이산화탄소 지중저장을 위한 연구개발 전략
Research strategy for CO_2 geological storage

이대수[1], Dae-Soo Lee, 우상균[2], Sang-Kyun Woo, 조준형[3], Jun-Hyung Jo

[1] 한국전력공사 전력연구원 수석연구원, Principal Researcher, Korea Electric Power Research Institute
[2] 한국전력공사 전력연구원 선임연구원, Senior Researcher, Korea Electric Power Research Institute
[3] 한국전력공사 전력연구원 연구원, Researcher, Korea Electric Power Research Institute

SYNOPSIS : CO_2 is known as the major source of the green house effect and the volume produced from electricity generation and transportation sector in Korea constitutes the large portion. In order to reduce the green house effect, several treatment methods can be the major research topics such as the scheme to fundamentally restrict the production of CO_2 creation, to perfectly sequestrate the produced CO_2, to reuse the separated CO_2, or to permanently dispose CO_2 in an appropriate storage site. Among of them, R&D strategy and geotechnical research issues are explored in this paper in an effort to realize geological storage for the sequestrated CO_2 in local storage sites.

Keywords : CO_2, capture, geological storage, design guideline, plant engineering

1. 서 론

국내 CO_2 감축량 목표설정 및 장기적 온실가스 저감 전략수립과 관련하여 가장 효과적이고 즉각적인 CO_2 감축방안의 하나인 CO_2 포집 및 저장(CCS) 기술의 실증 및 사업화가 시급한 실정이다. 현재 국내의 CCS 관련 R&D는 주로 포집분야 위주로 수행되고 있으며, CO_2 지중저장분야에 대한 R&D는 미흡한 실정이다. 뿐만 아니라, CO_2 지중저장분야 R&D는 주로 CO_2 지중저장과 관련된 요소기술개발 위주로 진행되고 있으며, 일부 저장소에 대한 저장 용량평가 위주로 진행되고 있다. CO_2 지중저장 사업화를 위해서는 기술적, 제도적 그리고 경제적인 요인들을 종합적으로 고려한 지중저장 설계요건의 개발 및 plant engineering 기술개발이 선행되어야 하고, 국내 저장소 확보가 필수적이나, 이에 대한 관련연구는 이제 시작단계이다.

국제사회에서 CCS는 이미 CO_2 저감효과 및 기술력이 증명된 실용적인 기술로 평가되고 있으며, 일부 선진국에서는 이미 사업화를 계획하고 연구를 수행 중에 있다. 따라서 국내의 경우 더 이상 CO_2 지중저장 사업화를 위한 연구개발 투자가 지연될 경우, 선진국과의 관련기술의 격차가 심화되어 그 해소가 어려워질 것으로 전망된다.

