

CO₂ 주입 암석물성 측정 장치 구축 방안

조성준¹⁾, 박삼규¹⁾, 손정술¹⁾, 방은석¹⁾, 김영석²⁾, 신중호¹⁾

¹⁾한국지질자원연구원 지반안전연구부, mac@kigam.re.kr

²⁾공주대학교 지질환경과학과

Plan to build up a measurement system for rock physical properties monitoring during CO₂ injection

Seong-Jun Cho¹⁾, Jung-ho Kim¹⁾, Jeong-Sul Son¹⁾, Eun-Seok Bang¹⁾, Youngseuk Keehm²⁾, Joong-Ho Synn¹⁾

¹⁾Geotechnical Engineering Div., KIGAM

²⁾Dept. of Geoenvironmental sciences, Kongju National Univ.

Abstract: After Kyoto protocol took effect, many countries are making efforts to reduce CO₂ one of effective which is geosequestration. But a percentage of geosequestration in total research budget is very small and the priority order of research also is receded in Korea. As one of efforts to activate the research on geosequestration in field of geophysics, we proposed the plan to build up a measurement system for rock physical properties monitoring during CO₂ injection which will function as original technology. The system consists of two part, one of which is a data acquisition system based on seismic and complex resistivity tomographic measurement and the other of which is a tri-axial compressive system to realize the in-situ condition. And also developments of various inversion algorithms are proposed to interpret data qualitatively such as a inversion algorithm for confined cylindrical boundary, a joint inversion algorithm and a 4-D inversion algorithm.

Keywords: CO₂, Geosequestration, Rock physical property, Monitoring

1. 서론

지구 온난화 방지를 위한 기후변화협약 체결과 교토의정서 합의 후 온실가스 저감 문제가 전 세계적으로 중요한 이슈로 대두되면서, 온실가스의 대부분을 차지하는 CO₂에 대한 저감 및 처리기술이 심각하게 요구되고 있다. 특히 우리나라는 현재 경제협력개발기구(OECD) 회원국임과 동시에, CO₂ 배출량 세계 10위, OECD내 온실가스 배출량 증가율 1위라는 상황을 고려하면 향후 의무 부담 등에서 자유롭지 못하다 할 수 있다. 정부는 기후변화협약 대응 제3차 종합대책('05~'07)중 협약 이행 기반 구축사업 및 기후변화 적응기반 구축사업의 일환으로 화석연료 대체 기술, 에너지효율 향상 기술, 온실가스 처리·이용 기술, 환경·기타 기술, 생태계 및 건강 영향 평가 기술등 5대분야로 구분하여 연구개발을 추진하고 있다. 현재 7개 부처에서 39개 연구개발 과제를 역할 분담하여 수행 중이며, 정부예산은 '07 년도에 3,387억원이 투입될 전망이다(과학기술부, 2006). 이에 대해 기술 분야별로 투

자계획을 살펴보면 Table 1과 같다.

Table 1. Investment plans of technology fields

기술분야 \ 유형	'06년	'07년	'08년	'09년	'10년	합계 (단위:억)
1.화석연료 대체기술	1,376	1,657	1,866	2,034	2,382	9,315
2.에너지 이용 효율 향상 기술	1,406	1,483	1,574	1,654	1,727	7,844
3.이산화탄소 포집 · 처리 및 흡수기술	230	259	286	327	351	1,453
4.비이산화탄소 제어기술	55	64	73	79	88	359
5.영향 평가 및 적응기술	36	97	107	114	137	491
합 계	3,103	3,560	3,906	4,208	4,685	19,462

Table 1에서 물리탐사와 관련한 기술분야는 이산화탄소 포집·처리 및 흡수 기술 중 저장과 관련된 분야이다. 이산화탄소 포집·처리 및 흡수 기술이 투자유형 별로는 장기지속투자에 해당하며, 투자계획상에서는 전체 연구비의 8%미만의 사업에 해당된다. 이 중에서도 현재까지는 이산화탄소 저장, 처리에 대부분의 해당 연구비가 집행되고 있으며, 저장과 관련해서는 상대적으로 매우 적은 연구비가 투입되고 있는 실정이고, 연구개발 순위에서도 뒤쳐져 있는 상황이다. 현재 시작 단계에 있는 국내 CO₂ 지중처분 관련 연구의 활성화를 위해 본 연구에서는 CO₂의 지중처분과 관련된 연구방향을 살펴보고 그 중 원천 기술로 기능할 수 있는 CO₂ 주입 암석 물성 변화 모니터링 기술 개발을 위한 측정 장치의 구축 방안에 대해 살펴보겠다.

