

한국에너지공학회(2000년도)

춘계 학술발표회 논문집 P165~174

오리멸전의 특성과 연소에 관한 연구

이제구, 김재호, 박태준, 손성근, 홍재창, 김용구, 최영찬
한국에너지기술연구소

A Study on the Properties and Combustion of Orimulsion

Jae Goo Lee, Jae Ho Kim, Tae Jun Park, Sung Geun Son, Jae Chang Hong,
Yong Ku Kim, Young Chan Choi

Energy & Environment Division, Korea Institute of Energy Research, Taejon
305-343, Korea

요 약

새로운 에너지원으로 개발된 오리멸전의 국내 활용에 관한 기술적인 특성을 파악하기 위하여 연료 특성과 연소에 대한 실험적인 연구를 수행하였다. 연료저장을 위한 최적온도는 60℃이었으며 온도가 낮으면 점화특성이 불량하고 너무 상승하는 경우에는 계면분리 현상을 보였다. 연소를 위해 필요한 연소실온도는 600℃ 이상이 요구되었고 수분의 비등 폭발에 의해 2차연소가 특징적으로 관찰되었다. 오리멸전 연소시 배기가스중 오염물질농도는 과잉공기비에 SO₂ 1700~2200ppm, NO_x 100~150ppm으로 측정되었다.

Abstract—To evaluate the technical problems for Orimulsion utilization, we have performed the experimental study on the properties of fuel and the combustion behavior. As the characteristics of ignition was poor at low temperature and emulsion breakage was occurred at high temperature, it was shown that the optimum temperature for storage and transportation was 60℃. During the combustion it was required at least 600℃ in combustor to maintain the flame stability. Due to the explosion of water in Orimulsion, secondary combustion was observed at the range of 50~70cm from the burner showing the maximum temperature. From the flue gas analysis, the SO₂ content decreases at the range of 1700~2200 ppm and the NO_x content increases from 100 to 2500 ppm with excess air ratio.

1. 서 론

오리멸전(Orimulsion: ORInoco+eMULSION)이란 상온에서 고체상태로 존재하여 수송과 취급이 어려운 베네주엘라 오리노코 지역에서 채굴된 bitumen을 계면활성제와 첨가제를 사용하여 물과 혼합한 에멀전 상태의 연료이다. 오리멸전의 원료인 베네주엘라 bitumen은 매장량이 2,670억 barrel로써 중동지역의 원유 매장량의 80%에 달하는 것으로 평가되고 있으며, 연료 생산이 OPEC 석유 쿼터에 묶이지 않기 때문에 매년 세계적으로 사용량이 증가되고 있다. 중유 또는 석탄을 대체하기 위한 오리멸전의 개발 연구는 '81~'85년에 처음으로 INTEVEP, BP, Shell, Babcock Energy에 의하여 에멀전의 혼합특성, 점성, 연소 성능을 중심으로 기초연구가 수행되었다.^{1,2,3,4)} 이후 '86~'87년에 pilot plant 규모의 연구는 미국, 일본의 CE, MHI, NEI등이 버너, 수송, 저장, 연소특성, 보일러 개조, fouling에 관하여 이루어졌다. 상업화 발전소에 대체연료로의 시도는 1988년부터 Babcock Energy, Chube 발전소, NB Power, Power Gen 발전소등에서 이루어졌고, 나고야 Chubu

발전소에서 처음으로 성공적인 시운전이 이루어진 이래 여러 국가에서 오리멸전을 중유 및 석탄 대체용으로 사용하고 있다.^{5,6,7,8)} 현재 오리멸전은 <표 1>과 같이 새로운 대체 연료로서 발전소 및 보일러에서 석탄 또는 고유황 중유 대체로 사용되고 있으며, 이는 중유와 유체 특성이 유사함과 동시에 연소 효율과 열량이 높은 특성을 지니고 있기 때문이다. 그러나 연료에 유황이나 바나듐 함량이 높고, 선박수송시 유출사고에 의한 침강과 계면활성제에 의한 해양오염 우려는 문제점으로 논의되고 있는 사항이다. 이러한 가운데 최근 탈황기술의 개발, 고온부식 방지를 위한 첨가제 주입과 안전성 확보를 위한 수송 방법의 보완으로 석탄 및 오일을 대체하기 위한 연료의 사용량은 증가 추세에 있다. 안정적이고 보다 경제적인 에너지 공급원을 확보해야 하는 국내 에너지 수급 차원을 고려할 때 국내에서도 오리멸전의 효율적인 활용 방안에 대한 연구를 수행할 필요가 있다고 보이며, 이에 따라 본 연구에서는 오리멸전의 연료 특성과 연소 성능을 파악하고 중질유와 비교 분석을 통하여 향후 국내에서 활용을 위한 제반 자료로 제시하고자 하였다.

