

발간등록번호

11-1543000-000966-01

분리막 기술을 이용한 축산시설 CO₂ 포집 및 시설
하우스 공급 장치 개발

(Using Membrane Technology CO₂ capture in the livestock
production facility and development of greenhouse supply
device)

(주) 에이치엔엘

농림축산식품자료실



0022587

농 립 축 산 식 품 부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “분리막 기술을 이용한 대기 중 CO₂ 포집을 통한 시설 하우스 공급 장치 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2015 년 7 월 28 일

주관연구기관명 : (주)에이치엔엘

주관연구책임자 : 임 영 현

세부연구책임자 : 임 영 현

연 구 원 : 나 규 동

연 구 원 : 남 상 현

연 구 원 : 문 정 선

위탁연구기관명 : (주)이암허브

위탁연구책임자 : 방 서 연

위탁연구기관명 : 김 수 진

위탁연구책임자 : 방 순 민

요 약 문

I. 제 목

분리막 기술을 이용한 대기 중 CO₂ 포집을 통한 시설 하우스 공급 장치 개발

II. 연구성과 목표 대비 실적

분리막 기술을 이용한 대기 중 CO₂ 포집 및 시설 하우스 공급 장치 개발하여 개발된 장치에 대한 전문컨설팅 및 사업화 방안을 제시하였음

사업계획서의 목표항목은 다음과 같습니다.

1. 분리막 기술을 이용한 대기 중 CO₂ 포집 및 시설 하우스 공급 장치 개발
2. CO₂ 포집 및 시설 하우스 공급 장치 개발에 관한 지적소유권 및 전문 컨설팅을 통한 사업화 방향 제안

III. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

- 시설하우스에서 고품질 작물을 재배하기 위해서는 CO₂의 공급이 필요하며, 이를 공급하기 위하여 액화탄산을 공급하고 있는데, 일례로 파프리카 등의 과채류를 재배하는 농가들이 작물 생육에 필요한 CO₂ (CO)를 구하지 못해 어려움을 겪고 있으며, CO₂ 를 농업용으로 사용하는 작물은 주로 수출용 신선채소. 이 가운데 파프리카 재배 농가 90% 이상이 CO₂ 를 인위적으로 공급하고 있는 실정이며 그 가격 또한 주간에 식용 CO₂ 를 700ppm이상을 연속으로 시비하는데 소요되는 비용은 연간 300~400만원/10a 소요될 만큼 비싸게 형성되어 농업경영에 막대한 지장을 초래하고 있으므로 CO₂의 포집과 공급에 대한 기술 개발이 절실히 요구되고 있는 상황임

2. 연구개발의 필요성

- 대기 중의 이산화탄소의 꾸준한 증가는 지구온난화의 주범으로 지목되고 있고, 이러한

온난화 현상을 일으키는 주원인으로 생각되는 것은 바로 ‘온실 가스’ 라고 불리는 여러 종류의 기체들이며, 그 중 이산화탄소는 인류에 의해 가장 많이 배출되고 있는 온실가스임. 주원인으로 지목되고 있는 이산화탄소는 역설적이게도 식물의 탄소동화작용에 가장 필요한 요소이며 탄소동화작용의 결과로 산소를 분리하는 식물의 메커니즘을 통하여 온난화의 속도는 더더지고 있다 할 수 있음

IV. 연구개발 내용 및 범위

1. 분리막 기술을 이용한 대기 중 CO₂ 포집 및 시설 하우스 공급 장치 개발
2. 대기 중 CO₂ 저장 및 온실용 공급 시스템 시제품 제작
3. 본 개발 시스템의 기술가치평가

V. 연구개발결과

- 본 개발에서는 이산화탄소의 포집, 저장 및 공급 시스템을 모듈화하여 이동이 용이하도록 Proto-type one-module로 개발하였음
- 이는 온실가스 발생 시설 및 장치에 간편하게 설치가 가능하도록 개발 하였으며, 개발품의 종합기술가치를 산정하였음
- 시스템은 가스 포집부, 저장 및 공급부, 제어부로 구성되었으며 이들을 모듈화 하였음
- 이산화탄소 포집 시스템의 가스 포집부는 온실가스를 압축하여 공급하는 컴프레서와 컴프레서에서 압축된 온실가스에 포함된 수분을 건조하는 드라이어 그리고 압축·건조된 공기에서 이산화탄소를 분리하여 각각 다른 경로로 배출시켜줄 수 있는 멤브레인으로 구성함. 멤브레인을 통해 분리 배출된 이산화탄소를 저장할 수 있는 230리터 저장탱크와 탱크 내 이산화탄소를 압축하여 배출시키는 2HP 급 컴프레서로 구성하였으며, 전체 모듈을 구성하면 포집부, 저장부 및 공급부와 그를 제어하는 제어부 또한 한 단위를 이룰 수 있게 되고 이는 일반적인 시설하우스 300평에 공급할 수 있는 시스템으로 개발함
- 평가 대상 기술이 CO₂ 포집, 공급 시장에 모두 진출하는 것으로 가정, 사업화 계획년도인 2018년 상반기 이전에 현장적용 및 평가가 모두 완료된다는 가정 하에 기술가치평가를 실시하였음
- 기술의 경제적 수명을 기술수명 영향요인을 고려하여 경제적 수명을 6년으로 산정하였으며, 할인율 측정에서 자본비용, 사업화 위험 측정 점수표, 산업군 별 요소 적용하여 산출된 WACC 는 18.99%, 기술 기여도 측정을 위하여 개별 기술강도 측정과 사업성평가 측정을 수행하여, 산출 결과 최종 기여도는 38.17%이며 최종 가치 평가 결과 기술가치는 966백만원으로 산출됨

VI. 연구성과 및 성과활용 계획

- 기술개발 초기 단계에서 특허선행기술조사와 3P 분석을 통한 선행연구 및 시장분석 등을 통하여 개발완료 후 즉시 상용화가 가능한 형태로 멤브레인필터 (Membrane filter) 이용 CO₂ 공급 장치의 개발을 진행할 계획이며, 선행 기술에 대한 회피설계로 IP 출원 시 특허 등록에 문제가 없고 시장 선점 가능성이 높은 형태로 개발전략 확립
- 농기계공업협동조합/농업실용화재단을 통하여 멤브레인필터 (Membrane filter) 이용 CO₂ 공급장치의 농기계 등록 추진 및 농기계 가격집 등재 추진
- 에너지 및 CO₂ 절약효과 및 친환경 기술로서 보급 : 멤브레인필터 (Membrane filter) 이용 CO₂ 공급 장치의 경우 탄산 발생을 위해 종래의 연소장치 등을 활용하는 것이 아니라 기존 온실내부의 공기순환과 필터링을 통한 산소, 이산화탄소, 질소 등을 분리해내는 기술로서 별도 이산화탄소를 발생시키지 않고 온실 내 탄소순환모델을 정립할 수 있는 여타의 시비방법에 비해 보다 친환경적인 기술이라 할 수 있음
- 2012년 기준 시설원예 면적은 약 53,000ha로 매년 증가추세에 있음. 시설원예농가 중 상위10%를 선도농가로 가정하고, 시설면적 등을 고려한다면, 국내 멤브레인필터 (Membrane filter) 이용 CO₂ 공급 장치의 유효시장 규모는 약 5,000억 내외가 될 것으로 판단되고, 전체시장은 5조원이 이를 것으로 추정됨. 예상투자대비수익(ROI)은 약 467%로 예상됨

SUMMARY

(영문요약문)

I. Title

Development of Greenhouse Feeder through Atmospheric CO₂ Sampling using Separator Membrane Technology

II. Results of Research Achievement compared to Research Goals

- Developed an atmospheric CO₂ sampling & greenhouse feeder using separator membrane technology to present methods of professional consulting and commercialization plan for the developed feeder

Goals of the business plan are as follow.

- Develop atmospheric CO₂ sampling & greenhouse feeder using separator membrane technology
- Propose a direction of commercialization through the intellectual property right and professional consulting on the development of CO₂ sampling and greenhouse feeder

III. Objective & Necessity of R&D

- Continuing increase in atmospheric CO₂ is being pointed out as main culprit of global warming, and various types of gases referred to as 'greenhouse gas' are regarded as main cause of such global warming. Among these gases, CO₂ is greenhouse gas that is being discharged the most by humankind. Paradoxically, CO₂ that is being pointed out as main cause is the most essential element for the carbon dioxide assimilation of plants through which the speed of global warming is slowing down through the mechanism of plants of separating oxygen as a result of carbon dioxide assimilation
- For cultivating high-quality crops in greenhouse, CO₂ supply is needed for which liquid dioxycarbon is supplied. For example, farms cultivating fruits and vegetables such as paprika are experiencing difficulties from being unable to obtain CO₂ (CO) needed to

grow crops. Crops that use CO₂ for agricultural purpose are mostly fresh vegetables to be exported, among which over 90% of paprika farms are artificially supplying CO₂. In terms of its cost, a continuous fertilization of edible CO₂ during daytime is very high with 3-4 million won/10a annually, thereby causing enormous burden in agricultural management. Accordingly, development of a technology of CO₂ sampling and supply is desperately needed.

IV. Content & Scope of R&D

- Develop atmospheric CO₂ sampling & greenhouse feeder using separator membrane technology
- Manufacture a prototype of atmospheric CO₂ storage & greenhouse feeder system
- Conduct technical value assessment of the developed system

V. Results of R&D

- In this development, prototype one-module was developed for allow easy mobility the developing the CO₂ sampling, storage and supply system into modules
- It was developed to allow convenient and easy installation to greenhouse gas causing facilities and devices, and the total technical value of the developed product was estimated
- The system consists of gas sampling part, storage & supply part and control part that were developed in modules
- The gas sampling part of CO₂ sampling system consists of compressor for compressing and supplying greenhouse gas, dryer for drying moisture included in greenhouse gas compressed by compressor, and membrane for separating CO₂ from compressed and dried air to discharge them to respectively different paths. It also consists of 230 liter capacity storage tank for storing CO₂ separated and discharged through membrane and 2HP level compressor for compressing and discharging CO₂ inside the tank. In terms of the composition of entire module, sampling part, storage part, supply part and control part can also form a unit for a system that can supply to 300 pyeong of ordinary greenhouse
- Based on a supposition that the technology to be evaluated enter the CO₂ sampling and supply markets, technical value assessment was conducted with under the premise that field application and evaluation will all be completed before the first half of the year 2018, which is the commercialization year

- Considering the technology lifespan influence factors, the economic lifespan of the technology was estimated to be six years. As for the WACC computed by applying capital costs, commercialization risk measurement scorecard, industry group-specific elements for discount rate measurement, it was computed as 18.99% In terms of the final contribution level, it was found to be 38.17% after performing individual technical intensity measurement and feasibility evaluation and the technical value through final value assessment was found to be 9.66 million won

VI. Research Result and Result Utilization Plan

- Upon completing the development based on previous studies and market analysis through existing patent technology research and 3P analysis in the initial stage of technical development, membrane filter will be used in the form that will allow immediate commercialization to develop CO₂ feeder. Development strategy has been established to ensure a high possibility of advanced market occupation with no patent registration issue through avoidance design regarding existing technologies
- Through Agricultural Machine Industrial Cooperative/The Foundation of AG. Tech, Commercialization and Transfer, efforts will be made to register CO₂ feeder using membrane filter as an agricultural machine and be listed on the agricultural machine price sheet
- Dissemination of the technology as an energy & CO₂ reduction purpose eco-friendly technology: CO₂ feeder using membrane filter is a technology of separating oxygen, CO₂ and nitrogen through existing air circulation and filter inside greenhouse rather than using conventional combustion device to generate carbon dioxide. It can be considered as a more eco-friendly technology compared to other fertilization methods that can establish carbon circulation model inside greenhouse without generating carbon dioxide
- As of 2012, the area of controlled horticulture is on an increasing trend with about 53,000ha. Considering facility area based on the supposition that top 10% of controlled horticulture farms are leading farms, the scale of available market of CO₂ feeder using membrane filter in Korea is estimated to be around 500 billion. The entire market is estimated to be 5 trillion. Expected return on investment (ROI) is estimated to be about 467%.

CONTENTS

(영 문 목 차)

Chapter 1. Introduction

Section 1. Necessities and Objectives of Project

Chapter 2. Present status of technology developments

Section 1. Domestic technology developments

Section 2. Foreign technology developments

Chapter 3. Content and Result of Project

Section 1. Development of Prototype

Section 2. Intellectual Property Valuations

Section 3. industrialization prospect and valuation

Chapter 4. Accomplishment and Contribution

Chapter 5. Prospects for application

Section 1. Achievements of research

Section 2. Future plans

Chapter 6. Science and technology information collected from foreign countries through the project

Section 1. Verification of Technology Development

Chapter 7. Status of research facilities and equipment

Chapter 8. Lab safety management performance

Chapter 9. References

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 및 성과목표

제 1 절 연구개발의 필요성 및 목적

1. 연구개발의 필요성
2. 연구개발의 목적

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

1. 제안 기술의 현황
2. CO₂ 포집 기술
3. CO₂ 수송 기술
4. CO₂ 저장 기술
5. CO₂ 전환 기술

제 2 절 해외 기술개발 현황

1. 이산화탄소 포집 및 저장 기술
2. 이산화탄소의 이용 사례

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 CO₂ 포집 장치 개발

1. Proto-type 개발
2. 가스 포집부 개발
3. 저장 및 공급부 개발
4. 모듈 제어부 분석

제 2 절 온실 적용 및 실증시험

1. 온실 선정 및 측정
2. 실증시험 분석

제 3 절 사업화 전망 및 가치 평가

1. 기술 경쟁력 부문
2. 권리성 부문
3. 시장성 부문
4. 종합 기술가치 산정

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 연구개발 성과

1. 분리막 기술을 이용한 CO₂ 포집장치 및 시설 하우스 공급 장치 개발
2. 개발 장치 실증시험
3. 특허 출원

제 2 절 성과활용 계획

1. 실용화, 산업화 계획
2. 교육·지도·홍보 등 기술 확산 계획
3. 특허, 품종, 논문 등 지식재산권 확보 계획
4. 추가 연구, 타 연구 활용 계획

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 관련 기술 개발

1. 주요 기술별 연구 동향
2. 기술 개발 검증

제 7 장 연구시설·장비 현황

제 8 장 연구실 안전관리 이행실적

1. 연구실 안전조치 및 보안 이행실적
2. 연구실 안전점검 실시
3. 교육
4. 추가이행 계획

제 9 장 참고문헌

제 1 장 연구개발과제의 개요 및 성과목표

제 1 절 연구개발의 필요성 및 목적

1. 연구개발의 목적

가. 분리막 기술을 이용한 대기 중 CO₂ 포집 및 시설 하우스 공급 장치 개발

나. CO₂ 포집 및 시설 하우스 공급 장치 개발에 관한 지적소유권 및 전문 컨설팅을 통한 사업화 방향 제안

2. 연구개발의 필요성

가. 지구온난화 방지를 위한 온실가스 감축

- (1) 지구의 환경은 그 오랜 역사 동안 몇 번이나 극적으로 변해왔다는 사실이 다양한 증거를 통해 밝혀지고 있으나, 근래처럼 인간의 활동이 원인이 되어 급격한 환경 변화를 일으켰던 적은 없었으며, 특히 이산화탄소(CO₂)의 농도는 최근 200년 동안 급증하여 기온 상승의 주범으로 불리고 있음
- (2) 현재 세계의 평균적인 ‘대기 중 이산화탄소 농도’는 약 387ppm (2009년 말 기준)으로 조사되었고, 이는 공기 분자 100만 개 중에 이산화탄소 분자가 387개 있음을 의미함
- (3) 18세기 산업 혁명이 일어나기 전, 지구의 이산화탄소 농도는 약 280ppm으로 추정되고 있으며, 또한 얼음 속에 갇힌 공기를 조사한 결과, 적어도 과거 80만 년 동안은 300ppm을 넘은 적이 없다고 밝혀졌으나, 현재 300ppm을 넘어 계속해서 상승하고 있는 상태임
- (4) 대기 중의 이산화탄소의 꾸준한 증가는 지구온난화의 주범으로 지목되고 있고, 이러한 온난화 현상을 일으키는 주원인으로 생각되는 것은 바로 ‘온실 가스’라고 불리는 여러 종류의 기체들이며, 그 중 이산화탄소는 인류에 의해 가장 많이 배출되고 있는 온실 가스임
- (5) IPCC의 2007년 4차 보고서에 의하면 1906~2005년간 세계의 기온은 0.74℃ 상승한 것으로 이는 2001년 3차 보고서에서 나타난 1901~2000년간 0.6℃ 상승이라는 내용을 상회한 것으로 기후시스템의 온난화는 의심의 여지가 없다고 할 수 있음

- (6) IPCC에서는 온실가스 배출량에 따라 2100년까지 지구의 평균기온이 1.1~6.4℃까지 상승할 것으로 예상했는데, 현재 진행되고 있는 각국의 온실가스 감소정책을 고려해볼 때 6℃ 수준으로 온도가 상승할 확률이 더 높은 것으로 추정되고 있음
- (7) 지구온난화는 해수면증가, 홍수 등의 이상기후의 빈발, 생물종의 변화 등에 의해서 농작물의 피해 및 산업생산력 감소 등의 경제적 손실로 이어져, 경제성장에 악영향을 미칠 것으로 예상되고 있으며, 일부 개도국에서는 1℃ 상승에 경제성장률이 1.3%씩 감소될 것으로 추정하고 있음



그림 1. 우리나라의 해수면 연간 상승률

- (8) 기상청은 이처럼 급격한 열대야 증가 현상의 주범으로 대기 중 온실가스 증가를 꼽았으며, 2012년 미국해양대기청(NOAA)은 대기 중 이산화탄소의 농도가 400ppm을 넘어 인류 역사상 최고치를 경신했다고 발표했기에 열대야, 폭염 등 이상고온 현상은 더욱 가속화될 것으로 보이며, 이러한 기후의 변화 원인으로 자연적인 요인과 인위적인 요인을 들 수가 있고 자연적 요인이야 어쩔수 없는 부분이지만 인위적 요인인 산업활동, 산림파괴, 도시화 등 인간의 활동에 의한 온실가스는 줄여가야 마땅할 것임
- (9) 온실가스의 주원인으로 지목되고 있는 이산화탄소는 역설적이게도 식물의 탄소동화작용에 가장 필요한 요소이며 탄소동화작용의 결과로 산소를 분리하는 식물의 메커니즘을 통하여 온난화의 속도는 더더지고 있다 할 수 있음

나. 고품질 작물 재배를 위한 CO₂ 공급

- (1) 탄소동화작용이란 CO₂가 식물의 광합성을 통해서 산소로 바뀌는 것을 말하며, 이것을 화학식으로 보면 CO₂에서 식물의 생장에 필요한 탄소를 뽑아내는 과정을 말함
 - (2) CO₂의 적정 시비는 농업생산성에 긍정적인 영향을 준다는 연구들이 발표되고 있으며 이를 이용하기 위한 다양한 기술들이 개발되고 있음
 - (3) CO₂를 식물의 생활환경에 주입시켰을 때 생장을 촉진시킨다는 연구결과가 다양한 작물의 실험을 통해 나오고 있으며, 국립원예특작과학원에서 파프리카 재배 CO₂ 시비효과와 방법이라는 연구를 통하여 식음료 CO₂를 일출 후 4시간 동안 700ppm 농도로 시비하면 수량이 15% 증수되어 1ha당 연 9,922천원 소득이 증대된다는 결과를 발표하였음 (경상남도농업기술원)
 - (4) 시설 내 CO₂농도와 영양분 조절은 적정생산을 위해서 불가피하게 공급되어야 하며, 통풍에 의해 CO₂의 농도를 보충하는가 하면 인위적으로 천연가스, 프로판가스 등을 연소시켜 CO₂를 보충시키는 방법도 있음
 - (5) 파프리카 재배농가에서 주간에 식용 CO₂를 700ppm이상을 연속으로 시비하는데 소요되는 비용은 연간 300-400만원/10a 소요됨 (농촌진흥청)
 - (6) 파프리카 등의 과채류를 재배하는 농가들이 작물 생육에 필요한 CO₂(CO)를 구하지 못해 어려움을 겪고 있으며, CO₂를 농업용으로 사용하는 작물은 주로 수출용 신선채소, 이 가운데 파프리카 재배 농가 90% 이상이 CO₂를 인위적으로 공급하고 있는 실정임
 - (7) 대기 중의 CO₂ 농도는 보통 300~350PPM이지만 시설파프리카 하우스 내부는 밀식재배로 인해 50PPM까지 떨어지기 때문에 인위적인 공급이 없이는 고품질 생산이 어려울 뿐 아니라 수확량도 크게 감소함 (국립원예특작과학원)
 - (8) 고품질을 요구하는 수출 파프리카의 경우 CO₂ 공급이 충분치 않으면 광합성 작용이 떨어져 생산량이 크게 감소하는 것은 물론 과육이 얇고 색택이 좋지 않는 등 품질이 떨어짐 (경남도농업기술원)
 - (9) 당진딸기 연구회 오광환 회장의 양액고설재배 시설하우스 5동에 CO₂ 시비시설을 지난 1월 20일에 설치하고 작물이 광합성을 왕성하게 하는 시간대인 오전 10시경 CO₂의 농도가 500ppm이 되도록 설정함
- (가) 이는 CO₂시비시설이 없는 양액고설재배 시설하우스의 CO₂농도 110ppm보다 5배

