

청정화력발전 기술 육성 방안 연구

김영미 · 이원학**

*강원연구원

A Study on Methods for Developing by Nurturing Clean Thermal Power Generation Technology

Kim, Yeong-Mi and Lee, Won-Hak**

*Research Institute for Gangwon

ABSTRACT

The Korean government views coal-fired power plants as the key cause of the fine dust generation, and is developing an energy policy to replace and demolish old coal-fired power plants. According to the Eighth Power Supply Base Plan (2017-2031), the maximum power capacity in 2030 is expected to be 100.5GW, which is 17.9% higher than the current level (85.2GW). The plan aims to reduce the facility size and power generation ratio from nuclear and coal resources to even lower levels than today, and to rapidly expand power generation from new and renewable energy. Despite that, the proportion of coal power generation is still much higher than other resources, and it is expected that the reliance on coal will maintain for next several decades.

Under such circumstances, the development, supply, and expansion of clean coal technology (CCT) that is eco-friendly and highly efficient, is crucial to minimize the emission of pollutants such as carbon dioxide and fine dust, as well as maximize the energy efficiency. The Korean government designated the Yong-Dong Thermolectric Power Plant in Gangneung to develop clean coal power generation, and executed related projects for three years.

The current study aims to suggest a plan to develop parts, technologies, testing, evaluation, certification, and commercialization efforts for coal-fired power generation. In addition, the study proposes a strategy to vitalize local economy and connect the development with creation of more jobs.

Key words: Clean Coal Technology (CCT), Clean Thermal Power Generation Test-Bed, East coast Free Economic Zone (EFEZ), Yong-Dong thermolectric power plant, coal-fired power plant

1. 서 론

최근 기후변화, 미세먼지 등 환경에 관심이 높아짐에 따라 정부는 “탈석탄, 탈원전 시대”를 표방하고 있다. 원전 및 석탄화력발전의 감소, 신재생에너지 확대 등 국내외 에너지 정책이 청정에너지 시대에 맞춰 빠르게 전환하고 있다. 또한, 2016년 기준 우리나라 에너지 수입의존도는 94.7%로 에너지 안보가 매우 취약한 상황에서 에너지 수급 안정화 및 에너지 안보를 위해 적극적으로 기술개발을 하고 있다. 이러한 정책 변화에도 불구하고 상대적으로 발전 단가가 낮아 경제성이

높은 석탄화력발전의 비중은 2030년까지 여전히 높을 것으로 전망된다 ('16년 39.6%→'30년 36.1%로 여전히 가장 큰 비중 차지, 제8차 전력수급계획 참고). 이러한 전력 분야의 정책 속에서 석탄 화력을 보다 깨끗하고 효율적으로 사용 할 수 있는 기술개발은 매우 중요한 과제일 것이다.

일반적으로 연구개발 단계에서 기술의 완성도도 중요하지만 테스트베드에서 상용화를 위한 실증이 잘 이루어질 수 있도록 하는 주변 환경도 주요 요인으로 작용한다. 따라서 개발된 성과물을 제대로 실험할 수 있는 최적의 지역과 인프라를 테스트베드로 선정하는 것이 매우 중요하다.) 하지만 테스트

*Corresponding author: whlee@rig.re.kr

Received May 24, 2018 / Revised June 07, 2018 / Accepted June 18, 2018

1) Ki-Sung Song, Ji-Man Park, Jung-Hun Lee, Byung-Guk Kim, 2009, Research on the Location Decision of Korea Land Spatialization Program's Test-bed, journal of KOREA Spatial Information Society, 11 (4), p.1.

베드로 사용할 단지 조성 및 시설·장비 구축 등에 상당한 비용이 발생되므로, 이러한 투입 비용을 고려한다면 기존 시설을 활용하는 방안이 경제적인 것이다.

국내에서 환경에너지 기술 분야는 2011년부터 대경권, 호남권 등 6개 권역에서 신재생에너지(태양광, 풍력, 연료전지) 테스트베드 기반조성 사업(1단계)을 추진하며 관련 부품·소재 연구개발과 지역 산업간 협업 체계 구축을 통한 클러스터 조성(2단계) 등의 사업화를 추진하고 있다. 반면에, 석탄 화력발전은 2016년 국가 R&D 사업으로 선정되어 강릉 영동 화력발전소를 “청정화력발전 실증 테스트베드 (Test-Bed)”로 활용하는 사업이 전부다. 여기서 미세먼지 및 온실가스 배출 저감을 위해 화력발전 분야의 고청정·고효율 기술·부품 R&D 연구개발 상용화를 지원하고 있다. 하지만 2019년까지 한시적으로 사용 가능함에 따라 우리나라 발전 연료 중 큰 비중을 차지하는 석탄화력발전 분야의 기술 발전 및 지역의 성장동력으로 육성하기 위해 이번 국책연구과제 종료 이후에도 실증 테스트베드로 지속 운영하는 방안 마련이 절대적으로 필요하다. 이러한 필요성 때문에 2016년 청정화력발전 분야의 첨단 소재·부품 산업을 육성시키기 위한 “청정화력발전 부품 신뢰성 인증센터 구축사업” 사업을 “동해안권 발전종합 계획 (2016. 6)”에 반영하였다.

따라서 본 연구는 1970년대에 건설된 노후한 영동화력발전소(강릉)를 기반으로, 인근에 위치한 기업이나 연구기관, 학교 등과의 협업을 통해 강원도 영동지역을 청정화력발전 관련 산업의 거점으로 확대·육성하기 위한 방안을 제시하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 청정화력발전 기술 및 테스트베드 관련 기존 연구를 고찰하여 청정화력발전 기술의 개념과 앞으로의 육성 방안에 대한 시사점을 도출한다. 제3장에서는 우리나라의 청정화력발전 기술 개발 관련 법제도를 검토하고, 제4장에서는 스페인의 CIUDEN 발전소 사례와 강원도 내 인적·물적자원 현황을 분석함으로써 강원도 내 청정화력발전 기술 개발여건을 살펴본다. 마지막으로 우리나라의 청정화력발전 기술 육성을 위한 몇 가지 정책제안을 한다.

2. 청정화력발전 기술의 개념과 기존 연구 고찰

2.1 청정화력발전 기술의 개념

청정화력발전은 화석 연료를 사용하는 발전소의 고효율 환경설비 적용, 이산화탄소 포집 설비 적용, 에너지 활용·전환 방식 개선 등을 통하여 온실가스와 NOx, SOx 등의 대기 오염물질, 미세먼지 등의 배출량을 최소화한 친환경 화력 발전을 의미한다.²⁾ 요컨대 화력발전시스템의 고효율화 및 고청정화, 고부가가치화를 기반으로 한 “고효율 청정화력발전”은 다양한 화석연료의 연소설비 및 시스템 기술 개발을 통해 미래형 발전시스템이라 할 수 있다.

