

Emulsion(B·C유+폐수)연료의 연소효율에 관한 실험적 연구

정진도

호서대학교 환경공학과

E-mail : jdchung@office.hoseo.ac.kr

An Experimental Study on the Combustion Characteristics of Wastewater-Emulsion Fuel

Jin Do Chung

Dept. of Environmental Engineering, Hoseo University

요약

Emulsion 연료는 연료질감과 오염방지특성에 의하여 많은 관심을 끌고 있다. 본 연구에서는 B-C유와 Emulsion 연료(B-C유와 폐수를 혼합하여 만든 연료)의 연소효율을 비교 분석하였다. 보일러의 양쪽에 R-Type의 Thermocouple과 광학온도계를 설치하였고, 연소가스배출구에 연소측정기를 설치하여 B-C유와 Emulsion 연료의 연소시 화염의 온도, 연소율 및 배기가스 농도를 측정 비교하였다. 이에 대한 실험 결과로서, 보일러 전·후반부의 화염온도는 B-C유의 화염온도보다 약 50°C 낮았고, 이러한 온도차이의 원인은 Emulsion 연료의 폐수 속 수분 잠열로 인한 것으로 사료되어진다. 또한 Emulsion연료를 사용하였을 때 배출가스의 분석 결과는 오염물질의 감소 및 CO 농도 또한 매우 낮게 측정되어짐을 나타내고 있다. B-C유와 Emulsion 연료의 연소 효율은 각각 85.5%와 84.8%이다.

Abstract — Emulsion fuel is a very attractive fuel because of its energy saving and pollution prevention properties. We investigated and compared the combustion efficiency of B-C oil and emulsion fuel i.e. fuel made from the mixture of B-C oil and waste water. By installing an R-type thermocouple and an optical pyrometer on each side of the boiler, and by placing a combustion analyzer at the point of gas emissions, We were able to measure and compare each flame temperature, combustion rate and the concentration of emitted gas when B-C oil and emulsion fuel are burned. The following results were obtained: The flame temperature of emulsion fuel at the front and rear of the boiler is about 50°C lower than the flame temperature of B-C oil. The reason for this difference in temperature is that both latent and sensible heat is lost due to the moisture in the waste water of emulsion fuel. An analysis of emitted gases shows that when emulsion fuel is used polluting substances decrease also the concentration of CO becomes considerably lower. The combustion efficiency for B-C oil and emulsion fuel is 85.5% and 84.8% respectively.

1. 서론

Emulsion 연료에 관한 연구는 2차 세계대전부터 시작되었으며, 초기에는 미국에서 발전되었으며 2차 대전 중에는 항공기용 가솔린 엔진에 물을 혼합시켜 출력 증가를 얻기도 하였다. 구 소련에서는 1957년에 Ivanov가 Emulsion 연료에 대해 연구한 바 있으며 1960년에는 미국의 Lissant가 항공연료의 화염방지학회에서 Emulsion 연료의 효과에 대하여 발표하였다. 그 후 Emulsion 연

료의 실용화 연구는 미진한 상태였으나, 석유 파동 이후 유류 절약과 배기 가스 저감 목적을 위해 구미, 일본 등의 선진 각국에서 이에 대한 연구가 활발해지면서 Emulsion연료를 주요 에너지 연구 과제의 하나로 채택하고 있다^[1]. 1976년 미국의 ECAS(Energy Conservation Alternative Study)는 Emulsion 연료를 연소관련 연구과제의 하나로 채택하였으며 Emulsion 연료를 넓은 의미에서의 콜로이드 연료로 해석하여 Coal Slurry 연료도 이에 포함시키고 있다. 최근의 세계적인 에너지 위기는

석유자원의 한계성에 따라 에너지의 합리적인 이용기술 측면에 대한 연구의 필요성을 높이고 있다. 에너지 문제를 해결하기 위하여 새로운 에너지원의 개발 및 그 이용 개선연구가 전 세계적으로 수행되고 있으며, 특히 에너지원의 대부분을 수입하고 있는 우리의 실정으로는 수입에너지를 최대한도로 절약할 수 있는 방안의 연구가 급선무라 하겠다. 이에 따른 절약방안의 하나로 Emulsion 연료가 에너지 절약과 공해방지의 측면에서 그 효과가 관심을 집중시키고 있다. 기존의 B-C유나 휘발유 등에 물과 유화제를 첨가·혼합하여 연소하는 물 첨가방식의 Emulsion연료에 대한 이론 및 기술연구는 국내 일부 업체에서도 외국과의 기술제휴 형식으로 상업화된 실적이 있다.

