

## CO<sub>2</sub> 해양처리방안 비교연구

정노택<sup>1,\*</sup> · 강성길<sup>1</sup> · 강창구<sup>1</sup> · 박용찬<sup>2</sup> · 윤치호<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>한국해양연구원, <sup>2</sup>한국지질자원연구원

## A Comparative Study on the CO<sub>2</sub> Storage Method

R.-T. Jung<sup>1,\*</sup>, S.-G. Kang<sup>1</sup>, C.-G. Kang<sup>1</sup>, Y.-C. Park<sup>2</sup>, and C.-H. Yoon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Ocean Research & Development Institute, <sup>2</sup>Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

### 요 약

화석연료소비가 인하여 대기 중의 온실가스농도가 계속해서 증가하고 있는 추세이며, 이에 따른 기상이변, 생물다양성 감소와 해수면 상승 등 예상치 못한 기후 변동이 계속 발생하고 있다. 본 기술논문에서는 온실가스의 대부분을 차지하는 CO<sub>2</sub>를 심해양(2,000 m 이상)에 친환경적으로 처리하는 기술(심해분사법, 해저저류법, 해저지중처리법)에 대해 비교연구를 수행하였다. 뿐만 아니라 CO<sub>2</sub> 처리기술의 유효성 평가, CO<sub>2</sub> 처리기술의 환경영향 평가기술, CO<sub>2</sub> 해양처리에 관한 국제법적, 사회적 수용여부와 국내 연구방향 및 기대효과 등에 관하여 논하였다.

**Abstract** – The concentration of atmosphere carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) which is one of the major greenhouse gas, continues to rise by the increase in fossil fuel consumption, forest destruction and decrease of biological diversity, etc. In order to weaken the global warming, a reduction of CO<sub>2</sub> discharge to the atmosphere is required. The CO<sub>2</sub> ocean sequestration technology utilizes the intrinsic oceanic capacity of CO<sub>2</sub> absorption, diluting and/or dispersing the liquefied CO<sub>2</sub> in the deep ocean (>2,000 m). This geo-engineering approach is regarded as one of the occasions to mitigate the CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere. Some developed countries such as Japan, USA, Norway, etc. have intensively carried out the projects on the research and development of CO<sub>2</sub> ocean sequestration since 1990s. There have been several approaches to develop the relative technological system to mitigate the increasing CO<sub>2</sub>, however, there was no systematic and practical R&D programme in the CO<sub>2</sub> ocean sequestration. This paper has described the state of the art on the three optional methods of CO<sub>2</sub> sequestration, and compared with them in the aspect of the applicable possibility.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> ocean storage(CO<sub>2</sub> 해중저장), CO<sub>2</sub> geological storage(CO<sub>2</sub> 지중저장)

### 1. 서 론

앞으로 100년 이내에 지구 평균온도는 1~6°C 이상 증가될 것이고 이로 인해 인류는 통제 불능의 기상이변, 해수면 상승(연안역 침수), 생물다양성 감소, 산림 파괴, 수자원(식수)고갈, 식량생산 감소, 질병유발 등의 문제를 겪게 될 것이라 한다. 이러한 지구 온난화는 주로 인류가 산업 경제 활동을 통하여 대기중으로 방출하는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)량의 증가에 의해 발생하는데, 20세기 이후 산업화의 가속과 더불어 지구온난화의 강도도 증가하고 있다. 지구온난화에 대한 근본적인 대처방안은 대기로 방출되는 CO<sub>2</sub> 양을 줄이는 것이므로 선진국을 중심으로 다양한 CO<sub>2</sub> 저감기술이

개발되고 있다. 여러 CO<sub>2</sub> 저감기술 중 큰 주목을 받고 있는 것의 하나가 특정 발생원으로부터 CO<sub>2</sub>를 대량으로 포집하여 이산화탄소 저장용량이 매우 큰 해양이나 해저의 고갈 유·가스전 또는 대수층에 저장시키는 기술이다. 이는 미국, 일본, 노르웨이 등을 중심으로 연구 개발되고 있는데, 일본의 경우 화력발전소 등 CO<sub>2</sub>를 대량으로 발생시키는 대규모 공업시설에서 이산화탄소를 포집/액화시켜 2,000 m~3,000 m 심해 등에 환경 친화적으로 영구적으로 격리시키고자 하는 연구개발을 지난 90년 중반부터 수행하고 있다. 이러한 해양처리기술은 'CO<sub>2</sub> 발생을 감축'하거나 'CO<sub>2</sub>를 분리/포획'하거나 또는 '대체에너지 및 청정에너지'를 보급하고자 하는 일반적인 지구온난화 대응기술들이 갖는 약점들, 예를 들면, 교토의정서 등에서 요구하는 대량의 CO<sub>2</sub> 배출감축 요구를 가시적으

\*Corresponding author: rtjung@kriso.re.kr

로 짧은 기간내에 충족시키지 못하는 약점들을 보완해 줄 새로운 대안기술이라는 점에서 많은 관심을 끌고 있다.

