



순환유동층 발전설비를 이용한 바이오매스 연소 기술



이 종 민
한전 전력연구원 책임연구원

1. 개 황

발전 연료 가격의 상승과 고급 유연탄의 수급 어려움으로 인해 경제적 에너지 자원의 다변화 활용에 대한

관심이 급증하고 있다. 더불어, 화력발전 설비로 인해 발생하는 CO₂의 저감을 위해 CCS(Carbon Capture & Storage) 기술의 개발이 이루어지고 있으나, 그 적용 시점에 대한 기술적·경제적 극복에 많은 난관을 겪고

있다. 이에 비교적 기술 적용이 간편하며, CO₂배출의 중립(Neutral; Biomass의 성장 시 광합성에 의한 CO₂ 흡수 감축량 인정)을 인정받는 바이오매스의 연소는 실질적인 CO₂ 배출 저감의 기술 분야라 할 수 있다.

이러한 바이오매스 발전설비에서의 연소는 다양한 기술이 있을 수 있으나, 비교적 발열량이 낮고 연료의 성상이 균일하지 않은 바이오매스의 특성 상, 유동층 방식에 의한 연소가 가장 적합한 기술로 평가받고 있다.

이는 유동층 연소기술이 일반적인 미분탄(PC; Pulverized Coal) 발전설비와 같은 직접 화염연소 방식이 아닌 간접 가열 방식의 유동 매체를 이용한 연소 방식으로 낮은 발열량이나 발열량 변화가 큰 연료에 적합하며, 더불어 화염 생성 및 화염 연소를 위한 연료 입자의 미분화가 필요 없는 장점으로 인해 바이오매스와 같은 큰 입자의 연소에 가장 적합한 것으로 평가받기 때문이다. 이에 발전 설비, 특히 순환유동층 발전설비에서의 바이오매스

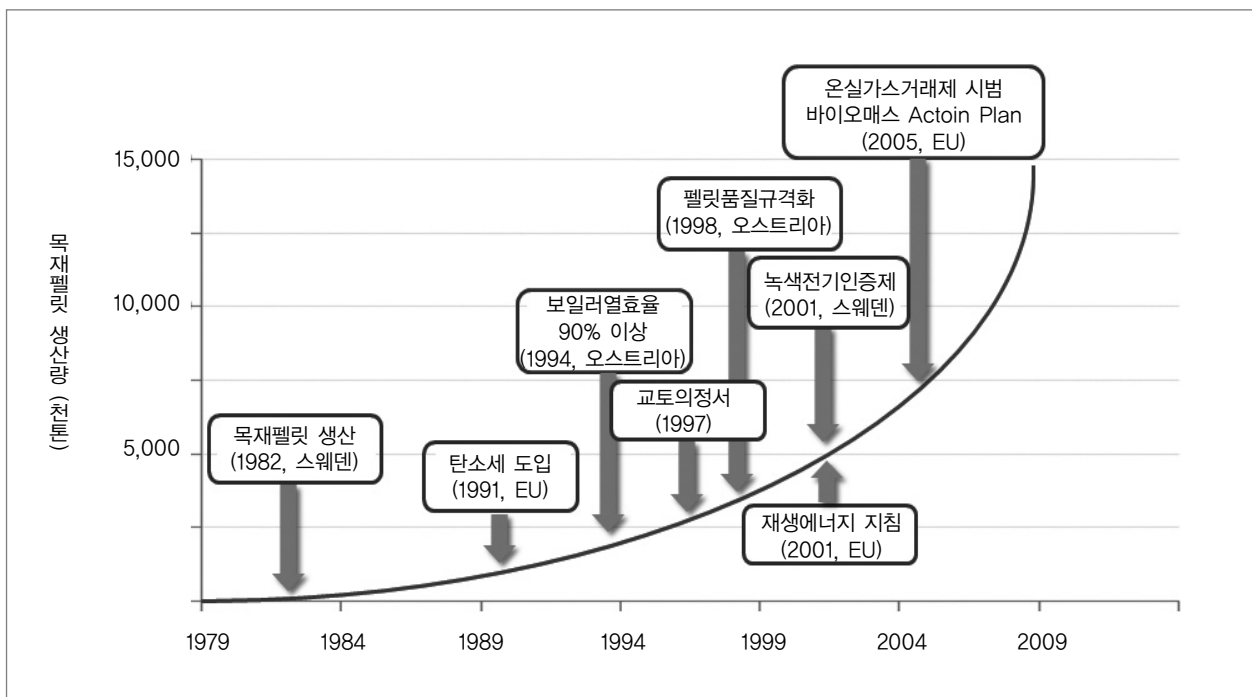
적용이 활발하게 이루어지고 있으며, 이를 통해 경제적·환경적 발전 기술의 고도화가 빠르게 진행되고 있다.

