

연구논문

이산화탄소 포집 및 저장에 대한 대중의 인식과 수용도

이상일 · 성주식 · 황진환

동국대학교-서울 건설환경공학과

(2012년 2월 3일 접수, 2012년 5월 22일 승인)

Public Awareness and Acceptance of Carbon Dioxide Capture and Storage

Lee, Sang-il · Sung, Joosik · Hwang, Jin Hwan

Department of Civil and Environmental Engineering(CEE), Dongguk University-Seoul

(Manuscript received 3 February 2012; accepted 22 May 2012)

Abstract

CCS(Carbon Dioxide Capture and Storage) is considered as the most effective counterplan in the mitigation of climate change. Even though the risk of leakage of CO₂ stored in the geologic formation is very low, the public is expected to disagree with the initiation of a CCS project without proper management plans ensuring the safety. In this study, recognition of laypeople were surveyed about CCS, climate change, characteristics of carbon dioxide, storage concepts, ground pressure, the impact of carbon dioxide, and carbon dioxide for leakage. Thereafter the factors that could affect to recognition of CCS were analyzed by regression analysis. A survey was carried out to find out the public understanding and awareness about climate change and CCS. It is the purpose of this study to propose appropriate risk management strategies based on the findings from the survey.

Keywords : CCS(Carbon Capture and Storage), CO₂, Awareness, Survey, Regression

1. 서론

최근 지구 각지에서 지속적으로 기상이변이 발생하고 있다. 2011년 여름 우리나라에서는 100년 빈도의 폭우가 기록 되었고 태국의 50년 빈도 홍수 기록, 아일랜드 사상 최악의 폭우, 이탈리아에서 24시간동안 500mm의 폭우 등 기후이변으로 인한 피해

가 속출하였다. 뿐만 아니라 미국 전역에서 극심한 가뭄과 홍수, 슈퍼 토네이도, 산불 등으로 종전 기록을 경신하는 피해가 발생했다.

전문가들은 기상이변의 원인으로 지구온난화의 가속화를 지적했다. 이후 세계기상기구(WMO)와 국제연합환경계획(UNEP)이 산업혁명 이후 화석연료 사용으로 급증한 이산화탄소가 지구온난화의 주범

임을 선언했다(Houghton *et al.*, 1990).

지구온난화에 대응하기 위해 국제사회는 1992년 기후변화협약을 채택하여 1994년 발효했으며, 대기 중 온실가스 배출을 줄이기 위한 실질적인 내용으로 1997년 교토의정서를 채택하였다. 2005년 교토의정서의 발효에 따라 의무감축국으로 지정된 선진국은 2008년부터 2012년 까지 1990년 배출량 대비 평균 5.2%의 온실가스를 감축해야 한다. 교토의정서가 종료되는 시점 이후에는 개발도상국의 감축 참여 체제가 수립되어야 하는 실정이다.

온실가스 감축이 인류생존을 위한 국제 공동의 필수 과제로 인식된 실정에서 현재 신재생에너지와 원자력 발전의 확충 및 에너지절약 등의 방법만으로는 한계가 있는 상황이다. 이에 따라 현재 화석연료 체제의 급변을 완화하고, 현 온실가스 감축 기술의 다양화를 위하여 획기적으로 지구온난화 방지 가능한 이산화탄소 포집 및 저장(CCS: Carbon Capture & Storage) 기술의 중요성에 대한 인식이 증대되고 있다. CCS는 산업과정 중에 발생하는 이산화탄소를 포집하여 지하에 매립하는 기술로 지구온난화 방지를 위한 가장 효과적인 방법으로 평가되고 있다(IPCC, 2005).

현재 국제사회는 교토의정서 이후 포스트 교토체제에서 CCS에 대한 논의를 진행 중이다. 2008년 6월 G8 정상은 2020년까지 CCS 상용화 촉진에 합의했으며, IEA(International Energy Agency)는 2009년 7월 G8 정상회의에서 대규모 실증 프로젝트의 요건을 보고했다. 멕시코 칸쿤에서 열린 2010년 12월 기후변화총회(COP16) 합의 내용에 'CCS CDM의 역할과 기여'를 명시함으로써 CCS를 잠정적 CDM(Clean Development Mechanism)으로 인정했다. 국제에너지기구는 CCS 시장이 2015년부터 형성될 것으로 예상하고 있으며, 2020년대에 본격화 될 것으로 전망하고 있다. 선진국은 최대 2020년 CCS 상용화를 목표로 각국 정책을 추진 중이며, CCS 시장 선점을 위한 대규모 자금 투자 등의 경쟁이 가속화되고 있는 추세이다.

CCS에 대한 세계실정에 따라 선진국에서는 CCS

와 관련한 연구가 활발히 이루어져 왔다. 1996년 북해 노르웨이의 Sleipner를 시작으로 알제리의 In Salah, 노르웨이 연안의 Snohvit 등지에서는 상업적 프로젝트가 운영되고 있으며, 일본의 Nagaoka, 미국의 Frio, 독일의 Ketzin에서는 기술의 실증을 위한 시험 프로젝트가 운영되고 있다(Michael *et al.*, 2010). 이를 바탕으로 저장 프로젝트를 위한 저장용량 산정 및 부지선택 방법(Kaldi and Gibson-Poole, 2008), 저장소의 관측 및 운영의 가이드라인(Chadwick *et al.*, 2008)이 제시된 바 있다.

우리나라는 이산화탄소 배출량 세계 9위의 온실가스 다배출 국가이다(Ruhl, 2011). 또한, OECD 가입국 중 국민 일인당 온실가스 배출증가율이 가장 높아 온실가스 감축 노력의 참여에 대한 국제사회의 압력이 증대되고 있는 실정이다. 따라서, 신재생에너지를 비롯하여 최근에는 대기 중에 배출되는 이산화탄소를 포집하여 저장하는 기술인 CCS 기술에 대한 정부적인 차원에서의 연구 개발 및 실증이 가속화되고 있다. 이에 우리나라는 2020년까지 온실가스 감축목표를 2005년 배출량 대비 4% 감축할 것을 대외적으로 선언했으며, 2020년까지 CCS 플랜트 상용화 및 국제 기술경쟁력 확보를 목표로 대규모(100MW급) CCS 플랜트 실증사업을 추진 중이다. 이를 토대로 2015년부터 이산화탄소 포집기술과 연계하여 향후 2050년까지 연간 1억톤의 이산화탄소를 처리하는 국내 실용화 방안을 모집하고 있다(강성길, 허철, 2008).

