

11-15430
00-00266
2-01

공개(), 비공개()발간등록번호(11-1543000-002662-01)
기술사업화지원사업 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-002662-01

과제명 분리막 기술을 이용한 축산시설 CO₂ 포집 및
시설 하우스 공급 장치 개발과 사업화
최종보고서

2018.12.06.

주관연구기관 / 기바인터내셔널(주)

농림축산식품부

(전문기관) 농림식품기술기획평가원

과제명
분리막 기술을 이용한 축산시설 CO₂ 포집 및
시설하우스 공급장치 개발과 사업화 최종보고서

2019

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

<제출문>

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “분리막 기술을 이용한 축산시설 CO₂ 포집 및 시설 하우스 공급 장치 개발과 사업화”(개발기간 : 2015. 10. 23 ~ 2018. 10. 22)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018. 12. 06.

주관연구기관명 : (주)기바인터내셔널 (대표자) 나 규 동
협동연구기관명 : (대표자)
참여기관명 : (대표자)



주관연구책임자 : 나 규 동
협동연구책임자 :
참여기관책임자 :

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

| | | | | | |
|------------------|----------|---|--|---------------|---|
| 과제고유번호 | 815008-3 | 해 당 단 계 연 구 기 간 | 2015. 10. 23 ~ 2018. 10. 22 (3년) | 단 계 구 분 | 1 (해당단계)/ 1 (총 단 계) |
| 연구사업명 | 단 위 사 업 | 농식품기술개발사업 | | | |
| | 사 업 명 | 기술사업화지원사업 | | | |
| 연구과제명 | 대 과 제 명 | (해당 없음) | | | |
| | 세부 과제명 | 분리막 기술을 이용한 축산시설 CO ₂ 포집 및 시설 하우스 공급 장치 개발과 사업화 | | | |
| 연구책임자 | 나 규 동 | 해당단계 참여연구원 수 | 총: 6명 내부: 6명 외부: 0명 | 해당단계 연구개발비 | 정부:280,000천원 민간: 93,340천원 계: 373,340천원 |
| | | 총 연구기간 참여연구원 수 | 총: 18명 내부: 18명 외부: 0명 | 총 연구개발비 | 정부:840,000천원 민간:280,020천원 계:1,120,020천원 |
| 연구기관명 및 소속부서명 | | | | 참여기업명 | |
| 국제공동연구 | 상대국명: | | | 상대국 연구기관명: | |
| 위탁연구 | 연구기관명: | | | 연구책임자: | |

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

| | |
|-------------------------|--|
| 연구개발성과의 보안등급 및 사유 | |
|-------------------------|--|

9대 성과 등록·기탁번호

| 구분 | 논문 | 특허 | 보고서 원문 | 연구시설 ·장비 | 기술요약 정보 | 소프트 웨어 | 화합물 | 생명자원 | | 신품중 | |
|-------------|----|----|-----------|-------------|------------|-----------|-----|----------|----------|-----|----|
| | | | | | | | | 생명 정보 | 생물 자원 | 정보 | 실물 |
| 등록·기탁 번호 | | | | | | | | | | | |

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

| 구입기관 | 연구시설· 장비명 | 규격 (모델명) | 수량 | 구입연월일 | 구입가격 (천원) | 구입처 (전화) | 비고 (설치장소) | NTIS 등록번호 |
|------|--------------|-------------|----|-------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

보고서 면수

- 분리막 기술을 이용한 축산시설 CO₂ 포집 시스템 개발
 - CO₂ 포집장치에 이용할 분리막 선정 완료
 - CO₂ 포집 장치 Proto type을 토대로 수정 및 보완한 상용형 설계 및 제작
 - CO₂ 공급 시스템 Proto type을 토대로 수정 및 보완한 상용형 설계 및 제작
 - CO₂ 압축 및 이송 장치의 상용형 설계 및 제작
- CO₂의 판매 시스템 구축
 - CO₂ 농도 분석
 - 공급 물류 및 배송 시스템 구축 설계
- 온실하우스 적용 실증 시험
 - 상용규모의 온실에 시스템을 적용하여 적합한 작물 재배 및 생육조사
 - 온실 적용 표준화 추진
 - 시제작 시스템의 CO₂ 포집 및 공급, 시스템 효율의 검증
 - 검증자료를 토대로 시스템 보완 설계안 도출, 각 부분별 기계 장비의 용량 및 내구도 등 분석
- 경제성 분석
 - 다양한 재배환경에서 작물생육 및 경제성 분석

<요약문>

| | | | | | |
|------------------------------------|--|------------------------------|-----------------|---------------------------------|--|
| <p>연구의 목적 및 내용</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 분리막 기술을 이용한 축산시설 CO₂ 포집 및 시설 하우스 공급 장치 개발 <ul style="list-style-type: none"> - CO₂ 공급 장치의 CO₂ 포집, 공급 및 효율 검증 - CO₂ 판매시스템 구축 - 온실하우스 적용 및 실증 시험 - 경제성 분석을 통한 상용 모델 개발 ○ 분리막 기술을 이용한 축산시설 CO₂ 포집 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - CO 포집장치에 이용할 분리막 선정 완료 - CO₂ 포집 장치 Proto type을 토대로 수정보완한 상용형 설계 및 제작 - CO₂ 공급 시스템 Proto type을 토대로 수정보완한 상용형 설계 및 제작 - CO₂ 압축 및 이송 장치의 상용형 설계 및 제작 ○ CO₂의 판매 시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> - CO₂ 농도 분석 - 공급 물류 및 배송 시스템 구축 설계 ○ 온실하우스 적용 실증 시험 <ul style="list-style-type: none"> - 상용규모의 온실에 시스템을 적용하여 적합한 작물 재배 및 생육조사 - 온실 적용 표준화 추진 - 시제작 시스템의 CO₂ 포집 및 공급, 시스템 효율의 검증 - 검증자료를 토대로 시스템 보완 설계안 도출, 각 부분별 기계 장비의 용량 및 내구도 등 분석 ○ 경제성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 재배환경에서 작물생육 및 경제성 분석 | | | | |
| <p>연구개발성과</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 시설농가 CO₂ 시비를 통한 생산성 향상 - CO₂ 포집을 통한 탄소배출권 거래 시장 형성 - 농기계 등록추진 및 농기계 가격집 등재 및 지적 재산권 확보 - 효율적인 이산화탄소 공급체계 구축을 통한 실용화 | | | | |
| <p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p> | <ul style="list-style-type: none"> - CO₂ 발생기 시장과 CO₂ 포집기 시장으로 구분하여 사업 추진 - 농촌 자발적 온실 가스 감축 사업 추진 - 저탄소 농축산물 인증제 시범사업 추진 - CO₂ 판매 체계 구축 | | | | |
| <p>국문핵심어 (5개 이내)</p> | <p>이산화탄소 포집</p> | <p>이산화탄소 공급</p> | <p>분리막</p> | <p>이산화탄소 저감</p> | <p>축산시설</p> |
| <p>영문핵심어 (5개 이내)</p> | <p>CO₂ capture</p> | <p>CO₂ supply</p> | <p>Membrane</p> | <p>CO₂ reduction</p> | <p>Livestock production facility</p> |