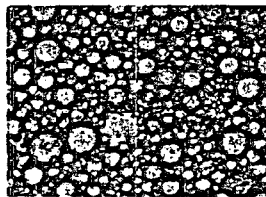
<표 1> 오리멸전 발전소 현황

Power Plant	Contury	Scale & Purpose	Start up
Mitsubishi Kasei	Japan	70MW +steam	1992
Kashima-Kita	Japan	125MW+steam	1991
Kansai 전력	Japan	150MW	1994
Inca B	UK	500MW	1991
Asnaes	Denmark	700MW	1995
Dalhouse	Canada	310MW	1994
North China	China	640MW	1996
Hokkaido 전력	Japan	350MW	1998
Florida 전력	USA	1580MW	1998
National Power	UK	2000MW	1998

2. 연료 특성

2-1. 성분분석

시료는 쌍용(주)와 일본의 MC Bitor를 통하여 97년 5월중 제공받았으며 국내 정유업계에서 생산되고 있는 감압잔사유 및 B-C유와 성분 분석 결과를 <표 2>에 비교하였으며, 기타 본 시료에 대한 특성을 <표 3>~<표 5>에 나타내었다. 분석 결과중 오리멸전 열량은 역청탄 수준보다는 다소 높은 7220kcal/kg이고, 수분 함량이 30% 수준으로 유지되고 있으며, [그림 1]과 같이 현미경으로 측정된 오리멸전에 포함된 Bitumen의 입경은 10 μ m 이하로 분포되어 있음이 확인되었다.



[그림 1] Bitumen 입경 분포

중금속 분석을 위하여 오리멸전의 회분조제(ashing)는 오일 비등으로 어려움이 있어 Iso propyl alcohol을 혼합하여 수분을 제거한 다음 ICP(Baird사, Model :2070)에 의하여 성분을 측정하였다. 오리멸전 제품 규격에 따르면 바나듐(Va) 함량은 280~360ppm 수준이었

으나, 본 실험에서 분석된 바나듐 농도는 191ppm으로 측정되었다. 고농도의 바나듐은 고온 부식을 일으킬 수 있으므로 제조 공정에서 Mg(OH)₂를 첨가하여 방지하도록 하였는데 본 실험에서 측정된 Mg함량은 385ppm으로 Mg/V ratio는 2.0 수준임을 알 수 있었다. 또한 공업분석에서 측정된 회분은 석탄보다 상당히 적은 양인 0.49%(일반적으로 0.04~0.25%)로써 측정되었으며, 혼합 상태에서 존재하는 bitumen 입자 크기는 30 μ m 이하로 측정되었다. Pour point 측정치로부터 5 $^{\circ}$ C 이상의 범위에서 유동성이 나타나고 점성은 상온에서는 500cp 수준을 보여주고 있다. 따라서 상온에서 이와 같은 물성의 결과로 볼 때 입자에 의하여 버너 막힘 현상을 우려할 정도는 아니며, 금속 성분을 제외한 전반적인 물성치는 기존에 사용되고 있는 B-C중유와 비슷한 것으로 파악되었다.

