



THEME 01

발전설비에서 CO₂ 배출 저감 및 에너지 효율 향상 방안

조 형 희 | 연세대학교 기계공학부, 교수 | e-mail : hhcho@yonsei.ac.kr
김 경 민 | 연세대학교, BK21 연구교수 | e-mail : kimkm@yonsei.ac.kr

이 글에서는 국내 발전설비와 관련하여 이산화탄소 배출량 및 이산화탄소를 줄이기 위한 기술 현황을 소개하고, 신기술 사용에 따른 에너지 효율 향상 및 CO₂ 배출 저감 방안에 대하여 기술하고자 한다.

국내 발전에너지 산업 현황

2010년 지식경제부에서 작성한 “제5차 전력수급기본계획”에서 보고한 통계자료에 따르면, 2001~2009년 까지 한국의 연평균 경제성장률은 3.5%이며 동기간 동안 에너지수요는 연평균 2.3%가 증가하였다. 하지만 전력소비량은 연평균 5.7% 증가하여, 전력소비가 경제성장률이나 타 에너지 소비량에 비해서 매우 높은 증가율을 보였다. 또한 2000년도에 최종에너지 소비기준으로 13.7%를 나타내었던 전력소비는 2008년 18.1%로 그 비중이 확대되었다. 향후 전기차의 보급 등에 기인하여 전력수요 증가율이 더욱 높아질 것으로 사료된다. 이와 같은 전력수요 증가는 국민소득 향상에 따른 고급 에너지원에 대한 선호도가 증가하였기 때문이다.

국내 전력수급 여건은 수요예측의 어려움과 신규 발전설비 건설의 불확실성으로 인해서 어려움이 지속적으로 증가되고 있다. 이와 같은 불확실성 속에서도 전력소비는 지속적으로 증가하여, 2000년대 초반 연간 10%에 가까운 높은 증가율을 보였다. 전력소비는 이후 점진적으로 증가율이 둔화되고 있는 추세이며, 더욱이 2008년과 2009년에는 세계적인 금융위기와 이에 따른 국내 경기침체의 영향으로 전력소비 증가가 크게 둔화되었다. 하지만, 2010년 경기 회복과 더불어 전력소비도 이전 수준으로 회복되고 있다.

이러한 가운데, 국가 온실가스 감축목표 설정(2020년 BAU 대비 30% 감축)에 따라 이산화탄소 배출이 높

은 전력부문에서 온실가스가 크게 감축되어야 한다. 따라서 부문별 감축목표 설정에 따라 사업장별 배출량이 할당되고 발전부문 또한 본격적인 감축을 시행할 것으로 전망된다. 온실가스 배출량을 줄이기 위해 많은 대체 에너지인 태양광, 태양열, 풍력, 연료전지 등 신재생 에너지 개발을 추진 중에 있으나, 현재의 국내 전력 소비량의 일정 부분을 대체하기에는 무리가 있다.

따라서, “제5차 전력수급기본계획”에서는 화석연료 고갈 등의 이유로 온실가스를 배출하는 화석연료 발전량을 줄이는 것을 목표로 하고 있으며, 화석연료에서 줄인 발전량은 2024년까지 원자력 발전량을 50% 근처까지 키워 충원하는 것을 목표로 하고 있다. 전력원 중 화석연료를 대체할 신재생에너지가 단기간에 얻어내기 힘들기 때문에, 가장 확보가 안정적인 원자력 에너지를 이용하고자 하는 것이다.

하지만 원자력 발전 건설은 폐기물 처리 및 부지선정에 어려움이 가장 큰 분야이며 기저발전으로 상시 운전되어야 한다. 이와 같은 원자력 발전의 문제를 고려하였을 때 중·장기적인 전력공급설비 확충과 변동 부하에 따른 안정적 수급 확보를 위해서는 화석연료를 이용한 발전설비의 건설도 함께 고려되어야 한다. 그러므로 과거 비용최소화 중심의 계획에서 수급안정성 강화 및 저탄소 녹색성장 중심의 지속가능한 전력 시스템 구축이 필요하다. 따라서 단기적으로 온실가스 저감량을 맞추기 위해서는 화석연료를 이용한 전력 발전설비 및 부품의 에너지 효율을 향상시키고 중장기적으로 이산화탄소 포집장치를 건설하여야 한다.