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

<본문목차>

< 목 차 >

| | |
|-------------------------------|-----|
| 1. 연구개발과제의 개요 | 6 |
| 1-1. 연구개발 목적 | 6 |
| 1-2. 연구개발의 필요성 | 22 |
| 1-3. 연구개발 범위 | 40 |
| 2. 연구수행 내용 및 결과 | 43 |
| 2-1. 1차년도 수행 내용 | 43 |
| 2-2. 2차년도 수행 내용 | 75 |
| 2-3. 3차년도 수행 내용 | 100 |
| 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 | 120 |
| 3-1. 목표 | 120 |
| 3-2. 목표 달성 여부 | 121 |
| 3-3. 목표 미달성 시 원인 및 차후대책 | 133 |
| 4. 연구결과의 활용 계획 등 | 134 |
| 붙임. 참고 문헌 | 139 |
| 부록 | 141 |

<별첨> 주관연구기관의 자체평가의견서

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발 목적

< 과제명 >

: 분리막 기술을 이용한 축산시설 CO₂ 포집 및 시설 하우스 공급 장치 개발과 사업화

■ 연구 개발 목표

- 분리막 기술을 이용한 축산시설 CO₂ 포집 시스템 개발
- 포집된 CO₂의 시설 하우스 공급 시스템 개발
- CO₂의 판매 시스템 구축
- 온실하우스 적용 실증 시험
- CO₂ 판매 시스템 구축

■ 연구 개발 내용

- 분리막 기술을 이용한 축산시설 CO₂ 포집 시스템 개발
 - CO 포집장치에 이용할 분리막 선정을 위한 자료 분석
 - 분리막 기술을 이용하여 부담면적을 고려한 적정 용량을 선정한 CO₂ 포집장치 Prototype 설계 및 제작
 - 상기 기술을 이용한 대기 중 CO₂ 압축 및 이송 시스템 개발
 - 각 부분별 기계 장비의 용량 및 내구도 등을 결정
- 포집된 CO₂의 시설 하우스 공급 시스템 개발
 - 작물별 적정 공급량 선정
 - 작물생육 환경에 적합한 공급 장치 개발
 - 작물별 적정 공급 및 분배 시스템 개발
- 온실하우스 적용 실증 시험
 - 상용규모의 온실에 시스템을 적용하여 적합한 작물 재배 및 생육조사
 - 온실 적용 표준화 추진
 - 시제작 시스템의 CO₂ 포집 및 공급, 시스템 효율의 검증
 - 검증자료를 토대로 시스템 보완 제작
- CO₂ 판매 시스템 구축
 - 지역별, 축산시설별 CO₂ 공급 가능량 산정 및 수요 농업시설 수요량 예측
 - 공급 물류 및 배송 시스템 구축

가. 분리막 기술을 이용한 축산시설 CO₂ 포집 시스템 개발

- 이산화탄소를 포집할 때에는 연료나, 연소시의 배출가스로부터 분리하여 CO₂를 고농도로 농축해야 함
- 본 연구에서는 분리막을 이용하여 대기 또는 각종 농업시설물에서 발생하는 CO₂의 포집 및 저장을 통하여 필요한 시점에 작물을 재배하는 시설 하우스에 공급하는 시스템을 개발하고자 함

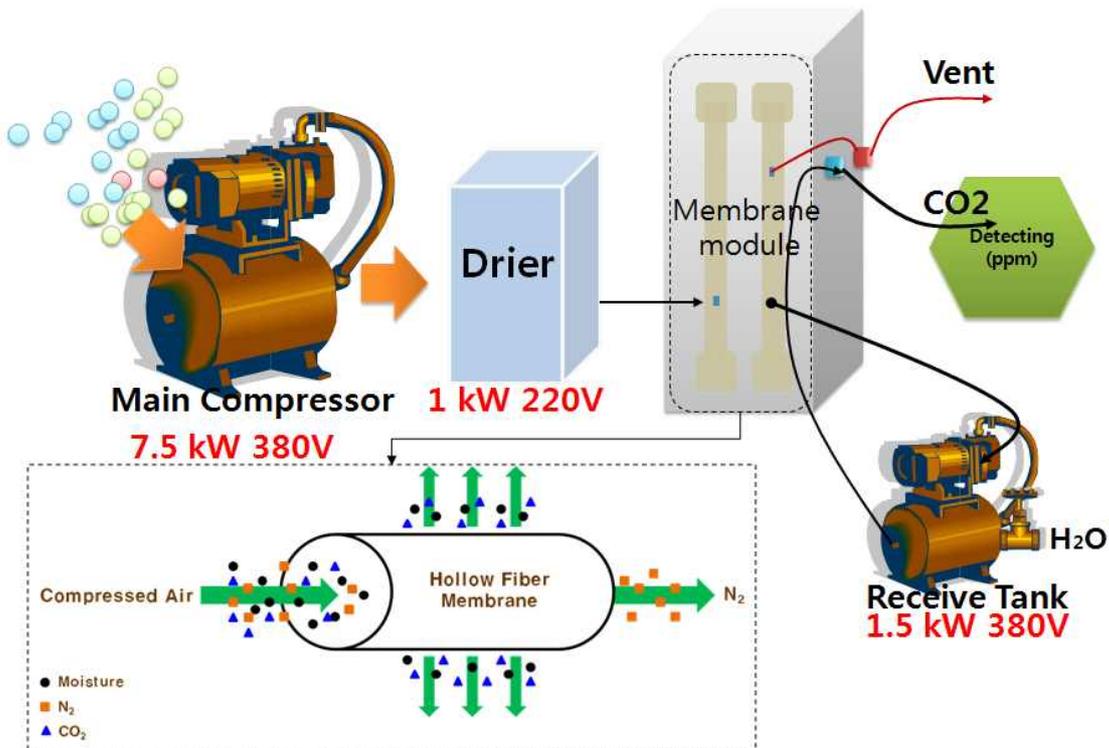


그림 1. 분리막 시스템 흐름도

- 이산화탄소 분리기술은 축산시설 내부에 존재하는 혼합기체를 압축하는 메인 컴프레서와 압축된 혼합기체 중에서 수분 분리 및 기체를 냉각하는 드라이어, 이를 통하여 수분이 제거된 기체 중 특정 기체를 분리하는 멤브레인 필터, 이 멤브레인 필터를 통하여 이산화탄소를 분리할 때에 일정한 압력으로 조절하는 유량계, 그리고 유량계를 통하여 일정한 압력이 조절된 이산화탄소를 저장하여 적시적소에 투입하기 위해 압축저장이 가능한 리시브 탱크를 포함하는 시스템을 가동하여 리시브탱크에 연결된 배출라인을 통하여 온실 내에 주입하는 것을 특징으로 함
- 축산시설은 고유한 구조(무창돈사 등) 및 환경(악취, 분진 등)으로부터 CO₂를 포집하기 위한 포집구조
- 분진 등을 해결하기 위하여 헤파필터 적용 등을 고려하고 있으며, 악취부분은 주로 이산화황 등 황산화물에서 발생되며, 해소를 위해서 탄소필터 등의 활용을 계획 중임
- 탄소필터가 고가이어서 상용화에 애로사항이 생길 수 있으며, 향후 실용화제품에 적용할

