

『포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축』 기획연구

- 최종보고서 -

연구수행기관 :



제 출 문

본 보고서를 『포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템 구축』 기획연구의 최종보고서로 제출합니다.

2015년 12월

주관연구기관명 : 한국해양과학기술원

주관연구책임자 : 신 경 순

[기획위원 명단]

김영호 (대신국제특허법률사무소)

박세헌 (한국해양과학기술원)

이우진 (한국해양과학기술원)

장풍국 (한국해양과학기술원)

현봉길 (한국해양과학기술원)

김정은 (한국해양과학기술원)

양희철 (한국해양과학기술원)

장민철 (한국해양과학기술원)

최근형 (충남대학교)

[자문위원 명단]

김형오 (㈜선보공업)

서성진 (한국선급)

이현영 (㈜뉴워터텍)

이철중 (선주협회)

정순관 (한국에너지기술연구원)

박영철 (㈜뉴워터텍)

이기택 (포항공과대학교)

이지현 (한국전력연구원)

이태훈 (㈜선보공업)

신수철 (동아대학교)

Contents 목차

I 개요

1.1. 연구/개발의 배경 및 필요성	7
1.2. 연구 최종 목표	8

II 특허동향 및 기술추세분석

2.1. 서언	13
2.2. 기술추세분석	20
2.3. 상세분석	28
2.4. 소결	70

III 정책동향 및 법·제도 분석

3.1. CO ₂ 육상포집 및 재활용 국제동향	75
3.2. 국제해사기구의 GHG 선박배출 규제	83
3.3. 우리나라의 CO ₂ 배출규제 및 향후 대응 방안	87

IV 선상 이산화탄소 포집 및 전환/활용 기술

4.1. 선박에서의 이산화탄소 포집기술	97
4.2. 포집된 이산화탄소의 활용	142
4.3. 포집 이산화탄소의 활용 상세분석	148

V 경제성분석 및 파급효과

5.1. R&D사업 편익 추정의 원칙	167
5.2. 편익의 추정	168
5.3. 비용의 추정	170
5.4. 경제성 분석결과	171
5.5. 경제적 파급효과 분석	172

VI 연구목표 및 제안기술

6.1. 연구 목표	181
6.2. 제안 기술	182
6.3. 연구 개발 추진 전략 및 체계	213

부록. 논문

I. 개요

- 1 연구/개발의 배경 및 필요성
- 2 연구 최종목표

I. 개요

- 사업명 : 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구
- 연구기간 : 2014년 12월 29일 ~ 2015년 6월 28일
- 주관연구기관 : 한국해양과학기술원 (연구책임자 : 신경순 책임연구원)

1.1. 연구/개발의 배경 및 필요성

- 육상 포집 이산화탄소 처리 및 전환기술
 - (화력)발전소와 산업체는 전체 CO₂ 배출량의 약 45% 차지
 - OECD/IEA의 CO₂ 감축 시나리오
 - 예측된 감축량의 43% 고효율화 기술, 38% 에너지원 기술, 19% 사후처리기술(CCS, 이산화탄소 포집 및 저장) 담당
 - 배출시설에서 포집된 CO₂를 CO₂ 폐기물 혹은 CO₂ stream으로 정의하고 법령상 사업장 폐기물로 고려함
 - 포집 CO₂는 지중, 해중 저장 내지 전환기술이 시도 됨
 - 전환기술은 저장처럼 한 번에 다량의 CO₂ 처리는 어렵지만, 입지조건에 대한 제약이 적고, 수익을 낼 수 있음
 - 또한 재활용을 통해 대체 화석연료로 전환할 수 있어서 이목을 끌고 있음
 - CO₂ 재활용 기술은 CO₂ 발생량 과 사용 에너지(자원)를 줄여야 하는 한계성을 갖고 있음.
- 선박 이산화탄소 포집
 - 전 세계 모든 선박에서 배출되는 CO₂ 배출량은 총 배출량의 3.3%를 차지하고, 국제항해 선박의 배출량은 2.7%를 차지 함
 - 국제해사기구(IMO) 58차 해양환경보호위원회(MEPC, 2008년 3월)에서 선박의 CO₂ 배출 감축문제를 주요 의제로 논의하기 시작 함
 - 현재 에너지효율에 초점이 맞추어져 있지만 향후 친환경선박인 LNG엔진으로의 전환되면 결국 선박에서도 CCS 논의가 이루어질 것으로 예상됨
 - CO₂ 전환기술은 매우 제한적 이지만, 지중저장 또는 해저 지중저장의 경우 막대한 예산과 입지조건을 요구하고 있어서, 포집된 육상 CO₂의 다양한 전환기술 또는 활용기술 개발이 요구 됨
 - 특히 향후 선박 배출 CO₂의 포집에 대한 활용을 검토하고 준비해야 함.
- 포집된 이산화탄소의 활용방안 부재
 - 포집 CO₂ 사후처리 기술로 화학, 생물학적 전환이 가능하나 제안된 기술이 매우 제한적이고 전환에 드는 에너지나 비용도 막대할 것으로 예상됨
 - 선박은 전 세계 CO₂ 배출량의 약 3% 차지하고 있으나 향후 2050년까지 약 3배 이상 배

출 증가가 예상됨

- IMO 66차 MEPC('14 3월)에서 NOx에 대한 규제 발효 합의가 이루어졌음
- 우리나라는 2013년 해양수산부(해사산업기술과)는 IMO 환경규제 대응 선도기술개발 사업의 예비타당성 조사 사전 준비를 위한 기술의 하나로 선박배출 CO₂ 제로화 처리기술개발에 선박용 CO₂ 포집기술 개발을 포함하고 있음.
- 향후 선박의 디젤엔진은 사양화되고 미래 선박은 환경친화적인 액화연개스 엔진으로 전환될 것이며, 이 경우 배출개스는 이산화탄소가 전부이며 선박에서 CCS가 현실화 될 경우 이에 대한 활용기술 개발이 필요함
- 선박에서 배출되는 이산화탄소를 현장 포집 및 저장하여 이를 기존 선박 또는 신조선에서 활용할 수 있는 경제성 있는 기술 적용이 필요함

○ 선상 이산화탄소 활용기술은 해양 신 성장 사업 개척 가능

- 다학제적 융복합 기술이며, 국제적 환경·안전 이슈에 선제적 대응 분야 임
- 선박평형수처리설비 산업처럼 CO₂ 활용기술은 정부의 선제적 지원으로 연구개발 및 투자를 촉진할 수 있을 것으로 판단됨
- CO₂ 포집, 활용기술은 CO₂ 배출권 확보에도 기여하며 능동적으로 해양환경보호에 기여할 것 임.

○ 친환경 녹색성장의 일환으로 Green Ship 개발

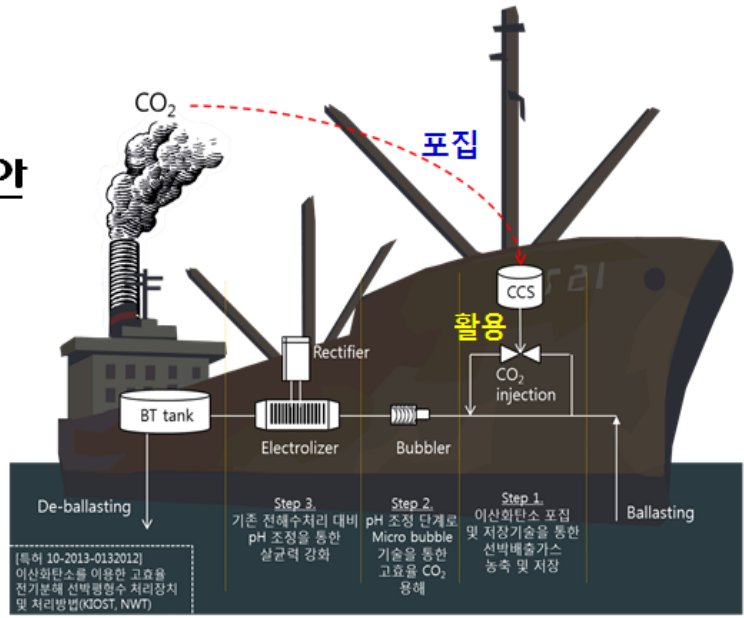
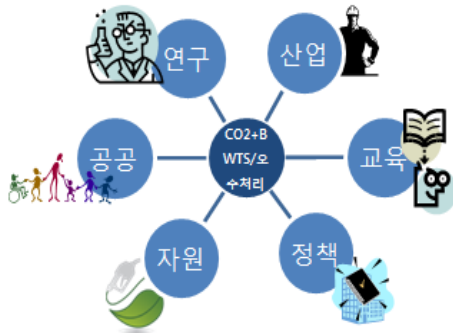
- 선박배출 CO₂ 저감(제로화) 기술개발 요구
- 친환경 평형수처리설비 개발 요구
- 선박 오폐수처리 고도화 기술개발 요구

1.2. 연구 최종 목표

이산화탄소 증가에 따른 기후변화는 인류가 당면한 가장 큰 전 지구적 문제이며 이에 대한 다각적 대응이 요구된다. 선박은 전 세계 이산화탄소 배출량의 약 3% 차지하고 있으며 향후 배출량 증가가 예상되고 이미 선박 오염방지를 위한 국제협약 (MARPOL)「부속서 제VI장 개정('13.1.1 발효)에 따라 국제항해 선박의 이산화탄소배출 저감 및 규제가 점점 가속화될 전망이다. 이에 따라 우리 정부도 2013년 해수부 IMO 환경규제 대응 선도기술개발 사업의 예비타당성 조사 사전 준비를 위한 기술의 하나로 선박용 CO₂ 포집기술 개발을 포함하고 있다. CO₂ 포집기술은 육상에서는 이미 상용화 수준이며 다만 효율증대가 문제화되고 있다. 이에 반해 포집된 CO₂ 활용기술은 매우 제한되어 있고 특히나 선박에서의 선상활용기술은 전무한 상태이다. 본 제안은 **CO₂ 선상 포집 및 이의 선상활용기술 및 기타 활용 기술 적용**을 내용으로 하고 있다.



일체화된 시스템 제안 및 실선적용 제시



II. 특허동향 및 기술추세분석

- 1 서언
- 2 기술추세분석
- 3 상세분석
- 4 소결

II. 특허동향 및 기술추세 분석

2.1. 서언

2.1.1. 특허동향분석 배경

○ 육상 포집 이산화탄소 처리

이산화탄소 포지 및 저장 (Carbon Capture and Storage, CCS) 기술은 화석연료 사용으로 인한 CO₂ 배출량을 효과적으로 줄일 수 있는 기술로 다른 청정에너지원(신재생에너지)의 사용이 경제성을 확보할 때까지 다리 역할(Bridging Technology)을 담당할 현실적인 대안으로 고려되고 있다. CCS 기술은 전체 CO₂ 배출량의 약 45%를 차지하는 (화력)발전소와 산업체가 주요 대상이 되며, OECD/IEA(2008)의 CO₂ 감축 시나리오에 의하면 감축 예측량의 38%는 에너지원 기술, 43%는 고효율화 기술, 19%는 사후처리(CCS)기술이 담당할 것으로 예상되고 있다 (국립환경과학원 2012).

해양환경관리법 제23조(육상에서 발생한 폐기물의 해양배출금지 등)에 관한 법령에 따라 동법 시행규칙 제12조(해양배출이 가능한 육상폐기물의 종류 등)에 의해, 해저 지질구조 내 고립 격리 방법에 의하여 배출해야 하는 폐기물로 [이산화탄소 포집공정으로부터 발생한 'CO₂stream'으로서 국토해양부장관이 이산화탄소 스트림의 성질과 상태, 해저지질구조와 위치, 처리방법 등을 정하여 고시하는 폐기물] 규정하고 있다<개정 2010.9.6>.발전소(plant)등 배출시설에서 포집된 이산화탄소를 이산화탄소 폐기물 혹은 CO₂ stream으로 정의하고 법령상 사업장폐기물로서 고려되고 있다 (국립환경과학원 2012).

○ 육상 포집 이산화탄소 전환기술

따라서 지중 또는 해중저장 내지 전환기술이 시도되고 있다. 특히 우리나라와 같이 포집된 이산화탄소의 지중 저장 공간이 불충분한 지역에서는 포집된 이산화탄소를 유용한 자원으로 전환하거나, 지중저장 외에 해양 등 별도의 공간에 저장하는 방법을 선택할 수 있다.

대부분 이산화탄소 발생원과 상당히 멀리 떨어져 있어 접근성이 극히 낮다. 일정하게 흘러나오는 대량의 이산화탄소를 운송해야 하는 만큼 이산화탄소를 저장하기 위해서는 장거리의 파이프라인 구축이 불가피하다. 전환기술은 저장기술처럼 한 번에 다량의 이산화탄소를 처리하기는 어렵지만, 입지 조건에 대한 제약이 적고, 수익을 낼 수 있는 것은 물론, 재활용을 통해 대체 화석연료로 전환할 수도 있다는 점 등에서 이목을 모이고 있다.

이산화탄소를 재활용하는 새로운 공정은 전체 가치사슬 과정에서 총 이산화탄소 발생량을 줄일 수 있어야 한다. 또한 이산화탄소를 재활용하는 새로운 공정이 기존 대체 공정 대비 에너지와 자원 사용량을 줄일 수 있어야 한다. 이산화탄소의 경우 화학적, 열역학적으로 매우 안정한 물질이므로 이를 물리화학적으로 변환하기 위해서는 많은 에너지를 필요로 한다. 이산화탄소가 주로 1,000°C 수준의 발전 과정에서 배출되는 물질임을 생각해볼 때, 동일한 열화학적 방법으로 이산화탄소를 변환하는 것은 에너지 문제를 가중시킬 수 있다 (문 2011).

○ 선박 이산화탄소 포집

전 세계적으로 배출되고 있는 이산화탄소 배출량(2007년)은 약 310억톤¹⁾ 정도로 추정된다. 그 중에서 전세계 모든 선박에서 배출되는 이산화탄소 배출량은 총 10억1천9백만톤으로 전세계 배출량에서 3.3%를 차지하고, 국제항해 선박의 배출량은 8억 4천 3백만톤으로 2.7%를 차지한다²⁾.

IMO는 2008년 3월 MEPC 제57차 회의부터 선박의 이산화탄소 배출 감축문제를 주요 의제로 논의하기 시작하였다. 선박에서 이산화탄소 배출을 규제, 감축, 또는 통제한다는 것은 결국 선박에서 사용하는 연료를 줄인다는 뜻이다. 선박에서는 기관추진에 사용되는 연료의 연소에서 이산화탄소가 발생하고, 그 발생량은 연료 사용량에 비례하기 때문이다. 따라서 연료 사용량을 줄이는 “에너지 효율”과 “이산화탄소 발생량(지수, 인덱스)”이 중요한 용어로 사용되고 있다. 현재로서는 에너지 효율에 초점이 맞추어져 있지만 향후 친환경선박인 LNG엔진으로의 전환이 이루어지면 결국 선박에서도 CCS의 논의가 이루어질 것으로 예상된다.

현재 이산화탄소의 전환기술은 매우 제한되어져 있고 우리나라의 경우 지중저장 또는 해저 지중 저장의 경우 막대한 예산이 요구되며 따라서 포집된 육상 이산화탄소의 다양한 전환기술 또는 활용기술 개발이 요구된다. 특히 미래 선박 배출 이산화탄소의 포집에 대한 활용도 고려해야 할 것으로 보인다.

2.1.2 연구개발의 필요성

2.1.2.1 기술적 필요성

○ 포집된 육상 이산화탄소의 다른 활용 방안 부재

포집 이산화탄소 사후처리 기술로는 화학적, 생물학적 전환이 가능하나 현재 제안된 기술이나 매우 제한적이고 전환에 드는 에너지나 비용도 막대할 것으로 예상된다. 따라서 이러한 기

1) 전세계 선박에서 배출량이 1,019백만톤으로 3.3%라는 데서 계산해낸 값이다.

2) 2008.9.1 발행한 IMO의 온실가스 배출량 보고서 (Green house GAS Emissions from ships, Phase 1 Report, 1st September 2008)

타 사후처리 기술 개발 부재를 극복하기 위해서는 친환경적 사후 현장활용 기술 개발이 필요하다 (최 등 2012).

○ 향후 선상 CO₂ 포집시 이에 대한 활용방안 부재

선박은 전 세계 이산화탄소 배출량의 약 3% 차지하고 있으며 향후 2050년까지 현추세로 3배 이상 배출 증가가 예상되고 있으며 따라서 이에 대처 시급하다. 참고로 2014년 전 세계 및 우리나라 대기 이산화탄소 평균 농도가 400 ppm 초과하였다. 선박으로부터의 오염방지를 위한 국제협약(MARPOL) 부속서 제VI장 개정 (13.1.1 발효)에 따라 국제항해 선박의 이산화탄소 배출 규제가 가시화 될 것으로 보이며 이미 IMO의 해양환경보호위원회 MEPC 66차 총회 (14 3월)에서 NO_x에 대한 규제 발효 합의가 이루어졌다. 우리나라의 경우 2013년 해수부 해사기술과 선IMO 환경규제 대응 선도기술개발 사업의 예비타당성 조사 사전 준비를 위한 기술의 하나로 선박배출 CO₂ 제로화 처리기술개발에 선박용 CO₂ 포집기술 개발을 포함하고 있다.

향후 현재의 디젤엔진은 사양화되고 미래 선박은 환경친화적인 액화가스 엔진으로의 전환이 이루어질 것으로 보이며 이 경우 배출 가스는 이산화탄소가 전부이며 선박의 CCS가 현실화될 경우 이에 대한 활용기술 개발이 필요하다. 이를 위해서는 선박에서 배출되는 이산화탄소를 현장 포집하여 이를 기존 선박 또는 신조선에서 활용할 수 있는 경제성 있는 기술 적용이 필요하다. 이러한 친환경 활용기술 개발을 통한 경제성 추가 확보와 IMO, MARPOL의 선박기인 이산화탄소 저감을 위한 선제적 기술 구축 및 이산화탄소 선내 저장 및 해양 투기 한계 극복이 필요하다.

2.1.2.2 경제·산업적 측면

○ 해양 신성장 사업 개발

국가과학기술심의회 운영위원회 2015년도 및 중기 정부연구개발투자 방향 및 기준(안)에 따르면 해양산업의 고부가가치화 및 신성장분야 경쟁력 제고를 위한 유망기술 발굴·육성을 주요과제의 하나로 정의하고 있고 다학제적 융복합을 통해 해양 신산업을 창출하고, 국제적 환경·안전 이슈에 선제적 대응을 위한 분야에 투자 강화를 강조하고 있다.

현재 우리는 전통 해양산업분야 외 뚜렷한 신성장 동력 창출이 미흡하나 선박평형수처리장치 산업에서 보듯이 정부의 선제적 지원으로 현재 우리나라 세계점유율이 약 25%에 이르고 있다. 따라서 이와 같은 다양한 활용기술의 개발은 육상 CCS 산업의 활성화와 관련분야의 연구개발 및 투자를 촉진할 수 있을 것으로 보인다.

2.1.2.3 사회문화적 측면

○ 이산화탄소 포집에 대한 공감대 형성

이산화탄소증가에 따른 온난화는 현존하는 인류가 직면한 가장 큰 환경이슈이며 시기적절한 대응이 필요하며 CCS에 대한 전세계적 공감대가 형성되고 있다. 현재 지중화 또는 제한적 전환기술에 의존하고 있는 사후 처리 및 활용기술의 증대는 포집활용에 대한 국민적 합의와 인식을 증대시킬 것으로 판단된다. 이를 통해 궁극적으로 이산화탄소 배출저감에 기여할 수 있을 것으로 보인다. 또한 향후 선박 기인 이산화탄소 탄소 포집 활용기술은 이산화탄소 배출권 확보에도 기여하고 능동적으로 해양환경보호에 기여 할 수 있다.

2.1.3 분석 목적

이산화탄소 증가에 따른 기후변화는 인류가 당면한 가장 큰 전 지구적 문제이며 이에 대한 다각적 대응이 요구된다. 선박은 전 세계 이산화탄소 배출량의 약 3% 차지하고 있으며 향후 배출량 증가 예상되며 이미 선박 오염방지를 위한 국제협약 (MARPOL) 부속서 제VI장 개정 ('13.1.1 발효)에 따라 국제항해 선박의 이산화탄소배출 저감 및 규제가 점점 가속화될 전망이다. 이에 따라 우리 정부도 2013년 해수부 IMO 환경규제 대응 선도기술개발 사업의 예비타당성 조사 사전 준비를 위한 기술의 하나로 선박용 CO₂ 포집기술 개발을 포함하고 있다. CO₂ 포집기술은 육상에서는 이미 상용화 수준이며 다만 효율증대가 문제화되고 있다. 이에 반해 포집된 CO₂ 활용기술은 매우 제한되어 있고 특히나 선박에서의 선상활용기술은 전무한 상태이다. 본 제안은 CO₂ 선상 포집 및 이의 선상활용기술 (선박평형수, 오수 처리 활용) 및 기타 선상활용시스템 구축 및 성능 평가, 포집에서 활용에 이르는 하나의 unified system 구축 및 실제 선박 장착 및 기술 적용을 내용으로 하고 있다.

따라서 본 보고서는 CO₂ 선상 포집 및 이의 선상활용기술 (선박평형수, 오수 처리 활용) 및 기타 선상활용시스템 구축 및 성능 평가, 포집에서 활용에 이르는 하나의 unified system 구축 및 실제 선박 장착 및 기술의 개발에 있어 공백기술을 도출파고, 핵심특허 분석을 통해 미래 유망기술 발굴 및 R&D 방향을 제시하는 것을 목적으로 한다.

2.1.4 분석 범위

본 분석에서는 한국, 일본, 유럽 및 미국 공개/등록특허를 특허분석 대상으로 하여, 각 기술트리에 부합하는 유효특허를 추출하였고, 2015년 2월(검색일 기준)까지 출원공개된 유효특허 총 5,062건을 분석대상으로 하였다.

2.1.4.1 분석대상 특허 검색 DB 및 검색범위 한정

2.1.4.1.1 분석대상 특허

<표 2.1> 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	Wipson	1992.01~ 현재(2015.02)	특허공개 및 등록 전체문서
	일본			특허공개 및 등록 전체문서
	미국			특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
	유럽			EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서

※ 정량분석구간: 한국, 미국, 일본, 유럽 - 2015(출원년도 기준)

2.1.4.2 분석대상 기술 및 검색식 도출

2.1.4.2.1 기술분류체계

본 분석에서는 CO₂ 포집 및 선상활용 분야에 대한 기술요약서를 기초로 기술분류를 확립하여 분석을 수행하였으며, 그 내역은 아래의 표 2.2와 같은 대분류부터 소분류까지 가지치기 식으로 분류하였다.

<표 2.2> 분석대상 기술분류

대분류	중분류	소분류
이산화탄소 포집 및 선상활용	선상 CO ₂ 포집(A)	선상에서 CO ₂ 연소 전 포집기술(AA)
		선상에서 CO ₂ 연소 후 포집기술(AB)
	선상 CO ₂ 활용(B)	평형수 처리(BA)
		오수처리(BB)
		배기가스 처리(BC)
		CO ₂ 저감(BD)

2.1.4.2.2 핵심 키워드 도출

이산화탄소 포집 및 선상활용 기술분야의 과제책임자로부터 제공받은 핵심키워드를 바탕으로 특허분석을 위한 1차 키워드를 도출하였으며, 추가적으로 기술미팅을 거쳐 2차 키워드를 도출하였다.

2.1.4.2.3 검색식 도출 과정

본 보고서에 사용된 검색식은 상기 방법을 통해 도출된 핵심키워드를 바탕으로 해당 기술분류를 포함할 수 있는 검색식을 작성하였으며, 이산화탄소 포집 및 선상활용 기술분야의 과제책임자 및 자문위원의 검토 의견을 반영하여 최종 검색식을 완성하였다.

2.1.4.2.4 검색식

기술분류체계에 따른 최종 검색식은 <표 2.3>와 같다.

<표 2.3> 기술분류체계에 따른 최종 검색식

대분류	중분류	소분류	검색식	국가별				
				KR	US	JP	EP	합계
이산화탄소 포집 및 선상활용	선상 포집 (A)	선상에서 CO ₂ 연소전 포집 (AA)	(선상* or 선박* or 보트* or vessel* or ship* or board* or deck* or boat* or 바다* or 해양* or sea or marine* or ocean* or maritime* or 연안* or offshore*) and (이산화탄소* or CO ₂ or (carbon adj dioxide) or (carbonic adj acid adj gas) (flue adj gas) or (연도 adj 가스) or 연도가스 or 카본디옥사이드* or 카본디옥시드*) and (포집* or collect* or sampling* or sample* or trap* or 활용* or disinfect* or 살균 or applicat* or practic* or use* or utilize* or (take adj advantage) or utility* or utilization* or 전환* or change* or switch* or convert* or conversion* or transfer* or transition* or 연소* or combust* or burn* or 평형수* or (ballaster adj water) or (ballast adj water) or 오수* or wastewater* or ((dirty* or filthy* or foul* or polluted* or waste*) adj water) or dishwater* or sewage* or 배기* or exhaust* or (waste adj gas) or ventilation* or 저감* or reduct* or diminut* or decrease* or reduce* or diminish* or 제거* or removal* or remove* or eliminat*)	245	3,8791	403	623	5,062
		선상에서 CO ₂ 연소 후 포집기술 (AB)						
	선상 CO ₂ 활용 (B)	평형수 처리 (BA)	switch* or convert* or conversion* or transfer* or transition* or 연소* or combust* or burn* or 평형수* or (ballaster adj water) or (ballast adj water) or 오수* or wastewater* or ((dirty* or filthy* or foul* or polluted* or waste*) adj water) or dishwater* or sewage* or 배기* or exhaust* or (waste adj gas) or ventilation* or 저감* or reduct* or diminut* or decrease* or reduce* or diminish* or 제거* or removal* or remove* or eliminat*)					
		오수처리 (BB)	or (dirty* or filthy* or foul* or polluted* or waste*) adj water) or dishwater* or sewage* or 배기* or exhaust* or (waste adj gas) or ventilation* or 저감* or reduct* or diminut* or decrease* or reduce* or diminish* or 제거* or removal* or remove* or eliminat*)					
		배기가스 처리 (BC)	(vessel* or ship* or board* or deck* or boat* or sea or marine* or ocean* or maritime* or offshore*) and (CO ₂ or (carbon adj dioxide) or (carbonic adj acid adj gas)) and (collect* or sampling* or sample* or trap* or applicat* or practic* or use* or utilize* or (take adj advantage) or utility* or utilization* or change* or switch* or convert* or conversion* or transfer* or transition* or combust* or burn* or (ballaster adj water) or (ballast adj water) or wastewater* or ((dirty* or filthy* or foul* or polluted* or waste*) adj water) or dishwater* or sewage* or exhaust* or (waste adj gas) or ventilation* or reduct* or diminut* or decrease* or reduce* or diminish* or removal* or remove* or eliminat*)					
		CO ₂ 저감 (BD)	or (dirty* or filthy* or foul* or polluted* or waste*) adj water) or dishwater* or sewage* or exhaust* or (waste adj gas) or ventilation* or reduct* or diminut* or decrease* or reduce* or diminish* or removal* or remove* or eliminat*)					
		기타 (BE)	or (dirty* or filthy* or foul* or polluted* or waste*) adj water) or dishwater* or sewage* or exhaust* or (waste adj gas) or ventilation* or reduct* or diminut* or decrease* or reduce* or diminish* or removal* or remove* or eliminat*)					

2.1.4.2.5 유효특허 선별 결과

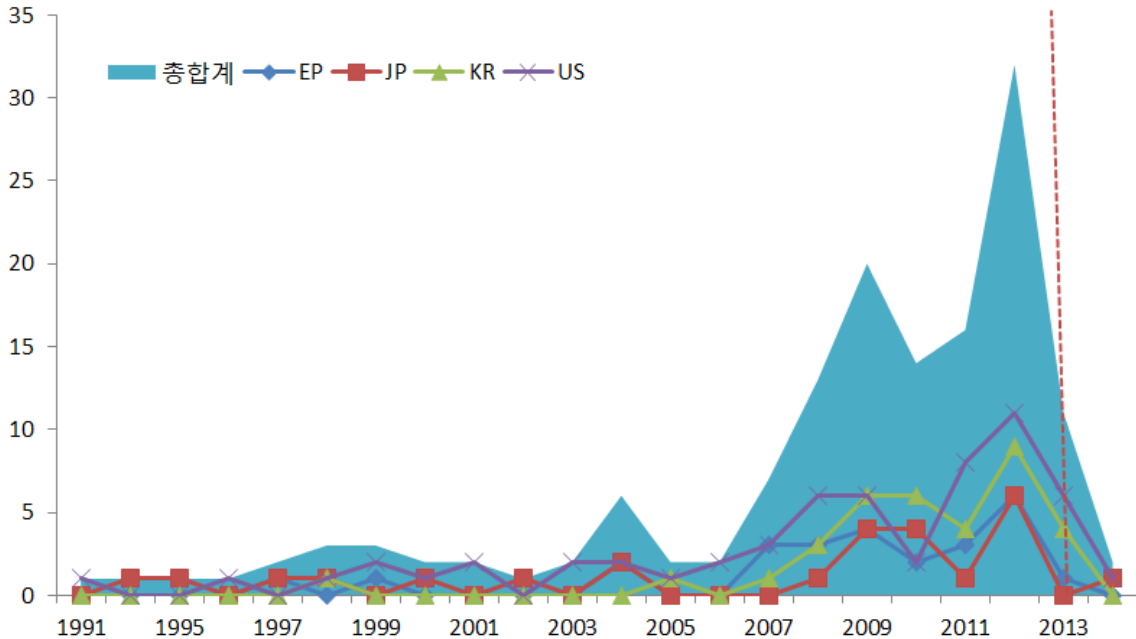
<표 2.4> 유효특허 선별결과

소분류	유효데이터 건수				
	한국	미국	일본	유럽	계
선상에서 CO ₂ 연소 전 포집 (AA)	-	-	-	-	-
선상에서 CO ₂ 연소 후 포집기술 (AB)	5	11	7	3	26
평형수 처리 (BA)	10	4	3	2	19
오수처리 (BB)	-	-	-	-	-
배기가스 처리 (BC)	5	5	3	2	15
CO ₂ 저감 (BD)	10	30	8	19	67
기타 (BE)	5	8	4	-	17
합계	35	58	25	26	144

2.2 기술 추세 분석

2.2.1. 연도별 전체 특허동향

이산화탄소 선상 포집 및 활용 기술의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 특허출원건수는 분석구간 초기인 1991년부터 지속적인 증가세를 나타내고, 2000년 중반부터 급격한 증가세를 보임, 이러한 증가세는 지구온난화의 문제가 본격적으로 논의된 것에 의한 것으로 판단된다 (그림 2.1).



<그림 2.1> 전체·출원국별 특허의 출원동향 및 출원현황

이러한 증가세는 2009년 이후 감소되는 추세를 나타내나, 2009년 부근의 추원감소는 미국에서 발생한 금융위기의 여파에 의한 것으로 판단되며, 이후 증가되는 추세에 있는 것으로 나타났다. 다만 본 기술분야의 출원은 2012년을 정점으로 감소하고 있는 것으로 보인다.

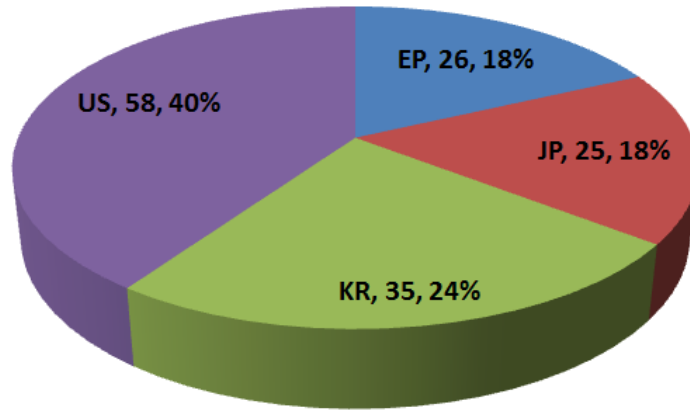
한국은 2007년 초반부터 출원증가세를 보이거나, 2010년부터 2011년 감소세를 보이고 있으나, 2012년 가장 많은 출원을 보이고 있다.

미국은 1991년부터 본 기술분야의 출원을 하고 있는 것으로 보이거나, 본격적인 출원은 2007년부터 이루어지고 있는 것으로 보이며, 그 추세는 한국과 유사한 경향성을 보이고 있다.

일본은 본 기술분야에 1992년부터 출원을 시작하고 있는 것으로 보이거나 2005년까지 반복적인 증감을 보이다, 2007년부터 2010년까지 지속적인 증가세를 보이고 있으며, 유럽은 2012년까지 지속적이고 완만한 증가세를 보이고 있다.

2.2.2 국가별 출원 점유율

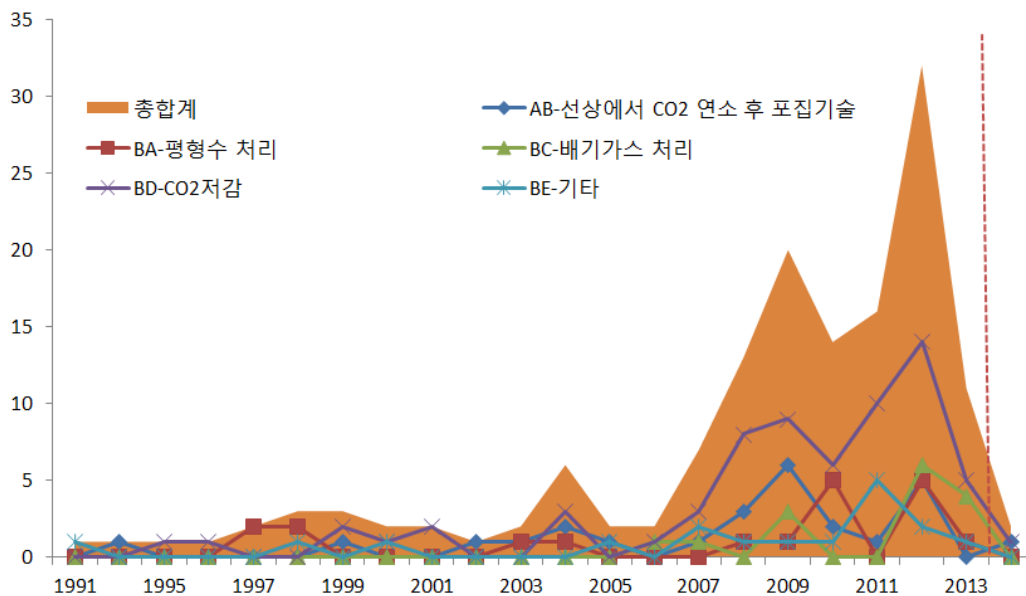
본 기술분야의 최대 출원 점유율은 미국, 한국, 유럽 및 일본 순으로 미국이 58건을 출원하여 전체 144건 중 40%의 출원 점유율을 보이고 있으며, 그 뒤로 한국 35건, 유럽 26건, 일본 25건 순으로 각각 24%의 출원 점유율과 18%의 출원 점유율을 보이고 있다 (그림 2.2).



<그림 2.2> 국가별 특허출원 점유율

2.2.3 중분류별 출원 동향

선상에서 연소 전 포집기술(AA)과 관련하여 검색된 기술은 없으며, 선상에서 CO₂ 연소 후 포집기술(AB)과 관련하여 1993년 처음으로 출원이 진행되고 있는 것으로 나타나고 있으며, 선상에서 CO₂ 연소 후 포집기술(AB)은 1998년까지 출원이 진행되지 않다가 1999년부터 간헐적으로 출원이 진행되어 2008년 본격적으로 출원이 진행되고 있는 것으로 나타났다 (그림 2.3).

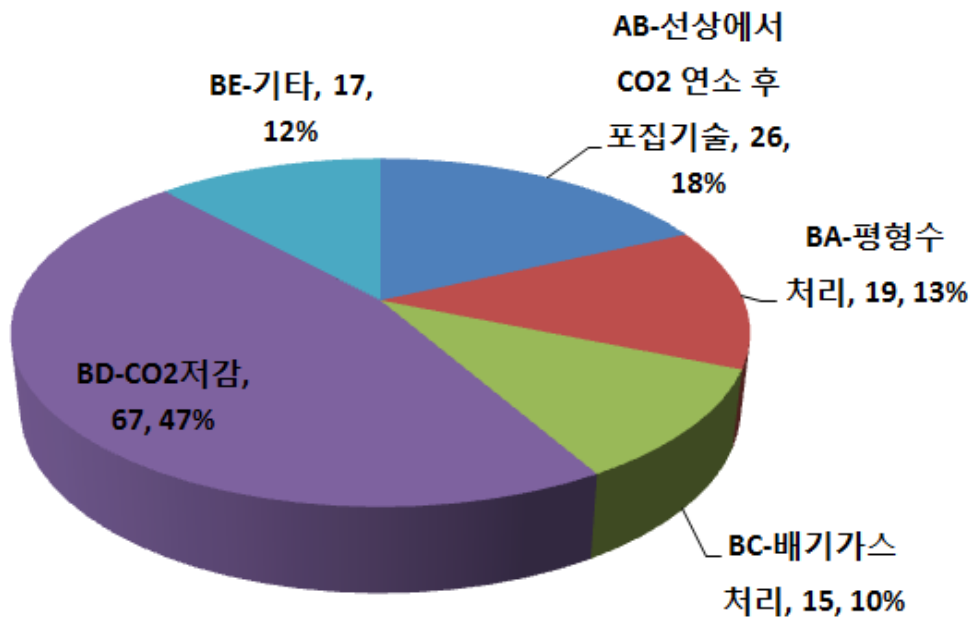


<그림 2.3> 중분류별 연도별 출원동향

평형수 처리(BA)와 관련하여 1997년부터 출원이 진행되고 있는 것으로 나타나며, 2010년 가장 많은 5건의 출원이 이루어지고 있는 것으로 나타나고 있으며, 오염수 처리(BB)와 관련된 출원은 나타나고 있지 않다. 배기가스 처리(BC)와 관련한 출원은 2005년부터 이루어지고 있으며, 2009년, 2012년 및 2013년에 각각 3건, 6건 및 4건이 출원되어 있다. CO₂ 저감(BD)과 관련한 출원은 1995년부터 출원되어 1999년부터 본격적으로 출원이 되고 있는 것으로 나타나고 있다.

2.2.4 중분류별 출원 점유율

본 기술분야에서 가장 많은 출원을 보이고 있는 기술은 CO₂저감(BD) 기술분야로 67건, 47%의 점유율을 나타내고 있으며, 그 뒤로 선상에서 CO₂ 연소 후 포집기술이 26건으로 18%의 점유율을 나타내고 있다 (그림 2.4). 그 뒤로 평형수 처리(BA) 및 배기가스 처리(BC) 기술이 각각 13% 및 10%의 점유율을 보이고 있다. 이러한 출원점유율로 보아 본 기술분야의 주된 기술 테마는 CO₂ 저감/포집에 관한 것으로 판단될 수 있으며, 포집 후 활용기술은 상대적으로 연구가 적은 것으로 판단될 수 있다.



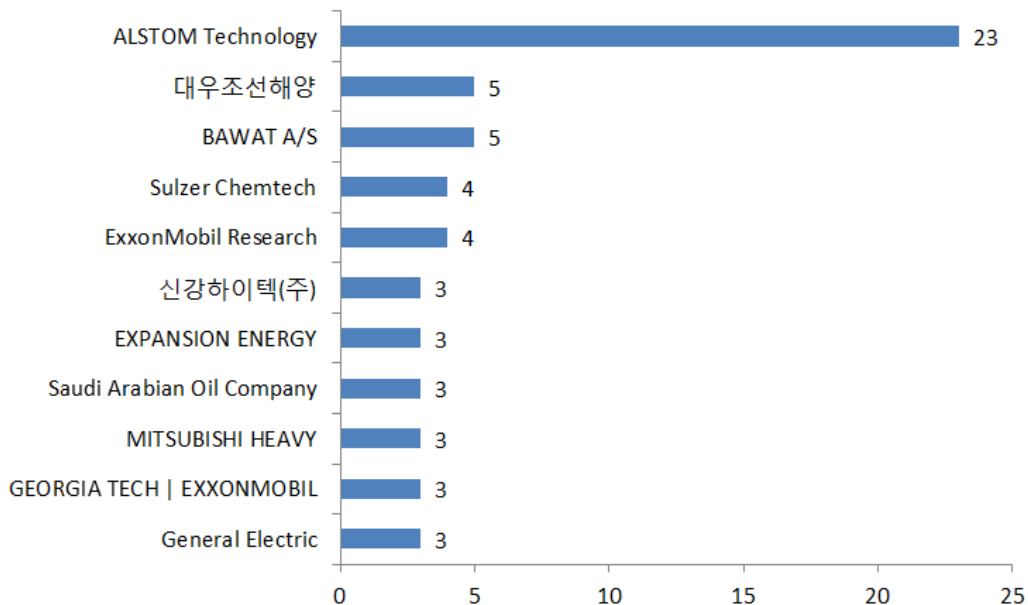
<그림 2.4> 중분류별 출원점유율

2.2.5 주요출원인 현황

(1) 상위 10개 출원인 현황

상위 10개 출원인을 검토하면 1위는 프랑스 다국적 운송 및 발전 설비제조회사인 ALSTOM으로 총 23건의 출원을 진행하였으며, 그 뒤로 대우조선해양 및 평형수와 관련된 기술을 개발하고 있는 BAWAT가 각각 5건의 출원을 진행하고 있다 (그림 2.5). 1위인 ALSTOM와 2위인 대우조선해양 및 BAWAT사의 출원은 각각 23건과 5건으로 출원의 격차가 상당한 것을 알 수 있음, 다만 ALSTOM사는 주로 플랜트를 중심으로 개발하고 있으므로, 이러한 기술이 선박에 적용될 수 있을지 여부는 상세분석에서 별도로 확인할 필요가 있다. 공동 3위는 각각 4건을 출원한 Sulzer Chemtech와 ExxonMobil Research로 Sulzer Chemtech는 에너지 분야, 화학분야의 플랜트를 제공하는 회사이며, ExxonMobil Research는 에너지 분야의 플레이어임, 따라서 Sulzer Chemtech와 ExxonMobil Research가 보유한 기술이 선박에 적용가능할지 여부는 상세 분석에서 추가 확인할 필요가 있다. 공동 4위는 신강하이텍, EXPANSION ENERGY, Saudi Aravian Oil Company, 미스비시 중공업, GE로 주로 에너지, 플랜트 분야의 플레이어 이다.

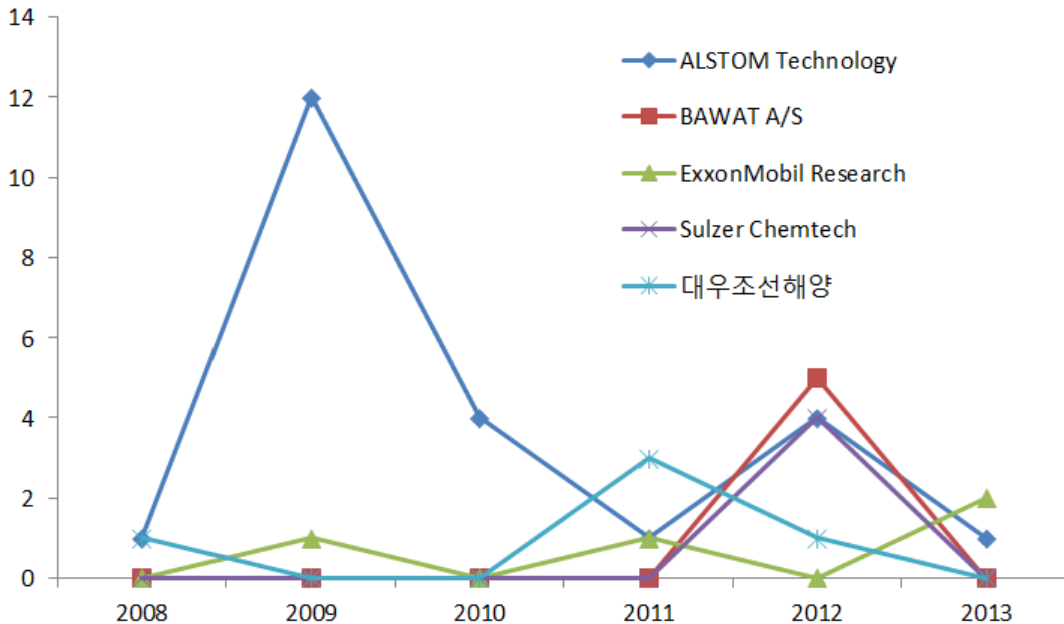
앞에서 설명한 바와 같이 본 기술분야의 상위 출원인 중 대우조선해양 및 BAWAT사를 제외한 나머지 8개 사는 모두 플랜트 분야의 플레이어이므로 상세분석에서 플랜트 분야의 플레이어의 기술이 선박에 적용가능한 아이디어를 가지고 있는지 추가 검토가 필요할 것으로 보인다.



<그림 2.5> Top 10 출원인 현황

(2) 상위 5개 출원인의 연도별 출원현황

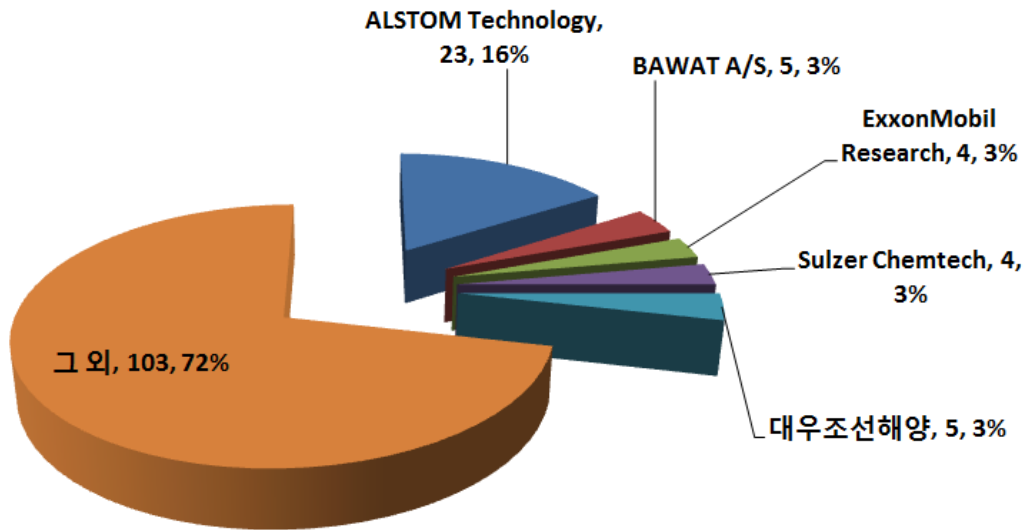
ALSTOM사의 출원은 2008년부터 이루어지고 있으며, 2009년 12건의 출원을 정점으로 감소하고 있으며, BAWATS사의 출원은 2012년에 5건의 출원만 진행하고 있다 (그림 2.6). 대우조선해양은 2008년, 2011년, 2012년에 각각 1건, 3건 및 1건을 출원하였다. ExxonMobil Research는 2009년과 2012년 및 2013년에 각각 1건, 1건 및 2건을 출원하였으며, Sulzer Chemtech사는 2012년에 4건을 출원하였다. 상위 5개사의 출원은 2000년 후반부터 이루어지고 있으며, 1위 출원인인 ALSTOM사의 경우 2010년 이후 출원이 감소하고 있는 경향을 보이나, 2위 ~ 4위 출원인은 최근 출원이 증가되고 있는 점에서 차이가 있다.



<그림 2.6> Top 5 출원인의 연도별 출원현황

(3) 상위 5개 출원인의 출원 점유율

상위 5개사의 출원은 전체 출원 중 28%를 차지하고 있으므로, 본 분야의 출원은 집중이 이루어지고 있지 않은 것으로 보인다 (그림 2.7). 따라서 본 기술분야는 다양한 연구자를 중심으로 연구가 이루어지고 있는 것으로 판단된다.



<그림 2.7> Top 5 출원인 출원점유율

(4) 상위 5개 출원인의 국가별 출원현황

상위 출원인의 출원국가는 주로 미국 및 유럽을 중심으로 이루어지고 있는 것으로 나타나며, 상위 1위 출원인인 ALSTOM사의 경우 한국, 미국, 일본 및 유럽 등 고르게 출원을 하고 있는 것으로 나타난다. 국내 기업인 대우조선해양의 경우 국내에만 출원하고 있다.

출원인	EP	JP	KR	US	합계
ALSTOM	6	4	3	10	23
BAWAT A/S	1	0	2	2	5
대우조선해양	0	0	5	0	5
ExxonMobil Research	1	0	0	3	4
Sulzer Chemtech AG	1	1	1	1	4

(5) 상위 5개 출원인의 중분류별 출원현황

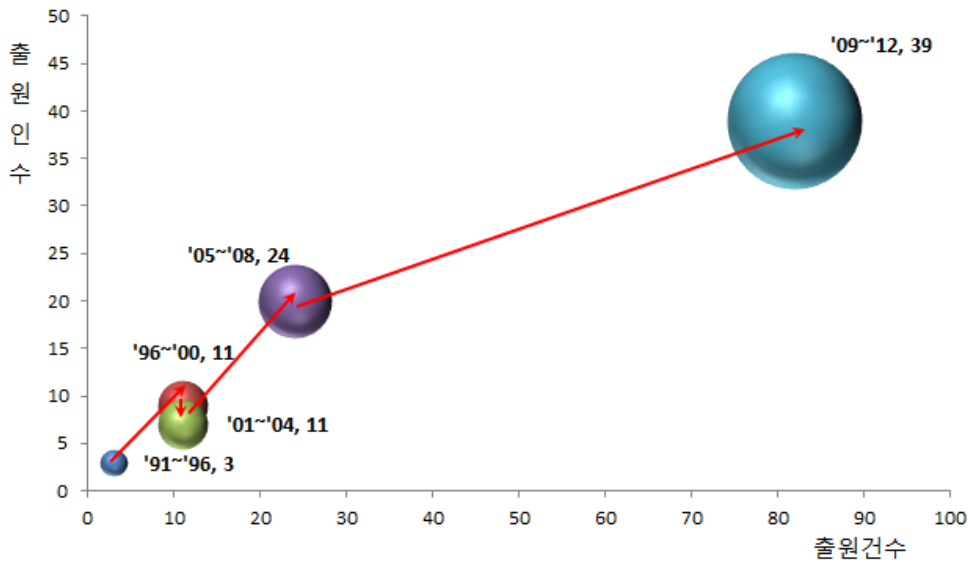
상위 출원인인 ALSTOM사는 주로 이산화탄소 포집, 배기가스 처리 등의 기술을 중심으로 개발을 하고 있으며, BAWAT사는 평형수 처리, 배기가스 처리 등에 관한 기술을 중심으로 출원을 하고 있다. 국내 출원인인 대우조선해양은 선상에서 이산화탄소 연소 후 포집, 이산화탄소 저

감 등을 중심으로 기술 개발을 하고 있다.

	AB-선상에서 CO ₂ 연소 후 포집기술	BA-평형수 처리	BC-배기가스 처리	BD-CO ₂ 저감	BE-기타
ALSTOM Technology	7	0	2	13	10
BAWAT A/S	0	4	1	0	0
ExxonMobil Research	0	0	1	3	0
Sulzer Chemtech	1	0	0	3	0
대우조선해양	1	0	0	2	2

2.2.6 특허포트폴리오로 본 기술위치

본 기술분야의 구간별 특허출원건수와 특허출원인수의 변화를 살펴보면 본 기술분야는 1996년부터 2004년 구간 사이에 출원인이 감소되는 구간을 가지고 있으나, 전체적으로 출원인수와 출원건수가 증가되고 있는 것으로 나타났다 (그림 2.8).



<그림 2.8> 특허포트폴리오 그래프

상위 5개사의 출원은 2000년 후반부터 이루어지고 있으며, 1위 출원인인 ALSTOM사의 경우 2010년 이후 출원이 감소하고 있는 경향을 보이거나, 2위 ~ 4위 출원인은 최근 출원이 증가되고 있는 점에서 차이가 있음 현재 성장기에 있는 것으로 판단되므로, 기술적 우위가 입증된 기술 또는 기업이 존재하기 전까지 많은 연구자가 연구를 진행할 것으로 판단된다.

2.2.7 소결

선상 이산화탄소 포집 및 활용기술 분야는 현재 성장기에 있는 기술분야로 판단되며, 주로 플랜트, 에너지 분야의 기업을 중심으로 연구가 진행되고 있는 것으로 판단된다.

본 기술분야의 주요 출원인은 따라서 본 기술분야는 현재 성장기에 있는 것으로 판단되므로, 기술적 우위가 입증된 기술 또는 기업이 존재하기 전까지 많은 연구자가 연구를 진행할 것으로 판단된다.

본 기술분야의 상위출원인은 ALSTOM사, BAWTS사, 대우해양조선, ExxonMobil Research, Sulzer Chemtech사로 전체 출원의 28%만을 차지하고 있으므로, 다양한 연구자가 있는 분야로 판단된다.

본 기술분야의 출원은 주로 CO₂저감 및 포집을 중심(65%)으로 기술이 개발되고 있으므로, 포집된 이산화탄소의 활용과 관련된 기술을 연구하는 경우, 기술적 우위성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

2.3 상세분석

2.3.1 소분류별 기술흐름 분석

(1) 선상에서 CO₂연소 후 포집기술(AB)

배기가스 중의 이산화탄소를 제거하는 방법(JP 3381228)은 선박의 배기가스 외에 자동차, 산업 배기가스를 대상으로 이산화탄소를 저감하는 방법으로, 고효성 다공질 입자를 이용하여 이산화탄소를 신속하게 제거할 수 있는 기술이다. 종래의 이산화탄소를 제거하는 방법으로 제올라이트 등을 이용한 물리적 흡착법, 아민계 흡수제 용액에 의한 화학적 흡수법, 고분자막을 이용하는 막분리법이 있으나, 이러한 설비 등은 처리능력 및 재료의 높은 가격으로 인하여 실용

에 많은 문제가 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 발명은 1 mm의 입자 지름을 갖는 수산화칼슘 또는 산화칼슘 입자를 이용하여 적용한다.

1993	1999	2002	2003	2004																																																	
<table border="1"> <tr> <td>温度 (°C)</td> <td>200</td> <td>300</td> <td>400</td> <td>500</td> <td>700</td> <td>800</td> </tr> <tr> <td>CO₂除去率 (%)</td> <td>8.7</td> <td>14.8</td> <td>22.1</td> <td>28.7</td> <td>38.5</td> <td>44.9</td> </tr> <tr> <td>経済性 (1/y)</td> <td>0</td> <td>0.5</td> <td>1</td> <td>1.5</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>CO₂除去率 (%)</td> <td>95.2</td> <td>96.8</td> <td>98.0</td> <td>97.5</td> <td>94.9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>(N)</td> <td>0</td> <td>0.2</td> <td>0.4</td> <td>0.6</td> <td>0.7</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>0.1</td> <td>0.1</td> <td>0.1</td> <td>0.1</td> <td>0.1</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>CO₂除去率 (%)</td> <td>95.3</td> <td>95.3</td> <td>95.3</td> <td>95.3</td> <td>95.3</td> <td>95.3</td> </tr> </table> <p>배기가스 중의 이산화탄소 제거방법 (JP 3381226) - 산화칼슘(300μm이하의 수산화칼슘분말)입자를 이용하여 배기가스 내 이산화탄소 제거</p>	温度 (°C)	200	300	400	500	700	800	CO ₂ 除去率 (%)	8.7	14.8	22.1	28.7	38.5	44.9	経済性 (1/y)	0	0.5	1	1.5	2	2	CO ₂ 除去率 (%)	95.2	96.8	98.0	97.5	94.9		(N)	0	0.2	0.4	0.6	0.7	0.7	W	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	CO ₂ 除去率 (%)	95.3	95.3	95.3	95.3	95.3	95.3	<p>Combined flue gas desulfurization and carbon dioxide removal system (US 6399030) - 주 챔버와 보조챔버로 구성되어 diethanolamine, methyl-diethanolamine, monoethanolamine로 이루어진 이산화탄소 제거용 시약을 이용</p>	<p>고에너지 효율을 가지는 CO₂의 동시 제거 격리 시스템 (JP 2004-535293) - 배기가스를 다공판을 이용하여 분산시킨 후 석회석 및 물을 이용하여 CO₂를 제거</p>	<p>System for eliminating polluting gases produced from combustion processes (US 2006-0057036) - 물, 탄산염 등을 이용하여 연도가스 내의 CO₂를 제거</p>	<p>Apparatus for extracting and sequestering carbon dioxide (US 7655193)</p> <ul style="list-style-type: none"> • $CO_2(gas) + H_2O \rightarrow H_2CO_3(aq)$ • $mH_2CO_3(aq) + X(CO_3)_m(solid) \rightarrow X(aq) + 2mHCO_3^-(aq)$ • $H_2CO_3(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightarrow 2HCO_3^-(aq)$ • $X(CO_3)_m(solid) \rightarrow X(aq) + mCO_3^{2-}(aq)$
温度 (°C)	200	300	400	500	700	800																																															
CO ₂ 除去率 (%)	8.7	14.8	22.1	28.7	38.5	44.9																																															
経済性 (1/y)	0	0.5	1	1.5	2	2																																															
CO ₂ 除去率 (%)	95.2	96.8	98.0	97.5	94.9																																																
(N)	0	0.2	0.4	0.6	0.7	0.7																																															
W	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1																																															
CO ₂ 除去率 (%)	95.3	95.3	95.3	95.3	95.3	95.3																																															
<p>SYSTEM AND METHOD FOR COLLECTING CARBON DIOXIDE IN EXHAUST GAS (US 1850182) - 알칼리성 이산화탄소 흡수성 액체를 이용하여 배기가스 내의 이산화탄소를 흡수</p>	<p>가스 흐름으로부터 이산화탄소를 제거하기 위한 폴리아민/알칼리 염 혼합물 (KR 2006-0003927) - 아민, 폴리아민이 포함된 용액을 이용하여 기체 내의 이산화탄소를 제거하고, 이산화탄소를 재생</p>	<p>Separation of carbon dioxide and hydrogen (EP 2023087) - 멤브레인을 이용하여 수소와 이산화탄소를 분리하고, 액상으로 변화시킴</p>	<p>Reactor, plant and process (JP 8641805) - 이산화탄소 배출구에 액체 흡수성 회박토출 챔버를 배치됨</p>	<p>이산화탄소 격리 프로세스, 가스 흐름으로부터 이산화탄소를 격리하기 위한 시스템 (JP 5345954) - 금속 규산염 설러리와 암모니아를 혼합하여 이산화탄소를 포함한 가스와 스크러빙</p>																																																	

<그림 3.1> 선상에서 CO₂ 연소 후 포집기술 기술흐름도(1993 ~ 2008)

Combined flue gas desulfurization and carbon dioxide removal system(US 6399030)은 연도가스에서 발생하는 이산화탄소 및 황 산화물을 감소시키는 것으로, 연도가스로부터 황 산화물을 제거하는 주 챔버와 연도가스에서 이산화탄소를 제거하는 보조챔버로 구성되며, 보조챔버

내에는 모노에탄올아민(monoethanolamine, MEA), 디메틸에탄올아민(diethanolamine, DEA)과 메틸디에탄올아민(methyldiethanolamine, MDEA)을 이용하여 이산화탄소를 화학적으로 흡수하여 저감시킨다.

고에너지 효율을 가지는 CO₂의 동시 제거 격리 시스템(JP2004-535293)는 가스 내에서 CO₂는 해수로 분사하여 제거할 수 있으나, 이러한 경우 해수의 pH값을 국지적으로 낮추는 문제가 발생되므로, 본 발명은 해수에 연도가스를 분사한 후 약 알칼리성의 석회석에 통과시켜 해수의 pH를 회복한다.

System for eliminating polluting gases produced from combustion processes(US 2006-0057036)은 연소가스를 물을 이용하여 용해시킨 후 수산화 나트륨, 수산화 칼륨, 수산화 칼슘, 수산화 리튬, 수산화 루비듐, 수산화 세슘, 수산화 베릴륨, 수산화 마그네슘, 수산화 스트론튬, 수산화 바륨으로 구성 군에서 선택된 무기재료를 이용 이산화탄소를 포획한다.

Apparatus for extracting and sequestering carbon dioxide(US 7655193)은 단순하고 낮은 환경오염을 발생시킬 수 있도록 물과 중탄산염 및 금속이온(알칼리 금속 또는 알칼리 토금속)을 이용하는 방법배기가스 내의 이산화탄소를 추출하여 침전시킨다.

SYSTEM AND METHOD FOR COLLECTING CARBON DIOXIDE IN EXHAUST GAS(US 1650162)는 배기가스에 탄산나트륨 수용액을 분사하여 이산화탄소를 흡수시키고, 60 ~ 80도의 열을 가해 이산화탄소를 분리한다.

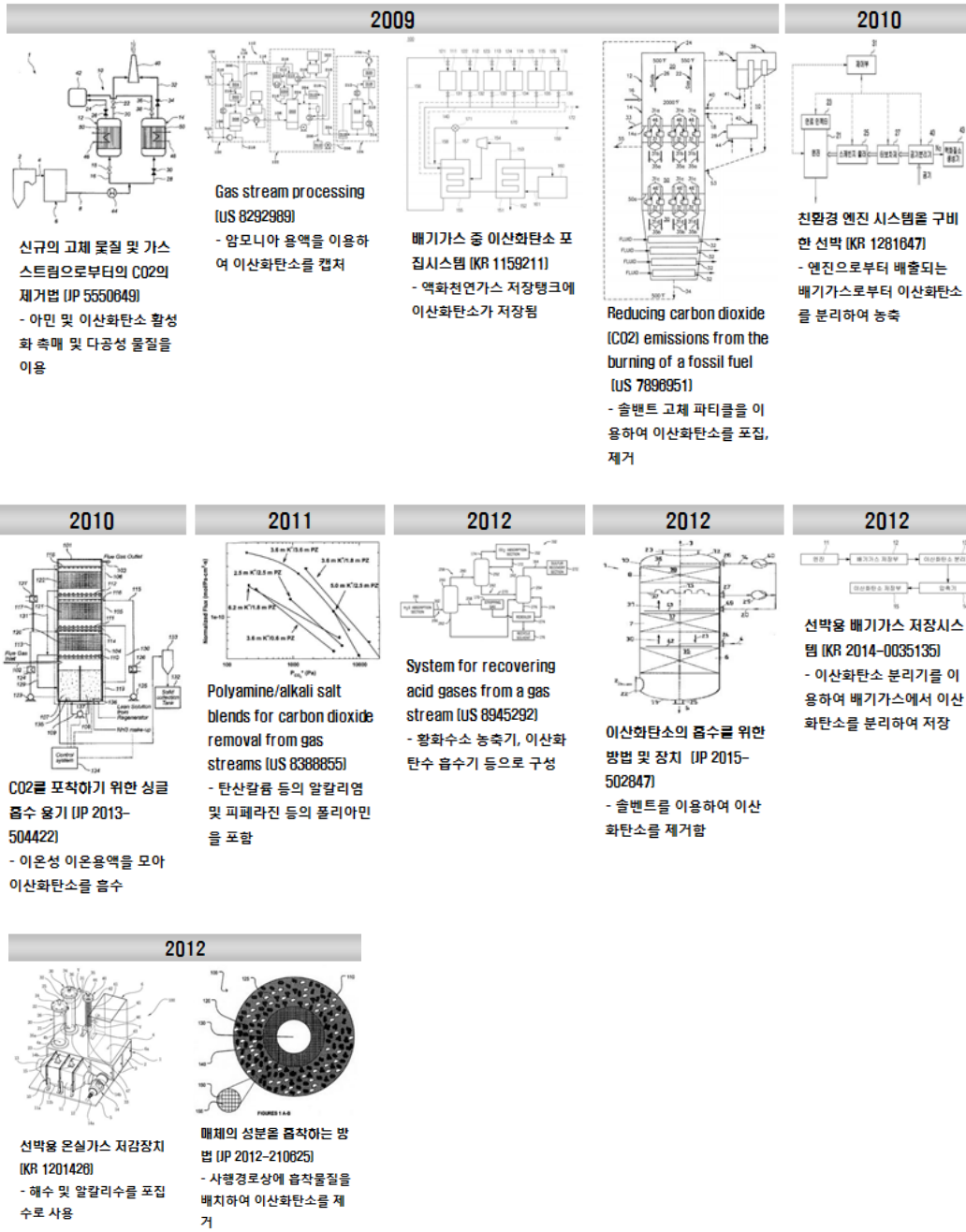
가스 흐름으로부터 이산화탄소를 제거하기 위한 폴리아민/알칼리 염 혼합물(KR 2006-0002927)은 배기가스에 1.5 당량/Kg H₂O 이상이며, 알칼리 염 농도는 0.5 당량/Kg H₂O 이상인 폴리아민을 분사하여 배기가스 내의 이산화탄소를 제거한다.

Separation of carbon dioxide and hydrogen(EP 2023067)은 막 분리를 이용하여 압력을 조절하여 배기가스 내에서 이산화탄소를 분리하고 냉각시킨다.

이산화탄소 격리 프로세스, 가스 흐름으로부터 이산화탄소를 격리하기 위한 시스템(JP5345954)는 금속 규산염 암석의 슬러리를 암모니아와 혼합하고, 스크러빙함으로써, 이산화탄소를 반응성 슬러리 중에 흡수시켜 이산화탄소를 제거한다.

CO₂ ABSORPTION BY SOLID MATERIALS (US 2009-0145297)은 암모니아 수용액을 연도가스에 분사하여 연도가스 내의 이산화탄소를 제거하며, 암모니아 수용액은 연도가스가 상방으로 이동하는 관에서 하방으로 분사한다.

신규의 고체 물질 및 가스스트림으로부터의 CO₂의 제거법 (JP 5550649)은 아민 또는 이산화탄소 활성화 촉매가 담지된 다공성 물질을 이용하여 연소 가스 내의 이산화탄소를 가역적으로 수집한다.



<그림 3.2> 선상에서 CO₂ 연소 후 포집기술 기술흐름도(2009 ~ 2012)

Gas stream processing (US 8292989)는 암모니아 수용액을 이용하여 가스 내의 이산화탄소를 수집하고, 온도 및 압력을 제어하여 암모니아를 회수한다.

배기가스 중 이산화탄소 포집시스템 (KR 1159211)은 액화천연가스를 기화하여 연료로 사용하는 엔진이 구비된 선박의 배기가스에 액화천연가스를 기화시키는 제1 열교환기 및 제2 열교환기, 제2 열교환기 사이에 설치된 압축기로 유입시켜 액화천연가스의 기화에 배기가스의 열

을 활용한 후 포집한다.

Reducing carbon dioxide (CO₂) emissions from the burning of a fossil fuel (US 27896951)

는 석회석 입자를 이용하여 배기가스 내의 이산화탄소를 흡수한다.

친환경 엔진 시스템을 구비한 선박 (KR 1281647)은 배기가스로부터 이산화탄소를 분리하는 농축유닛을 이용하여 이산화탄소 저장탱크에 저장한다.

CO₂를 포착하기 위한 싱글 흡수 용기 (JP 2013-504422)는 a) NH₃를 포함하여 구성되는 제1 이온성 용액류를 연도 가스 스트림과 접촉시키고, 연도 가스 스트림으로부터 CO₂의 제1 부분을 제거하는 공정, b) 공정 a)로부터의 페이온성 용액을 제1 액체받이 용기에 있어서 모으는 공정, c) 이온성 용액을 제1 액체받이 용기에서 공정 a)에 재순환하는 공정, d) NH₃를 포함하여 구성되는 제2 이온성 용액류를 연도 가스 스트림과 접촉시키고, 연도 가스 스트림으로부터 CO₂의 제2 부분을 제거하는 공정, e) 공정 d)로부터의 페이온성 용액을 제2 액체받이 용기에 있어서 모으는 공정, 및 f) 이온성 용액을 제2 액체받이 용기에서 공정 d)에 재순환하는 공정을 포함한다.

System for recovering acid gases from a gas stream (US 8945292)는 이산화탄소 흡수기 및 H₂S흡수기를 이용하여 가스 내의 이산화탄소 및 황화수소를 흡수제거한다.

이산화탄소의 흡수를 위한 방법 및 장치 (JP 2015-502847)은 에어로졸 형성의 리스크를 줄이면서 특정의 일련의 섹션을 가지는 흡수장치 내에서 이산화탄소 함유흐름으로부터의 이산화탄소 흡수를 수행하는 방법으로서, 이산화탄소의 흡수를 위한 장치의 이산화탄소 흡수 섹션의 일부로서의 구조화된 패키징의 사용하여 이산화탄소 흡수 섹션의 상부 영역의 에어로졸 형성의 리스크를 감소시킨다.

선박용 배기가스 저장시스템 (KR 2014-0035135)은 엔진에서 배출되는 배기가스를 배기가스 저장부에 저장하고, 저장된 배기가스를 순환시켜 배기가스 중에 포함된 이산화탄소만을 분리해서 별도의 공간에 저장함에 따라 선박에서 배출되는 이산화탄소의 양을 최소화한다.

선박용 온실가스 저감장치 (KR 1201426)은 배기가스 중의 질소산화물과 황산화물 및 분진 성분을 습식포집기에서 1차 처리하고, 습식포집기를 거쳐 이산화탄소 위주로 배출되는 배기가스를 저장수조의 해수와 함께 미세기포(마이크로/나노버블) 형태로 조성하여 반응수조로 유동시킴에 따라, 이산화탄소 성분이 해수 중에서 흡착 및 용해되도록 하며, 이와 같이 처리된 해수가 필터유닛을 거쳐 저장수조로 재유입되도록 하는 순환식 처리시스템 이다.

출원년	발명의 명칭 (출원/등록번호)	특징
1993	배기가스 중의 이산화탄소를 제거하는 방법(JP 3381228)	1 mm의 입자 지름을 갖는 수산화칼슘 또는 산화칼슘 입자를 이용
1998	Combined lue gas desulfurization and carbon dioxide removal system(US 6399030)	연도가스로부터 황 산화물을 제거하는 주 챔버와 연도가스에서 이산화탄소를 제거하는 보조챔버로 구성되며, 보조챔버 내에는 모노에탄올아민(monoethanolamine, MEA), 디메틸에탄올아민(diethanolamine, DEA)과 메틸디에탄올아민(methyldiethanolamine ,MDEA)을 이용하여 이산화탄소를 화학적으로 흡수
2002	고에너지 효율을 가지는 CO ₂ 의 동시 제거 격리 시스템(JP2004-535293)	해수에 연도가스를 분사한 후 약 알칼리성의 석회석에 통과시켜 해수의 pH를 회복
2003	System for eliminating polluting gases produced from combustion processes(US 2006-0057036)	연소가스를 물을 이용하여 용해시킨 후 수산화 나트륨, 수산화 칼륨, 수산화칼슘, 수산화 리튬, 수산화 루비듐, 수산화 세슘, 수산화 베릴륨, 수산화 마그네슘, 수산화 스트론튬, 수산화 바륨으로 구성 군에서 선택된 무기재료를 이용하여 이산화탄소 포획
2004	Apparatus for extracting and sequestering carbon dioxide(US 7655193)	물과 중탄산염 및 금속이온(알칼리 금속 또는 알칼리 토 금속)을 이용하는 방법배기가스 내의 이산화탄소를 추출하여 침전
2004	SYSTEM AND METHOD FOR COLLECTING CARBON DIOXIDE IN EXHAUST GAS(US 1650162)	배기가스에 탄산나트륨 수용액을 분사하여 이산화탄소를 흡수시키고, 60 ~ 80도의 열을 가해 이산화탄소를 분리
2005	가스 흐름으로부터 이산화탄소를 제거하기 위한 폴리아민/알칼리 염 혼합물(KR 2006-0002927)	배기가스에 1.5 당량/Kg H ₂ O 이상이며, 알칼리 염 농도는 0.5 당량/Kg H ₂ O 이상인 폴리아민을 분사하여 배기가스 내의 이산화탄소를 제거
2007	Separation of carbon dioxide and hydrogen(EP 2023067)	막 분리를 이용하여 압력을 조절하여 배기가스 내에서 이산화탄소를 분리하고 냉각

출원년	발명의 명칭 (출원/등록번호)	특징
2008	이산화탄소 격리 프로세스, 가스 흐름으로부터 이산화탄소를 격리하기 위한 시스템(JP5345954)	금속 규산염 암석의 슬러리를 암모니아와 혼합하고, 스크러빙함으로써, 이산화탄소를 반응성 슬러리 중에 흡수시켜 이산화탄소를 제거
2009	CO ₂ ABSORPTION BY SOLID MATERIALS (US 2009-0145297)	암모니아 수용액을 연도가스에 분사하여 연도가스 내의 이산화탄소를 제거
2009	신규의 고체 물질 및 가스스트림으로부터의 CO ₂ 의 제거법 (JP 5550649)	아민 또는 이산화탄소 활성화 촉매가 담지된 다공성 물질을 이용
2009	Gas stream processing (US 8292989)	암모니아 수용액을 이용하여 가스 내의 이산화탄소를 수집하고, 온도 및 압력을 제어하여 암모니아를 회수
2009	배기가스 중 이산화탄소 포집시스템 (KR 1159211)	액화천연가스를 기화하여 연료로 사용하는 엔진이 구비된 선박의 배기가스에 액화천연가스를 기화시키는 제1 열교환기 및 제2 열교환기, 제2 열교환기 사이에 설치된 압축기로 유입
2010	Reducing carbon dioxide (CO ₂) emissions from the burning of a fossil fuel (US 27896951)	석회석 입자를 이용하여 배기가스 내의 이산화탄소를 흡수
2010	친환경 엔진 시스템을 구비한 선박 (KR 1281647)	배기가스로부터 이산화탄소를 분리하는 농축유닛을 이용하여 이산화탄소 저장탱크에 저장
2010	CO ₂ 를 포착하기 위한 싱글 흡수 용기 (JP 2013-504422)	NH ₃ 를 포함하여 구성되는 제1 이온성 용액류를 연도 가스 스트림과 접촉시켜 이산화탄소를 포집
2012	System for recovering acid gases from a gas stream (US 8945292)	이산화탄소 흡수기 및 H ₂ S흡수기를 이용하여 가스 내의 이산화탄소 및 황화수소를 흡수
2012	이산화탄소의 흡수를 위한 방법 및 장치 (JP 2015-502847)	이산화탄소의 흡수를 위한 장치의 이산화탄소 흡수 섹션의 일부로서의 구조화된 패킹의 사용하여 이산화탄소 흡수 섹션의 상부 영역의 에어로졸 형성의 리스크를 감소시킴

출원년	발명의 명칭 (출원/등록번호)	특징
2012	선박용 배기가스 저장시스템 (KR 2014-0035135)	배기가스를 배기가스저장부에 저장하고, 저장된 배기가스를 순환시켜 배기가스 중에 포함된 이산화탄소만을 분리해서 별도의 공간에 저장함에 따라 선박에서 배출되는 이산화탄소의 양을 최소화
2012	선박용 온실가스 저감장치 (KR 1201426)	배기가스 중의 질소산화물과 황산화물 및 분진 성분을 습식포집기에서 1차 처리하고, 습식포집기를 거쳐 이산화탄소 위주로 배출되는 배기가스를 저장수조의 해수와 함께 미세기포(마이크로/나노버블) 형태로 조성하여 반응수조로 유동시킴에 따라, 이산화탄소 성분이 해수 중에서 흡착 및 용해

▶ 선상에서 CO₂연소 후 포집기술(AB)은 제올라이트를 이용한 전통적으로 물리적 흡착법, 아민계를 이용한 화학적 흡수법, 고분자를 이용한 막 분리법이 있으나, 1993년, 1998년, 2002년, 2003년, 2004년, 2005년, 2009년 및 2010년 출원은 아민, 수산화칼륨, 석회석, 세슘, 루비듐, 베릴륨, 중탄산염, 탄산나트륨 및 암모니아를 이용하여 화학적으로 이산화탄소를 포집하는 기술을 개시하고 있다. 그 외 출원은 연도가스를 물리적으로 분리하여 연도가스로부터 이산화탄소를 분리하는 기술을 개시하고 있다. 1993년부터 2012년까지 출원 중 화학적 방식의 이산화탄소 포집을 통한 이산화탄소 포집기술이 상당비중을 차지하고 있으므로, 본 기술분야는 화학적 포집방식을 중심으로 연구가 개발되고 있는 것으로 판단된다.