우리나라에서도 지구 온난화에 적극 대처하고 교토의정서 채택에 따른 국내 경제/산업 피해를 미연에 방지하기 위하여 과학기술부 프론티어 연구개발사업 등을 통해 주로 CO<sub>2</sub> 발생자체를 억제하기 위한 에너지 절약기술, 천연가스로의 연료전환기술, 천연에너지(태양광, 풍력, 수력, 조력 등)나 원자력 등 비화석연료로의 전환기술 등을 개발하고 있다. 우리나라의 CO<sub>2</sub> 배출규모나 증가속도를 고려할 때, 우리나라에서도 CO<sub>2</sub> 해양처리기술 등의 CO<sub>2</sub>를 대량으로 처리할 수 있는 기술 개발을 적극 검토해 볼 필요가 있다.

## 2. CO<sub>2</sub> 처리기술의 종류

선진국에서 연구되는 CO<sub>2</sub> 대량처리를 위한 처리기술에는 크게 해양처리와 지중처리가 있다. 해양처리 방식으로는 육상에서 CO<sub>2</sub>를 포집액화시켜 심해에 특수선박을 이용하여 작은 CO<sub>2</sub> 액체방울 상태로 분사하는 해중용해법(일본 RITE, Murai 등 2003)과 해상플랫폼으로 CO<sub>2</sub>를 이송해 와서 수직 파이프를 통하여 큰 방울 상태로 해저면으로 자유 낙하시키는 해저저류법(일본 NMRI, Aya 등 2003)이 있다. 지중처리에는 고·중·저 유·가스전 또는 심부 대수층에 주입하는 방법과 난채굴 석탄층에 CO<sub>2</sub>를 주입하여 석탄층내 메탄의 탈착을 촉진하고 CO<sub>2</sub>를 석탄표면에 흡착시키는 방법(일본 RITE, AIST) 등이 있다. 대규모의 유·가스전을 보유한 미국의 경우 지중처리기술이 상대적으로 많은 연구가 진행되고 있다. 계속해서 각 처리기술에 대해 구체적으로 기술한다.

### 2.1 심해분사법

일본의 해양처리사업은 지구환경산업연구기구(RITE, Research Institute of Innovative Technology for the Earth)가 연구수행하고 신에너지산업기술종합개발기구(NEDO, New Energy and Industrial Technology Development Organization)의 예산지원으로 1997년부터 2002년까지 연구개발 1단계가 종료되었으며, 현재 2단계가 진행중에 있다. 심해 분사기술의 연구개발현황을 구체적으로 요약하면 발전소 및 제철소등 CO<sub>2</sub>의 발생원으로부터 분리·회수 단계를 연안으로부터 수백 km 떨어진 지정 해역으로 운송해서 해양의 중심층(2,000 m~2,500 m)에 파이프를 통해 CO<sub>2</sub>를 방출시켜 심해의 자연회석능력을 이용하여 친환경적으로 용해회석시키는 방식이다. 산업혁명이후, 대기중으로 배출되는 CO<sub>2</sub>양이 계속적으로 증가됨에 따라 해양 표층생물들의 자연적·피해가 우려되는 것이 현실적 문제로 대두된다. 본 해중분사기술은 표층수를 거치지 않고(bypass) 심해에 자중 회석능력을 이용하는 방법으로 대량의 CO<sub>2</sub>를 일정기간과 장소에 격리시킴으로서 대기의 CO<sub>2</sub>농도를 인위적으로 안정화시킬 수 있다고 본다. 이 방법은 선박을 이동시키면서 방출한다고 하여 Moving Ship 방법이라고도 부르며, 방출된 CO<sub>2</sub>는 직경 수 mm 정도의 액적이 되어 해류를 따라 흘러가면서 해수에 용해된다. 연구항목으로 1) 회석노출 개발, 2) 방출파이프의 개발, 3)