수 있는 대체제를 연구중임

- 이와 더불어 온실 내부에 순환되는 내부 공기의 부유 미생물 및 병원성 균의 제거를 위한 생물학적 필터와 살균시스템 모니터링 장치를 설치하고 필요에 따라 이산화탄소 모니터링 장치, 압력계, 유량계, 압축기, 온도 조절 시스템, 필터, 드라이어 중 하나 또는 둘 이상을 더 설치할 수 있는 시스템임
- 이 시스템은 대기 중이나 농가, 난방용 온실에서 버려지는 배출 가스 내에서 CO₂를 분리시켜 포집, 저장하여 적절한 시기에 수경재배용 식물공장 및 온실 내 주입함으로써 작물 생육에 필요한 이상적인 CO₂ 농도를 만들어 생산성을 향상시키며, 대기로 버려지는 유해 가스를 저감시킴으로써 환경오염을 줄이는 효과가 있을 것으로 사료됨



그림 2. 분리막 기술 시스템

- 분리막을 이용한 공기 중 성분의 분리기술은 기본적으로 공기 중 각각의 입자의 크기를 분리하는 기술로 기본적으로 Membrane을 통해 여과되는 O₂, CO₂ 등 작은 크기의 입자와 질소산화물, 메탄, 암모니아 등의 고분자 물질들은 쉽게 구분될 수가 있어 각각의 가스를 고유의 저장용기에 모을 경우 O₂나 CO₂는 시설원에 농장에 낮 시간에는 광합성을 위한 시비용으로 CO₂를 활용하여 사용하고, 밤 시간에는 작물들의 생합성을 위한 O₂ 투여를 통해 작물생장에 활용할 수 있음
- 동일한 기술을 활용하여 돈사 육계사 등 밀폐형 사육공간에 활용할 경우 사육공간내의 공기질 향상과 공기순환 중 분리되는 O₂, CO₂ 등은 사육 공간 내 재투입하고 걸러지는 고분자물인 메탄 등은 별도로 저장하여 에너지자원화 함으로써 환경보전과 가축사육비용 절감 등의 효과를 가져 올 수 있음
- 중공사막은 단위부피당 면적이 다른 형태의 막에 비해 크며 상용화된 중공사막은 대개 0.5 μm 보다 얇은 두께를 가지는데, 이는 1 barrer의 막 투과도로부터 $6.7 \times 10^{-10} \text{mol} / \text{m}^2 \times \text{s}$

× Pa의 기체 흐름을 가능하게 함

- 분리막을 사용한 CO₂ 분리공정에서 유입된 기체는 막의 한쪽 방향으로 들어와 막의 다른 방향으로 투과되며, 기체의 높은 확산계수로 인하여 정상 방향에서 막의 표면까지의 기상 농도 구배는 매우 작으므로, 막 저항과 비교되는 기체의 막 저항은 무시될 수 있어 이것은 막 내부에서 기체의 막 저항은 일정하다는 것을 의미함

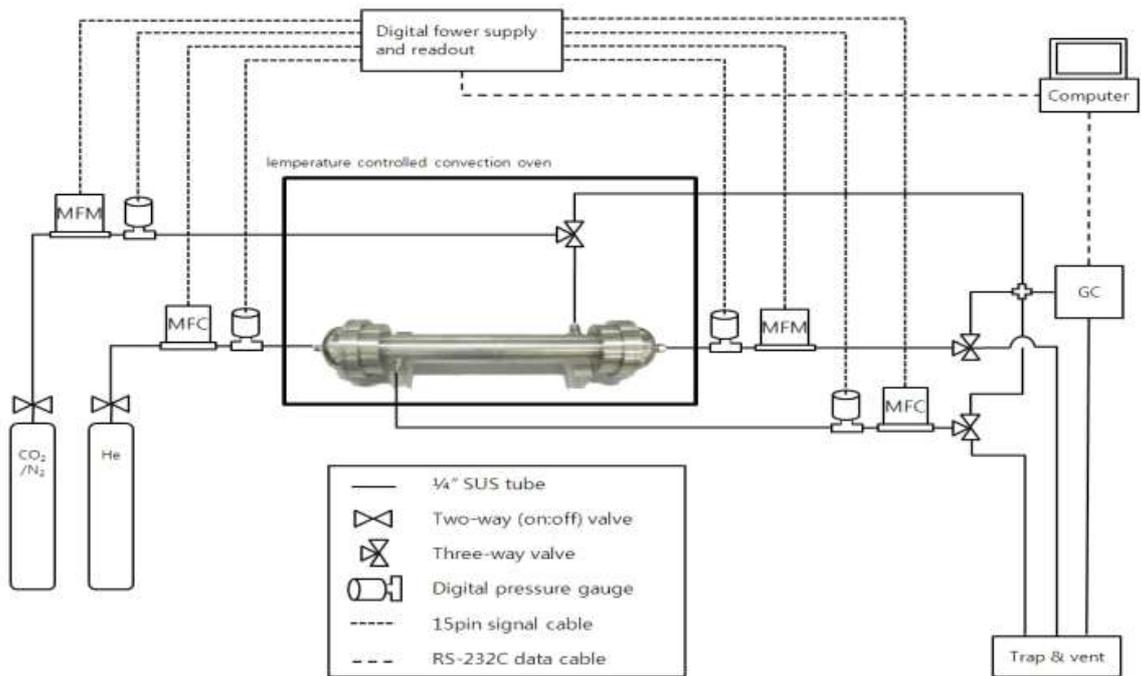


그림 3. 기체분리막 투과 개략도

- 고분자 막은 40~60°C에 적당하므로 고온용 소재와 제조방법이 필요하며 막의 선택도 역시 목표 순도에 비해 너무 낮기 때문에 기존의 O₂/N₂/CO₂/CH₄보다 높은 CO₂/N₂ 선택도 소재를 개발해야 하며, 연소 후 CC분리 막 공정은 대용량 배기량에는 경쟁력이 없으므로 모듈화해야 함
- 100만m³/hr 이상의 모듈로 천연가스 처리에 적용하고 있으며 극저온 순 산소연소에 분리막 적용은 경쟁력이 있음
- 물리적 기체분리막은 화학반응이 전혀 없이 이미 산업에 적용하고 있으며, 고분자는 상반되는 선택도와 투과도를 적당히 조절하는 방법이 체계적으로 이루어지고 치밀 고분자의 막 분리원인은 용해-확산모델로, 가스의 확산계수 비와 용해도 비는 운동력과 열역학으로 밝혔음
- CO₂/N₂의 최대 선택도 70~80은 경험치와 이론적 전산치가 동일하였으며 이는 대기압에서 기·액 흡수공정의 CO₂/N₂와 같은 정도였고 단일 막에 의한 75의 선택도에서 0.8의 포집

비, 0.9의 순도는 불가능하지만 가스분리 막 공정에서는 2단으로 가능하나 막의 표면적 한계 때문에 막의 투과도를 증가시켜야 하며, 50의 선택도, 1000GPU의 투과도에서 막의 CO₂/N₂ 포집비용은 \$23/t-CO₂로 추정되었음

