

미분탄 석탄화력발전에서의 바이오매스 혼소 동향 및 전망

Status and Perspective of Biomass Co-firing to Pulverized Coal Power Plants

한국생산기술연구원 고온에너지시스템그룹 양 원

DOI <http://dx.doi.org/10.18770/KEPCO.2016.02.04.525>

Abstract

Biomass co-firing to existing thermal power plants is one of the most economical and efficient way to reduce CO₂ emission from the plant. There are several methods of co-firing and it can be categorized into (1) Parallel co-firing, (2) Indirect co-firing, and (3) Direct co-firing. Parallel co-firing is the most expensive way to high-ratio co-firing because it requires biomass dedicated boiler.

Direct co-firing is widely used because it does not need high capital cost compared with the other two methods. Regarding the direct co-firing, it can be classified into three methods- Method 1 does not need retrofit of the facilities because it uses existing coal mills for pulverizing biomass fuels. In this case high-ratio co-firing cannot be achieved because of poor grindability of biomass fuels. Method 2 needs biomass-dedicated mills and revision of fuel streams for the combustion system, and Method 3 needs additional retrofit of the boiler as well as biomass mills. It can achieve highest share of the biomass co-firing compared with other two methods.

In Korea, many coal power plants have been adopting Method 1 for coping with RPS(Renewable portfolio standards). Higher co-firing ratio (> 5% thermal share) has not been considered in Korean power plants due to policy of limitation in biomass co-firing for securing REC(Renewable Energy Certificate). On the other hand, higher-share co-firing of biomass is widely used in Europe and US using biomass dedicated mills, following their policy to enhance utilization of renewable energy in those countries. Technical problems which can be caused by increasing share of the biomass in coal power plants are summarized and discussed in this report.

CO₂ abatement will become more and more critical issues for coal power plants since Paris agreement(2015) and demand of higher share of biomass in the coal power plants will be rapidly increased in Korea as well. Torrefaction of the biomass can be one of the best options because torrefied biomass has higher heating value and grindability than other biomass fuels. Perspective of the biomass torrefaction for co-firing is discussed, and economic feasibility of biomass torrefaction will be crucial for implementation of this technology.

바이오매스 혼소는 신재생 에너지의 비중을 늘리면서 석탄화력발전에서의 CO₂ 배출을 저감할 수 있는 단중기적으로 가장 효과적인 방법이다. 본 논문에서는 이 중 기존 화력발전소에 가장 적은 초기투자비로 적용할 수 있는 직접 혼소법에 대하여 주로 고찰을 수행하고, 국내외 현황 및 전망에 대해 기술하였다. 직접 혼소법은 바이오매스 전용 미분기를 사용하여 혼소율을 늘리는 방법과 저 혼소율에서 초기투자비를 최소화하는 기존 석탄 미분기 사용 바이오매스 혼소법으로 나눌 수 있다. 유럽 및 미국에서는 혼소율을 높이기 위해 많은 상용발전소에서 바이오매스 전용 미분기를 사용하여 10~20% 가량의 혼소율(열량 기준)로 운전을 수행하고 있으나, 국내의 경우에는 RPS 대응을 위해 3~5% 가량의 혼소율에서 기존 석탄 미분기를 그대로 사용하여 바이오매스 혼소를 수행하고 있다. 신기후체제가 시작되고 석탄화력발전에서의 CO₂ 저감 요구가 점점 더 증대될 것으로 예상되는 바, 향후 바이오매스 고훈소율이 수행될 수 있는 기술적/저책적 방안이 모색되어야 하며, 이 경우 발생할 수 있는 설비에의 악영향을 면밀히 고려한 연료 표준화 및 전처리 기술이 개발되어야 한다.

Keywords : Biomass co-firing, Pulverized coal power plant, Direct co-firing, Biomass-dedicated mill, Torrefaction

1. 서론

바이오매스는 인류 존재 이래 가장 오래 전부터 사용되어 왔던 연료이다. 산업 혁명 이후 석탄 및 석유 등의 화석 연료가 현재 인류에 있어 가장 중요한 에너지원이 되어왔지만, 최근 들어 온실가스 배출 문제가 석탄화력발전의 치명적인 약점이 되면서 다시 바이오매스 연료가 전력 생산을 위한 연료원으로 주목받고 있다. 바이오매스는 성장 과정에서 CO₂를 흡수하였기 때문에, 이의 연소를 통해 CO₂가 발생하지만, 이는 CO₂를 배출하지 않는 것으로 인정된다. 즉, 흡수한 CO₂를 다시 돌려주기 때문에 즉 탄소 배출제로(carbon neutral)로 간주하게 된다.

