



CO₂ 저장기술 개요



이 대 수

한국전력공사 전력연구원 녹색성장연구소 수석연구원

1. 개 황

화석연료의 사용량이 급증하면서 대기 중으로 무차별 배출되는 이산화탄소(CO₂)가 지구의 평형에 변화를 초래 하자 세계가 그야말로 CO₂와의 전면전을 벌이고 있다.

지난 40만년 동안 180~280ppm 사이를 맴돌던 대기 중의 이산화탄소 농도는 근래 들어 380ppm에 이르고 있다. 1997년 12월 미국, 일본, 유럽연합(EU) 등 선진국 들은 2008~2012년 사이에 온실가스 총 배출량을 1990년 대비 평균 5.2% 감축하는 '교토의정서' 를 채택

하여, 지구온난화 방지를 위한 '기후변화협약'의 구체적 이행 방안으로 CO₂를 필두로 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 불화탄소(PFC) 등 온실가스의 의무 감축 목표치를 정하였다.

우리나라는 현재 CO₂ 배출량 세계 10위, OECD내 온실가스 배출량 증가율 1위이며, 2020년까지 국내 에너지부문의 온실가스 배출은 연평균 2.3%의 증가가 예상되고 있다. 이에 따라 세계 각국에서는 이산화탄소 처리를 위한 다양한 노력들이 경주되고 있으며, 2005년 말 기후변화협약 당사국 총회에서는 청정개발제도(CDM)를 비롯해 탄소 회수 및 저장기술(Carbon Capture & Storage : CCS) 기술개발이 온실가스감축을 위한 주요 수단으로 부각되었다. 국내의 경우 탄소세 부과 등 온실가스 관련 제도 등이 본격적으로 시행되고 있지는 않지만, 에너지다소비 산업구조를 가지고 있는 실정에 비추어 볼 때, 기후변화협약의 의무감축으로 인한 온실가스 저감정책 이행시 우리나라의 주력산업인 철강, 석유화학 등 관련 산업은 생산 활동에 큰 부담을 가지게 될 것으로 예상된다.

2010년 G8 정상회의에서는 우리나라를 포함한 각국의 20개 CCS 프로젝트를 발표하였으며, 이 프로젝트는 연간 100만 톤급 이상 규모의 이산화탄소를 포집-수송-저장하는 통합 실증계획으로서 2020년까지 실증을 완료하도록 약속한 바 있다. 아울러 우리나라는 온실가스 중기 감축 시나리오를 발표하였는데, 이에 따르면 BAU(Business as usual) 대비 30% 감축을 목표로 하고 있으며, 이 경우 2020년경 연간 약 2.4억 톤의 이산화탄소 감축이 필요한 실정이다. 또한 이 감축목표의 4~20%를 CCS로 감축 시에는 연간 1~5천만 톤의 CO₂ 처리가 가능하다는 계산이 나온다.

그러나 현재까지 대용량의 CO₂를 회수하고 처리하는

시설이 산업화된 적이 없으며, 경제성 있는 기술을 확보하지 못한 상태이다. 따라서 국제적 환경문제에 능동적으로 대처하고 향후 급속한 팽창이 예상된 온실가스 처분 시장의 국제 경쟁력 확보를 위해서는 저비용, 고효율의 경제성이 있는 처분기술의 개발 및 실용화가 절실히 요구된다.