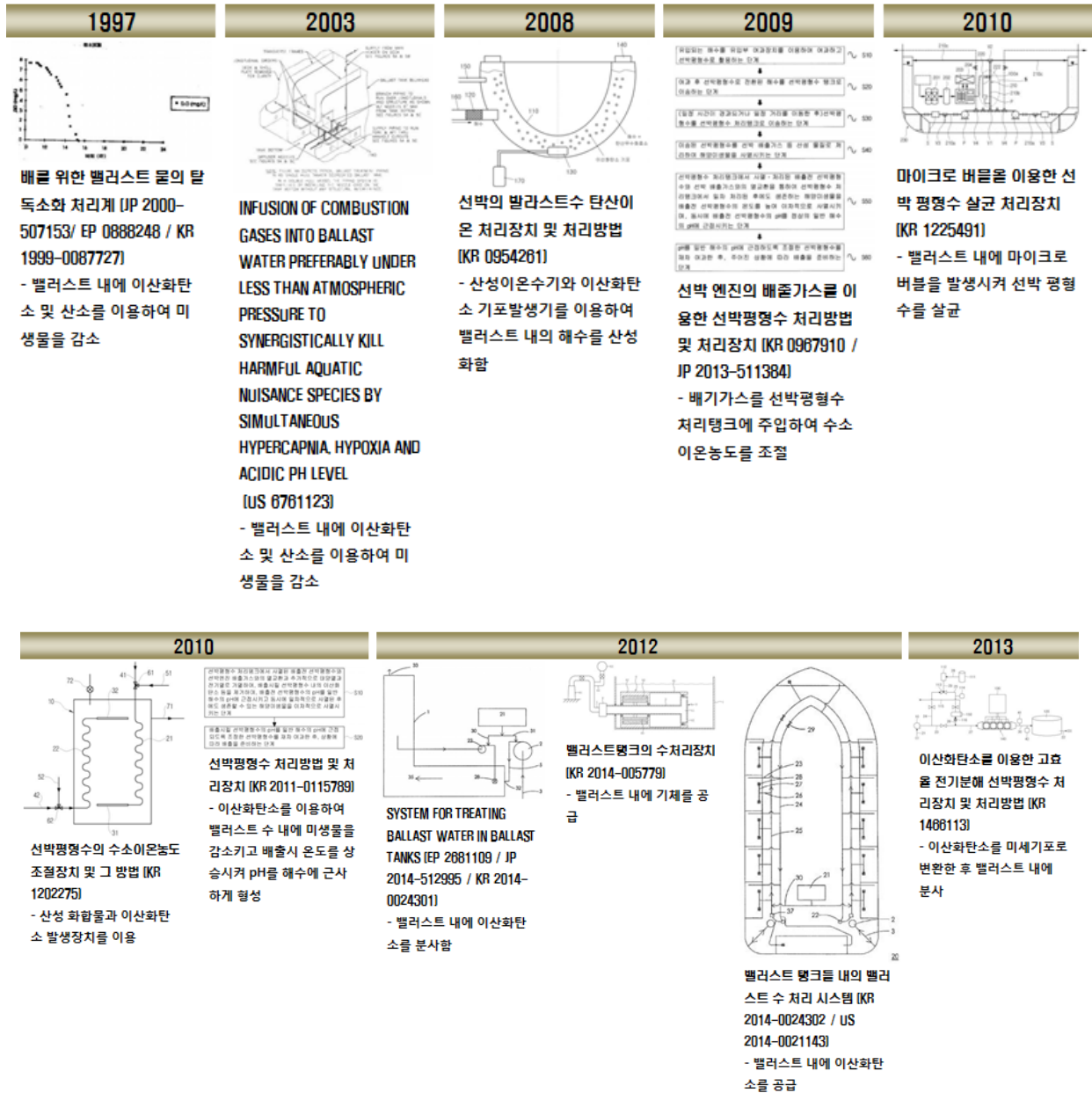
(2) 평형수 처리(BA)

INFUSION OF COMBUSTION GASES INTO BALLAST WATER PREFERABLY UNDER LESS THAN ATMOSPHERIC PRESSURE TO SYNERGISTICALLY KILL HARMFUL AQUATIC NUISANCE SPECIES BY SIMULTANEOUS HYPERCAPNIA, HYPOXIA AND ACIDIC PH LEVEL (US 6761123)

은 밸러스트수 내에 배기가스를 공급하여 배기가스 내의 이산화탄소를 이용하여 pH를 조정함으로써 밸러스트 내의 미생물의 번식을 억제, 제거한다.

선박의 발라스트수 탄산이온 처리장치 및 처리방법 (KR 0954261)는 해수가 채워진 발라스트 탱크 내에 이산화탄소를 미세 기포로 발생시키기 위한 이산화탄소 기포발생기와, 발라스트탱크 내에 기포로 공급되는 이산화탄소가 해수와 반응하여 탄산화될 수 있도록 발라스트탱크 내에

압력을 높여주기 위한 압력유지밸브 및, 탄산무수화효소의 촉매를 공급하기 위한 촉매첨가기를 포함하는 선박의 발라스트수 탄산이온 처리장치로 구성되어 발라스트 탱크 내의 해수를 산성화하여 미생물의 증식을 억제한다.



<그림 3.3> 평형수 처리기술 기술흐름도(1997 ~ 2013)

선박 엔진의 배출가스를 이용한 선박평형수 처리방법 및 처리장치 (KR 0967910)은 (1) 미생물 처리 대상이 되는 선박평형수를 일단계로 여과하고 선박평형수 탱크에 저장·활용하는 단계, (2) 선박평형수를 선박평형수 탱크에서 선박평형수 처리탱크로 이송하고, 이어서 입자상물

질(PM) 등이 제거된 선박 엔진의 배출가스를 열교환을 통하여 온도를 낮추고, 그리고 선박평형수와 접촉되게 하여 선박평형수의 수소이온농도를 변화시켜서, 즉, 선박평형수의 pH를 산성으로 조절함으로써 선박평형수 내의 해양미생물을 일차적으로 사멸·제거하는 단계, (3) pH 조절로 해양미생물을 사멸·처리한 선박평형수를 선박평형수 배출탱크로 이송하고 배출가스와 열교환을 통하여 배출되는 선박평형수의 온도를 높여서 이차적으로 잔류 해양미생물의 사멸을 유도함과 동시에 선박평형수에 남아 있는 이산화탄소와 질소 산화물 등의 탈기를 도모함으로써 선박평형수의 수소이온농도를 궁극적으로 해수의 수소이온농도와 동일하게 만들어 주게 되는, 배출에 적합한 수소이온농도로 전환한다.

선박 엔진의 배출 가스를 이용한 선박 밸러스트수 처리 방법 및 처리 장치 (JP 2013-511384)는 1) 미생물의 처리 대상이 되는 선박 평형수를 여과해, 선박 평형수의 탱크에 저장·활용하는 공정, (2) 선박 평형수를 선박 평형수의 탱크로부터 선박 평형수의 처리 탱크에 이송해, 입자형 물질(PM) 등이 제거된 선박 엔진의 배출 가스를 열교환에 의해 온도를 낮게 해, 선박 평형수의 수소이온농도를 조절함으로써 선박 밸러스트수 중의 해양 미생물을 일차적으로 사멸·제거하는 공정, (3) pH조절로 해양 미생물을 사멸·처리한 선박 평형수를 선박 평형수의 배출 탱크로 이송해, 배출 가스와의 열교환으로 배출되는 선박 평형수의 온도를 향상시켜 이차적으로 잔류 해양 미생물의 사멸을 유도함과 동시에 선박 평형수에 남는 이산화탄소와 질소산화물 등의 탈기에 의해 선박 평형수의 수소이온농도를 해수의 수소이온농도에 접근하도록, 배출에 적합한 수소이온농도에 변화시키는 공정으로 구성한다.

마이크로 버블을 이용한 선박 평형수 살균 처리장치 (KR 1225491)은 해수로부터의 밸러스트수가 유동하는 경로를 형성하며, 밸러스트수를 밸러스트 탱크로 유입시키는 밸러스트수 유입 메인라인 및 밸러스트수 유입 메인라인에 결합되며, 마이크로 버블을 발생시킨 후에 마이크로 버블을 밸러스트수 유입 메인라인으로 제공하는 마이크로 버블 발생유닛을 포함한다.

선박평형수의 수소이온농도 조절장치 및 그 방법 (KR 1202275)는 선박평형수 탱크로부터 선박평형수 처리탱크로 선박평형수를 이송한 다음 선박평형수의 수소이온농도를 높여 해양미생물을 사멸시키는 시스템에서 선박평형수의 수소이온농도를 변환시키는 새로운 장치 시스템을 제공함으로써 선박평형수의 수소이온농도가 용이하게 조절되도록 하는 것으로 선박평형수의 수소이온농도를 조절하기 위하여 선박엔진의 배출가스 배출관이나 이산화탄소 발생장치 등의 기체 상태 산성 화합물과/또는 염산, 질산, 식초산 등의 액체 상태 산성 화합물을 투입한다.

SYSTEM FOR TREATING BALLAST WATER IN BALLAST TANKS (EP 2681109)는 밸러스트 탱크와, 밸러스트 탱크로부터 배관을 통해 순환 또는 재순환시키는 순환 펌프, 질소 및/또는 이산

화탄소가 밸러스트 수에 공급될 수 있는 방식으로 재순환 펌프의 배출면 상의 배관에 연결되는 질소 및/또는 이산화탄소 발생기 및 배관에 기능적으로 연결되고 밸러스트 탱크들에 배열되는 하나 이상의 노즐 헤드들을 포함하고, 3차원 믹서 패턴이 생성되도록 적어도 하나의 노즐은 제 1 축 및 제1 축에 수직 또는 수직이 아닌 제2 축 모두에 관한 구동 회전으로 구성한다.

밸러스트탱크의 수처리장치 (KR 2014-0057779)는 엔진에서 배기되는 이산화탄소를 함유한 배기가스가 밸러스트탱크 내의 물에 미세기포로서 투입되게 하여 헨리의 법칙에 의해 밸러스트탱크 내의 물에 함유된 용존산소를 밸러스트탱크 밖으로 방출시켜, 밸러스트탱크 내의 물을 탈산소화시키고, 짐을 적재하게 되는 선박의 밸러스트탱크 내의 탈산소화된 물을 바다로 방출할 때에는, 탈산소화된 물에 압축공기를 미세기포로서 주입하여 탈산소화된 물에 함유된 이산화탄소를 밸러스트탱크 밖으로 방출시키는 밸러스트탱크의 수처리장치를 제공함으로써, 저렴한 비용으로 신뢰성 있게 밸러스트탱크 내의 물을 처리한다.

이산화탄소를 이용한 고효율 전기분해 선박평형수 처리장치 및 처리방법 (KR 1466113)은 이산화탄소를 해수에 용해시켜 해수의 pH를 낮추고 이산화탄소 미세기포로 변환한 후, 이렇게 해수의 pH가 낮아지면 전기 분해시 발생하는 총 산화물질 중 산화력이 우수한 HOCl의 존재 비율이 증가되므로, 동일 TRO 농도 조건에서 기존의 전해수 처리방식의 선박평형수 처리장치에 비해 살균 효율을 증가시킬 수 있는 이산화탄소를 이용한 고효율 전기분해 선박평형수 처리장치 및 처리방법이다.

출원년	발명의 명칭 (출원/등록번호)	특징
2003	INFUSION OF COMBUSTION GASES INTO BALLAST WATER PREFERABLY UNDER LESS THAN ATMOSPHERIC PRESSURE TO SYNERGISTICALLY KILL HARMFUL AQUATIC NUISANCE SPECIES BY SIMULTANEOUS HYPERCAPNIA, HYPOXIA AND ACIDIC PH LEVEL (US 6761123)	밸러스트수 내에 배기가스를 공급하여 배기 가스 내의 이산화탄소를 이용하여 pH를 조정
2008	선박의 발라스트수 탄산이온 처리장치 및 처리방법 (KR 0954261)	해수가 채워진 발라스트 탱크 내에 이산화탄소를 미세기포로 발생시켜 밸러스트 탱크 내의 해수를 산성화

출원년	발명의 명칭 (출원/등록번호)	특징
2009	선박 엔진의 배출가스를 이용한 선박평형수 처리방법 및 처리장치 (KR 0967910)	선박 엔진의 배출가스를 열교환을 통하여 온도를 낮추고, 그리고 선박평형수와 접촉되게 하여 선박평형수의 수소이온농도를 변화시켜 해양미생물을 일차적으로 사멸·제거
2009	선박 엔진의 배출 가스를 이용한 선박 밸러스트수 처리 방법 및 처리 장치 (JP 2013-511384)	배기가스를 선박 평형수에 공급하여 해양 미생물을 제거하고 선박 평형수에 남은 이산화탄소와 질소산화물 등의 탈기에 의해 선박 평형수의 수소이온농도를 해수의 수소이온농도에 접근하도록, 배출에 적합한 수소이온농도에 변화시킴
2010	마이크로 버블을 이용한 선박 평형수 살균 처리장치 (KR 1225491)	해수로부터의 밸러스트수가 유동하는 경로를 형성하며, 밸러스트수를 밸러스트 탱크로 유입시키는 밸러스트수 유입 메인라인 및 밸러스트수 유입 메인라인에 결합되며, 마이크로 버블을 발생시킨 후에 마이크로 버블을 밸러스트수 유입 메인라인으로 제공하는 마이크로 버블 발생유닛
2010	선박평형수의 수소이온농도 조절장치 및 그 방법 (KR 1202275)	선박평형수의 수소이온농도를 조절하기 위하여 선박 엔진의 배출가스 배출관이나 이산화탄소 발생장치 등의 기체 상태 산성 화합물과/또는 염산, 질산, 식초산 등의 액체 상태 산성 화합물을 투입
2012	SYSTEM FOR TREATING BALLAST WATER IN BALLAST TANKS (EP 2681109)	이산화탄소가 밸러스트 수에 공급될 수 있는 방식으로 재순환 펌프의 배출면 상의 배관에 연결되는 질소 및/또는 이산화탄소 발생기
2012	밸러스트탱크의 수처리장치 (KR 2014-0057779)	산화탄소를 함유한 배기가스가 밸러스트탱크 내의 물에 미세기포로서 투입되게 하여 헨리의 법칙에 의해 밸러스트탱크 내의 물에 함유된 용존산소를 밸러스트탱크 밖으로 방출시켜, 밸러스트탱크 내의 물을 탈산소화
2013	이산화탄소를 이용한 고효율 전기분해 선박평형수 처리장치 및 처리방법 (KR 1466113)	이산화탄소를 해수에 용해시켜 해수의 pH를 낮추고 이산화탄소 미세기포로 변환한 후, 이렇게 해수의 pH가 낮아지면 전기 분해시 발생하는 총 산화물질 중 산화력이 우수한 HOCI의 존재 비율이 증가되므로, 동일 TRO 농도 조건에서 기존의 전해수 처리방식의 선박평형수 처리장치에 비해 살균 효율을 증가

▶ 평형수 처리기술(BA)은 주로 평형수 내에서 성장하는 미생물을 억제하는 기술로 기본적인 기술은 평형수 내에 배기가스를 분사하여 배기가스 내에 포함된 이산화탄소를 평형수에 용해시켜 pH를 산성으로 유지하나, 이러한 평형수는 종국에 해수로 배출되는 것으로, pH가 낮은 이산화탄소가 용해된 평형수의 경우, 낮은 pH에 의한 환경의 오염 등을 추가적으로 검토하여 새로운 방법을 모색하여야 할 것으로 판단된다.

2009년 출원은 이산화탄소를 평형수에 용해시킨 후 배기가스와 열교환시켜 평형수에 잔존한 이산화탄소를 제거한 후 해양으로 배출시키는 기술을 개시하고 있다. 2010년 출원은 염산, 질산, 식초산 등을 이산화탄소가 용해된 평형수에 투입하여 산성의 평형수를 중성으로 유지시켜 배출할 수 있도록 하며, 2013년 출원은 배기가스 내의 이산화탄소를 평형수로 분사하고, 전기분해를 통하여 HOCl의 양을 증기시켜 미생물의 사멸을 보다 효과적으로 수행한다. 2010년 출원은 이산화탄소를 해수에 분사시 용해를 보다 용이하게 할 수 있도록 미세기포(마이크로버블) 형태로 형성하는 기술을 개시하고 있다.

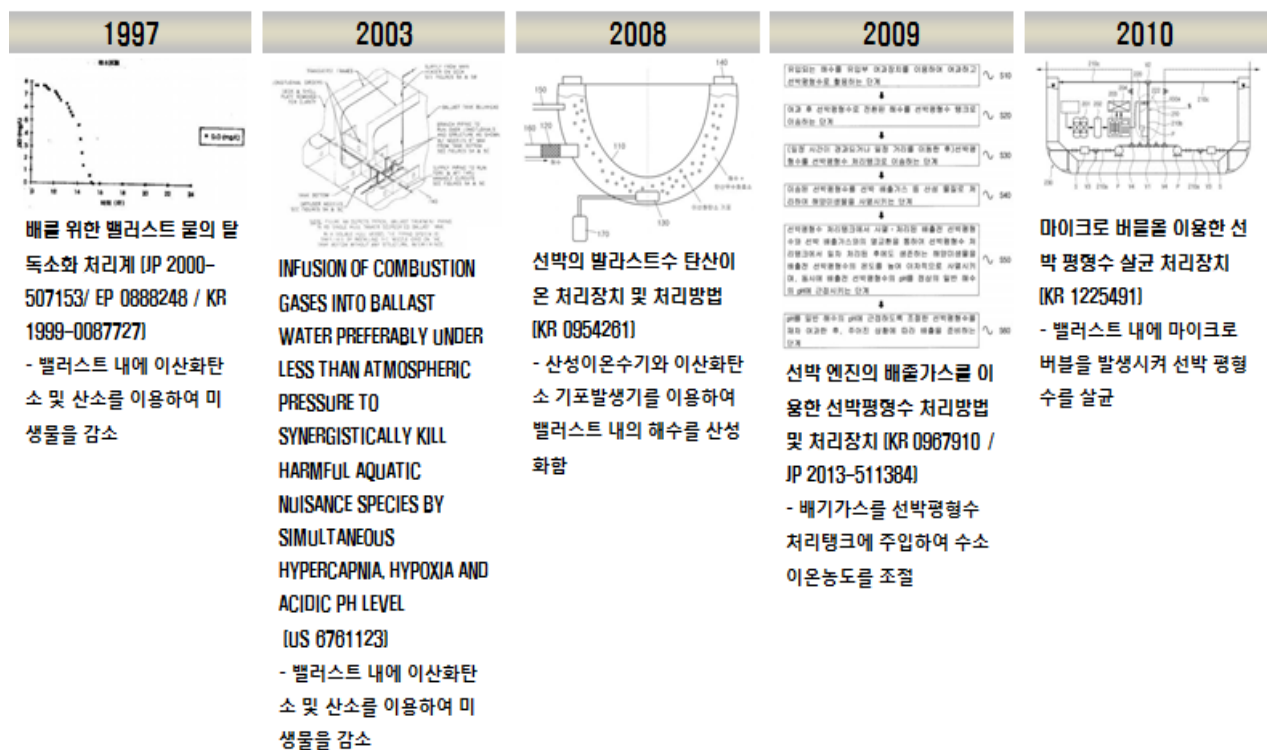
(3) 배기가스 처리(BC)

NFUSION OF COMBUSTION GASES INTO BALLAST WATER PREFERABLY UNDER LESS THAN ATMOSPHERIC PRESSURE TO SYNERGISTICALLY KILL HARMFUL AQUATIC NUISANCE SPECIES BY SIMULTANEOUS HYPERCAPNIA, HYPOXIA AND ACIDIC PH LEVEL (US 6761123)은 밸러스트수 내에 배기가스를 공급하여 배기 가스 내의 이산화탄소를 이용하여 pH를 조정함으로써 밸러스트 내의 미생물의 번식을 억제, 제거한다.

선박의 발라스트수 탄산이온 처리장치 및 처리방법 (KR 0954261)는 해수가 채워진 발라스트 탱크 내에 이산화탄소를 미세 기포로 발생시키기 위한 이산화탄소 기포발생기와, 발라스트탱크 내에 기포로 공급되는 이산화탄소가 해수와 반응하여 탄산화될 수 있도록 발라스트탱크 내에 압력을 높여주기 위한 압력유지밸브 및, 탄산무수화효소의 촉매를 공급하기 위한 촉매첨가기를 포함하는 선박의 발라스트수 탄산이온 처리장치로 구성되어 밸러스트 탱크 내의 해수를 산성화하여 미생물의 증식을 억제한다.

선박 엔진의 배출가스를 이용한 선박평형수 처리방법 및 처리장치 (KR 0967910)은 (1) 미생물 처리 대상이 되는 선박평형수를 일단계로 여과하고 선박평형수 탱크에 저장·활용하는 단계, (2) 선박평형수를 선박평형수 탱크에서 선박평형수 처리탱크로 이송하고, 이어서 입자상물질(PM) 등이 제거된 선박 엔진의 배출가스를 열교환을 통하여 온도를 낮추고, 그리고 선박평형

수와 접촉되게 하여 선박평형수의 수소이온농도를 변화시켜서, 즉, 선박평형수의 pH를 산성으로 조절함으로써 선박평형수 내의 해양미생물을 일차적으로 사멸·제거하는 단계, (3) pH 조절로 해양미생물을 사멸·처리한 선박평형수를 선박평형수 배출탱크로 이송하고 배출가스와 열교환을 통하여 배출되는 선박평형수의 온도를 높여서 이차적으로 잔류 해양미생물의 사멸을 유도함과 동시에 선박평형수에 남아 있는 이산화탄소와 질소 산화물 등의 탈기를 도모함으로써 선박평형수의 수소이온농도를 궁극적으로 해수의 수소이온농도와 동일하게 만들어 주게 되는데, 배출에 적합한 수소이온농도로 전환한다.



<그림 3.4> 배기가스 처리기술 기술흐름도(1997 ~ 2010)

마이크로 버블을 이용한 선박 평형수 살균 처리장치 (KR 1225491)은 해수로부터의 밸러스트수가 유동하는 경로를 형성하며, 밸러스트수를 밸러스트 탱크로 유입시키는 밸러스트수 유입 메인라인 및 밸러스트수 유입 메인라인에 결합되며, 마이크로 버블을 발생시킨 후에 마이크로 버블을 밸러스트수 유입 메인라인으로 제공하는 마이크로 버블 발생유닛을 포함한다.

출원년	발명의 명칭 (출원/등록번호)	특징
2003	INFUSION OF COMBUSTION GASES INTO BALLAST WATER PREFERABLY UNDER LESS THAN ATMOSPHERIC PRESSURE TO SYNERGISTICALLY KILL HARMFUL AQUATIC NUISANCE SPECIES BY SIMULTANEOUS HYPERCAPNIA, HYPOXIA AND ACIDIC PH LEVEL (US 6761123)	밸러스트수 내에 배기가스를 공급하여 배기 가스 내의 이산화탄소를 이용하여 pH를 조정
2008	선박의 발라스트수 탄산이온 처리장치 및 처리방법 (KR 0954261)	해수가 채워진 발라스트탱크 내에 이산화탄소를 미세 기포로 발생시켜 밸러스트 탱크 내의 해수를 산성화
2009	선박 엔진의 배출가스를 이용한 선박평형수 처리방법 및 처리장치 (KR 0967910)	선박 엔진의 배출가스를 열교환을 통하여 온도를 낮추고, 그리고 선박평형수와 접촉되게 하여 선박평형수의 수소이온농도를 변화시켜 해양미생물을 일차적으로 사멸·제거
2009	선박 엔진의 배출 가스를 이용한 선박 밸러스트수 처리 방법 및 처리 장치 (JP 2013-511384)	배기가스를 선박 평형수에 공급하여 해양 미생물을 제거하고 선박 평형수에 남는 이산화탄소와 질소산화물 등의 탈기에 의해 선박 평형수의 수소이온농도를 해수의 수소이온농도에 접근하도록, 배출에 적합한 수소이온농도에 변화시킴
2010	마이크로 버블을 이용한 선박 평형수 살균 처리장치 (KR 1225491)	해수로부터의 밸러스트수가 유동하는 경로를 형성하며, 밸러스트수를 밸러스트 탱크로 유입시키는 밸러스트수 유입 메인라인 및 밸러스트수 유입 메인라인에 결합되며, 마이크로 버블을 발생시킨 후에 마이크로 버블을 밸러스트수 유입 메인라인으로 제공하는 마이크로 버블 발생유닛

▶ 배기가스의 처리(BC)는 연소시 발생하는 배기가스를 처리하는 것으로 주로 평형수의 살균 또는 배기가스에서 발생하는 폐열을 이용하는 기술이 개시되었다.

(4) CO₂ 저감(BD)

Method for gas absorption across a membrane (US5749941)은 1종 또는 그 이상의 기체 성분을 기상으로부터 흡수하기 위한 방법으로서, 폴리프로펜 또는 폴리에텐의 중공 섬유 이용하여 기체 중의 이산화탄소 저감시킨다.

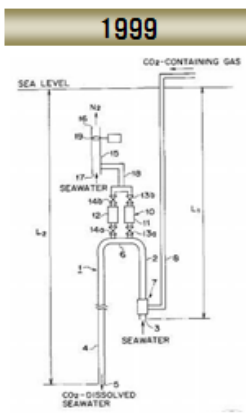
Method of treating carbon dioxide-containing gas and apparatus therefor (US6254667)는 대량으로 배출되는 배가스로부터 이산화탄소 가스를 고순도 분리하는 일 없이, 저순도 분리에서도 이산화탄소 가스의 해양 격리를 가능하게 하는 간단하고 고효율인 방법 및 장치로, 해수에 가스 리프트 장치를 설치하여 이산화탄소 가스를 해수에 용해시킨다.

1995	
日	物質移動係數 (10 ⁻³ m/s)
1	1.06
5	1.01
8	1.02

日		物質移動係數 (10 ⁻³ m/s)	
1		1.09	
3		1.00	
5		1.02	
9		0.96	

막을 횡단한 기체 흡수를 위한 방법 (JP 3828146)
 - 폴리프로필렌, 폴리에텐, 불화 폴리비닐 등으로 구성된 수용성 흡수제 이용하여 이산화탄소 저감

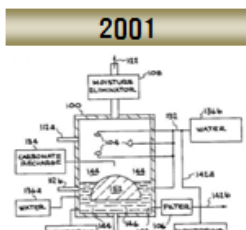
1996
Method for gas absorption across a membrane (US 5749941)
 - 폴리프로펜 또는 폴리에텐의 중공 섬유 이용하여 기체 중의 이산화탄소 저감



1999
Method of treating carbon dioxide-containing gas and apparatus therefor (US 6254667 / EP 0982065)
 - 해수이용하여 이산화탄소 제거



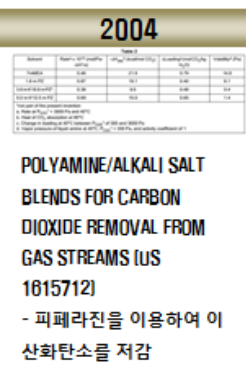
2000
CO₂ 고정화 방법 (JP 2002-079035)
 - 아민을 이용하여 이산화탄소 저감



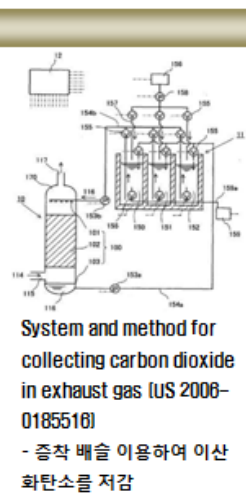
2001
마이크로 버블을 이용한 선택 평형수 살균 처리장치 (US 6890497)
 - 탄산과 탄산염을 이용하여 이산화탄소 저감

2001
Method for simultaneous removal and sequestration of CO₂ in a highly energy efficient manner (US 2003-0017088)
 - 화학수단을 이용하여 이산화탄소를 저감

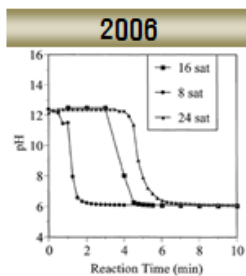
2004
가스 흐름으로부터 이산화탄소를 제거하기 위한 폴리 아민/알칼리염 혼합물 (JP 5074763)
 - 탄산칼륨, 알칼리염, 피페라진 등을 이용하여 이산화탄소 저감



POLYAMINE/ALKALI SALT BLENDS FOR CARBON DIOXIDE REMOVAL FROM GAS STREAMS (US 1615712)
 - 피페라진을 이용하여 이산화탄소를 저감



2006
System and method for collecting carbon dioxide in exhaust gas (US 2006-0185516)
 - 증착 배를 이용하여 이산화탄소를 저감



2006
Separation of carbon dioxide from gas mixtures by calcium based reaction separation (US 6890497)
 - 흡수제, 금속 산화물을 이용하여 이산화탄소 저감

<그림 3.5> CO₂ 저감 기술 기술흐름도(1995 ~ 2010)

CO₂ 고정화 방법(JP2002-079035)은 CO₂의 흡수를 효율적으로 수행함과 동시에, 회수된 CO₂를 공업용 원료로서 고정화할 수 있어 또 흡수 및 고정화를 저에너지로 수행할 수 있는 CO₂ 고정화 방법을 제공하는 것으로, 염류를 함유하는 제1 수상에 아민을 작용시키고, 기상 중의 CO₂를 접촉시켜 아민을 아민염으로서 제거해 탄산염을 생성시킴으로써, CO₂를 탄산염으로서 고정화한다.

Method for extracting and sequestering carbon dioxide (US6890497)은 탄산과 탄산염을 마이크로 버블의 형태로 형성하여 이산화탄소를 제거한다.

Method for simultaneous removal and sequestration of CO₂ in a highly energy efficient manner(US2003-0017088)은 당초 농도의 이산화탄소(CO₂)를 가지는 가스로부터, 미리 설정한 양의 CO₂의 제거 및 격리를 수행하기 위한 시스템으로서, 반응층과 당초 농도의 CO₂를 가지는 가스를 층에 도입하기 위한 분산 수단과 층에 공급되는 CO₂의 용매와 가스로부터 미리 설정한 양의 CO₂를 제거하기 위해 층 내에 배치되는 화학적 수단과 미리 설정한 양이 제거된 CO₂를 용매에 용해하기 위한 수단과 미리 설정한 양이 제거되어 용해한 CO₂를 함유하는 용매의 일부를 처분하기 위한 수단을 구비한다.


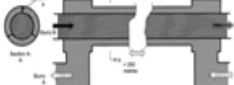
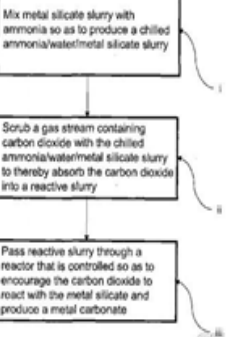
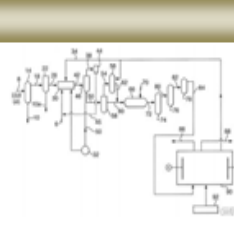
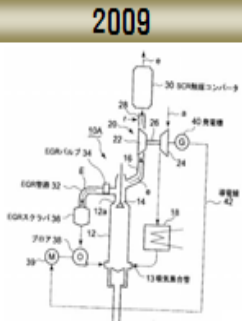
POLYAMINE/ALKALI SALT BLENDS FOR CARBON DIOXIDE REMOVAL FROM GAS STREAMS (EP1615712)은 연도 가스, 천연가스, 수소 가스, 합성 가스로부터, 및 기타 프로세스로부터, 및 폐가스 흐름으로부터 CO₂를 제거 하기 위해 이용되는 새로운 용매 및 방법으로 탄산칼륨 등의 알칼리염 및 피페라진(PZ) 등의 폴리아민을 포함해, 폴리아민의 농도는 1 Kg의 물 맞아 적어도 1.5 당량, 및 알칼리염의 농도는 1 Kg의 물 맞아 적어도 0.5 당량이며, 알칼리염/폴리아민의 바람직한 비율은 약1:2~2:1이며, PZ를 용해 하기 위해 알코올을 추가할 필요는 없으며, CO₂를 효율적 또한 효과적으로 제거할 수 있다.

System and method for collecting carbon dioxide in exhaust gas(US2006-0185516)
Separation of carbon dioxide from gas mixtures by calcium based reaction separation (US8226917)은 탄산화와 H₂ 생산을 위한 향상된 수성 가스 전환 반응은 HTS 촉매 및 흡착제를 사용하여 칼슘 600 °C에서 조사하며, 천연 칼슘 전구체 (린 우드 수화물, LH) 및 메조 포러스 변성 침전 탄산 칼슘 (PCC)가 두 개의 연속 사이클에서 유지되는 동안 CO₂를 포착한다.

Carbon sequestration using a floating vessel (US8753863)은 대기로부터 이산화탄소를 제거 하는 방법으로 우레아의 첨가시 식물성 플랑크톤의 개체수가 증가되는 것을 이용한다.

Method of removing and solidifying carbon dioxide from a fluid stream and fluid separation assembly (US8475572)은 유체 분리 조립체에 의해 유체 스트림으로부터 이산화탄

소를 제거하는 방법에 관한 것으로 유체 분리 조립체는 유체 입구 수렴 섹션 및 발산 유체 배출 섹션과 소용돌이 생성 장치 사이에 배치 된 관형 목부와 사이클론 분리기로 구성되어 소용돌이치는 유체 흐름을 구성하여 고체 이산화탄소가 형성되도록 처리 조건을 제공한다.

2007	2007	2008	
<p>Carbon sequestration using a floating vessel (US 8753863 / EP 2141980)</p> <p>- urea를 이용하여 이산화탄소 제거</p>	 <p>Method of removing and solidifying carbon dioxide from a fluid stream and fluid separation (US 8475572)</p> <p>- 노즐 내의 유동을 이용하여 가스 중의 이산화탄소를 분리</p>	 <p>System, apparatus and method for carbon dioxide sequestration (US 8496897)</p> <p>- 암모니아, 물, 금속 등을 이용하여 이산화탄소를 분리함</p>	 <p>A REACTOR, PLANT AND PROCESS (EP 2158022)</p> <p>- 액체 흡수제 이용하여 이산화탄소 저감</p>
<p>Carbon sequestration using a floating vessel (US 8753863 / EP 2141980)</p> <p>- urea를 이용하여 이산화탄소 제거</p>		<p>SYSTEM, APPARATUS AND METHOD FOR CARBON DIOXIDE SEQUESTRATION (EP 2134449 / KR 2009-0125109)</p> <p>- 스크러빙 단계에서 암모니아, 물, 금속 실리케이트 이용하여 이산화탄소 저감</p>	<p>SYSTEM, APPARATUS AND METHOD FOR CARBON DIOXIDE SEQUESTRATION (EP 2134449 / KR 2009-0125109)</p> <p>- 스크러빙 단계에서 암모니아, 물, 금속 실리케이트 이용하여 이산화탄소 저감</p>
<p>Sorbent fiber compositions and methods of temperature swing adsorption (US 8133308 / EP 2164598)</p> <p>- 흡수제 섬유 조성물 이용하여 이산화탄소 저감</p>		 <p>Method for sour gas treatment (US 7604724)</p> <p>- 사우어 가스 이용하여 이산화탄소 제거</p>	 <p>System and method for enhanced removal of CO2 from a mixed gas stream (US 8343445 / JP 2011-515210 / EP 2252387)</p> <p>- 흡착제를 이용하여 이산화탄소 저감</p>

<그림 3.6> CO₂ 저감기술 기술흐름도(2007 ~ 2009)

SYSTEM, APPARATUS AND METHOD FOR CARBON DIOXIDE SEQUESTRATION (EP2134449)

은 금속 규산염 암석의 슬러리를 암모니아와 혼합하고, 암모니아/수/금속 규산염 슬러리를 생성하고, 이산화탄소를 포함한 가스 흐름을 스크리빙함으로써, 이산화탄소를 반응성 슬러리중에 흡수시키는 공정으로 구성되었다.

Sorbent fiber compositions and methods of temperature swing adsorption (US8133308)는

본 발명의 다양한 실시 형태는 조성물 및 흡착 섬유 조성물의 사용을 대상으로 한하는 것으로 적어도 하나의 흡착 물질을 포함한 중공사와 중공사 내부에 배치된 내강과 내강과 흡착 물질 사이의 유체 연통을 방지하기 위한, 내강을 덮는 배리어층을 포함한, 흡착 섬유로 구성되며, 중공사는 또한 폴리머 매트릭스를 포함할 수 있다.

이산화탄소 격리를 위한 시스템, 장치 및 방법(KR2009-0125109)은 암모니아/물/금속 실리케이트 슬러리를 생성하기 위해서, 금속 실리케이트 암석의 슬러리가 암모니아와 혼합하고, 공정은 이산화탄소를 함유하는 가스 흐름을 앞의 단계로부터 생성된 용액으로 세정하는 단계를 포함하며, 이에 의해서 이산화탄소가 반응성 슬러리 내로 흡수된다.

Method for sour gas treatment (US7604724)은 선택적으로, 수산화 나트륨과 사우어 가스에 황화수소와 이산화탄소를 반응시켜 사우어 가스로부터 황화 수소 및 이산화탄소를 제거하는 것으로 사우어 가스 스트림으로부터 염 생성물을 제조할 수 있다.

배기가스 처리장치가 탑재된 선박 (JP5357720)은 과급기를 구비한 디젤 기관의 배가스 중의 NOX를 EGR 시스템을 이용, 흡기관에 순환하는 배기가스량이 증대 가능하게 해 NOX 감소 효과를 향상시킴과 동시에, 동력 소비량을 억제하고, 에너지 절약, CO₂ 삭감하는 것으로, 디젤 기관의 배기관에 배기가스의 일부를 흡기 집합관에 되돌리는 EGR 관로를 설치한다.

System and method for enhanced removal of CO₂ from a mixed gas stream (US8343445)

은 용매 기반(아민/암모니아) CO₂ 제거 시스템/프로세스 내의 CO₂ 제거 효율을 증가시키는 것에 관한 것으로 지지 구조체로 구성된 질량 전달 디바이스가 제공되어 흡수기 용기의 내부 내에 배치되며, 지지 구조체는 높은 BET(브루나우어, 에멧 및 텔러) 표면적 및 다공성(폴리머, 금속 산화물, SiO₂, 분자체 등)을 갖는 상업적으로 입수 가능한 촉매로 CO₂가 용매에 의해 포획되는 가능성을 증가시킨다.

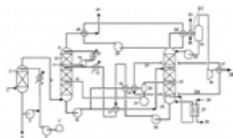
Method and apparatus for efficient gas treating system (US8080089)는 용기 내에서 연도 가스 (120)는 F 이하의 온도로 적어도 17 F로 냉각된 후 황산화물 화합물이 용기에서 제거된 연도 가스는 연도 가스 이산화탄소 세정 장치로 전달된다.

촉매 사용을 이용하여 혼합 가스 스트림으로부터의 CO₂ 제거를 증진시킨 시스템 및 방법

(JP2011-515210)은 연도 가스 스트림으로부터 CO₂를 제거하기 위한 용매계 연도 가스 처리 시스템으로 촉매를 이용하여 연도 가스 스트림으로부터의 CO₂의 포착하며, 촉매는 폴리머, 금속 산화물, SiO₂, 분자체(molecular sieve), 염기 및/또는 산 개질 점토 등과 같은 높은 BET 표면적을 갖고 고체 재료 상에 바람직하게는 균일하게 분산된 금속 또는 산화물(예를 들어, MgO), 클로라이드 MgCl₂ 등과 같은 이들의 화합물을 포함한다.

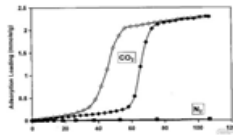
SEPARATION OF CARBON DIOXIDE FROM NITROGEN UTILIZING ZEOLITIC IMIDAZOLATE FRAMEWORK MATERIALS (EP2249947)은 제올라이트를 이용하여 이산화탄소 및 질소를 모두 함유하는 스트림의 질소로부터 이산화탄소를 분리시킨다.

2009



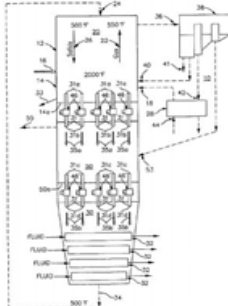
Method and apparatus for efficient gas treating system (US 8080089)

- 리지흡수제 등을 이용하여 이산화탄소 저감



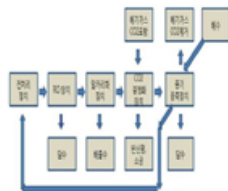
SEPARATION OF CARBON DIOXIDE FROM NITROGEN UTILIZING ZEOLITIC IMIDAZOLATE FRAMEWORK MATERIALS (EP 2249947)

- 흡착성 배드이용하여 이산화탄소 저감



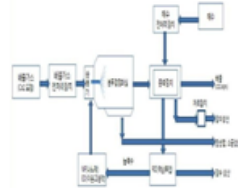
REDUCING CARBON DIOXIDE (CO₂) EMISSIONS FROM THE BURNING OF A FOSSIL FUEL (EP 2250440)

- 분리관 이용하여 이산화탄소 제거



알카리화된 해수를 이용한 연소배출가스 중 이산화탄소 제거 방법 및 장치 (KR 0944539)

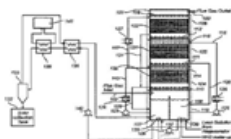
- 역삼투압을 이용 탈염수 및 농축수 생성 및 이용하여 이산화탄소 저감



음이온이 저장된 해수를 이용한 연소배출가스 중 이산화탄소 제거 방법 및 장치 (KR 0929190)

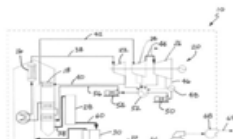
- 해수 이용하여 이산화탄소 저감

2010



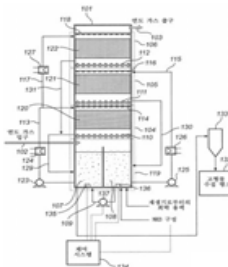
프로세스 가스로부터 이산화탄소를 제거하는 방법 및 시스템 (JP 2013-504424)

- 암모니아 용액, 소금 등을 이용하여 이산화탄소 저감



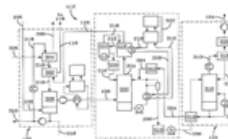
Method for removing CO₂ from coal-fired power plant flue gas using ammonia as the scrubbing solution, with a chemical additive for reducing NH₃ losses, coupled with a membrane for concentrating the CO₂ stream to the gas stripper (US 8328911)

- 수성 스크리빙 솔루션 이용하여 이산화탄소를 포집



이산화탄소를 포획하기 위한 단일 흡수기 용기 (KR 2012-008857)

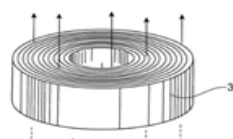
- 이온용액 등을 이용하여 이산화탄소 제거



GAS STREAM PROCESSING (EP 2411120)

- 흡착제, 물, 암모니아 등을 이용하여 이산화탄소 저감

2011



Adsorbent cartridge assembly with end cap (KR 0929190)

- 흡착성 시트 카트리지를 이용하여 이산화탄소 저감

<그림 3.7> CO₂ 저감기술 기술흐름도(209 ~ 2011)

REDUCING CARBON DIOXIDE (CO₂) EMISSIONS FROM THE BURNING OF A FOSSIL FUEL(EP2250440)는 용기의 상부에서 상방으로 흐르는 가스 및 가스로부터 이산화탄소를 포획할 수 있는 두 번째 유형의 고체 입자로부터 열을 흡수 할 수 있는 하향 흐름으로 구성되며, 분리기는 용기 배출로부터 배출 가스로부터 포착하고 이산화탄소와 제2유형의 고체 입자를 분리하고, 분리 방전 캡처 이산화탄소 분리 초 형 고체 입자를 지시한다.

알카리화된 해수를 이용한 연소배출가스 중 이산화탄소 제거 방법 및 장치(KR0944539)는 연소가스에 포함되어 배출되는 이산화탄소(CO₂)를 안전하고 경제적으로 제거하는 방법에 관한 것으로, 이산화탄소를 역삼투막을 통해 농축하고, 바이폴라막 및 이온교환막을 이용한 물분해 전기투석장치(WSED; Water-splitting electrodialysis)를 통해 알카리화한 해수속의 성분들과 반응시키면서 분무건조과정을 통해 이를 건조하고, 수분을 제거함으로써 결정화된 탄산염 및 소금의 형태로 회수하고, 건조과정을 통해 나온 수분 및 잔여 이산화탄소를 찬 해수를 이용하여 응축시켜 담수로서 회수하는 방법 및 장치에 관한 것이다. 또한 이를 입경분리기 등을 사용하여 이산화탄소를 탄산칼슘, 탄산나트륨, 탄산마그네슘, 탄산철, 소금 등으로 결정화 상태로 분리하는 장치 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

음이온이 저감된 해수를 이용한 연소배출가스 중 이산화탄소 제거 방법 및 장치(KR0929190)는 연소가스에 포함되어 배출되는 이산화탄소(CO₂)를 안전하고 경제적으로 제거하는 방법에 관한 것으로, 이산화탄소를 역삼투막 및 나노막 등을 통해 농축하고 음이온을 일정부분 제거한 해수속의 양이온과 반응시키면서 분무건조과정을 통해 이를 건조하고, 수분을 제거함으로써 결정화된 탄산염 및 소금의 형태로 회수하고, 건조과정을 통해 나온 수분 및 잔여 이산화탄소를 찬 해수를 이용하여 응축 담수로서 회수하는 방법 및 장치에 관한 것으로 입경분리기 등을 사용 이산화탄소를 탄산칼슘, 탄산마그네슘, 탄산철, 소금 등으로 결정화 상태로 분리하는 장치 및 그 제조 방법에 관한 것으로, 이산화탄소(CO₂)를 해수에 포함되어 있는 칼슘이온, 마그네슘이온, 철이온, 나트륨이온 등의 양이온과 결합시켜서 탄산칼슘, 탄산마그네슘, 탄산철, 탄산나트륨 등의 결정체로 회수하는 것을 말하며, 보다 효율적이고 경제적으로 이산화탄소를 반응시키기 위하여 RO막(역삼투막)을 통한 해수의 농축과정과 NF막(나노막) 혹은 ED막(이온교환막)을 통한 음이온 저감 공정을 거칠 필요가 있다.

배기 가스 처리 장치(EXHAUST GAS TREATMENT DEVICE) (KR1373454)는 과급기를 구비한 디젤 기관의 배기가스 중의 NOX를 EGR 시스템을 이용하여 제거하는 경우에, 흡입관에 순환하는 배기 가스량을 증대 가능하게 하여 NOX 저감 효과를 향상시키는 동시에, 동력 소비량을 억제하여, 에너지 절약, CO₂ 삭감을 달성하는 것을 목적으로 선박용 디젤 기관의 배기

관에 배기가스의 일부를 흡기 집합관으로 되돌리는 EGR 관으로 구성된다.

프로세스 가스로부터 이산화탄소를 제거하는 방법 및 시스템(JP2013-504424)은 프로세스 가스로부터 이산화탄소를 제거하는 방법으로서, 흡수장치에서 암모니아성 용액을 프로세스 가스와 접촉시키고, 암모니아성 용액에 의해서 프로세스 가스 중의 이산화탄소의 일부를 포착하는 공정으로서, 암모니아성 용액의 암모니아, 이산화탄소의 몰비(R)를 제어하고, 고체의 침전이 실질적으로 생기지 않도록 하는 공정, 포착한 이산화탄소를 포함한 암모니아성 용액을 흡수장치로부터 배출하는 공정, 흡수장치로부터 배출한 암모니아성 용액을 냉각하고, 포착한 이산화탄소의 적어도 일부를 고체염으로서 침전시키는 공정, 침전한 고체의 적어도 일부를 암모니아성 용액으로부터 분리하는 공정, 침전한 고체의 적어도 일부가 분리된 암모니아성 용액을 가열하고, 가열한 암모니아성 용액 중에 고체가 실질적으로 존재하지 않도록 하는 공정 및 가열한 암모니아성 용액을 흡수장치에 재도입하는 공정을 포함하여 구성된다.

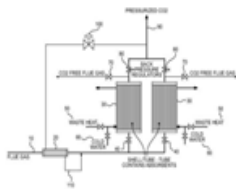
Method for removing CO₂ from coal-fired power plant flue gas using ammonia as the scrubbing solution, with a chemical additive for reducing NH₃ losses, coupled with a membrane for concentrating the CO₂ stream to the gas stripper (US8328911)은 유체 스트림으로부터 이산화탄소를 제거하고 캡처하기 위한 방법으로 유체 스트림으로부터 이산화탄소를 보유하는 수성 세정 용액에 유체 스트림을 노출 하여 과잉의 물을 분리하기 위해 막을 통과 수성 세정 용액을 통과시키는 단계를 포함하여 세정 용액으로부터 이산화탄소 가스를 방출하도록 이산화탄소의 증가 된 농도 및 세정 용액을 재순환 세정 용액을 가열, 세정 용액에서 이산화탄소의 농도를 증가시키며, 이산화탄소 포획 장치는 이산화탄소 스크러버 세정 용액 및 스트리퍼 용기 내에 이산화탄소를 물을 분리하고 농축하는 스크러버 하류 멤브레인을 포함한다.

이산화탄소를 포획하기 위한 단일 흡수기 용기(KR2012-0066657)는 CO₂를 포함하는 연도 가스 스트림으로부터 CO₂를 제거하기 위한 방법 및 시스템으로, a) 연도 가스 스트림으로부터 CO₂의 제1 부분을 제거하도록 연도 가스 스트림과 NH₃를 포함하는 제1 이온 용액의 유동을 접촉시키는 단계와, b) 제1 선프 용기 내에서 a) 단계로부터 사용된 이온 용액을 수집하는 단계와, c) 제1 선프 용기로부터 단계 a)로 이온 용액을 재순환시키는 단계와, d) 연도 가스 스트림으로부터 CO₂의 제2 부분을 제거하도록 연도 가스 스트림과 NH₃를 포함하는 제2 이온 용액의 유동을 접촉시키는 단계와, e) 제2 선프 용기 내에서 단계 d)로부터 사용된 이온 용액을 수집하는 단계와, f) 상기 제2 선프 용기로부터 단계 d)로 이온 용액을 재순환시키는 단계를 포함한다.

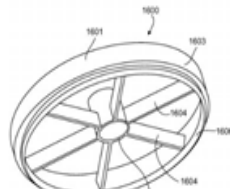
Recovery of greenhouse gas and pressurization for transport (US8580018)는 배기 가스로부터의 온실 가스를 분리하기 위한 시스템은 배기가스를 수용하는 입구를 갖는 용기와 공정 스트림을 배출하는 배출구를 포함하고, 용기에 함유된 흡착제를 선택적으로 이용하여 배기가스에서 온실기체를 흡착한 뒤 흡착제를 가열한다.

ADSORBENT CARTRIDGE ASSEMBLY WITH END CAP(EP2627430)은 적어도 하나의 단부 캡을 갖는 흡착제 카트리지 조립체에 관한 것으로, 시스템은 공기 또는 다른 가스로부터 가스상 오염 물질을 제거하기 위해, 그에 관련된. (a) 하나 이상의 흡착면이 다수의 층과 (b) 엔드 캡에 배치된 흡착제 카트리지 어셈블리로 구성된다.

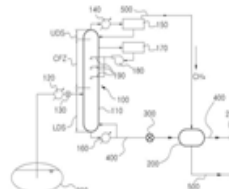
2011



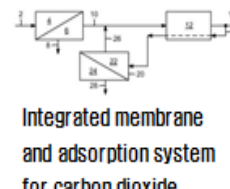
Recovery of greenhouse gas and pressurization for transport (US 8580018)
- 방전 등을 이용하여 이산화탄소 저감



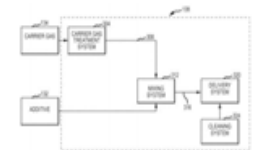
ADSORBENT CARTRIDGE ASSEMBLY WITH END CAP (EP 2627430)
- 흡착성 시트를 이용한 카트리지를 이용하여 이산화탄소를 포집



이산화탄소의 처리 모듈 및 방법 (KR 2013-0075152 / KR 2013-0075152)
- 사워가스를 이용하고, 이산화탄소를 냉각하여 이산화탄소를 수용화하여 처리

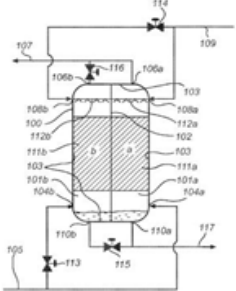


Integrated membrane and adsorption system for carbon dioxide removal from natural gas (US 8388732)
- 멤브레인/흡착제 이용하여 이산화탄소 저감

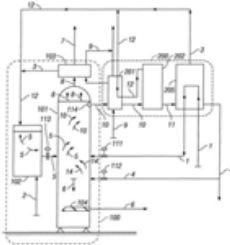


PROCESS FOR DILUTE PHASE INJECTION OR DRY ALKALINE MATERIALS (EP 2545334)
- 첨가제 이용하여 이산화탄소 저감

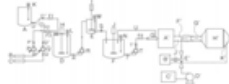
2011



Gas/liquid contacting vessel and the use thereof in a flue gas treatment system (EP 2520352 / US 2014-016252)
- 챔버 내에 유체를 분사하여 이산화탄소 포집

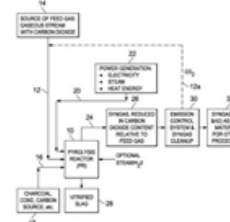


System of carbon capture and sequestration (US 8252242 / EP 2709748)
- 물, 열교환기 등을 이용하여 이산화탄소를 포집



선박용 바이오 또는 모일리의 연료공급 및 배출가스 저장 시스템 (KR 1110015)
- 호모믹서, 유화조 등을 이용하여 이산화탄소 저감

2012



METHOD FOR REDUCING CO2 IN A GASEOUS STREAM BY CONVERSION TO A SYNGAS FOR (EP 2812278)
- Fischer-Tropsch synthesis 반응기 또는 Bio-catalytic synthesis 반응기를 이용하여 이산화탄소 저감



Method and an Apparatus for the Absorption of Carbon Dioxide (US 2012-359861)
- 물을 이용하여 이산화탄소를 흡수하여 재순환시켜 이산화탄소 저감

<그림 3.8> CO₂ 저감기술 기술흐름도(2011 ~ 2012)

이산화탄소의 처리 모듈 및 방법(KR2013-0075153)은 한계가스정(stranded gas well)으로부터 발생하는 사워 가스(sour gas)로부터 분리 배출되는 액체 이산화탄소에 한계가스정으로부터 발생하는 메탄을 냉매로써 통과시켜 액체 이산화탄소를 냉각시키는 실시예로부터 한계가스정의 사워 가스로부터 분리되는 물질을 냉매로 하여 이산화탄소를 냉각시킴으로써 이산화탄소 저장 및 포집용이나 석유 회수증진용 등 극저온의 액체 이산화탄소의 수요처에 적합한 온도 및 상태 조건으로 공급한다.

액화 이산화탄소의 추가 냉각 모듈 및 방법(ADDITIONAL REFRIGERATION MODULE AND METHOD OF LIQUIFACTION CARBON DIOXIDE)(KR2013-0075152)은 사워 가스(Sour Gas)로부터 분리된 액체 이산화탄소를 교축 감압 팽창시키고, 저온으로 기액 분리하여 선박 운송 또는 석유 회수증진용으로 공급하는 실시예로부터 이산화탄소 저장 및 포집용이나 석유 회수증진용 등 극저온의 액체 이산화탄소의 수요처에 적합한 온도 및 상태조건으로 공급될 수 있도록 한다.

Integrated membrane and adsorption system for carbon dioxide removal from natural gas (US8388732)은 천연 가스 정화 장치를 수용하는 선박에 천연 가스로부터 이산화탄소의 제거를 위한 통합 막 / 흡착 방법 및 장치에 관한 것으로 추가 막 유닛 또는 흡착제 베드는 흡착제 베드를 재생하는 데 사용되는 가스 스트림에서 손실되는 생산 가스의 양을 감소시키기 위해 사용되며, 액화 천연 가스 만 이산화탄소 당 50 중량 부 미만의 사양을 만족하는 생성물 스트림을 생성한다.

System of carbon capture and sequestration (US8252242)는 산화탄소를 포착 및 분리하는 시스템 및 방법이며, 실질적으로 비수성의 용매와 알칼리가 용매 현탁액을 형성하도록 실질적으로 비수성의 용매와 알칼리를 혼합하는 것, 반응이 일어나도록 용매 현탁액과 물, 및 이산화탄소를 포함한 연도 가스를 혼합하는 것을 포함해, 반응에 의해서 카보네이트, 물 및 열을 형성한다.

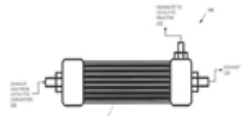
선박용 엔진 또는 보일러의 연료공급 및 배출가스 저감 시스템(KR1110015)은 유화연료를 선박용 엔진 또는 보일러에 공급하여, 물 또는 해수의 첨가에 의한 화염온도의 저하, 물의 급격한 증발에 의한 유적의 마이크로폭발, 분무관통력의 증가에 따른 주위공기 혼입량 증대 등으로 엔진 내부에서 연소시 완전연소에 가깝게 만들어줌으로써 배출되는 질소산화물과 매연을 1차적으로 줄이고, 2차적으로 선박용 엔진 또는 보일러에서 배출되는 질소산화물을 SCR(Selective Catalytic Reduction) 촉매층을 통과시키면서 질소로 환원시켜 대기오염물질의 배출을 줄이고 물 또는 해수를 사용하는 대체연료로서 온실가스인 이산화탄소의 배출을 저감시킨다.

METHOD FOR REDUCING CO₂ IN A GASEOUS STREAM BY CONVERSION TO A SYNGAS FOR PRODUCTION ENERGY(EP2812276)은 가스 흐름 중의 CO₂로부터 합성 가스를 제조하는 시스템 및 방법으로 CO₂ 및 탄소는 수증기와 같은 반응체와 함께, 합성 가스, 이산화탄소 및 수소를 생성하는 반응이 일어나도록, 약 1 기압으로 약 1330°C으로 가열한다.

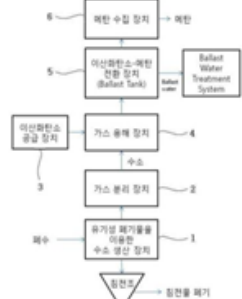
SYSTEM AND METHOD OF CARBON CAPTURE AND SEQUESTRATION, ENVIRONMENTAL REMEDIATION AND METALS RECOVERY(EP2709748)은 이산화탄소를 포착 및 분리하는 시스템 및 방법이며, 실질적으로 비수성의 용매와 알칼리가 용매 현탁액을 형성하도록 실질적으로 비수성의 용매와 알칼리를 혼합하는 것, 반응이 일어나도록 용매 현탁액과 물, 및 이산화탄소를 포함한 연도 가스를 혼합하는 것을 포함해, 반응에 의해서 카보네이트, 물 및 열의 형성이 생기는 방법을 제공하며, 환경 수복의 방법 및 프로세스 및 폐기물 흐름으로부터 금속을 회수하는 방법 및 프로세스를 제공한다.

Method and an Apparatus for the Absorption of Carbon Dioxide(US2014-0322115)은 에어로졸 형성의 리스크를 줄이면서 특정의 일련의 섹션을 가지는 흡수장치 내에서 이산화탄소 함유흐름으로부터의 이산화탄소 흡수를 수행하는 방법으로서, 특정의 스텝을 구비하는 방법에 관한다. 본 발명의 다른 양태는 이산화탄소의 흡수를 위한 장치의 이산화탄소 흡수 섹션의 일부로서의 구조화된 패키징의 사용으로서, 이산화탄소 흡수 섹션의 상부 영역의 에어로졸 형성의 리스크를 줄인다.

2012

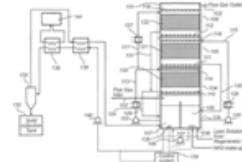


Emission reduction from mobile sources by on-board carbon dioxide conversion to fuel (US 8863701)
- 촉매반응기, 다공성 반막 분리기 등을 이용하여 이산화탄소 저감

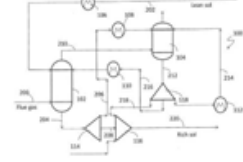


6. 배탄 수집 장치 → 배탄
5. 이산화탄소-배탄 전환 장치 (Ballast Tank) → Ballast Water Treatment System
4. 가스 용해 장치
3. 이산화탄소 공급 장치
2. 가스 분리 장치
1. 유기성 폐기물을 이용한 수소 생산 장치
폐수 → 유전료 → 퇴탄물 폐기

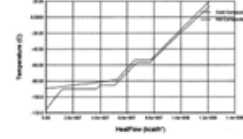
선박의 밸러스트 탱크 내 혐기성 미생물을 이용한 이산화탄소의 메탄 전환 방법 및 그 시스템 (KR 2014-0087853)
- 미생물을 이용하여 이산화탄소를 메탄가스로 전환하여 이산화탄소를 저감



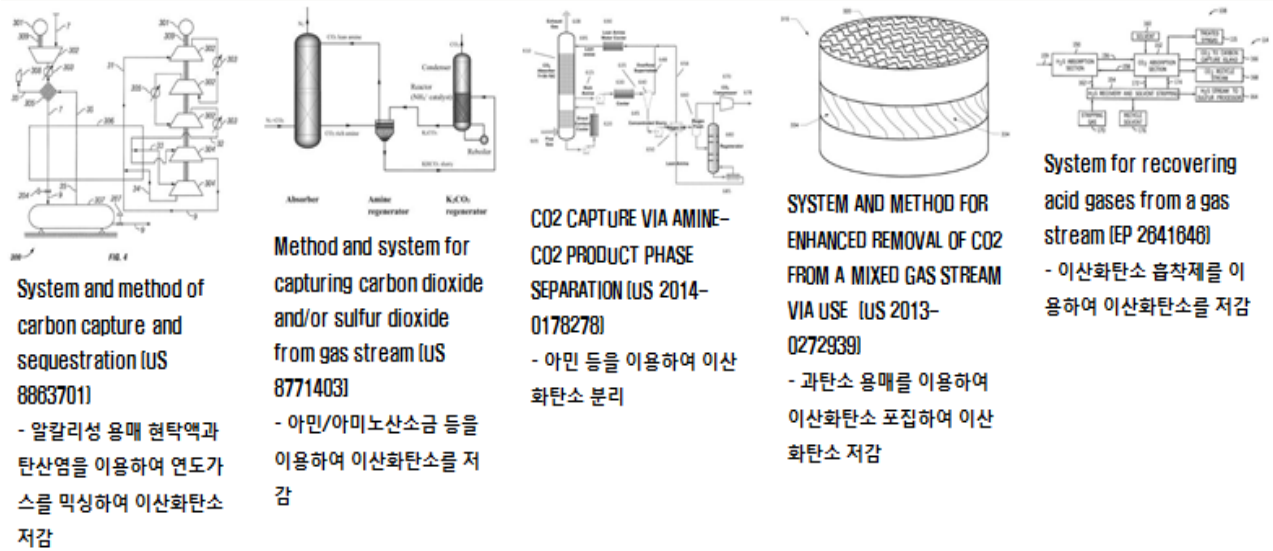
System for removal of carbon dioxide from a process gas (US 8673227)
- 암모니아 처리 용액을 이용한 암모니아를 포집



CARBON DIOXIDE CAPTURE SYSTEM (EP 2812276 / US 2012-0258031)
- 암모니아를 이용하여 이산화탄소 저감



Process for Removing Carbon Dioxide From a Gas Stream using Desublimation (US 2013-0025317)
- 온도 및 압력 이용하여 물을 이용하여 가스내 이산화탄소 분리



System and method of carbon capture and sequestration (US 8883701)
 - 알칼리성 용매 현탁액과 탄산염을 이용하여 연도가를 막싱하여 이산화탄소 저장

Method and system for capturing carbon dioxide and/or sulfur dioxide from gas stream (US 8771403)
 - 아민/아미노산소금 등을 이용하여 이산화탄소를 저장

CO2 CAPTURE VIA AMINE-CO2 PRODUCT PHASE SEPARATION (US 2014-0178278)
 - 아민 등을 이용하여 이산화탄소 분리

SYSTEM AND METHOD FOR ENHANCED REMOVAL OF CO2 FROM A MIXED GAS STREAM VIA USE (US 2013-0272939)
 - 과탄소 용매를 이용하여 이산화탄소 포집하여 이산화탄소 저장

System for recovering acid gases from a gas stream (EP 2841646)
 - 이산화탄소 흡착제를 이용하여 이산화탄소를 저장

<그림 3.9> CO₂ 저장기술 기술흐름도(2012 ~ 2013)

Emission reduction from mobile sources by on-board carbon dioxide conversion to fuel (US8863701)은 배기가스를 탄화수소 연료로 변환함으로써 이산화탄소 배출을 감소시키기 위한 장치 및 프로세스로 구동력을 공급하는 연소 기관의 배기가스로부터 열에너지를 추출하기 위한 열교환기와 배기가스로부터 물 및 이산화탄소를 분리하기 위한 막분리기와 나노 촉매를 구비하는 촉매 반응기로 구성한다.

선박의 밸러스트 탱크 내 혐기성 미생물을 이용한 이산화탄소의 메탄 전환 방법 및 그 시스템(KR2014-0067853)은 선박의 밸러스트 탱크 내에 혐기성 미생물을 배양하고 이를 이용해 선박에서 발생하는 이산화탄소를 메탄가스로 전환하여 이산화탄소를 줄이고 유용한 에너지를 획득할 수 있는 기술을 제공한다.

밸러스트 탱크 중의 밸러스트수를 처리하기 위한 시스템(JP2014-511304)은 선박 및 앞바다 건조물상의 밸러스트 탱크(1) 중의 평형수를 처리하기 위한 시스템으로서, 하나 또는 복수의 밸러스트 탱크와 하나 또는 복수의 밸러스트 탱크 사이에서 배관을 통해 평형수를 순환 또는 재순환시킬 수 있는 순환 펌프와, 공기 및/또는 불활성 가스, 예를 들어 질소 및/또는 이산화탄소와 같은 가스를 평형수에 공급할 수 있는 방식으로, 재순환 펌프의 송출측으로 배관에 접속되어 있는 가스 공급 유닛과, 가스 함유수를 하나 또는 복수의 밸러스트 탱크에 주입하기 위한 적어도 하나의 노즐을 포함한 시스템이다.

System for removal of carbon dioxide from a process gas (US8673227)은 CO₂를 함유하는 연도 가스 스트림으로부터 CO₂를 제거하기 위한 방법 및 시스템을 제공하는 것이며, 방법은 a) NH₃를 포함하여 구성되는 제1 이온성 용액류를 연도 가스 스트림과 접촉시키고, 연도 가스 스트림으로부터 CO₂의 제1 부분을 제거하는 공정, b) 공정 a)로부터의 폐이온성 용액을 제1 액체받이 용기에 있어서 모으는 공정, c) 이온성 용액을 제1 액체받이 용기에서 공정 a)에 재순환하는 공정, d) NH₃를 포함하여 구성되는 제2 이온성 용액류를 연도 가스 스트림과 접촉시키고, 연도 가스 스트림으로부터 CO₂의 제2 부분을 제거하는 공정, e) 공정 d)로부터의 폐이온성 용액을 제2 액체받이 용기에 있어서 모으는 공정, 및 f) 이온성 용액을 제2 액체받이 용기에서 공정 d)에 재순환하는 공정을 포함한다.

System and method of carbon capture and sequestration (USRE45309)은 이산화탄소를 포착 및 분리하는 시스템 및 방법으로 실질적으로 비수성의 용매와 알칼리가 용매 현탁액을 형성하도록 비수성의 용매와 알칼리를 혼합하며, 반응이 일어나도록 용매 현탁액과 물, 및 이산화탄소를 포함한 연도 가스를 혼합하는 것을 포함한다.

Method and system for capturing carbon dioxide and/or sulfur dioxide from gas stream (US8771403)은 CO₂ 및/또는 SO₂ 흡수가 아민을 포함 및/또는 CO₂- 생산 CO₂ 및/또는 SO₂를 흡수 할 산업 아미노을 이용하여 CO₂ 및/또는 SO₂를 캡처하기위한 시스템을 제공한다.

System for recovering acid gases from a gas stream(EP2641646)은 제1용매 경로 및 제1가스 경로를 갖는 제1섹션을 포함하며, 제1가스 경로는 제1가스 혼합물을 생성하기 위해 제1용기 내 제1용매 경로로부터 황화수소(H₂S) 및 이산화탄소(CO₂)를 제거하도록 스트리핑 가스를 유동시키도록 구성되며, 가스정화시스템은 제2용매 경로를 갖는 제2섹션을 또한 포함하며, 제2용매 경로는 제2용매 혼합물을 유동시키도록 구성되어, 제2용기 내의 제2용매 혼합물로부터 CO₂를 제거하고, 제1가스 혼합물로부터 H₂S를 제거한다.

출원년	발명의 명칭 (출원/등록번호)	특징
1996	Method for gas absorption across a membrane (US5749941)	폴리프로펜 또는 폴리에텐의 중공 섬유 이용
1999	Method of treating carbon dioxide-containing gas and apparatus therefor (US6254667)	해수에 가스 리프트 장치를 설치하여 이산화탄소 가스를 해수에 용해

출원년	발명의 명칭 (출원/등록번호)	특징
2000	CO ₂ 고정화 방법 (JP2002-079035)	아민을 이용하여 CO ₂ 의 흡수를 효율적으로 수행함과 동시에, 회수된 CO ₂ 를 공업용 원료로서 고정화
2001	Method for extracting and sequestering carbon dioxide (US6890497)	탄산과 탄산염을 마이크로 버블의 형태로 형성하여 이산화탄소를 제거
2001	Method for simultaneous removal and sequestration of CO ₂ in a highly energy efficient manner (US2003-0017088)	반응층과 당초 농도의 CO ₂ 를 가지는 가스를 층에 도입하기 위한 분산 수단과 층에 공급되는 CO ₂ 의 용매와 가스로부터 미리 설정한 양의 CO ₂ 를 제거하기 위해 층 내에 배치되는 화학적 수단과 미리 설정한 양이 제거된 CO ₂ 를 용매에 용해하여 CO ₂ 를 제거
2004	POLYAMINE/ALKALI SALT BLENDS FOR CARBON DIOXIDE REMOVAL FROM GAS STREAMS (EP1615712)	탄산칼륨 등의 알칼리염 및 피페라진(PZ) 등의 폴리아민을 포함하여 이산화탄소를 제거함
2004	System and method for collecting carbon dioxide in exhaust gas(US2006-0185516) Separation of carbon dioxide from gas mixtures by calcium based reaction separation (US8226917)	탄산화와 H ₂ 생산을 위한 향상된 수성 가스 전환 반응은 HTS 촉매 및 흡착제를 사용하여 칼슘 600 °C 에서 조사하여 이산화탄소를 포착함
2007	Carbon sequestration using a floating vessel (US8753863)	우레아의 첨가시 식물성 플랑크톤의 개체수가 증가 되는 것을 이용
2007	Method of removing and solidifying carbon dioxide from a fluid stream and fluid separation assembly (US8475572)	유체 분리 조립체에 의해 유체 스트림으로부터 이산화탄소를 제거하는 방법
2008	SYSTEM, APPARATUS AND METHOD FOR CARBON DIOXIDE SEQUESTRATION (EP2134449)	금속 규산염 암석의 슬러리를 암모니아와 혼합하고, 암모니아/수/금속 규산염 슬러리를 생성하고, 이산화탄소를 포함한 가스 흐름을 스크러빙함으로써, 이산화탄소를 반응성 슬러리중에 흡수

출원년	발명의 명칭 (출원/등록번호)	특징
2008	Sorbent fiber compositions and methods of temperature swing adsorption (US8133308)	하나의 흡착 물질을 포함한 중공사와 중공사 내부에 배치된 내강과 내강과 흡착 물질 사이의 유체 연통을 방지하기 위한, 내강을 덮는 배리어층을 포함한, 흡착 섬유로 구성
2008	이산화탄소 격리를 위한 시스템, 장치 및 방법 (KR2009-0125109)	금속 실리케이트 암석의 슬러리가 암모니아와 혼합하고, 공정은 이산화탄소를 함유하는 가스 흐름을 앞의 단계로부터 생성된 용액으로 세정하는 단계를 포함
2008	Method for sour gas treatment (US7604724)	수산화 나트륨과 사우어 가스에 황화수소와 이산화탄소를 반응시켜 사우어 가스로부터 황화 수소 및 이산화탄소를 제거
2009	배기가스 처리장치가 탑재된 선박 (JP5357720)	과급기를 구비한 디젤 기관의 배가스 중의 NOX를 EGR 시스템을 이용, 흡기관에 순환하는 배기가스량이 증대 가능하게 해 NOX 감소 효과를 향상시킴과 동시에, 동력 소비량을 억제하고, 에너지 절약, CO ₂ 삭감
2009	System and method for enhanced removal of CO ₂ from a mixed gas stream (US8343445)	지지 구조체로 구성된 질량 전달 디바이스가 제공되어 흡수기 용기의 내부 내에 배치되며, 지지 구조체는 높은 BET(브루나우어, 에멧 및 텔러) 표면적 및 다공성(폴리머, 금속 산화물, SiO ₂ , 분자체 등)을 갖는 상업적으로 입수 가능한 촉매로 CO ₂ 가 용매에 의해 포획되는 가능성을 증가
2009	Method and apparatus for efficient gas treating system (US8080089)	용기 내에서 연도 가스 (120)는 F 이하의 온도로 적어도 17 F로 냉각된 후 황산화물 화합물이 용기에서 제거된 연도 가스는 연도 가스 이산화탄소 세정 장치로 전달
2009	촉매 사용을 이용하여 혼합 가스 스트림으로부터의 CO ₂ 제거를 증진시킨 시스템 및 방법 (JP2011-515210)	폴리머, 금속 산화물, SiO ₂ , 분자체(molecular sieve), 염기 및/또는 산 개질 점토 등과 같은 높은 BET 표면적을 갖고 고체 재료 상에 바람직하게는 균일하게 분산된 금속 또는 산화물(예를 들어, MgO), 클로라이드 MgCl ₂ 등과 같은 이들의 화합물을 이용한 촉매로 이산화탄소를 제거

출원년	발명의 명칭 (출원/등록번호)	특징
2009	SEPARATION OF CARBON DIOXIDE FROM NITROGEN UTILIZING ZEOLITIC IMIDAZOLATE FRAMEWORK MATERIALS (EP2249947)	제올라이트를 이용하여 이산화탄소 및 질소를 모두 함유하는 스트림의 질소로부터 이산화탄소를 분리
2009	REDUCING CARBON DIOXIDE (CO ₂) EMISSIONS FROM THE BURNING OF A FOSSIL FUEL (EP2250440)	용기의 상부에서 상방으로 흐르는 가스 및 가스로부터 이산화탄소를 포획 할 수 있는 두 번째 유형의 고체 입자로부터 열을 흡수 할 수 있는 하향 흐름으로 구성되며, 분리는 용기 배출로부터 배출 가스로부터 포착
2009	알카리화된 해수를 이용한 연소배출가스 중 이산화탄소 제거 방법 및 장치 (KR0944539)	산화탄소를 역삼투막을 통해 농축하고, 바이폴라막 및 이온교환막을 이용한 물분해전기투석장치(WSED; Water-splitting electro dialysis)를 통해 알카리화한 해수속의 성분들과 반응시키면서 분무건조과정을 통해 이를 건조하고, 수분을 제거함으로써 결정화된 탄산염 및 소금의 형태로 회수하고, 건조과정을 통해 나온 수분 및 잔여 이산화탄소를 찬 해수를 이용하여 응축시켜 담수로서 회수하는 방법 및 장치
2009	음이온이 저감된 해수를 이용한 연소배출가스 중 이산화탄소 제거 방법 및 장치(KR0929190)	이산화탄소를 역삼투막 및 나노막 등을 통해 농축하고 음이온을 일정부분 제거한 해수속의 양이온과 반응시키면서 분무건조과정을 통해 이를 건조하고, 수분을 제거함으로써 결정화된 탄산염 및 소금의 형태로 회수하고, 건조과정을 통해 나온 수분 및 잔여 이산화탄소를 찬 해수를 이용하여 응축 담수로서 회수
2010	배기 가스 처리 장치 (KR1373454)	배기가스 중의 NOX를 EGR 시스템을 이용하여 제거하는 경우에, 흡입관에 순환하는 배기 가스량을 증대 가능하게 하여 NOX 저감 효과를 향상시키는 동시에, 동력 소비량을 억제하여, 에너지 절약, CO ₂ 삭감

출원년	발명의 명칭 (출원/등록번호)	특징
2010	프로세스 가스로부터 이산화탄소를 제거하는 방법 및 시스템 (JP2013-504424)	암모니아성 용액에 의해서 프로세스 가스 중의 이산화탄소의 일부를 포착하는 공정
2010	Method for removing CO ₂ from coal-fired power plant flue gas using ammonia as the scrubbing solution, with a chemical additive for reducing NH ₃ losses, coupled with a membrane for concentrating the CO ₂ stream to the gas stripper (US8328911)	수성 세정 용액에 유체 스트림을 노출 하여 과잉의 물을 분리하기 위해 막을 통과 수성 세정 용액을 통과
2010	이산화탄소를 포획하기 위한 단일 흡수기 용기(KR2012-0066657)	a) 연도 가스 스트림으로부터 CO ₂ 의 제1 부분을 제거하도록 연도 가스 스트림과 NH ₃ 를 포함하는 제1 이온 용액의 유동을 접촉시키는 단계와, b) 제1 선포 용기 내에서 a) 단계로부터 사용된 이온 용액을 수집하는 단계와, c) 제1 선포 용기로부터 단계 a)로 이온 용액을 재순환시키는 단계와, d) 연도 가스 스트림으로부터 CO ₂ 의 제2 부분을 제거
2011	ADSORBENT CARTRIDGE ASSEMBLY WITH END CAP(EP2627430)	용기에 함유 된 흡착제를 선택적으로 이용하여 배기가스에서 온실기체를 흡착한 뒤 흡착제를 가열
2011	ADSORBENT CARTRIDGE ASSEMBLY WITH END CAP (EP2627430)	시스템은 공기 또는 다른 가스로부터 가스상 오염 물질을 제거하기 위해, 그에 관련된. (a) 하나 이상의 흡착면이 다수의 층과 (b) 엔드 캡에 배치된 흡착제 카트리지 어셈블리로 구성
2011	이산화탄소의 처리 모듈 및 방법 (KR2013-0075153)	사워 가스(sour gas)로부터 분리 배출되는 액체 이산화탄소에 한계가스정으로부터 발생하는 메탄을 냉매로써 통과시켜 액체 이산화탄소를 냉각

출원년	발명의 명칭 (출원/등록번호)	특징
2011	액화 이산화탄소의 추가 냉각 모듈 및 방법 (KR2013-0075152)	사워 가스(Sour Gas)로부터 분리된 액체 이산화탄소를 교축 감압 팽창시키고, 저온으로 기액 분리하여 선박 운송 또는 석유 회수증진용으로 공급
2011	Integrated membrane and adsorption system for carbon dioxide removal from natural gas (US8388732)	천연 가스 정화 장치를 수용하는 선박에 천연 가스로부터 이산화탄소의 제거를 위한 통합 막 / 흡착 방법
2011	System of carbon capture and sequestration (US8252242)	비수성의 용매와 알칼리가 용매 현탁액을 형성하도록 실질적으로 비수성의 용매와 알칼리를 혼합하는 것, 반응이 일어나도록 용매 현탁액과 물, 및 이산화탄소를 포함한 연도 가스를 혼합
2011	선박용 엔진 또는 보일러의 연료공급 및 배출가스 저감 시스템 (KR1110015)	유화연료를 선박용 엔진 또는 보일러에 공급하여, 물 또는 해수의 첨가에 의한 화염온도의 저하, 물의 급격한 증발에 의한 유적의 마이크로폭발, 분무관통력의 증가에 따른 주위공기 혼입량 증대 등으로 엔진 내부에서 연소시 완전연소에 가깝게 만들어줌으로써 배출되는 질소산화물과 매연을 1차적으로 줄이고, 2차적으로 선박용 엔진 또는 보일러에서 배출되는 질소산화물을 SCR(Selective Catalytic Reduction) 촉매층을 통과시키면서 질소로 환원시켜 대기오염물질의 배출을 줄이고 물 또는 해수를 사용하는 대체연료로서 온실가스인 이산화탄소의 배출을 저감
2012	METHOD FOR REDUCING CO ₂ IN A GASEOUS STREAM BY CONVERSION TO A SYNGAS FOR PRODUCTION ENERGY(EP2812276)	CO ₂ 및 탄소는 수증기와 같은 반응체와 함께, 합성 가스, 이산화탄소 및 수소를 생성하는 반응이 일어나도록, 약 1 기압으로 약 1330°C으로 가열
2012	Method and an Apparatus for the Absorption of Carbon Dioxide(US2014-0322115)	이산화탄소의 흡수를 위한 장치의 이산화탄소 흡수 섹션의 일부로서의 구조화된 패키징의 사용으로서, 이산화탄소 흡수 섹션의 상부 영역의 에어로졸 형성의 리스크를 줄임

출원년	발명의 명칭 (출원/등록번호)	특징
2012	Emission reduction from mobile sources by on-board carbon dioxide conversion to fuel (US8863701)	배기가스로부터 물 및 이산화탄소를 분리하기 위한 막분리기와 나노 촉매를 구비하는 촉매 반응기로 구성
2012	선박의 밸러스트 탱크 내 혐기성 미생물을 이용한 이산화탄소의 메탄 전환 방법 및 그 시스템(KR2014-0067853)	선박의 밸러스트 탱크 내에 혐기성 미생물을 배양하고 이를 이용해 선박에서 발생하는 이산화탄소를 메탄가스로 전환하여 이산화탄소를 줄임
2012	밸러스트 탱크 중의 밸러스트수를 처리하기 위한 시스템 (JP2014-511304)	하나 또는 복수의 밸러스트 탱크와 하나 또는 복수의 밸러스트 탱크 사이에서 배관을 통해 평형수를 순환 또는 재순환시킬 수 있는 순환 펌프와, 공기 및/또는 불활성 가스, 예를 들어 질소 및/또는 이산화탄소와 같은 가스를 평형수에 공급할 수 있는 방식으로, 재순환 펌프의 송출측으로 배관에 접속되어 있는 가스 공급 유닛과, 가스 함유수를 하나 또는 복수의 밸러스트 탱크에 주입하기 위한 적어도 하나의 노즐을 포함
2012	System for removal of carbon dioxide from a process gas (US8673227)	이온성 용액류를 연도 가스 스트림과 접촉시키고, 연도 가스 스트림으로부터 CO ₂ 의 제2 부분을 제거
2013	System and method of carbon capture and sequestration (USRE45309)	비수성의 용매와 알칼리를 혼합하며, 반응이 일어나도록 용매 현탁액과 물, 및 이산화탄소를 포함한 연도 가스를 혼합
2013	Method and system for capturing carbon dioxide and/or sulfur dioxide from gas stream (US8771403)	CO ₂ 및/또는 SO ₂ 흡수가 아민을 포함 및/또는 CO ₂ -생산 CO ₂ 및/또는 SO ₂ 를 흡수 할 산업 아미노을 이용하여 CO ₂ 및/또는 SO ₂ 를 캡처하기 위한 시스템

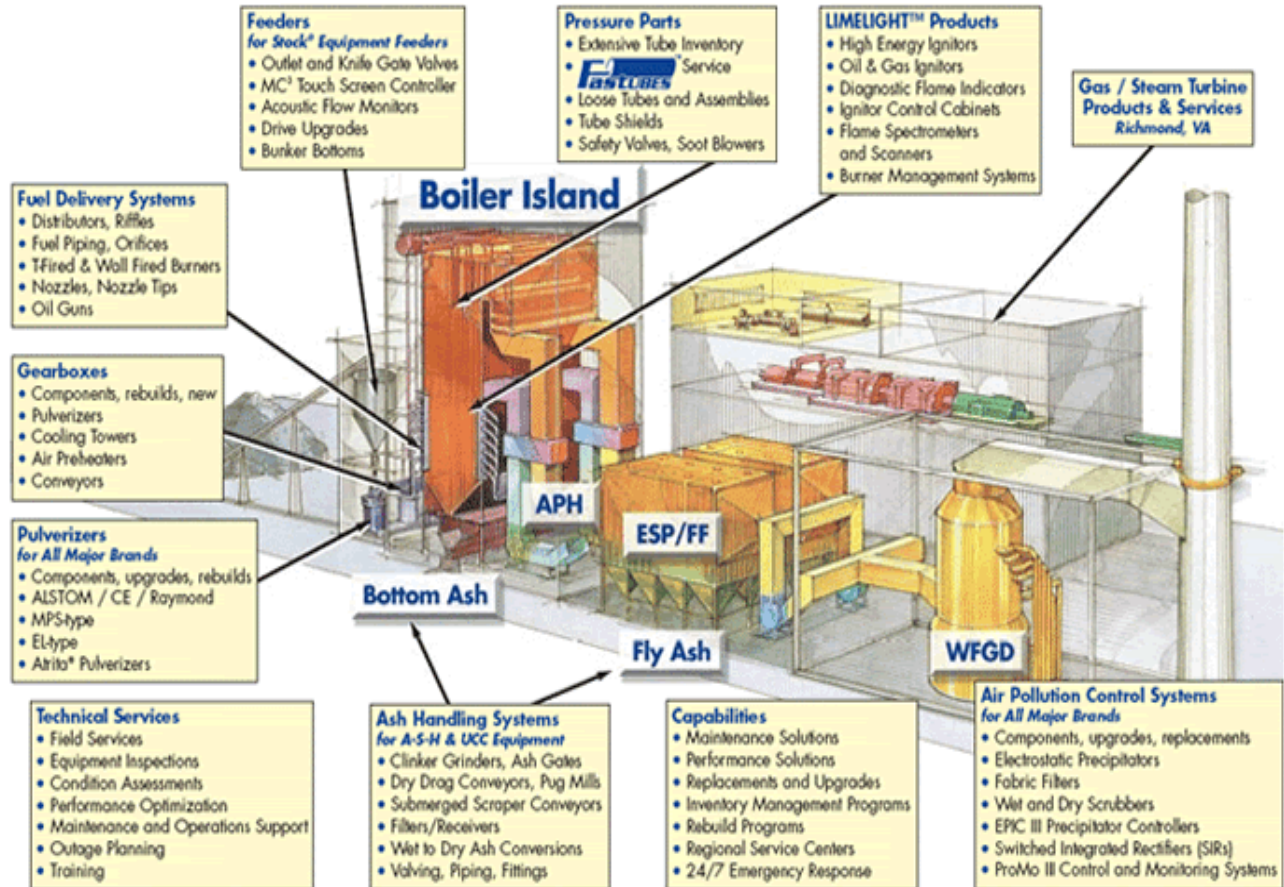
출원년	발명의 명칭 (출원/등록번호)	특징
2013	System for recovering acid gases from a gas stream(EP2641646)	제2용매 경로를 갖는 제2섹션을 또한 포함하며, 제2용매 경로는 제2용매 혼합물을 유동시키도록 구성되어, 제2용기 내의 제2용매 혼합물로부터 CO ₂ 를 제거

▶ CO₂ 저감(BD)는 2009년 2010년, 2011년에는 완전연소를 유도하여 배기가스 내에 포함된 이산화탄소를 저감시키는 기술이 개시되었다.

