

발전설비 기술 패러다임의 전망

손 정 략 | 서울대학교 기계항공공학부, BK21교수 | e-mail: jlsohn@snu.ac.kr

이 글에서는 최근의 유가 폭등현상에 따른 에너지 자원 공급의 불안과 지구온난화현상과 관련하여 발전 설비 분야의 향후 기술 방향의 패러다임을 전망해 본다.

최 근 들어 유가 폭등 현상으로 인한 에너지 자원의 고갈과 관련된 위기의식이 전 세계적으로 확산되고 있다. 유가의 경이적인 상승의 요인이 실질적인 원유의 고갈 상황과 직접적인 관련이 있는지에 대한 여러 가지의 문점이 있으며, 특히 세계적인 금융시장의 구조적 모순이 유가 상승의 상당한 요인이 되고 있는 것이 사실이지만 어쨌든 우리는 지금 과거와는 다른 에너지 공급 상황에 직면해 있는 것만은 틀림이 없다.

그러나 지나온 인류의 역사를 되돌아보면 에너지 위기

최근의 에너지 위기 상황은 오일 쇼크 등 과거의 인류가 겪었던 유사한 상황들과는 달리 지구온난화현상 등과 관련된 환경문제와 결부되어 있어 상당히 복합적인 특성을 포함하고 있다.

와 관련된 상황적 변화는 비단 오늘날의 일이 아니라 인류 역사의 진보와 함께 과거부터 지속되어 왔음을 알 수 있다. 예를 들어, 18세기 산업혁명은 그 동안 주요 에너지 자원으로 사용해 왔던 목재로부터 석탄이라는 새로운 자원

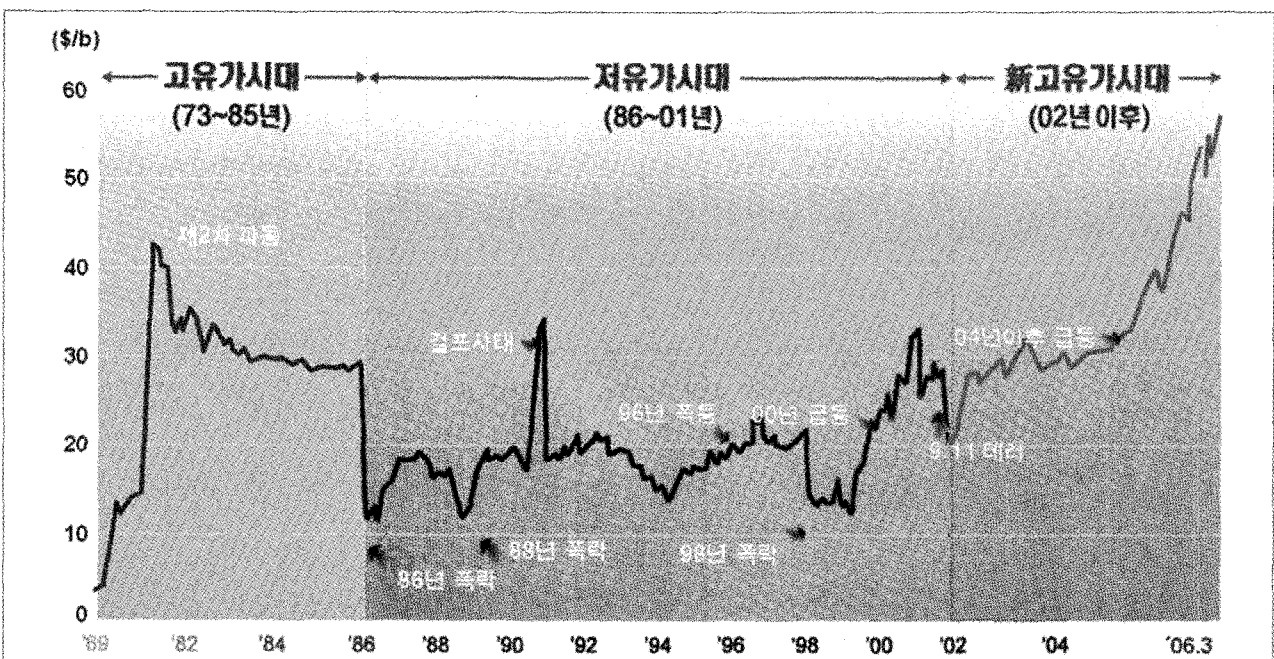


그림 1 유가 변동 추이의 세계 정세와의 관계(2007년 이전)