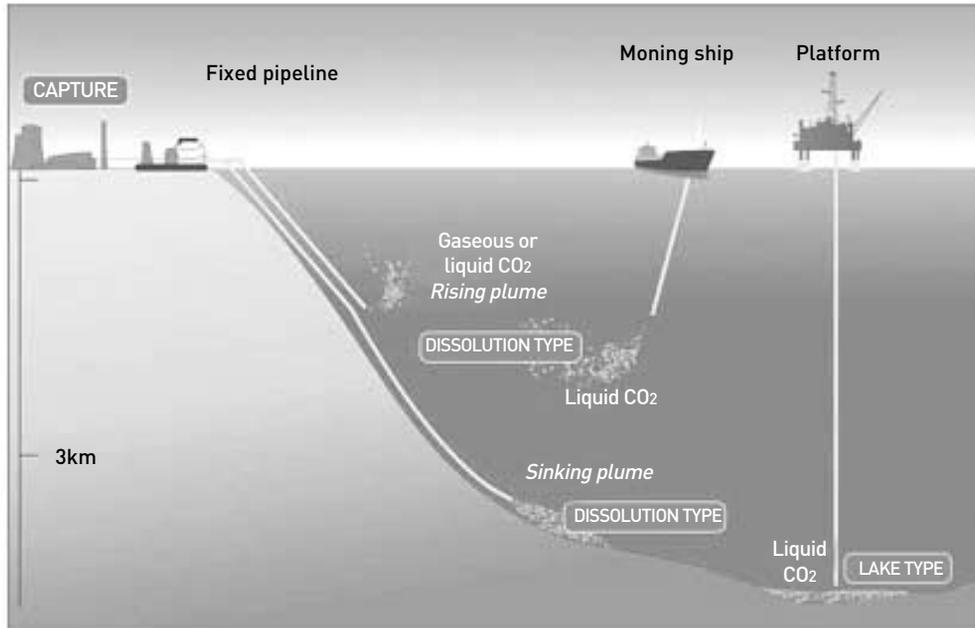
2. 현황

이산화탄소 저장기술

일반적으로 이산화탄소는 회수공정을 통하여 회수된 후 순수한 이산화탄소로 분리하며 이를 가압시켜 농축하게 된다. 농축된 이산화탄소(액상)는 파이프라인이나 수송선을 통하여 저장조까지 이송된다. 저장조까지의 수송 거리가 1,000km 미만까지는 파이프라인을 이용하는 것이 유리하며 그 이상일 경우나 장거리 해외수송의 경우 운반선을 이용하는 것이 경제적으로 알려져 있다. 수송된 이산화탄소는 해양, 지중, 지표에 저장될 수 있으나 해양저장은 해양 생태계 문제로 현재 보류중이며, 지표저장은 이산화탄소를 고착시킨 광물의 저장소 문제가 야기되어 아직은 기초 기술 단계이다. 그러나 지중저장은 많은 연구가 추진되고 있는 대표적 기술로 내륙 혹은 해저의 깊은 지층에 이산화탄소를 저장하게 된다. 지중저장에는 고갈된 유전 및 가스전 저장, 대염수층, 석탄층 저장 등이 있고, 각 기술의 완성도는 다양하다. 예를 들어, 고갈된 유전 또는 사용 중인 유전의 실제적인 저장방법은 이미 개발되어 적용되고 있는 실정이다.

가. 해양저장 기술

해양저장에는 기체 또는 액체 상태로 CO₂를 해양에 분사시켜 용해시키는 해양 분사기술과 액체 상태로 심해에 주입시켜 CO₂의 증력을 이용하여 CO₂를 Hydrate화

