

## Polyvinyl Alcohol-계면활성제를 이용한 저탄장내 비산먼지 저감

강현석<sup>†</sup> · 황진승 · 유원영

중부발전 보령화력본부 환경관리팀

(2007년 10월 11일 접수, 2007년 12월 10일 채택)

## A Decrease of Fugitive Dust on Coal Storage Pile by Treating Polyvinyl Alcohol-surfactant

Hyun-Seok Kang<sup>†</sup> · Jin-Seang Hwang · Won-Young Yoo

Environmental Management Team, General Administration Office  
Boryeong Thermal Power Site Division, Korea Midland Power Company Co., Ltd.

### 1. 서 론

전 세계적으로 에너지 수요가 폭발적으로 증가하면서 발전시설에 대한 중요도와 관심이 높아지고 있다. 특히, 국내산업이 1980년대를 기점으로 에너지 다소요 산업으로 발전하면서 최근 수년간 우리나라의 전력 수요 성장률은 매년 10%를 넘어서는 급신장 추세를 보이면서 기저부하를 담당할 신규 석탄화력 발전소의 건설 및 운영효율화에 각 발전회사의 사활이 걸려 있다. 이중에서도 보령화력 발전소는 국내 최대의 화력 발전소로서 국내 에너지 사업에 중추적인 역할을 담당하고 있다. 하지만 이러한 화력발전소의 신규건설 및 발전용량 증대는 발전소 주변 지역의 대기질 문제를 야기시켜 지역주민들과 발전소 사이에 마찰을 초래하는 사례가 빈번해 지면서 발전설비의 안정적 운영 및 신규 건설에 지장을 주기도 한다.<sup>1)</sup> 그중에서도 가장 빈번한 민원사례는 저탄장에서 발전연료인 석탄을 장기 저탄하면서 생기는 비산먼지 관련 문제이다.

화력 발전소에서의 비산 먼지는 저탄시설에서 날리는 석탄분진과 회처리장에서 날리는 비산회로 크게 구분되는데, 이들은 방풍망, 방풍림식재, 살수설비 설치등으로 대부분 차단되지만 미량의 성분이 주변지역으로 비산되거나 돌풍에 의해 발생된 비산먼지는 1차적, 2차적 문제를 일으킬 수 있다.<sup>2)</sup> 불완전한 비산 먼지제어는 작업효율의 급감과 현장내 작업자들의 호흡기 장애등 직업병을 일으킬 소지가 있으며, 작업환경 악화의 원인이 되기도 한다.<sup>3)</sup> 또한, 장관식등의 연구에 의하면 연탄공장 주변에서 비산 먼지에 의해 진폐증 환자가 발생하였다는 보고도 있어 심각성을 더해주고 있다.<sup>4)</sup>

기존 비산먼지 발생 후 대책으로는 그 저감효과가 한계치에 이르렀고 위의 문제를 해결하기 위해서는 발생 전 저감능력을 극대화 시키는 것에 초점을 맞추어야 한다. 기존 발생

전 저감대책이 수분사(Water Spray System) 방식이었던 것에 반해 Dumm 등의 연구에 의하면 계면활성제를 적용한 Water Spray System 방식은 분진입자 표면의 계질을 변화시켜 물을 분사시킬 경우보다 입자간의 반응성을 향상시켜 분진 비산을 감소함으로써 산업재해병의 직접적인 원인이 되는 5 μm 이하 분진먼지 억제에 보다 효과적일 것으로 예상했다.<sup>5)</sup>

계면활성제가 추가되어 액적 정전하의 크기를 현격하게 변화시키는 요인은 계면활성제의 종류와 농도에 대한 함수인 것으로 Polat 등의 연구로 밝혀졌다.<sup>6)</sup> 이것은 기존의 비산먼지 저감효과가 분진의 입자크기와 풍향과 관계에 중점을 두었던 것<sup>7)</sup>과 큰 차이를 보인다. 현재 저탄설비에서 석탄을 입자단위별로 구별하여 분진먼지 관리를 하기에는 현실적 어려움이 있다.

