

발전소에서의 석탄/바이오매스 혼소

이시훈, 현주수, 임영준, 박영옥, 김성철*
한국에너지기술연구원 청정에너지기연구부, *전력연구원

Coal/Biomass Co-firing in Utility Boilers

Lee Si Hyun, Hyun Ju Soo, Rhim Young Jun, Park Young Ok, Kim Sung Chul*
Clean Energy Research Department, Korea Institute of Energy Research
*Korea Electric Power Research Institute

1. 서론

세계는 전체 에너지 수요의 약 80%를 화석연료에 의존하고 있으며 화석연료중 약 50%는 석탄에 의존하고 있다. 국내의 경우에도 전체 전력 생산의 약 30% 정도는 계속 석탄으로 유지될 전망이다. 환경문제가 21세기의 중요한 테마로 부상하면서 화석연료 사용에 의한 유해 대기오염물질의 배출이 문제가 되고 있으며 그 규제는 점차 강화되어 최근에는 SO₂와 NO_x에 강화된 규제가 적용되고 있고 CO₂의 규제도 구체화되고 있다.

바이오매스는 석탄과 oil 다음으로 세계에서 세 번째로 풍부한 에너지원이다. 세계 에너지의 약 14%에 해당하는 1,250백만TOE를 차지하고 있다. 개발도상국의 경우에는 전체 에너지의 약 35%를 바이오매스가 공급하고 있고 선진국의 경우에도 중요한 에너지원으로 자리 잡고 있어서 미국에서만 약 70백만TOE, 유럽의 경우에는 국가마다 다르지만 20~40백만 TOE를 바이오매스가 공급하고 있다^{1,2)}.

바이오매스 연료의 가장 큰 장점은 환경친화적이라는 것이다. CO₂에 관한한 neutral로 인정되고 있으며 황함량이 적기 때문에 SO₂ 발생이 적어 특히 고유황 석탄과 혼소하는 경우 효과를 얻을 수 있다. 바이오매스에 함유되어 있는 알칼리 물질은 SO₂를 제거하는 효과가 있다. 또한 바이오매스가 갖고 있는 질소성분은 연소과정에서 NH radical(특히 NH₃)로 전이 되기 때문에 NO를 환원시켜 제거하는데 사용되어 NO_x 제거효과도 있는 것으로 보고되고 있다^{1,2)}.

본 논문에서는 바이오매스 연료의 특성을 소개하고 바이오매스 연소실험과 자료조사를 통한 문제점과 대책 그리고 바이오매스 연소시스템 개발현황을 소개하여 향후 국내에서도 화석연료연소의 대체연료로 바이오매스를 중요하게 다루게 되는 경우를 대비하고자 한다.

2. 바이오매스 연료 특성

지금까지의 바이오매스 연구현황을 조사, 분석하였다. 미국에서는 대규모 energy crop을 만들어 이용하고 있으며 유럽에서는 2005년부터 발전소에 12%까지 혼합하는 것을 규정하였고 일본에서도 현재 이용기술을 개발하고 있다.

일본은 국내의 경우와 유사하게 경사면이 급한 산악지역이 많으며 이 경우 산의 위에서부터 줄을 만들어 놓고 벌목한 가지들을 바꾸니 형태의 운반차와 줄을 이용해 밑으로 전달하는 방법을 사용하고 있다.

6년전부터 북해도에서부터 큐슈까지 5개 지역에 약 1억 m²의 삼림을 조성하였으며 캐나다로부터 속성수를 수입하여 조성하고 있는 것으로 보고 되고 있으며 현재 성공적으로 운영되고 있다. Fig. 1에서 보는바와 같이 유럽에서는 벌목 시스템을 기계화 하고 있다. 세계에서 산림자원의 에너지 활용을 가장 잘 하고 있는 것으로 알려져 있는 핀란드의 경우 목재의

이용과 폐 임산자원의 에너지화를 위한 벌목 시스템이 완벽하게 기계화 되어 있다.

Table 1. Issues for biomass utilization as a fuel

- Strategies, politics, legislation tools and implementation issues
- Chemical conversion, bio-gas
- Chemical conversion technologies, gaseous and liquid bio-fuels
- Bioenergy markets and business, green energy
- Biomass resources
- Results from the finnish wood energy technology programme in 1999-2003
- Fuel production and delivery technologies
- Combustion and boiler systems
- Combined heat and power production (CHP)
- Fire wood and solid conversion, pellets



Fig. 1. Cutting and logging machines in forest of Finland

핀란드의 경우 펄프/제지산업이 많아 발달하였기 때문에 목재는 펄프산업에 활용하고 목재를 수거하는 과정에서 발생한 폐 임산자원을 수거하여 발전소에서 혼소하고 있다.