바이오매스를 기존 석탄화력발전소에 혼소(co-firing)하는 것은 석탄화력발전에서 가장 쉽게 온실가스 배출을 저감하는 방법이다 [1]. 발전 설비의 개조도 최소화할 수 있고, 무엇보다도 발생 비용이 태양광 등 타 신재생 에너지에 비해 가장 낮다. 국외에서는 이미 1990년대에서부터 연구를 통해 바이오매스 혼소 상용운전이 진행되고 있고, 국내의 경우에는 RPS (Renewable Portfolio Standard) 가 국내에서 시행되면서, 비태양광 분야에서는 가장 쉽게 REC (Renewable Energy Certificate) 를 획득하는 수단으로 널리 적용되어 왔다. 현재 국내 미분탄 석탄화력 발전에서 열량 기준 최대 약 3~5% 까지 바이오매스 혼소가 이루어지고 있다. 그러나, 최근 들어 출범된 신기후체제에서 석탄화력발전 배출 CO₂ 저감이 더 강하게 요구되는 현 시점에서는 혼소율을 더 증대해야 하는 과제가 있는 것도 사실이다. 실제 석탄화력에서 CO₂를 의미있는 수치로 저감할 수 있는 방법은 CCUS(Carbon capture, utilization and sequestration) 와 고효율화 말고는 바이오매스와 같은 저탄소 연료를 혼소하는 방법 밖에 없다. 필요성이 증대되고 있는 현 상황에 따라, 본 논문에서는 저탄소 발전의 핵심인 미분탄 화력발전에서의 바이오매스 혼소 기술 현황에 대해 정리하고, 향후 전망 및 극복해야 할 기술 및 정책 이슈에 대해서 다루도록 한다.

2. 바이오매스 혼소 기술 개요

2.1 기술 개요 - 바이오매스 혼소 방법

기존 화력발전이 바이오매스 혼소를 수행하는 방법은 그림 1에 나타난 바와 같이 크게 3가지로 나눌 수 있다[2]. 첫 번째는 병행 혼소(Parallel co-firing) 방식으로, 바이오매스 전용 보일러를 설치하여 스팀을 만들고, 기존 발전소의 스팀 사이클을 통합하여 발전을 수행하는 방식이다. 두 번째는 간접 혼소(indirect co-firing) 방식으로, 기존 보일러에 바이오매스 연료를 넣어, 열화학적 전환(가스화 또는 열분해) 방법을 통해 연료를 기체상 또는 액체상으로 변환하여 투입하는 방법이다. 세 번째는 직접 혼소(direct co-firing) 방식으로, 기존 보일러에 고체상의 바이오매스를 간단

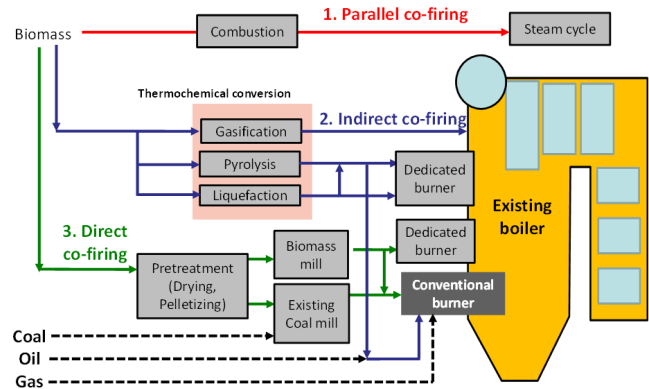


그림 1 바이오매스의 기존 발전 보일러 혼소 방법 정리

한 전처리(펠릿화 등)를 통하여 고형 상태 그대로 넣는 방식이다. 이 경우 병행 혼소 > 간접 혼소 > 직접 혼소의 순서대로 혼소율을 높일 수 있지만, 이를 위해 많은 초기투자비가 같은 순서로 발생하게 된다. 그러므로, 혼소 방법을 결정하는 과정에서 신재생 에너지 관련 정책 또는 온실가스 배출권과 같은 정책적 요소들을 고려하여, 전략적으로 혼소 방식을 선택해야 한다.