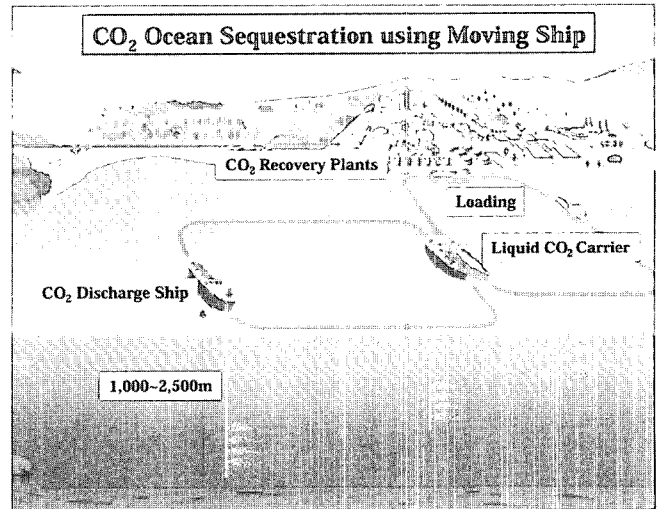


Fig. 1. 일본에서 중점추진중인 CO<sub>2</sub> 해양처리기술의 사례(심해분사).

Moving Ship의 진행방향 결정기술, 4) 방출해역에서의 CO<sub>2</sub>의 회석, 거동 시뮬레이션을 위한 모델 개발, 5) 방출된 CO<sub>2</sub>의 모니터링 기술, 6) 심해저 생물영향평가와 경제성 및 안전성평가 등이 있다.

일본에서의 해중분사기술 관련 연구개발 최종목표는, 일본의 연간 CO<sub>2</sub> 총배출량인 약 12억톤중 화력발전소 2.5기에서 방출하는 1,000만톤의 CO<sub>2</sub>를 해양에 처리할 수 있는 제반 기술 및 시설개발을 하는 것이다. 해양처리를 위하여 CO<sub>2</sub> 운송선 2척, CO<sub>2</sub> 방출선 2척을 동시에 운용할 계획이며, CO<sub>2</sub> 방류선으로부터 수심 2,000~2,500 m에 액적상태로 방출되는 CO<sub>2</sub>는 Fig. 1와 같이 커튼 형상을 이룰 것이다. 초기 분사농도는 대략 6만분의 1로 약 17 ppm으로 설정되어 있으며, Moving Ship이 100 km사방의 해역을 왕래하면서 운항하며, 두께 1,000 m의 해수에 균일하게 CO<sub>2</sub>를 희석했다고 하면, 그 해역의 CO<sub>2</sub> 농도 상승분은 발전소 1기당 0.4 ppm로 2.5기분의 CO<sub>2</sub>를 방류하면 1 ppm이 증가하게 된다. 해양의 중심층에는 현재 약 100 ppm의 CO<sub>2</sub>가 존재하는데, 결과적으로 Moving Ship방식은 해양환경의 CO<sub>2</sub> 농도를 약 1%정도 올리게 된다. 일본에서는 위와 같이 수심 2000 m 이상의 심해에 CO<sub>2</sub>를 배출하기 위해 요구되는 제반 세부적인 기술적 사항들을 연구 중에 있다.

### 2.2 해저저류법

CO<sub>2</sub> 해저저류법은 일본 국토교통성(MLIT)로 부터 위탁을 받아 수행중인 프로 젝트로서 COSMOS(CO<sub>2</sub> Sending Method for Ocean Storage)가 있는데, 본 연구는 일본 해사기술연구소(NMRI)의 아야 이주오박사가 주도하고 있다. 일본에서 추진하고 있는 CO<sub>2</sub> 심해 저류법은 대기로부터의 해양격리기간이 1,000년 이상이 된다는 장점이 있다. 그러나 처리수심의 깊이 때문에 기술과 비용, 아울러 특정해역의 해저에 CO<sub>2</sub> 액포를 쌓아두어야 하기 때문에 그 지역의 환경문제가 이슈화 될 수 있다는 단점이 있다.

