

# 가스터빈 청정화력의 경제성, 기술개발 및 산업 발전 전망

부산대학교 기계공학부 손창민

DOI <http://dx.doi.org/10.18770/KEPCO.2016.02.04.537>



본 고찰에서는 가스터빈 청정화력 발전의 경제성, 기술개발현황과 산업발전에 필요한 도전들에 대해 새로운 시각에서 접근하는 시도를 통해 그 결과를 고찰해보았다. 국제유가의 변동추세와 천연가스가격의 유가연동체계 변화를 관찰하여 국가적 필요한 전략을 제시하고, 주요 제작사별 기술개발 현황 및 향후 기술적 도전에 대해 이론효율과 제품별 정격효율을 비교하는 고찰을 통해 새로운 기술개발 방향을 제시하고자 하였다.

## 1. 청정화력의 경제성

에너지 산업과 관련한 국내의 시장전망과 선진 가스터빈 제작사의 기술개발 동향에 대해서는 “발전용 고효율 대형 가스터빈 개발사업 (에너지기술평가원, 2013)”의 착수를 전후로 보고된 다수의 자료 (손창민 등 2014, 손정락 등 2015)들을 참고할 수 있다. 주목할 점은 이 시기에는 셰일가스가 국제 유가에 미치는 영향이 매우 불확실한 상황에서 가스터빈 발전의 경제성을 논할 수 밖에 없었으므로 보고된 전망들에 대해 일부 수정이 필요할 것이다. 그림 1 에서 볼 수 있는 바와 같이 국제 유가의 전반적인 추세는 2000년대초부터 지속적으로 상승하는 경향을 보이다가, 2014년에 급격한 가격저하를 보여주고 있다. 이는 잘 알려진 대로 셰일가스의 양산이 현실화 되면서 초래된 것으로 그 영향은 지금까지 진행 중이다. 그림 2는 2014년 말부터 현재까지의 가격변동 추이를 흥미롭게 비교해주고 있다. 2015년의 가격변동 추세를 2016년의 추세와 중첩하여 비교하는 방식을 통해 국제 유가의 회복기미를 예측하기보다 2016년 하반기에 추가 하락을 전망할 수 있는 자료로 평가된다.

이러한 셰일가스의 영향은 전통적으로 천연가스가격이 유가와

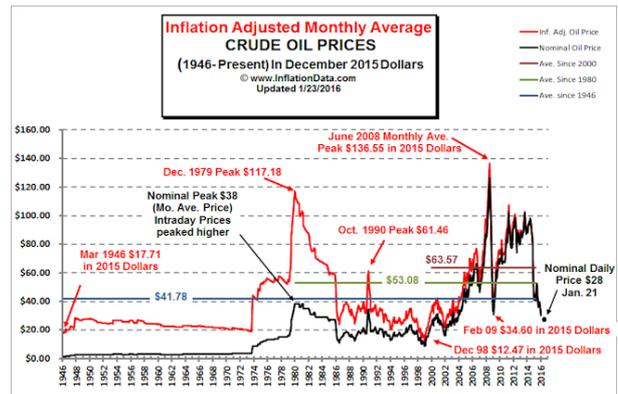


그림 1 국제유가 변동 추세 (1946~2016)



그림 2 국제유가 변동 추세 (2015~2016)

연동되어 등락했던 상관관계에 큰 변화를 가져왔다. 미국의 경우, 그림 3에서 보는 바와 같이 2008년 이후로 천연가스가격은 더 이상 유가와 연동되지 않는 형태의 증감을 보이고 있다. 향후 셰일가스 생산가격의 변동에 따라 세계시장에서의 유가 및 천연가스의 가격변동은 지속적으로 변화할 가능성이 크다. 따라서 단지 화석