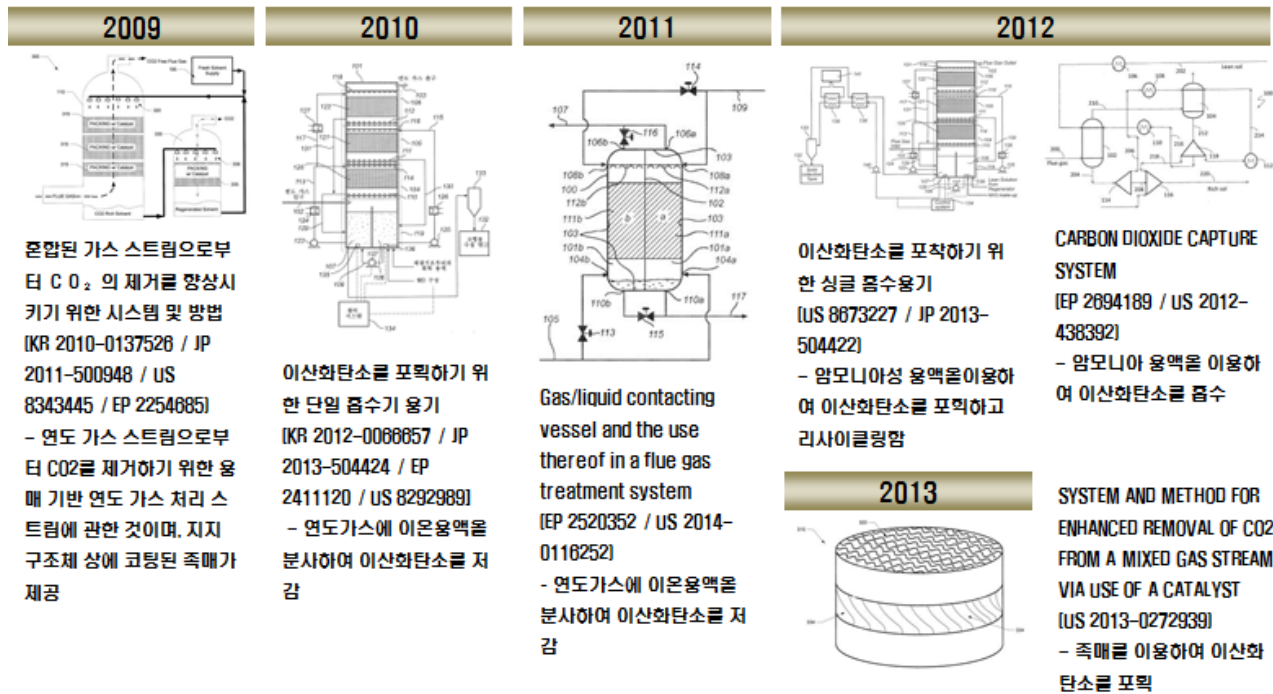
그 외 기술은 이산화탄소 저감이 아닌 배기가스에서 발생된 이산화탄소를 포집하여 제거하는 기술로 물리적, 화학적 방법으로 배기가스에서 이산화탄소를 분리하는 기술, 분리된 이산화탄소를 액화시키거나, 평형수 또는 해수에 분사하는 기술이다.

2.3.2. 주요 출원인별 기술흐름 분석

(1) ALSTOM



알스톰(Alstom)은 1928년에 설립된 프랑스의 다국적 운송 및 발전 설비 제조 업체로 발전 사업은 설계, 제조, 서비스, 제품 공급 등을 포함하며, 가스, 석탄, 원자력, 수력, 풍력 등 모든 발전 분야에 진출하고 있다. 발전 설비의 각각 구성 요소(보일러, 터빈, 발전기 등) 및 터키 사업(각종 발전소 건설)을 판매한다. 이 외에도 기존 구축된 발전 설비 유지 보수도 하고 있으며, 2007-2008 회계연도 동안 발전 사업에서 114억 유로의 매출을 달성하고 있으며, 전 세계 발전소의 25%에 장비를 납품한다.



<그림 3.10> ALSTOM사의 기술 흐름도

SYSTEM, APPARATUS AND METHOD FOR CARBON DIOXIDE SEQUESTRATION (EP2134449)

은 금속 규산염 암석의 슬러리를 암모니아와 혼합하고, 암모니아/수/금속 규산염 슬러리를 생성하고, 이산화탄소를 포함한 가스 흐름을 스크러빙함으로써, 이산화탄소를 반응성 슬러리중에 흡수시키는 공정으로 구성되어 있다.

CO₂를 포획하기 위한 싱글 흡수 용기 (JP 2013-504422)는 a) NH₃를 포함하여 구성되는 제1 이온성 용액류를 연도 가스 스트림과 접촉시키고, 연도 가스 스트림으로부터 CO₂의 제1 부분을 제거하는 공정, b) 공정 a)로부터의 폐이온성 용액을 제1 액체받이 용기에 있어서 모으는 공정, c) 이온성 용액을 제1 액체받이 용기에서 공정 a)에 재순환하는 공정, d) NH₃를 포함하여 구성되는 제2 이온성 용액류를 연도 가스 스트림과 접촉시키고, 연도 가스 스트림으로부터 CO₂의 제2 부분을 제거하는 공정, e) 공정 d)로부터의 폐이온성 용액을 제2 액체받이 용기에 있어서 모으는 공정, 및 f) 이온성 용액을 제2 액체받이 용기에서 공정 d)에 재순환하는 공정을 포함하고 있다.

Gas/liquid contacting vessel and the use thereof in a flue gas treatment system(EP 2520352)는 희박 이온성 암모니아 용액 및 냉각 시스템에서 연도 가스 흐름에 이온 암모니아를 분사하여 이산화탄소를 포집하고, 리사이클 할 수 있도록 구성되었다.

CARBON DIOXIDE CAPTURE SYSTEM (EP 2694189)는 냉장된 암모니아를 이용하여 이산화탄소를 흡수하며 재사용될 수 있도록 구성되었다.

SYSTEM AND METHOD FOR ENHANCED REMOVAL OF CO₂ FROM A MIXED GAS STREAM VIA USE OF A CATALYST(US 2013-0272939)는 이온성 암모니아 용액을 연도 가스 스트림에 분사하여 CO₂를 흡수하고, 흡수된 CO₂를 배출하기 위해 재생기 시스템을 이용하고 있다.

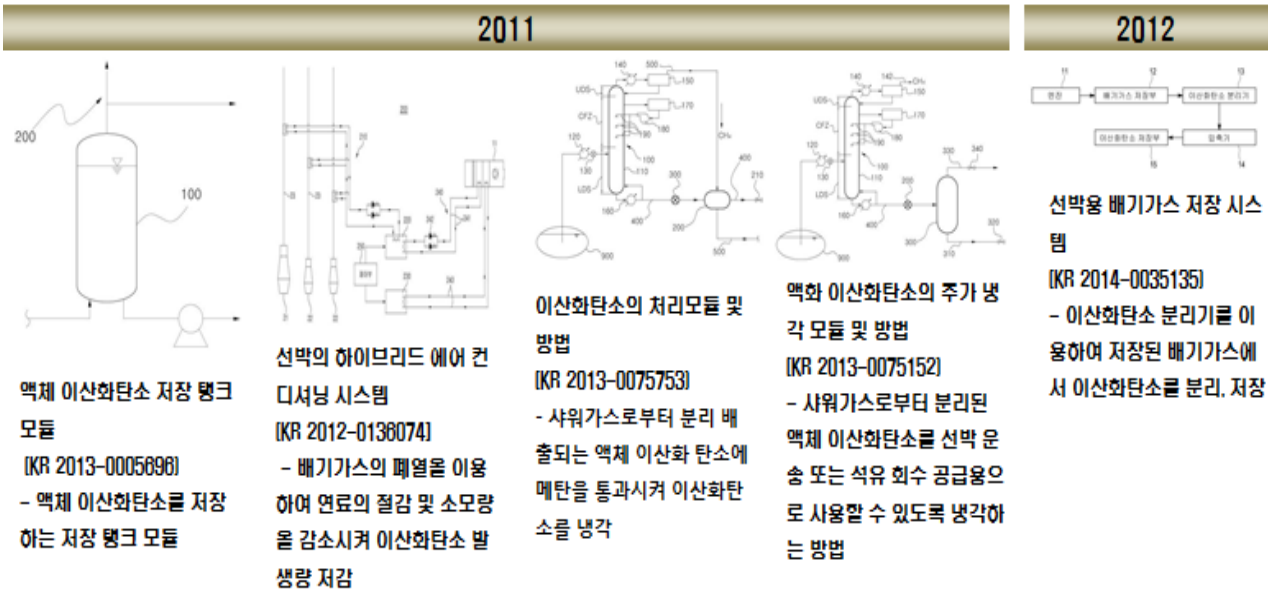
▶ 2009년부터 2012년까지 지속적으로 출원된 CO₂관련한 ALSTOM사의 기술암모니아를 이용한 것으로, 초기에는 이산화탄소를 반응성 슬러리에 흡수시키는 기술로부터 흡수된 이산화탄소를 배출시키는 재생기 시스템으로 기술이 개발되었다.

ALSTOM사의 출원은 발전 설비를 중심으로 연구개발되고 있는 것으로 판단되나, 해당 특허의 특허청구범위는 발전 설비에 제한되어 작성된 것이 아니므로 이에 관하여 참고할 필요가 있다.

(2) 대우조선해양

대우조선해양은 대한민국의 조선해양회사로, 영국 클락슨이 발표한 자료에 따르면 2014년 12월 말을 기준으로 대우조선해양의 수주 잔량은 세계 1위인 회사이다. 대우조선해양은 1973년 10월 11일 대한조선공사 옥포조선소로 출범하여, 1993년 선박수주 세계 1위를 달성하고, 대한민국 최초로 전투잠수함을 건조하였으며 이듬해 1994년 대우중공업에 합병되었고, 대우그룹이 해체되면서 2000년 대우중공업은 대우조선공업, 대우종합기계(현 두산인프라코어), 청산법인 대우중공업으로 나뉘었고, 2001년 LNG선 수주 세계 1위를 달성하였으며, 2005년 세계 최초로 LNG-RV를 건조 하였다.

액체 이산화탄소 저장 탱크 모듈(KR 2013-0005696)은 저장 탱크에 수용된 액체 이산화탄소로부터 발생하는 BOG를 외부로 배출시키되, 배출되는 BOG를 인공 식물재배시설에서 재배되는 식물의 성장 촉진용으로 활용하는 등 이산화탄소가 사용되는 장소에 공급하면서 저장 탱크의 내부 압력을 제어 유닛으로 일정하게 유지하는 구조로부터 설정된 범위 내에서 압력을 제어함으로써 설계압력을 낮추어 제작비용을 저감할 수 있음은 물론, 액체 이산화탄소를 다양한 용도로 활용할 수 있도록 하는 액체 이산화탄소 저장 탱크 모듈이다.



<그림 3.11> 대우조선해양사의 기술 흐름도

선박의 하이브리드 에어컨디셔닝 시스템(KR 2012-0136074)는 선박에서 발생하는 배기가스로부터 열을 흡수하여 열매를 순환 공급하는 폐열흡수부와, 폐열흡수부로부터 열매를 순환 공급받아 냉방에 필요한 에너지를 얻는 흡수식 냉동기와, 냉동사이클에 의해 냉방에 필요한 에너지를 얻는 냉매압축식 냉동기와, 흡수식 냉동기 및 냉매압축식 냉동기에 의해 냉각되는 냉매를

냉방설비로 순환 공급하여 냉방이 이루어지도록 하는 냉매순환부를 포함하는 선박의 하이브리드 에어 컨디셔닝 시스템에 관한 것으로, 흡수식 냉동기에 의해 폐열을 회수하여 사용하도록 하고, 나아가서, 전력 소모량이 많은 냉매압축식 냉동기의 사용을 최소화할 수 있으므로 경제적이면서도 전기생산을 위한 연료의 절감을 가져오고, 연료의 소모량을 줄여서 이산화탄소 발생량을 줄임으로써 환경오염을 방지하고, 냉매압축식 냉동기를 대기하도록 구성하였다.

이산화탄소의 처리 모듈 및 방법(KR 2013-0075153)은 한계가스정(stranded gas well)으로부터 발생하는 사워 가스(sour gas)로부터 분리 배출되는 액체 이산화탄소에 한계가스정으로부터 발생하는 메탄을 냉매로써 통과시켜 액체 이산화탄소를 냉각시키는 실시예로부터 한계가스정의 사워 가스로부터 분리되는 물질을 냉매로 하여 이산화탄소를 냉각시킴으로써 이산화탄소 저장 및 포집용이나 석유 회수증진용 등 극저온의 액체 이산화탄소의 수요처에 적합한 온도 및 상태 조건으로 공급될 수 있도록 하는 이산화탄소의 처리 모듈 및 방법이다.

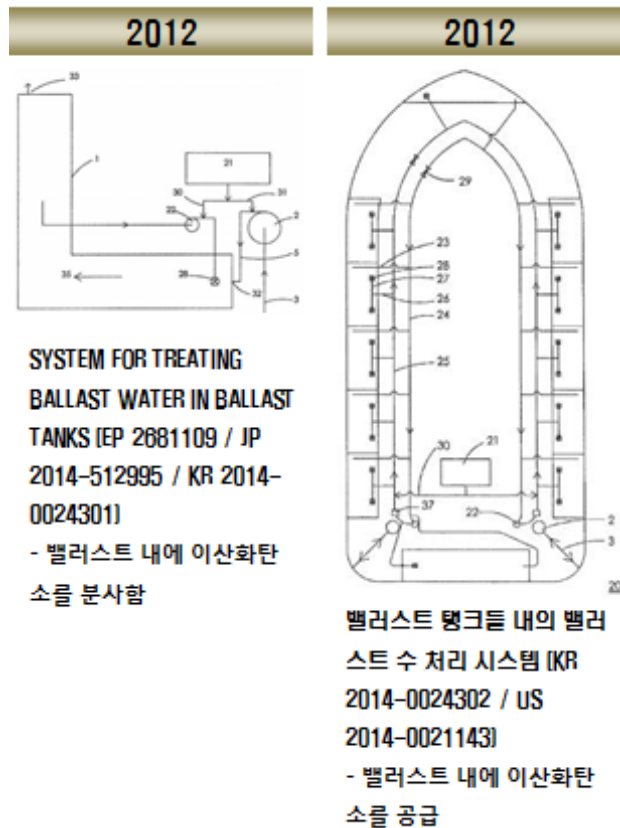
액화이산화탄소의 추가 냉각 모듈 및 방법(KR 2013-0075152)는 사워 가스(Sour Gas)로부터 분리된 액체 이산화탄소를 교축 감압 팽창시키고, 저온으로 기액 분리하여 선박 운송 또는 석유 회수증진용으로 공급하는 실시예로부터 이산화탄소 저장 및 포집용이나 석유 회수증진용 등 극저온의 액체 이산화탄소의 수요처에 적합한 온도 및 상태 조건으로 공급될 수 있도록 하는 액화 이산화탄소의 추가 냉각 모듈 및 방법이다.

선박용 배기가스 저장시스템 (KR 2014-0035135)는 엔진에서 배출되는 배기가스를 저장하는 배기가스 저장부, 배기가스 저장부에 저장된 배기가스 중에서 이산화탄소를 분리하는 이산화탄소 분리기 및 배기가스 저장부와 별도의 공간에 마련되어 이산화탄소 분리기에서 분리된 이산화탄소를 저장하는 이산화탄소 저장부로 구성되어 엔진에서 배출되는 배기가스를 배기가스 저장부에 저장하고, 저장된 배기가스를 순환시켜 배기가스 중에 포함된 이산화탄소만을 분리해서 별도의 공간에 저장함에 따라 선박에서 배출되는 이산화탄소의 양을 최소화하였다.

▶ 대우조선해양의 이산화탄소 관련 기술은 포집 또는 분리된 이산화탄소의 저장, 활용을 중심으로 연구가 이루어지고 있는 것으로 판단된다. 이산화탄소 관련 기술은 2011년부터 2012년에 출원되었으며, 이산화탄소를 저장하는 탱크의 압력제어, 배기가스 폐열을 이용하여 에너지 이용의 합리화를 도모하여 궁극적으로 에너지 소모량 감소를 통한 이산화탄소의 저감, 이산화탄소의 냉각 및 효율적인 이산화탄소의 저장을 중심으로 기술을 개발하고 있다.

(3) BAWAT

Bawat는 밸러스트 수의 재순환 공정을 중심으로 밸러스트를 연구개발하는 덴마크의 회사로 낮은 비용, 환경에 영향을 주지 않은 효과적인 밸러스트 수의 재순환을 중심으로 연구를 하고 있다.



<그림 3.12> BAWAT사의 기술 흐름도

SYSTEM FOR TREATING BALLAST WATER IN BALLAST TANKS (EP 2681109)는 밸러스트 탱크와, 밸러스트 탱크로부터 배관을 통해 순환 또는 재순환시키는 순환 펌프, 질소 및/또는 이산화탄소가 밸러스트 수에 공급될 수 있는 방식으로 재순환 펌프의 배출면 상의 배관에 연결되는 질소 및/또는 이산화탄소 발생기 및 배관에 기능적으로 연결되고 밸러스트 탱크들에 배열되는 하나 이상의 노즐 헤드들을 포함하고, 3차원 믹서 패턴이 생성되도록 적어도 하나의 노즐은 제1 축 및 제1 에 수직 또는 수직이 아닌 제2축 모두에 관한 구동 회전으로 구성되었다.

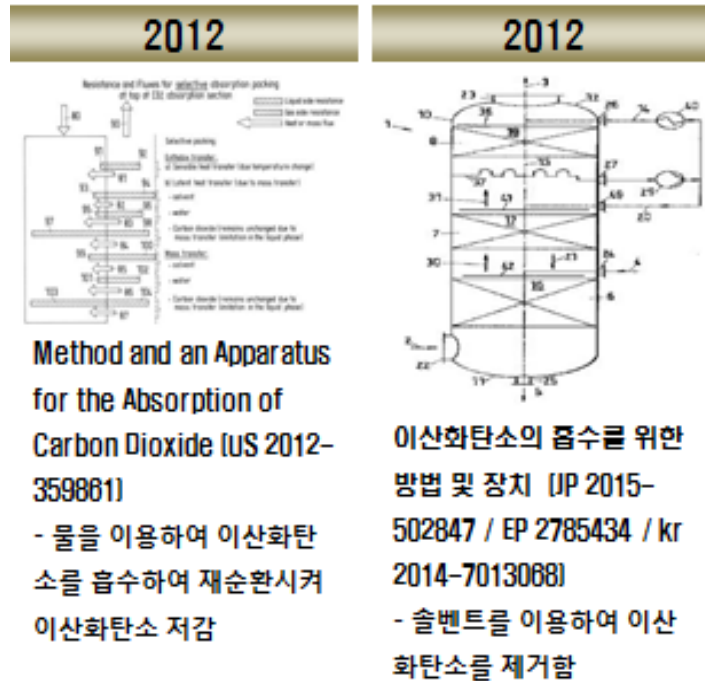
밸러스트 탱크들 내의 밸러스트 수처리 시스템(KR 2014-0024301)은 시스템(20)은 하나 이상의 밸러스트 탱크들, 하나 이상의 밸러스트 탱크들로부터 그리고 하나 이상의 밸러스트 탱크들로 밸러스트 수를 배관을 통해 순환 또는 재순환시키는 순환 펌프, 질소 및/또는 이산화탄소가 밸러스트 수에 공급될 수 있는 방식으로 재순환 펌프의 배출면 상의 배관에 연결되는 질소 및/또는 이산화탄소 발생기 및 배관에 기능적으로 연결되고 하나 이상의 밸러스트 탱크들(1)에 배열되는 하나 이상의 노즐 헤드들을 포함하고, 3차원 믹서 패턴이 생성되도록 적어도 하나의 노즐은 제1 축 및 제1축에 수직 또는 수직이 아닌 제2축 모두에 관한 구동 회전으로 구성되었다.

▶ BAWAT사는 밸러스트를 중심으로 영역을 영유하고 있으며, 해당 특허는 밸러스트에 이산화탄소를 공급하여 재순환시키는 기술을 중심으로 연구를 하고 있다.

(4) Sulzer Chemtech

Sulzer Chemtech사는 석유/가스, 화학공업, 발전, 물, 의료 등 다양한 분야에 연구를 진행하고 있는 회사로 플랜트에서 발생하는 이산화탄소를 포집하는 기술을 중심으로 연구개발을 하고 있다. 이 회사의 기술은 특허청구범위 기재로 보아 플랜트에 국한되지 않는 것으로, 선박의 이산화탄소 저감과 관련하여 Seed idea를 중심으로 검토할 필요가 있다.





<그림 3.13> Sulzer Chemtech사의 기술 흐름도

Method and an Apparatus for the Absorption of Carbon Dioxide(US2014-0322115)은 에어로졸 형성의 리스크를 줄이면서 특정의 일련의 섹션을 가지는 흡수장치 내에서 이산화탄소 함유흐름으로부터의 이산화탄소 흡수를 수행하는 방법으로서, 특정의 스텝을 구비하는 방법에 관한다. 본 발명의 다른 양태는 이산화탄소의 흡수를 위한 장치의 이산화탄소 흡수 섹션의 일부로서의 구조화된 패키지의 사용으로서, 이산화탄소 흡수 섹션의 상부 영역의 에어로졸 형성의 리스크를 줄인다.

이산화탄소의 흡수를 위한 방법 및 장치 (JP 2015-502847)은 에어로졸 형성의 리스크를 줄이면서 특정의 일련의 섹션을 가지는 흡수장치 내에서 이산화탄소 함유흐름으로부터의 이산화탄소 흡수를 수행하는 방법으로서, 이산화탄소의 흡수를 위한 장치의 이산화탄소 흡수 섹션의 일부로서의 구조화된 패키지의 사용하여 이산화탄소 흡수 섹션의 상부 영역의 에어로졸 형성의 리스크를 감소시킨다.

▶ Sulzer Chemtech사는 이산화탄소 흡수를 위한 장치를 중심으로 연구를 진행하고 있으며, 해당 부분의 기술은 주로 물을 이용하여 이산화탄소를 흡수하는 것을 특징으로 한다.

2.4 소결

- 선상에서 CO₂ 연소 후 포집기술

제올라이트를 이용한 전통적으로 물리적 흡착법, 아민계를 이용한 화학적 흡수법, 고분자를 이용한 막 분리법이 있으나, 1993년, 1998년, 2002년, 2003년, 2004년, 2005년, 2009년 및 2010년 출원은 아민, 수산화칼륨, 석회석, 세슘, 루비듐, 베릴륨, 중탄산염, 탄산나트륨 및 암모니아를 이용하여 화학적으로 이산화탄소를 포집하는 기술을 개시하고 있으며, 그 외 출원은 연도가스를 물리적으로 분리하여 연도가스로부터 이산화탄소를 분리하는 기술을 개시하고 있다.

- 평형수 처리

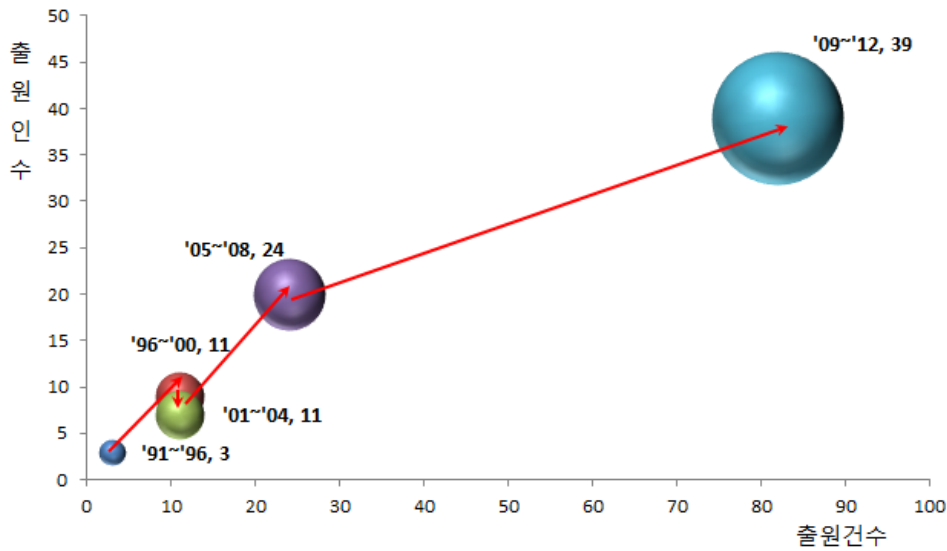
주로 평형수 내에서 성장하는 미생물을 억제하는 기술로 기본적인 기술은 평형수 내에 배기가스를 분사하여 배기가스 내에 포함된 이산화탄소를 평형수에 용해시켜 pH를 산성으로 유지하나, 이러한 평형수는 중국에 해수로 배출되는 것으로, pH가 낮은 이산화탄소가 용해된 평형수의 경우, 낮은 pH에 의한 환경의 오염 등을 추가적으로 검토하여 새로운 방법을 모색하여야 할 것으로 판단된다.

- 배기가스 처리

연소시 발생하는 배기가스를 처리하는 것으로 주로 평형수의 살균 또는 배기가스에서 발생하는 폐열을 이용하는 기술이 개시되었다.

- CO₂ 저감

이산화탄소 저감기술은 크게 엔진의 연소 효율의 증가로 인한 이산화탄소 저감, 배기열의 재사용을 통한 엔진효율의 증가, 발생된 이산화탄소를 재활용하는 방법으로 구분이 되며, 연소 효율과 관련하여 EGR과 같은 자동차에서 사용되는 기술이 제안되고 있음, 또한, 이산화탄소 재활용은 앞에서 검토한 밸러스트 수의 활용 등으로 제시되고 있다.



<그림 2.9> 선상 이산화탄소 포집 및 활용기술 관련 특허포트폴리오 선도

본 기술분야는 <그림 2.9>에 도시된 바와 같이 지속적으로 성장을 하고 있는 분야로 판단됨, 즉 시장의 주도적인 플레이어가 등장하고 있지 않으므로 향후 연구개발을 통하여 주도적인 기술을 개발할 가능성이 높은 것으로 판단된다. 이러한 분야의 특성은 주요출원인의 경우 1위 출원인인 ALSTOM사의 경우 패밀리 출원을 포함하여 23건에 불과하며, 동일 패밀리를 하나의 출원으로 판단하면 8건에 불과하며, 그 뒤를 이어 대우조선해양, BAWAT의 경우에도 동일 패밀리를 감안하면 2건의 출원에 불과하다.

본 기술분야의 주요 출원은 주로 플랜트를 주요 사업영역으로 하는 기업을 중심으로 진행되고 있는 것으로 판단되며, 선박은 고유한 사업영역으로 하는 기업의 경우 포집 또는 분리된 이산화탄소를 어떻게 저장하고 활용할 것인가에 중점을 두고 연구개발을 진행하고 있는 것으로 판단된다.

따라서 R&D 방향이 결정된 후 이산화탄소의 포집과 관련하여 플랜트를 주요 사업영역으로 하는 기업의 출원을 정밀하게 검토할 필요가 있으며, 이산화탄소의 활용과 관련하여 선박 관련 기업의 출원을 보다 면밀하게 검토할 필요가 있다.

III. 정책동향 및 법·제도 분석

- 1 CO₂ 육상포집 및 재활용 국제동향
- 2 국제해사기구의 GHG 선박배출 규제
- 3 우리나라의 CO₂ 배출규제 및 향후 대응 방안

Ⅲ. 정책동향 및 법·제도 분석

3.1. CO₂ 육상포집 및 재활용 국제동향

3.1.1. 육상포집 및 재활용 동향

육상에서 인위적으로 발생하는 온실가스 배출원은 1위가 전력발전소, 2위가 차량 배기가스, 3위가 산업시설, 기타 농업 및 민간주택이다.³⁾ 온실가스 중 이산화탄소는 화석연료를 사용하는 대규모 산업시설에서의 배출량이 많은데 그중 전력발전소, 시멘트 생산공장, 정유공장, 철강산업, 석유화학 산업, 석유 및 천연가스 가공처리 시설에서의 발생량이 많으며 특히 화력발전소의 배출량이 타 배출원에 비하여 적게는 10배 이상 압도적으로 많다.⁴⁾

현재 화력발전소에서의 이산화탄소 배출량 감소를 위해 개발된, 배출량을 획기적으로 줄일 수 있는 기술은 많지 않은데, 고효율 보일러 사용, CO₂ 생성이 적은 연료 사용, CO₂ 포집 및 저장(carbon capture and sequestration: CCS)이 그 것이다.⁵⁾ 이 중 CCS 기술은 1930년대부터 소규모 산업시설을 중심으로 활용되어 왔으며, 현재는 미국을 비롯한 여러 국가에서 동 기술을 발전소에 적용하기 위한 대규모 프로젝트를 운영하는 단계에 있다.⁶⁾ CO₂ 포집은 생성과정에서 90% 이상을 포집하는 전체포집, 90% 이하를 포집하는 부분포집으로 나뉘어 시행될 수 있다.⁷⁾ CO₂ 포집 이후에 대수층 등의 지중에 저장하여 처분하는 방법이 있고 상업적으로 재활용할 수도 있는데, 저장에 비하여 재활용은 그 역사가 짧고 현재 대부분 적용 가능한 기술을 개발하는 단계에 있다. 예를 들면, 미국의 에너지부(Department of Energy: DOE)는 표 3.1과 같은 프로젝트를 현재 지원하고 있다.

3) The Executive Office of the President, 'the President's Climate Action Plan,' June 2013, www.whitehouse.gov.

4) Chris Hendriks, Paul Noothout (Ecofys), Paul Zakkour and Greg Cook (Carbon Counts), Implications of the Reuse of Captured CO₂ for European Climate Action Policies, 20 February 2013, CLIMA.C.1/SER/2011/0033, ECUNL11593, p. 23.

5) EPA, "Regulatory Impact Analysis for the Proposed Standards of Performance for Greenhouse Gas Emissions for New Stationary Sources: Electric Utility Generating Units" EPA-452/R-13-003 September 2013, www2.epa.gov. p. 4-11.

6) *Ibid.*

7) *Ibid.*, p. 4, p. 12.

<표 3.1> 미 DOE 지원 CO₂ 재활용 기술 개발 프로젝트

프로젝트명	내 용
Alcoa, Inc. (Alcoa Center, Pa.)	알루미늄 제련공정에서 발생하는 알카라인 clay를 활용한 CO ₂ 의 고체 탄산염 광물화 (DOE 지원액: \$11,999,359)
Novomer Inc. (Ithaca, N.Y.)	포집한 CO ₂ 를 촉매기술을 통하여 포장산업에서 사용할 폴리카보네이트(플라스틱)화 (병류, 필름류, 라미네이트, 음식코팅, 음료캔 등에 사용) (DOE 지원액: \$18,417,989)
Touchstone Research Laboratory Ltd.	실외 조류생산 기술을 통하여 화력발전소에서 이산화탄소 배출량의 60% 이상을 포집하고, 생연료(biofuel) 등을 생산. (DOE 지원액: \$6,239,542)
Phycal, LLC (Highland Heights, Ohio)	포집 CO ₂ 를 이용한 미세조류 양식으로 액상 바이오연료(biocrude fuel)를 생산. 보일러 연료로 사용. (DOE 지원액: \$24,243,509)
Skyonic Corporation (Austin, Texas)	기존의 스크러버 기술을 대체할 광물화 기술. 산업체 배출가스에서 수은 등 중금속을 제거하면서 CO ₂ 를 고체 탄산염화 또는 중탄산염화 함. 고체 탄산염화된 CO ₂ 는 육상에서 장기 보관이 가능함. (DOE 지원액 : \$25,000,000)
Calera Corporation (Los Gatos, Calif.)	배출가스에 포함된 CO ₂ 를 탄산염화하는 기술. 시멘트 생산시설에서 사용 가능. (DOE 지원액 : \$19,895,553)

<자료: DOE, 'Innovative Concepts for Beneficial Reuse of Carbon Dioxide,' Office of Fossil Energy, <http://energy.gov>.>

전 세계 여러 국가에서 유사한 육상포집 CO₂의 재활용 연구 프로젝트를 진행 중인데 그러한 프로젝트의 주체를 정리하자면 표 3.2 와 같다.

<표 3.2> 전 세계 주요 CO₂ 재활용 기술 개발 프로젝트 참여자

카테고리	학계	신생 벤처기업	산업계	기타
연료화	Max Planck Inst (DE) Swiss Fed Inst Tech Bielefeld Uni (DE) Wageningen Uni (NL) Uppsala Uni (SE) VITO (B) Fraunhofer Umsicht Institute (DE) Ben Gurion Uni (IL) Sandia Natl Lab (US) Uni Calif (San Diego) Penn State Uni (US) Mitsui Chem (JP) Jinan University (CN)	Granit Green (CH) Blue Petroleum (ES) Microphyt (FR) SAT (A) Subitec (DE) Liquid Light Inc (US) Sapphire Energy (US) Aurora Biofuels (US) Live Fuels (US) Solix Biofuels (US) GreenFuel Tech (US)* Parabel (US) Algae Bio-Tech India Quaid-i-Azam Uni (PAK) Qatari Diar Construct ENN Group (CN)	DNV-KEMA (NO) Mantra Energy Venture (CA) Bayer (DE) RWE (DE) Siemens (DE) Abengoa (ES) Holcim (CH) IOCs (e.g. Shell) ABNT (ES) Carbon Recycling International (IS) Olis (IS) Century Aluminium (IS)	

카테고리	학계	신생 벤처기업	산업계	기타
생필품 생산증진	CEA (FR) Uni of Minnesota (US) Sandia Natl Lab (US) NREL (US) LLNL (US)	GreenFire Energy (US) Geodynamics (AUS) Origin Energy (AUS) Heat Mining Co (US)	MHI (JP) QAFAC (QA) Saudi Methanol (KSA)	
탄화수소 회수증진	Indiana Uni (US) LBNL (US) Uni Western Australia	2CO (UK)	GdF (FR) Vattenfall (SV) Occidental (US) Anadarko (US) Denbury Resources (US) Kinder Morgan (US)	
광물화	Sheffield Uni (UK) Aachen Uni (DE) Newcastle Uni (UK) Abo Akademi (FI) MacGill Uni. (US) Rutgers Uni. (US) A*Star (SG)	Calera (US)	Caterpillar (UK) CSS Material Inc (US) Alcoa (AUS)	CSIRO (AUS) Council for Geosciences (RSA)
화학물질 생산	Uni. of Aachen (DE) Uni. Newcastle (UK) Uni. of Sheffield (UK) Uni. of Twente (NL) MIT (US) TNO (NL)	Coates Group (US) Novomer (US)	Bayer (DE), RWE (DE) BASF (DE), Siemens (DE), Evonik (DE) Shell (UK/NL) RWTH Aachen SINTEF (NO) Eastman Kodak (US) Praxair (US) CNOOC (CN) Feyecon (NL)	DECHEMA (DE)

<자료: Chris Hendriks, Paul Noothout (Ecofys), Paul Zakkour and Greg Cook (Carbon Counts), Implications of the Reuse of Captured CO₂ for European Climate Action Policies, 20 February 2013, CLIMA.C.1/SER/2011/0033, ECUNL11593. p. 25.>

포집된 CO₂를 지중저장하지 않고 상업적으로 활용하는 방법은 <표 3.3>에서와 같이 칼슘 탄산염 생산에 CO₂ 활용, 시멘트 가공에 활용, 음료 및 식품 제조업, 펄프 및 재지 생산, 고무 및 플라스틱 생산, 화제진압 및 냉동, 냉장에 활용 등이 있다.⁸⁾ 현재까지 개발된 포집 CO₂의 재활용(Carbon Capture and Utilization: CCU) 기술은 유럽에 기반한 시설에 적합화 되었으므로 유럽국가에 적용하기에 적절한 경우가 많다. 예를 들면 스페인, 이탈리아, 포르투갈 등지에서는 일조량이 많으며, 조류생산 가능 부지가 넓어 잠재적 광촉매 연료생산에 적합하다.⁹⁾ 영국과 노르웨이에는 대규모 석유 및 천연가스 산업이 조성되어 있고, 오스트리아, 덴마크, 독일, 루마니아에서는 소규모 탄화수소 산업이 성숙기에 있어 EOR(enhanced oil recovery) 또는 EGR(enhanced gas recovery)을 시행하기 적합할 수 있다.¹⁰⁾

8) EPA, supra note 3, pp. 4-21~4-22.

9) Chris Hendriks, Paul Noothout (Ecofys), Paul Zakkour and Greg Cook (Carbon Counts), supra note 2, pp. 41-42.

10) *Ibid.*, p. 43.

<표 3.3> 포집 이산화탄소 육상 재활용 방안

카테고리	내 용
연료화	<p>화학처리 기술, 수소 전이체를 생산하기 위한 생물학적, 물리적 처리과정을 적용함.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 재생에너지 사용을 통한 물의 전기분해를 통하여 수소를 생산. CO₂가 금속 촉매체에 반응하여 메탄을 생산. CO₂ 전기열 환원을 통한 포름산 생산(배터리의 수소 전이체로 사용됨). - 영양염이 풍부한 소금물을 사용하여 실외 또는 실내에서 조류를 양식하는데 투여됨. - 태양광과 촉매제를 사용하여 CO₂를 분해하고 신가스(syngas)가 생산되면 Fischer-Tropsch 반응을 통하여 연료로 전환됨. - CO₂를 메탄 또는 탄화수소로 전환 (나노물질 촉매제).
생필품 생산증진	<p>CO₂를 생필품 생산에 사용.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 전력생산 사이클 향상을 위해 물 대신 CO₂를 사용. - 심부지열발전 (Enhanced Geothermal System)에 CO₂ 사용. - 수소(H₂) 생산시에 포집된 CO₂를 사용하여 암모니아를 요산으로 변형하는 효율성을 높임. 메탄을 생산시 syngas에 CO₂를 투입하여 생산성을 높임.
탄화수소 회수증진	<p>에너지 생산시 CO₂ 사용.</p> <ul style="list-style-type: none"> - CO₂를 탄화수소 저장소에 투입하면 회수율을 높임. 원유생산증진(EOR)용으로 투입되는 경우에 비해 성공률이 불명확함. - 석탄광산 심부에 CO₂를 투입하면 석탄에 흡수되고 메탄이 제거됨. 분리된 메탄은 표층에서 천연가스로 사용하기 위해 회수함.
광물화	<p>칼슘과 마그네슘을 포함한 광물에 CO₂를 추가하면 탄산염이 생성됨.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 광물 탄산화는 자연적으로 발생하며 매우 느린 속도로 진행된다. 열, 압력, 화학처리 및 기계적 처리를 하면 탄산화를 가속화 시킬 수 있음. 이 과정에 CO₂를 투입하면 시멘트 등 다양한 물질이 생성됨. - 콘크리트 양생(concrete curing)에 사용. - 보크사이트 광석에서 알루미늄을 추출해 내면 고도의 알칼리성 물질이 남는다. CO₂를 사용하여 알칼리성 부산물(pH=13)을 처리하면 pH 수준이 감소함.
화학물질 생산	<p>화합물 합성에 CO₂가 사용되어 왔음.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 소다회(soda ash)는 유리제조, 가정용 세척제에 사용됨. 소다회는 자연산 또는 합성물로 제조가능. 소다회 제조시 CO₂를 투입. - 폴리카보네이트와 폴리우레탄 제조시 사용되는 포스겐 가스 대용으로 CO₂를 사용. - 기타 에틸렌에서 아크릴산 합성, 아세톤 발효, 아세트산 합성 등에 사용. - CO₂를 이용하여 연료를 생산하는 절차와 유사하게 해조류를 원료로 한 오일 생산에 활용가능. 해조류 오일은 가축 사료, 농업 비료, 유지화학물, 영양약리물질, 약품 시장에서 활용될 수 있다.

<자료: Chris Hendriks, Paul Noothout (Ecofys), Paul Zakkour and Greg Cook (Carbon Counts), Implications of the Reuse of Captured CO₂ for European Climate Action Policies, 20 February 2013, CLIMA.C.1/SER/2011/0033, ECUNL11593. pp. 19-20.>

미국의 경우는 신규 사업체들이 특히 CO₂를 연료화 하는 연구개발 사업에 집중 투자하고 있다. 인도에서는 최근 몇 년간 포집된 CO₂를 조류양식에 활용하는 것과 관련된 연구개발 사업이 특히 호황인데 예를 들면, 인도농업연구소(the Indian Institute for Agricultural Research: IARI)는 이와 관련하여 스위스의 시멘트 제조회사인 Holcim과 공동 연구개발 사업을 수행할 계획이고, 인도기술연구소(the Indian Institute of Technology)는 스웨덴 Uppsala 대학과 조류성장과 관련한 연구를 수행하고 있다. 중국의 경우 과학기술 5개년 계획 프로그램 11에 포집 CO₂를 이용한 조류성장으로 바이오디젤을 생산하는 연구가 포함되어 있다. 카타르의 건설업체인 Qatari Diar는 최근 북서 카타르에서 조류 CO₂ 저장 프로젝트를 수행할 계획을 공표하였다.¹¹⁾

생필품 생산 증진과 관련하여 미국과 호주는 포집된 CO₂를 심부지열발전 사이클 증진에 사용하는 것과 관련된 연구를 미네소타 대학에서 공동으로 수행하고 있다. 탄화수소 회수증진 기술 개발은 미국, 중동 국가들, 이집트, 중국, 타일랜드, 인도 등 많은 국가에서 관심을 보이고 있다. 가스회수 증진 또는 coal bed methane 생산증진 (enhanced coal bed methane: ECBM) 활동은 타 활용방법에 비해 아직까지 활발히 연구되고 있지는 않다.¹²⁾ CO₂의 광물화 사용과 관련된 연구는 제품의 생산보다는 광물찌꺼기 안정화와 관련된 것이 주요하다. 예를 들면 호주 (Alco's Kwinana 제련소, 호주 서부)는 보크사이트 가공 중에 생산되는 알칼리성 광물찌꺼기를 안정화하는 수단으로 CO₂를 사용하는 연구를 주도하고 있다. 남아프리카 지구과학위원회(the South African Council for Geosciences)도 유사한 연구에 관심을 보이고 있으나 기술 개발 및 투자는 아직 미진하다. 미국의 MacGill 대학교는 미 DOE와 국립에너지기술연구소(National Energy Technology Laboratory: NETL)의 후원으로 콘크리트 양생에 CO₂를 사용하는 것과 관련된 연구를 수행중이다. 역시 미국의 CSS Material Inc와 Rutgers 대학은 미 DOE의 지원을 받아 CO₂를 사용하여 저비용으로 포틀랜드 시멘트 대체재를 생산하는 실험을 하고 있다.¹³⁾ MIT 대학은 Siemens와 합작으로 폴리머 생산에 CO₂를 이용하는 기술을 연구하고 있으며, 미 DOE, NETL의 CO₂ 이용 프로그램 하에서 자금을 지원받고 있다. 중국의 국립근해석유사(China National Offshore Oil Company: CNOOC)는 Dongfang, Hainan Province에서 CO₂를 사용한 생분해성 플라스틱 제조 기술을 개발하고 있다.¹⁴⁾

포집한 CO₂를 해양에서 재활용하는 가장 보편적이고 오래 시행되어온 방법은 EOR 또는 EGR이다. EOR 또는 EGR은 원전 또는 가스전에 CO₂ 등을 주입하여 남은 석유 또는 가스가 추

11) *Ibid.*

12) *Ibid.*

13) *Ibid.*

14) *Ibid.*

출되기 쉽게 하는 공법으로 CO₂ 외에도 물, 스팀, 질소, 폴리머 용액, 소금물 등을 사용할 수 있다. 주입된 CO₂는 원유와 혼합되어 추출되며 혼합물 특히 CO₂는 원유와 분리된 후에 정제되어 원전 또는 가스전으로 재주입 된다.¹⁵⁾ 특히 지중저장과 관련하여 시행되는 증진회수 공법은 CO₂를 활용한 후에 지중저장 하도록 제도화한 경우도 있어 지중저장 공법으로 분류하는 것이 더 적합하다.

3.1.2 재활용 관련 법·정책 개발 동향

앞 절에서 소개한 바와 같이 포집된 CO₂ 재활용은 CCS와 연계되어 논의되고 많은 국가에서 연구개발 하는 단계에 있다. 따라서 CO₂ 재활용을 법·정책적으로 제도화하여 시행하기에는 시기상조이므로 이와 관련된 법, 정책, 지침이 개발된 사례는 매우 드물다.

미국의 예를 들면, 미국 EPA(Environmental Protection Agency)는 2014년 1월 8일 화력발전 시설을 중심으로 부분 CO₂ 포집(배출량의 90% 이하를 포집)을 강제화하는 신설발전소(전기사용 발전시설) 온실가스배출 기준(Standards of Performance for Greenhouse Gas Emissions From New Stationary Sources: Electric Utility Generating Units) 초안을 제정하였고 이에 대한 이해관계자 의견수렴을 실시하였다.¹⁶⁾ EPA는 현재 이해관계자들의 의견수렴 단계를 종료하고 2015년 여름 이 법안의 완료를 목표로 작업하고 있다.¹⁷⁾ 이 법안의 개발 배경은 2013년 백악관이 발표한 미대통령 기후변화 대응계획의 이행에 있다.¹⁸⁾

미국의 화력발전소에서 발생하는 온실가스 배출량은 미국내 전체 배출량의 1/3이상이다.¹⁹⁾ 화력발전소에서 배출되는 온실가스 중에서도 특히 이산화탄소의 양을 저감하기 위하여 미 EPA는 2014년 1월 '신설 발전소의 탄소배출기준'안을 공개하였고, 2014년 6월 청정 전력생산 계획(Clean Power plan)안을 개발하여 2030년까지 기존 발전소의 탄소배출량을 30% 저감시킬 계획도 수립하였다.²⁰⁾ '신설 발전소의 탄소배출기준'안은 화석연료 발전소의 보일러와 IGCC (석탄 가스화 복합발전) 시설에 직접적으로 적용되는데 총 전력생산량 MWh 당 CO₂ 배출량(12개월 평균치)을 저감하는 배출량 근간의 관리법을 채택하였다.²¹⁾ 이 법의 적용을 받는 화력발전시설

15) EPA, supra note 3, p. 4-18.

16) 'Federal Register,' Vol. 79, No. 5, January 8, 2014, Part II, EPA. Standards of Performance for Greenhouse Gas Emissions From New Stationary Sources: Electric Utility Generating Units; Proposed Rule.

17) EPA, 'Fact Sheet: Clean Power Plan and Carbon Pollution Standards, Key Dates-Cutting Carbon Pollution from Power Plants,' January 7, 2014 <http://www2.epa.gov/carbon-pollution-standards>.

18) The Executive Office of the President, 'the President's Climate Action Plan,' June 2013, www.whitehouse.gov.

19) *Ibid.*

20) *Ibid.*

21) EPA, supra note 3.

은 ① 터빈 엔진에의 입열비율이 시간당 850백만 British Thermal units(MMBtu/hr) 보다 높은 천연가스 연소 터빈; ② 터빈엔진에의 입열비율이 시간당 850백만 British Thermal units(MMBtu/hr) 이하인 천연가스 연소 터빈, ③ 모든 화석연료 연소 보일러 및 IGCC units이며, 이들 시설이 채택할 최선의 배출감축 시스템(Best System of Emission Reduction: BSER)으로 부분 CCS를 선정하였다.²²⁾ 그러나, 이러한 새 법안들과 미대통령의 기후변화 대응계획에는 CO₂의 재활용은 전혀 명시되어 있지 않다. 또한 자국 관할해역을 운항하는 선박의 이산화탄소 배출 저감계획도 명시되어 있지 않다.

기술개발 단계인 포집된 CO₂의 재활용을 국가가 강제적으로 시행하는 데는 아직 무리가 있지만, 동 사안과 관련한 연구개발에 국가 차원의 재정적 지원은 반드시 필요할 것이다. 그 이유는 CO₂ 재활용 기술 개발의 초기 투자비가 매우 높으며, 프로젝트를 지속적으로 진행해야 하는데 그에 대한 안정적인 재정 지원이 필요하기 때문이다.²³⁾ <표 3.1>과 같이 미국의 DOE는 현재 여러 재활용 연구프로그램에 재정적 지원을 하고 있으며, 유럽연합은 EU Framework Programmes을 통하여 동 주제에 관한 연구를 지원하고, 독일정부(German Federal Ministry of Education and Research: BMBF)는 광범위한 투자를 통하여 재활용 기술개발을 위한 보조금을 지원하고 있다.²⁴⁾

정부차원의 재정적 지원뿐만 아니라 제도적 지원도 매우 중요하다. 예를 들면 활용을 통한 CO₂ 처리를 온실가스 감축 기술로 인정하고, 지나치게 복잡한 모니터링 제도 수립은 자제하며, CO₂의 연료화와 관련해서는 기존의 연료혼합 비율을 변경하는 등의 지원이 필요할 것이다.²⁵⁾

3.1.3 정책적 활성화의 한계 및 타당성

(1) 기술적·경제적 한계

앞에서 소개한 바와 같이 최근 수년간 CCS와 포집된 CO₂ 재활용 방안이 함께 연계되어 연구되어온 배경에는 CO₂ 포집 및 저장 사업으로 발생할 환경문제 등에 대한 대중의 우려를 불식시키고, 포집된 CO₂ 처리에 관한 보다 다양한 안을 제공하여 CCS에 대한 폭넓은 지지와 참여를 이끌어 내려는 의도가 있었다.²⁶⁾ 이와 같은 배경으로 개발되고 있는 재활용을 활성화하기

22) *Ibid.*, p. 1-3. 'Federal Register,' supra note 14.

23) Chris Hendriks, Paul Noothout (Ecofys), Paul Zakkour and Greg Cook (Carbon Counts), supra note 2.

24) *Ibid.*, p. 24.

25) *Ibid.*

위해서는 미국 EPA의 보고서 및 화력발전소 배출 기준법 개정에 대한 일반 대중의 코멘트, EU의 관련 보고서 등에는 공통적으로 재활용의 활성화를 위해서는 다음과 같은 사항을 해결해야 할 문제점으로 지적하고 있다: ① 변환비율이 높아야 하고, ② 변환시 사용하는 에너지량이 적어야 하며, ③ 반응제·생산품의 부피로 인하여 총 배출량 대비 재사용 비율이 제한되는 점을 극복할 수 있으며, ④ CO₂가 영구적으로 처분될 수 있어야 하지만,²⁷⁾ 현재의 기술력으로는 실질적으로 화력발전소 CO₂ 배출저감 기준 달성에 실질적으로 도움이 될만큼 대량 포집 및 처분이 가능한지, 포집된 CO₂가 다시 대기중으로 방출되지 않도록 영구적으로 격리시킬 기술이 개발되어 있는지에 관한 충분한 검토가 아직 이루어지지 않고 있다.²⁸⁾

육상 재활용을 정책적으로 활성화하기 위해서는 상기한 기술적 한계 외에도 여러 장애 요소를 해소해야 하는데, 예를 들면 CO₂를 탄화수소 회수증진 공법에 사용하여 대체 연료개발에 성공했을 경우 이를 상업화하는 과정에서 원유 및 천연가스 가격상승에 대비해야 하고, 공급 및 가격변동에 대비하고, 원료가 매장되어 있는 북극과 같은 생산지 개발 및 확보, 관련 신기술의 추가 개발 필요에 대비해야 한다. 또한 비용감소 및 효율성 극대화를 위한 연구개발 사업에의 정책적 개입, 배출감소에 대한 인센티브 제공, 에너지 안보 증진, 혁신과 친환경 직종을 촉진하는 법적 체계 확립도 육상 재활용의 상업화에 영향을 미칠 것이다. CO₂ 재활용을 통해 생산해 낸 상품이 시장에서 경쟁력을 갖추기 위해서 필요한 요건을 구비하고, 대규모 인프라 변환 등도 고려해야 한다. 또한 기술, 비용, 시장, 에너지 가격, 수익율과 관련한 불확실성이 존재하여 상업화의 위험요소가 될 수 있다. 따라서 초기에 그러한 불확실성을 관리하는 적절한 전략을 수립해 두는 것이 반드시 필요할 것이다.²⁹⁾

(2) 정책적 타당성

상기한 바와 같은 한계에도 불구하고 CO₂ 재활용을 국가가 정책적으로 지원해야 하는 이유는 ① 여러 다른 산업 부문의 CO₂ 배출 감축에 기여할 수 있으며 (원유 천연가스 산업, 화학, 운송, 건축, 전력생산 부문의 CO₂ 배출 감축이 가능함), ② 국제에너지기구(International Energy Agency)가 2009년 설정한 CCS를 사용한 온실가스 배출 감축량 목표치 (2020년까지 300MtCO₂를 감축) 달성을 위한 보조적 방법으로 사용될 수 있고, ③ 외국으로부터의 화석연료

26) EPA, supra note 3.

27) *Ibid.*, p. 4-21.

28) *Ibid.* IMO, 'Consideration of the IPCC Special Report and Other Relevant Information-IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage,' LC/SG-CO₂ 1/INF.4, 23 March 2006.

29) Chris Hendriks, Paul Noothout (Ecofys), Paul Zakkour and Greg Cook (Carbon Counts), supra note 2.

수입의존도³⁰⁾를 낮추는데 도움이 되며, ④ 에너지 공급의 구조적 변화를 통한 혁신과 일자리 창출에 도움이 되기 때문이다.³¹⁾ 포집된 CO₂의 산업적 활용 시도는 전 세계에서 계속되고 있으며, 상기한 장점 때문에 다음 10-20년간은 이에 관한 여러 국가들의 투자가 지속될 것으로 예상된다.³²⁾

(3) 선상포집 및 재활용에의 함의

육상에서 포집된 CO₂의 재활용 기술 개발과 관련하여 여러 국가가 정부차원의 재정적 지원을 하고 있으며, 이러한 지원은 지속될 전망이다. 육상 재활용 기술이 아직까지 연구개발 단계에 있으므로 CO₂의 선상 포집과 재활용 관련 연구개발에 관한 정책적 지원은 국제적으로 활발하지 않다. 그러나 상기한 육상 재활용의 정부차원의 지원이 필요한 이유와 동일한 이유로 선박의 CO₂ 포집 및 재활용 기술을 연구 개발하는 것이 필요할 것이다. 또한, 육상에서의 CCS에 관한 관심을 새롭게 증대시키기 위한 전략의 일환으로 포집된 이산화탄소의 재활용안이 등장한 것과 마찬가지로 비록 현재 선상포집이 기술적 한계로 실시되지는 않고 있으나, 선상 포집을 정당화하고 적극 지원하기 위하여 포집된 CO₂의 선상 재활용의 가능성과 경제적 파급 효과를 적극 홍보하는 것도 필요할 것이다.

3.2. 국제해사기구의 GHG 선박배출 규제

3.2.1 IMO 온실가스 규제

IMO에서 선박의 온실가스 배출 규제는 1980년대부터 논의되기 시작하였다. IMO는 선박에서 배출되는 온실가스 중 특히 SO_x와 NO_x를 우선 관리하기 시작하였는데, 그 시초는 1991년 개최된 IMO 제7차 총회에 의한 MARPOL 협약(International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) 개정 제안이었다.³³⁾ 이후 1997년 개최된 MARPOL 협약 당사국회의에서 새 부속서 VI가 채택되었고 동 부속서는 2005년 발효하였다.

30) EU 회원국들은 현재 석유의 80%, 천연가스의 60%, 우라늄의 95%를 비EU 회원국들로부터 수입하고 있다.Chris Hendriks, Paul Noothout (Ecofys), Paul Zakkour and Greg Cook (Carbon Counts), supra note 2. p. 50.

31) *Ibid.*

32) *Ibid.*

33) IMO, 'Main event in IMO's work on limitation and reduction of greenhouse gas emissions from international shipping,' October 2011, www.imo.org, accessed on 15 June 2015, p. 2.

IMO MEPC 59차(2009년 7월 개최)는 선박의 온실가스 배출을 관리하기 위하여 선박의 엔진 성능 향상을 통해 연료효율성을 높이거나 (Energy Efficiency Design Index: EEDI), 운항관리를 통하여 배출량을 감소(Energy Efficiency Operational Index (EEOI), Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP))하는 방안에 대한 자발적 지침을 채택하였다.³⁴⁾ 뒤이어 MEPC 62차(2011년 7월 개최)는 MARPOL Annex VI를 개정하여 400톤 이상의 모든 상선에 대하여 EEDI와 SEEMP를 강제화하는 안을 채택하였다. MEPC 59차 이후 선박운항 또는 기술적 요소 외에 시장조치를 통하여 선박의 배출을 관리하기 위한 시장기반조치(Market Based Measures: MBMs, 예를 들면 선박이 연료 1톤을 구매할 때 일정 비용을 부과하는 제도)의 도입이 논의되고 있으나 아직까지 합의에 이르지 못하였다.

상기한 조치 외에 IMO는 선박의 배기가스 중에 블랙카본이 북극 해빙에 미치는 영향을 규제하는 것에 관해 논의해 왔다. MEPC 62차(2011년 7월 개최)는 블랙카본 배출이 북극해빙에 미치는 영향에 관한 조사를 실시하기로 결정하였으며, 블랙카본의 정의가 합의되지 않아 현재 기술적 규제에 관한 논의가 답보상태에 있다.³⁵⁾

아래 1)에서 다룬 폐기물 해양투기 금지에 관한 런던의정서를 제외하면 IMO는 현재까지 MARPOL 협약 부속서 IV과 관련하여 선박배출 CO₂ 포집 및 재활용을 상세히 논의한 적은 없다. 상기한 SEEMP를 활용하면 항로계획을 개선시키고, 항속을 관리하며, 엔진마력을 최적화하고, 선체관리 및 다른 종류의 연료를 사용함으로써 선박의 CO₂ 배출을 줄이는 효과를 가질 수는 있겠으나, 동 조치는 CO₂를 직접 관리하고자 하는 것이 아니다. 현재 IMO는 CO₂ 관리와 관련하여 각 선박의 배출량 데이터 수집에 관하여 논의하고 있는 정도인데 2015년 5월 개최된 제68차 MEPC에서 Marshall Islands는 CO₂를 포함한 온실가스의 배출 감축 목표치를 설정할 것을 제안하였으나 역시 합의에 이르지 못하였다.³⁶⁾ 유럽의회(European Parliament)는 2015년 4월 선제적으로 CO₂ 배출량 관리를 위한 전 단계 정책을 승인했는데, EU 회원국에 입항하는 5000톤급 이상의 대형 선박은 CO₂ 배출 모니터링, 보고 및 확인제도를 준수해야 하는 것이 그것이다.³⁷⁾ EU의 이러한 조치에 대하여 조선업계(shipping industry)는 동 사안이 IMO에서 적절한 수순으로 논의되고 있는데 EU가 조급하게 조치를 시행하는 것이라 평가하였다.³⁸⁾ 그러나 EU는 금번 조치가 IMO가 국제적인 규모로 선박의 CO₂ 배출을 관리하는 사전 작업이며, IMO

34) *Ibid.*, p. 4.

35) IMO, 'Report to the Marine Environment Protection Committee,' PPR 2/21, 16 February 2015, p. 24.

36) IMO, 'Reduction of GHG Emissions from Ships-Setting a reduction target and agreeing associated measures for international shipping,' Marshall Island, MEPC 68/5/1, 20 March 2015.

37) 'Union MRV enters into force before global MRV,' IMAREM, June 2015, www.imarem.com; 'Ships' CO₂ emissions: MEPs approve new reporting rules,' Plenary sessions, 28-04-2015, Press release, www.europarl.europa.eu.

38) 'Union MRV enters into force before global MRV,' *Ibid.*

의 규범 제정을 통하여 국제적인 규모로 확대되어 시행되어야 함을 주장하였다. 따라서 비록 현재는 IMO가 CO₂ 배출을 관리할 상세 규범 및 기준을 마련하지 않고 있으나, 향후 그러한 규범의 개발 필요성이 높아질 수 있을 것으로 예상된다.

1). CO₂ 포집 및 지중저장 논의

폐기물 해양 투기를 관리하는 런던의정서는 IMO가 직접 성안하지는 아니하였으나 이 기구의 사무국의 지원을 받아 이행이 논의된다. 이 의정서는 2011년 개정되어 폐기물로 분류되는 이산화탄소 스트림의 해저지중 저장을 조건부로 허용하기로 하였다. 폐기물로 분류되는 이산화탄소 스트림이라 함은 포집 과정을 통하여 득하는 이산화탄소와 기타 의도하지 않았으나 함께 포집된 약간의 원료, 가공, 첨가물질을 의미한다.³⁹⁾ 이러한 물질을 해양에 의도적으로 투기하는 행위(이산화탄소 스트림의 경우 해저지중에 처분하는 행위)가 조건부로 허용되는 것이다.⁴⁰⁾ 이 협약 및 의정서에 따라 관리되는 폐기물이란 어떤 종류나 형태의 물질도 포함될 수 있으며 이러한 물질의 투기가 의도성을 띄어야만 런던의정서에 의해 관리될 수 있다.⁴¹⁾ 선박운항 중에 운항과 관련하여 발생하는 폐기물의 의도적인 해양투기는 런던의정서가 아닌 MARPOL 협약 관할이다. 선상 포집된 이산화탄소 스트림은 운항 중에 발생하는 폐기물로서 선박에서 배출되는 배기가스 관리를 목표로 하는 MARPOL 협약 부속서 VI에 따라 관리하는 것이 타당하지만, 한편 운항중 포집된 이산화탄소를 해저에 지중저장 한다면 그러한 저장행위는 런던의정서에 따라 투기(dumping)로서 정의되고 관리되므로 동 의정서에 따라 관리되어야 한다.

이산화탄소의 스트림은 런던의정서 부속서 1에 투기허용 물질로서 등록되어 있지 아니하였으므로 2006년 동 부속서가 개정될 때까지 지중저장 행위는 의정서 당사국에는 허용되지 아니하였다.⁴²⁾ 런던의정서의 목적은 해양오염을 일으키는 모든 물질의 해양투기를 방지하여 해양환경을 보호하는 것이고, 대기중의 이산화탄소 농도를 낮추는 포집 및 저장은 해수의 산성화를 방지하는 효과가 있으므로 해양환경 보호의 일환으로 간주하여 2006년 개정을 통해 조건부로 허용하게 되었다.⁴³⁾ 이 때 지중저장 활동이란 선박으로 수송하여 저장지에 저장하는 것뿐만 아

39) IMO, 'Specific Guidelines for the Assessment of Carbon Dioxide for Disposal into Sub-Seabed Geological Formations,' adopted on 2 November 2012(LC 34/15, annex 8), www.londonprotocol.imo.org, para. 1.3.

40) IMO, 'Notification of amendments to Annex 1 to the London Protocol 1996,' 27 November 2006, LC-LP.1/Circ.5.

41) 런던의정서, 제1조. 41항.

42) 김정은, "한국의 이산화탄소 해저 지중저장에 대한 런던의정서 제6조의 개정이 가지는 함의," 홍기훈(편), *기후지구공학적 사업의 관리 규범 제정에 관한 국제 동향-런던의정서를 중심으로*, 해로연구총서2, 2011 오름출판사, pp. 57-88. p. 66.

43) *Ibid.*, pp. 66-67.

나라 도관을 통하여 운반하고 지중에 저장하는 것도 포함한다.⁴⁴⁾ 런던의정서는 2009년 동 활동의 관리와 관련하여 추가로 개정되었는데 해양투기를 목적으로 폐기물을 외국에 반출할 수 없었으나 예외적으로 이산화탄소 스트림에 한하여 외국 반출이 허용되었다.⁴⁵⁾ 우리나라는 포집 CO₂를 동해 울릉분지 등에 저장하는 것을 실증하는 작업을 2016년부터 시행할 계획이다. 우리나라관할해역 이내의 지중저장지에 저장하는 방법 외에 저장지가 확보된 외국에 수출하여 저장하는 안도 있는데 이 때 런던의정서의 관련 지침⁴⁶⁾을 토대로 해당 국가와 양자간 협약을 체결하여야 한다.

2). CO₂ 선상포집 및 재활용 논의

IMO에서 선박의 온실가스 배출 관리와 관련하여 선상 이산화탄소 포집 또는 활용이 논의된 것은 2011년 개최된 MEPC 62차가 유일하다. 이러한 논의의 배경은 싱가포르가 2010년 IMO MEPC 61차에서 CO₂ 감축 기술을 반영할 factor R을 아래와 같이 EEDI 산식에 추가할 것을 제안한데 있다.⁴⁷⁾ 이와 관련하여 한국은 MEPC 62차에서 EEDI 계산시 산식(R)에 반영하고 차감할 에너지 절약 장비 또는 기술로써 CO₂ 선상 포집 장비를 제안하였으나,⁴⁸⁾ 이에 관한 상세한 논의는 이루어지지 못하였다.⁴⁹⁾ 그 이후로 CO₂ 선상 포집이 IMO 회의에서 중요하게 논의된 바가 없으며, 이에 따라 포집한 CO₂의 선상활용 또한 논의된 바 없다.

$$EEDI = \frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) (R_{ME(i)}) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}) (R_{AE})}{f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w} + \frac{\left(\left(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) (R_{AE}) - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right) (R_{ME})}{f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w}$$

<싱가포르 제안 EEDI 산식, MEPC 61/5/20>

비록 동 제안이 적절히 논의되지는 못하였으나 이를 통하여 CO₂ 포집이 현행 GHG 규범하의

44) IMO, "Report of the 1st Meeting of the Legal and Technical Working Group on Transboundary CO₂ Sequestration Issues," 8 March 2008, LP/CO₂ 1/8, p. 2.

45) Resolution LP.3(4) on the Amendment of the London Protocol, adopted on 30 October 2009, LC/LP.1/Cir.36.

46) '2012 Specific Guidelines for the Assessment of Carbon Dioxide for Disposal into Sub-seabed Geological Formations,' adopted on 2 November 2012, in annex 8, LC 34/15.

47) IMO, 'Reduction of GHG Emissions from Ships-consideration of CO₂ abatement technologies,' 3 August 2010, suggested by Singapore, MEPC 61/5/20.

48) IMO, 'Reduction of GHG Emissions from Ships- Proposal of the criteria on the energy saving devices and technologies to be deducted in the calculation of EEDI,' submitted by the Republic of Korea, 19 May 2011, MEPC 62/5/25.

49) IMO, 'Report of the marine Environment Protection Committee on its Sixty-Second Session,' 26 July 2011, MEPC 62/24 참고.

엔진 연료효율성 향상 조치와 관련하여 활용되거나, 별개의 직접적인 CO₂ 감축 조치로서도 활용될 수도 있는 등 여러 방면에서 활용될 방법을 확인한 것에 의의가 있다 하겠다.

3.3. 우리나라의 CO₂ 배출규제 및 향후 대응 방안

3.3.1 개관

국제적으로 온실가스 저감 정책이 지속됨에 따라 우리나라도 이에 부응하여 온실가스 감축을 위한 법·정책 수립 및 기술개발을 위한 투자를 감행하고 있다. 예를 들면, 우리나라는 최근 온실가스 에너지목표 관리제 강화를 통하여 온실가스 배출명세서의 정확성을 평가, 오류발생 업체의 기준년도 배출량 등을 조정하고 검증 오류시 검증기관을 제재하는 정책을 수립하였다. 또한 2012년 배출권거래제법⁵⁰⁾을 제정하고 2015년부터 정부 주도로 배출권거래제를 시행할 계획이다. 시장원리를 적용하여 온실가스 감축 목표치를 달성하게 하기 위하여 이 법은 온실가스 배출허용량을 할당받은 개별기업이 온실가스 감축에 비하여 시장의 배출권 가격이 저렴한 경우 온실가스 감축 대신에 배출권 구매를 선택할 수 있도록 하였다.⁵¹⁾

화석연료에 대한 의존도를 감소시키는 것은 현실적으로 어려우므로 기존의 화석 연료를 대체할 수 있는 기술 개발도 필요하지만 배출되는 CO₂를 포집하고 처리하는 기술 개발이 우선되어야 한다. 우리나라 정부는 2008년 저탄소녹색성장 비전 제시와 함께 그린에너지 산업육성 전략의 9대 중점기술로 CCS 기술을 선정하였으며, 지난 2000년부터 2009년까지 CCS 기술개발에 총 1069억원의 정부 예산을 투자하였다.⁵²⁾ 이 예산의 약 80%인 854억원을 포집기술 개발에 투자하였으며, 저장 및 대규모 실증분야에 대한 투자는 20% 정도에 불과하다.⁵³⁾ 우리나라는 CCS 원천 기술 및 핵심요소기술 확보에 있어서 열세이며 선진국 대비 기술개발 투자비용도 열세이다. 이 분야의 해외 선도국에 비해 전문 인력이 부족하고, 온실가스 저감 기술을 타 분야에 적용하는 기술도 부족하며, CO₂ 전환기술 상용화를 위한 공정기술 개발 인프라도 부족한 실정이다.⁵⁴⁾

2030년 CCS의 세계 시장 규모는 4,529억달러(450조원)까지 성장이 예상되며, 2008년 한국의 CCS 시장규모는 약 8000억에 불과하였으나, 2020년에는 2조 6천억원에 이를 것으로 예상된다. 특히 CO₂ 포집 후 재활용하는 기술은 우리나라의 주력 산업의 지속적인 성장에 기여하고 세계

50) 온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률(이하 배출권거래제법, 2012년 5월 8일 입법, 2013년 3월 23일 시행).

51) 배출권거래제법 제1조 목적.

52) 교육과학기술부 외, '국가 CCS 종합 추진계획(안)', 2010. 7.13, p. 6.

