

공급사슬 및 내재역량 분석을 통해 고찰한 국내 가스터빈 산업 국산화 개발 전략

현정우* · 이상균* · 진환준** · 박진호***†

*한국산업기술평가관리원, **한국에너지기술평가원, ***영남대학교 화학공학부 교수
(2020년 2월 17일 접수, 2020년 3월 3일 수정, 2020년 3월 5일 채택)

Domestic Gas Turbine Industry Development Strategies Based on Domestic Supply Chain and Potential Analysis

Jungwoo Hyun* · Sangkyun Lee* · Hwan Jun Jin** · Chinho Park***†

*Korea Evaluation Institute of Industrial Technology

**Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning

***School of Chemical Engineering, Yeungnam University

(Received 17 February 2020, Revised 3 March 2020, Accepted 5 March 2020)

요 약

온실가스 배출을 감축하기 위한 각국의 노력이 활발해 지고 있으며, 그에 따라 석탄발전의 비중을 점차 줄이고 재생에너지 및 천연가스 발전의 비중을 높이려는 노력이 가시화되고 있다. 한국도 유사한 정책을 추구하고 있는데, 현재 LNG 발전 가치사슬 전체에 걸쳐 국산이 차지하는 부분은 매우 미미한 실정이어서 이러한 LNG 발전 확대 정책이 국내 산업육성과 괴리는 있지 않은지 우려가 되는 상황이다. 따라서 본 논고에서는 LNG 발전에 사용되고 있는 가스터빈과 고온부품 산업의 국내의 현황을 살펴보고, 국내 가스터빈 산업의 Supply Chain 분석을 통해 국내 산업이 안고 있는 이슈와 문제점을 조사해 보았으며, 이를 기반으로 국내 가스터빈과 고온부품 산업의 활성화 및 국산화를 위한 전략을 제안하였다. 국내 가스터빈 산업육성 전략은 1) 가스터빈 얼라이언스 구성 등을 통한 국내 제조산업 생태계 조성, 2) 가스터빈 및 고온부품 국산화를 위한 전략적 기술개발 지원, 그리고 3) 국내 실증 테스트베드 구축 등 기술 사업화 촉진을 위한 환경 조성으로 요약될 수 있다.

주요어 : 가스터빈, 복합화력발전, 공급사슬, 액화천연가스, 고온부품

Abstract - Many countries are actively engaging in the reduction of greenhouse gas emissions, and as part of this effort, gradually reducing the portion of coal power generation and instead increasing the portion of power generations from renewable energy sources and natural gas. Korea is taking a similar policy to expand LNG power generation for the next decade. There is a concern, though, about the policy not being aligned with the domestic industry development, since only a few products are being made in Korea along the LNG power generation industry value chain. Therefore in this paper, we first looked at the current status of the gas turbine and high temperature parts industry used for LNG power generation in Korea, and then looked into the industrial issues and challenges through the analysis of supply chains of the domestic gas turbine industry. Finally, we tried to propose strategies to revitalize and localize the domestic gas turbine and high temperature parts industry. The proposed strategies can be summarized as 1) creation of domestic gas turbine manufacturing ecosystem via construction of gas turbine alliance, 2) strategic R&D support for localization of gas turbine and high temperature parts, and 3) provision of domestic testbeds for technology evaluation and commercialization.

Key words : Gas Turbine, CCGT, Supply Chain, LNG, High Temperature Parts

†To whom corresponding should be addressed.

Tel : +82-53-810-2522 E-mail : chpark@ynu.ac.kr

1. 서론

UN 파리협정에 따른 신기후체제 출범으로 2020년 이후의 새 기후변화 체제 수립을 위한 Mission Innovation 선언을 통해 청정에너지 공공 R&D 투자를 5년간 2배 이상의 확대를 노력하기로 약속함으로써 우리나라는 자발적 기여(INDC)를 통해 세계적인 온실가스 감축 노력에 동참하기로 결정한 바 있다. 우리나라는 이에 따라 온실가스 배출량을 2030년까지 BAU(Business As Usual) 대비 37% 이상 감축하기로 하였다. 이에 석탄발전의 비중을 줄이고 천연가스 발전의 비중을 높이고 있어 향후 발전용 가스터빈 시장의 급격한 확대가 전망되고 있다.

세계 에너지 수급에 있어 천연가스는 가장 빠른 수요증가를 보이는 화석연료로서, 2030년부터 석유에 이어 2번째로 많이 사용되는 1차에너지원으로 성장할 전망이다(Fig. 1). 세계 천연가스 시장규모는 2022년 4조 m³ 이상으로 예측되며, 수요 또한 연평균 1.6% 이상 지속 성장할 것으로 전망되고 있다.

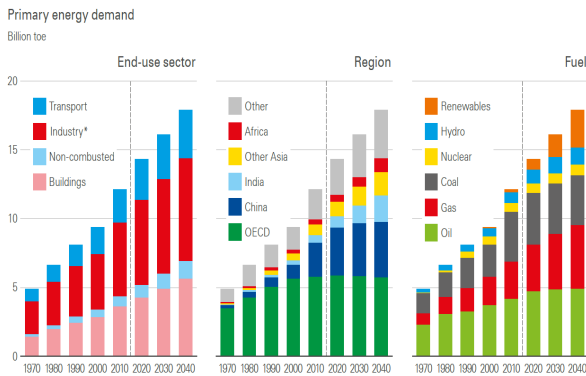


Fig. 1. 세계 1차에너지 소비 추이¹⁾

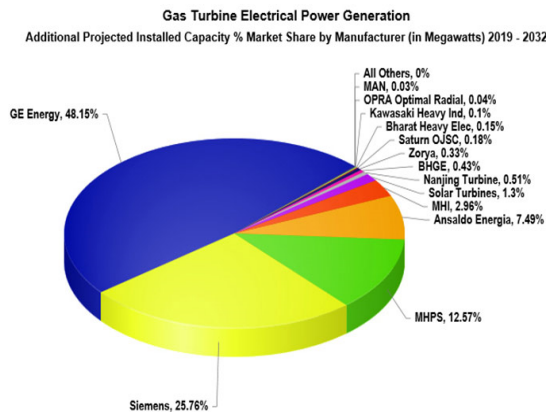


Fig. 2. 가스터빈 발전 시장 점유율 예상(2019~2032)³⁾

특히, 산업화와 전력수요의 증가(신흥 아시아 및 아프리카 지역), 지속적인 석탄 대체 가스 전환(특히 중국), 저렴한 공급(북미 및 중동지역)으로 인해 천연가스 수요는 지속 증가할 전망이다.