따라서 입자단위와 무관하게 비산저감효과가 탁월한 계면활성제를 선택하여 그 저감효과를 극대화시키는 농도를 찾는 것이 최선의 현실적 대안이라 할 수 있다. 이에 대한 기초연구는 1973년 Fujii의 연구를 통해 재래식의 살수로는 15일간 비산 억제가 가능했으나 특수 유화제 등을 사용함으로써 25일에서 35일간 비산억제 하였다는 결과로 검증된 봐 있다.<sup>8)</sup>

본 연구에서는 비산 먼지에 탁월한 효과가 있다고 검증받은 Polyvinyl alcohol-계면 활성제를 사용하여 각 농도별로 석탄에 분무 한 후, 특정 저탄기간을 거쳐 풍향조건별로 비산되는 먼지양을 측정하여 계면활성제가 최적의 발생저감효과를 보이는 환경조건을 밝혀내고자 한다. 이를 통해 발전소 저탄장의 평균 저탄기간에 가장 적합한 농도를 적용함으로써 분진먼지를 최소화 할 수 있을 것이다. 또한, 이러한 비산방지제가 환경에 미치는 영향을 알아보기 위해 각종 물리화학적 기초특성에 관한 실험을 통해 토양환경에 미칠 수 있는 영향에 대해서도 연구해 보았다.

### 2. 실험방법

비산방지제가 화력발전소의 출력에 미치는 영향 및 토양

<sup>†</sup> Corresponding author

E-mail: pharaoh9@naver.com

Tel: 041-930-2242

Fax: 041-930-2248

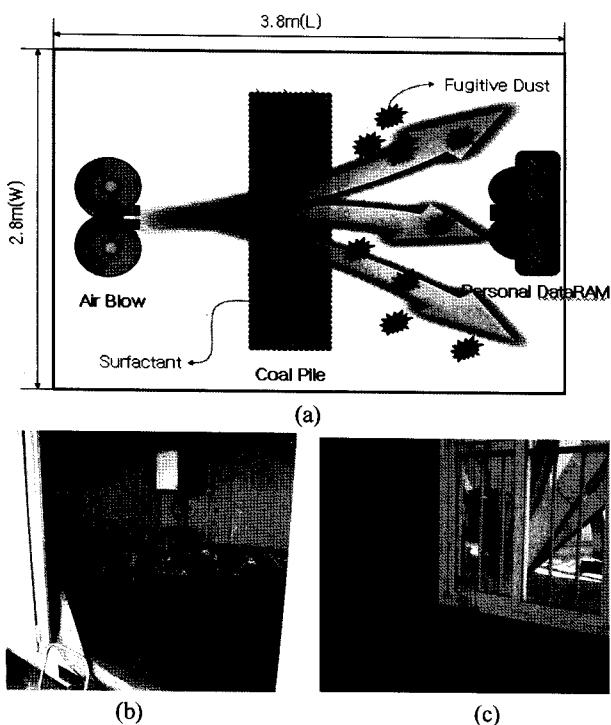


Fig. 1. (a) Experimental set-up, (b) Air blowers, (c) A measuring instrument for fugitive dust(Personal DataRAM).

Table 1. Characters of Kideco-coal

Name	The place of origin	Total water	Characteristic water	Ash	Fixed water
Kideco	Indonesia	20.2%	13.98%	2.65%	45.58%

환경에 악영향을 미칠 수 있는 성분을 가졌는지를 검토하기 위해 Polyvinyl alcohol-계면 활성제의 물리화학적 특성을 12개 항목에(외관, 주성분, pH, 점도, 비중, 고형분, 표면장력, 발포력, 산기, 수산기기, LC<sub>50</sub>, BOD-28) 대하여 실험하였다.

또한 저탄기간 및 풍속에 따른 최적의 비산저감효율을 가진 계면활성제 농도를 Fig. 1과 같은 실험방법을 이용하였다.

야적장을 1/1800로 축소한 4개의 콘테이너박스[3.8 m(L)\*2.8 m(W)\*2.77 m(H)]에 Kideco(Table 1 참고)탄을 각각 400 kg 야적한 후 석탄 1톤당 약품 0.03 L, 0.04 L, 0.05 L로 농도별 구분하여 도포하였다.

약품처리 후 특정 저탄기간을 거친 후 풍속별로 구분하여 비산탄진량을 측정하였다. 이때, 콘테이너내 송풍기의 후단을 조작하여 0.8 m/s, 1.8 m/s, 3.6 m/s, 5.8 m/s, 7 m/s, 8.9 m/s로 풍속을 조절하였다. 보령지역 월평균 풍속은 2 m/s, 최대 월풍속이 5~6m/s이지만, 순간최대풍속은 10m/s를 초과하기 때문에 기상청 자료를<sup>9)</sup> 참고로 하여 기준을 정하였다. 저탄기간은 보령화력 평균 저탄기간을 참고로 하여 약품처리후 1, 8, 18, 29, 37일 단위로 나누어 측정하였다. 비산탄진 측정계기는 Thermo사의 Personal DataRAM를 사용하였다.