53) *Ibid.*

54) *Ibid.*

탄소시장 선점을 위하여 꼭 필요하다. CCS 비용과 CO₂를 포집하지 않고 배출하였을 시 부과되는 탄소세안을 비교해 보아도 포집이 정당화될 수 있다. 녹색위는 2013년 2월 '녹색성장 10대 과제'로서 탄소세의 도입을 제시하였으며 동년 7월 탄소세안이 발의되었다.⁵⁵⁾ 이 법안에 따르면 석탄, 전기, 석유 등 에너지원 사용에 탄소세를 부과하며, 특히 선박연료로 많이 사용되는 중질유 1리터당 9.5원이 부과되어 선박운항 비용에도 영향을 미치게 된다. 동 법안은 탄소세 부과가 시기상조라는 의견으로 인하여 현재까지 국회에서 계류 중이나, 이 법안이 채택된다고 가정하고 육상 CCS 기술이 발전하여 포집비용이 감소하였을 때 2015년 정도에는 포집비용이 탄소세와 거의 동일할 것(톤당 40-60\$)으로 예측하였다.⁵⁶⁾ 육상에서의 CO₂ 공정을 타 분야, 즉 선상에서의 포집에 적용하는 것에 대한 논의는 현재까지 국내외에서 활발히 이루어진 바가 없으나, 육상 기술이 선박이 적용된다고 가정하면 향후 탄소세 대비 CO₂ 포집비용이 적게 될 가능성도 충분하다.

아래에는 우리나라의 선박의 온실가스 배출규제 관련 법·정책 및 CCS 관련 법·정책을 검토하고 이들 정책과 선상 CO₂ 포집 및 재활용을 연계할 타당성을 검토할 것이다.

3.3.2 선박 온실가스 배출 규제

1). 국내항행

우리나라에서 선박의 온실가스 배출 감소 정책은 2014년 수립된 국가 산업 전반의 온실가스 감축계획('국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵') 이행의 일환으로 수립되었다. 국가 온실가스 감축계획은 2009년 개최된 유엔기후변화협약 당사국회의에서 우리나라가 제안한 자발적 감축목표인 2020년 배출전망치의 30% 달성을 위하여 수립된 것이며, 이 계획은 저탄소녹색성장기본법을 근거로 하여 이행된다. 동 법 제42조에 명시된 목표가 2020년 배출전망치의 30%를 2020년까지 감축시키는 것이며 우리나라의 2020년 온실가스 배출전망치(Business As Usual: BAU)⁵⁷⁾는 776.1백만톤 CO_{2e}이고 이중 에너지 부문은 총 80.8%(626.9백만톤 CO_{2e}), 비에너지 부문은 총 19.2%이다.⁵⁸⁾ 전망치의 30%인 233.1백만톤 CO_{2e} 감축 목표 이행과 관련하여 해양수산부는 특히

55) 'CEO Report-탄소세 영향분석 및 대응방안,' KEPCO, 제14-7호, 2014.3.11.

56) '보도자료-세계 최고 성능의 "분리막을 이용한 CO₂ 포집 공정 개발" 에너지연, 저비용으로 석탄에서 CO₂ 제거하고 수소 생산한다.' 한국에너지기술연구원, 9월 1일.

57) BAU란 현 시점에서 예측한 목표연도의 배출량. 현재의 온실가스 감축정책 추세가 미래에도 지속된다는 가정하에서 산정된 배출량이다.

58) '국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵', 관계부처 합동, 2014.1, p. 8.

2015년 '연안해운 온실가스 배출규제 대응 추진계획'을 수립하였으며, 이 계획의 이행을 위하여 '연안해운 온실가스 배출량 및 에너지 소비량 일제조사' 등을 실시할 계획에 있다.⁵⁹⁾

'연안해운 온실가스 배출규제 대응 추진계획'에 따르면 연안해운 분야는 2020년 BAU 대비 약 5.6%(약 18만 1000톤)의 온실가스 배출을 감축해야 한다.⁶⁰⁾ 본 감축 이행의 대상은 국내연안 여객·화물 해상운송사업자 중 소유한 선박의 연간 온실가스 배출량 및 에너지 소비량 총합이 아래 표에 명시된 기준 이상인 업체이며 이들 업체는 해운법 제3조 및 제23조에 따라 온실가스 목표 관리제 관리업체로 지정된다.⁶¹⁾ 2014년 관리업체로 지정된 사업체는 (주)쌍용해운, 씨월드고속훼리(주) 2개사이다.⁶²⁾ 이들 온실가스 관리업체들의 감축목표는 2015년 9월 설정될 예정이다.

<표 3.4> 온실가스 목표관리제 관리업체 선정 기준

적용 일자	온실가스배출량(kilotonnes CO _{2e})		에너지 소비량 (TJ)	
	업 체	사업장	업 체	사업장
2014. 1. 10이후	50 이상	15 이상	200 이상	80 이상

* TJ(terajoules) : 23.88 TOE(Ton of Oil Equivalent, 원유 1톤에 해당하는 열량)

2015년 3월에는 국내연안 운송사업자 790개사를 대상으로 '연안해운 온실가스 배출량 및 에너지 소비량 일제조사'를 실시한 후 관리대상 업체를 추가로 지정할 예정에 있다.⁶³⁾ 동 조사 결과 관리대상으로 지정된 업체는 경영비용 감소 및 경영효율화와 연계하여 대응책을 수립하여 이행하도록 할 예정인데 이산화탄소에 특화된 배출 감소 정책은 수립되어 있지 않다.

2). 국제항행

우리나라 선박 중 국제항행에 종사하는 선박은 MARPOL 부속서 VI에 명시된 질소화합물(NO_x), 황화합물(SO_x) 배출관리 및 EEDI, SEEMP 등 IMO의 선박 온실가스 감축 조치를 준수해야 한다. 앞서 소개하였듯이 EEDI(Energy Efficiency Operational Indicator)는 MARPOL 부속서 6의 개정을 통하여 2013년 1월 1일부터 강제화 되었으며 신조선에만 적용되고, SEEMP(Ship Energy Efficiency

59) Ibid.

60) 해양수산부, '연안해운 온실가스 배출규제 대응 박차,' 보도자료, 2015. 3. 5.

61) Ibid.

62) Ibid.

63) Ibid.

Management Plan)는 2013년 1월 1일부로 400톤(GT)이상 모든 선박에 적용된다. 우리나라는 EEDI와 SEEMP의 이행을 위하여 해양환경관리법을 개정하였으며, 동 개정안은 2013년 1월 1일부로 발효하였다. 이 개정안에 따르면 국제항행에 종사하는 11개 선종, 400톤 이상의 선박은 CO₂ 배출을 저감하기 위한 에너지효율 검사를 받고 해당 증서를 선내에 비치해야 한다.⁶⁴⁾

또한 EEDI와 SEEMP 등의 이행을 위한 구체적인 절차 마련을 위해 '선박의 에너지효율검사 등에 관한 기준'을 2013년 제정 및 시행하고 있다. 이 기준은 EEDI 계산, SEEMP 비치대상 선박 선정, 에너지효율검사 세부사항 및 방법에 관한 규정을 포함하고 있다. 동 개정을 통하여 연료효율성 향상과 관련한 IMO 제도를 충실히 이행하기 위한 국내규범이 마련되었으나, 해당 규범에는 이산화탄소의 선상 포집 및 재활용 조장이 포함되어 있지 아니하다. 해양환경관리법 제41조 2항은 선주에게 선박의 대기오염방지설비를 설치할 포괄적 의무를 부과하고 있으며, 선박에서의 오염방지에 관한 규칙 제 30조 및 별표 20에 따르면 현재는 MARPOL 부속서 VI의 관리 대상인 질소산화물 및 황산화물만 규제되고 있다. 그러나 해양환경관리법 제2조의 정의에 따르면 대기오염물질에는 이산화탄소가 포함되며, 동 법 제41조(대기오염물질의 배출방지를 위한 설비의 설치 등)는 규제대상을 질소산화물(NO_x) 및 황산화물(SO_x)에만 제한하고 있지 아니하다. 따라서, 비록 이산화탄소를 포함하는 기타 온실가스의 오염방지설비를 선내에 장착하게 할 구체적인 규범은 아직 준비되어있지 않으나 이들의 배출로 인한 대기오염을 관리할 일반적인 근거규정은 준비되어 있다 하겠다.

3.3.3 CCS 및 재활용

3.3.2에서 검토한 바와 같이 국내항행과 국제항행에 종사하는 우리선박의 엔진효율성을 향상시켜 연료소비 감소를 통해 배출되는 이산화탄소의 양을 감축시키는 법과 정책은 국내적, 국제적으로 수립되어 있으나, 선박이 배출하는 이산화탄소를 포집하거나, 재활용하게 하는 구체적인 규범과 조치가 수립되어 있지는 않다. 따라서 향후 선박의 배기가스 규제 정비뿐만 아니라 이산화탄소 포집관련 법과 정책의 정비도 필요하게 될 것이므로 이 절에서는 이산화탄소 포집에 관한 국내법 및 정책과 관련하여 선상 포집이 논의된 적이 있는지를 검토해 볼 것이다.

우리나라에서 이산화탄소 포집 및 저장은 이명박 대통령 행정부 당시 국정과제 95번(해양환경 보전과 개발의 조화)과 관련하여 최초로 등장하였으며, 이때 주로 육상(화력발전소 등)에서 포집된 CO₂를 수송하여 해저 퇴적층에 주입·저장·모니터링하는 기술을 개발하고 이러한 활동을 관리

64) 해양환경관리법 제41조의 2 및 3.

하는 것이 주요 논의 대상이었다. 특히 CCS 기술은 기존의 탄소에너지 기반 산업구조를 유지하면서 대규모 온실가스 감축이 가능한 기술 개발을 목표로 하였다.

이를 위하여 2010년 국가 CCS 종합추진계획이 수립되었는데, 이 계획에 따르면 2020년까지 100만톤급 CO₂ 해양지중저장 실증 완료, CO₂ 해양지중저장 실용화 체계 및 법제도 기반연구와 대규모 해양저장소 탐사, 특성화 선정 연구 및 CO₂ 수송 주입 및 해양지중 CO₂ 모델링 모니터링 연구, 해양지중저장 환경위해성 평가관리 기술개발 연구 등을 실시할 예정이다.⁶⁵⁾ 이 계획에 따르면 2015년까지 CO₂ 저장 부지를 선정해 2017년부터 CO₂저장(주입)을 시작하는 것을 목표로 하고 있다. CO₂ 저장소 후보로는 울릉분지, 제주분지, 군산분지 등이 있으며 기타 해양 퇴적층을 대상으로 저장소 탐사, 선정 및 특성화 연구를 수행 중이다. 동 사업의 최종 목표는 2030년경에 연간 3,200만톤(교토의정서에 제시된 우리나라 온실가스 감축량의 10%)의 CO₂를 CCS로 처리하는 것이며, 대규모 온실가스 감축을 위한 CO₂ 수송, 저장 플랜트 신산업을 창조하고, 신규시장을 창출하여 동 사업과 관련한 세계시장의 20%를 점유하는 것을 목표로 한다. 박근혜 대통령 행정부가 들어서면서 기후변화에 대응하기 위한 국정과제 수행의 일환으로 해양지중 CO₂ 저장소 후보지 선정이 주요 추진 목록에 포함되어 지난 행정부의 CCS 추진계획 이행을 지속하고 있다.

특히 포집 및 활용 기술개발과 관련하여 이 계획은 포집비용 20달러/CO_{2e} 이하의 원천기술 4개 이상을 확보하고 포집된 CO₂를 화학적, 생물학적으로 전환하는 원천기술 개발을 추진하는 안도 포함하고 있다.⁶⁶⁾ 이들 연구개발 사업들 중 포집과 관련한 부문은 산업통상자원부와 미래창조과학부가 각각 상용화를 위한 핵심 원천기술 개발과 기초원천 기술개발을 담당하고 있으며, 환경시설이 배출한 CO₂를 포집하여 고정화하는 등 포집된 CO₂를 전환하는 기술 개발 사업은 환경부가 주도하고 있다.⁶⁷⁾ 2010년 CCS 종합추진계획이 수립된 후에 각 정부 부처별로 수립한 연구개발 사업의 내용은 그러나 최초에 분배된 역할에 제한되지 아니하고 각 부처별로 중복되어 수행되는 분야가 있으며 주로 CO₂ 전환에 관한 연구가 그러하다. 예를 들면, 미래부의 'Korea CCS 2020'은 2011년부터 2019년까지 9년간 3단계에 거쳐 약 1,727억의 예산으로 57개 과제를 수행한다.⁶⁸⁾ 이들 과제의 주요 내용은 CO₂ 포집 분야와 관련하여 전력생산 비용 등 CO₂ 대량 배출원 가동비용의 30%가 넘지 않는 수준의 추가비용으로 발생한 CO₂를 포집 가능한 원천기술 4종 이상 개발, CO₂ 저장과 관련하여 1만톤급 CO₂포집-수송-저장 통합을 실증하기 위한 시스템 기술 확립 및 혁신적 CO₂저장 기술 개념 검증, CO₂ 전환과 관련하여 CO₂저장의 대체 수단이 될 수 있는 차세대 화학적,

65) '국가 CCS 종합 추진계획(안),' 교육과학기술부, 기획재정부, 지식경제부, 환경부, 국토해양부, 녹색성장위원회, 2010. 7. 13.

66) *Ibid.*

67) 환경부, '이산화탄소 지중저장 환경관리기술 개발 추진,' 보도자료, 2014. 4. 23.

68) KCRC, 'Korea CCS 2020 사업 2단계 신규과제 수시공모,' 2014년 10월 21일.

생물학적 전환 이용 기술 2종 이상의 개발이 포함된다.⁶⁹⁾ 산업부의 '2014년 에너지기술사업'의 세부과제 중에 포집 이산화탄소 활용 고부가 화학제품 기존생산공정 혁신기술 개발이 포함되며 동 과제는 실배출원에서 포집된 CO₂활용을 통한 고부가 화학제품(예를 들면 개미산, DMC, Polyol, polycarbonate 등)의 상용공정 개발을 목표로 한다.⁷⁰⁾ 기타 해수부와 환경부의 CCS 관련 사업은 각각 'CO₂ 해양처리기술개발사업'(~'15. 900억), 'CO₂저장 환경관리기술 개발사업'('14.~413억)이 있으며⁷¹⁾ 이들 사업에는 현재 포집 및 전환 기술 개발이 포함되어 있지 아니다. 해수부의 관련사업은 울릉분지 주변저장 후보지 특성화 및 시추준비, 100만톤 실증사업 대비 수송, 주입공정 설계 및 저장소 안전성 평가 위주로 진행되고 있으며,⁷²⁾ 환경부의 사업은 CO₂ 거동 및 누출 평가, CO₂ 저장환경 위해성 관리 핵심기술 평가, CO₂ 저장환경 관리 실증, CO₂ 저장환경관리 기반 구축으로 구성된다.⁷³⁾ 우리나라 2010년 CCS 종합추진계획과 최근 세부과제별 내용을 분석하여 그림 3.1에 정리하였고, 최근의 추세를 분석했을 때 해양수산부는 CO₂ 사업 목적에 근거하여 기존의 저장 수송 위주의 과업을 선상 포집 및 재활용 사업으로 점차 전환할 필요가 있다.

국내적으로 온실가스 활용기술 개발에 성공사례는 송·배전설비에서 유출·폐기되던 SF₆가스를 회수 정제설비를 활용하여 약 99% 회수하는 기술(2012년), 시멘트 소성공정에서 발생하는 고온 배기가스를 폐열회수발전에 도입하는 기술(2012년) 개발이 있다.⁷⁴⁾ 동 계획 외에 미래부 주관으로 한국에너지기술연구원이 수행하는 KOREA CCS 2020 사업에 고분자, 바이오디젤 등 유용물질 생산을 통한 CO₂ 활용기술 개발 목표가 포함되어 있다. 해양수산부 주관의 CO₂ 해양지중 저장기술 개발 사업은 CO₂ 저장소 선정, 수송 및 주입기술 개발과, 환경 위해성과 거동 모니터링 연구 위주이며 포집 및 재활용 기술 개발은 포함하지 아니다.⁷⁵⁾ 이와 같이 현재 우리나라 정부 주도로 수행중인 연구개발 사업에는 CO₂의 선상 포집 기술 및 포집된 CO₂의 활용 기술 개발이 명시되어 있지는 않으나, 육상 시설에서의 포집기술 사업은 두개의 정부부처 주도로 진행 중이며, 국가온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵에 따르면 전 세계적으로 기초연구 단계인 CO₂ 활용 분야의 원천기술 개발의 필요성은 인정되고 있다.

69) *Ibid.*

70) 산업부, '산업부, 에너지기술 개발에 820억 추가지원,' 보도자료, 산업부 에너지기술과, 2014년 9월 15일, p. 6.

71) 환경부, '국가 온실가스 감축, 2020년 로드맵 마련,' 2014.1.24. 환경부 기후대기정책과 보도자료. p. 2.

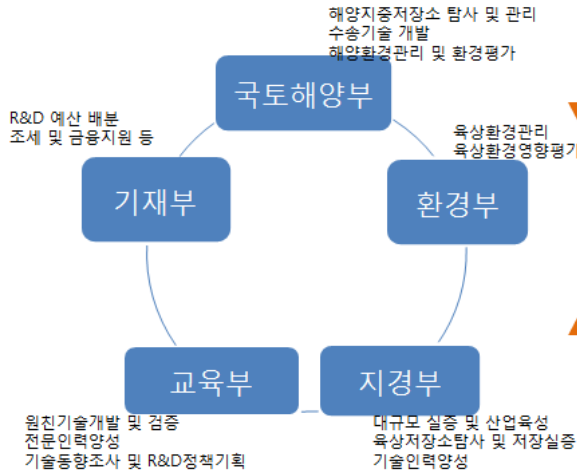
72) 해수부, '2014년도 해양수산기술 연구개발사업 시행계획,' 2014.1, p. 87.

73) 환경부, 'CO₂ 저장 환경관리기술개발사업-'14년도 추진계획 공고 및 사업안내서,' 환경부 한국환경산업기술원, 2014. 1.29, p. 1.

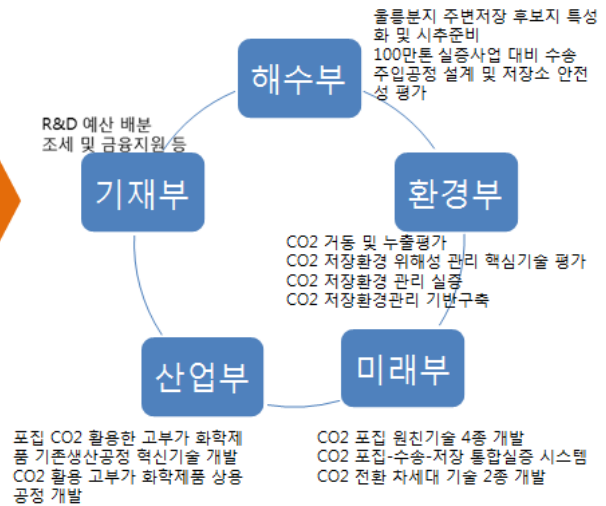
74) '국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵'.

75) 환경부 보도자료, *supra* note 66.

2010년 CCS 종합추진계획



최근 세부과제별 내용



<그림 3.1> 우리나라 CCS 관련 정부부처 역할 개편 제안

3.3.4 관련 법정책과의 연계 가능성

해양환경관리법 제41조에 따라 선박에 장착이 의무화되어 있는 대기오염물질 배출방지 설비는 MARPOL 부속서 VI의 이행과 관련되어 있기 때문에 SOx, NOx 처리에 국한된다. 해양법협약(the Law of the Sea Convention)은 기국이 선박으로부터의 환경오염을 예방하기 위한 여러 규범을 IMO를 통하여 수립하고 국내법 입안을 통하여 이를 이행할 법적 근거를 제공하고 있다. 예를 들면, 해양법협약 제212조에 따르면 당사국은 자국 선박에 적용할 대기를 통한 해양환경 오염 방지를 위한 국제규범을 IMO 등을 통하여 수립하고 이를 이행할 국내법을 제정해야 한다.⁷⁶⁾ 따라서 해양환경관리법 상의 대기오염방지설비에 이산화탄소 포집 및 활용설비를 포함한 CO₂ 배출방지 설비가 추가되기 위해서는 관련 국제규범이 우선 제정되는 것이 일반적인 순서일 것이다. 이를 위하여 포집 및 활용기술 개발을 진행하면서 동시에 IMO 내에서의 국제규범 수립 제안을 추진할 필요가 있다. 그러나 해양법협약 제212조에 따르면 관련 국내법은 국제적으로 합의된 규범뿐만 아니라 기타 자체적으로 필요한 조치를 포함할 수 있다. 따라서, 이산화탄소 배출의 직접적인 저감기술이 개발되기 전까지 선박 배출량 관리가 필요하다고 판단되면 포집 및 활용기술을 국내선박에 적용하는 권고 또는 이를 위한 관련 국내법 개정을 하는 것에 대한 국제법적 제한은 없다고

76) 해양법협약 제212조.

사료된다.

국내에서는 이미 이산화탄소 배출 저감 및 재활용 기술개발 필요성에 대한 합의가 이루어져 있고 선박의 온실가스 배출저감 목표치가 설정되어 있어서 선박의 이산화탄소 배출저감을 달성할 구체적인 조치 개발이 필요한 것은 사실이다. 2010년 국가 CCS 종합 추진계획에 명시된 각 관련 부처의 역할이 부처별 사업시행 목적에 따라 적절히 조정되어 이산화탄소 포집, 수송, 저장, 전환이 각 부처의 사업에 중복되어 포함되는 경우도 있으며, 이에 따라 향후 각 부처의 필요에 따라 사업 내용은 적절히 변경될 수도 있을 것으로 사료된다. 예를 들면 해양수산부는 기존에 수송과 저장에만 치중하여 CCS 사업을 수행해 왔으나 이산화탄소의 지중저장은 양적으로 한계가 있고 궁극적으로 전환기술 개발을 통한 활용을 할 수 밖에 없어서 선박운항으로부터 발생하는 이산화탄소를 포집하고 이를 전환하여 선상에서 활용하는 기술 개발이 점차 필요하게 될 것이다. 이에 기존의 미래부, 산업부, 환경부 사업과 연계하여 선상포집 및 활용 기술 개발을 수행하는 것 보다는 해양수산부의 기존 사업에 추가 또는 신규사업으로써 개발하는 것이 필요한데 이를 위해서는 정책적 당위성을 조선업계와 정부에 지속적으로 제공할 수 있어야 할 것이다. 그러한 당위성의 강력한 근거가 될 국제법은 현행 GHG 제도 하의 엔진 효율성 향상을 위한 조치로써 또는 직접적인 선박 CO₂ 감축 조치로써 향후 IMO가 개발하여 제공할 가능성이 클 것으로 전망된다.

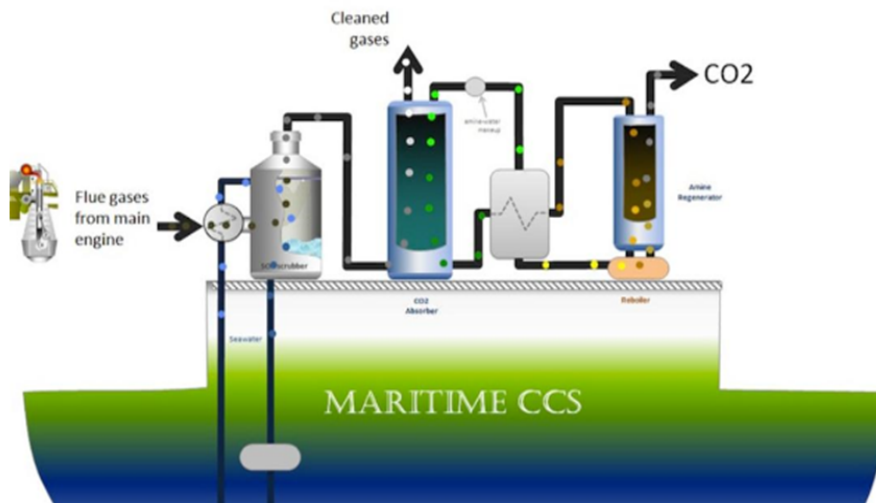
IV. 선상 이산화탄소 포집 및 전환/활용 기술

- 1 선박에서의 이산화탄소 포집기술
- 2 포집된 이산화탄소의 활용
- 3 포집 이산화탄소의 활용 상세분석

IV. 선상 이산화탄소 포집 및 전환/활용 기술

4.1. 선박에서의 이산화탄소 포집기술

최근 대형 선박 등에서 발생하는 이산화탄소를 직접 포집·처리하는 연구기 노르웨이 선급협회(Det Norske Veritas, DNV) 및 영국의 PSE(Process Systems Enterprise)사에 의해 제시되었다(그림 4.1). 연구범위는 항해 중인 선박이 적합한 항구에 정박해 포집된 이산화탄소를 이송, 저장하기 까지 이산화탄소의 화학적 포집, 액화 및 임시적 저장을 위한 개념 설계 등을 포함하며 본 프로젝트를 통해 DNV 및 PSE사는 선박에서 발생하는 이산화탄소를 65% 까지 줄일 수 있을 것으로 제시하였다⁷⁷⁾. 개념설계와 함께 본 연구에서는 실제 대형 선박에 이산화탄소포집기술을 적용시 예상되는 어려움을 제시하고 있는데 주요한 내용으로 ① 이산화탄소 포집공정의 설치를 위해 많은 공간이 필요함 ② 이산화탄소 포집공정의 운영을 위해 많은 에너지가 필요함 ③ 새로운 이산화탄소 포집공정의 설치를 위해 높은 투자비 증가가 예상됨 ④ 포집된 이산화탄소의 처리(저장 등)문제 해결 등을 제시하고 있다⁷⁸⁾.



<그림 4.1> 노르웨이 선급제안 선상 이산화탄소 포집기술 개략도

77) DNV, "Assessment of Measures to Reduce Future CO₂ Emissions from Shipping," Position paper 05 (2010).

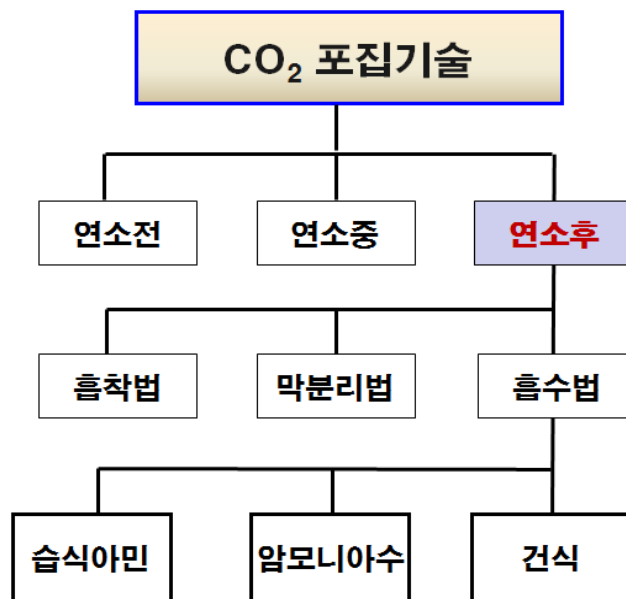
78) 이지현 등(2011)

관련하여 본 기획보고서에서는 선박에서 발생하는 이산화탄소의 포집 및 활용과 관련한 다양한 기술을 분석하고 기술적·경제적으로 우수한 이산화탄소 포집 및 활용기술을 제안하고자 한다.

4.1.1 이산화탄소 포집 기술

이산화탄소 포집 및 저장(Carbon Capture & Storage, CCS) 기술은 대표적 온실가스인 이산화탄소를 발생원으로부터 포집한 후 압축·수송 과정을 거쳐 육상 또는 해양지중에 안전하게 저장하거나 유용물질로 전환하는 일련의 과정을 포함한다. 국제에너지기구의 에너지기술전망에 따르면 CCS는 전체 온실가스 감축량 중 22% (2050년 기준)를 담당하는 등 국내·외 온실가스 감축목표 달성에 크게 기여할 것으로 전망했으며, 이산화탄소 감축에 가장 중요한 역할을 하는 단일 기술로 꼽았다⁷⁹⁾. 이에 따라 미국, 유럽 및 일본 등 선진국을 중심으로 관련 기술 개발 경쟁이 가속화되고 있다.

이산화탄소 포집기술은 연소시스템 또는 이산화탄소 포집공정의 적용위치에 따라 크게 연소 후(Post-combustion), 연소 전(Pre-combustion) 및 순산소 연소(Oxyfuel combustion, 연소 중 기술에 해당)로 분류할 수 있다(그림 4.2).



<그림 4.2> 이산화탄소 포집기술 분류

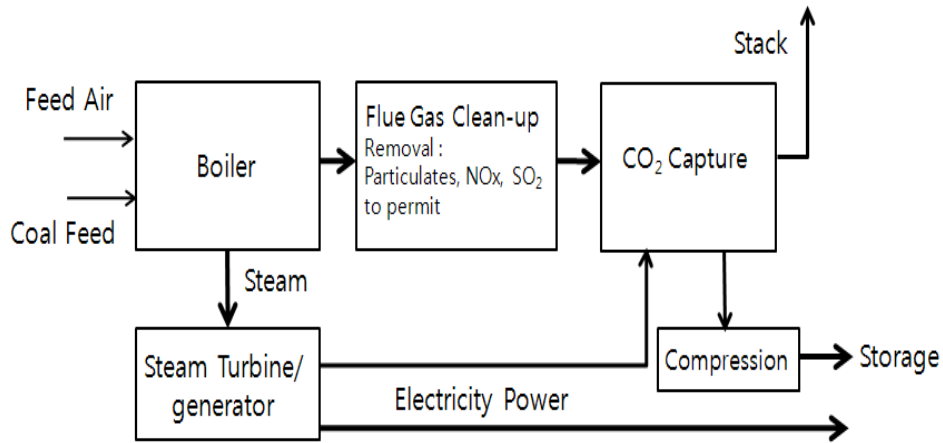
79) Energy Technology Perspectives 2012

이중 선상에서의 직접 이산화탄소 포집은 선박의 엔진 연소에 의해 발생하는 배가스 중의 이산화탄소를 처리하는 개념이므로 상기 이산화탄소 포집기술 중 연소 후 공정에 해당된다. 연소 후 공정은 그림 2에 제시된 바와 같이 흡착법, 분리막을 활용한 막분리법 및 흡수법 등으로 분류되며 흡수법은 다시 습식 아민법, 암모니아수법, 건식법등으로 분류될 수 있다. 지금까지 국내외에서 개발된 다양한 연소 후 포집기술 중 흡착법 및 막분리법은 현재까지 대부분 실험실 규모에서 성능시험이 진행 중에 있는 반면 습식 아민법, 암모니아수법 및 건식법 등은 화력발전소 혹은 제철소 등에서 배출되는 배가스를 처리할 수 있는 Pilot 규모의 설비가 설치되어 운영 중에 있어 타 기술대비 기술의 수준 및 완성도가 높다. 이에 본 기획 보고서에서는 선상 이산화탄소 포집을 위한 다양한 후보 기술 중, 기술의 완성도가 타 기술대비 우수한 습식 아민법, 암모니아수법 및 건식법을 중심으로 기술의 개요와 특징을 분석하고 이를 바탕으로 선상 이산화탄소 포집에 가장 적합한 포집 기술을 제안하고자 한다.

4.1.1.1 연소 후 이산화탄소 포집기술 개요

선상에서 엔진의 연소에 의해 발생하는 연소 배가스를 타겟으로 하는 이산화탄소 포집기술의 개발을 위해서는 먼저 현재 화력발전소를 대상으로 개발이 진행 중인 연소 후 이산화탄소 포집 기술에 대하여 살펴 볼 필요가 있다. 화력발전소를 대상으로 한 이산화탄소 포집기술의 개략도는 다음의 그림 4.3과 같다. 화력발전소 보일러에서 화석 연료의 연소 후 발생된 배가스는 대기로 배출되기 전 탈질, 집진 및 탈황공정을 거치게 된다. 배가스 중의 이산화탄소 농도는 사용되는 연료에 따라 다른데 통상 유연탄 등을 사용하는 화력발전소의 경우에는 13 내지 15%, 천연가스를 연료로 사용하는 가스 발전소의 경우에는 5 내지 8% 수준으로 대기압 수준으로 배출된다.

배가스 중의 이산화탄소를 포집하기 위한 공정은 주요 불순물이 대부분 제거된 탈황공정 이후에 위치하는데 이산화탄소 포집공정을 통해 이산화탄소가 제거된 가스는 연동을 통해 대기 중으로 배출되고 공정에서 포집된 고농도의 이산화탄소는 이후 압축 공정을 거친다. 압축공정에서는 이후 이송 및 저장을 위해 11~15 MPa 수준으로 압축이 되는데, 이송 및 저장 시 가스 하이드레이트 생성 및 이송라인 부식 등의 문제를 억제하기 위해 압축공정에서 가스 중의 수분은 대부분 제거가 된다. 제시된 바와 같이 발전소에서의 이산화탄소 포집은 선상에서의 포집과 이산화탄소 발생 메커니즘이 유사하므로 개념적으로 두 기술은 크게 차이가 없다.

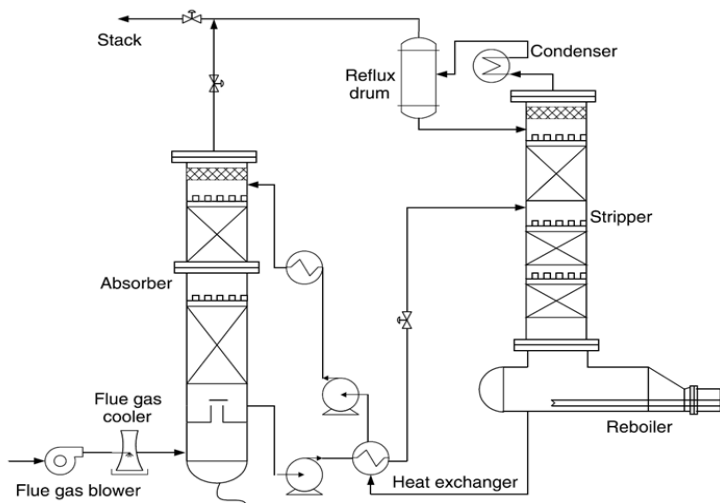


<그림 4.3> 연소 후 이산화탄소 포집기술(화력발전소 대상) 개요

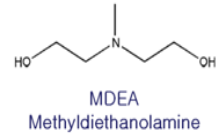
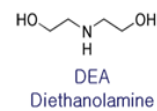
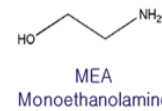
① 연소 후 포집기술: 습식 아민법

다양한 연소 후 이산화탄소 포집기술 중 아민 흡수제를 이용한 습식 아민법은 연소 후 이산화탄소 포집기술의 대표 기술로서 오랜 상업운전을 통해 기술 및 공정의 안정성이 확보되어 있다. 공정은 크게 흡수탑과 재생탑으로 구성이 된다(그림 4.4). 발전소 등에서 배출되는 연소 배가스는 송풍기를 거쳐 흡수탑 하단으로 투입되고 흡수탑 상단에서 주입되는 아민 흡수제와 반응하여 가스 중의 이산화탄소는 흡수제와 화학결합을 한 후 재생탑으로 이송된다. 재생탑에서는 하부 또는 별도의 재열기에서 투입되는 고온의 열(스팀)에 의해 흡수제와 이산화탄소의 화학결합이 끊어지면서 고순도 이산화탄소와 이산화탄소가 제거된 흡수제(재생 흡수제)로 분리된다. 재생된 흡수제는 다시 흡수탑으로 이송되고 재생탑에서 분리된 고순도의 이산화탄소는 이후 압축공정을 거쳐 저장소에 저장되거나 다른 유용한 용도로 활용된다.

습식 아민법 기술에서 이산화탄소 흡수제로 주로 사용되는 아민계열 화합물은 화학구조에 따라 1차, 2차, 3차 아민 등으로 분류할 수 있는데 각각의 특성에 따라 단독 혹은 혼합되어 사용할 수 있으며, 흡수성능을 향상시키기 위해 다양한 증진제를 혼합하여 사용하기도 한다.



● 주요 아민계열 흡수제



<그림 4.4> 습식 이산화탄소 포집공정 개략도 및 상용 흡수제 화학구조

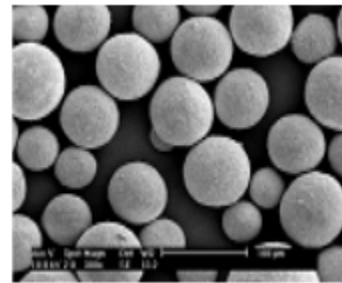
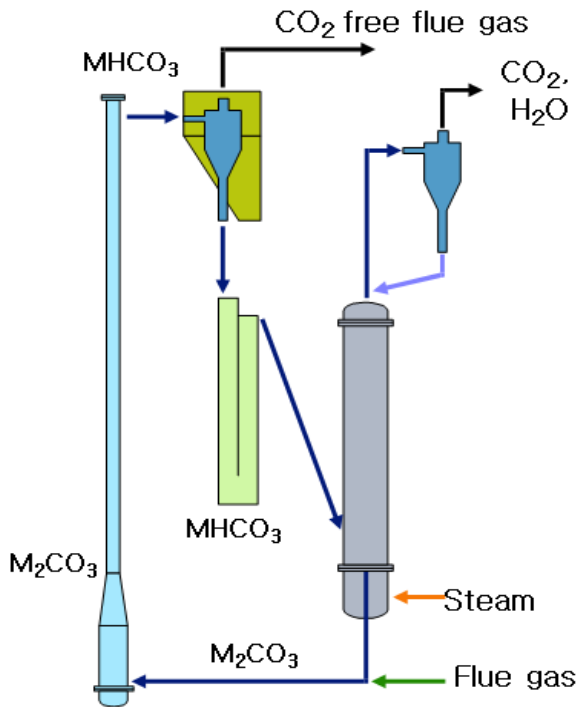
다른 이산화탄소 포집공정과 마찬가지로 습식 아민법은 공정운전을 위한 전력사용(펌프 및 송풍기 가동, 압축공정 운영 등) 및 재생탑에서의 스팀 사용(재열기)으로 인해 많은 에너지가 소비되는데 해당 에너지는 보일러에서 발생하는 에너지에서 추출해야 하므로 많은 비용이 발생된다. 따라서 전 세계 주요 연구진들은 이러한 스팀 사용량을 획기적으로 줄일 수 있는 고효율 흡수제 및 저에너지형 이산화탄소 포집공정 개발을 위해 많은 연구를 진행 중에 있다.

② 연소 후 포집기술: 건식법

건식 이산화탄소 포집기술은 연소 후 배가스 중에 포함된 이산화탄소를 포집하기 위하여 아민 계열의 습식 흡수제가 아닌 고체 흡수제를 사용한다. 건식법 역시 습식 아민법과 마찬가지로 이산화탄소 포집을 위해 흡수 및 재생탑으로 구성된다. 공정은 습식 아민법과는 달리 순환유동층 공정으로 구성된다(그림 4.5). 고체 흡수제는 두 유동층 반응기를 순환하면서 흡수탑에서는 배가스 중에 포함된 이산화탄소를 선택적으로 흡수하고 재생탑에서는 습식 아민법과 마찬가지로 고온의 열에 의해 흡수한 이산화탄소를 배출하면서 재생된다. 흡수탑에서는 이산화탄소가 제거된 가스가 배출되며, 재생탑에서 배출되는 고농도의 이산화탄소는 정제 및 압축 과정을 거쳐 이산화탄소 저장소로 보내진다.

건식 이산화탄소 포집기술은 특히 우리나라에서 주도적으로 개발이 진행 중에 있다. 건식 이산화탄소 포집 기술에 적용되는 고체 흡수제는 빠른 이산화탄소 흡수속도 및 높은 이산화탄

소 흡수능과 함께 유동층 공정에 사용하기에 적합한 물성 및 장기간 사용가능한 내구성, 저가 등의 요구조건을 만족시켜야 한다.

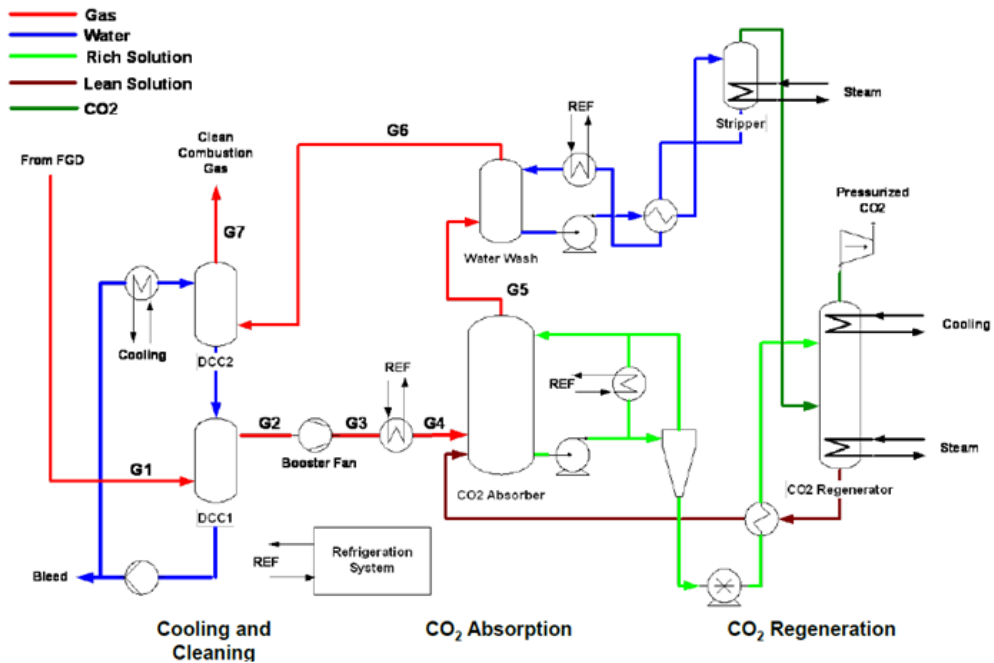


고체 이산화탄소 흡수제

<그림 4.5> 건식 이산화탄소 포집공정 개략도 및 흡수제

③ 연소 후 포집기술: 암모니아수 법

암모니아수 법은 암모니아수를 활용하여 이산화탄소를 포집한다 (그림 4.6). 습식 아민법과 공정과 반응측면에서 거의 유사하며 공정 구성도 거의 유사하다. 암모니아수 법은 습식 아민법의 공정에서 요구되는 에너지 사용량(흡수제 재생에너지)을 낮추기 위하여 미국의 ALSTOM을 중심으로 개발 중에 있으며 우리나라에서는 포항산업과학연구원(RIST)이 주도하여 개발 중에 있다. 지금까지 제시된 성능은 우수한 이산화탄소 포집성능을 보이나 암모니아의 특성상 높은 증기압으로 인하여 공정의 운영 중에 암모니아수의 누출 가능성이 높기 때문에 이의 방지를 위한 추가의 공정(다수의 냉각탑 등)이 필요하다.



<그림 4.6> 암모니아수 활용 이산화탄소 포집공정 개략도

④ 이산화탄소 포집 기술개발 현황

현재 화력발전소를 대상으로 한 연소 후 이산화탄소 포집기술 개발은 빠른 속도로 진행 중에 있다. 이 중 캐나다 SaskPower의 Boundary Dam 발전소에서는 2014년 하반기 부터 115 MW 급 규모의 연소 후 이산화탄소 포집 플랜트가 원유회수증진(EOR, Enhanced Oil Recovery)과 연계되어 운영 중에 있다(이산화탄소 처리 규모: 연간 약 1백만톤) (그림 4.7 참조). 또한 국내에서도 한국전력을 중심으로 개발된 10 MW급 규모(하루 200톤, 연간 약 7만톤 규모의 이산화탄소 처리 가능)의 연소 후 습식·건식 이산화탄소 포집플랜트가 각각 보령화력(한국중부발전) 및 하동화력(한국남부발전)에서 운영 중에 있다(그림 4.8, 4.9 참조)

특히 국내에서 개발된 10 MW급 이산화탄소 포집 플랜트는 규모면에서 캐나다의 SaskPower, 미국의 Southern company, 중국 Huaneng 전력사의 이산화탄소 포집 플랜트에 이어 4번째 규모로서 기술의 성능 및 규모 측면에서 세계적인 수준으로 평가를 받고 있다.



<그림 4.7> Boundary Dam 이산화탄소 포집 플랜트



<그림 4.8> 습식 이산화탄소 포집 플랜트



<그림 4.9> 건식 이산화탄소 포집 플랜트

4.1.1.2 선상 이산화탄소 포집을 위한 기술제안

상기 제시된 다양한 포집 기술을 바탕으로 선상에서의 직접 이산화탄소 포집의 가능성을 분석하고자 한다. 앞서 제시된 기술은 서로 다른 특징이 있으나 본 보고서에는 선박에의 적용을 고려하여 기술의 완성도, 재생탑에서의 에너지 사용량 및 설비 규모 측면에서 분석하였고 그 결과는 아래의 표 4.1과 같다.

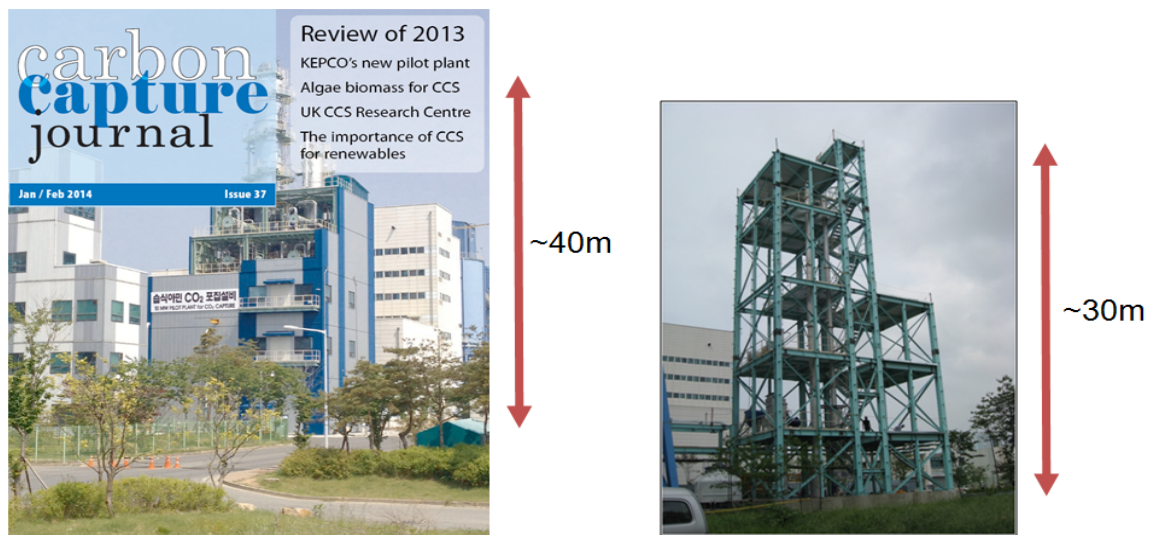
<표 4.1> 이산화탄소 포집 기술 비교

분류	흡수제	기술 특징			선상 이산화탄소 포집적용 가능성
		기술의 완성도	재생탑 에너지 사용량	설비 규모	
습식 아민법	아민류	높음	2.8~4.0 GJ/tCO ₂	大	△
건식법	고체 흡수제	중간	> 4.0 GJ/tCO ₂	大	X
암모니아수 법	암모니아수	높음	3.0~4.0 GJ/tCO ₂	大	△

상기 제시된 바와 같이 습식 아민법의 경우에는 기술의 완성도가 높고 재생탑에서의 에너지 사용량 측면에서도 최근 고효율 이산화탄소 흡수제 및 에너지 저감형 공정이 적용됨에 따라 타 기술대비 경쟁력이 있다. 반면 건식법의 경우 이 기술은 하나의 혁신적인 기술로서 최근까지 진행된 10 MW급 연소 후 건식 이산화탄소 포집플랜트 운전에서 습식 아민법에 비하여 이산화탄소 제거 성능이 다소 떨어지는 것으로 분석되었다. 또한 재생탑에서의 에너지 사용량 측면에서도 습식 아민법의 경우 재생탑의 운전온도가 약 110 내지 120도에서 유지되는 반면 건식법의 경우에는 160도 이상에서 운전이 이루어져야 하므로 재생탑에서의 에너지 사용량도 높은 것으로 제시되었다. 이에 비하여 암모니아수 법은 습식 아민법과 마찬가지로 기술의 완성도 등은 높으나 선상에서의 이산화탄소 포집 특성상 공정의 운전 중에 암모니아수의 누출로 인한 악취 등으로 피해가 발생할 여지가 있어 선박에 적용하는 기술로는 적합하지 않은 것으로 사료된다.

따라서 상기 자료를 바탕으로 참조할 때 선상의 이산화탄소 포집을 위한 기술로는 습식 아민을 이용한 기술이 가장 합리적인 방법으로 판단된다. 다만 여기서 문제가 되는 것이 바로 이산화탄소 포집공정의 규모이다. 통상 이산화탄소 포집 흡수탑의 설계에 있어서 흡수탑의 직경은 처리되는 가스의 유량에 따라 증가하며 흡수탑의 높이는 이산화탄소와 흡수제의 반응 속도에 의해 결정되는데 현재까지 설치된 하루 수 톤 이상의 이산화탄소를 처리할 수 있는 포집 플랜트에 있어서 흡수탑의 높이는 대부분 20 m 이상이다. (예시: 보령화력 0.1 MW 이산화탄소 플랜트 높이 약 30m, 10 MW 포집 플랜트 높이 약 40 m, 그림 4.10 참조) 따라서 이러한 규모의 이산화탄소 포집 플랜트 건설을 위해서는 견고한 기초공사 뿐만 아니라 설비 지지를 위한 보강설비가 필요하다. 상기 제시된 플랜트 규모에서도 확인할 수 있듯이 이산화탄소 포집 및 저장 기술은 정유 및 소규모 발전플랜트에서의 성능시험을 통해 기술의 신뢰성은 입증되었으

나 일정규모 이상의 배가스 처리를 위해서는 공정의 규모가 매우 커지므로 본 기술의 목적인 선박에서의 이산화탄소 포집을 위해서는 설비 안정성 및 투자비 측면에서 많은 어려움이 있을 것으로 예측된다 (이지현 2012).



a) 10 MW CO₂ 포집 플랜트(보령화력)

b) 0.1 MW CO₂ 포집 플랜트(보령화력)

<그림 4.10> 습식 이산화탄소 포집 플랜트 규모 비교

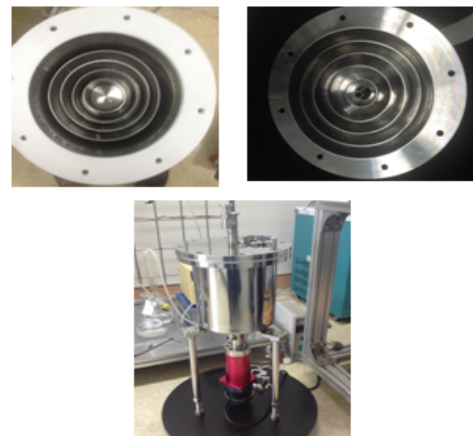
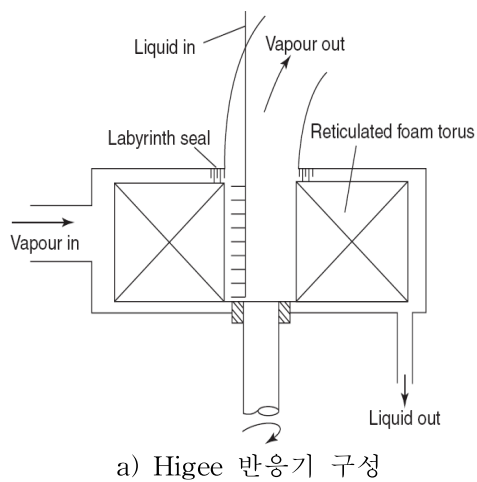
따라서 위에서 제기된 다양한 문제점을 극복할 수 있는 혁신적인 반응 공정과 이를 바탕으로 선박에서 발생하는 이산화탄소를 직접 포집하여 저장하는 공정, 공정규모 및 에너지 사용량 등을 포함한 개념설계 자료가 필요하다. 따라서 이 후반에서는 KEPCO의 이지현 박사의 개념을 서술하고자 한다.

4.1.1.3 제안 기술

Higee 반응기는 1983년 영국의 Ramshaw 등에 의하여 제안된 기술로 고중력(High-gravity)하에서 운전이 되는 특성으로 통상 Higee 반응기라고 한다⁸⁰⁾. Higee 반응기는 반응기의 회전에 의한 원심력을 이용하여 종래 열 및 물질전달시 적용되는 일반 중력가속도보다 높은 수준의 고중력 하에서 반응이 진행되는데 Ramshaw 및 Mallison 등이 개발한 Higee 반응기 초기 모델

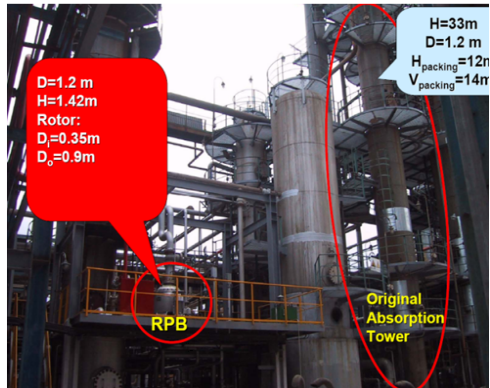
80) Wang, G. Q., Xu, Z. C., Yu, J. B. and Ji., "Performance of a Rotating Zigzag Bed-A new HIGEE," *Chemical Engineering and Processing*, **47**, 2131-2139(2008).

은 회전축과 고정축으로 구성된 반응기 내부에 충전물(packings)을 구성하여 외부에서 투입되는 가스와 액상의 흡수제가 반응기 내부에서 고효율로 반응이 이루어지도록 구성되며 회전형 충전탑 (Rotating Packed Bed, RPB)이라고도 불린다(그림 4.11).



<그림 4.11> Higee 반응기 개략도 및 자료화면

Higee 반응기의 장점은 반응기의 회전에 의해 발생하는 원심력에 의하여 물질전달 속도가 향상되고 기/액 반응시 Flooding 이 크게 줄어들며, 액체의 체류시간이 극단적으로 짧아질 뿐만 아니라 많은 교란(Disturbance)이 있는 조건하에서도 적용이 용이하기 때문에 종래 충전탑 (Packed column) 및 트레이 컬럼(Tray column)등을 많이 대체하고 있다. 특히 반응기의 높이의 경우 일반적인 충전탑의 높이 대비 1/10 이하 수준으로 줄일 수 있는 것으로 제시되고 있는데 가스처리 공정 등에서 Higee 반응기가 적용된 사례 중 기존 충전탑과의 규모를 비교할 수 있는 일부 사례는 다음의 그림 4.12와 같다.



a) Fujiang Petroleum refinery(China) b) Dow Chemical HOCl production plant

<그림 4.12> Various application of Hige reactor in gas industry ⁸¹⁾

상기 제시된 Hige 반응기의 특징들을 바탕으로 많은 분야에서 다양한 적용사례가 제시되고 있으며 최근에는 이산화탄소 포집공정에 적용하는 방안에 대하여서도 많은 연구가 제시되고 있다⁸²⁾.

① 개념설계: Hige 반응기

본 장에서는 앞서 제시된 Hige 반응기의 기본 개념을 바탕으로 선박에서 배출되는 이산화탄소의 직접 포집 및 저장을 위한 공정 구성안을 제시하고자 한다. 공정은 크게 ① 이산화탄소와 액상흡수제의 화학 반응을 통해 배가스 중의 이산화탄소가 제거되는 이산화탄소 흡수공정 ② 포집된 이산화탄소가 고온의 열을 통해 고순도의 이산화탄소 및 이산화탄소가 제거된 흡수제로 분리되는 이산화탄소 재생 공정 ③ 고순도의 이산화탄소는 이후 압축공정을 거쳐 고압으로 압축된 후 별도의 저장탱크에 저장되는 단계로 구성된다. 상기 이산화탄소 흡수 및 재생공정은 앞서 언급된 Hige 반응기로 구성된다(그림 4.13).

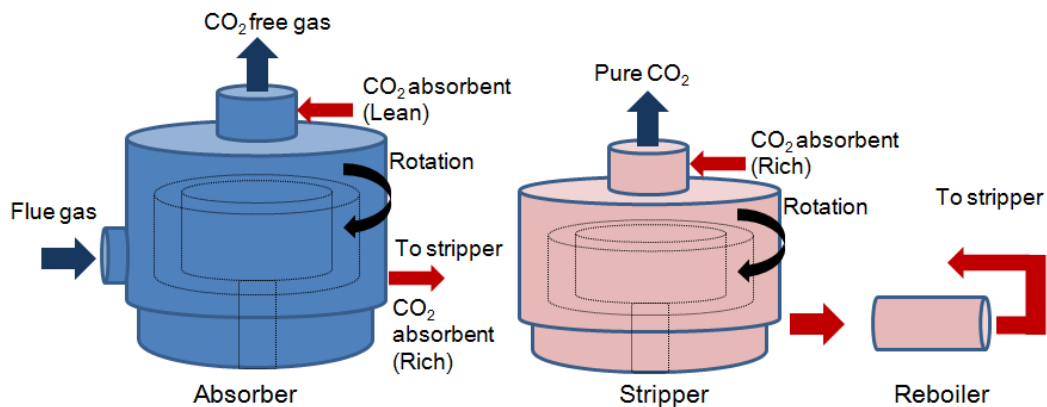
Hige형 이산화탄소 흡수 및 재생 반응기는 모두 하부의 회전축과 상부의 고정축으로 구성이 되며 하부에 설치된 모터에 의해 고속회전 된다. 대부분의 관련 문헌에서 Hige 반응기의 회전수는 통상 500 내지 1500 rpm에서 이루어지며 회전수가 증가될수록 대체로 반응효율이 증가되는 것으로 보고되고 있다⁸³⁾⁸⁴⁾. 본 Hige 반응기를 도입한 이산화탄소 흡수공정에서 연

81) Chen, J-F., The Recent Developments in the HiGee Technology, GPE-EPIC,(2009).

82) Joel, A. S., Wang, M., and Ramshaw, C., "Modeling and Simulation of Intensified Absorber for Post-combustion CO₂ Capture Using Different Mass Transfer Correlations," *Applied Thermal Engineering*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.02.064>(2014).

83) Cheng, H.-H., Lai, C.-C., and Tan, C.-S., "Thermal Regeneration of Alkanolamine Solutions in a Rotating Packed Bed,"

료의 연소 후에 발생하는 연소 배가스는 반응기 중앙으로 투입이 되어 상부에서 투입되는 흡수제와 반응을 한 후 대기 중으로 배출이 되고 이산화탄소를 포집한 흡수제는 회전축 하단으로 배출이 된다. 이산화탄소 흡수공정에서 이산화탄소와 화학적으로 반응한 이산화탄소 포화 흡수제는 열교환기를 거쳐 예열된 후 다시 Higeex형 재생 반응기 상부로 공급된다. 재생반응기는 흡수 반응기에서 이산화탄소와 결합된 흡수제가 외부에서 공급되는 고온의 열원에 의해 고순도의 이산화탄소와 흡수제로 분리된다. 흡수제 재생반응기에서는 화학적으로 결합되어 있는 연소배가스와 흡수제가 열에너지에 의해 분리되어 고순도 이산화탄소가 발생됨과 동시에 흡수제는 재생되어 다시 이산화탄소 흡수공정으로 공급된다.



<그림 4.13> Overall scheme of Higeex CO₂ capture

대부분의 화학흡수법이 적용된 이산화탄소 포집공정의 운전에서 이산화탄소와 화학적으로 반응한 이산화탄소 포화 흡수제(이산화탄소 rich) 중 순수한 이산화탄소만을 분리하기 위해서는 막대한 양의 에너지(통상 흡수제 재생에너지라고 함)가 필요하다. 이 에너지는 사용되는 흡수제 및 공정의 구성에 따라 차이가 있으나 일반적으로 1톤의 이산화탄소를 분리하는데 있어서 약 2.8~4.0 GJ정도의 에너지가 필요하다⁸⁵⁾. 이러한 흡수제 재생에너지는 전체 이산화탄소 저감비용 (Cost of 이산화탄소 avoided, 이산화탄소 포집 및 압축비용이 포함됨) 에서 60 내지 70%에 해당되는 것으로 이산화탄소 저감비용 증가의 가장 큰 요인이다⁸⁶⁾⁸⁷⁾. 통상 이산화탄소 포집설비가

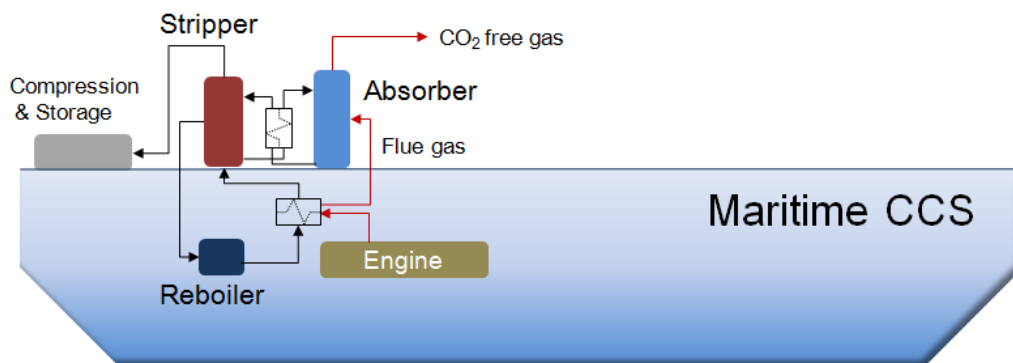
International Journal of Greenhouse Gas control, **16**, 206-216(2013).

84) Yu, C.-H., Huang, C.-H., and Tan, C.-S., "A Review of CO₂ capture by Absorption and Adsorption," *Aerosol and Air Quality Research*, **12**, 745-769(2012).

85) Lee, J. H., Kwak, N.-S., Lee, I. Y., Jang, K. R., Jang S. G., Lee, K. J., Han, G. S., Oh, D.-H. and Shim, J.-G., "Test Bed Studies with Highly Efficient Amine CO₂ Solvent(KoSol-4)," *Korean Chem. Eng. Res. (HWAHAK KONGHAK)*, **51**(2), 267-271(2013).

86) Lee, J. H., Kwak, N. S., Lee, I.-Y., Jang, K. R. and Shim, J.-G. "Performance Analysis of a 500MWe Coal-fired Power

화력발전소에 적용되는 경우 이러한 흡수제 재생에너지는 발전소 파워블록 터빈부의 IP/LP Intermediate에서 인출되어 이산화탄소 포집공정에 투입된다. 반면 선박의 경우 증래 발전소 혹은 석유화학 공장과 비교하여 중요한 차이점 중 하나는 선박의 연소 후에 발생하는 폐열(250~300°C)이 발생된다는 점이다. 상기 범위의 열원은 열교환 장치를 통해 흡수제의 재생에 필요한 에너지(통상 105~110°C)의 공급이 가능하다. 따라서 본 개념설계에서는 아래 그림과 같이 이산화탄소 포집공정의 운용에 필요한 에너지(흡수제 재생에너지)를 엔진 연소시 발생되어 대기 중으로 버려지는 고온의 가스와의 열교환을 통해 확보하는 방안을 제시한다 (그림 4.14).



<그림4-14> Overall scheme of Hige CO₂ capture

재생탑에서 포집된 이산화탄소 흡수제는 이후 이산화탄소 압축 및 액화 공정으로 투입된 후 선박 내 별도의 저장탱크에 저장된다. 이산화탄소 액화를 통해 포집된 이산화탄소의 부피를 크게 줄일 수 있으므로(정상상태의 이산화탄소 가스를 액화시 이산화탄소 톤당 volume은 약 600분의 1 수준으로 압축됨⁸⁸⁾). 선박의 운행 중에 발생하는 이산화탄소 저장을 위한 추가의 공간은 크지 않다. 이러한 일련의 공정을 통하여 저장 탱크에 저장된 액화 이산화탄소는 이후 선박이 항구에 정박 시 육지에 설치된 별도의 이송라인 혹은 탱크로리를 통해 이산화탄소 저장소에 저장되거나 용접 용, 이산화탄소 활용 카보네이트 화합물 생산 및 농작물 재배 등 다양한 산업적 용도로 활용이 가능하다⁸⁹⁾.

Plant with a Post-Combustion CO₂ Capture Process," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, doi:10.1177/0954408912445855(2012).

87) Lee, J. H., Kwak, N. S., Lee, I.-Y., Jang, K. R. Lee, D. W., Jang, S. G., Kim, B. K., and Shim, J.-G. "Performance and economic analysis of commercial scale coal-fired power plant with post-combustion CO₂ capture," *Korean J. Chem. Eng.* DOI:10.1007/s11814-014-0267-0(2014).

88) Yoo, B.-Y., Choi, D.-K., Kim, H.-J., Moon Y.-S, Na, H.-S., and Lee, S.-G., "Development of CO₂ Terminal and CO₂ Carrier for Future Commercialized CCS Market," *International Journal of Greenhouse Gas control*, **12**, 323-332(2013).

89) Lee, J. H., Lee, D. W., Jang, S. G., Kwak, N.-S., Lee, I. Y., Jang, K. R., Choi, J. S., and Shim, J.-G., "Economic

② 설계 예시: 20 MW 대형 선박 기준

이어서 상기 제시된 공정안을 바탕으로 20 MW급 대형 선박에서 발생하는 이산화탄소의 직접 포집 및 저장을 위한 공정을 구성하고 이의 기술적 타당성 및 실제 대형 선박에 기술 적용시 예상 공정 규모 및 에너지 사용량 등을 포함한 개념설계를 제시하고자 한다.

가. 대상 공정

본 보고서에서 선박의 이산화탄소 직접 포집·저장 공정 개념설계를 위한 대상 선박으로는 58천 톤급, 20 MW급 디젤엔진 (Kincaid B&W 6L90 GBE 모델)으로 구동하는 대형 선박으로 가정하였다. 상기 대상선박의 규모, 연료사용량 및 온실가스 배출량 등은 관련 문헌치 자료를 참조하였으며⁹⁰⁾ 세부 내용은 아래의 표 4.2와 같다.

<표 4.2> Baseline condition

Parts	Unit	그림
Length & Width	m	292 × 32
Gross tonnage	ton	58,438
Net tonnage	ton	21,60
Main diesel engine		
• Kincaid B&W 6L90 GBE	kW	20,200
• Thrusters	kW	2 × 1,398
• Full sea speed	knots	17.5(32.4 km h-1)
• Fuel consumptions at sea	m ³ /h	3.2~3.4
Fuel characteristics		
• Heating value at const. press	MJ kg-1	40.34
• Heating value at const. vol	MJ kg-1	42.59
• carbon	% mass	86.5
Technical parameters		
• Brake power load	%	84
• Brake power, main engine	MW	17.0
• Speed	km h-1	31.5
• Calculated fuel consumption	kg h-1	3,263
• Exhaust temperature after the engine	°C	330
• Exhaust temperature at the funnel top	°C	263~266
• Exhaust flow, main engine	Nm ³ h-1	110,000
• Exhaust flow speed	m s-1	25

Evaluation for the Carbon Dioxide-involved Production of High-Value Chemicals," *Korean Chem. Eng. Res. (HWAHAK KONGHAK)*, **52**(3), 347-354(2014).

90) Moldanova, J., Fridell, E., Popovicheva, O., Demirdjian, B., Tishkova, V., Faccinetto, A., and Focsa, C., "Characterization of Particulate Matter and Gaseous Emissions from a Large Ship Diesel Engine," *Atmospheric environment*, **43**, 2632-2641(2009).

상기 조건하에서 엔진의 연소를 통해 발생하는 배가스 중의 주요 오염물질 (NO_x, CO₂ 및 CO 등)의 배출량 및 배출 농도는 아래의 표 4.3과 같다.

<표 4.3> Flue gas emission

Exhaust component	Emission factors	Emission rates			Concentration
	g kWh ⁻¹	g/kg fuel	kg/h	ton/d	g/Nm ³
• NO _x	14.22	73.4	241.7	5.8	2.20
• CO ₂	667	3,441	11,339	272.1	103.1
• CO	0.42	2.17	7.1	0.2	0.065

나. 개념설계 결과

표 4.2~3에서 제시된 선박의 설계기준 및 이산화탄소 배출조건하에서 국제해사기구등에서 제시하는 이산화탄소 발생 규제치(2020년 20% 감축)를 반영하여 Higeer 형태의 이산화탄소 포집 공정에 대한 개념 설계를 구성하였다. Higeer 반응기의 설계 성능치(이산화탄소 포집율 및 흡수지 재생 에너지 등)는 종래 화력발전 이산화탄소 포집기술 성능시험에서 확보된 다양한 문헌자료를 참조하였다. 반응기의 구성은 처리되어야 하는 배가스 유량등을 참조하여 이와 유사한 규모의 처리량을 가진 플랜트(연소 후 습식 10 MW급 이산화탄소 포집 플랜트, 보령화력 소재)의 설계 및 운전자료를 참조하였고 Higeer 반응기의 높이는 기존의 문헌치를 활용하여 유사 처리규모 충전탑 대비 평균 감축비를 바탕으로 산정하였다. 상기 분석결과를 바탕으로 22 MW급의 대형선박을 대상으로 국제해사기구(IMO)의 규제치를 만족시킬 수 있는 Higeer 이산화탄소 포집 공정의 대략적인 규모를 산정하였다

선박의 직접 이산화탄소 포집공정에서 처리되어야 할 연소 배가스의 유량은 시간당 110,000 Nm³, 배가스 중의 이산화탄소 농도는 6~7%로 이때 하루 이산화탄소 발생량은 약 272톤에 해당한다. 상기 배가스 유량 그대로 이산화탄소 포집공정에서 처리할 경우 흡수 및 재생 반응기의 직경이 크게 증가되므로 본 논문에서는 이산화탄소 규제치를 만족시킬 수 있는 조건하에서 주 엔진에서 발생하는 배가스 중의 일부를 분기하여 이산화탄소 포집공정에서 처리되도록 하였다. 메인 배가스 라인에서 이산화탄소 포집·저장 공정으로의 분기율에 따른 가스 유량 및 이산화탄소 발생량 등은 다음의 표 4.4와 같다. 표 4.4에 제시된 국제해사기구의 규제치(2005년 기준 20% 저감)를 만족시키기 위해서는 하루 54톤의 이산화탄소 포집이 필요하다.

일반적인 연소 후 습식 이산화탄소 포집기술의 경우 기본 설계상 이산화탄소 제거율 100% 달성은 가능하나 이를 위한 공정 운영을 위해서는 과도한 에너지가 필요하므로 실제 운전은 이산화탄소 제거율 90% 수준에서 많이 진행되고 있다. 이에 본 논문에서는 상기 제시된 가스 유량 중 일부를(전체 가스 유량 중 25%) 이산화탄소 포집공정으로 투입하되 이산화탄소 포집공정에서의 이산화탄소 제거율은 80% 수준으로 운전하는 것으로 가정하였다. 그리고 상기 제시된 총 운항기간(16일) 중 포집된 이산화탄소(약 871톤)가 이후 압축 및 액화공정을 거쳐 저장된다. 액화된 이산화탄소의 부피는 -50°C 하에서 약 1.150 ton/m^3 수준으로 포집된 이산화탄소의 저장을 위한 공간은 그리 크지 않다. 관련하여 현재 선도화학 등에서는 800톤 규모의 액화 이산화탄소의 저장 탱크를 개발하여 대산 공장 등에 설치·운영 중에 있다⁹¹⁾ (그림 4.15).



<그림 4.15> 선도화학 액화 이산화탄소 저장 탱크(800톤)

91) <http://www.sundochem.com>

<표 4.4> Amount of CO₂ to be captured

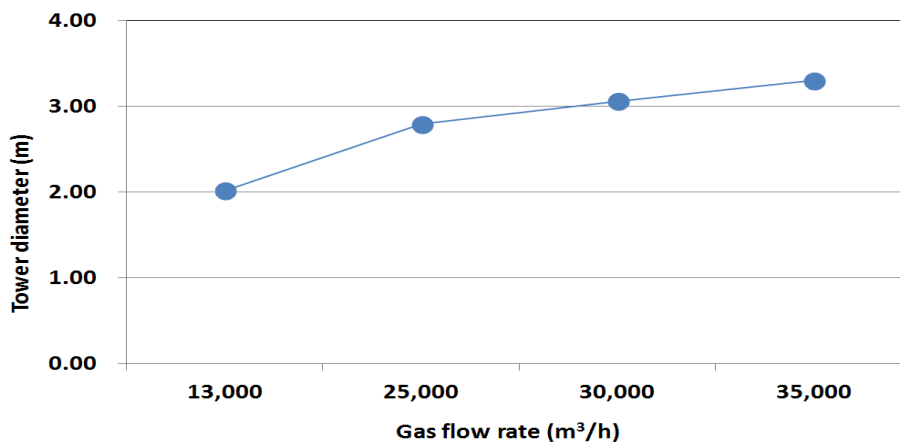
Key Performance data	Unit	Slip stream from exhaust gas		
		20%	25%	40%
Slip stream ratio	%	20%	25%	40%
Slip stream flow rate from exhaust gas	Nm ³ /h	22,000	27,500	44,000
CO ₂ emission from slip steam	ton/d	54	68	109
CO ₂ removal rate from Hige CO ₂ capture to get a target value	%	100	80	50
CO ₂ captured from Hige CO ₂ capture	ton/d	54		
Voyage duration(one way)	d	16		
CO ₂ to be captured during voyage (16 days)	ton	871		

이산화탄소 포집공정의 운용을 위한 추가의 에너지 소비량과 관련, 앞서 제시된 바와 같이 이산화탄소 포집·저장 공정의 운용에 있어서 가장 많은 부분을 차지하는 흡수제 재생에너지는 엔진의 연소에 의해 발생하는 고온의 배가스와 기·액 열교환을 통해 공급 가능하므로 이로 인한 추가의 에너지 사용량은 크지 않다. 흡수제 재생에너지 외에 이산화탄소 포집·저장 공정의 운용을 위해 많은 전력사용이 필요한 부분은 포집된 이산화탄소의 저장을 위한 이산화탄소 압축 및 액화공정이다. 이산화탄소의 압축 및 액화 공정과 관련하여 이산화탄소 포집공정과 마찬가지로 많은 연구가 진행 중에 있는데 그중 Yoo et al., 등이 이산화탄소 carrier와 관련된 연구에서 제시한 내용에 따르면 연간 10 Mt 이산화탄소의 압축 및 액화를 위한 에너지 사용은 각각 49.9 MW, 71.4 MW로 제시하고 있다⁹²⁾. 이의 문헌치를 바탕으로 본 논문의 목표치인 871톤(16일간 처리되어야 하는 이산화탄소의 총량)의 이산화탄소를 압축하기 위한 전력사용량을 산출하면 약 0.24 MW에 해당되고 이는 본 논문의 분석대상인 이산화탄소 포집·저장 공정이 없는 기준 선박에서 사용되는 엔진 출력(22 MW)의 약 1.2%에 해당된다. 따라서 선박의 직접 이산화탄소 포집·저장 공정 설치시 이산화탄소 포집 및 저장 공정의 운용을 위한 추가의 전력사용은 크지 않을 것으로 사료된다.

Hige 이산화탄소 포집공정의 반응기 크기(직경 및 높이)는 종래 충전탑 형태의 유사규모의 플랜트 설계 자료 및 문헌치를 바탕으로 선정하였다. 이산화탄소 반응기의 직경 산정에

92) Yoo, B.-Y., Choi, D.-K., Kim, H.-J., Moon Y.-S, Na, H.-S., and Lee, S.-G., "Development of CO₂ Terminal and CO₂ Carrier for Future Commercialized CCS Market," *International Journal of Greenhouse Gas control*, **12**, 323-332(2013).

있어서 가장 중요한 요소는 반응기로 투입되는 배가스 유량이다. 많은 가스처리공정에 있어서 공정 격상을 위한 주요 기준인자로 흡수탑 단면에서의 가스의 선속도가 선택된다. 이에 근거하여 본 논문에서는 현재 보령화력에 설치된 10 MW급 연소후 습식 이산화탄소 포집 플랜트의 흡수탑 설계자료 및 배가스 유량등의 운전조건을 바탕으로 선속도를 계산하고, 이를 바탕으로 다양한 유량조건하에서 동일한 선속도를 갖는 직경을 아래 그림 16과 같이 산출하였다. 분석결과 이산화탄소 포집공정으로 투입되는 가스의 유량이 13,000 m³/h 인 경우 Higee 형태 반응기의 직경은 약 2.01m로 산정되었고 27,500 m³/h인 경우에는 약 2.8 m로 산출되었다. Higee 이산화탄소 포집공정의 구성에 있어서 흡수 및 재생공정을 1 set 씩 구성하는 방안과 처리되어야 하는 가스 유량을 반으로 나눈 후 각각 2 set 씩 구성하는 방안이 가능한데 본 개념 설계에서는 고속으로 회전하는 공정의 특성을 고려하여 흡수 및 재생 반응기를 각각 2 set 로 구성하여 각각의 반응공정의 규모를 줄이고 운전 중 문제 발생시 일부분 대처가 가능하도록 하였다.



<그림 4.16> Column diameter estimation as a function of gas flow rate

다음으로 이산화탄소 흡수탑의 높이는 압서 언급된 배가스 유량이 아닌 흡수제의 속도에 크게 의존한다. 즉 흡수제와 이산화탄소의 반응속도가 빠르면 흡수탑의 높이는 낮아지고 그 반대이면 탑의 높이는 높아진다 (그림 4.16). 본 논문에서는 Higee 이산화탄소 포집 공정의 높이 산정과 관련 보령화력의 연소후 습식 이산화탄소 포집플랜트 설계 자료를 바탕으로 종래 충전탑 형태의 높이(약 40 m) 대비 약 1/10 수준으로 줄어드는 것으로 가정하였다. 상기 제시된 다양한 내용을 바탕으로 선박의 직접 이산화탄소 포집을 위한 Higee 반응공정 적용시 가상도 및 주요 설계자료는 다음의 그림 4.17 및 표 4.5와 같다. 제시된 바와 같이 선박에서 발생하는 이산

화탄소 포집을 위해 Hige 형태의 반응기가 적용될 경우 종래 가장 큰 우려사항으로 제시된 공간적 문제를 해결할 수 있을 뿐만 아니라 이산화탄소 포집공정의 운용에 따른 에너지 증가도 크지 않으므로 종래 대상 선박의 추가적인 에너지사용 증가 없이 효율적으로 이산화탄소 포집 및 저장이 가능할 것으로 예측되었다.