2.2 바이오매스 직접 혼소 방법

위 세 방법 중 가장 많은 발전소에서 선택하고 있는 방식은 세 번째로 제시한 직접 혼소법이다. 가장 초기 투자비가 적게 들뿐만 아니라, 국내의 경우 현 시점에서 혼소율을 높이는데 많은 정책적 제약이 있기 때문에 가장 널리 사용되고 있는 방식이다. 미분탄 화력발전에서는 연료를 미분해야 되기 때문에 기본적으로 칩(chip) 형태의 연료보다는 펠릿(pellet) 형태의 연료를 선호하고 있다.

직접 혼소법의 경우에도 다양한 혼소 방법이 존재하며, 이를 그림 2에 정리하여 나타내었다[3]. 이 중 Method 1은 기존의 석탄 미분기를 그대로 활용, 석탄과 바이오매스를 혼합(blending)한 연료를 그대로 석탄 미분기에 넣어 기존의 연료 라인을 그대로 활용하여 혼소를 수행하는 방법으로, 기존 설비에 거의 손을 댈 필요가 없는 반면에 바이오매스의 낮은 미분성으로 인해 혼소율 5%(열량 기준)를 넘기기 힘들다는 한계가 존재한다. Method 2는 바이오매스 전용 미분기를 사용하여 바이오매스를 미분한 뒤 연료 라인 또는 기존 미분탄 버너를 개조하여 혼합하여 넣는 방식으로, 이 경우에는 혼소율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 바이오매스의 연료 특성상 미분탄만큼의 미분입도를 요구하지 않기 때문에 미분에 필요한 소요전력을 최소화할 수 있다는 장점이 있다. Method 3은 바이오매스 전용 미분기를 사용하되, 바이오매스의 공급 위치를 보일러 내에 별도로 넣는 방법으로, 혼소율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 fuel staged combustion 기법을 사용하여 NOx 저감 효과까지 극대화할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

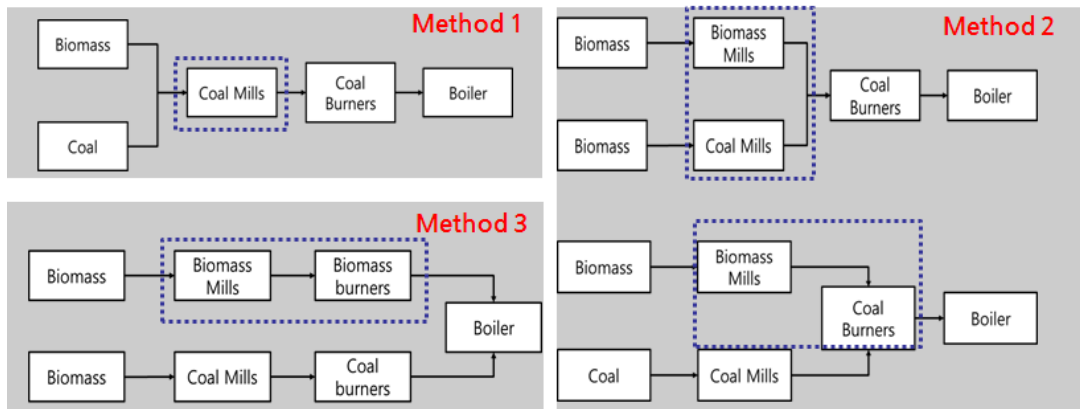


그림 2 바이오매스의 직접 혼소 방법 정리

Method 숫자가 늘어나면서 바이오매스 mill, 연료라인 및 버너/보일러 개조 등의 비용이 추가되기 때문에 초기 투자비 및 기술적 risk 는 늘어나는 대신 달성 가능 혼소율도 이에 비례하여 높아지는 특성을 가지고 있다. 어떠한 방법을 택해야 할지는 앞에서 기술한 것과 마찬가지로 정책적, 기술적 risk를 고려하여 결정하는 것이 필요하다.