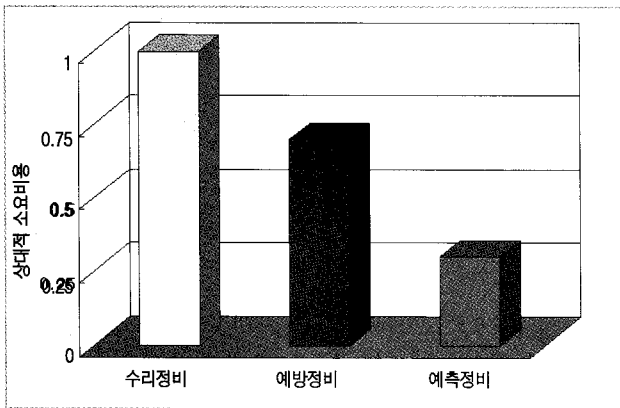


그림 2 발전설비 정비 기술의 진화

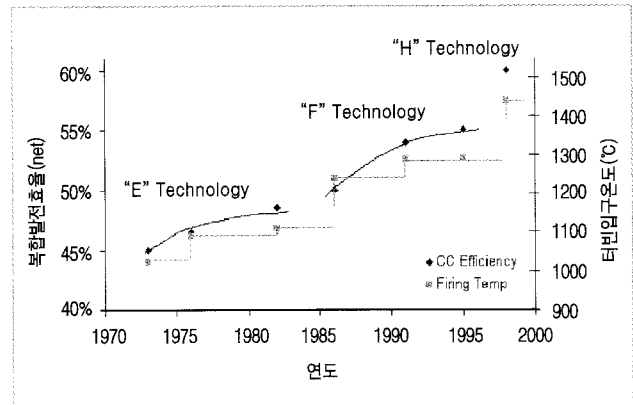


그림 3 복합발전 설비의 열효율 향상 추세

으로의 변화과정에서 발생한 사회적 현상이었다. 당시로서는 새로운 자원이었던 석탄의 출현이 목재의 고갈로 인하여 생긴 상황이었는지는 분명히 알 수 없으나, 석탄을 사용하기 시작하면서 인류는 엄청난 사회적 충격을 겪게 되었다. 그 과정에서 석탄을 대량 채굴할 수 있는 수단으로서의 증기기관이 발명되었으며, 이는 또한 인류의 동력원을 인력, 가축력 등으로부터 기계적인 힘으로 전환하는 계기가 되어 결국에는 산업혁명이라는 큰 사회적 변혁으로 이어지게 되었다.

뿐만 아니라, 산업혁명 이후 석탄을 주요 에너지 자원으로 사용하여 인류 사회는 20세기 초반에 또 한 번의 에너지 위기에 직면하게 된다. 영국 등 석탄 생산 국가들의 노동자들의 임금 상승과 함께 노동조합의 출현에 따른 각종 파업 등의 영향으로 석탄 생산은 급격하게 줄어들기 시작하였으며, 이는 당시의 신흥국이었던 미국을 비롯한 당시 선진국들의 각종 산업에 큰 영향을 미치게 된다. 그러나 그 후 유전의 발굴에 따른 석유의 대량 생산덕분으로 석탄 생산 감소에 따른 에너지 수급의 위기를 극복하게 된다.

1970년대 이후 전 세계적으로 불어 몇 차례의 오일 쇼크(그림 1 참조) 역시 당시로서는 매우 심각한 위기 상황이었음에도 불구하고 그 후 정치 경제적 노력에 의해 유가의 안정과 함께 세계 경제는 안정을 회복하였다. 따라서 이와 같이 인류 역사에 불어 닥친 몇 차례의 에너지 위기 상황은 인류의 놀라운 복원력으로 극복되어 왔으며, 이러한 사

례는 최근의 유가 폭등에 따른 새로운 위기 상황에서도 동일하게 적용이 될 것이라 확신한다.

