업현장에서 본사의 제품이 현재 사용 중에 있으며, 중유를 사용하는 보일러에 연료절감 효과는 5~15%을 보여주고 있다.

1-3. 기대효과

본 사업을 통해 개발될 첨가제는 저급유의 성상을 개선시켜 연소운전의 문제점을 해결하고 또한 배출되는 배기가스중 오염원의 발생농도를 저감시키는 효과가 있을 것으로 기대한다. 각종 산업용 보일러 및 발전소에 중질잔사유 혹은 성능개선된 중유를 사용하게 된다면, 가격 면에서 비교우위에 있게 되어 고정 유지보수비에 상당한 이익이 있을 것으로 기대된다. 현재 중질잔사유의 가격은 중유판매가격에 절반수준 정도인 것을 감안한다면 충분히 예측할 수 있는 효과라고 생각할 수 있다. 환경문제에서도 본 사업을 통해 개발된 첨가제는 혼합연료에서 상당한 저감을 보여 줄 것으로 판단한다.

한 예로 대부분의 중유 및 중질잔사유 등의 저급유에는 바나듐 혹은 나트륨 등의 금속성분과 함께 황 등이 포함되어 있기 때문에 보일러의 고온부 등에 부식이 가속화시킬 수 있다. 첨가제에는 유기화합물이 있어 고융점화를 발생하여 이러한 연료속의 금속화합물들에 의한 고온부식을 방지하도록 할 수 있다. 부식을 일으키는 회가 백색화 되어 화로의 열흡수가 감소, 연소실 배출가스의 온도가 상승하는 작용으로 이어질 수 있는

것이다. 첨가제는 또한 SOx 를 저감할 수 있는 기능을 갖도록 하기 때문에 이러한 부식문제도 해결할 수 있을 것으로 기대한다. 첨가제는 연소에 필요한 공기량을 감소시키는 효과를 가져와 대기오염으로 인해 발생할 수 있는 오염원을 근본적으로 줄일 수 있을 것으로 판단한다.

적용대상은 개발된 첨가제를 현재 중유를 널리 사용하고 있는 산업용 보일러에 적용할 수 있을 것이다. 첨가제를 사용하고 있는 기존의 사업장에 본 연구를 통해서 개발된 첨가제 및 혼합연료가 사용될 수 있을 것이다. 첨가제의 가격은 기존에 사용되고 있는 가격수준에서 적용될 것이며, 여기에 성상개질중유 혹은 중질잔사유의 값싼 연료를 사용한다면 또 하나의 투자비 저감효과로 이어질 것이다. 또 다른 적용분야는 발전소가 될 것이다. 2002 년 국내 중유를 사용하여 발전한 규모는 약 30,000 백만 kWh 정도로 상당부분 중유에 의존하고 있다. 이를 본 사업을 통해 개발된 첨가제 및 중잔유가 사용된다면 고정투자비의 저감 효과가 있을 것이며, 기존의 후처리 설비에 대한 환경오염인자의 부담을 최소화하는 효과까지 얻을 수 있을 것이다.

2. 실험

2-1. 연료

본 연구에서 사용된 연료는 테크노바이노(주)로부터 제공된 중유와 국내산 상압잔사유를 사용하였다. 이들 연료에 대한 특성 분석 결과는 아래의 Table 1 과 같다.

Table 1. Characteristics of fuels employed in present study

	공업분석[1]				원소분석[2]						발열량[4]
	MW(%)	VM(%)	Ash(%)	F-C(%)	C(%)	H(%)	N(%)	S(%)	O(%)[3]	Ash(%)	(kcal/kg)
중유 1	0.00	92.11	0.06	7.83	85.61	11.57	0.23	2.53	0.00	0.06	10195
중유 2	0.00	92.20	0.05	7.75	85.53	11.59	0.27	2.56	0.00	0.05	10221
잔사유	0.00	89.69	0.03	10.28	85.64	10.10	0.21	4.02	0.00	0.03	10210

주 : 1) : As-received

2) : Moisture free basis

3) : By-diff.