또한, 수분에 따른 탄종별 비산량 오차를 줄이기 위해 송풍기를 가동 전 먼지측정기를 이용하여 실내의 농도를 5분

간 측정하고 수분분석용 시료를 약 500 g채취해 화학분석실험을 통해 보정해주었다. 실험기간은 1주일간으로 동일조건 하에서 연속측정 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 비산방지제의 물리화학적 특성

Table 1은 Polyvinyl alcohol-계면 활성제특성 실험 결과를 보여준다. 이 유화제는 황색계통의 투명한 emulsion으로 야적된 석탄이 발전소에 유입될 시 발열량변화와 관련된 성분이 없으며, 실질적인 방지제 역할을 하는 발포력 실험에서는 거품 발생력 및 안정도가 매우 큰 것으로 판명되었다. 또한, 생태독성 시험인 LD<sub>50</sub> 및 잔류성 시험 BOD-28에서도 이상 없음이 판명되었다.

#### 3.2. 약품처리 전후의 비산먼지량 변화

비산방지 계면활성제가 실질적인 저감효과가 있는지를 알

Table 2. Characters of Polyvinyl alcohol-surfactant

Characters	Method	Result
Appearance	Visual testing	Yellow Emulsion
Main component	FT-IR	Poly Vinyl 10%
pH	pH electrode(2%), 25 °C	4.1
Viscosity	Viscosity meter, 25 °C	110 cps
Specific gravity	Specific gravity balance, 25 °C	1.030
Solid component	Heating test 115 °C, 1 hr, 30 min	14.6
Surface tension	Surface tension instrument	28.3 mN/m
Foaming capacity	KSM 2709-7.5	110 mm ↑
Acid value	Wet process	7.6 mgKOH/g
Hydroxyl value	Wet process	300 mgKOH/g
Ecotoxicological Evaluation	Daphnia magna 48 hr Static Renewal Bioassay	LC <sub>50</sub> = 251 mg/L (NO Effect Level = 137 mg/L)
Persistent Evaluation	BOD-28	53 mg/g

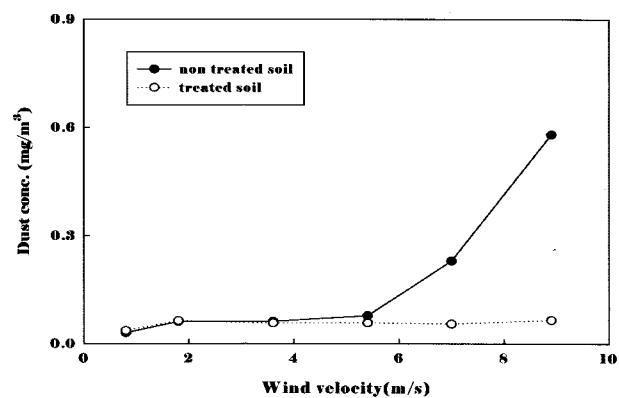


Fig. 2. Fugitive dust conc. of non treated & treated coal.

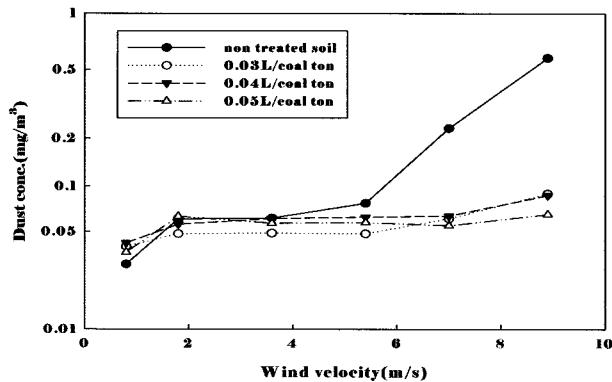


Fig. 3. Plot of fugitive dust conc. with different surfactant conc.

아보기 위해 약품 0.05 L/ton coal을 석탄에 도포한 석탄과 무처리 석탄을 8일간 저탄후 풍속별 비산먼지 발생량을 측정하였다.

Fig. 2에서 보여지듯이 측정결과 계면활성제 처리탄이 무처리 탄에 비해 비산먼지 발생저감 효과가 우수한 것을 알 수 있다. 특히 풍속 5.8 m/s 이상에서는 무처리 탄에 비해 최고 88%의 발생저감효과를 보였는데 발전소에서 발생하는 비산먼지의 대부분이 돌풍에 의한 발생이라는 점에서 비산먼지 저감 효과에서 매우 긍정적인 것으로 밝혀졌다.