- 물리적 분리막의 고유 선택도의 한계를 화학반응으로 기·액 흡수공정의 화학적 용매방법의 수준으로 향상시키고 있는데, 즉 CO₂와 화학반응을 일으키는 고정담체막은 아민 등 작용기(functional group)를 합성하기 때문에 아민과 비슷하고 CO₂와 일부 아미노반응으로 카바메이트나 탄산염을 형성하며 CO₂/N₂에서 200 이상의 선택도를 달성하고 있음
- 분리막은 배기의 CO₂농도가 높을수록 분리효율이 증가하며, 최소 20%(vol) 이상이 적합하고 75%의 CO₂/N₂ 선택도로 최대 90%의 순도를 얻을 수 있는 민감도조사에서 15%의 CO₂ 농도에서 포집효율은 50% (압축비 0.01), 30%의 CO₂에서는 80%(압축비 0.07)이었음
- CC용 막 분리공정의 에너지효율에 대한 찬반주장과 투과 측의 압축, 진공상태유지의 장단점 그리고 막 성능의 수분영향 등 상세한 연구가 필요하며, 수분은 고분자를 쉽게 투과하므로 매우 큰 H₂O/CO₂ 선택도 (수 1000 정도)를 얻을 수 있으므로 CO₂/H₂O 혼합물이 발생하는 순 산소연소에는 유익할 것임
- 수분의 영향, 특히 CO₂ 투과도와 CO₂/N₂ 선택도 변화와 CO₂/N₂/H₂O 혼합배기에 관한 연구 결과도 상이함
- CO₂를 반응 흡수하는 아민 등 알카리 용액을 써서 CO₂를 분리·회수하는 화학흡수방법을 쓰거나, CO₂만 흡수시켜 분리해 CO₂를 회수하는 방법인 고체화수법이거나 물리적 흡수방법, 물리적 흡착방법, 막분리법, 가스를 압축 액화하는 급랭 분리법, 산소 연소법과 지중이나 심해 해저에 침착 봉입하는 저류방법이 요구됨

현재 분리막 기술을 이용한 공기 중 CO₂ 포집 기술은 개발되어 있으나 축산시설 내의 포집 기술은 현재 개발 중에 있는 상황이므로 이에 대한 연구를 진행하여 상용화 모델을 개발하고 현장 적용 시험 및 사업화하는 것이 필요함

나. CO₂ 압축 및 이송 시스템 개발

(1) 종래의 이산화탄소 압축 방법

- CO₂를 압축하여 저장장소로 수송하는 데 관련된 기술로써, 현재 파이프라인 (수송관)은 시장 보급기, 수송선은 시장 진입기로 보여짐
- 기존 석유/가스 수송관을 이용하고, LPG 수송선을 활용하고 있으며, 관련기업으로는 DaGC(미)와 Kinder Morgan(미), Anthony Veder(네)가 있음
- 이산화탄소의 압축과 액화 기술은 포집 기술에 비하여 적은 수의 선행연구가 진행되었으며, 이 압축 과정은 대체로 발전소의 효율을 3~4% 정도 낮추는 것으로 알려져 있음
- Aspelund et al.은 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 방법을 발표하였으며 이 때 약 100 kWh/ton의 에너지가 든다고 발표했으나 북해의 낮은 수온(10°C)을 이용하여 충분히 액화시킬 수 있었기 때문에 현실적으로 바로 적용하기 어려움
- LNG의 액화 수송은 이산화탄소와 액화 기술에 비하여 오래 연구되어 발전한 기술이며, 질소와 C3 등의 혼합 냉매를 이용한 LNG 액화기술은 1970년대부터 나왔음
- 비교적 최근에는 흡수식 냉각기를 이용한 LNG 액화공정 효율 향상의 논문도 찾을 수 있으나 압력과 온도 범위에서 차이가 있기 때문에 그 적용 가능성에 대해서 연구가 더 필요함
- 파이프라인을 통한 수송 시 이산화탄소는 보통 1,100 kg/m³의 밀도상의 74 bar 보다 더 높은 압력으로 압축되어 초임계 상태를 이룸
- 초임계 상태가 액체 상태에 비해서 가지는 이점은 높은 안정성과 펌프 안에서 발생하는 공동화현상(cavitation)을 피할 수 있다는 것이며, 가스 상태 수송은 작은 밀도로 의한 처리량 감소로 효율적이지 못함
- 이산화탄소의 고체상태 수송은 드라이아이스 생산으로 가능하지만 많은 에너지가 요구되기 때문에 현실적인 수송방법이라 할 수 없으며 VGB에 의하면 드라이아이스 생산과 2백 마일 수송 시 약 375 kWh/t CO₂, 1백 킬로미터 파이프라인을 통한 액체 수송 시 93 kWh/t CO₂, 가스 상태의 수송에는 26 kWh/t CO₂ 등으로 직접적인 에너지가 요구됨

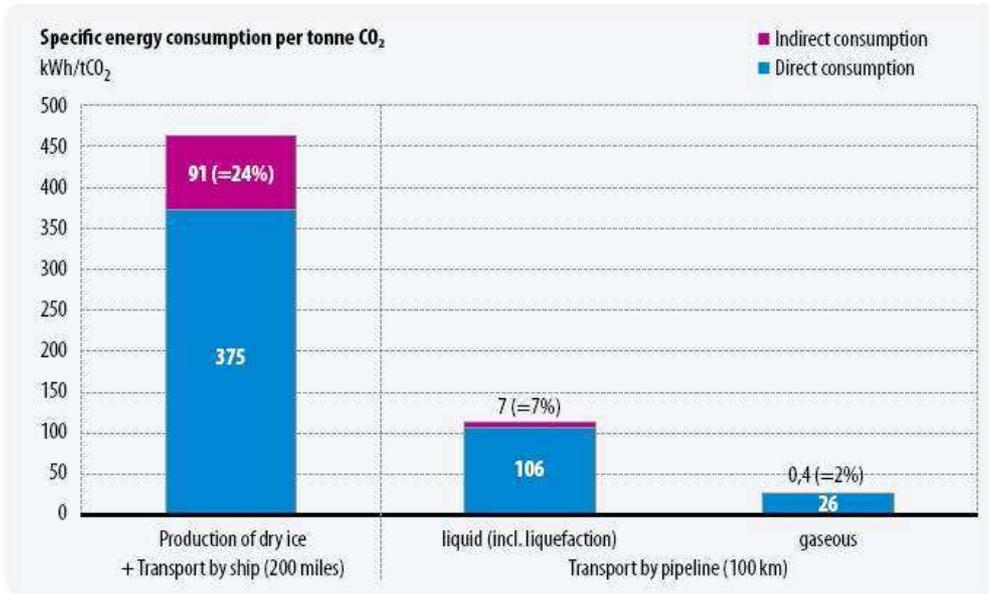


그림 4. 드라이아이스 (고체 CO₂) 생산과 수송의 직·간접적 에너지 소비 그리고 CO₂ 액체 및 가스 상태의 파이프라인 수송

- 액체 상태는 7% 그리고 가스 상태는 2%로 아주 적은 간접적 에너지 소비를 가지나, 가스 수송에 요구되는 낮은 에너지는 상대적이데, 후에 이산화탄소는 저장소에 압축되어 저장되어야하기 때문임