고효율 청정 화력발전 기술의 경우 미분탄 연소, 순환유동층 연소, 석탄가스화복합 등으로 종류를 구분할 수 있으며, 압력과 온도에 따라 아임계(Subcritical), 초임계(SC), 초초임계(USC, Ultra supercritical), 고등초초임계(A-USC, Advanced ultra-supercritical)로 나뉜다. 고효율 청정 화력발전은 운영 최적화를 위한 스마트 운전 시스템, 공해 물질 저감을 위한 이산화탄소 포집 및 저장기술(CCS, Carbon capture and storage), 연료 다변화를 위한 A-USC 기술, 고효율을 달성하기 위한 우수한 고온특성 소재 및 제조 공정 개발을 포함하고 있다. 고효율 청정화력발전의 핵심기술은 ‘증기조건인 고온·고압화’이며, 이를 달성하기 위해 고온특성이 우수한 소재 및 부품의 제조 공정 개발이 필수적이다. 개발 핵심부품에서는 고온·고압의 증기를 만드는 보일러와 보일러에서 생성된 증기로 전기를 생산하는 터빈으로 나뉜다. 보일러 핵심부품은 수냉벽과 과열기, 재열기, 보일러 급수를 가열하는 절탄기, 증기를 모으는 드럼과 배관으로 구성된다. 터빈의 핵심부품은 고압·중압용 로타, 회전 블레이드, 볼트·너트 단조장 및 주조품으로 제작되는 Casing 및 Control valve가 있다.

국내에서도 CCS 기술 관련하여 개발 및 실증화 연구가 적극적으로 진행되고 있으며, 2020년경에는 2조 6,000억 원의 국내시장을 형성할 것으로 전망³⁾된다. 현재 한국중부발전 보령화력본부와 한국남부발전 하동화력본부에 CCS 기술기반의 10MW급 포집 플랜트를 설치하여 성능검증을 하고 있으며 향후 100MW급 포집 플랜트 건설을 계획⁴⁾하고 있다. 2020년에는 국내 전체 발전기 중 38.9%가 20년 이상, 15.7%

2) Seok-Hyeon Yu, Jeong-Seok Yu, Yeong-Geon Go, Seung-Gyu Gang, Hyeong-Jin Kim, Yong-Jun Choe, Jin-Ik Seok, 2016, Development Trend of High Efficiency & Low Emissions Thermal Power Plants, kepcO journal on electric power and energy, 2 (2), p.193.

3) KETEP, 2018, A Study on Establishing a Long-Term Strategy for Energy Demand Management R&D, p.34.

4) Ji-Hyun Lee, No-Sang Kwak, Dong-Woog Lee, Jae-Goo Shim, Jung-Hyun Lee, 2016, Development of Techno-Economic Evaluation Model for CCS, Journal of Climate Change Research 7 (2), p.111.

가 30년 이상으로 노후화됨⁵⁾에 따라 청정화력발전소의 건설이 필요한 상황이다.

2.2 고효율 청정화력발전 기술 동향

화력발전소의 이산화탄소 배출 문제를 극복하기 위해 고효율 발전 기술 개발로 이산화탄소 및 미세먼지 배출량을 줄일 수 있는 청정화력발전 기술의 개발 및 상용화가 필요하다. 현재 미세먼지 등 환경오염물질을 줄이는 한편 에너지 효율을 높이기 위해 화력발전에서 사용하는 원료 및 설비, 운영에 이르기까지 폭넓은 분야의 기술개발이 이루어지고 있다.

먼저, 고효율 청정화력 발전을 위한 연료 개선방법으로 저등급 석탄의 고품위화, 석탄 가스화, 바이오매스 같은 친환경 원료 사용이 있다. 발전설비 개발의 경우에는 저탄소 연료 혼소·전소 시스템이나 석탄 가스화 연료전지 (IGFC)와 같은 CO₂ 감소와 에너지 효율을 증대시키는 기술을 개발하고 있다. 운영을 통한 고효율화 방법에는 순환유동층 보일러의 대용량, 고효율화와 가동온도가 700°C 이상인 A-USC 기술을 개발 중이다. 여기서 A-USC 발전기술이란 석탄을 연소하여 온도와 압력이 700°C, 300bar 이상의 증기를 이용하여 45~50%의 발전 효율로 이산화탄소를 680g CO₂/kWh 이하로 배출시키는 청정화력 발전시스템⁶⁾을 말한다. 현재 상용화된 기술은 USC 기술로 가동조건은 온도 610°C, 압력 290bar로 효율은 45% 정도다.

Table 1. CO₂ Intensity Factor & Fuel Consumption for coal-fired power generation technologies

Category	CO ₂ Intensity Factor	Fuel Consumption	LHV
Subcritical	881 g CO ₂ /kWh	379 g coal/kWh	38%
Supercritical (SC)	798 g CO ₂ /kWh	343 g coal/kWh	42%
Ultra-Supercritical (USC)	743 g CO ₂ /kWh	320 g coal/kWh	43~45%
A-USC	669 g CO ₂ /kWh	288 g coal/kWh	50%

Source: Energy Technology Perspectives (IEA, 2012), p.284.

2.3 테스트베드의 개념

테스트베드 (Test-Bed)란 실험실이나 연구실에서 연구 성과를 거두었으나 아직은 상용화 여부가 불투명하고 연구실·기업 내에서만 이를 판단하기에는 한계가 있는 경우 실제 안전성·효율성 등을 검증하고 이러한 과정에서 시장 반응을 파악할 수 있도록 한시적으로 연구의 장을 넓혀주는 제도다.⁷⁾

우리나라는 정보통신, 환경에너지 기술, 바이오기술, 나노 기술, 로봇기술, 콘텐츠기술 등의 산업군에서 테스트베드를 조성·운영하고 있으며 주체별로는 정부주도, 지자체 주도, 기업주도, 대학 및 연구소 주도 등으로 나뉘어 사업을 진행하고 있다. 목적별로는 기술개발형, 기술적용형, 기술인증형으로 구분할 수 있다. 기술개발형 테스트베드는 실험 환경을 가상으로 구축하여 시험·검증하는 것이며, 기술적용형은 시범 사업처럼 소비자라는 변수를 개입시켜 실제 기술의 소비환경에서 기술의 적용 가능성 및 소비자 만족도를 실험하는 것이다. 마지막으로 기술인증형은 인증기관에서 기업체나 연구소의 개발기술에 대해 시험·검증·인증을 목적으로 구축한 테스트베드를 말한다.⁸⁾

Table 2. Type of Test-Bed

Category	Categorization
Main agent	Implementation of a Test Bed <ul style="list-style-type: none"> · A Corporation · A University · A Government-initiated institute
	Support for a Test Bed <ul style="list-style-type: none"> · Government · Local government
Test purpose	<ul style="list-style-type: none"> · Technology Development Type · Technical Application Type · Technical Certification Type
Technical field	<ul style="list-style-type: none"> · IT/BT/NT/CT/ fusion and compound technology etc

Source: Research of high technology test bed construction & utilization for DAE-DEOK INNOPOLIS (KISTI, 2006), p.33.