4) : 중유 1 : 첨가제(power-z)를 포함한 oil

중유 2 : 첨가제(power-z)를 포함하지 않은 oil

잔사유 : 첨가제을 포함하지 않은 상압잔사유

중유는 황이 약 2.5%정도 포함된 것을 사용하였는데 첨가제를 넣기 전의 시료와 넣은 후의 시료와 비교해 보았을 때 공업분석과 원소분석에서의 분석치가 거의 유사한 것을 알

수 있었고 발열량에서도 첨가제의 영향은 거의 관찰되지 않았다. 상압잔사유는 황이 약 4%정도가 포함된 것이며 중유와 비교해 ash 가 거의 절반정도 임을 알 수 있다. 또한 잔사유는 발열량에서도 중유와 거의 차이가 없었다.

잔사유에 대한 첨가제의 영향을 살펴보기 위해서 본 연구에서는 연료와 첨가제의 부피를 1:1000 으로 희석하여 제조하였다. 최종 첨가제가 포함된 잔사유는 중유(첨가제 포함)를 제조할 때와 동일한 방법으로 제조하였는데, 일주일이상 준비과정을 거쳤는데 매일 80℃이상에서 8 시간동안 가열한 상태에서 교반기를 이용하여 혼합하였다. 이들 첨가제는 중유 및 잔사유에 대해서 상온(10℃)에서 연료의 유동성을 향상시켜주는 역할을 하는 것을 육안으로 관찰할 수 있었는데 특히 잔사유의 경우는 점성이 가시적으로 크게 향상이 되었다.

2-2. 실험장치

첨가제에 따른 연료의 연소특성을 이해하는 실험을 수행하기 위해서 본 연구는 '소각용융로 설비'를 이용하였다. 본 설비는 슬럿지를 안정화, 무해화 및 감량화 처리를 목적으로 설계된 것으로, 설비은 크게 '전처리공정', '소각용융공정', '열회수 공정' 및 '배가스처리 공정'으로 4 개 부분으로 구성된다. 이들 설비에 대한 전체 구성을 보여주는 주제어(main control) 그래픽 화면이 다음 Figure 2 와 같다.