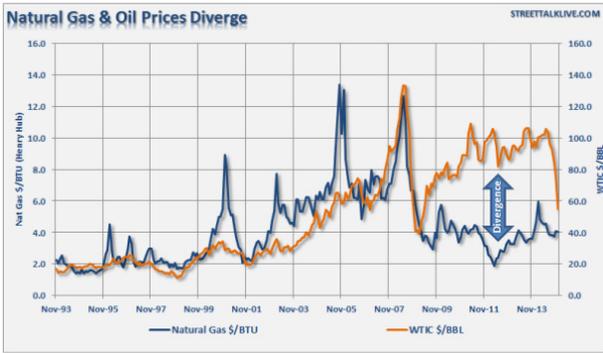


그림 3 미국 천연가스가격 및 유가 변동 추세 비교 (1993~2013)

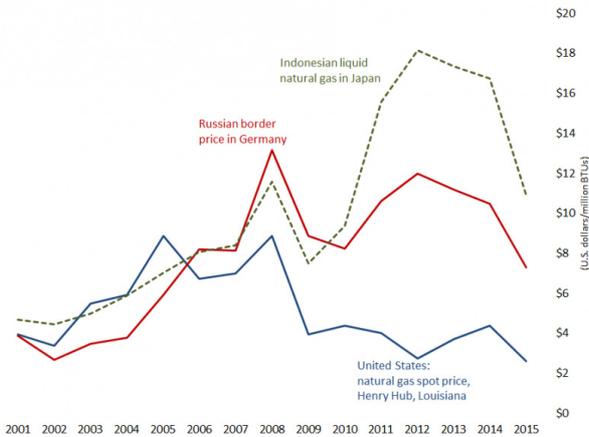


그림 4 미국, 유럽, 및 아시아 천연가스가격 변동 추세 비교 (2001~2015)

연료가격의 단기적인 예측을 논하기 보다는 장기적이고 안정적인 천연가스의 확보가 청정화력발전의 경제성에 미치는 영향에 더욱 관심을 두어야 할 것이다.

그림 4에서 2001년 이후 미국, 독일 (유럽) 및 일본에서 확보 해온 천연가스 가격의 추이를 관찰해 볼 수 있다. 앞서 확인했던 유가와 천연가스 가격의 연동이 2008년 이후로, 미국을 제외 한 독일 (유럽) 및 일본 (아시아)에서는 여전히 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, 셰일가스의 출현으로 인한 천연가스 가격의 하락은 셰일의 확보가 가능한 미국시장에 영향을 주고 있지만 유럽과 아시아 시장과는 다소 무관하게 나타나고 있다. 하지만, 셰일가스의 등장이 세계유가의 하락을 견인하는 이유로 전체적인 가격하락을 보이고 있는 점은 확인 할 수 있다. 미국의 경우 천연가스 가격이 통상 약 5불에서 3불로, 유럽은 약 10불에서 7불로, 그리고 일본의 경우 약 15불에서 11불로 전반적인 하락추세를 보여주고 있다. 이러한 미국, 유럽 및 아시아에서 나타나는 추가적인 천연가스 가격 하락은 청정화력 가스터빈 발전의 경제성을 제고하고 더불어 기술개발의 방향에 변화를 줄 수 있는 중요한 요인이 될 것으로 전망된다.

천연가스 복합화력 발전 설비의 용도는 그림 5 와 같이 발전용 가스터빈의 기동시간(fired hours)와 기동회수(fired starts)에 따라 (1) 기저부하(base load), (2) 주기적 운전(cycling) 및 (3) 첨두 부하(peaking duty) 용으로 구분된다.