먼저 화력발전소 등으로부터 분리 회수된 CO<sub>2</sub>를 탱크선으로 운송할 때에는 탱크 압력을 가능한 한 저압으로 유지하기 위해 -55°C

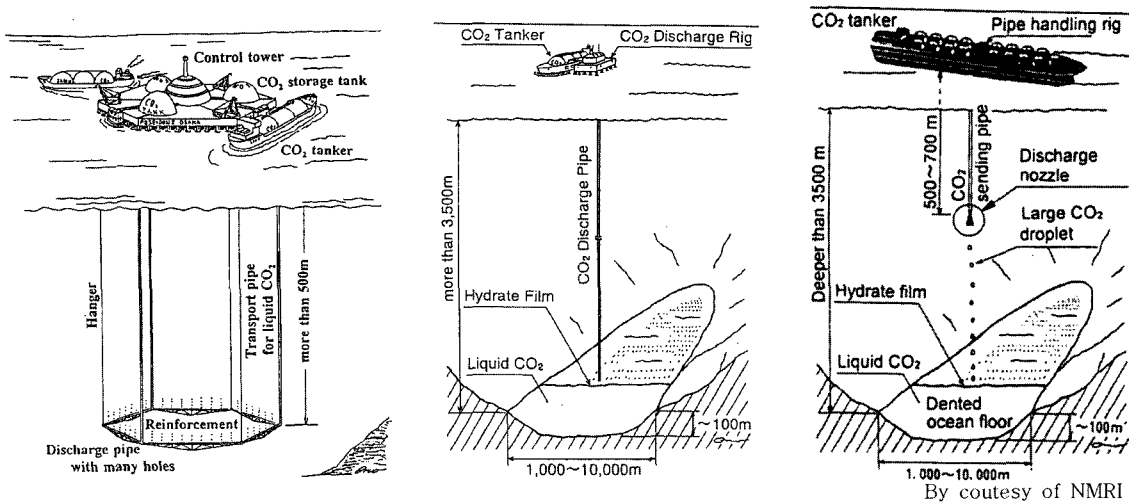


Fig. 2. 다양한 해양저류법의 모식도.

정도의 저온액체로서 운송된다. 이와 같은 저온 CO<sub>2</sub>를 심해 500m의 해중에 방출될 때의 온도는 -35°C 이하로 되나 열팽창계수가 물의 열배 이상인 CO<sub>2</sub>는 이 심도에서 해수보다 충분히 무겁게 된다. 따라서 방출 CO<sub>2</sub> 액포의 크기를 한계치(약 1m)보다 크게 하면 해수로부터 수열에도 관계하지 않고, 해수와 같은 온도의 CO<sub>2</sub>가 해수와 같은 밀도가 되는 심도(약 2,700m)를 넘어 저류 가능한 3,500m 수심까지 자유낙하 하게 된다(Fig. 2). 저온 CO<sub>2</sub>의 물성을 이용한 새로운 CO<sub>2</sub> 투입법으로 미국, 노르웨이 연구팀과 공동 연구 중에 있다.

해저저류법의 향후 개발전망으로서는 1) 저온 CO<sub>2</sub> 큰 액포를 안정적으로 방출하는 것이 가능한 능동형 방출노즐의 개발, 2) 저류 장소로부터의 CO<sub>2</sub> 용해, 감시용으로서 사용되는 고신뢰성, 고내압 PH 센서의 개발, 3) 열염과 하이드레이트막에 둘러싸여진 저온 CO<sub>2</sub> 대액포의 해중 다이내믹스의 해명, 4) 심해해저의 해저분지에 저류된 CO<sub>2</sub>의 안정성과 하이드레이트막의 용해성 평가, 5) 저류 사이트 주위의 CO<sub>2</sub>에 대한 심해생물의 내성평가, 6) 개발된 능동형 방출노즐의 실험실 검증실험 등이 있다.

### 2.3 해저 지중처리기술

지중처리 방안 가운데 해양과 관련된 처리방식으로서 고갈 유·가스전, 심부대수층과 심해저 메탄하이드레이트층 등을 활용하는 기술이다. 먼저 고갈 유·가스전은 이미 장기간 동안 가압된 유체를 저장하는 능력을 검증 받은 상태이기 때문에 단시간에 실현가능성이 가장 큰 방법이다. 일반적으로 유전의 경우 1, 2차 회수를 통해 매장량의 30~40% 가량을 회수할 수 있으며 이산화탄소를 주입하여 추가적으로 10~15% 정도를 회수할 수 있게 된다. 이를 오일회수증진법(Enhanced Oil Recovery)이라 하며 오일을 회수하고 이산화탄소를 주입하는 일석 이조의 효과를 얻을 수 있다. Fig. 3은 노르웨이 StatOil의 북해 Sleipner West Field로 여기서 생산된 천연가스로서 이산화탄소를 분리하여 가스층 상부