Wood를 혼소에 사용하고 있는 핀란드의 유동층 열병합 발전소에서는 peat, wood, coal, oil을 혼합하여 사용하고 있고 시간당 150-200톤의 연료를 사용하고 있다. 295 MW 규모의 기포유동층 발전소로 wood fuel을 32%, peat를 65%, 기타 석탄 및 오일을 혼합 연소하는 열병합 발전시스템으로 회분의 slagging

또는 fouling 등 ash 관련 문제도 크지 않으며 현재까지 운전에 큰 문제가 없는 것으로 알려져 있다. 유럽의 경우 이런 utility boiler 외에 중소규모, 즉 1-10MW의 distric heating system을 개발하고 있고 실제로 프랑스, 독일 이탈리아 등에서는 2003년에 이미 2000기의 지역난방 시스템을 보급하였으며 가스화 시스템도 보급하고 있다.

3. 실험방법

실험장치 사진을 다음 Fig. 2에 나타내었다. 사용한 바이오매스는 톱밥이며 동일한 입열량을 기준으로 15%까지 혼합하여 실험하였다. 연소기는 수평형의 선회연소시스템이며 coal feeder와 bio-feeder를 별도로 설치하여 사용하였고 열교환기, data acquisition system 등을 설치하여 사용하였다. 석탄 사용량은 7kg/hr를 기준으로 하였으며 사용한 석탄은 중국산 대동탄이다.

4. 결과 및 고찰

석탄 공급량을 7.0 kg/hr로 늘려서 biomass 분리 공급실험을 수행하였다. 석탄 전소시 연소실내의 평균 연소온도(avg.T : C1, C2, C3의 평균치)는 약 1,043℃를 유지하여 이때 투입

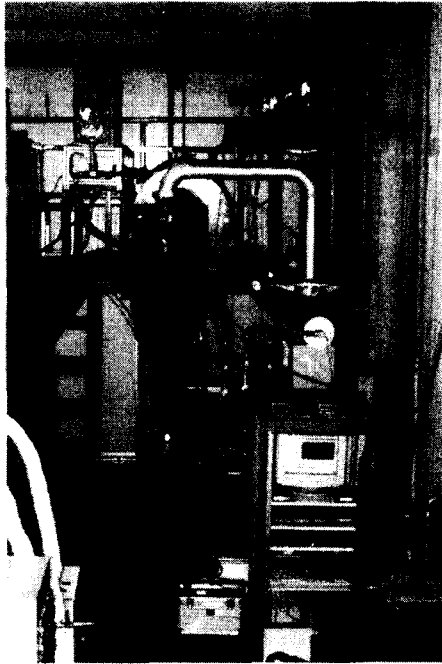


Fig. 2. Photograph of bench scale experimental apparatus

되는 전체 입열량을 기준으로 biomass 분리 공급 혼소실험을 수행한 결과는 다음 Table 2와 Fig. 3, Fig. 4에 나타난 바와 같다. 표와 그림에서 CO 발생량과 NO, SO₂ 발생량은 O₂ 4% base로 환산된 계산 결과이다.

전체 연소용 공기의 약 70%를 차지하는 2차공기는 420°C-450°C로 예열되어 연소실로 공급되어 평균 연소온도(avg.T)는 1,043°C-1,018°C를 기록했다. 이때 톱밥 혼합율을 0%에서 18.1%까지 늘릴수록 연소실 상단으로 공급되는 대동탄 공급량은 7.1 kg/hr에서 5.9 kg/hr로 감소하고 연소실 중단으로 공급되는 톱밥 공급량은 0 kg/hr에서 1.54 kg/hr로 증가한다. 따라서 대동탄이 공급되는 지점인 연소실 상단 온도(C1)은 대동탄 공급감소로 낮아지나 톱밥이 공급되는 지점인 연소실 중단 온도(C2)가 높아지는 결과를 보였다. 따라서 평균연소온도는 약 25°C 낮아지나 연소 배출가스 온도는 971°C에서 982°C로 높아지는 결과를 보였다. 석탄 공급량 6 kg/hr 일때의 연소실험 결과와 비교해 보면, 연소온도 증가로 인해 CO 발생량은 37ppm 까지 낮아져 연소효율이 크게 향상된 것을 알 수 있다. 표와 그림에서 보는 바

와 같이 CO 발생량과 NO 발생량, SO₂ 발생량은 석탄 전소시에 비해 톱밥 혼소시에 미미하나 감소되는 경향을 알 수 있다.

표에서 U/C는 연소실 후단에 설치된 cyclone의 회분포집구에 포집된 회분의 미연탄소분(unburned carbon) 분석결과이다. 입열량과 연소온도가 균일한 운전조건에서 톱밥 혼합율을 18.1%까지 높임에 따라 회재의 미연탄소분이 23.9%에서 17.4%로 감소하는 결과를 보였다. 이는 대동탄 공급이 감소하고 휘발분 함량이 많고 연소속도가 빨라 상대적으로 연소효율이 높은 톱밥의 공급량 증가했기 때문으로 판단된다.

