

# 우리나라 동해안을 이용한 녹색성장



김 규 한 |

관동대학교 토목공학과 교수  
kxhkim@kd.ac.kr



김 경 숙 |

첨단해양공간개발연구센터 연구원  
1224sealove@hanmail.net

## 1. 서론

달러의 보유가 국가의 신뢰도와 경쟁력을 가늠, 달러가 세계시장의 매개체가 되던 팍스달러리움(Pax Dollarium)은 저물고, 바야흐로 탄소중심의 시대인 팍스카보니움(Pax Carbonium)이 도래했다. 현재와 같이 지속적으로 화석연료를 사용한다면 21세기 말까지 지구평균기온이 최대 6.4℃ 상승하고, 해수면은 59mm 상승할 뿐만 아니라, IPCC 배출 시나리오에 관한 특별보고서(IPCC Special Report on Emission Scenarios)(SRES, 2000)에 따르면 2000년에서 2030년까지 전 세계 온실가스는 25~90%(CO<sub>2</sub>상당) 증가할 것으로 전망하고 있다. 이 같은 전 지구적 환경변화에 대해, 국제사회는 인류가 직면한 가장 큰 위협이 기후변화라

는 점에 대해 공감대를 형성하고 있고, 한국정부 또한 “저탄소 녹색성장”을 향후 60년의 새로운 국가비전으로 제시하고 있다. 전 세계적인 녹색패러다임에 부응, 세계 각국은 지구환경 보호와 안정적인 에너지 공급을 위해 지속가능한 신재생에너지 개발에 박차를 가하고 있다. 특히 해양은 화석에너지 고갈에 따른 에너지 자원의 부족에 대비한 지구상의 마지막 보고로서 그 부존가치가 점차 증가하고 있으며, 해양에너지를 이용한 발전기술은 화석연료 사용에 따른 환경오염과 자원고갈 문제를 극복할 수 있는 주요 대체에너지 기술로 그 중요성이 증대되고 있다.

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 해양에너지 개발을 어느 나라보다도 신중히 고려하여야 하지만 경제성 문제와 실용화의 어려움에 대한 우려 때문에 그동안 연구 개발의 속도가 상대적으로 떨어져 있었다. 하지만 최근에는 지구온난화에 따른 기후변화와 저탄소 녹색성장의 시대적인 패러다임으로 해양을 이용한 청정에너지원 개발에 대한 사회적 요구가 가속화 되고 있는 것이 현실이다. 해양에너지원을 이용한 발전 기술 중 주목을 받는 조력, 파력, 조류, 해양온도차 발전에 대한 국내의 기술수준은 그 기술마다 각각 연구 개발 초기단계부터 실용화 단계까지 다양하다. 손중원 등(2009)은 1994년 완공된 시화호가 2000년에 시화호 수질개선 대책의 일환으로 해수가 교환되는 기수호로 전환됨에

따라 시화호 해수교환의 효율적인 활용방안으로 2002년 시화방조제에 조력발전소를 설치·운영하는 계획이 환경 친화적인 청정에너지 개발의 전환점이 되었음을 언급하였다. 국내의 경우, 현재 서해안에서는 조력발전(시화), 조류발전(울돌목)이 이루어지고 있으며, 남해안의 경우 제주 한경면 앞 바다에서는 파력발전의 실증실험이 이루어지고 있다. 서해안, 남해안에서 해양에너지 개발이 추진되고 있는데 반해, 동해안은 현재 가시적인 개발이 추진되고 있지 못하는 실정이다. 따라서 본고에서는 우리나라 동해안의 부존 해양에너지원의 활용방안 및 해양을 통한 저탄소녹색성장의 가능성에 대하여 긍정적으로 검토해 보고자 한다.

## 2. 녹색성장의 블루오션 해양

### 2.1 우리나라 동해안의 지역적 여건

동해안은 고성에서부터 울산까지 360km가 넘는 길이를 가지며, 3개 해안중 수심이 가장 깊고 한류와 난류가 교차하는 지역으로 해양자원이 풍부할 뿐만 아니라, 우리나라 어느 해역보다 바람, 파도, 태양광 등 해양에너지원의 자연적 조건이 우수한 지역에 속한다. 하지만, 해양에너지를 개발하기 위해서는 동해안의 깊은 수심 등의 지형적 여건은 극복해야할 과제로 남아 있으며, 이를 극복할 수 있는 기술의 개발 및 적용은 경제성 등의 이유로 추진이 미흡한 실정이다. 경상북도(2009)는 기추진 되어지

고 있는 유립을 비롯한 선진국에서는 해양에너지 기술의 동향이 외해역에 적용 가능한 기술개발임을 감안해 볼 때, 우리나라 동해안은 해안선에서 5~10km내외가 수심 100m 정도로 외해역 대상 신기술 적용에 적합한 지역인 것으로 판단하고 있다.