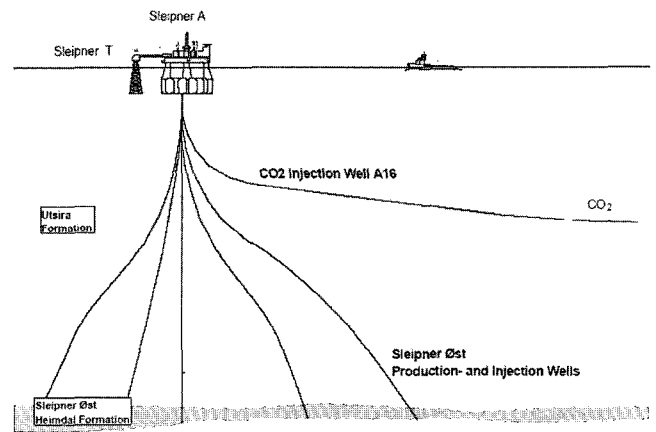


Fig. 3. 북해 Sleipner West 가스전의 대수층 CO<sub>2</sub> 격리(Kastad, 2002).

Utsira 대수층에 매년 100만톤씩 주입하고 있다(Kastad, 2002). 대수층을 활용하기 위한 기술은 유·가스전과 크게 차이가 없으나 대수층이 존재하는 구조에 대한 특성구명 작업과 함께 격리대수층을 결정하는 정밀탐사기술개발이 선행되어야 한다.

최근 미래 에너지 자원으로 떠오르고 있는 메탄하이드레이트가 부존되어 있는 심해저 천부 퇴적층 또한 해저 지중격리 방안의 하나이다. 수심 약 300m 이상 해저에 존재하는 천부 퇴적층은 낮은 온도와 높은 압력으로 인해 하이드레이트가 형성될 수 있다. 이런 이유로 전 세계적으로 메탄 하이드레이트가 널리 분포하고 있는 것으로 보고되고 있으며 이 지층에 이산화탄소를 주입할 경우 주입된 이산화탄소는 공극수와 결합하여 CO<sub>2</sub> 하이드레이트를 형성하고 메탄은 해리된다(Koide 등, 1997). 지구 표면온도 상승으로 인한 자연적인 퇴적층의 온도가 상승하면 메탄이 해리될 수 있으며 이는 CO<sub>2</sub>와 마찬가지로 지구온난화의 원인이 되므로 심해저 퇴적층에 CO<sub>2</sub>를 격리하고 메탄을 자원으로 생산하는 기술은 환경적인 측면이나 자원확보 측면에서 많은 연구가 수행되어야 한다.

### 3. CO<sub>2</sub> 처리기술의 유효성 평가

자연 상태하에서도 대기의 CO<sub>2</sub>가 해양으로 흡수되나, 그 속도가 느리기 때문에 인류가 산업 활동 등을 통해 배출하는 CO<sub>2</sub>가 자연적으로 해양으로 흡수되기까지는 막대한 시간이 요구된다. CO<sub>2</sub> 해중분사법은 대기로부터 방출될 CO<sub>2</sub> 산화탄소를 해양표층을 통하여 않고 심해층으로 직접 유입시켜 대기와 해양간의 CO<sub>2</sub> 교환을 가속시키는 기술이라 할 수 있다.

일본 RITE의 연구에 의하면, 해양의 최대 CO<sub>2</sub> 격리 가능량은, 용존탄소의 상승허용가능농도(현재농도에서 2% 추가상승), 해역 면적(대서양의 경우 2\*10<sup>7</sup> km<sup>2</sup>), 용해회석 할 수 있는 수층의 두께(2,000 m)를 곱하여 계산할 경우, 대서양이 탄소량으로 약 240억톤, 태평양이 약 600억톤, 인도양이 약 400억톤으로 총 1240억톤으로 계산되었다. 대기 중 CO<sub>2</sub>농도의 연간 증가량이 33억톤을 감안할 때 해양의 저장능력은 매우 크다고 하겠다. 해양에 용해 회석된 CO<sub>2</sub>가 어느 정도의 기간 동안 격리될 수 있을지를 의미하는 해양저장효율은 다양한 해양 순환 모델링으로 추정된 결과 심해 수괴층의 혼합의 정도, 위도에 따라 달라지지만 향후 200년이 지난 시점에서도 초기 주입량의 60~80%가 해양에 잔류할 것으로 평가된다. 앞으로 보다 많은 자료에 기반하여 정량적인 모델링을 수행할 필요가 있고, 기존의 연구결과들은 해양에 투기된 CO<sub>2</sub>중 일부는 대기로부터 재 방출될 수 있지만 대부분의 CO<sub>2</sub>는 수 백년간 바다속에서 격리될 수 있음을 보여준다.

