

플라즈마 버너의 아크전류에 따른 석탄화력발전소 보일러 시동 시 미연탄소분율 연구

강경완, 허기무*, 윤성훈*, 문윤재*, 유호선**, 이재현*[†]

한국남동발전(주), *한양대학교 기계공학부, **승실대학교 기계공학과

Rate of Unburned Carbon at Coal-Fired Thermoelectric Power Plant Boiler by the Plasma Burner Arc Currents

Gyeong-Wan Kang, Ki-Moo Heo*, Sung-Hoon Yoon*, Yoon-Jae Moon*,
Ho-sun Yoo**, Jae-Heon Lee*[†]

Korea South-East Power CO. LTD., Seoul 135-708, Korea

*School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

**Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

(Received July 9, 2014; Revised July 18, 2014)

초 록 : 국내외의 석탄발전기는 주로 기동용 연료로 유류를 사용하고 있으나, 최근 저렴한 석탄을 플라즈마 장치를 이용하여 연소시키는 플라즈마 버너가 도입되어 기동비용을 절감하고 있다. 하지만 플라즈마 버너 초기 운전 시 미연탄소분 증가가 여전히 현안사항으로 남아있으며 기동 시 플라즈마 버너 연소 시의 미연탄소분 저감을 위한 연구와 운전기준 정립이 되어있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 플라즈마 버너의 아크전류에 따른 미연탄소분 영향을 분석함으로써 운전기준을 제시하고자 한다. 또한 석탄발전기 시운전 시 플라즈마 버너의 경제성을 실증함으로써 국내 플랜트 산업에 기여하고자 한다.

ABSTRACT : Coal-fired power plants have used oil as fuel for start-up but plasma burner is recently introduced in order to reduce costs. It provides fuel oil-free start-up. But at initial operation of Plasma burner, an increase in unburned carbon remains as still pending issue. Also research and operational standards for this problem are insufficient. In this paper, operating procedure will be proposed through analyzing the impact of unburned carbon in accordance with the Plasma arc current. It is also possible to contribute to the national plant industry by demonstrating economics of Plasma burner in commissioning coal-fired power plants.

Key words : power plant(발전설비), start-up burner(기동용 버너), plasma burner(플라즈마 버너), unburned carbon(미연탄소분), arc current(아크전류), economical efficiency of plasma burner(경제성)

1. 서 론

국내 총 전력소비량은 455,070 GWh으로 2011년 기준으로 독일, 캐나다에 이어 세계 8위 규모이며, 2002

~2010년간 연평균 5.6% 증가되고 있다. 또한 발전원별 비중은 2012년 말 기준으로 석탄화력의 비중이 39.4%로 경제적이고 안정적인 전력원으로 활용되고 있다.

하지만 석탄발전기의 경우에도 기동 시에는 기동용 연료로 유류를 사용하고 있어 기동비용 증가 원인 중의 하나가 되고 있다. 최근 국내외 발전소에서는 이러한 기동비용 절감을 위하여 플라즈마 버너를 도입하고 있다.

[†] Corresponding author
Tel. +82-2-2220-0425; Fax. +82-2-2220-4424
E-mail address: jhlee@hanyang.ac.kr

플라즈마 버너의 아크전류에 따른 석탄화력발전소 보일러 시동 시 미연탄소분을 연구

플라즈마 버너 시스템의 원천기술은 구소련에서 개발되었으며, 이를 중국의 국영전력회사인 국전 산하 용원 전력기술에서 상용화하여 현재는 중국, 터키, 인도네시아 등에서 총 700기의 석탄화력 보일러에 플라즈마 버너가 설치되어 운영되고 있다.

플라즈마 버너 시스템의 주요 현안사안은 그동안의 개선과 노력으로 많이 해소가 되었으나, 기동초기 미연탄소분 과다발생은 여전히 해결해야할 과제로 남아있다. 기동초기 열간, 온간, 냉간 등 보일러 상태에 따라 미연탄소분이 약 30%로 높게 발생되며, 점화 후 3시간이 경과된 후부터 노내온도 상승으로 점차 감소되어 정격운전 시 약 5%로 안정된다. 따라서 기동초기 미연분에 의한 보일러 튜브 오염이나 전기집진기 화재원인이 되고 있다.

본 연구에서는 기동 시 미연탄소분 발생의 핵심인자인 플라즈마 아크전류를 변경시킴으로써 미연탄소분 변화를 관찰하고 상관관계를 도출함으로써 기동 시 미연탄소분 저감방안을 도출하고자 한다. 또한 석탄발전기 시운전 시 플라즈마 버너 도입의 경제적 효과에 대하여 실증함으로써 국내 플랜트산업에 작은 보탬이 되고자 한다.