최근의 에너지 위기 상황의 극복을 위한 단기적 복원력으로는 우선적으로 미국을 비롯한 국제 금융 시장에서의 금리 인상에 의한 투기 자본의 원유 시장의 이탈에 따른 세계 금융 산업의 안정화를 기대할 수 있을 것이다. 그리고 중장기적으로는 석유, 천연가스 등의 채굴 기술의 고도화에 따른 에너지 자원의 지속적이고 안정적인 확보, 그동안 상대적으로 저급 자원으로 평가 받던 석탄 등의 새로운 활용 기술 개발과 함께 새로운 에너지 자원의 개발 등을 기대할 수 있다.

그럼에도 불구하고 최근의 에너지 위기 상황이 과거의 인류가 겪었던 상황과 다른 가장 심각한 요인은 에너지 수급 불안에 따른 자원 고갈의 문제가 대기 오염에 의한 환경문제와 결부되어 있다는 점일 것이다. 최근 전 세계적으로 초미의 관심사로 부각된 온실가스 배출에 따른 지구온난화현상은 지금까지 인류가 너무 많은 에너지를 낭비함에 따른 부작용의 일환으로 볼 수 있다. 특히, 아직도 확실한 이론적 근거가 부족하다고 볼 수도 있지만, 많은 전문가들은 탄화수소 계열의 화석연료를 사용함에 따른 이산화탄소의 배출이 지구온난화현상의 가장 큰 원인으로 평가하고 있다. 따라서 환경적인 측면에서는 지구온난화현상을 극복하기 위해서는 화석연료의 사용을 억제하여 이산화탄소의 생산을 줄이는 것이 가장 시급한 과제이다. 결

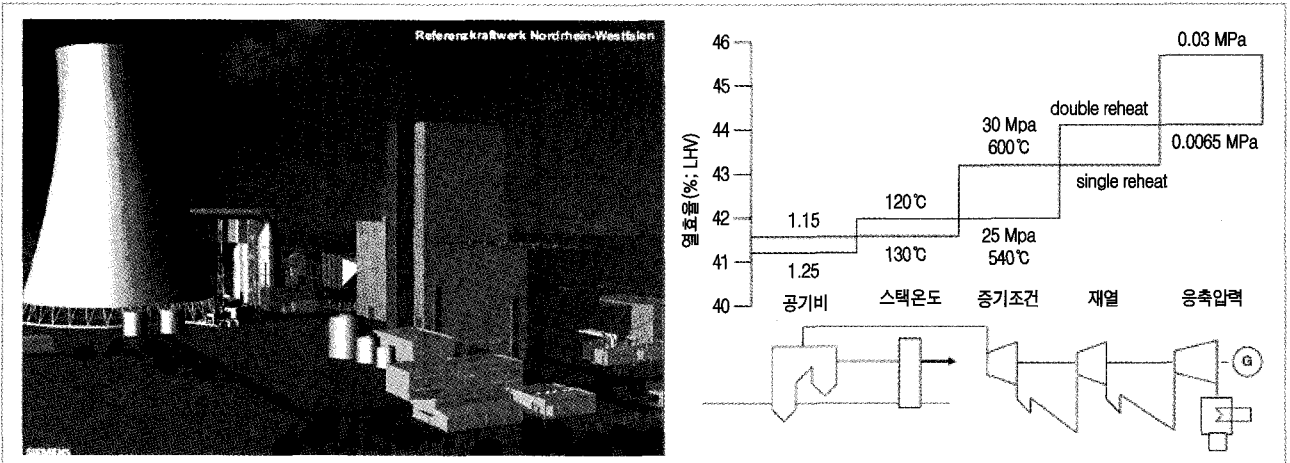


그림 4 석탄화력발전 설비의 열효율 향상 가능성

과적으로 최근의 에너지 위기 상황과 지구온난화현상을 해결하기 위해서는 에너지 자원 중에서도 석탄, 석유 및 천연가스에 해당하는 화석연료의 사용을 최대로 줄이는 방안이 지속적으로 모색이 되어야 함과 함께, 재생 에너지 등 비 화석연료의 사용 확대를 위한 기술 개발에 대한 투자가 집중되어야 한다.