CCS 기술의 실용화에서 기술에 대한 일반인들의 수용도는 기술의 적용과 발전에 영향을 미칠 수 있다. 스위스(Wallquist *et al.*, 2010), 프랑스(Ha-Duong *et al.*, 2007)에서는 이미 자국 내의 비전문가들을 대상으로 CCS에 관한 인식을 조사하고 이에 영향을 미치는 요인들을 분석한 바 있다. 우리나라의 경우, CCS가 널리 알려지지 않아 기술의 수용도가 낮을 것으로 우려되나 이에 대한 정성적·정량적인 분석은 이루어지지 않은 상황이다. 기술에 대한 낮은 수용도 및 우려는 NIMBY 현상 등을 초래하여 기술의 적용과 발전을 저해할 수 있다. 따라

서 기술에 대한 비전문가들의 인식과 수용도를 확인하고 이를 높일 방안이 제시된다면 이산화탄소 처리의 국내 실용화에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 설문 조사를 통해 CCS 기술의 대한 비전문가들의 인식과 수용도를 알아보고, 통계 분석을 통해 영향을 미칠 수 있는 요인과 영향력을 분석하고자 한다.

II. CCS의 원리와 위해성

1. 이산화탄소 지중 저장

이산화탄소는 지구에서 가장 흔한 화학원소인 탄소와 산소에서 자연적으로 발생한다. 식물들은 이산화탄소를 사용하여 산소를 배출하며 인간은 산소로 호흡하여 이산화탄소를 배출한다. 지구의 생명체들은 오랜 기간을 걸쳐 탄소순환(Carbon Cycle)이라 불리는 자연적 시스템을 이루어 대기중의 이산화탄소 농도를 유지시켜 왔다. 이산화탄소는 온실가스로서 지구표면의 온도를 유지시키는 역할을 한다. 산업혁명 이후, 인간의 과도한 화석연료 사용으로 급격히 높아진 대기중의 이산화탄소 농도는 지구온난화의 주범으로 알려져 있다.

지구온난화는 자연계의 기후시스템을 변화시켜 해수면의 상승, 국지성 폭우 및 폭설 등의 기상이변을 가져와 육상 및 해양 생태계에 변화를 일으키며 인류건강에 직·간접적인 영향을 끼친다. 더욱이 앞으로 다가올 미래에는 온난화가 더욱 가속화되어 인류사회에 심각한 영향을 줄 것으로 예상된다(이

산화탄소저감 및 처리기술 개발사업단, 2004). 우리나라의 경우 기후변화의 영향으로 강우강도의 증가로 인한 홍수피해와 강수량의 감소로 인한 가뭄 피해가 동시에 증가될 수도 있다고 보고된 바 있다(한화진, 안소은, 2006).

이에 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서는 지구온난화를 방지하기 위한 대안으로 재생가능 에너지, 핵 연료, 발전 효율 향상, 소비 연료 전환, 소비 연료 및 전력 효율 향상, CCS 등을 제시하였다. 이 중 CCS는 발전소, 철강, 시멘트 산업 등 화석연료를 사용하는 온실가스 대량 발생원으로부터 배출되는 이산화탄소를 분리, 포집, 운송하여 지하 깊은 곳의 암반층에 영구히 격리하는 방법으로, 지구온난화 방지를 위한 가장 효과적인 방법으로 평가되고 있다.

CCS 기술은 CO₂ 포집, 압축, 수송, 저장 등의 프로세스에 따라 처리되며, 각 과정별 처리방법에 따른 기술을 세부적으로 분류하여 정의한다. CO₂ 포집단계는 배기가스 중에서 CO₂를 분리하여 포집하는 기술로 연소전포집, 연소후포집, 순산소연소 등의 방법이 있다. CO₂ 압축 및 수송 단계는 분리 포집된 CO₂를 압축하여 저장소로 이송하는 기술로 액화 압축 방법과 파이프라인, 선박 등을 이용한 수송 방법이 있다. 저장 단계는 압축 수송된 CO₂를 저장하는 기술로 저장소의 위치에 따라 지중저장기술과 해양저장기술이 있다(그림 1). 지중저장기술은 육지나 해저의 이산화탄소 격리에 적합한 지층으로 이산화탄소를 직접 주입하여 저장하는 기술이고, 해양저장기술은 고압·저온으로 액화시킨 이산화탄



그림 1. 이산화탄소 지중저장의 개요(Source: CO2CRC)

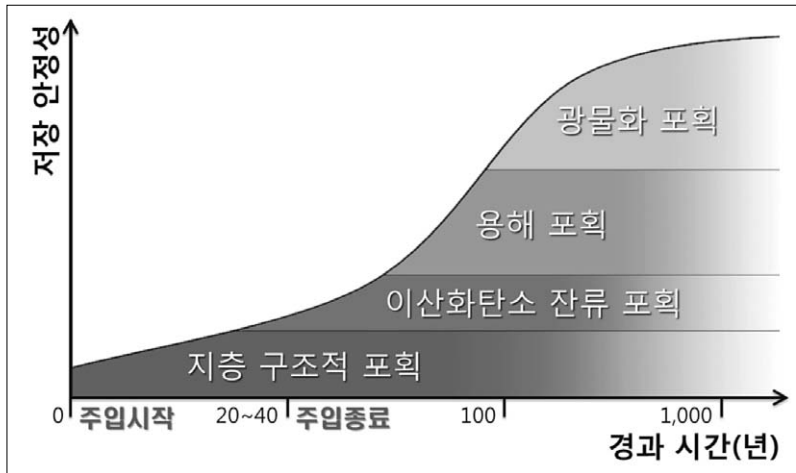


그림 2. 저장 단계(시간)에 따른 저장 기작의 적용과 안정성(Modified from CO2CRC)

소를 심해저에 분사 또는 저류하여 저장하는 기술이다.

CCS의 과정 중에서 이산화탄소를 지하에 격리하는 과정을 지중저장(geologic storage)이라 하며 지질학적 격리(geologic sequestration), 지중 격리(geosequestration)라고도 한다.

지중저장에서 이산화탄소는 매우 높은 온도와 압력을 가해 초임계 유체의 상태로 주입된다. 초임계 유체는 기체와 같이 공극을 통해 쉽게 흘러지며, 유체와 같은 공간을 차지한다. 초임계 이산화탄소는 저장 깊이의 증가에 따라 압축되고, 같은 부피의 공간에서 저장 가능량을 증가시킨다. 저장된 이산화탄소는 다양한 포획 기작으로 지하에 머무를 수 있게 된다.