가량 많은 수치고 대기 중 CO₂농도 380ppm보다도 높은 수치로 실증시험을 위해 1동의 시설하우스에는 시비시설을 설치하지 않음

(나) 일반적으로 시설하우스내에 CO₂의 농도가 대기보다 낮은 이유는 작물이 광합성을 위해 CO₂를 흡수하기 때문이며, CO₂시비시설이 있는 시설하우스에서 생산된 딸기와 시비시설이 없는 시설하우스에서 생산된 딸기를 가지고 소비자 91명에게 블라인드테스트를 실시한 결과 CO₂시비시설이 있는 딸기의 선호도가 81.4%로 시비시설이 없는 딸기의 선호도 18.6%에 비해 월등히 높은 것으로 나타났음

(다) 이는 CO₂를 시비한 경우 광합성이 잘 되어 당도 및 경도 등이 우수한 딸기가 생산되는 것으로 분석되었음 (농촌진흥일보)

(10) 이산화탄소 농도 증가에 따른 벼의 생육 반응에 대한 연구 결과에 의하면, 벼 유효기에는 대조구에 비해 500ppm, 700ppm에서 건물중이 35~47% 증가하였으며, 광합성률도 높은 CO₂ 농도에서 증가되었으나 생육이 진전될수록 약간 감소하였고 출수 직전부터 55일간 처리한 벼의 수량에서는 대조구와 처리구간에 큰 차이를 나타내지 않았지만, CO₂ 농도에 따른 광합성 속도 및 증산량은 농도가 높아지고 광합성속도가 빨라질수록 증산량은 낮아져 수분 이용 효율이 높은 것으로 나타났음

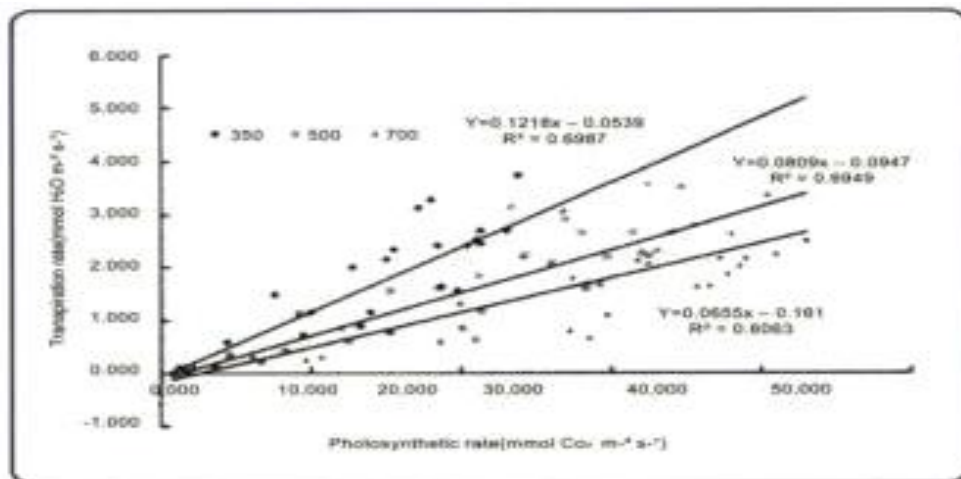


그림 2.이산화탄소 농도에 따른 광합성 속도 및 증산량의 변화

(11) 토마토 재배에 있어서도 CO₂ 공급은 조기수량 증대와 공동과 발생 감소에 커다란 효과가 있는데, 적정농도는 맑은 날은 1,000~1,500ppm, 흐린 날은 500~1,000ppm 이며 특히 수경재배에서는 공급원인 유기물이 존재하지 않으므로 인위적인 탄산가스 공급 필요성은 더욱 크다고 할 수 있음

표 1. 탄산가스공급에 의한 수량증대 및 공동과 발생억제효과

탄산가스농도	초기상품수량 (g/주)	총수량 (g/주)	공동과율 (%)	평균과중 (g)
대기	1,290	3,423	22.7	153
800ppm	1,887	4,155	13.8	179
2,400ppm	1,719	3,666	7.1	161

(출처: 서울시립대학교, 1991)

다. 농가 이산화탄소(CO₂) 공급

- (1) 최근 일부 석유화학제품 생산업체들이 경제난으로 공장 가동을 멈추면서 CO₂의 생산량이 크게 감소했으며, 국내에 유통되는 CO₂는 공업용과 음료용 두 가지로 농사에 사용되는 것은 불순물이 거의 없는 음료용인데, 음료용 CO₂는 주로 비료나 정유 공장에서 나오는 CO₂가스를 농축한 일명 ‘액화탄산’을 말함
- (2) 시설하우스에서 고품질 작물을 재배하기 위해서는 CO₂의 공급이 필요하며, 이를 공급하기 위하여 액화탄산을 공급하고 있는데, 현재 공급에 차질을 초래하고 있을 뿐만 아니라, 그 가격 또한 비싸게 형성되어 농업경영에 막대한 지장을 초래하고 있으므로 CO₂의 포집과 공급에 대한 기술 개발이 절실히 요구되고 있는 상황임
- (3) 최근 음료용 CO₂가 공급에 차질을 빚으면서 가격도 두배 정도 뛰고 그나마 구하기도 어려운 실정이며, 연동하우스 8,250㎡(2,500평)에서 수출용 파프리카를 재배하는 정대원씨(50·경남 진주시 지수면)는 “10월 한달 동안 CO₂구입비용이 500만원이나 들어갔다”며 “난방비에다 추가로 CO₂ 가격마저 올라 농사짓기가 너무 어렵다”고 하소연했다. 그는 이어 “몇 년 전에는 1kg에 100원대이던 CO₂가 지난해에 170원에서 올해는 280원(부가세 포함 300원대)으로 치솟았다”며 “그나마 없어서 구입하지 못하는 농가가 태반이다”고 덧붙였다(농민신문)
- (4) 작물에 CO₂를 공급하는 기술은 국내 수출농가가 외국에서 도입한 것으로 농업 선진국인 네덜란드에서는 보편적으로 하우스 내에 1,000PPM까지 공급하고 있다. 반면 국내의 경우 도입 초기엔 농가가 공업용 CO₂를 사용하다 영농에 실패하는 등 정부 차원의 관심과 지원이 부족한 현실임
- (5) 비닐하우스 농가가 CO₂를 사용하기 위해서는 액화탄산, 드라이아이스를 구매하거나 CO₂ 발생기나 LNG를 연소시키는 등 많은 어려움이 있지만, 반대로 산업계는 CO₂ 처리가 현안으로 부상하고 있으며 이런 현안을 해결하기 위해 남부발전은 지난 2010년 7월 딸기의 CO₂ 강화재배 실증에 성공한 동광화학, 씨오투텍과 CO₂ 유효이

용 증대를 위한 협약을 체결하고 하동화력발전소에 250평 규모로 딸기 시범재배 사업을 2년간 수행해 수익성 향상 가능성을 확인함



그림 3. 딸기 하우스 내 CO₂ 공급

- (5) 오카야마현 농림수산종합센터 농업연구소(岡山県農林水産総合センター農業研究所)는 가지 축성재배에서 광합성이 왕성한 한 낮에 탄산가스를 사용하면 과실의 비대가 빨라져서 수량이 증가하고 품질도 높아지는 것을 구명하였으며, 특히 전국의 시장 출하량이 줄어들어서 가격이 높아지는 겨울 재배기간(12~2월)의 수량은 정상과가 50%, 상품율은 74%나 증수되었다. 10a당 50만엔 정도의 소득증가 효과가 있다고 분석하고 있음 (농촌진흥청, 2015)

라. 이산화탄소(CO₂) 시장 분석

- (1) 이산화탄소를 자원으로 활용하면 탄소 배출을 절감하는 만큼 탄소를 배출 할 수 있는 권리, 탄소 배출권이 생기고 이 권리는 UN을 통해서 사고 팔수가 있으며 2012년 전 세계 탄소배출권 시장 규모는 2000억 달러 규모로 추정됨

(출처: SBS CNBC KOREA REPORT)

- (2) 최근 유럽위원회 공동연구센터와 네덜란드 환경영향평가청이 공동으로 발간한 보고서 ‘지구 이산화탄소 배출의 장기 경향’을 분석한 결과에 따르면, 지난 20년간 우리나라의 온실가스 배출량은 136% 증가해 증가속도가 중국(256%)과 인도(179%)에 이어 세계에서 세 번째로 빠른 것으로 나타났는데, 2008년 세계 9위에서 2009년 8위로 올라섰던 우리나라 CO₂ 배출량은 2010년에는 한 단계 더 상승해 세계 7위로 조사됨

(석사학위논문, 고려대학교 경제학과 임지은, 2012)

- (3) 국제에너지기구의 에너지기술전망에 따르면 CCS는 전체 온실가스 감축량 중 17%

(2050년 기준)를 담당하는 등 국내·외 온실가스 감축목표 달성에 크게 기여할 것으로 전망했으며, CO₂ 감축에 가장 중요한 역할을 하는 단일 기술로 꼽았다. 이에 따라 미국, 유럽 및 일본 등 선진국을 중심으로 관련 기술 개발 경쟁이 가속화되고 있음

(출처: 전기신문)

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

1. 제안 기술의 현황

가. CO₂ 포집기술 연구

- (1) CCS 기술은 화석연료 사용으로 인해 발전소, 철강, 시멘트 공장 등 대량발생원으로 부터 CO₂를 포집한 후 압축 및 수송하는 과정을 거쳐 육상 또는 해양지중에 안전하게 저장하거나 유용물질로 전환하는 일련의 과정을 뜻하며, CO₂를 직접 효율적으로 줄일 수 있는 기술인 CCS는 포집기술, 수송기술, 저장기술, 그리고 전환기술로 크게 네 가지로 나누어 볼 수 있음 (한국 CO₂ 포집 및 처리 연구개발센터)

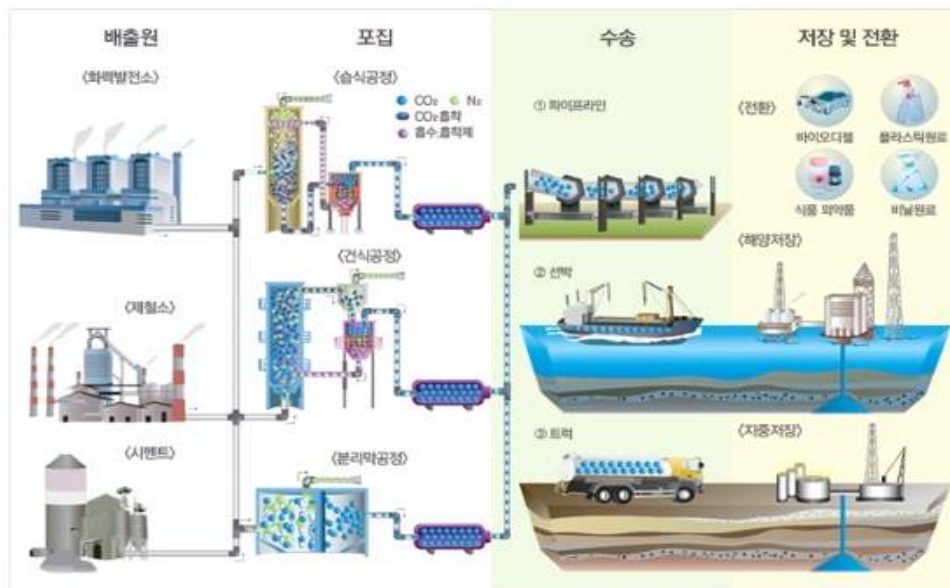


그림 4. CCS 기술 정의 개념도

- (2) 세계에너지기구(IEA)는 2050년 전 지구 CO₂ 감축량의 19%를 CCS 기술이 담당할 것으로 보고, 관련시장 규모가 연평균 84조 원에 달할 것으로 예측했다. CO₂ 창고를 포함한 CCS 플랜트는 2015년 18기에서 2020년 100기, 2030년 850기, 2050년 3400기로 늘어날 전망이다 (문화일보)
- (3) 미래부는 오는 2020년까지 1727억 원을 투입, 세계 정상 수준의 3세대 CO₂ 포집·전환 등 CCS 기술을 개발하는 ‘Korea CCS 2020’ 사업을 Korea CCS R&D센터 (KCRC) 주도로 수행 중임 (문화일보)

- (4) 한국중부발전의 충남 보령발전소는 시간당 5500MW의 전기를 생산하며 수도권 전력 공급의 심장부 역할을 하는 곳으로 바다에 인접한 이 발전소 가장 안쪽에 있는 8호기 옆에는 ‘이산화탄소 포집 설비’ 라는 간판을 단 5층 높이의 건물이 있고 가로세로가 31m, 높이는 48m인 이 설비는 석탄발전소에서 나오는 배기가스에 액체 흡착제를 뿌려 이산화탄소를 분리하는 국내 유일의 설비임



그림 5. CO₂ 포집 및 저장 기술의 개념

- (5) 정부가 1일 한국의 2030년 온실가스 감축 목표를 배출전망치(BAU) 대비 37%를 줄이기로 결정하면서 ‘이산화탄소 포집 및 저장(CCS)’ 기술이 주목받고 있으며 정부가 당초 제시한 감축안보다 높은 목표치를 제시하면서 이를 실현할 주요 방법으로 신재생에너지와 함께 CCS를 꼽았고 CCS는 발전소나 제조업체 등 화석연료를 대량으로 사용하는 설비에서 나오는 이산화탄소를 분리해 압축 및 수송을 거쳐 저장하는 기술임
- (6) 설치된 포집 설비는 500MW급의 석탄화력발전소 1기가 10MW의 전력을 생산하는데 나오는 이산화탄소를 분리할 수 있으며 연간 기준으로는 약 7만 t으로 석탄화력발전소 1기가 내뿜는 이산화탄소의 2% 정도만을 잡아내는 셈으로 여기에 든 초기 비용만 약 250억 원에 이릅니다

나. 해결과제가 된 경제성 문제

- (1) 중부발전과 포스코건설 포스코엔지니어링 대림산업 등으로 이뤄진 CCS프로젝트의 사업자들은 지난 몇 년간 경제성을 맞추려고 끊임없는 기술 혁신을 이뤄냈으며 당초 이산화탄소 1t을 포집하는 데 약 3.0GJ의 에너지가 투입됐지만 기술 개발과 공정 개선으로 최근에는 필요 에너지량이 2.8GJ까지 떨어졌고 포스코건설 관계자는 “포집 기술은 세계 최고 수준이지만 경제성을 맞출 수 있을지는 미지수” 라고 밝힘 (동아닷컴, 2015)
- (2) 한국중부발전은 선도화학과 '이산화탄소의 공급 및 재이용 협약'을 체결했으며 협약의 내용은 중부발전이 보령화력발전소의 이산화탄소 포집설비에서 생산한 이산화탄소를 선도화학에 공급하고, 선도화학은 이산화탄소를 농업 및 산업용으로 압축 및 액화해 시장에 판매하는 것임
- (3) 중부발전은 지난 5월 보령화력 8호기에 10MW급 이산화탄소 포집설비를 준공해 가동하고 있으며 중부발전은 그 동안 포집한 이산화탄소를 사용할 곳이 없어 다시 굴뚝으로 배출했지만, 내년부터는 이산화탄소를 조선소 용접분야, 농작물의 품질 및 생산량 증대를 위한 농업용 등으로 판매할 계획임
- (4) 보령화력에서 생산된 이산화탄소는 순도가 99%이상으로 산업용으로 사용할 수 있으며 중부발전은 이로 인해 연간 7만 톤의 온실가스를 감축하고 35억원의 매출을 올릴 것으로 기대되고 있고 한국중부발전 기술본부장은 “세계 수준의 이산화탄소 포집설비 건설 및 운영기술을 바탕으로 2020년까지 300MW급 대형 이산화탄소 포집설비를 상용화해 온실가스 무배출 화력발전소를 구현할 계획”이라고 밝힘 (머니투데이, 2013)
- (5) 주로 발전소에서 발생하는 이산화탄소를 포집하는 기술 위주의 연구가 진행 중이며 포집하여 판매하는데 있어서 경제성 문제가 해결과제가 되고 있음

2. CO₂ 포집기술

가. 전체 비용의 70~80%를 차지하는 핵심 기술

- (1) CO₂ 포집기술은 크게 ‘연소 후 회수기술(post-combustion technology)’, ‘연소 전 회수기술(pre-combustion technology)’, 그리고 ‘순 산소 연소기술(oxy-fuel combustion technology)’ 로 구분됨
- (2) 연소 후 배기가스에 포함된 CO₂를 포집하는 ‘연소 후 포집기술’은 기존 발생원에 적용하기 가장 쉬운 기술로 흡수·흡착제, 분리막 등을 이용하여 CO₂를 흡·탈착하여 분리하는 방법이며, 이 기술은 흡수제의 효능향상과 공정 개발 등에 초점이

맞추어져 개발되고 있음

- (3) 연소 전 회수기술은 연소를 통해 CO₂가 발생하지 않도록 하는 공정기술로서, 화석 연료의 부분산화나 천연가스 개질 및 수성가스 변위 반응 등을 통해 생성된 수소와 CO₂를 분리하여 수소를 생산하는 기술임
- (4) 순 산소 연소기술은 공기 중의 산소와 질소를 분리하여 산소만을 연소기에 공급하고 화석연료를 연소시켜 고농도의 CO₂ 배기가스(설비, 시설물 등에서 배출되는 가스)를 얻은 후 회수하는 기술임
- (5) 한국이산화탄소포집 및 처리연구개발센터(KCRC)에 따르면, CCS 기술 중 CO₂ 포집 기술은 전체 비용의 70~80%를 차지하는 핵심 기술임

나. 친환경적 포집기술 개발

- (1) 우리나라는 한전 전력연구원이 아민계열 흡수제를 이용한 습식법과 고체 흡수제를 활용하는 건식 흡수법을 기반으로 연소 후 CO₂ 포집기술 개발을 주도하고 있으며 한전 전력연구원(원장 박순규)이 세계적 성능의 습식 CO₂ 포집 흡수제 ‘KoSol’ 개발에 성공하여 이제 실용화 단계에 접어들었고, 기존 상용흡수제인 MEA (monoethanolamine) 대비 내구성이 50% 이상 높아졌으며, 재생에너지는 25% 이상 저감된 세계적 수준의 고효율 흡수제로 평가됨 (전기신문)
- (2) 전력연구원과 에너지연구원 연구원이 개발한 친환경 건식 CO₂ 포집기술은 기존기술의 CO₂ 포집비용을 반으로 줄이는 것을 목표로 개발해 온 국내 고유의 기술이며 장점은 3저·3고·3무 세 가지로 요약되는데, 우선 고성능 흡수제를 사용하기 때문에 포집공정 구성이 단순해져 투자비와 소요부지가 적어지며, 흡수제를 구성하는 활성 물질과 지지체는 저가의 원료를 사용해 흡수제 제조비용이 적게 듦
- (3) CO₂ 흡수능력, 고 내열성과 고 강도 흡수제 사용으로 운영비 절감은 물론 포집공정 부피를 줄일 수 있으며, 포집공정 온도제어가 쉬워 에너지 소비가 적고 또 휘발성이 없는 고체 흡수제를 사용하기 때문에 2차 오염발생과 폐수발생이 거의 없으며, 공정상의 재료 부식도 거의 없는 친환경 포집기술임 (전기신문)
- (4) 국내에서 개발 중인 고체 흡수제 이용 연소 전 CO₂ 포집 기술은 오염가스정제공정과 SEWGS 공정을 모두 고온 고압 순환 유동층 반응기를 사용함으로써 장치 규모를 줄이고 공정 운전을 단순화할 수 있으며 가스화기에서 배출되는 합성가스의 고온 고압 상태를 최대한 유지하면서 오염가스 정제와 CO₂ 포집을 수행하기 때문에 해외에서 개발 중인 고체 흡수 기술에 비해 에너지 손실을 줄일 수 있는 장점이 있음

(전기신문)

3. CO₂ 수송기술

가. 파이프라인을 이용한 수송이 유리

- (1) 이 기술은 포집한 CO₂를 격리 또는 저장하는 곳까지 수송하는 기술로 선박/철도/트럭 등을 이용하거나 육상/해양 파이프라인을 이용하여 수송되며, 보통 1,000km까지는 내륙 파이프 및 해양 파이프라인을 이용한 수송이 유리하며, 1,000~1,800km는 내륙의 파이프 수송이 1,800km가 넘어서게 되면 선박을 이용한 수송이 더 유리한 것으로 평가되고 있음