본 논문에서는 물과 유화제 대신에 폐수(축산폐수+산업폐수+침출수)를 이용하여 B-C油, 축산폐수, 산업폐수와 침출수의 혼합비율을 변화시켜 실험하여, B-C油와 Emulsion 연료를 사용했을 시에 연소 특성 및 배기 가스 저감효과와 에너지 저감 효율을 비교해 보았고, Emulsion 연료의 연소특성에 관한 실험적 연구를 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2-1. Emulsion 연료

Emulsion 연료란 두 가지 물질이 혼합·현탁된 분산계(dispersed system) 상태의 연료를 말한다. 일반적으로 균일 매질 속에 미세 입자들이 분산되어 있는 상태를 분산계(dispersed system)라 한다. Emulsion이란 액체의 매질 중에 콜로이드 입자 혹은 이보다 거칠고 큰 입자 크기의 액체입자들이 분산되어 유상을 이루고 있는 상태를 말하며, 그 분산 입자의 크기는 약 0.001~0.5 μm 로서 Colloidal dispersed system에서 가장 중요하고 일반적인 것이다. 그러나 Emulsion이 광의의 의미로 사용될 경우에는 콜로이드 혹은 분산계 전체를 가리키게 되어, 일반적인 Emulsion 연료란 분산 매질이 액체이고 분산 입자가 액체인 협의의 Emulsion으로서, 각종 석유계 연료와 물을 여러 가지 방법으로 혼합하여 Emulsion화한 것을 의미한다. 특히 Emulsion 연료는 연소시 물의 순간적인 증발. 팽창에 의해 미연소된 연료의 완전연소를 촉진, 연료 효율을 높이는 한편 일산화탄소, 매연, 및 분진의 생성량이 감소하게 되어 공해물질의 배출을 낮춰 주어 친환경 연료로 점차 환경친화적 연료로 각광 받기 시작하고 있다¹⁾.

2-2. 유화 방법

기름과 물과 같이 서로 용이하게 혼합되지 않는 2종

류의 액체 중 한쪽을 미세한 액적으로 만들어 다른 한쪽의 액체 내에 균일하게 분산시키는 것을 유화라고 하며, 이와 같이 생성된 액체를 유탁액, 또는 Emulsion이라고 한다.

연료의 Emulsion화는 유화방법에 따라 일반적으로 기계적 교반에 의한 방법, 초음파에 의한 방법, 유화제를 사용하는 방법이 있으며, 유화제는 주로 계면 활성제로서 유화를 용이하게 만들어 줄 뿐 아니라 분산 입자가 재결합하고 성장하여 물과 기름이 분리되는 현상을 억제시키는 역할을 한다. Emulsion 연료의 재 분리현상은 연속상의 점도가 높을수록 연속상과 분산상의 비중차가 작을수록 분리시간이 길어지게 된다²⁾⁴⁾.

2-3. 연료 분사

액체연료는 연소시 공기와 접촉을 원활히 시키기 위하여 버너를 사용하여 분사시킨다. 연료가 버너에서 분무되면 약 30~100 μm 정도의 입자로 비산하게 된다. 분산된 Emulsion 연료의 액적은 가열되어 표면의 기름이 연소하게 된다. 그와 동시에 분무적의 내부온도도 상승하여 외피의 기름이 전부 증발·연소되기 전에水滴이 폭발적으로 기화하면서 과열을 일으켜 세분화시킨다. 이런 2차 미립화 연소현상을 후분사라고 하며, 증기제트 버너의 증기 분사와는 그 효과가 전혀 다르다.

여기서 버너에서 분사된 1차 분사적을 모적(母滴), 후분사에 의해 생성된 미립적을 자적(子滴)이라고도 한다.

