

트리에틸아민 첨가에 따른 열병합발전소 전기집진장치의 집진효율 특성의 현장 평가

조완근[†] · 전옥상*

경북대학교 환경공학과 · *구미 열병합발전소

(2004년 12월 29일 접수, 2005년 3월 24일 채택)

Field Evaluation of Particulate Control Efficiency of Electrostatic Precipitator in Thermolectric Power Plant Associated with Addition of Triethyl Amine(TEA)

Wan-Kuen Jo[†] · Ok-Sang Jeon*

Department of Environmental Engineering, Kyungpook National University · *Gumi Thermolectric Power Plant

ABSTRACT : Present study was designed to evaluate the practical application of triethyl amine(TEA) injection for improving the collection efficiency of electrostatic precipitator(ESP) connected to a real operating plant. The major fuels used at the domestic power stations were bituminous coals imported from Australia, China, South Africa, and USA. Although the values of the electric resistance would be more or less different according to the type of the coals used, the unique electric resistance values of fly ash from the coals were mostly higher than $1 \times 10^{12} \Omega\text{-cm}$, and therefore, back corona problems were always expected to occur in the electrostatic precipitator. The particulates concentrations, smoke concentraions and their electric resistivity measured at the outlet of ESP, and the inspection of collection indicated that the injection of TEA improved the collection efficiency of particulate at collection plates of ESP. The electric resistance for fly ash with the injection concentration of TEA 15 ppm(Purity 99.7%) was lowered to $2.1 \times 10^{11} \Omega\text{-cm}$ after injection from $1.9 \times 10^{12} \Omega\text{-cm}$ before injection. Under this condition, the dust emission content at the stack was reduced to approximately 80%, lowering the average outlet concentrations of particulates from 70 mg/Sm^3 to 14 mg/Sm^3 .

Key Words : Collection Efficiency, Electric Resistivity, Real Plant, Bituminous Coal, Smoke, Fly Ash

요약 : 본 연구의 목적은 실제 가동 장치에 연결된 전기집진장치의 제거효율을 향상시키기 위하여 주입되는 트리에틸아민 주입 조건에 대한 실제 장치의 효능을 평가하는 것이다. 국내 발전소에서는 주로 호주, 중국, 남아프리카 및 미국에서 수입되는 비스무스 석탄을 이용하는데 비록 이러한 수입 석탄의 종류에 따라 발생하는 비산재의 전기저항도값이 다소 차이가 있지만, 석탄 연소시 배출되는 비산재의 대표적인 전기저항도값은 $1 \times 10^{12} \Omega\text{-cm}$ 큰 것으로 나타났다. 이 때문에 국내 대부분의 적기집진기 가동시 백 코로나 문제가 빈번하게 나타난 것으로 확인되었다. 전기집진장치 출구에서 직접 측정된 분진의 농도, 매연도 및 분진의 전기저항도와 집진효율을 동시에 확인한 결과에 따르면, 트리에틸아민의 주입이 전기집진장치의 집진효율을 상당량 증가시키는 것으로 확인되었다. 트리에틸아민 주입 전에 비산재의 전기저항도값이 $1.9 \times 10^{12} \Omega\text{-cm}$ 이던 것이 15 ppm(순도 99.7%) 주입시 비산재의 전기저항도값이 $2.1 \times 10^{11} \Omega\text{-cm}$ 으로 감소하였다. 이러한 조건에서 연돌에서 배출되는 분진의 배출량은 대략 80% 정도 감소율을 나타내며 농도 대비 70 mg/Sm^3 to 14 mg/Sm^3 수준이었다.