### 2.2 우리나라 동해안의 해양자원 및 에너지 개발

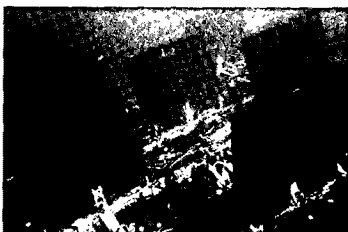
#### 2.2.1 파력발전

##### 1) 개요

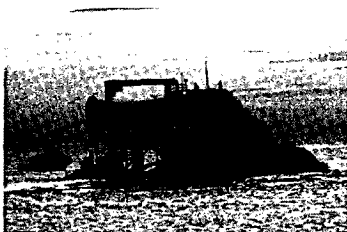
파랑의 운동 및 위치에너지를 이용하여 터빈을 구동하거나 기계장치의 운동으로 변환하여 전기를 생산하는 기술로써, 파력은 해상의 기상 현상에 의해 지속적으로 공급되는 재생 가능한 에너지자원이다.

##### 2) 종류

파력발전의 작동방식은 작동원리에 따라 가동물체형, 진동수주형, 월파형으로 구분(그림 2.1)되며, 설치 형태에 따라서 착저식과 부유식으로 구분(그림 2.2)되기도 한다. 파력에너지 변환효율은 진동수주형 파력발전 방식이 일반적으로 월파형 파력발전 전에 비해 유리한 것으로 알려져 있다. 또한 진동수주형의 경우 파고의 크기에 관계없이 에너지 취득이 가능한 장점을 갖으나, 월파형의 경우에는 사면 천단고의 설계높이에 의해 결정되는 일정한계 이상의 파고에 대해서만 에너지 취득이 가능한 제약을 갖는다. 파랑에너지의 변동성은 파력발전 기술에서 직면하는 가장 큰 어려움 중의 하나이며, 이에 따라 파력발전의 실용화를 위해서는 발생전력의 평활화



Wave Roller : AW Energy, 핀란드  
(a)가동물체형

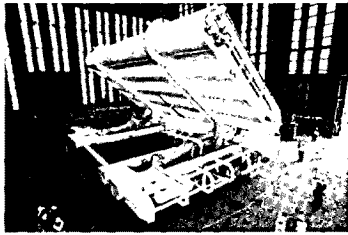


Parabolic Entry OWC : Energetech, 호주  
(b)진동수주형

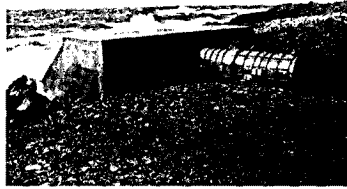


나선암초형 월파파력발전 : 한국해양연구원, 한국  
(c)월파형그림

그림 2.1 작동원리에 따른 파력발전 방식



Oyster : Belfast & Aquamarine Power, 영국



LIMPET : WaveGen, 영국



CETO : Carnegie Wave Energy, 호주

그림 2.2a 설치형태에 따른 파력발전 방식(착저식)



Pelamis, Pelamis Wave Power, 영국



Wave Dragon : Wave Dragon, 덴마크



Mighty Whale : JAMSTEC, 일본

그림 2.2b 설치형태에 따른 파력발전 방식(부유식)

가 가장 중요한 과제가 되고 있다.

### 3) 개발방향

김규한(2009)에서는 파력발전은 건설에 따른 공해요인이 거의 없으며 생태계에 미치는 영향도 미미할 뿐만 아니라, 시간변동성이 타 대체에너지원보다 작아 이용률을 40%까지 확보할 수 있음은 물론, 파력발전장치에 의한 파랑에너지 흡수효과를 이용하여 항만해역이나 침식이 우려되는 해안을 보호할 수 있으며, 방파제와 겸하여 활용이 가능함을 제시하였다. 파력발전의 적합성에 대한 여러 가지 의견이 있으나, 현재까지의 연구를 감안해 볼 때 파고가 높고 주기가 긴 지역이 적지로 판단된다. 동해안의 방파제와 해안침식 저감시설 및 이안계에 파력발전 장치를 접목하여, 해안구조물로서의 기능 발현과

함께 해양에너지 공급을 통한 경제적 효과와 친환경적인 측면에서의 개발이 필요하다. 그림 2.3은 해안구조물에 파력발전 장치를 접목한 개념도이고 그림 2.4는 실제 실험장면이다.