Table 2. Results of blend fuel combustion

Mixing Ratio	Avg.T (°C)	Te (°C)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	SO ₂ (ppm)	U/C (%)	Input Heat (kcal/hr)
0%	1043	971	9.95	9.75	37	467	384	23.9	48577
5.2%	1044	981	10.6	9.15	31	496	385	23.4	47270
10.9%	1018	964	10.8	9	23	490	322	18.4	47717
18.1%	1018	982	10.9	8.9	25	465	268	17.4	47524

5. 결론

석탄과 바이오매스 혼합연료 co-firing은 NO_x와 SO_x를 저감한다는 장점이 있으며 CO₂ emission을 감소시키는 효과를 갖는다. 미국의 경우 DOE와 EPRI에서 주관하고 유럽 EU에서 주관하는 co-firing 연구결과 대규모의 utility에 적용하는 경우 유효할 뿐만 아니라 환경적으로도 매우 유효하다는 결론이 도출되었다.

Co-firing은 연료값을 낮추고 폐기물을 감소시키며 토양과 물의 오염을 막는 효과가 있다.

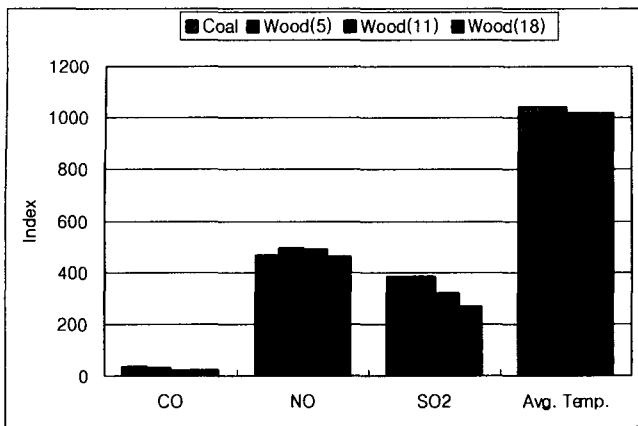


Fig. 3. Results of co-combustion of biomass and coal in bench scale cyclonic combustion system.

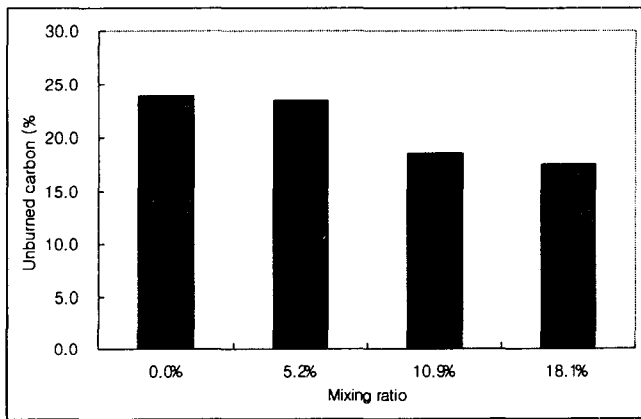


Fig. 4. Unburned carbon in ash from blend fuel combustion.

그러나 기술적으로 해결하여야 하는 문제가 있다. 첫 번째 문제는 회분의 알칼리 성향으로 인한 fouling 문제이다. 회분의 용착은 열전달을 방해하고 결과적으로 부식의 원인이 된다. 석탄의 연소에서 만들어진 회분의 용착과 비교하면 바이오매스의 회분 용착은 보다 dense 하고 따라서 제거하기가 더 어렵다. 두 번째는 기존의 PC boiler에 주입하기 위해서는 최대 입자크기가 정해져야 하며 이를 위해서는 보다 많은 연구가 필요하다는 것이다. 그러나 이러한 문제는 경제적인 것과 연결되어 고려되어야 하는 사항이며 이보다 더 근본적인 문제는 연소특성 해석이다. 세 번째는 분쇄시스템의 고찰이다. 바이오매스 연료의 혼합비를 증가시키고 연소특성을 좋게 하기 위해서는 석탄과 다른 종류의 분쇄시스템이 선정되어야 한다. 많은 문제점에도 불구하고 석탄과 바이오매스의 혼합연료의 사용은 발전소 utility에 사용할 수 있는 가장 가능성이 큰 잠재력을 갖고 있다고 결론지을 수 있다.

참 고 문 헌

1. Sami, M., Annamalai, K. and Wooldridge, M., 2001, *Progress in Energy and Combustion Science*, 27, 171-214
2. Williams, A., Pourkashanian, M. and Jones, J.M. 2001, *Progress in Energy and Combustion Science*, 27, 587-610