주제어 : 제거효율, 전기저항도, 실제 장치, 비스무스 석탄, 매연, 비산재

1. 서 론

도시의 주요 대기오염 문제 중에 하나는 석탄과 같은 고형 연료를 사용하는 발전소, 보일러, 시멘트, 석유화학과 같은 다양한 산업공정 등에서 배출되는 분진(particulates)이다.¹⁾ 배출된 분진은 배출원 인근지역의 대기 중 분진 농도를 증가시켜 주민들과 환경에 악영향을 미친다.²⁾ 대기질 보호를 위한 분진 배출 제어 목적으로 전기집진장치(electrostatic precipitator, ESP)가 국내·외에서 널리 이용된

다.^{1,3-5)} 그러나, ESP의 집진효율은 작동 조건에 따라 90%에서 99%까지 달라질 수 있다.^{1,4)} ESP에 있어서 분진입자의 높은 전기저항으로 인해 발생하는 백코로나 현상을 방지하여 집진기의 집진성능을 향상시킬수 있는 방법으로 화학첨가제를 이용한 배기가스조질법(Flue Gas Conditioning)이 있다.^{4,6,7)} 특히, 분진의 전기저항도는 집진효율과 관련한 주요 인자로서,⁸⁻¹¹⁾ 수증기, 암모니아, 염(salt), 산성물질 및 트리에틸아민(triethyl amine: TEA) 등이 전기저항도가 높은 분진의 전기전도도를 증대시키기 위해서 사용되는 대표적인 조질제이다.⁴⁾ 배기가스 조질의 근본적인 목적은 ESP에 있어서 분진입자의 전기저항을 집진성이 좋은 영역으로 저하시키는 데 있다. 조질 첨가제는 분진입자의 전기적 특성과 물리화학적 성질을 변화시켜 집진성을 향상 시킨다. 첨가제

[†] Corresponding author
E-mail: wkjo@knu.ac.kr
Tel: 053-950-6584

Fax: 053-950-6579

의 집진효율과 관련된 순서로는 TEA가 가장 높고, 그 다음으로 SO₃와 NH₃의 순으로 나타나는데, 이때 주입농도는 TEA가 15 ppm, SO₃와 NH₃가 25 ppm정도 요구된다.⁴⁾

국내 발전용 미분탄연소보일러에서 사용하고 있는 주 연료는 미국, 호주, 남아공, 중국 등에서 수입되는 유연탄으로서 이들 수입 유연탄은 대부분 재(Ash)의 전기저항치가 1×10¹² Ω·cm 이상으로 높아 건식저온 ESP내에서 백코로나가 발생되어 집진효율이 급격히 떨어지고 있다.¹²⁻¹⁴⁾ 국내 대부분의 발전소는 이미 10년 전에 건설되어 지금까지 운전되고 있어 건설당시 대기환경보전법의 분진 배출허용기준 250 mg/Sm³에서 50 mg/Sm³으로 강화되었고, 향후에도 더욱 강화될 예정이어서 기존 발전소 ESP 설계사양만으로는 현행 법적 분진 배출허용기준을 달성하기가 어려울 것으로 판단되어 진다. 또한 환경부의 환경정책에 따라 고유황 연료에서 저유황 연료로 대체 전환됨에 따라 재의 전기저항치는 오히려 높아져 ESP의 집진성능은 더욱 떨어지게 되었다.¹²⁻¹⁵⁾ 이러한 문제를 해결하기 위한 가장 일반적인 방법으로는 기존 ESP에 필드를 증설하는 등 몇 가지 방안이 강구될 수 있겠으나 필드 증설은 보일러를 장기간 정지 후 작업이 가능하고, 수용가 열에너지 공급 차질에 따른 경제적 손실, 과대한 투자금액 등 많은 문제점이 있어 현실적인 적용이 쉽지 않은 방안이라 할수 있겠다. 따라서, 본 연구에서는 필드증설 방안의 문제점을 극복하면서 ESP 내에서 백코로나 발생을 가장 효과적으로 억제시킬 수 있는 방법으로서 TEA 조질 첨가제 사용에 따른 ESP의 집진효율 변화 특성의 영향을 평가하였다.