전 세계 에너지 자원을 가장 많이 소비하는 산업으로 평가되고 있는 발전산업은 에너지 및 환경 산업에 미치는 영향이 지대하다. 따라서 발전산업에서의 에너지 자원의 이용과 관련된 패러다임을 어떻게 설정하는가는 전 세계적인 에너지 소비에 큰 영향을 미치는 것은 피할 수가 없다. 이를 위해서 향후 전개될 발전 설비 관련 기술 분야의 패러다임을 아래와 같이 전망해 보고자 한다.

기 설치된 설비의 운전 성능 향상 기술

발전산업에 있어서 화석연료의 사용량을 줄여 에너지 소비를 최소화시킴과 동시에 이산화탄소의 배출을 최대로 억제하기 위한 가장 근본적인 대책은 발전 설비의 열효율 향상이다. 이를 위해서 가장 우선적으로 관심을 기울여야 할 분야는 기 설치된 발전 설비들의 운전 성능 향상에 의한 연료비 절감과 관련된 기술 개발일 것이다. 대부분의 발전설비들은 설치 후 20~30년 이상 기간 동안 운전되며, 그 기간 동안의 life cycle cost 중 가장 큰 비중을 차지하는

부분이 연료비임을 고려해 보면 운전 성능 향상에 의한 연료비 절감이 미치는 경제적 효과는 지대하다고 볼 수 있다.

운전 성능 향상 기술이란 발전 설비의 정기적인 점검과 함께 적절한 부품 교환에 의해 설비를 최적의 운전 상태로 유지시키는 데 필요한 정비 기술을 의미한다. 다른 기술들과 마찬가지로 정비 기술도 지속적으로 진화하고 있으며(그림 2 참조) 현재 상황은 예방정비(preventive maintenance) 기술의 적용이 보편화되어 있으며, 앞으로 조만간 예측정비(predictive maintenance) 기술로 발전할 것으로 전망된다. 최근의 각종 발전 설비들에 장착되어 운영되고 있는 온라인 성능감시(online condition monitoring) 기술이 예측정비의 초급 단계 기술로 보면 된다.

발전설비의 고효율화

현재 전 세계적으로 설치되어 있는 대부분의 발전설비들은 열역학적 사이클을 기반으로 한 각종 열기관으로부터 파생된 설비들이다. 20세기 초반 토머스 에디슨에 의해서 증기기관(steam engine)을 기반으로 한 발전설비의 상용화가 시작된 이후 여러 가지 개념의 발전설비들이 설치 운영되고 있다. 그 중에서도 가장 높은 열효율을 구현 가능한 발전설비가 증기 및 가스터빈을 기반으로 한 복합발전설비이다. 복합발전은 1980년대 이후 전 세계적인 원자력발전산업의 침체기의 틈새시장으로 성장하였으나 최근

에는 우리나라는 물론이고 전 세계적으로 천연가스를 이용하는 발전설비로 자리를 잡아가고 있다. 복합발전은 가스터빈의 고온 운전 특성과 함께 가스터빈의 배기열을 회수한 증기 터빈의 작동으로 50% 이상의 열효율 구현이 가능하며, 최근에는 터빈 입구 온도의 지속적인 상승에 따라 발전설비 열효율의 심리적 한계로 여겨졌던 60%를 이미 상회하고 있다(그림 3 참조). 앞으로는 이러한 열효율 상승 추세가 지속되기는 쉽지 않겠지만 그럼에도 불구하고 62~65% 정도 수준까지는 도달이 가능할 것으로 전망된다.

그러나 복합발전설비의 높은 열효율 특성에도 불구하고 가장 큰 단점은 천연가스 사용에 따른 사용 연료비에 대한 부담이라고 할 수 있을 것이다. 이 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 상대적으로 저급 연료에 해당하는 석탄을 연료로 사용하는 발전설비의 성능 고도화에 대한 관심을 포기할 수는 없다. 발전산업에 종사하고 있는 많은 전문가들조차 이 분야에 대한 기술 투자에 부정적인 의견을 개진하고 있지만 석탄이라는 상대적으로 풍부한 에너지 자원의 활용에 대한 관심은 앞으로도 반드시 지속되어야만 한다. 석탄 화력 발전설비의 성능 고도화는 (1) 지속적인 열효율 향상과, (2) 석탄 사용에 따른 환경 친화성 문제의 극복 등의 두 가지 방향으로 추진되어야 할 것이다.