3. 국내의 현황

3.1 국외 현황

유럽은 정책적으로 바이오매스의 혼소를 가장 활발하게 수행하고 있다. 약 200기의 실증 운전이 수행되었거나 되어 오고 있으며, 정책적인 뒷받침과 함께 혼소 상용 운전을 계속하여 확대하고 있다. 가장 눈에 띄는 활동을 진행하는 나라는 영국이며, 2025년까지 석탄화력 발전소를 폐지하거나 바이오매스 전소 발전소로 개조함으로써 석탄화력을 폐기하겠다는 계획을 가지고 있다[4]. DRAX 파워 스테이션의 경우, 이미 625 MW 급 발전소 6기를 바이오매스 전용 발전으로 개조하여 운영을 시작한 상황이다 [5]. 표 1 에는 영국에서 진행하고 있는 바이오매스 혼소 기반 발전 현황을 정리하여 나타내었다 [3]. 덴마크 역시 Dong Energy를 중심으로 혼소 상용운전을 진행하고 있으며, 바이오매스 전용 mill 등을 사용한 직접혼소 방법을 최대한 활용, 약 20% 내외의 바이오매스 혼소를 수행하고 있다 [3]. 네덜란드, 벨기에 등에서도 1990년대 초부터 연구개발을 통해 현재 다수의 플랜트에서 혼소 기술을 적용해오고 있다. 특히 유럽의 경우, 바이오매스 수입 비중이 매우 높은 대신 연료 확보를 위한 중장기 전략을 세우고 움직이고 있다. 미국도 이미 바이오매스 고효율을 달성 기술은 확보한 상황이며, 약 40기 정도의 실증 운전을 수행하였다[3]. Shale gas 여파로 석탄화력 비중이 많이 줄어 유럽만큼은 활발하지 않지만 기술 수준은 유럽과 거의 대등한 가운데 있다고 평가된다.

3.2 국내 현황

국내의 경우, 바이오매스 혼소에 대한 관심은 2005년 이후부터 증대되어, RPS 대응을 위하여 2010년대 초부터 급격하게 상업 운전이 확대되기 시작하였다. 본격적인 R&D를 시작한 것도 이 때부터이며, 전력연구원과 한국생산기술연구원 등이 저혼소율에서부터 연구를 시작하였다.

국내 5개 공기업 발전사는 이미 직접 혼소법 Method 1 을 사용한 바이오매스 혼소를 열량 기준으로 3~5% 까지 수행하고 있으며, 가장 큰 동인(driving force)는 RPS 이다. 바이오매스 혼소를 수행하고 있는 모든 발전소들이 Method 1을 택하고 있으며, 혼소율도 주로 약 3% (열량 기준) 정도이고 필요에 따라 최대 5% 까지 높이지만 해당 혼소율에서의 장기 운전을 수행하지는 않고 있다. 특히 타 신재생 에너지원과의 형평성 및 바이오매스 전량을 외국에서 공급하는 것을 고려, 산업통상자원부에서 바이오매스 혼소에 대한 REC 획득에 제한(cap)을 두는 것을 고려하고 있고 이미 권고안으로 진행하고 있어 기존 발전소에서의 고효율 달성에 대한 명분이 약한 상황이다. 이러한 현상은 우리 나라와 연료 공급 등 상황이 유사한 일본에서도 동일하게 나타나고 있다. 이러한 상황에 발맞추어, 국내 관련 기술 연구개발 역시 Pilot 설비에서는 최대 20% (열량기준)까지 test 가 진행되었으나 [6] 아직 상용 적용은 제도적 뒷받침이 되지 않아 고효율까지는 진행되지 못하고 있다.

그러나, 작년 12월에 타결된 파리협정 이후, 석탄화력발전에서의 CO₂ 감축 요구량이 크게 증가할 것으로 예상되어 바이오매스 혼소율을 높이는 것은 향후 중요한 이슈로 다시 등장할 가능성이 매우 높다. 또한, 한국남동발전에서 추진이 확정된 영동화력 1호기(125MW) 석탄화력발전소의 바이오매스 전용 발전 개조 계획은 바이오매스 혼소율을 선택적으로 극대화하는 경우, 관련 이슈들에 대응할 수 있는 다양한 기술적 옵션을 갖는다는 측면에서 의미가 크다고 할 수 있다.

