

석탄 점화용 플라즈마 연소

윤인수 | 한국남동발전(주) 기술개발실, 과장 | e-mail : yoonis@kosep.co.kr

이 글에서는 석탄화력발전소에 적용된 플라즈마 점화시스템으로 에너지 절감을 실현하고 있는 한국남동발전 삼천포화력의 사례를 소개한다. 이 점화시스템은 양극과 음극 사이에 4,000~10,000℃ 고온의 플라즈마 아크를 발생시켜 생성된 입자로 미분탄을 가열·가스화하여 석탄발전소 기동·정지 시에 점화용으로 사용되는 장치로서 기존의 저 부하에서 화염 안정용으로 사용되던 보일러 연료유도 대체가 가능한 에너지 절감기술이다.

에너지원으로서의 전기

인류문명의 발달과 함께 필요한 에너지 소비량이 점점 증가하여 이제는 수많은 에너지원 개발을 위해 다양한 연구가 진행되고 있다. 현재 우리의 일상과 가장 밀접하게 활용되는 에너지원이 전기이다. 120년 전 에디슨에 의해 전기가 일상생활에서 실용화된 후 산업발전과 함께 전기의 수요가 급증하면서 이 분야의 기술발달과 함께 오늘날의 대용량 첨단 발전소가 건설되게 되었다. 하지만 화석연료를 기반으로 생산되는 석탄 화력발전소는 지구온난화에 가장 크게 영향을 미치는 이산화탄소 배출원으로서 여러 가지의 문제점이 도출되고 있다. 우리나라도 경제개발에 편승하여 2008년 8월 1일 기준 7,138만 kW의 발전설비를 보유한 세계 10위권의 에너지 소비대국으로 성장했다. 하지만 한국이 보유한 발전설비는 원자력발전이 43%이고 화석연료를 기반으로 하는 화력설비가 37%를 차지하고 있다. 이 중 대용량 석탄보일러를 기반으로 하는 500MW 이상의 설비만 38기가 운용되고 있어 이들 화력설비의 효율적인 운영은 98.4%의 에너지를 수입하는 우리나라에서 지구온난화 문제와 더불어 중요한 이슈로 자리 잡고 있다.

대용량 석탄보일러에서의 연료유 사용 실태

지난 6월 배럴당 134달러까지 치솟던 유가가 약간 낮아 지기는 했지만 현재도 고가행진을 계속하고 있고 여기에 덩달아 석탄가격도 1.7배에 가까운 상승세를 유지하고 있어 수입 석탄을 주연료로 사용되는 석탄화력발전소의 전력 생산단가는 지속적으로 오르고 있으며 보조연료로 사용되는 경유, 등유도 만만치 않은 상태다. 따라서 이들 석탄화력 설비의 효율적인 관리가 국내 전체 에너지원의 효율성과 맞먹는다고 볼 수 있다. 또한 대단위 용량의 석탄보일러에서 사용되는 주연료는 원가면에서 저렴한 수입 역청탄을 기반으로 운영되는데 연소 효율화를 위해 덩어리 석탄을 연소 전에 미분(pulverizing)한 후 보일러에 사용한다. 이때 미분된 역청탄은 착화온도가 300~400℃ 이어서 기본적으로 점화와 초기화염 안정을 위한 예열이 필요하다. 여기에 사용되는 연료가 주로 고가의 보일러 등유, 경유 등이 있다. 이 점화를 위한 연료유 비용이 500MW 이상 대용량 석탄발전소 1회 점화 시 호기당 1억 3,000만 원 이상 되고 있어 이를 대체할 점화시스템이 필요하게 되었다. 따라서 석탄화력에서 점화 및 화염 안정용으로 유류를 대체할 수 있는 예열설비를 위해 플라즈마 점화시스템을 도입하게 되었다.

남동발전의 역청탄 전소발전소인 삼천포화력 1, 2호기(560MW)는 기동·정지 및 저부하 시 미분탄의 화염안정을 위해 호기당 연평균 6회 정도 점화용 보일러 등유를 사용하고 있었으며, 연간 8억 원 이상의 유류를 소비하고 있었다. 하지만 이제는 점화용 보조 연료유 없이 연소가 가능한 플라스마 점화 시스템으로 교체하여 에너지 소비절감 효과를 톡톡히 보고 있다.

● 플라스마 점화시스템은 공기를 이온화시키고 4,000~10,000℃ 고온의 플라스마 입자를 발생시켜 화력발전소용 보조연료로 사용되는 연료유를 대체하는 기술로 저렴한 석탄 연료만으로 연소를 가능케 하는 설비이다.

