

저급탄 석탄화력 및 석탄-바이오매스 혼소 발전을 위한 연소 기술

이동훈* · 고대호* · 이선근* · 백구열*

Combustion Technology for Low Rank Coal and Coal-Biomass Co-firing Power Plant

Donghun Lee*, Daeho Ko*, Sunkeun Lee*, Guyeol Baeg**

ABSTRACT

The low rank coal combustion and biomass-coal co-firing characteristics were reviewed on this study for the power plant construction. The importance of using low rank coal(LRC) for power plant is increasing gradually due to power generation economy and biomass co-firing is also concentrated as power source because it has carbon neutral characteristics to reduce green-house effect. The combustion characteristics of low rank coal and biomass for a 310MW coal firing power plant and a 100MW biomass and coal co-firing power plant were studied to apply into actual power plant design and optimized the furnace and burner design.

Key Words : Low rank coal, Biomass, Power plant, Co-firing

2000년 이후 지속적인 고유가 상황과 최근의 원자력에 대한 사회적 수용성 문제 등으로 인해 석탄 화력발전과 복합발전 등 전통적인 화력발전 방식이 다시 주목받고 있다. 또한 RPS(Renewable Portfolio Standard) 의무실시제에 따라 매년 전체 발전량 중 신재생에너지의 비율을 0.5~1% 씩 증가시켜야 하는 상황에서 태양광, 풍력, 바이오매스 혼소(混燒, Co-firing) 등 여러 신재생에너지원의 이용이 급속히 확대되고 있는 실정이다. 제 6차 전력수급기본계획에 따르면 원자력발전소의 증설은 최대한 억제되는 반면, Table 1과 같이 신재생에너지는 2027년 기준 발전비중이 20.2%로 20.1%의 LNG를 뛰어넘을 전망이다.

Table 1 Forecast of power source constitution on 2027

원자력	22.7%	유연탄	28.2%
무연탄	0.5%	LNG	20.1%
석유	0.8%	양수	3.0%
신재생	20.2%	집단	4.7%

* 제 6차 전력수급기본계획

* 정격용량 기준

이러한 신재생에너지의 성장 정책에 부합하기

위해서는 태양광, 풍력 등 신재생에너지 자원 이용기술 및 발전기술, 경제성이 뒤따라야 하나, 아직까지는 경제성 및 관련 기술 미흡으로 정책적인 요구를 따라가기에는 역부족이라고 할 수 있다. 이런 상황에서 바이오매스 전소(全燒) 및 석탄과의 혼소를 이용한 발전은 탄소배출 중립(Carbon Neutral)적 특성으로 인해, 가장 현실적이면서 효과적인 온실가스 저감 대책이 되고 있다.

한편, 지금까지 석탄 화력발전소의 주원료로 사용되던 무연탄 및 고급 유연탄은 유가에 연동되어 가격이 지속적으로 상승함에 따라, 아역청탄 및 갈탄과 같은 저급탄을 이용한 발전 요구가 최근 급속히 대두되고 있는 실정이다. 실례로, 국내 5개 발전 자회사들은 기존 화력발전소에서의 저급탄 혼탄 비율을 높이기 위해 운전조건 변경 및 최적화와 연소기술 개발에 적극적으로 나서고 있으며, 신규 발전소 건설 또한 저급탄 연소에 대비한 설계를 채택하고 있다.

이런 발전환경 변화에 발맞추어 발전소 건설을 수행하는 엔지니어링/건설 업체와 주기기 제작업체들은 저급탄 연소 및 석탄/바이오매스 혼소 기술 개발을 진행하고 있으며, 향후 이 분야 연구 또한 매우 활발해질 것으로 전망된다.