2. TEA에 의한 배기가스조질

미분탄연소보일러에서 배출되는 배기가스의 조질 방법 중 TEA에 의한 조질 방법을 도입하여 이것을 조질 첨가제로 사용하고 있는 국내 발전소는 구미열병합발전소, 반월열병합발전소, 호남화력발전소이다.¹⁶⁾ 이러한 발전소에서 배기가스 조질 기작의 초기과정에서 석탄중에 함유된 유황분은 연소과정에서 대부분 SO₂로 산화되고 SO₂는 배기가스와 함께 보일러튜브와 절탄기, 공기에열기를 지나면서 냉각됨에 따라 1~2% 정도가 SO₃로 산화된다. ESP로 도입되는 배기가스중의 SO₃는 재 입자 표면에 응축되어 재의 전기저항을 낮추고 재의 ESP 집진효율을 향상시키는 작용을 한다. 그러나, 저유황탄 연소로 생성된 재중 알카리 성분이 적은 경우와 재중 SO₂가 SO₃로 전환되도록 촉매작용을 하는 성분이 적은 경우 운전조건과 보일러 연소과정의 고유특성에 따라 배기가스중의 SO₃ 농도가 불충분해져 재의 전기저항은 상승하고 ESP 집진성능은 저하하게 된다. TEA에 의한 배기가스조질은 이와 같이 배기가스 중에 SO₃가 불충분한 경우 ESP 전단 배기가스 덕트에 TEA를 적절히 주입하여 재의 전기저항을 낮추어 ESP 집진효율을 향상시킬수 있는 방법이다.¹⁴⁾ 세부적으로, 배기가스에 TEA를 주입하면 액체상태의 TEA는 125~140℃의 온도 범위에서 쉽게 증

기화되고 배기가스중의 수분(H₂O)과 결합하여 재 입자 표면에 흡착되어 표면전도성막을 형성하여 재의 전기저항을 감소시킨다. 전기저항이 정상집진 영역까지 감소된 재 입자는 집진극에 부착하여도 재 입자에 하전된 전하가 바로 빠져 나가지 않고 서서히 방출되므로 분진입자 상호간의 결합력에 의해 집진판에 분진층이 어느 정도까지 생성된 후 추타 또는 자중에 의해 호퍼로 낙하 제거되어 진다.¹⁴⁾

3. 연구 방법

3.1. 배기가스조질 첨가제의 주입위치

TEA 배기가스조질 첨가제는 ESP 입구 전단 연도내부에 주입되며(Fig. 1), 배기가스조질 효과를 극대화하기 위해서 다음과 같은 사항이 고려된다. 주입노즐의 설치 위치는 첨가제와 배기가스가 충분히 혼합될 수 있도록 ESP 입구 약 5 m 전단의 수평연도에 설치되며, 주입노즐은 운전 중에도 재의 침투로 막힘 현상을 방지할 수 있는 구조로 설계된다. 설치되는 주입노즐은 운전 중에도 쉽게 보수될 수 있는 구조이다.

3.2. 주 연료 유연탄의 전기저항치 조사

건식저온 ESP에서 재의 전기저항은 집진효율에 매우 큰 영향을 미치는 인자이다. 만약 ESP 집진성능이 떨어져 연돌분진배출농도가 육안으로도 쉽게 관찰될 정도로 지속적으로 높고, 강화된 분진배출허용기준 달성이 어려울 경우에는 문제 해결의 방안으로서 제일먼저 재의 설계전기저항치 조사가 필요하다고 판단되어 진다. ESP 집진효율에 가장 큰 영향을 미치는 것은 재 입자의 전기저항치이다.¹⁻⁴⁾ 따라서, 구미열병합발전소 ESP 집진효율 감소원인 파악을 위해서 1996년, 1997년, 1998년도 3년 동안 주 연료로 사용한 유연탄 중 재의 전기저항치가 조사되었다.