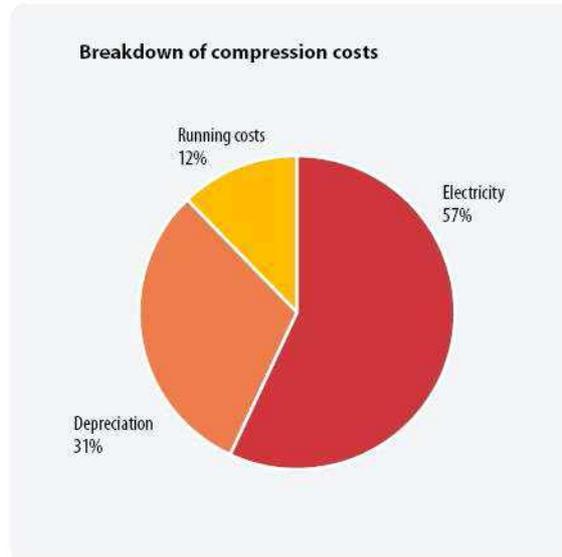


그림 5. 압축비용 분석

- ECOFYS에 의하면 포집된 이산화탄소가 초당 100 kg 이상으로 압축될 경우 이산화탄소 압축 가격은 톤당 6 유로와 10 유로 사이로 예측하였으며, 이는 압축에 소비되는 전력으로 인해 보통 가스발전소의 경우 2~2.7%, 석탄발전소의 경우 3~4%의 효율성 감소를 가져옴
- 보통 많은 양의 가스 (특히 이산화탄소)를 다루기 위해 사용되는 대표적 수송 수단은 파이프라인을 이용한 방법이고, 파이프라인을 사용하지 않는 방법 중에 대표적인 방법은 선박

을 이용하는 법이며 그 외의 방법들로는 탱크롤리, 압축 실린더, 드라이아이스 등이 있지만 이들은 소량 수송 시 이용되고 있음

(2) 이송 시스템 _ 파이프라인을 이용한 수송

- 육지에서는 파이프라인이 대량수송을 위한 가장 적절한 방법으로 여겨지며 내륙 수로, 철도 및 도로수송은 오직 이산화탄소 파이프라인의 기간시설이 설치되고 있는 과도적인 기간 동안 사용되는 선택적 방법으로 생각할 수 있음
- 해양 파이프라인은 저비용에 많은 양을 수송할 수 있는 장점이 있으나 첫 번째로 하부구조 설치를 위해 많은 시간과 비용이 요구되며 선박을 이용한 수송은 유연하고 빠른 방법일 수 있으나 이는 임시적인 저장소와 선적과 하역에 관한 설비가 추가로 필요함
- 가스 파이프라인 건설은 보통 내륙의 파이프라인은 최소 1미터 깊이로 그리고 해양의 경우는 2,200 m 이하의 깊이로 건설되고 원거리의 육상 파이프라인을 이용한 수송과 산이 많은 지대는 추가적인 승압기지가 요구될 수 있으며 만약 초기 압력이 충분하거나 큰 파이프 지름으로 인하여 수송 속력이 느리다면 결과적으로 발생하는 작은 압력 손실은 중간에 비싼 승압 기지의 구축 설치가 필요치 않게 할 수 있을 것임

(3) 이산화탄소 압축 및 이송 시스템 개발

- 멤브레인을 통하여 포집될 CO₂의 경우 Membranig 을 위한 Compressor의 용량에 의해 종량적으로 결정되나, 본 개발에 활용될 CO₂ 분리용 Membrane Filter의 경우 300 L/min-module 의 용량으로 통상 하루 운전 기준으로 864 m³/day-system(2modules)의 1,000 ppm의 CO₂가 생산됨을 알 수 있으며, 이는 1,000 ppm의 CO₂를 1 ha규모의 농장에 시비할 수 있는 정도의 량으로 가늠할 수 있음
- 따라서, 일반적인 형태로 온실에서 CO₂를 포집·생산할 경우 단위 장비당 1 ha의 농장이상을 부담할 수 없는 문제가 발생할 수 있어, 장비를 좀 더 대형화 하든지 CO₂ 다발생 지역-육계사, 돈사 등-에 장비를 설치하고 CO₂를 포집 후 CO₂ 요구 지역인 온실 등으로 이송/이동하여 사용할 경우 해당 장비의 부담면적을 4~6배 가량 높일 수 있는 장점이 있는 것으로 판단되어, CO₂ 분리용 Membrane Filter를 축산농가에 설치하고, 분리된 CO₂는 농가에 활용할 수 있도록 시스템을 구성할 경우 단위면적당 시스템의 경제성은 더욱 커질 것으로 예상됨
- 농가이송을 위한 방법으로 가압형 pipe-line과 압축용기의 개발을 통한 이송방법을 제시하고자 함
- 특히 압축용기의 경우 CO₂ 다발생 지역에서 포집할 5,000~6,000 ppm의 CO₂를 6~7bar로 압축하여 5~10 m³ 규모의 압축용기에 저장할 경우, 1 ha 규모의 온실에 공급 가능할 것으로 판단되어, 적정 설계 및 용량 산정을 통하여 5~10 m³ 규모의 이동 가능한 압축용기를 개발할 예정임

다. 시설 하우스 내 CO 공급 시스템 개발

(1) 시설재배의 환경조절

- 환경조절 기능이란 재배시설에 부착된 환기장치나 가온시설 및 냉방시설을 통해 온도조절을 할 수 있는 것을 말하며, 조절의 범위도 중요하지만 목표온도에 대한 편차가 적고 넓게는 작물재배에 적합한 환경이 되도록 햇빛, 탄산가스 및 습도까지 조절이 가능해야 함