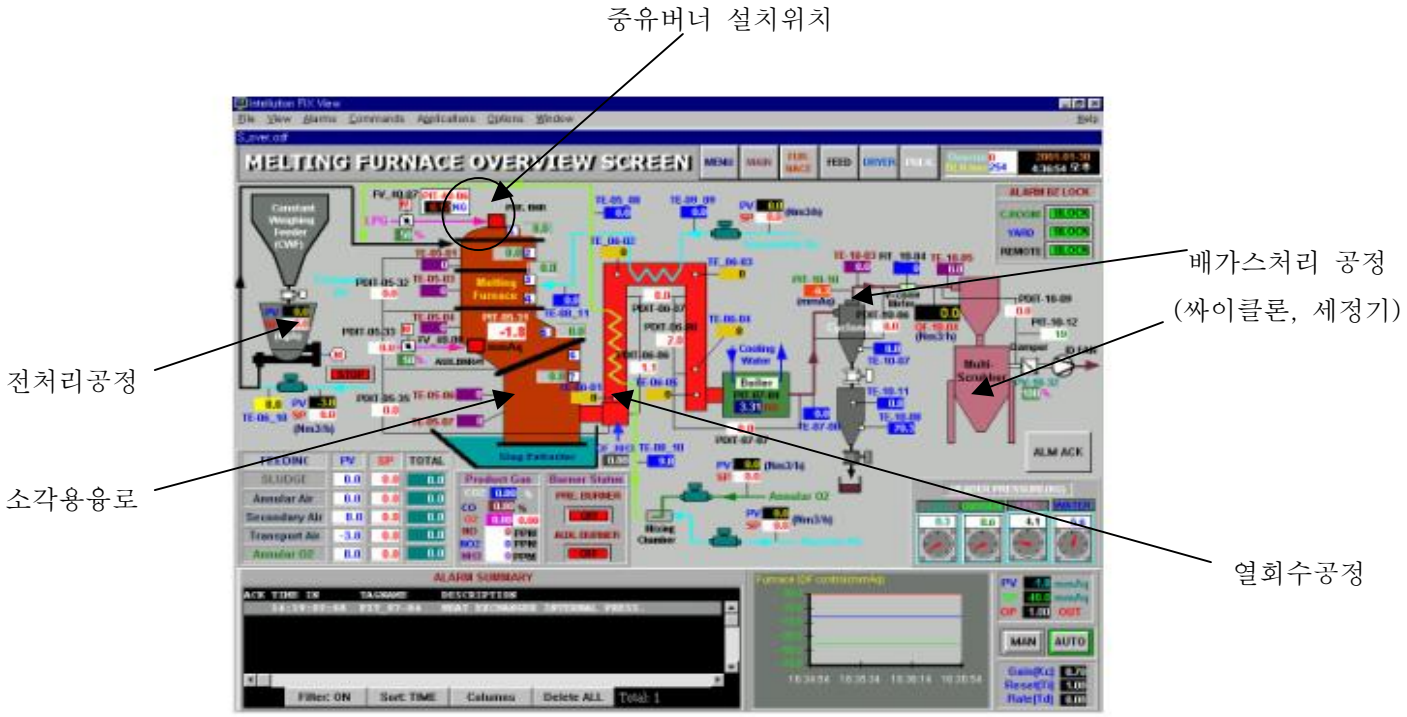

Figure 2. Main control graphic display for melting furnace system.

본 연구에 사용된 버너는 그린에너테크(주)로부터 제공된 중유버너(GET101-T1)이며, 시간당 10~20kg 의 연료를 주입하여 운전할 수 있다. 또한, 공기팬과 연료를 흡입하기 위한 오일펌프가 일체형으로 구성되어 있으며, 공기량은 댐퍼로 조절할 수 있도록 설계되어 있다. 버너내부로 공급되는 연료의 공급라인은 노즐 전단부까지 온도조절이 가능하도록(300℃까지)하여 상온에서 점도가 높은 중유 연료에 대해 버너조업이 가능하다. 본 실험에 앞서 고정된 중유버너의 오일공급량은 시간당 8~12kg 주입되었고 공기는 댐퍼를 고정시킨 상태에서 일정하게 주입하도록 하였다. 연료와 공기의 주입량의 변화는 중유와 잔사유 동일한 연료에서는 각각 차이가 없었다.

시간당 주입되는 연료를 확인하는 저울 위에 고정된 가열용탕(heating buket, 20 리터)에서 연료들은 100℃이상 유지한 상태로 주입하도록 하였고, 주입이 끝나가는 연료를 대비해서 예비연료를 동일 온도조건에서 가열하여 연료라인에 막히는 문제점이 없도록 하였다. 이들 연료의 공급위치는 중유버너의 연료 주입구가 위치한 수직상단으로 약 50cm 높이에서 주입하도록 하였다.

중유버너의 위치는 소각용융로의 cap section 부분(직경: 1200mm; 길이: 200mm)의 중앙에 있는 플랜지에 장착하도록 하였다. 또한 용융로 최상부 덮개부분에 해당하는 이 부분은 관찰창 부분도 함께 있어 중유 및 잔사유 연소시 불꽃의 상태 및 특징을 눈으로 직접 관찰할 수 있다. 용융로 cap section 의 인접한 하단부분에는 upper section(직경: 500mm; 길이: 600mm) 및 middle section(직경: 500mm; 길이: 700mm)이 있으며 이부분에 열전대가 장착되어있어 연소시 온도의 구배를 분석하도록 하였다. 동시에 로내의 압력상태도 관찰할 수 있도록 upper section 중앙부분에 압력계를 설치하였다. 소각용융로 내부압력은 평균 약 -10mmAq 상태로 유지하도록 하였다. 이러한 내부압력의 설정값은 배가스처리공정 최 후단부에 위치한 ID fan 을 가동하여 조절하도록 한다. 설정값에 따라 댐퍼가 자동 조절되면서 일정한 압력을 유지하며 발생한 연소가스를 외부로 배출하도록 하였다.

연소시 발생하는 dust의 량을 비교 분석하기 위해서 2 차연소실(내부직경: 320mm; 열회수공정)의 적정영역에서 스택샘플러(정엔지니어링(주), CE-221SM)를 사용하여 연료당 평균 3 회 이상 분석을 실시하였다. 또한, 중유 및 잔사유 연소로부터 발생하는 CO, CO_2, SO_2, NOx(x=1, 2)와 O_2 농도를 분석하기 위해서 기 설비된 각 해당 가스분석기를 사용하였다. 이들 분석가스들은 현장에서 측정된 값을 온라인으로 관찰할 수 있으며, dust분석시 반응온도, 로내 압력 등과 함께 참고인자(reference control variables)로 이용하고자 하였다. 또한 배가스처리공정의 싸이클론과 습식세정기의 라인 중간에 배출가스의 유속을 관찰하도록 하였는데 V-cone 메터를 사용하였다.