3.3. TEA 첨가와 관련한 ESP 집진효율 조사

TEA 첨가에 의한 ESP 집진효율 변화를 확인하기 위하여 집진설비상태, 전기저항도, 연돌의 분진 및 매연농도 및

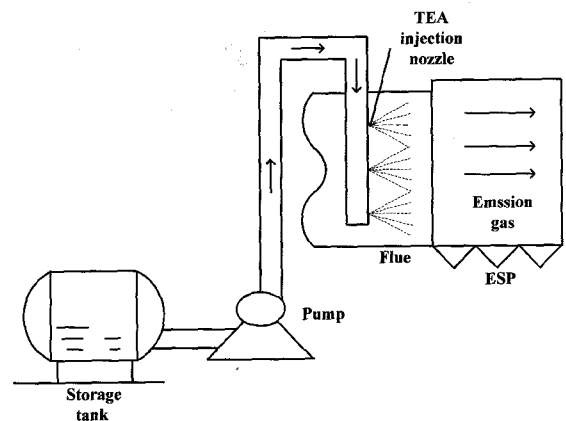


Fig. 1. The schematic diagram for emission gas flow at the power station.

가 TEA 첨가 전후로 측정되었다. ESP 집진효율 저하에는 여러 가지 원인이 있겠으나 집진설비상에 문제가 발생하여도 집진효율에 큰 영향을 미칠 수 있다고 판단하여 다음과 같은 다양한 사항에 의하여 결정되는 설비상태가 점검되었다: 집진극과 방전극의 변형유무 및 설계 극간거리 유지상태, 집진극과 방전극의 추타설비 상태, 집진극과 방전극의 표면에 재의 부착상태, ESP 호퍼 재의 이송설비 상태, ESP 입구 가이드 베인 상태 그리고 전기적인 하전설비 상태.

발전용 보일러는 터빈출력 및 수용가 증기공급 부하에 연관되어 년중 최대부하로 운전되는 경우가 대부분이다.¹⁷⁾ 이러한 경우는 대기오염방지시설인 ESP도 년중 최대부하로 운전되므로 양호한 집진효율을 달성하기 위해서는 최적의 상태에서 운전되어야 하나 과중된 운전부하와 재의 높은 전기저항은 ESP의 집진성능을 악화시켜 정상적인 방지시설 관리의 어려움과 경제적인 손실을 초래하게 되었다. 따라서, 재의 전기 저항을 감소시키기 위하여 TEA 주입을 고려하게 되었고 이에 따라 재의 전기저항에 대한 TEA의 영향을 평가하기 위해서 배기가스조질설비(TEA) 도입 전인 1997년 11월부터 1998년 5월까지와 도입 후인 1998년 9월부터 1999년 3월 까지 각각 30회씩 연돌분진배출농도가 측정되었다. 배기가스 조질제에 의한 재의 전기저항치 영향으로 인한 ESP 집진효율 변화에 대한 신뢰도를 높이기 위하여 탄종, 첨가제 주입량, 주입농도, 주입위치, ESP 운전조건, 보일러 운전조건 그리고, 분진농도측정방법 등과 같은 인자들에 대해 TEA를 주입하기 전과 후의 조건을 최대한 동일하게 하여 연돌 60 m지점(GL+60 m)에서 분진농도를 측정하였다.

배기가스 조질제로서 사용되는 TEA의 주입방법은 일정량을 정량적으로 주입할 수 있는 정량펌프(Chemical Metering Pump)에 의해 약품배관으로 이송시켜 ESP 입구전단 연도 내부에 설치된 노즐을 통하여 주입되었다. 주입된 첨가제는 약 125~140°C 정도에서 쉽게 증기화 되어 배기가스중의 재 입자에 흡착되어 ESP에서 재는 포집, 제거되었다. 첨가제의 주입량 조절을 위하여 펌프 유량조절 밸브를 이용하며, 사용된 TEA는 순도 99.7%, 주입농도는 경험적으로 결정된 15 ppm이며 주입하여 TEA의 주입전과 후의 연돌분진농도를 측정하여 비교되었다.