2. 현황

가. 바이오매스 활용 현황 및 전망

바이오매스 에너지의 활용을 통한 온실가스의 실질적 감축은 발전설비의 효율 증가에 의한 상대적 이산화탄소 발생저감을 제외하고는 2020년 이내 상용 화력 발전 플랜트에서의 이산화탄소의 감축을 위한 유일한 기술적 해결 방법이라고 할 수 있다.

국내의 경우, 정부정책에 있어 2030년까지 신재생 에너지 11% 보급을 골자로 한 『국가에너지 기본계획』을 수립(2008. 8)하였으며, 이 중 바이오 에너지의 상대적 비율은 신재생에너지 중 폐기물 에너지와 더불어 가장



[그림 1] EU의 목재펠릿 산업의 성장 배경

[표 1] 주요 국의 바이오매스(목재펠릿) 이용 실태

구분	이용 실태
캐나다	<ul style="list-style-type: none"> ● 세계 최대 목재펠릿 수출국(1.2백만톤, 60%는 유럽, 25%는 미국·일본) ● BC주의 소나무좀 피해목(200~500만m³)을 이용 펠릿 생산 증대
스웨덴	<ul style="list-style-type: none"> ● 세계 최대의 펠릿 소비국(1.85백만톤) ● 1991년 탄소세, 2002년 RPS가 도입되면서 펠릿 사용이 급증
미 국	<ul style="list-style-type: none"> ● 지난해 세계 최대 펠릿 생산국(1.8백만톤)으로 급성장 ● 대부분 유럽 수출용이며, 국내 수요는 대부분 가정 난방용
독 일	<ul style="list-style-type: none"> ● EU 역내에서는 최대 펠릿 수출국(56만톤) ● 국내 수요는 대부분 보일러와 지역난방에 사용
오스트리아	<ul style="list-style-type: none"> ● 전체 보일러 중 펠릿보일러 비중이 가장 큰 나라(12.5%) ● 국내 수요는 대부분 가정 난방용
중 국	<ul style="list-style-type: none"> ● 펠릿 생산 신흥 도약국(2011년 500만톤 계획) ● 국내 수요는 대부분 열병합발전으로 계획
일 본	<ul style="list-style-type: none"> ● 펠릿 생산은 1982년에 시작되었으나, 2007년 펠릿 시장규모는 33천톤 ● 2008년부터 혼소발전용으로 캐나다에서 매년 6만톤씩 수입

많은 비중(31.4%, 2030년 기준)을 차지하는 것으로 나타나 활용 전망이 매우 높아 보인다.

또한, 산림청 보고 자료(2009. 9)에 따르면 목재펠릿 원료 공급과 생산의 조기 정착을 위한 해외 기반조성의 일환으로 『한·인니 산림협력센터』를 설립하여 해외 원료 공급 전초기지 역할을 수행하고 있으며, 목재바이오매스 에너지 산업육성을 위한 속성수 시범 조림 및 목재펠릿 생산기술 개발 지원 등의 Project를 추진 중에 있어 바이오매스의 수급은 점차 증가할 것으로 전망된다.

한편, 국외의 경우 바이오매스 등 신재생에너지로의 연료다변화 발전 이용 시장은 교토의정서 체결(1997년) 이후 급격하게 증가하고 있는 추세이다.

유럽연합에서는 '바이오매스 액션 플랜(2005년)'을 수립하여 바이오매스 에너지 이용을 확대하고 있으며, <6.9백만TOE(2003년) → 15백만TOE(2010년)> 이는

대부분 난방, 발전 및 수송에너지원으로 활용되고 있다. 더불어, 2009년 후반부터 탄소세 도입, 교토의정서 발표, 유가 상승 등에 따라 유럽 국가를 중심으로 목재펠릿 산업이 꾸준히 성장하고 있다(그림 1 참조).

이러한 목재펠릿의 사용은 80%가 온실가스 감축 의무를 이행중인 EU에서 소비되고 있으며, 향후 연간 30% 이상 확대될 전망으로 2020년까지 전 세계 목재펠릿 수요는 1억 5천만톤에 이를 것으로 추정된다(표 1 참조). 이 중 발전에 활용되고 있는 소비는 약 40% 정도로 지속적인 증가 추세가 전망되고 있어 활용 시장 또한 점차 증대될 것으로 예상된다.