4. CO₂ 저장기술

가. CO₂를 영구 또는 반영구적 격리 기술

- (1) 지중저장, 해양저장, 지표저장 등으로 구분할 수 있으며, 지중저장은 단순 격리·저장하는 방법과, 저장과 동시에 재이용하는 방법으로 구분될 수 있는데 단순 격리·저장하는 방법은 폐유전 및 가스전, 대염수층(지하 800m 이상의 지하수층)등에 저장법 등이 있으며 재이용하는 방법에는 EOR(Enhanced Oil Recovery: 석유회수증진법) 방법과 ECBMR(Enhanced Coal Bed Methane Recovery: 석탄층 메탄회수증진법) 방법이 있음
- (2) EOR은 유전에 CO₂를 주입하여 얻은 압력으로 CO₂ 격리와 함께 더 많은 원유를 채굴하는 방법이며, ECBMR은 석탄이 매장되어 있는 층에 CO₂를 주입하여 얻는 압력으로 탄층 내 메탄을 회수하며 동시에 CO₂를 격리하는 기술임
- (3) 해양저장 기술은 해양에 방출하는 방법으로 해저 3000m 이하에 분사함으로써 CO₂를 하이드레이트(水化) 형태로 저장시키는 방법으로 이러한 방법을 이용할 경우 향후 지구에서 발생하는 CO₂를 500년간 저장할 수 있을 것으로 기대되나, 생태계 문제와 해양의 산성화 등의 안정성 문제로 현재 국제법상 금지되어 있음
- (4) 지표저장법은 마그네슘이나 칼륨과 같은 CO₂를 첨가가능 광물에 반응시켜 화학적으로 저장하는 방법이지만, 이 방법은 느린 속도에 의한 과다한 처리비용과 완료 후 생성된 물질을 처리하는 비용 등 2차 문제가 발생하여 대부분 연구가 미비함
- (5) 저장기술은 이러한 해양, 지표저장의 문제로 인해 현재까지는 지중저장기술이 과학·기술적 측면에서 가장 효과적일 뿐만 아니라 경제·산업적인 측면에서도 가장 우수한 기술로 평가되고 있음

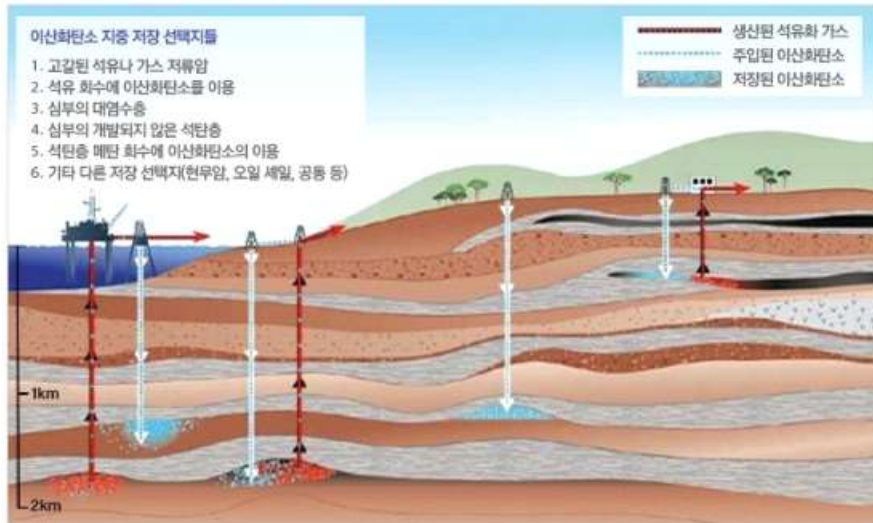


그림 6. 심부 지하 지층에서의 CO₂ 저장에 대한 방안 (kcrc.re.kr)

5. CO₂ 전환기술

가. CO₂를 유용한 물질로 재사용하는 기술

- (1) CO₂ 전환기술은 화학적 전환과 생물학적 전환으로 분류됨
- (2) CO₂를 화학적으로 전환시키는 방법은 대량의 CO₂ 전환에 의한 재이용의 개념으로 대량의 수요가 있는 고부가 생성물을 생산함으로써 Carbon-3R(Reduction, Reuse, Recycle) 기반의 저탄소 녹색성장기술 및 지속성장 가능한 기술적 특징을 가지고 있음
- (3) 미세조류를 이용하는 생물학적 전환 방법은 화학적 전환 방법과 달리 연소가스로부터 CO₂를 분리하지 않고 직접 적용할 수 있으며 태양에너지를 주 에너지원으로 활용하므로 CO₂ 처리에 필요한 에너지 소모량이 적으며, 이 방법은 초기 투자비용 및 운전비용이 적고 고부가가치의 물질을 부가적으로 생산한다는 경제적 장점은 산업적으로 큰 이익을 가져다 줄 수 있어서 차세대 유망기술로 떠오르고 있음
- (4) SK이노베이션은 2008년 10월 이산화탄소를 활용한 플라스틱 제품 생산 기술에 관한 특허이전 및 연구협력 계약을 아주대학교와 맺어 2011년 8월 기술표준원으로부터 신기술(NET) 인증을 획득했고, 이 기술을 기반으로 상업공정 및 용도개발을 위해 2009년 연구 시험설비인 파일럿 플랜트(Pilot Plant)를 완성, 2013년부터 상업화 연구에 돌입하여 오는 2020년까지 연간 200만t 규모의 '그린 폴' 공장을 구축해 연간 매출 5조원, 탄소배출권 100만t을 확보할 계획임 (EBN뉴스)
- (5) '그린 폴(Green-Pol)'로 불리는 이산화탄소 플라스틱은 연소 시 물과 이산화탄소로 분해되기 때문에 유해가스가 발생되지 않는 등 환경오염 방지에 유효함

표 3. CCS 분야별 추진계획

분야별 추진 계획	
포집	<ul style="list-style-type: none"> - NBIT 기술과의 융합연구를 통해 포집비용 \$20/tCO₂ 이하 달성이 가능한 원천기술 4개 이상 확보 - 개발된 기술의 단계적 격상 연구를 통하여 2020년까지 100MW 이상 실증사업 2개 완료
수송	<ul style="list-style-type: none"> - 수송비용 저감을 위한 선박수송 대안 검증 및 민간 참여를 통한 기술조기 확보 및 신산업 창출 추진 - 2020년 이후 장기간, 대규모 수송을 위한 파이프라인 수송기술 확보 및 국가 CO₂수송 인프라망 구축 추진
저장	<ul style="list-style-type: none"> - 울릉분지에 대한 정밀탐사를 통한 저장실증지 확보 및 국내 저장 잠재용량 평가를 통한 연안 해역별 대규모 저장소 확보 - 1만톤 포집-수송-저장 통합실증을 통한 CCS 전주기 기술 완성 및 100만 톤급 통합실증을 통한 상용화 역량 확보
전환	<ul style="list-style-type: none"> - 장기적 관점에서 포집된 대량의 CO₂를 화학적, 생물학적으로 전환, 이용할 수 있는 새로운 개념의 한계돌파형 원천기술 개발 추진 - CO₂를 원료로 유용물질 생산 및 유독한 화학공정 대체, 최신 바이오기술을 활용한 고효율 바이오디젤 생산기술 개발
환경관리 및 기반구축	<ul style="list-style-type: none"> - 신뢰성 확보를 위한 전주기 환경관리체계 구축 및 모니터링, 위해성평가, 관리기술의 개발 - 상용보급을 위한 법, 제도정비 및 대국민 인식 제고, 기술 혁신 및 상용화 촉진을 위한 인프라 정비, 인력양성 및 국제협력 추진

(6) 독일계 화학·제약기업 바이엘(BAYER)의 화학부분 자회사 바이엘 머티리얼사이언스는 최근 '이산화탄소 기반의 고품질 폴리우레탄 폼' 상용화에 나선다고 발표했으며 바이엘코리아에 따르면 이 소재로 2016년부터 침대 매트리스를 생산할 예정이고 바이엘은 독일 도르마겐 지역에 1천500만 유로를 투자, 연간 5천t의 폴리우레탄 폼을 생산하는 설비를 건설할 계획임

(7) 포스텍 화학공학과 차형준 교수 연구진은 이산화탄소가 박테리아 내부 특정 효소와 만나면 탄산화합물로 바뀌는 것에 착안, 값싸게 이산화탄소를 전환하는 기술을 개발하여 박테리아를 활용한 기술을 활용하면 약 250달러로 1t의 이산화탄소를 탄산화합물로 바꿀 수 있음

표 4. 국내의 CO2 기술 연구 예

주관기관	연구 내용
한국남부 발전	<ul style="list-style-type: none"> • 2011년 동광화학(전남 담양)과 ‘CO₂ Village 사업’ 협약을 체결하고, 발전소에서 배출되는 CO₂를 농작물 재배사업 등에 공급. 딸기, 토마토, 참외, 파프리카 등 농작물의 CO₂ 강화재배에 연간200만톤의 이산화탄소 공급 예정. • 2011년부터 엔엘피, KAIST, 생명공학연구원, 에너지기술연구원, 부산대학교 등과 함께 발전소에서 배출되는 온배수와 CO₂를 이용해 미세조류 바이오매스의 양산 및 바이오디젤 생산 통합시스템 실증연구 진행 중. 1단계로 하동 화력에 1만2000m² 규모의 미세조류 실증연구 단지과 바이오오일 파일럿 플랜트 건설
한국지질 자원 연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 비료공장과 화력발전소에서 나온 폐석고를 이산화탄소와 암모니아에 반응시켜 화산암모늄과 탄산칼슘으로 만들어, 환상암모늄은 질소계 비료로, 탄산칼슘은 상업용 원료로 재활용하는 기술 개발 • 류경원 박사팀은 석면의 인체 위해성을 제거하는데 이산화탄소를 활용하는 기술을 개발 • 2000년대 중후반부터 광물 탄산화 연구 수행 중
한국해양 연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 2011년 롯데건설, 애경유화, 호남석유화학과 공동연구 계약을 체결하고, 미세조류 배양액으로부터 바이오디젤 등 유용물질개발은 추진, 2013년까지 10ha 규모의 바이오 연료 생산단지 조성 예정
아주대	<ul style="list-style-type: none"> • 2008년 분자과학기술학과 이분열 교수팀은 이산화탄소와 프로필렌옥사이드의 반응으로 친환경 플라스틱 개발. 아주대와 SK에어지는 촉매기술 특허이전 및 연구협력 계약으로 상용화 추진
경희대	<ul style="list-style-type: none"> • 화학과 김혹식 교수팀은 맹독성 물질인 포스젠을 이산화탄소로 대체하여 환경 친화성 헥사메틸렌 디이소시아네이트(HDI) 합성에 성공, 이소시아네이트(isocyanate)는 폴리우레탄의 원료로 사용
KAIST	<ul style="list-style-type: none"> • 양지원 교수팀은 이산화탄소를 이용하여 클로렐라 같은 미세로류로 바이오디젤을 생산하는 연구를 진행 중
고려대	<ul style="list-style-type: none"> • 2011년 심상준 교수팀은 미세조류를 활용해 이산화탄소 저감과 고부가가치의 이차대사산물을 생산하는 미세조류 반응기 및 배양 공정 기술을 개발에 성공. 고려대와 한국지역난방공사는 ‘미세조류 활용 CO₂ 저감 및 바이오연료 생산기술’ 협력 협정 체결 • 2012년 구만복 교수팀은 ‘탄산무수화효소(Carbonic anhydrase)’를 이용해 이산화탄소로부터 생촉매 기능을 지닌 탄산칼슘 결정복합체를 개발
연세대	<ul style="list-style-type: none"> • 2013년 환경공학과 전병훈 교수팀이 초음파를 이용해 폐수 중의 미세조류에서 당분을 추출하는데 성공. 추출된 탄수화물은 혐기발효에 의해 수소나 바이오에탄올의 생산에 사용됨
포스텍	<ul style="list-style-type: none"> • 2012년 화학공학과 차형준 교수팀은 ‘나이세리아 고노레아’라는 미생물의 효소를 이용해 탄산무수화효소(Carbonic anhydrase)의 대량 생산방법을 개발함. 이로부터 이산화탄소를 다양한 탄산화합물로 전환하는 것이 가능해짐
포항산업 과학연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 2009년 환경부의 의뢰로 CO₂ 광물 탄산화 기술의 국내 기술개발 타당성에 대한 연구용역을 수행
기타	<ul style="list-style-type: none"> • 2011년 KOREA CCS2020사업의 지원을 받아 아주대, 서울대를 중심으로 ‘이산화탄소의 폴리카보네이트/폴리에스터로의 혁신적 전환 촉매기술’ 개발을 진행 중

나. CO₂ 분리막 연구

- (1) KIST의 폴리이미드 비대칭성막에 대한 CO₂ 분리 연구가 수행되었으나 제조가 힘든 단점이 있으며 한국화학연구소의 G-7과제로 분리막에 의한 CO₂분리 회수가 수행 중이나 장기 안정성과 후분리 처리기술이 필요하다는 단점을 지니고 있음
- (2) 산소부화막 분야에 주력으로 선행연구가 수행되었으나 Lab-scale 수준이며 CO₂/ N₂ 분리막 소재 개발단계는 실질적인 적용이 불가능한 상태이며 선진국과의 큰 기술격차가 예상됨
- (3) 한양대에서는 비대칭성막의 기공에 CO₂에 대한 용해도가 높은 고분자를 채운 pore-filled 분리막, 유무기 복합막, 탄소 분자체 기체 분리막에 관한 연구가 수행되었으며 CO₂ 투과도 및 CO₂/N₂ 단일기체에 대한 선택도를 크게 향상시킨바 있으나 아직 실험적인 수준에 머물러 있어 적절한 지지체의 선택 및 모듈화 기술의 확보가 절실한 상태임
- (4) 미래창조과학부 산하 (재)한국이산화탄소포집 및 처리연구개발센터(센터장 박상도)의 지원을 받아 한양대학교 박호범 교수팀이 수행한 이번 연구는 그래핀과 그래핀 유도체의 크기 조절 및 원자두께의 소재들을 새롭게 적층구조로 배열해 배기가스 중의 이산화탄소를 선택적으로 분리할 수 있다는 것을 세계 최초로 규명한 것으로, 기존 소재 대비 두께를 1/100이상 줄임(5 nm이하)으로써 기존 분리막과 비교해 1,000배 이상 성능이 향상된 세계 최고 수준의 CO₂ 분리막 소재를 개발하는 데 성공함

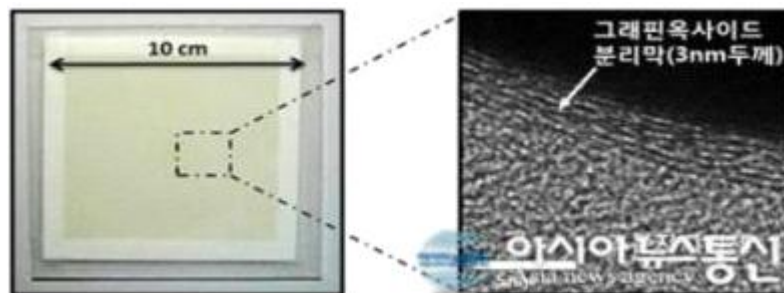


그림 7. 개발된 초박막 그래핀옥사이드 분리막 (미래부)

- (5) 개발된 그래핀 기반 분리막 소재의 경우 지지체를 결합하는데 필요한 물질로, 강한 용매를 사용하지 않고 수용성 용액을 이용한 코팅 방식을 사용하는 것으로 대량생산에 매우 용이하며, 세계 최초로 그래핀을 적용한 신규 분리막 원천소재와 분리막 제조기술까지 확보해 2~3년 이내에 조기 상용화 및 기술사업화가 가능함

(산업일보)

(가) 중공사형 기체분리막 모듈을 이용한 바이오가스의 분리 및 정제

- 한국막학회 (고형철, 하성용, 우승문, 남상용, 이병성, 이충섭, 최휘문)
- 바이오 가스의 분리와 정제를 위해 셀룰로오스 트리아세테이트(CTA) 고분자를 이용하여 중공사형 기체분리막을 상분리법에 의해 제조하고, 제조된 기체분리막을 사용하여 유효 막면적이 0.17 m²인 중공사형 기체분리막 모듈을 제조하였음

(나) 이산화탄소 회수용 혁신적 유무기 분리막 기술 개발

- 한양대학교 : 지식경제부 연구보고서 (이영무)
- 본 연구과제에서는 연소배가스 중 이산화탄소 회수를 목표로 하는 고효율 저비용의 분리막 시스템을 제조하기 위하여 신규 고성능 고분자 분리막 소재의 개발, 고분자를 이용한 중공사형 분리막의 개발, 중공사형 분리막을 이용한 분리막 모듈 개발 및 성능 평가에 대한 연구를 수행하였으며, 내열성 고분자의 열전환이라는 독창적인 공법을 통하여 제조되는 열전환계 고분자는 고분자 주쇄를 재배열시킴으로써 자유체적이 월등하게 증가하였으며 미세 기공을 형성함. 열전환계 고분자 분리막은 이의 미세기공을 통하여 높은 이산화탄소의 투과도를 나타내며, 이산화탄소/질소 선택도 또한 우수하여 연소 후 배가스 중 이산화탄소를 효율적으로 분리할 수 있는 성능을 보였음

(다) CTA를 이용한 중공사형 기체분리막의 제조 및 특성

- 멤브레인 학술지 (고형철, 하성용, 남상용)
- 셀룰로오스 트리아세테이트(CTA) 고분자를 이용한 중공사형 분리막을 상분리법에 의해 제조하였으며, 제조된 중공사형 분리막의 기체분리 성능을 평가하였고 제조된 중공사형 분리막의 기체분리 특성을 부여하기 위해서 1,4-dioxane을 10 wt.% 내외로 첨가함
- 1,4-dioxane의 첨가에 의해 중공사 표면에 치밀층 형성을 위해서는 1,4-dioxane이 표면에서 증발되는 것이 필수적이며, 이를 위해 air-gap의 조절에 의해 중공사 표면에 치밀층이 생성되도록 하였고 제조된 CTA 중공사형 기체분리막의 표면 및 단면의 모폴로지 측정을 위하여 전자주사현미경을 사용하였으며 또한 CTA 중공사형 기체분리막의 산소, 질소, 이산화탄소에 대한 기체투과도를 측정하였음

(라) 반도체 인스펙션용 기체분리막 모듈의 개발

- 에어레인 : 지식경제부 연구보고서 (하성용)
- 중공사형 기체분리막 개발
 - 산소투과도 : 40GPU (Gas Permeation Unit, $10^{-6} \times \text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{cm Hg}$)
 - 산소/질소 선택도 : 5.5 이상
- 반도체 검사/검수용 기체분리막 모듈 개발
 - 단일 모듈 기준 : 질소농도 97%, 발생된 질소의 Dew Point -60°C, 질소 발생유량 1.2m³/hr
- 질소 농도를 99% 이상으로 순도를 올릴 수 있는 기술개발과 장시간 사용 신뢰성 확보 관련 기술개발 추가하고, 중공사형 기체분리막 개발, 기체분리막 모듈의 제

조를 통하여 모듈하우징의 설계, 포팅공정 최적화를 신뢰성 테스트를 수요기업과 동시에 장기 테스트 진행하였음

- 개발결과 도프용액개발, 중공사 방사 공정 개발, 세척, 건조공정 최적화, 코팅공정 최적화 테스트 모듈의 제조 및 기체투과테스트 → 중공사형 기체분리막 개발(TM-005) 산소투과도 : 43.5GPU(Gas Permeation Unit, $10^{-6} \times \text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{cmHg}$) 산소/질소 선택도 : 6.01 중공사형 기체분리막 모듈의 제조 및 분리성능 테스트 → -3032A 개발, 질소농도 99%에서 발생량 1.2 m^3/hr 이상 → 발생기체의 dew point -60 $^{\circ}\text{C}$ ↓
- 적용분야 : 반도체 검사장비 및 반도체 포장 분야 식품 포장, 식품보관 산업 화학 관련 inerting 산업 및 폭발방지 분야 전기, 전자분야에 무연 납땜 분야 건설업분야 중 블레이징 및 용접 분야 엔지니어링 항공산업분야 중 OBIGGS 분야 조선산업분야 중 케미칼 탱커 등 inert gas generation 분야