표 1 화석연료를 이용한 발전기술명 및 핵심설비

발전기술명	핵심설비
가스터빈엔진	- 내연력
- 고온·고압의 연소가스로 터빈을 가동시키는 회전형 열기관이다. 일반적으로 압축기, 연소기, 터빈으로 이루어짐.	- 복합화력 - 기력
디젤 엔진	- 내연력
- 주로 공장이나 빌딩의 비상용 전원, 낙도 등에서의 도내 배전용 전원 등으로 설치되며, 디젤기관은 열기관 중에서도 가장 효율이 좋고, 시동에 시간이 걸리지 않으며, 부속 설비가 적어 넓은 장소가 필요치 않고 간편하게 설치됨.	
화력발전	- 기력
- 보일러에 석탄을 연소시켜 얻은 에너지로 물을 끓여 증기로 만들고, 그 증기로 터빈을 회전시켜 회전력을 얻은 후 터빈축에 연결된 발전기에서 전기를 발생시키는 방식.	
Combined Cycle	- 복합화력
- 연료를 통한 1차 발전에서 생산된 열에너지로 다시 2차 발전을 하는 것.	
열병합발전(스팀생산)	- 복합화력
- 열병합발전이란 전기생산과 열의 공급 즉 난방을 동시에 진행하여 종합적인 에너지 이용률을 높이는 발전 방식	

화석연료를 이용한 발전설비

화석연료를 이용하거나 원자력을 이용하여 수증기를 발생시켜 터빈을 돌려 전력을 생산하는 발전을 통칭하여 기력발전이라 한다. 기력발전은 수력발전과 함께 중요한 발전방식인데, 과거에는 연료로 석탄이

주로 사용되었으나 최근에 와서는 중유와 혼용하는 방식이 많이 쓰인다. 기력발전은 주로 가스터빈, 보일러, 원자로 등을 사용하여 고온의 가스 및 증기를 발생시키는 방식이다. 또 다른 방식으로 내연력발전이 있다. 내연력발전은 디젤기관을 원동기로 하는 것으로 예비전원으로 오래 전부터 사용되어 왔다. 내연력발전은 소형 가스터빈발전과 더불어 주로 자가용으로 사용되어 왔다.

국내에서는 기력 발전을 사용하는 방법에 따라, 기력, 복합화력, 내연력 등 세 가지 발전기술로 나눌 수 있다. 각 발전기술 내 핵심설비를 보면, 기력은 보일러를 주로 사용하고, 복합화력은 가스터빈과 보일러를, 그리고 내연력은 디젤엔진과 소형 가스터빈을 주로 사용한다(표 1). 또한 폐열을 이용하여 난방을 위한 증기를 생산하는 경우를 열병합발전이라고 하며, 각 핵심 설비에 증기발생 설비를 추가로 설치하여 에너지 효율을 높이는 방식이다. 이와 같은 기술은 발전연료에 따라 국내 발전 특성은 표 2와 같이 나눌 수 있다. 자료에서 보듯이, 국내에서는 기력 중 유연탄과 복합화력 중 가스에 대한 총 발전 비중이 가장 높다. 유연탄 기력 발전은 이용률이 91.9%로 기저부하로 작동하여 기준 평균 전력을 담당함을 알 수 있고, 가스 복합발전은 변동부하로 작동하여 변동량을 조절함을 알 수 있다. 복합화력의 경우 실제 기기의 열효율은 60%에 근

표 2 발전원별 발전기술 특성 데이터(2009년)

기술명	총 발전설비 (MW)	평균전력 (MW)	이용률 (%)	에너지소비 (109kcal)	총 발전량 (MWh)	열효율 (%)	대수/기수	기술수명 (년)	
기력	무연탄	1,125	910.7	80.9	12,349	7,977,658	37.24	6/6	30
	유연탄	23,080	21,213.0	91.9	409,561	185,825,633	39.46	44/44	30
	중유	4,479	1,366.5	30.5	28,126	11,970,100	37.60	18/18	30
	가스	1,538	86.9	5.7	1,779	761,682	35.27	4/4	25
복합화력	가스	16,963	7,354.8	43.4	111,873	64,427,816	46.79	137/43	30
	경유	612	6.6	1.1	231	58,193	22.25	8/2	30
내연력	중유	120	58.0	48.4	1,137	508,686	49.71	6/2	25
	경유	226	21.5	9.5	748	188,267	22.23	170/50	25
총계	48,142	31,017.9	64.4	565,804	271,718,035	40.55	393/169	-	