2-3. 실험방법

중유 및 잔사유의 연료를 주입하기 앞서 소각용융로 내부에 정상운전상태의 분위기를 만들기 위해서 LPG 를 사용하여 예열하였다. 소각용융로 내부온도가 거의 700℃이상이 되도록 한 상태에서 실험이 되도록 하였다. 필요에 따라서 예열버너 이외에 보조버너도 함께 사용하였는데 이 역시 LPG 를 사용하였다.

예열이 끝나면 대상연료인 중유 혹은 잔사유를 바로 주입하지 않고 경유를 보조 주입연료로 사용하여 실험연료의 공급을 원활히 하도록 하였다. 초기에는 경유만을 사용하다가 서서히 중유의 공급량을 증가시키면서 혼합된 형태로 주입하게 된다. 이와 같은 방식으로 경유의 주입되는 량을 감소시켜 최종적으로는 중유 혹은 잔사유만이 버너로 주입하도록 하였다. 연료 및 공기의 주입되는 량은 실험전 보정을 통해 고정된 상태에서 실험을 하도록 하였다.

본 연구에서는 첨가제에 의한 중유 및 잔사유의 특성을 비교하는 내용은 배가스의 조성과 dust 발생량 등이 핵심적으로 조사될 것인데 이들에 대한 분석의 기준은 앞 절에서 간단히 서술한 것처럼 소각용융설비 시스템의 각종 운전변수들의 안정화가 유지되는 신뢰구간영역이 될 것이다. 이들 영역은 1 시간이상동안 i)용융로 내부의 각 지점의 온도구배가 일정할 영역, ii)각 가스조성이 일정한 영역, iii)배가스유량이 일정한 영역이 되는 부분에서 비교될 것이다. 또한 이러한 영역이 진행되는 시간대에서 dust 의 분석을 실시하도록 하였다.

3. 실험결과 및 토의

3-1. 중유 연소운전

중유는 첨가제를 넣은 연료와 넣지 않은 연료 모두 8.1kg/h 정도 주입되었다. 두 연료는 200℃정도로 유지한 버너의 내부온도에서 안정하게 주입이 되어 1 시간 이상 유지되었다. Figure 3 과 4 는 각각 첨가제를 넣지 않은 것과 포함하는 연료의 화염을 보여주는 그림이다. 양쪽 모두 화염형성 상태와 화염의 길이는 비슷했지만, 화염의 색깔은 차이를 보였는데 Figure 3 의 첨가제를 넣지 않는 중유는 오렌지색에 가까웠고 첨가제를 넣은 중유는 이보다는 약간 연하고 밝은색을 띠는 노란색으로 관찰되었다. 이는 기존의 문헌에서 밝혀진 것처럼 연소조건이 향상이 되었음을 확인시켜주는 결과라고 할 수 있다.

Figure 3. Flame image of heavy oil without the additive.

Figure 4. Flame image of heavy oil with the additive.

이러한 첨가제에 의한 연소조건의 향상은 연소로 내부의 온도변화에서도 관찰할 수 있었다. 첨가제를 넣기 전 중유의 경우 연소로 내부온도가 약 750~780℃정도로 1 시간이상 안정하게 유지되었는데, 첨가제를 넣은 중유는 780~820℃ 정도로 약 30~40℃ 온도가 증가하였다. 이는 중유와 산소의 반응을 효과적으로 이루어지도록 첨가제가 중유의 특성을 개선한 것으로 판단된다. Figure 5 와 6 은 첨가제에 따른 중유의 연소후 배기가스의 조성을 보여주고 있는데 산소, 이산화탄소, 및 NO 등은 차이를 거의 보이지 않았다. 하지만 CO 는 첨가제을 넣을 경우 50~60ppm 정도 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