<표 2> 오리멀전과 감압잔사유와의 성분 비교

	Orimulsion	Vacuum Residue		Orimulsion	Vacuum Residue
C	61.72	83.81	Moisture	30.25	0.00
H	11.00	10.18	VM	61.49	83.20
N	0.26	1.03	Ash	0.49	0.00
S	2.95	4.54	FC	7.77	16.8
O	24.07	0.44	HHV(kcal/kg)	7220	9980

<표 3> 타연료와의 성분비교

	Sulfur (wt.%)	Nitrogen (wt.%)	Ash (wt.%)	Vanadium (ppm)
Orimulsion	2.4~2.9	0.4~0.5	0.04~0.25	280~360
Coal	0.5~4.0	1.0~2.0	10.0~10.7	-
Fuel oil	0.2~3.0	0.2	0.02	2~40
CWM	0.3~0.6	0.3~0.6	2.0~10.0	-

<표 4> 금속성분 분석치(ppm)

	Orimulsion Standard	Orimulsion (This study)	Vacuum Residue 1	Vacuum Residue 2
Va	280~360	191	132	217
Ni	66~86	58	44	65
Fe	7~8	15	5	5
Na	~80	153	-	-
Mg	0~500	385	-	~1
Ca		1272	-	-
Mg		385	-	-

<표 5> 물리적 특성 분석

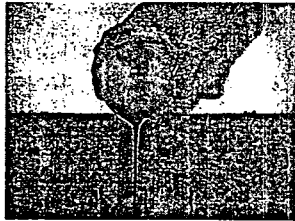
Density (g/cc)@15 $^{\circ}$ C	Pourpoint ($^{\circ}$ C)	Median particle size (μ m)	Particle size over 150 μ m	Viscosity (cp)
1.012~1.025	2~5	~30	3 max.	0~500

2-2. 에멀전 혼합 특성

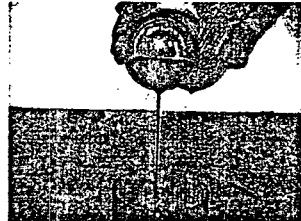
오리멀전은 천연 bitumen에 증기와 회석제 등을 첨가하여 지하의 well에 넣어 석유시추와 유사한 과정을 거쳐 지상으로 끌어올린 후 정유공장에서 탈수, 탈염 및 가스성분의 제거 공정을 거치면서 천연 bitumen(Oil) 70%, 물(Water) 30% 비율로 혼합된다. 이 때 O/W 에멀전 상태를 위해 계면활성제를, 보일러의 fouling을 방지하기 위해 magnesium salt가 첨가된 후 static 및 dynamic mixer를 거쳐 에멀전 상태로 생산하게 된다. 계면활성제는 bitumen(O)이 물(W)과 혼합특성을 유지하지 못하므로 O/W계의 장기간 보존성을 확보하기 위하여 사용되는 것으로써 오일성분을 분산시키고 분산된 오일끼리 다시 합쳐

지지 않도록 하여 에멀전 상태를 안정화 시켜준다. 따라서 오리멸전 제조시 사용하는 계면활성제의 역할은 친유성(Lipophilic)을 지닌 성분으로 bitumen의 계면 주위를 감싸게 되어 분산상태를 유지하고 물과의 친수성 (Hydrophilic)을 유지할 수 있도록 비이온성 계면활성제로 분자량이 비교적 적은 고분자 물질을 사용하며, 오리멸전의 제조시에는 계면활성제로 Nonyl Phenol Ethoxylate (NPE)이 0.17~0.22%로 혼합 사용되었다.

온도에 따른 안정성 변화를 파악하기 위하여 온도에 따른 계면 분리점을 항온조를 사용하여 측정하였다. 실험방법은 600cc 비이커에 오리멸전 시료를 채우고 상온에서부터 90℃까지의 가열은 water bath를, 냉각분위기는 dry ice와 acetone bath를 사용하여 -5℃까지 매 5℃ 변화시마다 계면분리를 관측하였다. 측정결과 5℃ 이하 및 80℃ 이상에서 계면분리가 발생하였는데, 80℃ 이상에서 breaking, 5℃ 이하에서는 침강현상이 나타났다. 이러한 요인들은 사용된 계면활성제의 특성에 의하여 온도 또는 shear의 변화에 따라 계면의 유지 특성이 달라지게 되고 온도 상승에 의해 수소 결합이 떨어져서 분리가 일어나며 (clouding point), 온도가 낮아지면 계면활성제의 용해도가 낮아져서 계면 분리현상이 일어나 안정성이 파괴되는 것으로 볼 수 있다.