저급탄은 통상 갈탄과 아역청탄과 같이 고수분, 고회분, 저열량 특성을 지닌 석탄을 통칭하는 것으로 일반적으로 5,300 kcal/kg 이하의 열량을 보이는 것이 보통이다. 최근 국내 발전사들은 4,000 kcal/kg 수준의 저열량탄도 도입하여 혼탄,

* GS건설 기술본부 플랜트기술팀

** GS건설 플랜트통합설계실 발전기계팀

† 연락처, dhlee22@gsconst.co.kr

TEL : (02) 728-3046 FAX : (02)-728-3544

혼소 발전을 하고 있는데, 이러한 저급탄/저열량 탄을 연소하거나 혼탄, 혼소시킬 경우 연소관점에서 많은 문제점을 유발하고 따라서 향상된 연소기술이 필요하게 된다. 특히 고휘발분, 고수분, 고회분 특성을 지닌 탄의 경우 버너 및 로의 사이징(Sizing) 및 기본 설계에 많은 영향을 미치기 때문에 이러한 저급탄 특성이 전체 플랜트 효율 및 성능, 그리고 운전성에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 검토가 설계단계부터 이루어져야 한다.

또한 바이오매스를 이용한 전소발전 및 석탄과의 혼소기술 또한 최근 사용이 급속도로 확대되고 있고, 바이오매스 발전을 위한 전통적인 연소기술인 순환유동층 기술뿐만 아니라 기존 미분탄 발전에서도 바이오매스의 혼소율을 높이기 위한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 현재 발전연료로 사용되는 바이오매스 연료들로는 PKS(Palm kernel shell), 목재계(Woodchip, Wood pellet, Demolition wood), 벼부산물(Rice husk, Rice straw) 등이 있는데, 이러한 바이오매스 연료들은 대부분 고휘발분, 고수분, 저발열량의 특성을 가지고 있어 발전용 연료로 주로 사용되고 있는 유연탄과는 상반된 특성을 가지고 있다. 즉, 낮은 연료비(Fuel ratio), 빠른 착화/연소 특성 등으로 인해 기존 설비에서의 연소 또는 석탄과의 혼소를 위해서는 연소기술적 측면에서 충분히 고려되어야 한다. 또한 바이오매스 연료들은 대부분 염소(Chlorine) 성분 등이 높기 때문에 부식 문제 등에 대해서도 설계 시에 충분히 검토되어야 하며 낮은 회용점으로 인한 Slagging, Fouling 등을 대비할 수 있는 연소 및 운전 조건 설정 또한 중요하다 하겠다.

따라서 본 논문에서는 310MW급 저급탄 화력발전소와 100MW급 바이오매스 전소/혼소용 순환유동층발전소의 사례연구를 통해 저급탄 및 바이오매스 혼소에 대한 연소기술적인 측면을 검토하고, 이러한 연소기술적면이 발전플랜트 건설에 미치는 영향에 대해 살펴보고자 하였다.

Table 2 Proximate analysis and properties of design coal as received for LRC power plant

Moisture, wt%	12.00
Ash, wt%	39.155
Volatile, wt%	13.31
Fixed carbon, wt%	35.54
Fuel ratio	2.43
Ash fusion temp.(FT) °C	> 1550
HHV, kcal/kg	3830

Table 2에 310MW급 저급탄 화력발전소의 설계탄 분석결과를 보였다. 발열량 4000 kcal/kg

이하의 전형적인 저열량탄의 특성을 보이고 있으며, 통상적인 저급탄에 비해 Ash량이 상당히 많은 반면, 수분 함량은 상대적으로 낮은 특성을 보이고 있다. 또한 일반적으로 저급탄은 휘발분 함량이 높지만 본 설계탄은 휘발분 함량이 상대적으로 낮은 것으로 평가되었다. Fig. 1에 본 설계탄과 타 저급탄들의 수분 및 Ash 함량에 따른 석탄등급 분포를 보였다.

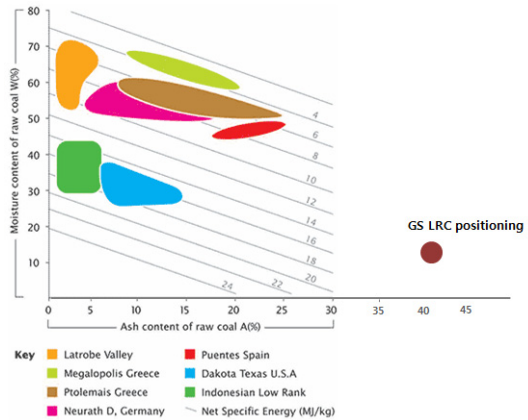


Fig. 1 Design coal positioning for GS LRC-fired power plant compared with other LRCs

상기와 같은 설계탄의 특성으로 인해 본 저급탄 화력발전소는 로(Furnace)의 모서리에서 집선 방향으로 분사되는 버너인 Tangential firing 구조를 통해 화염안정성을 기하고자 하였다.