국내외 관련지식재산권 현황

지식재산권명	지식재산권출원인	출원국/출원번호
일단 폐쇄형 세라믹 기체분리막 튜브용 몰드 및 이를 이용한 기체분리막 튜브 제조방법	한국에너지기술연구원	한국/ 1007315940000
기체분리막 및 그 제조 방법과 기체분리막을 구비하는 전지	이호태	한국/ 1020120117871
기체분리막 제조방법 및 이로부터 제조된 기체분리막	(주)에어레인	한국/ 1008356550000
DME 제조 공정에 적용되는 이산화탄소/수소 분리막	한국가스공사	한국/ 1010636970000
GAS SEPARATION MEMBRANE	AGENCY OF IND SCIENCE & TECHNOL CHIKYU KANKYO SANGYO GIJUTSU KENKYU KIKO	일본/ 08261941
FLUORINE-CONTAINING POLYIMIDE TYPE GAS SEPARATING MEMBRANE, AND ITS MANUFACTURE AND MODULE THEREOF	NITTO DENKO CORP	일본/ 07149241

(마) 전도성 이산화탄소 분리막과 그 제조방법 및 이산화탄소 분리방법

- 한국에너지 기술연구원 (이시우, 이상국, 유지행, 서두원, 홍기석, 한인섭, 김세영)
- 이산화탄소를 포함하는 기체혼합물로부터 이산화탄소만을 선택적으로 분리하는 특성을 갖는 전도성 분리막과 그 제조방법 및 상기 분리막을 이용한 이산화탄소 분리방법에 관한 것이며 전도성 이산화탄소 분리막은 탄산 이온의 전도체인 용융탄산염과 전자전도체인 산화물을 포함하여, 500 $^{\circ}\text{C}$ 이상의 고온에서 이산화탄소에 대해 무한대의 선택성을 가짐

(바) 실리콘 분리막을 이용한 이산화탄소 분리장치

- 신기영, 김관식

- 이산화탄소의 분리 및 회수장치와 분리방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 부생 가스가 나노 세라믹 분말로 코팅된 다공성의 고분자 실리콘막으로 이루어진 분리관을 통과하면서 부생가스가 흐르는 분리관의 내부와 이산화탄소를 포집하는 분리관 외부의 부압차 및 이산화탄소 농도차를 이용하여 이산화탄소를 선택적으로 분리할 수 있는 이산화탄소 분리장치 및 방법에 관한 것임

제 2 절 해외 기술개발 현황

1. 이산화탄소 포집 및 저장 기술

가. 기술의 실증 및 상용화를 위한 연구가 활발히 진행 중

(1) CCS(Carbon Capture and Storage, 이산화탄소 포집, 저장)는 발전소나 대형 산업시설에서 연료의 연소에 의한 CO₂를 포집한 후 압축, 수송 과정을 거쳐 육상 또는 해양지중에 안전하게 저장하거나 유용한 물질로 전환하는 일련의 과정으로 정의 할 수 있음

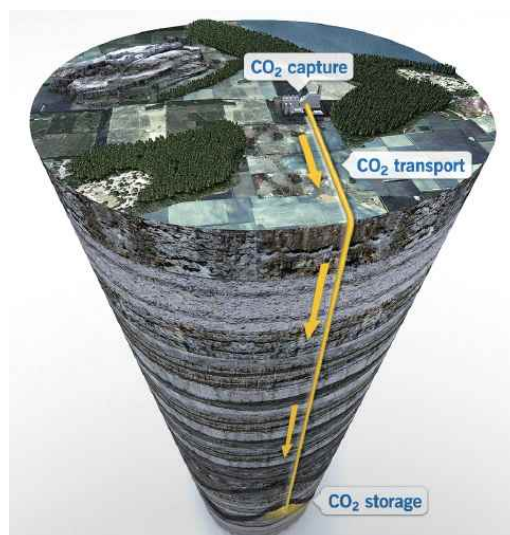


그림 8. CCS개념도

(2) 해외의 CCS 설비의 경우도 상업성을 갖춘 상황은 아니며 캐나다는 최근 삭스파워 발전소에 전 세계에서 가장 큰 110MW의 설비를 1조3000억 원을 들여 설치했지만 별도의 저장시설을 짓지는 않았고 가스나 원유 개발과정에서 생긴 기존 광구에 이산화탄소를 다시 주입해 경제성을 확보하겠다는 계획임

- (3) 지금까지 이산화탄소 회수용 분리막 소재의 개발은 주로 CO₂/CH₄, CO₂/탄화수소 등으로 석유화학가스에서 CO₂를 분리하려는 연구가 대부분이며 CO₂/N₂ 혼합기체분리에 관한 연구는 1990년 이후인 비교적 최근에 이루어지고 있음
- (4) CO₂/N₂ 분리를 위한 분리막 소재 및 막 분리공정에 관련된 기술은 아직 상용화된 바 없는 실정이며, CO₂ 분리용으로 현재까지 개발된 기체 분리막 모듈은 주로 천연가스분리를 위한 CO₂/CH₄ 기체 혼합물 분리용이며 Delta Project의 Delsep, 미국의 Environgenics System에서 개발한 GASEP 등이 있음
- (5) 연구개발의 시작이 늦어 현재까지 CO₂/N₂ 분리용으로 상용화된 분리막 모듈은 없으나 기체분리막 모듈을 생산하는 Air Products사(미국)등 많은 회사들이 이 분야에 집중적인 연구를 수행 중에 있음
- (6) 고온용 배기가스에 직접 적용 가능한 소재 상의 장점을 지닌 세라믹막과 금속막의 경우 우수한 성능에도 불구하고 박막가공 및 미세성형의 어려움으로 모듈화를 이루지 못하고 기초연구에 머물고 있으며, 일본의 경우 “이산화탄소 고온 분리 및 회수재이용 기술개발” 과제를 8년간 400억원 규모로 세라믹분야의 선도 연구기관을 주축으로 산학연 콘소시엄의 개발추진 체계를 갖추어 연구를 수행중임

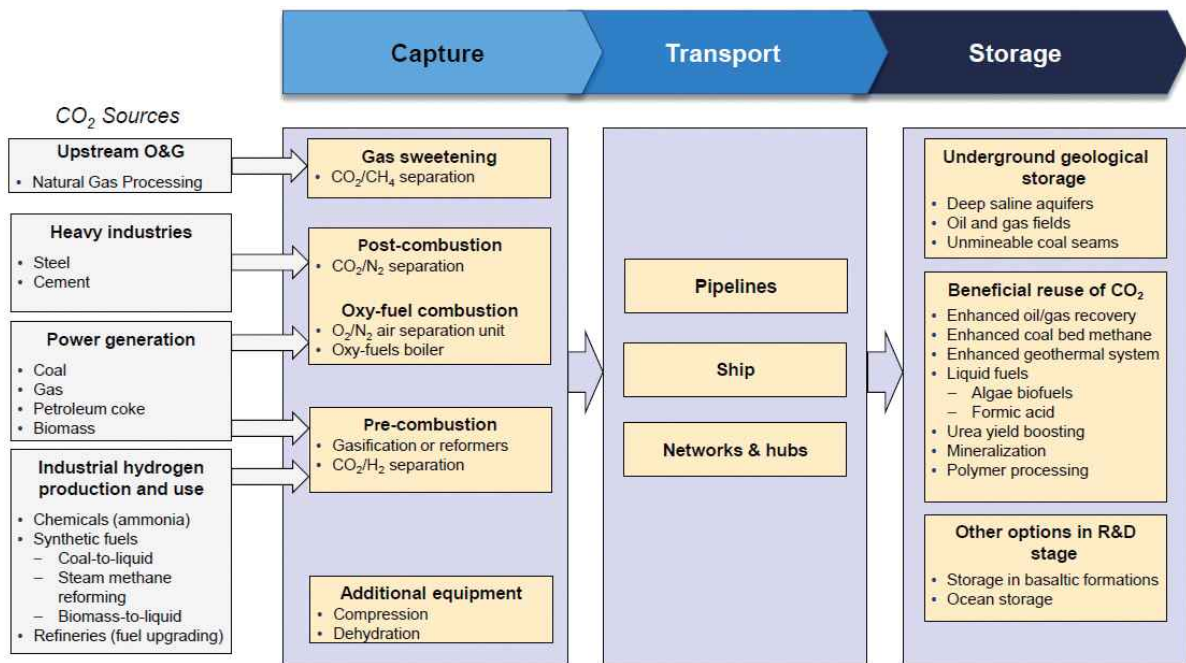


그림 9. CCS의 단계별 기술흐름

나. 농업적 사용에 적합한 기술 연구

- (1) 이산화탄소를 포집할 때에는 연료나, 연소시의 배출가스로부터 분리하여 CO₂를 고

농도로 농축하여야 하며 이러한 농축기술은 연소 후 포집(post-combustion capture), 연소 전 포집(pre-combustion capture), 순산소 연소(oxy-combustion capture)등의 기술이 있으며, 산업적 목적에 의한 CO₂ 포집을 위한 기술로서 농업적 사용에는 규모상 적합하지 않을 것으로 판단됨

- (2) 탄소 포집 저장과 관련한 프로젝트는 주로 국가적 단위에서 진행하고 있는 것과 달리 Membrane-filter를 활용한 본 연구의 경우 단위농가별로 탄소의 포집과 이용을 통한 탄소저감노력을 대규모의 몇몇 형태가 아닌 소규모이지만 다양한 현장에서 실행할 수 있는 적극적인 노력이라 할 수 있음

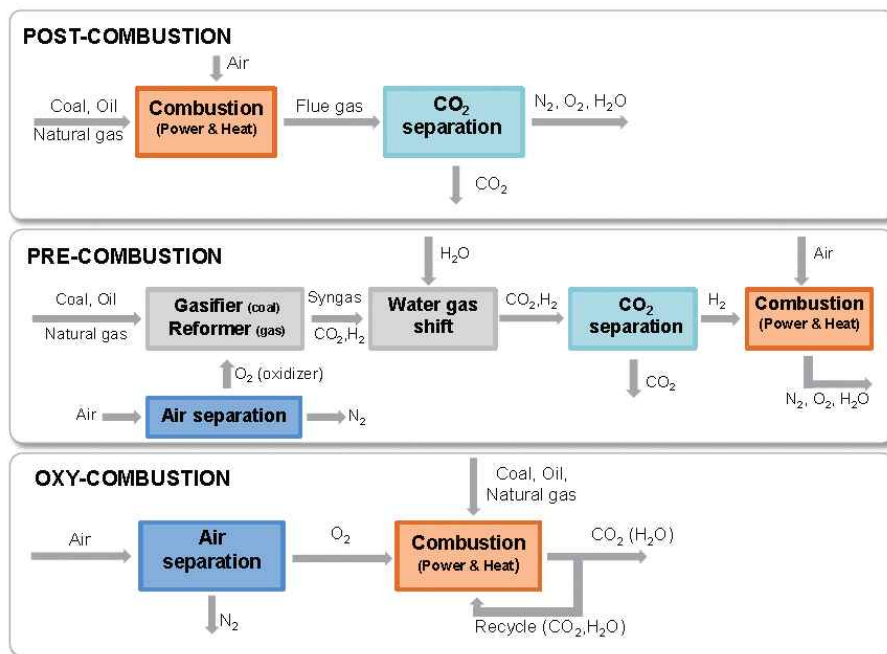


그림 10. 이산화탄소 포집기술 개념도

- (3) 미국은 범부처 프로젝트인 기후변화 기술 프로그램(Climat Change Technology Programme, CCTP)의 하나로 2015년까지 실용화가 가능한 기술적 검증을 완료한다는 목표 하에 CCS R&D 프로젝트를 추진하고 있고, EU는 2030년경 CCS 기술로 EU 내 연간 4억 톤의 CO₂를 감축할 것으로 전망하고 2020년까지 CCS 상용화를 목표로 CCS 관련 프로젝트를 추진하고 있음
- (4) 일본은 Cool Earth 에너지혁신기술계획 ('08.5)에서 저탄소 사회 구축을 위한 21개 핵심기술 중 하나로 CCS를 제시하고 지구환경산업기술연구기구(Research Institute of Telecommunication and Economics, RITE)를 중심으로 2015년까지 CCS 기술의 실증을 완료한다는 목표를 가지고 전략적으로 관련 연구를 추진 중에 있음
- (5) EU는 '2020년 CCS 상용화, 화력발전소 CO₂배출량 Zero'를 목표로 2015년까지 10~20개 대규모 실증사업에 120억 유로를 지원할 계획이며, 영국은 2개, 독일은 3

개의 실증 프로젝트를 추진 중에 있고 일본 역시 RITE 주도 아래에 습식 아민 CO₂ 포집기술을 2015년 상용화를 목표로 실증연구를 추진 중이며, 이 계획의 일환으로 29개사가 출자한 세계 최초 CCS 전문 민간기업 ‘일본 CCS 주식회사’가 2009년 5월 출범하였음

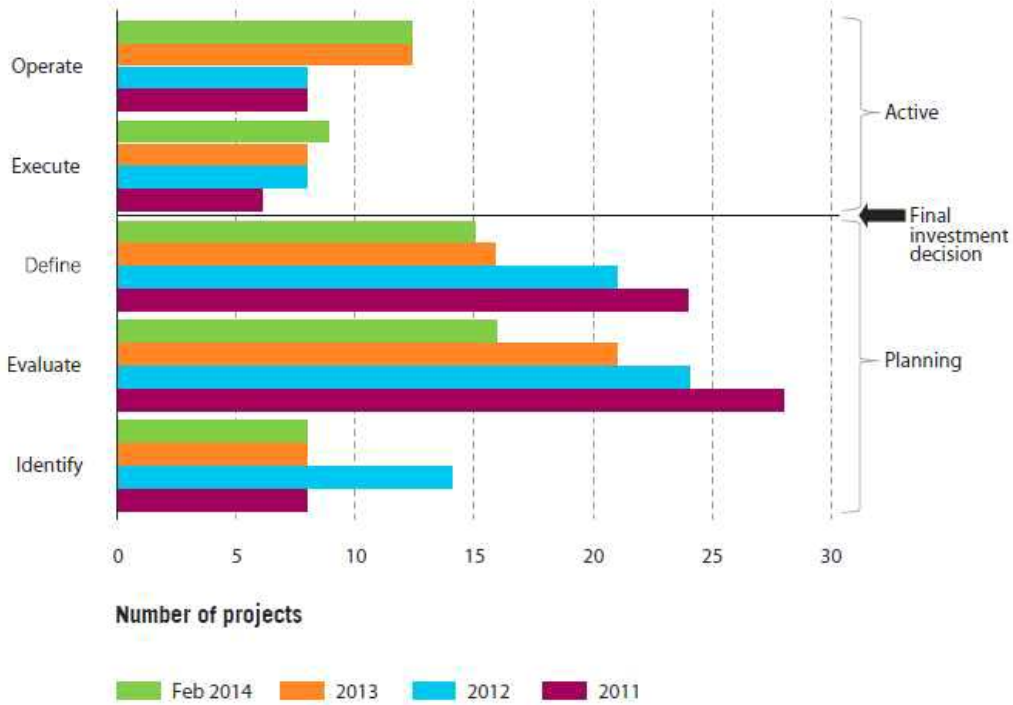


그림 11. 세계적 프로젝트 전과정 및 단위 대형 CCS 프로젝트

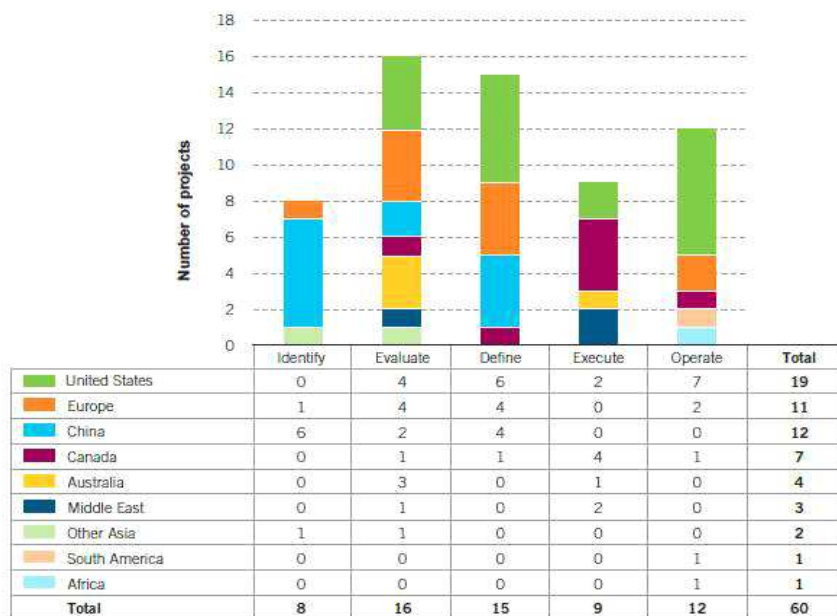


그림 12. 2014년2월 현재 프로젝트전과정 단계 및 지역/국가별 대형CCS 프로젝트

- (6) 일본관서전력, 미쓰비시중공업(주)이 Nanko 화력발전소에 알카놀아민을 이용한 화학 흡수 플랜트를 설치하고 1992년부터 관련 연구를 수행 중임

2. 이산화탄소의 이용 사례

가. 이산화탄소의 투입 효과

- (1) 2012년 8월, 미국 GE의 8.7메가 와트 가스엔진을 설치하였고 발전 시 생기는 폐열로 물을 가열하여 온실의 가열에 이용할 뿐만 아니라 작물의 생육을 촉진하기 위해 이산화탄소 농도가 높지 않은 가스엔진의 배기가스를 온실로 보내는 트라이 제너레이션을 구축하였으며 발전효율은 45.5%이지만, 폐열 이용까지 포함하면 열병합발전 시스템의 종합효율은 90%를 넘고 가스엔진은 지역 전력수요가 피크에 도달하는 정오 전후를 중심으로 가동하고 있으므로 전력부하 평준화에도 기여하고 있음
- (2) 비닐하우스에 투입되는 이산화탄소는 한낮에 작물의 광합성에 이용되어 생육의 증진에 기여하며, 배기가스에 포함되어 있는 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NO_x), 기타 미량의 유해물질은 촉매에 의해 지역 대기오염 관리기준을 하회할 때까지 줄이고 있음



그림 13. 호웰링 토마토 하우스 내부

- (3) 배기가스에 포함된 이산화탄소를 이용하려는 선도적인 연구를 하고 있는 곳이 네덜란드의 연구소인데 온실재배가 활발한 네덜란드에서는 자가발전이나 보일러 배기가스에 포함되어 있는 이산화탄소를 일찍부터 농업에 이용해 왔음
- (4) 일본의 오사카가스나 농업식품산업기술종합연구기구 화훼연구소 등이 농업 트라이 제너레이션 도입을 추진해 왔고, 대기 중의 이산화탄소 농도는 통상 360ppm이지만 이 연구소의 실험결과를 보면 이산화탄소 농도를 700~1,000ppm 정도로 올리면 엽채류에서는 25~30%, 과일에서는 20% 정도, 화훼는 40% 정도의 수확량 증가가 확인되고 있음

- (5) 오사카가스가 이바라키현 쓰쿠바시와 공동으로 시내 화훼재배 농가에 가스엔진을 사용한 트라이 제너레이션을 설치하였고, 영업 측면에서도 도요타자동차 계열의 화훼 생산, 판매 회사 도요타플로리테크(아오모리현 록카쇼무라)가 마이크로 가스터빈을 사용한 트라이 제너레이션을 도입하여 연간 약 400만분을 생산하고 있음



그림 14. 쓰쿠바시가 오사카가스와 공동설치



그림 15. 헤이그 남부의 원예농가
(아래의 플라스틱 튜브에서 이산화탄소가 나옴)

- (6) 로테르담 근교의 공업지대에 있는 영란 로열더치셀의 정유소에서는 2005년부터 정유공정에서 나오는 이산화탄소를 거의 100%까지 농도를 높여 헤이그 남부 원예농가의 온실에 공급하고 있는데 현지 가스회사와 건설회사의 합작회사인 OCAP가 셀에서 이산화탄소(CO₂)를 구입하고 파이프라인을 통해 농가에 이산화탄소를 공급, 판매하고 있으며 온실 내의 이산화탄소 농도는 평균하여 통상의 약 2배(760ppm)에 달하는데 채소는 이산화탄소가 많은 환경에서 약 25% 더 성장한다고 함

- (7) 현재는 약 500농가(총 온실면적 약 13km²)에 연간 30만톤이나 되는 이산화탄소를 공급하고 있음

표 5. 국외의 CO₂ 기술 연구 예

국가	주관기관	연구 내용
독일	Bayer	• 독일 정부의 지원(1,780억원)으로 RWE Power(석탄화력발전소), Siemens와 공동으로 “Dream production” 프로젝트를 추진 중이며, 2011년 2월 RWE의 CO ₂ 를 포집해 바이엘의 촉매를 사용해 직접 폴리우레탄(단열재)을 제조하는 파일럿 플랜트 건설, 2015년 상업화를 목표.
	Cyano Biofuels	• CO ₂ 와 햇빛을 공급하여 직접 바이오에탄올을 생성할 수 있는 cyanobacterium(blue-green algae)를 개발하고, 미국 Algenol과 협력하여 10만 m ² 규모의 조류 바이오 연료생산 시설을 텍사스에 건설할 예정.