### 3.3. 농도별 비산방지효과

위에서 확인된 저감효과를 극대화 시킬 수 있는 계면활성제 농도를 알아보기 위해 무처리탄, 0.3, 0.4, 0.5 L/coal ton로 구분하여 도포한 후 8일간의 저탄기간을 거쳐 풍속별 비산먼지 발생량을 측정하였다.

Fig. 4와 같은 최대의 발생저감을 보이는 것은 0.5 L/coal ton이지만 발생량차이와 경제성을 고려할 때 0.4 L/coal ton이 가장 이상적인 것으로 사료된다. 농도별 비산저감능력도 풍속 5.8 m/s 이상부터 무처리탄에 비해 매우 큰 효과를 보였다. Fig. 6을 비산방지제의 농도가 어떠한 페커니즘으로 효과를 나타내는지를 잘 보여준다. 약품투입량이 낮을수록 초기 풍랑에 따라 미세 분진이 날려 극미세 분진만 탄의 표면에 존재하고, 약품 투입량이 클수록 큰 입자의 탄진들이 표면에 남아 미세분진과 결합하여 분진비산능력을 저감시킴으로써 계면활성제의 비산방지효과를 극대화 하는 역할을 한다.

### 3.4. 저탄기간별 비산먼지 저감효과

위의 결과를 토대로 경제성에서 우수한 0.04와 최고의 저감효율을 보인 0.05 L/coal ton의 Polyvinyl alcohol-계면 활성제를 투여한 후 1, 8, 18, 29, 37일의 저탄기간별 풍속에 따른 비산먼지 발생량들을 측정하였다. 그 결과 Fig. 4 및 Fig. 5와 같은 발생량을 보였다. 비산방지제가 최고의 효과를 나타내는 저탄기간은 모든 농도에서 저탄 초기이며 그 이후 장기저탄시 비산방지제가 진조되면서 그 효과가 떨어지는 결과를 보였다. 하지만 0.05 L/coal ton로 처리 후 저탄

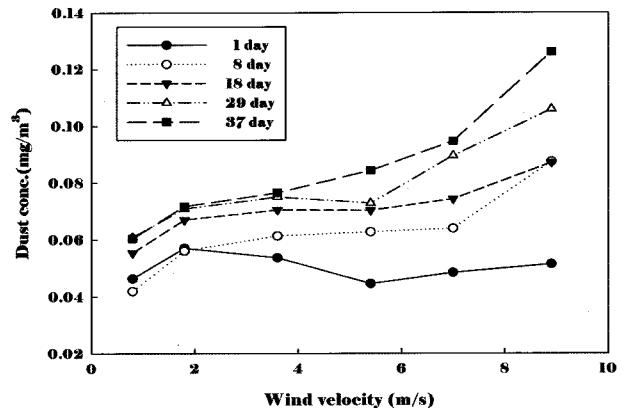


Fig. 4. Fugitive dust conc. depending on depot-days with treated coal(0.04 L/coal ton).

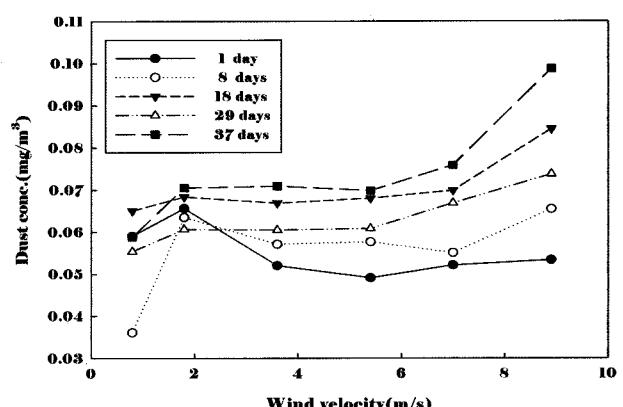


Fig. 5. Fugitive dust conc. depending on depot-days with treated coal(0.05 L/coal ton).

Table 3. Comparison of Fugitive dust concentration, depending on a period of depoting a treated coal

Dust concentratoin	Coal type	A period of depoting a treated coal				
		1 day	8 days	18 days	29 days	37 days
Non treatment coal( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Kideco	77	76	122	93	113
Treatment coal( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		49	57	67	60	69
A percentage of reducing fugitive dust(%)		36	25	45	37	39

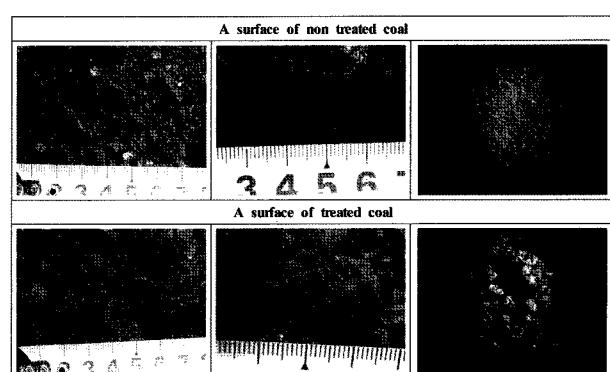


Fig. 6. A surface of non treated & treated Coal.