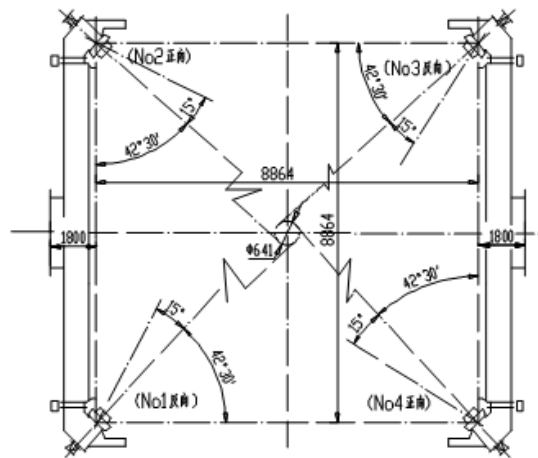


Fig. 2 Cross-section of furnace and tangential firing mechanism

한편, 저급탄 연소를 위해서는 기존 유연탄 기

준 대비 로의 사이징을 설계탄에 맞게 최적화시켜야 한다. 보통 저급탄으로 갈수록, 슬래깅성이 높을수록 로의 체적은 커지는 것이 일반적이며, 이에 따라 설계 및 건설비용이 급격히 증가하므로 발전소 건설을 수행하는 입장에서는 설계탄에 최적화된 로 사이징을 도출하는 것이 무엇보다 중요하다. Fig. 3에 탄종 및 슬래깅성에 따른 로 사이징의 변화 경향성을 보였다.

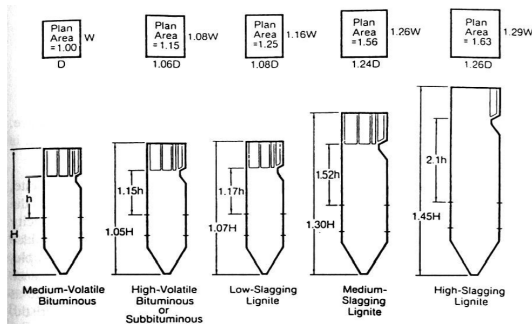


Fig. 3 Furnace size depends on fuel properties

연구대상의 저급탄 화력발전소 설계탄은 Slagging index가 1438°C로 슬래깅성이 비교적 양호하며, 석탄의 염기성-산성 비 또한 0.0943으로 Anti-slagging 특성을 보이므로 슬래깅에 따른 로 사이징 변화의 폭은 그리 크지 않다. 또한 로의 체적 열방출량은 약 0.19 MW/m³ 수준으로 통상적인 수준에서 사이징 되었다.

한편 100MW급 석탄-바이오매스 혼소발전을 위해 순환유동층 타입의 보일러를 연구대상으로 선정하여 검토하였다. Table 3에 설계탄 및 바이오매스 Feed로 사용되는 PKS(Palm kernel shell)의 조성을 보였다.

Table 3 Proximate analysis and properties of design coal and PKS as received condition for co-firing power plant

	PKS	Coal
Moisture, wt%	16.4	6.4
Ash, wt%	2.48	21.8
Volatile, wt%	64.04	14.9
Fixed carbon, wt%	17.09	38.0
Fuel ratio	0.27	2.55
Ash fusion temp.(FT), °C	1270	1499
HHV, kcal/kg	4690	6147

바이오매스와 석탄의 혼소에서 기술적으로 가장 어려운 점은 바이오매스의 혼소 비율이며, 현재까지 연구된 바로는 바이오매스 전소모드 자체는 어렵지 않으나, 석탄과의 혼소는 기술적으로 어

렵다고 알려져 있으며, 통상 혼소율은 50%를 넘지 않는 것으로 알려져 있으나, 본 연구대상의 발전소에서의 바이오매스 혼소율은 80%(바이오매스 80%, 석탄 20%)로 세계 최고 수준이다.