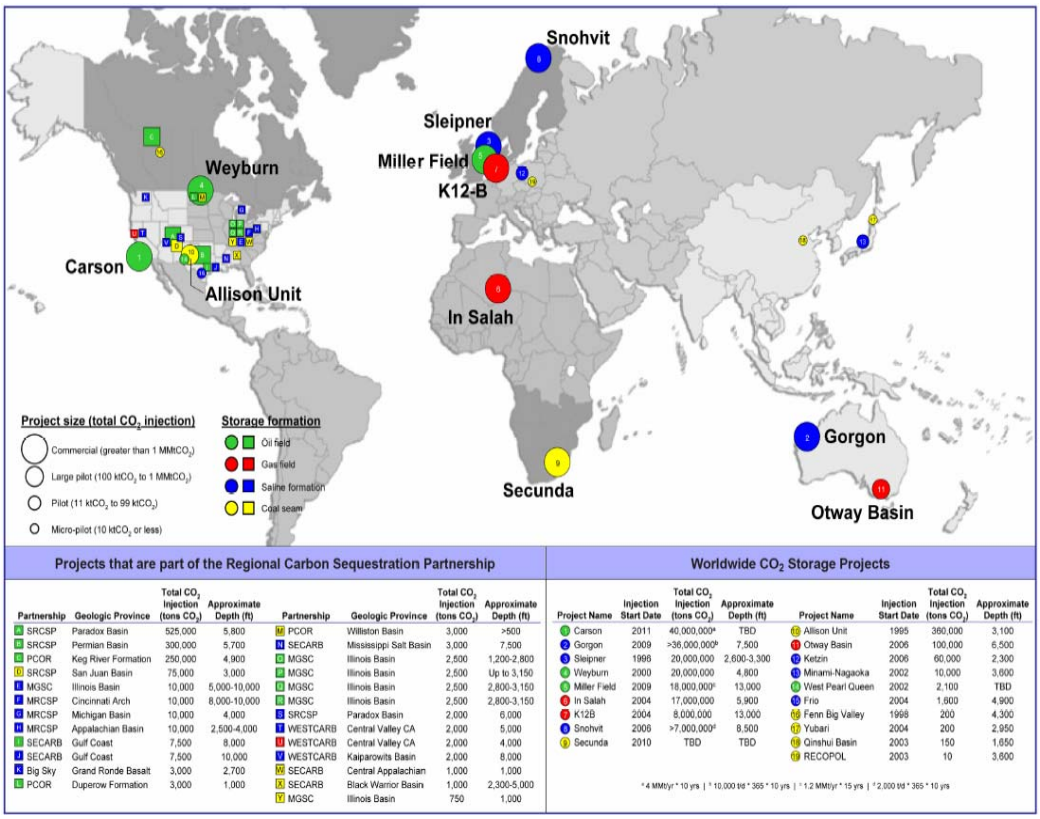
탄소시장은 교토의정서의 CDM에 의하여 형성된 emerging market으로서 시장규모는 EU를 중심으로 2007년 640억 달러에 달하며, 2010년에는 1,500억 달러로 확대될 것으로 전망되는 등 매우 빠른 성장추세를 보이고 있가. 우리나라는 2010년 G8 정상회담에서 세계 각국의 20개 CCS 프로젝트에 한국의 실증 계획을 발표할 예정이며, 온실가스 중기 감축 시나리오(BAU 대비 30% 감축)에 의하면 2020년경 CO_2 감축목표의 4~20%를 CCS로 감축시 연간 1~5천만톤의 처리가 필요하므로 이에 대한 적극적인 기술개발이 필요하다. 특히, 우리나라에서 배출되는 CO_2의 30% 이상은 화력발전소에서 배출되고 있다는 점을 고려할 때, 전력회사들은 CO_2 의무감축에 대해 많은 사회적, 경제적 책임이 부과될 가능성이 매우 높은 상황이다. 이에 따라 본 논문에서는 이산화탄소의 지중저장과 관련하여 발전회사의 입장에서 연구

개발 전략을 짚어보고자 한다.

2. 국내외 기술현황

2.1 국외 기술현황

CO_2 저장기술은 이미 기술적으로 입증되어 세계 각국에서 50여개의 지하저장 실증용 R&D 프로젝트가 진행되고 있다 <그림 1 참조>.