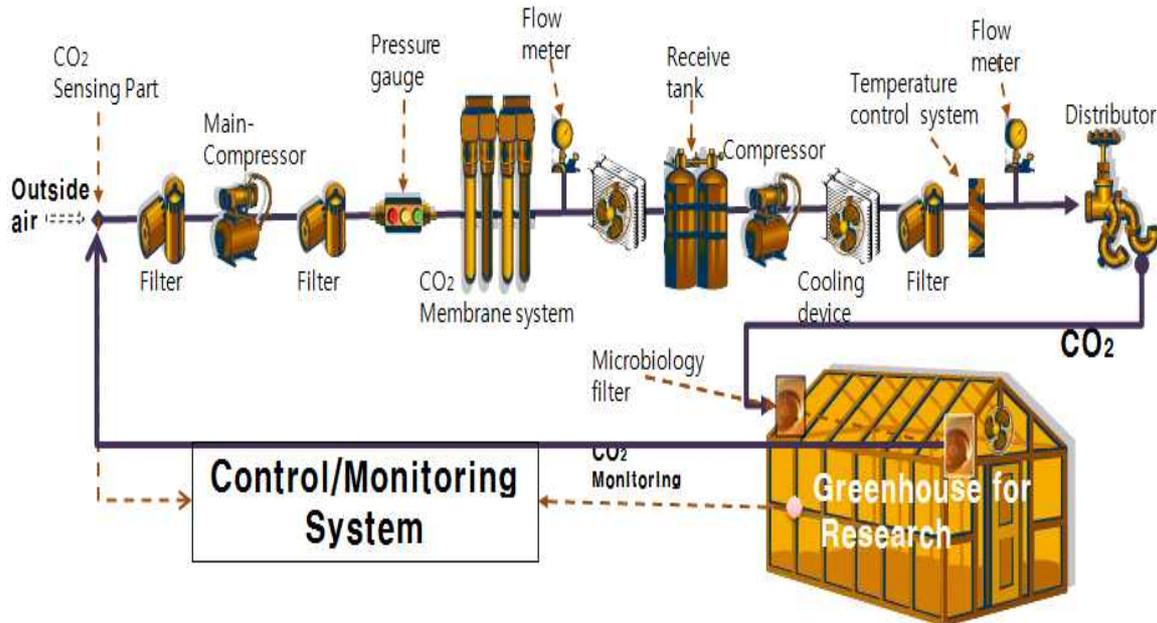


그림 6. CO₂ 시설하우스 공급시스템

- 온도
 - 최적생장을 위해서 온도조절은 필수적임. 대부분의 경우 시설은 태양복사 에너지에 의해 가열되는데 태양복사 에너지만으로 충분하지 못해서 인위적인 가온이 불가피하게 됨
 - 더운 여름날에는 감온장치가 필요하게 되는데 이때 과도한 열을 강제로 통풍시킬 때 세심한 주의가 필요하며 온도조절기능을 위해서 보온커튼, 난방기, 환기시설, 냉방시설 등이 이용됨
- 빛
 - 작물성장은 태양광선의 총량, 광주기 및 광의 질적 정도와 밀접한 관계가 있는 데 대부분의 현대적 시설에서는 인위적으로 제어가 가능하며, 광 조절기능을 위해서 주로 차광 커튼과 인공광 등이 이용되고 있음
- 통풍 및 공기순환
 - 시설내 균일한 온도, 습도, CO₂ 농도의 분포를 위해서 순환 및 통풍장치는 필수적임
- 습도

- 시설 내 이산화탄소 농도와 영양분의 조절은 적정생산을 위해서 필수적으로 공급되어야 하는데, 관수시설, 제습 및 가습장치 등과 같이 다양한 방법으로 공급할 수 있음
- 영양분 및 CO₂ 농도
 - 시설 내 CO₂ 농도와 영양분 조절은 적정생산을 위해서 불가피하게 공급되어야 하며 통풍에 의해 이산화탄소의 농도를 보충하는가 하면 인위적으로 천연가스, 프로판가스 등을 연소시켜 이산화탄소를 보충시키는 방법도 있음
 - 영양분은 밀폐재배체제를 이용해서 최적의 영양분을 공급하고 과잉된 것은 다시 순환되어 재공급할 수 있어 환경오염 방지는 물론 자원의 효율적 관리가 충분히 이루어질 수 있음
- CO 공급 효과
 - 엽육이 두꺼워지고, 양분 흡수율이 좋아짐
 - 광합성량 증가로 조기 수확 및 품질 향상
 - 과채류 암꽃의 수 증가로 착과 용이
 - 화훼류 꽃수, 선명도 증가, 절화 수명 연장
 - 병해충 감소, 농약 사용량 감소 (무 농약재배, 친환경농산물 생산)
 - 저온 및 고온 극복 능력 향상

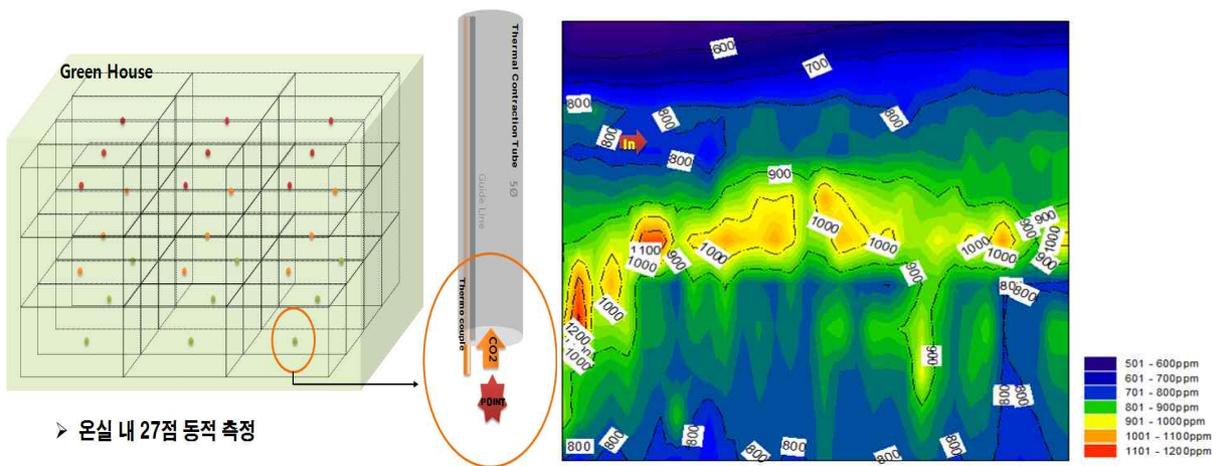


그림 7. 시설 하우스내 CO₂ 분포현황

표 1. 작물별 CO₂ 필요량

| 작물 | | CO ₂ 필요량 (ppm) | 작물 | | CO ₂ 필요량 (ppm) |
|----|-----|---------------------------|----|-------------|---------------------------|
| 채소 | 토마토 | 1,000 | 분화 | 철쭉 | 700-1,000 |
| | 오이 | 1,500-2,000 | | 베고니아 | 600-800 |
| | 고추 | 1,000 | | 국화 | 700-900 |
| | 상추 | 1,000-1,500 | 절화 | 국화 | 700-1,000 |
| | 멜론 | 1,000 | | 카네이션 | 1,000-1,500 |
| | 딸기 | 1,500 | | 가베라 | 600-800 |
| | | | 장미 | 1,000-1,200 | |

(2) CO 공급 시스템의 구성

- 공급 시스템은 배송된 CO₂를 온실 내에 적정 공급하기 위한 장치로 크게 메인 컴프레서, 드라이어, 온실 내 분배라인, 유량계 및 리시브탱크 등으로 나누어짐
- 온실 내 공급을 위해 제공 되는 CO₂를 공급하기 위한 장치로는 온실내부로 균등히 공급하기 위한 분배라인과, 적정량의 계측을 위한 유량계, CO₂ 저장을 위한 리시브 탱크, 수분제거를 위한 드라이어, 그리고 온실 곳곳으로 CO₂를 공급하기 위한 공급용 컴프레서 등을 구비하여 온실 내 CO₂ 시비 시스템을 구성할 예정임
- 이와 같은 구조로 제작된 시스템을 실험 구획을 설정하여 설비, 정상 작동 여부와 내구성 검증 및 개발 지표와 관련된 항목들에 대한 데이터를 수집

본 연구에서는 각 작물별 생육에 필요한 적정 CO₂ 량을 산정하여 하우스내의 공기 유동 및 다른 재배환경 요소들 간의 상관관계를 검정하여 최적의 공급 시스템을 구축할 예정임

라. CO 포집 및 공급 시스템 효율의 검증 및 보완제작

- 이산화탄소 검출 계측 장비인 Testo 535 이산화탄소 측정기를 이용하여 시스템이 구축된 한 구획의 공간의 실내외 이산화탄소 농도를 측정하여 시제작 시스템의 성능을 검증하고자 함
- 이와 더불어 공인 시험 규격에 따라 이산화탄소 부하공기 발생량과 투과도, 포집율, 공급율 및 CO₂/ N₂ 선택도 등을 측정함
- 검증 자료를 토대로 시스템 보완 제작
- 검증된 데이터를 근거로 100평 규모의 실제 온실하우스에 맞는 기계 장비의 용량 및 내구도를 결정