기간별 비산먼지 발생효율을(풍속 5.8 m/s) 나타낸 Table 3에서 보이듯이 모든 저탄기간에서 35% 이상의 안정적인 발생저감효과를 보임으로 발생소의 장기저탄시 비산방지에 계면 활성제가 효과적임을 알 수 있다. 또한, 이를 통해 18일의 저탄기간에서 최고 45%의 발생저감효과를 보임을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 논문에서 Polyvinyl alcohol-계면 활성제를 저탄에 분무함으로써 저탄기간에 관계없이 비산탄진 발생량이 평균 35% 이상 감소됨을 확인하였다.

특히, 0.05 L/coal ton의 농도로 처리된 석탄을 18일간의 저탄기간을 거쳐 풍속 5.8 m/s의 바람이 불 때 무처리탄에 비해 최고 45%의 저감효율을 보임을 알 수 있었고, 풍속 5.8 m/s 이상에서는 더욱 더 큰 저감효율을(최고 88%) 보였다.

기존 연구에서는 비산탄진 발생 후의 저감능력에 초점을 맞추었지만 이 연구에서는 발생 전의 저감능력을 상승시키는데 중점을 두었다는데 그 차이가 있다. 비산탄진 방지제의 경우 분진입자 표면의 계질을 변화시켜 입자간의 반응성을 향상시켜 비산능력을 감소하는 역할을 수행한다. 하지만 계면활성제의 특성상 다량의 거품을 생산하는데 이로 인해 석탄표면과 산소와의 접촉을 차단시킴으로써 장기 저탄시 또 다른 문제점인 자연발화를 저감시키므로 부수적인 역할을 기대할 수 있다. 추후 연구과제에서는 특수 유화제를 사용해 자연발화 저감 효과 및 실제 현장 적용에 필요한 설비 개발에 중점을 둘 예정이다.

#### 사 사

본 연구는 저자가 근무 중인 한국중부발전 보령화력본부의 비산먼지 관리과제중 하나임을 밝힌다. 또한, 여기서 사용된

특정 계면활성제는 현재 미국 특허를 받아 G사의 주력제품으로 판매되고 있어 구체적인 성분 미표시에 대한 양해를 바란다. 현재 보령화력본부의 저탄장에서는 위의 논문결과를 바탕으로 하여 설비를 제작, 설치함으로써 본부 주변의 대기질 향상에 크게 기여하고 있다.

#### 참 고 문 헌

- 윤명조, 이복환, 임홍재, 저탄장의 비산탄진 방지대책, 한국대기환경학회 학술대회 논문집, 1, 3~37(1988).
- 구윤서, 문운섭, 한창호, 김성태, 윤희영, 하용선, 저탄장 설비보강시 비산먼지 대기확산 영향평가 보고서, (주)에 니텍, 1~58(2000).
- 이보영, 유영호, 정용원, 김진, 인천항 고철 하역 작업시 발생하는 비산분진 억제를 위한 계면 활성제의 적용 및 기초성능 평가, 한국대기환경학회지, 17(1), 85~96(2000).
- 장관신, 김희진, 안동일, 유남수, 조동일, 김재원, 공해지구(연탄공장주변) 주민에게서 발견된 탄분 침착증 일례, 결핵 및 호흡기질환지, 34(3), 250~253(1987).
- Dumm, T.F. and Hogg, R., Particle Size Distribution of AirBorne Dust In Coal Mines, Proceedings Of The 3rd US Mine Ventilation Symposium, 510~516(1987).
- Polat, H., Hu, Q., Polat, M., and Chander, S., The Effect and Particle Charge on Dust Suppression By Wetting Agent, Proc. 6th U.S. Mine Vent. Sympo.SME, Littleton, 535~540(1993).
- 김현구, 기상조건별 비산먼지 관리체계 최적화 연구, 한국 대기환경학회지, 21(6), 573~583(2005).
- Fuju, K. T., Coal Dust Scattering Preventative, Japanese Patent, 7324, 983~987(1973).
- Korea Meterological Administration, [http://www.kma.go.kr/sfc/sfc\\_03\\_02.jsp](http://www.kma.go.kr/sfc/sfc_03_02.jsp)(2007).