※ 전력통계정보 시스템, 전력거래소

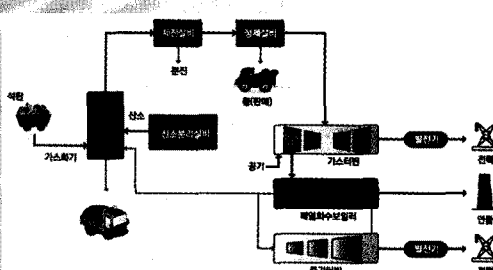
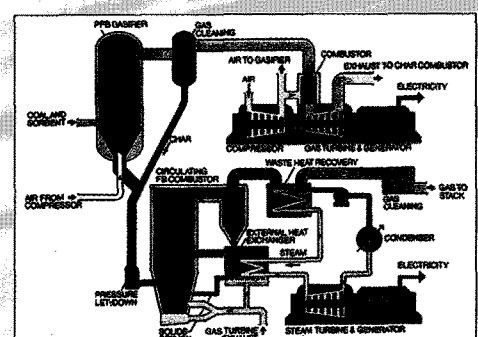
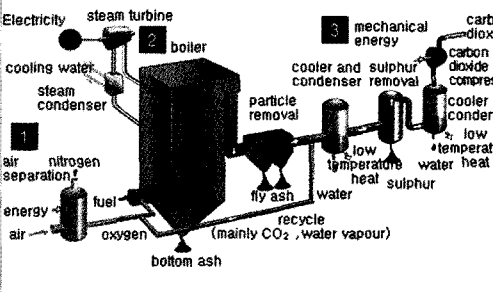
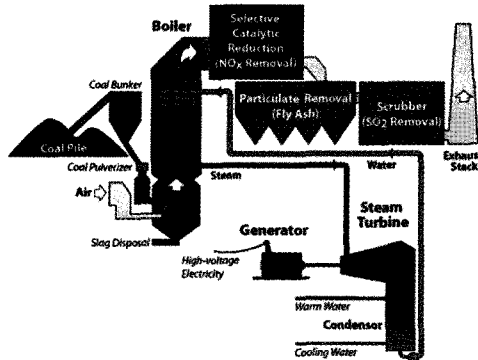
접하지만 국내에서는 변동부하를 조절하는 데 사용되기 때문에 열효율이 낮음을 알 수 있다.

온실가스 감축 기술

표 3은 현재 산업체 및 전문가들로부터 선정된 온실가스 감축 기술이며, 화석연료를 이용한 발전 설비에

실현성 검토를 거쳐 향후 발전에너지 부문에 적용하여 에너지 절약 및 온실가스 저감효과가 있으리라 판단되는 발전기술들과 이산화탄소 포집기술(CCS)의 개요를 정리한 표이다. 현재 국내에서는 아래와 같이 다양한 기술들의 활용이 검토되어, 건설 중이거나 건설 예정인 기술들이다.

표 3 온실가스 감축 기술

<p>석탄가스화 복합발전(IGCC)</p>  <p>1</p> <p>IGCC 기술은 석탄을 고온·고압 하에서 부분 연소시켜 가스화하여 합성가스를 생산하여 부식성 가스 및 분진을 제거한 후 가스터빈의 연료로 사용하고, 발생한 열과 가스터빈 배기가스 열을 회수하여 증기를 생산하는 복합발전방식이다. (* http://www.igcc.or.kr/)</p>	<p>가압 유동층 복합화력</p>  <p>3</p> <p>석탄을 이용한 발전으로 증기터빈과 가스터빈을 조합한 형태이다. 기존의 발전 방식과 비교하였을 때 상대적으로 낮은 온도에서 운전되므로 NOx 발생이 최소화되고 유동층 반응기에서 생성된 열은 증기로 회수되어 증기터빈을 운전하는데 이용하는 기술이다. (*http://fossil.energy.gov/)</p>
<p>순산소 연소 석탄화력</p>  <p>2</p> <p>1 산소생산 설비 2 미분탄 보일러 3 CO₂ 분리/압축</p> <p>순산소 연소 기술을 이용한 순산소 석탄 화력 발전 시스템은 검증된 기존의 석탄 화력 발전설비 기술의 신뢰성을 바탕으로 하는 시스템으로서, 공기분리장치, 순산소 석탄 연소 보일러, CO₂ 정제 및 압축장치로 구성되어 있는 CO₂ 회수 시스템이다. (* http://www.doosan.com/)</p>	<p>USC 화력발전</p>  <p>4</p> <p>USC 화력 발전플랜트는 화석연료를 주연료로 사용하여 증기온도와 압력이 물의 임계압 이상인 고온, 고압 증기를 사용하여 기존 화력발전소의 효율을 향상시킨 대용량 고효율 발전플랜트 기술이다. (* http://environmentengineering.blogspot.com)</p>