발전용 가스터빈 시장 또한 낮은 세일가스 가격과 이산화탄소 발생량을 줄이기 위한 국제적 협약으로 인해 크게 성장할 것으로 예상되며, 향후 10년간 발전용 가스터빈 시장의 규모는 약 4,400억 달러(한화 약 519조원)에 이를 것으로 전망되고 있다²⁾.

현재 세계 대형 가스터빈 시장은 GE(미국), Siemens(독일), MHPs(일본) 등 3개 선진업체가 독과점하고 있는 상황이다(Fig. 2). 세계 가스터빈 시장의 경우, 2015년 16B USD에서 2021년 20.5B USD로 성장할 것으로 예측되며, 발전 분야 환경설비 역시 2015년 5B USD에서 2024년 8.4B USD를 상회할 것으로 보고 있다.

한편 국내에 있는 총 149기의 가스터빈은 전량 해외 제작사 제품으로 설치·운영되고 있으며, 국내에서 독자 개발되어 상용화에 성공한 모델은 아직 부재한 상황이다. 이에 LNG 발전용 가스터빈의 수입을 대체하기 위한 국산화 전략과 이를 위한 기술력의 향상이 시급한 실정이다.

따라서 본 논고에서는 가스터빈 분야의 대내외 환경분석과 보유역량 분석 그리고 산업 공급사슬 분석을 통해 국내 가스터빈 산업의 현황을 먼저 직시해 보았고, 이를 기반으로 기술 고도화와 국산화 개발을 위한 지원체계 및 생태계 조성방안과 산업 육성 전략을 제안하고자 하였다.

2. 대내외 환경분석

2-1. 산업동향

2018년 전 세계 발전량은 전년 대비 3.7% 증가한 26,614.8 TWh이며, 중국이 최대 발전량을 기록해 7,111.8 TWh (26.7%), 미국은 4,460.8 TWh (16.8%), 한국은 2.9% 증가한 593.4 TWh (2.2%)를 발전하였으며(Fig. 3,4), 그중 천연가스 발전량은 전년 대비 3.9% 증가한 6,182.8 TWh로 연료별 발전량 구분에서 석탄에 이어 두 번째로 많은 23.2%를 차지한 것으로 조사되었다^{4),7)}.

우리나라는 정부의 에너지전환 관련 정책¹⁾들이 본격적으로 추진된 2017년 하반기 이후부터 LNG 발전에 우호적인 정책 환경이 조성되어 LNG 발전량과 가동률이 모두 상승하였으며, 2018년 전체 발

1) ① 전기사업법 개정('17.3)
 ② 미세먼지 관리 종합대책('17.9)
 ③ 제8차 전력수급기본계획('17.12)

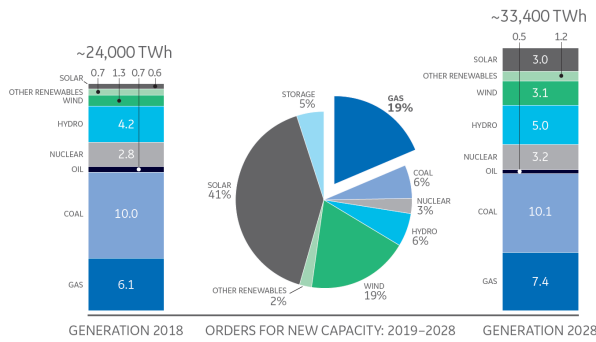


Fig. 3. 에너지원별 발전량 전망⁵⁾

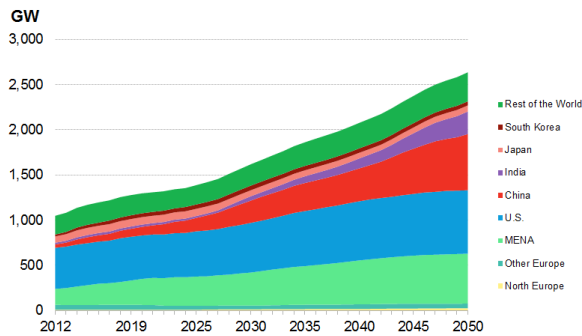


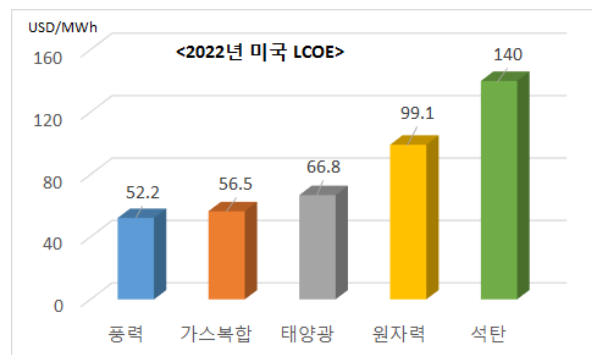
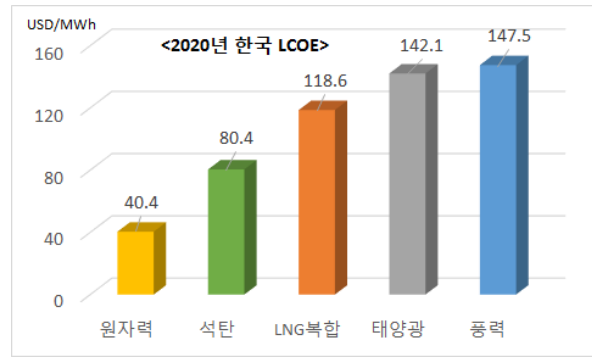
Fig. 4. 가스복합발전 용량 전망⁶⁾

전량은 593,407 GWh로 2017년 전체 576,412 GWh 대비 약 2.9% 증가한 것으로 나타났다. 그중 LNG 발전량은 같은 기간 122,785 GWh에서 152,787 GWh로 약 24.4% 증가하였다^{4),7),8)}.

미국의 에너지정보청(EIA)은 균등화발전비용(LCOE, Levelized Cost of Electricity) 발표에서 가스복합발전이 신재생에너지 발전에 드는 비용보다 저렴한 것으로 추정하였으며(Fig. 5), 가스복합발전 누적 용량은 1,400 GW에서 향후 10년간 1,600 GW로 증가될 전망이며, 2050년에는 1,800 GW까지 도달할 것으로 예상되고 있다. 또한 매년 5~10 GW 가스복합발전소를 추가할 것으로 전망되고 있으며, 발전설비는 2050년까지 연평균 0.6%로 증설되어, 1,288 GW 수준에 달할 것으로 전망되고 있다. F급 가스터빈은 2005년 신규 설치 시장의 85%를 차지하였으나, 이후 H급 등장으로 점유율이 감소하기 시작했다.