	BASF	<ul style="list-style-type: none"> 독일 연방교육연구부(BMBF)로부터 2년간 100만 유로를 지원을 받아 EnBW(전력기업), 하이델베르그 대학, 칼스루에 공대(KIT)와 공동으로 광촉매공정을 통해 태양에너지로 이산화탄소와 물을 반응시켜 메탄올을 생산하는 ‘Solar2Fuel’ 프로젝트를 추진 중.
미국	Sandia National Lab.	<ul style="list-style-type: none"> 1조 500억원을 들여 태양광과 이산화탄소를 이용해 석유대체의 합성 디젤연료를 제조하는 S2P(Sunshine to Petrol)프로젝트를 진행 중.
	Lawrence Berkeley National Lab.	<ul style="list-style-type: none"> DOE의 지원을 받아 2011년 Caltech과 함께 인공광합성공동연구센터를 설립하고 물, 이산화탄소, 햇빛으로부터 가솔린 대체연료를 제조하는 기술을 연구 중. 2015년까지 프로토타입 개발 완료, 2020년 상용화를 목표.
영국	Albemarle Novomer	<ul style="list-style-type: none"> DOE의 지원을 받아 2013년 Albemarle Corp.(신소재제공)와 Novomer(신촉매제공)는 공동으로 이산화탄소와 에폭시드의 중합반응으로 폴리프로필렌카보네이트(PPC)의 대규모 생산에 성공. 생산된 폴리머 중량 중 40%이상이 CO₂임.
	Novacem	<ul style="list-style-type: none"> Rio Tinto(석탄기업), Laing O’ourke(건설사)와 공동으로 이산화탄소를 활용한 시멘트 생산 기술을 개발하고 상용화 추진 중.
	Newcastle University	<ul style="list-style-type: none"> 2009년 마이클 노스 교수팀은 60℃, 대기압에서 이산화탄소(발전소배가스)와 옥시렌을 반응시켜 에틸렌카보네이트로 전환시키는 촉매 개발에 성공.
네덜란드	DSM	<ul style="list-style-type: none"> 화학회사인 DSM은 이산화탄소 기반 폴리카보네이트 제품 생산기술을 보유한 노보머(Novomer)와 공동으로 친환경 코팅소재를 개발 중임.
호주	Global CCS institute	<ul style="list-style-type: none"> CCS 연구와 함께 CO₂ 활용 연구. 호주 정부는 Calera mineralization project에 4천만 호주 달러를 투자하여 Yallourm 발전소에서 포집된 CO₂를 사용해 시멘트와 공제를 제조할 예정
일본	미쯔이 케미컬	<ul style="list-style-type: none"> 자체 석유화학플랜트에서 배출되는 이산화탄소를 포집하여 수소와 반응시켜 메탄올을 생산하는 기술을 개발. 현재 대량의 수소를 확보하기 위해 인공광합성 기술을 개발 중.
	Asahi Chemicals	<ul style="list-style-type: none"> 도성물질인 포스젠을 대체하여 이산화탄소를 주석 착제 촉매 하에서 알코올과 반응시켜 탄산에스테르를 합성하고 디아민과의 반응으로 폴리우레탄 원료인 이소시아네이트를 합성. 방향족 PC의 원료인 디페닐카보네이트(DPC) 제조도 성공. HDI 개발 진행 중.
중국	CAS 창춘응용 화학연구소	<ul style="list-style-type: none"> 1999년 이산화탄소 중합체 합성 촉매(희토류3차원촉매) 개발. 2004년 2월 Mengxi 그룹과 제휴하여 3천톤급 이산화탄소 중합체 생산 라인 구축
	CAS 상하이 유기화학연구소	<ul style="list-style-type: none"> 2013년 이산화탄소로부터 금속 유기 루테늄 촉매를 사용하여 메탄올과 에틸렌글리콜을 합성하는 새로운 프로세스를 개발.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 CO₂ 포집 장치 개발

1. Proto-type 개발

가. 멤브레인 시스템 개발

- (1) 본 개발에서는 이산화탄소의 포집, 저장 및 공급 시스템을 모듈화하여 이동이 용이하도록 구성하였으며 이는 온실가스 발생 시설 및 장치에 간편하게 설치가 가능하며 시스템의 범용성이나 호환성 면에서 매우 뛰어난 효과를 기대할 수 있음
- (2) 시스템의 자세한 구성과 그 기능은 다음의 설명 및 그림과 같다. 온실가스 발생 시설의 내, 외부에 존재하는 혼합기체가 메인 컴프레서에 의해 압축되어 공기 탱크내로 이동하고, 드라이어를 통해 압축된 혼합기체에서 수분을 분리해 내고 기체를 냉각함
- (3) 드라이어를 통하여 수분이 제거된 기체는 특정 기체를 분리해내는 멤브레인 필터부를 통하게 되며 이산화탄소를 분리할 때에 일정한 압력으로 조절하는 유량계를 통하여 일정한 압력이 조절된 이산화탄소를 저장하여 적시적소에 투입하기 위해 압축 저장이 가능한 리시브탱크로 구성된 시스템이다. 그리고 이산화탄소가 필요한 온실내에 리시브탱크에 연결된 배출라인을 통하여 주입해 줄 수 있는 장비임
- (4) 시스템의 각 부분을 설명하면 다음과 같다. ①의 1번 컴프레셔(10HP)는 온실가스를 압축하여 공급하고 ②의 1번 에어 탱크(600리터)에 압축된 공기를 저장하며 ③의 에어 드라이어에서 압축된 온실가스를 건조시켜 수분을 분리해 냄
- (5) 드라이어, 오일 필터 및 레귤레이터를 통과한 수분이 분리된 온실가스는 ⑥의 공압 밸브를 통해 온실가스에서 이산화탄소를 분리해 내고, 분리된 이산화탄소와 나머지 공기들을 각각 다른 경로로 배출시키는 ⑦의 멤브레인 모듈을 통과하게 됨
- (6) 분리된 이산화탄소는 ⑧의 2번 컴프레서에 의해 ⑨의 2번 에어 탱크(230리터)에 저장되고 ⑩의 유량계를 통하여 배출되도록 구성하였음. 또한 ⑦의 멤브레인 모듈에서 분리된 공기는 ⑪의 니들 밸브와 ⑫의 레귤레이터 및 ⑬의 유량계를 통하여 ⑭의 소음방지용 사일런서를 통하여 외부로 배출됨

C02 SEPARATION MEMBRANE SYSTEM AIR FLOW CHART

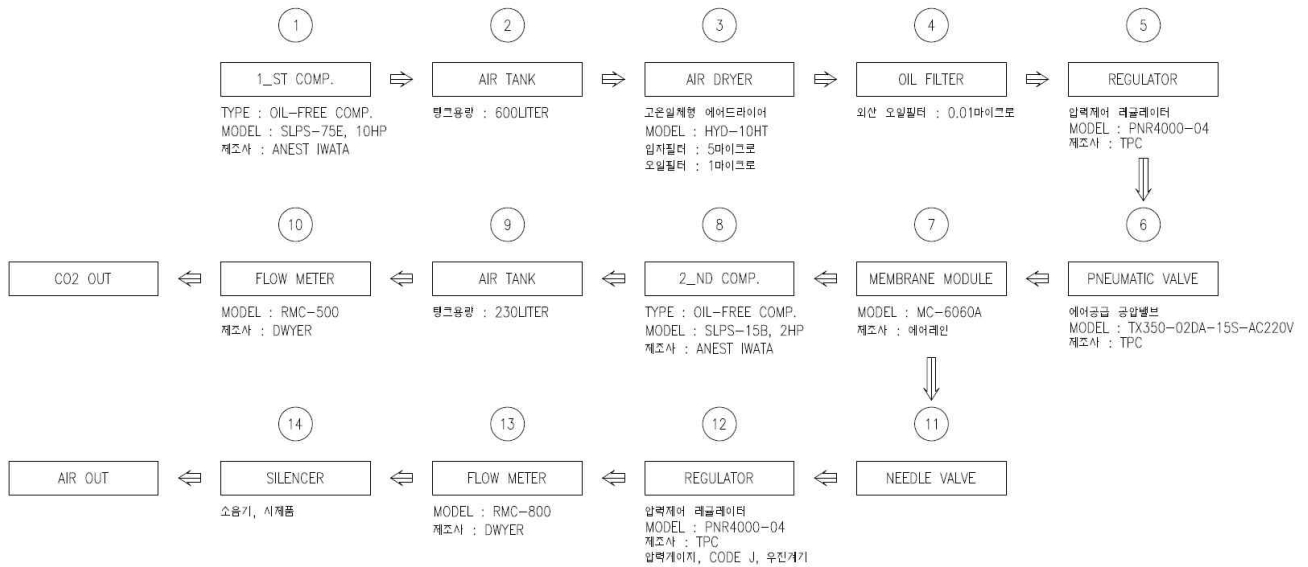


그림 16. 이산화탄소 분리 멤브레인 시스템의 개요

(7) 시스템의 개념에 의하여 전체 시스템을 다음의 도면과 같이 설계하였으며 설계와 같이 각각의 구성부를 사각형상의 베이스 프레임(2,500×2,500mm) 상부에 수직으로 세워진 마운팅 프레임(2,300mm)과 수평으로 구성되는 지지프레임 등으로 모듈 하우징을 구성하여 그 내부에 이산화탄소 포집 시스템을 구성하여 모듈화 하였으며, 구성품의 사양을 다음 표에 나타내었음

표 6. 이산화탄소 분리 멤브레인 시스템의 사양

품 명	규 격
Membrane Module	MC-6060A
OIL-FREE SCROLL COMPRESSOR ①	SLPS-75E, 10HP 토출공기량 8405L/min, 토출압력 0.65 - 0.8Mpa 사이즈 :650mm*955mm*1195mm
OIL-FREE SCROLL COMPRESSOR ②	SLPS-15B, 2HP 토출공기량 165L/min, 토출압력 0.65 - 0.8Mpa .사이즈 :435mm*645mm*790mm
Air Tank	600 liters, 230 liters
유량계	RMC-500LPM, RMC-800LPM
Air Dryer	HYD-10HT
PLC	XBC-DR32H
차단기	ABS103C(125A)
SMPS	VSF50-24
Regulator	PNR4000-04
Pneumatic Valve	TX350-02DA-15S

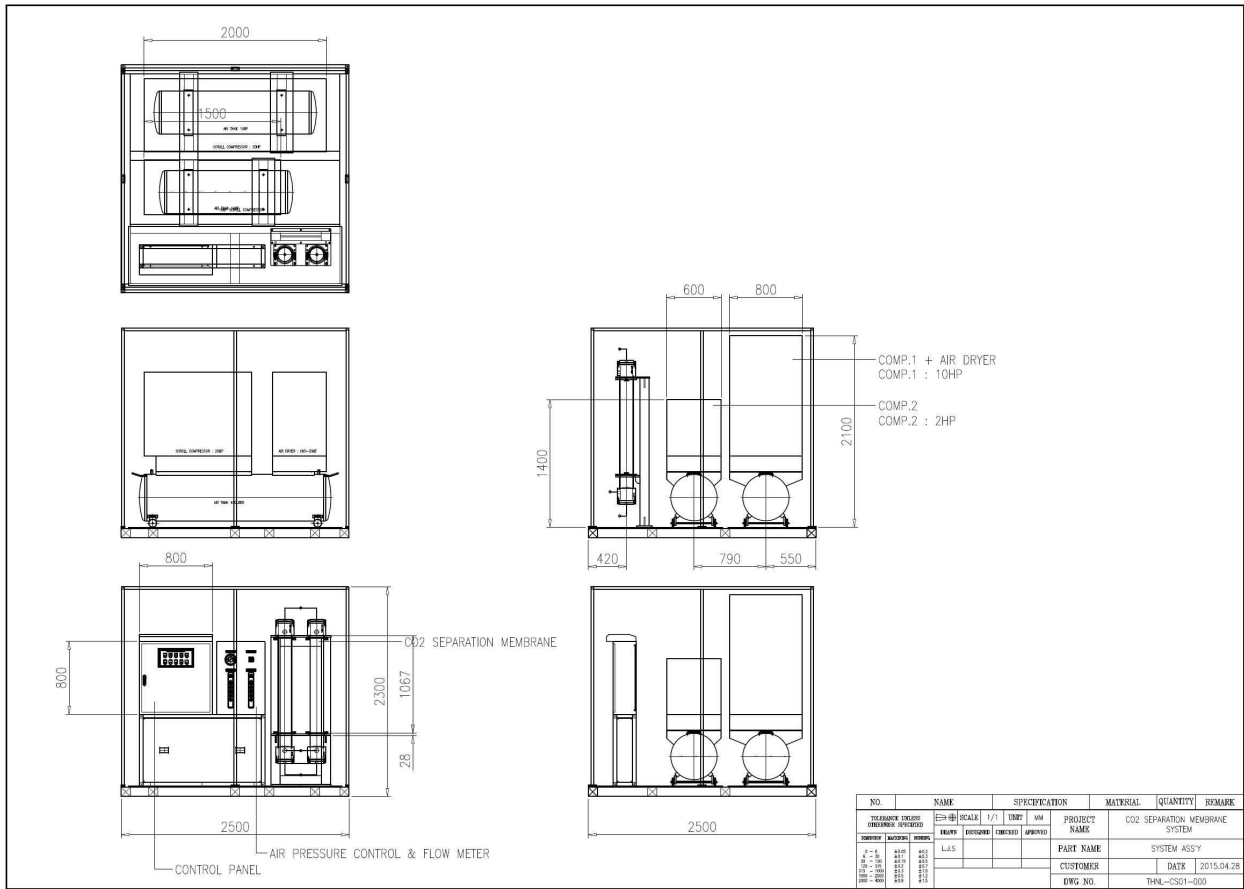


그림 17. 이산화탄소 포집 시스템의 설계도



그림 18. 이산화탄소 포집, 저장 및 공급장치의 제작

나. 가스 포집부 개발

- (1) 이산화탄소 포집 시스템의 가스 포집부는 컴프레서, 드라이어 및 멤브레인 모듈로 구성되며 다음의 그림에 그 제작 결과를 나타냄.
- (2) 컴프레서를 통해 온실가스는 압축과정과 함께 고온의 공기가 되며 물방울과 다량의 수분이 생성되므로 기계 시스템에 사용하기 위해서는 함유된 수분을 제거해 주는 것이 필수적인 공정임
- (3) 그러므로 멤브레인에 공급되기 전 에어 드라이어가 설치되며, 드라이어는 다량의 수분이 포함된 압축된 온실가스를 건조시켜 멤브레인 모듈에 공급하도록 구성하였음
- (4) 멤브레인 모듈은 투입된 공기 중 이산화탄소를 분리해 내고 이산화탄소와 분리된 나머지 공기를 각각 다른 경로로 배출시킬 수 있도록 제작함

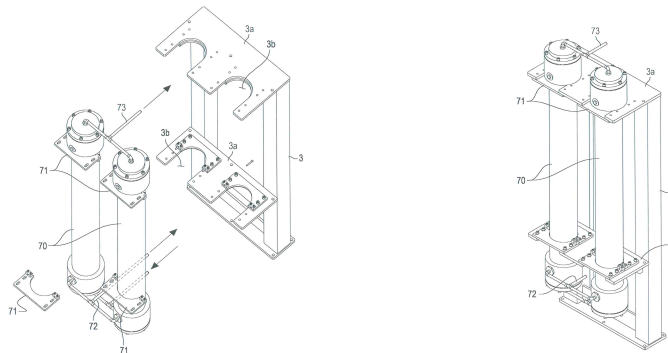


그림 19. 이산화탄소 포집부의 설계



그림 20. 이산화탄소 포집부의 제작

다. 저장 및 공급부 개발

- (1) 포집부의 컴프레서와 에어 드라이어 그리고 멤브레인을 통해 분리 배출된 이산화탄소를 저장할 수 있는 230리터 저장탱크와 2HP 급 컴프레서로 구성함
- (2) 저장부의 컴프레서를 통하여 7bar 로 압축된 이산화탄소는 압력조절기, 유량 측정기 등을 통하여 온실 내로 공급할 수 있도록 구성함

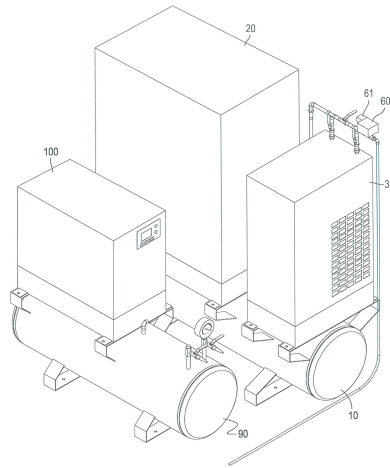


그림 21. 이산화탄소 저장 및 공급부의 설계



그림 22. 이산화탄소 저장 및 공급부의 제작

라. 모듈 제어부 개발

- (1) 전체 시스템의 구성은 다음의 개념도와 같이 포집부, 저장부 및 공급부 등으로 이루어져 있고 시스템의 제어요소는 컴프레서, 드라이어, 에어 공급부이며 각각의 작동은 수동 및 자동 모드 변환이 가능하도록 구성함
- (2) 분리된 CO₂는 컴프레서를 통하여 7bar로 압축되어 저장 탱크에 공급하도록 구성하였으며, 공급부에서는 분당 300리터를 배출시킬 수 있도록 구성하여 시설하우스 300평에 3~4시간 공급 가능한 시스템으로 개발

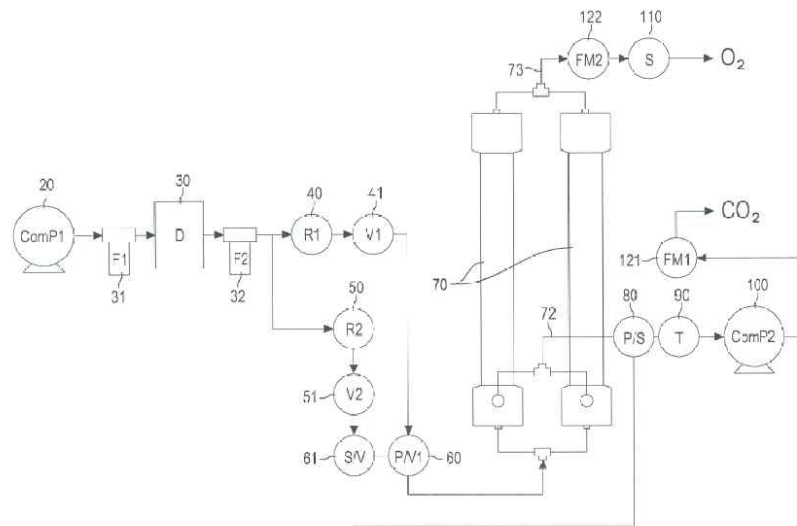


그림 23. CO₂ 포집, 저장 및 공급 모듈의 제어부 설계

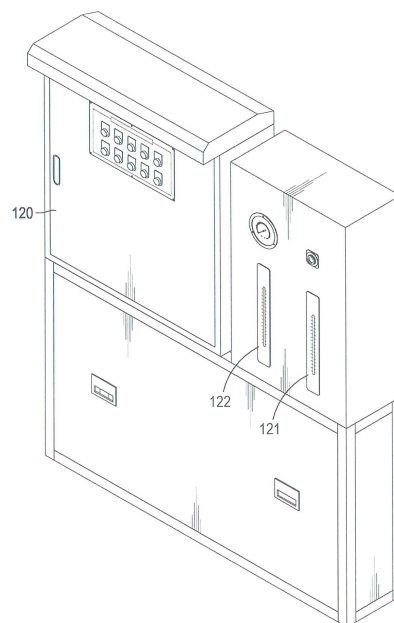


그림 24. CO₂ 포집, 저장 및 공급 시스템 모듈의 제어부 설계



그림 25. CO₂ 포집, 저장 및 공급 시스템 모듈의 제어부 제작

제 2 절 온실 적용 및 실증시험

1. 온실 선정 및 측정

가. 시설하우스 내 공급 실증시험

- (1) 본 과제에서 개발된 이산화탄소 포집, 저장 및 공급 시스템의 현장시험을 위하여 멤브레인 모듈을 시설하우스 옆에 이동시켜 하우스 입구 측에 공급하고 내부의 몇 개 지점을 선택하여 이산화탄소 농도를 측정함
- (2) 실험장소는 진구 경상대 시설하우스에서 실험실시하였으며, 실험 날짜는 5월 20일 오후 3시경에 측정을 시작하여 각 시간단위로 측정하였음
- (3) 측정시 기온은 24℃를 나타내었으며, 습도는 34%로 나타났음
- (4) CO₂ 투입량은 160L/min의 양으로 투입하였음



그림 26. 이산화탄소 공급 현장 시험 시설하우스 선정

- (5) CO₂ 투입 지점은 시설 하우스의 출입문 상단측에 설치하였으며, 분당 160리터가 공급되도록 설정하고 측정 지점은 하우스 전·후좌·우 측면부와 중앙부 최하측 표면부를 선정하였음