Projects that are part of the Regional Carbon Sequestration Partnership

Partnership	Geologic Province	Total CO_2 Injection (tons CO_2)	Approximate Depth (ft)
A SRCSP	Paradox Basin	525,000	5,800
B SRCSP	Permian Basin	300,000	5,700
C PCOR	Keg River Formation	250,000	4,900
D SRCSP	San Juan Basin	75,000	3,000
E MGSC	Illinois Basin	10,000	5,000-10,000
F MRCSP	Cincinnati Arch	10,000	8,000-10,000
G MRCSP	Michigan Basin	10,000	4,000
H MRCSP	Appalachian Basin	10,000	2,500-4,000
I SECARB	Gulf Coast	7,500	8,000
J SECARB	Gulf Coast	7,500	10,000
K Big Sky	Grand Ronde Basalt	3,000	2,700
L PCOR	Duperow Formation	3,000	1,000
M PCOR	Williston Basin	3,000	>500
N SECARB	Mississippi Salt Basin	3,000	7,500
O MGSC	Illinois Basin	2,500	1,200-2,800
P MGSC	Illinois Basin	2,500	Up to 3,150
Q MGSC	Illinois Basin	2,500	2,800-3,150
R MGSC	Illinois Basin	2,500	2,800-3,150
S SRCSP	Paradox Basin	2,000	6,000
T WESTCARB	Central Valley CA	2,000	5,000
U WESTCARB	Central Valley CA	2,000	4,000
V WESTCARB	Kaiparowits Basin	2,000	8,000
W SECARB	Central Appalachian	1,000	1,000
X SECARB	Black Warrior Basin	1,000	2,300-5,000
Y MGSC	Illinois Basin	750	1,000

Worldwide CO_2 Storage Projects

Project Name	Injection Start Date	Total CO_2 Injection (tons CO_2)	Approximate Depth (ft)
1 Carson	2011	40,000,000[a]	TBD
2 Gorgon	2009	>36,000,000[b]	7,500
3 Sleipner	1996	20,000,000	2,600-3,300
4 Weyburn	2000	20,000,000	4,800
5 Miller Field	2009	18,000,000[c]	13,000
6 In Salah	2004	17,000,000	5,900
7 K12B	2004	8,000,000	13,000
8 Snohvit	2006	>7,000,000[d]	8,500
9 Secunda	2010	TBD	TBD
10 Allison Unit	1995	360,000	3,100
11 Otway Basin	2006	100,000	6,500
12 Ketzin	2006	60,000	2,300
13 Minami-Nagaoka	2002	10,000	3,600
14 West Pearl Queen	2002	2,100	TBD
15 Frio	2004	1,600	4,900
16 Fenn Big Valley	1998	200	4,300
17 Yubari	2004	200	2,950
18 Qinshui Basin	2003	150	1,650
19 RECOPOL	2003	10	3,600

[a] 4 MMt/yr * 10 yrs | [b] 10,000 t/d * 365 * 10 yrs | [c] 1.2 MMt/yr * 15 yrs | [d] 2,000 t/d * 365 * 10 yrs

<그림 1> 전 세계 주요 CO_2 지중저장 프로젝트 현황

캐나다 Saskatchewan 유전에서 수행되는 Weyburn 프로젝트는 지난 2000년부터 미국 North Dakota 주의 Great Plains Synfuels 공장에서 포집된 CO_2를 330km 파이프를 통해 캐나다로 수송하여 육상지중에 연간 백만톤 정도의 CO_2를 주입하고 있으며, 향후 SaskPower 300MWe급 순산소연소 석탄화력발전 설비가 완공되면 추가 CO_2 저장을 실시할 예정이다. Sleipner 프로젝트는 노르웨이 정부에서 부과한 탄소세 (2000년: $38/tCO_2$)를 바탕으로 수행중이다. 이 프로젝트에서는 천연가스 생산시 발생한 CO_2를 회수·포집하여 해저지중 즉, -1,000m 깊이의 염대수층 (Utsira Formation; 200m 두께)에 연간 1백만톤 규모로 재주입하고 있다. 일본은 지구환경산업기술연구기구 (RITE) 주관의 국가사업으로 Nagaoka 1,000 m 저류층에 주입하는 현장 파일럿 실험을 수행 중임. 총 6,200만 US$ 예산 투자, 연간 120억원 규모의 사업비를 투자하였으며, 2010년 이후 상업화 규모 (연간 1백만 톤 규모) 주입실험을 목표로 준비 중이다.