포획이란 유체가 이동할 수 없는 불침투성 구조로 유체를 저장하고 봉인하기에 적합한 암석의 구성이다. 포획은 지층 구조적 포획, 이산화탄소 잔류 포획, 용해 포획, 광물화 포획의 5가지 기작이 있으며 이들 중 하나 이상이 지중저장에 관여한다. 지층 구조적 포획은 낮은 투수도를 가진 덮개암 아래 폐쇄적이고 물리적인 경계를 가지는 지질구조에 이산화탄소를 가두는 물리적 기작을 말한다. 이산화탄소 잔류 포획은 주입이 끝난 이후, 물의 모세관 현상에 의해 공극에 이산화탄소를 포획하는 기작이다. 용해 포획은 이산화탄소가 염수나 기름으로 용

해되는 기작을 말한다. 광물화 포획은 주변의 광물에 오랜 세월이 걸쳐 느리게 반응하여 가장 안정된 형태로 이산화탄소를 포획한다. 포획 기작들은 시간이 흐름에 따라 순차적으로 작용하면서 저장의 안정성을 향상시킨다(그림 2).

2. CCS의 위해성

이산화탄소 지중저장의 목적은 대기중의 이산화탄소가 기후에 미치는 영향을 줄이는 것이다. 그러나 저장된 이산화탄소의 일부는 대기 중 또는 대수층으로 누출될 가능성을 가지고 있다. 선행 연구를 통해서 저장 지역내의 우물이 이산화탄소가 누출될 가장 큰 위험요소로 알려진 바 있다(이상일 외, 2009). 제대로 봉인되지 않은 우물과 조사되지 않은 낡은 우물은 이산화탄소의 누출 경로가 될 수 있다.

그림 3은 지중저장 프로젝트에서 이산화탄소 주입기간에 따른 누출위험도의 변화를 보여준다. 주입이 시작된 이후 저장량이 많아질수록 저장소의 압력은 증가한다. 저장소의 압력 증가는 저장된 이산화탄소가 누출의 가능성을 내포하고 있는 우물에 당을 잠재적 가능성을 높여 누출 위험도를 증가시킨다. 주입기간 동안에 저장소의 모니터링과 시뮬레이션 모델의 개발이 함께 진행된다. 모니터링 결과는 모델의 성능 개선에 이용되며, 개선된 모델을 통해 저장소의 압력, 주입 가능량, 이산화탄소 움직

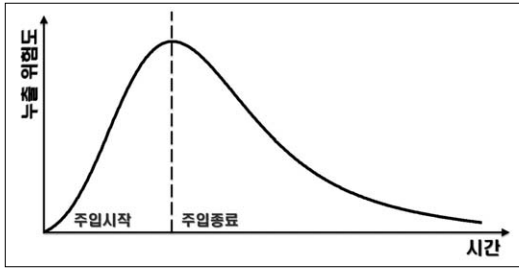


그림 3. 시간에 따른 누출 위험도 변화

입 등을 예측하게 된다. 모니터링과 모델의 성능 개선으로 예측의 결과가 신뢰할 수 있는 수준에 이르면 위험을 안정화하거나 감소시킬 수 있다. 주입이 종료되면 저장소의 압력은 감소하고 포획 기작들이 영향을 미침에 따라 누출위험도는 점차 감소할 것이다. 주입 종료 이후에도 저장소의 압력 감소, 포획 기작들의 영향에 대한 평가를 위해 저장소의 모니터링과 모델의 성능 개선은 꾸준히 이루어져야 한다.

대기 중으로 누출된 이산화탄소는 생태계에 영향을 미칠 수 있다. 자연적으로 토양에서 발생하는 이산화탄소의 농도는 0.2~0.4% 정도로 동식물에 해롭지 않다. 그러나 이산화탄소의 농도가 5% 이상으로 올라가면 식물성장에 해를 미친다. 이산화탄소의 농도가 20% 이상으로 올라가면 식물들은 죽게 될 것이다. 또한 대기중의 이산화탄소 농도가 20배 정도로 올라가면 건강한 성인들에게 두통, 졸음을 유발하고 집중력을 잃게 만든다. 농도가 150배 정도면 기절을 일으킨다. 그러나 지중저장에서 배출되는 이산화탄소는 최소한의 해로운 단계에도 접근하지 못할 것이다. 더욱이 이산화탄소 농도의 모니터링이 가능하다면 즉각적으로 경고할 수 있을 것이다(West *et al.*, 2005).

지중저장에서 이산화탄소는 이용 가능한 대수층보다 훨씬 깊은 곳에 저장되기 때문에 물 공급에 대한 위험은 매우 적다. 만약 이산화탄소가 천부 대수층으로 유출되어도 물에 산소를 공급하는 것으로 제거가 가능하다. 이산화탄소가 녹아든 물은 약한 산성으로 경우에 따라 산성화된 물은 금속과 암석 부근의 광물을 천천히 녹일 수 있다. 이러한 경우

물을 양수하여 함유물을 제거하여 정화, 유압 장벽을 생성하기 위한 우물 시추, 자연의 생물학적 공정을 이용하는 수동적인 방법을 적용하는 조치가 가능하다.

CCS 프로젝트에서 이산화탄소 누출을 방지하기 위하여 지질학적 정보의 철저한 분석을 통한 지중저장 지역의 선택이 중요하다. 운영이 시작된 이후에는 주입 중 압력의 주의 깊은 관리, 주입정의 완벽한 봉인, 주입 이후 효과적인 운영, 관리를 통하여 예방이 가능하다. 그러나 높은 압력의 이산화탄소 저장으로 발생하는 cap rock의 균열, 발견되지 않은 덮개암의 균열, 설계나 봉인에 문제가 있는 우물로 인하여 이산화탄소의 누출이 발생 가능하다.

따라서, 이산화탄소의 주입 전후에 발생한 누출에 대한 대응책이 필요하다. 그 방법으로 주입 및 저장압력을 줄이는 방법, 다른 저장소의 압력 조정, 주입을 멈추고 새로운 적합한 저장소에 주입이 있다. 누출된 이산화탄소는 안전을 위해 다시 포집하여 주입해야 할 것이다(Price and Smith, 2008).

저장소의 적절한 선정과 설계, 운영과 모니터링이 이루어진다면 이산화탄소가 대기 중으로 방출되는 일은 없을 것이다. 지질학자들은 적어도 1000년 동안 99% 이상의 이산화탄소가 저장부지에 남아있을 것이며, 누출의 영향 또한 매우 적을 것이라고 예상했다(Hepple and Benson, 2002; DEFRA, 2004).