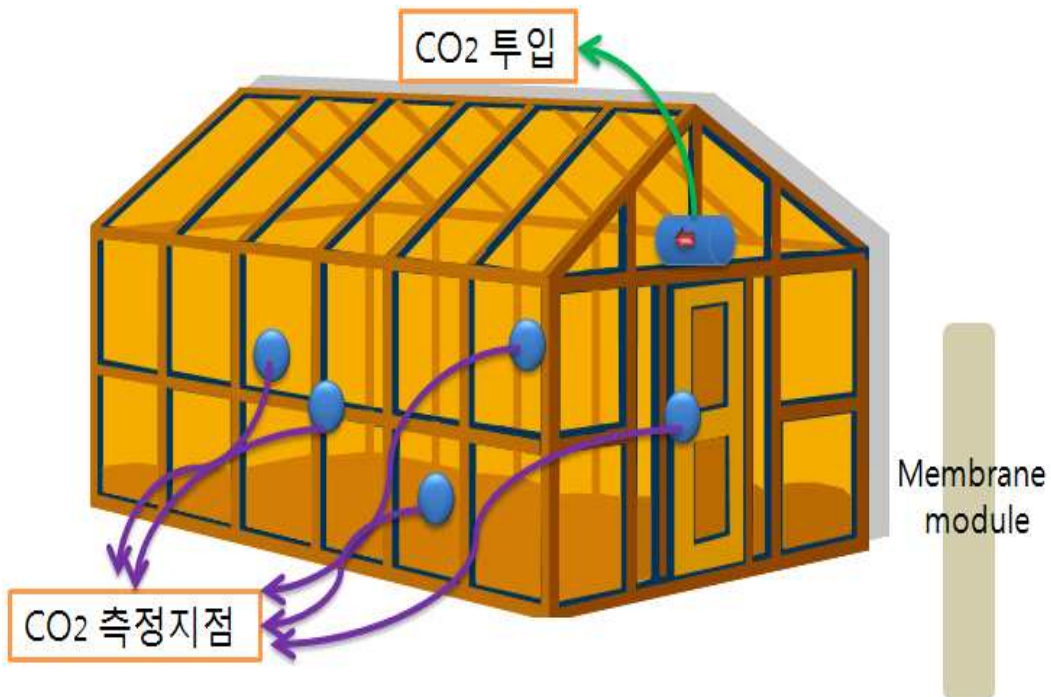


그림 27. 이산화탄소 공급 현장 시험 설계도



그림 28. 현장 시험 하우스 내부 이산화탄소 공급 위치

- (6) 측정 시험에서 CO₂ 측정 센서는 CO₂ 투입 1시간 후, 2시간 후 및 3시간 후의 CO₂ 농도를 각 5회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었음

2. 실증시험 분석

- (1) 현장 실증 시험의 결과를 다음 표에 나타내었으며 측정 회차별 각각의 측정 지점에서 약 700 ~ 1,000 ppm 범위로 측정됨

표 7. 실증 시험 시 CO₂ 농도 측정 결과

측정위치	1회	2회	3회	평균
	측정값	측정값	측정값	측정값
1	1,120	1,089	1,210	1,140
2	1,034	997	1,025	1,019
3	813	805	798	805
4	757	789	793	780
5	815	836	834	828
평균	908	903	932	

- (2) 분석결과 공기 중의 이산화탄소 농도가 약 300 ppm 으로 구성되어 있을 시 그 중의 이산화탄소를 포집하여 공급하면 평균 900 ppm 으로 측정되는 결과를 얻을 수 있었으며, 실험 온실에 공급하여 평균 약 900 ppm의 CO₂ 농도를 얻을 수 있다는 것은 본 포집 시스템은 300평 온실에 공급 가능한 장비임
- (3) 공기 중 이산화탄소를 멤브레인 필터 모듈에 의해 포집한 결과 보통의 공기 중 CO₂ 농도와 비교하여 약 3~4배 정도 농축되는 결과를 얻을 수 있음. 농축된 CO₂를 적시 적소에 시비하기 위해서는 저장탱크에 높은 압력으로 저장을 한다면 넓은 면적의 온실에 공급이 가능한 시스템이 될 것임
- (4) 그러나 현재의 포집 및 공급 시스템의 제작 단가와 실제 농장에서 경제적으로 이용 가능한 구입 단가의 차이를 줄이기 위하여 일반적인 공기 중이 아닌 고농도의 CO₂ 분위기에서 포집할 수 있는 멤브레인 필터 시스템을 개발하여 보급하는 방안이 요구됨
- (5) 고농도의 CO₂ 분위기라 함은 동물의 호흡에 의해 이산화탄소가 발생하는 장소인 축사, 돈사 및 계사 등이며 이러한 곳에서는 이산화탄소 농도가 약 1,000ppm 정도로 측정되어 본 시스템과 유사한 멤브레인을 이용하여 포집한다면 약 3,000ppm 이상으로 농축된 이산화탄소를 이용하여 시설 하우스 부담 면적을 현재의 3배 이상으로 늘일 수 있어 경제성이 개선된 시스템을 보급할 수 있을 것임
- (6) 축사에 있는 이산화탄소를 분리막을 통해 분리 포집할 때 축사에서 발생하는 황화수소 등 부식성 가스 및 악취 등에 불순가스가 분리 시스템에 미치는 영향을 없앨 수 있도록 시스템을 구성할 예정이며, 이는 여러 가지 필터를 통한 필터링으로 해결하고자 함

제 3 절 사업화전망 및 가치평가

1. 기술 경쟁력 부문

가. 기술 경쟁력 평가

- 대상기술의 경쟁시스템은 2가지가 있으며, 본 기술의 시스템과의 경쟁력은 아래의 표와 같음. (주)HNL의 시스템과 경쟁시스템은 시설하우스에 재배하는 모든 작물에 적용 가능하며 단가와 제공 CO₂의 형태, 포집원에서 차이를 보임
- 아래의 표는 당사의 개발 제품과 타사의 경쟁 제품을 비교하였음
- 각 제품의 제원을 비교하였으며, 최종적으로 경쟁력에 있어 평가를 경쟁력이 높

음: ●, 경쟁력 보통: ○, 경쟁력 없음: X 나타내었음

표 8. 개발제품과 타사 제품비교

제품명	회사명	구성	CO ₂ 형태	CO ₂ 포집 원	CO ₂ 저장형태	사용평수	CO ₂ 공급가	시스템 단가 (천원)
본 기술	HNL	CO ₂ 공급제어 장치, 온도습도센서	기체	축사	일반 가스 봄베 (최대40리터)	100평		10,000천원
비타원	동양로지텍	CO ₂ 공급제어 장치, 온도습도센서	액체	실내등유	톤 이상대형 저장탱크	300-500평	200-250/kg	
CO ₂ Tistory	소하테크	CO ₂ 공급제어 장치, 온도습도센서	액체	난방용 가스	톤 이상대형 저장탱크	대형	200-250/kg	20,000천원 (기화기 : 10,000천원 공급호스 및 센서: 10,000천원)
(주)HNL의 경쟁력	구성은 모두 같음	액체로 저장해야 같은 공간에 많은 양을 저장할 수 있음.	축사의 CO ₂ 를 포집하므로 친환경 기술임	우리나라 대다수(99%) 중소형 온실농가를 대상으로 함				가격적인 면에서 경쟁력이 강함
								●

나. 종합의견

- (1) 본 기술의 특징은 농촌지역 환경오염으로 문제가 되는 축산 농가에서 발생하는 CO₂를 포집해서 원예시설에 제공하는 것으로, 농업용으로 만들어지는 탄산가스나 난방 열원에서 발생된 CO₂와는 발생원 자체에서 차별성을 가지는 친환경 기술임
- (2) 시설원예에서 CO₂ 시비로 인한 품질의 향상부분은 농촌진흥청의 원예시험장 및 개

별농가에서 자발적인 검증 및 시범연구들을 통하여 이미 확인되었음.

- 딸기, 토마토, 파프리카, 장미 등에서 실험을 통하여 입증됨

(3) 일반적으로 시설원예농가에서는 탄산가스를 이미 투입하고 있어 본 기술제품에 의해서 포집된 CO₂를 원예농가에 판매하기 위해서는 포집된 CO₂의 순도 및 순도의 균일함이 매우 중요함. 이에 대해서 검증이 되어야 판매가 가능함

(4) 특히 축산농가에서 포집된 CO₂의 경우 포집될 때 다른 유해가스들이 같이 포집될 가능성이 있음. 이 부분에 대하여 시설원예농가가 매우 민감해하고 있어 CO₂의 순도를 검증하는 것이 중요함

2. 권리성 부문

가. 선행기술 비교분석

- 기술 경쟁력 평가등록특허의 청구항의 주요기술구성이 ‘친환경 무알콜, 수용성 프로폴리스의 제조방법’ 및 ‘포도부산물과 프로폴리스 추출물을 이용한 가축 및 양어용 사료첨가제 제조방법’을 포함하고 있음을 고려하여 다음 4건의 선행특허를 주요 선행기술 문헌으로 선정하였음

표 9. 주요 선행기술 문헌 목록

일련 번호	출원번호	출원인	명칭	관련도
1	한국등록특허 10-1156480	정규철, 감동환	시설재배용 이산화탄소 분리, 저장 및 공급 장치	A
2	한국등록특허 10-0962686	김인전	버섯 재배사의 이산화탄소 자동제어시스템 및 방법	A
3	한국등록특허 10-0962686	삼성중공업 주식회사	배기가스 중 이산화탄소 포집시스템	A

(1) 한국공개특허 10-0962686 (버섯 재배사의 이산화탄소 자동제어시스템 및 방법) 와의 비교

(가) 버섯 재배사의 이산화탄소 자동제어시스템 및 방법으로, 기체분리막을 이용하여 버섯의 생장에 의해 발생하는 이산화탄소를 선택적으로 제거함으로써 버섯 재배사 내부의 열과 습기의 손실 없이 환기 가능하며, 이산화탄소 제거 멤브레인 모듈이 이산화탄소 계측기와 연동되기 때문에 농도 조절이 가능한 효과를 가짐

(나) 본 발명에서는 버섯 재배사 내에서 발생하는 이산화탄소를 포함한 공기를 오일 리스 컴프레서를 이용하여 압축한 후, 분리막 모듈을 이용하여 수분과 산소를 회수하여 버섯 재배사로 공급하며, 이산화탄소와 질소는 외부로 방출하여 버섯 재배사 내의 이산화탄소를 자동제어함으로써, 환기를 하지 않고서도 이산화탄소 농도를 버섯의 생장에 최적한 조건으로 유지하는 버섯 재배사의 이산화탄소 자동제어시스템 및 방법을 제공하는 특징이 있음

(다) 등록 특허와 비교하여 보면, 본 발명은 버섯재배사의 전체 가스를 분류하여 산소를 다시 넣어주고 이산화탄소와 질소를 분리해서 밖으로 버리는 점에서 차이가 있으나, 이를 위하여 이산화탄소 농도 측정기를 사용하고 필터 및 멤브레인을 사용하여 이산화탄소 및 질소를 걸러낸다는 점에서 공통점을 가짐

(2) 한국공개특허 10-1156480(시설재배용 이산화탄소 분리, 저장 및 공급 장치)와의 비교

(가) 시설재배를 위한 재배실 내부(야간에는 작물의 호흡으로 이산화탄소 농도가 상승된다.)로부터의 공기 및/또는 재배실 외부로부터의 공기에서 이산화탄소(CO₂)를 분리하기 위한 멤브레인(membrane)을 가지는 포집장치, 포집된 이산화탄소를 저장하기 위한 저장탱크, 저장된 이산화탄소를 재배실에 공급하는 공급장치를 포함하는 시설재배용 이산화탄소 분리, 저장 및 공급 장치를 제공

(나) 이산화탄소 포집장치는 공기 유출수단으로부터의 공기를 압축하는 압축기와 압축기로부터의 압축공기에서 막 투과속도에 따라 이산화탄소를 분리하는 이산화탄소 분이용 멤브레인(membrane)이 구비된 포집기를 포함하는 시설재배용 이산화탄소 분리, 저장 및 공급 장치 압축기는 상기 공기 유출수단으로부터의 공기를 0.2 ~ 1.0MPa로 압축하는 시설재배용 이산화탄소 분리하는 장치를 포함하는 특징을 가짐

(다) 본 기술과 비교하여 기본 목적이 같고, 이산화탄소를 제거하기 위하여 멤브레인을 사용하는 것도 같음. 그러나 이산화탄소 포집 장치에서 압축기로부터의 압축공기에서 막 투과속도에 따라 이산화탄소를 분리하는 이산화탄소 분이용 멤브레인을 갖춘 부분이 차이점이 됨

(3) 한국공개특허 10-0962686 (배기가스 중 이산화탄소 포집시스템)와의 비교

(가) 배기가스 중 이산화탄소 포집시스템으로 이산화탄소가 대기 중으로 배출되지 않게 할 수 있고, 액화천연가스의 기화에 배기가스의 열을 활용함으로써 에너지 사용효율이 높아지며, 배기가스로부터 분리된 질소가스를 저장탱크의 화재 및 폭발을 방지하는 용도로 활용할 수 있음

(나) 액화천연가스를 기화하여 연료로 사용하는 엔진이 구비된 선박의 배기가스 중 이산화탄소 포집시스템으로서, 액화천연가스를 저장하는 복수의 저장탱크, 저장탱크로부터 공급되는 상기 액화천연가스를 기화시키는 제1 열교환기 및 제2 열교환기, 제1 열교환기 및 상기 제2 열교환기 사이에 설치된 압축기 및 제2 열교환기에 연결된 액화이산화탄소 포집라인을 포함하는 구성임

(다) 본 기술과 비교하여 기본 목적이 같고, 발명의 구성이 비슷하나, 해당 발명은 공기 중 이산화탄소를 제거하는 것이 아니고, 연료를 사용하는 액화천연가스를 기화하여 나오는 이산화탄소를 포집한다는 부분에서 차이점이 있음. 또한 해당 발명은 멤브레인을 구성하고 있지 않아 그 구성에서 차이점이 있음

나. 권리의 안정적 유지 가능성

- (1) 앞서 선행기술과의 비교에서 설명한 바와 같이 조사된 어떠한 선행기술도 등록특허의 멤브레인을 이용한 온실용 이산화탄소 포집 시스템과 같은 시스템은 없으며, 멤브레인 필터를 이용한 이산화탄소 포집 및 압축기 시스템을 갖춘 기술은 없음
- (2) 기본적으로 같은 목적을 가진 시스템은 있으며, 부분적으로 이산화탄소 포집 및 저장에 대해서 유사 기술은 있으나 그 구성이 본 기술의 구성과 다르며, 선행기술은 이산화탄소를 걸러내는 구성이 본 기술의 구성과 다름

다. 추가권리 확보 가능성

- (1) 본 등록특허는 “멤브레인을 이용한 온실용 이산화탄소 포집 시스템”을 포함하는 등록청구항 1을 독립항으로 하고 있으며, 향후 실증실험을 통한 데이터로써 추가 권리 확보 가능성은 높다고 판단됨

3. 시장성 부문

가. 시설원예시장 규모

- (1) 시설원예시장 규모(CO₂ 시비대상 시장)의 조사는 우리나라의 시설원예는 터널이나 아치형 파이프 하우스에서 시작하여 1990년대 정부의 시설 현대화 정책을 계기로 비닐하우스, 경질관 온실, 유리온실 등 인위적인 환경관리가 가능한 방향으로 발전함. 이 중 유리온실은 1991년부터 유럽 등 농업선진국으로부터 경질관은 1992년에 도입되기 시작하였음. 이 중에서 본 기술의 대상 시장은 비닐하우스로 볼 수 있으며 비닐하우스가 전체 하우스의 99%를 차지함

표 10. 시설원예 시장규모

(단위 : Ha)

시도 별	2012년도(B)				2013년도(A)				증감(A-B)	
	합계	비닐 하우스	경질 관온 실	유리 온실	합계	비닐 하우스	경질관 온실	유리 온실	면적	%
계	50,451	50,056	85	310	51,058	50,686	67	306	607	1.2

자료: 농림축산식품부, 2013 시설채소 온실현황 및 채소류 생산실적, 2014.7

(2) 시설원예 면적은 '90년대 채소 및 화훼 소비량의 급격한 증대로 크게 증가하여 '00년부터 현 수준 유지. '90년 25천ha → ('95) 42 → ('00) 52 → ('13) 52 시설재배 농가수 : 81천호(화훼13, 채소 68). 재배작목별 시설면적을 보면 시설채소가 94%로 대부분을 차지함.



그림 29. 부문별 농업생산액

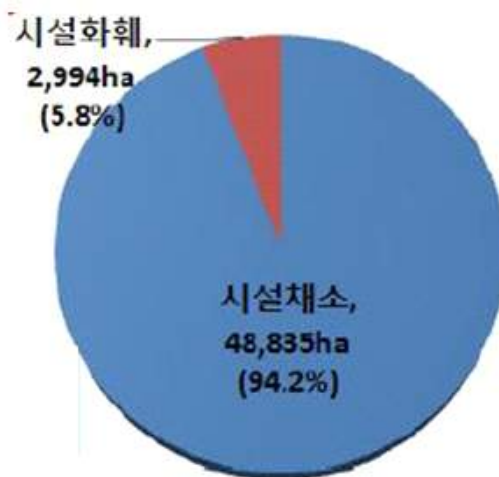


그림 30. 재배작목별 시설면적

나. 축산농가 규모

- 축산농가 규모(CO₂ 포집 대상 시장)는 양돈농가 시장규모를 검색하였으며 아래와 같음. 5년간 양돈농가 수는 지속적으로 감소하고 있어 향후 대상 시장이 될 수 있는 1000마리 이상 양돈농가의 수는 연평균 -0.03%정도로 미세하게 감소하고 있음

표 11. 5년간 돼지 농가 수 추이

	2010	2011	2012	2013	2014
합계	7,692	6,042	6,353	5,938	5,277
1,000 미만	4,492	3,590	3,449	2,975	2,429
1,000~5,000	2,910	2,230	2,587	2,611	2,495
5,000~10,000	205	158	220	246	247
10,000 이상	85	65	97	106	107
1000마리이상 농가 합계	3,200	2,453	2,904	2,963	2,849

다. 평가 종합 의견

- (1) 종합해 보면 향후 (주)HNL이 진입할 수 있는 시장은 시설원예농가에 대해서는 CO₂ 발생기 시스템시장과 축산 농가에 판매하는 CO₂ 포집기 시장이 될 것임. 현재 시설 원예에 이산화탄소를 제공하는 방법은 탄산가스 주입이 대부분의 방식이며, 탄산가스는 가스회사에서 공급받고 있음
- (2) 주요 공급 가스회사는 2곳이며 이외에 작은 공급회사들은 수십개에 달함. 해당 시설원예 농가들은 탄산가스를 제공받기 위해서 저장탱크가 필요하나 해당 저장탱크는 핵심적인 기술이 필요한 특수업체에 의해서 시공되는 것이 아니라 일반 시설업체에서 가능하기 때문에 본 기술제품의 경쟁업체라 할 수 없음. 현재 CO₂ 발생기를 제공하며 CO₂ 양을 모니터링 할 수 있는 제품은 소하테크의 Tistory와 동양로지텍 비타원 정도임.
- (3) 시설원예 시장에서 액화탄산가스는 이미 널리 쓰이고 있기 때문에 순도와 단가가 가장 중요한 요인이 되며, CO₂ 발생기는 시스템으로 제공되어야 하기 때문에 영세한 비닐하우스보다는 고품질, 고가격 작물을 재배하는 시장으로 한정할 필요가 있음
- (4) 현재 CO₂ 를 시비하는 농가의 경우 탄산가스를 가스회사에서 손쉽게 구매할 수 있음

으며, 가스공급 업체들이 CO₂ 를 제공하면서 대형 저장탱크를 설치해주고 있어(저장탱크 설치비는 kg당 가스비에 포함) 농가의 편리를 최대한 고려해주고 있음. 따라서 향후 (주)HNL이 CO₂ 시비기를 판매할 경우 CO₂ 공급의 편리에 대한 부분을 고려해야 함

- (5) 축사의 경우는 전체 축종이 다 대상이 될 수는 있으나, 일정 면적 이상의 허가된 축사를 보유하고 있고 유해가스가 가장 많이 나오는 양돈사를 우선 적용 시장으로 함. 단, CO₂ 만들 제거하기 위하여 축사에서 본 시스템을 설치할 것인지에 대한 문제와 “농업·농촌 자발적 온실가스 감축 시범사업 “이 축산농가가 본 시스템을 설치하는데 도움이 되기는 하나 포집된 CO₂ 는 (주) HNL에서 구입하여 시설원에 농가에 제공해야하므로 포집된 CO₂ 를 (주)HNL에서 최소 1만원/1톤 이상의 가격으로 구입해야 함

