

고효율 연소촉진제 개발에 의한 중질유 연소시설의 Dust 발생 저감과 연료절감 효과 분석

김 동 찬
 한국에너지기술연구원
 책임연구원
 ☎ 042-860-3016
 dckim@kier.re.kr

1. 서론

최근 대기오염물질로 주목이 되고 있는 미세먼지, 오존(O₃), 질소산화물, 휘발성 유기화합물(VOC) 등은 시정장애와 인체 및 재산상의 직간접 피해를 크게 유발하는 원인물질로 되어 있으며, 이들 물질은 연료의 연소과정에서 다량 발생된다.

최근 유가의 상승으로 유류절약이 크게 대두되고 있는 상황에서 연소배출가스의 배출허용기준치는 점차 강화되는 추세이고 산업용 중유 보일러의 경우 Dust 발생의 저감을 위해서 대부분이 Multi-Cyclone이 설치되어 있다. 한편 강화되는 배출허용기준치 이하로 유지하기 위해서 추가로 방지시설을 설치해야 하는 경우 설치비의 부담과 전력 등 운전유지비가 따르고 보일러 등의 연소설비가 설치되어 있는 건물의 구조상 집진시설을 설치하는 데 협소한 경우도 있다. 또한 집진시설을 설치함으로써 보일러 노내의 연소상태가 나빠져 완전연소를 저해하여 보일러의 열효율을 감소하기도 한다.

따라서 환경적, 경제적 면에서 가장 바람직한 것은 연소로 내에서 연료의 연소효율을 높여 Dust 발생을 최소화함이 필요하다.

중질유 연소시 연료첨가제(Fuel Additive)에 의해

먼지(Dust), NO_x의 저감과 연료절감에 기여할 수 있으나 연료첨가제로서의 조건을 충족하기 위해서는 유용성으로서 저감성능이 우수해야하고, 연소생성물에 유해성이 없어야하며, 가격조건이 저렴해야 한다. 본고에서는 차세대 핵심환경기술개발 과제 수행으로 고효율의 연소촉진제(Combustion Improver)를 개발하여 Dust 저감효과를 크게 할 수 있었으며, 이를 중심으로 기술한다.

2. 중질유의 성상과 Dust 발생특성

중유의 성분은 탄소 84~87%, 수소 10~12%, 유황분 0.3~4%, 산소 1~1.8%, 질소 0.3~1%, 회분 0.02~0.1%를 포함한다.

그리고 발열량은 10,000~11,000kcal/kg이며, 중유의 비중은 0.9~1.0로서 비중이 크면 C/H비가 크고 중량당의 발열량은 적다. 연료의 조성을 말하는 경우 액체연료에서는 통상 구성원소로 표시하나 중유는 매우 복잡한 탄화수소의 혼합물로서 유동성, 안정성과 관련된 성분분자의 구조가 중요하다. 즉 중유는 아스팔텐, Resin, 유질(油質), 왁스분으로 분류하며 이들 성분의 구성에 따라 연소성에 영향을 미치고 Dust의 발생에 영향을 가져온다.

중질유 중의 아스팔텐분은 1-7wt.%로서 아스팔텐

이 중질유 연소시 Dust 발생의 주요 요인으로 작용한다.

또한 중질유의 Dust 발생에 기여하는 물질로서 아스팔텐 외에 Wax, Resin, 유리탄소, 협잡물, 수분 등이 있으며, 특히 이들 물질의 응집현상(Flocculation)으로 슬러지를 형성하여 각종 연소장애를 일으키고 Dust 발생을 증가한다.

〈표 1〉 중유보일러 배출먼지(Dust)의 성분 예

채 취 점	성분(wt.%)					발 열 량 (Kcal/kg)
	고정탄소	휘발분	회분	수분	유황분	
Cyclone bottom	63.7	16.6	12.6	3.9	3.2	6,700
Cyclone 후단	35.5	22.2	22.4	12.0	7.9	5,200

〈표 2〉 중질유 연료첨가제의 사용목적에 따른 분류

Class I Fuel-Handling Additives	Class II Combustion Additives	Class III Post-Flame Treatment Additives
<ul style="list-style-type: none"> - 슬러지 분산제(Dispersant) - 슬러지의 생성방지 및 분산 - Flow Improver - 산화방지제 	<ul style="list-style-type: none"> - 연소촉진제 - 스모크 또는 Dust 저감 - CO, HC, Polycyclic Organic matter - 산소공급제(Oxygenate) 	<ul style="list-style-type: none"> - Soot 제거제(heattransfersurfaces) - Slaggig/Fouling 방지제 - 전기집진기의 PM제거율 향상제

그리고 연료첨가제에 의한 Dust 저감 기능을 〈표 3〉에 정리하였다.