Fig. 1은 국내 석탄화력 발전기 중 최초로 플라즈마 버너를 도입한 삼천포화력 1호기 기동 시 점화 이후 미연탄소분과 노출구 가스온도 추이를 나타내고 있다. 미연탄소분은 점화 이후 3시간까지는 큰 변화 없이 높게 유지되다가 발전기 병입과 함께 노출구 가스온도가 상승되면서 미연탄소분은 정상범위로 감소된다. 따라서 기동초기

노출구 가스온도를 변경시킬 수 있는 핵심인자 중 기동 시 운전제에 제한을 받는 연료량과 공기량을 제외한 플라즈마 아크전류와 미연탄소분의 상관관계를 분석하게 되었다.

본고에서는 기동 시 플라즈마 버너의 아크전류를 280 A, 300 A, 320 A로 점화하여 3시간 후의 변화를 관찰함으로써 상관관계를 분석하고 운전기준을 정립하고자 한다. 또한 석탄발전기의 시운전 중에 플라즈마 기동으로 인한 연료비 절감을 분석함으로써 경제적 효과를 실증하고자 한다.

2. 아크전류 변경 시험 및 결과

2.1 플라즈마 버너의 개요

플라즈마 버너 시스템(Plasma burner system)은 전기에너지를 이용하여 4,000~10,000℃의 플라즈마 이온을 발생시켜 석탄을 연소시키는 시스템으로 석탄발전기 기동 시 석탄대비 고가의 유류를 사용하지 않고 석탄으로 대체하여 시운전 비용과 전력생산단가를 낮추는 시스템이다.

Fig. 2는 플라즈마 버너의 구성을 나타낸다. 플라즈마 버너 시스템은 플라즈마 발생기, 전원공급장치, 플라즈마 발생기 부착설비, 미분탄 이송용 공기예열기로 구성되어 있다.

전원공급장치는 플라즈마 발생기에 직류전원을 공급하

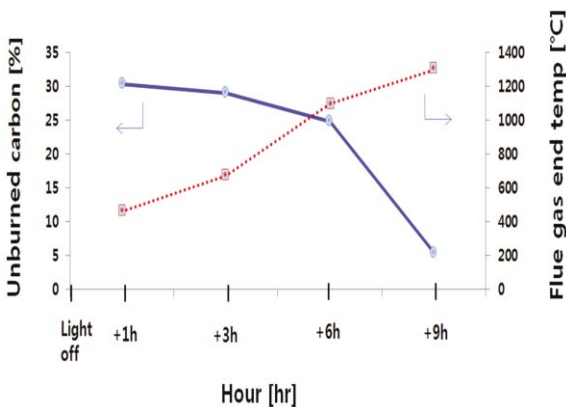


Fig. 1 Unburned carbon transition

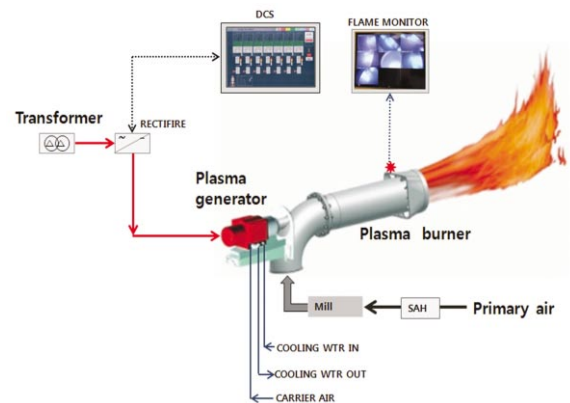


Fig. 2 Configuration of plasma burner system

는 장치로 변압기를 통하여 6.9 kV/480 V로 강압시켜 정류기로 DC 380 V, 340 A의 직류전원을 공급한다. 플라즈마 버너 발생기는 양극과 음극에 전기를 가하여 4,000~10,000℃의 플라즈마를 발생시키는 장치로 보일러 최하부층 각 석탄버너에 설치된다. 플라즈마 발생기 부속설비는 냉각수 계통과 압축공기 계통으로 구성되어 있다. 냉각수 계통은 플라즈마 발생기의 양극과 음극에 발생하는 고온으로부터 음극을 보호하기 위하여 0.3~0.5 MPa, 50 m³/hr의 냉각수를 공급한다. 압축공기 계통은 플라즈마 화염생성용 공기 공급장치로서 제습 및 여과하여 0.008~0.02 MPa의 압축공기를 공급한다.