유럽은 기존 화석연료발전소가 2050년 내 폐쇄될 예정으로, 이를 대신할 가스터빈의 사용이 증가할 것으로 예측되며 2040년까지 재생에너지 전원은 2배 이상 증가할 것으로 전망되고 있어, 이에 따른 재생에너지 발전설비의 백업 전원으로 가스복합발전 설비가 증설될 것으로 전망되고 있다.

일본은 1980년대에 가스터빈 개발을 활발히 진



* 미국 LCOE는 세계영향 고려 및 Non-weighted average 적용, 한국 LCOE는 할인율 7% 적용

Fig. 5. 한국과 미국의 에너지원별 LCOE 비교^{9),10)}

행하였으며, Mitsubishi의 경우 미국 웨스팅하우스 모델의 면허생산을 계기로 발전용 가스터빈 세계시장 진입에 성공하였다. 또한, 토호쿠전력은 자사 발전소에 Mitsubishi사 신제품을 설치하여 실증시험을 지원하였으며, 실증시험 시 생산된 전력은 인근 오사카전력에서 구매하는 형태의 협력 체계를 구축하였다. 가까운 장래에 발전용 가스터빈 중 출력이 가장 크고 효율이 가장 높은 JAC (J-series Air Cooled) 급 모델을 출시할 계획이다.

중국의 가스터빈 시장규모는 2016년에 8.07 GW로 연평균성장률(CAGR) 5.2% 규모이며, 에너지정책을 산업정책과 연계하여 추진하는 것이 가장 큰 특징이다. 기존 528 GW의 노후 화력발전소를 대체할 가스복합발전소를 매년 15~20 GW 추가할 계획이며, 설비용량은 2020년 1억 kW, 2030년 2억 kW, 2050년에는 3억 kW까지 확대할 계획이다. 또한 대기환경개선정책(석탄으로부터 가스로 전환)의 적극적 추진에 따라 가스 수요가 15% 증가하여 세계수요증가분의 33%를 중국이 차지하고 있다.

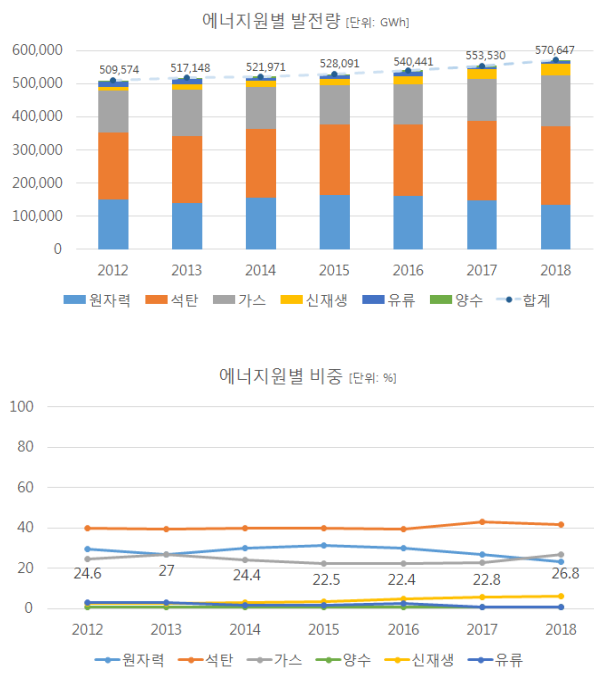
2019년 7월 현재 국내 총 발전설비 용량은 121,147 MW이며, 그중 LNG 발전설비는 복합 30,835 MW와 집단 7,390 MW를 합친 38,225 MW(총 발전설비용량의 31.6%)를 차지하고 있다. LNG 발전량은 복합 9,619 GWh, 집단 2,531 GWh와 상용자가 3 GWh

Table 1. 국내 가스터빈 설치 현황¹²⁾

구분**	Alstom	GE	MHPS	WH	Siemens	DHI*	합계
D/E급	12	2	-	19	9	-	42
F급	8	33	2	4	12	9	68
G급	-	-	6	-	-	3	9
H/J급	-	-	15	-	15	-	30
합계	20	35	23	23	36	12	149

* DHI(두산중공업)은 원천기술 없이 GE, MHPS에서 라이선스를 받아 제작·납품

** TIT(터빈입구온도) D/E급 1,150℃, F급 1,350℃, G급 1,450℃, H/J급 1,500℃



*사업자용 발전량 기준, 상용 자가설비 발전량 제외

Fig. 6. 국내 에너지원별 발전량 현황¹¹⁾

를 합친 12,153 GWh에 이른다(Fig. 6).

Table 1과 같이 국내 LNG 발전용 가스터빈 운영 현황을 살펴보면, 가스터빈 149기(24,369 MW)와 증기터빈 80기(12,788 MW)가 설치·운영 중에 있는데, 국내 운용 가스터빈은 전량 해외 제조사로부터 구입·설치되었음을 알 수 있다. LNG 발전용 가스터빈 149기의 총 구매 금액은 8조 1,208억원 규모로, 발전자회사 3조 6,238억원(44.6%), 민간발전사 4조 4,969억원(55.4%) 수준이며, 연간 총 유지보수 비용은 고온부품 구매 비용 1,290억원/년과 경상

정비 비용 1,550억원/년을 합하여 총 2,840억원/년에 이른다.

2-2. 기술동향

전 세계적으로 발전용 가스터빈 기술은 효율 및 출력 등의 성능향상 기술과 운전신뢰성 향상 위주로 개발되고 있다. LNG 복합발전 시스템의 더 높은 효율성 요구에 부합하기 위해 H급 가스터빈 기술은 계속 발전하고 있으며, F급 가스터빈의 성능을 이미 능가한 상태이다(Fig. 7).

60 Hz 시장에서 운용 중인 최고성능 가스터빈은 GE의 7HA.02로 346 MW 출력 및 42.2% 효율을 달성하고 있다. 특히 GE사의 GE-7HA 가스터빈과 Toshiba 증기터빈 및 발전기 기술로 운영되는 일본의 니시-나고야 발전소(60 Hz 사용)는 63.08%의 총 효율을 달성하여 가장 효율적인 복합화력 발전소로 기네스북에 등재되었으며, 50 Hz를 사용하는 프랑스 Bouchain 발전소는 GE사의 GE-9HA 가스터빈을 사용하여 62.22%의 총 효율을 달성한 바 있다.

가스터빈 복합사이클(CCGT, Combined Cycle Gas Turbine) 총효율(HHV²⁾기준)은 1985년 43%에서 현재 56%로 지속적으로 증가하고 있으며, 향후 개발될 CCGT(H급)는 2050년 52%에 도달할 것으로 예측되고 있다(Fig. 8).