[그림 2] 안정성이 유지된 오리멸전



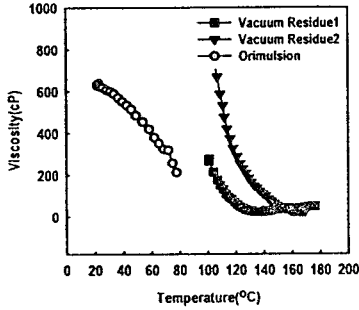
[그림 3] 안정성이 파괴된 오리멸전

2-3. 점도 특성

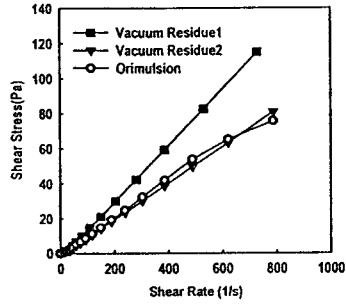
오리멸전이 안정적으로 유지될 수 있는 온도 범위인 5~80℃에서 원활한 공급과 버너로부터 분무 및 미립화 특성을 감압잔사유 및 B-C유와 비교 검토하기 위하여 점도를 측정하였다. 실험에 사용된 점도계는 cone & plate type의 점도계(Physica사, model:MC120)로써 외부의 온도조절장치로 측정온도를 설정한 다음 shear rate에 따른 shear stress 및 점도를 측정하였다. 측정된 점도는 상온에서 500cP로 50℃로 가열된 B-C유 점도(432cP)와 비슷한 수준을 나타내고 있다. 측정된 shear stress에 따른 shear rate의 결과로 보아 오리멸전은 Newtonian fluid 거동을 보이지 않고 있으며, 계면분리점 이하에서는 점도가 200cP까지 감소함을 나타내어 계면분리 이상의 온도에서는 점도가 현저하게 감소함을 알 수 있었다. 한편, 국내 정유사로부터 입수된 감압잔사유는 90℃ 이상에서 유동성을 보이고 140℃로 가열시에는 100cP 이하로 점도가 유지되었으며 그 이상의 온도 범위에서는 오일의 열분해가 일어나 저비점 물질이 탈휘발화 되어 점도가 상승됨을 알 수 있었다. 따라서 유체 이송 가능한 범위만을 고려하면 오리멸전은 70℃ 이하에서는 안정적으로 낮은 점도를 유지할 수 있으며, 부분적인 과열에 의한 계면분리를 억제하면 안정적인 유동 특성을 확보할 수 있음을 알 수 있었다.

감압잔사유의 경우에는 120℃~140℃에서 유동성이 유지되고 200℃ 이상의 온도에서는 열분해에 의한 코크의 생성 우려가 있음을 알 수 있었다. 중질유와 비교하여 측정된 점도 변화는 [그림 4]와 같으며, 본 실험 결과로부터 오리멸전의 유체 특성은 80℃에서 크게

변화됨으로 에멀전 분리 방지와 분무화를 위하여 60~70℃ 수준이 최적 예열온도로 파악되었다. [그림 5]의 점도측정 결과로부터 오리멀전은 기존의 오일유와는 다르게 비뉴튼성 유체로써 shear thinning(pseudo-plastic) 특성을 보이는 것으로 나타났다.