## 2.2.2 해수온도차 이용기술

### 1) 개요

해수의 연직방향의 온도차를 이용하여 작동유체를 증발시켜 터빈을 구동함으로써 전기를 생산하는 해수온도차 발전(OTEC: Ocean Thermal Energy Conversion)과 해수온도와 대기온도의 차를 활용하여 히트펌프(열교환기)를 통해 냉난방에 이용하는 해수온도차 냉난방이용기술을 포함하는 기술이다.

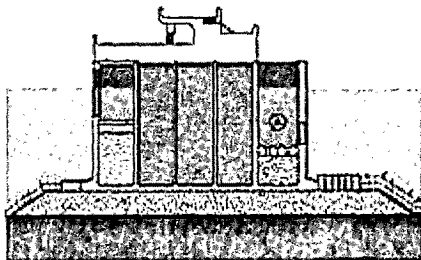


그림 2.3 개념도



그림 2.4 실제 실험장면

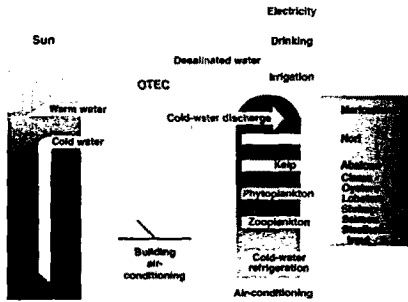


그림 2.5 해수온도차 이용기술, <http://www.nrel.gov/otec>

2) 종류

해수온도차 발전은 작동유체로 저온비등 냉매를 사용하는 폐순환 시스템(Closed-Cycle System)과 저압의 증발기를 이용하여 온수 자체를 작동유체로 사용하는 개방순환 시스템(Open-Cycle System), 폐순환과 개방순환의 장점을 결합한 혼합순환 시스템(Hybrid System)으로 구분된다.

그림 2.6의 (a)폐순환 시스템은 해수표층의 온수를 사용하여 오존층을 파괴하지 않는 천연 냉매로 암모니아나 프로필렌 같은 비등점이 낮은 유체를 증발시켜 터빈을 돌려 발전하는 방식이다. 산업자원부(2007)에서 폐순환 시스템은 과정이 단순하여 전력 생산만을 목적으로 하는 경우보다 실용적이며, 전력변환 효율은 약 5%정도이며, 펌프효율 등을 포함한 전체 시스템 효율은 약 2.5% 정도이고, 플랜트 설비 단가가 저렴한 것으로 나타내고 있다. 그림 2.6의 (b)개방순환 시스템은 해수 표층의 온수를 작동유체로 직접 사용하는 방법으로, 전력 생산 과정에서 부산물로 담수가 얻어진다. 산업자원부(2007)에서는 개방순환 시스템은 상대적으로 효율

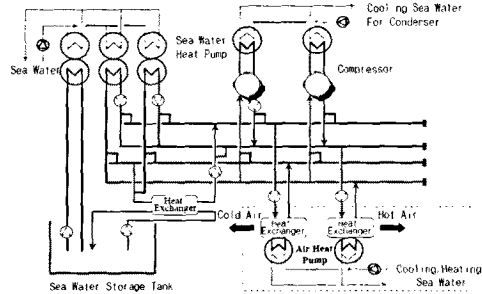
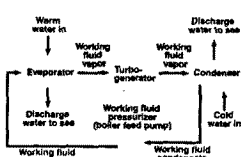


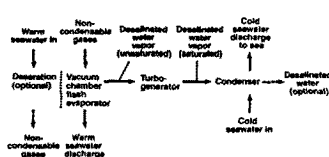
그림 2.7 해수온도차 냉난방시스템의 개념도, 산업자원부(2007)

이 높아 더 많은 전력 생산이 이루어지고 담수의 활용이 가능한 장점이 있으나, 플랜트 설비 단가는 폐순환 시스템보다 다소 비싼 편이며, 전력변환 효율은 약 5.5%정도이며 전체 시스템의 효율은 약 3.0% 정도로 나타내고 있다. 그림 2.6의 (c)혼합순환 시스템은 폐순환과 개방순환의 장점을 결합한 것으로 열원을 최대도 사용하도록 설계, 전력과 담수를 동시에 얻게 하는 방법이다.