Emulsion 연료의 분무적이 연소 도중에 일으키는 2차 미립화 현상은 보통 유적 충돌, 수증기의 발산, 미소 폭발 등의 단계로 분석되고 있다³⁾⁴⁾.

2-4. 실험 장치

전체적인 실험 장치도가 Fig. 1이다.

본 연구에서 사용한 보일러의 본체 구조는 수관식이며, 로의 위치가 내화식인 B-C유 전용 보일러(제조사 :

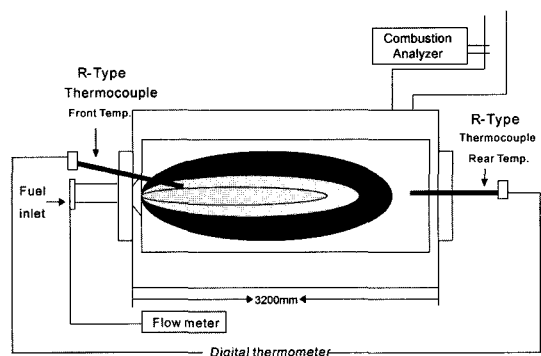


Fig. 1. Schematic diagram of experimental boiler.

한국중공업)을 사용하였다. Burner의 분사성능은 200 // hr의 Rotary Type Burner를 사용하였다. 또한 로내의 화염온도 측정을 위하여 Thermocouple을 설치하였다. 특히 Thermocouple은 T-Type, K-Type, R-Type 등의 다양한 종류가 있으나, 약 1000°C 이상의 화염을 측정하기에 가장 적당한 R-Type의 Thermocouple을 실험 대상 보일러의 양단에 각각 1.5 m(Rear), 1 m(Front)의 위치에 설치하여 측정을 실시하였다. 배기가스의 측정은 Combustion Analyzer(MRU-No.58315, 제조국 : 독일)를 연돌에 설치하여 연소효율 및 CO, CO₂, 등을 측정하였으며, B-C유와 Emulsion연료의 동일조건 연소시 유량적 차

이 비교를 위하여 연료 주입구 이전에 유량계를 설치하여 유량에 대한 비교도 실시하였다.

2-5. 실험방법

Pilot급 실험은 현장에서 사용되는 보일러를 사용하여 실험하였고, Emulsion연료의 혼합비율과 유량을 변화시켜 2차에 걸쳐 실험을 하였다. 본 실험에 사용된 Burner는 Rotary 형식의 버너를 사용하였으며, 그 외의 버너별 특징들과 필요한 점도를 정리하면 Table 1과 같다. 사용하는 연료유의 점도가 과대하면 가열하여 점도를 저하시켜야 한다. 이때 Burner의 성능상 요구되는 최저 온

Table 1. Specifications of various burner type.

Burner type	Fuel use extent	Flux adjustment extent	Atomizing angle	Viscosity of fuel (50°C)
Oil pressure	30-3000	1:1.5	40-90	25-33 12-19
Rotary	5-1000	1:5	40-80	25-50
High tension air current way	2-2000	1:10	30	50-90 50-130
Low pressure air way	2-3000	1:5	30-60	25-90

Table 2. Mixing ratio of emulsion fuel.

		Mixing ratio		
		B-Coil	Addition 1	Addition 2
Pilot plant	①	70%	Catchment of Y Co. 28%	Livestock waste water 2%
	②	70%	Waste water of Y Co. 28%	Livestock waste water 2%
	③	70%	Leachate of Y co. 28%	Livestock waste water 2%
	④	100%	-	-