미분탄 이송용 공기에열기는 미분기에 공급되는 이송용 공기를 150℃로 유지시킴으로써 미분기의 분쇄능력과 미분기 출구온도를 60℃ 이상 유지시킨다.

2.2 플라즈마 버너 운전 및 실험조건

플라즈마 버너 기동 시 미연탄소분 발생과 관련된 운전 변수는 석탄의 성상, 석탄 이송용 공기량과 온도, 플라즈마 아크전류, 플라즈마 압축공기, 그리고 보일러 상태에 따라 화염온도와 미연탄소분이 다르게 발생된다.

실험을 위한 석탄의 성상은 실험대상 발전소인 영흥화력 제5, 6호기의 성능탄인 Adaro탄으로 선정하였다. 주요성상은 총수분 20%, 고휘발열량 5,300 kcal/kg, 공업분석 휘발분 39%, 고정탄소 43%, 회분 7%이다.

석탄 이송용 공기온도는 미분기 출구온도 기준으로 정격치인 61℃를 유지하면서 보일러 연소율에 따라 급탄량을 36 t/h, 이송용 공기량은 107 t/h으로 일정하게 유지하였다.

Table 1 Rate of unburned carbon according to arc current

Arc current (A)	Unburned carbon (%)	Average (%)
280	26.2	26.3
	26.5	
300	18.5	17.3
	16.1	
320	12.1	12.2
	12.4	

플라즈마 압축공기 압력은 실험대상 발전기의 압축공기 압력인 0.07 MPa를 유지하였다. 마지막으로 보일러 상태는 기동조건에 따라 다르므로 보일러 기수분리기 출구온도 150℃ 이하로 강제냉각하여 점화 3시간 이후 보일러 노출구 가스온도가 670℃로 유지되는 시점에 미연탄소분을 측정하였다. 기타 세부내용은 설계기준으로 운전하였다.

2.3 실험 및 측정

실험대상 설비는 인천시 옹진군 영흥면 소재의 시운전 중인 영흥화력 제5호기로 하였으며, 두산중공업에서 제작한 870 MW급 대향류연소, 초임계압, 관류보일러이다. 시험기간은 2013년 11월 16일~2013년 12월 07일간 시행하였으며, 아크전류별 각 2회씩 시험하였다. 시험방법은 앞서 기술한 바와 같이 점화 3시간 후 플라즈마 단독운전 상태에서 실험하였다.

실험을 위한 미연탄소분 샘플링 및 분석은 전기집진기 각 호퍼에서 ASTM D6316-09B 분석기준에 따라 전기집진기 각 호퍼에서 샘플링하여 항습시료(As dry basis) 1g을 만든 후에 상온에서 925℃로 30분간 가열하여 감량비율을 측정하였다.

2.4 아크전류 변화에 따른 미연탄소분

Table 1은 실험결과로 아크전류 변화에 따른 미연탄소

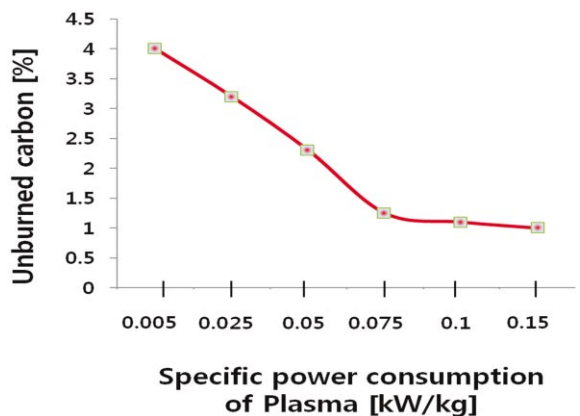


Fig. 3 Specific power consumption of reference report

분을 나타낸다. 플라즈마 버너의 아크전류를 280 A, 300 A, 320 A로 변화시켰을 때 점화 3시간 후의 미연탄소분은 각각 26%, 17%, 12%로 감소되는 것을 확인하였다.