5) Kuk-Hyun Yeo, 2016, Next Generation IGCC Technology and CSS, konetic report, p.9.

6) IEA, 2012, Energy Technology Perspectives, p.284.

7) Jae-Hun Lee, 2016, A Study on the Implementation of the Test-Bed System for the Promotion of New Industrial Development Based on Science Technology, KISTEP, p.25.

8) KISTI, 2006, Research of high technology test bed construction & utilization for DAE-DEOK INNOPOLIS, p.36.

청정화력기술 테스트베드 구축은 기자재 국산화율 제고를 위한 발전 플랜트 기술 자립, 발전분야 신기술 개발 및 이산화탄소 절감을 그 목적으로 한다. 이에 단기적으로는 가스터빈, 고온용 보일러 기술 개발과 노후 발전소의 고효율 전환 기술개발에 집중할 필요가 있으며, 장기적으로는 HSC급 발전소 및 스마트 발전소 기술개발을 통해 자립할 수 있도록 한다. 현재 기자재 납품 기업 중 가스터빈 관련 국산 기자재는 터빈 고온·고압 볼트, 가스터빈 입구 공기 필터가 전부이기 때문에 가스터빈에 대한 연구개발 및 파일럿 테스트 (pilot test)가 중요한 상황이다.

2.4 선행연구 검토

국내에서 청정 화력발전에 대해 대부분 기술적인 연구가 활발히 이루어진 반면, 정책연구는 거의 없다. 최근 청정화력 발전 기술의 법 관련 정책연구를 살펴보면, 김송옥 (2017)은 발전시설의 전력기술에 대한 사업화에 있어 실증이 원활하게 이루어질 수 있도록 제도적 개선의 필요성을 언급하고, 기존 법이 전력기술을 개선함으로써 전 세계 전력시장에서 국내 전력산업의 경쟁력 강화에 테스트베드 구축 및 투자 확대 등을 통한 국가적 지원은 필수적이라고 하였다.

본 연구는 국내 6대 권역에서 실시 중인 신재생에너지 테스트베드와 마찬가지로 화력발전 분야에 있어 고청정·고효율 화력발전 기술·부품산업의 국산화를 위한 테스트베드를 강원권 (동해안 경제자유구역)에 조성함으로써 향후 지방정부 차원에서 강원도 전략산업과 산학연 협력으로 관련 산업 육성에 기여할 뿐만 아니라 국가적으로는 청정화력발전 분야에서 기술 경쟁력 강화에 도움이 될 수 있는 정책적 시사점을 제시하는데 기존 연구와 차별성이 있다.

3. 에너지 정책과 화력발전

3.1 에너지 정책 동향

저탄소녹색성장기본법 및 에너지법에 의거하여 5년마다 수립·시행되는 ‘제2차 국가에너지기본계획 (2013~2035)’을 보면, 6대 중점과제 중에서 ‘에너지 정책의 지속가능성 제고’를 위하여 “화석 연료 등 전통에너지의 청정화를 위한 R&D 투자 확대”를 언급하였다. 여기서 화력발전의 고효율·친환경적인 시스템 개발 및 가스터빈 등 핵심부품의 국산화율을 높이기 위한 기술 개발 내용이 포함되어 있다. 2014년에 발표한 ‘제3차 에너지기술개발계획 (2014~2023)’에서는 “고효율 청정 화력발전”이 포함된 “에너지

공급-수요-혁신의 17개 기술개발프로그램”을 제시하며, 기존 노후 화력발전 설비의 개선 수요와 더불어 국내외 신규 화력발전소의 건설 수요 증가를 예상하며 향후 시장 진입 전략으로 실증 사업화를 통한 차세대 청정화력 원천기술 확보, 국산화의 비중 확대를 통한 해외 발전소 시장 및 관련 수출 사업화 확대 등을 제시하였다.

최근에 발표한 제8차 전력수급기본계획 (2017~2031)을 보면 정부는 2030년의 최대 전력수요를 7차 수급계획 (113.2GW) 보다 11% 낮은 100.5GW로 설정하였는데, 이는 환경과 국민 안전성을 위하여 원자력과 석탄의 설비 규모 및 발전량 비중을 낮춘 것에 기인한다. 이를 대체하기 위해 신재생에너지의 경우 설비용량은 9.7%에서 35.7%로 대폭 늘리고 이를 통해 발전량은 7% 수준에서 2030년까지 20%로 확대 계획하였다. 그럼에도, 석탄의 발전 설비 용량은 2017년 36.9GW 수준에서 2030년 39.9GW로 3GW 증가할 것으로 전망하였다. 새정부 들어서 기존에 승인된 석탄화력발전소의 폐지 및 연료전환에 대한 논의 있었지만, 삼척의 포스코파워와 강릉의 에코파워는 기존대로 석탄발전을 조성하기로 하였다. 이처럼 탈원전·탈석탄 정책에도 불구하고 앞으로 수십년간 석탄발전이 일정 부분의 역할을 담당할 것으로 예상됨에 따라, 석탄의 문제점을 개선하기 위한 기술 개발은 우리가 해결해야 하는 과제라 하겠다.

한편, 2016년 강원·경북·울산 등의 동해안에 인접한 15개 시군구를 중심으로 2020년까지의 ‘동해안 종합 발전계획’이 변경·확정되었다. 여기서 강원권은 “신소재·부품산업 클러스터” 조성을 목표로, 강릉에 소재한 영동화력발전소 일원에 “청정화력발전 부품 신뢰성 인증센터 구축사업”을 추진하는 사업이 선정되었다. 이는 동해안 에너지클러스터 조성 정책과 동해안권 경제자유구역의 핵심인 저탄소 소재부품 산업 육성과도 연계성이 높기 때문이다. 그러한 측면에서 강원도 탄광지역 및 동해안이 과거 에너지 중심도시로서의 기여도 반영된 결과라 할 수 있다.