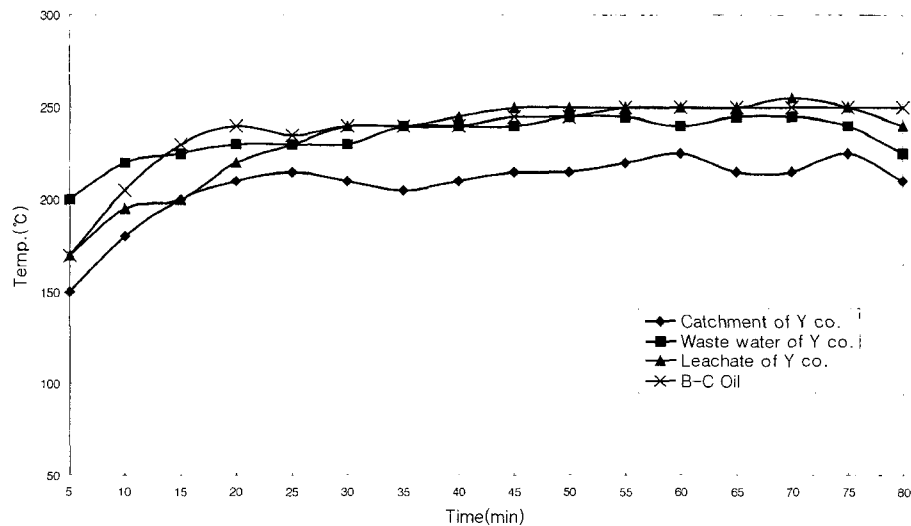


Fig. 2. Front flame temperature of boiler.

도로 하고 필요 이상의 고온으로 가열하는 것을 피해야 한다.

2-6. 실험조건

Table 2가 에멀전 연료의 혼합 조건이다. 물과 유화제 대신에 폐수(축산폐수+산업폐수+침출수)를 이용하여 B-C油, 축산폐수, 산업폐수와 침출수의 혼합비율을 변화시켜 실험하여, B-C油와 Emulsion 연료를 사용했을 시에 연소 특성 및 배기 가스 저감효과와 에너지 저감 효

율을 비교해 보았고, Emulsion 연료의 연소특성에 관한 실험적 연구를 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

실험은 로터리 형식의 보일러를 이용하여 다양한 폐수의 혼합을 시도하여 연소효율, 화염온도 등을 측정 비교하였다.

Fig. 2에서는 보일러의 앞에서 R-type의 열전대를 이

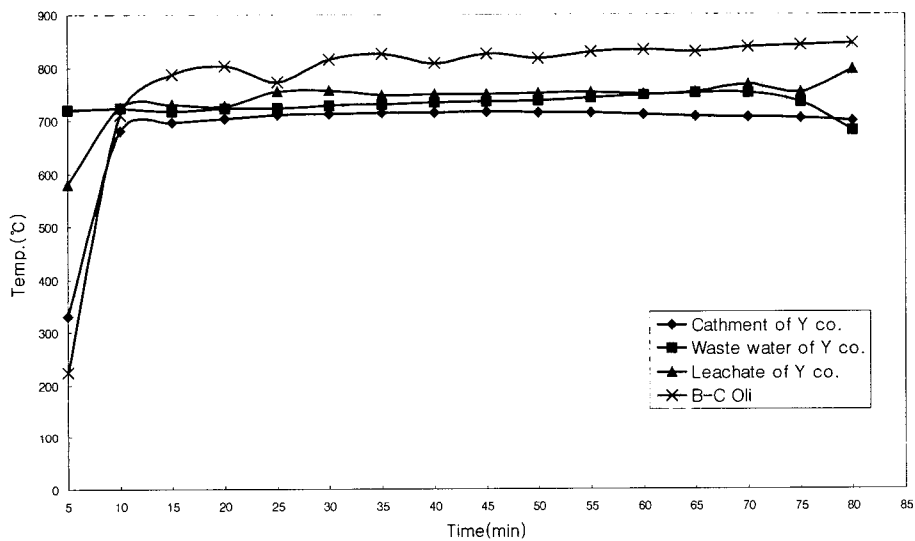


Fig. 3 Rear flame temperature of boiler.