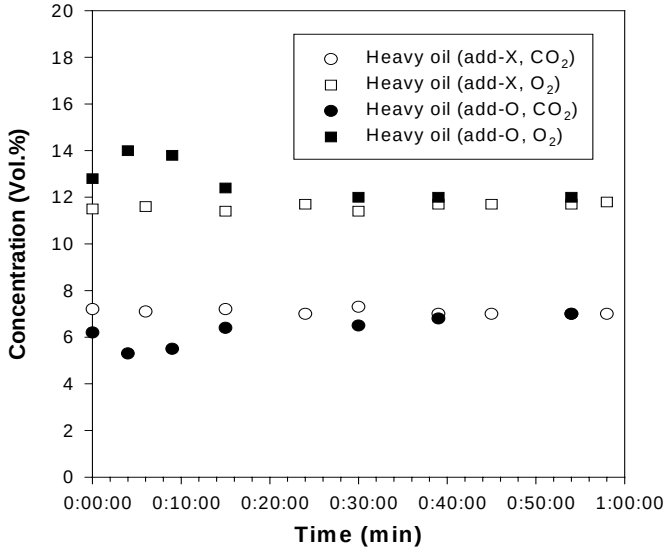

Figure 5. Concentration profiles of heavy oil with respect to of the additive for O_2 and CO_2.

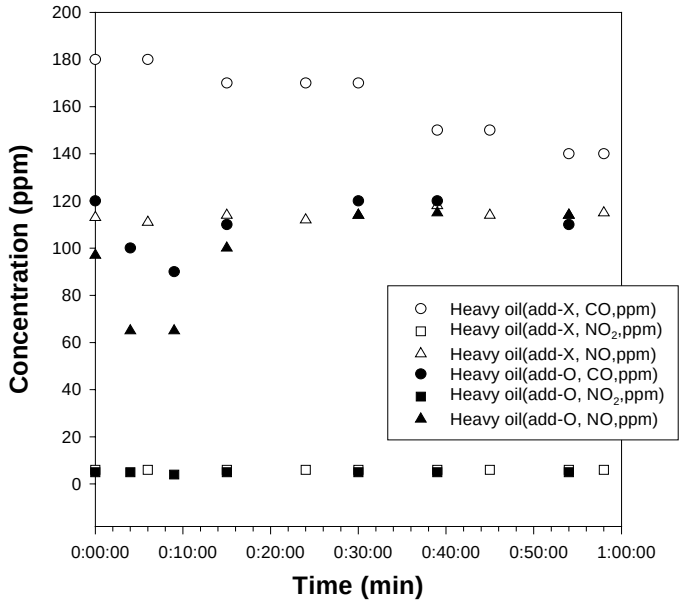

Figure 6. Concentration profiles of heavy oil with respect to of the additive for CO, NO_2, and NO.

첨가제의 유무에 따른 중유실험에서 발생하는 dust의 발생량은 각각 16.5mg/Sm^3(첨가제 포함), 169.1mg/Sm^3(첨가제 없음)으로 조사되었다. 두 시료에 대해 거의 동일한 운전조건에서 비교된 것이므로 첨가제에 의한 중유의 연소조건이 크게 향상 되었다는 것을 확인 할 수 있다.

3-2. 중질잔사유 연소운전

첨가제를 포함한 중질잔사유는 Figure 7 에서 보여주는 것처럼 담황색(오렌지) 빛깔의 화염이 관찰되었는데, 불꽃의 안정된 화염도 1 시간이 넘게 계속 유지되는 것을 확인하였다. 보통 건타입(gun type)형의 중유버너로는 버너내부에 고온으로 250-300℃ 온도를 가열해 준다고 해도 연료의 성상(입도 등) 때문에 버너운전에 상당한 어려움이 있는 것으로 알려져 있는데, 본 실험에서는 Figure 7 처럼 첨가제를 포함한 중질잔사유는 잔사유의 중유버너 운전이 가능하였다. Figure 7 은 과잉공기 분위기에서 시간당 13.2kg 의 중질잔사유을 주입하였을 때 보여주는 것이다. 이와 같은 버너 연소운전이 가능한 것으로는 첨가제가 중질잔사유의 입자를 작게 분해시켜서 연소효율을 증가시킨 것으로 판단되며 향후 이와 관련하여 중질잔사유의 입도분석을 통해 첨가제의 영향을 설명할 수 있는 추가실험이 요구된다.