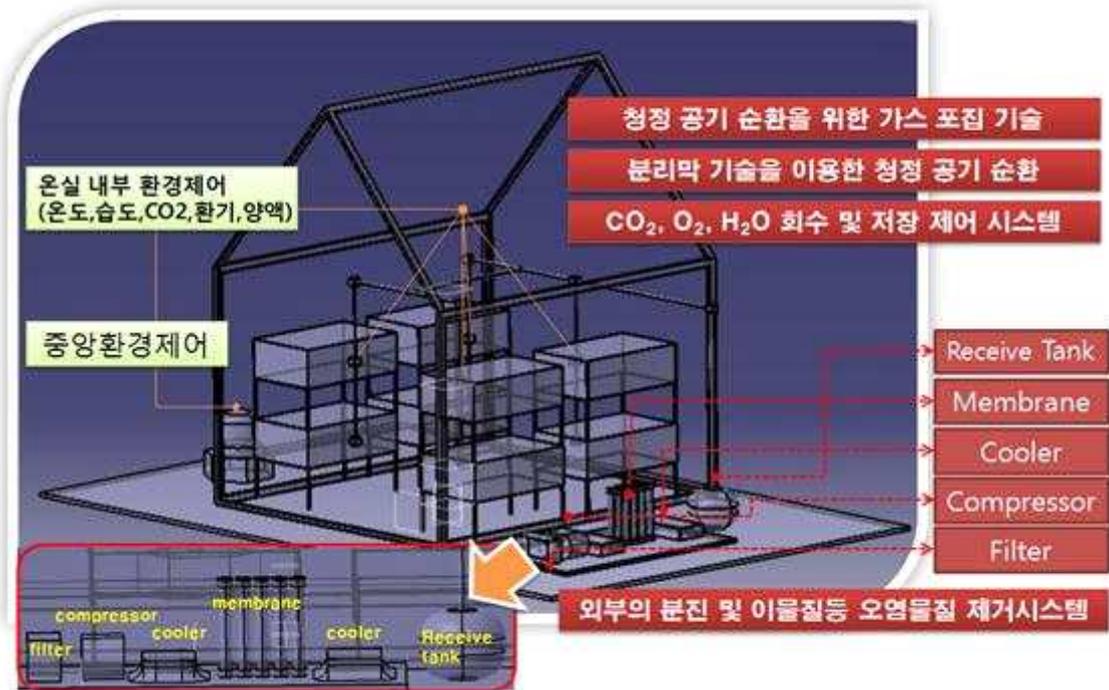


그림 8. CO₂ 저장 및 공급시스템

- 100평 규모의 온실하우스의 유동 공기량을 계산, 산출하여 적절한 컴프레셔 선정
 - 선정된 컴프레셔에 적용 가능한 드라이어 타입 선정 및 개발
 - 이산화탄소 필요공급량에 부합하는 멤브레인 필터 사이즈 선정 및 생산 의뢰
- 온실하우스 규모에 맞는 유량계 및 리시브 탱크 선정
- 선정 및 개발된 기계 장비들로 시스템을 구축하여 내구성 시험 시행, 내구도 검증을 통한 실증 시스템 구축

마. 온실하우스 적용 실증 시험

- 상용규모의 온실에 시스템을 적용하여 적합한 작물을 재배
 - 이산화탄소 시비 시 이산화탄소의 비중이 공기보다 무거운 점을 감안하여 초장이 짧은 딸기, 참외, 수박 등을 우선 대상작물로 고려하여 실증시험 추진
- 동일규모의 연구동, 비교동 구성 후 CO₂ 공급 시 작물 생육 비교 조사
 - 수확량, 품질, 생육상태 및 농약 사용량 등을 조사하여 CO₂ 공급 효과 검증 및 경제성 분석을 수행

표 2. CO 사용 시 나타나는 경제성 분석 예시

| 구분 | | 파프리카 | 토마토 | 딸기 | 장미 |
|-------------------------------|------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 탄산가스 미사용 | 조수익 | 346,147 | 149,197 | 137,692 | 314,250 |
| | 경영비 | 238,841 | 78,994 | 61,656 | 213,995 |
| | 소득 | 107,306 | 70,203 | 76,036 | 100,255 |
| 탄산가스 사용 | 조수익 | 406,070 (↑ 17%) | 190,036 (↑ 27%) | 170,230 (↑ 23%) | 369,387 (↑ 18%) |
| | 경영비 (액화탄산 비용) | 258,841 (20,000) | 98,944 (20,000) | 81,656 (20,000) | 233,995 (20,000) |
| | 소득 | 147,229 | 91,092 | 88,574 | 135,392 |
| 탄산가스 사용 효과 (미사용대비 소득증가율 %) | | 39,923 (37.2%) | 20,889 (29.8%) | 12,538 (16.49%) | 35,137 (35.0%) |

- 다양한 온실에서의 적용성 평가 추진
 - 단동, 복동, 1-2W, 유리온실, 식물공장 등 다양한 재배환경에서의 경제성을 고려한 시험 추진
- 온실 적용 표준화 추진
 - 30평 규모의 온실 하우스를 건립하고 제작된 시스템을 설비 완료하여 실제 작물들을 파종, 생육 상태를 관찰함
 - 광합성은 식물 성장의 대부분을 차지하는데, 실제 공기 중의 CO₂ 함량은 300~350 PPM 수준으로 식물 광합성에 필요한 CO₂ 요구량에 현저히 부족한 상황이고, 식물이 필요로 하는 적정 CO₂ 요구량은 1,000~1,500ppm 수준으로 CO₂ 부족 시 식물 성장을 지연시키고 품질 저하 및 수확량 감소의 원인이 됨
 - 밀폐된 온실 내 작물은 단시간 내(20~30분) CO₂를 소진시킴으로 양질의 제품을 생산하기 위해서는 지속적인 CO₂ 공급이 절대적으로 필요함

바. CO₂ 판매 시스템 구축

- 지역별, 축산시설별 CO₂ 공급 가능량 산정 및 수요 농업시설 수요량 예측
- 공급 물류 및 배송 시스템 구축
- 산업용
 - 용접용, 소화용, 탱크 Purge Gas용, 급속냉각제, 주물공업의 이형제, 산화방지제, 가연성위험물 저장탱크의 Sealing용, CA2 gas laser 충전용
- 드라이아이스
- 농업용
 - 식물성장촉진제, 곡물의 저장, 감의 탄닌산 제거(당도유지), 채소와 과일의 저온저장용
- 의약품용
 - 국소마취제, 살충제, 소독가스(E.O와 혼합가스), 인큐베이터용
- 화학 원료용
 - 요소, 소다회 제조용
- 기타
 - 수 처리 및 폐수처리, 담배의 Puffing, 가축의 도살, 분무기 증진용(화장품, 의약품, 살충제 등)

표 3. 국내 CO₂ 수요 현황

| 구 분 | 내 역 | 2011년 | 2012년 |
|------|--------|---------|---------|
| 국내수요 | 공업용 | 575,850 | 594,000 |
| | 음료용 | 70,950 | 69,300 |
| | 농업용 | 26,400 | 39,600 |
| | 드라이아이스 | 56,100 | 75,900 |
| | 수요합계 | 729,300 | 778,800 |