표 1 영국에서의 바이오매스 혼소 발전 현황 [3]

Plant	Capacity (MWe)	Generator	Biomass fuel	Cumulative ROCs (GWe)
Aberthaw	1455	RWEnpower	wood	296
Cockenzie	1200	Scottish power	wood	85
Cottam	2000	EdF	forestry/sawmill wastes	244
Didcot	2100	RWEnpower	wood	242
Drax	4000	Drax Power	milled palm nuts	955
Eggborough	1960	British Energy	various	363
Ferrybridge	2035	Scottish & Southern	olive residues, palm nuts, wood	1716
Fiddler's Ferry	1995	Scottish & Southern		1020
Ironbridge	970	E.ON UK	wood	171
Kingsnorth	2034	E.ON UK	cereal residues	478
Longannet	2400	Scottish Power	sewage sludge	461
Ratchliffe	2010	E.ON UK	various	38
Rugeley	1000	International Power	wood, olive residues, cereal	337
Tilbury	1085	RWEnpower	wood	51
Wet Burton	1980	EdF	olive cake	122
Total				6579

4. 바이오매스 혼소의 주요 이슈

4.1 기술 이슈

바이오매스 혼소는 열량 기준 10% 내에서 수행하는 경우 설비에 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 보고되고 있으며, 한국생산기술연구원에서 산업통상자원부 지원으로 수행하고 있는 “미분탄 표준화력에서의 신재생 연료 혼소율 및 NOx 저감 극대화 기술 개발” 사업의 연구 결과에서도 이러한 사실은 확인되고 있다 [6]. 그러나, 혼소율이 그 이상으로 증대되는 경우 바이오매스의 종류에 따라 여러 가지 문제점이 발생할 수 있으며, 그림 3은 그러한 문제점들을 정리하여 나타낸 것이다. 결국, 바이오매스 연료별로 표준화를 수행하고, 각 기준별 가능한 최대 가능 혼소율을 체계화하여 나타내는 작업이 필수적으로 요구된다고 할 수 있다.

바이오매스 혼소율을 높이고자 하는 경우 선택할 수 있는 방법은 크게 두 가지 정도로 나눌 수 있다. 하나는 앞에서 기술한 바와 같이 바이오매스 전용 mill을 설치하여 혼소율을 높이는 방법이고, 또 하나는 바이오매스를 반탄화(torrefaction) 등을 통해 미분도 및 에너지밀도를 극대화시켜 기존 발전소에 혼소하는 방법이다. 바이오매스를 반탄화하는 경우, 연료의 발열량을 높이고 흡습 특성을 경감시켜 수송비를 절감할 수 있을 뿐만 아니라, 바이오매스의 미

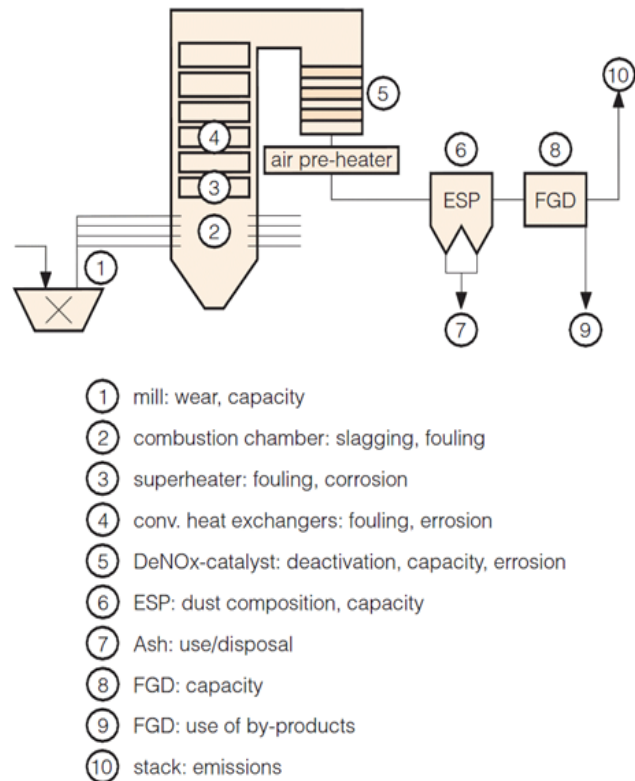


그림 3 바이오매스의 고훈소시 발생 가능한 문제점들 [7]

분도를 향상시켜 기존 석탄미분기에서의 핸들링을 용이하게 할 수 있다는 장점이 있다. 현재 유럽 등을 중심으로 바이오매스 반탄화에 대한 관심이 급격하게 높아지고 있는 상황이며, 국내의 경우에도 경제성 평가 등을 거쳐 기술 개발 및 적용이 시급하다고 할 수 있다.

마지막으로 수급된 바이오매스의 연료 핸들링(handling)에 있어 안전 문제가 중요한 기술 이슈가 될 수 있다. 바이오매스는 석탄에 비해 휘발분이 많고 탈휘발이 석탄보다 더 낮은 온도에서 시작되므로, 화재 및 폭발 문제 등이 발생할 수 있다. 바이오매스 연료 보관소, 연료 이송 라인 등에서의 화재 예방을 위한 안전 기술이 함께 수반되어야만 상용 적용이 가능할 수 있을 것으로 보여진다.