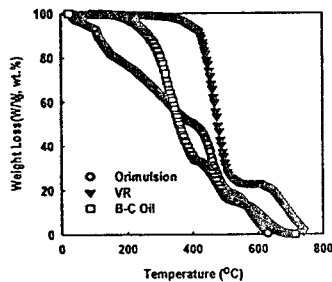
[그림 4] 온도에 따른 점도변화



[그림 5] 유변학적 특성

2-4. 타연료와 연소성 비교

연소성은 TGA(Cahn사, TG-121)를 사용하여 오리멀전 약 10mg 정도의 시료에 공기를 주입하면서 온도를 80℃/min 속도로 900℃까지 가열하면서 오리멀전과 감압잔사유의 무게 감량으로부터 측정하였다. 측정 결과는 [그림 6]과 같으며, 오리멀전의 경우에는 100℃까지의 온도 범위에서 10%의 수분이 감소하였으며, 이후 450℃ 범위까지에서 단조 감소하다가 이후 급격하게 감소하였다. 오리멀전 연소시 반응 형태는 초기에 감압잔사유나 B-C유보다 다소 빠르게 진행되고 급격한 무게 감소는 450~500℃에서 이루어짐을 알 수 있다. 반면, 감압잔사유는 400℃ 이전은 거의 변화가 없다가 550℃에 도달해서야 급격히 감소하는 결과를 보여주는데 이러한 결과로부터 오리멀전 점화온도는 감압잔사유보다 50℃ 정도 낮음을 알 수 있다.



[그림 6] 오리멀전의 연소특성

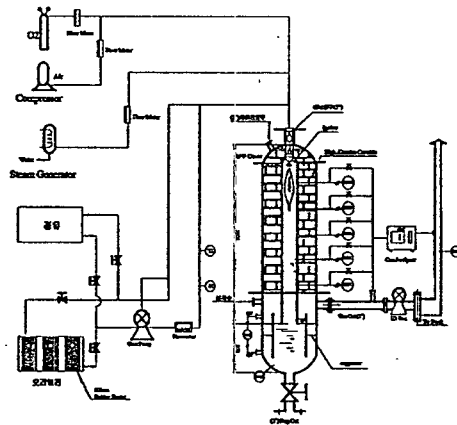
<표 6> 착화온도비교

연료	착화온도(℃)
나무	250~300
역청탄	325~400
무연탄	440~500
오리멀전	450~500
중유	530~580
코오크스	550~750
갈탄	250~350

3. 연소 특성

3-1. 장치 및 방법

오리멸전 연소 실험을 위하여 연소실이 $\phi 20\text{cm} \times H70\text{cm}$ 이고 총 길이가 2.5m인 연소장치를 사용하였다. 실험조건은 연료 공급기준 0.5-1gal/hr로 200리터의 드럼통으로부터 실리콘 히터를 이용하여 60°C 로 균일하게 예열하고 기어 펌프를 사용하여 버너로 공급하였다. 연소용 공기는 압축기로부터 제습된 공기를 로타메타 유량계를 사용하여 공기비를 조절하였고, 연소실 내부에는 축방향으로 20cm 간격으로 내화물을 관통하여 열전대(R-type)와 가스샘플구를 설치하였다. 연소된 배기가스는 하부에서 분무되는 냉각수에 의해 가스냉각을 하고 배기 fan에 의해 배출되도록 하였다. 최종적으로 연소된 배기가스의 분석은 샘플링 시스템에서 cooler 및 filter에서 수분과 dust를 제거한 다음 연소용 가스분석기 (Alpha Electronics Plc.: MAESTER 2000)를 사용하여 가스 조성을 분석하였다. 연소실험은 공기량이나 연료공급량 변화가 온도분포와 배가스 조성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 수행하였다. 실험을 위한 연료공급량은 0.85~1.35gal/hr, 과잉공기량을 0.5~10%의 범위로 설정하였고, 연료 예열은 드럼통 내부에서 1차 가열하고 버너로 공급되기 직전에 2차 가열하여 사용하였다. 실험전후 배관 중에 남겨진 찌꺼기는 경유를 사용하여 30분 정도 연소하여 연료 배관을 세척하였고 버너 팁부분은 분리하여 세척하여 사용하였다.