최근의 에너지 위기 상황과 지구온난화현상을 해결하기 위해서는 에너지 자원 중에서도 석탄, 석유 및 천연가스에 해당하는 화석 연료의 사용을 최대한 줄이는 방안이 지속적으로 모색이 되어야 함과 함께, 재생에너지 등 비 화석 연료의 사용 확대를 위한 기술 개발에 대한 투자가 집중되어야 한다.

석탄 화력 발전설비의 지속적인 열효율은 그림 4에서와 같이 여러 구성부에서의 여러 가지의 성능 향상을 통하여 아직도 많은 상승 요인이 있으며 전 세계적으로 이를 위한 기술 개발이 계속 진행되고 있다. 그 중에서도 가장 대표적인 방향은 보일러 압력 및 온도의 상승에 따른 초임계압(SC; Supercritical) 및 초초임계압(USC; Ultra Supercritical) 보일러 기술 개발이라고 할 수 있겠다. 석탄을 연료로 사용하는 발전설비의 환경 친화성 문제의 극복을 위해서 전 세계적으로 가장 적극적인 기술 투자가 이루어지고 있는 분야는 석탄가스화 복합발전이다. 이 설비의 기본 개념은 석탄을 직접 연소시키지 않고 개질 과정을 거쳐 수소와 일산화탄소 등의 가스로 변환시킨 후 복합발전 설비의 연료로 활용하는 것이다. 그 중에서도 일산화탄소를 연료로 사용하기 전 단계에 추가로 산화반응을 시키

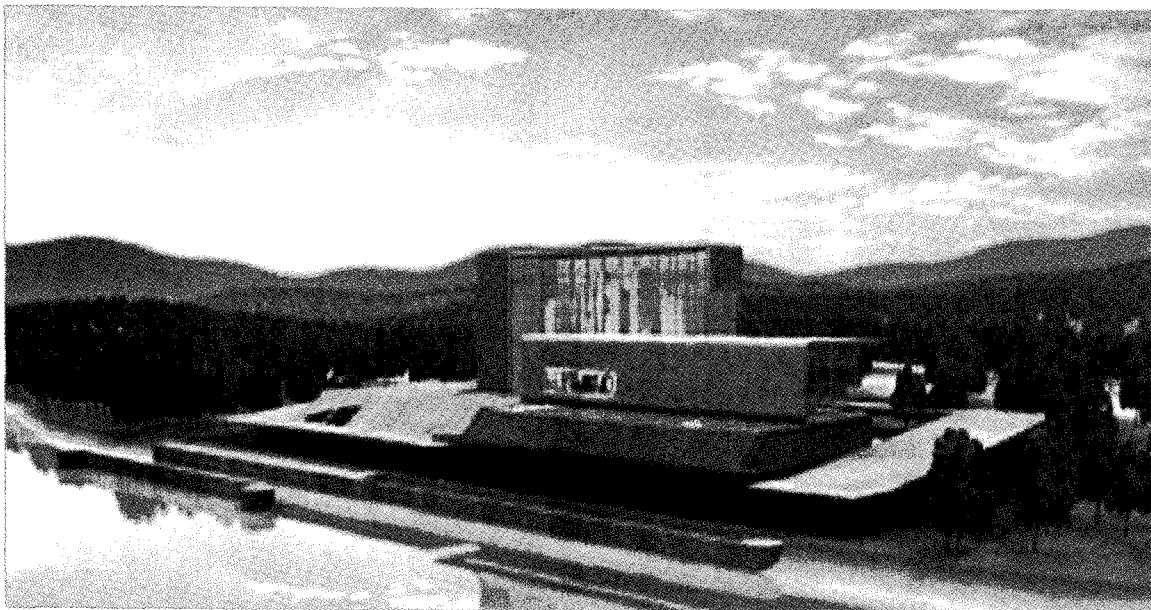


그림 5 석탄가스화발전예 의한 미래형 발전설비 모형(FutureGen)

면 이산화탄소로 변환이 가능하여 이를 별도의 장치를 통하여 포집 처리하게 되면 순수하게 수소를 연료로 사용하는 발전설비의 구현이 가능하게 된다. 그림 5는 미국 에너지성에서 지난 수년간의 연구개발 투자에 개발하고자 했던 석탄가스화 기술을 기반으로 한 청정