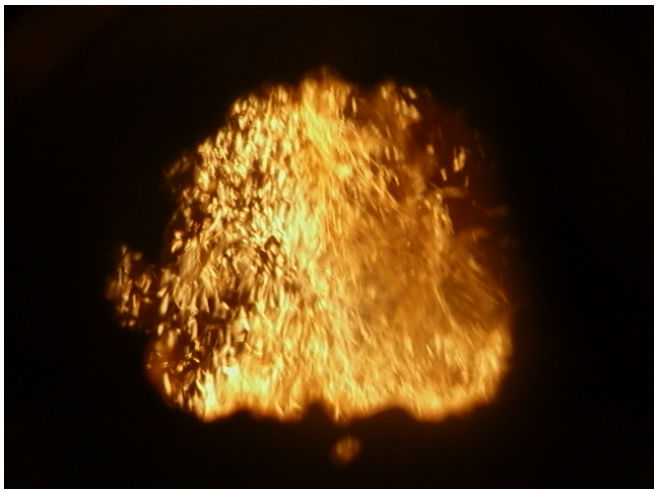

Figure 7.
Flame image of heavy oil residue with the additive.

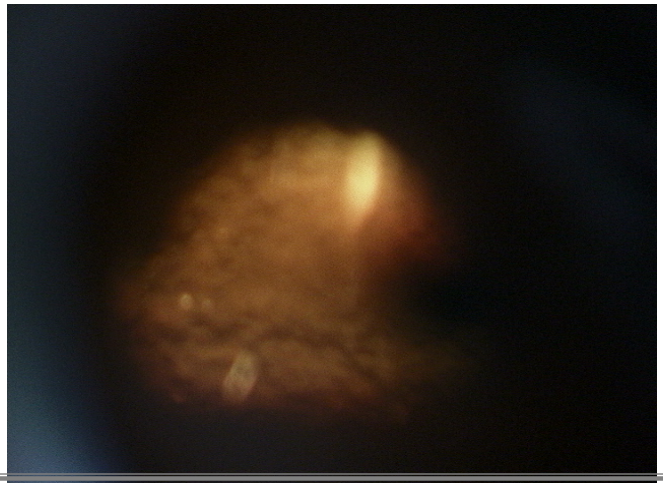

Figure 8.
Flame image of heavy oil residue without the additive.

하지만, Figure 8 처럼 첨가제를 넣지 않은 중질잔사유의 연소실험은 연료주입과 연소운전에 어려움이 있었다. 우선, 동일한 동력에 의한 오일펌프의 운전에도 연료의 주입량은 첨가제가 들어간 중질잔사유에 비해 약 절반 가량인 6.4kg/h 정도만이 주입되었다. 이때 중유버너 내부의 연료주입라인은 약 300℃정도 유지시키면서 주입하였다. 첨가제를 넣지 않은 중질잔사유의 연소운전 실험에서는 약 120℃정도 유지시켜준 것과 비교가 되므로, 연소운전으로 인해 발생하는 배기가스의 조성 및 로내 온도변화 등을 동일한 조건에서 비교가 어렵지만 분명 첨가제에 의한 운전특성차이는 확인할 수 있었다. Figure 8 에서 화염의 길이는 Figure 7 에 비해 상대적으로 매우 짧고 적황색에 가까웠으며, 주입되는 동일 양의 공기에서 첨가제가 포함되지 않은 중질잔사유는 일정한 화염을 유지할 수 없었다.

첨가제의 유무에 따른 실험에서 발생하는 dust의 발생량은 각각 800mg/Sm^3(첨가제 포함), 950mg/Sm^3(첨가제 없음)으로 조사되었다. 두 시료에 대한 동일한 운전조건에서 비교가 어렵더라도 첨가제가 들어감으로서 중질잔사유의 버너운전에 상당한 효과이 있음을 입증하는 것이라고 할 수 있다. Figure 9 와 10 은 dust가 측정될 동일한 시점에서 관찰된 연소로부터 발생하는 배기가스의 농도를 보여주고 있는 그림이다. 첨가제가 들어간 중질잔사유의 NOx 농도가 전체적으로 절반 가까이 낮게 유지되었으며 이는 연소로 내에서 운전조건의 향상과 dust의 농도결과와 일치하는 것으로 확인될 수 있다.