<그림 4.17> Hige 반응기 적용시 이산화탄소 포집플랜트 구성

<표 4.5> Summary Results

Parts	Unit	Technology	Comment
CO ₂ Capture			
• Unit	-	2(Absorber), 2(Stripper)	
• CO ₂ Absorber & Stripper Height	m	4.0	
• CO ₂ Absorber & Stripper Diameter	m	2.0	
• Solvent regeneration energy	GJ/tCO ₂	(4.0)	열교환 활용
CO ₂ compression & Storage			
• Power consumption of CO ₂ Compression	MWh/tCO ₂	0.043	
• Power consumption of CO ₂ Liquefaction	MWh/tCO ₂	0.062	

③ 전문기관 의견(한국 선급)

"선박의 직접 CO₂ 포집/저장 공정 개념설계"에 대한 의견

□ 기술적

- 장비 설치로 인한 배압증가로 인한 엔진 성능 하락(기존 엔진 시스템에 추가로 NOx Technical Code 재적용하여 선급 승인 받아야 함)
- 연료유에 함유된 황(Sulfur)가 공정에 미치는 내용, 배기가스 중 황에 의한 영향 고려 필요
- 공정부분 사이즈 자체는 Compact한 건으로 보이나, 관련 facility(배관 시스템 등)를 고려시 사이즈와 중량을 증가할 수 있음
- 용접포함 Tank 기밀, 내압 시험 기준 Rule 및 Code(ASME, IGC, MARPOL 등)가 개념설계에 언급 필요
- 압력, 온도 조건이 누락돼 있는데 이는 Tank Size 등 제작과 직결 돼 전장 약300m의 근거가 필요
- 최근 2~3년 내 loading/unloading, Injection방법, 운반,저장 등 특허가 많이 출원돼 있는데 개발 기술의 중복 여부는 파악 필요

□ 일반 의견

- Local 선박 고려시 CO₂ 협약 대응 가능하나, 경제적으로 판단할때 Local 운영시에는 회의적이며, Offshore 사용에서는 약 150Km이상이 되어야 Pipeline, Barge 대비 경제성이 있는 것으로 알려져 있음
- 단 기술적으로 Local 선박 고려시 상대적으로 낮은 황(Sulfur)을 탑재한 연료 사용가능(MGO/MDO), LNG(Free Sulfur) 사용시 탈황을 위한 전처리 장치 삭제 가능함
- 신 개념 기술로 개념 설계상으로 고려해볼 가치는 있음

□ 기타(CDM 연계)

- '11년 65차 EB(집행위원회) 회의에서 CCS 기술을 CDM 사업으로 수용키로 최종 합의
- CCS 기술을 활용한 CDM 사업을 추진하기 위해서는, UNFCCC에서 제공되는 신규방법론 개발 지침에 따른 신규방법론 개발이 우선시 되어야 하나,
- 현재까지 CCS 기술 활용과 관련한 방법론이 없음에 따라서 CDM 사업으로 등록된 사례는 없음
- 따라서, 제시된 'CCS 기술을 활용한 신규방법론 개발을 위한 연구'로서 의미가 상당할 것으로 판단되며, 구체적인 연구가 추가적으로 진행되어야 할 것으로 보임

4.1.2. 선박 크기 및 엔진 시장

4.1.2.1. 선박 크기

① 선박구조의 유사성

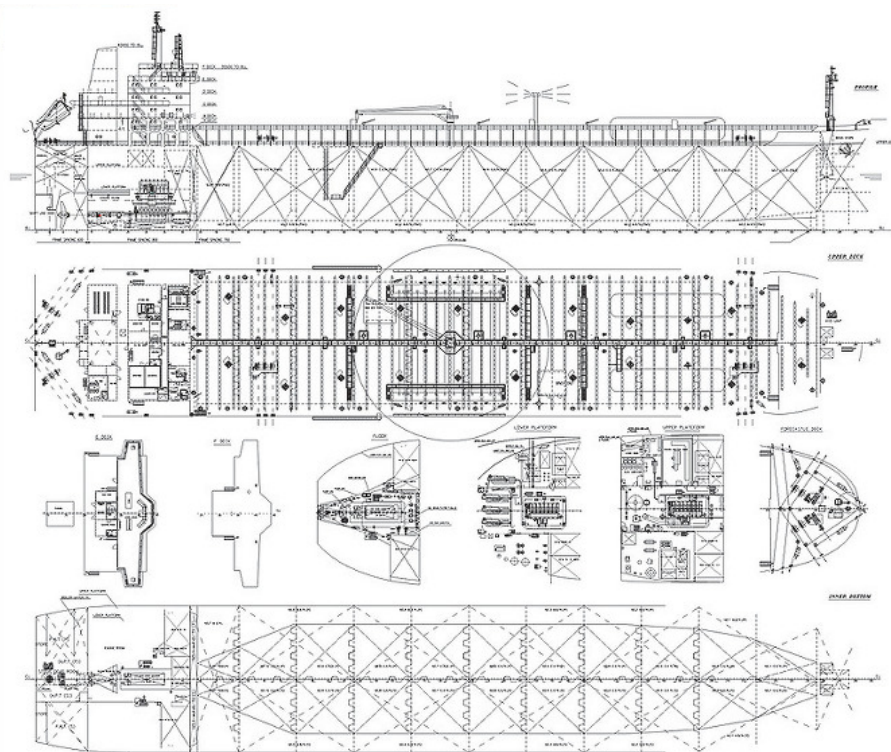
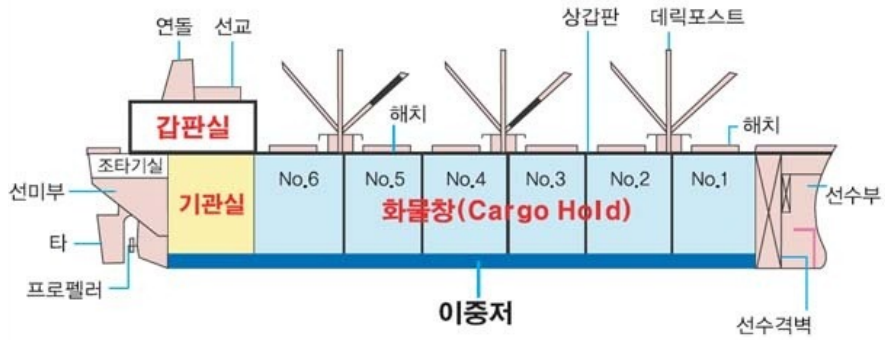
선박은 사용목적, 화물 상태, 적재방식에 따라 구분할 수 있다. 수송하는 화물의 상태에 따라 구분할 때는 액체 상태는 탱커(tanker), 포장된 고체 상태는 카고(cargo), 분말 상태의 화물은 캐리어(Carrier)라고 부르나, 서로 섞여 쓰기도 한다. 선박평형수의 입장에서 보면 액체화물을 나르는 상선으로는 원유운반선, 화학제품운반선으로 크게 나눌 수 있고 고체화물을 나르는 배로는 컨테이너선과 벌크선으로 나눌 수 있다.

벌크선(또는 살물선)의 경우 2-4만톤의 handy size에서 Panamax는 파나마 운하를 통과할 수 있는 최대선형으로 6만~7만톤급 선박이 여기에 해당하며, 대부분이 이 이하로 간주할 수 있다.

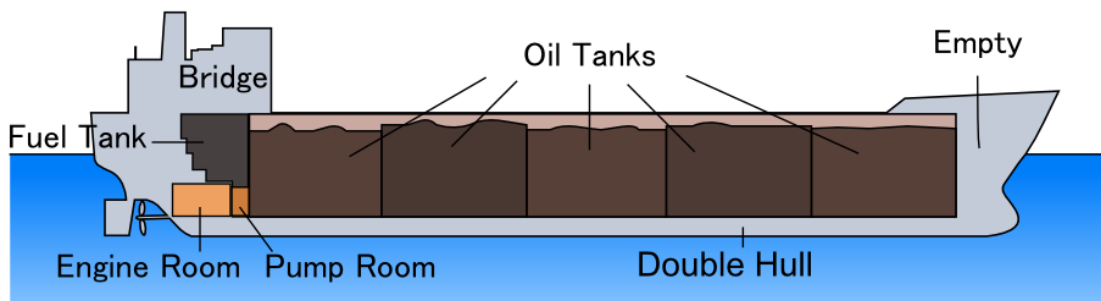
유조선의 경우 Panamax 급이 가장 작은 규모이며 파나마 운하를 통과할 수 있는 6만~7만톤급의 선박이다. Aframax 에서 아프라(Afra)는 운임, 선가 등을 고려했을 때 최대의 이윤을 창출할 수 있는 이상적이고 경제적인 사이즈란 뜻으로 통상 9만 5천톤급 선박을 지칭하며 8만~11만톤까지 포함한다. 초대형 유조선의 경우 30만 톤급 이상이지만 매우 드물다.

Chemical tanker 선박의 크기는 원유 운반선 보다 훨씬 작고 정유 운반선 보다도 작은 선박이 많으며, 여러 종류의 화학제품의 동시 운송에 적합하도록 화물창의 구획이 많고, 화물 상호간 오염을 방지하기 위해 화물창 별로 독립된 배관계통을 구성하게 되어 더욱 복잡한 구조를 가진다.

선박의 구조는 선체요건에 있어 공통구조규칙을 갖고 있어 이에 따라 설계 건조되어야 하며 대체로 화물부분이 구조적 차이를 보이는 것이 특징이다 (한국선급 2014, 그림 4.18). 대부분의 선박의 경우 기관실이 선미부에 위치하며 화물창 구역의 후방에 위치한다.



Oil tanker (side view)

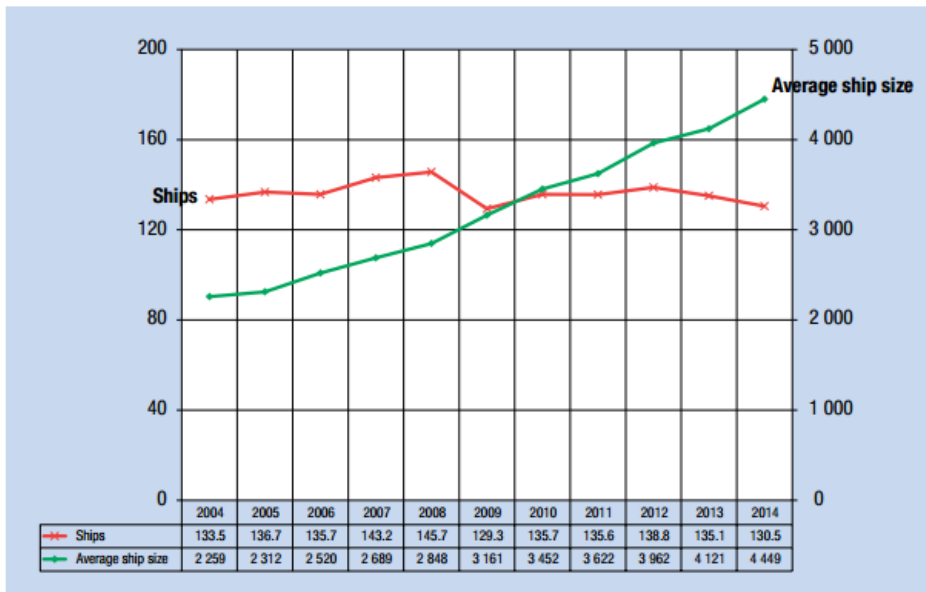


<그림 4.18> 선박구조도 및 평면도

② 선박 종류별 크기 비교 및 대표 선박 선정

전세계 화물선은 약 55000 척으로 평균 선령은 약 19년이며 총 무게는 약 910 Million Gt 이다 (Source: Lloyd's Register Fairplay - World Fleet Statistics 2010). 하지만 이 가운데 평형수를 싣기에는 부적합한 어선들이 약 23,000 선을 차지하나 그 GT 는 겨우 10.6 million GT 에 불과하다. 따라서 이 어선을 제외하고 계산을 하면 ocean going 선박의 평균 크기는 약 30,000 GT 으로 나타난다. 또한 UNCTAD 2014 자료를 보면 (그림 4.19) 2004-2014년간의 화물선의 평균 사이즈 변동추세를 보면 평균 4500 TEU에 달한다. 이는 GT로는 평균 짐을 실은 컨테이너의 개당 무게는 10-12 ton을 가정할 때 약 45000-54000 GT를 나타낸다.

Figure 2.7. Fleet deployment per country: Total number of ships and average size (TEU) per ship, 2004-2014



Source: UNCTAD, based on data provided by Lloyds List Intelligence.

<그림 4.19> 2004-2014년간의 화물선의 평균 사이즈 변동추세 (GT로는 10-12를 곱함, 평균 짐을 실은 컨테이너의 개당 무게는 10-12 ton)

자료 : UNCTAD 2014, Review of maritime transport 2014

<http://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/container-types.htm>

벌크선의 경우 약 절반 이상의 선박이 2-4만 톤의 handy size이나 (표 4.6, 그림 4.20) 파나마 운하를 통과할 수 있는 최대선형으로 6만~7만 톤급 선박인 Panamax 급 선박이 상당부분을 차지하고 있다.

<표 4.6> 벌크선의 크기별 전세계 선박 수

	Size (deadweight tonnes)	No. in World fleet
Handies	10 - 49,999 dwt	3212
Panamax	50 - 79,999 dwt	1453
Capesize	80,000+ dwt	796

Source: [Intercargo](#)

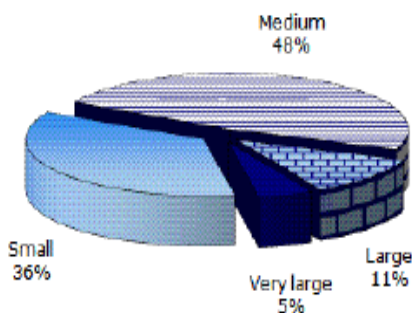
자료 : IMO (2012) International Shipping Facts and Figures

Table 2 - World fleet : gross tonnage (in 1000 t), by type and size

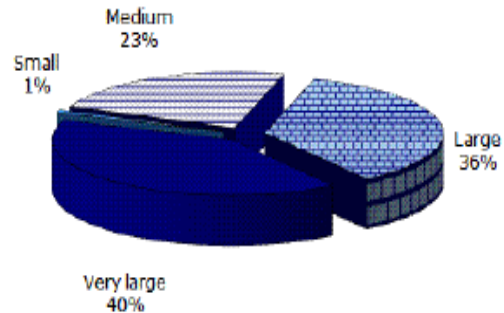
Ship Type	Small ⁽¹⁾		Medium ⁽²⁾		Large ⁽³⁾		Very Large ⁽⁴⁾		Total	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
General Cargo Ships	1 650	22,0%	54 937	25,5%	6 937	2,1%			63 525	6,8%
Specialized Cargo Ships	6	0,1%	1 421	0,7%	1 761	0,5%	64	0,0%	3 252	0,3%
Container Ships	7	0,1%	28 359	13,2%	64 106	19,1%	65 641	17,5%	158 112	16,9%
Ro-Ro Cargo Ships	11	0,1%	7 918	3,7%	25 712	7,7%	8 063	2,1%	41 704	4,5%
Bulk Carriers	151	2,0%	51 107	23,7%	132 029	39,4%	109 619	29,2%	292 906	31,4%
Oil and Chemical Tankers	645	8,6%	39 119	18,2%	83 949	25,1%	137 023	36,5%	260 735	27,9%
Gas Tankers	18	0,2%	5 397	2,5%	8 374	2,5%	34 371	9,2%	48 159	5,2%
Other Tankers	34	0,5%	40	0,0%					75	0,0%
Passenger Ships	856	11,4%	11 420	5,3%	9 445	2,8%	12 379	3,3%	34 100	3,7%
Offshore Vessels	599	8,0%	8 421	3,9%	2 206	0,7%	8 022	2,1%	19 248	2,1%
Service Ships	483	6,5%	6 205	2,9%	554	0,2%			7 241	0,8%
Tugs	3 031	40,5%	848	0,4%					3 879	0,4%
Total	7 490	100%	215 192	100%	335 072	100%	375 182	100%	932 935	100%

Source: Equasis ⁽¹⁾ GT<500 - ⁽²⁾ 500<GT<25.000GT - ⁽³⁾ 25.000<GT<60.000 - ⁽⁴⁾ GT=60.000

Graph 1 - World fleet : total number of ships, by size



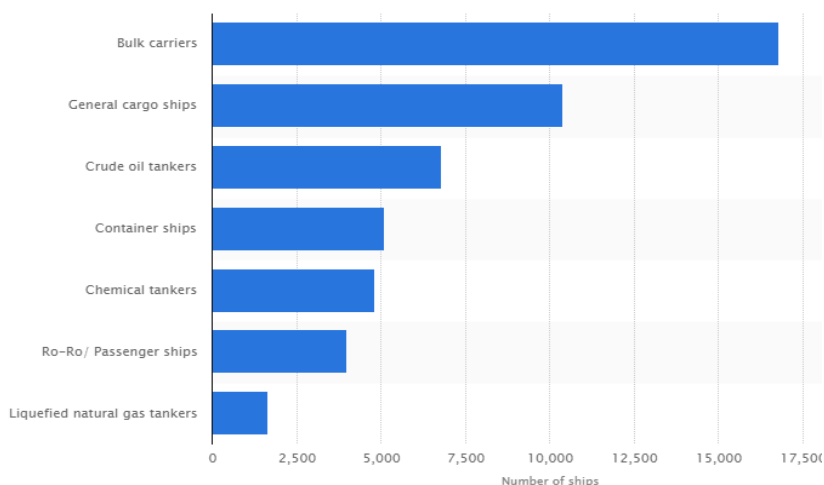
Graph 2 - World fleet : gross tonnage, by size



<그림 4.20> 선박 종류별 크기와 선박수

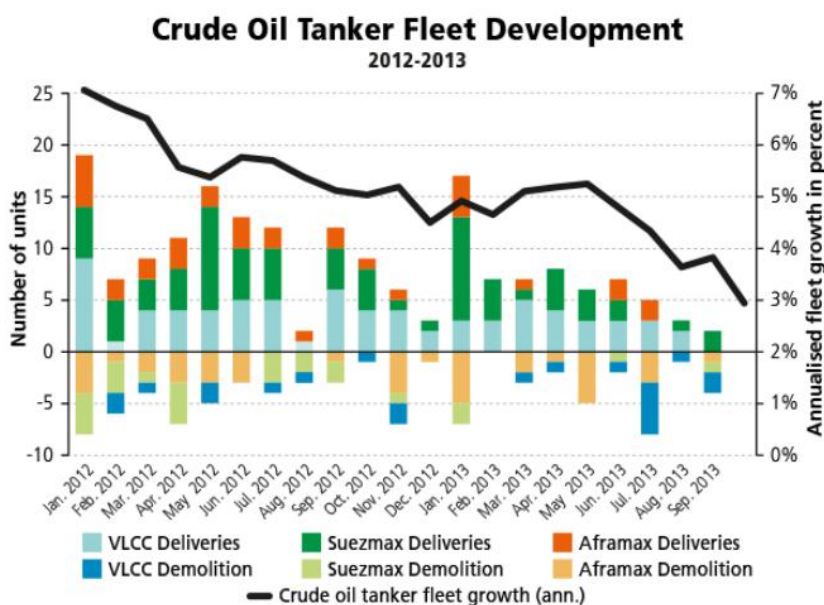
자료 :Equasis (2010), The world merchant fleet in 2010

유조선의 경우 현재 약 13,000척이 운영되고 있으며 크르두 오일 케리어가 약 절반을 차지하고 있다 (그림 4.21). Panamax 급이 가장 작은 규모이며 파나마 운하를 통과할 수 있는 6만~7만톤급의 선박이다. Aframax 는 통상 9만 5천톤급 선박을 지칭하며 8만~11만톤까지 포함하고, 초대형 유조선의 경우 30만 톤급 이상이지만 매우 드물다. 최근 유조선은 스페즈급의 6만~7만톤급의 선박, 아프라(Afra)맥스 (9만 5천톤급 선박), 및 초대형 유조선의 (30만 톤급 이상) 공급이 이루어고 있는 것으로 보인다 (그림 4.22).



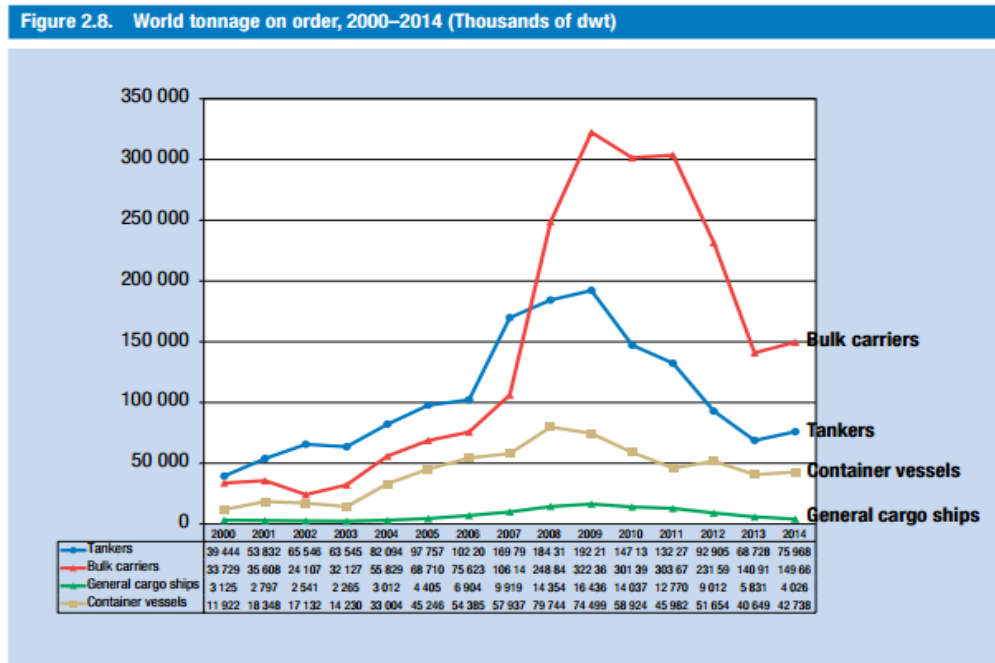
<그림 4.21> 2014년 선박별 전 세계 선박의 수

자료: statista.com



<그림 4.22> 전세계 원유수송선박의 년 신조선 수 변화

현재 조선경기는 불황으로 신규 수주는 2010년을 정점으로 상당히 줄어들고 있는 모습이며 다만 2014년 이후는 약간 반등 내지 2013년 수주 수준을 유지하고 있는 것으로 보여진다 (그림 4.23, 표 4.7).



Source: Compiled by the UNCTAD secretariat on the basis of data supplied by Clarkson Research Services.
 Note: Propelled seagoing merchant vessels of 100 GT and above. Beginning of year figures.

<그림 4.23> 2000-2014년까지의 선박 수주 (dwt) 량의 변화- 최근 침체된 조선경기를 보여줌.

<표 4.7> 2013-2014 선종별 건조현황

선종	2013	2014
Bulker	797척	609척
Combined Carrier	0척	0척
Container	203척	202척
Gas Carrier	67척	87척
General Cargo	240척	117척
Off shore	503척	527척
Reefer	7척	4척
RoRopassenger	104척	128척
Tanker	448척	373척
계	2369척	2047척

자료출처 : Clarkson.net

오일 탱커의 경우 운임, 선가 등을 고려했을 때 대부분이 최대의 이윤을 창출할 수 있는 이 상적이고 경제적인 사이즈인 Aframax 는 70,000 Gt 이상이 된다 (Source: Lloyd’s Register Fairplay - World Fleet Statistics 2010). 따라서 컨테이너선과 유조선 을 둘을 반영한 50,000 GT 이상을 가정하여 이산화탄소 포집 설계를 실시하였다.

4.1.2.2. 전 세계 엔진시장 현황

전 세계 엔진시장 현황은 다음과 같다.

○ 2011년 현황

MECHANICAL DRIVE DIESEL MARINE PROPULSION ORDERS, January – December 2011																				
Output Range (MW)	Number of Units	Total Engine Output for Each Output Range (MW)	Engine Operating Speed Ranges (r/min)				Fuel			Regions/Regional Codes										
			Below 300	300 to 600	720 to 1000	Above 1000	Diesel Fuel	Heavy Fuel	Natural Gas	Western Europe	Eastern Europe, Russia & CIS	Middle East	Far East	Southeast Asia & Australia	Central Asia	North Africa	Central, West, East & South Africa	North America	Central America & Caribbean	South America
0.50 to 1.00	3122	2028	0	4	33	3085	3110	12	0	734	18	120	1178	482	28	0	1	507	4	50
1.01 to 2.00	2208	3057	17	23	493	1675	2092	116	0	758	116	47	520	331	16	0	4	363	36	17
2.01 to 3.50	560	1500	18	34	283	225	492	68	0	116	31	11	173	74	108	0	0	46	0	1
3.51 to 5.00	132	543	18	19	57	38	68	62	2	27	4	17	64	0	2	0	0	18	0	0
5.01 to 7.50	195	1209	118	15	41	21	49	146	0	7	7	2	151	14	0	0	0	14	0	0
7.51 to 15.00	496	4865	466	18	4	8	20	476	0	8	4	0	457	9	0	0	0	18	0	0
15.01 to 30.00	95	2062	95	0	0	0	0	95	0	0	0	0	91	4	0	0	0	0	0	0
30.01 to 50.00	62	2471	62	0	0	0	0	62	0	0	4	0	58	0	0	0	0	0	0	0
50.01 and Above	60	3715	60	0	0	0	0	60	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0
Totals	6930	21450	854	113	911	5052	5831	1097	2	1650	184	197	2752	914	154	0	5	966	40	68

Diesel & Gas Turbine Worldwide July-August 2012

○ 2012년 현황

MECHANICAL DRIVE MARINE PROPULSION ORDERS, January – December 2012																				
Output Range (MW)	Number of Units	Total Engine Output for Each Output Range (MW)	Engine Operating Speed Ranges (r/min)				Fuel			Regions/Regional Codes										
			Below 300	300 to 600	720 to 1000	Above 1000	Diesel Fuel	Heavy Fuel	Natural Gas	Western Europe	Eastern Europe, Russia & CIS	Middle East	Far East	Southeast Asia & Australia	Central Asia	North Africa	Central, West, East & South Africa	North America	Central America & Caribbean	South America
0.50 to 1.00	2553	1434	0	5	67	2481	2509	43	1	652	56	67	671	340	30	0	16	643	37	41
1.01 to 2.00	1986	2507	7	22	230	1727	1903	77	6	632	59	66	539	294	30	12	1	306	3	44
2.01 to 3.50	396	858	0	11	280	105	330	59	7	70	29	49	214	14	2	0	0	14	0	4
3.51 to 5.00	143	592	1	13	88	41	74	69	0	38	10	16	45	10	6	0	0	16	0	2
5.01 to 7.50	93	507	1	12	34	46	75	9	9	22	14	0	40	4	0	8	1	4	0	0
7.51 to 15.00	105	1017	50	14	3	38	47	58	0	3	0	0	62	8	22	0	0	8	2	0
15.01 to 30.00	24	516	24	0	0	0	0	24	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	2
30.01 to 50.00	9	297	9	0	0	0	0	9	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0
50.01 and above	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totals	5309	7728	92	77	702	4438	4938	348	23	1417	168	198	1602	670	90	20	18	991	42	93

July-August 2013 Diesel & Gas Turbine Worldwide

○ 2013년 현황

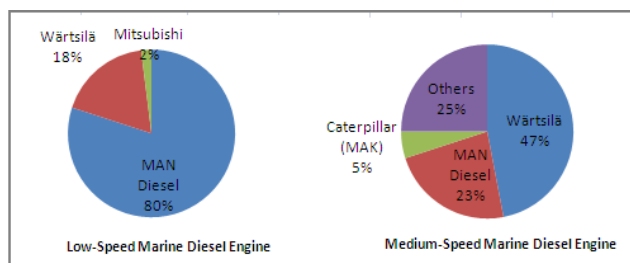
MECHANICAL DRIVE MARINE PROPULSION ORDERS, January – December 2013																				
Output Range (MW)	Number of Units	Total Engine Output for Each Output Range (MW)	Engine Operating Speed Ranges (r/min)				Fuel			Regions/Regional Codes										
			Below 300	300 to 600	720 to 1000	Above 1000	Diesel Fuel	Heavy Fuel	Natural Gas	Western Europe	Eastern Europe, Russia & CIS	Middle East	Far East	Southeast Asia & Australia	Central Asia	North Africa	Central, West, East & South Africa	North America	Central America & Caribbean	South America
0.50 to 1.00	2584	1835	0	1	5	2571	1213	252	0	536	30	32	972	434	10	0	9	507	9	45
1.01 to 2.00	2277	3298	10	20	420	1826	999	232	8	739	43	106	660	285	27	4	6	359	5	43
2.01 to 3.50	452	1155	49	10	223	170	347	105	0	29	16	14	275	12	60	0	0	44	0	2
3.51 to 5.00	94	392	27	0	20	47	59	35	0	10	2	4	58	4	0	0	0	16	0	0
5.01 to 7.50	233	1522	187	16	9	21	33	188	12	7	0	0	199	15	0	2	4	6	0	0
7.51 to 15.00	1091	10 822	659	8	6	8	14	653	14	0	14	0	1005	53	0	0	0	19	0	0
15.01 to 30.00	242	4691	442	1	0	0	0	441	2	1	3	0	220	16	0	0	0	2	0	0
30.01 to 50.00	107	4644	225	0	0	0	0	223	2	0	3	0	91	11	0	0	0	2	0	0
50.01 and above	42	2410	133	0	0	0	0	133	0	0	0	0	39	3	0	0	0	0	0	0
Totals	7122	30 769	1732	56	683	4643	2665	2262	38	1322	111	156	3519	833	97	6	19	955	14	90

July-August 2014 Diesel & Gas Turbine Worldwide

- 22MW급 엔진을 설치하는 선박의 일반적인 크기
 - 약 4500 TEU급(약 50,000 gross ton급) 컨테이너선
 - 약 150,000 gross ton급 탱커선

□ 22MW급 엔진의 사양

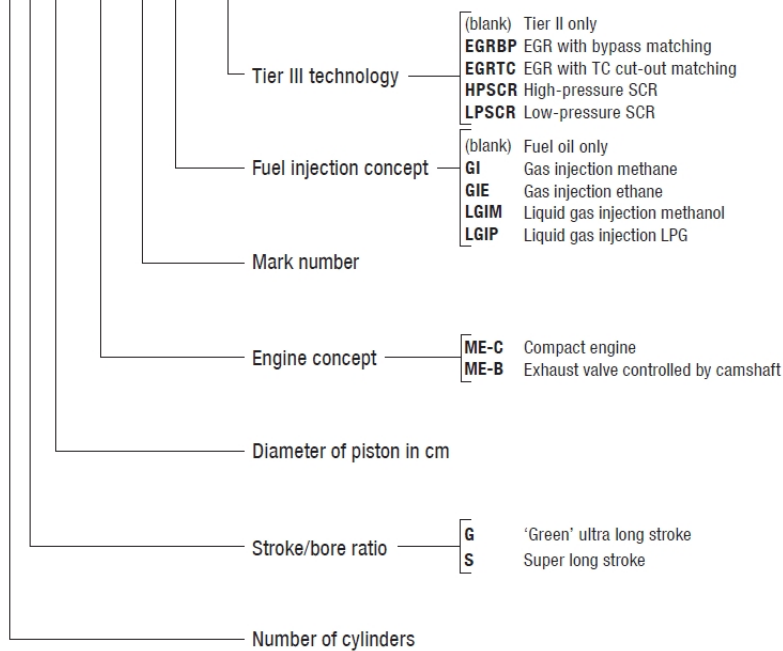
2014년 기준 선박용 대형(저속) 선박용 엔진 시장의 대부분(약 98%)을 차지하고 있는 licensor사인 MAN Diesel & Turbo사 (이하 MDT) 및 Wartsila사의 엔진 중 22MW급 엔진은 아래와 같다.



Source: Wärtsilä; ResearchInChina Global and China Marine Diesel Engine Industry Report, 2012-2013

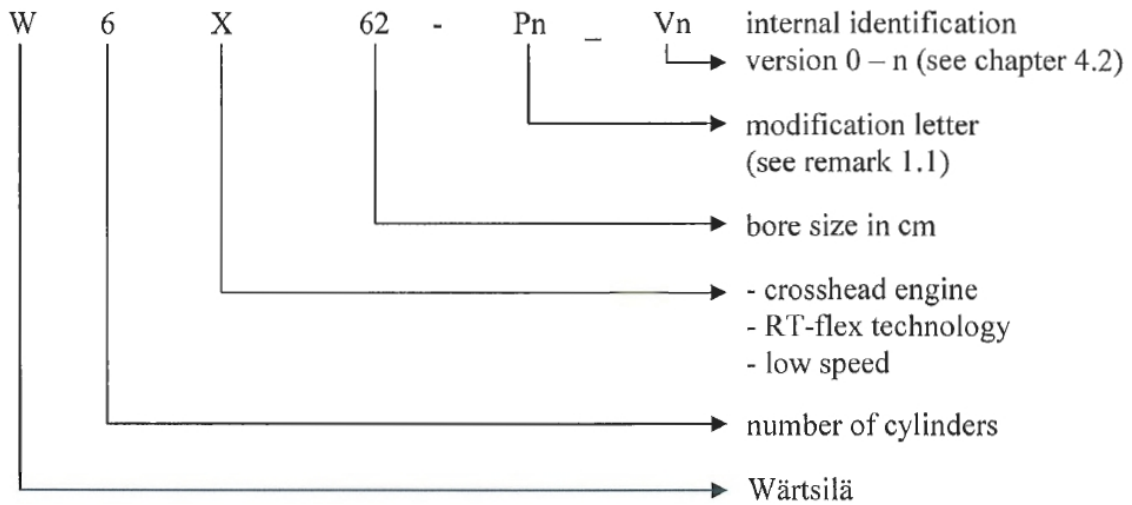
- 22MW 급 MAN Diesel & Turbo사 대형 엔진
 - 6G70ME-C9 : 21,840 kW
 - 7S70ME-C8 : 22,890 kW
 - 8S65ME-C9 : 22,960 kW
 - 8G60ME-C9 : 21,440 kW

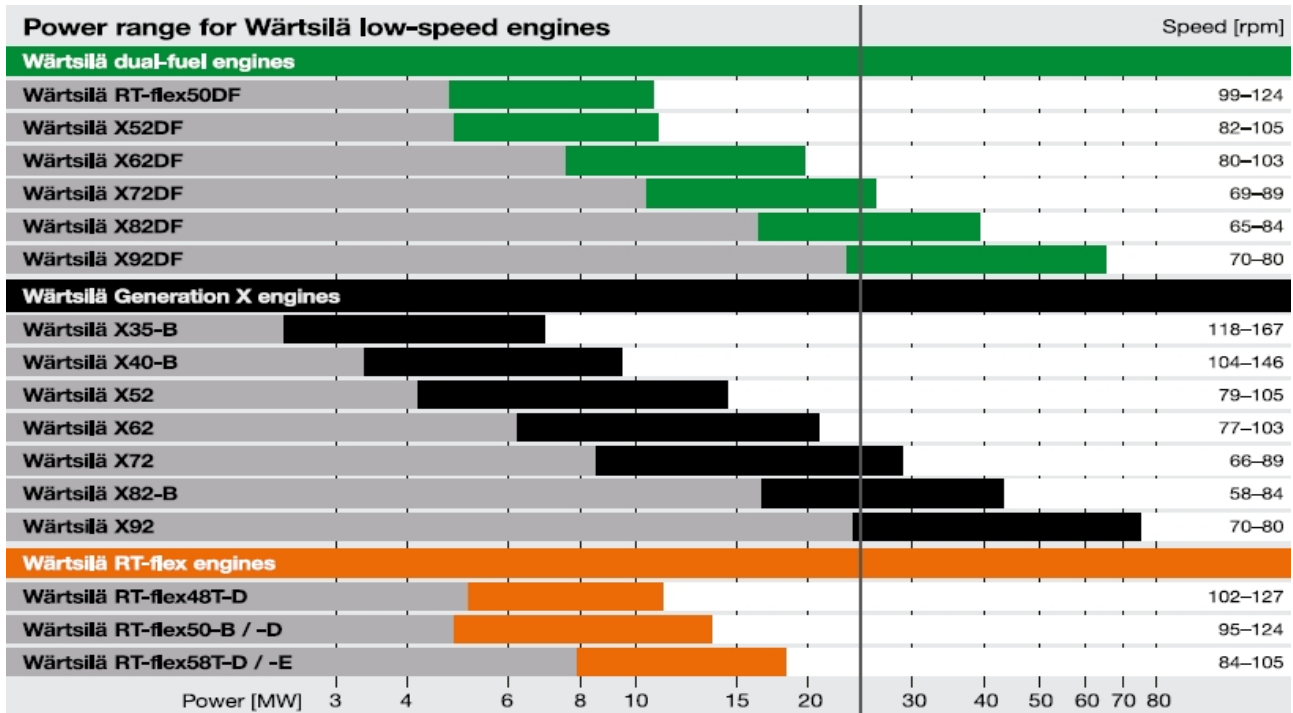
10S90ME-C9-GI-EGRBP



○ 22MW 급 Wartsila사 대형 엔진

- 6X72 : 21,660 kW
- 8X62 : 21,280 kW
- 8X62DF : 19,080 kW
- 7X72DF : 22,575 kW





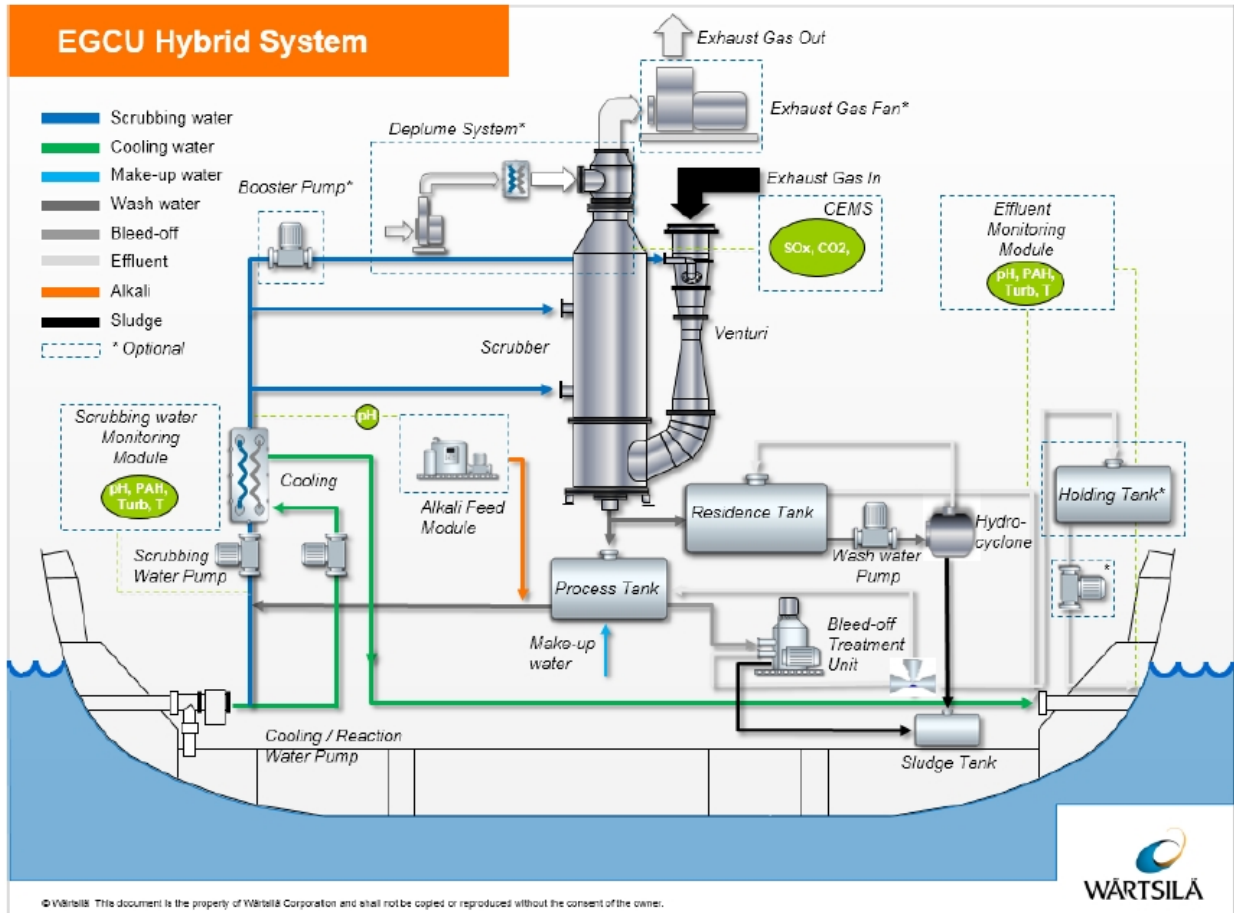
일반적으로 선박에서 22MW 급 엔진은 중간규모의 용량이며, 컨테이너선 약 5000TEU 급에 장착되고 있다.

4.1.2 선박 대기배출 가스 포집장치의 배치 가능성 검토

본 기획과제에서 선상에서의 CO₂ 포집기술을 제안하고 있으나, 아직 CO₂ 포집장치가 선박에 장착된 사례가 전무하여, 다른 대기배출물인 황산화물(SO_x) 저감장치 사례를 통해 CO₂ 포집장치 선박설치의 가능성을 검토하고자 하였다.

4.1.2.1 선상의 황산화물 저감장치

선상에서의 황산화물(SO_x) 배출통제지역인 북미, 북해 및 발틱해의 기준을 충족시키기 위해서는 연료유 함량 0.1% m/m 이하의 선박용 저항연료유의 사용이 요구된다. 저항연료유의 사용을 대체하여 황산화물 저감장치의 사용이 가능하며 황산화물 저감장치의 승인을 위한 기준이 2005년 MEPC 53차 회의에서 채택된 지침서인 MEPC.130(53)으로 제정되었다. 이후, 시험요건의 일부 개정으로 인해 MEPC.170(57), MEPC.184(59) 지침서로 개정되었으며, 2015년 5월 MEPC 68차 회의에서 다시 MEPC.259(68)⁹³로 개정되었다.



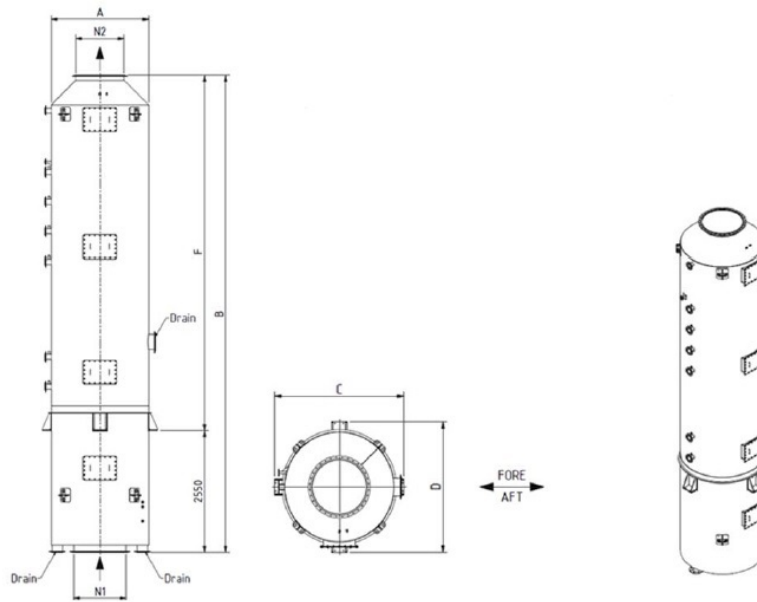
<그림 4.24> Wartsila사 황산화물 배출저감장치(SOx scrubber) 개념도

황산화물 배출저감장치로 선박에서 사용하고자하는 장치는 IMO에서 정한 지침서에 따라 승인된 후 선박에 설치된다. 황산화물 배출저감장치는 크게 황산화물 포집을 위한 scrubber chamber, 처리용 해수의 공급장치, 처리해수의 후처리 장비들로 나눌 수 있다. 이중 scrubber chamber는 retrofit 설치의 편의상 주로 배기가스 funnel 최상단부에 근접하여 설치되고 해수의 공급장치는 선박의 기관실내 해수면 하방에 설치되는 것이 일반적이다.

93) 부록첨부 함 : 본 지침서에는 배출저감장치의 성능기준 및 배출수 기준만 있을 뿐 장치의 부피 및 무게는 고려사항으로 다루고 있지 않음.

① 황산화물 저감장치의 설계

황산화물 저감장치의 제조사 중 하나인 Wartsila 사의 저감장치의 크기는 아래와 같다.



Dim.	Description	12,6 kg/s	15,5kg/s	18,6kg/s	22,1kg/s	25,9kg/s	29,9kg/s	34,3kg/s	38,9kg/s
	MW	5,9	7,2	8,7	10,3	12	13,9	15,9	18,1
A	Vessel diameter	1850	2050	2250	2450	2650	2850	3050	3250
B	Total height	10000	10000	10500	11000	11500	11500	12000	12500
C	Overall length	2240	2440	2660	2900	3120	3380	3600	3850
D	Overall width	2240	2440	2660	2900	3120	3380	3600	3850
F	Overall height	7450	7450	7950	8450	8950	8950	9450	9450
N1	Inlet nominal bore	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1500
N2	Outlet nominal bore	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1400
	Total dry weight	4200	4600	5000	5800	7500	8000	8600	10000

<그림 4.25> Wartsila사 SOx Scrubber chamber 및 크기 (Inline scrubber type)

Single-entry Scrubber

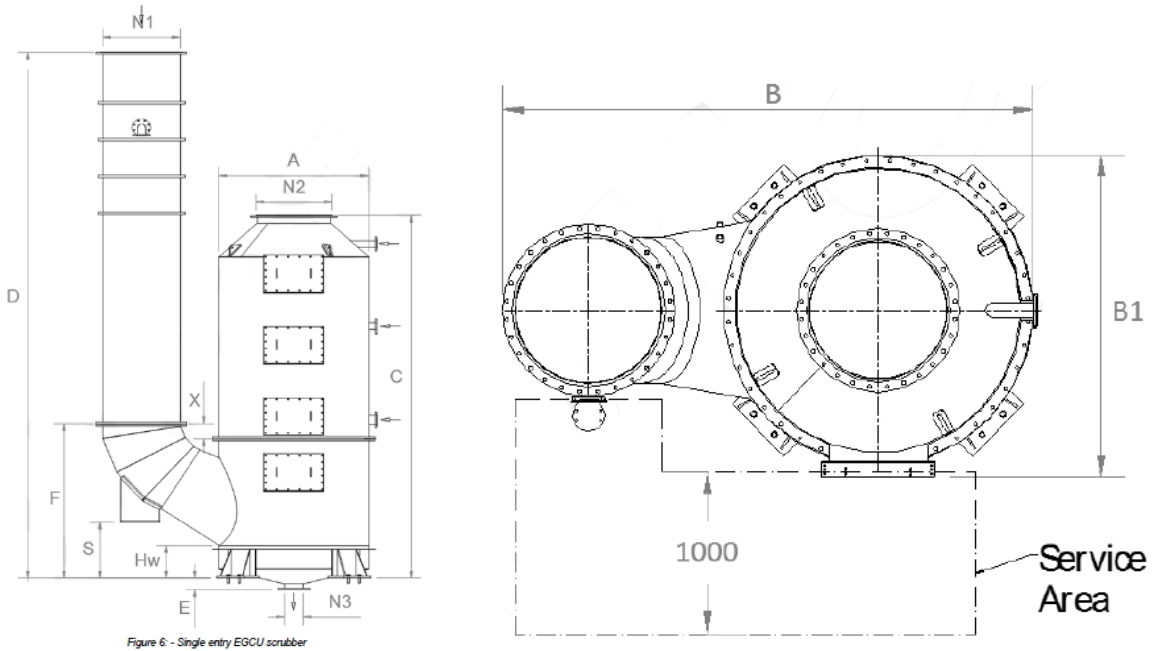


Figure 6 - Single entry EGCU scrubber

Table 2 EGCU unit dimensions, 1 inlet

Dim.	Description	1 MW	2 MW	4 MW	6 MW	8 MW	11 MW	15 MW
	Exhaust Gas Mass Flow kg/s	2.15	4.30	8.60	12.90	17.20	23.65	32.25
A	Vessel Diameter (mm)	850	1350	1750	2000	2500	2900	3500
B	Overall Length (mm)	1730	2240	3295	3850	4660	5360	6250
B1	Overall width (mm)	1250	1580	1980	2240	2740	3140	3660
C	Outlet height (mm)	4020	4460	4835	5810	6150	6935	8205
D	Inlet height (mm)	4670	5200	7015	8495	9635	10665	12130
E	Drain below base (mm)	40	120	150	190	250	315	595
F	Scrubber inlet height (mm)	1480	1660	2050	2435	2985	3330	3680
X	Difference between bottom part and inlet (mm)	0	0	200	200	250	150	300
S	Distance between support (mm)	690	745	745	790	1015	1160	1260
N1	Inlet nominal bore (mm)	400	600	900	1100	1300	1500	1700
N2	Outlet nominal bore (mm)	400	600	850	1000	1100	1300	1600
N3	Drain nominal bore (mm)	150	200	273	400	400	450	500
	Dry weight (tonnes)	1.2	2.0	2.8	4.1	5.9	7.4	10.4
	Wet weight (tonnes)	1.5	2.7	3.7	5.4	8.6	11.5	16.9
Hw	Water level (mm)	600	500	435	420	550	580	610
	Water weight (tonnes)	0.30	0.7	1.0	1.3	2.8	4.1	6.5

<그림 4.26> Wartsila사 SOx Scrubber chamber의 크기 (Single-entry scrubber type)

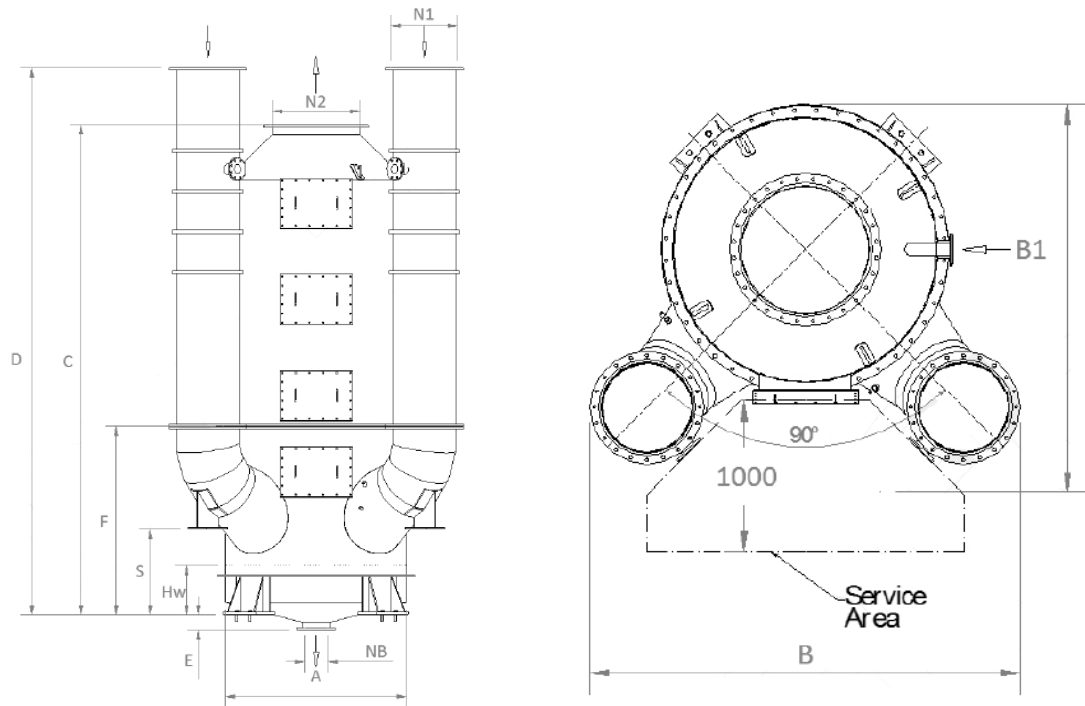


Table 3 EGCU unit dimensions for sizes 2-15MW, 2 inlets

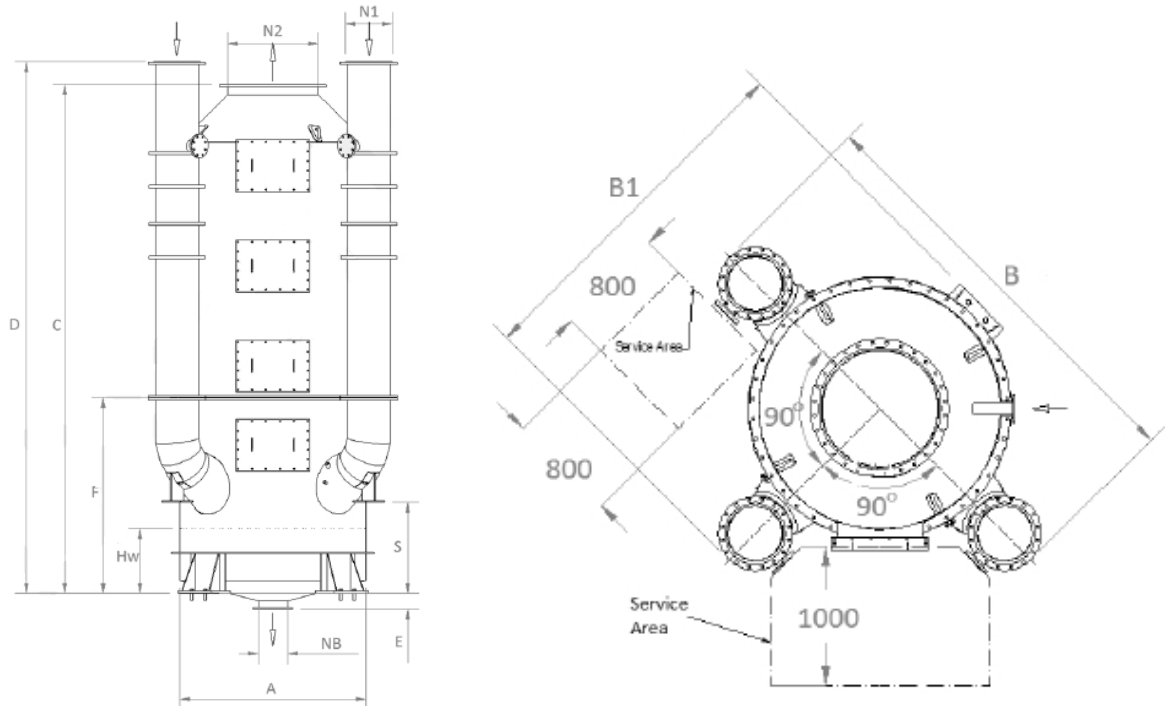
Dim.	Description	2 MW	4 MW	6 MW	8 MW	11 MW	15 MW
	Exhaust Gas Mass Flow kg/s	4.30	8.60	12.90	17.20	23.65	32.25
A	Vessel Diameter (mm)	1350	1750	2000	2500	2900	3500
B	Overall Length (mm)	2065	2860	3390	4115	4895	5810
B1	Overall width (mm)	2070	2565	2900	3600	4085	4750
C	Outlet height (mm)	4460	4835	5810	6150	6935	8205
D	Inlet height (mm)	4850	5400	6785	7690	9240	10030
E	Drain below base (mm)	120	150	190	250	315	595
F	Scrubber inlet height (mm)	1660	1860	2235	2735	3180	3380
X	Difference between bottom part and inlet (mm)	0	0	0	0	0	0
S	Distance between support (mm)	770	845	1000	1420	1435	1415
N1	Inlet nominal bore (mm)	400	600	750	900	1100	1320
N2	Outlet nominal bore (mm)	600	850	1000	1100	1300	1600
N3	Drain nominal bore (mm)	200	273	400	400	450	500
	Dry weight (tonnes)	2.1	2.8	4.1	5.7	7.6	11.0
	Wet weight (tonnes)	2.7	3.8	5.4	8.5	11.7	17.5
Hw	Water level (mm)	500	435	420	550	580	610
	Water weight (tonnes)	0.7	1.0	1.3	2.8	4.1	6.5

Table 4 EGCU unit dimensions for sizes 20-70MW, 2 inlets

Dim.	Description	20MW	25MW	30MW	35MW	40MW	45MW	50MW	55MW	60MW	65MW	70MW
	Exhaust gas flow (kg/s)	43.0	53.75	64.5	75.25	86	96.75	107.5	118.25	129	139.75	150.5
A	Vessel diameter	4100	4500	5000	5400	5800	6200	6500	6800	7100	7400	7700
B	Overall length	6150	6850	7600	8350	8850	9400	9800	10350	10750	11100	11400
B1	Overall width	5800	6450	7150	7800	8300	8800	9200	9650	10050	10350	10650
C	Outlet height	8850	9200	9550	9900	10300	10650	11000	11350	11750	12100	12500
D	Inlet height	6400	6900	7400	7900	8350	8800	9200	9600	10000	10350	10700
E	Drain below base	950	1000	1050	1100	1150	1170	1200	1200	1250	1300	1300
F	Total height	9800	10200	10600	11000	11400	11800	12200	12600	13000	13400	13800
G	Angle between inlets	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
N1	Inlet nominal bore	1350	1500	1600	1750	1850	2000	2100	2200	2300	2400	2500
N2	Outlet nominal bore	1800	2000	2200	2400	2550	2700	2800	3000	3100	3200	3300
N3	Drain nominal bore	550	600	700	800	800	900	900	1000	1000	1000	1000

<그림 4.27> Wartsila사 SOx Scrubber chamber의 크기 (Double-entry scrubber type)

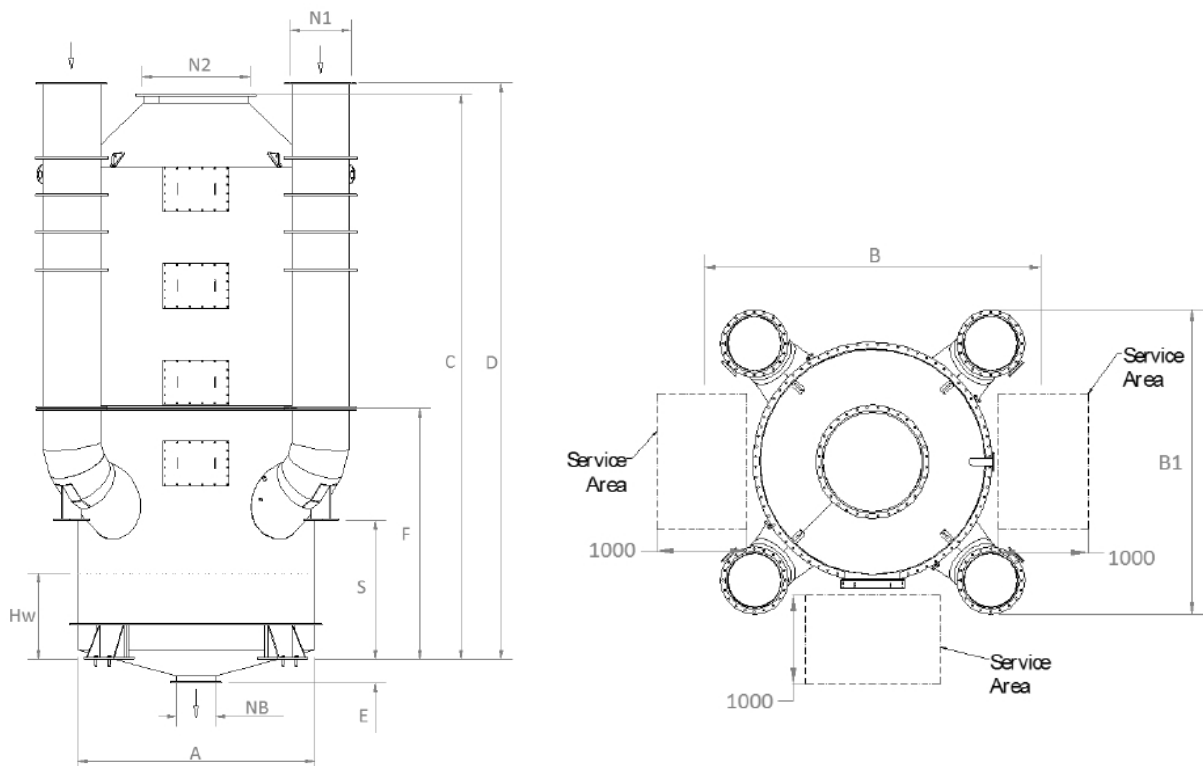
Triple Entry Scrubber



Dim.	Description	4 MW	6 MW	8 MW	11 MW	15 MW
	Exhaust Gas Mass Flow (kg/s)	8.60	12.90	17.20	23.65	32.25
A	Vessel Diameter (mm)	1750	2000	2500	2900	3500
B	Overall Length (mm)	3100	3975	4915	5780	6700
B1	Overall width (mm)	2600	3140	3860	4500	5250
C	Outlet height (mm)	4835	5810	6150	6935	8205
D	Inlet height (mm)	5050	5775	7285	8135	9080
E	Drain below base (mm)	150	190	250	315	595
F	Scrubber inlet height (mm)	1860	2235	2735	3180	3380
X	Difference between bottom part and inlet (mm)	0	0	0	0	0
S	Distance between support (mm)	865	1020	1500	1465	1445
N1	Inlet nominal bore (mm)	40	600	750	900	1000
N2	Outlet nominal bore (mm)	850	1000	1100	1300	1600
N3	Drain nominal bore (mm)	273	400	400	450	500
	Dry weight (tonnes)	2.8	4.3	6.0	7.6	11.0
	Wet weight (tonnes)	3.8	5.6	8.7	11.7	17.4
Hw	Water level (mm)	435	420	550	580	610
	Water weight (tonnes)	1.0	1.3	2.8	4.1	6.4

<그림 4.28> Wartsila사 SOx Scrubber chamber의 크기 (Triple-entry scrubber type)

Quadruple Entry Scrubber



Dim.	Description	6 MW	8 MW	11 MW	15 MW
	Exhaust Gas Mass Flow kg/s	12.90	17.20	23.65	32.25
A	Vessel Diameter (mm)	2000	2500	2900	3500
B	Overall Length (mm)	2530	3750	4235	5010
B1	Overall width (mm)	2900	3385	4025	4810
C	Outlet height (mm)	5810	6150	6935	8205
D	Inlet height (mm)	5425	6275	7730	8335
E	Drain below base (mm)	190	250	315	595
F	Scrubber inlet height (mm)	2235	2735	3180	3380
X	Difference between bottom part and inlet (mm)	0	0	0	0
S	Distance between support (mm)	1040	1520	1545	1458
N1	Inlet nominal bore (mm)	400	600	750	910
N2	Outlet nominal bore (mm)	1000	1100	1300	1600
N3	Drain nominal bore (mm)	400	400	450	500
	Dry weight (tonnes)	4.1	5.9	7.7	10
	Wet weight (tonnes)	5.6	8.7	11.7	17.4
Hw	Water level (mm)	420	550	580	610
	Water weight (tonnes)	1.3	2.8	4.1	6.4

<그림 4.29> Wartsila사 SOx Scrubber chamber의 크기 (Quadruple-entry scrubber type)

위 그림에서 Wartsila사가 공급하는 inline type 황산화물 배출저감장치는 약 6MW ~ 18MW 급 엔진에 적용될 수 있으며, 높이는 10m~12.5m, 직경은 약 2m~3m 정도의 범위임을 확인할 수 있다. 또한, single entry 및 double entry 형식의 장치는 엔진 출력 1MW에서 70MW급까지 다양한 크기의 적용 범위를 보여준다. Scrubber chamber의 높이는 엔진 출력별로 약 4m ~ 12.5m의 범위에 있고, 직경은 약 1m ~ 7.5m 정도의 범위에 있음을 확인할 수 있다.

Scrubber chamber의 무게는 inline type의 경우 4.2 ton ~ 10 ton의 범위로 나타났다. Single entry type의 경우 chamber 및 운전 중 chamber 내 처리수의 합계 무게가 약 1.5 ton ~ 17 ton의 범위이다. Triple entry 및 Quadruple entry type의 경우 15MW 엔진을 기준으로 약 17 ton 정도의 합계 무게를 보인다.

<표 4.8> Wartsila사 Scrubber chamber (inline type) 주요치수 및 무게

엔진 출력 (MW)	5.9	7.2	8.7	10.3	12	13.9	15.9	18.1
높이(m)	10	10	10.5	11	11.5	11.5	12	12.5
직경(m)	1.85	2.05	2.25	2.45	2.65	2.85	3.05	3.25
무게(ton)	4.2	4.6	5.0	5.8	7.5	8.0	8.6	10.0

<표 4.9> Wartsila사 Scrubber chamber (single-entry type) 주요치수 및 무게

엔진 출력 (MW)	1	2	4	6	8	11	15
높이(m)	4.02	4.46	4.835	5.81	6.15	6.935	8.205
직경(m)	0.85	1.35	1.75	2	2.5	2.9	3.5
설치 폭(m)	1.73	2.24	3.295	3.85	4.66	5.36	6.25
장치 무게(ton)	1.2	2.0	2.8	4.1	5.9	7.4	10.4
해수무게(ton)	0.3	0.7	1.0	1.3	2.8	4.1	6.5

<표 4.10> Wartsila사 Scrubber chamber (double-entry type) 주요치수 및 무게

엔진 출력 (MW)	2	8	15	20	30	40	50	60	70
높이(m)	4.46	6.15	8.205	8.85	9.55	11	11.75	12.1	12.5
직경(m)	1.35	12.5	3.5	4.1	5	5.8	6.5	7.1	7.7
설치 폭(m)	2.065	4.115	5.81	6.15	7.6	8.85	9.8	10.75	11.4
장치 무게(ton)	2.1	5.7	11.0	-	-	-	-	-	-
해수무게(ton)	0.7	1.0	1.3	-	-	-	-	-	-

<표 4.11> Wartsila사 Scrubber chamber (Triple-entry type) 주요치수 및 무게

엔진 출력 (MW)	4	6	8	11	15
높이(m)	4.835	5.81	6.15	6.935	8.205
직경(m)	1.75	2	2.5	2.9	3.5
설치 폭(m)	3.1	3.975	4.915	5.78	6.7
장치 무게(ton)	2.8	4.3	6.0	7.6	11.0
해수무게(ton)	1.0	1.3	2.8	4.1	6.4

<표 4.12> Wartsila사 Scrubber chamber (Quadruple-entry type) 주요치수 및 무게

엔진 출력 (MW)	6	8	11	15
높이(m)	5.81	6.15	6.935	8.205
직경(m)	2	2.5	2.9	3.5
설치 폭(m)	2.53	3.75	4.235	5.01
장치 무게(ton)	4.1	5.9	7.7	10
해수무게(ton)	1.3	2.8	4.1	6.4

황산화물 배출저감장치는 배기가스 내의 황산화물의 포집을 위해 해수 또는 청수를 scrubber chamber 내에 분사한다. 따라서 수면하에 설치된 분사용 공급 해수를 위한 장치 및 배관, 분사 후 pH 4 미만의 산성 처리수의 후처리를 위한 각종 저장 탱크 및 배관으로 구성된다. 따라서, 시스템을 구성하는 각종 구성품 및 배관을 설치하기 위한 공간이 충분히 확보되어야 함을 알 수 있다.

황산화물 배출저감장치에서 분사된 해수 또는 청수는 선박에서 배출수 후처리를 거쳐 해양으로 배출되기도 하며(open-loop type), scrubber chamber로 순환되어 재차 분사되기도 한다(closed-loop type). 또한 open-loop과 closed-loop을 선택적으로 적용할 수 있는 hybrid type도 제공하고 있다.

Wartsila사의 scrubber chamber 및 운전 중 chamber내의 처리수 무게는 단순히 scrubber chamber 만을 고려한 무게이다. 처리수를 공급하는 관장치 및 처리수의 후처리를 위한 각종 배관 및 탱크, 그리고 작동시 이동하는 처리수의 무게를 모두 고려한다면 상당한 무게가 추가로 고려될 것으로 예상된다.

② 황산화물 배출저감장치의 설치

가. 황산화물 배출저감장치의 설치 실적

Wartsila사는 이미 100척의 선박에 황산화물 배출저감장치의 설치한 실적을 홍보하고 있다. 아래의 실적에서 tanker, bulk carrier, container, Ferry, 자동차운반선, Cruise, LPG, 특수선 등 다양한 선종에 적용되었음을 확인할 수 있다 (표 4.13). 따라서, Wartsila사의 황산화물 배출저감장치의 설계 크기 및 무게의 범위에서는 선종별 설치의 제약이 거의 없는 것으로 예상할 수 있다. 또한, 상당수가 retrofit으로 설치되어 신조선 뿐만 아니라 현존선에 적용하는 것도 가능함을 확인할 수 있다.

<표 4.13> Wartsila사 황산화물 배출저감장치 설치 실적

SHIP POWER		EGC references					Market leader with 100 units installed or on order for 50 vessels! ...more will follow
Vessel/Owner	Vessel type	Application	Open loop	Closed loop	Hybrid	Scrubber delivery	
MS Pride of Kent/	Ferry	Retrofit	x			2005	
MS Zaandam/	Cruise	Retrofit	x			2007	
MT Suula/ Neste shipping	Tanker	Retrofit		x		2008	
Containerships VII / Containership	Container	Retrofit (EPC)		x		2011	
APL England/ APL	Container	Retrofit	x			2011	
DSME Ignazio Messina & C.S.p.A (4 vessels)	Container/RoRo	Newbuilding	x			2011/2012	
MV Tarago/ Wilh. Wilhelmsen	RoRo	Retrofit			x	2012	
8 vessels/ Algoma	Bulk Carrier	Newbuilding		x		2012/2013	
2 vessels/ x*	Cruise	Newbuilding			x	2013/2014	
Mein Schiff 3 & 4 / STX Finland	Cruise	Newbuilding			x	2013/2014	
HHI H2516 and 2517 / Solvang	LPG	Newbuilding	x			2012/2013	
STX 3027/28/29/30 / Messina	Container/RoRo	Newbuilding			x	2013/2014	
1 vessel /x*	Cruise	Newbuilding			x	2014	
Super Speed 2 / Color Line	Ferry	Retrofit	x (Inline)			2014	
Super Speed 1 / Color Line	Ferry	Retrofit	x (Inline)			2014	
Color Magic & Color Fantasy / Color Line	Ferry	Retrofit	x (Inline)			2014	
MV Robin Hood / TT-Line	RoRo	Retrofit (EPC)			x	2014	
HHI 2656 / Dorian	LPG	Newbuilding	x			2014	
HHI / Wilhelmsen (4 vessels)	RoRo	Newbuilding			x	2014	
HHI / Solvang (2+1 Vessels)	LPG	Newbuilding	x			2014	
Trawler / x*	Special	Retrofit	x			2014	
Clipper Harald / Solvang	LPG	Retrofit	x			2014	
6 vessels / Finnlines	RoRo	Retrofit	x		(x)	2014/2015	
8 vessels / x*	Cruise	Retrofit			x	2015	

21 © Wärtsilä Day Month Year Presentation name / Author

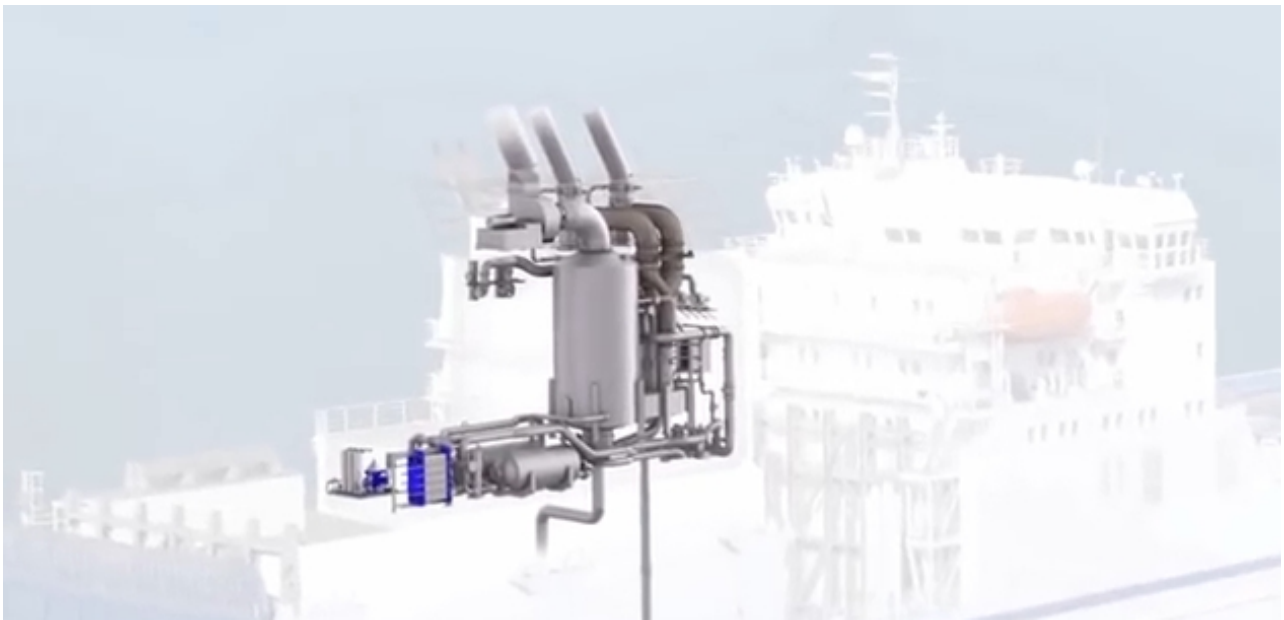


나. 황산화물 배출저감장치의 설치 사례 분석

황산화물 배출저감장치의 retrofit 설치 사례에 대해 제조사인 Alfa Laval사는 홈페이지에 홍보 동영상을 제공하고 있다. 해당 선박명은 M/V Plyca이며 자동차 운반선으로써, 선박의 크기는 205m x 29m (LxB), Gross tonnage는 28,289 ton인 선박이다. 설치된 scrubber chamber 및 배출수 후처리설비는 funnel 최상부에 인접하여 설치되었음을 제공된 자료로 확인가능하다.



<그림 4.30> Alfa Laval사 SOx Scrubber가 설치된 선박 (M/V Plyca)



<그림 4.31> Alfa Laval사 SOx Scrubber의 설치 위치 (M/V Plyca)

선박에 설치된 scrubber 장치의 크기는 자료에서 제공되지 않아 정확한 수치를 확인할 수는 없었다. 하지만 아래 사진을 통하여 높이 약 10m 이상, 직경 6m 이상 급임을 예상할 수 있다.



<그림 4.32> Alfa Laval사 SOx Scrubber의 설치 (M/V Plyca)

Alfa Laval사 및 선주사는 해당 저감장치의 설치에 필요한 공간이 확보되지 않아, scrubber 장치를 설치하기 위해 추가의 공간을 확보하기 위한 작업이 함께 수행되었음을 확인할 수 있었다. 아래의 그림과 같이 기존의 Funnel casing에 장치가 설치될 수 없어 Scrubber Room으로 표시된 추가의 공간을 확보하기 위한 작업이 함께 수행되었다.



<그림 4.33> Alfa Laval사 SOx Scrubber의 설치를 위한 Scrubber Room (M/V Plyca)

위의 사례들을 고려할 때, 선박의 배기관 내에 저감장치를 설치함에 있어 공간적인 제약은 크게 문제가 되지 않음을 알 수 있다. 또한, 신조선의 경우에는 선박 설계시 저감장치의 설치를 미리 고려하여 funnel casing의 크기를 충분히 확보할 수 있으므로 설치를 위한 공간 확보는 문제가 되지 않을 것으로 예상된다.

4.1.2.2 이산화탄소 포집장치 설치 검토

① 이산화탄소 포집을 위한 흡수탑의 선박 설치시 제약사항

이산화탄소 포집을 위한 흡수탑을 설치시 선박의 설치 공간 및 retrofit의 용이성을 고려시 황산화물 배출저감장치의 설치 위치와 유사하게 배기가스 funnel의 최상부에 근접한 위치에 설치하는 것을 가장 유력하게 고려할 수 있다.

황산화물 배출저감장치는 배출통제지역에서도 고유황 연료유를 사용하고자 하는 선박에 설치되는 장비로써, 저유황 연료유를 사용하는 선박 및 가스연료를 사용하는 선박에는 설치가 필요하지 않은 장치이다. 또한, 선박의 운항기간 중 배출통제지역에서의 운항 시간이 상대적으로 적은 장거리 국제항해 선박의 경우에는 황산화물 배출저감장치의 설치 및 운전비용을 통해 얻을 수 있는 경제적인 이점이 없어 저유황연료유를 사용하고 있다. 따라서, 황산화물 배출저감장치는 배출통제지역에서 주로 운항하는 선박에 설치되고 있어, 전체 선박 중 극히 일부만을 차지하고 있다.

황산화물 배출저감장치의 시장이 극히 제한적임을 고려할 때, 황산화물 배출저감장치가 이미 설치된 선박에 추가로 이산화탄소 포집 흡수탑이 설치하는 특수 상황은 본 과제에서 고려하지 않도록 한다.