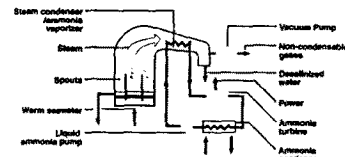
해수온도차를 이용한 냉난방 시스템은 그림 2.7에서 보는 나타난 것과 같이 해수온도와 대기 온도의 차를 이용하여 대기온도를 냉각 또는 가열하는 공기히트펌프와 해수로 냉난방계통 내에 순환되는 냉온수를 냉각 또는 가열하는 해수열원 히트펌프로 구성되어 있다. 냉각 시스템에 이용되는 냉동기의 응축기 부분에서 해수열원을 이용하는지 아니면 공기열원을 이용하는 지에 따라 냉동효과의 증대를 통해 시스템의 성적 계수를 증가시킬 수도 있다. 산업자원부(2007)에서는 해수열원과 공기열원을 모두 사용하는 해수온도차 냉난방 시스템의 경우 해수온도에 따라 다소 차이가 있으나, 시스템의



(a)폐순환 시스템



(b)개방순환 시스템



(c)혼합순환 시스템

그림 2.6 증발기 작동 유체에 따른 해수온도차 발전 종류, <http://www.nrel.gov/otec>

효율은 40~60%의 증가 효과가 있는 것으로 언급하고 있다.

### 3) 개발방향

해수온도차 발전을 위해서는 약 20°C 정도의 온도차가 필요하나 자연 상태에서의 동해는 발전이 곤란한 것으로 조사되었다. 따라서 이같은 점을 극복하고자 동해안 및 남해일부 지역은 심층수와 발전소의 온배수를 활용한 온도차 발전이 적합, 온도차 발전과 지역 냉난방 시스템 결합한 복합이용 시스템 구축 필요하다고 보고된 바 있다. 이 같은 시스템을 구축하기 위해서는 발전설비(증발기, 압축기, 터빈 등)를 비롯 심층수 취수시설 등이 필요한데, 동해 연안에 기구축 되어 있는 발전소와 해양심층수 사업의 시설 활용이 필요하다.

## 2.2.3 CO<sub>2</sub>해양저장 기술

### 1) 개요

CO<sub>2</sub>는 지구온난화의 주범이며, 2030년에는 산업혁명 이전 농도의 2배에 달할 것으로 예상하고 있다. 선진국들이 탄소배출에 따른 문제에 대하여 탄소배출권을 얻기 위해 부심한 노력을 기울이고 있으며 앞으로 이 문제는 보다 심각한 국면에 접어들 것으로 예상되는 가운데, 해양을 매개로 한 CO<sub>2</sub> 저장에 관한 관심이 증가하고 있다. 박영규 등(2007)은 발전소 등과 같은 대규모 CO<sub>2</sub> 발생원에서 포집된 CO<sub>2</sub>를 해양 심층부(분사법), 해저면(저류법)에 주입하거나, 해양이나 육상의 퇴적층내(대수층, 가스/석유채굴공 등)에 저장하는 이산화탄소포집 및 저장(CCS, Carbon Capture and Storage) 하는 방안을 대표적 예로 들고 있다.

### 2) 종류

육상 및 해양의 CO<sub>2</sub>지중저장의 경우 미국, 캐나다, 노르웨이, 호주 등 선진국에서는 실용화 단계에 진입한 반면, CO<sub>2</sub>해양 분사나 저류의 경우 환경위해성에 대한 불확실성에 대한 연구개발 단계에 머

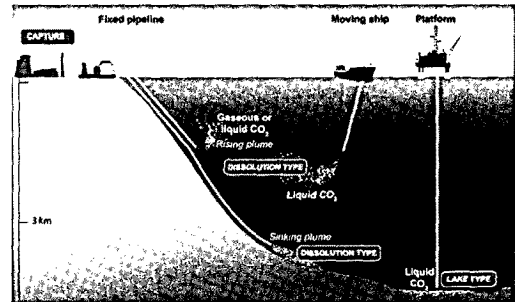


그림 2.8 CO<sub>2</sub>해양저장 개념, <http://www.global-greenhouse-warming.com/marine-ccs.html>

무르고 있으므로 이에 관한 환경적인 영향에 대한 연구가 선행되어야 할 것으로 보고 있다. 그림 2.8은 CO<sub>2</sub>해양저장 기술의 개념을 나타낸 것이다.