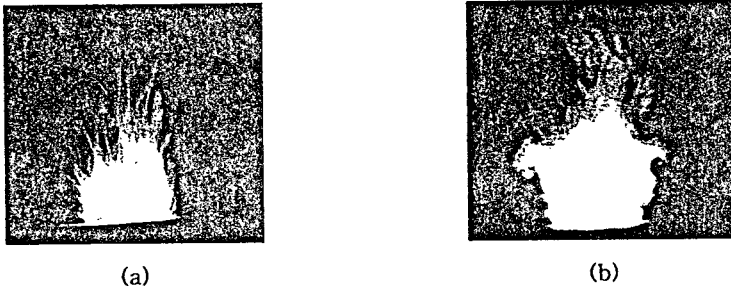
[그림 7] 오리멸전 연소장치

3-2. 연료 저장 공급 특성

예열온도는 $50\sim 60^\circ\text{C}$ 의 범위에서 가장 양호하게 나타났는데 온도가 낮은 경우에는 점화 특성이 불량하고 액체의 미립화 특성이 불리해지는 요인으로 파악되었으며, 특히 온도가 지나치게 상승하는 경우에는 펌프에서 지나친 슬립현상으로 이송이 불량해지고 펌프의 손상을 초래하였다. 2차 예열 온도는 80°C 이하로 조절하여 사용하였지만 연소성에 큰 변화를 없으며, 재순환되는 오리멸전의 안정성이 저하되지 않도록 최종적으로는 사용하지 않았다. 공급배관으로부터 회수되는 오리멸전은 청소용 경유와 분리하여 오염되지 않도록 하였으며, 장시간 사용하지 않는 경우에는 펌프 및 밸브류를 해체하여 고착된 오리멸전의 찌꺼기를 제거하여 사용하였고, 계속되는 실험 중에는 경유 세척만으로도 충분한 효과를 볼 수 있었다.

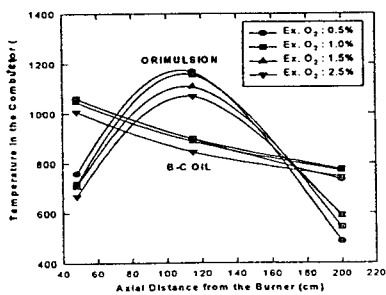
3-3. 화염생성

일정한 연료공급량에 대하여 공기량 증가에 따라 화염의 길이가 길어지고 안정한 연소를 보였다. 오리멸전은 수분이 함유되어 연소 과정에서 화염 형성은 경유와 비교시 [그림 8]과 같이 다른 형상을 보여주고 있다. 버너의 전단에서 점화가 일어나고 이후 과정에서 수분의 급격한 터짐 현상으로 화염의 2차 연소가 활발하게 이루어지고 있음을 볼 수 있다. 이러한 요인으로 연소실 내부에서 측정된 온도분포는 버너로부터 50~70cm 떨어진 지점에서 가장 높은 온도를 형성하고 있으며, 온도분포도에 따라 배기가스의 조성도 달라짐을 알 수 있었다. 이와 같은 과정은 버너 팁에서 오리멸전이 연소용 공기와 같이 분무화된 다음 휘발화와 동시에 액적이 팽창되어 물이 폭발적으로 비등 미립화(micro-explosion)되고, 세분화되어 액적은 점차적으로 작아지게 되어 점차적으로 미립화되어진 액적이 코크화된 탄소성분과 증발한 수분이 가스화 반응($H_2O + C \rightarrow CO + H_2$)에 의해 연소성이 촉진되는 것으로 해석되어진다.

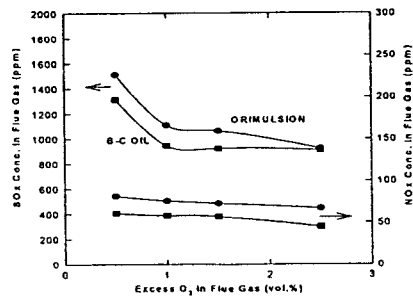


[그림 8] 오리멸전의 화염 특성 ((a) 경유, (b) 오리멸전)

과잉공기비를 0.5-2.5%로 증가하면 화염 길이는 길어지게 되고 최고 화염온도는 낮아지는 특성을 보였다. [그림 9]와 같이 중유와 오리멸전을 연소할 때 나타나는 두드러진 특징으로는 온도분포가 특징적으로 큰 차이를 보인다는 점으로, 중유 연소시에는 버너전단에서 가장 높은 온도를 보이고 이후 온도가 감소되는 특성을 보인다. 그러나 동일한 연소 조건에서 오리멸전은 버너에서부터 일정한 거리까지 점차 증가하여 최고온도를 보인 다음 점차 감소하여 수분으로 인한 폭발 비등연소 과정의 특성을 보여주고 있다. 발전소나 보일러에 적용시 달라지는 연소실 온도분포의 영향은 열회수를 위한 전열관 튜브 위치를 중유 연소시보다 버너로부터 더욱 멀리 위치하도록 해야 할 것이며 중유 발전 보일러의 개조시 반영되어야 할 사항이다. 배기가스중 SOx 및 NOx의 배출 특성은 [그림 10]과 같이 저유황 B-C유를 연소하는 경우보다는 높게 나타났다.