Table 3. Building a parts certification center of Clean Coal Technology (CCT)

Category	Summary
location	· Yong-Dong thermoelectric power plant
Period	· 2016~2020
details	· Building a parts certification center of CCT · Promote small and medium business for New Parts Technology (CCT) · Establish a parts demonstration center

Source: Master plan development of East-coast area (molit, 2016)

Table 4. Final Energy Consumption by Sector (1990~2016)

Category	Petroleum		Coal		Electricity		LNG		Heat		Renewable		Total (1,000 TOE)
	1,000 TOE	%	1,000 TOE	%	1,000 TOE	%	1,000 TOE	%	1,000 TOE	%	1,000 TOE	%	
1990	45,252	60.3	19,855	26.4	8,117	10.8	1,011	1.3	75	0.1	797	1.1	75,107
2000	93,596	62.5	19,859	13.3	20,600	13.7	12,561	8.4	1,119	0.7	2,130	1.4	149,852
2010	100,381	51.3	29,300	15.0	37,338	19.1	21,640	11.1	1,718	0.9	5,346	2.7	195,587
2016	114,760	50.9	32,840	14.6	42,745	18.9	22,690	10.0	1,710	0.8	10,936	4.8	225,681

Source: 2017 Yearbook of Energy Statistics (Korea Energy Economics Institute, 2018)

2018년 4월 정부는 “3대 분야 9대 전략 프로젝트”를 발표하고, 에너지전환 및 4차 산업혁명에 대응한 에너지신산업 조기창출을 위해 ‘에너지기술 실증연구 활성화 추진방안’을 마련하였다. 여기에는 미세면지 저감을 위한 석탄화력발전소 설비 등의 에너지 실증연구 투자 확대방안이 포함되어 있으며, 정부는 에너지전환에 대응한 화력발전 기술의 경쟁력 강화를 위해 향후 10년간 실증연구 투자를 대폭 확대 (실증단지 조성, 실증시설 DB구축, 규제 개선 등)할 예정이다.

뿐만 아니라 최근 「에너지산업융복합단지의 지정 및 육성에 관한 특별법 (이하 에너지산업융복합단지 특별법)」이 제정되고 동법 시행령 또한 2018년 6월부터 시행됨에 따라, 에너지 및 관련 산업들의 집적·협력을 도모하여 기술혁신 및 비용 감소, 일자리 창출 등 에너지신산업 육성과 지역경제 발전을 위해 본격화될 예정이다. 융복합단지 세부유형 (재생에너지 특화형, 재생에너지 융복합형, 에너지신산업 실증형 등) 및 클러스터 단지 지정 등에 대해 2018년 12월 안으로 “에너지산업융복합단지 기본계획”을 구체적으로 마련할 계획이다. 지원내용으로는 에너지산업융복합단지 조성에 필요한 기반 시설 설치 (연구개발, 인증·평가·실증, 기업지원, 교육·훈련 등), 에너지산업 관련 전문연구기관의 지정 (연구개발, 실증사업 등), 전문인력 양성·활용 등에 소요되는 비용을 정부 지원 받을 수 있다. 현재 강원도는 영동화력발전소를 기반으로 조성된 청정화력발전 테스트베드사업을 바탕으로 다양한

소재부품 연구개발을 수행 증임에 따라, 이미 이 법의 지정요건이 충분하다고 판단된다. 정부는 2019년 초 산업부장관 직권 또는 시·도지사 요청에 의해 융복합단지를 지정할 계획이라고 밝힘에 따라, 강원도는 이에 면밀한 준비를 통해 에너지산업융복합단지로 지정될 수 있도록 노력해야 할 것이다.

3.2 에너지 생산·소비 동향

2016년 기준 우리나라의 에너지 수입의존도는 94.7% (809.4억\$)이며, 1차 에너지 공급량은 294.7백만toe이다. 여기서 석유 (40.1%)로 가장 많은 에너지를 공급하고 있으며 다음으로 석탄 (27.8%), LNG (15.4%), 원자력 (11.6%), 수력·신재생 (5.1%)의 순으로 공급하고 있다. 최종에너지 소비에서 석유는 전체에서 50.9%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 다음으로 석탄 14.6%, 천연·도시가스 10.0%, 신재생 4.8% 등으로 나타났다. 여기서 석유와 석탄, 전력이 차지하는 비중이 줄어든 반면, 천연·도시가스와 신재생에너지의 경우에는 각각 '90년 대비 약 22배, 14배 정도 증가하였다.

2016년 기준 우리나라 총 전력 생산량은 540,441GWh로, 원료별로 화력발전이 64.6% (348,876GWh)로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며 다음으로 원자력 30% (161,995GWh), 신재생 4.2% (22,936GWh), 수력 1.2% (6,634GWh)의 순이었다. 화력발전의 경우 전체의 61.3% (213,803GWh)를 석탄 연료로 사용하며 가장 큰 비중을 보인 한편, 다음으로 LNG 34.6% (120,852GWh),

Table 5. Electricity Generation by Energy Source (1990~2016)

Category	Hydro		Nuclear		District Energy		Renewable Energy		Thermal		Total (GWh)
	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	
1990	6,361	5.9	52,887	49.1	-	-	-	-	48,421	45.0	107,670
2000	5,610	2.1	108,964	40.9	-	-	-	-	151,826	57.0	266,400
2010	6,472	1.4	148,596	31.3	8,080	1.7	3,984	0.8	307,528	64.8	474,660
2016	6,634	1.2	161,995	30.0	-	-	22,936	4.2	348,876	64.6	540,441

Source: 2017 Yearbook of Energy Statistics (Korea Energy Economics Institute, 2018)

석유 4.1% (14,221GWh)의 순으로 나타났다.

석탄발전이 최근 미세먼지 등의 다양한 환경오염을 야기한다는 문제에도 불구하고 당분간 중요한 역할을 차지할 것이다. 따라서 석탄화력발전을 안전하고, 청정하며 보다 더욱 효율적으로 사용할 수 있도록 관련 기술 개발이 매우 중요하다.

3.3 강원도 동해안 화력발전 동향

2017년 기준 현재 강원도에는 총 8기 (전체의 12.5%)의 석탄화력발전소를 운영하고 있으며, 발전설비 용량은 7,405MW로 2015년 (3,461MW) 대비 2배 이상 늘어났다. 이에 강원도의 2017년 전력 생산량은 총 20,748GWh로 2015년 (8,067GWh) 대비 약 2.6배 증가하였으며, 전력 자급률 또한 49.8%에서 125.3%로 75.5% 증가하였다. 현재 2곳의 신규 석탄화력발전소 (강릉, 삼척)를 건설하고 있음에 따라 앞으로 석탄화력 중심의 발전량이 늘어날 전망이다.