한편, 지중격리의 경우에 전세계적으로 가스전의 경우 탄소량으로 약 6,900억톤, 유전은 1,200억톤 정도의 이산화탄소를 격리할 수 있을 것으로 추산되고 있으며(John, 2002) 미국의 경우 EOR 및 고갈 유·가스전 주입을 통한 CO<sub>2</sub> 저장능력이 약 1,500톤, 미국 연간 배출량의 30배 정도로 추정하고 있다 (NETL, 2004). 국내의 경우 현재 생산중인 동해-1 가스전을 장기적으로 격리장으로 활용할 수 있을 것이다.

이에 비해 심부 대수층을 활용하는 방안은 유전이나 석탄층과 같이 부산물에 의한 비용 절감효과는 없으나 전세계적으로 널리 분포되어 있으며 추정 저장능력이 최소 4,000억톤에서 최대 10조톤에 이를 정도로 매우 크다.

### 4. CO<sub>2</sub> 처리기술의 환경영향 평가기술

해양에 처리된 CO<sub>2</sub>로 인해 해양환경 및 생태계가 받는 영향 정도는 본 기술이 실제로 구현될 수 있는지를 최종 진단하는데 상당히 중요한 변수이다. 이와 관련하여 일본에서는 CO<sub>2</sub> 해양처리 환경평가 연구를 CO<sub>2</sub> 해양처리에 관한 제반 공학적 기술연구와 함께 2개의 큰 연구축으로 설정하고 있다. 일본 RITE 연구사례를 살펴보면, 심해에 분사된 CO<sub>2</sub> 농도는 커튼 모양으로 분사하여 초기의 고 농도상태에서도 약 1% 이하로 증가되고 더욱이 그 분사된 농도는 하루에 약 1/10까지 희석된다는 것이 알려져 있다. 따라서 플랑크톤이 살 수 있는 환경과 통상 해수와 그 특성이 크게

변화되지 않는다고 여겨지나, 초기 분사농도, 대상생물의 종류에 따라 그 결과는 달라질 수 있다. 한편, 2001년 12월 28일에 NHK TV에 교토대학의 시로야마 교수가 수행한 CO<sub>2</sub>에 농도에 따른 성체의 수정률에의 영향에 관한 연구결과가 보도된 바 있는데, 그에 따르면 CO<sub>2</sub> 농도가 500 ppm의 대기와 평행한 해수 중에는 성체의 수정률의 저하가 나타난다고 한다. 앞으로 다양한 해양생물을 대상으로 하여 CO<sub>2</sub> 농도에 따른 급성독성 뿐만 아니라 장기간 노출에 의한 생물의 만성독성 평가를 수행하여야 하며, 이를 기반으로 CO<sub>2</sub> 처리에 따른 생물영향을 예측하고 이를 제어하기 위한 관련된 생태 위해성 평가모델 구축도 수행하여야 할 것이다. 본 환경영향평가 실험결과는 환경중에 최소한의 영향을 미치는 CO<sub>2</sub> 분사농도 결정 및 관련 분사노출 설계 등을 하는데도 이용할 수 있기에 환경 친화적인 CO<sub>2</sub> 해양처리기술을 개발함에 있어 매우 핵심적이고도 중요하게 다뤄져야 할 것이다.

### 5. CO<sub>2</sub> 해양처리에 관한 국제법적, 사회적 수용여부

CO<sub>2</sub> 해양처리의 기술적, 환경적, 경제적 타당성 여부와 함께 해양처리에 대한 법적 문제에 있어 정합성의 논리를 만들어 나가는 것도 중요한 이슈중의 하나이다. 아직까지 CO<sub>2</sub> 해양처리에 관한 국제법적 허용 논의가 이뤄지지 않았기 때문이다. 이로 인해 현재 일부 관련된 마찰이 발생되기도 한다. 사례로, 지난 2002년 7~8월경에 노르웨이 서쪽 약 100 km 외해 북해에서 미국, 일본, 노르웨이, 캐나다, 스위스 5개국 이 공동으로 추진 예정이었던 공동 실험역 CO<sub>2</sub> 해양처리실험이 노르웨이의 환경청의 실험허가 취소결정으로 인해 중지되었던 사건이 발생되었다. 국제적으로 아직까지 CO<sub>2</sub> 해양처리가 완전한 기술로 인지도가 높지 못하고 있고 또한 그린피스 등의 환경단체와 노르웨이 환경성이 환경영향유무를 평가할 자료 부족등의 사유로 현장실험을 반대하였기 때문이다. 이후 2002년 11월 기후변동에 관한정부간판넬(IPCC)의 결정에 의해 2005년까지 탄소고정 및 저류에 관한 특별보고서를 작성하고 있는데, 여기에서 CO<sub>2</sub> 해양처리의 법적 정합성에 관한 심도 있는 논의가 수행될 예정이다.