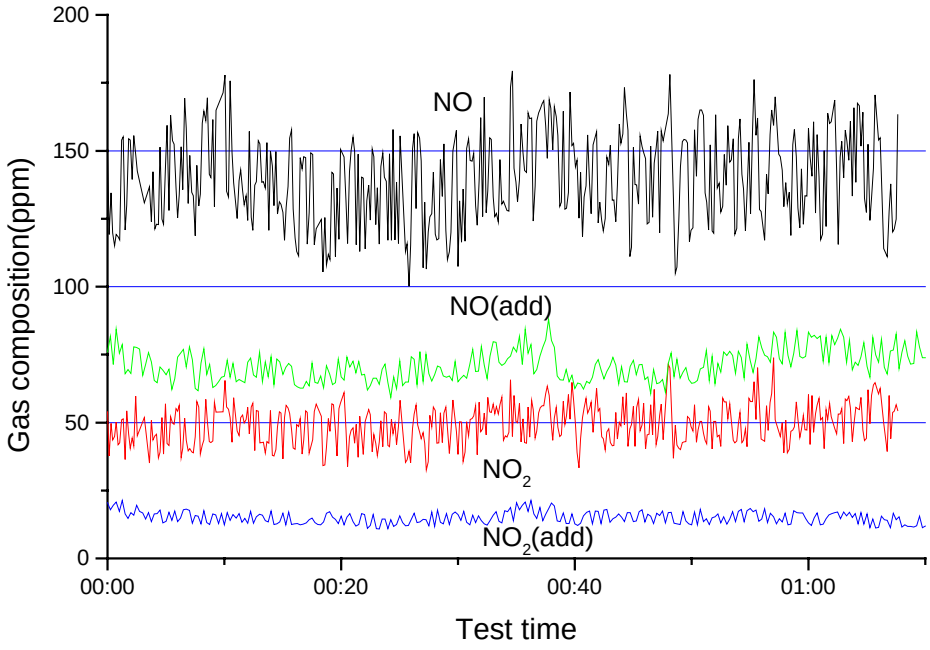

Figure 9. Concentration profiles of nitric oxides of heavy oil residue by addition of the additive; 'add' in a parenthesis means an addition of the additive in the oil.

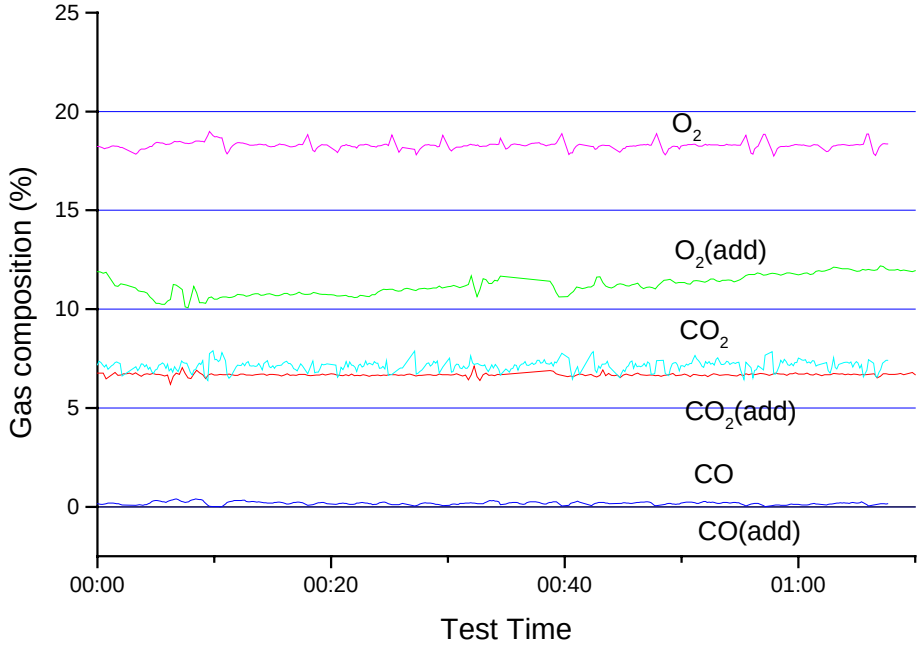

Figure 10. Concentration profiles of gases produced from heavy oil residue by addition of the additive; 'add' in a parenthesis means an addition of the additive in the oil.