연소촉진제로서의 유기금속화합물(Oil soluble organometallic compounds)은 Active material인

3. 연료첨가제의 분류 및 Dust 저감 특성

중질유 연료첨가제를 사용목적에 따라 분류하면 〈표 2〉에 표시한 바와 같이

- 1) 연료처리 첨가제(Fuel Handling Additive)
- 2) 연소촉진제(Combustion Additive or Combustion Improver)
- 3) 연소 후처리 첨가제(Post-Flame Treatment Additive)로 분류된다

또한 연료첨가제의 형태에 따라 분류하면

- 1) 유기성 화합물 (Organic Compounds)
- 2) 무기성 화합물(Inorganic Compounds)
- 3) 유용성 유기금속화합물(Oil Soluble Organometallic Compounds)로 구분된다.

metal 부분과 유기용매(Organic ligands)로 구성되어 있다. 연소촉진에 의한 Dust 저감능능은 Active material의 작용이 중요하고, 유기 리간드(Organic ligands)에 따라서도 차이가 있는 것으로 분석된다.

〈표 3〉 중질유 연소시 연료첨가제(Fuel Additive)에 의한 Dust발생 저감

항 목	연료 첨가제 예	역할 (효과)
1) 분산제에 의한 아스팔텐, 슬러지의 분산	음이온 계면활성제 비이온 계면활성제	<ul style="list-style-type: none"> - 슬러지의 분산, 생성억제 - 연료유의 점도 및 표면장력 감소 - 버너 분사시 미립화, 균질화
2) 연소촉진제의 의한 아스팔텐 Cokes분의 연소 촉진	유용성 유기금속화합물 - Active material : Ca, Mg, Ba등의 alkaline-earth metal 또는 Fe, Mn, Ce 등의 전이금속 - Organic Structure :	<ul style="list-style-type: none"> - 이온화 메커니즘에 의한 Flame 내 Dust의 응집방지 및 연소반응 촉진 - 산소와의 반응성 촉진(산화촉매 작용) - 매연 생성반응(탈수소, 중축합)의 억제
3) *Oxygenate(산소공급제)	알콜, 케톤류	- 연소장내 산소 공급에 의한 연소촉진
4) 연료첨가제 중의 저비점 물질의 증발에 의한 미세폭발현상		- 저비점 물질의 증발에 의한 Microexplosion현상으로 연소효율 증대

* Diesel내에 산소 1wt% 증가시 PM 10% 감소 효과가 있음

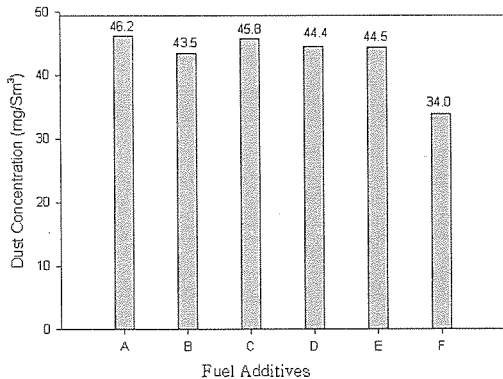


4. Dust 저감효과 실험결과

■ 연소실험은 0.2 T/H 실험용 보일러(유황분 1% 중유 연소)에서 수행하였고, 1.5T/H 실험용 보일러(유황분 0.3% 중유 사용)를 통하여 사용 보일러의 용량 증대에 따른 영향도 살펴보았다.

■ 국내 상용 연료첨가제의 Dust 저감효과

[그림 1]에서 A는 중유만을 연소하는 경우 즉 No Additive의 경우이고, 연료첨가제 B~F는 국내 상용 연료첨가제를 중유량의 1/1000 첨가시의 Dust 저감효과를 각각 나타낸다. [그림 1]에서 F는 Dust 저감효과가 26.4%로 가장 높게 나타났으나 기타의 연료첨가제는 Dust 저감효과가 낮게 나타나고 있다. 이와 같이 Dust 저감효과가 낮게 나타나는 것은 연료첨가제가 대부분 유기성의 분산제 역할을 주로 하고 연소촉진제로서의 작용이 적은 데 기인되는 것으로 해석된다.