구미열병합발전소 발전용 미분탄연소보일러를 대상으로 보일러 설계최대 운전부하에서 TEA를 ESP 입구전단 연도 내부에 주입전과 후로 구분하여 환경공정시험법에 근거하여 연돌 분진농도와 매연을 측정하였으며, 분진농도는 표준상태(0°C, 760 mmHg)의 건조배출가스 1 Sm³중에 함유된 분진의 중량으로 표시되고 매연은 퍼센트(%) 단위로 표시되었다. 연돌분진농도를 측정하기 위하여 사용된 장비는 대기오염공정시험방법에 따른 반자동식 채취기를 사용하였다. 사용 전 실리카 섬유제 원형여과지를 건조기에 넣어 125±5°C로 연돌 배출가스온도와 동일한 조건으로 하여 1시간 이상 충분히 건조하고 데시케이터에서 실온까지 냉각하여 무게를 0.1 mg까지 정확히 단 후 여과지 홀더에 넣어 사용하였다. 분진이 포집된 여과지는 건조기에서 125±5°C로 1

시간 이상 건조하여 데시케이터에서 실온까지 냉각후 0.1 mg까지 무게를 단 후 포집 전, 후 분진농도를 중량적으로 계산하였다.

ESP 전단 연도내부에 주입된 TEA에 의한 재 입자의 전기저항치 변화를 확인하기 위해 시료채취는 TEA를 주입하기 전과 후로 구분하여 ESP 하부 호퍼에 설치된 시료채취구에서 일정량의 시료를 채취하였고, 구분된 채취시료는 자동분석장치에서 배기가스중의 수분함량 8%와 배기가스 온도 125°C를 보정후 재 입자의 전기저항치를 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 주 연료 유연탄의 전기저항치

유연탄 중 재의 전기저항치는 연도와 탄종에 따라 달랐고, 동일 탄종에서도 석탄의 채취장소인 원산지에 따라 재의 전기저항치가 서로 달랐다. 일부 예외는 있었지만 전반적으로 재의 성분중 Na₂O성분이 낮을수록 대부분의 탄종에서 전기저항치가 높았으며, 반면에 Na₂O 함유량이 높을수록 전기저항치가 낮아졌다. 특히 Na₂O성분이 0.5% 이상에서 재의 전기저항치가 1011 Ω-cm 정도로 낮았고, Na₂O성분이 0.18% 이하에서는 재의 전기저항치가 1013 Ω-cm로 매우 높았는데 이것은 Na₂O함유량에 따라 재의 전기저항치가 매우 큰 영향을 받는다는 것을 의미한다. 따라서, 1996년부터 1998년 3년 동안 사용된 석탄 중에서 재의 전기저항치가 설계 기준치 7×10¹² Ω-cm을 초과한 경우가 7개 탄종으로 35%를 차지하고 있어 ESP에서 백코로나 발생으로 집진효율이 저하를 유발할 가능성이 높았을 것으로 추정된다.^{6,8)} 이러한 결과는 TEA 주입과 같은 재의 전기저항도를 조절하기 위한 방안이 강구되어야 함을 시사한다.

4.2. TEA 첨가와 관련한 ESP 집진효율 평가

TEA 첨가에 의한 ESP 집진효율 변화를 확인하기 위하여 집진설비상태, 전기저항도, 연돌의 분진 및 매연농도 및 TEA 첨가 전후로 측정되었다. TEA 사용 전에는 집진극 표면에 두껍게 부착되어(실제 측정시 10~20 mm 정도 이었음) 있는 분진 층이 발견되었는데, 특히 분진부하(Dust Load)를 가장 많이 받는 첫 번째 필드(Field)가 가장 심하였고, 그 다음으로 두 번째와 세 번째 순으로 분진의 부착정도가 다르게 조사되었다. 이와 같이 집진극과 방전극에 부착된 재 층이 쉽게 박리되지 않고 비정상적으로 두껍게 생성되는 가장 큰 원인은 재 입자의 전기저항이 고저항에서 집진극이나 방전극에 부착시에는 강한 전기력의 힘에 의해 재가 부착함으로써 음전하를 띤 재는 일정시간이 경과된 후에도 중화되지 않고 강력한 추타(Rapping)에 의해서도 재 층의 박리가 잘 일어나지 않는 것으로 사료된다.