국내에서 흔히 사용하는 DSS(Daily Start & Stop)은 그림 5 에서의 주기적 운전 용도에 해당되며 이는 2008년 현재 전 세계에서 운전 중인 GE 7F 모델의 47%에 해당하는 326기로 가장 큰 응용 분야임을 알 수 있다. 복합화력 발전 설비가 주요 발전원으로 고려되기 시작하던 초기에는 주로 기저부하용으로 고려가 되었으며, 그 결과 장시간 운전이 가능한 제품 설계가 주요 관심사였다. 그 후 점차 가스터빈의 우수한 부하 추종 능력이 인지되기 시작하면 첨두부하 및 DSS 운전용으로 보급이 확장되어 부분부하 성능 향상 및 저주기 피로 수명 개선 분야에 대한 기술 개발이 집중되었다. 하지만 이러한 추세는 최근의 천연가스 가격하락과 청정화력 기술개발 요구가 맞물려 초기의 기저부하용 가스터빈 활용도가 더욱 높아 질 수 있음을 예고하고 있다. 즉, 미국에서 최근 추진하고 있는 바와 같이 석탄화력의 비중을 줄이고 천연가스 가스터빈 발전의 비중이 점차 커지는 정책의 수렴으로 인해 시장의 변화가 이미 일어나고 있는 것이다.

그럼에도 불구하고 아시아에서는 여전히 상대적으로 높은 천연가스 수급가격으로 인해 청정화력발전의 시대적인 요구조건에도 불구하고 가스터빈을 기저부하로 전환하는 정책변화에는 많은 난관과 저항이 있다. 이러한 경제적 환경의 제약은 가스터빈 관련 기술개발을 활성화 해나가는데도 부정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다. 더불어 일본과 비교 했을 때 한국의 천연가스 도입 가격은 2000년~2008년 기간에는 일본보다 최대 28.5% 비싸게 확보하게 되어 상당한 국력의 손실과 더불어 가스터빈을 이용한 발전에 상당한 부담 요인으로 작용했다. 이러한 차이는 그림 6에서 보는바와 같이 일본이 한국의 3~4배에 달하는 천연가스 수입량을 통해 장기적이고 안정적인 자원의 확보에 더 적극적이고 전략적으로 접



그림 5 GE 가스터빈 발전설비 용도별 분류 (기저, 주기운전, 및 첨두부하)

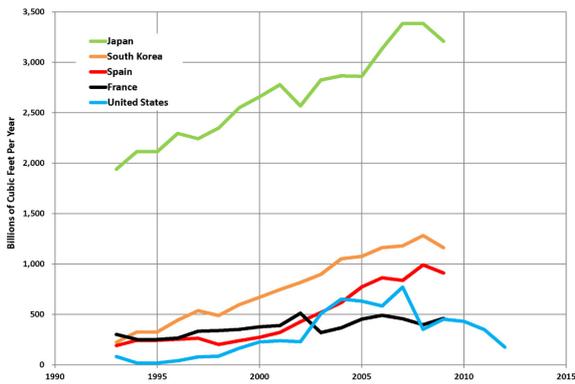


그림 6 주요국 천연가스 도입량 변동 추세 비교 (1993~2010)

근 했던 것과 비교된다. 2010년이후 한국가스공사의 노력으로 일본과 유사한 가격으로 천연가스를 확보하고 있지만, 앞서 고찰 한 바와 같이 여전히 미국대비 약 3배, 유럽대비 약 2배의 높은 가격으로 천연가스 복합화력 발전의 경제성 개선에는 어려움이 여전하다.

고효율 청정화력구현을 위한 필수 발전체계인 천연가스 복합화력의 경제성 확보를 위해서는 장기적이고 안정적인 연료자원의 전력적 확보가 최우선으로 고려되어야 할 것이다.

## 2. 국내외 기술개발 동향

기술개발과 관련해서는 한국과 유사한 자환경에 있는 일본이 1980년대 활발한 가스터빈개발을 추진할 수 있었던 배경이 좋은 참고가 될 것이다. 우선 그림 7에서 보는 바와 같이 1995년 이후 일본, 특히 Mitsubishi의 가스터빈 관련 특허수가 급격하게 상승하고 있는 점을 관찰 할 수 있다. 일본 Mitsubishi는 1980년대 미국 Westinghouse 모델의 면허생산을 계기로 발전용 가스터빈의 세계 시장 진입에 성공하였다. 이 회사는 1981년 Westinghouse사의 60Hz 모델(W501D)을 기반으로 자체적으로 개발 한 50Hz 모델(M701D) 출시 후 거의 10년마다 새로운 기술 수준의 모델들