석탄연료 점화용 플라스마 점화시스템

플라스마는 이온화된 상태의 기체이다. 기체에 열을 충분히 가하면 원자들 간의 충돌로 인해 많은 수의 전자들이 원자핵의 구속에서 벗어나게 되는데 이것이 플라스마이다.

‘플라스마’라는 용어는 1928년에 미국 GE(General Electric)사의 물리학자였던 Langmuir가 기체방전을 연

구하면서 처음으로 사용하기 시작했다. 이때 중성원자의 유무는 상관없으나 중성원자의 밀도에 따라 구분하여 전리도가 (전리도) $< 10^{-4}$ 인 경우를 약전리 플라스마, (전리도) $> 10^{-4}$ 는 강전리 플라스마로, 거의 대부분의 원자가 전리된 경우를 완전전리 플라스마로 크게 분류한다. 이들 플라스마 속에는 전기적으로 중성인 원자들뿐만 아니라 고온 기체와는 달리 서로 반대의 전하를 띤 입자들, 즉 전자와 원자핵이 뒤섞여 존재한다. 따라서 전체적으로는 중성이지만 국부적으로 이온과 전자 사이의 전하 분리에 의해 전기장이 생성되는데 이때 발생하는 고온의 열적 특성을 이용하여 화력발전소에서 점화나 저 부하 시에 사용되는 연료유를 대신하여 연소를 할 수 있도록 개발된 것이 화력발전소용 플라스마 점화시스템이다.

그러므로 석탄발전소 기동·정지 및 저출력 연소 시 화염안정을 위하여 사용 중인 등유나 경유 대신에 플라스마 발생장치(plasma generator)로 공기를 이온화시키고 4,000~10,000℃ 고온의 플라스마 입자를 발생시켜 연료유를 전혀 사용하지 않고 상대적으로 저렴한 석탄연료만으로 연소가 가능케 한다.

시스템 구성을 보면 그림 1에서 기존의 석탄 연소버너에 부가장치로서 플라스마 발생기를 추가로 설치하고 이곳에 그림 2의 개조된 버너에 연소용 1차 공기와 화염안정용 2차 공기를 공급하여 발생하는 고온의 플라스마로 미분탄