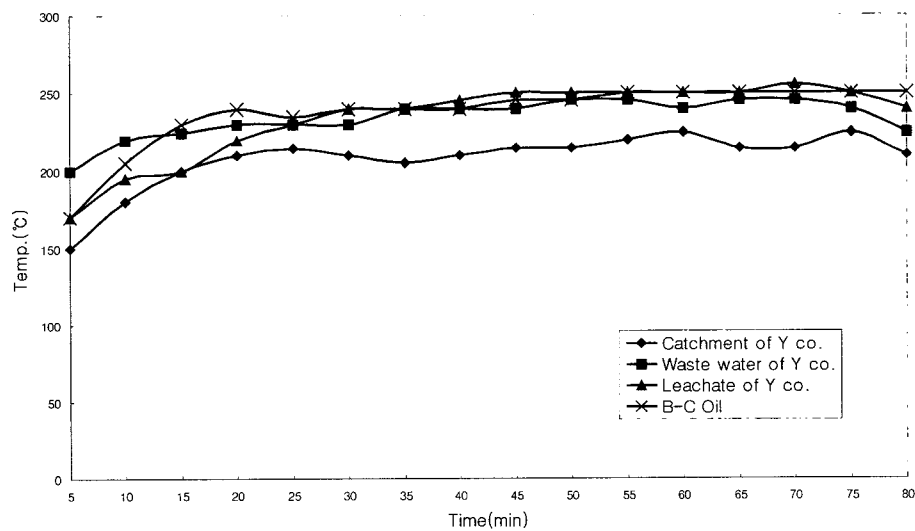


Fig. 4. Measurement of exhausted gas temperature.

용하여 화염의 온도를 측정된 결과이다. 측정결과 B-C 油 원액보다 Emulsion연료의 화염온도는 약 50°C 정도의 차이를 나타내고 있는 것을 볼 수 있다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 보일러의 뒷부분에서도 화염의 온도가 B-C油 원액보다 약 150°C 정도의 차이를 나타내고 있는 것을 볼 수 있다.

이 원인은 Emulsion 연료의 제조시 폐수 및 첨가제에 있는 수분의 잠열로 인한 열 손실로 사료된다.

Fig. 4에서는 Emulsion 연료와 B-C油의 배기가스의 온도 차이를 나타내었다. 그래프에서 보는 바와 같이 배기가스 온도의 차이는 큰 차이점을 보이고 있지는 않으나, Y사 집수조의 폐수와 혼합하여 제조한 Emulsion 연료의 배기가스온도가 낮은 이유는 다른 폐수에 비하여 수분 함량이 다른 폐수보다 높고, 폐수 자체의 발열량이 작아서 나타나는 것이라 사료된다.

Fig. 5에서는 배기가스를 연소 가스 분석기를 이용하

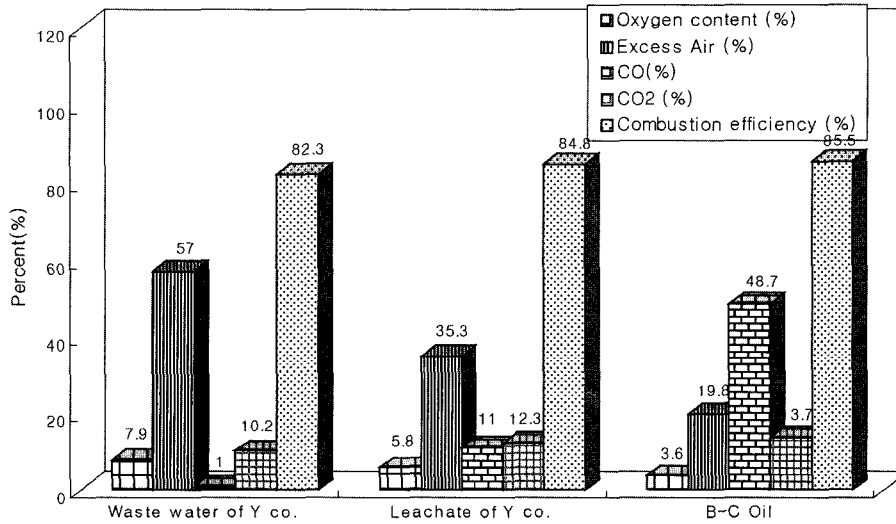


Fig. 5. Comparison of flow rate as a variation of time.