더불어 목재펠릿뿐만 아니라, 동남아시아 등지에 집중되어 있는 팜커널 셸 등의 바이오매스 활용 잔류물들도 발전 보일러에서 활용되고 있어 바이오매스 생산 및 활용 시장은 그 종류와 규모가 지속적으로 증대될 것으로 보인다.

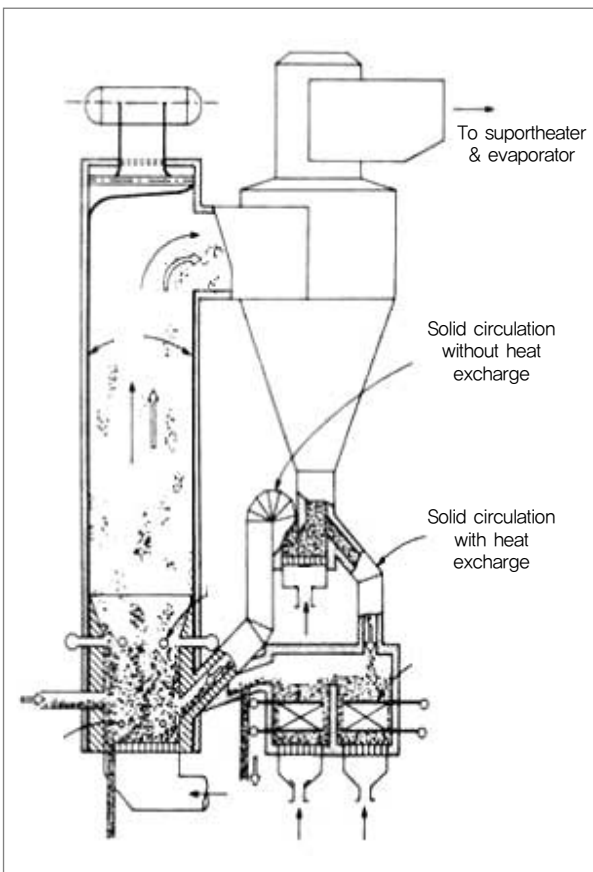
나. 순환유동층 보일러에서의 바이오매스 연소 기술

순환유동층 보일러는 연소로 내 입자(석탄, 석회석, 회, 모래 등)의 유동 및 순환을 통한 연소 방식으로 연소로 내에서 가열(900℃ 내외)된 유동·순환 입자가 열을 전달하여 스팀을 생산하는 발전방식이다(그림 2 참조). 순환유동층 연소 방식은 연소로 내 별도의 화염 없이 연료의 개별 입자가 연소로 층내로 투입되어 가열된 층물질과 혼합, 연소되는 방식이다.

저급의 연료를 화염의 생성 유무와 관계없이 직접 연소할 수 있는 장점이 있으며, 비교적 굵은 입도를 미분 공정없이 그대로 사용할 수 있어 광범위한 연료의 적용성이 있다.

이러한 순환유동층 발전설비는 국내·외적으로 지속적인 증가 추세를 나타내고 있으며, 1990년대 초 2% 시장 점유율에서 현재는 약 10%의 신규시장 점유율을 기록하고 있다. 특히, 바이오매스의 순환유동층 연소는 근래 들어 매우 활발하게 이루어지고 있으며, 이는 특별한 설비 보강 없이 바이오매스의 혼소가 가능한 순환유동층의 연소 특성에 기인하는 것으로 판단된다.

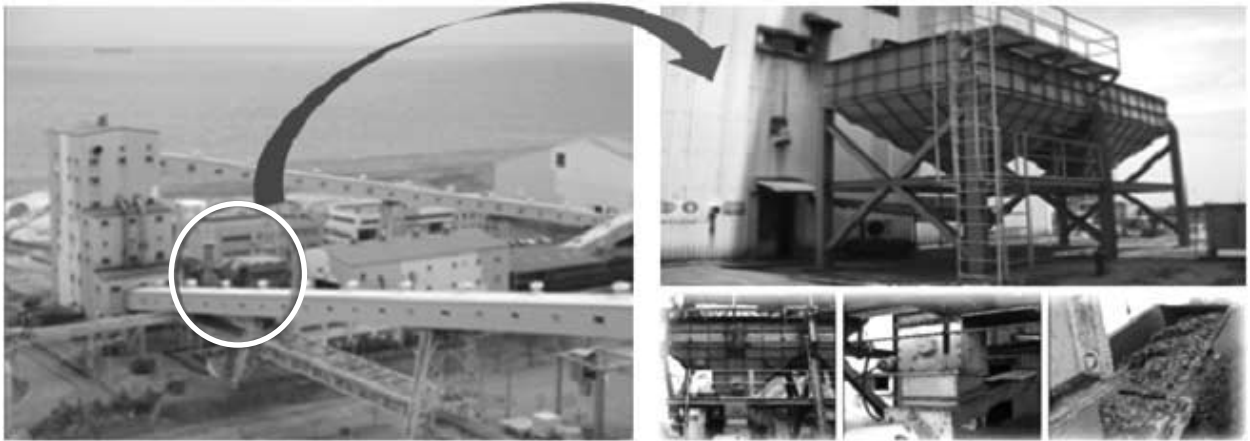
국내의 경우, 한전 그룹사의 순환유동층 발전설비는 동해화력(한국동서발전)에 200MWe급 2기와 여수화력(한국남동발전) 340MWe급 1기가 상운업전 중에 있으며, 이 중 동해화력 순환유동층에서는 목재 펠릿 0~5%의 혼소시험과 더불어, 우드칩 연료(WCF) 0~10%의 혼소