4. 종합 기술가치 산정

가. 평가의 가정

- 평가 대상 기술이 CO₂ 포집, 공급 시장에 모두 진출하는 것으로 가정, 사업화 계획년도인 2018년 상반기 이전에 현장적용 및 평가가 모두 완료된다는 가정 하에 기술가치평가를 진행

나. 매출액 추정

- 매출액 추정으로서 축산농가에 포집기 판매, 시설원에 농가에 공급기 판매 등의 매출을 추정하였으며, 관관비와 법인세 등을 예상하여 손익계산서와 현금흐름을 추정함

표 12. 축산 농가에 대한 CO₂ 포집기 매출액 추정

(단위: 백만원)

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
전체 대상 농가수	2,844	2,843	2,842	2,841	2,840	2,839
점유율	0.50%	0.62%	0.78%	0.97%	1.20%	1.50%
매출대상농가	14	18	22	27	34	43
매출액(50백만원/대)	711	885	1,103	1,373	1,710	2,129

표 13. 시설원예농가에 대한 Co2 시비기 매출액 추정

(단위: 백만원)

	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	2024년
시설채소농가	81,000	81,000	81,000	81,000	81,000	81,000
유리 및 경질판 제외	80,190	80,190	80,190	80,190	80,190	80,190
(주)HNL 예상 점유율	0.05%	0.07%	0.09%	0.11%	0.15%	0.20%
(주)HNL 예상 농가	40	53	70	92	122	160
Co2시비기 매출 (15백만원/대)	601	794	1,047	1,382	1,823	2,406

표 14. 자본적 지출

구 분	1년차(2019년)	2년차(2020년)	3년차(2021년)
총 투자비용(억 원)	4	0	0

표 15. 신개발품의 운전자본 소요율과 운전자본 증감액

(단위 : 백만 원)

① 매출채권회전율	② 재고자산회전율	③ 매입채무회전율	운전자본소요율			
매출액/매출채권	매출액/재고자산	매출액/매입채무	$=(1/①)+(1/②)-(1/③)$			
0.17	0.06	0.07	15.6%			
	2019	2020	2021	2022	2023	2024
△NWC	205	57	73	94	121	156

표 16. 신개발품의 감가상각비 추정 금액

(단위 : 백만 원)

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
감가상각비	40	40	40	40	40	40

표 17. 신개발품 사업의 미래 잉여현금흐름 추정치

(단위 : 백만 원)

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
세후영업이익	567	725	928	1,189	1,525	1,958
자본적지출	40	40	40	40	40	40
감가상각비	400	0	0	0	0	0
순운전자본증감	205	57	73	94	121	156
FCF	869	708	895	1,135	1,444	1,842

다. 기술의 경제적 수명 추정

- (1) 기술의 경제적 수명은 지식경제부 기술가치평가 실무가이드 개정판(2014)과 특허인용지수(TCT)를 참조하여 본 기술의 경제적 수명을 추정함

표 18. 농림수산물관련 기술군의 특허인용지수(TCT) 값

구분	코드	명칭	평균	Q1	중앙값	Q3
IPC	A01G	원예; 채소, 화훼, 벼, 과수, 포도, 호프 또는 해초의 재배; 임업; 관수	14.17	6	11	20
IPC	B01D	분리	12.48	5	10	18
평균			13.33	5.5	10.5	19

: 지식경제부 기술가치평가 실무가이드 개정판, 2014

- (2) TCT통계에서 기술의 중앙값을 기준으로 하고 기술수명 영향요인을 고려하여 기술의 경제적 수명을 계산하였으며, 신제품의 경제적 유효수명은 6년으로 함

$$\text{기술의 경제적 수명} = 5.5\text{년} \times \left(1 + \frac{3}{20} \right) = 6.3\text{년}$$

라. 할인율 측정

- 할인율 측정에서 자본비용, 사업화 위험 측정 점수표, 산업군 별 요소 적용하여 산출된 WACC 는 18.99%

표 19. 산출표에 근거한 자본비용의 변수들

CAPM	기술사업화위험 프리미엄	타인자본비용
17.22%	4.59%	9.48

표 20. 기술사업화 위험 측정 점수표

항목	점수	비고
기술우수성	3.5	기존의 탄산 발생기나 포집기와는 방법 자체가 다르나 시비부분은 기능 및 성능이 유사함
기술경쟁성	3.5	기술적 우위를 지키기가 용이하나, 유사기술의 수가 많음
모방용이성	4	기술적 모방이 어렵기 때문에 향후 상당기간 사업화 위험이 작음
사업화환경	3	기술적 보안을 통해서 3년 이내에 사업화가 가능함
권리안정성	3.5	유사한 선행기술이 소수 존재하나, 선행특허 분석결과 보유한 권리의 저축가능성이 낮아 권리의 안정성은 높음
시장성장성	3	CO ₂ 시비에 대한 효과에 대하여 시설원에 농가들의 인식이 늘고 있음
시장경쟁성	2.5	기존 탄산가스 업체들이 시장을 분할하고 있음
시장진입성	2.5	규모의 경제, 비용우위성, 영업망 등이 시장진입에 장벽 요인이 됨
생산용이성	3	기존 생산설비의 보완 또는 확장이 필요하고 원부자재의 상당부분(예:60% 이상)을 국내에서 조달하여 사업화 가능함
수익성과 안정성	3	경쟁업체들의 5년간 영업이익의 수준이 연관 업종 평균과 유사함
합계		31.5
위험 프리미엄		4.59%

표 21. 대상기술 WACC 산출결과

자기자본비용	비상장(소기업)	기술사업화 위험프리미엄	합계
	17.22%	4.59%	21.81%
타인자본비용	9.48		
자기자본비율	67.15		
WACC	18.99% [21.81*0.6715+(9.48*0.459)*(1-0)]		

마. 가치평가 결과

- 기술 기여도 측정을 위하여 개별 기술강도 측정과 사업성평가 측정을 수행함. 산출 결과 최종 기여도는 38.17%이며 최종 가치 평가 결과 기술가치는 966백만원으로 산출됨

표 22. (주)HNL 신제품의 기술성평가 측정표

기술성평가 항목	점수	비고
혁신성	3.5	기술의 한 부분이 혁신적인 것이나 주요 핵심기술로 판단됨
파급성	3	포집기와 시비기는 각각 단일 시장에서 일부 신제품에 적용 가능함
활용성	3	기술 도입자에게 중요한 기술: 경쟁적인 이익을 고양시키고, 현존하는 하부구조의 작은 변화만 있으면 유지 가능함
전망성	3.5	어느 정도(some) 연구에 대한 지지가 지속될 것임
차별성(독창성)	3.5	기술 도입자에게 제한적 차별적 특성에 의한 상업적 우위성을 제공함
대체성	2	유사한 결과를 도출할 수 있는 대체기술이 다소 존재함
모방용이성	4	기술의 복잡성(고난이도)이 약간 존재하여 모방이 용이하지 않음
진부화가능성	4	기술수명주기가 5~10년 사이로 예상됨
권리범위	3	특허의 청구범위가 주요 기능과 핵심 생산라인 제품만을 보호함
권리안정성	3	소수의 유사선행기술이 있으나 청구범위의 축소를 통해 유지 가능함
합계	32.5	

표 23. (주)HNL 신제품의 사업성평가 측정표

사업성평가 항목	점수	비고
수요성	3.5	제품군에 대한 수요는 꾸준하나 수요자들이 가격변화에 다소 민감함
시장진입성	3	규모의 경제, 기존 업체와의 원가우위, 유통망 등의 장애요인이 존재함
생산용이성	3.5	핵심부품의 외주생산으로 가격 및 조달에 애로사항이 있음
시장점유율영향	3	본 기술에 의해 경쟁자는 다소나마 시장점유율을 잃을 것임
경제적수명	4	경제적 수명이 비교적 장기로 예상됨
매출성장성	4	지속적인 수익(매출) 흐름이 예상됨
파생적매출	1	파생적 매출 없음
상용화요구시간	1	기술을 구현하는데 3년의 시간이 필요
상용화소요자본	2	기술 상용화를 위한 개발비는 10억 원 이하 수준
영업이익성	4	영업이익률이 해당기술이 속하는 업종평균보다 10% 이상 높음
합계	29	

표 24. (주)HNL 신제품의 가치평가 결과

(단위 : 백만 원)

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
매출액	1,312	1,679	2,150	2,755	3,533	4,535
매출원가	591	756	967	1,240	1,590	2,041
관관비	155	198	254	325	417	535
영업이익	567	725	929	1,190	1,526	1,959
법인세	0	0	0	1	1	1
세후이익	567	725	928	1,189	1,525	1,958
감가상각비	40	40	40	40	40	40
자본적지출	400	0	0	0	0	0
운전자금소요 증감액	205	57	73	94	121	156
잉여현금	869	708	895	1,135	1,444	1,842
현가계수	0.59	0.50	0.42	0.35	0.30	0.25
할인현금흐름	516	353	375	400	428	458
현금흐름합계	2,530					
기술기여도	38.17%					
기술가치	966					

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 목표달성도

1. 기술적 달성도

- 경상대학으로부터 이전받은 특허기술을 토대로 추후 진행할 예정이던 one-module 화 개발을 서둘러 진행하였고, 농업현장에서 많이 사용되는 1ton차량에 탑재가 가능한 크기의 one-module형 CO₂ 분리장치를 제작하여, 상용화를 위한 시간적인 경쟁력을 한층 높일 수 있는 계기를 마련함
- 기술사업화 사업을 통하여 추가 개발 시 양산 및 A/S요인 분석 후 농가 현장 적용에 적합한 형태로 상용화 개발 추진

2. 과학적 달성도

- 일반 화학공정에 사용되는 멤브레인기술을 농업현장에 적용할 수 있도록 구성하여 경제성을 가지게 개발/적용할 수 있는 과학적 단초를 획득하였고, 추가적 연구 개발을 통하여 상용화가 가능할 것으로 판단됨
- 멤브레인 기술을 활용한 농업 현장의 추가적인 GAS상 물질 추출을 통한 상용화 가능성 제고

2. 경제적 달성도

- 중공사막형 Membrane Filter를 활용하여 농업현장에 필요한 CO₂의 활용에 있어서, 시비를 위한 추가적CO₂ 발생이 아니라 대기중에 존재하는 CO₂를 분리하여 사용함으로써 세계적으로 추구하고 있는 탄소저감정책에 부합하고, 특히 농림부에서 시행하는 농산업부분 자발적 탄소저감 정책에 부흥하는 등 사회 경제적 성과가 크다 할 수 있음

제 2 절 관련분야 기여도

1. 사회적 기여도

- 농업생산성 향상을 위한 CO₂시비에 있어서도 단지 농가차원의 경제적 가치만을 고려하지 않고, 경제성을 가짐과 동시에 전 세계적/사회적으로 중요하게 판단되고 있는 탄소 저감정책과 CCU/CCS 등의 쉬운 현장적용의 예로 사회적 파급효과가 클 것으로 예상됨
- 본 기술의 최종적인 소비자는 고품질 작물을 생산하고자 하는 농민이 그 주체이며, 본 기술을 통하여 농가 소득증대를 목적으로 함

2. 인프라 구축 기여도

- 기본적으로 농림수산기술기획평가원의 연구비 지원을 통해 기초적인 기술개발이 이루어졌던 Membrane Filter를 활용한 CO₂의 포집 및 활용 시스템기술을 본 주관 기관((주)에이치엔엘)이 기술 이전 하여 상용화개발을 위해 공동 추진중인 기술로 산업계과 학계의 공동연구 및 상용화(R&BD)의 성공적인 예로 실질적인 연구/상용화 인프라를 구체적으로 구축한 경우라고 할 수 있음

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1절 연구개발 성과

1. 분리막 기술을 이용한 CO₂ 포집장치 및 시설 하우스 공급 장치 개발



2. 개발 장치 실증시험



3. 특허 출원

출원 및 등록번호	특허명
특허등록 제10-1407208호	멤브레인 기술을 이용한 온실용 이산화탄소 포집시스템 (경상대학교로부터 2014년 전용실시권 획득, 2015년 기술이전 협의를완료)
특허출원 10-2015-0102760	이산화탄소 포집모듈 시스템

가. 발명의 명칭 : 이산화탄소 포집모듈 시스템

나. 출원 번호 : 10-2015-0102760

다. 출원인 성명 : 나 규 동

관인생략 출원번호통지서

출원일자 2015.07.21
 특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)
 출원번호 10-2015-0102760 (접수번호 1-1-2015-0704600-18)
 출원인성명 나규동(4-2004-008093-5)
 대리인성명 이충한(9-2013-001988-2)
 발명자성명 나규동
 발명의명칭 이산화탄소 포집모듈 시스템

특 허 청 장

<<안내>>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
* 납부자번호 : 0131(기관코드)+ 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
* 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허-실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
* 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드
* 우선권 인정기간 : 특허-실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내

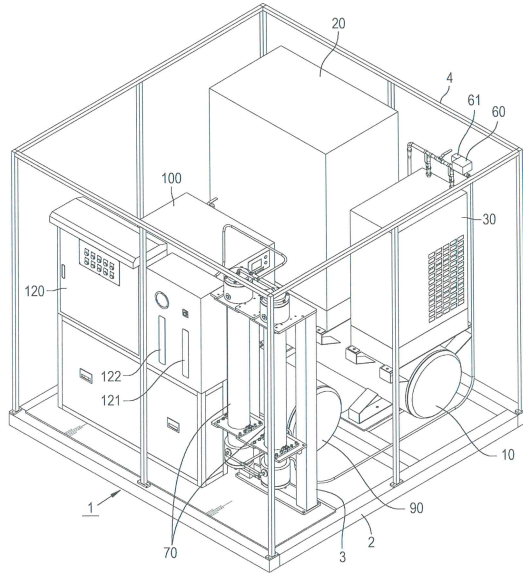


그림 31. 이산화탄소 포집 장치 대표도

제 2절 성과활용 계획

1. 실용화·산업화 계획 (기술 실시 등)

- 기초 연구기획 결과 및 제작 장치의 성능검증 등을 토대로 향후 기술사업화 추진 및 사업화 진행
- 연구 결과물의 실시간 현장 시험을 통한 실증 검증, 피드백 및 조기 실용화 추진
- 국립 대학교 및 기업에서 기 확보하고 있는 장비 및 시공 기술, 현장 경험 등과 같은 보유 기술들을 적극 활용함과 동시에 조기 상용화를 위해 관련 전문 업체와의 유기적인 협력을 바탕으로 산업화 추진
- 기술사업화 개발 완료 후 1년 이내 사업화 진입 예상
- 개발제품의 국내·외 주요 수요처 현황

수요처	국명	수요량	관련제품
시설원예농가	대한민국	5,000대	멤브레인탄산공급기
시설원예농가	해외 (국내의 100배로 추정)	500,000대	멤브레인탄산공급기

- 멤브레인필터(Membrane filter) CO₂ 공급 장치의 경우 1ha 기준의 장비를 공급할 경우 국내 53,000ha인 시설원에 면적을 고려해보면 약 10%인 5,300ha 가량의 선점 가능한 유효시장을 형성 할 수 있을 것으로 판단되며, 연구 개발의 각 시기별 사업화 전략을 통하여 시장형성 및 진입이 가능할 것으로 판단됨

- 기술개발시기

- 현장중심개발, 선행기술 회피전략 마련을 통한 상용화전제의 연구개발
- 수립한 연구계획에 준하여 연구개발 및 현장실증을 통한 상용화개발추진
- 연구 기간 내 농기계공업협동조합/농업실용화재단을 통하여 해당 시스템 농기계 등록 추진 및 농기계 가격집 등재 추진



- 시장진입시기

- 농기계 등록을 통한 정부보조자금 확보 및 시설원에 농가 수요조사
- 농가 자발적 탄소저감 사업과 연계하여 장비 운용시 농가 추가수익방안 확립
- 한국농기계공업협동조합 공동브랜드 참여를 통한 홍보 및 보급 확대
- KOICA, KOTRA, 중소기업진흥공단 등 수출유관기관을 통한 거점사업 참여



- 판매 확대시기

- 국내외 주요 농기계 박람회 및 전시회 참가를 통한 판촉
 - : 한국, 중국 등 주요 재배지역의 해당 박람회 참가
- 주요 농기계 관련 및 전국·지역 매체를 활용한 언론 홍보
 - : 농기계 신문, 농민 관련 신문, 해당 지역 주요 일간지를 대상으로 한 시연회를 개최하여 신개발품의 우수성 및 상품성을 홍보



- 농업내 타 분야 고려한 시스템으로 확대 개발
 - : 농가의 재배/사육별 에너지 관제를 통한 경쟁력 강화

2. 교육·지도·홍보 등 기술 확산 계획

가. 농식품부 정책부서와 정책자문회의 추진 (연 1회 이상)

나. 연구원들의 기술이전·사업화 역량 강화를 위한 성과확산 전문교육 설계 및 실시

다. 농가들을 중심으로 CO₂ 이용 기술에 대한 홍보 교육 실시

3. 특허, 품종, 논문 등 지식재산권 확보 계획

가. 연구 결과를 토대로 추가적인 특허 출원 계획

나. 분화가능 기술에 대한 지속적 연구 및 IP화 추진

다. 연구결과 활용 학술대회 참가 및 논문 발표

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 관련 기술의 개발

1. 주요 기술별 연구 동향

가. 세계 CCS 프로젝트 현황

- (1) 전 세계적으로 총 499개의 CCS 프로젝트가 진행 중 혹은 계획되어 있으며, 그 중 227개 프로젝트에 대한 분석을 실시한 보고서가 GCCSI에 의해 발표됨
- 나머지 224개의 프로젝트는 소규모스케일의 연구개발을 수행하기 위함임

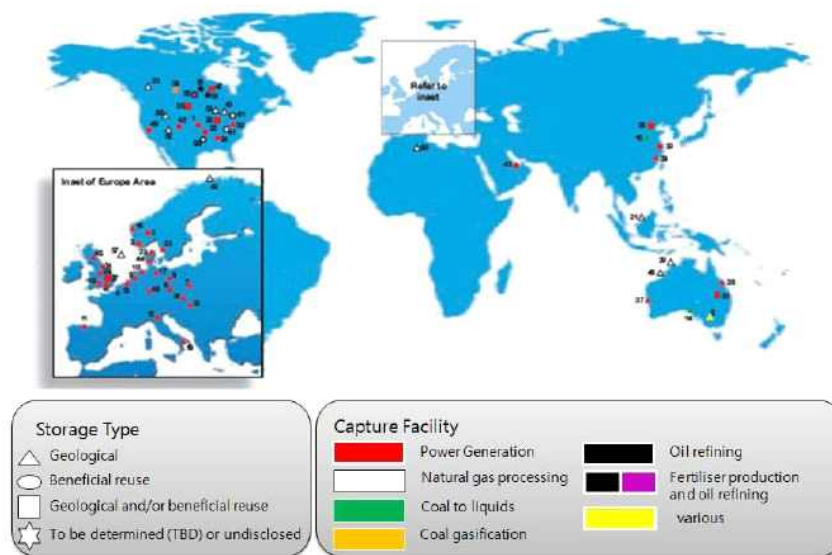


그림 32. 전 세계 CCS 프로젝트 현황

(Strategic Analysis of the Global Status of Carbon Capture and Storage, GCCSI, 2009)

- (2) 현재 수행되고 있는 프로젝트는 총 78개이며, 계획되어 있는 프로젝트는 수행 프로젝트의 약 1.7배 많은 총 135개로 나타남
- 국가별로 살펴보면 미국이 37%로 가장 많은 프로젝트를 수행하고 있으며, 그 다음으로 유럽 지역 (24%), 호주·뉴질랜드 (10%), 캐나다 (24%) 순으로 나타남

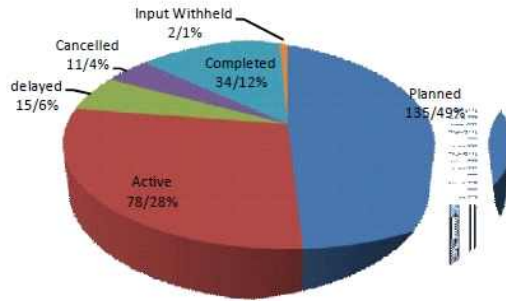


그림 33. 전 세계 CCS 프로젝트 수
(Strategic Analysis of the Global Status of Carbon Capture, GCCSI, 2009)

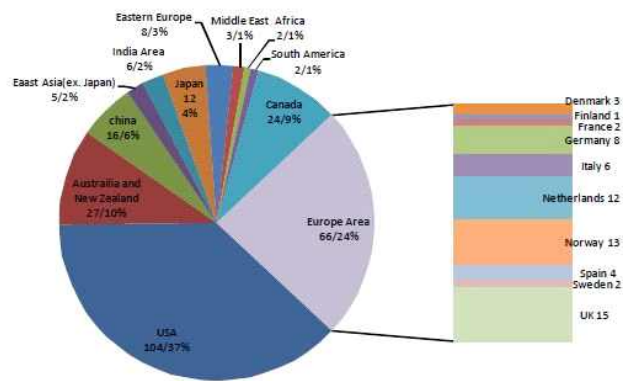


그림 34. 국가별 CCS 프로젝트 점유율
(Strategic Analysis of the Global Status of Carbon Capture, GCCSI, 2009)