이산화탄소 포집을 위해 제안한 높이 3m~4m 크기의 흡수탑은 황산화물 배출저감장치의 크기에 비해 상대적으로 작은 크기임을 확인하여 선박 설치시 크기 및 무게로 인한 문제점은 크지 않을 것으로 예상된다. 또한, 선박에 설치할 공간이 충분히 확보되지 않는 특수 상황에서는 위 Alfa Laval사의 황산화물 배출저감장치를 설치 사례와 같이 선박에 별도의 공간을 확보하여 설치가 가능함을 사례를 통해 확인하였다.

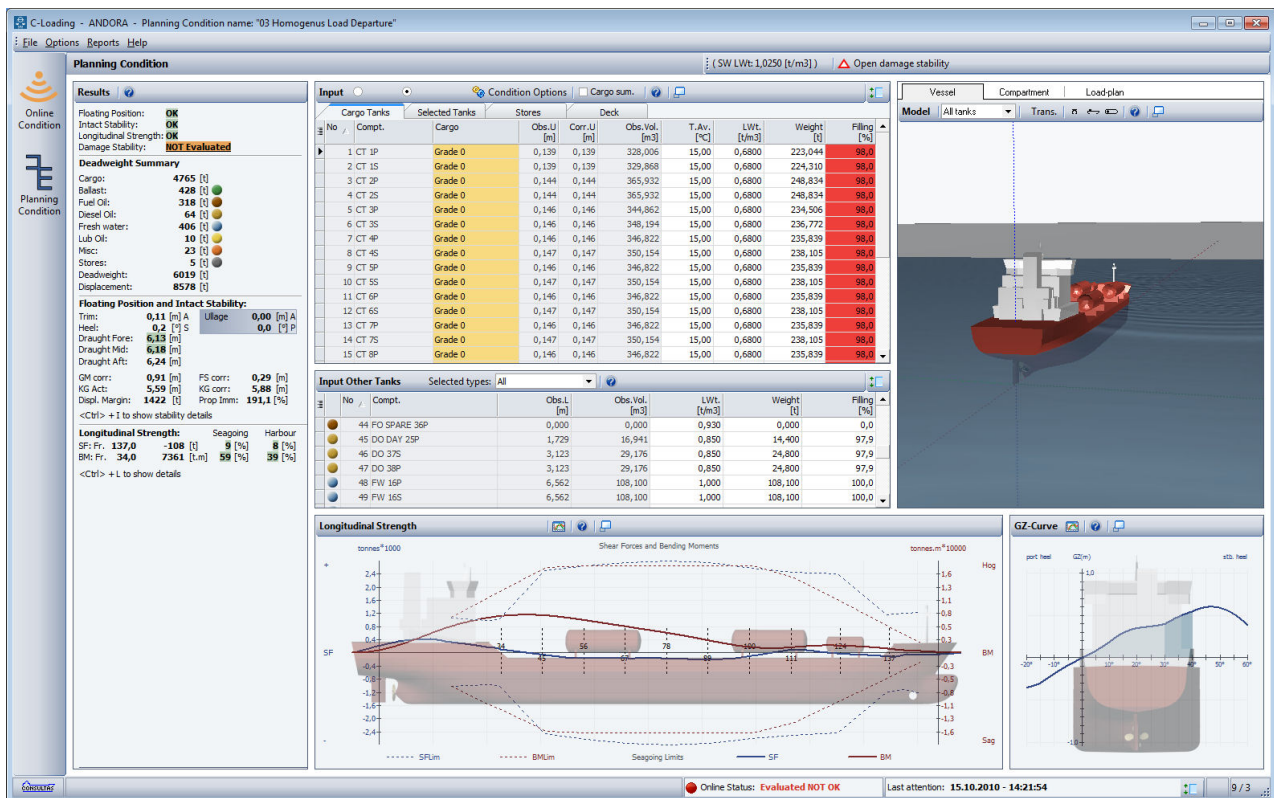
Wartsila사의 황산화물 배출저감장치가 tanker, bulk carrier, container, Ferry, 자동차운반선, Cruise, LPG, 특수선에 설치된 실적을 고려하였을 때, 선종에 따른 설치의 제약은 예상되지 않는다.

② 이산화탄소 포집을 위한 흡수탑의 선박 설치시 검토 및 조치사항

선박에 중량물이 설치될 경우, 중량물의 추가 무게를 고려한 선박의 경하중량산정표를 작성하여 선박의 등록 선급에 제출이 요구된다. 선급에서는 계산된 경하중량의 증가량이 기존 경하중량의 2.0% 또는 2톤 중 큰 값 이상이거나, LCG(Longitudinal Centre of Gravity)의 차이가 LBP(Length Between Perpendicular)의 1.0% 이상인 경우 경사시험을 실시하고, 복원성자료를 재승인 받도록 하고 있다. 선박의 경하중량 및 이산화탄소 포집 흡수탑의 무게를 고려할 때, 선박의 경하중량 2.0%를 초과하는 경우는 소형 선박을 제외하고는 없을 것으로 예상된다.

이때, 선박의 구조 건전성 또는 안정성(stability)에 영향이 있는 것으로 판단될 시 선박에 설치된 loading computer의 deadweight constant를 수정하여 화물 및 평형수의 적재시 해당 장치의 무게가 함께 고려되도록 하여 선박의 안전을 위한 조치를 사전에 취할 수 있다.

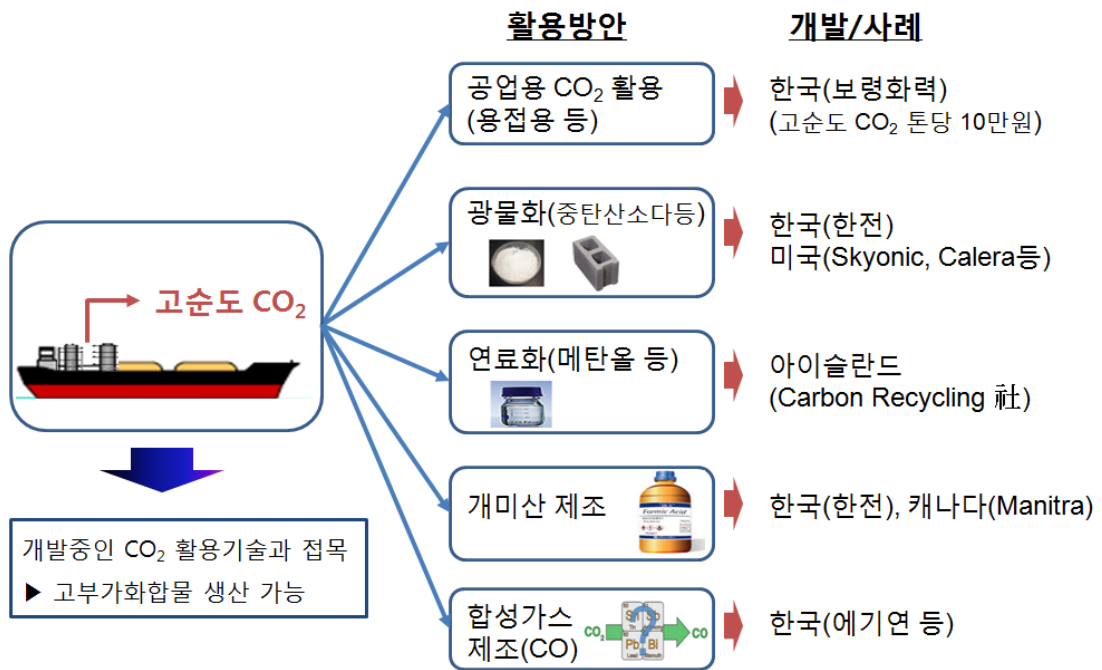
선박에 설치할 이산화탄소 포집용 흡수탑의 무게가 선박의 안전에 악영향을 미칠 것으로 판단되는 경우에도 적절한 조치를 통해 선박에 탑재가 가능하다.



<그림 4.34> 선박의 Loading computer 화면 (예시)

4.2 포집된 이산화탄소의 활용(CCU, Carbon Capture and Utilization)

상기 제시된 방법으로 선박에서 포집된 이산화탄소는 다양한 형태로 활용이 가능하다. 지금까지 제시된 다양한 활용기술 중 일부 사례를 다음의 그림 4.35에 제시하였다. 제시된 바와 같이 포집된 이산화탄소의 활용 방안은 매우 다양하다. 특히 고순도 이산화탄소 자체만으로도 용접용 등의 공업용으로 활용이 가능하다. 현재 앞서 제시된 보령화력 10 MW급 습식아민 이산화탄소 포집 플랜트에는 2016년 이후 포집된 이산화탄소를 압축하여 공업용을 활용하기 위한 공정이 설치 예정이다. 현재 고순도 이산화탄소의 톤당 가격이 10만원이기 때문에 충분히 경제성이 있는 것으로 분석된다. 이 외에 중탄산소다 등의 광물화, 연료화, 개미산, 합성가스 제조를 위한 이산화탄소 활용기술 개발이 현재 활발히 진행 중에 있다.



<그림 4.35> 포집 이산화탄소 활용 방안

상기 제시된 내용이외에도 현재 화력발전소에서 발생된 이산화탄소를 가지고 오일 및 가스회수 증진에서부터 플라스틱(Polycarbonate 등), 비료 및 건축자재 등 다양한 활용처가 있으며 각각의 기술은 다양한 규모로 세계에서 많은 연구가 진행 중에 있고 일부 기술은 이미 상업 생산 중에 있다. 관련하여 표 4.14에 다양한 이산화탄소 활용기술의 개발 현황에 대하여 정리하였다. 표

에서 제시된 바와 같이 일부 화석연료 증산기술(이산화탄소-EOR)은 이미 시장이 성숙되어 있고 이산화탄소 연료전환기술은 일부기술을 제외하고는 연구/실증단계 수준이며 이산화탄소 광물화 기술은 경제성이 확보 또는 일부 기술(중탄산염)은 시장 진입단계인 것으로 분석되고 있다.

<표 4.14> 다양한 이산화탄소 포집기술 개발 현황

CCU category	CCU technology	Research	Demonstration	Economically feasible under certain conditions	Mature market
CO ₂ to fuels	Hydrogen (renewable methanol)				
	Hydrogen (formic acid)				
	Algae (to biofuels)				
	Photocatalytic processes				
	Nanomaterial catalysts				
Enhanced commodity production	Power cycles (using scCO ₂)				
	Enhanced production (urea; methanol)				
Enhanced hydrocarbon recovery	Miscible/immiscible floods (CO ₂ -EOR)				
	Miscible/immiscible floods (CO ₂ -EGR)				
	Sorption-based displacement (ECBM)				
CO ₂ mineralisation	Carbonate mineralisation				
	CO ₂ concrete curing				
	Bauxite residue carbonation				
Chemicals production	Sodium carbonate				
	Polymers				
	Other chemicals (e.g. acetic acid)				
	Algae (for chemicals)				

■ Main activities
■ Some activities

Source: Ecofys/Carbon Counts

4.2.1 국내 CCU 기술개발 동향

선상에서 포집된 이산화탄소의 활용처 탐색을 위해 현재 국내에서 진행 중인 이산화탄소 활용기술에 대하여 조사하였다. 국내 CCU 기술 개발은 현재 미래부 한국이산화탄소포집 및 처리연구개발센터(KCRC)를 거점으로 대학, 정부출연연구소등에서 원천기술 개발과제 수행 중에 있으며 산업부에서는 포집설비와 연계된 일정규모 이상의 이산화탄소 재활용 기술개발을 한전 및 발전 자회사 등을 중심으로 기획 중에 있다. 관련하여 2015년 3월 현재 KCRC 및 한전 전력연구원등에서 진행 중인 주요 CCU 개발기술은 다음과 같다⁹⁴⁾.

94) Lee, J. H., Kwak, N. S., Lee, I.-Y., Jang, K. R. Lee, D. W., Jang, S. G., Kim, B. K., and Shim, J.-G. "Performance and economic analysis of commercial scale coal-fired power plant with post-combustion CO₂ capture," *Korean J. Chem. Eng.* DOI:10.1007/s11814-014-0267-0(2014).

표 4.15에 제시된 바와 같이 국내 이산화탄소 활용기술은 광물화, 합성가스, 폴리머, 개미산 및 미세조류 생산 등으로 크게 분류할 수 있다. 이는 국외 기술 동향과도 유사한 흐름이다.

<표 4.15> 국내 CCU 기술개발 현황

최종 product	과 제 명	관련기관
광물화 (3)	이산화탄소 포집 및 가성소다 생산연계를 통한 고부가 화합물 제조기술개발	한전/ 동서발전
	이산화탄소 재활용을 통한 산업 부산물 이용 이산화탄소 광물화 원천기술 개발	한전
	해수기반 전기화학적 이산화 탄소전환에 의한 무기탄산 제조기술개발	KCRC
합성가스 (3)	이산화탄소 전환 합성가스 제조를 위한 고효율 고온전해조 개발	KCRC
	합성가스 제조를 위한 이산화탄소 전기분해 혁신기술 개발	한전
	가압 운전용 튜브셀 기반 이산화탄소 /H2O 동시전해반응에 의한 syngas 제조기술 개발	KCRC
폴리머 (2)	이산화탄소를 활용한 친환경 폴리카보네이트 제조 및 단량체 제조 원천기술 개발	KCRC
	폴리에스터 모노머제조를 위한 카복실화 촉매개발	
개미산(3)	혁신적 이산화탄소 reductase 개발 및 이를 이용한 전기화학적 BT-NT 융합 개미산 제조시스템 개발	KCRC
	이산화탄소 수소화 반응에 의한 포름산 및 포름산 유도체 생산시스템 개발	
	실리콘/금속 산화물 나노와이어 전극과 분자 촉매를 활용한 2% 광효율의 이산화탄소 전환용 하이브리드 광촉매 시스템 개발	
미세조류 (6)	생물학적 이산화탄소 고속전환 유기자원화 기술	KCRC
	분자생물학적 개량을 통한 이산화탄소 고정 미세조류 개발	
	자연교배와 분자유전학적 개량법을 활용한 환경저항성 미세조류 균주개발 및 분자기작 연구	
	통합적인 미세조류 분석 플랫폼의 개발	
	우량 형질전환 미세조류 발굴을 위한 고효율 나노/마이크 통합시스템 구축	
	연속식 바이오디젤 직접생산을 위한 재조합시아노박테리아 활용 원천기술개발	
기타(3)	이산화탄소 하이드레이트를 이용한 고효율 냉방시스템 개발	KCRC
	이산화탄소로부터 전기화학적 시스템에 적용 가능한 혁신적 탄소 전극 제조	KCRC

4.2.2 국제 CCU 기술개발 동향

국제적으로 이산화탄소 활용기술은 다양한 기술 분야에서 다양한 수준으로 기술 개발이 진행 중에 있으며 그 중 주요 내용은 다음과 같다.

기술 (개발사)	플랜트 규모	기술개요	자료사진
메탄올 (Carbon Recycling Intl.)	<ul style="list-style-type: none"> 1,800 tonCO₂/y (발전용량: 0.7 MW) 1,300 ton메탄올/y (2012년 운전) 	H ₂ (신재생에너지 활용)와 이산화탄소 간 반응을 통해 합성	 <p>Now (Phase I) 1,800 t/yr CO₂ 2 MWe 1,300 t/yr methanol</p> <p>Full capacity (Phase II) 5,400 t/yr CO₂ 3 MWe 4,000 t/yr methanol</p> <p>(아이슬란드, Svartsengi 플랜트)</p>
플라스틱 (BAYER)	소규모(수 kg 수준) 연구 중	이산화탄소를 이용한 폴리 우레탄 합성	 <p>(독일, Leverkusen Pilot)</p>
미세조류 (Proviron)	소규모 Pilot 규모 연구 중	이산화탄소, 물, 빛을 이용한 광합성 작용을 통해 얻어지는 유기물을 연료로 사용	 <p>(벨기에, Proviron)</p>
건축자재 (Cambridge Carbon Capture)	소규모 Pilot 규모 연구 중	이산화탄소 및 산업폐기물을 활용하여 건축자재 합성	 <p>(MgCO₃ 자재)</p>
중탄산 나트륨 (TWENCE)	<ul style="list-style-type: none"> 6,000 tonCO₂/y (발전용량: 1 MW) 8,000 ton NaHCO₃/y 	폐기물 소각후 발생하는 이산화탄소를 활용하여 중탄산나트륨 제조 → 가스 정제활용	 <p>(네덜란드, WTE 플랜트)</p>

나. 미국/캐나다/호주

기술 (개발사)	플랜트 규모	기술개요	자료사진
중탄산 나트륨 (Skyonic)	75,000 tonCO ₂ /y (발전용량: 약 10 MW)	전기분해와 연계되어 이산화탄소를 활용한 고부가화합물 생산 ('15년 상업운전 예정)	 (미국, Capitol skymine 플랜트)
건축자재 (Calera)	1,500 tonCO ₂ /y (발전용량: 0.2 MW)	전기분해와 연계되어 이산화탄소를 활용한 건축자재 생산	 (미국, Moss landing 발전소)
토양개량제 (Alcoa)	70,000 tonCO ₂ /y (발전용량: 10 MW)	이산화탄소, 페 보크사이트를 활용한 토양개량제 생산	 (호주, Kwinana 플랜트)
플라스틱 (Novomer)	생산량 공개 안됨	이산화탄소, Epoxide를 원료로 고분자화합물 합성	 (미국, Albemarle 플랜트)
개미산 (MANTRA)	소규모 Pilot 규모 연구 중(2014년 현재)	이산화탄소 활용, 전기화학방법을 통해 개미산 제조	 (캐나다, MANTRA Pilot)

4.2.3 선상에서의 이산화탄소 포집활용기술

앞서 제기된 바와 같이 국내외에서 개발 중인 이산화탄소 활용기술은 광물화, 합성가스, 폴리머, 개미산 및 미세조류 생산 등으로 크게 분류할 수 있다. 그러나 선상에서 포집된 이산화탄소의 활용을 위해서는 현재 개발 중인 기술수준 및 선상에서의 공간적 제약 등으로 일부 기술만 제한적으로 적용이 가능할 것으로 사료된다.

<표 4.16> 다양한 이산화탄소 활용기술의 선상활용 가능성 분석

분류	기술완성도 /상업화 완료시점	특징	선상 활용 가능성
광물화	상업화 직전	염수전기분해공정 및 탄산화공정 연계 → 공정이 복잡하고 설비규모가 큼 → 전기분해를 통해 가성소다를 생산하므로 추가의 전력사용 발생	△
합성가스	연구단계/ 5년 이내	생산된 합성가스는 보조연료로 사용가능 → 현재 연구단계로 CO 전환율이 낮아서 상업화까지 기간 필요	×
폴리머	상업화 직전	SK에서 2015년 상업생산 예정 (그린폴) → 대규모 화학공정 필요하므로 선박에 활용은 어려움	×
개미산	연구단계/ 5년 이내	현재 연구단계임	×
미세조류	상업화 직전	대규모 면적이 필요하며 선상에서의 설치는 적절하지 않음	×
공업용 활용	즉시 활용가능	포집된 CO ₂ 를 저장하였다가 육상에서 활용(용접용, 식품용 등) → 운항 중 포집 CO ₂ 저장공간 필요	○
평형수 처리	즉시 활용가능	평형수에 CO ₂ 를 용해하여 에너지사용량 낮춤 → CO ₂ 활용량 등 상세 분석필요	◎
오수 처리	즉시 활용가능	오수 처리시 CO ₂ 를 용해하여 에너지사용량 낮춤 → CO ₂ 활용량 등 상세 분석필요	◎

4.3 포집 이산화탄소의 활용 상세분석

4.3.1. 선상 활용 분야

(1) 선박평형수처리

선박평형수란 선박에 화물 적하 시 부력에 의해 무게 중심이 높아져 선박안정성이 낮아지는 것을 방지하기 위해 선박의 밑 부분에 채우는 물로, 선박의 이동 및 배출수 교환에 따라 평형수에 포함된 생물 또는 병원균 등이 함께 이동하게 되는데, 이 때문에 현재 UN 산하 국제해사기구(IMO)에서 선박평형수에 의해 해양생태계 교란을 방지하기 위하여 선박 내 의무적으로 선박평형수 처리시스템을 갖추도록 한 기준이 마련되었다.

선박평형수 처리시스템의 설치가 의무화 되면서 시장규모는 2017년까지 약 200억 달러 이상이 될 것으로 전망되고 있고, 이에 따라 선박평형수 처리기술은 하루가 다르게 성장하고 있다.

선박평형수 처리기술은 오존, 전기분해, 자외선, 필터 등이 사용되고 있고, 우리나라를 비롯한 중국, 일본, 독일, 미국, 노르웨이, 네덜란드, 스웨덴, 덴마크, 남아프리카, 그리스, 싱가포르 등 총 12개국이 선박평형수 처리기술을 보유하고 있다 (표 4.17).

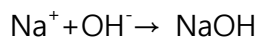
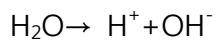
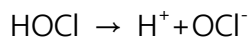
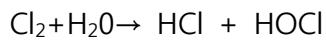
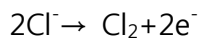
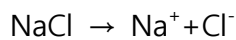
<표 4.17> 국내외 선박평형수 기술현황(Class NK EQD)

Process	Number of Tech.
Filter	41
Electrolysis(Electro chlorination)	22
Electrodialysis	2
UV	13
Ozone	4
Chemical injection	9
ETC	Plasma, Cavitation, Hydrocyclone, etc.

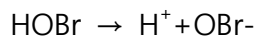
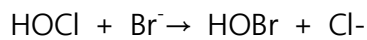
대부분의 기술이 전처리로 필터를 사용한 후 주요 공정을 거치게 되는데 전기분해기술이 많이 사용되고 있음. 이는 비교적 간단한 부대장비로 높은 살균효율을 기대할 수 있으며, 전기분해 시 발생하는 활성물질(총잔류산화물질, 이하 TRO(Total residual oxidant))의 잔류효과로 기대 살균효과가 높기 때문이다.

전기분해 살균 메커니즘은 해수의 주요 이온인 염소이온, 브롬이온과 반응하여 각각 클로린(HOCl/OCl⁻)과 브로민(HOBr/OBr⁻)을 생성시켜 미생물을 사멸시킨다.

(Chlorination)



(Bromination)



현재 선박평형수 처리에 가장 많이 적용되는 전기분해는 그 기술특성상 전기분해 시 소요되는 고전류로 인해 선박의 발전량이 추가로 요구되고, 이로 인해 연료소모량이 더해지고 평형수 배출 전 후처리과정에서 반드시 잔류 활성물질을 화학약품으로 중화해야 하므로 필연적으로 해양생태계로 약품 및 잔류 TRO 등 Chemical류가 배출된다.

이렇듯 중화제 사용 및 활성물질의 해양배출 문제로 대부분의 전기분해 기반 선박평형수장치 메이커들은 필터, UV 등 물리적인 처리메커니즘 및 기타 육상에서 하폐수 수처리 기술과 하이브리드 시키는 경향이 뚜렷하다 (표 4.18)

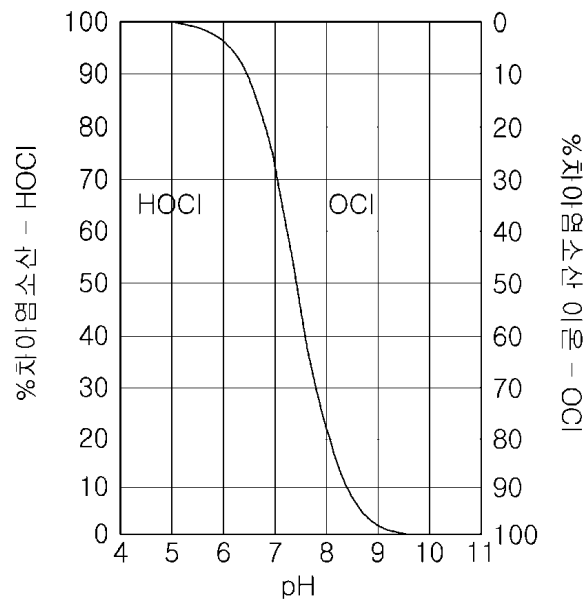
이에 기존 전기분해기술의 고도화를 통해 전기분해 시 발생하는 활성물질의 살균효과를 높여 현재 IMO D-2 기준을 만족시키기 위한 TRO 농도를 저감시키고, 이로 인해 후처리시 사용되는 중화제 사용량을 절감 시킬 필요성이 국내외 관련 업계에 요구되는 실정이다.

<표 4.18> 전기분해 하이브리드 기술 현황

국가	경쟁사명	기술명	기술내용
한국	Techcross	Electro-Cleen	전기분해, 필터
일본	일본선박안전협회	Special pipe	필터, Cavitation, 오존
독일	RWO	Clean Ballast	필터, 전기분해
남아공	Resource	Resour Ballast	Cavitation, 전기분해, 필터, 오존
노르웨이	OceanSaver	OceanSaver	필터, 전기분해, Shockwave, Cavitation, 탈산소
네덜란드	Greenship	Sedinox	원심분리기, 전기분해
미국	Siemens	Sicure	필터, 전기화학
덴마크	DESMI	DESMI Ocean guard	필터, 오존, UV

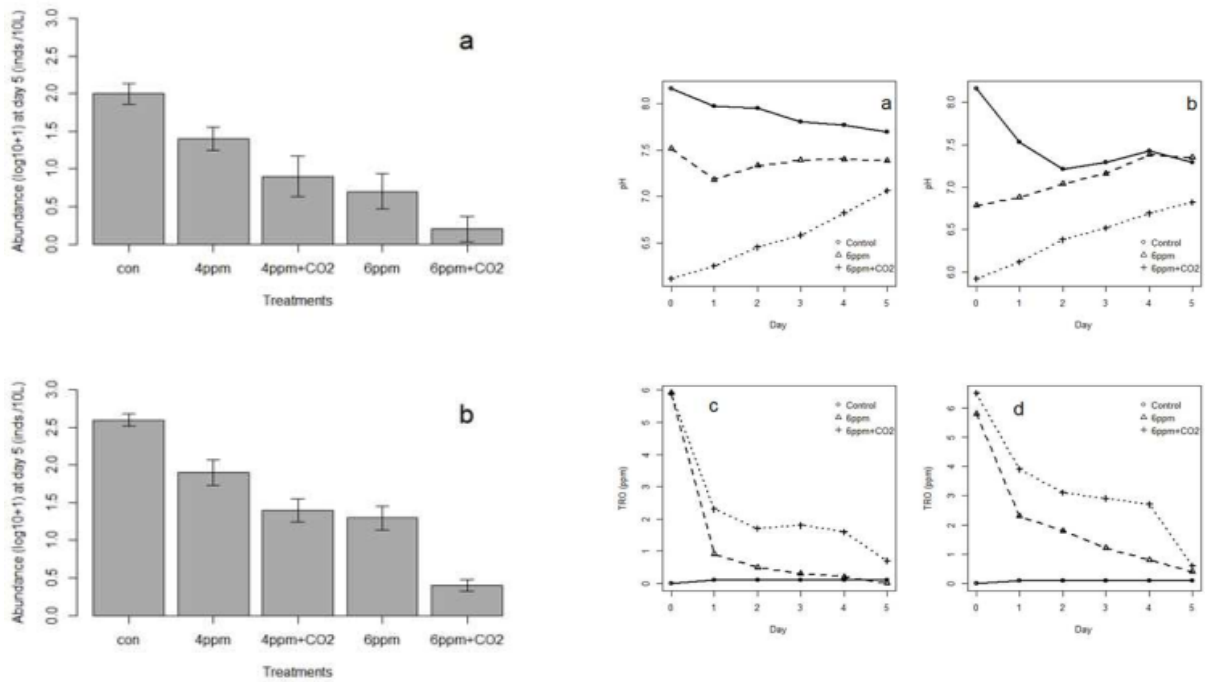
- 국내외 이산화탄소를 이용한 선박평형수 처리 연구현황

해수의 전기분해에 의해 생성되는 살균제 중 유리잔류염소 (Free available chlorine)는 HOCl과 OCl⁻이며 전기분해 시 유리잔류염소 (Free available chlorine) HOCl과 OCl⁻은 상호 비가역적으로 발생하며, 수중의 pH가 낮을수록 HOCl의 존재 비율이 높고, 해수의 경우 pH가 8~9 사이이므로 실제 전기분해 반응을 통해 발생된 HOCl이 분해되어 (HOCl → H⁺+OCl⁻)OCl⁻형태로 대부분 존재하게 되는 경향이 있다 (그림 4.36).



<그림 4.36> pH에 따른 전기분해 시 발생하는 활성물질의 존재비율

국내의 한 연구에 따르면 HOCl은 OCl과 비교하여 산화력이 강해 살균효율이 약 80배정도 높기 때문에 이산화탄소를 전기분해에 활용한 생물 살균 결과 전기분해에 CO₂주입 시 전기분해에 비해 살균력이 증가하였고(왼쪽), 전기분해로 발생된 산화제의 농도가 오래 지속됨을 (오른쪽) 보고하였다 (그림 4.37, 선박기인 이산화탄소 포집 및 선상 내 활용기술 개발, 한국해양과학기술원 2014).



<그림 4.37> 이산화탄소 주입에 의한 TRO 및 pH의 변화

(가) 선박평형수 처리를 위해 사용되는 CO₂ 양 산출

Higge 반응기로 선박(58,000 GT 기준)에서 CO₂를 연간 약 20,000톤을⁹⁵⁾ 포집할 수 있다고 가정했을 때 포집된 CO₂를 약 30톤 (1/600 압축)으로 압축할 수 있고, 선상 포집된 CO₂는 연간 선박평형수 처리를 위해 약 4,500~13,000톤 사용되는 것으로 산출할 수 있는 것으로 계산되었다 (표 4.19). 따라서 포집된 CO₂의 약 20~60%를 선박평형수 처리를 위해 사용할 수 있다.

95) (표 4.4, 870톤 포집 (2주 운항) X 23회/년) 가정

<표 4.19> 선박평형수 처리에 사용되는 CO₂ 추정치

	Ballasts Water to treat per each time (ton)	Annual ballast to treat (CO ₂ 사용량,ton/yr)	Comments
Avg discharge	7000 ⁹⁶⁾	4550 ⁹⁷⁾	
Container	11600	7540	20% of dead weight ⁹⁸⁾ , dw of 1 times the GT,13 times to treat ⁹⁹⁾
Cargo	19720	12818	dw of 1.7 times the GT

(2) 선박 오수 처리 기술

국제해사기구(IMO, International Maritime Organization) MARPOL 73/78의 부속서 IV의 조항 중 선박에서 오수를 배출할 경우 200톤 이상의 선박은 육상 정화조 설비와 유사한 오수처리장치에서 처리한 후 배출해야 하는 국제 협약이 발효되었다. MARPOL Annex IV의 1.3규칙에 따라 2012.3.28 이후 시행되는 Sewage No Discharge Zone은 15명 이상을 태우거나 400톤 이상의 모든 여객선과 오수저장탱크를 비치하고 있는 400톤 이상의 국제항해에 종사하는 화물선에 해당된다. 가령 캘리포니아 NDZ 입항전에 처리장치 + 오수저장탱크 내에 보관하고 있던 오수를 전량 배출하고 입항한 선박들은 정박 도중 발생한 오수를 처리장치를 통하여 배출이 가능하다. 선박오수의 전기분해 처리가 가능하므로¹⁰⁰⁾ 포집이산화탄소의 활용은 오수처리의 효율을 높여 줄 것으로 기대된다.

96) 미국에 입항하는 선박 1척의 1회 평균 평형수 배출량 (Miller, A., et al. (2007). "Status and trends of ballast water management in the United States." Third Biennial Report of the National Ballast Information Clearinghouse.(January 2004 to December 2005). Smithsonian Environmental Research Center. Report Submitted to the United States Coast Guard.)

97) (밸러스트처리시 밸러스트양의 약 1/20의 CO₂ 필요) X (년간 13회 평형수 처리-26회 한미 왕복 운항시 절반인 unloaded 시의 처리 가정)

98) 선박의 밸러스트의 양 추정치는 dead weight 의 약 20% (David, M., Gollasch, Stephan (2012). Global Maritime Transport and Ballast Water Management, Springer).

99) GT를 각 배의 유형에 따라 DW으로 환산하고 다시 밸러스트의 양을 계산함. (Stopford, 1982). Tankers: 1 GT=1,75 dwt, Bulkers: 1 GT = 1,7 dwt, General Cargo: 1 GT = 1,44 dwt, Container: 1 GT = 1 dwt, Passenger 1 GT = 0.9 dwt

100) 김 과 길 (2007) 해양오염 관리를 위한 선박오수의 전기분해 처리. 수처리기술(한국수처리학회 논문집), v.15 1-18



<그림 4.38> (주)세광 마린텍의 선박용 오수처리 전기분해장치

<표 4.20> 선박오수처리장치 시장 분석¹⁰¹⁾

구 분	현재의 시장규모(2007년)	예상 시장규모(2010년)
세계시장규모	3,000억 원	5,000억 원
한국시장규모	250억 원	300억 원

※ 산출근거 : 연간 국내 선박건조량(평균 300척)과 IMO의 200톤 이상 선박의 오수처리시설 의무화에 따른 환산 (선박용 오수처리시설 대당 예상가격 : 20,000\$~40,000\$)(육상 오수처리시설 설비 시장규모 제외)

101) ICT Standardization Roadmap 2009

4.3.2. 육상 활용 분야

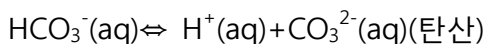
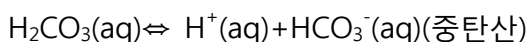
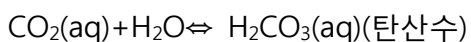
(1) 응집보조제 활용

정부가 팔당 등 하천의 수질이 악화되고 있고 정수처리에 관한 법 기준이 강화됨에 따라 사용가능한 수처리제 품목에 이산화탄소(CO₂)를 응집보조제로 신규 지정하였고, 이에 따라 국내에서 사용되는 수처리제는 Poly Aluminum Chloride 등 응집제 9종, 차아염소산나트륨 등 살균·소독제 5종, 방청제 1종, 수산화칼슘 등 기타 9종으로 총 24종으로 분류된다.

환경부는 최근 유량 감소로 인한 수질악화 및 계절별로 조류발생이 증가하면서 원수의 pH 증가에 따른 응집효율이 저하돼 응집제 투여량이 증가하고 있다고 파악하고 이를 방지하기 위한 수단의 하나로 이산화탄소(CO₂)를 응집보조제로 신규 지정하였다.

이산화탄소는 미국, 유럽 등 선진국에서 갈수기 때 pH 상승으로 응집효율이 저하되거나 소독부산물의 전구물질인 유기물질 저감이 필요한 때에 널리 사용되고 있다. 특히, 알칼리도 및 칼슘 성분이 적은 상수원수에 사용하면 배수도관 부식을 방지하기 위해 투입되는 수산화 칼슘(Ca(OH)₂)의 용해도가 높아지면서 수도관의 부식 정도가 22%까지 현저히 개선되는 효과가 확인됐으며, 일부에서 사용되던 부식성 및 독성이 강한 황산(H₂SO₄, 93%)을 대체할 수도 있을 전망이다.

- 이산화탄소에 의한 pH 조절 이론



(수중 수소이온 증가에 따른 pH 하강)

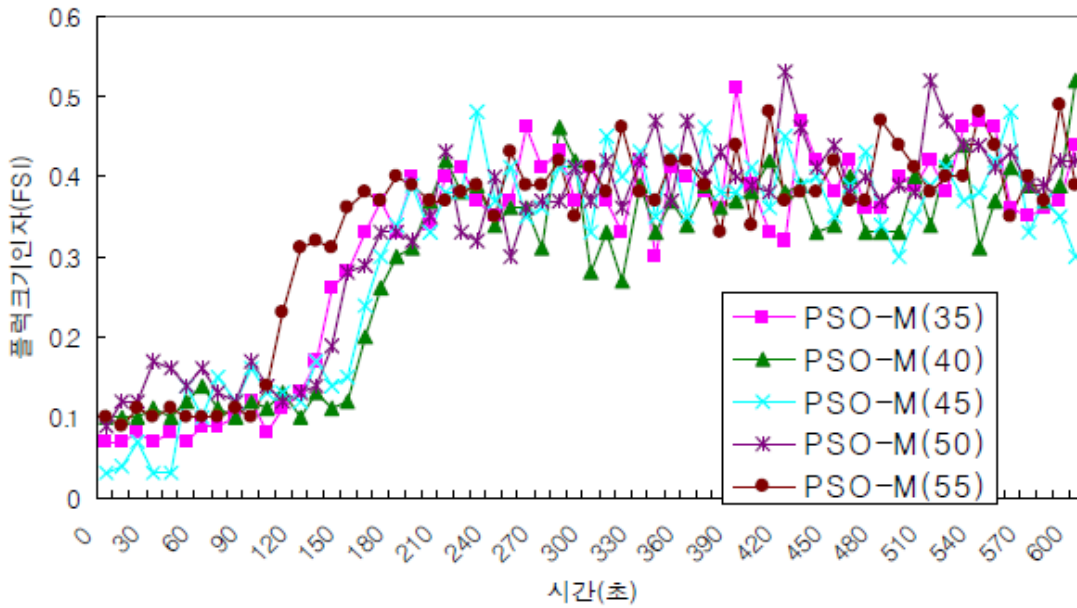
<표 4.21> 국내 수처리제 현황

구분	수처리제 품목
응집제	폴리염화알루미늄(Poly Aluminum Chloride), 황산알루미늄(Aluminum Sulfate), 알긴산나트륨(Sodium Alginate), 폴리황산규산알루미늄, 폴리수산화염화규산알루미늄, 황산제이철(Ferric Sulfate), 염화제이철(Liquid Ferric Chloride), 폴리아민(에피클로히드린 디메틸아민폴리아민), 폴리수산화염화황산알루미늄(Poly Alumium Hydroxy Chloro Sulfate)
살균/소독제	고도표백분(High Test Hypochlorite), 액화염소(Liquid Chlorine:Cl2), 차아염소산나트륨(Sodium Hypochlorite NaClO), 이산화염소(Chlorine Dioxide:ClO2), 오존(Ozone :O3)
기타 제제	수산화칼슘(Calcium Hydroxide, Slaked Line: Ca(OH)2), 활성탄(Activated Carbon), 황산동(Cupric Sulfate: CuSO4·5H2O), 수산화나트륨(액체, NaOH), 제오라이트, 일라이트, 황산(Sulfuric acid: 1종(93% 이상)과 2종(75% 이상)으로 구분, 안정화 이산화염소, 이산화탄소(CO ₂)

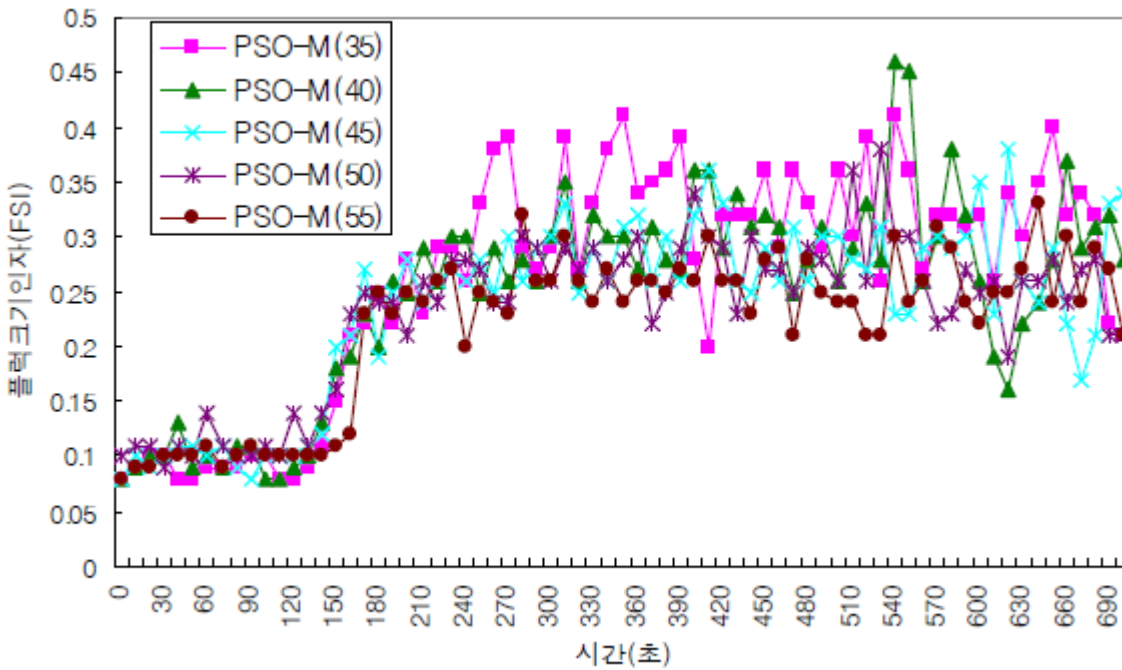
(가) 적용사례

○ 부산광역시 상수도사업본부

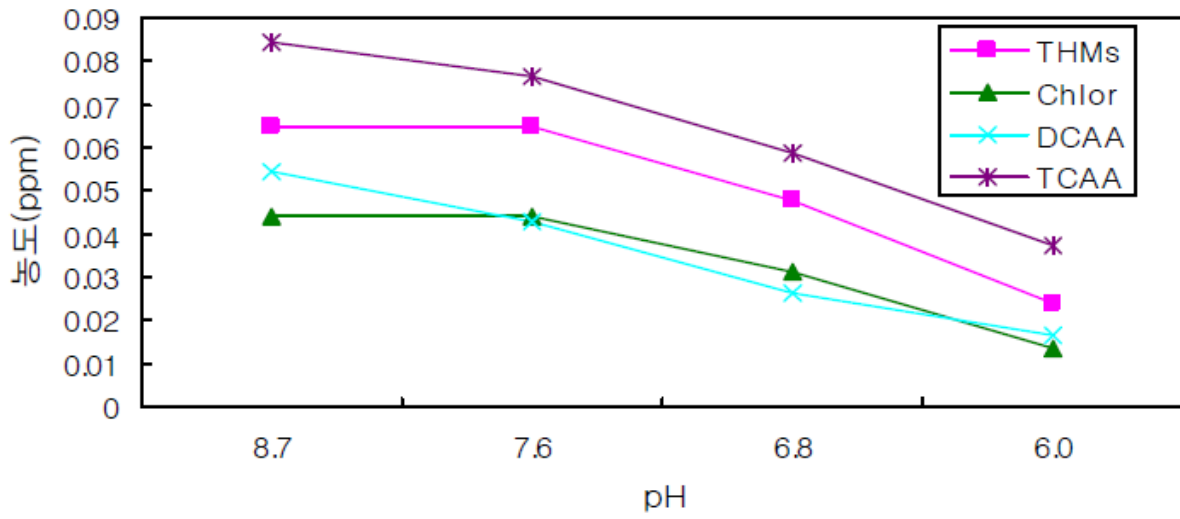
- 프로젝트명 : 이산화탄소 투입에 의한 원수 pH 조절연구
- 배경
 - 갈수기에 조류증가로 원수수질악화에 따른 pH 상승
 - pH 상승으로 인한 응집효율 저하로 응집제 과다 소요
 - pH 조절을 위한 전염소 과량 투입으로 염소소독부산물 증가
 - pH 상승할 경우 염소소독부산물 형성농도 증가
 - 전염소 투입만으로 원수 pH 조절에 한계
- 이산화탄소 투입에 의한 원수 pH 조절
- 결과
 - 원수 pH 조절에 의한 응집효과 증대
 - 침전지 월류수 탁도 저감으로 여과지 부하율 감소
 - 응집제 및 염소주입량 감소로 예산절감
 - 원수 pH 조절에 의한 염소소독부산물 저감
 - 정리처리공정 중 약품투입 자동화에 매우 유리



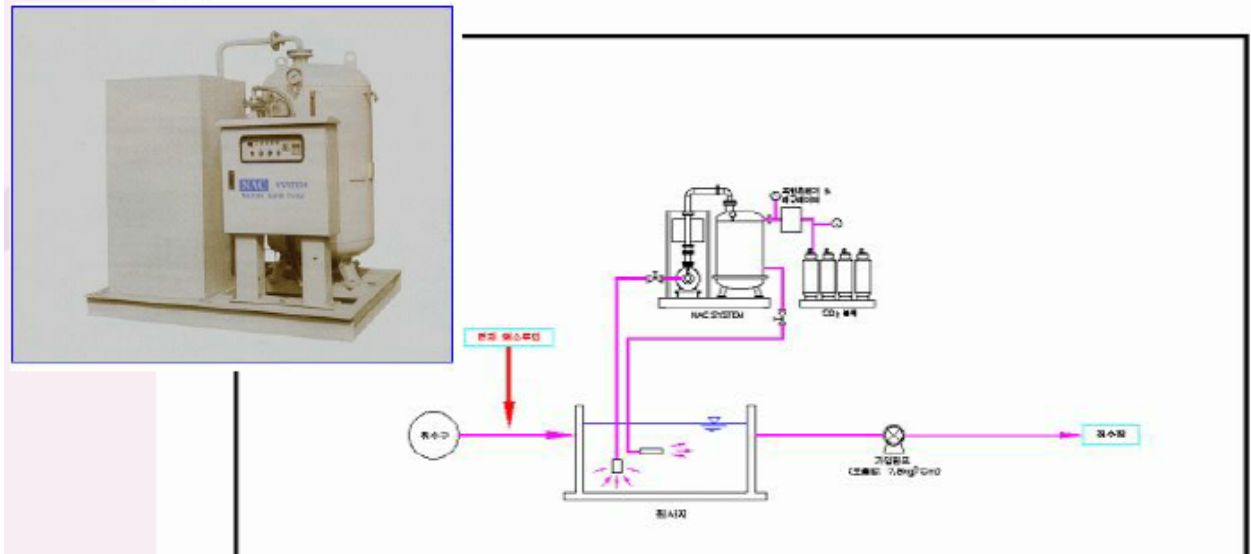
<그림 4.39> pH 조절 전 플록형성 상태 비교
(PSO-M 50ppm에서 평균 FSI 0.41로 가장 양호)



<그림 4.40> pH 조절 후 플록형성 상태 비교
(PSO-M 35ppm에서 FSI값 양호하나 높은 pH에서 보다 작음)

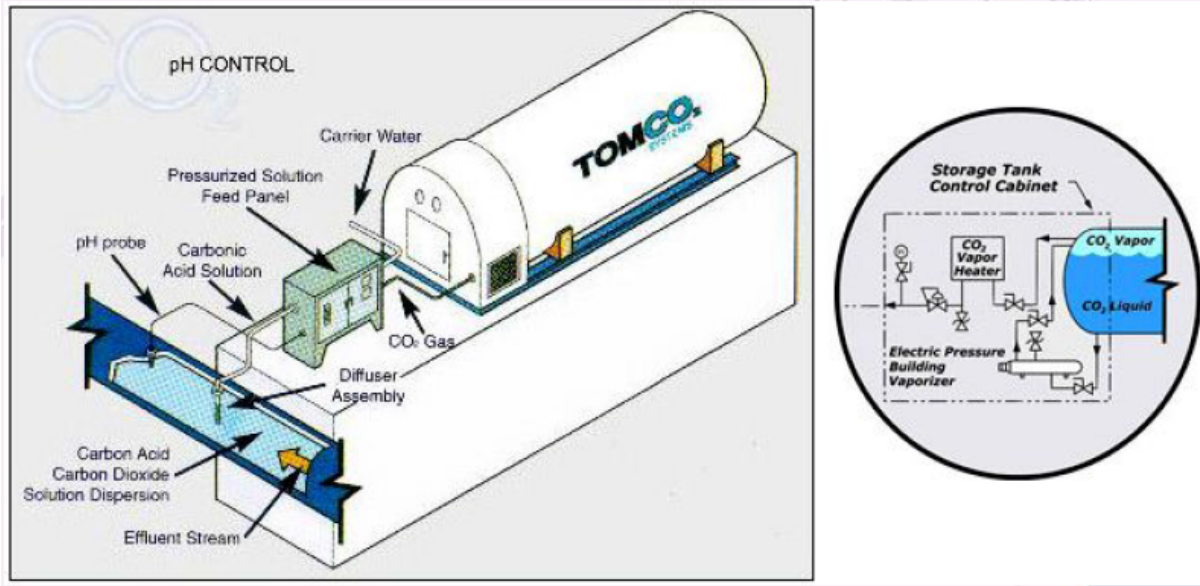


<그림 4.41> 이산화탄소를 이용해 pH조절에 따른 소독부산물 농도 변화



<그림 4.42> 이산화탄소용해시스템

(일본 NAC사, 부산광역시 상수도사업부 화명정수사업소 가동 중)



<그림 4.43> 이산화탄소용해시스템
(미국 TOMCO₂사, 경기도 수자원공사 덕소정수장 운영 중)

(2) 선박폐수(선박폐유) 처리 분야

해양환경관리공단(구 한국해양오염방제조합)은 해양환경관리법(구 해양오염방지법) 및 해양오염방지를 위한 국제협약(MARPOL 73/78)에 근거하여, 선박폐유 등의 배출에 의한 해양오염방지 및 해양환경보전을 위하여 전국 13개 항만에 선박폐유 수용시설을 운영하고 있다.

선박폐유 수용시설은 폐유 등 액상 폐기물 저장탱크와 이들 유성 혼합 폐기물의 처리시설과 관련 부속 설비를 갖추고, 선박에서 발생하는 폐 윤활유, 빌지 등 각종 유성 혼합물과 고상 폐기물(기름걸레 및 폐 필터)을 수거, 저장, 처리하고 있다.

기존의 선박폐유 수용시설은 해양환경관리법에 규정된 유분농도 15ppm 이하 배출 기준만을 충족할 수 있는 단순한 유수분리 배출 공정으로 운영되고 있으나 이는 유수분리 전처리장치, 부상식 유수분리시설, 폐수여과탱크 사용 등 대단히 복잡할 뿐만 아니라 유수분리 효율성이 매우 떨어져 작업능률 저하에 따른 작업자의 업무 부담이 컸으며, 또한 공정 과정에서 발생하는 악취 및 유해가스는 처리가 불가능한 실정이다.

저장탱크 ➡ #2저장조 ➡ API(중력식 유수분리) ➡ #3
저장조 ➡ PU(전처리) ➡ 유화분리약품(emulsion
breaker) 투입 ➡ IAF(부상식유수분리) ➡ #4저장조 ➡
활성탄여과 ➡ #5저장조 ➡ 부유물질제거(흡착) ➡ #6
저장조 ➡ 방류수 배출

<그림 4.44> 기존 선박폐유 처리시설 단계

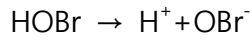
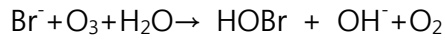
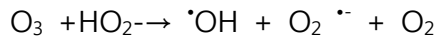
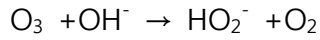
이러한 단점을 보완하고자 기존 육상폐수처리 기술은 오존을 사용하여 기존의 시설에 전혀 변형을 주지 않고 오존 발생기와약품 교반기와 투입기를 추가 설치하고, 필요 없는 공정을 배제하여 전체 처리공정을 대폭 줄일 수 있는 기술이 도입되는 실정이다.

오존을 이용한 선박폐유 처리는 기름 및 염분을 다량 함유하고 있는 폐수에 대하여 우선적으로 기름성분을 제거하기 위해 비중차를 이용한 중력식 유수분리장치로 폐수 표면에 부상하는 기름성분을 제거한 후, 강력한 산화작용을 하는 오존(O₃)을 폐수중에 투입·접촉시켜 유화된 기름 및 각종 오염성분을 산화·제거 한다.

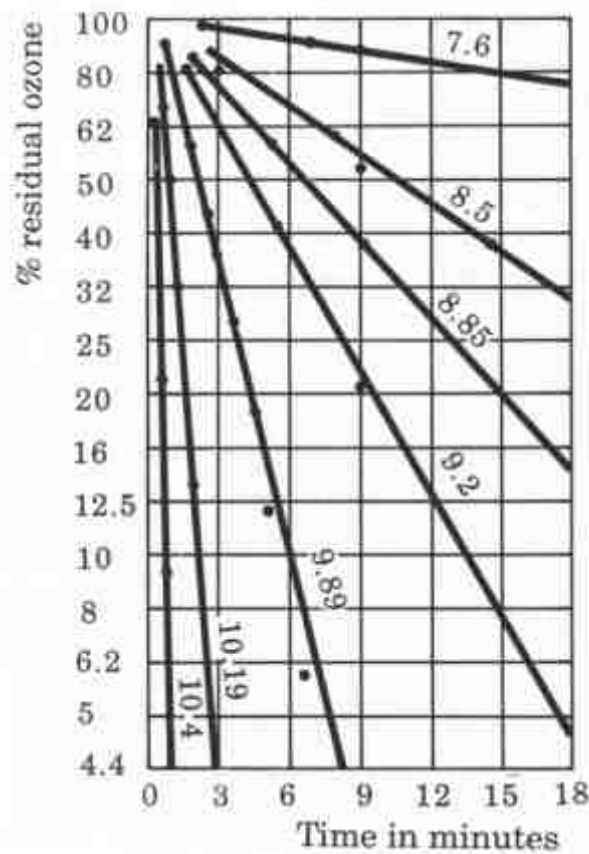
저장탱크 ➡ #2저장조 ➡ API ➡ #3저장조(오존살균탈취
장치) ➡ #4저장조(약품투입·교반) ➡ #5저장조(오존살
균탈취장치) ➡ 부유물질제거장치(제외 가능) ➡ #6저장조
➡ 방류수 배출

<그림 4.45> 오존처리 기술을 적용한 선박폐유 처리시설 단계

오존의 오염물질 산화제거 메커니즘은 해수중에 포함된 브롬이온을 활성화시켜 발생하는 HOBr 또는 OBr-에 의해 직접적으로 산화제거 되며, 오존의 일부가 순간산화력이 강한 OH radical로 일부 분해되어 이를 통해 간접 산화력을 가진다.



해수 중 오존의 주요한 산화력 HOBr과 OBr⁻으로 나타나는데 HOBr의 산화력이 월등히 높아 pH 조절에 의해 HOBr의 존재비율을 높임으로서(pH가 낮을수록 HOBr의 비율이 높아짐) 오존의 산화력을 증대시킬 수 있고, OH radical의 경우 살균력이 pH에 크게 의존함(pH가 낮을수록 살균력 지속 경향)에 따라 이산화탄소를 이용한 해수의 pH 조정기술로 오존의 산화력을 높일 수 있을 가능성이 있다.



<그림 4.46> 오존 잔존량과 pH와의 관계¹⁰²⁾

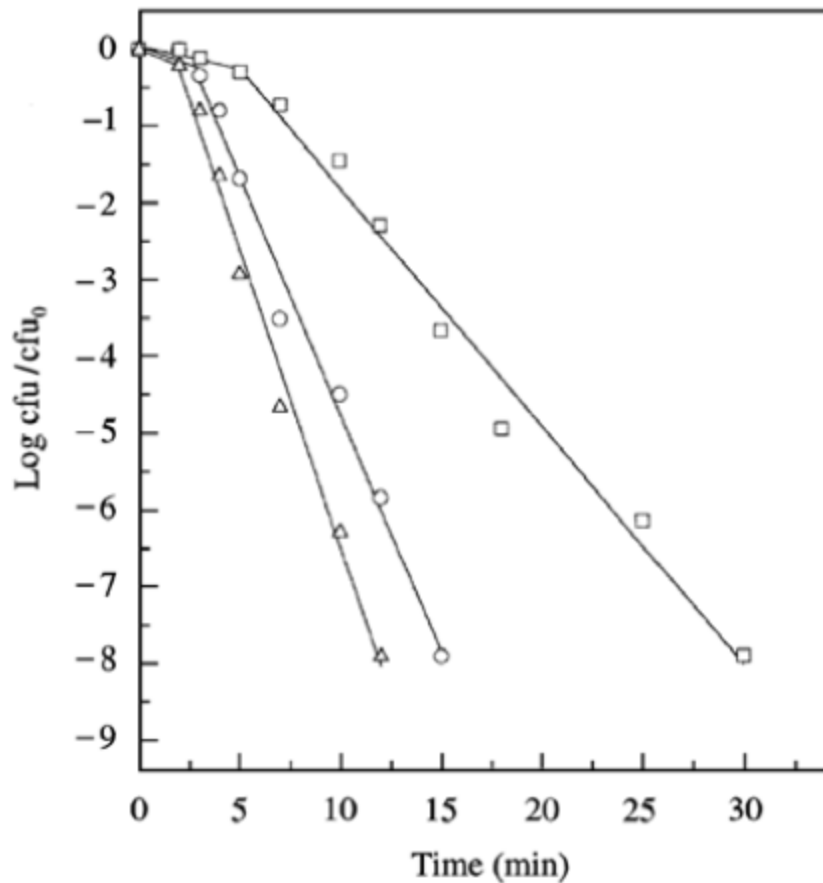
102) <http://www.lenntech.com/library/ozone/decomposition/ozone-decomposition.htm>

(3) 직접 살균제 활용

식품 중 열처리방법으로 미생물을 죽이는 경우 향, 맛 그리고 영양소까지도 파괴된다. 따라서 열을 사용하지 않고서 살균할 수 있는 많은 기술들이 연구되어 왔다. 이러한 기술 가운데 고압의 이산화탄소의 이용한 살균 기술에 대한 관심이 높아지고 있다.

이산화탄소를 이용할 경우 부패하기 쉬운 식품의 보관기간 까지도 연장 가능하다.

터키의 Gaziantep대학교, 식품공학과 O. Erkmén 교수에 의하면 60기압에서 Physiological saline (PS)에 현탁물로 존재하는 살모넬라균의 살균실험을 수행한 결과 25°C에서는 35분만에 그리고 35°C에서는 약 15분 만에 살모넬라균을 완전히 살균제거 되었다.



<그림 4.47> 이산화탄소를 이용한 살모넬라균의 살균제거 결과
(pH 4.78~4.99, 25°C(□), 35°C(○), 45°C(△))

살모넬라균이 죽는 이유로는 이산화탄소가 도입되면서 균 내외부의 pH가 낮아지는 것으로 설명된다.

이와 유사한 연구가 1991년 Wei등에 의하여 수행되었고, 새우와 달걀의 혼합물의 pH를 이산화탄소를 이용하여 산성조건으로 조정 후 측정된 결과 살균효과를 확인하였다. 같은 조건에서 고압의 질소를 처리한 후에 측정된 pH는 변화가 없었으며, 살모넬라균이나 Lisetria균의 개체수가 감소하지 않았다.

이산화탄소가 살균하는 다른 메카니즘으로는 이산화탄소가 균의 인지질이나 친유성 화합물을 추출하여 biological system을 교란하거나 균형을 깨뜨리기 때문에 셀 벽을 파괴하지 않고도 미생물의 활성을 감소시키는 것으로 판단된다.

이산화탄소에 의한 살균은 열변성 화합물에 적용할 수 있는 새로운 유망주로서 세계적으로 주목을 받고 있다.

- 관련연구 및 기술현황

<표 4.22> 이산화탄소의 직접살균 기술 현황

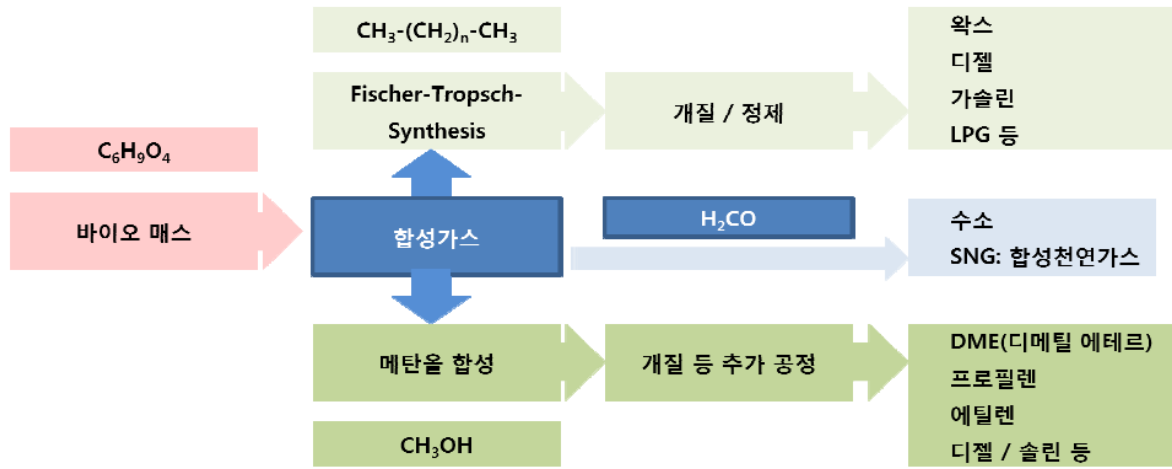
항목	기술명
Food Microbiology, 2006	Inactivation of Alicyclobacillus acidoterrestris Spores in Apple Juice by Using Supercritical Carbon Dioxide
Korean J. Food Sci. Technol., 1997	고압 이산화탄소에 의한 Leuconostoc sp.의 살균 효과
Food Microbiology, 2000	Inactivation of Salmonella typhimurium by high pressure carbon dioxide
특허 제10-0711134호	초임계 이산화탄소를 이용한 미생물의 살균방법
특허 제 10-2012-0140090	조용매의 상승효과를 이용한 초임계 이산화탄소에 의한 곰팡이 포자 살균 방법

4.3.3. 대체연료 분야

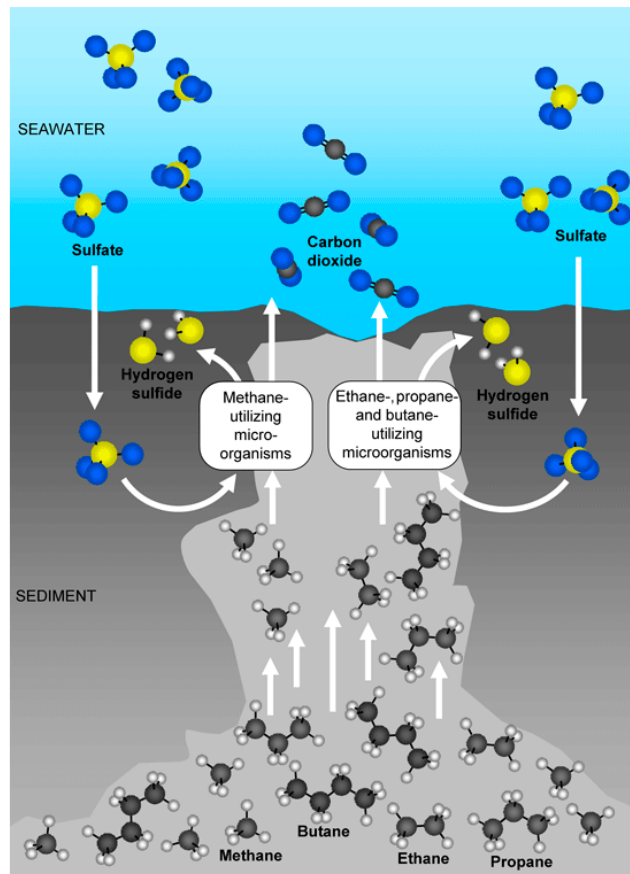
독일의 MPI(Max Planc Institute)에서 이산화탄소를 이용하여 단순하고 효율적인 공정으로 메탄을 메탄올로 전환시키는 촉매를 개발하였다.

그밖에도 피셔 트롭쉬 합성(Fischer tropesch synthesis) 등을 이용하여 그림 4.48과 같이 이산화탄소를 이용하여 여러가지 부산물질 또는 가스를 생산해 낼 수 있는 기술이 개발되었다. 이

기술들은 배출이산화탄소를 효율적으로 이용할 수 있는 방안으로 평가된다.



<그림 4.48> 바이오 매스와 배출이산화탄소를 이용한 합성연료 생산 계략도



<그림 4.49> 이산화탄소를 이용한 생물학적 메탄을 생산

(독일 MPI사, The newly identified bacteria use sulfate instead of oxygen to respire. In the process, they convert sulfate (SO_4) into hydrogen sulfide (H_2S), and oxidize the short-chain hydrocarbons (ethane, propoane, and butane) into carbon dioxide (CO_2))

이 기술은 향후 다가올 수소경제 사회에 대비한 대단히 효율적이고 고무적인 기술로 평가되고 있으며, 하나의 예로 현재 생산되는 대부분의 연료전지용 수소는 천연가스를 개질하여 (Steam reforming 방식) 사용하는 것이 대부분인데, 이 공정에서 발생하는 배출이산화탄소의 양 역시 무시할 수 있는 수준이 아니므로, 배출된 이산화탄소를 화학적 합성을 통해 수소를 생성하는 기술은 기존 천연가스 개질방식에 비해 경제성 높은 기술로 평가된다.

V. 경제성분석 및 파급효과

- 1 R&D사업 편익 추정의 원칙
- 2 편익의 추정
- 3 비용의 추정
- 4 경제성 분석결과
- 5 경제적 파급효과 분석

V. 경제성분석 및 파급효과

5.1 R&D사업 편익 추정의 원칙

직접적 편익이란 R&D사업의 1차적인 목적과 관련된 편익을 의미하며, 사업의 1차적인 목적에 부합하지 않는다면, 비록 해당 R&D사업으로 발생하는 편익이라 하더라도 간접적 편익으로 보는 것이 적절하다. 간접적 편익이란 R&D사업의 2차적인 목적, 즉 부산물(by-product)의 성격을 가지고 있는 편익을 의미하며, 연구개발사업의 간접편익은 관련 지식의 증대, 인력양성 효과 등이 있는데, 사업의 특성에 따라 직접편익보다 더 중요할 수 있으므로 이러한 경우에는 추정하여 편익에 포함하며 간접적인 편익의 반영 여부는 그 중요성에 근거하여 판단한다.

편익은 시장에서 화폐단위로 평가할 수 있느냐 여부에 따라 유형편익(tangible benefits)과 무형편익(intangible benefits)으로 구분할 수 있다.

연구개발사업의 유형편익에는 기술개발을 통한 비용절감, 기술료 수입 등이 있으며, 무형편익에는 관련 지식의 증대, 과학기술자의 교육훈련, 국가위상의 제고 등이 있다. 일반적으로 무형편익은 시장가격이 없기 때문에 화폐단위로 측정하기가 곤란하지만, 최근에는 공공투자사업의 경제성 평가 시에 무형편익을 포함시키기 위한 여러 가지 측정방법이 개발되고 있다.

연구개발사업의 편익항목은 사업의 성격과 내용에 따라 매우 다양하므로, 해당 부처가 제출하는 사업계획서를 참고하여 편익항목을 구체적으로 세분화하는 것이 필요하다.

연구개발사업의 특수성을 반영하기 위한 가장 기본적인 방법은 사업별로 발생하는 편익항목을 도출한 후 이를 화폐가치로 추정하는 것인데, 계량화가 가능한 편익항목을 화폐가치로 추정하고 계량화가 불가능한 편익항목은 정성적으로 언급하거나 정책적 타당성 내의 특수평가항목에 반영할 수 있다.

연구개발사업의 편익은 원칙적으로 연구개발 투자활동의 결과로 나타나는 모든 긍정적 효과를 총칭하며, 미시적 수준에서 긍정적 효과를 구분한 다음에 각각을 추정한 후 거시적 수준에서 각각의 긍정적 효과를 적절하게 합산해야 한다. 연구개발사업으로 인해 혜택을 얻는 경제주체를 크게 소비자(또는 가계)와 생산자(기업 또는 산업)으로 구분한다면, 소비자에게 발생하는 편익은 소비자 잉여(consumer surplus)의 관점에서 평가되어야 하며, 생산자에게 발생하는 편익은 부가가치(value-added)의 관점에서 평가되어야 한다.

본 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업의 경우 생산자 측면의 부가가치 창출효과가 중요한 편익 항목이 될 수 있으며, 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템

구축 기획연구 사업의 결과로서 발생하는 가치창출의 1차적인 수혜자가 개발된 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기술을 적용하여 CO₂ 선박을 만드는 사업자라 할 수 있으며, 이 경우 본 연구개발로 인한 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업의 활성화로 발생하는 추가적인 부가가치의 크기가 바로 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업의 편익이다.

본 연구에서는 비용·편익분석의 기준년도를 2014년 12월 시점으로 설정하며, 특히 경제적 타당성 평가에서 편익과 비용이 제각기 다른 시점에서 발생되므로, 사회적 할인율을 이용하여 비교 가능한 동일시점의 가치로 일치시키는 작업이 필요하다.

5.2 편익의 추정

포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 사업은 투자가 완료된 직후인 2016년부터 2020년까지의 5년 동안 국가 R&D 연구사업이 진행되고, 연구사업이 종료된 직후인 2021년부터 2029년까지의 총 9년 동안 기술수명주기로 정하여 편익이 발생한다고 가정한다. 본 사업으로 인해 창출되는 시장규모는 우선 신규 선박을 대상으로 기술 및 시스템이 설치된다고 가정하여 2014년 신규 수주 건수인 2,047척에 총 4조 8천억원의 시장규모로 예측하였다.

한편, 부가가치율(%)은 부가가치유발액에서 총투입액을 나눈 뒤 100을 곱한 값이다. 시장규모가 곧 부가가치는 아니므로 신규시장 창출액을 구하기 위해서는 부가가치율을 곱하여 산정해야 한다. 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업에서의 부가가치율이란 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업의 총 산출액에서 부가가치가 차지하는 비중이다. 본 연구에서는 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업의 부가가치율을 2015년에 한국은행에서 발표한 2013 산업연관표 상에서 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업 부문을 정의한 후, 해당 부문의 부가가치율을 추정한 20.98%로 산정한다. CO₂ 선상활용기술에서 핵심인 포집 이산화탄소 장치 및 설비를 중분류상에서 32부문인 일반목적용 기계와 33부문인 특수목적용 기계를 합쳐 정의하였다.

R&D 기여도의 경우에는 편익의 과대추정을 방지하기 위해 현재 국가 예비타당성조사에서 한국과학기술평가원(KISTEP)의 지침상의 10.9% 또는 28.1%를 적용하였고, 통상 신태영(2004)에서 제시하는 28.1%를 널리 적용하고 있었다. 본 연구는 처리장치가 신규개발 장비인 점을 감안하여 10.9%도 적용가능하나 최근의 R&D 기여도의 향상에 근거하여 본 연구에서도 28.1%를 적용하여 산정하였다 (R&D 예타지침 1판, 2011).

연구개발사업에 대한 사업화의 최종 산출물은 해당 사업뿐만 아니라 민간의 연구개발 투자 및 유사 정부 연구개발 투자에 의해서도 영향을 받으므로, 사업기여도는 순수하게 본 사업이 기여하는 비중만을 추정하여야 한다. 본 연구에서는 사업기여율을 정확하게 파악하기는 매우 어려우므로 여러 예비 타당성조사 사례를 참고하여(하이퍼텍스 기계산업단지 조성 사업, 2015) 가정하였으며, 하이퍼텍스 기계산업단지 조성 사업 관련 연구비와 「2012년 연구개발활동조사보고서」의 연구비 비중을 활용하여 23.7%를 적용한다.

기술수명주기는 KISTEP의 「예비타당성조사를 위한 지식기반 및 분석시스템 구축」(2011) 자료에 근거하여 '기계 또는 기관 일반(연소기관 F02; 액체용 기계 F03, F04); 기관설비일반; 증기기관' 부문의 9년으로 산정하고, CO₂ 선상활용 처리설비의 설치비용은 Sox 저감장치의 견적가를 기준으로 22MW당 약 2백만 달러(환율 1달러 = 1,186원)로 조사되었다. 기준 선박은 22MW급 엔진의 CO₂ 선상 활용 처리설비를 장착하는 것으로 가정한다. 일반적으로 선박에서 22MW급 엔진은 중간규모의 용량이며, 컨테이너선 약 5000TEU급에 장착되고 있다. 2014년 기준 선박용 대형(저속) 선박용 엔진 시장의 약 98%를 차지하고 있다.

이상의 연구결과를 바탕으로 다음과 같은 경제적 편익 산정식에 적용하여(KISTEP지침) 신규시장 창출편익을 구하고자 한다. 신규시장 창출편익은 CO₂선박의 국산화로 인한 내수시장 증가분에 부가가치율, 사업화 성공률, 사업기여율, R&D 기여도를 곱한 값이다. 본 사업으로 인해 신규로 창출되는 시장규모는 4조 8천억원이고, 사업화 성공률, 부가가치율, R&D 기여도, 사업기여율의 요소를 곱하여 산정된 신규시장 창출 편익은 총 795.93억원이다.

이에 본 보고서의 '2013-2014 선종별 건조현황'에서 신규 수주인 2,047척에 적용하여 시장 창출이 이루어지는 것으로 가정하고, 국가 R&D 사업 5년과 기술수명주기는 9년으로 하여 총 14년간의 기간을 상정하였다. 국가 R&D 사업이 끝난 직후부터 적용되는 기술수명주기 총 9년 중, 전체시장 규모에서 초기 3년은 10%, 다음 3년은 30%, 마지막 3년은 50%의 점차적으로 확대되는 시장점유율을 적용하여 매출을 달성하는 것으로 가정하였다. 따라서 아래 표 5.1은 신규시장 창출편익을 정리한 것이다.

$$\begin{aligned}
 &\text{연간 경제적 편익(KISTEP 산정식 적용)} = \\
 &\text{시장점유율을 감안한 관련 시장의 미래 규모} \\
 &\quad \times \text{① 사업화 성공률} \\
 &\quad \times \text{② 부가가치율} \\
 &\quad \times \text{③ R\&D 기여도} \\
 &\quad \times \text{④ 사업기여율}
 \end{aligned}$$

- ① 사업화 성공률(%) = 43.2% (산업자원부의 지식경제기술혁신사업('11) 기계소재 분야 참고)
- ② 부가가치율(%) = 부가가치액/총투입액 X 100 = 20.98% (산업연관표 상 중분류에 해당하는 일반목적 기계, 특수목적 기계 부문 적용)
- ③ R&D 기여도(%) = 28.1% (KISTEP R&D 예타지침 1판, 2011)
- ④ 사업기여율(%) = 23.7% (하이퍼텍스 기계산업단지 조성 사업 관련 연구비 및 2012년 연구 개발활동조사보고서의 연구비 비중 고려한 것과 동일)

<표 5.1> 신규시장 창출편익

(단위: 억원)

연도	신규시장 창출규모	시점점유율	신규시장 창출편익
2016	48,579	10%	29.48
2017	48,579	10%	29.48
2018	48,579	10%	29.48
2019	48,579	30%	88.44
2020	48,579	30%	88.44
2021	48,579	30%	88.44
2022	48,579	50%	147.39
2023	48,579	50%	147.39
2024	48,579	50%	147.39
합계	437,211		795.93

5.3 비용의 추정

비용의 추정은 예비타당성조사 일반지침(제 5판)에 근거하여 예비비를 반영하되 부가가치세를 제외한 사업비 및 운영비 등을 추정하여 경제성 분석용 비용을 산정하였다. 사업비는 5년 동안 발생하며, 운영비용은 포집 이산화탄소의 선박 내부설비의 내구연한인 9년 동안 발생한다고 가정하였으며, 보수적 접근을 위해 잔존가치는 미반영하였다.

구체적으로는 다음과 같이 5년 동안 175억원의 R&D 예산이 소요된다. 이후, 처리장비 개발을 위해 광열비, 유틸리티비, 인건비, 보험료, 수선비 등의 예산을 배분하여 3년간 35억원, 3년간 45억원, 3년간 55억원이 소요되어 총 9년간 405억원이 소요되는 것으로 상정하였다.

<표 5.2> 연구개발 비용

(단위: 억원)

분야 \ 단계	1차년도 (2016년)	2차년도 (2017년)	3차년도 (2018년)	4차년도 (2019년)	5차년도 (2020년)	합계
선상 CO ₂ 포집 기술	17	32	31	0	0	80
선상 포집CO ₂ 활용기술	8	17	40	20	10	95
합계	25	49	71	20	10	175

5.4 경제성 분석결과

앞서 추정된 비용자료 및 편익자료를 이용하여 경제성 분석을 수행한 결과를 요약한 후, 표 5.3과 같이 비용 및 편익의 흐름을 자세히 제시하고, 표 5.4의 결과를 제시한다.