III. 설문조사 및 분석

1. 설문 대상

설문조사의 참가자는 서울, 경기도 및 강원도에 거주하는 관련 분야에 대한 비전문가를 대상으로 하였으며, 학력과 연령에 제한을 두지 않고 실시하였다. 설문의 배포와 회수는 2011년 4월부터 2011년 5월까지 응답자들이 조사목적에 알 수 있도록 공개적으로 이루어졌다. 응답자수는 293명이며 응답률은 86%에 달했다. 응답자의 성비는 여자 65.3%, 남자 34.3%로 여성의 응답률이 높았다(그림 4(a)).

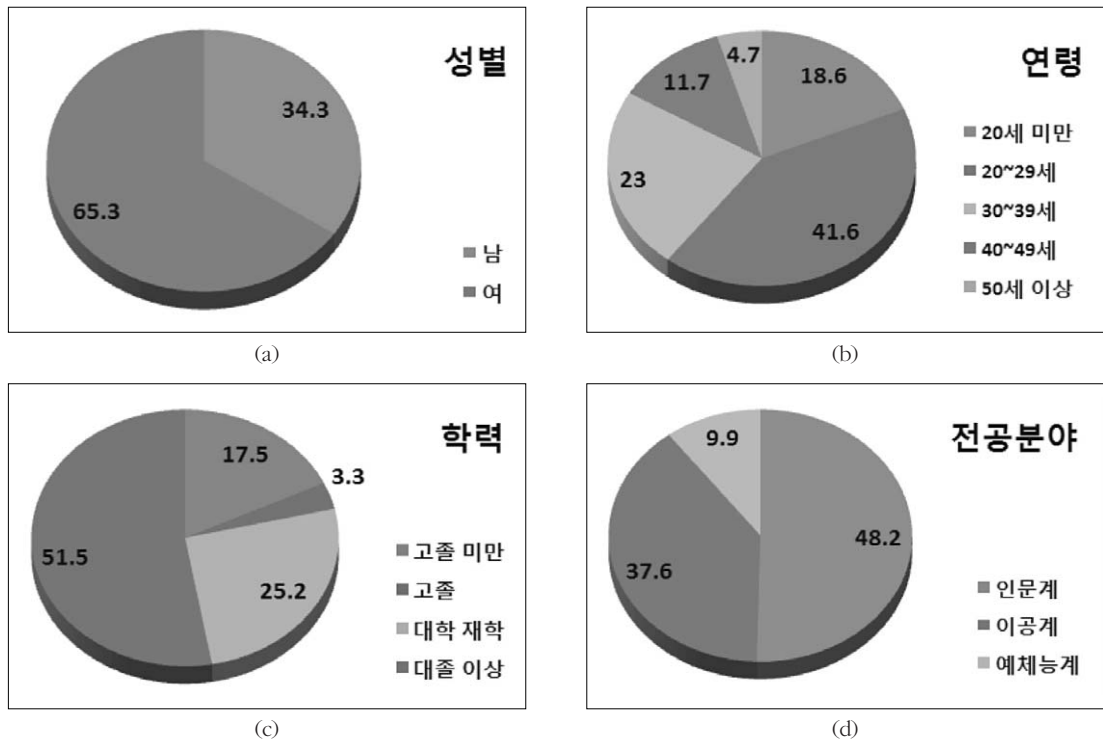


그림 4. 응답자 인구 통계 분포

연령분포는 20~29세가 41.6%로 가장 많았으며(그림 4(b)), 평균연령은 36.7세로 우리나라의 평균연령 38세에 근접했다. 학력은 51.5%가 대졸 이상이며(그림 4(c)), 전공 분야는 48.2%가 인문계로 가장 많았다(그림 4(d)). 실제 우리나라의 인구분포에 비해 여자의 비율과 대졸이상의 비율이 다소 높은 경향이 있으나, 본 연구에서는 이산화탄소 지중저장에 대한 인식을 측정 및 분석할 수 있는 도구의 개발 및 적용에 의미를 두고 있다.

2. 설문구성

대다수 비전문가들에게 CCS가 잘 알려지지 않아 설문지의 도입부에서는 CCS에 대하여 간략히 설명하였다. CCS의 설명은 설문 결과에 영향을 미치지 않을 정도의 범위에서 이루어졌다. 설문지는 표 1과 같이 기후변화, 이산화탄소, 저장 개념, 지중 압력, 이산화탄소의 영향, 이산화탄소 누출, CCS에 관한 인식의 7개 항목으로 나누어 총 24개 질문으

로 구성하였다. 설문지는 비전문가들이 쉽게 이해할 수 있도록 기술적 용어를 줄여 서술하였다. 각 설문 문항은 “전혀 아니다”(−2점), “아니다”(−1점), “모르겠다”(0점), “그렇다”(1점), “매우 그렇다”(2점)의 5점 등간척도로 표시하였다.

IV. 결과 및 분석

1. 기술 통계 분석

측정한 자료의 해석을 위해서는 기술 통계 분석을 통한 자료의 정리 및 요약이 필요하다. 기술 통계 분석은 자료의 구성비와 특성을 수치적으로 보여준다. 본 연구에서는 평균과 표준편차를 이용하여 각 문항들의 분포 중심과 산포도를 파악하였다. 문항에 대한 인식의 정도가 높을수록 평균값은 2에 가까운 값을 나타낸다(그림 5). 모든 문항은 동일한 방향성을 갖는 등간척도로 평균값이 음수이면 응답자들이 부정적 인식 혹은 오해를 하고 있음을 표현한다.

표 1. 설문지의 문항

인식 영역	질문번호	질문 내용
기후변화	N1	기후변화는 실제로 발생하고 있다.
	N2	기후변화는 앞으로도 계속 진행될 것이다.
	N3	기후변화의 원인은 이산화탄소다.
	N4	기후변화는 인류에 위협을 미친다.
이산화탄소	N5	이산화탄소는 인체에 해롭지 않다.
	N6	이산화탄소는 공기보다 무겁다.
	N7	이산화탄소는 냄새가 나지 않는다.
	N8	이산화탄소는 화석연료에서 생성된다.
저장 개념	N9	이산화탄소를 지하에 주입하는 것을 스폰지에 스며드는 것에 빗대어 상상할 수 있다.
	N10	지하에 주입된 이산화탄소는 주변의 암석과 결합할 수 있다.
	N11	지하의 압력이 높으면 이산화탄소는 액체상태로 머무를 수 있다.
지중 압력	N12	지하 깊이가 들어갈수록 지중의 압력은 증가한다.
	N13	주입된 이산화탄소는 주변 지중의 압력을 증가시킨다.
이산화탄소의 영향	N14	이산화탄소가 녹아든 물은 산성이다.
	N15	주입된 이산화탄소는 지중의 미생물에 독성을 미칠 수 있다.
	N16	주입된 이산화탄소는 유기체의 구조를 변화시킬 수 있다.
이산화탄소 누출	N17	주입된 이산화탄소는 지표로 누출될 수 있다.
	N18	이산화탄소가 환경에 미치는 나쁜 영향은 누출양과 관계가 있다.
	N19	누출을 막는다면 이산화탄소가 환경에 미치는 영향을 줄일 수 있다.
	N20	누출된 이산화탄소는 먹는물에 독성을 미칠 수 있다.
CCS	N21	이산화탄소 저장지역은 생태계에 위협할 수 있다.
	N22	CCS는 효과적인 기후변화의 대응책이다.
	N23	CCS 기술의 실용화에 찬성한다.
	N24	이산화탄소 저장지역에 거주 할 수 있다.