가장 먼저 강원도에는 1937년 당시 남한 최대 화력발전소인 영월화력발전소 (1937~, 현재 LNG 복합화력발전소로 전환)를 설립하여, 우리나라의 안정적인 전력생산과 석탄산업 육성 및 광산촌 경제 활성화에 크게 기여했다. 하지만 1972년 8월 남한강 홍수로 제1발전소를 폐쇄 ('73년 2월) 후 2001년에는 설비 노후화로 영월화력발전소 (무연탄 사용)를 최종 폐쇄하였다. 이후 한국남부발전에서 2010년 848MW 규모의 천연가스 복합화력발전소를 건설하여 현재까지 가동 중이다. 1956년에 준공한 삼척화력발전소 (1956~1985년)의 경우 1960년대 총 설비용량이 60MW로 우리나라 전력수급 안정화와 함께 인근에 위치한 태백탄전의 무연탄을 소비함으로써 지역경제 활성화에 크게 기여하였으나 이 역시 설비 노후화로 1985년에 폐쇄하였다.

우리나라 제2차 전원개발사업으로 1973년에 준공한 영동화력발전소 (1973년~현재)는 총 설비용량 325MW로 2016년 기준 2,102GWh (이용률 73.8%)의 전기를 생산하였다. 현재 영동화력발전소는 '미세먼지 관리 종합대책 (2017.09.26)'에 따라 1호기의 경우 2017년 7월부터 바이오매스 발전소로 전환되어 가동중이다. 영동 2호기는 정부 국책사업으로 2016년 11월~2019년 9월까지 177억 원의 사업비를 투입하여 "청정발전 실증 기술 테스트베드 사업"을 수행하고 있다. 이는 2015년 한국전력공사 전력연구원, 한국생산기술연구원, 한국기계연구원, 강원연구원 등의 공동연구를 시작으로 기자재의 국산화를 제고 및 신기술 확보를 위하여 기술연구 (미세먼지 저감용 부품, 배관용 소재, 펌프 등 20여 종)를 수행 중이며,

이들 설비를 활용하여 국내 고효율 청정화력발전 실증단지를 조성함으로써 발전소 소재·부품에 대한 자립도를 높임과 동시에 세계시장을 선도해 나가고자 노력하고 있다. 뿐만 아니라, 영동화력발전소 인근에는 강릉에코파워가 2,080MW 규모의 유연탄 화력발전소를 건설 중이며 이는 2022년에 완공될 예정이다.

동해화력발전소 (1998년~현재)는 강원 영동권의 안정적인 전력공급을 위해 1999년 준공하였다. 시설용량은 총 400MW으로 2016년에는 2,925GWh의 전기를 생산 (이용률 83.5%)하였다. 또한, 인근에 1,190MW 규모의 동해북평 GS 파워 화력발전소 (1~2호기)가 2017년 준공되어 가동 중이다.

2016년에는 한국남부발전의 삼척 그린파워화력발전소 1호기를 준공하였으며, 2017년 6월 2호기가 추가 조성되어 전력을 생산하고 있다. 인근에 포스파워가 2,100MW 규모로 신규 화력발전소를 건설하고 있다.

이처럼 강원도 동해안은 지리적 이점으로 대규모 석탄화력발전소를 계속해서 조성하고 있다. 지역에서는 이를 기반으로 한 연계산업을 육성하기 위해 노력하고 있으며, 특히 본 연구의 핵심인 청정화력발전 관련 테스트베드 및 평가인 증센터 설립, 연구개발 인프라 확충, 기업 유치 등이 중점추진과제라 하겠다. 요컨대 강원도는 이러한 여건을 바탕으로 관련 산업을 육성하는 것이 꼭 필요한 정책 방향이라 할 것이다.

4. 청정화력발전 경쟁력 강화를 위한 강원권 테스트베드 조성 여건분석

4.1 강원도 물적자원 현황

강원도에는 2017년 기준 총 72개 (2만 6,074천m² 규모)의 산업단지를 지정하여 1,555개 업체 (가동률 90.9%)에 2만 7,623명이 고용되어 있으며 입주업체는 전년 (1,480개) 대비 5.1% 증가한 반면, 고용인원은 전년 (2만 7,536명) 대비 0.3% 소폭 증가하였다. 세부적으로는 국가 1개 (4,278천m²), 일반 24개 (1만 4,510천m²), 도시첨단 4대 (352천m²), 농공 43개 (6,934천m²) 단지가 조성되어 있다.

여기서 소재·부품산업을 주력으로 하는 동해안권 경제자유구역의 경우 동해항을 중심으로 3개 지구 (동해시 북평·망상, 강릉시 옥계)가 구성되어 있는데, 북평국가산업단지 (면적 2.08km²)에는 현재 조성 완료된 상태로 2017년 기준 54개 업체가 입주해 있다. 반면, 강릉 옥계 산업단지 (면적 0.39km²)는 소재부품 단지로 현재 조성 중인 상태다.

Table 6. Industrial Complex by Gangwon-do (2017.4Q)

Category	Total (EA)	Specified area (1,000m ²)	Tenant company (EA)	Employment (Person)	Total production (₩1000,000)	Total exports (\$1,000)
National	1	4,278	54	630	64,000	9,468
General	24	14,510	340	8,101	2,713,867	352,070
Urban High-Tech	4	352	43	1,254	20,737	2,586
Rural areas	43	6,934	1,118	17,638	3,560,035	791,188
total	72	26,074	1,555	27,623	6,358,639	1,155,312

Source: Industrial Complex Statistics (Korea Industrial Complex Corp, 2018)

Table 7. Overview of East coast Free Economic Zone Project

Category	Summary
Project Period & Cost	· 2013 to 2024 (12 years), 1.7,979 trillion won
Project Area	· 8.86km ²
Spatial Composition	· 3 districts in the East Coast Port Area Location - Bukpyeong-dong, Mangsang-dong of Dongae - Okgye-myeon of Gangneung

Source: www.efez.go.kr

4.2 강원도 인적자원 현황

2016년 기준 현재 강원도 내 대학은 총 22개 (학생수 총 13만명), 출연연구소는 5개, 국공립 연구조직은 21개의 기관이 있으며, 대부분 춘천 (17개), 강릉 (13개), 원주 (8개)를 중심으로 교육 및 연구시설이 집중적으로 분포되어 있다. 첨단

소재산업 관련 학교는 강릉원주대 (금속재료공학과, 세라믹 신소재학과)와 강원대 (신소재공학과, 재료금속공학과), 상지대 (정밀화학신소재학과), 한라대 (신소재화학공학과) 등이 소재해 있다. 연구소의 경우 강릉지역을 중심으로 강릉과학산업진흥원, 강원 TP 신소재사업단, 생산기술연구원 강원지역본부, 한국기초과학지원연구원 강릉센터, RIST 강원산업기술연구소 등이 있으며, 이 외에도 강원 TP 에너지방재지원센터 (삼척)과 영월청정소재산업진흥원 등의 에너지 관련 기관이 다수 분포해 있다.