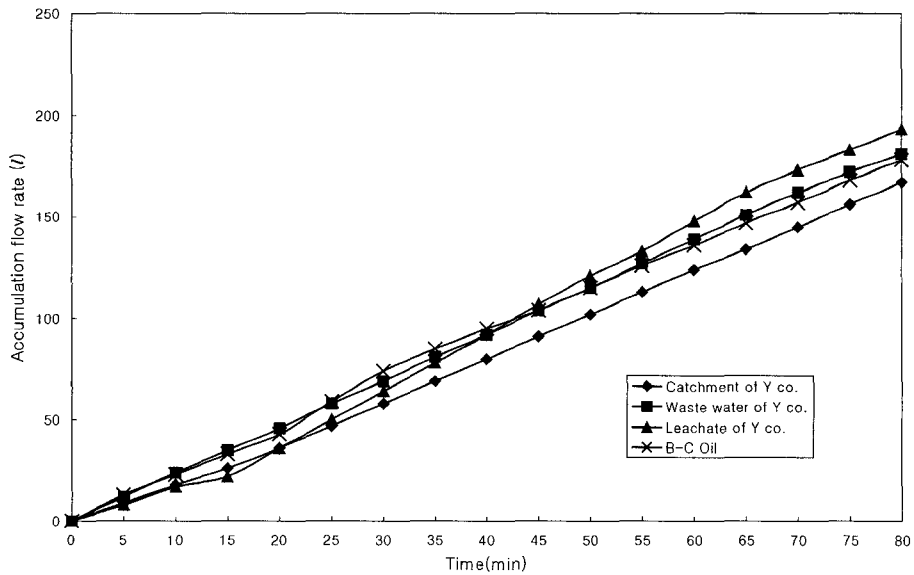


Fig. 6. Comparison of loss flow rate of experimental conditions.

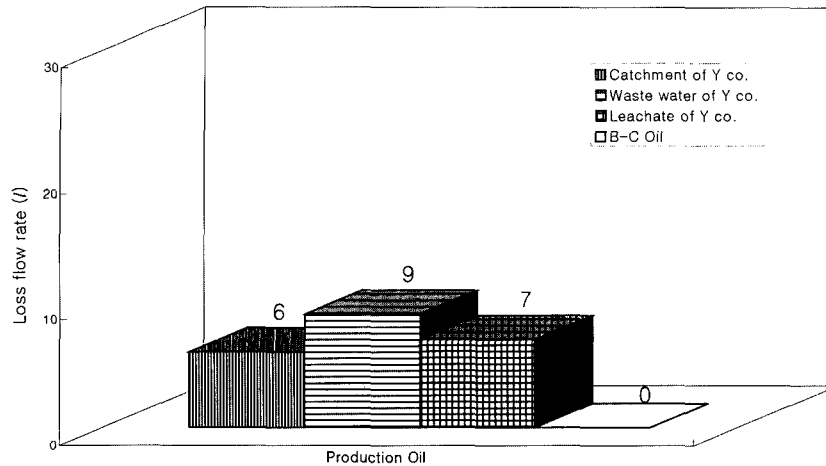


Fig. 7. Comparison of loss flow rate of experimental conditions.

여 분석하였다. 그래프에서 보는 바와 같이 연소 효율에는 큰 차이점을 보이고 있지 않다. 그러나 대기오염 물질인 CO, CO₂가 현저히 낮아지는 것을 볼 수 있으며, Emulsion 연료에 있어서 배기가스의 저감효과가 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 산소량이 Emulsion 연료의 경

우 줄어들고 있으며, 이는 B-C油 원액보다 탁월한 연소 효과를 보여주는 것이라 사료된다.

Fig. 6과 Fig. 7은 연소를 통하여 B-C油와 비교하여 손실된 유량을 나타내고 있다. Emulsion 연료와 비교하여 약 9%의 차이점을 보이지만 이는 경제성으로 비교

Table 3. Characteristics of combustion.

	Combustion time (min)	Total fuel consumption (l)	Fuel average consumption (l/min)	Max. temp. (°C)	Min. temp. (°C)	Mean temp. (°C)	Range of temp. variation
Y Co. catchment	91	194	2.13	1108	537	1066.5	50~60
Y Co. waste water	93	191	2.05	1110	897	1049.3	50~60
Y Co. leachate	80	193	2.41	1130	901	1067.9	50~60
B-C oil	90	200	2.22	1195	551	1154	50~70

Table 4. Concentration of exhausted gases

Item	Unit	Effluent quality standard (Incinerator)	Analysis result		
			Mean value	Maximum	Minimum
CO	ppm	600(12)	1.39	10.0	0
NH ₃	ppm	100	18.4	94.2	0.08
HCl	ppm	50(12)	9.9	18.3	0.99
SOx	ppm	300(12)	249.7	274	191
NOx	ppm	200	496.6	622	289
H ₂ S	ppm	15	N.D	N.D	N.D
C ₆ H ₆ compound	ppm	50	N.D	N.D	N.D
Dust	mg/m ³	100(12)	139.5	188	112
Smoke	Degree	2	1.5	2	1

하여 볼 때 Emulsion 연료의 높은 우수성을 나타내어 주고 있다.