- 기후변화에 관한 인식의 측정결과는 99.64%의 응답자가 기후변화가 실제로 발생하고 있다고 대답했으며, 97.81%가 기후변화가 앞으로도 계속 진행될 것이라고 대답했다. 또한, 93.80%의 응답자가 기후변화는 인류에 위협을 미친다고 생각하고 있었다. 많은 응답자들(66.79%)이 기후변화의 원인이 이산화탄소라고 생각하고 있었으며, 28.10%는 “모르겠다”고 응답했다. 이를 통해 대다수의 사람들이 기후변화 문제를 직면하고 있으나, 모든 사람이 이산화탄소가 원인이라고 생각하고 있지는 않음을 알 수 있다.
- 이산화탄소에 관한 일반적 인식을 네 문항으로 측정하였다. 대다수의 비전문가는 미디어 혹은 교육을 통해 이산화탄소가 무엇인지 알고 있으

며, CCS 기술에는 익숙하지 않아도 이산화탄소에 대해서는 일정 수준의 지식을 갖고 있다고 가정했다. 이산화탄소는 색깔과 냄새, 맛이 없는 기체로 공기보다 무겁다. 절반 이상의 응답자들은 이러한 특성을 이해하고 있었다. 이산화탄소의 발생은 동식물의 호흡이나 자연적인 발생을 통해 이루어지기도 하지만 지구온난화에 영향을 미치는 이산화탄소의 급격한 증가는 화석연료를 통해 발생한다. 응답자의 66.06%는 이러한 사실을 이해하고 있었다. 이산화탄소는 인체에 특별한 독성을 지니지 않아 탄산음료의 제조 등에 이용된다. 다만 대기 중 이산화탄소의 농도가 높을 경우 호흡에 문제가 발생할 수 있다. 이산화탄소가 인체에 해롭다고 생각하는 응답자의 비율은 54.38%로 이산

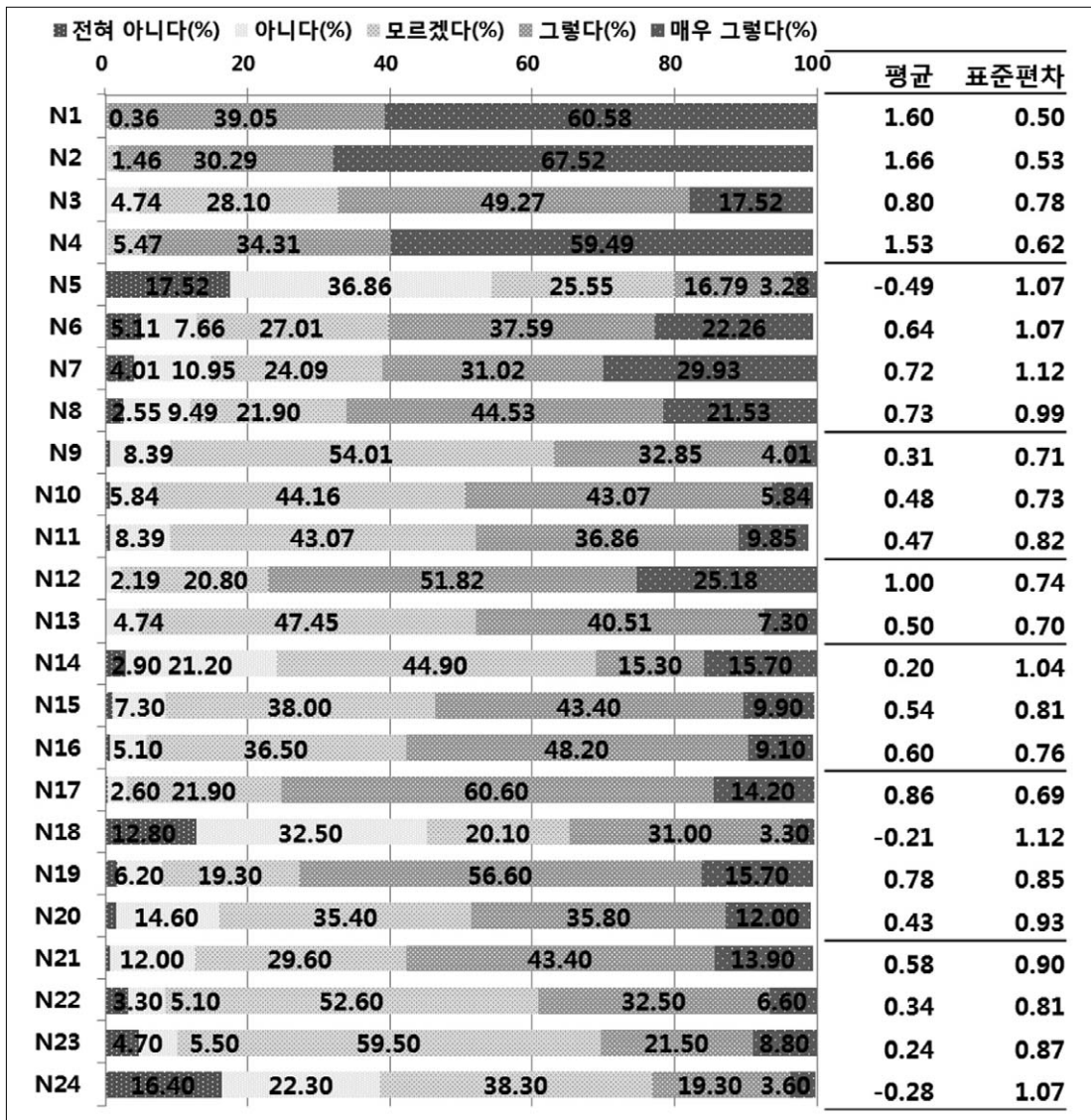


그림 5. 설문 문항 별 빈도와 기술 통계

화탄소에 대한 부정적인 인식을 갖고 있었다. 세 문항을 통해 저장 개념에 관한 인식을 측정하였다. 대다수 비전문가는 저장소와 저장 기작에 관한 지식이 없다는 가정하에 이산화탄소 저장을 스펀지에 물이 스며드는 것에 비유해 질문하였다. 이를 이해할 수 있다는 응답은 36.86%로 비교적 낮았으며, 54.01%의 응답자가 “모르겠다”고 응답하였다. 이는 많은 응답자들이 저장소를 거대한 지하공간으로 생각하