CO<sub>2</sub>해양저장 기술 중 CO<sub>2</sub>해양지중저장은 대량 발생원으로부터 CO<sub>2</sub>를 포집하여 저장지로 수송한 후, 가스 저장층이나 염대수층 등과 같은 해저 지질 구조 내에 CO<sub>2</sub>를 저장하는 공정 전체를 지칭하며, 강성길 등(2008)은 발전소 및 제철소 등과 같은 대규모 발생원에서부터 포집한 CO<sub>2</sub>를 파이프라인이나 선박등을 통해 직접 수송하여 이를 해양의 퇴적층에 대규모로 수백~수천년이상 장기간 저장 및 관리 하는 기술로 정의하였다.

CO<sub>2</sub>해양 분사나 저류의 경우 주요 CO<sub>2</sub>발생원에서 CO<sub>2</sub>를 직접 포집하여 액화시킨 후 해양의 중심층(수심 1,000 ~ 3,000 m)에 직접 분사, CO<sub>2</sub>를 해수에 용해시켜 해양과 대기의 CO<sub>2</sub>교환을 가속화시키는 것이 기본 개념이다. 심해와 바로 접한 지역에서는 육지에서 바다로 설치된 관을 이용하여 직접 CO<sub>2</sub>를 분사할수 있고, 심해와 바로 접해 있지

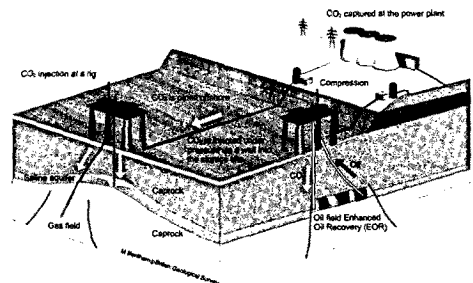


그림 2.9 CO<sub>2</sub> 해양지중저장, [http://www.ifdmavt.ethz.ch/education/student\\_projects/tyagi\\_III](http://www.ifdmavt.ethz.ch/education/student_projects/tyagi_III)

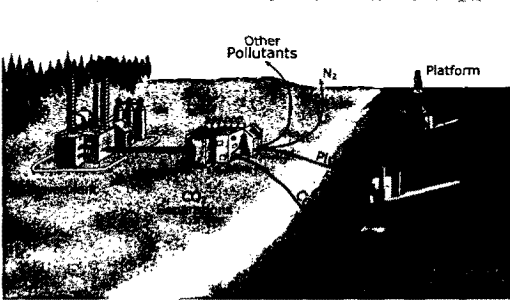


그림 2.10 CO<sub>2</sub> 해양분사 · 자료, [http://www.princeton.edu/~chm333/2002/fall/co\\_two/oceans/](http://www.princeton.edu/~chm333/2002/fall/co_two/oceans/)

않은 경우 선박 등의 이동수단을 이용하여 심해로 이동한 후 관을 통하여 수중으로 분사한다.

그림 2.9와 2.10은 각각의 개념들을 도식화한 것이다.

### 3) 개발방향

일반적으로 대기중에 방출되는 CO<sub>2</sub> 중 30% 이상을 해양에서 흡수하고 있지만 그 흡수 속도는 매우 느리다고 볼 수 있다. 때문에 인위적으로 이 속도를 가속화 시킬수 있는 방안 모색이 필요하다. 삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라의 경우, 동해가 서해 남해에 비해 깊은 수심을 갖으며 CO<sub>2</sub> 해양저장 기술 적용을 위해서는 동해가 가장 적합하다고 볼 수 있다. 하지만 이를 실제 적용하기 위해서는 대기로 재방출 되는 CO<sub>2</sub> 양과 관련, 저장효율과 pH 변화에 따른 환경 및 생태계 영향에 대한 고려가 반드시 선행되어야 할 것이다.