<표 5.3> 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업에 대한 비용 및 편익의 흐름

(단위: 억원)

년도	비용		편익		순편익	
	값	현재 가치	신규시장 창출 편익	현재 가치	값	현재 가치
2016	25	22.46			-25.00	-22.46
2017	49	41.73			-49.00	-41.73
2018	71	57.31			-71.00	-57.31
2019	20	15.30			-20.00	-15.30
2020	10	7.25			-10.00	-7.25
2021	35	24.06	29.48	7.96	-5.52	-3.79
2022	35	22.81	29.48	7.55	-5.52	19.21
2023	35	21.62	29.48	7.15	-5.52	18.21
2024	45	26.34	88.44	20.34	43.44	51.78
2025	45	24.97	88.44	19.28	43.44	49.08
2026	45	23.67	88.44	18.27	43.44	22.85
2027	55	27.42	147.39	28.87	92.39	46.06
2028	55	25.99	147.39	27.36	92.39	43.66
2029	55	24.64	147.39	25.94	92.39	41.38
합계	580	365.57	795.93	162.71	215.93	144.37

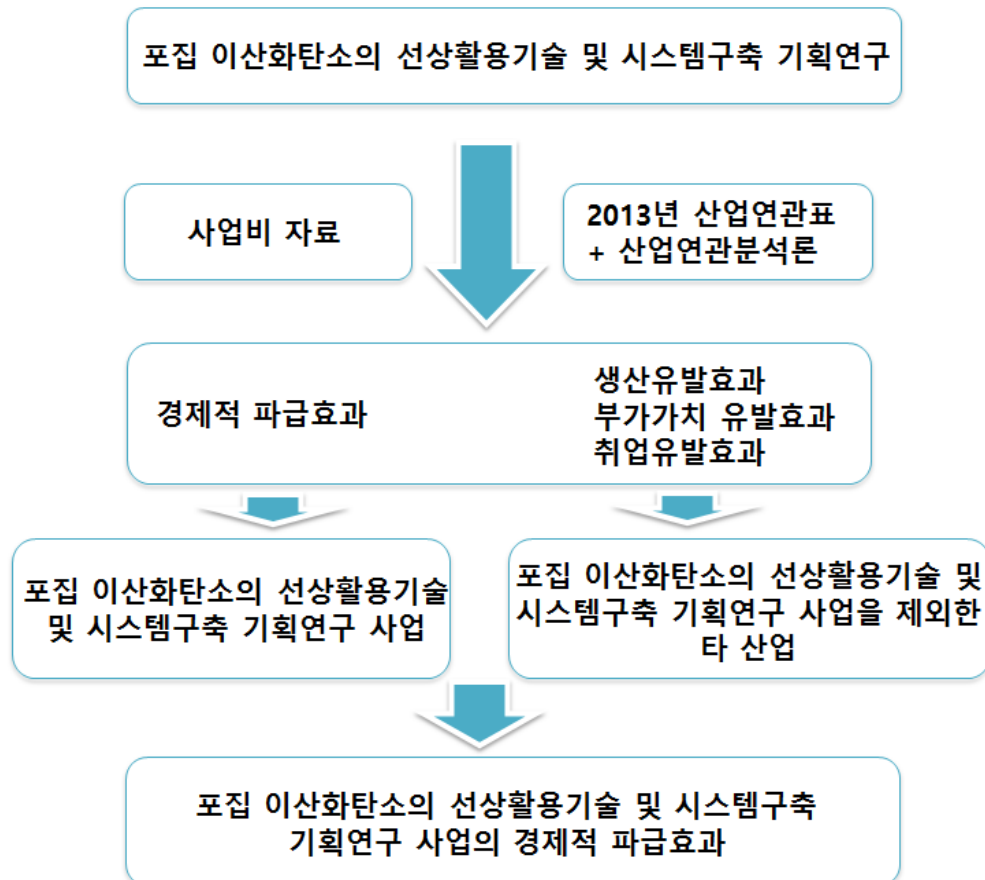
<표 5.4> 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업의 경제성 분석결과 요약

구분	순현재가치(NPV) (억원)	편익/비용 비율 (B/C ratio)	내부수익률 (IRR)
값	144.37	1.54	8.76%

5.5 경제적 파급효과 분석

5.5.1 분석의 구조

전후방 경제적 파급효과를 계량화하기 위해서는 개발 사업뿐만 아니라 다른 모든 경제부문을 미시적으로 파악하면서도 거시적인 상호 관계도 관찰할 수 있어야 하는데, 이를 위해서는 다양한 접근이 필요하다.



<그림 5.1> 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업의 경제적 파급효과분석 흐름도

산업연관분석(Inter-industry analysis)은 또는 투입산출분석(input-output analysis)이란 생산활동을 통하여 이루어지는 산업간의 상호연관관계를 수량적으로 파악하는 분석방법으로 국민경제 전체를 포괄하면서 전체와 부분을 유기적으로 결합하였다.

따라서 산업연관분석은 거시적 분석이 미치지 못하는 산업과 산업간의 연관관계까지도 분석이 가능하기 때문에 구체적인 경제구조를 분석하는 데 유리하다. 산업연관분석에서는 내생변수와 외생변수가 혼합되어 있는 경우, 외생적인 힘이 될 변수를 밖으로 내어주어 그 변수가 내생적인 경제부문에 미치는 영향을 살펴볼 수가 있는데 이를 외생화라고 하며, 외생화 기법을 적용하면 총수요가 아닌 특정부문의 산출물이 미치는 영향과 그 산출물이 타 산업에 유발하는 효과를 보다 명확히 알 수 있다.

한국은행에서 2015년에 발행한 2013년 산업연관표(투입산출표) 중 중분류인 82 부문을 활용하여 분석하였으며, 43 부문인 선박 부문, 50 부문인 폐기물 및 자원재활용서비스 부문, 52 부문인 토목건설 부문을 외생화 하였다. 표 5.5는 한국은행에서 발간한 2010년 기준 부문분류표로 산업연관분석에 활용한 사업들을 나타내었다.

<표 5.5> 2010 기준 부문분류에서 선정된 산업들

기본부문(384)		소분류(161)		중분류(82)		대분류(30)	
코드	상품명	코드	상품명	코드	상품명	코드	상품명
249	승용차	092	자동차	042	자동차	014	운송장비
250	버스						
251	트럭						
252	특장차						
253	트레일러 및 컨테이너	093	특장차 및 트레일러	043	선박		
254	자동차용 엔진	094	자동차 부품				
255	자동차 부분품						
256	강철제 선박	095	선박				
257	기타 선박						
258	선박 수리 및 부분품						
259	철도차량	096	철도차량	044	기타 운송장비		
260	항공기	097	항공기				
261	모터사이클	098	기타 운송장비				
262	기타 운수장비						
281	수도	104	수도	048	수도	017	수도, 폐기물 및 재활용서비스
282	하수 폐수 및 분뇨처리(국공립)	105	폐수처리	049	폐수처리		
283	하수 폐수 및 분뇨처리(산업)						
284	폐기물 수집 운반 및 처리(국공립)	106	폐기물처리	050	폐기물 및		

기본부문(384)		소분류(161)		중분류(82)		대분류(30)	
코드	상품명	코드	상품명	코드	상품명	코드	상품명
285	폐기물 수집 운반 및 처리 (산업)						
286	자원재활용서비스	107	자원재활용서비스		자원재활용서비스		
287	주거용 건물	108	주거용 건물	051	건물건설 및 건축보수		
288	비주거용 건물	109	비주거용 건물				
289	건축보수	110	건축보수				
290	도로시설	111	교통시설 건설				
291	철도시설						
292	항만시설						
293	하천사방						
294	상하수도 시설	112	일반토목시설 건설	052	토목건설	018	건설
295	농림수산토목						
296	도시토목						
297	환경정화시설						
298	통신시설	113	산업시설 건설				
299	전력시설						
300	산업플랜트						
301	기타 건설	114	기타 건설				

5.5.2 타 산업에 미치는 파급효과

타 산업에 미치는 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과를 보다 면밀하게 살펴본 분석결과는 표 5.6에 상세히 제시하였다. 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획 연구의 1.0000원 투자는 타 산업의 생산을 1.1082원, 타 산업의 부가가치를 0.3235원 만큼 유발하며, 10억 원 투자는 타 산업의 취업을 4.9412명만큼 유발하는 것으로 분석되었다.

본 사업의 생산유발효과로는 화학제품, 1차 금속제품, 금속제품 부문 순으로 높았고, 부가가치 유발효과는 화학제품, 도소매서비스, 금속제품 부문 순으로 높았으며 취업유발효과는 도소매서비스, 운송서비스, 전문·과학 및 기술 서비스 순인 것으로 분석되었다.

<표 5.6> 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업으로 인한 타 산업에 미치는 유발효과

부문 번호	부문명칭	생산유발계수		부가가치 유발계수		취업유발계수	
		값(원)	순위	값(원)	순위	값 (명/10억 원)	순위
1	농림수산물	0.0040	26	0.0022	23	0.1057	14
2	광산품	0.0062	24	0.0036	20	0.0208	25
3	음식료품	0.0074	22	0.0011	27	0.0219	23
4	섬유 및 가죽제품	0.0200	14	0.0046	17	0.0876	16
5	목재 및 종이, 인쇄	0.0162	17	0.0044	18	0.0774	17
6	석탄 및 석유제품	0.0523	6	0.0035	21	0.0038	30
7	화학제품	0.2183	1	0.0423	1	0.2888	6
8	비금속광물제품	0.0426	10	0.0118	12	0.1051	15
9	1차 금속제품	0.1684	2	0.0231	4	0.1311	12
10	금속제품	0.0838	3	0.0253	3	0.2147	8
11	기계 및 장비	0.0606	5	0.0171	8	0.1886	10
12	전기 및 전자기기	0.0481	8	0.0129	10	0.0716	18
13	정밀기기	0.0068	23	0.0020	24	0.0246	22
14	운송장비	0.0077	21	0.0017	25	0.0160	27
15	기타 제조업 제품 및 임가공	0.0433	9	0.0180	7	0.3126	5
16	전력, 가스 및 증기	0.0391	11	0.0082	15	0.0303	21
17	수도, 폐기물 및 재활용서비스	0.0052	25	0.0027	22	0.0210	24
18	건설	0.0024	28	0.0007	29	0.0193	26
19	도소매서비스	0.0779	4	0.0402	2	1.0659	1
20	운송서비스	0.0489	7	0.0169	9	0.5474	2
21	음식점 및 숙박서비스	0.0139	18	0.0052	16	0.2367	7
22	정보통신 및 방송 서비스	0.0197	15	0.0085	14	0.1093	13
23	금융 및 보험 서비스	0.0376	12	0.0193	6	0.2080	9
24	부동산 및 임대	0.0162	16	0.0120	11	0.0597	19
25	전문, 과학 및 기술 서비스	0.0358	13	0.0204	5	0.4042	3
26	사업지원서비스	0.0130	19	0.0088	13	0.3437	4
27	공공행정 및 국방	0.0014	29	0.0011	28	0.0120	28
28	교육서비스	0.0004	30	0.0003	30	0.0060	29
29	보건 및 사회복지서비스	0.0031	27	0.0016	26	0.0449	20
30	문화 및 기타 서비스	0.0080	20	0.0039	19	0.1626	11
	타산업효과	1.1082		0.3235		4.9412	
	자기산업효과	1.0000		0.2976		3.2293	
	총산업효과	2.1082		0.6211		8.1705	

'15년에 한국은행에서 발표된 2013년도 산업연관표를 이용하여 포집 이산화탄소의 선상활용 기술 및 시스템구축 기획연구 부문을 별도로 추계한 다음 경제적 파급효과를 추정하였으며, 그림 5.2에 종합화하여 제시하였다.

	자기 산업 효과	타 산업 효과	총 효과
생산 유발효과	1.0000원	1.1082원	2.1082원
	175억원	193.9억원	368.9억원
부가가치 유발효과	0.2976원	0.3235원	0.6211원
	52.1억원	56.6억원	108.7억원
취업 유발효과	10억원당 4.9412명	10억원당 3.2293명	10억원당 8.1705명
	864.7명	565.1명	1,429.8명

<그림 5.2> 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업의 경제적 파급효과 종합화

5.5.3 산업간 연쇄효과 분석결과

모든 부문의 생산물에 대한 수요가 각각 한 단위씩 발생할 때, 중간재로 사용되는 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업의 산출물 공급도 증가해야 하며, 이때 중간재 산업으로서 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업이 받는 영향의 정도가 감응도 계수이다.

감응도 계수로 파악할 수 있는 전방연쇄효과는 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업의 산출물을 다른 산업 생산의 원료로 파악하는 것인데, 일반적으로 한 산업의 제품이 각 산업부문에 중간재로 널리 사용되는 산업일수록 감응도 계수는 커진다. 포집 이산화

탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업의 영향력 계수는 최종 수요가 한 단위 발생할 때 중간재로 사용되는 타 산업부문에 미치는 영향력을 의미한다.

영향력 계수로 파악할 수 있는 후방연쇄효과는 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업의 산출물을 최종재로 보고 다른 산업의 산출물을 생산 원료로 파악한다. 일반적으로 생산과정에서 여러 산업으로부터 중간재를 필요로 하는 산업일수록 영향력 계수는 커진다.

감응도 계수의 평균과 영향력 계수의 평균은 정확하게 1이므로 1보다 낮으면 평균보다 낮으며, 1보다 크면 평균보다 크다고 볼 수 있다.

30개 부문과 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업 부문에 대해 감응도 계수와 영향력 계수를 계산한 결과는 표 5.7에 제시되어 있다.

화학제품이 1.9945로 가장 컸으며, 1차 금속제품이 1.9725, 도소매서비스가 1.5431로 각각 2, 3위를 차지하였다. 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업은 1.1140으로 8위를 차지하였다.

감응도 계수가 1보다 크다는 것은 일반적인 경기가 활황일 때 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업이 전반적으로 산업성장에 자극받는 정도가 크다는 것을 의미한다. 또한, 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업은 경기변동에 영향을 받는 산업이라는 것을 의미하며, 최종 수요적 성격보다는 중간 수요적 성격을 가진다.

각 산업별 영향력 계수는 운송 부문이 1.2978로 가장 높게 나타났으며, 음식료품 및 건설 부문이 각각 1.1534 및 1.1472로 2위 및 3위를 차지하였으며, 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업은 1.0885로 1보다 크게 나타났다.

영향력 계수가 1보다 크다는 것은 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업의 투자지출에 따른 경제적 파급효과, 즉 다른 산업을 견인하는 정도가 다른 부문보다 상대적으로 크다는 것을 의미한다. 따라서 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업은 전후방연쇄효과가 모두 높은 산업으로 중간수요적 제조업형이라 할 수 있다.¹⁰³⁾

103) 전후방연쇄효과의 크기에 따라 산업을 크게 네 가지 유형으로 구분할 수 있다. 첫째, 전후방연쇄효과가 모두 높은 산업은 중간수요적 제조업형, 둘째, 전방연쇄효과가 높고 후방연쇄효과가 낮은 산업은 중간수요적 기초산업형, 셋째, 후방연쇄효과가 높고 전방연쇄효과가 낮은 산업은 최종수요적 제조업형, 마지막으로 전후방연쇄효과가 모두 낮은 산업은 최종수요적 기초산업형으로 구분할 수 있다(한국은행, 1987).

<표 5.7> 한국은행 대분류 기준 30개 산업과 포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축
 기획연구 사업 부문의 감응도 계수·영향력 계수

부문 번호	부문명	감응도 계수 (전방연쇄효과)		영향력 계수 (후방연쇄효과)	
		값	순위	값	순위
1	농림수산물	0.8674	16	0.9143	17
2	광산품	0.5319	28	0.8365	22
3	음식료품	0.9986	11	1.1534	2
4	섬유 및 가죽제품	0.8173	20	1.0075	14
5	목재 및 종이, 인쇄	0.8704	15	1.0150	13
6	석탄 및 석유제품	1.2096	5	0.6232	31
7	화학제품	1.9945	1	1.0303	10
8	비금속광물제품	0.7169	23	1.0169	12
9	1차 금속제품	1.9725	2	1.1264	6
10	금속제품	1.0275	10	1.1433	4
11	기계 및 장비	0.8708	14	1.1341	5
12	전기 및 전자기기	1.0817	9	0.9498	15
13	정밀기기	0.5872	25	1.0692	8
14	운송장비	0.8585	17	1.2978	1
15	기타 제조업 제품 및 임가공	0.9090	13	1.0408	9
16	전력, 가스 및 증기	1.2767	4	0.7216	27
17	수도, 폐기물 및 재활용서비스	0.5595	26	0.8885	19
18	건설	0.5435	27	1.1472	3
19	도소매서비스	1.5431	3	0.8782	20
20	운송서비스	1.1655	6	0.8040	24
21	음식점 및 숙박서비스	0.7888	21	1.0183	11
22	정보통신 및 방송 서비스	0.9844	12	0.8928	18
23	금융 및 보험 서비스	1.1188	7	0.8306	23
24	부동산 및 임대	0.8394	19	0.6899	28
25	전문, 과학 및 기술 서비스	0.8482	18	0.8028	25
26	사업지원서비스	0.7391	22	0.7435	26
27	공공행정 및 국방	0.5078	30	0.6520	30
28	교육서비스	0.4854	31	0.6886	29
29	보건 및 사회복지서비스	0.5285	29	0.8619	21
30	문화 및 기타 서비스	0.6434	24	0.9333	16
31	포집 이산화탄소의 선상활용기술 및 시스템구축 기획연구 사업	1.1140	8	1.0885	7

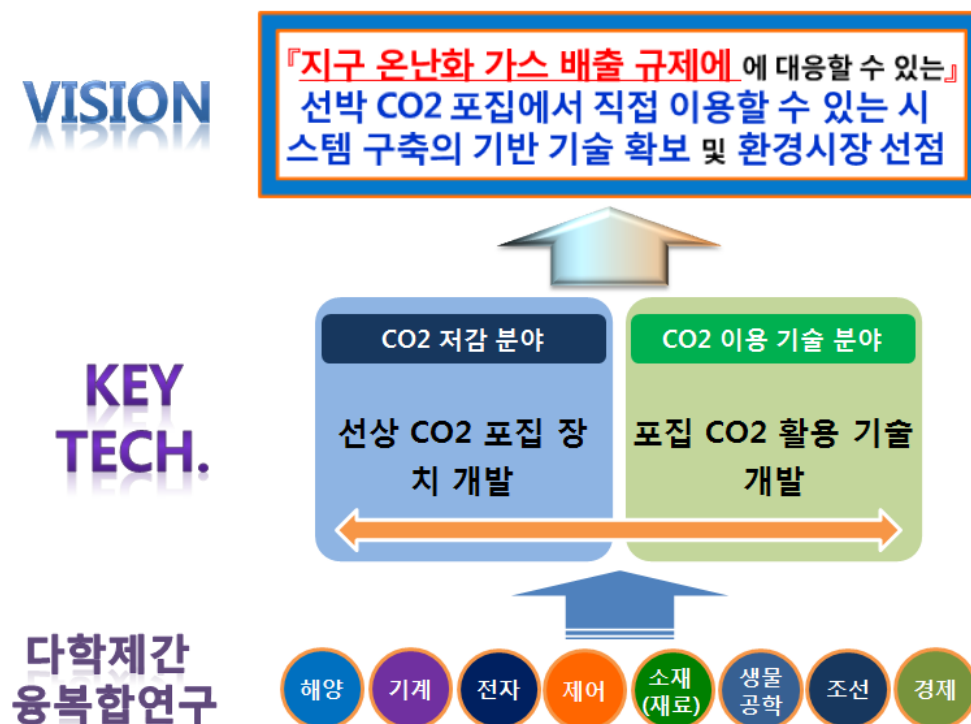
VI. 연구목표 및 제안기술

- 1 연구 목표
- 2 제안 기술
- 3 연구 개발 추진 전략 및 체계

VI. 연구목표 및 제안기술

6.1. 연구목표

- 국제해사기구(IMO)에서 향후 선박에서도 지구 온난화 가스인 CO₂ 저감을 추진하고 있으며, 이에 대비한 선상 CO₂포집 기술 검토가 대두될 것이다.
- CO₂ 포집기술은 육상에서는 이미 상용화 수준이며 다만 효율증대가 문제화되고 있다. 이에 반해 포집된 CO₂ 활용기술은 매우 제한되어 있고 특히나 선박에서의 선상활용기술은 전무한 상태이다.
- 본 기획과제의 제안은 **CO₂ 선상포집 과 포집 CO₂의 선상활용기술을 개발**하여 포집 CO₂활용을 다변화시키고, 선박에서 CO₂ 포집에서 활용에 이르는 시스템 구축의 기반기술을 제공하고자 한다.



6.2. 제안기술

6.2.1. 선상 직접 이산화탄소 포집기술 개발

가. 연구개발의 배경 및 필요성

1). 연구개발의 배경

- Process Intensification을 통한 포집장치 공간축소문제가 육상 이산화탄소 포집시설에서도 꾸준히 제기되고 있으며, 이에 대한 지속적 연구가 해외를 기반으로 추진되고 있고 향후 중요한 기술이 될 것으로 예상됨. 현재 Process Intensification 기술로 동일한 포집효과를 가지면서 최소 10배 이상의 공간효율을 높일 수 있는 기술이 개발되어 육상에서 운용되고 있음 (Rotating packed bed, RPB- HiGee).
- 선박 이산화탄소 포집관련해서 노르웨이 선급인 DNV 에서 제안한 바로는 대형유조선을 모델로 한 경우 선미부에 포집장치를 deck 에 액화저장장치를 탑재하는 것을 내용으로 하고 있음. 이 경우 전혀 유류 적재공간이 줄어들지 않으며 액체의 안전도에도 문제가 되지 않을 것으로 보고되고 있음. 따라서 RPB를 적용할 경우 공간적인 문제가 훨씬 줄어들 것으로 예상됨.
- RPB 기술의 경우 육상에서는 이미 상용화되고 있으나 선상포집에는 적용되지 않고 있음. 또한 RPB 기술의 이산화탄소 포집 효율증대를 위한 기술개발이 진행 중에 있으며 따라서 추가적 효율 향상을 위한 기술개발이 이루어져야 함.
- 이산화탄소포집 및 저장에 있어 특히 지중저장을 위한 선박 운송을 위한 액체화와 관련된 기술개발이 진행되어 왔으며 따라서 이러한 기술을 선박이산화탄소 포집 후 선상저장보관 방법 개발에 적용할 수 있을 것으로 보임.

2). 연구개발의 필요성

- 선박배출 이산화탄소 저감 기술 필요
 - 국제해사기구(IMO)는 선박에서 발생하는 이산화탄소 발생량을 2015년부터 현행 배출량 대비 10% 감축, 2020년 20% 감축할 예정임에 따라 선상에서 발생된 이산화탄소의 저감기술이 필요함.
- 이산화탄소 발생 저감을 위한 국제적인 움직임에 따라 최근 노르웨이 선급협회(DNV)를 중심으로 선상에서 포집된 이산화탄소를 직접 포집하는 기술이 제안되는 등(IEA, 2013) 관련

기술개발이 본격화 되고 있음.

- 선상에서 포집된 이산화탄소는 선상에서 직접 활용하거나 혹은 육상에서 활용 혹은 저장이 가능하며, 국제적으로도 소수의 기관에서 개발을 검토 중인 내용으로 기술개발 성공시 관련기술 선점을 통해 많은 경제적·기술적 파급효과가 예상됨.

나. 연구개발대상의 국내 · 외 기술 및 산업동향

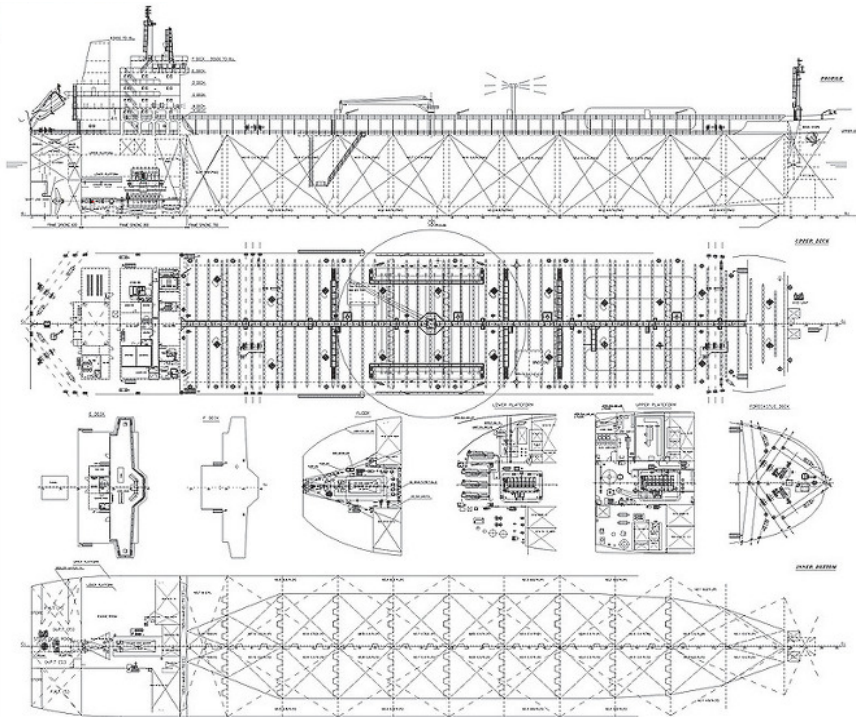
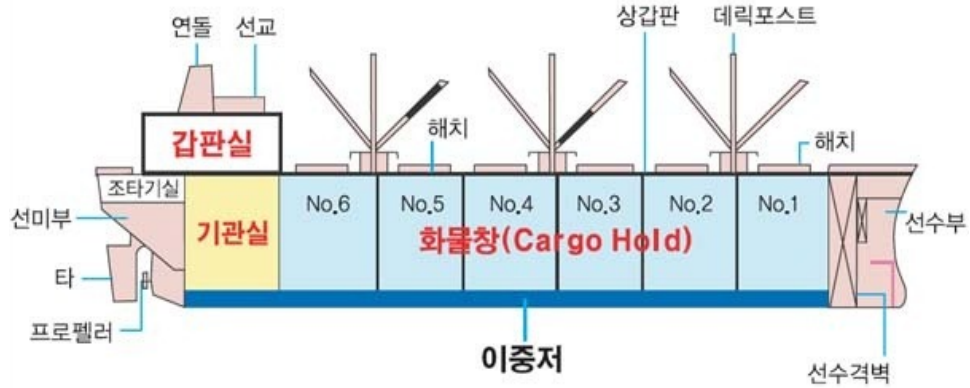
1). 국내 기술 및 산업동향

- 선박 이산화탄소 포집과 관련된 연구는 전무하며, 또한 Process Intensification에 대한 연구도 찾아보기 어려운 상황임. 다만 이산화탄소 액체화관련 연구는 매우 활발하며 주로 서울대 에너지공정공학 연구실을 중심으로 활발한 연구가 이루어지고 있음

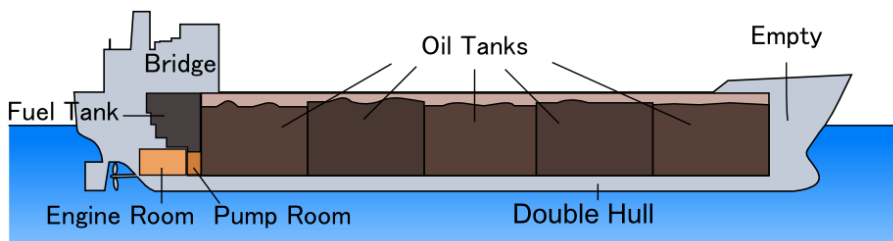
2). 국외 기술 및 산업동향

- 선박 구조의 유사성
 - 선박은 사용목적, 화물 상태, 적재방식에 따라 구분할 수 있음. 수송하는 화물의 상태에 따라 구분할 때는 액체 상태는 탱커(tanker), 포장된 고체 상태는 카고(cargo), 분말 상태의 화물은 캐리어(Carrier)라고 부르나, 서로 섞어 쓰기도 함. 선박평형수의 입장에서 보면 액체화물을 나르는 상선으로는 원유운반선, 화학제품운반선으로 크게 나눌 수 있고 고체화물을 나르는 배로는 컨테이너선과 벌크선으로 나눌 수 있음.
 - 벌크선(또는 살물선)의 경우 2-4만톤의 handy size에서 Panamax는 파나마 운하를 통과할 수 있는 최대선형으로 6만~7만톤급 선박이 여기에 해당하며, 대부분이 이 이하로 간주할 수 있음.
 - 유조선의 경우 Panamax 급이 가장 작은 규모이며 파나마 운하를 통과할 수 있는 6만~7만톤급의 선박임. Aframax 는 아프라(Afra)는 운임, 선가 등을 고려했을 때 최대의 이윤을 창출할 수 있는 이상적이고 경제적인 사이즈란 뜻으로 통상 9만 5천톤급 선박을 지칭하며 8만~11만톤까지 포함함. 초대형 유조선의 경우 30만 톤급 이상이지만 매우 드물다.
 - Chemical tanker 선박의 크기는 원유 운반선 보다 훨씬 작고 정유 운반선 보다도 작은 선박이 많으며, 여러 종류의 화학제품의 동시 운송에 적합하도록 화물창의 구획이 많고, 화물 상호간 오염을 방지하기 위해 화물창 별로 독립된 배관계통을 구성하게 되어 더욱 복잡한 구조를 가짐.
 - 선박의 구조는 선체요건에 있어 공통구조규칙을 갖고 있어 이에 따라 설계 건조되어야 하며 대체로 화물부분이 구조적 차이를 보이는 것이 특징임 (한국선급 2014, 그림 6.2.1.1

참조). 대부분의 선박의 경우 기관실이 선미부에 위치하며 화물창 구역의 후방에 위치함.



Oil tanker (side view)



<그림 6.2.1.1> 선박 구조도 및 평면도

○ 선박 이산화탄소 포집장치 설치

- DNV 에서 제안한 바로는 대형유조선을 모델로 한 경우 선미부에 포집장치를 deck 에 액화저장장치를 탑재하는 것을 내용으로 하고 있음 (그림 6.2.1.2). 이 경우 전혀 유류 적재공간이 줄어들지 않으며 액체의 안전도에도 문제가 되지 않을 것으로 보고되고 있음 (WWW.DNV).



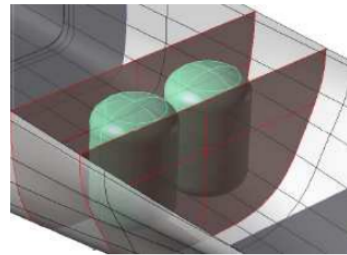
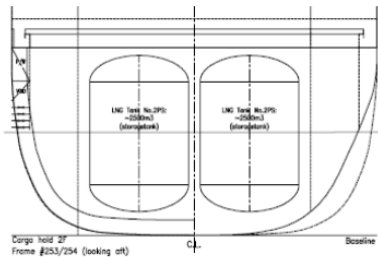
- 위 결과물은 기존 육상 포집시설의 축소형으로 시뮬레이션한 결과를 바탕으로 배치한 설계이며 유조선의 경우 벌크선과 구조석 유사성을 보이므로 벌크선에 대한 적용에 무리가 없을 것으로 보임. 다만 화물선의 경우 위 구조를 하는 경우 화물적재공간이 줄어들 것으로 보이며 그 대안으로는 갑판실 밑에 액체저장탱크를 설치하는 것을 고려해 볼 수 있음 (그림 6.2.1.3).

Tank arrangement

- LNG tank capacity: 6500 m³
- HFO capacity: 4000 tons
- Full fuel flexibility
- No loss of cargo space
- Large distance to side
- Maximum reliability with C-type tanks



TCE



<그림 6.2.1.3> 화물선의 경우 액화정장탱크의 위치 (DNV.com)

○ 선박 배치관련 추가 고려 사항들

- 엔진 혹은 보일러가 배출하는 연소가스의 Flow path를 어떻게 CO₂ 포집장치와 연결시키고, 엔진이나 보일러에는 배압(Back Pressure)이 허용치 이하로 할 수 있도록 고려 필요. 그리고 연결 부위의 배관이나 장치의 크기의 정도를 보아 기관실 내의 공간을 사용할 것인지 혹은 Funnel 부분의 Main Deck 상부 공간을 이용할 것인지를 검토해야 함.
- CO₂ 포집 탱크를 어디에 둘 것인가의 문제도 있는 데, 탱크의 크기가 크지 않고 폭발의 위험성 혹은 누출이 될 경우 사고유발을 하지 않아, 안전한 것이라면 기관실 내의 공간도 가능할 것으로 보이나 그렇지 않으면 Main Deck에 설치를 해야 하며, 사고에 대비한 안전장치를 부착해야 함.
- 포집장치로 연결되는 Exhaust Gas Flow Path를 검토하고 어느 위치(기관실내 혹은 Main Deck 상부의 Funnel)에서 Exhaust Gas를 장치로 끌어 들일 것인가에 대한 고려 필요. Exhaust Gas로부터 CO₂를 포집하는 프로세스에서 각 필요한 장치의 크기와 위험도(안전성 문제)를 검토해서 어느 부분은 Funnel 내의 공간에 둘 것인가 혹은 기관내부에 둘 것인지를 검토해야 함. 단, 이러한 부분은 엔진의 내구성과 마력저하의 요인이 될 수 있는 바 이에 대한 검토가 필요함.

- 그리고 상기의 결과로부터 Exhaust Gas의 배압을 산출하여 엔진 업체의 허용기준내에 있지를 검토하고 허용기준을 넘어서면 Exhaust Gas Flow의 방향이나 CO₂ 포집 프로세스의 장비 배치를 바꾸어 허용기준이하가 되도록 반복 검토 필요.
- 최종적으로 CO₂포집 탱크의 크기를 산정해서 누설 시 발생할 수 있는 위험성이나 인체의 유해성을 파악해서 탱크의 구조사양과 필요한 안전설비, 그리고 설치해야 할 위치의 공간을 검토한 엔지니어링 필요.

o Process Intensification

- 이 과정은 주로 포집관련 장치들의 효율을 증가시키면서 크기를 작게 하기 위한 일련의 과정들을 말하며 현재까지 나온 방법들은 주로 Rotating packed bed (Hi-gee)에 대한 연구가 활발함.
- 모델링과 실험을 통하여 지속적으로 효율을 향상시키고 있으며 현재 전통적인 습식 포집방법과 비교하여 포집장치의 부피를 최소 10배 이하로 줄일 수 있는 것으로 나와 있고 상용화 되어 있음.

<표 6.2.1.1> Hige USA 에서 현재까지 설치한 플랜트 내역 (출처: <http://higeusa.com>)

The list of selected completed projects world wide.			
	Client	Year	Number of RPB
1	Ruicheng Xintai NanoMaterials Technology Co., Ltd.	1999	3
2	Inner Mongolia Wuhai New Material Co., Ltd.	2000	1
3	Dow Chemical Company	2000	3
4	Shandong Haize NanoMaterial Co., Ltd.	2001	3
5	R&D center of PetroChina at Karamay	2006	1
6	North China Pharmaceutical Co., Ltd.	2006	1
7	Fujian Refining & Petrochemical Co., Ltd.	2007	1
8	Wanhua Industrial Group	2008	2
9	Zhejiang NHU Company Ltd.	2008	1
10	NanoMaterials Technology Private Ltd.	2008	1
11	SINOPEC Shengli Oilfield Company	2009	1
12	R&D center of PetroChina at Jilin	2010	1
13	Zhejiang NHU Company Ltd.	2010	1
14	SINOPEC Shengli Oilfield Company	2010	2
15	Zhejiang Juhua Sulfuric Acid Plant	2010	2
16	Tongling Huaxing Fine Chemical Co., Ltd.	2011	3
17	SINOPEC Northeast China Oilfield Company	2011	2
18	Lagos Industria Química	2011	3
19	Shanghai No.4 Reagent & H.V.Chemical Co., Ltd.	2011	1
20	Shandong Lianmeng Chemical Co., Ltd.	2012	1
21	SINOPEC Nanjing Chemical Industries Co., Ltd.	2012	3

A RPB was installed to replace the packed column in a refinery under Fujian Refining & Petrochemical Company Limited. The capacity is 8000 Nm³/hr and the solvent is MDEA. The comparison of performance between RPB and packed column is shown as below.

	RPB	Packed column
Height (m)	2.9	32
Diameter (m)	1.4	1.2
Reactor volume (m ³)	2.2	23.8
Packing volume (m ³)	0.31	14
Material	Stainless steel	Carbon steel for the shell and stainless steel for the packing
H ₂ S concentration after absorption (dry basis, mg/Nm ³)	<20	<20
Coabsorption rate of CO ₂	8.9%	79.9%



--- RPB --- Packed column

<그림 6.2.1.4> RPB 와 Packed column 과의 비교 (자료 출처 : HiGee USA)

○ 이산화탄소 액체화 연구

- 이산화탄소 액체는 압력이 5.11atm이상이고 온도가 -57°C이상일 때에 존재하게 되는데 이러한 압력과 온도조건을 삼중점이라 하며 이 점에서는 고체, 액체, 기체가 공존하는 유일한 조건이 된다. 액체 이산화탄소는 -57°C와 +31°C(임계온도) 사이에서 압력용기내에 저장될 수 있음.
- 이산화탄소 액체화관련 연구는 매우 활발하며 육상포집 이산화탄소의 해상수송 및 저장과 관련된 연구의 일부로 진행되고 있으며 주로 서울대 에너지공정공학 연구실을 중심으로 활발한 연구가 이루어지고 있음.
- 이산화탄소의 압축과 액화 기술은 포집 기술에 비하여 적은 수의 선행연구가 진행되어 왔고 초임계 압축, 이산화탄소 사용 액화, 외부 냉매 사용 액화, 케스케이드 공정을 이용한 액화 등 크게 네 가지로 나눌 수 있음. 또한 초임계 압축을 기상에서의 가압과 액상으로부터의 가열로 나뉘어 지며, 암모니아 냉매를 사용할 때에 압축 암모니아를 사용하는 것과 흡수식 냉각기를 사용하는 것으로 나눌 수 있음 (양 등, 2012).
- 이산화탄소의 초임계 압축을 위하여 액화 후 펌프 사용 및 기체 상태의 컴프레션 두 가지 기술과 이산화탄소를 65 bar까지 가압한 후 액화, 팽창시켜서 6.5 bar의 액체 상태로 만드는 방법이 발표되었음 (Aspelund et al. 2007).

- LNG의 액화 수송은 이산화탄소와 액화 기술에 비하여 오래 연구되어 발전한 기술이다. 질소와 C3 등의 혼합 냉매를 이용한 LNG 액화기술은 1970년대부터 나옴 (Kinard and Gaumar 1973). 또한 비교적 최근에는 흡수식 냉각기를 이용한 LNG 액화공정 효율 향상에 대한 연구도 보고됨 (Mortazavi et al. 2010).
- 최근 위에서 언급된 다양한 압축방법에 대한 경제성 평가가 국내 연구진에 의해 이루어짐. 이에 따르면 이산화탄소의 발생 및 포집원에서 사용 가능한 냉각 온도가 결정되면 비용으로 압축 방법을 정할 수 있음 (양 등 2012).

양시엽, et al. (2012). "이산화탄소 수송을 위한 압축 및 액화 공정 설계 및 비용 평가." *Korean Chemical Engineering Research* 50 (6): 988-993.

Aspelund, A. and Jordal, K., "Gas Conditioning-The Interface Between CO₂ Capture and Transport," *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 1(3), 343-354(2007).

Kinard, G. E. and Gaumer, L. S., "Mixed Refrigerant Cascade Cycles for LNG," *Journal Name: Chem. Eng. Progr.*, v. 69, no. 1, pp. 56-61; Other Information: Orig. Receipt Date: 30-JUN-74, Medium: X (1973).

Mortazavi, A., Somers, C., Alabdulkarem, A., Hwang, Y. and Radermacher, R., "Enhancement of APCI Cycle Efficiency with Absorption Chillers," *Energy*, 35(9), 3877-3882(2010).

3). 특허 동향

(1) 국내

- 이산화탄소의 처리 모듈 및 방법(KR2013-0075153)은 한계가스정(stranded gas well)으로부터 발생하는 사워 가스(sour gas)로부터 분리 배출되는 액체 이산화탄소에 한계가스정으로부터 발생하는 메탄을 냉매로써 통과시켜 액체 이산화탄소를 냉각시키는 실시예로부터 한계가스정의 사워 가스로부터 분리되는 물질을 냉매로 하여 이산화탄소를 냉각시킴으로써 이산화탄소 저장 및 포집용이나 석유 회수증진용 등 극저온의 액체 이산화탄소의 수요처에 적합한 온도 및 상태 조건으로 공급함.
- 내부 열교환을 이용한 고효율 이산화탄소 액화 장치 (10-1082349)

(2) 국외

- RPB
 - Ramshaw, C., Mallinson, R.H., 1981. Mass transfer process. US Patent 4283255.
- HIGEE device called rotating zigzag bed (RZB) was patented in China and United States
 - Ji, J. B., Wang, L. H., Xu, Z. C. et al. China patent 01134321.4 (2004)

- Ji, J. B., Xu, Z. C., Yu, Y. L. et al., China patent 200520100685.3 (2006)
- Ji, J. B., Xu, Z. C., Yu, Y. L., United States patent 7,344,126 B2 (2008)
- o CO₂ liquefaction
 - Carbon dioxide liquefaction system (US 20120174621 A1)
 - Carbon dioxide capture and liquefaction - an energy-efficient method of recovering carbon dioxide (CO₂) in a high-pressure liquid state from a high-pressure gas stream (EP 2590898 A2)

다. 연구개발 최종목표 및 주요개발내용

1). 최종목표

- o 5000톤급 선박 CO₂포집 및 액화저장 pilot platform 완성 및 성능검증

2). 주요개발내용

- o 선상 직접 이산화탄소 포집기술 개발 (5000톤 급)
 - 벌크선과 화물선 두 종류의 선박에 대한 rotating packed bed (RPB) Hi-gee 를 이용한 포집 설치 설계 개발
 - 회전형 반응공정을 도입하여 종래 기술대비 포집공정의 규모를 획기적으로 줄임으로써 선상에서 직접 이산화탄소 포집 가능
 - rotating packed bed (RPB) Hi-gee를 이용한 포집효율 향상 기술 및 안정성 향상 기술 개발 (Vibration을 고려한 반력 (Reaction Force) 연구 및 향상)
- o 포집 및 저장 시설 구축 설계 기술 개발
 - 연소가스의 Flow path와 CO₂ 포집장치와 연결 및 저장장치의 위치 설계
 - Exhaust Gas로부터 CO₂를 포집하는 프로세스에서 각 필요한 장치의 크기와 위험도(안전성 문제) 연구 및 이에 따른 엔진의 내구성과 마력저하 연구
 - Exhaust Gas의 배압을 산출 및 엔진 규격과의 비교 검토 및 대안 기술 연구
 - CO₂포집 탱크의 위험성이나 인체의 유해성 파악 및 탱크의 구조사양, 안전설비에 대한 연구
- o 엔진 폐열회수기술 개발
 - 선상 이산화탄소 포집공정 운영에 필요한 열원(재생탑의 흡수제 재생에너지)을 선박의 엔진에서 발생된 고온의 폐열과의 열교환으로 확보함으로써 이산화탄소 포집공정 운용에 따

른 추가 연료비 상승 최소화

○ 포집된 이산화탄소의 압축 및 저장기술 개발

- 선박에서 포집된 이산화탄소의 압축 및 저장을 통해 추후 육상 혹은 선상에서 활용할 수 있는 기반 구축

→ 주요 활용처 : 선박 평형수 및 오수 처리용, 농업·공업용 고순도 이산화탄소 등

3). 연차 목표

연차 (소요예산)	목표 및 내용
1차년도 (20억원)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Higeer 반응 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 온도, 모터 스피드 에따른 전력 사용량 및 CO₂ 포집 효율 ○ reboiler 규모 축소 연구 ○ 엔진 폐열회수기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 재생탑의 흡수제 재생에너지에 상요될 폐열 회수 수율 향상 ○ 벌크선과 화물선 두 종류의 선박에 대한 rotating packed bed (RPB) 설치 설계 ○ 포집 및 저장 시설 구축 설계 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 연소가스의 Flow path와 CO₂ 포집장치와 연결 및 저장장치의 위치 설계 - Exhaust Gas로부터 CO₂를 포집하는 프로세스에서 각 필요한 장치의 크기와 위험도(안전성 문제) 연구 및 이에 따른 엔진의 내구성과 마력 저하 연구 - Exhaust Gas의 배압을 산출 및 엔진 규격과의 비교 검토 및 대안 기술 연구 - CO₂포집 탱크의 위험성이나 인체의 유해성 파악 및 탱크의 구조사양, 안전설비에 대한 연구 ○ 이산화탄소의 압축 및 저장기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 초임계 압축, 이산화탄소 사용 액화, 외부 냉매 사용 액화, 케스케이드 공정비교
2차년도 (20억원)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Higeer 반응 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 온도, 모터 스피드 에따른 전력 사용량 및 CO₂ 포집 효율 ○ reboiler 규모 축소 연구 ○ 엔진 폐열회수기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 재생탑의 흡수제 재생에너지에 상요될 폐열 회수 수율 향상 ○ 벌크선과 화물선 두 종류의 선박에 대한 rotating packed bed (RPB) 설치 설계 ○ 이산화탄소의 압축 및 저장기술 개발 및 경제성 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 초임계 압축, 이산화탄소 사용 액화, 외부 냉매 사용 액화, 케스케이드 공정비교
3차년도 (40억원)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 5000톤급 선박 CO₂포집 및 액화저장 pilot platform 완성 및 성능검증

라. 연구개발 추진전략

- 1단계 : 각 구조별 (포집, 재생, 압축 저장) 효율 증대 연구 추진 및 공간 배치 연구
- 2단계 : 전체 시스템의 효율 향상을 위한 연구 및 검증
- 3단계 : 전체 시스템의 포집, 저장 효율 검증
- 최종목표 : 5000톤급 선박 CO₂포집 및 액화저장 pilot platform 완성 및 성능검증

마. 연구개발 기대효과

1). 기술적 효과

- 선박의 이산화탄소 발생량 저감을 통한 친환경선박 구현
- RPB 기술 개발을 통한 유상 포집시설 규모축소 적용 가능
- 현재 해양수산부에서 추진예정인 이산화탄소 해양저장사업과 연계하여 선상에서 포집된 이산화탄소를 이산화탄소 해양저장사업의 주요 source로 활용

2). 경제·산업적 효과

- 선박 배출 온실가스 저감 및 저장 기술 개발을 통한 관련 산업 활성화 기대
- 선박배출가스로부터 포집된 이산화탄소의 활용을 통한 새로운 경제적 이익 창출

6.2.2. 포집 이산화탄소를 이용한 선박평형수와 오수 처리 고효율화 시스템 개발

가. 연구개발의 배경 및 필요성

1). 연구개발의 배경

- 전 세계적으로 배출되고 있는 이산화탄소 배출량(2007년)은 약 310억톤¹⁰⁴⁾ 정도로 추정되며 이 중 전세계 모든 선박에서 배출되는 이산화탄소 배출량은 총 10억1천9백만톤으로 전세계 배출량에서 3.3%를 차지하고, 국제항해 선박의 배출량은 8억 4천 3백만톤으로 2.7%를 차지¹⁰⁵⁾. 선박배출 이산화탄소는 향후 2050년까지 현 추세로 3배 이상 배출 증가가 예상됨.
- IMO는 2008년 3월 MEPC 제57차 회의부터 선박의 이산화탄소 배출 감축문제를 주요 의제로 논의하기 시작하였고 선박으로부터의 오염방지를 위한 국제협약(MARPOL) 부속서 제VI 장 개정 ('13.1.1 발효)에 따라 국제항해 선박의 이산화탄소배출 규제가 가시화 될 것으로 보이며 이미 IMO의 해양환경보호위원회 MEPC 66차 총회 ('14 3월)에서 NOx에 대한 규제 발효 합의가 이루어짐.
- 선박에서 이산화탄소 배출을 규제, 감축, 또는 통제한다는 것은 결국 선박에서 사용하는 연료를 줄이는 것이고 선박에서는 기관추진에 사용되는 연료의 연소에서 이산화탄소가 발생하고, 그 발생량은 연료 사용량에 비례하므로 따라서 연료 사용량을 줄이는 "에너지 효율"과 "이산화탄소 발생량(지수, 인덱스)"이 중요함.

<표 6.2.2.1> 국제항해 선박의 이산화탄소 배출 규제 관련 국제협약 논의 현황

국제기구/협약	관련 내용
국제해사기구	<ul style="list-style-type: none"> • MEPC 62(2011)은 400톤 이상 국제항해선박의 에너지효율성 증대 및 온실가스 배출 감소를 위한 기술적 조치(EEDI/SEEMP)를 강제화하기 위하여 MARPOL 부속서 VI에 Chapter IV를 추가. 2013년 1월1일부로 발효. 향후 이산화탄소 배출 감축량 목표치 설정을 위한 지속적인 연구 수행 중. • 런던의정서는 해양투기로 분류될 수 있는 이산화탄소 스트림의 해저지중저장만 관리할 관할권이 있음. 따라서 포집된 이산화탄소의 선상 재활용은 관리하지 못함
UNFCCC	<ul style="list-style-type: none"> • 육상의 산업체에 의한 온실가스 방출과 성격이 상이한 선박에 의한 온실가스 배출은 전문기구인 국제해사기구 주도로 진행하는 것이 타당하다고 봄 • 과학기술자문기구(SBSTA)가 IMO 작업내용 검토 위주로 관여함

104) 전세계 선박에서 배출량이 1,019백만톤으로 3.3%라는 데서 계산해낸 값이다.

105) 2008.9.1 발행한 IMO의 온실가스 배출량 보고서 (Green house GAS Emissions from ships, Phase 1 Report, 1st September 2008)

2). 연구개발의 필요성

- 향후 현재의 디젤엔진은 사양화되고 미래 선박은 환경친화적인 액화가스 엔진으로의 전환이 이루어질 것으로 보이고, 이 경우 배출 가스는 이산화탄소가 대부분이며 선박의 CCS가 현실화될 경우 이에 대한 활용기술 개발이 필요함.
- 이를 위해서는 선박에서 배출되는 이산화탄소를 현장 포집하여 이를 기존 선박 또는 신조선에서 활용할 수 있는 경제성 있는 기술 적용이 필요. 이러한 친환경 활용기술 개발을 통한 경제성 추가 확보와 IMO, MARPOL의 선박기인 이산화탄소 저감을 위한 선제적 기술 구축 및 이산화탄소 선내 저장 및 해양 투기 한계 극복이 필요함.

나. 연구개발대상의 국내 · 외 기술 및 산업동향

1). 국내 기술 및 산업동향

- 우리 나라에서는 선상에서 이산화탄소를 활용하는 기술은 전혀 없음. 실질적 이산화탄소 저감과 활용이 모두 가능한 기술개발의 경우 시장성에서 매우 파급력이 클 것으로 예상됨. 가령 선박평형수처리장치의 경우 현재 IMO 기준을 만족하는 선박평형수처리설비의 시장을 약 80조원으로 예측하고 있으며 최소 5만척의 선박에 장착이 필요한 것으로 보임 (MEPC 63/INF.11).
- 이미 이러한 국제시장이 형성되어 있으므로 선박에서의 배출가스를 활용한 평형수 처리의 경우 대기환경보호, 해양생태계 보호 및 경제적 측면에서 매우 큰 파급효과 있을 것 임.

2). 국외 기술 및 산업동향

- 선박 이산화탄소 배출 저감
 - MEPC 제57차 회의부터 선박의 CO₂ 배출 감축문제를 주요 의제로 논의하였고 MEPC 제58차 회의에서 에너지 효율 설계지수를 위한 "CO₂ 지수 개발"과 에너지 효율 운항지수를 위한 "CO₂ 운항지수" 지침 마련, 배출권 거래제도 (Emission Trading Scheme,이하 ETS)와 같은 시장제도 고려하고 있음.
- 이산화탄소 선상제거
 - 싱가포르 기업 Ecospec은 강알칼리성의 해수를 굴뚝에 뿌려 가스와 그을음을 씻어내는 기술을 탱커를 대상으로 시험 완료했으며, 미국의 선급협회인 American Bureau of Shipping의 보증을 받음.

http://www.ecospec.com/upload/news_pdf/57_jgj57q1e3i77a6omgz3eb7xspgkc0mna.pdf

- CSNOX라 불리는 처리 과정이 90%의 이산화황과 80%의 질소산화물, 거의 75%에 달하는 이산화탄소를 제거할 수 있음을 증명 하였고 CSNOX는 전기분해와 초저주파를 통해 해수의 알칼리도를 pH 8.1 평균 상태에서 pH 10까지 높이고 해수를 탱크에 채워 알칼리도를 빠르게 상승시킨 후, 이를 더러운 물이 모이는 배기 굴뚝에 뿌리고 더러운 물은 여과를 거쳐 이후 과정을 위해 선미 탱크로 옮겨짐. 이 과정을 통해 바다에 다시 내보내질 물은 일반 물보다 알칼리성을 띠며, 바다생물이 필요로 하는 황산염, 질산염, 탄산염을 포함함. 처리배출수는 IMO 국제기준을 만족함.

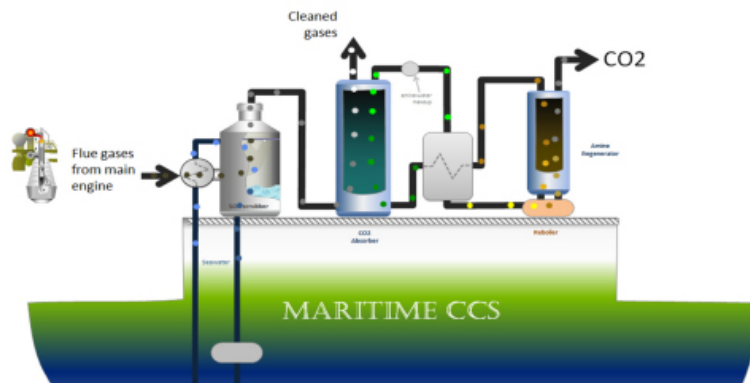
Wash Water quality		
	CSNOx	IMO limit MEPC 184(59)
pH	6.7	> 6.5
PAH	< 1 ppb	< 50 ppb
Nitrates	< 0.066 ppm	< 60 ppm
Turbidity	Δ 8.7 NTU	< Δ25 NTU
* Alkalinity : Inlet 122 ppm Outlet 142 ppm		

<그림 6.2.2.1> 세척수에 대한 IMO 배출 기준

○ 선박기인 이산화탄소 포집

- 노르웨이 선급 (DNV)에서는 2013년 이산화탄소 선상포집 연구를 기획하여 포집설비의 선상장착이 가능함을 모델을 통해 입증하였고 그 모식도는 다음과 같음.

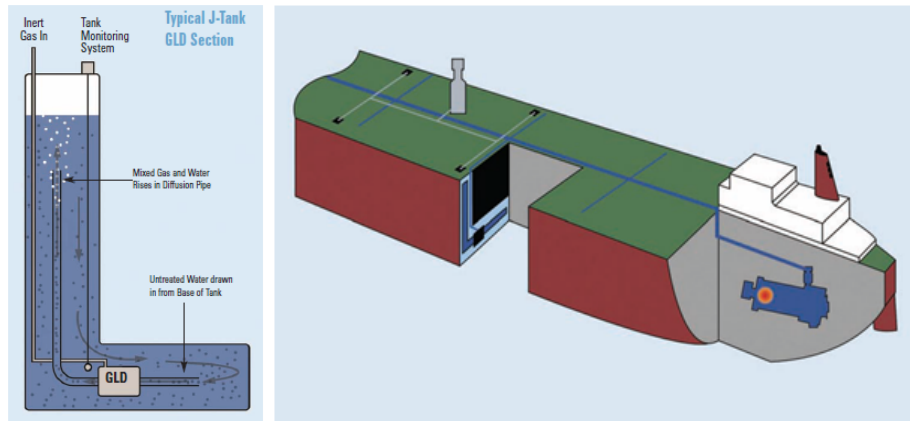
(<http://www.ship-technology.com/news/newsdnhv-and-pse-unveil-concept-design-for-ship-carbon-capture-and-storage-system>).



<그림 6.2.2.2> 이산화탄소 선상포집 기술 모식도(DNV)

○ 선박 이산화탄소 배출 저감

- (주) Coldhbour GLD technology에서 배출가스와 초음파를 이용한 intank BW treatment 시스템 개발 및 IMO 인증 추진 (2014년). 단 대형선에만 가능하며 각 탱크별 시스템을 구축해야하는 번거로움이 있음.



<그림 6.2.2.3> 선박의 이산화탄소 배출 저감 기술의 예시도

3). 특허 동향

- 현재 선박평형수 처리장치에 있어서 국내외 선상에서 이산화탄소를 활용한 기술 특허는 전무함.

4). 정부지원정책 현황

- 국가과학기술심의회 운영위원회의 2015년도 및 중기 정부연구개발투자 방향 및 기준(안)에 따르면 해양산업의 고부가가치화 및 신성장분야 경쟁력 제고를 위한 유망기술 발굴·육성을 주요과제의 하나로 정의하고 있으며 다학제적 융복합을 통해 해양 신산업을 창출하고, 국제적 환경·안전 이슈에 선제적 대응을 위한 분야에 투자 강화를 강조하고 있음.
- 우리나라의 경우 2013년 해수부 해사기술과 선IMO 환경규제 대응 선도기술개발 사업의 예비 타당성 조사 사전 준비를 위한 기술의 하나로 선박배출 CO₂ 제로화 처리기술개발에 선박용 CO₂ 포집기술 개발을 포함하고 있음.
- 해양환경관리법 제23조(육상에서 발생한 폐기물의 해양배출금지 등)에 관한 법령에 따라 동법 시행규칙 제12조(해양배출이 가능한 육상폐기물의 종류 등)에 의해, 해저 지질구조 내 고립격리 방법에 의하여 배출해야하는 폐기물로 [이산화탄소 포집공정으로부터 발생한 'CO₂ stream'으로서 국토해양부장관이 이산화탄소 스트림의 성질과 상태, 해저지질구조와 위치,

처리방법 등을 정하여 고시하는 폐기물] 규정하고 있다<개정 2010.9.6>.발전소(plant)등 배출시설에서 포집된 이산화탄소를 이산화탄소 폐기물 혹은 CO₂ stream으로 정의하고 법령상 사업장폐기물로 고려됨. (국립환경과학원 2012).

- 해양수산부에서 IMO 평형수 관리 국제협약의 집행을 위해, “선박평형수 관리에 관한법률”을 제정하였고, 「선박평형수(船舶平衡水) 관리법」의 개정 공포(법률 제12540호, 14.3.24)에 따라 선박평형수 동형처리설비의 형식승인시험, 독립시험기관의 지정기준, 지정교육기관의 지정요건 등 법률에서 위임된 사항을 반영하는 등 시행에 필요한 사항을 보완하였음.
- 선박에서 오염방지에 관한 규칙 및 선박에서 오염방지에 관한 규칙 일부개정(해양수산부령 제63호, 2013.12.30., 시행일자 : 2014.1.) 선박에서 배출되는 모든 오염물질 (이산화탄소 포함)은 이 규칙에 의거 적용되고 있음.

다. 연구개발 최종목표 및 주요개발내용

1). 최종목표

- 산성도를 2 이상 감소시킬수 있는 선박 이산화탄소 및 배기가스 우회(By-pass) 시스템 및 포집, 저장 및 주입 등의 벤치스케일 규모 이상의 프로토타입 및 자동화 기술 개발
- 국제선박평형수협약에 명시된 선박평형수배출수 생물기준인 D2 처리기준을 만족할 수준의 선박 이산화탄소 및 배출가스를 이용한 전기분해, 오존 산화처리, 화학약품주입 및 오수주입 장치 벤치스케일 규모 프로토타입 개발
- 오존 및 이산화탄소의 적정 가스 유량 조절을 위한 분배장치(Distribution System)의 설계 및 용량별 설계 확정

2). 주요개발내용

- 포집 이산화탄소 전달 시스템 개발
 - 전기분해장치, 활성물질 장치, 오존처리장치, 오수처리장치로의 포집 농축 이산화탄소 전달 시스템 개발
- 해수 pH 조절을 위한 이산화탄소 미세기포화 시스템 개발
 - 과적인 기체(이산화탄소)/액체(선박평형수)의 혼합 및 기체용해를 위한 수중 이산화탄소의 미세기포화 기술을 응용한 전처리 시스템 개발

- 선박평형수 및 오수처리 효율증대 시스템 개발
 - 처리원수의 전처리 과정(pH 조정)을 통해 전해수처리 시 발생하는 활성물질의, 또는 활성 물질 직접 투입시의 살균효율을 극대화 시키고, 선박평형수처리장치 및 오수처리장치에 응용 가능한 시스템 구축
- IMO 및 국가 형식승인 인증
 - IMO Final Approval 및 국가 형식승인 인증

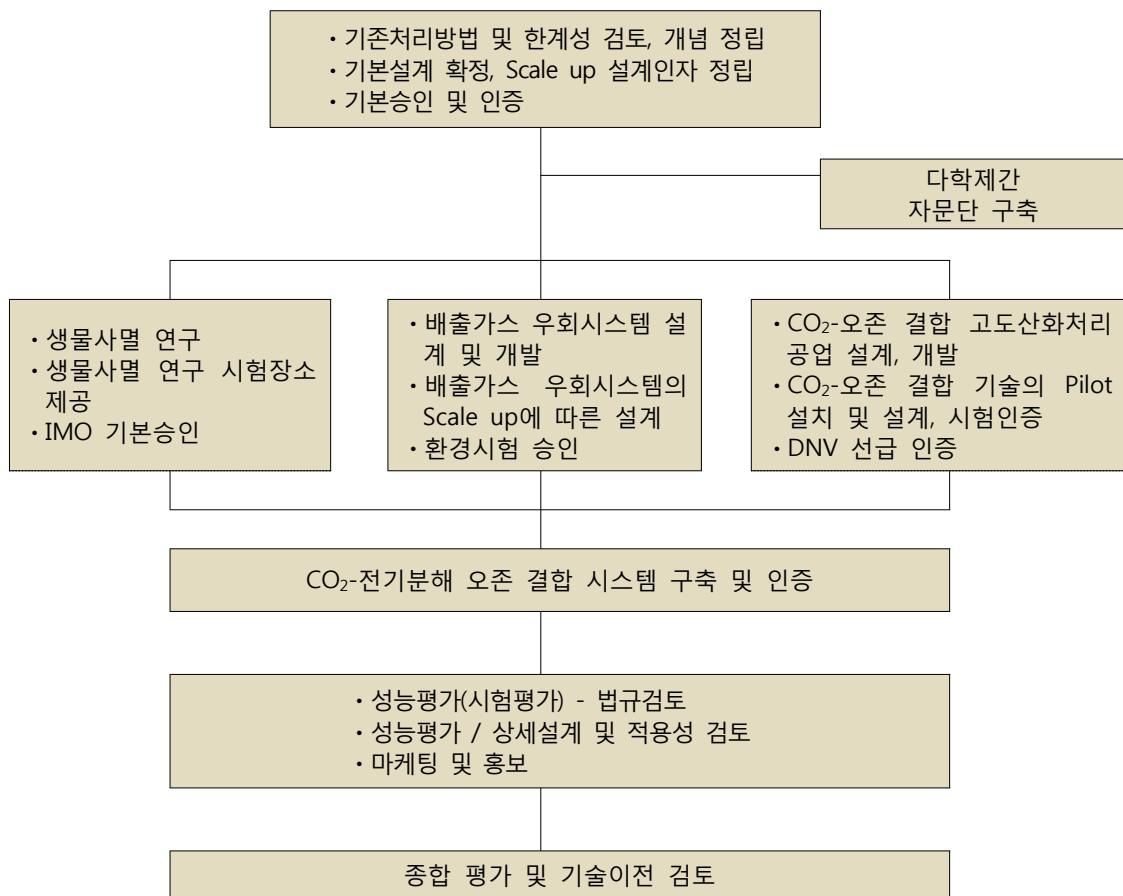
3). 연차 목표

연차 (소요예산)	목표 및 내용
1차년도 (10억원)	<ul style="list-style-type: none"> ○ CO₂-HOCl, CO₂-오존(고도산화) 결합 시스템 개발기본설계 ○ CO₂-HOCl, CO₂-오존 결합 시스템 제작 검증 ○ CO₂ 가스 우회 시스템 기본 설계 ○ 오존 및 CO₂의 주입 시 분배장치 개발
2차년도 (15억원)	<ul style="list-style-type: none"> ○ CO₂ 가스 우회 시스템 시스템 설계 검증 및 Scale up ○ CO₂-HOCl, CO₂-오존(고도산화) 시스템 제작, 검증 및 자동화 ○ 생물사멸, 화학, 독성 분석
3차년도 (25억원)	<ul style="list-style-type: none"> ○ CO₂-HOCl, CO₂-오존(고도산화) 자동화시스템 구축 (250톤 규모) 및 검증

라. 연구개발 추진전략

- 연구개발 범위 선정
 - BWMS 최종승인에 있어 처리 성능 그리고 처리수와 관련된 부분에 한정되어 있음. 선박배기가스 우회 시스템의 경우 선박마다 다르게 구조해야 하고 그 구성이 다를 수 있으므로 BWMS 로 보기가 어려움.
 - 따라서 이 연구개발 사업화과제에서는 선박배출가스를 주입 이용하여 처리하는 시스템을 BWMS로 규정하고 이 시스템 개발 및 검증에 초점을 맞춤.

- 시스템 성능에 사용될 배기가스는 선박 배기가스중 가장 유황함유량이 높은 낮은 질의 벙커 C유 배기가스를 사용하여 평형수 처리 성능 및 배출수의 환경, 독성평가를 실시함.
- 기획과제 결과 적용
 - 기획과제에서 나오는 기술트리 또는 특허 동향결과를 반영하여 기술개발에 접목
 - 배출수의 환경수용성등에 대한 검토도 고려
- KIOST test facility 활용
 - 실험과 관련하여 국가 형식승인 설비가 있는 장목 KIOST 실험설비 적극 활용
- 전문가 활용
 - 이산화탄소 포집, 조선 플랜트 및 조선 기자재 관련 협회, 선주협회, 한국선급을 포함하는 활용과 연관된 기관의 자문 활용



<그림 6.2.2.4> 연구개발의 추진체계

마. 연구개발 기대효과

1). 기술적 효과

- 이산화탄소 저감에 기여
 - 개발 기술의 경우 이산화탄소 배출 저감을 가져올 것으로 보이며 이를 통해 궁극적으로 또한 향후 선박 기인 이산화탄소 탄소 포집 활용기술은 이산화탄소 배출권 확보에도 기여할 수 있음.
 - 이산화탄소 증가에 따른 온난화는 현존하는 인류가 직면한 가장 큰 환경이슈이며 시기적절한 대응이 필요하며 CCS에 대한 전세계적 공감대가 형성되고 있다. 현재 지중화 또는 제한적 전환기술에 의존하고 있는 사후 처리 및 활용기술의 증대는 포집활용에 대한 국민적 합의와 인식을 증대시킬 것으로 판단되며 능동적으로 해양환경보호에도 기여 할 수 있음.

2). 경제·산업적 효과

- 새로운 해양 신성장 사업 개발
 - 국가과학기술심의회 운영위원회의 2015년도 및 중기 정부연구개발투자 방향 및 기준(안)에 따르면 해양산업의 고부가가치화 및 신성장분야 경쟁력 제고를 위한 유망기술 발굴·육성을 주요과제의 하나로 정의하고 있으며 다학제적 융복합을 통해 해양 신산업을 창출하고, 국제적 환경·안전 이슈에 선제적 대응을 위한 분야에 투자 강화를 강조하고 있음.
 - 현재 우리는 전통 해양산업분야 외 뚜렷한 신성장 동력 창출이 미흡하나 선박평형수처리장치 산업에서 보듯이 정부의 선제적 지원으로 현재 우리나라 세계점유율이 약 25%에 이르고 있다. 따라서 이와 같은 다양한 활용기술의 개발은 육상 CCS 산업의 활성화와 관련분야의 연구개발 및 투자를 촉진할 수 있을 것으로 보임.

6.2.3. 오존 고도화 기술을 통한 선박폐수(선박폐유)처리 기술 개발

가. 연구개발의 배경 및 필요성

- 해양환경관리공단(구 한국해양오염방제조합)은 해양환경관리법(구 해양오염방지법) 및 해양오염방지를 위한 국제협약(MARPOL 73/78)에 근거하여, 선박폐유 등의 배출에 의한 해양오염방지 및 해양환경보전을 위하여 전국 13개 항만에 선박폐유 수용시설을 운영하고 있음.
- 선박폐유 수용시설은 폐유 등 액상 폐기물 저장탱크와 이들 유성 혼합 폐기물의 처리시설과 관련 부속 설비를 갖추고, 선박에서 발생하는 폐윤활유, 빌지 등 각종 유성 혼합물과 고상 폐기물(기름걸레 및 폐 휘타)을 수거, 저장, 처리하고 있음.
- 기존의 선박폐유 수용시설은 해양환경관리법에 규정된 유분농도 15ppm 이하 배출 기준만을 충족할 수 있는 단순한 유수분리 배출 공정으로 운영되고 있으나, 이는 유수분리 전처리장치, 부상식 유수분리시설, 폐수여과탱크 사용 등 대단히 복잡할 뿐만 아니라 유수분리 효율성이 매우 떨어져 작업능률 저하에 따른 작업자의 업무 부담이 컸으며, 또한 공정 과정에서 발생하는 악취 및 유해가스는 처리가 불가능한 실정임.
- 해양환경관리공단은 선박폐수 처리공정 개선작업을 시행하여 새로운 수처리 약품을 개발하여 적용하였고, 오존을 이용하여 배출수의 유분농도 뿐만 아니라 콜로이드물질, ABS, 인, 질소 등 난분해성 유기물질과 미생물 분해에 의한 악취 저감기술을 현장에 적용함.
- 반면 수처리 약품의 경우 그 차체가 화학물질로써 약품사용 시 장기적으로 해양생태계에 미칠 영향이 정확히 파악되지 않은 단계에서 사용은 리스크가 존재하며, 오존의 경우 육상 수처리 공법으로 소규모 시설에 적용하고 있으나 수중 체류시간이 짧아 그 이용효율이 낮아 필요 이상의 오존을 주입해야하는 단점이 존재함.
- 따라서 선박폐유와 같은 소규모 시설에 적용 가능하며 장기적으로 해양생태계에 위해성이 낮은 오존공법의 고도화를 통해 선박폐유를 처리하는 기술개발이 필요함.

나. 연구개발대상의 국내 · 외 기술 및 산업동향

1). 선박폐유 처리기술

- 기존의 선박폐유 수용시설은 해양환경관리법에 규정된 유분농도 15ppm 이하 배출 기준만 충족할 수 있는 단순한 유수분리배출 공정임.

- 그럼에도 불구하고 기존 공정은 유수분리 전처리장치, 부상식 유수분리시설, 폐수여과탱크 사용 등 대단히 복잡할 뿐만 아니라 유수분리 효율성이 낮음.
- 또한 공정과정에서 발생하는 악취 및 유해가스는 처리 불가능함.
- 선박폐유 수용시설은 선박폐수를 관련법규에서 정한 유분농도(n-H 광유류) 15ppm 이하의 기준으로 단순처리하여 해상 배출하고 있으나, 향후 해양환경관리법(제15조 등)에 규정되어 있는 오염물질 총량규제가 적용될 경우 COD 등 일반적인 수질배출기준에는 크게 미흡하므로 방류량 제한에 따른 일부시설의 가동중단 등의 문제가 발생 할 가능성 있음.
- 기존시설의 경우 단순히 오염된 폐수의 유분 제거만 목적으로 하고 있으나, 규정된 배출 기준 준수 뿐만 아니라 정화되지 않은 오폐수의 배출이 문제임.
- 해수중에 다량의 미생물과 각종 유해물질을 포함하고 있는 선박폐유 응집침전제의 경우 미세하고 무취의 회색분말제품이며 폐유 중의 콜로이드물질, 난분해성 유기물질, 악취물질, 유분이나 유해물, 수용성 n-H, ABS, 기타 오염물질 등에 작용하여 탁도제거 및 흡착작용을 하며 동시에 급속한 응결작용을 함으로써 폐유 중의 오염물질을 제거할 수 있는 약품임.
- 반면 이러한 폐유 응집약품의 효과를 적용한 결과 실제 과거 방류수보다 탁도가 월등히 낮아졌으나 기존 공정에 포함된 IAF(Induce air flotation) 설비를 통과할 경우 슬러지 플록이 깨져 탁도가 다시 혼탁한 결과를 보임.

2). 악취제거 설비

- 오존살균탈취장치는 오존살균원리를 이용한 장비로써 오존(O₃)이 가지고 있는 발생기산소(자외선의 64배, 염소의 6배)의 산화력에 기인함.
- 살균력이 가장 강한 253.7nm 파장의 자외선과 에너지가 강한 184.9nm 파장의 자외선을 발생시키는 저압수은램프에 의해 공기중의 산소분자를 인위적으로 분해하여 오존을 생성시키고 생성된 오존으로 선박폐유 수용시설 내 악취 및 유해가스를 제거할 수 있음.

다. 연구개발 최종목표 및 주요개발내용

1). 최종목표

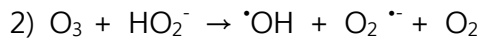
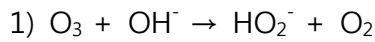
- 선박폐수와 같이 중소규모 수처리에 적용하고 있는 육상폐수처리 기술의 하나로 강력한 유기물 산화제거 및 살균처리가 가능한 오존처리 응용
- 오존고도화를 위한 전처리로서 이산화탄소를 이용하여 pH를 하향 조정함으로써 해수중에

포함된 브롬계열의 산화물질 중 산화력이 높은 물질(HOBr)의 존재비율을 상승시켜 오존활성도 극대화 기술 개발

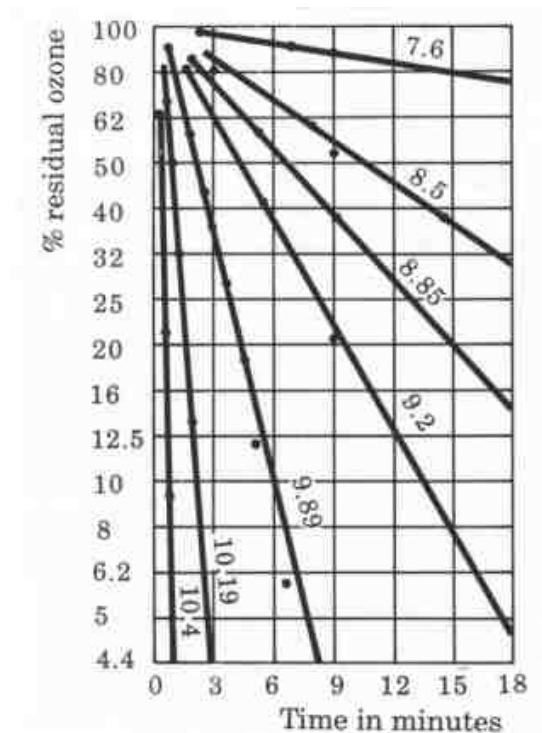
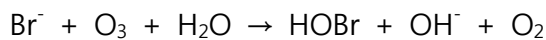
- 오존 및 이산화탄소의 수중 용존효율을 높이기 위한 기체표면적 증대기술로써 미세기포기술 응용

2). 주요개발내용

- 오존은 다음 화학반응에서 보듯이 일부가 OH 라디칼로 일부가 분해되고 이는 pH 에 의존함. 즉, pH가 낮을수록 분해 속도가 느리고 이는 오존의 유기물 산화제거력을 지속시켜주는 방안이 될 수 있음.

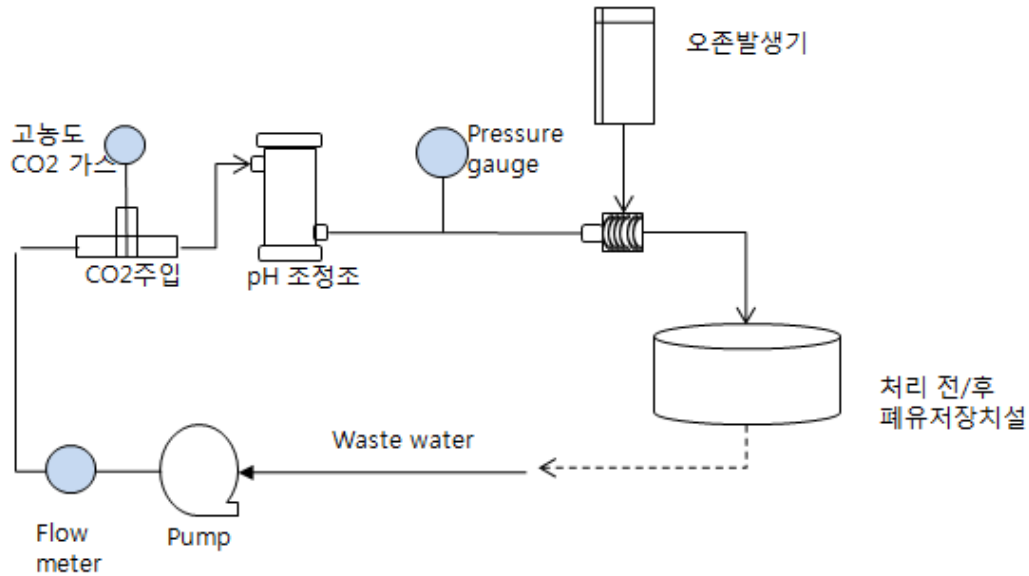


- 오존은 브롬 이온을 활성화 시켜 HOBr로 만들어 유기물의 산화력을 높여줌. 따라서 CO₂의 경우 OBr 보다 HOBr의 생성을 촉진시켜 산화력을 높이고 지속시켜주는 효과가 있음.



<그림 6.2.3.1> 오존 잔존량과 pH와의 관계

- 이산화탄소를 이용한 pH 조정조, 오존발생기로 구성된 오존고도화 처리프로세스를 개발하여 기존 선박폐수 프로세스를 변형하지 않고 적용가능한 선박폐유처리시설 개발



<그림 6.2.3.2> 오존고도화 처리프로세스 계략도

3). 연차 목표

연차 (소요예산)	목표 및 내용
1차년도 (5억원)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고농도 CO₂ 농축가스 활용 pH 조정조 기본설계 ○ CO₂ 주입비(기/액비)에 따른 pH 조정율 기본테스트 및 설계 DATA 완성 ○ CO₂를 이용한 pH 조정조 설계완성 및 테스트설비제작
2차년도 (5억원)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현장테스트 설비구축(pH 조정조/오존주입시설) ○ 현장 폐유처리 테스트 진행 및 최적구동조건 도출 ○ 기존 실규모 처리장치에 적용 가능한 응용설계서 도출

라. 연구개발 추진전략

- 선박폐유 처리기술로서 오존, UV, 화학약품 등의 기술이 주요 처리공법으로 이용되고 있고, 그 중 중소규모로 오존이 가장 많이 사용되고 있으나 오존의 이용효율 및 에너지사용량의 문제로 고도화 기술이 필요한 실정임.
- 기존 오존공법의 경우 전통적인 육상 수처리 기술이 그대로 적용되고 있어 기술의 효율이 떨어지고 장비소요면적과 운영비용이 커질 뿐 그 효과는 미미함.
- 본 제안기술의 주요 기술메커니즘인 오존의 산화력 증대를 위한 방안으로 이산화탄소를 이용하여 pH를 하향 조정 후 오존의 산화력을 증대함으로써 기존 육상수처리 시설에서 사용하는 오존의 한계점을 극복 가능함.
- pH 조정을 위한 이산화탄소 주입시설의 경우 이산화탄소의 수중 체류시간 증가 및 이를 통한 이산화탄소 용해효율을 높이기 위해 추가적으로 수중 기체의 미세기포화 기술 응용가능성을 검토함.