는 것으로 볼 수 있다. 실제로 이산화탄소는 물을 함유한 미세한 암석 공극에 저장된다. 지하에 주입된 이산화탄소가 주변의 암석과 결합할 수 있다는 응답은 48.91%, “모르겠다”는 응답은 44.16%였다. 지하의 압력이 높으면 이산화탄소가 액체상태로 머무를 수 있다는 응답은 46.72%, “모르겠다”는 응답은 43.07%였다. 이 두 가지 질문은 저장의 안정성을 높이는 저장된 이산화탄소 포획 기작의 이해를 묻는다.

- 두 질문 모두 “모르겠다”는 응답이 높아 이산화탄소 포획 기작의 이해를 어려워함을 알 수 있다.
- 지중 압력변화에 관한 인식을 두 문항으로 측정하였다. 지하 깊이에 따라 지중 압력이 증가한다는 사실을 알고 있는 응답자의 비율은 77.01%였다. “모르겠다”는 응답이 20.80%, “아니다”는 응답은 2.19%에 그쳤다. 전문적인 지식이 없더라도 지하 깊이에 따라 지중 압력이 증가한다는 사실을 인식하고 있음을 알 수 있었다. 응답자의 절반 정도(47.81%)는 주입된 이산화탄소가 주변 지중의 압력을 증가시킬 수 있음을 알고 인식하고 있었다. 나머지 절반 정도(47.45%)의 응답자가 “모르겠다”는 응답을 하였다. 4.74%만이 “아니다”는 응답을 하였다. 실제 저장 프로젝트에서 이산화탄소 주입 중 저장소의 압력이 상승해 유체 변위와 저장 기작이 작용하면서 압력이 감소하게 된다.
 - 세 문항을 통해 주입된 이산화탄소가 지하에 미치는 영향에 관한 인식을 측정하였다. 이산화탄소가 물에 녹으면 탄산(H_2CO_3)을 형성하며 약한 산성을 띤다. 31.00%의 응답자만이 이를 이해하고 있었다. 44.90%의 응답자는 “모르겠다”고 대답했으며, 24.10%의 응답자는 염기성으로 알고 있었다. 또한, 응답자의 53.30%는 지중의 미생물이 증독될 수 있음을 알고, 57.30%는 유기체의 유전자 구조가 변형될 수 있음을 알고 있었다. 상당 수의 사람들이 CCS가 지하에 미치는 일반적 혹은 부정적 영향을 인지하고 있는 것으로 보인다.
 - 이산화탄소 누출에 관한 인식의 측정 결과, 응답자 중 74.80%가 저장된 이산화탄소가 지표로 누출될 수 있다는 우려를 갖고 있었다. 또한, 45.30%의 응답자는 누출의 양에 관계없이 모든 누출의 영향이 나쁜 것으로 인식함을 보여준다. 47.80%의 응답자가 이산화탄소 누출이 지하수에 독이 된다고 생각하고 있다. 저장된 이산화탄소가 지표로 누출될 수 있다고 생

각하는 응답자들 중에서 67.3%가 생태계에 미치는 위험을 우려하고 있었다. 이는 이산화탄소가 초임계상태로 저장되며 확산을 통해 가스의 일부만이 탈출할 수 있다는 지식을 지니지 않아 생길 수 있는 결과로 보인다. 반면, 많은 응답자들(72.30%)이 누출을 막는다면 이산화탄소가 환경에 미치는 영향을 줄일 수 있다는 인식을 가지고 있었다.

- 네 가지의 문항으로 비전문가들이 갖는 CCS에 관한 인식을 측정했다. 39.10%의 응답자가 CCS가 효과적으로 기후변화를 완화시킬 수 있을 것이라고 생각하고 있었다. 52.60%의 많은 응답자가 “모르겠다”고 대답했다. CCS의 실용화에 찬성하는 의견은 30.30%이며, “모르겠다”는 의견이 59.50%로 가장 높았다. CCS 기술의 부족한 이해가 기술의 효과와 실용화를 긍정적으로 받아들이기 어려운 것으로 보인다. 이산화탄소 저장 지역 생태계에 미치는 영향에 대해서는 12.70%만이 긍정적인 반응을 보였고, 57.30%는 위험할 것이라고 생각하고 있었다. 또한, 이산화탄소 저장지역에 거주할 수 있다는 의견은 22.90% 였으며, 많은 응답자들이 “모르겠다”, 혹은 부정적인 의견을 보이고 있다. 이는 많은 비전문가들이 이산화탄소 저장의 안정성에 대한 부정적 인식을 가지고 있음을 보여준다.

2. 회귀 분석

각 항목들과 CCS에 관한 인식의 상호관계를 분석하기 위해 다중선형 회귀분석을 시행하였다. 선형 회귀분석이란 연속형 변수들 사이의 관계에 있어서 한 변수를 원인으로 하고 다른 변수들을 결과로 하여 원인 변수들과 결과 변수 사이의 선형식을 구하고 그 식을 이용하여 원인 변수들의 값이 주어졌을 때, 결과 변수의 값을 예측하는 통계적 분석 기법이다. 선형 회귀 분석에서 원인의 역할을 하는 변수를 독립변수(independent variable)라 하고, 결과를 관측하는 변수를 종속변수(dependent

표 2. 종속변수 Y (X₂₃=CCS 수용도)에 대한 다중 회귀 분석 모델

독립 변수	비표준화 계수		표준화 계수 β	t	유의확률 (p)
	B	표준오차			
상수(β_0)	0.638	0.351		1.817	0.070
X ₂	-0.193	0.063	-0.121	-3.059	0.002
X ₄	0.120	0.055	0.088	2.205	0.028
X ₁₈	0.063	0.029	0.082	2.188	0.029
X ₁₉	0.085	0.038	0.083	2.237	0.026
X ₂₁	-0.078	0.038	-0.081	-2.065	0.040
X ₂₂	0.753	0.041	0.714	18.219	0.000
X ₂₄	0.075	0.031	0.095	2.459	0.015

variable)라 한다. 하나의 종속변수와 하나의 독립 변수 사이의 선형모형을 단순선형 회귀모형(simple linear regression model)이라 하고, 하나의 종속 변수와 둘 이상의 독립변수들 사이의 선형모형을 다중선형 회귀모형(multiple linear regression model)이라 한다(허명희, 2008).