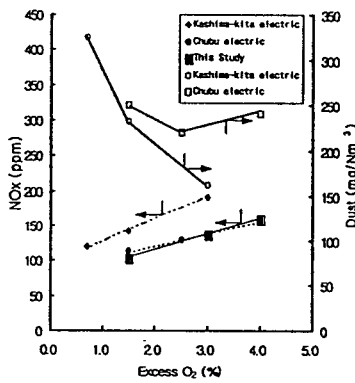
[그림 9] 중유와 오리멸전의 연소 온도



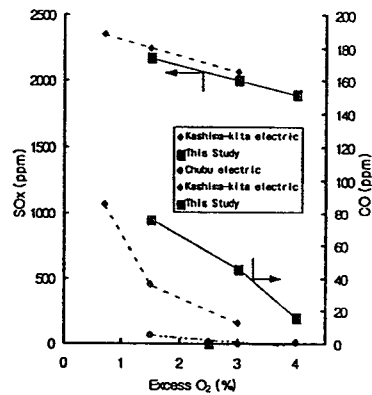
[그림 10] 배기가스중 오염물질 농도

4. 공기량에 따른 배기가스 조성

연소용 과잉 공기는 가능한 최소로 유지하는 것이 바람직하며, 연료별 최적공기비는 석탄의 연소시에는 1.15~1.25, LNG 및 중유 연소시에는 1.03~1.07 수준이며 오리멸전 연소는 Dalhousie 발전소의 결과⁽⁵⁾에 의하면 0.8~1.2 수준인 것으로 알려지고 있다. 연소실험을 위하여 안정적인 연소상태를 유지하기 위하여 내부는 600℃ 이상으로 유지되어야 하는데 연료량을 0.75 gal/hr 수준으로 낮게 유지한 경우에는 온도가 너무 낮아 연소지속성을 확보할 수 없었다. 따라서 연료공급량을 1gal/hr으로 유지한 상태에서 공기량 변화에 따른 배가스 농도 변화를 측정하였다. 본실험의 범위에서 배기가스 중 NOx 농도는 [그림 11]과 같이 100~150ppm로 측정되었는데, 이는 일본의 Chubu 발전소의 결과⁽⁶⁾와 유사한 결과이나 캐나다 NB Power의 Dalhousie 발전소의 결과보다는 많은 공기량이 소요된 결과를 보였다. [그림 12]와 같이 SOx 발생 농도는 연료중 황함량에 따라 영향을 받게 되므로 공기비가 증가할수록 농도가 희석되므로 감소하는 경향을 보이는데, Kashima-kita 발전소의 자료⁽⁷⁾와 비교할 때 다소 낮은 수준을 보였다. 본 실험의 범위에서는 1700~2200ppm으로 측정되었으며, CO 발생량은 80ppm 이하의 범위에서 측정되었다. 본 실험을 통하여 다른 연구와 비교시 다소 많은 공기량이 소요되었으며 또한 연소실 공간이 다소 적은 것으로 나타나 이러한 결과로부터 버너 설계 조건이 매우 중요함을 알 수 있었다.



[그림 11] 배기가스중 NOx,분진농도



[그림 12] 배기가스중 SOx, CO 농도

5. 결론

오리멸전의 연료특성 분석과 연소실험을 통하여 얻은 연구결과를 종합하면 다음과 같다.

