

석탄가스화 수소생산 기술개발

김 재성¹⁾, 이 종민²⁾, 김 동원³⁾

Development of Hydrogen Production Technology from Coal Gasification

Jaesung Kim, Jongmin Lee, Dongwon Kim

Key words : Hydrogen Production(수소 생산), Coal Gasification(석탄 가스화), WGS(수성가스전환), Fossil Fuel(화석 연료), IGCC(석탄가스화 복합발전), Gasifier(가스화기)

Abstract :

석탄가스화 수소생산 기술 분야는 석탄 등의 화석연료를 이용하여 고온, 고압하에서 반응가스(산소, 수증기, 수소)와의 화학적 반응을 통해 생산된 연소성 가스(H₂, CO, CO₂ 등)를 전환반응(WGS) 및 분리반응을 거쳐 효율적으로 청정하게 수소를 생산해 내는 기술이다. 전력산업에서 석탄가스화 수소생산은 그 사용 방법(연료전지, 수소 터빈, 분산 이용 등)에 따라 발전시스템의 고효율화를 지향하고, zero-emission을 실현하는 첨단 발전 시스템의 종합 구현을 목표로 하고 있으며, 더불어, 도래하는 수소 경제로의 전이에 대비에 석탄을 이용한 중앙(Central) 수소생산 시스템을 구현하여 이송 및 전환을 통한 지역적 분산 이용을 가능케 하는 종합적인 인프라를 구축하는 기술이다. 본 기술에는 석탄가스화 기술, 수성가스 전환기술, 수소/CO₂ 분리기술, 이송용 연료 전환기술 등이 포함된다.

석탄가스화 수소생산 기술은 급등하는 오일 가격과 이의 수입사용 증가에 대응하기 위한 에너지 안보 대책 마련 및 효율 극대화의 필요성과 더불어, 전력산업에서 화력 발전시스템의 궁극적 실현 목표인 고효율, 초청정의 전력생산 시스템의 구현을 가능케 하여, 향후 화석 연료를 이용한 미래 발전 기술을 선도할 것으로 기대된다. 더불어, 수소 경제로의 전환 시 수소 수요의 급팽창에 대비한 경제적인 대규모 수소생산 기술의 개발이 필요하며, 이에 기술 실현성이 가장 높은 석탄가스화 수소생산 기술의 개발 구현이 요구된다.

subscrip

WGS : water gas shift

IGCC : integrated gasification combined cycle,

1. 서론

전 세계적으로 주요 화석연료(오일, 천연 가스)의 가채량 한계와 지구 온난화에 따른 CO₂ 배출 감소를 위해 수소경제(석탄, 천연가스, 원자력, 신재생에너지 등을 이용하여 수소를 생산하여 전력을 생산하거나, 생산된 수소를 저장, 운반하는 인프라를 구축하여, 이송 후 분산형 전력 생산 시스템을 거쳐 이를 최종적으로 소비하는 에너지 공급시스템에 기반을 둔 경제)라는 새로운 패러다임이 요구되고 있고, 전력산업에서의 수소 생산은 전력과 수소를 동시에 생산할 수 있는 기술로 설비 이용률의 극대화를 꾀함으로써

발전 최첨단화의 지향과 수소경제 대비의 두 가지 목적을 추구한다.

전력산업에서 실현성 및 경제성이 높고 전략적으로 우수한 수소생산 기술 분야는 크게 석탄 가스화와 원자력 이용 기술이 있으며, 석탄가스화 수소생산 기술은 석탄 등의 화석연료를 이용하여 고온, 고압하에서 반응가스(산소, 수증기, 수소 등)와의 화학적 반응과 전환 및 분리를 통해 수소를 효율적으로 청정하게 생산하는 기술로 가스화 기술, 수성가스 전환기술 그리고 수소/이

1) 한전 전력연구원

E-mail : kimjs@kepri.re.kr

Tel : (042)865-5471 Fax : (042)865-5489

2) 한전 전력연구원

E-mail : jmlee@kepri.re.kr

Tel : (042)865-5472 Fax : (042)865-5489

3) 한전 전력연구원

E-mail : kdw@kepri.re.kr

Tel : (042)865-5473 Fax : (042)865-5489

산화탄소 분리기술 등을 포함한다.