미국은 에너지부(DOE, Department of Energy) 주관의 ATS(Advanced Turbine System) 사업을 통해 1992년부터 총 8년간 H급 가스터빈 모델 기술개발에 7억 달러(정부 4억달러, 민간 3억달러)를 투자하였고, 이후 New ATS('14년~'25년) 프로그램을 통해 H급 모델 다음 제품군으로 터빈 입구 온도 1700℃ 모델이 구현 가능한 선행기술 개발에 착수했다.

독일 Siemens의 H급 가스터빈은 발전효율이 기존 가스터빈보다 높은 61%에 달하며, 이는 발전 연

2) HHV(고위발열량, High Heating Value): 연료가 완전연소했을 때의 열량으로, 연소에 의해 발생하는 수증기의 잠열을 포함한 값, 즉 총 발열량을 지칭

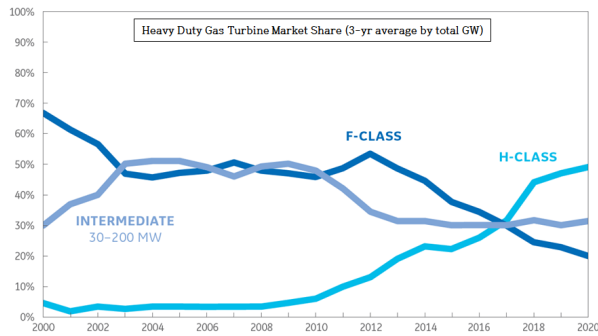


Fig. 7. 연도별 가스터빈 클래스 비중 변화 추이⁵⁾

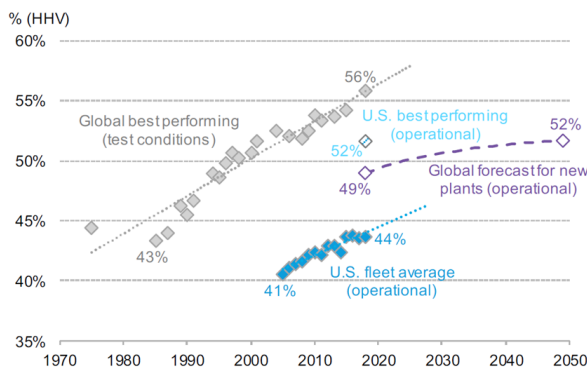


Fig. 8. 연도별 가스복합발전 효율 추이 (1970~2050)¹³⁾

료인 LNG를 5% 가량 절감하는 것이 가능하다. 또한, 차세대 가스터빈 HL급(SGT-9000HL)과 발전소 효율 향상을 위한 디지털 솔루션도 개발하고 있다.

일본은 경제산업성(METI) 주관 “Cool Earth Innovative Energy Technology Program”을 통해 고효율, 대용량 가스터빈 기술개발을 지원하고 있으며, 국내외 가스터빈 시장 진입을 위한 기술기반 구축 후 1700 °C 개발(New Generation Gas Turbine) 사업을 추진하고 있다.

국내 현황을 살펴보면, 2005년 이후 발전용 가스터빈 및 주요 부품의 국산화를 위한 정부 R&D가 추진되어 왔으며, 국비 2,461억원(42.5%), 민간분담금 2,645억원(45.7%) 및 민간 자체 683억원(11.8%)으로 총 5,789억원이 투자되었다. 특히 시스템 개발 분야에 총 3,464억원, 고온부품 개발 분야에 총 1,502억원, 운영기술 개발 분야에 총 120억원이 투자되었으며, 2017년부터 2019년까지 가스터빈 및 부품 국산화에 연평균 2,997억원을 지원한 것으로 조사된다. 그러나 이러한 지속적인 투자에도 불구하고 실증을 통한 국산화 적용 사례 및 시장 창출 성과는 미미한 것으로 분석된다(Table 2).

국내에서 설치 운영 중인 F급 3개 및 G급 1개 기종에 대한 고온부품 16종 개발은 현재 완료된 상태

Table 2. 발전용 가스터빈 정부R&D 투자규모 현황('05.1~'19.5)

(단위 : 백만원)

구분	정부	민간분담금	합계
완제품(시스템)	120,670	186,818	307,488
부품소재	117,210	73,963	191,173
운영기술	8,259	3,753	12,012
합계	246,139	264,534	510,673

이며 주력 기종인 1500 °C G급의 고온부품은 개발 추진 중으로, 가스터빈 1단/2단 블레이드와 베인 성능개선 및 제작 기술개발이 현재 진행되고 있다.

두산중공업은 2013년부터 정부 주도의 대형 가스터빈 국산화 과제를 통해 H급(270 MW급) 모델을 독자 개발하고 있으며, 김포열병합발전소(서부발전 400 MW)에 적용하여 2022년부터 한국형 가스터빈을 실증테스트할 예정이다.

가스터빈용 소재의 경우, 사용되는 온도에 따라 부품별로 적용되는 초내열합금이 상이한데, 연소기 부품이나 케이싱 등에는 초내열합금 판재가 적용되며, 터빈 블레이드나 베인에는 주조용 초내열합금이 사용된다. 디스크에 단조로 가공되는 단련용 초내열합금은 일부 국내기업이 생산하고 있으나, 가스터빈 주조 부품 제작 시 필요한 초내열합금의 주조용 모합금(master ingot)은 현재 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다.

2-3. 정책동향

전 세계적으로 에너지효율 향상 및 온실가스 배출 저감, 탈석탄 등 기후변화에 대응하고 청정에너지 이용 확대를 위한 정책들이 추진되고 있다.

EU는 에너지동맹 구축을 위한 “에너지동맹 패키지” 발표를 통해 기후변화 및 에너지 목표 실현을 위한 공동이익 프로젝트를 추진하고 있는데, 공동이익 프로젝트에는 에너지 시장 통합, 공급 안정성 강화 등 유럽의 공동이익 실현을 위해 전력, 가스, 석유, 스마트그리드 부문의 에너지 인프라를 확충하는 사업이 주를 이루고 있다.

영국은 에너지기후변화부(DECC, Department of Energy and Climate Change)를 신설한 후 기후변화법을 제정하였으며, “탄소 계획”을 수립하여 2009년 대비 2020년까지 35%, 2030년까지 57%의 감축을 목표로 제시하였다. 또한, 2025년까지 단계적으로 진행될 총 19 GW 규모의 석탄화력발전소 폐쇄로 인한 발전량 감소분은 신규 원자력발전소와 가스화력발전소의 건설을 통해 충당할 계획이다.