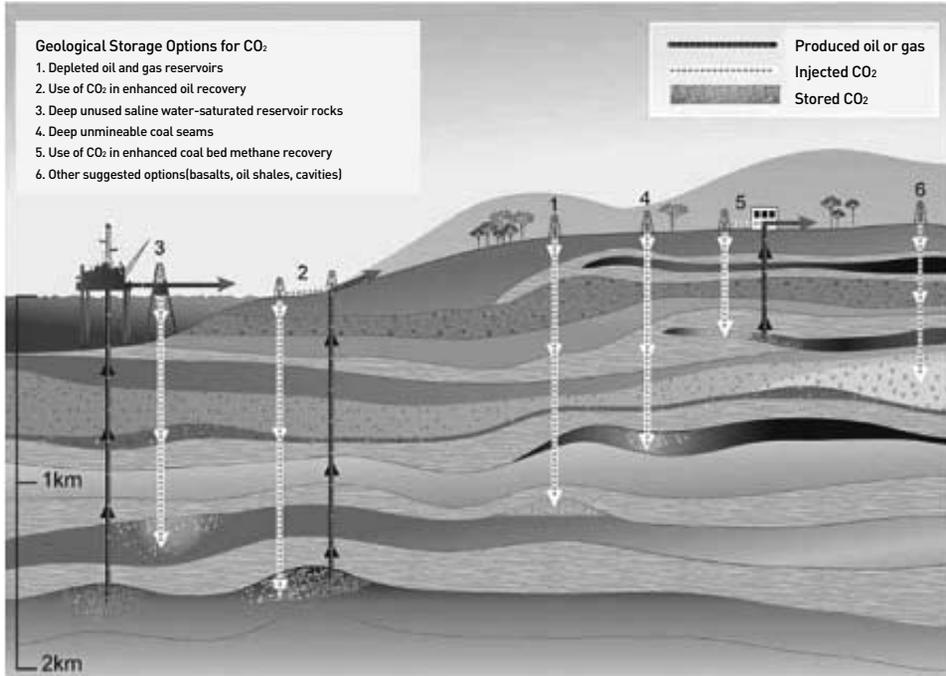


[그림 1] 심도별 해양저장 방식의 차이

시켜 고정시키는 심해저류기술 등이 있으나, 해양환경 위해성 논란 등으로 인하여 학술기반연구로 기술 개발이 진행되고 있다. 특히, 2006년 11월 제28차 런던협약 및 제1차 런던협약 96의정서 당사국회의를 개최하여 96의 정서를 개정함으로써 엄격한 관리체계 하에서 CO₂의 해양 지중저장은 국제법적으로 승인되었으나, 해양 저류/분사방식은 해양에 용해된 CO₂의 환경 위해성 논란과 국제 환경단체의 환경오염에 대한 부정적인 여론이 있기 때문에 법제화되지 못한 상태이다. 그럼에도 불구하고 향후 기술개발의 획기적 진전을 이루고자 일본에서는 해양저장에 대한 체계적 연구를 국가적 차원에서 지원하고 있는 실정이다. 반면 우리나라에서는 이 방법에 대한 연구시도가 아직 이루어지지 않고 있다.

구체적으로 보면, CO₂의 해양 저장으로 지금까지 검토 또는 실험중인 방법으로는 크게 두 가지가 있다.

- ◆ 이산화탄소를 상온에서 50기압으로 액화한 후 해저 500m 밑으로 파이프를 통하여 작은 액적으로 방출시켜 해수에 용해키는 방법
 - 온도가 영하 40°일 때 액화 이산화탄소의 밀도가 1.07 g/cm³인데, 해수 중에서 액화 이산화탄소가 침강하려면 해수의 밀도가 이보다 낮아야 함.
 - 대개 해저 3,000m 이하에서는 이와 같은 조건이 만족되는 것으로 알려져 있으므로 액화 이산화탄소를 해저 3,000m 이하로 폐기하는 것이 바람직함.
- ◆ 이산화탄소를 CaCO₃로 고정시킨 후 해양에 폐기하여 해저에 침강시키는 방법
 - 이 방법은 이산화탄소를 고정시킬 칼슘 등의 재료가 필요하여 경제적이지 못할 것으로 판단되나 방대한 양의 이산화탄소 수송 문제는 앞의 경우보다 유리할 것임.



[그림 2] 지중저장 방식 (IPCC, 2005)

나. 지중저장 기술

지중저장 방법은 이산화탄소를 특정한 지질구조를 가지는 지중에 강제적으로 주입하여 오랜 기간 동안 누출되지 않도록 가두어 두는 방법이다. 이러한 방법은 이산화탄소의 처리 및 저감을 위한 목적이 아니라 석유의 점성도를 낮추어 유정의 효율을 증가시키기 위한 목적으로 개발되어 왔다. 현재까지 발견된 지중저장부지의 이산화탄소 저장 용량은 약 800Gt으로 평가되며, 모든 지중에 저장할 수 있는 용량은 2,000Gt으로 추정된다. 지중 저장에서 이산화탄소를 저장하는 가장 적당한 곳은 심부염수층(대수층), 유전/가스전 저장, 석탄층저장 등을 들 수 있다.

■ 심부염수층(대수층) 저장

심부염수층은 해수보다 더 높은 염분농도로 채워진 다공질의 암석으로서 전 세계 대부분의 지역에 존재하기 때문에 이산화탄소 저장을 위한 아주 큰 공간을

가지고 있다. 대수층의 구조들은 주로 배사구조나 혹은 이와 유사한 형태를 가지며 구조의 상부에는 불투성의 덮개암이 존재하여 가스의 방출을 억제하거나 어렵게 함으로써 오랜 기간 이산화탄소를 저장할 수 있는 공간 구조를 포함한다. 부지의 특성으로는 대수층의 깊이가 약 800m 이어야 하며, 이산화탄소의 주입을 용이하게 하기 위하여 이산화탄소 주입부 근방에서 충분한 다공성 및 침투성을 갖고 있어야 한다.