2. 본론

2.1 국내 산업시장 현황

세계 에너지 소비 증가는 지역적 편재성이 가장 크고 가채량이 한계에 이른 오일 소비 증가가 가장 크며, 에너지 안보 측면에서 수소 이용으로 패러다임 전환을 도모하고 있고, 현재 수소를 생산하는 기술은 오일 및 천연가스의 개질을 통한 생산이 가장 경제성과 실현성이 높으나, 석탄이나 원자력을 통한 수소생산 기술이 산업화 경쟁을 통해 중심 기술로 부각될 것으로 판단된다. 미국은 수소에너지 사회 구현을 위해 장기적으로 수소공급 시나리오를 구상, 이의 기본 인프라 구축을 위한 산업계의 적극적 참여 및 연구개발을 본격적으로 수행 중이다.

우리나라는 에너지 소비량 세계 10위, 석유 소비량 6위권의 다소비 에너지 국가로 이 중 97%를 수입에 의존하고 있어, 안보적 차원에서 다양한 에너지원의 확보가 시급하고, 국내 최종 에너지 수요 전망은 매년 수송용이 약 4% 증가 추세를, 산업용 2.5%, 가정/상업용 3.5% 증가할 것으로 예측되며, 이는 수송용 오일의 소비가 가장 크게 지속적으로 증가함을 의미하고 있어, 오일에서 수소 경제로의 에너지원 패러다임 변화 시 대응할 산업 인프라가 절실히 요구된다.

국내의 수소생산 및 이용 기술은 현재 대부분 원유 정제 공정에서 부가적으로 생산되는 수소를 활용하고 있으며, 일부 천연가스 등을 이용하는 가스 reforming에 의한 분산형 수소 이용 기술의 인프라 구축 시도가 진행 중이다.

2.2 국내외 기술개발 동향

석탄을 에너지원으로 한 수소 경제로의 전환과 관련하여, 미국은 '03년 부시 대통령의 연초 연설에서 출발한 "Hydrogen Fuel Initiative"를 근간으로 DOE의 "Hydrogen Posture Plan" 및 "FutureGen" 프로젝트의 구성을 이뤄 '04년 FE 주도로 "Hydrogen from Coal" 프로그램을 시작하였고, 유럽의 수소와 이를 이용한 발전 시스템의 적절한 조합을 통한 에너지원의 이용 효율을 높이는 것을 시작으로, zero emission from coal" 프로젝트를 제안하여 수행 중이다. 일본의 경우 석탄으로부터의 수소 생산과 관련하여 HyPr-RING 프로젝트와 EAGLE 프로젝트를 수행 중에 있다.

국내에서는 '05년도를 수소 경제 원년으로 선포하고, 수소생산 기술개발은 3개의 사업단(수소 에너지사업단 : 과기부, 한국에너지기술연구원, 수소-연료전지사업단 : 산자부, 한국과학기술연구원, 원자력수소사업단 : 과기부, 한국원자력연구소)을 구성하여 수행 중이다. 전력산업을 근간 기술로 수소를 생산하는 기술개발은 아직 전무한 상태로, 단지 '06년에 한전에서 주도해야 할 수소 생산 및 이용 기술에 대한 기획조사 사업으로 "미래전력산업의 수소생산 및 이용기술 개발 전략 수립" 과제를 수행하여 기술성, 실현성 및 경제성 등을 고려한 평가를 통해 수소생산 기술로는 "석탄가스화 수소생산 기술"을 향후 미래

개발 기술로 선정하였다.