4.3 청정화력발전 테스트베드 사례연구 : 스페인 CIUDEN

스페인 북서부의 엘 비어 조 (El Bierzo) 지역에 위치한 CIUDEN은 2006년 스페인 Compostilla II 석탄화력발전소 인근에 설립되었다 (부지 140,000m² 규모). 스페인 정부와 EU의 1:1 투자로 실증 테스트베드 단지 (1억 6천 유로)를 구축하였으며, CCT와 CCS 등의 이산화탄소 배출 감소 관

Table 8. Summary of schools and Research Institutes in Gangwon-do (2016)

Category		Gangneung	Chuncheon	Wonju	Pyeongchang	Taeback	Hoengseong	Goeseong	Donghae	Yeongwol	Samcheok	Total
Institute (EA)	Invested	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	national	3	6	2	2	1	0	0	0	0	0	14
	provincial	1	4	0	0	0	1	1	0	0	0	7
	Total	8	11	2	2	1	1	1	0	0	0	26
University (EA)	General	2	2	4	0	0	0	0	1	0	0 (2)	9
	Education	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Junior College	3	3	2	0	1	2	0	0	1	0	12
	Total	5	6	6	0	1	2	0	1	1	0	22
Total		13	17	8	2	2	3	1	1	1	1	48

Source: Promoting Regional Public Research Organizations: Survey on Korean and Foreign Public Research Organizations (stepi, 2016), Statistical Yearbook of Gangwon (Gangwon-do, 2017)

런 각종 핵심기술을 연구한다. 여기에는 3가지 주요 시설 (CO₂ 포집을 위한 기술 개발 센터, CO₂ 수송공정 모의실험 시설, 저장 기술 개발 플랜트)로 구분·운영된다. 단지 내에는 세계 유일의 대형 실험용 산소 보일러 (20MW 규모 pc보일러, 30MW 규모 CFB 보일러)와 3MW 규모의 바이오매스 가스화 설비 등이 구축되어 최적의 연구환경을 갖추고 있다. CIUDEN은 특히 산소 연소 기술을 검증하는 OXY-CFB300 등의 최첨단 CCS 실증연구를 산·학·연 협동으로 다수 수행하고 있으며, 2012년에는 순산소 순환유동층을 이용한 CO₂ 포집설비를 완료함으로써 유럽에서 이 분야를 선도하고 있다 (Fig. 1).

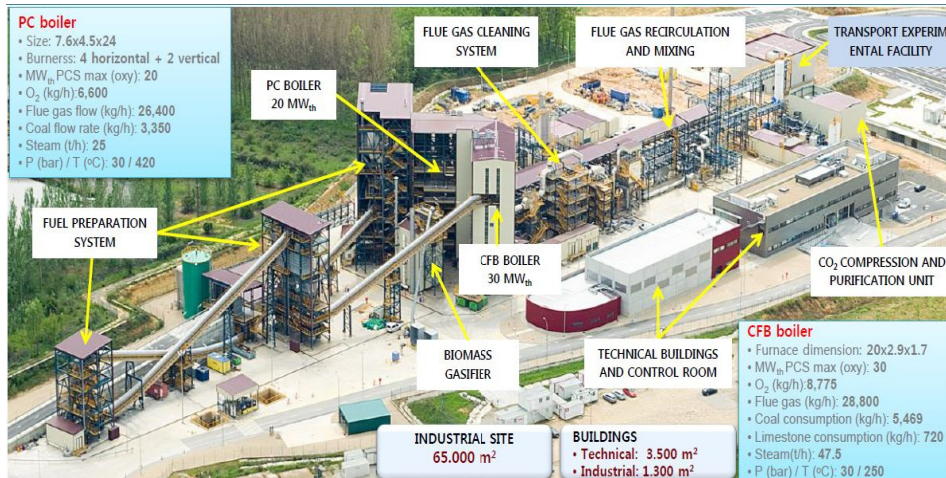
국가차원에서 설비 투자 등에 적극적으로 지원하는 환경 속에서 이렇듯 CIUDEN은 대형 설비를 갖추어 청정화력발전 기술을 실증 및 검증할 수 있는 기반을 마련하고, 산·학·연 협동연구를 이행하며 기술 개발 및 배포 등에 활발히 수행할 수 있는 것이다. 이렇듯 우리나라 또한 스페인 CIUDEN과 같이 국가적 차원의 체계적인 지원 시스템을 바탕으로 산·학·연 연구 및 연구개발 시연 단계를 윈스톱으로 하는 것을 벤치마킹해야 할 필요가 있다.

여기서 분명한 것은 CIUDEN의 경우 연구개발 및 시연 (R&D&D)만 수행하고 있어, 이를 일자리 창출로 연계하지 못한 한계가 있다는 점이다. 이에 본 연구에서는 CIUDEN의 연구개발 발전 실증단지 개념을 에너지산업융복합단지 특별법에 의한 “청정화력발전 에너지산업 융복합단지”로 한 단계 확장시켜, 청정화력발전 기술 테스트베드의 연구 성과물 (평

가·인증센터 공인 소재·부품)을 동해안 경제자유구역 (제조업체)에 연계함으로써 산업화로 확대시키고 일자리 및 부가가치 창출 등 시너지효과를 극대화하고자 한다.

4.4 소결

매년 국내 전력 소비가 증가함에 따라 강원도 동해안에는 신규 대형 발전소를 신규 공급하고 있지만 이와 연계한 제조기업 (설비, 부품, 건설 등)이 강원도 내에는 많지 않은 상황이다. 기후변화 대응 및 미세먼지 저감을 위한 정부 에너지 정책 부응과 더불어, 앞서 살펴본 강원도 내 다양한 지역적 장점을 활용하여 적절한 시기에 석탄화력발전 관련 신기술 개발과 소재·부품의 국산화·사업화 및 강원도 전략산업과 연계한 이들 기업의 전문화·대형화 등 기업유치·확대 전략이 마련되어야 할 것이다. 강원도 내에는 석탄 화력발전 기술을 연구 개발할 수 있는 인적자원 역량이 풍부함에 따라, 이들 고정정·고효율 기술·연구 결과물을 강릉에 소재한 영동화력발전소 (테스트베드)에서 평가·인증을 거쳐 첨단 소재산업의 최적지인 옥계산업단지에 소재·부품 기술 이전을 함으로써 기존 산업단지에 부품·소재의 국산화·사업화를 도모하여 청정화력발전 산업클러스터로 육성할 수 있는 잠재력이 있다. 이러한 모델은 스페인 CIUDEN의 발전 실증단지 운영을 통해 검증된 바 있음에 따라, 우리는 청정화력발전 기술 분야의 산업생태계가 원활하게 조성·운영되고 있음을 확인할 수 있다. 특히 우리나라는 최근 국내 석탄화력발전소 조성뿐만 아니라 해외에서도 발전 플랜트 건설 활동



Source: A Study on the Clean Thermal Power Generation Test-Bed (KEPCO, 2017), p.58. CIUDEN’s test facilities for advanced technologies on CO₂ capture and storage in coal power generation (EL BIERZO, 2009), p.6.