마. 연구개발 기대효과

- 기존 선박폐유시설의 고도화 및 시설규모 축소 기대
- 폐유분 제거와 동시에 악취 및 유해가스의 효율적 산화제거 가능
- 기존 DOF(용존오존부상법) 기술의 적용에 따라 오염물질의 강력한 산화제거 및 기타 거대 부유물질의 효율적 분리제거 가능

6.2.4. 이산화탄소 고정 및 활용이 동시에 가능한 생광물화 패키지 공정개발

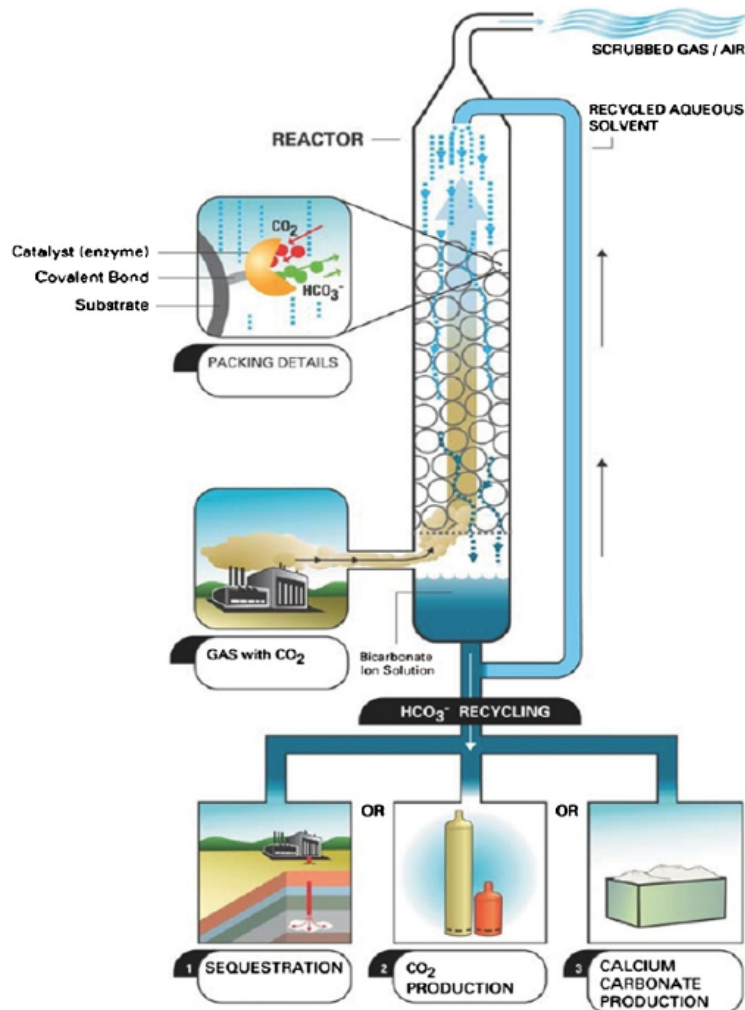
가. 연구개발의 배경 및 배경

1). 연구개발의 배경

- 생광물화(Biomineralization) 기술은 CO₂를 미생물을 이용하여 생화학적으로 고정하기 위하여 생체 또는 자연계에서 광범위하게 이루어지고 있는 이산화탄소 고정(Captureing) 및 전환(Concerting) 현상을 모방한 기술로, 미생물의 신진대사 작용을 통해 이산화탄소를 탄산염(CaCO₃) 형태로 고정 시키는 방법임.
- 탄산염화는 반응속도가 느리고 에너지 소요가 많으나 미생물을 이용한 반응(Microbial Carbonate Precipitation)을 이용하면 반응시간을 현격히 감소시켜 이산화탄소의 대량 고정 기술로서 개발이 가능함.
- CO₂ biomineralization은 기존의 알칼리성 Media(소각재, 강알칼리성 산업 폐기물 등) 등에 포함되어 있는 금속 양이온(Ca, Mg등)과 CO₂와의 화학반응에 촉매 역할을 하는 효소인 carbonic anhydrase를 이용하는 방법으로서 배기가스 및 바이오가스에 포함된 CO₂를 고정 하는데 효과적으로 사용될 수 있다고 알려져 있음.
- 따라서 본 연구에서는 생물학적으로 CO₂를 제거하기 위하여 생광물화 균주를 이산화탄소 고정반응에 이용하고 반응에 필요한 금속양이온(Ca²⁺, Mg²⁺)은 국내 산업폐기물로 다량으로 발생하는 제철슬래그, 폐콘크리트, 석탄회, 고화슬러지 등을 이용하여 이산화탄소제거 패키지를 개발하고자 함.
- 그러나 CO₂ biomineralization을 실용화하기 위해서는 보다 활성이 뛰어난 효소 및 미생물 기작의 개발과 함께 CO₂와 반응하기 위한 금속양이온의 공급과 수용액 속에서 carbonation 반응이 고효율로 일어나는 반응장 역할을 할 수 있는 Media의 역할이 매우 중요한 것으로 인식되고 있음.
- 미생물의 분자생물학적 전문 지식과 노하우를 바탕으로 CO₂의 생화학적 탄화 실험을 알칼리 금속 release를 이용하여 수행하고자 함. CO₂의 탄화에 관여하는 미생물의 기작에 의하여 CO₂가 탄화되는 과정에서 미생물의 지속적인 성장 유지가 필수 조건임.
- 따라서 본 연구과제에서는 새로운 효소 및 미생물 기작의 개발과 함께 금속양이온의 안정적 공급을 위한 알칼리금속의 제조와 동시에 biomineralization mechanism을 규명함으로써 아직 초보 연구단계 수준에 머물고 있는 CO₂ biomineralization을 고도화하기 위한 기초 기술

과 고도화 제품을 패키지 형태로 개발하고자 함.

- 이를 위해 CO₂ 생광물화를 위한 실험실 규모의 미생물 반응기 및 생광물화 관여 미생물 기작에 대한 연구를 수행하고 고효율의 경제적인 이산화탄소 저장 및 격리(Storage & Sequestration)에 대한 기초 기술을 확립하고자 함.
- 미생물에 의한 이산화탄소 전환율을 이론적인 전환율(30%) 대비 실제 실험결과와 비교하여 이론적 목표치에 도달할 수 있는 공정을 개발할 계획임.
- 이산화탄소의 CaCO₃ 고정화 효율을 최적화한 반응기의 경우 주기적인 미디어(미생물+반응매체) 교체가 가능하도록 카트리리지 형태로 반응기를 설계하여 향후 이산화탄소 발생현장에서서의 이용 효율성을 높인 상용화제품 개발로 연계될 수 있는 연구를 수행하고자 함.



<그림 6.2.4.1> 효소(Carbonic anhydrase)반응 기작을 이용한 이산화탄소 처리 공정 모식도

2). 연구개발의 필요성

- 지구온난화 방지를 위한 기후변화협약의 이행 수단인 교토의정서가 '05. 2월 발효되었고, 우리나라도 온실가스 의무 감축 대상국으로 될 가능성이 높으므로 온실가스 감축에 대한 범 정부적인 노력이 필요함.
- 기존 CO₂ 격리방법인 해양격리, 지중격리, 육상격리는 해양생태계의 악영향, 고비용의 처리 및 관리비, CO₂ 재유출 등의 문제점이 발생함.
- 국내외 CCS(포집 및 저장, Carbon Capture and Storage) 기술 개발은 격리방법 위주로 수행되고 있으며, 저장(고정) 및 재활용 방안에 대한 연구가 미흡함.
- 생광물화(Biomineralization) 기술은 반응에 필요한 금속양이온을 제철슬래그, 폐콘크리트 등 폐기물을 사용할 수 있어 산업 부산물 및 폐기물의 친환경적인 처리가 가능하며 이를 통해 다방면으로 재활용 할 수 있는 탄산염광물 생산이 가능함.
- 본 기술과 같이 생물학적 이산화탄소 고정기술을 통하여 온실가스를 배출구로부터 무배출 (Zero-discharge)이 가능하며 배출구로부터 직접 고정과 활용(유용한 광물생산)이 가능하여 포집, 저장, 처리, 활용에 소요되는 비용의 절감이 가능함.

나. 연구개발대상의 국내 · 외 기술 및 산업동향

1). 국내 기술 및 산업동향

- 국내 광물 탄산화 연구는 한국지질자원연구원을 중심으로 2000년대 중후반 들어서 기초연구 개발이 본격화되었으며 최근까지도 예비연구, 혹은 기관 자체연구 수준으로 진행되고 있는 실정임.
- 한국지질자원연구원에서는 2009년부터 지식경제부의 지원으로 3년 계획 (약 7억원 예산)으로 광물 탄산화 연구를 수행중이며, 이는 거의 유일한 국가과제라고 할 수 있음(참여기관: 한국지질자원연구원, 연세대, 인천대, 서남대 등).
- 한국지질자원연구원의 기획보고서에 따르면, 천연광물을 이용한 광물 탄산화 기술의 국내 기술수준은 약 30% 수준이며, 산업 부산물을 이용한 광물 탄산화 연구는 거의 평가를 내릴 수 없을 만큼 연구개발 이력이 적은 실정임.
- 국내 광물 탄산화 연구는 지극히 제한적으로 실험실적 연구가 이루어지고 있으나, 광물 탄산화 반응 자체는 상당 부분 알려져 있고, 지중 저장 등의 사업과 달리 소규모이지만, 단기간에 실용화가 가능할 것으로 판단됨.

2). 국외 기술 및 산업동향

- 미국의 LANL(Los Alamos National Laboratory), NETL(National Energy Technology Laboratory) 등에서 천연광물의 탄산화를 중심으로 연구개발을 수행하여 왔음.
- 도쿄대학교는 폐콘크리트, 콘크리트 슬러지, 제철 슬래그 등 산업부산물의 탄산화 분야 중심으로 기술개발을 진행하고 있음. 일본은 국가 전체적으로 CO₂ 전환 분야가 포함되어 있으나, 대단위 프로그램은 거의 없는 것으로 파악됨.
- 2000년대 초반부터 Finland 의 Helsinki University of Technology, Abo Academi University 등을 중심으로 광물(serpentinite 등), 산업 부산물의 광물 탄산화 연구를 2000년 초반부터 수행하고 있음.
- 유럽의 네덜란드(Energy Research Centre of the Netherlands) 등에서도 산업 부산물을 활용한 광물 탄산화 연구개발 이력이 있음.

3). 국내 · 외 특허 동향

(1) 국내

- 부산석고를 이용한 이산화탄소 고정화 방법(10-2010-0008342)
- 콘크리트 축진 탄산화 반응 이용한 이산화탄소 저장 방법(10-2010-0085785)
- 이산화탄소의 영구 고정화 원료용 사문석의 전처리방법(10-2009-0083541)
- 특이점 : 대부분 물리화학적 이산화탄소 광물화(mineralization)에 대한 특허 출원

(2) 국외

- 다양한 공정이 개발되어 특허 및 상용화 제품 개발에 주력하고 있음.
- 특히 생물학적 효소 반응에 의한 생광물화 연계 제품 및 부산물 재이용에 관한 기술 개발에 집중되어 있음.

다. 연구개발 최종목표 및 주요개발내용

1). 최종목표

- CO₂ Biomineralization을 위한 실험실 규모 미생물 반응기 및 Biomineralization 관여 미생물 기작에 대한 연구를 통하여 보다 높은 고효율의 경제적인 이산화탄소의 저장 및 격리

(Storage & Sequestration)에 대한 기초 기술 확보

- 미생물에 의한 이산화탄소 소모율을 이론적인 소모율(30%) 대비 실제 실험결과와 비교하여 이론적 목표치에 도달할 수 있는 공정 개발

2). 주요개발내용

- 광물을 CO₂에 의해 탄산화하여 토양에 영구 저장하는 경제성이 확보된 원천 기술 개발
- 산업 부산물을 이용한 광물 탄산화의 실증 및 이를 통한 연간 500만톤의 CO₂ 저장 기술 확립
- 산업 부산물 및 폐기물의 친환경적 처리 기술 개발
- 이산화탄소 배출원에 적용 가능한 package 형태의 상용화 제품 개발
- 탄산염 광물의 고부가 가치 용도 개발
- CO₂ 광물 탄산화 기술을 통한 신성장 동력의 창출

3). 연차 목표

연차 (소요예산)	목표 및 내용
1차년도 (8억원)	<ul style="list-style-type: none"> ○ CO₂ 생광물화에 대한 국외기술 및 현황조사 <ul style="list-style-type: none"> - 현행 생광물화 기술 및 관련 미생물 효소 기술 조사 ○ 생광물화 효소 배양 기술 완성 <ul style="list-style-type: none"> - 목표 미생물효소 배양 장치 제작 및 배양 ○ CO₂ 생광물화 시작품 카트리지 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 시작품 카트리지내 충전 매질별 조합이 가능한 설계
2차년도 (12억원)	<ul style="list-style-type: none"> ○ CO₂ 생광물화 카트리지 충전 매질 조합별 생광물화 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 매질 조합별 생광물화 효율 측정 - 경제성 측정 ○ CO₂ 생광물화 1/10 상용화 카트리지 설계 및 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 최적 매질 조합 및 경제성평가에 의한 상용화제품 설계 및 제작 ○ CO₂ 생광물화 1/10 상용화 카트리지 효율 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 1/10 크기의 상용화 장치 실제운영 및 효율 평가
3차년도 (15억원)	<ul style="list-style-type: none"> ○ CO₂ 생광물화 상용화 카트리지 제작 및 효율 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 1/10 크기의 상용화설비 스케일업 하여 제작 및 운영평가 ○ 충전 매질 별 효율성 자료 산출 <ul style="list-style-type: none"> - 목표 충전 매질 별 생광물화 효율성 자료 산출

라. 연구개발 추진전략

- 1단계 : 환경기초시설의 온실가스 배출 억제에 필요한 요소 기술 개발
- 2단계 : 단계 개발 기술을 환경기초시설의 일부분에 적용하여 온실가스 배출 억제 효과를 검증
- 3단계 : 1,2단계에 개발된 기술을 환경기초시설에 적용하여 실제 온실가스 배출 억제 효과를 획득
- 최종목표 : 시설별로 각각의 특성에 맞는 기술을 개발하고 환경, 에너지, 그리고 온실가스가 종합적으로 고려된 독자 기술의 개발



<그림 6.2.4.2> 단계별 기술개발 체계

마. 연구개발 기대효과

1). 기술적 효과

- 향후 물리적인 광물 탄산화보다 경제성이 뛰어난 CO₂ 저장 진행 및 사후 관리에 대한 기초 기술 제공
- CO₂ 저장 공정 기술 개발
- CO₂ 저장의 이화학적, 생물학적 분석을 통한 변화 예측
- CO₂ 생물학적 전환 기초 자료 제공
- 국내외 대용량 CO₂ 저장 사업에 기여

- CO₂ 생물학적 전환 미생물 균주 획득, 대량배양, 유용물질 생산
- 생명공학기술과 환경공학기술을 융합한 환경생명공학기술을 활용한 기술

2). 경제 · 산업적 효과

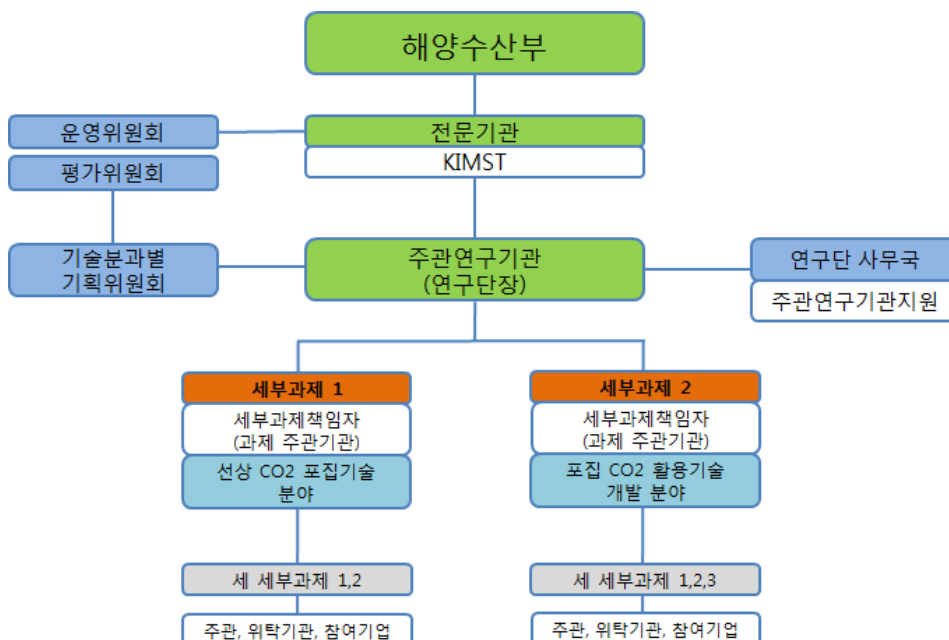
- 향후 '기후변화 대응 기술 보유국'이 기후변화시대의 경제를 주도하는 신흥 경제 강국으로 부상될 것으로 예상되므로, 온실가스 저감 기술 개발은 경제 산업적 위상 증대
- 주요 인위적 메탄 발생원인 매립지에서 발생하는 메탄저감기술개발을 통해 기후변화 협약 대응기술을 확보하고 이를 통해 탄소배출권 확보 가능
- 메탄산화균 및 이산화탄소 생광물화균과 같은 고부가가치 미생물 확보
- 생물학적 이산화탄소 격리 공정 개발 및 생물학적 메탄저감기술로 CDM 사업에 기여
- 미생물 이용으로 물리화학적 광물화보다 경제성이 뛰어남.

6.3. 연구개발 추진전략 및 체계

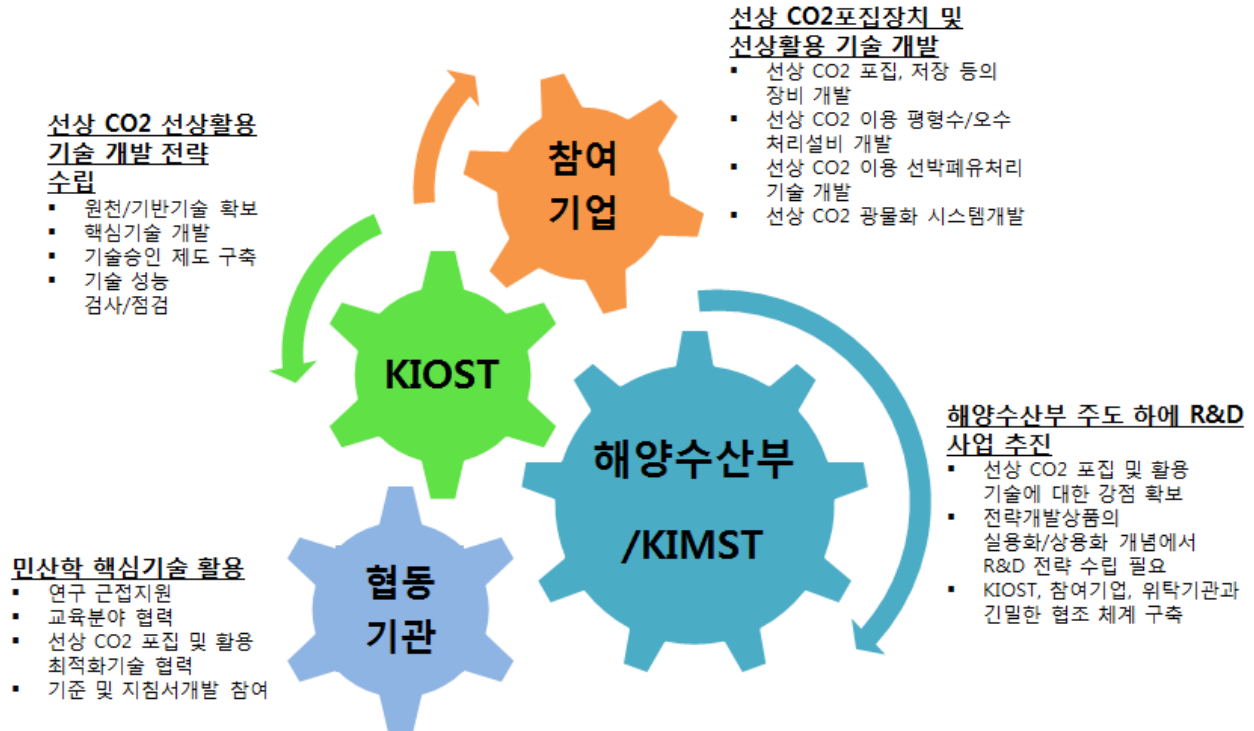
가. 연구개발 로드맵

선박평형수 통합관리 기술 개발 로드맵						
		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년
핵심연구기술개발	선상 CO2 포집 기술	선상 직접 CO2 포집기술 개발				
	포집 CO2 활용 기술	포집 CO2를 이용한 선박평형수와 오수처리 고효율화 시스템 개발			오존 고도화 기술을 통한 선박폐수(폐유)처리 기술 개발	CO2 고정 및 활용이 동시에 가능한 생광물화 패키지 공정 개발

나. 연구개발 추진체계



다. 업무 연계 및 협력 방안



다. 연구별 소요 예산

분야	핵심개발/연구	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	합계
선상 CO ₂ 포집 기술	A. 선상 직접 CO ₂ 포집기술 개발						
	A1. 선상 CO ₂ 포집기술	7	13	15			35
	A2. 엔진 폐열회수 기술	5	8	7			20
	A3. 포집CO ₂ 압축 및 저장기술	5	6	4			15
	A4. 포집 및 저장시설 설계		5	5			10
선상 포집CO ₂ 활용기술	B. 포집CO ₂ 를 이용한 선박평형수 와 오수처리 고효율화 시스템 개발						
	B1. 선박평형수 고효율화 기술개발	5	10	20			35
	B2. 오수처리 고효율화 기술 개발	3	7	5			15
	C. 오존 고도화 기술을 통한 선박폐수(폐유)처리기술 개발						
	C1. CO ₂ 를 이용한 pH 조절기술			2	3		5

분야	핵심개발/연구	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	합계
선상 포집CO ₂ 활용기술	C2. 수중 오존+CO ₂ 용존효율 증대기술			3	2		5
	D. CO ₂ 고정 및 활용이 동시에 가능한 생광물화 패키지 공정 개발						
	D1. 미생물을 이용한 CO ₂ 고정 및 생광물화 기술개발			5	5		10
	D2. CO ₂ 생광물화 상용화 카트리리지 제작 및 효율 평가			5	10	10	25
합 계							175

부록. 논문



Contents lists available at ScienceDirect

Marine Pollution Bulletin

journal homepage: www.elsevier.com/locate/marpolbul

Enhancing the efficacy of electrolytic chlorination for ballast water treatment by adding carbon dioxide



Hyung-Gon Cha^{a,b}, Min-Ho Seo^a, Heon-Young Lee^c, Ji-Hyun Lee^d, Dong-Sup Lee^b, Kyoungsoon Shin^a, Keun-Hyung Choi^{e,*}

^aSouth Sea Research Institute, Korea Institute of Ocean Science and Technology, 41 Jangmok-1gil, Jangmok-myun, Geoje-si 656-834, Republic of Korea

^bDepartment of Oceanography, Busan National University, 2 Busandaehak-ro 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan 609-735, Republic of Korea

^cNew Water Tech Co. Ltd., Unit 204 Sanhak-Kwan, Dongkuk St. 32, Ilsan-donggu, Goyang-si 410-820, Republic of Korea

^dKorea Testing & Research Institute, 411 Daun-dong Jung-gu, Ulsan 681-802, Republic of Korea

^eDepartment of Oceanography and Ocean Environmental Sciences, Chungnam National University, 99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Available online 1 April 2015

Keywords:

Electrochlorination
Carbon dioxide
Synergistic effects
Ballast water

ABSTRACT

We examined the synergistic effects of CO₂ injection on electro-chlorination in disinfection of plankton and bacteria in simulated ballast water. Chlorination was performed at dosages of 4 and 6 ppm with and without CO₂ injection on electro-chlorination. Testing was performed in both seawater and brackish water quality as defined by IMO G8 guidelines. CO₂ injection notably decreased from the control the number of *Artemia franciscana*, a brine shrimp, surviving during a 5-day post-treatment incubation (1.8 and 2.3 log₁₀ reduction in seawater and brackish water, respectively at 6 ppm TRO + CO₂) compared with water electro-chlorinated only (1.2 and 1.3 log₁₀ reduction in seawater and brackish water, respectively at 6 ppm TRO). The phytoplankton *Tetraselmis suecica*, was completely disinfected with no live cell found at >4 ppm TRO with and without CO₂ addition. The effects of CO₂ addition on heterotrophic bacterial growth was not different from electro-chlorination only. Total residual oxidant concentration (TRO) more rapidly declined in electro-chlorination of both marine and brackish waters compared to chlorine + CO₂ treated waters, with significantly higher amount of TRO being left in waters treated with the CO₂ addition. Total concentration of trihalomethanes (THMs) and haloacetic acids (HAAs) measured at day 0 in brackish water test were found to be 2- to 3-fold higher in 6 ppm TRO + CO₂-treated water than in 6 ppm TRO treated water. The addition of CO₂ to electro-chlorination may improve the efficiency of this sterilizing treatment of ballast water, yet the increased production of some disinfection byproducts needs further study.

© 2015 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Electro-chlorination is one of the most cost-effective and widely adopted approaches for disinfection and purification of water. It produces hypochlorite by passing direct current through electrodes within an electrolytic cell, using salts as electrolytes, and generating oxidized chlorine. It also has many other applications such as treatment of swimming pool water (Gomà et al., 2010), cooling water towers (Jenner et al., 1998), prevention of biofouling

in desalination (Thangappan and Sampathkumaran, 2008), and ship ballast water (Lloyd's Register, 2012; Tsolaki et al., 2010).

One of the fast-growing areas of its application is for treatment of ship ballast water. Ballast water management systems (BWMS) based on electro-chlorination now account for more than a third of all BWMS installed on ships (Lloyd's Register, 2012). Electro-chlorination of ballast water is not only highly effective, but it is also safer. It eliminates the need for storing concentrated chlorine on ships and handling of chlorine gas, which is highly toxic and corrosive.

Approximately 3.5 gigatons of ballast water are being used globally each year for stability and maneuverability of ships during voyages (Endresen et al., 2004). Ballast water carries a variety of organisms, some of which may be non-native and nuisances in receiving bodies of water, causing extensive ecological and

* Corresponding author at: Department of Oceanography and Ocean Environmental Sciences, Chungnam National University, 99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Republic of Korea. Tel.: 82428216432.

E-mail address: keunhchoi@cnu.ac.kr (K.-H. Choi).

economic damage. Over two-thirds of recent non-native species introductions in marine and coastal areas are likely due to transfer by ships, and ballast water transport and discharge are the most common mode of that transfer (Endresen et al. 2004).

Ballast water treatment via physical exchange of ballast water with oceanic water has been practiced for some time (Locke et al., 1993), and BWMS can also be installed on board to treat water during ballasting to prevent the transfer of harmful aquatic organisms and pathogens. BWMS will be required to be installed for most ocean-going vessels in accordance with the International Convention for the Control and Management of Ships Ballast Water & Sediments adopted in 2004, when it enters into force (IMO, 2004).

Despite its merits, electro-chlorination of ballast water has two major issues that need to be addressed. (1) Power consumption to generate high total residual oxidants (TRO) concentration increases disproportionately at lower salinities (Lacasa et al., 2013). (2) Many BWMS employ high TRO concentrations, >10 ppm, during ballasting to kill or suppress the growth of organisms inside ballast tanks (MEPC, 2014 and references therein). However, high levels of TRO, although effective, may produce high concentrations of disinfection byproducts (DBPs) that could be harmful for the environment receiving discharged waters (Tsolaki et al., 2010; Werschkun et al., 2014). It would be better, therefore, to find an inexpensive means to achieve high mortality rate of organisms in ballast water with relatively low TRO, while producing readily degraded disinfection byproducts. Enhancing the efficiency of the electro-chlorination process could lead to better and more environment-friendly treatment of ballast water.

Efficiency of electro-chlorination may vary according to conditions in ballast water, such as salinity, pH and temperature. Especially, the relative concentrations of reactive halogenated compounds at aqueous equilibrium depend on pH. The standard reduction potential for the formation of hypobromous acid from bromide is 1.33 V as compared to 1.49 V for the equivalent chloride reaction (WHO, 2000). This results in oxidation nearly all of the chlorine present (to a limit of 65 ppm) from hypochlorous acid (HOCl) to hypobromous acid (HOBr). At low pH, TRO will cause formation of more HOCl and/or HOBr than the less powerfully oxidative hypochlorite (OCl⁻) and hypobromite (OBr⁻). A pH reduction down to 6 will increase the proportion of HOCl or HOBr by 7%. HOCl is 80–200 times stronger than OCl⁻ in terms of pathogen disinfection (White, 1999). A way to decrease pH in water is to dissolve CO₂ by injecting it as gas or aqueous solution. Increased CO₂, and thus lowered pH will increase the proportion of HOCl and HOBr, which could increase toxicity to organisms (Kim et al., 2013).

In this study, we examined the combined effects of increased levels of CO₂ and TRO on the survival of plankton and heterotrophic bacteria in simulated ballast water. The study was designed to test whether injection of CO₂ increases the death of plankton in ballast water and thus could be used for BWMS employing electro-chlorination.

2. Materials and methods

2.1. Electro-chlorination and CO₂ injection system

The electro-chlorination system was set up on a pier at South Sea Research Institute (SSRI) of Korea in Jangmok Bay. Prior to initiating the electrolysis assays, the parameters were selected as follows: tank volume 1 m³, operational voltage for generating TRO concentrations up to 6 ppm with CO₂ injection rate at 100 ml min⁻¹ to reduce pH 6 for both seawater (salinity > 32) and brackish water (salinity = 15).

2.2. Preparation of test water

Test waters (1 m³) for saline (salinity > 32) and brackish (salinity at 15) water condition were prepared in accordance with the IMO G8 guidelines (IMO, 2008). Seawater for the tests was drawn by pumping from the surface of Jangmok Bay into a 1 m³ polyethylene non-toxic water tank on the pier. For brackish water tests (salinity of 15), the bay water was diluted with tap water that had been aerated overnight to remove its residual TRO. Water temperature, if lower than 15 °C, was raised to 15 °C with a submersible, thermostatic regulator (LifeTech Inc., China).

2.3. Augmentation of chemical compounds and test organisms

A total of 10 cycles with 5 test cycles for seawater and brackish water, respectively, with each test cycle lasting 5 days. The whole experiments could not be finished within a short period and the experiments spanned over 4 months during which environmental characteristics of the bay water were regularly monitored (Table 1). The bay water contained low concentration of dissolved organic carbon (DOC, <2 ppm, Table 1) and particulate organic carbon (POC, 1–2 ppm, Dr. PG Jang, personal comm.). To meet the required test condition as stipulated in the IMO G8 guidelines (IMO, 2008) for DOC, POC and total suspended solids (TSS), glucose (Sigma–Aldrich Co., 3.3 and 13.3 g m⁻³ for seawater and brackish water condition, respectively) and starch (Sigma–Aldrich Co., 5.3 and 66.7 g m⁻³, respectively) were added to the test water. These chemical additions satisfied the test soup conditions as required in the IMO G8 guideline for brackish water with >50 mg l⁻¹ TSS and >5 mg l⁻¹ DOC against seawater with only >1 mg l⁻¹ TSS and >1 mg l⁻¹ DOC, and are routinely applied for land-based tests at the test facility located at the SSRI where these CO₂ experiments were conducted.

The guidelines also set the desired level of abundance for plankton: 10⁵ individuals m⁻³ for organisms >50 μm and 10³ individuals m⁻³ for plankton of 10–50 μm in minimum dimension. Both pre-cultured *Artemia franciscana*, a brine shrimp, representing zooplankton (>50 μm in minimum dimension) and *Tetraselmis suecica*, a marine green alga, representing phytoplankton (10–50 μm in minimum dimension) were added to the test water at the IMO G8 guideline concentrations (Table 1). *A. franciscana* (INVE aquaculture, <http://www.inveaquaculture.com/>) were hatched from dehydrated cysts. A water bath kept the temperature at 18–20 °C for 2 days with continuous aeration through constant air flow during development of the cysts (Madhu, 2009). The freshly hatched ones were then carefully separated from the remaining cysts. The green (Chlorophyta) microalga, *T. suecica* (Kyllin) Butcher, supplied from Chlorland Inc. (Geoje, Korea), was grown on f/2 Guillard medium at 20 °C under LD 12:12 cycles for several days until they reach exponential growth phase. Natural seawater (pH of 8.3) was filtered through a membrane filter with a nominal pore size of 0.7 μm and was autoclaved at 121 °C for 20 min and stored at 4 °C until use for culture of the phytoplankton. Both zooplankton and phytoplankton culture were added to the 1 m³ seawater or brackish test water immediately before the water was treated with the electro-chlorination system. The test water was aerated from the bottom with an aerator installed at the bottom to mix the whole water column and provide oxygen during the experiments.

2.4. Controls and treatment of organisms using CO₂ injection and electro-chlorination system

The experiments were carried out sequentially. The first test water (200 l) containing the phytoplankton and zooplankton were pumped through the electro-chlorination system without the system activated to serve as a control. Another water of 400 l

Table 1

Environmental characteristics of the Jangmok Bay in 2014 during the experimental period from which test water was drawn.

Month	Date	Temperature (°C)		Salinity		Dissolved oxygen (ppm)		pH		Secchi depth (m)	Chla ($\mu\text{g l}^{-1}$)	DOC (mg l^{-1})	
		Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom			Surface	Bottom
Jan	3	8.0	7.7	33.1	33.2	10.2	9.5	8.0	8.0	5.0	4.8		
	9	7.4	7.5	33.2	33.2	10.8	10.6	8.1	8.1	2.1	8.9	1.2	1.2
	16	6.0	5.9	33.4	33.4	10.5	10.5	8.1	8.1	3.0	5.7		
	23	6.2	6.1	33.5	33.4	9.9	10.2	8.1	8.1	3.5	2.9	1.3	1.1
	28	7.0	6.9	33.4	33.4	10.0	10.1	8.1	8.1	4.0	1.3		
Feb	7	6.7	6.7	33.5	33.5	9.4	9.5	8.1	8.1	4.0	2.1	1.4	1.2
	14	6.3	6.2	33.4	33.4	9.7	9.6	8.2	8.2	4.5	1.5		
	20	6.9	6.7	33.5	33.5	9.7	9.4	8.2	8.1	4.2	1.6	1.6	1.3
	26	7.7	7.5	33.4	33.6	9.7	9.4	8.1	8.1	4.5	1.1		
	Mar	7	7.9	7.7	33.5	33.5	8.7	8.7	8.0	8.0	4.0	1.5	1.5
Mar	14	8.2	8.5	32.8	33.5	10.2	9.7	8.1	8.2	4.5	1.3		
	21	9.5	9.4	33.3	33.3	9.9	10.1	8.1	8.1	4.0	2.5	1.2	1.2
	28	11.5	10.5	33.0	33.3	10.0	9.5	8.1	8.1	4.5	2.2		
	Apr	4	11.1	11.1	33.2	33.1	9.3	9.1	8.1	8.1	4.5	2.7	1.6
Apr	10	13.7	12.0	32.9	33.1	9.6	9.4	8.1	8.1	3.5	0.6		
	18	14.0	12.9	32.5	33.2	8.8	8.7	8.1	8.1	3.7	8.7		
	24	15.1	13.3	33.2	33.2	9.4	8.8	8.2	8.3	4.0	1.2	1.6	1.6
	30	14.8	14.3	31.9	33.2	8.4	6.6	8.1	8.0	4.5	10.6		
	May	9	18.5	15.9	33.8	34.0	9.2	8.7	8.2	8.2	3.0	1.4	1.4
May	15	17.3	16.4	33.2	33.4	9.1	8.1	8.1	8.1	3.0	2.2		
	26	19.6	18.4	32.7	33.0	8.0	7.6	8.1	8.2	6.0	3.3		
	30	20.9	18.6	32.9	33.1	8.0	6.5	8.2	8.3	5.0	1.3		

was then pumped through the electro-chlorination system at two TRO levels (4 and 6 ppm). Finally, CO₂ (purity > 99.9% by volume, Korea Industrial Gases Ltd., Korea) was injected through PE-air tube (8 mm in diameter) into the test seawater line. The CO₂-seawater mixture (400 l) was then injected into the electrolytic system at two TRO levels (4 and 6 ppm). The CO₂ injection rate was regulated by a KOFLOC high-grade flow meter with a precision needle valve (MODEL RK1200, Kojima Instruments Inc., Japan). Once the test water passed through the chlorination chamber, the control and treated water was drained into 0.5 m³ tanks. Several liters of water were taken for chemical analysis of disinfection byproducts (see below) at day 0 from the effluents during one of the brackish water tests into DURAN amber glass bottles (DURAN Group GmbH, Mainz, Germany).

2.5. Water quality parameter measurements

A YSI 6000 Sonde (YSI Incorporated, Yellow Springs, OH 45387, USA) was placed in the test water tank during each treatment cycle. Temperature and salinity in the test water were measured prior to each test. Concentrations of total residual oxidants (TRO) in treated water was measured by the colorimetric DPD-method (Hach Method 8167) that is recommended for measurement of TRO in seawater (Buchan et al., 2005). The treated water was collected every 10 min in 500 ml glass beakers. The method is based on the oxidation of N,N-diethyl-p-phenylenediamin (DPD) which turns to a pink Wurster-cation in the presence of strong oxidants. The intensity of the color is proportional to the oxidant concentration. The color intensity was measured with a Hach DR/2000 spectrophotometer (Hach Company, Loveland, CO, USA). The pH of the control and treated waters were also measured with a pH meter (Thermo Orion Model 720, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham MA, USA).

2.6. Sampling of plankton and analysis

A 10 l sample was taken from the control water and treated water at each cycle of test for zooplankton, 1 l for phytoplankton,

and 1 l in sterile bag for bacteria, respectively. Control samples to obtain day 0 values of the plankton and bacteria were processed within a few hours of collection as described below. The other control and treated water samples were stored in an incubator set at 15 °C in the dark for 5 days. At the end of incubation, the samples of 10 l and 1 l were taken out and the waters from 10 l jar were dispensed into 500 ml glass beaker to determine pH and TRO. For one of the five test cycles of each of seawater and brackish water, both pH and TRO were measured every day to examine daily variation of their values. Whole water of both control and treated water for plankton was filtered through 32 μm Nylon mesh net immersed in the water of the same salinity to concentrate *A. franciscana* and 5 μm Nylon mesh filter for *T. suecica*. The zooplankton concentrated on the net were gently dispensed into Bogorov-Rass counting chambers. The whole 10 l water was concentrated down to 280–440 ml and 10–30 ml was examined at day 0 and the whole concentrate at day 5 for the zooplankton. Survivorship of the zooplankton was determined based on appendage movement under a Zeiss Stemi SV11 stereomicroscope (ASTM E729A, 2007; ASTM E1440A, 2012).

For phytoplankton 1 l sample water was concentrated to 200–400 ml. Live/dead staining of *T. suecica* was performed with fluorescein diacetate (FDA) purchased from Sigma Chemical Co. (Louis, MO, USA). FDA is taken up by live cells that convert the non-fluorescent FDA into the green fluorescent metabolite fluorescein. The FDA stock solution was prepared by mixing with reagent grade dimethylsulfoxide (DMSO) at a concentration of 5 mg ml⁻¹ (Agustí and Sánchez, 2002). Each sample was stained by adding 100 μl of the working solution to 3 ml sample (final concentration: 1.7 $\mu\text{g ml}^{-1}$ FDA). Stained samples were kept cool and dark for a minimum of 10 min prior to enumeration. A 1 ml of the sample was dispensed onto the Sedgewick-Rafter counting chamber and 10 fields were counted at X 100 for the control waters and the whole water for the treated water samples with an Axiostar Plus fluorescence microscope (Zeiss Inc., Oberkochen, Germany).

For heterotrophic bacteria assay, 0.1 ml of the sample water was spread using an 'L' shaped spreader on Petri plates containing Marine Agar (Difco™ Marine Agar 2216, BD Co., New Jersey, USA). The plates after inoculation were incubated in an inverted position

at 28 ± 2 °C for 48 h. The colonies were counted, and the population density was expressed as colony forming units (CFU) per ml of sample.

2.7. Chemical analysis of disinfection byproducts (DBPs)

Collection and handling of water samples for evaluating the DBPs followed standard procedures listed in Table 2. Trihalomethanes (THMs) were analyzed by the purge and trap method according to US-EPA 524.2 (EPA, 2007) with GC-MS detection. Haloacetic acids (HAAs) were determined by GC-MS after liquid-liquid extraction and derivatisation according to US-EPA 552.2 (rev.2) (EPA, 1995a). Acetonitriles were analyzed by liquid-liquid extraction and gas chromatography with electron-capture detection according to US EPA 551.1 method (EPA, 1995b).

3. Results

3.1. Environmental characterization of the test waters

The water quality during the experiments of the bay water from which the test water was drawn shows little freshwater input during the period (Table 1). Water temperature gradually increased but the salinity remained similar throughout the period. Dissolved organic carbon was low at <2 mg l⁻¹, remaining monotonous with little vertical difference between the surface and the bottom waters even though phytoplankton biomass fluctuated quite a bit.

Table 2

Disinfection byproducts (ppm) produced during electrolysis of brackish water condition set at 6 ppm for total residual oxidants concentration with and without CO₂ injection into water prior to electro-chlorination.

Compounds	6 ppm	6 ppm + CO ₂
<i>Trihalomethanes (THMs)</i>		
Trichloromethane	<detection limit	<detection limit
Dichlorobromomethane	<detection limit	<detection limit
Dibromochloromethane	0.73	0.83
Tribromomethane	4.38	8.29
1,2,3-Trichloropropane	<detection limit	<detection limit
Total THMs	5.11	9.12
<i>Haloacetonitriles (HANs)</i>		
Monochloroacetonitrile	0.14	0.14
Monobromoacetonitrile	0.43	0.36
Trichloroacetonitrile	<detection limit	<detection limit
Dichloroacetonitrile	0.83	0.76
Bromochloroacetonitrile	0.7	0.57
Dibromoacetonitrile	3.78	1.54
Tribromoacetonitrile	1.94	1.19
Bromodichloroacetonitrile	<detection limit	<detection limit
Dibromochloroacetonitrile	<detection limit	<detection limit
Total HANs	7.81	4.57
<i>Miscellaneous DBPs</i>		
Chloropicrin	0.35	0.35
<i>Haloacetic acids (HAAs)</i>		
Monochloroacetic acid	<detection limit	<detection limit
Monobromoacetic acid	<detection limit	<detection limit
Dichloroacetic acid	3.74	5.23
Dalapon	<detection limit	<detection limit
Trichloroacetic acid	0.73	2.43
Bromochloroacetic acid	<detection limit	<detection limit
Dibromoacetic acid	1.34	4.6
Bromodichloroacetic acid	<detection limit	<detection limit
Chlorodibromoacetic acid	<detection limit	<detection limit
Tribromoacetic acid	7.81	24
Total HAAs	13.62	36.2

3.2. Electricity consumption with the CO₂ addition

The electricity consumption with the addition of CO₂ to electro-chlorination was compared with that of just electro-chlorination (Fig. 1a). No significance difference was found for electrical consumption between CO₂ addition into electro-chlorination and electro-chlorination only (Analysis of Covariance, $p = 0.42$). Greater electricity was required in brackish water to produce the same level of TRO than in seawater (Fig. 1b).

3.3. pH and TRO decay

The pH gradually decreased over the five-day incubation in the dark even in control waters in both seawater and brackish water (Fig. 2a and b). The pH dropped by about 1 immediately following electro-chlorination at day 0 in seawater and slightly more in brackish water. Both seawater and brackish water treated with both CO₂ and electro-chlorination showed the lowest pH, but their pH gradually recovered during the holding time to around 7 at day 5 when the experiment ended. The recovery of pH over time was also observed for brackish water samples ($n = 4$, Fig. 1b).

TRO rapidly declined on the first day of treatment for waters treated by either CO₂ + electro-chlorination or by electro-chlorination only. The drop was more pronounced for waters electro-chlorinated only for both seawater and brackish water (Fig. 2c and d). After the initial drop in TRO concentration, it slowly decreased or maintained almost the same level over the 5 day holding period.

The pH at day 5 differed little among treatments with slightly lower pH at 6 ppm TRO + CO₂ (pH = 7.4) than in the control (pH = 7.8), with the rest of the treatments showing similar pH values (Fig. 3a). The TRO in the brackish water that remained at day 5 in the treatment with 6 ppm TRO + CO₂, was 2.0 ppm TRO ($n = 4$, Fig. 3b), about four times higher than in the treatment without CO₂ addition (0.5 ppm, Fig. 3b).

3.4. Disinfection byproducts (DBPs)

The DBP analysis was conducted for brackish water samples collected at day 0 only. Among DBPs, both the total concentration of trihalomethanes (THMs) and haloacetic acids (HAAs) were found about 2–3 times higher in 6 ppm + CO₂ treated brackish water than in 6 ppm treated brackish water (Table 2). Specifically, most notably, tribromoacetic acid was the byproduct compound with the highest concentration of 24 ppm, about three times greater than in the water not treated with CO₂. Other HAAs that increased with CO₂ injection were dichloroacetic acid, trichloroacetic acid and dibromoacetic acid. Among THMs, only tribromomethane was found to have increased following CO₂ injection. On the other hand, total concentration of haloacetonitriles (HANs) was considerably lower in 6 ppm + CO₂ treated water. Both di- and tribromoacetonitrile were down by half. Other DBPs were found to be below the detection limit or remained similar between with and without CO₂ injection.

3.5. Biological treatment effects

Heterotrophic bacterial colony formation (CFUs/ml) on Marine Agar for seawater and brackish waters showed variable results with CO₂ addition (Table 3). Although no clear reduction in bacterial CFUs was observed between CO₂ added waters and a both 4 and 6 ppm TRO level, bacterial CFUs were more consistent in CO₂ treated samples at the 6 ppm level of TRO than those treated only with 6 ppm for both seawater and brackish water trials.

For *T. suecica*, the synergistic effects of CO₂ addition could not be confirmed, as all phytoplankton were effectively disinfected at

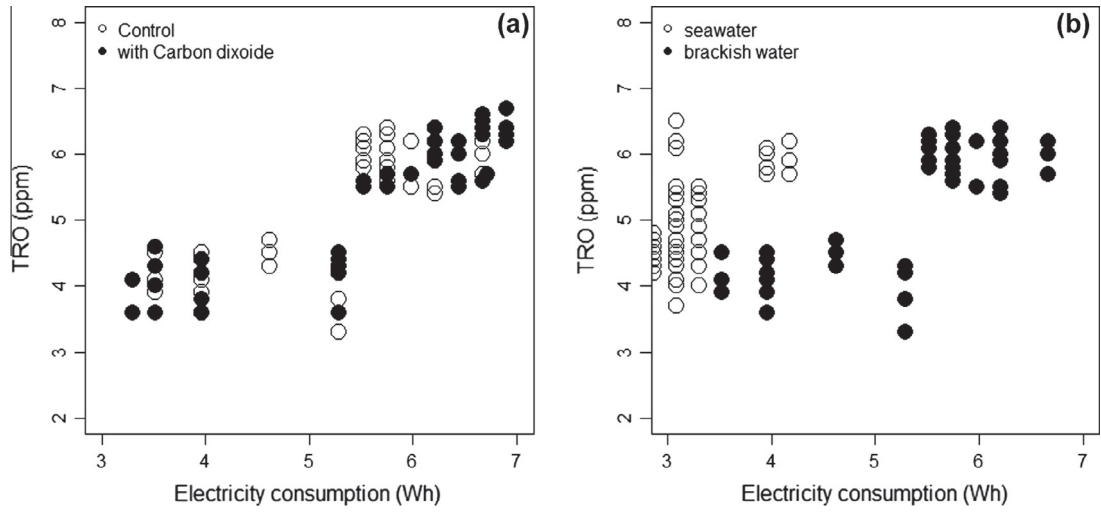


Fig. 1. Total residual oxidant (TRO, ppm) concentration vs. electricity consumption (Wh) to produce the TRO, which was measured at each level of electrical power. (a) TRO vs. power consumption for CO₂ addition to electro-chlorination and electro-chlorination only. No significance difference was found for electrical consumption between CO₂ addition and no CO₂ addition (Analysis of Covariance, $p = 0.42$); (b) power consumption for producing TRO for seawater and brackish water. Note that greater electrical power is required in brackish water to produce the same level of TRO than in seawater.

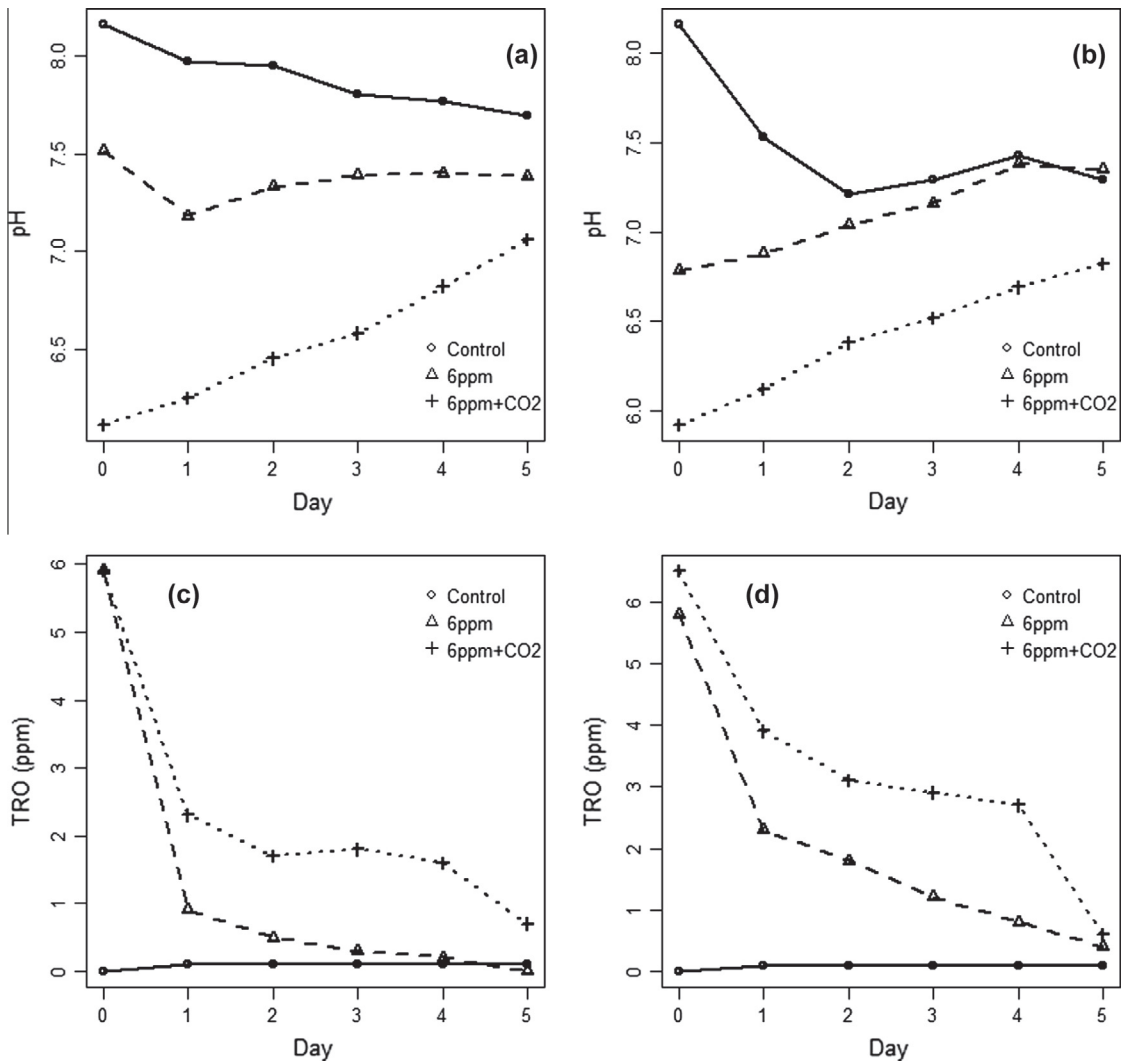


Fig. 2. Daily change of pH and TRO concentration in seawater (left panel) and brackish water (right panel). Note that TRO concentration drops less in the water treated with electrolysis and CO₂ than in the water treated with electrolysis only.

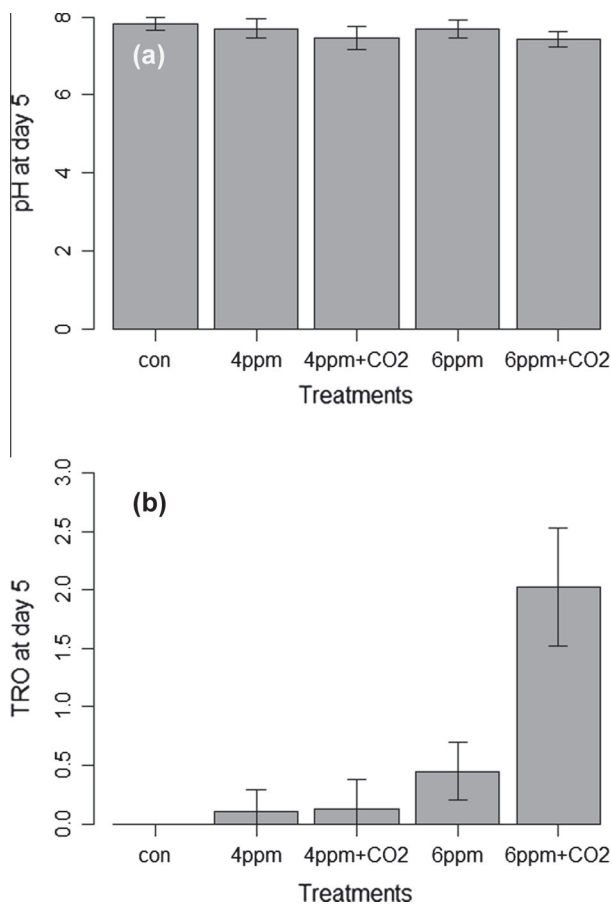


Fig. 3. pH and total residual oxidants (TRO, ppm) concentration measured at day 5 for brackish water tests ($n = 4$). Note that pH is little different among treatments, but significantly greater TRO remained from treatment to 6 ppm with CO₂. The vertical bars represent 95% confidence limits. con-control.

Table 3

Heterotrophic bacterial colonies (\log_{10} CFUs/ml) on Marine Agar for seawater and brackish waters treated differently. Note that bacterial CFUs at 6 ppm of total residual oxidants (TRO) and CO₂ were more consistent than those treated with 6 ppm of TRO only. sd: standard deviation ($n = 3$).

Treatment	Trial 1		Trial 2		Trial 3		Trial 4	
	CFU/ml	sd	CFU/ml	sd	CFU/ml	sd	CFU/ml	sd
<i>Seawater</i>								
Control	>4.0	–	>4.0	–	>4.0	–	>4.0	–
4 ppm TRO	>4.0	–	>4.0	–	>4.0	–	3.0	2.7
4 ppm TRO + CO ₂	2.9	2.6	>4.0	–	2.1	1.3	2.8	1.5
6 ppm TRO	2.7	2.1	>4.0	–	2.8	2.4	2.5	2.0
6 ppm TRO + CO ₂	2.8	2.1	2.7	2.3	2.6	2.2	2.3	1.9
<i>Brackish water</i>								
Control	>4.0	–	>4.0	–	>4.0	–	–	–
4 ppm TRO	>4.0	–	>4.0	–	>4.0	–	–	–
4 ppm TRO + CO ₂	>4.0	–	>4.0	–	>4.0	–	–	–
6 ppm TRO	2.3	2.0	3.3	3.0	>4.0	–	–	–
6 ppm TRO + CO ₂	2.4	1.9	3.6	3.2	2.5	2.4	–	–

4 ppm and above of TRO (Fig. 4). The majority of the phytoplankton did not survive the lowest concentration of treatment (4 ppm TRO) at day 0, and no phytoplankton cell was alive at day 5 with electrolysis for all treatments. In control waters, >70% of the initial phytoplankton remained alive at the end of the 5-day incubations.

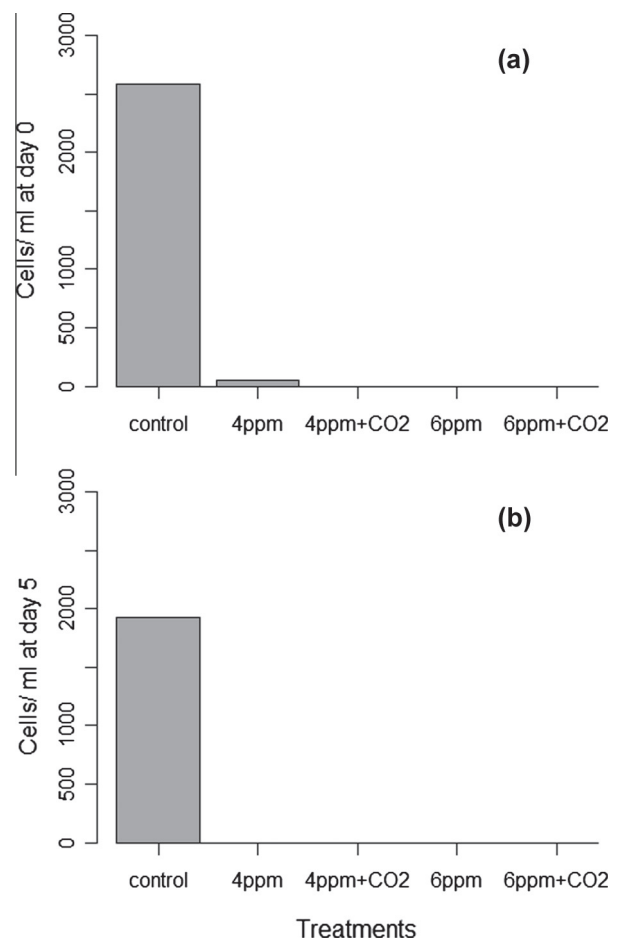


Fig. 4. The effects of CO₂ addition to electrochlorination process on mortality of the phytoplankton *Tetraselmis suecica*, with seawater and brackish water data combined ($n = 5$). Note that no cell was alive at the end of the incubation at concentration >4 ppm TRO.

The abundances of *A. franciscana* alive at the end of experiments (day 5) for seawater (Fig. 5a, $n = 5$) and brackish water tests (Fig. 5b, $n = 4$) were consistently lower at 6 ppm + CO₂ treatment than for 6 ppm without CO₂ for both seawater and brackish water. A similar pattern was observed for 4 ppm treatments with fewer organisms surviving in water with CO₂ addition than 4 ppm treatment alone. The numbers alive at 4 ppm + CO₂ treatment were comparable to those surviving at 6 ppm TRO for both seawater and brackish water. Overall more individuals appeared to have survived in brackish water than in seawater.

4. Discussion

Our results demonstrate that integration of CO₂ injection with electro-chlorination results increases the mortality of *A. franciscana* (Fig. 5). Lowering pH by the addition of CO₂ in itself would have limited effects on organisms. Our previous experiments have shown that CO₂ injection only without electro-chlorination had no deleterious effects on *A. franciscana* (data not shown), although pressurized CO₂ may increase plankton mortality (Dixon and Kell, 1989). The proper pH for *A. franciscana* is around 7.5–8, whereas pH less than 5 and greater than 10 will generally kill brine shrimp (Madhu, 2009). In addition, pH of 7.0 led to decreased hatching rates regardless of salinity compared to the control (pH 8.0) in a study by (Salma et al., 2012). For phytoplankton on the other hand, moderately elevated levels of CO₂ have been reported to stimulate

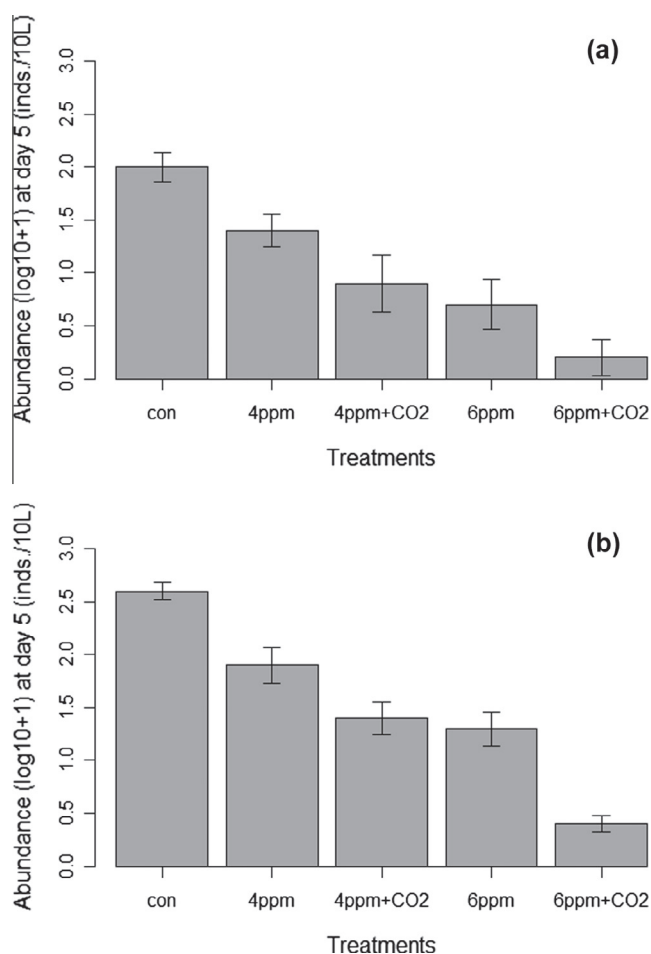


Fig. 5. The abundance of zooplankton, *Artemia franciscana*, alive at the end of experiments (day 5) for seawater (a, $n = 5$) and brackish water tests (b, $n = 4$). Note that the numbers alive at 4 ppm TRO + CO₂ are similar to those survived at 6 ppm TRO, with many fewer having survived at 6 ppm TRO and CO₂.

phytoplankton growth for a variety of species, as CO₂ can be a limiting resource in some systems (Low-DÉCarie et al., 2011; Schippers et al., 2004). Compared to phytoplankton, fewer laboratory or field experiments have assessed the effects of changes in CO₂ concentration on heterotrophic microbes (Joint et al., 2010; Teira et al., 2012), but generally studies have found a decrease in production and growth rates at pH < 7 (Labare et al., 2010; Takeuchi et al., 1997).

The pH change following electro-chlorination was greater in brackish water than in the seawater (Fig. 2a, and b). Brackish water contains less salt and has less capability of buffering pH change than seawater. Our preparation of brackish water was made of aerated tap water mixed with seawater, which might also have contributed to the greater pH change. Lower pH, not only increases the TRO level, but may also contribute to increased stability of TRO and thus DBPs. After the initial drops day 1, TRO appeared to decline faster at 6 ppm only than in the 6 ppm + CO₂ treatment (Fig. 2c and d). TRO and DBPs appear to be more stable at pH lower than neutral. For instance, the stability of haloacetonitriles decreases and their hydrolysis rate to dihaloacetic acids increases with increasing pH and the number of halogen atoms in the molecules (Glezer et al., 1999; WHO, 2000). The HAN's were reported by Glezer et al. to have been less than 50% were degraded after 4 d at pH 5.4, whereas at pH 8.7 some of the compounds (e.g., trihaloacetonitriles) could not be detected after 24 h (Glezer et al., 1999). There was notable compositional shift of DBPs (Table 2) after the combination of CO₂ and electro-chlorination. Trihalomethanes

and haloacetic acids are the two most prevalent groups of known by-products formed during disinfection of natural waters with chlorine-containing oxidizing compounds (Hua and Reckhow, 2007; IARC, 2012; Singer, 1994). Hypochlorous acid (a more powerful oxidant) and hypobromous acid (a more effective halogenating agent) react collectively with natural organic matter to form chlorine DBPs, including trihalomethanes (THMs), haloacetic acids (HAAs), haloacetonitriles (HANs), haloketones, chloral hydrate and chloropicrin. With CO₂ injection, more THMs and HAAs were produced than electro-chlorination only (Table 2). Interestingly, HANs were lower with CO₂ injection in the brackish water test (Table 2), which therefore seems not to be related to pH change, but may be related to a process that suppresses the production of acetonitriles.

Much of the enhanced mortality of *A. franciscana* may result from more chlorine being present in stronger oxidizers such as hypochlorous acid/hypobromous acid (HOCl/HOBr) due to CO₂ addition, compared to the hypochlorite ion/hypobromite ions (OCl⁻/OBr⁻) dominant at higher pH, with the higher TRO concentrations with CO₂ addition. Delacroix et al. (2013) also showed that there was no correlation observed between DBP and organisms inactivation, but only between TRO concentration and organisms inactivation. They also reported that there was no correlation observed between DBP and organisms inactivation. If the elevated level of DBPs following CO₂ injection into electro-chlorination has no effects on organism mortality, this would be a disadvantage to using CO₂ in that DBP production and subsequent discharge to coastal waters is strongly regulated (Werschkun et al., 2014). Comparison of DBP production from a lower level of TRO (e.g., 6 ppm) with CO₂ addition with a greater level of TRO (e.g., 10 ppm) that may result in similar level of mortality should be further evaluated. Higher concentration of organic carbon and solid substance as in our comparative study of both seawater and brackish water conditions would lead to greater consumption of TRO. In our study, to the contrary, the TRO consumption was greater over the 5-day incubation period in the seawater than brackish water that has about 5 times greater organic carbon concentration than seawater (Fig. 2c and d). This might be related to greater electricity required for producing the same level of TRO for brackish water than seawater (Fig. 1b). It might also be possible that the much higher concentration of starch added to the brackish water may interfere with the produced TRO reacting with dissolved organic matter. These confounding factors of different voltage and potential interference of starch might have contributed to the seemingly little difference in mortality of *A. franciscana* in seawater and brackish water conditions (Fig. 5).

Our results indicate that injection of CO₂ could significantly reduce electricity use by increasing the mortality of plankton by electro-chlorination. Current density is an important parameter affecting the production of total residual chlorine oxidizers in ballast water (Lacasa et al., 2013). Electrochemical oxidation is an energy-intensive process, and the complete inactivation of larger organisms may require more energy than does disinfecting smaller organisms. For instance, complete inactivation of *A. franciscana* took up to 8.6 kW h/m³ of electricity in seawater and 20.2 kW h/m³ in brackish water in batch mode (Lacasa et al., 2013). On the other hand, *E. coli* was more susceptible to electrochemical inactivation, requiring only up to 0.042 kW h/m³ in seawater and 0.031 kW h/m³ in brackish water in batch mode (Lacasa et al., 2013). In our study, 4 ppm TRO was required for complete inactivation of *T. sueica* (Fig. 4), but *A. franciscana* were not completely killed even at 6 ppm TRO (Fig. 5). The TRO generation is also dependent on the concentration of electrolytes, requiring more energy to produce the same amount of TRO at lower salinity (Lacasa et al., 2013). This means much more energy is required for achieving a desired level of treatment (e.g., IMO G8 guideline

D-2 regulation) for larger organisms in less saline waters than the opposite combination. No increased electricity to produce the same amount of TRO with the CO₂ addition compared with that of electro-chlorination only (Fig. 1) and the ability to maintain elevated levels of residual TRO by CO₂ injection could bring down the use of electricity.

Low current densities may also reduce the amount of harmful chlorine species produced during disinfection (Tsolaki et al., 2010) which is currently a major concern of ballast water management systems generating reactive substances as byproducts (IMO, 2012; Werschkun et al., 2014). THMs, HAAs, and HANs are the three most abundant DBPs generated in the electro-chlorination process. Models and experimental results indicate that THM formation in chlorinated waters is proportional to chlorine dosage (Chowdhury et al., 2009; Sadiq and Rodriguez, 2004).

Lowered pH caused by CO₂ injection may have beneficial effects on calcification. All water contains dissolved calcium and magnesium. During electrolysis, calcium carbonate and magnesium hydroxide will deposit on the cathode, a process commonly referred to as scaling. It is a universal phenomenon with all electro-chlorinators without exception, and it can reduce the efficiency of electro-chlorination and the lifetime of electrodes. Scale is generally removed by flushing the electrolyser with diluted hydrochloric acid, another hazardous chemical for handling and storage. Lowered pH due to CO₂ injection could reduce the calcification by preventing or reducing the formation of deposits. Aqueous CO₂ will react with carbonate ion (CO₃²⁻) to produce bicarbonate ion (HCO₃⁻), a process known as carbonate dissolution. This can potentially reduce the frequency of the use and consumption of hydrochloric acid and risks associated with handling it. It could reduce the risk of accidental mixing of HCl and NaOCl and thus, chlorine gas formation (Gomà et al., 2010).

The CO₂ used with electro-chlorination in the present study was from compressed CO₂ commercially purchased. If the method is applied to BWMS installed on board, CO₂ could potentially be supplied on board ships, through stripping during the fuel combustion process. A recent study shows that the concept is technically feasible and capable of reducing ship CO₂ emissions by up to 65% (DNV, 2013). For a VLCC tanker, this could correspond to capturing more than 70,000 tonnes of CO₂ per year, transforming them from emissions to a tradable product (DNV, 2013).

5. Conclusion

In summary, we demonstrate that CO₂ injected into the electro-chlorination process may enhance the toxic effects of the treatment on zooplankton, improving its efficacy. With improved efficiency in TRO generation and lowered pH, incorporation of CO₂ injection into electro-chlorination may reduce the power consumption for generating TRO. Slightly greater concentration of TRO with CO₂ may be required to meet the IMO requirement of <10 organisms m⁻³ for >50 µm in minimum dimension at discharge on day 5. Many BWMS remove large organisms by filtration before electro-chlorination treatment, which would be a choice of matter.

Acknowledgements

We thank an anonymous reviewer for the extensive comments which contributed to great improvement of the quality of the manuscript. This study was funded by Korea Institute of Ocean Science and Technology to K.H. Choi (grant number PE99244) and Korea Institute of Marine Science & Technology Promotion to K. Shin (grant number PM 58160).

References

- Agustí, S., Sánchez, M.C., 2002. Cell viability in natural phytoplankton communities quantified by a membrane permeability probe. *Limnol. Oceanogr.* 47, 818–828.
- ASTM E1440A., 2012. Standard Guide for Acute Toxicity Test with the *Rotifer Brachionus*.
- ASTM E729A., 2007. Standard Guide for Conducting Acute Toxicity Tests on Test Materials with Fishes, Macroinvertebrates, and Amphibians.
- Buchan, K.A.H., Martin-Robichaud, D.J., Benfey, T.J., 2005. Measurement of dissolved ozone in sea water: a comparison of methods. *Aquacult. Eng.* 33, 225–231.
- Chowdhury, S., Champagne, P., McLellan, P.J., 2009. Models for predicting disinfection byproduct (DBP) formation in drinking waters: a chronological review. *Sci. Total Environ.* 407, 4189–4206.
- Delacroix, S., Vogelsang, C., Tobiesen, A., Liltved, H., 2013. Disinfection by-products and ecotoxicity of ballast water after oxidative treatment – Results and experiences from seven years of full-scale testing of ballast water management systems. *Mar. Poll. Bul.* 73, 24–36.
- Dixon, N.M., Kell, D.B., 1989. The inhibition by CO₂ of the growth and metabolism of micro-organisms. *J. Appl. Bacteriol.* 67, 109–136.
- DNV, 2013. PSE Report on Ship Carbon Capture and Storage.
- Endresen, Ø., Behrens, L., Brynstad, H., Bjørn Andersen, S., Skjong, A., 2004. Rolf Challenges in global ballast water management. *Mar. Poll. Bul.* 48, 615–623.
- EPA, U., 1995a. Determination of haloacetic acids and dalapon in drinking water by liquid–liquid extraction, derivatization and gas chromatography with electron capture detection. EPA Method 552, 2.
- EPA, U., 1995b. EPA Method 551.1. Determination of Chlorination Disinfection Byproducts, Chlorinated Solvents, and Halogenated Pesticides/Herbicides in Drinking Water by Liquid–Liquid Extraction and Gas Chromatography with Electron-Capture Detection – Revision 1.0.
- EPA, U., 2007. U.S. EPA Method 524.2 Determination of volatile organics in drinking water.
- Glezer, V., Harris, B., Tal, N., Iosefzon, B., Lev, O., 1999. Hydrolysis of haloacetonitriles: linear free energy relationship, kinetics and products. *Water Res.* 33, 1938–1948.
- Gomà, A., Guisasaola, A., Tayà, C., Baeza, J.A., Baeza, M., Bartrolí, A., Lafuente, J., Bartrolí, J., 2010. Benefits of carbon dioxide as pH reducer in chlorinated indoor swimming pools. *Chemosphere* 80, 428–432.
- Hua, G., Reckhow, D.A., 2007. Comparison of disinfection byproduct formation from chlorine and alternative disinfectants. *Water Res.* 41, 1667–1678.
- IARC, 2012. Then monographs, Dibromoacetonitrile.
- IMO, 2004. International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments.
- IMO, 2008. Harmful aquatic organisms in ballast water. Report of the sixth meeting of the GESAMP-Ballast Water Working Group MEPC/58/52/57.
- IMO, 2012. BWMS.2/Circ.13/Rev.1. Methodology for information gathering and conduct of work of the GESAMP-BWWG.
- Jenner, H.A., Whitehouse, J.W., Taylor, C.J., Khalanski, M., 1998. Cooling water management in European power stations Biology and control of fouling. *Hydroécologie Appliquée* 10, 1–225.
- Joint, I., Doney, S.C., Karl, D.M., 2010. Will ocean acidification affect marine microbes? *ISME J.* 5, 1–7.
- Kim, K., Kim, K.Y., Kim, J.-H., Kang, E.J., Jeong, H.J., Lee, K., 2013. Synergistic effects of elevated carbon dioxide and sodium hypochlorite on survival and impairment of three phytoplankton species. *Algae* 28, 173–183.
- Labare, M.P., Bays, J.T., Butkus, M.A., Snyder-Leiby, T., Smith, A., Goldstein, A., Schwartz, J.D., Wilson, K.C., Ginter, M.R., Bare, E.A., 2010. The effects of elevated carbon dioxide levels on a *Vibrio* sp. isolated from the deep-sea. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 17, 1009–1015.
- Lacasa, E., Tsolaki, E., Sbokou, Z., Rodrigo, M.A., Mantzavinos, D., Diamadopoulos, E., 2013. Electrochemical disinfection of simulated ballast water on conductive diamond electrodes. *Chem. Eng. J.* 223, 516–523.
- Lloyd's Register, 2012. Ballast water treatment technologies and current system availability. Understanding Ballast Water Management series.
- Locke, A., Reid, M., Van Leeuwen, H., Sprules, W., Carlton, J., 1993. Ballast water exchange as a means of controlling dispersal of freshwater organisms by ships. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50, 2086–2093.
- Low-DéCarie, E., Fussmann, G.F., Bell, G., 2011. The effect of elevated CO₂ on growth and competition in experimental phytoplankton communities. *Glob. Change Biol.* 17, 2525–2535.
- Madhu, K., 2009. Artemia: growth and reproduction, cysts decapsulation, hatching techniques and biomass production—Winter School on Recent Advances in Breeding and Larviculture of Marine Finfish and Shellfish.
- MEPC, 2014. MEPC 66/INF.2 Harmful aquatic organisms in ballast water, List of ballast water management Guidelines, guidance documents and approved ballast water management systems.
- Sadiq, R., Rodriguez, M.J., 2004. Disinfection by-products (DBPs) in drinking water and predictive models for their occurrence: a review. *Sci. Total Environ.* 321, 21–46.
- Salma, U., Uddowla, M.H., Lee, G., Yeo, Y., Kim, H.-W., 2012. Effects of pH Change by CO₂ induction and salinity on the hatching rate of *Artemia franciscana*. *Fisheries and Aquatic Sciences* 15, 177–181.
- Schippers, P., Lürling, M., Scheffer, M., 2004. Increase of atmospheric CO₂ promotes phytoplankton productivity. *Ecol. Lett.* 7, 446–451.
- Singer, P., 1994. Control of disinfection by-products in drinking water. *J. Environ. Eng.* 120, 727–744.

- Takeuchi, K., Fujioka, Y., Kawasaki, Y.Y.S., 1997. Impacts of high concentration of CO₂ on marine organisms; a modification of CO₂ sequestration. *Energy Convers Manage* 38, S337–S341.
- Teira, E., Fernández, A., Álvarez-Salgado, X.A., García-Martín, E.E., Serret, P., Sobrino, C., 2012. Response of two marine bacterial isolates to high CO₂ concentration. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 453, 27–36.
- Thangappan, R., Sampathkumaran, S., 2008. Electrochlorination system: a unique method of prevention of biofouling in seawater desalination. *Int. J. Nucl. Desalin.* 3, 135–142.
- Tsolaki, E., Pitta, P., Diamadopoulos, E., 2010. Electrochemical disinfection of simulated ballast water using *Artemia salina* as indicator. *Chem. Eng. J.* 156, 305–312.
- Werschkun, B., Banerji, S., Basurko, O.C., David, M., Fuhr, F., Gollasch, S., Grummt, T., Haarich, M., Jha, A.N., Kacan, S., Kehrer, A., Linders, J., Mesbahi, E., Pughiuc, D., Richardson, S.D., Schwarz-Schulz, B., Shah, A., Theobald, N., von Gunten, U., Wieck, S., Höfer, T., 2014. Emerging risks from ballast water treatment: the run-up to the international ballast water management convention. *Chemosphere* 112, 256–266.
- White, G.C., 1999. *The Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*, 4th ed. J. Wiley, New York.
- WHO, 2000. *Disinfectants and disinfectant by-products*, Environmental Health Criteria, vol. 216, p. 499.

