

PE1) Fe계 나노유체 연료첨가제에 의한 NOx, Dust 저감에 관한 연구

A Study on the Fe-nanofluid Preperation as a Fuel Oil Additive for the Reduction of NOx and Dust from Combustion Facilities

김진훈 · 우제경 · 노남선 · 김동찬 · R.D. Kaushik · 장용철¹⁾ · 이영서²⁾
한국에너지기술연구원, ¹⁾충남대학교, ²⁾테크노바이오

1. 서 론

연료의 연소시 NOx, Dust는 상당량이 발생되고 있으며 연소조건에 의해 발생량에 차이를 보인다. 보일러 등의 고정발생원 연소설비에서 NOx의 저감은 저NOx 버너, 단계적 연소와 같은 저NOx 연소기술과 SNCR, SCR 등의 연소배가스 처리기술(Post-combustion gas treatment) 기술이 많이 적용되고 있다. 중질유 연소시 Dust의 발생이 증가함은, 중질유 중의 아스팔텐분의 응집에 의한 슬러지 형성으로 버너 분무시 미립화 장애와 잔류탄소분의 연소속도 저하로 인하여 미연탄소분이 증가하기 때문이다.

본 연구에서는 Fe계 산화철 나노입자를 제조, 유기용매에 분산시켜 유체(nanofluid)화 하고, 이를 연료유에 미량 혼합하여 연소함으로써 NOx, Dust를 저감하는 데 목적이 있다. 따라서 Fe계 나노입자의 제조실험과 나노입자를 오일에 분산시켜 장시간 저장시에도 입자의 침전이 발생하지 않도록 하기 위한 나노유체의 제조실험 그리고 제조한 나노유체의 NOx/Dust 저감을 위한 연소실험이 수행되었다.

2. 실험 방법

2.1 나노유체의 제조

공정 부산물로 발생하는 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 로부터 나노입자의 산화철을 얻었다. $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 와 NaOH 수용액을 혼합하여 알카리도를 조절한 다음 산화제로 과산화수소를 첨가하여 $Fe(OH)_2$, $Fe(OH)_3$, Fe_2O_3 , Fe_3O_4 의 나노입자를 제조하였다. 나노입자는 입자간 잘 응집이 되고, 또한 산화철 입자는 친수성으로서 오일과의 친화성이 적으므로 오일과 혼합시 분산안정성이 떨어져 입자가 쉽게 침전되는 현상을 보인다. 따라서 소수성의 입자를 오레인산으로 표면개질하여 오일과 혼합시 분산안정성이 잘 유지되어 장기간 저장시 침전현상이 없도록 하였다.

2.2 NOx, Dust저감 연소실험

연소실험장치는 증기발생 용량 0.2T/H의 연소 연관식 보일러이고, 사용연료로 유황분 0.3%의 중유를 연소하였다. 보일러의 연소조건을 일정하게 유지하기 위하여 보일러 부하율, 과잉공기비 등 일정하게 운전하였다. 그리고 나노유체 연료첨가제의 증유에 대한 첨가량은 Fe 기준 30ppm에서부터 1,500ppm을 첨가하여 첨가량에 따른 NOx, Dust 발생량을 비교하였다.

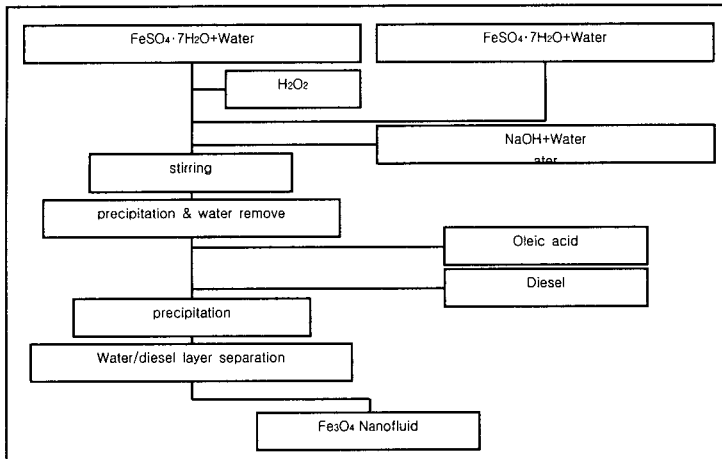


Fig. 1. Schematic diagram of experimental procedure for Fe-nanofluid preparation.

3. 결과 및 고찰

3.1 나노유체(nanofluids)의 제조

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 로부터 Fe계 나노입자를 제조하여 입경분포 측정 결과를 그림 2와 그림 3에 각각 나타냈다. 입자의 입경은 대체적으로 30nm 내외이었고 나노입자 간에 잘 응집되는 현상을 보였다. 나노유체의 제조는 나노입자를 올레인산으로 표면개질하고 일정비율로 경유와 혼합하여 나노유체를 제조하였다. 나노유체의 제조시 입자의 입경 및 분산안정성은 제조과정의 합성온도, pH가 중요한 변수로 작용하였다.