2. 지중처분 관련 연구방향

선진외국에서는 이산화탄소를 땅속에 가두는 이산화탄소 지중 처분 방법에 대해 활발한 연구와 기술개발을 수행하고 있다. 이에 대한 상세한 보고는 채기탁 등(2005)와 김희준 등(2005)에 자세히 기술되어 있다. 지중 처분 관련 연구를 세부적으로 분류하면, CO₂ 지중저장 지층확보 기술, 지중저장 CO₂의 지구화학적 거동과 누출 평가 기술, CO₂ 지중저장층 주입설계 및 안정성 평가기술, CO₂ 유동 모니터링 기술등으로 나눌 수 있다. 이 중 물리탐사 기술과 관련한 세부 연구 분야로는 CO₂ 유동 모니터링 기술과 CO₂ 지중저장 지층확보 기술을 들 수 있다.

CO₂ 지중저장 지층확보 기술과 CO₂ 유동 모니터링 기술과 관련된 물리탐사 기술 중 기본이 되는 것이 CO₂ 주입 암석 물성 변화 모니터링 기술이다. 이 기술은 암석에 CO₂를 주입 하였을 때 공극률과 투수율의 관계에서 원활히 주입 될 수 있는지, 어떠한 상태, 조건으로 주입을 해야 하는지, CO₂ 주입에 따른 물성 변화는 어떻게 될 건지, 향후 물리탐사를 이용한 CO₂ 유동 모니터링을 위한 적절한 방법은 무엇인지 등에 대한 해답을 찾기 위한 시작점이라 할 수 있다.

현재까지 암석 물성 측정과 관련한 특허는 Fig. 1에서 보듯이 주로 미국의 메이저 석유회사에 의한 것들로 이는 암석물리학이나 석유물리학이 저류층 평가와 직접적으로 연관된 것에 기인한다. 이는 다시 말하면 석유 메이저를 제외한 다른 쪽에서의 연구개발이 미진했고 향후 기술의 종속성 등 문제 발생 소지가 크다 할 수 있다.

한편 가스 주입에 의한 물성 변화 모니터링과 관련해서는 새로이 특허가 출원된 것을 찾기가 힘들었는데 이는 in-situ 상황 모사 실험에서 이미 공극압을 높이기 위한 장치 등이 개발되어 있어 이를 CO₂를 주입하는 장치로 사용함으로써 다른 기술적 해결책이 필요 없었기 때문으로 여겨진다.

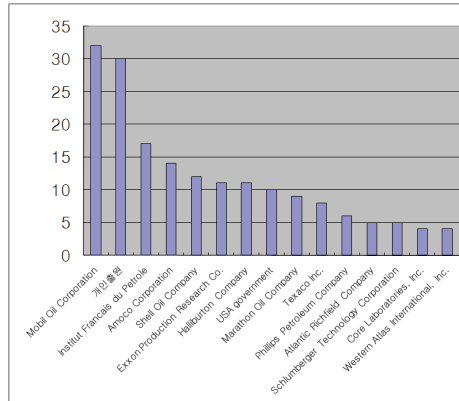


Fig. 1. Top 15 of US patent assignees who are related to rock physics

CO₂ 주입과 관련한 암석물성 변화 모니터링 관련 주요 논문들이 최근 일본에서 발표되고 있다. 이는 현재 실증 실험이 거의 끝난 Nagaoka site의 실험에 앞서 CO₂ 유동 모니터링에 대한 아이디어와 컨셉을 잡기 위해 실시된 실험의 결과이다. 특히 Xue and Lei(2006)에 의한 탄성과 물성 변화 측정 실험과 Onishi et al.(2006)에 의한 전기비저항 물성 변화 측정 실험은 이 연구를 시작하는 계기가 되었다.

3. CO₂ 주입 암석 물성 측정 장치의 구성

CO₂ 주입 암석 물성 측정 장치의 구성은 크게 자료 획득 부분과 in-situ 모사 환경을 위한 삼축 압축 시스템으로 나눌 수 있다.