Table 1에서와 같이 TEA를 주입하기 전 재의 전기저항치는 1.9×10¹² Ω-cm이었으나 주입후 2.1×10¹¹ Ω-cm으로 떨어져 약 88.9% 정도의 감소현상을 보였다. 이러한 TEA에 의한 재의 전기저항 감소 메커니즘은 ESP 입구 전단 덕트

내부 배기가스흐름 통로에 분무되어지는 TEA가 재 입자에 흡착되어 표면전도성을 향상시킴으로써 전기저항치가 집진성이 좋은 영역까지 떨어져 하전전압을 높이고, 코로나전류를 안정시켜 집진효율을 향상시키기 때문으로 이해된다.⁴⁾ 재의 전기저항이 $10^{12} \Omega\text{-cm}$ 이상의 범위에서는 집진극에 부착된 먼지층으로부터 역전리 현상이 발생, 즉 양이온이 방출되어 방전극 주변의 음전하와 음전하로 대전된 먼지입자를 중화시켜 코로나전류는 급격히 증가하지만 공간전하가 감소되어 집진율이 크게 떨어진다.⁴⁾

Fig. 2는 TEA를 사용하기 전 1997년 11월부터 1998년 5월까지 측정된 연돌 배출분진농도와 TEA 주입 후 1998년 9월부터 1999년 3월까지 측정된 연돌 배출분진농도를 비교할 수 있게 한다. TEA를 사용하기 전에 측정된 연돌 배출가스의 분진평균농도는 70 mg/Sm^3 이었고, 배출허용기준 100 mg/Sm^3 이내에서도 연돌에서 가시공해를 유발할 수 있는 분진배출농도 50 mg/Sm^3 을 초과한 경우가 27회로서 전체 측정횟수의 90%를 차지하였는데 이와 같이 ESP에서 집진효율의 저하로 연돌에서 가시공해 유발 분진배출농도의 가장 큰 원인은 이 기간동안 주 연료로 사용한 유연탄 중 재 입자의 최대전기저항치가 $1.0 \times 10^{13} \Omega\text{-cm}$ 으로 높은 전기저항으로 인한 집진극에 부착된 분진 층으로부터 백코로나(Back Corona)의 발생이 가장 큰 원인이 된 것으로 판단된다.⁴⁾ 따라서, 본 조사결과를 통하여 백코로나가 건식저온 ESP에서 집진효율에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 나타나 백코로나 발생방지에 효과적인 대처 방안이 필요한 것을 의미한다.

Table 1. Electric resistivity($\Omega\text{-cm}$) of particulates collected by ESP with and without injecting TEA

Coal	Temp. of Emission gas($^{\circ}\text{C}$)	Water content of Emission gas(%)	Input Conc. of TEA (ppm)	Electric resistivity	
				Without	With
Austrialian Hunter Valley Coal	125	8.0	15	1.9×10^{12}	2.1×10^{11}

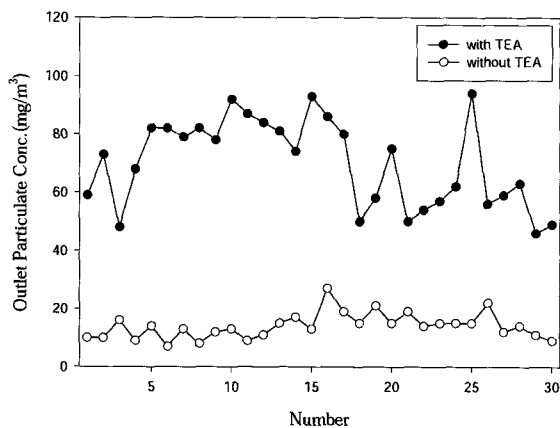


Fig. 2. Particulate concentrations(mg/Sm^3) at outlet of ESP without and with injecting TEA.