Fig. 1. CIUDEN is leading Spain’s carbon capture.

을 활발히 수행하고 있기 때문에 관련 산업의 육성을 위해서는 지원기관으로서 국가적으로 추진되어야 하는 핵심사업일 것이다.

5. 결론 및 정책 제언

5.1 청정화력발전 기술 테스트베드 구축사업 필요성

발전소 설비는 고온·고압의 환경에서 장시간의 높은 신뢰성을 요구하기 때문에 신소재 개발과 함께 개발된 소재의 실증이 반드시 요구된다. 국산 발전소 기자재에 대한 국산화율이 낮은 이유 중 하나가 실증이 중요한 발전소 소재·부품 특성 대비 연구 성과물에 대한 실증 기반이 부족하기 때문이다. 현재 우리나라의 표준·인증제도는 과학기술과 건설·제조산업 분야에서 규격과 안전관리에 초점이 맞춰져 있으며, 여러 분야에서 시험·검사·평가·인증 관련 공인기관이 있지만 정량적 평가만을 수행하고 있다. 이에 청정화력발전 기술 테스트 베드사업은 석탄화력발전 분야에서의 설비 효율 향상을 위한 신기술 개발과 더불어 기존 소재·부품을 국산화 노력의 일환으로 청정화력발전 기술 평가인증 센터의 설립이 함께 이행되어야, 에너지 이용 효율 향상을 통한 온실가스 감축과 에너지 신산업 발돋움 통한 일자리 창출 기회를 제공한다는 점에서 정부 정책의 본질과 크게 다르지 않기 때문에 적극 장려되어야 한다.

현재 국책연구 과제로 2016년부터 2019년까지 청정화력발전 실증 테스트베드사업 (영동화력발전소)으로 다양한 부품·기술 개발을 하고 있다. 강원도 동해안지역은 발전소 및

관련 산업 유치에 입지조건이 유리하고, 또한 동해안 경제자유구역 내 비철금속 소재·부품 산업 육성단지를 조성하고 있기 때문에 이들을 연계한다면 발전소 설비와 소재·부품에 대한 전·후방 산업간 시너지 효과를 창출 할 수 있을 것이다. 또한, 남북 교류협력 확대에 따른 북한의 자원을 활용한 소재부품 산업의 육성 정책과 연계한다면 성장 가능성이 매우 높을 것으로 판단된다 (Fig. 2).

5.2 청정화력발전 기술 테스트베드 구축사업 추진전략 및 추진체계

2019년까지 노후한 영동화력발전소에 테스트 기능을 추가하여, 미세먼지 감축을 위한 바이오 연료 발전기술 실증 (1호기)과 석탄화력 청정화를 위한 신기술 및 부품의 실증 (2호기) 사업이 진행되고 있다. 사업 종료 후 실증 테스트베드를 중심으로 동해안의 석탄화력발전소와 강원도의 기존 전략산업인 소재·부품산업과의 연계성과 시너지 효과 창출을 위해 다음의 단계별로 추진전략을 마련할 필요가 있다 (Fig. 3).

1단계는 청정 화력발전기술 실증단지 운영 관련 법·제도 구축이 필요하다. 이는 실증단지 운영의 지원 및 추진 시 야기될 수 있는 문제를 개선할 필요가 있기 때문이다. 2단계는 실증단지 운영을 위해 청정화력발전 기술 평가인증 센터의 설립이다. 여기서 기존 플랜트 기자재를 포함한 청정화력발전 신기술 부품의 평가인증을 모두 수행할 것이다. 현재 전력, 석유 등 장기 운영 플랜트의 경우 관련 부품을 해외에서 수입하여 쓰고 있는 상황이기 때문이다. 이들 시설은 단기적으로는 국내 기업의 지원을 위한 역할도 하지만, 향후 우리나라

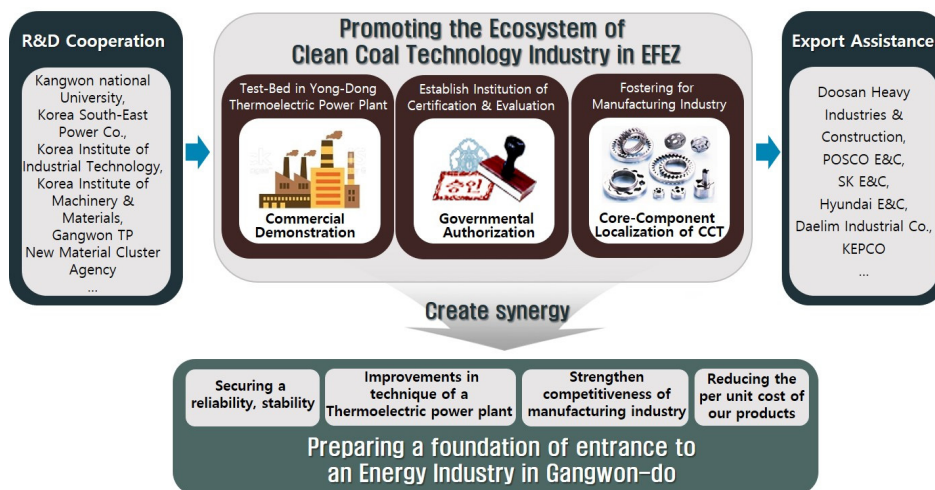
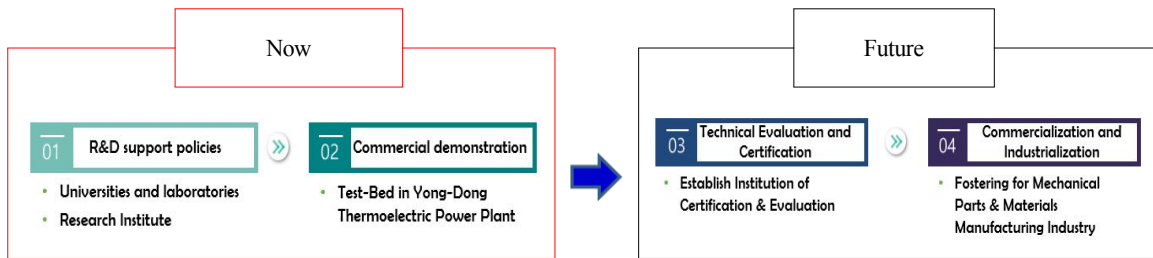


Fig. 2. Clean Thermal Power Generation Technology Strategy.



Source: RIG, 2017, Performance and Challenges of Clean Thermal Power Generation Test-Bed, Policy notes, no.603, p.9.

Fig. 3. Clean Thermal Power Generation Technology Roadmap.