2.5 시험검증 및 운전기준 제언

Fig. 3과 Fig. 4는 석탄 kg당 전력(kW) 소모량을 나타낸다. Fig. 3은 시험검증을 위하여 2011년 3월 이집트 카이로에서 개최된 ICEST 2011(International Conference on Energy System and Technologies)에서 플라즈마 연소기 분야의 권위자인 V.E Messerle 교수가 발표한 「New plasma technology for solid fuel ignition and combustion」 논문의 Specific power consumption curve를 참고하였다. 참고 논문에서는 기동이 아닌 정상운전 상태, 석탄의 성상 등 운전조건이 달라 정확한 비교는 불가하나 유사한 패턴을 보임을 확인하였다.

Fig. 4에서 아크전류(K)에 따른 미연탄소분(B)의 회귀방정식은 $123 \cdot -0.350(K)$ 가 되는 것을 확인하였으며, 추세선으로 2차방정식을 구하면 플라즈마 아크전류를 340 A로 증가시켰을 때의 미연탄소분은 11%로 예상되어 포화되는 추세가 된다. 따라서 기동 시 미연탄소분 저감을 위해서는 플라즈마 버너 아크전류를 320 A로 유지하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

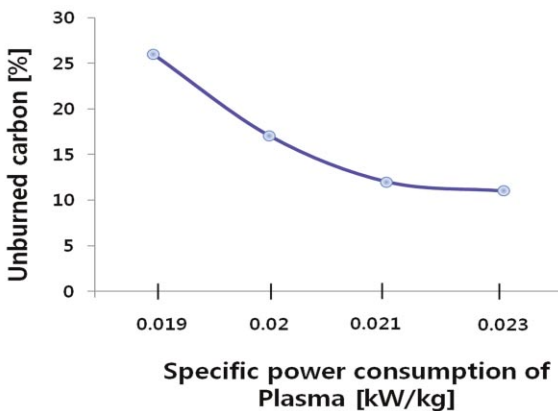


Fig. 4 Specific power consumption of present investigation

2.6 플라즈마 버너 경제적 효과

800 MW 석탄발전기 시운전 공정은 총 22개월이 소요된다. 이 과정 중에서 점화는 준공 10개월 전에 시행되며, 점화 이후부터 기동용 오일이 소비된다. 특히, 증기 세척과 부하시험 공정은 2개월간 시행되고 저부하에서 시행되므로 기동용 오일버너나 화염안정용으로 오일버너가 운전되어 시운전 유류 연료비의 약 30%가 이 기간에 소비된다. 따라서, 이때 플라즈마 버너를 통한 연료비를 절감할 수 있다.

Table 2는 영흥화력 제5호기 시운전 과정 중 플라즈마 버너를 활용한 시운전 비용 절감내역을 나타낸다. 오일을 대체한 석탄사용량을 오일로 환산한 절감금액은 보일러 수압시험 이후 수압시험용 보일러수 제거를 위한 공정한 잔열건조에서 1억 3천만 원, 증기세척 공정에서 25억 원, 부하시험 기간 중 21억 원, 기타 시운전을 위한 기동 시 +α원이 발생되어 총 47억 원/Unit의 시운전 비용을 절감할 수 있었다.

3. 결론

영흥화력 제5호기 기동용 플라즈마 버너의 아크전류를 변화시켜 미연탄소분에 미치는 영향을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 기동 시 플라즈마 버너의 아크전류를 280 A, 300 A, 320 A로 변화시켰을 때 점화 3시간 후의 미연탄소분은 각각 26%, 17%, 12%로 감소되었다.

둘째, 실험결과에 따라 아크전류(K)와 미연탄소분(B)의 Pearson 상관계수는 -0.987로 강한 음의 상관관계에 있으며, 아크전류(K)에 따른 미연탄소분(B)의 회귀방

Table 2 Reduced cost during YH#5 commissioning

Division	Coal consumption (ton)	Reduced cost (hundred million won)
Drying of residual heat	125	1.3
Steam blowing	4,920	25
Load test	4,278	21
Other process	-	+ α
Total	-	47

정식은 123. -0.350(K)가 되는 것을 확인하였다.

셋째, 기동 시 플라즈마 아크전류를 320 A로 운전하는 것이 300 A로 운전하는 것에 비하여 미연탄소분을 약 42% 저감됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Chunlong Liu, Zhengqi Li, Weiguang Kong, Yang Zhao, Zhichao Chen, Bituminous coal combustion in a full-scale start-up ignition

burner : influence of the excess air ratio, Energy, Volume 35, October 2010, pp. 4102-4106.

2. V.E Messerle, New plasma technology for solid fuel ignition and combustion, International Conference on Energy System and Technologies, March 2011, pp. 41-51.

3. V.E Messerle, Plasma preparation of coal to combustion in power boilers, Fuel Processing Technology, March 2012.