TEA를 주입한 후의 연돌분진배출가스의 평균농도는 14 mg/Sm^3 정도로 TEA를 주입하기 전 보다 대폭 감소되었고 분진배출농도 50 mg/Sm^3 을 초과한 경우도 한번도 없었다. 이와 같이 연돌에서의 분진배출농도가 감소된 가장 큰 원인은 주입된 TEA가 재 입자에 흡착되어 재 입자의 표면전도성을 향상시킴으로써 백코로나 발생이 방지되어 ESP의 집진성능을 높이기 때문으로 이해된다. 특히 주목되는 것은 TEA의 주입농도 15 ppm으로 하여 1시간 동안 주입한 결과 ESP 집진효율이 향상되어 지속되는 시간이 약 24시간 정도 유지된 후, 이 후 다시 분진배출농도가 증가되는 경향을 보인다는 것이다. 이와 같이 ESP 집진성능이 향상되어 오랜 시간동안 지속될 수 있는 메카니즘은 다음과 같을 것으로 추정되어 진다.^{4,6)} (1) 재 입자가 고저항으로 집진극과 방전극에 강하게 부착되어 추타에 의해 쉽게 박리되지 않고 시간의 경과에 따라 재 층을 점점 두껍게 생성시키고; (2) 집진극과 방전극에 두껍게 생성된 재 층은 주입된 TEA에 의해 전하(charge)를 잃고 중화되어 쉽게 자중과 추타에 의해 호퍼로 박리되어 진다; 그리고, (3) 집진극과 방전극에 두껍게 생성된 재 층이 대부분 TEA에 의해 중화되고 추타에 의해 호퍼로 박리제거 됨으로써 다시 깨끗해진 집진극과 방전극은 설계 극간거리 유지가 가능해져 코로나전류는 안정되고 하전전압이 상승되어 집진효율이 향상되기 때문으로 이해된다.

TEA를 주입하기 전과 후의 매연농도 변화는 Fig. 3에 나타난다. TEA를 주입하기 전 매연농도는 60%(3도)이었으나 TEA의 주입농도 15 ppm(순도 99.7%)으로 하여 ESP 입구 전단 연도내부 배기가스 흐름 통로에 1시간 동안 주입한 직후부터 매연농도는 20%(1도)로 떨어져 10시간 정도 지속되었고, 그 후 약간 상승하여 30% 정도에서 약 14시간 정도 지속된 후 다시 상승되는 추세를 보였다. 이와 같은 매연농도 감소변화 추세는 TEA가 ESP의 집진성능을 향상시켜 연돌분진배출농도를 감소시킨 결과로 추정된다. 특히 TEA를 1시간 주입만으로도 매연농도가 60%에서 30% 이하

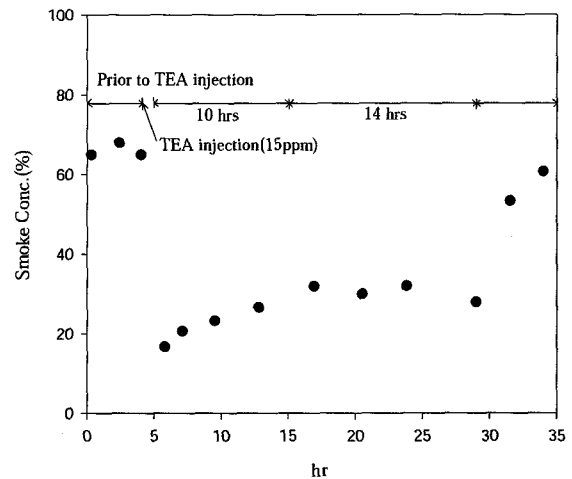


Fig. 3. Smoke concentration(%) variations measured at outlet of ESP according to operation condition by time.

로 떨어져 약 24시간 정도 지속되는 것으로 나타나 TEA를 연속 주입하지 않고 간헐 주입으로도 현행 대기환경보전법의 매연농도기준 40%(2도 이하)을 만족시킬 수 있어 경제적인 운전이 가능할 것으로 사료된다.