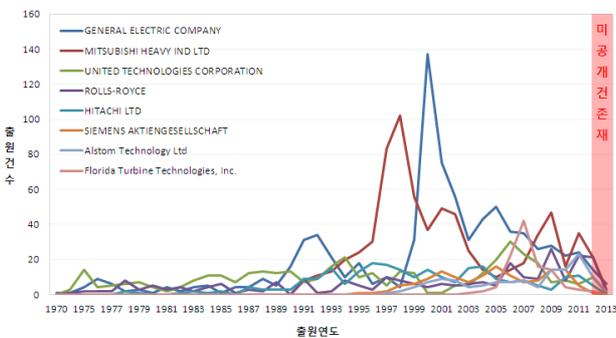
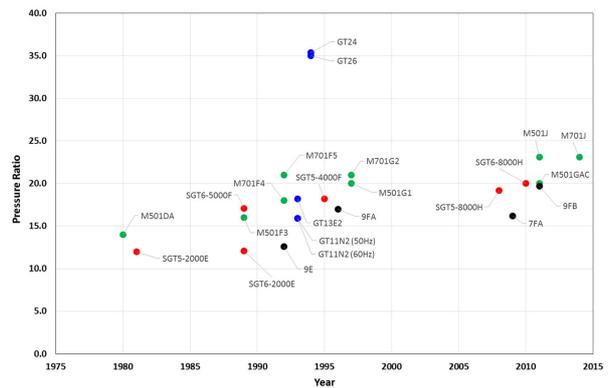


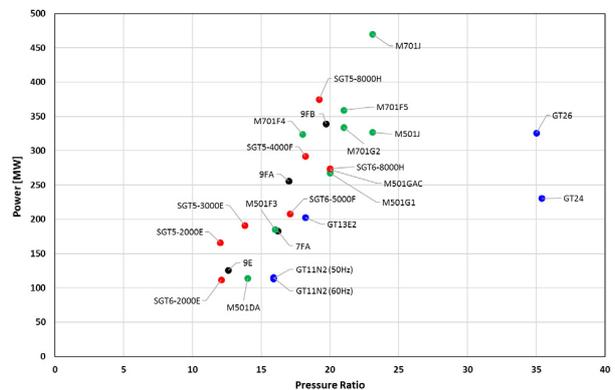
그림 7 주요 제작사별 고온터빈기술 특허출원 건수 (1970~2013)

을 출시하여 최근 들어 독일 Siemens와 함께 발전용 가스터빈 중 출력이 가장 크고 효율이 가장 높은 모델(J급, Siemens의 경우 H급) 출시를 앞두고 있는 상황이다. Mitsubishi가 발전용 가스터빈의 본격적인 사업 개시를 위해 M701D 모델을 개발하였을 당시 1984년 일본 국내 발전회사인 Tohoku Electric Power는 자사의 Higashi Niigata Thermal Power Plant에 MHI사 신제품을 설치하여 실증 시험을 할 수 있도록 배려하였다. 이러한 두 회사 간의 협업은 그 후 M701G 모델(1997년), M701F4 모델(2010년) 개발 시에도 계속되었다. 뿐만 아니라, 새로운 모델 개발 후의 실증시험을 위해서 자사 내에 구축한 시험용 발전 설비인 T-Point에서 생산된 전력은 인근의 Osaka Electric Power에서 구매하는 형태의 협력 체계도 구축하여 활용하였다. 따라서 1980년대 한국보다 상당한 시기를 앞서 기술 및 제품 개발을 추진했고 그 축적의 결과가 특히 수의 증가에도 반영되어 나타난 것임을 알 수 있다.

현재 전 세계 복합화력 발전용 가스터빈 시장은 미국의 General Electric(GE), 독일의 Siemens 및 일본의 Mitsubishi 등 3대 OEM (Original Equipment Manufacturer)에 의해서 지배되고 있다.