- (3) CCS 프로젝트 유형은 1) 요소기술을 확보하기 위한 연구개발 (Capture only, Storage Only 형태의 연구개발) 2) 포집을 수송과 연계하거나 수송을 저장과 연계하여 추진하는 연구개발 3) 포집-수송-저장을 통합하여 추진하는 연구개발이 있음

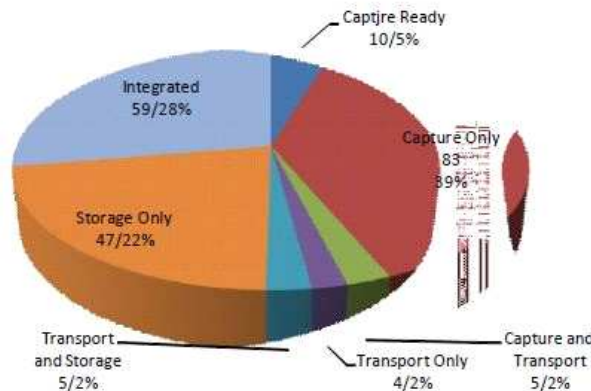


그림 35. CCS 프로젝트 유형별 점유율
(Strategic Analysis of the Global Status of Carbon Capture, GCCSI, 2009)

- (4) 현재까지 Capture only로 수행되는 연구개발이 전체의 39%로 가장 활발한 연구개발이 진행되고 있으며, 그 다음으로 CO₂ 포집-수송-저장을 통합하여 추진하는 프로젝트가 전체의 28%로 나타남
- (5) 통합프로젝트 추진 비율이 높은 이유는 CCS 기술이 기술 간의 통합을 통해 하나의 전체 시스템을 구축하는 기술이기 때문임
- (6) 지금까지 많은 수의 CCS 프로젝트가 추진되었으나 실질적으로 CO₂ 포집과 수송, 저장이 통합된 프로젝트는 독일에서 운영되고 있는 Vattenfall 1개가 존재함

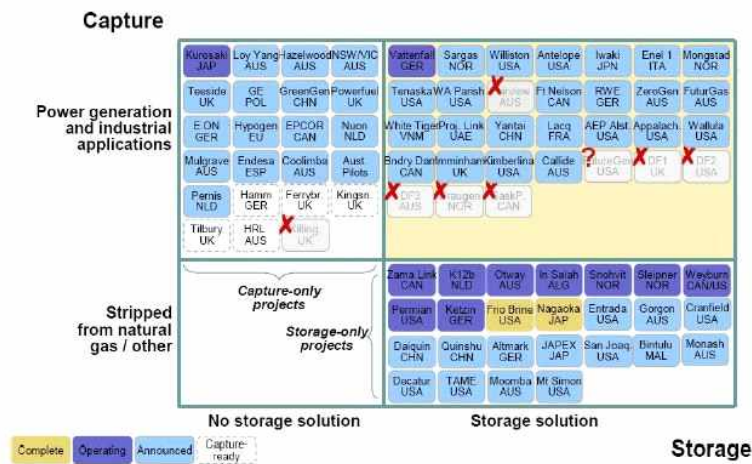


그림 36. 전 세계 CCS프로젝트 유형별 구분

(J. Hartwell, CCS Development Strategy and State of CCS Projects in Australia, International Zero Emissions)

- (7) 실증 데모 프로젝트의 경우 Capture 보다 Storage 프로젝트가 훨씬 많이 진행되었으며 이는 새로운 Capture 기술이 등장하지 않았음에도 기인함
- (8) 향후 추진될 프로젝트가 많이 기획되어 있다고 볼 수 있고, CO₂ 감축효과를 가져올 수 있는 상용데모 프로젝트는 향후 CO₂ 포집-저장 통합 형태로 추진될 것으로 전망됨
- (9) CO₂ 포집-저장 통합 프로젝트의 경우 미국, 호주, 캐나다가 주도하고 있고, 노르웨이, 독일, 이태리, 일본, 프랑스, 독일, 영국, 아랍에미레이트, 베트남 등이 뒤따를 것으로 전망됨

나. 포집 분야 프로젝트

- (1) CCS 포집 프로젝트의 포집 방식을 살펴보면, 연소 후 포집 (post-combustion)과 연

소 전 포집(pre-combustion) 분야를 중심으로 실증 프로젝트들이 진행 또는 기획되고 있음

표 25. 포집 유형별 프로젝트 수

프로젝트 유형	프로젝트수
연소 후 포집	56
연소 전 포집	76
순산소 연소	14
기타	13
계	159

- (2) 연소 후 포집과 연소 전 포집 프로젝트의 규모는 전체 포집 분야 프로젝트 규모 (22,649MW)의 95%를 차지하는 것으로 나타남
- (3) CCS 포집 프로젝트의 지역별 규모를 보면, 유럽이 전체 포집 분야 프로젝트 규모 (22,649MW)의 61%를 차지하여 가장 큰 규모를 나타내고 있음
- (4) 단일 국가로서는 미국이 5,069MW로서 선두를 달리고 있으며, 그 뒤로 캐나다 1,900MW, 호주 1,130MW 규모의 순으로 나타나고 있음
- (5) 기타 호주, 아랍에미리트 및 중국 등이 CCS 포집 분야 프로젝트에 참여

표 26. CCS 포집 분야 프로젝트 규모

(단위:MW)

	유럽	미국	캐나다	호주	UAE	중국	계
연소 후 포집	6,675	2,945	1,000	200	0	0	10,820
연소 전 포집	6,555	2,004	800	700	420	250	10,729
순산소 연소	650	120	100	230	0	0	1,100
계	13,880	5,069	1,900	1,130	420	250	22,649

(<http://sequestration.mit.edu> & International CCS Technology Survey By Gassnova ISSUE 3)

- (6) CCS 포집 분야 프로젝트는 2011년부터 100MW급 이상의 발전소를 대상으로 한 프로젝트들이 다수 기획되고 있으며, 100~1,000MW급 규모의 포집 분야 프로젝트들이 전체 프로젝트의 약 70%를 차지함

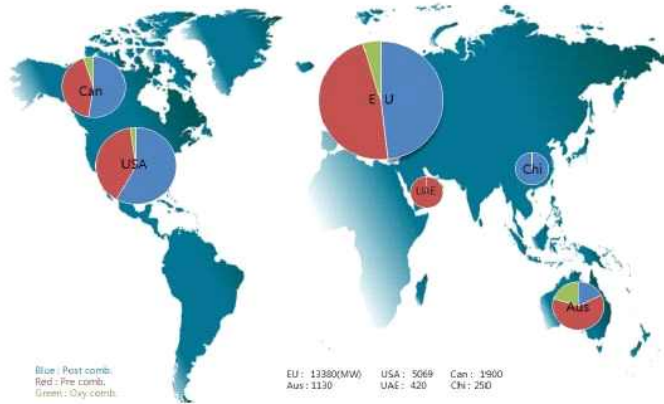


그림 37. CCS 포집 분야 프로젝트의 지역별 유형 및 규모

다. CCS 저장 분야 프로젝트 현황

- (1) 총 213개의 CCS프로젝트 중 129개의 프로젝트가 CO₂ 저장 프로젝트로 추진되고 있음
- (2) CCS 저장 분야 프로젝트의 저장 방식을 살펴보면, CO₂를 이용하여 석유 회수증진 (EOR)을 하거나 CO₂를 염수층 (saline/brine) 또는 고갈된 유가스층 (depleted oil/gas field)에 저장하는 프로젝트들이 진행 또는 기획되고 있음
- (3) 석유회수증진, 염수층 저장, 고갈 유가스층 저장 프로젝트는 각각 전체 프로젝트 규모 (75.2122Mt/year)의 36%, 28%, 33%를 차지
- (4) 지역별로는 EU가 전체 CO₂ 저장 프로젝트 (75.2122Mt/year)의 약 50%를 차지
- (5) 단일 국가로서는 미국이 9.75Mt/year로서 가장 크고, 다음으로 호주 16.85Mt/year, 캐나다 6.767Mt/year 순으로 나타나고 있음
- (6) 기타 말레이시아, 알제리, 중국, 일본 등이 CCS 저장 프로젝트에 참여

2. 기술 개발 검증

가. 이산화탄소 이용 기술

- (1) 네덜란드에서는 배기가스에 포함된 이산화탄소를 이용하려는 선도적인 연구를 하고 있는데 온실재배가 활발한 네덜란드에서는 자가발전이나 보일러 배기가스에 포함되어 있는 이산화탄소를 일찍부터 농업에 이용해 왔음

- (2) 일본의 오사카가스나 농업식품산업기술종합연구기구 화훼연구소 등이 농업 트라이 제너레이션 도입을 추진해 왔고, 대기 중의 이산화탄소 농도는 통상 360ppm이지만 이 연구소의 실험결과에 의하면 이산화탄소 농도를 700~1,000ppm 정도로 올렸을 경우 엽채류에서는 25~30%, 과일에서는 20% 정도, 화훼는 40% 정도의 수확량 증가가 확인되고 있음
- (3) 로테르담 근교의 공업지대에 있는 영란 로열더치셀의 정유소에서는 2005년부터 정유공정에서 나오는 이산화탄소를 거의 100%까지 농도를 높여 헤이그 남부 원예농가의 온실에 공급하고 있음
- (4) 현지 가스회사와 건설회사의 합작회사인 OCAP가 셀에서 이산화탄소(CO₂)를 구입하고 파이프라인을 통해 농가에 이산화탄소를 공급, 판매하고 있으며 온실 내의 이산화탄소 농도는 평균하여 통상의 약 2배(760ppm)에 달하는데 채소는 이산화탄소가 많은 환경에서 약 25% 더 성장한다고 하여 현재는 약 500농가(총 온실면적 약 13km²)에 연간 30만톤이나 되는 이산화탄소를 공급하고 있음

제 7 장 연구시설·장비 현황

* 도입·개발한 연구시설·장비 현황 및 국가과학기술종합정보시스템 장비 등록번호를 기술

제 8 장 연구실 안전관리 이행실적

1. 연구실 안전조치 및 보안 이행실적

가. 실험 데이터 관련

(1) 실험 데이터는 기본적으로 실험 진행시 마다 작성하였음

나. 연구 결과물 관련

(1) 연구 결과물의 경우 연구 진행 상황과 과정을 상세히 기록하되 사진 등으로 기록을 남겼음

다. 사무실 보안

(1) 현재 연구실의 경우 세콤 보안 서비스에 가입되어 외부인의 출입을 통제하고 있고, 출입 기록이 기록관리 되고 있음

라. 기술유출 방지를 위한 사내조직체제 정비

(1) 기술유출 방지지침을 효과적으로 실시하기 위한 사내조직 체제를 정비, 책임소재를 명확히 함

2. 연구실 안전점검 실시

가. 연구실 안전점검 실시(자체, 월 2회 이상)

나. 연구실 시설물, 장비, 시약, 폐기물 및 기타 위험물 등 관리에 대한 교육 강화

다. 연구실 비상 연락망 작성 비치 및 비상시 행동요령 지도

3. 교육

가. 매년 2회 실시, 연구실 책임자에 의하여 실시

4. 추가이행 계획

가. 실험실 시설물, 장비, 시약, 폐기물 및 기타 위험물 등 관리에 대한 교육 강화

나. 연구실 일상점검 실시 및 관리 강화

다. 연구실 비상 연락망 작성 비치 및 비상시 행동요령 지도

제 9 장 참고문헌

- 1) 이산화탄소 포집 및 저장(CCS)에 관한 현황과 과제(2012.02), 국회입법조사처
- 2) 이산화탄소 포집 및 저장망의 경제성 평가(2012.02), 학위논문
- 3) 분리막을 이용한 연소 전 이산화탄소 포집공정 모델링(2012.02), 학위논문
- 4) 분리막을 이용한 이산화탄소 분리기술의 경쟁 환경 분석(2013), 한국과학기술정보연구원 정보분석연구소
- 5) 펠라디움 분리막을 이용한 수소의 분리 및 연소전 이산화탄소 포집(2011.06), 화학공학기술정보지
- 6) 분리막을 이용한 혐기성 소화가스로부터 온실가스 회수 저감 기술(2011.10), 한국환경과학회지
- 7) 연소 후 이산화탄소 분리(CCS)를 위한 분리막 연구동향(2011.06), 한국공업학학회
- 8) 기체분리용 고분자 분리막의 최신동향(2008.08), 한국고분자학회
- 9) 농업부문 온실가스 감축전략의 경제 및 환경적 효과 분석(2014.02), 학위논문
- 10) 국내 신재생에너지 온실가스 저감 사업의 이산화탄소 감축 효과 및 경제성 분석(2014.02), 학위논문
- 11) 해외사례 분석을 통한 농업부문 배출권거래제 대응전략 수립연구(2014), 농림축산식품부
- 12) 국제 탄소시장 현황 및 이상기후현상에 따른 향후 활용전략(2012), 일반도서(여상규)
- 13) 농업의 탄소시장 접근방안 및 정책적 지원체계(2012.04), 경기개발연구원
- 14) 세계 탄소시장 수급전망 및 시사점(2012), 에너지경제연구원
- 15) CO₂ 농도와 온도증가가 목본성 수종 3종과 멸종위기 2종의 생육반응에 미치는 영향(2013.06), 한국하천호수학회

- 16) 실내 환경 개선을 위한 광도, 이산화탄소 농도 및 배지 종류에 따른 실내 관엽식물들의 광합성 반응(2010.12), 한국생물환경조절학회
- 17) 온실가스 감축에 뛰어난 효과 이산화탄소 포집·저장(CCS) (2014.03), 환경일보
- 18) 농업분야 온실가스 감축 인증에 따른 효율적인 탄소거래 방안 연구(2013), 한국농어촌공사 농어촌연구원
- 19) 국가 온실가스 감축목표(CERT) 달성을 위한 최적 탄소저감 시나리오 2020(2013.02), 학위논문
- 20) 이산화탄소의 포집·저장·활용 기술 - 온실가스 배출 저감과 함께 이산화탄소를 고부가가치 자원으로 활용(2012), 한국과학기술정보연구원
- 21) 탄소포집저장 기술의 경제성과 전망(2011), 한국과학기술정보연구원
- 22) 멤브레인 기반 에너지기술 개발(2014.12), 한국에너지기술연구원
- 23) 이산화탄소 포집 및 저장 실용화를 위한 국내 정책 연구(2012), 해양환경안정학회지
- 24) 이산화탄소 포집, 수송 및 저장(CCS)의 전과정평가(LCA) 및 전과정비용평가(LCC)에 대한 연구(2012), 학위논문
- 25) 이산화탄소 포집 및 저장 실용화를 위한 대한민국에서의 이산화탄소 수송(2010), 한국해양환경공학회지
- 26) 이산화탄소 전환 기술의 현황 (2012.09), 한국청정기술학회
- 27) 해외 연소 전 이산화탄소 포집기술 개발현황(2012.05), 전력연구원 전력기술동향
- 28) 이산화탄소 재활용 국내외 기술개발동향(2010.02), 전력연구원 전력기술동향
- 29) 글로벌 탄소시장 현황 및 주요국의 대응 사례(2008), KOTRA
- 30) 국제 탄소시장의 현황과 향후 전망에 관한 연구(2012.09), 한국법제연구원
- 31) 파프리카 재배관리(2009), 씨브스투라투스 코리아
- 32) 세계 기후변화 실태와 농업부문 과제(2012.10), 한국농촌경제연구원

- 33) 교토의정서의 해결책, CO₂ 포집기술(2009.03), Chief executive
- 34) 농업·식품분야 온실가스 감축잠재량 분석과 감축목표 달성전략(2014), 농림축산식품부
- 35) 이산화탄소 포집 및 저장 설비가 적용된 재생에너지기술의 구조적, 경제적, 생태학적 비교(2011.02), 국가환경기술정보센터
- 36) 신문기사 ‘산업용 탄산(CO₂) 시장을 진단한다.’ (2011.07), 신소재경제신문
- 37) 온실가스 대응 및 저탄소 녹색성장을 위한 중점 녹색기술로서의 이산화탄소 포집저장 (CCS) 기술 현황과 정책동향, 2010, 이상현, 한국과학기술기획평가원
- 38) 이산화탄소 (CO₂) 포집 및 장치 기술, 2014, 이홍원, 한국과학기술정보연구원
- 39) CCS 관련 해외 환경관리 제도 및 연구 동향 분석, 2010, 신경희, 2010 한국환경정책·평가연구원
- 40) 이산화탄소 수송을 위한 압축 및 액화 공정 설계 및 비용 평가, 2012, 양시엽, 이용, 임영섭, 정영수, 김정남, 이치섭, 한종훈, Korean Chem. Eng. Res., 50(6), 988-993
- 41) CCU 기술 활용에 따른 온실가스 배출량 산정 기초연구 (최종보고서), 2013, 온실가스종합정보센터
- 42) 국가 CCS 종합 추진계획(안), 2010, 교육과학기술부 외
- 43) 해수면 변동 정밀분석 및 예측 (5차), 2013, 국립해양조사원
- 44) 2012 더워지는 지구 그 원인과 대책, 2012, (재)한국이산화탄소포집및처리연구개발센터
- 45) 지속가능 발전을 위한 CCS기술, 2010, KISTEP Green tech research, 7-40
- 46) 파프리카 재배 이산화탄소 시비효과와 방법, 2011, 국립원예특작과학원
- 47) 이연환, ‘이산화탄소’ 품귀... 시설농 ‘발동동’, 농민신문, 2008
- 48) CO₂ 저감수단으로서 CCS에 대한 평가와 그 시사점에 관한 연구: 퍼지다기준 의사결정기법을 활용하여, 2011, 임지은, 석사학위논문
- 49) 농림수산식품부, 온실가스감축목표안, 2011

- 50) 온실가스 감축을 위한 이산화탄소 지중 저장 기술의 현황 및 전망, 2011, 김준모, Global Green Growth Policy, 제 56호
- 51) 국내외 CCS 산업동향 및 실태 분석을 통한 CCS 기반 연구, 2011, 한종훈
- 52) 그린에너지 전략로드맵, 2011, 지식경제부
- 53) 날아가는 이산화탄소를 잡으니, 돈이 보인다? 그린비즈니스 경쟁 ‘후끈’, 2011, 임리영, SBS CNBC KOREA REPORT
- 54) ‘골칫덩이’ 이산화탄소, 잘 모으면 ‘돈’ 된다, 2014, 노성열, 문화일보
- 55) ‘CO₂ 감축기술 세계최고 수준... 경제성은 부족’, 2015, 정세진, 동아닷컴
- 56) 중공사형 기체분리막 모듈을 이용한 바이오가스의 분리 및 정제, 2011, 고희철 외 6명, 멤브레인 제21권 제2호, 177-192
- 57) 이산화탄소 회수용 혁신적 유무기 분리막 기술 개발, 2012, 이영무, 한양대학교
- 58) CTA를 이용한 중공사형 기체분리막의 제조 및 특성, 2011, 고희철 외 2명, 멤브레인 제 21권 제1호, 98-105
- 59) 반도체 인스펙션용 기체분리막 모듈의 개발, 2012, 하성용, 에어레인
- 60) 전도성 이산화탄소 분리막과 그 제조 방법 및 이산화탄소 분리 방법(특허), 2006, 이시우 외 2명
- 61) 실리콘 분리막을 이용한 이산화탄소 분리장치 및 그 제조방법(특허), 2014, 김관식, 신기영
- 62) CCS 관련 해외 환경관리 제도 및 연구 동향 분석, 2010, 신경희, 한국환경정책·평가연구원
- 63) 국내·외 CCS 추진 현황 및 전망, 2012, 한종훈, 임영섭, 그린에너지 기술저널, KCCSA
- 64) 이산화탄소 포집 및 저장기술, 2008, 이산화탄소저감및처리기술개발사업단, 청문각
- 65) 그린에너지 전략로드맵 2011:CCS, 2011, 한국에너지기술평가원
- 66) CO₂ 지중저장 연구현황 및 미래 연구방향, 2010, 김정찬 외, 한국화학공학회 탄소 포집 및 저장 심포지움

- 67) 버섯 재배사의 이산화탄소 자동제어시스템 및 방법 (특허), 2009, 김인전
- 68) 시설재배용 이산화탄소 분리, 저장 및 공급 장치 (특허), 2011, 김진경
- 69) 배기가스 중 이산화탄소 포집시스템 (특허), 2009, 이종규,하문근,이종철
- 70) 2013 시설채소 온실현황 및 채소류 생산실적, 2014, 농림축산식품부
- 71) 기술가치평가 실무가이드, 2014, 지식경제부

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 기술사업화지원사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.