본 연구에서는 N23(CCS 기술의 실용화에 찬성 한다)을 종속변수(Y)로 하는 다중 회귀분석을 실시했다. 회귀모형의 구축을 위해 N23을 제외한 나머지 23개 항목에 대해 '독립변수로서 영향력이 없다.'라는 가설에 대한 t-검정을 했다. 유의수준 5%에서 검정 결과, 7개의 항목(N2, N4, N18, N19, N21, N22, N24)이 유의확률 p-값이 0.05 이하로 가설을 기각할 수 있다. 따라서, 가설을 기각한 7개 항목을 N23을 종속변수로 하는 회귀모형의 독립변수로 한다.

7개의 독립변수로 구축된 다중선형회귀모형은 식 (1)과 같다. 모형을 구축한 독립변수는 표 2와 같으며, 모형에서 제외된 변수들은 유의수준 5%를 벗어나 통계적으로 의미를 있지 갖지 못하는 변수들이다.

$$Y = \beta_0 + \beta_2 X_2 + \beta_4 X_4 + \beta_{18} X_{18} + \beta_{19} X_{19} + \beta_{21} X_{21} + \beta_{22} X_{22} + \beta_{24} X_{24} + \varepsilon \quad (1)$$

모형식 (1)의 결정계수 R²은 0.638로, CCS 기술의 수용도에 대한 의견 중에서 회귀모형을 따르는 의견이 63.8%임을 나타낸다. 37.2%의 의견은 본 연구에서 고려하지 못한 요인에 영향을 받는다. 본 연구에서는 CCS 기술의 수용도에 대한 인식을 이

해하기 위해 앞서 언급한 7개의 요인을 고려하였다.

결정계수가 1에 가까울수록 모형의 성능이 뛰어나다는 의미이지만 현상의 분석에서 결정계수에 대한 특별한 기준은 없다. 다만, 종속변수에 영향을 미치는 요인이 많아질수록 모형의 성능은 향상될 것이다.

CCS는 효과적인 기후변화의 대응책이라는 인식(X₂₂)의 회귀계수(B)는 0.753(표준오차 = 0.041)로 X₂₂가 한 단위 증가할 때, 종속변수가 0.753 증가함을 의미한다. X₂₂의 t-value는 18.219, p-value는 0.000으로 통계적으로 매우 유의하다.

CCS는 효과적인 기후변화의 대응책이라는 인식은 CCS 기술의 수용도에 가장 큰 긍정적 영향을 미치는 요소이다. CCS는 많은 기후변화의 대응책 중에서 가장 효과적인 기술로 평가되고 있으나 현재 우리나라에서는 대체연료나 신재생 에너지의 개발만이 부각되고 있는 실정이다. CCS 기술의 수용이 긍정적으로 평가되기 위해서는 CCS의 기능과 목적의 강조뿐만 아니라, 많은 기후변화 대응책 중 가장 효과적인 기술임을 강조하는 것이 중요함을 시사한다.

기후변화가 인류에 위협을 미친다는 인식(X₄: B = 0.120, 표준오차 = 0.055), 누출양에 관계없이 이산화탄소는 환경에 나쁜 영향을 미친다는 인식(X₁₈: B = 0.063, 표준오차 = 0.029), 누출을 막는다면 이산화탄소가 환경에 미치는 영향을 줄일 수 있다는 인식(X₁₉: B = 0.085, 표준오차 = 0.038), 이산화탄소 저장지역에 거주 할 수 있다는 인식(X₂₄: B = 0.075, 표준오차 = 0.095)이 갖는 회귀계수의 t-검정결과는 X₄: t = 2.205, p = 0.002, X₁₈: t = 2.188, p = 0.029, X₁₉: t = 2.237, p = 0.026, X₂₄: t = 2.459, p = 0.015로 통계적으로 유의한 수준이다. 계수들의 영향력 비교를 위한 표준화 계수는 X₄: 0.088, X₁₈: 0.082, X₁₉: 0.083, X₂₄: 0.095로 종속변수에 거의 비슷한 영향력을 가지며, 모두 CCS 기술의 수용에 긍정적인 영향을 미치고 있다.

지중저장된 이산화탄소의 누출은 비전문가들이 생각하는 일시적이고 많은 양의 누출이 아닌 지속적이고 꾸준하게 이루어진다. 비록 누출양에 관계없이 이산화탄소는 환경에 나쁜 영향을 미칠 것이

라는 오해가 있었지만 이산화탄소의 증가로 인한 기후변화가 인류에 위협을 미친다는 인식은 CCS 기술 수용에 긍정적 평가에 도움을 주고 있음을 정량적으로 보여준다. 또한, 저장지역의 거주에 대한 안정성을 확신시켜 주는 것이 중요함을 알 수 있다.

기후변화는 앞으로 계속 진행될 것이라는 인식(X_2)과 이산화탄소 저장지역은 생태계에 위협할 수 있다는 인식(X_{21})의 회귀계수(B)는 $X_2: B = -0.193$ (표준오차 = 0.063), $X_{21}: B = -0.078$ (표준오차 = 0.038)이며, t-검정결과는 $X_2: t = -3.059, p = 0.002$, $X_{21}: t = -0.081, p = 0.040$ 로 통계적으로 유의한 수준이다. 다만 두 변수의 회귀계수는 음수로서 종속변수에 부정적 영향을 미치고 있다.

설문결과에서 기후변화는 앞으로 계속 진행될 것이라는 인식은 높은 수준이었다(97.81%). 이와 같은 인식에도 불구하고 CCS 기술의 수용도에 부정적 영향을 미치는 것은 CCS 기술의 효과에 대한 부족한 인식을 이유로 꼽을 수 있을 것이다. CCS 기술의 효과에 대한 인식은 CCS 수용의 긍정적 평가에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로써 중요성을 더욱 강조할 수 있다.

이산화탄소 저장지역의 위험성은 CCS 기술 수용도에 부정적 영향을 미치는 요인이다. 이는 앞서 기술한 저장지역의 거주가 안전하다면 기술의 실용화를 긍정적으로 평가할 수 있다는 분석과 일맥상통한다. 저장지역의 안정성에 대한 확신을 주는 것은 기술 수용에 대한 부정적 평가를 낮추고 긍정적 평가를 높여 더욱 큰 효과를 기대할 수 있을 것이다.