Pressure Ratio vs. Year



Power vs. Pressure Ratio

그림 8 가스터빈 출력 대비 압력비 (출처: Gas Turbine World Handbook, 2012)

## 가스터빈 청정화력의 경제성, 기술개발 및 산업 발전 전망

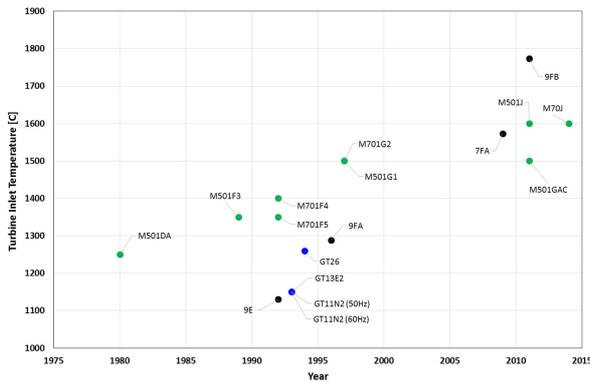
국내 업체의 경우 1990년대 초반 두산중공업(당시 한국중공업)이 GE와 기술도입계약을 체결하여 각종 발전용 가스터빈 국내 제작 및 판매에 합의하였으나 2000년대 중반 계약 종료와 함께 일본 Mitsubishi와의 계약으로 면허 생산 사업을 진행 중이다. 현대중공업의 경우 1990년대 후반 미국 Westinghouse와의 기술도입 계약에 의한 면허 생산을 위한 설비를 구축하였으나 2000년대 초반 당시 국내 발전 산업의 구조조정의 과정에서 관련 사업들이 중단되었다.

미국의 Westinghouse는 1970년대부터 발전용 가스터빈 시장을 개척해 왔으며 이 분야 시장의 선두 주자에 해당한다. 이 회사는 주로 미국을 주력 시장으로 사업을 추진해 왔으며, 1980년대 중반 구조조정과 함께 주요 부품의 외주 생산 전략의 하나로 일본 Mitsubishi와의 면허 생산에 합의하였다. Mitsubishi는 이를 계기로 세계 선진기술 접목할 수 있는 절호의 기회를 잡게 되어, 향후 발전용 가스터빈 사업의 본격 추진의 계기가 될 수 있는 기본 모델을 확보하게 된다.

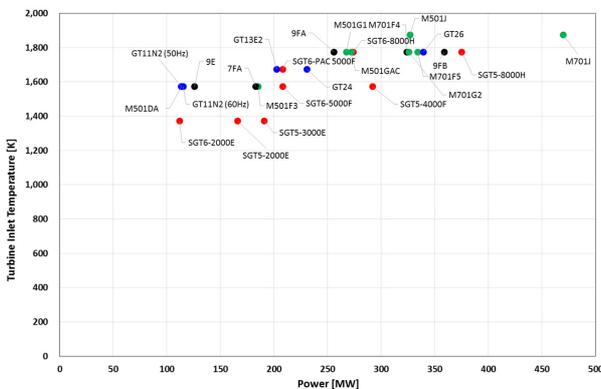
그 후 Westinghouse 발전용 가스터빈 사업부는 1990년대 들어 독일 Siemens의 지분 투자로 인한 외자 유치로 1998년 회사명이 Siemens-Westinghouse Power Corporation으로 바뀌게 되었

며, 궁극적으로 2000년대 이후 Siemens에 완전히 합병되게 된다. 1990년대 중반 국내 현대중공업은 당시 국내 발전 산업의 다원화 정책을 계기로 Westinghouse와의 기술제휴에 의한 국내 생산을 위한 설비 투자를 진행하였다. 그러나, 1990년 후반 국내 IMF 금융위기 및 2000년대 발전 산업 일원화 정책에 따라 이 분야 사업으로부터 완전히 철수하게 된다.