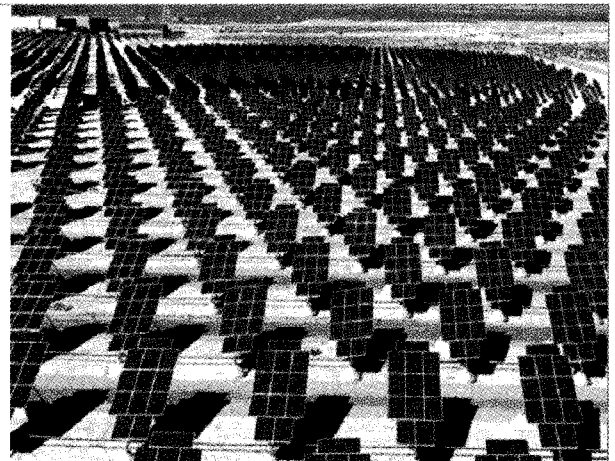


그림 6 재생에너지 발전설비(풍력 및 태양전지)

화력 발전 설비인 FutureGen의 조감도이다. 국내에서도 최근 석탄가스화 복합발전, 초초임계압 보일러 발전 등의 분야에 대한 국가적 차원의 기술 개발 사업들이 활발하게 추진되고 있다.

비화석 에너지 자원을 이용한 발전설비 기술

화석연료가 아닌 비화석 에너지 자원을 이용한 발전산업의 가장 큰 축은 핵연료를 이용한 원자력발전설비 분야이다. 1980년대 이후 원자력에 대한 여러 가지 논란에도 불구하고 화석 연료 에너지 자원의 수급 위기를 걱정해야 하는 현 상황에서는 원자력 발전이 실현 가능한 가장 확실하고도 안정적인 유일한 대안이라고 할 수 있겠다. 국내에서도 이미 전체 발전량의 상당 부분을 담당하고 있음에도 불구하고 이를 더욱 증대하기 위한 정책들이 착수되고 있으며, 미국 등 그 동안 원자력발전에 대해 부정적인 국가들도 원자력 발전설비 증설을 서두르고 있다.

원자력발전설비의 적용 확장을 위해서 가장 시급히 해결되어야 할 과제는 역시 폐기물 처리와 관련된 사회적 문제의 해결일 것이며, 최근 우리나라도 이 문제와 관련된 안정적 공감대가 점차 확대되어 나아가고 있다고 보인다. 이와 함께 원자력발전설비에 있어서도 미국 등을 중심으로 고온원자로 등의 효율 향상을 위한 새로운 기술 개발이 접목될 것으로 예상된다.

비화석 에너지 자원을 이용한 발전산업의 또 다른 축은 풍력, 태양전지, 지열, 조력 등을 이용한 재생에너지 분야이다. 재생에너지는 어쩌면 화석 및 원자력 에너지의 고갈 등의 극단적인 경우를 생각하면 인류가 선택해야 할 최후의 자원일지도 모른다. 따라서 재생에너지와 관련된 기술 개발은 단기적이고 가시적인 성과 목표보다는 장기적인 관점에서 긴 안목을 가지고 추진되어야만 한다. 이와 관련해서 이미 독일에서는 2020년까지 전체 에너지 수요의 27%를 재생에너지로 충당하겠다는 야심적인 사업에 착수하였으며, 우리나라도 이미 재생에너지 사용 확대를 위한 각종 정책을 활발하게 진행 중에 있다.

이상을 종합해 볼 때 최근의 유가 폭등에 따른 에너지 자원 수급에 대한 우려는 인류가 그 동안 지속적으로 겪어왔던 유사한 위기 상황을 극복한 사례들과 같이 충분히 극복될 수 있을 것으로 전망된다. 다만, 최근의 에너지 관련 상황이 단순히 수급 불안에만 국한되지 않고 지구온난화 현상과도 밀접한 관련이 있기 때문에 이를 해결하기 위해서는 과거보다는 보다 다양한 차원의 접근이 이루어져야 한다. 특히, 발전산업 분야에서는 이를 위해서 (1) 기 설치된 발전설비의 효율적인 운영, (2) 고효율 발전설비를 위한 기술 개발, 그리고 (3) 재생에너지를 비롯한 새로운 에너지 자원의 활용을 위한 보다 적극적인 관심과 투자가 이루어질 것으로 전망된다.