Table 3. 전월별 세계 발전량 전망¹⁴⁾

(단위: 조kWh)

	석유	석탄	가스	원자력	재생	총발전량
2016	1.0	9.3	5.9	2.6	6.0	24.8
2040	0.5	10.1	9.2	3.8	15.7	39.3
연평균 증가율(%)	-2.9	0.3	1.9	1.6	4.1	1.9

중국은 “제13차 5개년 계획(‘16~’20년)”에서 에너지 공급 구조 최적화, 스마트에너지 시스템 구축, 에너지 이용효율 제고, 석탄의 청정·고효율 이용 확대 등의 에너지 정책 기조를 발표한 바 있다. 석탄 의존도를 2020년까지 58% 이하로 감축하는 목표를 제시하였고, 석탄연소 금지 구역 및 저품질 석탄 사용 제한 지역에 산업용과 가정용으로 사용하는 석탄을 천연가스로 대체하는 프로젝트도 추진하고 있다.

일본은 에너지정책 기조(3E+S) 및 2030년 전원 구성 목표를 실현하기 위한 “제5차 에너지기본계획”의 본격 이행을 통해 향후 재생에너지의 주력 전원화를 위해 높은 발전 비용과 송전망 제약 등의 과제를 해결하고 고효율 석탄, LNG 화력발전의 유효 활용 촉진 및 가스 산업의 사업기반 재구축을 추진하고 있다. 또한, 에너지 관계 기술개발 로드맵 수립을 통해 고효율 천연가스 화력 발전을 포함한 각 기술과제의 로드맵을 제시하였다.

미국은 “America First Energy Plan”을 바탕으로 자국 중심의 에너지 및 환경정책을 추진하고 있으며, 특히 셰일, 가스, 원유 등 화석연료 생산 확대를 통해 외국산 석유 의존에서 탈피하는 완전한 에너지 독립을 추진하고 있다.

한편 한국은 “제3차 에너지기본계획”을 통해 깨끗하고 안전한 에너지믹스로 전환하기 위하여, 화석연료 중 온실가스·미세먼지 배출이 가장 적고 석유에 비해 지정학적 위험성도 상대적으로 낮은 천연가스를 발전용 에너지원으로서 세계적 추세에 맞춰 그 역할을 확대하고(Table 3), 가정용, 수송용 연료로서의 수요처 다변화 및 발전용 천연가스 ‘개별요금제’ 도입 등을 검토하고 있다.

이에 따라 “제8차 전력수급계획”에서는 수급 안정과 환경성, 안전성 강화를 위해 원전과 석탄발전을 단계적으로 감소시키고 친환경에너지를 확대하는 방안과 석탄발전량을 줄이고 LNG발전량을 늘리는 방안을 제시한 바 있다. 한편 “청정에너지 기술 발전전략”에서는 석탄 화력발전의 고효율화를 위한 차세대 기술 확보 및 가스연료 기반의 복합화력발전 주기기 국산화를 통한 차세대 고효율 가스

터빈 개발을 제시하고 있다.

3. 공급사슬 분석

3-1. 고온부품 국내 산업

국내 가스터빈 시장은, 전문적인 제품을 생산하는 글로벌 기업들이 신규설비 사업을 전개하고 있는 가운데, 주로 기존 설비의 유지관리에 요구되는 각종 부품류를 국산화하는 수준에서 이루어지고 있다. 주요 제조사인 GE, Siemens, MHPS로부터 수입한 가스터빈을 운영 중인 발전사들은 해당 모델 고온부품을 독점 공급하고 있는 제조사 외에는 공급 가능한 것이 없으며, 일반적으로 가스터빈 고온부품은 해당 모델 공급사에 의해 장기서비스계약(LTSA, Long Term Service Agreement) 형태로 독점계약을 체결하여 공급받는 형태로 수급되고 있다. 따라서 부품 국산화를 위한 역설계 및 정비 국산화를 위한 적용 기술 파악이 힘든 실정이며, 부품성능 분석이나 상태진단도 어려운 상황이다(Table 4).

지난 20여 년간 국내 정밀주조 전문 중소 부품회사들 주도로 총 53종의 고온부품 개발이 시도되었으며, 그중 27종이 상용화에 성공하였다(Table 5). 그러나 터빈 회전익과 고정익 등 진공정밀 주조 부품들의 국내기술 수준은 상용화에 이르기까지 아직 한계가 존재하며, 국내 고온부품 정밀주조 기술은 D급 고정익 고온부품 상용화 기술과 F급 고정익 실증경험을 보유한 수준으로, H급 이상의 시장 기술은 실증경험이 없는 상황이다.

상용화에 성공한 경우도 고온부품 중 기술적 접근이 쉬운 터빈 고정익 중 D/E급 모델 부품 위주로 현재 국내 고온부품 개발 후 상용화에 따른 매출 발생 실적은 2개 업체에서 발생한 총 누적 매출 규모 675억원(‘17년말 기준) 수준이다.

3-2. 완제품 개발 수준

국내 발전용 가스터빈의 제조는 한국중공업(현, 두산중공업)이 1990년대 미국 GE, 2000년대 일본 Mitsubishi와의 면허생산 사업을 통해 제조기반 및 부품 가공과 조립기반을 구축함으로써 시작되었다. 그러나 기술적으로 부가가치가 높은 핵심부품들은 상대국에서 수출금지 품목으로 설정하는 등 기술이전의 한계 때문에 국내 독자 제작 능력 확보까지는 이르지 못하였다.

또한, 고온부품 제작 및 조달기술은 특히 정밀주조 고온부품 관련 국내 중소 소재부품 기업체들의 원천기술이 부족하여 해외 가스터빈 제작사들과의 협력 경험이 풍부한 해외 소재부품 기업체들에 전

Table 4. 고성능 고온부품별 국내기업 현황

기술군	부품/소재	국내기업	해외주요기업
가스터빈 고성능 고온부품	터빈 블레이드/베인	한국로스트왁스, 성일터빈, 두산중공업	GE, Siemens, Alstom
	블레이드/베인 주조품	한국로스트왁스, 성일터빈, 두산중공업	Howmet, PCC, Doncaster
	초내열합금(Superalloy)		C-M, Howmet, R&C
	세라믹코어(Ceramic-cores)	한국로스트왁스, 성일터빈	Certech, R&C, CIC
	롤드렛서(Roll Dresser)	이화다이아몬드	Norton
	연마석(Grinding wheel)	제일연마	Notron
	치공구(Gage/fixtures)	아스텍	
	정밀가공	한국로스트왁스, 성일터빈, 한전KPS	
	본드/열차폐코팅(Bond/TBC)	한전KPS, 씬머텍코리아	Metco, Flexair
	연소기	한전KPS, 성일터빈	
	연소기부품	성일터빈	GE, Alstom, Siemens

Table 5. 고온부품 국산화 실적¹²⁾

구분	누적매출 (백만원)	개발 시도 고온부품 수						
		전체	상용화	실증완료	실증 중	개발완료	개발 중	
터빈회전익	0	9	0	0	5	3	1	
터빈고정익	6,700	9	3	2	2	2	0	
터빈부품	1,205	12	4	1	0	7	0	
연소버너	35,124	7	7	0	0	0	0	
연소기부품	24,407	16	13	2	1	0	0	
전체	D급	60,494	23	14	0	8	1	0
	F급	6,431	28	12	4	0	11	1
	G급	601	2	1	1	0	0	0
	소계	67,526	53	27	5	8	12	1

적으로 의존하고 있는 실정이다.