### 6. 국내 연구방향 및 기대효과

우리나라도 최근 10년간 CO<sub>2</sub> 배출증가속도 세계 1위, 온실가스 배출량 세계 9위 등을 감안할 때 향후 교토의정서에 의해 온실가스 배출규제국가로 분류될 가능성이 높다. 에너지경제연구원의 『한국의 지구온실가스 배출과 저감정책 도입방안연구』에 의하면, 우리나라가 교토의정서를 채택하여 2020년의 이산화탄소 발생량을 1995년 수준으로 만약 감축시켜야 할 경우, 1억 1천만TC(탄소톤)를 감축해야 하며 CO<sub>2</sub> 1톤당 저감비용으로 6백90달러, 부여된 CO<sub>2</sub> 감축목표를 충족시켜야 할 경우 소요되는 비용은 2020년에 약 9조2천억원, 2030년에는 약 30조4천9백억원이 소요될 것이라고 계산한 바 있다. 이에 우리나라도 교토의정서 채택과 온실가스 배출 감축의무가 시행될 경우에 막대한 경제적, 산업적 피해

를 미연에 방지하기 위해 이에 대한 적극적인 대응 기술의 개발이 요구되는 바, 특히 일본 등과 같이 대량으로 CO<sub>2</sub> 격리를 가능하게 하는 CO<sub>2</sub> 해양처리기술 가능성을 적극 검토할 필요가 있다.

국내에서 CO<sub>2</sub> 해양처리기술 연구개발을 수행할 경우 이에 대한 경제적, 기술적 기대효과는 매우 막대하다. 첫째, 지난 90년 중반 이후 관련 R&D를 추진한 일본, 미국, 노르웨이 등 선진기술을 조기에 국산화하여 CO<sub>2</sub> 배출규제로 인한 국내산업 및 환경보호를 할 수 있으며, 둘째 연간 9백만톤의 CO<sub>2</sub>를 우리나라에서 직접 처리함으로써 지구온난화 예방 및 국내 산업피해 예방 등 관련 간접이득을 제외하고도 연간 약 9천억원 [추정근거: 9백만톤CO<sub>2</sub>/년(처리량)\*\$100/톤CO<sub>2</sub>(거래가 가정)] 이상의 경제효과를 얻을 수 있다. 또한 셋째, 본 연구개발을 통해 CO<sub>2</sub> 해양처리사업을 수행함으로써 우리나라의 CO<sub>2</sub> 배출권거래제(ET) 확보와 이에 따른 산업체 주도의 청정개발체제(CDM) 구축 가능하며 막대한 온실가스 저감 credit를 확보하여 국가경쟁력을 제고할 수 있다. 아울러 관련 기술을 해외로 수출하여 관련된 환경산업적 경제이득을 거둘 수 있게 된다. 환경성과 경제성을 모두 지향하는 CO<sub>2</sub> 해양처리기술에 관한 R&D가 국내에서 본격적으로 수행되길 기대한다.

## 7. 결 론

향후 국내 CO<sub>2</sub> 발생량의 감축제재를 국제적으로 압력을 받게 되면 국내 산업경제발전에도 적지 않은 파급효과가 우려된다. 국내 경제/산업 피해를 미연에 방지하기 위하여 과학기술부 프론티어 연구개발사업 등을 통해 에너지 절약기술, 연료전환기술, 천연에너지나 원자력 등 비화석연료로의 전환기술 등과 동시에 CO<sub>2</sub> 해양처리기술 연구개발 사업을 통한 대규모 처리기술 개발도 동시에 이루어져야 한다.

본 논문에서는 CO<sub>2</sub>의 대규모 해양처리방법으로서 심해분사법, 해저저류법, 해저 지중처리법에 관해 최신기술동향을 분석하고, 각 처리방법에 대한 유효성평가 및 국제법과 관련한 국제사회의 수용여부 그리고 환경적 평가연구등에 관해서 다루었다. 특히 CO<sub>2</sub> 해양처리에 관한 국제사회의 수용여부를 위해 IPCC에서 Special Report를 작성하여 2005년도 말경에 국제관련회의를 가질 예정이다.