Comparison of CFB boiler with other types of boilers (P. Basu, 2005)

Characteristics	Stoker	Bubbling	Circulating FB	Pulverized
Height of bed or fuel burning zone(m)	0.2	1~2	10~30	27~45
Superficial velocity(m/s)	1~2	1.5~2.5	3~5	4~6
Excess air(%)	20~30	20~25	10~20	15~30
Grate heat release(MW/m ²)	0.5~1.5	0.5~1.5	3.0~4.5	4~6
Coal size(mm)	6~32	< 6	< 6	< 0.1
Turn down ratio(-)	4 : 1	3 : 1	3~4 : 1	3 : 1
Combustion efficiency(%)	85~90	90~96	95~99.9	99~99.5
Nox emission(ppm)	400~600	300~400	50~200	400~600
SO ₂ Capture in furnace(%)	None	80~90	80~90	None

[그림 2] 순환유동층 개략도 및 기술별 연소방식의 장·단점



[그림 3] 동해화력 연료투입 설비

시험을 마치고 바이오매스의 혼소 상업운전을 준비 중에 있다. 여수화력 순환유동층 또한, 목재 펠릿의 혼소를 위해 일부 연료 투입 설비를 보강 중에 있으며, 내년 초 본격적인 바이오매스의 연소 활용을 수행할 예정이다.

동해화력 순환유동층에서 바이오매스를 연소할 경우, 바이오매스의 분쇄는 석탄과 달리 섬유질 성분의 퍼짐 현상으로 인해 분쇄기를 거치지 않고 별도의 Feeding 설비를 구축하여 석탄 상탄 라인에 연결, 보일러로 투입하였다(그림 3 참조).

동해화력 순환유동층에서 바이오매스 연소는 크게 목재 펠릿과 우드칩연료(WCF)를 사용하여 고찰하였다. 목재 펠릿 연소의 경우, 동해화력 순환유동층 보일러에 가장 크게 운전 위험을 인자로 연소로 출구 및 사이클론의 온도 상승 부분을 들 수 있다(그림 4 참조).