현재 두산중공업이 추진 중인 기술은 2017년에 기본설계가 완료된 270 MW급 발전용 대형 가스터빈 “DGT6-300H S1”으로서, 단독 효율 40%급 발전용 가스터빈이며, 미국, 독일, 일본, 이탈리아에 이어 세계 5번째 H급 가스터빈 초도품을 독자개발하는

데 성공하였다. 해당 초도품은 개발 완료 후 두산중공업이 자체설비를 이용해 성능 및 내구성 시험을 진행한 후, 서부발전이 건설 중인 김포열병합발전소에 설치될 예정이다. 향후 8,000시간 실증(약 2년 소요) 후 2024년 하반기 이후 효율 41.7% 이상의 모델 업그레이드를 또한 추진할 계획이다.

Table 6. 제조사별 LNG발전용 가스터빈 설치현황¹²⁾

제조사	Alstom	GE	MHPS	두산중공업 (MHPS면허)	Siemens	Westing House	합계
국가	스위스	미국	일본	-	독일	미국	
계(기)	20	35	23	12	36	23	149
비율(%)	13.4	23.5	15.4	8.1	24.2	15.4	100

Table 7. 국내 LNG 발전용 가스터빈 유지보수 비용 지출 규모¹²⁾

구분	고온부품 구매비용	정상정비비용	총 유지보수 비용 (고온부품 구매 + 정상정비)
연간 지출 규모	1,290억원/년	1,550억원/년	2,840억원/년
장기 지출 규모 (25년간 기준)	1조 9,130억원/년	2조 2,974억원/년	4조 2,104억원/년

3-3. 국내 가스터빈 공급사슬

가스터빈은 연소가스를 작동매체로 사용하므로 범용 해석도구 등을 사용한 설계 및 해석이 불가하고, 다수의 실험에 의존하며 대규모 재원을 필요로 하는 고부가가치 기술이라 할 수 있다. 따라서 일반 기업체는 기술습득이 어려워, 신규설비의 개발, 제작, 건설은 물론, 기존 설비의 보수, 교체 등 모든 분야에 있어 소수의 선진 기업들이 독점적인 위치를 확보하고 있다. GE, Siemens, MHPS와 같은 주요 제조사들은 장기서비스계약(LTSA) 등을 통해 독과점적 우위를 점하고 있으며, 막대한 이익을 창출하는 전략을 사용함으로써 같은 급의 가스터빈일 지라도 제조사에 따라 부품이 호환되지 않도록 설계하고 있다. 따라서 LTSA에 의해 부품 국산화가 불가능하며, 정비기술도 자체 개발에 한계가 존재하는 실정이다(Table 6).

고성능 고온부품은 가스터빈을 구성하는 핵심부품으로, 고온의 환경에서 사용되기 때문에 수명이 짧아 주기적인 보수 및 교체가 필요하므로 설비 운영비의 대다수를 점유한다.

가스터빈 운영비는 연료비(~80%), 운전비용(5%), 정상 정비비용(3~5%), 고온부품 구매비용에 해당되는 계획정비비용(3~5%), 기타(~5%)로 구성되며, 지난 25년간 가스터빈 고온부품 조달 등 유지·보수 비용으로 총 4조 2,104억원을 지출한 것으로 조사된다(Table 7).

노후발전설비 사업은 발전설비 원천기술과 최신의 고효율 발전기술을 보유한 GE, Siemens, MHPS 등 선진업체가 시장의 독점적 지위를 유지하고 있어 후발 업체의 시장진입장벽이 매우 높은 산업 분야이다. 또한, 고온부품 성능 및 내구성 시험을 위

한 설비는 구축되어 있으나, 내구성 및 신뢰성 평가기술 수준은 선진국 대비 극히 취약한 상황이다.

연료비와 효율이 높은 발전소가 우선 전력거래 시장에 진입하는 특성상, 효율이 수익으로 직결되는 발전사 입장에서는 고효율의 최신 기종을 선호하는 경향이 있어 국내 가스터빈 제작사 및 고온부품 개발 기업들의 시장진출 역시 경쟁력이 떨어지는 것 또한 현실이다.

따라서 국내 가스터빈 기술 성숙도의 조기 정착을 위해서는 다양한 형태의 운전패턴, 부품성능 개선을 위한 적정 호기의 터빈 운영이 필요하며, 발전용 가스터빈 완제품 개발 및 실증에 필요한 테스트베드 인프라 및 실증발전소 구축을 위한 국가적 투자가 절실한 시점이라 하겠다(Table 8, Fig. 9).

4. 혁신성장 전략 및 정책 제언

4-1. 산업 생태계 조성

국내 가스터빈 산업은 해외 주요 제조사와의 기술격차 및 장기서비스계약(LTSA)에 의한 제약 조건 아래 관련 기업들의 성장 동력이 매우 취약한 상황이며, 내수시장 확보 역시 한계에 직면하고 있다. 이에 이해관계자들의 협력관계를 통한 상생 방안 마련이 필요한데, 우선 수평적 산업생태계 조성을 통한 체계적 산업 활성화 지원이 이루어져야 할 필요가 있다. 즉, 발전사, 제조사, 학계 및 기관 등으로 구성된 융합 전략위원회를 통한 상생협력 방안의 모색과 이를 통한 가스터빈 산업 선순환 구조 구축 전략을 조기에 수립해야 한다.