2.2 국내 기술현황

우리나라는 지식경제부, 국토해양부, 교육과학기술부 등을 중심으로 2000년대 초반부터 CCS 분야에 꾸준한 투자를 해 오고는 있지만, CCS의 중요성에 비해 연구비 투자 및 연구 인프라가 부족한 실정이다. 지식경제부는 산업기술연구회 협동연구사업의 일환으로 “저탄소 녹색성장을 위한 초임계 CO_2 지중주입 시스템 개발” 사업을 진행하고 있다. 이 연구의 주요 내용은 주입공/지상설비 설계 기술개발 및 실증과 지중주입시스템 운영설계 기술로 한국지질자원연구원이 주관연구기관으로, 한국기계연구원이 협동연구기관으로 참여하고 있다. 한국지질자원연구원은 지식경제부 지원으로 에너지·자원 프로그램을 통해 Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF) 체제하의 국제공동프로젝트인 호주 Otway Basin 파일럿 저장실험 프로젝트에 참여하여 국제동향 파악 및 선진기술 도입을 수행하고 있다.

또한 한국지질자원연구원은 국토해양부 지원으로 한국해양연구원과 공동으로 해양지중저장 기술개발을 수행하고 있으며, 주요 연구내용은 CO_2 해양지중저장 관련 기반기술 확보, 울릉분지내 지중저장 후보지 도출, 파일럿 플랜트 구축 및 운영 등이다. 교육과학기술부에서는 이산화탄소저감 및 처리 기술개발사업단을 통해 2005년부터 CO_2 지중저장과 관련하여 3개의 세부과제를 진행하였으나, 2008년에 종료된 후 더 이상 지중저장에 대한 과제를 진행하고 있지 않은 상황이다.

<표 2> 우리나라의 이산화탄소 지중저장 관련 연구현황

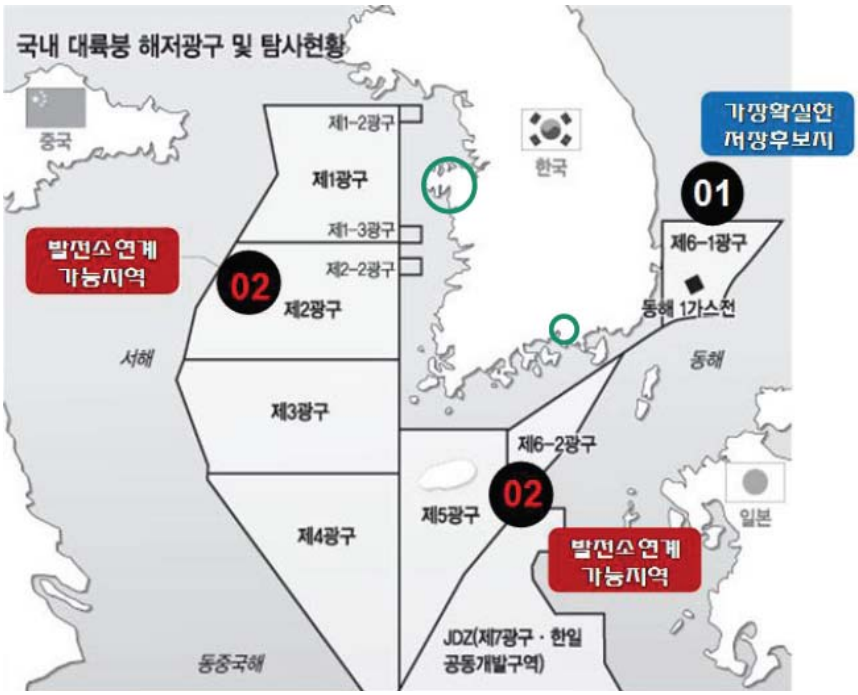
주관	사업명	사업목표	사업내용	기간
지경부	저탄소 녹색성장을 위한 초임계 CO_2 지중주입 시스템 개발	초임계 CO_2 지중주입 시스템 개발	·주입공/지상설비 설계 기술개발 및 실증 ·지중주입시스템 운영설계	2009~2011
교과부	이산화탄소저감 및 처리 기술개발사업	원천기술개발	·지중저장모델 개발 ·모니터링기술 개발 ·육상저장부지 선정	2005~2008
국토부	CO_2 해양지중저장 기술개발	CO_2 해양기술개발	·관련기반기술 확보 ·울릉분지내 지중저장 후보지 도출	2005~2014
지경부	CSLF 오트웨이 국제 공동 연구	순산소 연소기술개발, 저장 국제동향파악	·CSLF 국제공동프로젝트 참여 ·관련기술 국제 연구동향 파악	2007~2010