4. 결론

중유 및 중질잔사유에 대해 첨가제에 따른 연소특성 및 배기가스분석 실험을 수행하기 위해 중유버너를 이용한 연소운전실험을 실시하였다. 중유는 첨가제를 포함할 경우 연소로 내부의 온도가 30~40℃ 이상 증가하는 것을 관찰하였으며, 화염의 색깔도 밝은 노란색을 보여주어 첨가제를 넣기 전보다 연소특성이 향상되었다. 첨가제를 넣은 중유가 연소후 발생하는 CO, dust 등은 낮게 유지되었으며, 전체적으로 첨가제에 의한 연료의 성상이 공기와의 반응에 유리하도록 성상이 바뀌어진 것으로 판단된다. 중질잔사유는 첨가제를 넣은 후 상온에서의 동점도가 향상이 되는 것을 확인하였으며 중유버너를 이용한 연소운전에서도 확연한 차이를 보여주었다. 버너내부의 온도를 300℃로 유지하여 중질잔사유를 주입하였지만 120℃를 유지한 첨가제를 포함하는 중질잔사유에 비해 분무되어 연소되는 량은 절반정도에 불과하였다. 또한, 첨가제를 넣지 않은 중질잔사유는 연소로 내에서 650℃ 정도의 낮은 온도로 유지되어 NO, CO soot 등이 다량 발생하여 연소조건이 매우 취약하였다. 결국, 테크노바이오(주)로부터 제공된 첨가제는 중유 및

중질잔사유의 성상을 변화시켜 버너운전을 향상시켰으며, 특히 중유는 발생하는 dust 의 농도를 첨가제를 넣기 전보다 크게 감소시키는 효과를 주었다.

5. 참고문헌

백민수, 오상헌, 2 유체 분사노즐을 이용한 분무 및 연소특성에 관한 실험적 연구, 대한기계학 회논문집, 19(2) 548(1995).

신현동, 연소공학의 기초연구와 그 응용, 자동차공학회지, 11(4), 13(1989).

양관모, 천무환, 선칠영, 장인갑, 장길홍, 스퍼드형 가스버너의 연소특성에 관한 실험적 연 구, 대한기계학회, 추계학술대회논문 B, 668(2000).

윤재건, 폭발현상과 연소, 자동차공학회지, 15(5), 42(1993).

이우환, 중유의 연소에 필요한 소요공기량과 발생가스량의 산식에 관한 연구, 한국박용기관 학회지, 6(1), 34(1982).

조은성, 안국영, 김한석, 안진혁, 김용모, 다단연소 오일버너의 NOx 제어에 관한 연구, 대한 기계학회지, 추계학술대회논문 B, 43(1997).

주대수, 중유의 설질 및 성상, The J. of Tappik, 1, 69(1975).

Cooper, W.C., The health implications of increased manganese in the environment resulting from the combustion of fuel additives: a review of the literature, J. Toxi. Env. Health, 14(1), 23(1984).

Duncan, M.P., Environmentally friendly production of polybutene amines for use as deposit control fuel additives, U.S.5583186 (1997).

Kim, Y. et al, Fuel additive composition for heavy oils; Wang, J., Composite heavy oil combustion improvers and their preparation, Fuel and Energy Abstracts, Jan. 2002, 19(2002).

Li, Y. et al, Manufacture of high efficiency multifunctional fuel oil additive, Fuel and Energy Abstracts, Jan. 2002, 24(2002).

Lynam, D.R., Pfeifer, G.D., Fort, B.F., and Gelbcke, A.A., Environmental assessment of MMT fuel additive, The Science of the Total Environment, 93, 107(1990).

Matter, U. and Siegmann, The influence of particle filter and fuel additives on turbo diesel engine exhaust, J. Aerosol Sci., 28(1), S51(1997).

Moszkowicz, P. and Witzel, L., Modelling of very fast pyrolysis of heavy fuel oil droplets, Chem. Eng. Sci., 51(17), 4075(1996).

Okada, M., Matsudaira, J., and Naruse, H., Effects of diesel fuel additives on engine performance and reliability, JSAE Review: Abstracts, 18, 185(1997).

Witzel, L., Moszkowicz, P., and Claust, G., Mechanism of particulate reduction in heavy fuel oil combustion, Fuel, 74(12), 1881(1995).