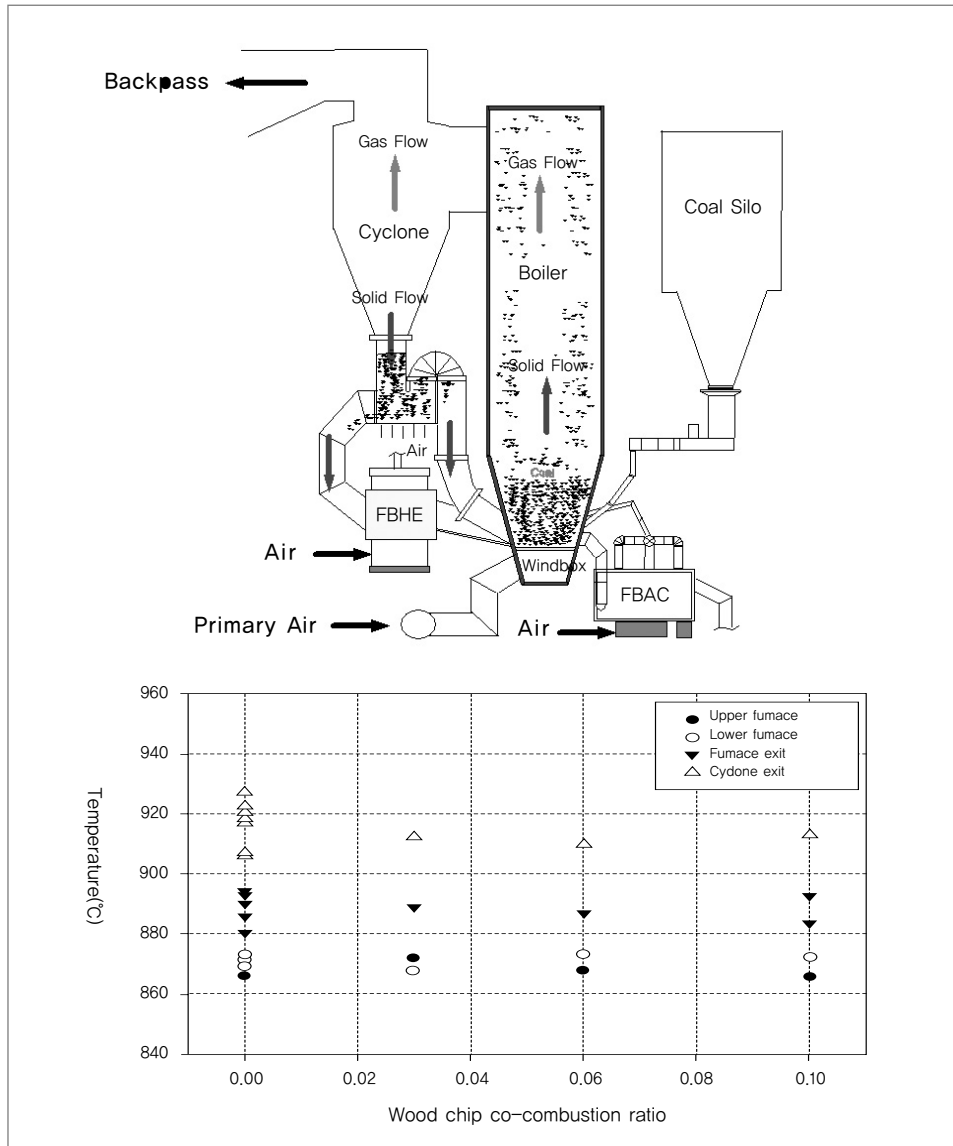
목재 펠릿의 경우, 혼소량이 증가할수록 연소로 출구 온도가 사이클론 최대 운전 온도인 940℃에 가까워짐을 알 수 있으며, 이는 혼소량이 약 10% 내외가 되면 출구 온도를 더욱 높일 것으로 예측된다.

이 경우 회 입자의 표면 용융 및 뭉침 현상으로 인해 Clinker가 급속도로 생성될 위험이 있어 그 이상의 펠릿 사용은 안정적 운전에 위험요소로 작용할 것으로 판단되었다. 한편, 우드칩연료의 경우는 혼소량이 증가해도 연소로 출구 및 사이클론 온도증가가 나타나지 않았으며, 이는 목재 펠릿(<50mm)과 우드칩연료(<100mm)의 입자 크기 차이로 인한 탈휘발 속도 및 유동 혼합 속도에 기인하는 것으로 판단되었다.

결론적으로 유동층에서의 온도 분포 조절은 바이오매스 입도 조절을 통해 최적의 운전조건을 도출할 수 있는 것으로 나타났다.

한편, 바이오매스 혼소율이 증가함에 따라 회(ash)내 Ca 함유량 증가로 인한 탈황 특성은 더욱 좋아지는 것으로 나타났으며, NOx 및 회 용출 특성은 크게 변화하지 않는 것으로 나타났다.

더불어, 연소로부터 기인하는 다이옥신 배출량은 기준치 1% 이내의 미비한 양만 검출되는 것으로 나타나 바이오매스의 동해화력 순환유동층 연소 적용은 기술적·환경적 문제가 거의 없는 것으로 나타났다.



[그림 4] 동해화력 연료투입 설비 구성도

3. 향후 계획

한전 전력연구원과 한국동서발전 동해화력에서는 순환유동층 바이오매스 확대 적용을 위해 우드칩연료(WCF)를 기반으로 더욱 높은 혼소율 시험을 통해 기술적·환경적 문제와 더불어, 경제성 제고를 통한 운영 기술 고도화를 달성할 예정이다.

이를 통해 다양한 바이오매스 활용을 위한 표준 연소 기술을 정립하고 보다 환경적이고 경제적인 발전을 이룰 것으로 기대된다. 더불어, 한전 전력연구원과 한국 남동발전 여수화력에서는 금년 하반기 바이오매스 연료 투입설비 보강 작업을 통해 내년 초부터는 바이오매스 연소 시험 및 안정적 운영 방안을 마련할 예정이며, 이를 통해 실질적인 이산화탄소 저감 대책 마련으로 친환경 발전을 달성할 수 있을 것으로 전망된다. KEA