나노유체 제조시 FeO, Fe_2O_3 , Fe_3O_4 입자는 침전현상이 나타났으나 $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_2 \cdot \text{Fe}(\text{OH})_3$ 입자는 나노유체를 제조하여 장시간 저장시에도 입자의 침전현상이 나타나지 않았다.

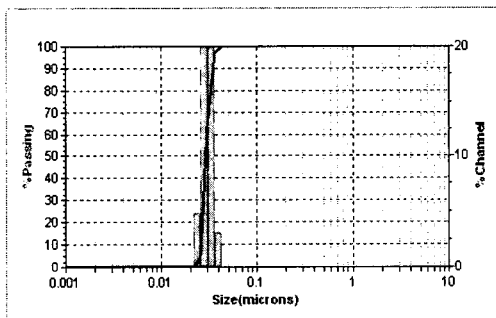


Fig. 2. Particle size analysis of $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

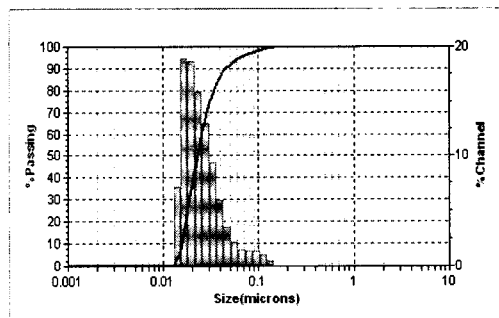


Fig. 3. Particle size analysis of Fe_3O_4 .

3.2 NOx/Dust 저감효과

Fe-나노유체를 연료유(중유)에 미량 첨가하여 연소시의 NOx, Dust 저감효과를 그림 4와 표 1에 표시하였다. Fe-나노유체를 Fe 기준으로 30ppm 첨가시 Dust 저감율은 무첨가시에 비하여 48.5% 저감, 100ppm 첨가시엔 53.3% 저감율을 나타냈으며, 그 이상 첨가시엔 Dust 저감에 효과가 없었다. Dust 저감 기구는 Fe 성분이 산화촉매로서의 역할을 함으로서 카본과의 산화반응을 촉진하고, 따라서 연소과정에서 발생하는 미연탄소분이 크게 감소함에 기인되는 것으로 해석된다(Howard and Kansch, 1980).

한편 NOx 저감을 위해서는 Dust 저감에 비하여 많은 양의 나노유체 연료첨가제를 첨가해야 효과가

있었으며, Fe 1500ppm 첨가시 약 10%의 NOx 저감율을 나타냈다. Fe-나노유체의 NOx 저감기구는 산화철의 환원반응과 활성산소 흡수반응에 기인되는 것으로 해석된다(Vitali, Vladimir, and Peter, 2001). 향후 나노유체의 제조를 위한 최적화 자료의 도출과, NOx 저감 증대를 위한 실험이 지속되어야 한다.

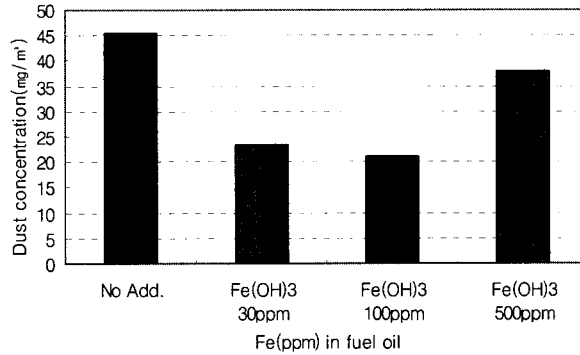


Fig. 4. Effect of Fe(OH)₃ nanofluid on Dust reduction.

Table 1. NOx and Dust reduction by Fe(OH)₃ nanofluid added to fuel oil.

Fe ppm	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO(ppm)	SO _x (ppm)	NO _x (ppm)	Dust
No Add.	4.0	12.9	2	146	211	45.4
Fe(OH) ₃ (30ppm)	4.0	12.9	2	145	210	23.4
Fe(OH) ₃ (100ppm)	4.0	12.9	0	145	210	21.2
Fe(OH) ₃ (500ppm)	4.0	12.9	0	142	203	37.7
Fe(OH) ₃ (1000ppm)	4.0	12.9	0	143	197	-

참고 문헌

- 김영삼, 강신우 (1999) 철계 자성유체를 이용한 밀봉장치 개발에 관한 연구, 한국자기학회지, 9(2), 121-126.
- Howard, J.B. and W.J. Kausch (1980) Soot control by fuel additives, Prog. Energy Combust. Sci., 6, 263-276.
- Vitali, V., M.Z. Vladimir, and M.M. Peter (2001) Effect of metal-containing additives on NO_x reduction in combustion and reburning, J of Combustion and Flame, 125, 1118-1127.