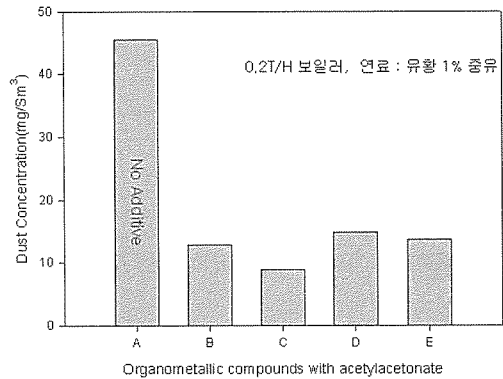


[그림 1] 국내 상용 연료첨가제(B~F)의 Dust 저감 실험결과

■ 연소촉진제에 의한 Dust 저감 효과

본 연구를 통하여 개발한 연소촉진제에 의한 Dust 저감 실험결과를 [그림 2]에 나타냈다. A는 연료첨가제를 첨가하지 않은 경우이고, B~E는 본 연구에서 Dust 저감성능이 우수하게 나타난 연소촉진제로서 액체상태의 유용성 유기금속화합물류를 주성분으로 한다. 각각의 첨가량은 Active material 기준 약 30ppm으로서 중유량의 1/1000~1/2000 첨가

한 것으로 볼 수 있다. 대상 연소촉진제 중 B, C는 연소생성물이 환경 친화적이고, 가격이 저렴하며, Dust 저감율이 50%~70%로 크게 나타났는 바 우수한 연소촉진제인 것으로 평가된다.



[그림 2] 개발대상 연소촉진제류의 Dust 저감 효과

5. 보일러 연료절감 효과

연료첨가제 사용에 의한 보일러 열효율 상승 즉 연료절감 요인을 분석하면, <표 4>에 보인 바와 같이 전열면 부착 Soot의 저감에 의한 열전달 향상, 과잉 공기비의 감소, Dust의 저감에 의한 요인으로 구분된다. 전열면 Soot 부착의 저감실험은 보일러의 연속적인 운전으로 상당기간의 실험을 요하는 바 여기에서는 본 연구 참여기업(테크노바이오)의 상용 연료첨가제를 10T/H 용량의 보일러에 6개월간 실증실험한 결과로서 연료절감 효과를 살펴본다(표 5 참조).

연료첨가제에 의한 연료절감 효과는 투입 전후의 보일러 열효율 변화에 의해 산출할 수 있다. 한편 보일러의 열효율은 부하율 등의 운전조건과 측정자에 따라라도 다소차이가 생길 수 있으므로 연료 절감을 산출은 연료첨가제 사용 전, 후의 증기발생 톤당의 연료사용량으로 비교하면 비교적 오차가 적은 것으로 평가된다.

연료첨가제 사용 전, 후의 증기발생 톤당 연료사용량을 비교하면 <표 5>에 표시한 바와 같이 사용 전 3개월간의 평균치가 71.09 /Ton인 데 비하여 사용 후는 평균 69.62 /Ton을 나타냄으로서 증기 톤당 1.47

의 연료유 절감이 되었음을 알 수 있다. 따라서 연료 으로 분석된다.
첨가제 사용에 의한 연료 절감율은 2.07%가 되는 것

〈표4〉 연료첨가제에 의한 연료절감 요인별 연료 절감율 산정

연료절감 요인	기 준	연료 절감율(%)
과잉공기비 저감 (*배가스산소농도 저감)	10% 저감 (1% 저감)	약 1%의 연료절감 (약 0.5% 연료절감)
전열면 Soot저감	Soot두께 1mm감소	약 2.8%의 연료절감
Dust 저감	150mg/Sm ³ —75mg/Sm ³ (50% 저감)	약0.1%의 연료절감

*배가스 산소농도1% 감소는 과잉공기비 약 5.5% 감소

〈표 5〉 연료첨가제 사용 전, 후의 연료소모량 변화 및 연료 절감율

구 분		연료사용량 [l/월]	증발량 [Ton/월]	연료소모량 [l/Ton]
첨 가 제 사 용 전	04.11.16 ~12.15	158,600	2,252,710	70.40
	04.12.16 ~05.01.15	218,220	3,048,130	71.59
	05.01.16 ~06.02.15	217,470	3,051,120	71.28
	합 계	594,290	8,351,960	71.15
첨 가 제 사 용 후	05.11.16 ~12.15	186,780	2,665,780	70.07
	05.12.16 ~06.01.15	229,660	3,271,550	70.20
	06.01.16 ~02.15	197,840	2,884,680	69.86
	합 계	614,280	8,822,010	69.63

■증발량 [l/Ton] 생산 필요 B-C유[0.5%] 소모량 변화

사용전 [l]		사용후 [l]		연료 절감량 [l]		연료 절감율 [%]
70.40		70.07		0.33		0.47
71.59	➡	70.20	➡	1.39	➡	1.94
71.28		68.58		2.70		3.79
71.09		69.62		1.47		2.07

6. 결 론

본 연구를 통하여 개발한 연소촉진제는 연소촉진 성능이 우수하여 중질유 연소시 Dust저감율이 50~70%로 크게 나타났다. 그리고 보일러 전열면의 Soot 부착감소에 의한 열전달 향상과 과잉공기비의

감소에 의해 연료절감 효과를 기할 수 있는 것으로 분석된다.

★ 감사의 글

본 연구는 환경부의 차세대핵심환경기술개발사업으로 지원받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.