해저 지중처리법은 심해분사법과 해저저류법보다 국제사회에서 보다 유리한 위치를 점유하고 있다. 왜냐하면, 해저지중기술은 오래전부터 개발해 온 화석연료(석유가스등)개발 기술과 상당부분 공유될 수 있기 때문이다.

앞으로 국내에서 CO<sub>2</sub> 해양처리 관련 연구개발을 수행함에 있어 외국의 선형 사례는 귀중한 자료가 될 수 있을 것이다. 앞으로 국내에서 CO<sub>2</sub> 해양처리기술을 적용하기 위해서는 수송 및 저장 운반을 위한 처리설비기술과 pH의 초기 희석율에 직접적인 영향을 주는 파이프 및 노즐설계 등의 처리운용기술, 그리고 CO<sub>2</sub> 해양 순환모델기술과 심해저 생물 독성평가를 위한 환경영향평가기술 등이 개발되어야 한다. 이를 위해 해양생태, 조산해양공학, 기계공학, 해양물리, 응용화학, 환경독성학, 지질학, 자원공학, 경제

학, 국제법 등 다학제적 연구팀을 구성하여 앞으로 최소 10년간 집중적인 연구개발을 추진하여야 한다. 일본과 비슷하게 연간 900만톤의 CO<sub>2</sub>를 2015년 이후에 실제 수행한다는 구체적 목표(CO<sub>2</sub> 감축예정량의 약 3%이상)하에 이를 실현시킬 수 있도록 하는 목표 지향적 실용연구를 수행할 필요가 있다.

물론 관련 R&D 연구개발이 대규모 연구비를 요구한다는 점에서 우선적으로 관련 핵심/원천기술을 개발하고, 해양처리기술의 산업화 및 실용화는 교토의정서 채택에 따른 CO<sub>2</sub> 배출규제 및 강도, 시기, CO<sub>2</sub> 배출권 등의 시장성 등에 관한 국제적인 여건변화와 연계하여 추진할 필요성이 있다. 아울러 연구개발의 리스크와 추진 효율성을 극대화하기 위해서 일본등과 국제공동연구를 적극 추진하고 향후 산업화를 용이하게 하기 위하여 발전소나 제철소 등 CO<sub>2</sub> 대규모 배출기업들의 참여를 적극 유도할 필요성이 있다.

## 후 기

본 논문은 해양수산부 해양수산연구개발과제인 『CO<sub>2</sub> 해양처리기술개발연구』 사업의 일부임을 밝혀둔다.

## 참고문헌

- [1] 강성길 외, "CO<sub>2</sub> 가스 해양격리시스템 연구개발 타당성 기획 연구", 2004, 해양수산부.
- [2] Murai, S., Ohsumi, T., Nishibori F., and Ozaki M., 2003, "The second phase of japanese R&D program for CO<sub>2</sub> ocean sequestration", Greenhouse Gas Control Technologies, Vol I, Elsevier Science Ltd., 733-738.
- [3] Aya, I., Kojima R., Yamane K., Brewer P.G., and Peltzer, E.T., 2003, "In situ experiments of cold CO<sub>2</sub> release in mid-depth", "The Second Phase of Japanese R&D Program for CO<sub>2</sub> Ocean Sequestration", Greenhouse Gas Control Technologies, Vol I, Elsevier Science Ltd., 739-744.
- [4] John, 2002, "Overview of CO<sub>2</sub> emission sources, potential, transport and geographical distribution of storage possibilities", the Proceedings of Workshop on Carbon Dioxide Capture and Storage, Regina, Canada, 18-21 Nov.
- [5] Kastad, Olav, 2002, "Geological storage, including costs and risks, in saline aquifers", the Proceedings of Workshop on Carbon Dioxide Capture and Storage, Regina, Canada, 18-21 Nov.
- [6] Koide, H., Y. Shindo, Y. Tazaki, M. Iijima, K. Ito, N. Kimura and K. Omata, 1997, "Deep sub-seabed disposal of CO<sub>2</sub> The most protective storage", Energy Conversions and Management, Vol. 38, pp. 253-258.
- [7] NETL, 2004, Carbon Sequestration - Technology Roadmap and Program Plan 2004, <http://www.netl.doe.gov>.

2005년 2월 28일 원고접수  
2005년 8월 8일 수정본 채택