본 논고에서 제안하는 가스터빈 융합 얼라이언스 추진체계(Fig. 10)는 ①국산화 추진, ②실증단지

Table 8. 국내 가스터빈 공급사슬

		주요 구성품	기업
완제품 제조		대형 가스터빈(개발중)	두산중공업
구성품 제조		압축기 블레이드/베인	진영TBX
		로터	금융
		연소기	성일터빈
		압축기/터빈 케이싱	대창솔루션, 삼영애펙
		터빈 블레이드/베인	한국로스트왁스, 성일터빈
기술		주조기술	한국로스트왁스, 성일터빈
		설계기술	두산중공업
		실증시험	두산중공업
테스트베드 인프라	발전용 가스터빈	구성품 시험	한국기계연구원, 한국항공우주연구원
		완제품 성능 및 실증시험	두산중공업(제조사), 한국서부발전(수요처)
	발전용 가스터빈 고온부품	원자재 기계적 특성 평가	한국표준연구원, 재료연구소, 한전 전력연구원
		고온부품 완제품 수명/신뢰성평가	한국표준연구원, 재료연구소, 한전 전력연구원
성능평가 인프라		한국형 복합 실증 발전설비 (구축기간: '20~'24, 계획확정)	한국서부발전(경기도 김포)
		발전용 가스터빈 고온부품 신뢰성평가 시험	한전 전력연구원(대전)

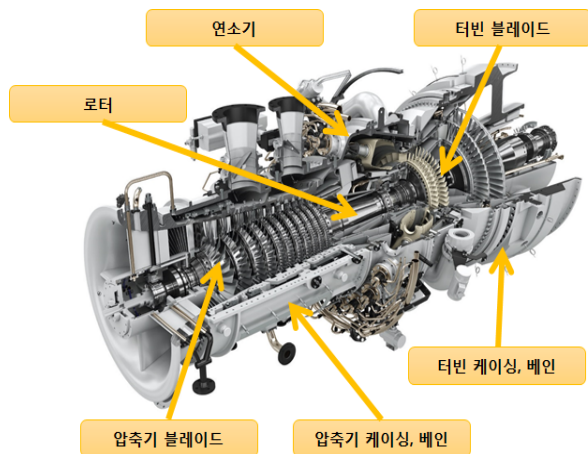


Fig. 9. 가스터빈 주요 구성품

구성, ③국내외 시장개척, ④법·제도 개선의 네 가지 핵심 쟁점을 토대로 구성된다.

산학연 전문가 테스크포스 활동 등을 통해 R&D 및 실증 강화 방안을 모색하고, 가스터빈 실증단지 지정 등 정책적 지원 근거를 마련하여 전력수급계획 등 법정계획에 반영하는 등의 적극적 활동이 필요하며, 부품·소재 관련 중소/중견기업의 내수시장 확보 및 수출 사업화를 추진하기 위한 지원체제와

국산화 관련 경영평가 보완과 발전자회사 조달 혁신 등의 제도개선도 추진할 필요가 있다.

4-2. 가스터빈 및 고온부품 국산화 지원체계 마련

가스터빈 국산화를 위해 2005년부터 R&D 투자를 통한 가스터빈 및 고온부품 개발을 진행해 오고 있는 있으나, 투자 대비 실적은 미흡한 수준이며, 실증을 통한 상용화 및 시장 창출효과 역시 매우 저조한 상황이다. 따라서 국산화 및 개발기술의 상용화를 위한 효과적인 지원체계의 마련이 이루어져야 한다.

전략적 원천기술 확보를 통해 기설치된 가스터빈의 부품 국산화 추진 및 대체 부품의 국산화 전환이 필요하며, 개발에서부터 상용화에 이르기까지 지속적인 모니터링 및 성능개선 연계 방안도 마련되어야 한다. 이를 위해 가스터빈 중장기 로드맵 확보를 통한 체계적 기술개발 투자계획도 수립되어야 하겠다.

국내 발전사 입장에서는 연료비/효율이 높은 발전소가 전력거래시장에 우선 진입하는 특성상 효율이 수익으로 직결되므로, 고효율의 최신 기종을 선호하는 경향이 있고 대부분의 발전사가 새로 개발된 제품을 위주로 수입하여 사용하기 때문에, 아직 기술력이 부족한 국산 제품의 진입 장벽은 높은 것



Fig. 10. 가스터빈 융합 얼라이언스 추진체계

이 현실이다. 따라서 국내 발전사를 대상으로 국산 부품 사용 장려를 위한 인센티브 제공 체계의 마련도 필요하다고 하겠다.

4-3. 기술 사업화 지원을 위한 환경 조성

발전용 가스터빈 완제품 및 고온부품 개발 후 상용화에 이르기 위해서는 해당 제품에 대한 실증이 반드시 따라야 한다. 따라서, 가스터빈 완제품 및 고온부품 개발에 필요한 테스트베드 인프라가 우선적으로 국내에 구축되어야 하며, 실제 설치 및 운영을 통해 개발품에 대한 신뢰성을 확보하는 측면에서도 실증단지 조성 및 실증발전소의 지정이 필요하다.

한편, 실증 추진을 위한 설비의 경제성 및 신뢰성 제고가 필요하며, 국산 고유모델에 대한 성공적 실증을 통해 초기 시장을 확보하고 성장동력을 제고하는 노력을 경주할 필요가 있다. 그리고 유사산업과의 연계 등을 통한 동반성장 전략도 필요하다고 하겠다.

일본의 경우, 2011년 국가프로젝트 “1700℃급 초고온 가스터빈 요소기술 개발”의 성과를 활용하여 1600℃ 고효율기 M501J형 가스터빈을 개발하고 2011년 2월부터 MHPS 다카사고(高砂)제작소 내의 가스터빈 복합화력발전 플랜트 실증설비에서 M501J형 초도품의 시운전을 개시한 바 있다. 그리고 같은 해 7월부터 장기신뢰성 실증운전을 실시하여 2015년 3월말 시점에 기동횟수 186회, 운전시간 20,722시간을 달성하였으며, 총 34대를 발주하였다. 다카사고제작소에서 실증한 M501J형 상용기는 2013년 8월부터 간사이전력(關西電力)의 히메지(姫路) 제2발전소에 순차적으로 도입되어 총 6대를 상용 운전

하였다¹⁵⁾. 그리고 경제산업성이 직접 실시한 “고효율 가스터빈 기술실증 사업”을 계승하여 현재 NEDO에서 실시하고 있는 1700℃급 가스터빈 개발사업 역시 2020년 MHPS 자체 비용으로 건설하는 실증발전설비에서 실증운전을 실행하고, 장기검증시험을 실시하면서 2022년부터 판매를 개시할 계획이다¹⁶⁾.

이처럼, 개발한 가스터빈 초도품의 실증 추진과 장기검증 시험을 거쳐 실제 발전소에서 상용운전을 하는 일련의 과정이 필요하며, 가스터빈 제작사와 발전사 간의 유기적 협력과 실증환경이 조성되어야 한다.