V. 결론

본 연구에서는 설문조사를 통해 CCS 기술의 실용화에 대한 비전문가들의 수용도를 알아보았다. 설문지는 7가지 항목(기후변화, 이산화탄소의 특성, 저장 개념, 지중 압력, 이산화탄소의 영향, 이산화탄소 누출 및 CCS에 관한 인식)에 대해 총 24개 문항으로 구성되었다. 설문 결과에 대한 기초통계분석을 거쳐, CCS 기술의 수용도에 미치는 영향을 알

아보기 위한 다중회귀분석을 실시했다. 분석 결과를 토대로 도출할 수 있는 결론은 다음과 같다.

기후변화의 지속성에 대한 인식은 수준이 높음(97.81%)에도 불구하고 CCS의 수용도에 부정적 영향을 미치고 있었다($B = -0.193$). 그 원인으로는 CCS의 효과에 대한 낮은 인식(39.10%)을 들 수 있다. CCS의 효과에 대한 인식은 CCS 수용도에 가장 긍정적인 영향을 미치는 요인이다($B = 0.753$). CCS의 수용도에 대한 부정적 영향을 줄이고 긍정적 영향을 극대화하기 위해서 CCS의 기능과 목적의 강조뿐만 아니라, 많은 기후변화 대응책 중 가장 효과적인 기술임을 강조하는 것이 중요하다.

응답자들은 이산화탄소가 인체에 해로운 것이라는 부정적 인식을 갖고 있었다(54.38%). 또한, 많은 응답자들이 이산화탄소의 특성, 지중저장에 대한 개념, 안정성 확보 과정 등의 이해를 어려워하고 있었다. 비전문가에게 이산화탄소나 CCS에 대한 정보를 전달 할 때, 오해의 발생을 줄이면서 이해하기 쉬운 도구의 개발이 필요하다.

누출된 이산화탄소의 유해성에 대한 우려(45.30%)는 CCS의 수용도에 긍정적 영향을 미치고 있었다($B = 0.063$). 이러한 결과는 이산화탄소의 증가로 인한 기후변화에 대한 높은 우려(93.80%)를 원인으로 들 수 있다. 기후변화에 대한 우려는 CCS의 수용도에 긍정적 영향을 미치는 요인($B = 0.120$)이므로, 기후변화가 인류에 미치는 위협에 대한 지속적인 교육이 중요함을 시사한다.

이산화탄소 저장지역에 거주가 가능하다는 인식(22.90%, $B = 0.120$)과 이산화탄소의 누출이 없다면 CCS가 효과적일 것이라는 인식(72.30%, $B = 0.085$)은 CCS의 수용도를 높이는 요인이다. 또한, 저장지역의 위험성에 대한 우려(57.30%, $B = -0.078$)는 CCS의 수용도를 저하시키고 있었다. CCS의 원리 및 안정성 확보 과정의 이해를 위한 도구와 철저한 운영 관리 방안의 마련으로 CCS에 대한 신뢰도를 높이는 것이 중요하다.

본 논문에서 수행된 연구결과를 통해 CCS의 수용도를 향상시킬 수 있는 방안과 정량적 효과를 알

수 있으며, 향후 CCS 기술의 원활한 수용 방안의 마련에 기초가 될 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

이 논문은 2010년도 동국대학교 연구년 지원에 의하여 이루어졌음.

참고문헌

- 강성길, 허철, 2008, 해저 지질구조내 CO₂저장기술의 연구개발 동향 및 향후 국내 실용화 방안, 한국해양환경공학회지, 11(1), 1-66.
- 이산화탄소저감 및 처리기술 개발사업단, 2004, (기후변화협약)터워지는 지구 그 원인과 대책, 이산화탄소저감 및 처리기술 개발사업단.
- 이상일, 이상기, 황진환, 2009, 지중저장 이산화탄소의 누출 위험도 평가를 위한 결함수 분석, 한국환경영향평가학회지, 18(6), 359-366.
- 한화진, 안소은, 2006, 기후변화 영향평가 및 적응 시스템 구축 II, 한국환경정책·평가연구원.
- 허명희, 2008, SPSS를 활용한 통계적 방법론 2판, 한나래출판사.
- Chadwick, R.A., Arts, R., Bernstone, C., May, F., Thibeau, S and Zweigel, P., 2008, Best Practice for the Storage of CO₂ in Saline Aquifers. (Keyworth, Nottingham: British Geological Survey Occasional Publication No. 14.) ISBN: 978-0-85272-610-5.
- DEFRA, 2004, Literature review: environmental impacts of a gradual or catastrophic release of CO₂ into the marine environment following carbon dioxide capture and storage, UK.
- Ha-Duong, M., Campos, A.S., Nadai, A., 2007, A survey on the public perception of CCS in France, Working Papers halshs-00200894_v1.
- Heppele, R.P., and Benson, S.M., 2002, Implications of surface seepage on the effectiveness of geologic storage of carbon dioxide as a climate change mitigation strategy, In Proceedings of the Sixth International Greenhouse Gas Technologies Conference, Kyoto, Japan, October 1-5, Gale, J., Kaya, Y., Eds.; Pergamon: 2003; Vol. I, 261-266.
- Houghton, J.T., Jenkins, G.J., and Ephraums, J.J., 1990, Climate Change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press.
- IPCC, 2005, IPCC special report on carbon dioxide capture and storage, Cambridge University Press, New York.
- Kaldi, J.G., and Gibson-Poole, C.M., 2008, Storage capacity estimation, site selection and characterisation for CO₂ storage projects, CO₂CRC Report N.RPT08-1001.
- Michael, K., Golab, A., Shulakova, V., Ennis-King, J., Allinson, G., Sharma, S., Aiken, T., 2010, Geological storage of CO₂ in saline aquifers-A review of the experience from existing storage operations, International Journal of Greenhouse Gas Control 4, 659-667.
- Price, J., and Smith, B., 2008, Geologic Storage of Carbon Dioxide: Staying safely underground, IEA Greenhouse Gas R&D Programme.
- Ruhl, C., 2011, BP Statistical Review of World Energy, Available online: <http://www.bp.com/statisticalreview>.
- Wallquist, L., Visschers, V.H.M., Siegrist, M., 2010, Impact of knowledge and

misconceptions on benefit and risk perception of CCS, *Environmental Science and Technology*, 44(17), 6557-6562.

West, J.M., Pearce, J., Bentham, M., and Maul, P., 2005, Issue Profile: environmental issues and the geological storage of CO₂, *European Environment*, 1(5), 250-259.

최종원고채택 12. 06. 01