5. 요약 및 결론

배기가스조질 첨가제로 TEA의 사용으로 인해 집진효율이 향상되었고, 분진배출허용기준 준수가 가능해졌고, 나아가, 매연농도까지 감소되었다. TEA를 주입하기 전 연돌분진배출농도는 70 mg/Sm³이었으나, 주입 후 14 mg/Sm³ 정도로 떨어져 약 80%의 감소율을 보였다. 이때 TEA의 주입농도를 15 ppm으로 하여 1시간 동안 주입한 결과 ESP 집진효율이 향상되어 지속된 시간은 약 24시간 정도되는 것으로 나타났다. 동일 탄종에서 연소 후 재 입자의 전기 저항치는 TEA를 주입하기 전 $1.9 \times 10^{12} \Omega\text{-cm}$ 이었으나 주입 후 $2.1 \times 10^{11} \Omega\text{-cm}$ 으로 떨어져 약 88.9% 정도의 감소율을 보였는데 이것은 재 입자 표면에 흡착된 TEA가 표면전도성을 향상시킨 결과로 판단되어 진다. TEA를 주입하기 전 매연농도는 60% 정도에서 주입직후 20%까지 떨어져 10시간 정도 지속되었고, 그 후 30% 정도로 상승하여 14시간 정도 지속된 후 다시 상승하는 경향을 보였다.

참고문헌

- Varonos, A. A., Anagnostopoulos, J. S., and Bergeles, G. C., "Prediction of the cleaning efficiency of an electrostatic precipitator," *J. Electrostatics*, **55**, 111~133 (2002).
- Jedrusik, M., Swierczok, A., and Teisseyre, A., "Experimental study of fly ash precipitation in a model electrostatic precipitator with discharge electrodes of different design," *Powder Technol.*, **135**, 295~301(2003).
- Tsai, C. J., Miao, C. C., and Lu, H. C., "White smoke emission from a semiconductor manufacturing plant," *Environ. Int.*, **23**, 489~496(1997).
- U.S. Environmental protection Agency, "Air Pollution Engineering Manual," Office of Air and Water programs, research Triangle Park, N.C. 27711(1991).
- 한재균, 최금찬, "연소장치를 이용한 소형 전기집진장치의 집진효율에 관한 연구," 한국대기보전학회지, **9**, 125~131(1993).
- Schmidt, W. A. and Flodin, C. R., "Fundamental Principles, Design, Application, Performance, and Limitations of Electrical Precipitation Equipment," In: United States Conference on Air Pollution, May 3-5, 1950. Washington, D.C. L.C. McCabe, Chairman. McGraw-Hill Book Co., New York, N.Y.(1952).
- SinSang Plant Co., "Performance Calculation of Electrostatic Precipitator for Kumi Co-Gen Plant," Kumi Co-Gen Plant Coal Ultimate Analysis Report of the Coal Research Institute of Korea Coal Corporation 1998. 12(1991).
- Bai, H. and Chang, C. L., "A model to predict the system performance of an electrostatic precipitator for collecting polydisperse particles," *J. Air Waste Manage. Assoc.*, **45**, 908~916(1995).
- Riehle, C. and Löffler, F., "The effective migration rate in electrostatic precipitator," *Aerosol Sci. Technol.*, **6**, 1~14(1992).
- Zhibin, Z. and Guoquan, Z., "New model of electrostatic precipitation efficiency accounting for turbulene mixing," *J. Aerosol Sci.*, **23**, 115~121(1992).
- Zhibin, Z. and Guoquan, Z., "Investigation of the collection efficiency of an electrostatic precipitator with turbulene effects," *Aerosol Sci. Technol.*, **20**, 169~176 (1994).
- 한국산업단지공단, "구미열병합발전소 발전연보, 유연탄 탄종별 사용 현황," 한국산업단지공단(1996).
- 한국산업단지공단, "구미열병합발전소 발전연보, 유연탄 탄종별 사용 현황," 한국산업단지공단(1997).
- 한국산업단지공단, "구미열병합발전소 발전연보, 유연탄 탄종별 사용 현황," 한국산업단지공단(1998).
- 환경실무, "한국전력공사 삼천포연수원 A-I-1,"(1998).
- 전옥상, "트리에틸아민 조질 첨가제 사용에 따른 집진효율 변화특성," 경북대학교, 석사학위논문(2000).
- 화력발전소 환경종합 대책수립(II) p. 50~67(1991).