한편, '06년도 12월부터 국내 IGCC 실증 건설과제가 한전을 중심으로 수행 중에 있으며, 이를 통해 2013년을 전후로 석탄가스화 기반기술이 국내에 구축될 것으로 전망되며, 더불어 미국의 수소생산 기술인 FutureGen 프로그램에 가입함에 따라 석탄가스화 수소생산 기술의 실현화가 박차를 가할 것으로 판단된다.

2.3 기술 수요 예측

현재 오일 및 천연가스 수급의 불균형과 가격의 지속적 상승은 수소 에너지원으로의 전환 시기를 앞당길 수 있으며, 수소 사용의 시발점은 수송용 자동차의 오일 연료의 대체를 통해 수소 경제로의 전환이 가속화 될 것으로 예측된다. 이 경우, 2020년도 수송용 자동차 시장만 고려하더라도 수소 소비는 연간 19조원에 육박할 것으로 판단되며('03 日經 Electronics), 분산형 전원을 통한 지엽적 전력생산이 수소로 이루어 질 경우는 급격한 시장 규모의 확대(표 1)가 이루어질 것으로 예측한다.

Table 1. 향후 수소 시장 예상

구분	2004년	2007년	2012년	2020년
해외수소시장	300억불	400억불	800억불	1,400억불
국내수소시장	0.8억불	1.2억불	3억불	26억불

더불어, 전력산업에서 IGCC 공정의 CO₂ 분리/포집과 관련한 수소 생산 기술의 적용은 현재, 상용화 운전 중인 IGCC 플랜트 40여기에 바로 적용 할 수 있는 기술임과 동시에 향후 건설될 IGCC에 필수적으로 동반되어야 할 기술로써, CO₂ 배출 규제가 강화됨에 따라 기술의 수요가 급증할 것으로 판단된다. 한편, 그림 1과 같이 수소 경제 시대에 수소생산의 주력 에너지원은 2020년 중반부터 2030년대까지는 석탄 가스화 수소 생산이, 그리고 2050년대 들어 원자력 수소 및 석탄/바이오매스 가스화가 그 주류가 될 것으로 보고 되고 있어, 기술 소비에 맞는 기술 개발이 필요하다.

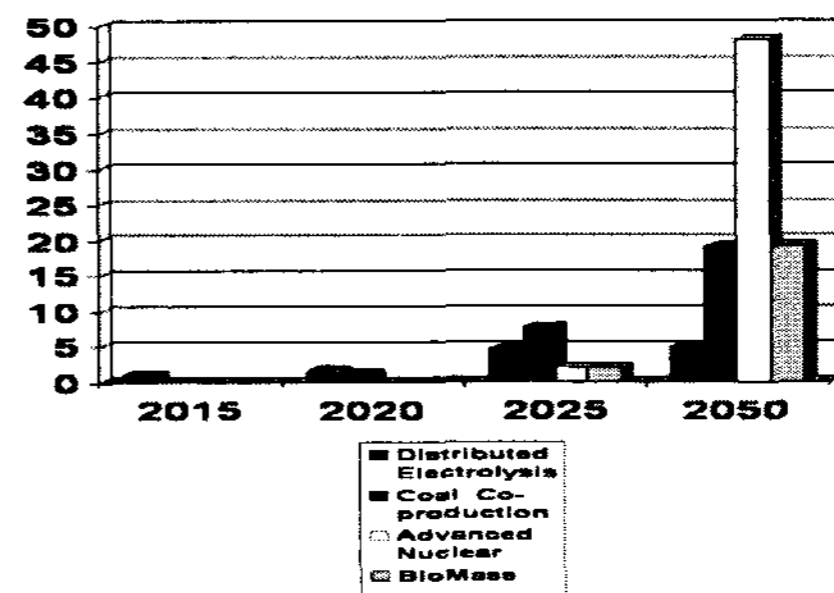


Fig. 1 The Roles and Opportunities for Power Companies in The Hydrogen-Electric Economy, EPRI, 2006

2.4 기술개발 추진전략

단일 기술 개발에 대한 수소 경제로의 전환 대

비에 대한 위험 부담을 낮추는 방안으로 “석탄 가스화 수소생산 기술” 연구개발이 바람직하다. 미래지향적 기술개발 추진 전략차원에서 위험부담을 낮추고 기술 개발 역량을 확보할 방안으로 Multi-Purpose 전략 접근이 필요하고, “고효율 초청정 전력생산 시스템” 구현이라는 발전시스템의 첨단화와 더불어 수소 경제로의 전환에 대비한 “중앙 수소 생산 시스템”을 지향해야 한다.