4.2 정책 이슈

현재까지 발전사들에서의 바이오매스 혼소는 신재생 에너지 비중을 늘려 REC를 획득하고자 하는 동인에 의해 주로 진행되었으나, 바이오매스 혼소가 가장 기술적/경제적 risk 가 적다는 것 때문에 정부에서 제한을 둬 따라 그 비중을 늘릴 수 없다는 문제가 있었다. 그러나, 향후 석탄화력이 당분간 기저부하로서의 한축을 지속적으로 담당할 수 밖에 없는 현실을 감안할 때 발전 sector 에서의 CO₂ 저감을 위해서 바이오매스 혼소 비중을 늘리는 것은 피할 수 없는 선택이 될 것으로 보인다. 정부에서 수립중인 온실가스 저감 계획 중 발전 분야에 할당될 목표가 어느 정도가 되느냐에 따라 적용의 폭이 크게 달라질 것으로 예상된다.

바이오매스 혼소 적용에 있어 또 하나 중요한 관건은 연료 수급 문제이다. 현재는 바이오매스 저장소 부족 문제 등으로 인해 연료 수급이 단기적으로 진행되고 있어 연료 수급이 규칙적으로 이루어지지 못하고 연료 품질 역시 일관성을 확보할 수 없다는 문제점이 부가적으로 도출되고 있다.

현재 약 3% 가량 혼소율을 유지하는데도 이러한 상황인데, 향후 고훈소율 운전으로 가게 된다면 관련 문제점은 더욱크게 불거질 수 밖에 없을 것이다. 전략적으로 발전용 바이오매스 연료의 표준화 및 수급 방안에 대하여 장기적인 계획을 수립하고 국내 임산 부산물 활용, 에너지 작물 재배, 해외 조립 등의 다양한 전략들이 수립되어야 할 것이다.

5. 결론

국내 에너지 상황을 고려할 때, 석탄화력발전에서의 CO₂ 배출 저감 및 신재생 에너지원 확대 측면에서 바이오매스 혼소는 채택 및 확대 적용이 불가피하다. 본 논문에서는 미분탄 화력발전에서의 바이오매스 혼소 기술들을 정리하고, 각각이 가지고 있는 특징들을 간략하게 다루었다. 또한 향후 혼소율을 확대하여 적용할 시 예상되는 기술적, 정책적 이슈들도 함께 정리하였다. 바이오매스 혼소는 단기간의 기술 개발을 통해 적용할 수 있는 이슈라기보다는 연료 확보, 정책 개발 등 측면에서 장기적인 전략을 가지고 추진되어야 하는 공공적 성격을 가진 기술이다. 또한 관련 바이오매스 연료를 표준화하고 이를 등급화할 수 있는 방안, 그리고 반탄화 등을 통한 바이오매스 고훈소율 적용 및 이와 관련한 제도 개선 방안 등도 장기적 관점에서 개발되어야 할 것이다.

References

- [1] Fouad Al-Mansoura and Jaroslaw Zuwalab, "An evaluation of biomass co-firing in Europe", Biomass and Bioenergy, Vol. 34, no. 5, pp.620-629, 2010
- [2] The International Renewable Energy Agency, "Biomass Co-firing-Technology Brief", IEA-ETSAP and IRENA© Technology Brief E21, January 2013
- [3] 양원, 김태현, 박범성, "신재생연료 혼소를 통한 미분탄 화력발전소의 CO₂ 저감 방안 도출", 기술 보고서, 2013
- [4] <http://www.bbc.com/news/business-34851718>
- [5] Ian Wright and Robert Ghent, "What we need to know about Coal : the view of a Utility", Presentation to Coal Research Forum, Nottingham, 13th April 2011
- [6] 양원, 김낙균 외, "미분탄 표준화력에서의 신재생 연료 혼소를 통한 NOx 저감 및 혼소율 극대화기술 개발", 에너지기술평가원 청정화력 분과 2차년도 과제 연차보고서, 2015
- [7] Hein, K. R. G. and Scheurer, W. "Co-combustion of biomass, wastes and residues with coal", EU seminar on the use of coal in mixture with wastes and residues II, Cottbus, Germany, 2000