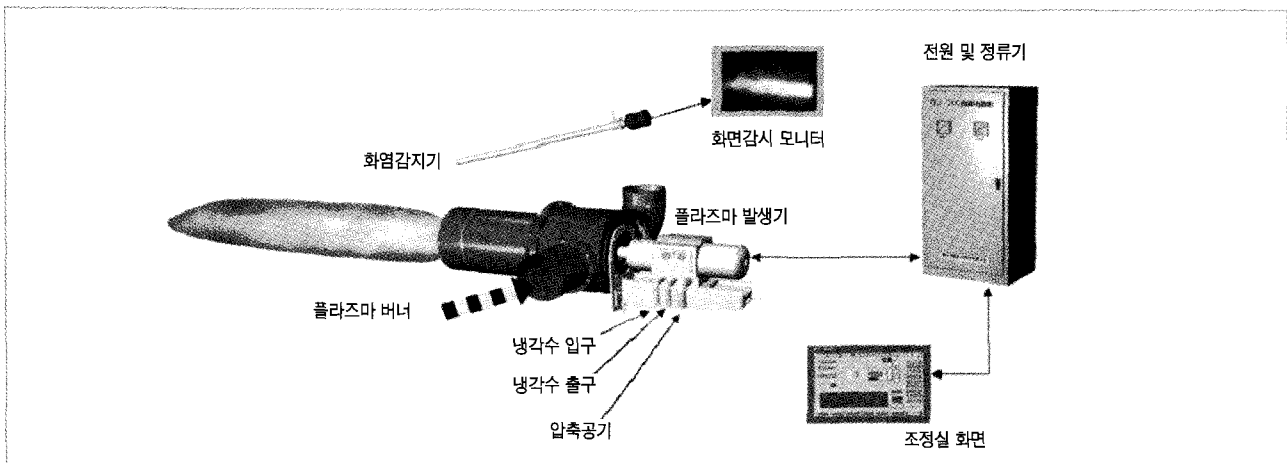


그림 1 플라스마 점화시스템의 구성

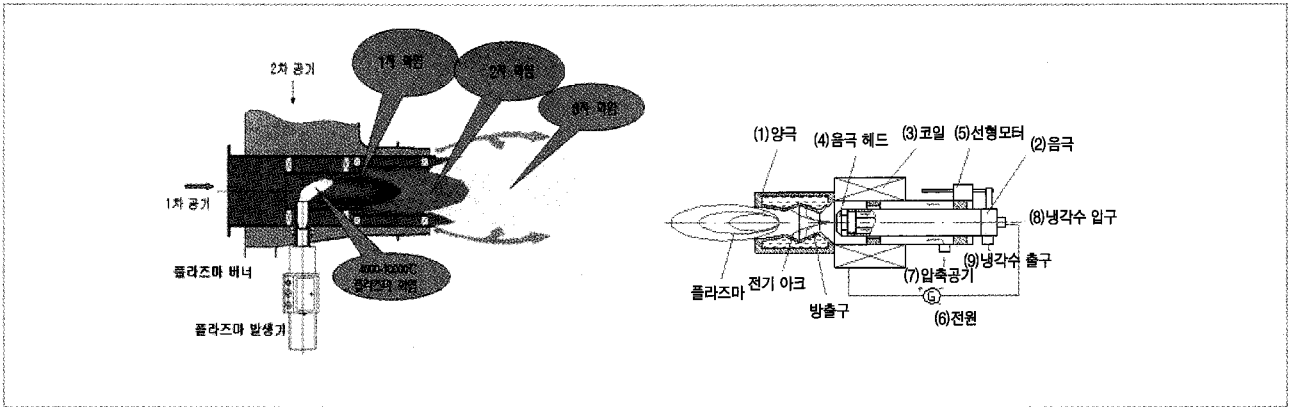


그림 2 플라즈마 버너의 구성

을 점화하여 연소하도록 되어 있다.

플라즈마 생성기는 전원 DC 300A/300V와 공기압력 0.01~0.03MPa에서 Arc를 발생시킨다. 직접적인 공기의 흐름에 의한 플라즈마는 강한 자기장에서 안정적인 전력이 유도된다. 4,000~10,000℃의 온도와 수많은 화학적인 활성 입자들이 플라즈마 코어를 통과할 때 미분탄은 급격히 가열되고 가스화되어 극도로 저 전력의 안정된 점화가 진행된다. 그림 3과 그림 4는 플라즈마 발생 전·후의 상태를 나타낸 것이다.

플라즈마 점화시스템 운영 현황

그림 5는 남동발전 삼천포화력 #1호기 보일러에 플라즈마 버너가 설치된 현장사진이며 그림 6은 보일러 내부에서의 착화상태를 나타낸 것이다. 화력용 보일러에 적용된 이 시스템은 초기점화와 연소안정화를 위한 기술로서 미분탄 화력발전소 보일러의 점화에 사용되는 유류를 대체할 수 있고 저부하 시의 연소안정화를 기할 수 있는 유용한 기술로 평가된다. 이 기술의 장점으로서는 첫째로 석탄을 사용할 때 점화용으로 사용되는 유류를 대체할 수 있다. 둘째는 100달러가 넘는 고유가 시대에 점화용 연료류를 사용하지 않음으로써 10~20%의 연료비 절감효과가 있다. 셋째로 연료유 취급부주의에 따른 화재의 위험을 방지할 수 있고, 넷째로 유류를 사용하여 점화할 때 발생하는 오염물질과 분진 등의 원인을 제거할 수 있으며 NOx 저감효

● 플라즈마 점화시스템을 500MW 이상 국내 38기 석탄발전소에 확대 적용할 경우 연간 25만 배럴 상당의 유류대체효과를 가져와 290억 원 이상의 연료비를 절감할 수 있어 고유가시대 에너지절감에 크게 기여할 수 있는 기술로 기대하고 있다.