국내에 2013년을 전후로 실증 도입되는 IGCC 가스화 플랜트와의 연계 개발을 통한 종합시스템 실증 구현하기 위해, 1단계(2008-2012)는 1MW 석탄가스화 수소생산 시스템 구현(Advanced Test Gasifier로부터 부분 연계를 통한 단위기술 종합화), 2단계(2013-2017)는 2MW 석탄가스화 수소생산 시스템 구현(Advanced Test Gasifier로부터 종합 연계를 통한 단위기술 종합화), 3단계(2018-2025)는 준상용급 석탄가스화 수소생산 시스템 구현(상용 IGCC 연계 실증을 통한 준상용급 수소생산 시스템 개발)을 추진한다. 아래 표2는 석탄 가스화 수소생산 관련 기술을 주요 기술별로 분리한 내용이다.

Table 2. 석탄 가스화 수소생산 기술 연관표

석탄 가스화 기술	수소생산 가스화 반응기술
	수소생산 가스화 반응기 기술
	시스템 Integration 기술
	Scale-up 기술
	IGCC 연계 기술
	New Concept 가스화 기술
수성가스 전환기술 (WGS)	WGS 기본 반응 기술
	WGS 반응 - 촉매 기술
	WGS 반응 시스템 기술
	Scale-up 기술
	IGCC 연계 기술
수소분리 기술	Advanced Concept WGS 기술
	수소 분리 기술
	CO ₂ 분리 기술
	종합 분리 시스템 기술
	Scale-up 기술
이송용 연료전환 기술	IGCC 연계 기술
	Advanced Concept 분리 기술
	합성가스의 합성천연가스 전환 기술
	합성가스의 액체 연료 전환 기술
	최적 이송 연료 전환기술 평가
	Scale up 기술
	IGCC 연계 기술

2.5 연구과제 목표 및 내용

연구개발 목표는 석탄가스화 수소생산 기술 개발을 통한 고효율, 초청정 수소 생산 종합 전력시스템 구축이고, 그 내용은 ①전력연구원에 설치되는 30톤/일급 advanced Test Gasifier를 이용하여 수소수율을 높이는 반응 및 시스템 기술을 개발하고, 1MW~ 3MW급 석탄가스화 수소생산 단위기술의 규격별 실증화 및 Scale up 기술개발을 통해 대용량화 기술 축적 ②장기목표로서 상용 IGCC 공정과의 연계를 통해 준상용화 수소생산 기술을 구현한다.

표 3은 세부과제의 개발 일정 및 계획을 나타내었다.

Table 3. 연구 개발 일정 및 계획

구분	2008-2012	2013-2017	2018-2025
개발 목표	1MW급 석탄가스화 수소생산 시스템 개발	3MW급 석탄가스화 수소생산 시스템 개발	준상용급 석탄가스화 수소생산시스템 개발
개발 내용	1MW급 수소생산 가스화, WGS공정, 수소분리 단위 기술 개발	3MW급 수소생산 가스화, WGS공정, 수소분리 단위 기술 개발	준상용급 수소생산 가스화, WGS공정, 수소분리 단위 기술 개발
	- 고수율 수소생산 가스화 반응/요소시스템개발 - 촉매, 반응 시스템, 분리 membrane 종합 연계	- Scale up 기술 개발 - 용량 증대에 따른 단위기술의 실증화/규격화	-준상용 Scale up 기술 개발 및 연계 기술 개발 - 고효율화 및 종합시스템 개발 구축

표 4는 현재 기술 수준 및 기술 개발 실현성을 나타내었다.