이에 본 논고에서는 2단계에 걸친 기술사업화 지원을 위한 환경조성 방안을 제시한다.

제1단계에서는 발전용 가스터빈 완제품 및 고온부품 개발에 필요한 테스트베드 인프라와 실증단지를 구축하여 가스터빈 기술 개발품에 대한 신뢰성 확보 및 국산화를 추진하며, 제2단계에서는 기존 산업단지를 활용한 실증단지 조성 및 가스터빈 관련 산업 집적화를 위하여 국내 유사산업과 연계하여 동반성장을 유도한다는 것이 그것이다.

예를 들어, 2019년에 스마트산단 선도산단으로 선정된 국내 모 산업단지의 경우, 기계 산업 중심으로 기계·전자 등 주력업종 기업들이 밀집되어 있으며, 가스터빈 관련 기술을 이미 보유하고 있는 기업들이 인근 지역에 다수 소재하고 있다. 따라서 가공, 공정, 품질 분야의 기술지원과 협업체계 구축을 통한 동반성장을 유도하고 가스터빈 관련 산업들을 집적화하는 것이 가능하다고 하겠다.

4-4. 글로벌 시장 창출을 위한 투자전략 수립

국내 운용 중인 가스터빈 149기 중 D/E급 가스



Fig. 11. 가스터빈 부품 서비스 플랫폼(案)

터빈의 경우, 부품단종으로 인해 국내 설치된 가스터빈의 유지보수가 어려운 상황이다. 따라서 모든 기종들에 대한 고온부품들의 국산화 추진이 필요한 사항이며, 특히 단종된 부품 위주로 우선 국산화를 추진하여 국내 운영 중인 외산부품을 대체하고 해외 진출형 부품을 개발하는 전략이 필요하다. 그리고 D/E급 가스터빈의 해외 운영 실태조사를 통해 국내 기업들이 개발한 고온부품의 해외 판로 개척 및 해외시장 진출 전략 마련도 필요하다고 하겠다.

구체적으로는, B2B 형태의 가스터빈 부품 서비스 플랫폼(Fig. 11)을 구축하여, 부품 서비스를 위한 체계적 수명주기를 관리하고, 부품 관리 및 부품에 대한 스펙을 해외 바이어들에게 제공하여 제품 홍보 및 활용도 증대를 도모한다. 이러한 가스터빈 부품 서비스 플랫폼은 국내 생산되는 가스터빈 부품들에 대한 설계-생산 계획 및 생산현황을 추적 관리하고, 각 기업들의 생산데이터를 수집 및 관리하며, 국내외 조달, 유통망과 연계하는 기능을 가지게 될 것이다. 또한, 기술연계나 기술이전 등이 필요한 사항에 대해서는 전문가와 협업할 수 있는 기능을 제공함으로써 국내 기업들의 기술 경쟁력 향상도 도모할 수 있다.

부품개발 기업들과 완제품 제조사들은 이러한 수평적 플랫폼을 통해 개발된 제품 또는 필요 제품들의 정보를 제공하고, 기술적 협력이 필요한 사항은 전문가와 연계가 가능하도록 하여야 한다.

플랫폼에 참여하는 발전사들은 노후 가스터빈의 유지보수에 필요한 사항을 검토하여 필요한 부품이

나 보수를 제공받을 수 있으며, 각 기업들은 제품 유통 사이트를 통해 조달 및 유통도 이루어진다.

5. 결론

향후 석탄화력 발전을 대체하고 온실가스 발생량을 감축하기 위한 방안의 일환으로 가스복합발전소의 증가가 예상되는 가운데, 발전용 가스터빈 시장은 크게 성장할 것으로 보인다. 본 논고에서는 국내외 발전용 가스터빈 시장과 기술 동향을 살펴 보았으며, 정책 현황도 알아보았다. 또한, 주요 제조사가 글로벌 가스터빈 시장을 독과점하고 있는 상황에서 국내 가스터빈 분야의 공급사슬 분석을 통해 국내 가스터빈 시장의 산업 이슈와 문제점을 살펴보고, 끝으로 국내 가스터빈 및 고온부품 산업의 활성화 및 국산화를 위한 정책을 제안하였다.

국내 가스터빈과 고온부품 산업의 활성화를 위해서는 우선 이해관계자들의 상생협력 방안 모색이 필요하며, 이를 위한 생태계 조성이 시급한 상황이다. 그리고 국산화 지원체계를 마련하여 단종된 가스터빈의 부품부터 국산화를 추진하고 대체부품의 국산화 전환이 필요하다. 또한, 상용화를 위한 실증단지 구축을 통해 개발품에 대한 신뢰성을 확보하고 성공적 실증을 통해 초기시장 확보를 도모해야 하며, 가스터빈 부품 서비스 플랫폼을 구축하고 활용하여 글로벌 시장 창출 및 진출의 활로를 개척해야 할 것이다.

감사의 글

본 논문의 자료 해석과 가스터빈 및 고온부품 제조산업의 현황과 이슈 분석에 도움을 주신 산업통상자원R&D전략기획단 손정락 에너지산업 MD와 한국에너지기술평가원 장중철 청정화력 PD께 감사드립니다.

References

1. BP Energy Outlook 2019 edition
2. Gas Turbine World 2016-2025 Market Forecast, 2016.
3. Worldwide Gas Turbine Forecast, Turbomachinery Magazine, 2018. 11. 15.
4. BP Statistical Review of World Energy 2019, 2019. 6.
5. Powering Forward, Gas Power Systems Offerings 2019, GE Marketing, 2019. 4.
6. New Energy Outlook 2019, BloombergNEF, 2019. 6.
7. 2018년 한국전력통계, 한국전력공사, 2019. 5.
8. 국가통계포털(KOSIS) 에너지원별 발전량
9. Annual Energy Outlook 2017, EIA, 2017. 4.
10. 균등화 발전원가 해외사례 조사 및 시사점 분석, 한국전력공사, 2018. 1.
11. 국가통계포털(KOSIS) 한국전력통계
12. 발전용 가스터빈 기술수준 및 국내외 시장·산업 현황 조사·분석연구, 한국기계연구원, 2018. 2.
13. New Energy Outlook 2019, Bloomberg NEF, 2019. 6.
14. IEA, World Energy Outlook 2017(에너지경제연구원, World Energy market Insights 자료 발췌 재인용)
15. High-efficiency Gas Turbine Development Applying 1600℃ Class“J”Technology, MHPS Technique Report vol. 52, No. 2, 2015
16. 「次世代火力発電等技術開発／②高効率ガスタービン技術実証事業」NEDO, 2019.8.