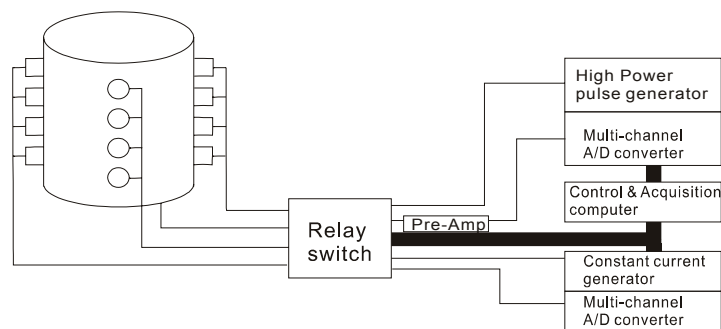


Fig. 2. Tomographic data acquisition system for resistivity and seismic wave of a rock core sample

먼저 자료 획득 부분은 탄성과 토모그래피 측정 시스템과 복소 전기비저항 토모그래피 시스템으로 나뉘게 되는데, 탄성과 토모그래피 측정시스템은 고출력 펄스 발생기와 다중 채널 측정을 위한 릴레이 스위치, 다채널 A/D 변환기로 구성되며 중

심 주파수는 10 kHz 이상의 고주파를 사용하게 된다. 전기비저항 토모그래피 시스템의 송신부는 복소 전기비저항 측정을 위해 AC 정전류를 인가하도록 설계한다. 릴레이 스위치를 이용하여 다중채널 측정이 가능하게 하며, 이때 측정 A/D 변환기는 24 bit의 수직 분해능을 가지고, 안티알리아싱 필터가 내장된 제품을 사용한다. 시스템의 제어와 측정은 GUI 기반의 소프트웨어를 사용하여 이루어진다(Fig. 2). in-situ 모사 환경을 재현하기 위해서는 압력과 온도 조절이 가능한 셀의 제작이 필수적이다. 이를 위해 당 연구팀은 지중 1000 m의 깊이에 해당하는 압력조건을 주기위해 20 MPa 까지의 구속압을 조절할 수 있고, 주입 온도조건을 조절할 수 있는 장치를 제작하고 있다. 이 장치의 다른 3축 압축셀과의 가장 큰 차이점은 다수의 전기신호 측정 라인이 셀로부터 나온다는 점이며, 이는 토모그래피 측정을 위해 필수적이다.

4. 향후 연구 계획

당 연구팀은 시추공을 포함하는 3차원 전기비저항 탐사 역산 알고리즘을 개발하여 실용화 해 왔으며, 전기비저항 토모그래피 해석 프로그램을 상용화 하여 현재 판매 중에 있다. 이런 기술력을 바탕으로 제한된 실린더형 경계조건을 가지는 암석 물성 3차원 모니터링 실험 자료의 역산 알고리즘을 개발하여 측정되는 암석물성 모니터링 자료에 적용하고자 한다. 또한 탄성과 주시 토모그래피 역산을 적용하고, amplitude 토모그래피 역산을 개발 할 계획이다. 또한 현재 당 연구팀의 전문연구사업인 “지하 정밀 영상화 융합기술 개발”의 주요 핵심 연구사업인 전기비저항-탄성과 복합 역산 및 4차원 역산 알고리즘을 적용하여 보다 정밀한 역산 결과 생산하고자 한다.

감사의 글

이 연구는 한국지질자원연구원의 기본연구사업인 ‘환경위해가스 지중저장환경의 역학적 거동 평가 및 유동확산 모니터링 기법 개발’의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 과학기술부 기후변화협약 연구개발반, 2006, 신과학기술행정체제와 기후변화협약 대응 연구개발 종합대책('06~'10), 제1회 기후변화협약 대응 연구개발사업 범부처 합동 workshop, 과학기술부
- 김희준, 최지향, 한누리, 남명진, 송윤호, 이태중, 서정희, 2005, 시간 경과에 따른 반복적 물리탐사 기법을 이용한 이산화탄소의 지중처리 모니터링, 물리탐사, **8**, 280-286
- 채기탁, 윤성택, 최병영, 김강주, Shevalier, M., 2005, 이산화탄소 저감을 위한 지중처분기술의 지구화학적 개념과 연구개발, 자원환경지질, **38**, 1-22.
- Xue, Z., and Lei, X, 2006, Laboratory study of CO₂ migration in water-saturated anisotropic sandstone, based on P-wave velocity imaging, *Exploration Geophysics*, **37**, 10-18
- Onishi, K., Ishikawa, Y., Yamada, Y., and Matsuoka, T., 2006, Measuring electric resistivity of rock samples injected with gas, liquid and super-critical CO₂, *Proceedings of the 10th international symposium on RAEG 2006*, KIGAM, Korea, 1-8.