대수층 저장기술은 전 세계적으로 가장 저장용량이 커, 경제성이 우수한 기술로 평가되며, 노르웨이 북해의 Sleipner, 알제리의 In Salah, 일본의 Nagaoka 등에서 연구가 수행되고 있으며, 특히 일부지역에서는 연간 백만 톤 이상의 이산화탄소를 성공적으로 주입하고 있다. 국내에서는 동해의 울릉분지 등이 유망한 저장 부지로 추정되고 있으며, 지경부와 국토해양부 등을 중심으로 대염수층 저장 원천기술개발과 대규모 이산화탄소 주입저장 실증계획을 추진하고 있다.

■ 고갈된 유전 및 가스전 저장

고갈된 유전이라는 말은 비어있다는 의미로 쓰이지만, 상당량의 석유가 종종 존재하고 있으며, 이러한 석유의 회수를 위해 이산화탄소를 주입한다. 유전에 액체 이산화탄소를 주입하여 원유의 점성을 낮추어 석유의 회수를 증진시키는 방법은 세계적으로 널리 적용되는 확인된 기술이다. 이는 이산화탄소의 회수 및 저장에 사용되는 비용 중 일부를 원유의 회수 증진을 통하여 상쇄시킬 수 있다는 장점이 있다. 소량의 이산화탄소가 원유의 회수 시 대기 중으로 유출되기는 하나 대부분의 이산화탄소는 유전에 남아있게 된다. 이러한 방법을 통하여 약 73 ~ 238 Gt의 이산화탄소를 저장할 수 있다고 평가된다. 가장 대표적인 연구로는 캐나다의 Weyburn CO₂-EOR 사업이다. 이 사업은 미국의 Dakota에서 포집한 이산화탄소를 연간 백만톤급 이상으로 파이프라인을 통하여 캐나다의 Weyburn에 저장하는 사업으로 수십 개 국의 연구자들이 참여하고 있다.

■ 석탄층 저장

석탄층에 이산화탄소를 주입하여 석탄층 내 메탄가스를 회수하는 방법은 경제적인 이점을 갖고 있어 오래 전부터 사용되어온 기술이다. 석탄층의 내부 석탄 면은 약 5nm 이하의 미세 공극으로 구성되어 있으며 생성된 메탄가스의 저장소 역할을 한다. 흡착되어 있는 메탄가스를 이산화탄소로 대체함으로써 메탄가스의 회수를 증진시키고 이산화탄소를 저장하는 것이 이 방법의 핵심

이다. 이 방법에 대한 연구는 캐나다, 중국, 일본, 폴란드, 네덜란드 등에서 주로 수행하고 있으며, 국내에서도 기초연구가 시도되고 있으나, 아직까지는 국내의 석탄층 지질구조로는 적당한 저장 용량을 확보하기가 어렵다는 것이 중론이다.

3. 전망

이산화탄소의 다양한 저장방법을 소개하였으나, 이외에도 이산화탄소의 광물화 기술, 현무암/감람암/석회암 등의 특수지층에의 저장 등 여러 가지 방법들이 경쟁을 펼치고 있는 실정이다. 또한 가장 유망하다고 평가받고 있는 대염수층 저장방식의 대안으로써, 해저면 500m 정도에서 이산화탄소가 물 분자와 결합하여 자연적으로 형성되는 하이드레이트를 덮개암으로 활용하는 천층저장 기술도 관심을 가지고 연구되어야 할 분야이다. 2020년 본격적으로 펼쳐질 CCS 시장을 고려할 때, 이 중에서 어떠한 기술이 시장을 지배할 지는 현재로서는 예단하기 어려우나, 우리나라의 경우도 저장기술에 본격적으로 투자하여 국격에 걸맞는 위상을 제고해야 할 시점이다. 아울러 궁극적으로는 이산화탄소의 저장뿐만 아니라, 발생된 이산화탄소의 재활용을 통하여 버려지는 자원을 고부가가치화 하는 미래를 앞당겨 나가야 한다. KEA