### 3. 결론

국내에서의 해양에너지 관련한 연구 및 개발은 연구기관과 대학, 민간기업 등에서 최근 관심을 가지고 진행 중이지만, 기술력은 선진국 대비 60~65% 정도의 수준에 이르는 것으로 나타나고 있다. 삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라는 삼면의 바다가 그 특성이 서로 다르기로 유명하다. 그중 서남해안

은 강한 조석과 지형적 특성(리아스식 해안)으로 세계적인 조력, 조류발전의 적지로 널리 알려져 왔으며, 이를 개발하기 위하여 정부차원에서의 지속적인 조사 및 기술개발이 추진되어 왔고, 지금까지 주변해역의 조류, 조력에너지 개발을 위한 기초조사와 요소 기술개발을 통해 에너지 분포 해석과 변동 특성 등의 분석이 수행되어왔으며, 이와 관련한 핵심요소기술의 실용화 연구가 수행 중이다. 뿐만 아니라 최근에는 조력, 조류에너지를 이용한 대규모 상용발전소 건설이 현실화 되고 있다.

반면, 동해안 지역은 현 기술력 대비 상용화의 적지가 아니라는 평가와 함께 해양에너지 개발의 핵심 대상 해역에서 배제되어 있었을 뿐만 아니라, 서해, 남해안 지역에 적용이 유리한 기술개발 위주로 해양에너지개발 정부정책과 기술개발연구가 진행이 되어 오면서 자연스럽게 해양에너지의 대상지역으로서 외면당해 왔다. 그러나 해양에너지 개발 측면에서 정부 정책에서 배제되어 왔던 동해안 지역에서는 해양에너지 개발을 위해 지자체를 비롯하여, 학계와 지역혁신 주체들이 적극적으로 개발의 필요성에 대한 검토를 추진하기에 이르렀으며, 직접 연구 개발에 나서고 있다. 조류, 조력을 제외한 다양한 해양에너지가 잠재되어 있는 우리나라 동해안의 남부 지역은 해양자원의 체계적 보존 및 개발 전략 추진을 위해 해양과학연구단지 설립을 추진하고 있으며, 동해안 북부지역은 해양에너지벨트사업 등을 추진하고 있다. 아울러 해양에너지 개발 전문 인력을 양성하기 위한 다양한 사업들이 시도되고 있다.

해양에너지개발은 저탄소녹색성장의 시대적 요구라 할 수 있다. 이 같은 시대적 요구에 발맞추어, 그동안 해양에너지 개발지역에서 배제되었던 동해안의 해양자원 및 에너지 잠재력을 대한민국의 블루오션으로 활용하여 삼면의 바다를 통한 저탄소 녹색성장의 체계적이고 올바른 연구개발 및 발전이 이루어져야 할 것이다. ☞

참고문헌

1. 강성길, 허철(2008). 해저 지질구조내 CO<sub>2</sub>저장기술의 연구개발 동향 및 향후 국내 실용화 방안, 한국해양환경공학회지, 11(1), pp.24-34.
2. 경상북도(2009). 경북 해양에너지 연구센터 건립 타당성 조사 및 기본구상 연구.
3. 김규한(2009). 강원도 특성을 고려한 녹색성장 방향, 강원광장, 88, pp.10-21.
4. 김준모(2009). CO<sub>2</sub> 저장 기술의 현황 및 전망, 공업화학 전망, 12(2), pp.31-41.
5. 박영규, 최상화, Katsumi Matsumoto, 이정석, 강성길, 황진환(2007). 심층분사를 통한 해양 이산화탄소 격리 기술 소개, 한국해양환경공학회지, 10(2), pp. 118-124.
6. 산업자원부(2007). 신재생에너지 RD&D전략 2030(해양).
7. 손중원, 김준규, 최동호, 김정엽(2009). 시화호 조력발전소 주요 설비의 특징, 유체기계공업학회 2009 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp.449-454.
8. 주재욱, 강석형(2009). 항만분야의 녹색에너지 지원시설, 대한토목학회지, 57(10), pp. 45-55.
9. <http://www.global-greenhouse-warming.com/marine-ccs.html>
10. [http://www.ifdmavt.ethz.ch/education/student\\_projects/tyagi\\_III](http://www.ifdmavt.ethz.ch/education/student_projects/tyagi_III)
11. <http://www.nrel.gov/otec>
12. [http://www.princeton.edu/~chm333/2002/fall/co\\_two/oceans/](http://www.princeton.edu/~chm333/2002/fall/co_two/oceans/)