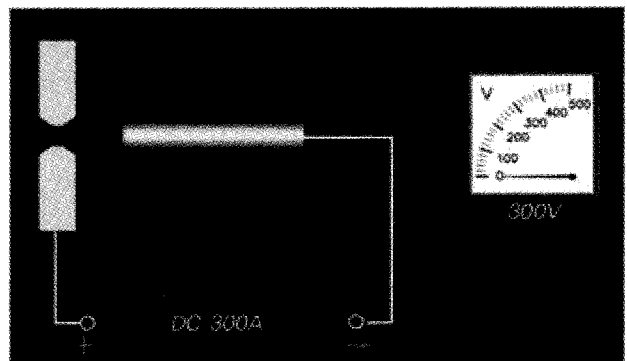


그림 3 플라즈마 발생 전

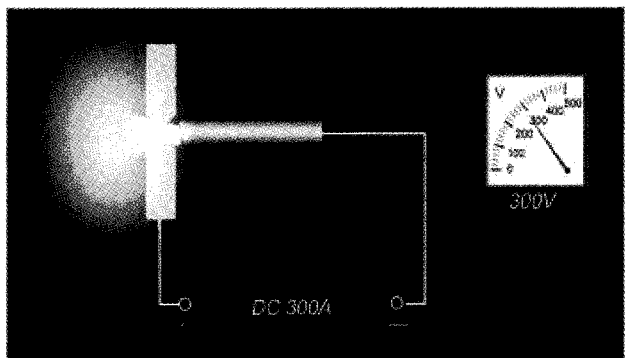


그림 4 플라즈마 발생 후 상태

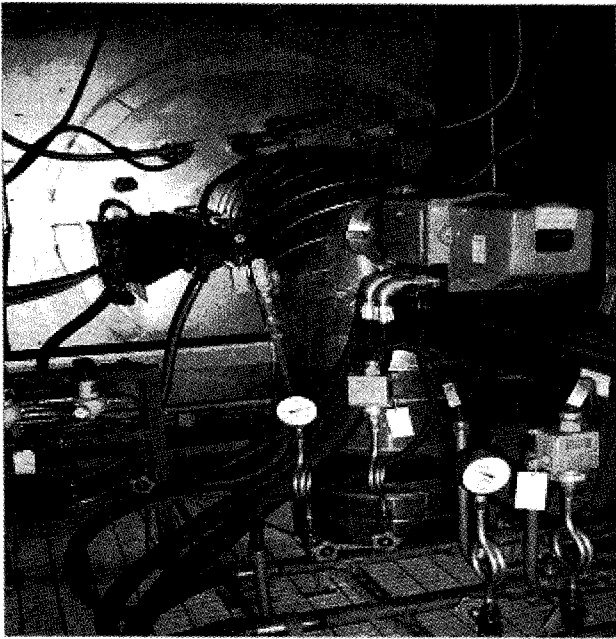


그림 5 플라즈마 버너 현장 설치

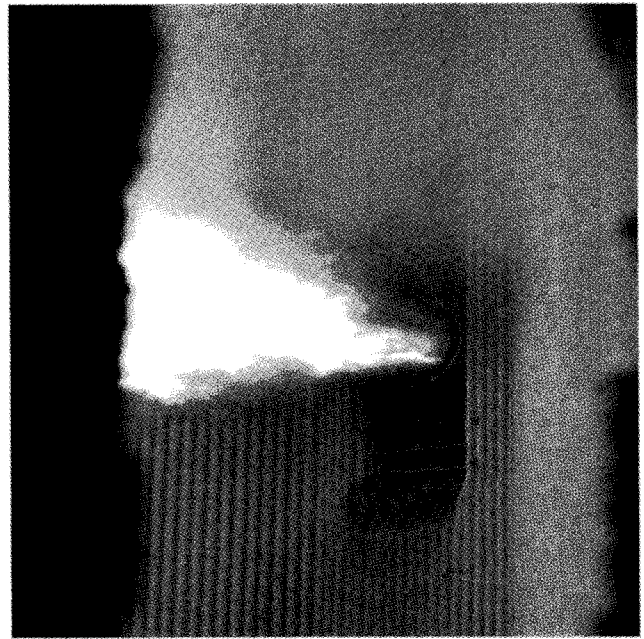


그림 6 플라즈마 착화 상태

과로 환경오염을 감소시킬 수 있다. 마지막으로 석탄연료만 사용함으로써 연료설비를 단순화할 수 있다.

이 번에 삼천포화력에 적용된 석탄발전소용 플라즈마 점화시스템은 러시아에서 항공 우주산업과 특수기술에 활용되던 플라즈마 기술을 다량의 석탄화력을 보유한 중국에서 국가차원으로 구소련의 기술자를 영입하여 화력발전소 석탄버너에 적용한 신기술로 1997년 착수하여 2000년 개발하여 중국 내 설비용량 125~1,000MW 발전소에 신규 설치 및 기존 버너를 개조하여 약 271기 발전소에 적용 중이며, 안정성 및 경제성이 입증되어 미국 및 유럽 진출 준비 중에 있는 시스템이다.

남동발전(주)은 2007년 7월부터 약 13억 원의 예산을 투입하여 플라즈마 점화시스템을 설치, 시운전에 성공함으로써 연간 1,000kℓ의 등유사용을 절감하는 성과를 올리고 있으며, 국내 38기 석탄발전소에 확대 적용 시 연간 25만 배럴 상당의 유류대체효과를 가져와 290억 원의 연료유 비용을 절감할 수 있어 고유가시대 에너지절감에 크게 기여할 수 있는 신기술로 기대하고 있다.

또한, 보일러 최적연소 및 화염 안정으로 연소효율 향상과 안정적 설비 운영에도 크게 기여할 것으로 전망하고 있다.