3. 연구개발 전략

지금까지 국내에 적당한 저장부지가 없다는 것이 중론이었으나, 최근에는 국내에는 해저 퇴적층 및 육상에서도 CO_2 저장이 가능한 부지가 있다는 이론에 힘이 실리고 있다(그림 2). 정부의 그린에너지 로드맵(‘09)에 따르면 이산화탄소의 저장을 위해서는 국내부지의 저장 가능량 파악이 급선무이며, ‘50년까지 CCS로 1억톤/연 감축을 목표로 하고 있다. 이를 위하여 ‘14년 까지 핵심 기반기술 개발 및 pilot 실증시스템(1만톤급)을 구축하고, ’15년 이후 실용화/상용화를 추진하여 연간 100만톤의 CO_2를 저장하는 실증 프로젝트를 운영할 계획이다.

한편, 국제에너지기구(IEA)는 ’50년까지 전세계 CO_2 총배출량 620억톤의 20%가 CCS 기술에 의해 감축될 전망이며, 이 경우 약 수백조원 규모의 시장이 예상되고 있어, 지중저장분야가 발전회사 및 국내 기업들의 새로운 수입원이 될 가능성이 많다. 외국의 경우, 핵심 기반기술 개발과 파일럿 실험은 정부가 주도하며, 지하저장소 확보 및 구축/운영과 관련기술 개발은 발전사업자가 주도하는 경우가 많으므로,

우리나라도 이산화탄소 배출자와 산학계가 중심이 되어, 적정 부지탐사, 주입, 사후관리기법에 대한 체계적 실증연구를 서둘러야 할 시점이다.



<그림 2. 국내 유전탐사 및 CO_2 저장 유망 지역, 지자(연), 2009>

4. 결 론

해양지중저장의 경우 압축-수송-주입-저장-사후관리 등의 공정으로 이루어지고 있어, 지반공학, 지질학, 화학공학, 환경공학, 해양학 등 다양한 학문적 배경을 필요로 하고 있다. 지중저장의 요소기술로는 부지평가, 시추/주입, 거동관측, 환경영향평가, 사후관리, 경제성평가 등이다. 이중에서 대심도 시추, 사후관리 기술 등이 비교적 국내의 취약기술로 평가되며, 지반공학분야에서는 시추기술, 탐사기술, 저장소 조성기술, 주입공 확보기술, 주입율 향상기술, 주입정 폐쇄기술 등 상당히 많은 분야에서 연관되어 지고 있어, 흥미로운 연구테마를 던져주고 있다. CO_2의 배출자인 발전사업자의 입장에서는 기후변화협약, 탄소세 등 발생자로서의 사회적 책임이 지대하므로 CO_2 저장분야에서도 연구개발에 박차를 가해야 할 때이다. 지중저장의 기술확보를 위하여는 소규모 파일럿 프로젝트 실증부터 시작하여, 상용화를 위한 대규모(연간 백만톤이상의 CO_2 주입) 실증사업을 서둘러야 할 것이다.

참고문헌

1. 지식경제부(2009), “그린에너지 로드맵”
2. 한전 전력연구원(2007), “이산화탄소 회수저장 기술개발에 관한 기술예측보고서”
3. 국토해양부(2009), “CO_2 해양지중저장 기술개발”, 연구성과 발표자료