Table 4. 주요 연구기관 및 기술개발 실현성

분야	국외대표 연구기관	국내 연구기관	선진국 대비 기술수준	연구 계획/ 실현성	과제후 기술수준
석탄 가스화 기술	NETL, GTI, CRIEPI	KEPRI 고기원 KIER	50%	1, 2, 3 단계/ 90%	95%
수성가스 전환 기술	Sud-Chemie Inc., Argonne Engelhard Co.	KIST, KIER, 서울대, 광운대	35%	1, 2, 3 단계/ 90%	90%
수소 분리 기술	ORNL, UBC, ETPP	KAIST, KEPRI	35%	2, 3 단계/ 80%	90%
이송용 연료전환 기술	Sasol, Shell, GE	KIST, KIER	40%	3단계/ 70%	85%

3. 결 론

연구개발 목표는 석탄가스화 수소생산 기술 개발을 통한 고효율, 초청정 수소 생산 종합 전력시스템을 구축하는 것이다. 30톤/일급 advanced Test Gasifier를 이용하여 수소수율을 높이는 반응 및 시스템 기술을 개발하고, 1MW~3MW급 석탄가스화 수소생산 단위기술의 규격별 실증화 및 Scale up 기술개발을 통해 대용량화 기술 축적한다. 장기적으로는 상용 IGCC 공정과의 연계를 통해 준상용화 수소생산 기술을 구현한다.

2013년 전후로 국내에 IGCC 실증 플랜트 도입과 관련하여, 가스화 기반 기술 구축이 가시화 될 수 있어, 이를 기반으로 한 석탄 가스화 수소 생산 기술 개발이 용이하고, 이후 차기 건설될 IGCC 실증 플랜트는 CO₂ 포집과 이용 효율을 더욱 높일 수 있는 수소생산 가스화 기술 및 이용 기술로 전환할 수 있는 여건이 마련될 수 있어, 사업화 및 에너지 안보 전략 구현에 매우 유리한 고지를 선점할 수 있다.

더불어, 국내의 가스/수소 터빈, 연료전지 및 H₂/CO₂ 저장 및 이송 등의 기술개발 결과물과의 Integration을 통한 종합 시스템 달성이 가능하여 석탄가스화 수소생산 사업화 환경은 매우 고무적이라 할 수 있다.

- [12] US DOE, "Techline-Abraham announces pollution free power plant of the future", Available at http://www.netl.doe.gov/publications/press/2003/tl_futuregen1.html (2003)

References

- [1] Hong, K. D., 1992, "Stability Improvement of Center Lathes," J. of KSPE, Vol. 2, No. 2, pp. 123-126, 1992.
- [2] "Hydrogen Posture Plan," USDOE, 2004.4.
- [3] "The Hydrogen Economy," National Academy of Engineering, 2004.
- [4] DOE Committee, "Review of DOE's Vision 21 Research and Development Program - Phase 1", The National Academies Press, USA (2003)
- [5] http://newsdesk.inel.gov/press_releases/2004/11-29hydrogen_production.htm
- [6] IEA Clean Coal Center, "Prospects for Hydrogen from Coal", ISBN 92-9029-393-4, UK (2003)
- [7] Momirlan, M. and Veziroglu, T. N., "Current Status of Hydrogen Energy", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6, pp141-170 (2002)
- [8] US DOE, "Coproduct of Power, Fuels and Chemicals", US DOE, Clean Coal Technology Topical Report 21, (2001)
- [9] US DOE, "Hydrogen From Coal" Fossil Energy Report, USA (2006)
- [10] US DOE, "Hydrogen Posture Plan- an Integrated Research, Development and Demonstration Plan" DOE Report, USA (2004)
- [11] US DOE, "Hydrogen Production by Reaction Integrated Novel Gasification Process Project", Coal & Safety 22, pp33-35 (2003)