바이오매스 발전소 연료로 사용되는 PKS는 열대지방의 Palm tree 부산물로 발열량이 여타 바이오매스 연료에 비해 상당히 높고, 수분함량이 낮아 발전용 바이오매스 연료로서는 매우 좋은 연소특성을 보이고 있으나, 공급지역이 인도네시아/말레이시아 지역에 국한된 점이 단점이다.

Table 3에 보인 바와 같이 원료가 되는 바이오매스인 PKS는 연료비(Fuel ratio)가 0.27로 휘발분이 매우 많은 반면, 석탄은 연료비가 2.55로 고정탄소 성분이 휘발분에 비해 많기 때문에 두 연료는 서로 상반된 연소특성을 띄게 된다. 즉, 바이오매스는 로내 투입 시 조기 착화 및 연소시간이 짧은 반면, 석탄은 착화시간과 연소시간이 바이오매스에 비해 상대적으로 길게 되므로, 두 연소간의 상호작용이 매우 복잡하게 일어나게 된다. 따라서 이러한 상반되는 연소특성을 모두 만족시킬 수 있도록 연소시스템들이 설계되어야 하며, 연료조성의 범위 및 혼소율이 증가할수록 이러한 연소관련 리스크는 더욱 더 커지게 된다. Fig. 4에 이러한 석탄과 바이오매스간의 상이한 연소특성에 대해 도식화하였다.

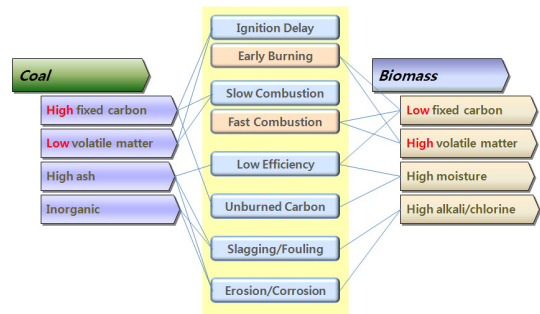


Fig. 4 Combustion characteristics coal and biomass

일반적인 PC(Pulverized coal)형식의 로에서는 석탄과 바이오매스 혼소비율이 최대 10% 대에 머물고 있으나, 순환유동층 연소로에서는 연소방식 특성 상 혼소비율을 높일 수 있어 석탄/바이오매스 혼소는 대부분 순환유동층 연소로에서 이루어지고 있다. 석탄과 바이오매스의 상이한 점화 및 연소특성의 차이로 인해 순환유동층에서도 이를 고려한 설계가 이루어져야 하며, Table 4에 주요 설계인자와 영향성을 정리하였다.

Table 4 Design parameters of coal & biomass co-firing CFB

주요 설계인자	설계 고려사항
Sizing	. 적절한 Gas velocity . 체적 열방출량 . 연소시간에 따른 로의 높이
Feeder	. 바이오매스 조기 착화 및 이상 점화에 따른 용착 . 바이오매스에 대한 균일 feeding
Feed point	. 착화시간/연소시간을 고려한 Feeding point 선정 . 탄종별/혼소율에 따른 Multi feed point
Heat exchanger	. Heterogeneous combustion에 대한 열교환 효율 확보 . Erosion/Corrosion 대응
Air distributor	. 상반된 연소특성/밀도를 가진 두 연료의 혼합 최적화 . 유동화속도, 가스속도 조절
Cyclone	. Heterogeneous ash에 대한 포집 최적화

이상 논의된 바와 같이 저급탄과 바이오매스-석탄의 연소특성을 파악하고 발전소 설계를 최적화하기 위해서는 각 연료의 연소특성을 이해하고 발전소 시스템에 미치는 영향을 파악하는 것이 무엇보다 우선이라고 할 수 있다. 또한 나아가 이러한 개별/혼합 연료들의 연소특성, 물리적/화학적 거동 등을 연구하여 그 특성을 DB화하고 실험적으로 규명한다면 발전소 연소시스템 설계의 위험도를 줄이고 성능과 효율을 최적화 할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] Prabir Basu, "Boiler & Burners" Springer, 1999
- [2] Prabir Basu, "Combustion and Gasification in Fluidized Bed Combustion" Taylor & Francis, 2006
- [3] S. Munir, "A Review on Biomass Coal Co-Combustion : Current State of Knowledge", Proc. Pakistan Acad. Sci. 47(4):265-287, 2010