- 오리멸전의 예열은 연료 저장조에서 예열하여 공급하였고 60℃ 이하의 범위에서 최적임을 알 수 있었다. 온도가 너무 낮으면 점화 특성이 불량하고 온도가 높은 경우에는 점도저하 및 계면분리로 인하여 펌프에서 미끄러짐 현상이 발생되고 수송이 불량하게 되는 특성을 나타내었다.
- 오리멸전의 점화온도는 중질유보다 다소 낮은 온도(450℃)로 측정되었으며, 지속적인 화염 안정을 위해서는 연소실 분위기 온도는 600℃ 이상 유지가 필수적이었다.

4. 오리멀전 연소는 연료중 포함된 수분의 급격한 터짐 현상으로 발생하는 2차 연소가 가장 특징적인 것으로 나타났다. 이러한 요인으로 연소실 내부의 온도분포는 버너로부터 50~70cm 떨어진 부분에서 가장 높은 온도를 형성하고 있으며 배기가스의 조성도 이러한 영향과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있었다.
5. 본 실험결과는 상업용 발전소에서의 실증 실험 결과보다 연소를 위하여 많은 공기량이 소요되었으며, 일정한 연료량에서 과잉공기비가 1.5~4.0으로 증가함에 따라 배기가스중 NOx 농도는 100~150ppm, SOx 농도는 1700~2200ppm, CO 농도는 80ppm 이하의 범위로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부에서 지원한 “중질유 및 오리멀전 활용기술 연구” 과제의 1999년도 사업으로 지원되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. J.M.Sharkey, "Orimulsion in Western Europe: The First Two Years", Fact-Vol.11, Fuel Strategies for Conversion and Unconventional Fuels ASME, 21-27 (1991)
2. M.E.Quintana and L.A.Davis, "Pilot Plant Evaluation of Orimulsion as a Feedstock for the Texaco Gasification Process", Texaco Dev.Co. Report, April (1990)
3. R.H. Toms, "Current and Potential Use of Orimulsion as an Alternative Fuel", Power Gen Technology Centre, EPRI Conf. on Improved Tech for Fossil Power Plants New and Retrofit Applications(1993)
4. J.Makansi, "New Fuel Could Find Niche Between Oil, Coal", Power Dec., 51-56(1991)
5. Dalhousie Generating Station, "Orimulsion Demonstration Program", Technical Summary Report, October (1989)
6. Y.Kato, T.Tanaka, T.Sakai, T.Sada and K.Fujii, "Orimulsion Fuel Firing Test Result on Pilot Plant" EPRDC Chubu Electric Power Co. and MHI Report (1989)
7. T.Toyoda, T.Araki, M.Hishida, M.Sano and S.Tamai, " Operating Experience with Orimulsion Firing in the Existing Boiler", MHI and Kashima-kita Electric Power Co. Report(1991)
8. E.Hernandez-Carstens and R.Rodriguez, "ORIMULSION: A New Fuel for Power Generation", Fact-Vol.11, Fuel Strategies for Conversion and Unconventional Fuels ASME, 1-5 (1991)
9. B.A.Kennedy, "Evaluation of Handling and Combustion Characteristics of Orimulsion in a Commercial Utility Boiler", Fact-Vol.11, Fuel Strategies for Conversion and Unconventional Fuels ASME, 7-20 (1991)
10. K.Kosky and E.Bishop, "Orimulsion Test Burn Results", Florida Power&Light Co. Report(1992)
11. Emma Brossard, Petroleum Research and Venezuela's Intevep, The Clash of the Giants, Huston Texas (1993)
12. Maria I. Briceno, et al, "Emulsion Technology for the Production and Handling of Extra Heavy Crude Oils and Bitumens", Rev. TEC. INVEVEP 10(1):5-4, ENERO (1990)
13. T. Hiroshi, "오리멀션とその燃焼実績", 1094, PETROTECH (1995)
14. J. Makansi, "Manatee lays groundwork for commercial use of Orimulsion", Power,

Sept. 57-60 (1994)

15. 박태준 외, "석탄가스화 운전 특성 실험 및 오리멀전 가스화 연구", KIER-KRC 연구보고서, KRC-93G-J13 (1995)
16. 한전기술주식회사, "오리멀전의 발전용 연료 실용화 타당성 조사 보고서", 한국전력 용역보고서 (1998)