라의 발전 플랜트 수출과 연계하여 육성할 수 있도록 한다. 또한, 외국의 다양한 소재부품 기업의 평가에 대한 역할까지 확대할 필요가 있다. 3단계는 평가인증센터와 동해안권경제자유구역의 소재·부품산업단지와 연계하여 기업을 유치하고, 이들을 지원하는 역할이 필요하다. 이런 모든 과정에서 대학의 인력양성과 R&D 강화는 매우 중요한 과제라고 보며, 현재 동해안 인근에 위치한 대학과 연구기관을 중심으로 청정화력발전 기술에 대한 연구개발 노력을 강화하고 있다.

5.3 청정화력발전 기술 테스트베드 구축사업 기대효과

에너지경제연구원은 IEA (2016) 자료를 인용하여 2040년 까지 신재생에너지 비중이 꾸준히 증가하며, 동시에 석탄화력발전 비중도 여전히 20% 이상을 유지 (2040년 29.0%)⁹⁾ 할 것으로 전망하였다. 세계 청정화력발전 시장규모는 매년 평균 4.1% 증가하여 2021년에는 344억 달러 정도로 예상¹⁰⁾되며, 관련 시장에 진입하기 위해서는 청정화력발전 기술 개발과 함께 평가·실증의 투자가 필요하다. 향후 기존 석탄화력발전 설비를 개선함과 동시에 청정화력발전 설비를 도입함으로써 고효율·고청정 핵심 석탄화력발전 기술 자립화로 이를 국내의 석탄화력발전소에 적용한다면 환경문제에 크게 기여할 것이다.

본 연구는 미세먼지 및 기후변화 대응을 위한 전 세계적인 흐름 아래 신규 석탄발전소 건설이 거의 중단되고 앞으로는 상황이 크게 변하지 않을 것으로 전망되어 점점 노후해지는 석탄발전소의 청정화 및 수명연장 수요가 급증함에 따라 이에 부응하고자 한다. 게다가 신재생에너지의 간헐성 문제를 보완하기 위해 석탄발전소가 부하 추종 운전을 하게 되면 이에 따른 발전소 운영이 달라지게 될 것으로 예상되어 향후의

사업 내용에 이에 대한 선제적 대응책을 포함하고자 한다.

그리하여 강원도는 화력발전에 대한 국내의 수요에 부응하고 소재·부품의 국산화를 통해 국제적 경쟁력 제고와 함께 아시아, 아프리카 등 저개발 국가들의 전력산업에 참여함으로써 국익을 창출할 수 있는 기반이 될 것이다. 기존의 석탄화력발전소를 고효율·고청정 발전소로 전환하고, 이를 산업화로 연계하는 것은 필수적인 과제라 하겠다. 따라서 현재 진행 중인 청정화력발전 실증 테스트베드를 중심으로 관련 연구개발 및 기업 육성을 위한 지원체계를 빠르게 구축하여 지원하는 것은 매우 중요하다.

본 연구는 고청정·고효율 화력발전 및 관련 부품산업의 발전을 위한 테스트베드 조성·육성 방안에 대한 국가적·지역적 필요성에 대해 살펴보고 구체적인 추진전략과 방향성에 대해 제시한 것에 의의가 있다. 그러나 구체적인 입지선정 및 경제적 타당성에 대한 분석을 함께 제시하지 못한 점에서 한계가 있다. 따라서 향후의 연구에서 이에 대한 추가적 연구가 이루어질 필요가 있다.

사 사

본 연구는 2016년도 선정된 한국에너지기술평가원의 「청정발전 기술 실증 테스트베드 구축사업(No.20161110100090)」에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

EL BIERZO. 2009. CIUDEN’s test facilities for advanced technologies on CO₂ capture and storage in coal power generation, p.6.

9) KEEI, 2016, world energy markets Insight, 16 (20), p.5.

10) KISTI, 2012, Sustainable future growth of clean coal energy, KISTI Market Report 2 (5), p.15.

- Gangwondo. 2015. History of Gangwondo, no.12, pp.451 ~ 452.
- Gangwondo. 2017. Statistical Yearbook of Gangwon, pp.636 ~ 640.
- Gangwon Provincial Office of Education. 2017. 2017 Statistical Yearbook of Gangwon Education, p.952.
- IEA. 2012. Energy Technology Perspectives, p.284.
- KEA. 2012. A Study on the 2nd stage of the New Renewable Energy Industry Promotion Initiative, pp.10 ~ 21.
- KEEI. 2016. world energy markets Insight, 16(20), p.5.
- KEEI. 2018. 2017 Yearbook of Energy Statistics.
- KEPCO. 2017. A Study on the Clean Thermal Power Generation Test-Bed, p.58.
- KEPCO. 2018. The Monthly Report on Major Electric Power Statistics, no.459 ~ 470.
- KETEP. 2018. A Study on Establishing a Long-Term Strategy for Energy Demand Management R&D, p.34.
- Kim HJ. 2005. Competitive of the Parts and Materials Industry and Policy Issues in Korea, the bank of KOREA, p.25.
- Kim SO. 2017. A Study on Legal Policy Directions for Demonstration and Certification System of Clean Thermal Power Generation Technologies, Chung-Ang Law, 19(4).
- KISTI. 2006. Research of high technology test bed construction & utilization for DAE-DEOK INNOPOLIS, p.33.
- KISTI. 2012. Sustainable future growth of clean coal energy, KISTI Market Report 2(5), p.15.
- Korea Industrial Complex Corp. 2016. Industrial Complex Statistics.
- Lee JH. 2016. A Study on the Implementation of the Test-Bed System for the Promotion of New Industrial Development Based on Science Technology, kistep, p.25.
- Lee JH, Kwak NS, Lee DW, Shim JG, Lee JH,. 2016. Development of Techno-Economic Evaluation Model for CCS, Journal of Climate Change Research 7(2), p.111.
- Molit. 2016. Master plan development of East-coast area(2010 ~ 2020).
- MoST. 2017. Regional S&T Yearbook 2016, p.269.
- RIG. 2017. Performance and Challenges of Clean Thermal Power Generation Test-Bed, Policy notes, no.603, p.9.
- Song KS, Park JM, Lee JH, Kim BG,. 2009. Research on the Location Decision of Korea Land Spatialization Program's Test-bed, journal of KOREA Spatial Information Society, 11(4), p.1.
- STEPI. 2016. Promoting Regional Public Research Organizations: Survey on Korean and Foreign Public Research Organizations, pp.60 ~ 61.
- Yeo KH. 2016. Next Generation IGCC Technology and CSS, konetic report, p.9.
- Yu SH, Yu JS, Go YG, Gang SG, Kim HJ, Choe YJ, Seok JI. 2016. Development Trend of High Efficiency & Low Emissions Thermal Power Plants, kepcO journal on electric power and energy, 2(2), p.193.