Table 3에서는 각각의 그래프를 종합하여 비교하는 바와 같이 Emulsion 연료의 우수성은 Pilot급 실험을 통하여도 입증되어 있다고 사료된다.

Table 4는 혼합물 연소 시 배출가스 농도를 나타내며 측정위치는 보일러 덕트 후단 연돌 입구였으며 10회 측정된 결과를 나타내고 있다. 또한 배출허용기준은 소각 시설 또는 소각 보일러의 기준을 적용하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 B-C유, 축산폐수, 산업폐수를 일정한 비율로 혼합한 Emulsion 연료를 제조하고, Emulsion 연료의 연소특성을 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 화염면의 온도측정(Front Temp., Rear Temp.)을 실시한 결과, 연소가스의 온도는 Emulsion 연료가 B-C油보다 물의 증발열에 상당하는 100°C 정도가 낮아지지만, CO와 CO₂ 등 대기오염물질은 감소하였다.

2. 연소효율은 B-C油가 85.5%, 폐수 Emulsion 연료는 약 82.3%, 침출수를 이용한 Emulsion 연료의 경우는 약 84.8%의 연소효율을 보이고 있어 연소효율의 차이는 3% 이내로 차이가 거의 없었다. 그러므로 대체 연료로 사용하는데 큰 무리가 없을 것으로 사료되며 연료비 절약의 효과가 기대된다.

3. 혼합물 연소 시 연소에 적합한 저 NO_x형 버너의 선정과 NO_x 발생을 저감시키기 위한 운전기술이나 방지시설이 필요하며 또한 집진 장치 또한 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구에 실험 기기 및 장치를 제공한 삼록환경에너지(주) 이정한 사장님과 실험에 협조한 대학원생인 배찬

열, 이천호, 윤경호씨에게 감사 드립니다.

참고문헌

1. 水谷宰夫: 연소공학, 동화기술, pp. 21-72 (2000).
2. 정진도 외 3인: CWM 연료의 연소 및 환경 특성연구, 충남대학교 산업기술연구소, pp. 111-120 (1995).
3. 정성식: 액적의 증발에 미치는 수증기 농도의 영향, 한국액체미립화학회, pp. 52 (1998).
4. 윤석주: 분무특성 예측을 위한 이론적 접근과 실험적 연구, 한국액체미립화학회, pp. 15 (1998)
5. 오상현, 분무연소에 관한 실험 및 해석적 연구, 부산대학교 생산기술연구소, pp. 185-196 (1999).
6. Sumiya, F.: "Experimental Study on the Channel Effect in Emulsion Explosives", Journal of Materials Processing Technology, 85(1) (1999).
7. Matsui, K., *et al.*: Combust. and Flame, 25-1, 57 (1975).
8. Kobayashi, H., *et al.*: Sixteenth Symposium (Int.) on Combustion, The Combustion Institute pp. 411 (1977)
9. Li, H.-P.: "Investigation of Combustion Profiles in Self-propagating Combustion Synthesis", Materials Chemistry and Physics Elsevier Sequoia S.A., 49(2), 150 (1997).
10. Basu, P.: Combustion of Coal in Circulating Fluidized-bed Boilers: A Review Chemical Engineering Science Pergamon Press, 54(22), 5547 (1999).
11. Burdukov, A.P.: An Investigation of the Rheology and Dynamics of Combustion of Composite Coal-Water Slurries Thermal Engineering British Library Lending Division, etc, 44(6), 492 (1997).
12. Chambers, Ann: Coal-fired boiler optimizes combustion to meet CAA, Power engineering PennWell Pub. Co., etc, 101(4), 97 (1997).