독일 Siemens의 경우에는 1970년대부터 유럽 지역 시장 개척을 위해 기존의 소형 가스터빈 기술을 기반으로 50Hz용 발전용 가스터빈들을 개발하여 사업을 개시하였다. 그 후 60Hz용 시장 진입을 위한 추가 모델들을 개발하여 사업을 수행해 오다가 1990년대 후반 미국 Westinghouse와의 합병을 계기로 발전용 가스터빈 시장에서의 획기적 성장의 기회를 맞이하게 된다. 2000년대 들어 Westinghouse의 완전 합병을 계기로 기존의 Westinghouse 모델들은 60Hz 주력 제품으로, 기존의 Siemens 모델들은 50Hz 주력 제품으로 넓은 범위의 발전용 가스터빈 제품 포트폴리오를 구성하고 있다. 또한, 이 회사는 2000년대 중반 스위스 Alstom사의 100MW 이하 급의 산업용(Utility-용) 가스터빈 사업도 인수하여 수 MW로부터 수백 MW에 이르는 영역에서의 제품군을 확보한 세계 유일의 OEM이 되었다.

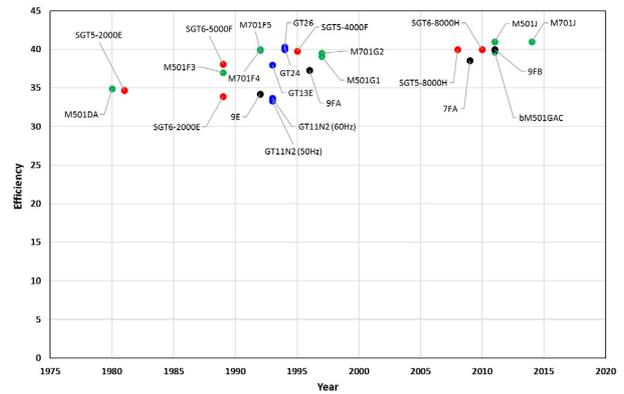


TIT vs Year

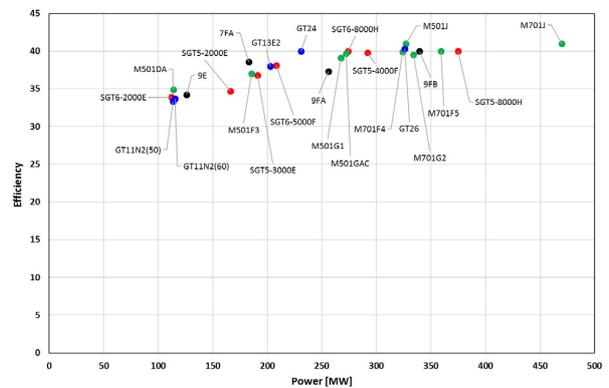


TIT vs Power

그림 9 가스터빈 제작사들의 제작년도에 따른 터빈 입구온도 변화



Efficiency vs Year



Efficiency vs Power

그림 10 가스터빈 제작사들의 가스터빈 출력 대비 효율



은 맞지만, 시스템에 내재하는 다양한 손실을 궁극적으로 극복하는 기술개발에는 큰 성과가 없었다고 재평가할 수 있다. 이러한 내제된 손실들은 압력비가 높아짐에 따라 더 증가하는 경향을 보여서 효율비교에서 차이가 더 크게 나타난다고 판단된다. 따라서 향후 산업경쟁력 확보를 위한 기술개발 방향은 이러한 내제된 근본적인 손실들을 개선하는 데 더욱 중점을 두어야 한다는 것이 분명해 보인다.

결론적으로, 산업용 가스터빈의 작동온도가 이미 항공용 가스터빈의 작동조건에 근접해있는 것을 고려할 때, 즉 내구성 및 경제성측면에서 가용한 소재의 한계 도달해 있으므로, 지속적으로 고온화를 추진하는 기술개발 방향에 대한 문제점을 제시하고, 물리적으로 존재하는 손실구조를 극복하는 신 기술개발의 필요성에 대해 개발자의 주의를 환기하는 것이 필요하다.