- 향후 개발될 CCU 기술로 인한 시장은 현재 시장보다 약 5.8배 이상 높아질 가능성이 있음

표 4. 현재 개발된 기술별 CO₂ 예상 판매 수요량

(단위 : 백만톤/년)

| 현재 기술 | 현재 CO ₂ 판매 수요 | 미래 CO ₂ 판매 수요 |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 오일회수 증진 | 30<demand<300 | 30<demand<300 |
| 요소비료 생산수율 증대 | 5<demand<30 | 5<demand<30 |
| 기타정유 및 가스산업 | 1<demand<5 | 1<demand<5 |
| 탄산 음료 | ~8 | ~14 |
| 와인 제조 | <1 | <1 |
| 식품가공, 방부 및 저장 | ~8.5 | ~15 |
| 커피의 카페인 감소 | - | 1<demand<5 |
| 의학산업 및 의약품 | <1 | <1 |
| 원예 (비닐하우스 작물) | <1 | 1<demand<5 |
| 제지 및 종이 | <1 | <1 |
| 수처리 | 1<demand<5 | 1<demand<5 |
| 불활성 가스 | <1 | <1 |
| 제철산업 (Steel manufacture) | <1 | <1 |
| 제철산업 (Metal working) | <1 | <1 |
| 용매 (초임계 CO ₂) | <1 | <1 |
| 전자산업 | <1 | <1 |
| 작동유체 | <1 | <1 |
| 용접 | <1 | <1 |
| 냉매 | <1 | <1 |
| 소화기 및 소방용 가스 | <1 | <1 |
| 총 수요 | 45<demand<360 | 50<demand<381 |

(GCCSI)

- 현재 국내에는 공업용, 음료용, 농업용, 드라이아이스의 형태로 CO₂ 가스를 소비하며, 그 사용량은 소폭 증가하는 형태이나 향후 CO₂ 수급 현황을 확인하기 위하여 지속적인 국내 수요 파악이 필요함
- 탄산가스 수요는 일반적으로 경제수준에 비례하여 점진적으로 완만하게 증가하는 것으로 알려져 있으며 국내도 마찬가지로 국민 소득의 증대가 본격화된 70년대 이후 수요량의 증가가 계속되고 있으며 이러한 추세는 국내 경제규모의 확대에 발맞추어 향후로도 계속될 것으로 예상됨
- 국내 CO₂ 수급되는 탄산가스는 PC사업에 액체탄산 사용에 따른 신규 수요가 증가하고 있고, 조선분야의 활황에 따른 가스 수요가 급증하고 있음
- 홈쇼핑의 택배 냉매용 드라이아이스 등 신규시장의 수요가 연간 6,000톤 이상으로 신규시

장을 형성하여 시장의 규모증가가 본격화되고 있으나, 반면에 질소 대체 전환과 냉동탑차 전환 추세 등의 대체재 출현으로 인한 일부 부분의 수요 감소가 예상되기도 함

- 2002년 기준으로 조선, 용접용, 공업용, 음료용, 기타 순으로 시장이 전개되었으며, 부문별 탄산가스 수요비중은 매우 안정적인 흐름을 유지하였음
- 석유화학 플랜트는 총 7개이며 일정 규모 이상의 성장률을 유지하고 있으며 주정공장은 1개에 해당함

표 5. 국내 탄산가스 생성을 위한 폐가스 공급원

| 구 분 | 위 치 | 탄산가스 공급원 | 합계 (톤/day) |
|-------------|-----|----------|------------|
| 석유화학 플랜트 | 대 산 | LG화학 | 150 |
| | | 삼성토탈 | 170 |
| | | 롯데대산 | 220 |
| | 여 천 | 호남석유화학1 | 120 |
| | | 호남석유화학2 | 120 |
| | | 호남석유화학3 | 120 |
| | | 에어리퀴드코리아 | 150 |
| | 나 주 | LG화학 | 250 |
| | 온 산 | 이수화학 | 60 |
| | | S-Oil | 120 |
| | 울산 | 삼성BP화학 | 50 |
| | | SK | 230 |
| 소 계 | | | 1,760 |
| 주정공장 | | 풍국주정 외 | 100 |
| 계 | | | 1,860 |

(태경화학)

- CCU 기술은 현재 개발 예상되는 기술이므로 향후 국내 시장에서의 성공적인 안착을 위하여 3가지 요소를 고려하여야 하는데, 첫 번째는 판매가격의 현실성, 두 번째는 CCU 기술에 대한 현재 소요 비용과 추정 비용에 대한 분석, 세 번째는 미래에 CO₂ 예상 가격 (배출권 거래가 또는 탄소세 등의 다양한 규제에 의한 CO₂ 가격)이 그것임

1-2. 연구개발의 필요성

시설하우스에서 고품질 작물을 재배하기 위해서는 CO₂의 공급이 필요하며, 이를 공급하기 위하여, 액화탄산을 공급하고 있는데 이는 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

- 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
- 현재 세계의 평균적인 ‘대기 중 이산화탄소 농도’는 약 387 ppm (2009년 말 기준)으로 조사되었고, 이는 공기 분자 100만 개 중에 이산화탄소 분자가 387개 있음을 의미함
- 18세기 산업 혁명이 일어나기 전, 지구의 이산화탄소 농도는 약 280 ppm으로 추정되고 있으며, 또한 얼음 속에 갇힌 공기를 조사한 결과, 적어도 과거 80만 년 동안은 300 ppm을 넘은 적이 없다고 밝혀졌으나, 현재 300 ppm을 넘어 계속해서 상승하고 있는 상태임
- 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
- IPCC의 2007년 4차 보고서에 의하면 1906~2005년간 세계의 기온은 0.74°C 상승한 것으로 이는 2001년 3차 보고서에서 나타난 1901~2000년간 0.6°C 상승이라는 내용을 상회한 것으로 기후시스템의 온난화는 의심의 여지가 없다고 할 수 있음
- IPCC에서는 온실가스 배출량에 따라 2100년까지 지구의 평균기온이 1.1~6.4°C까지 상승할 것으로 예상했는데, 현재 진행되고 있는 각국의 온실가스 감소정책을 고려해볼 때 6°C 수준으로 온도가 상승할 확률이 더 높은 것으로 추정되고 있음
- 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°C 상승에 경제성장율이 1.3%씩 감소될 것으로 추정하고 있음



그림 9. 우리나라의 해수면 연간 상승률

- 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 어쩔 수 없는 부분이지만 인위적 요인인 산업활동, 산림파괴, 도시화 등 인간의 활동에 의한 온실가스는 줄여가야 마땅할 것임
- 지금 세계적으로 “저탄소사회(Low Carbon Society)” 구축이 시급하고도 중요한 글로벌 이슈로 급부상하였고, 인간 활동에 기인하는 탄소배출은 지구온난화의 주범으로 지목되고 있어 현재 이를 감축하고자하는 노력이 전세계적으로 진행되고 있음
- 국제사회는 기후변화논의와 관련하여 “포스트교토”에 대한 논의가 진행 중이고, OPEC 정기총회를 비롯하여 G8정상회담에서도 환경문제가 핵심 사안으로 거론되었음
- 우리나라 온실가스 배출량은 2006년 현재 5억 9천9백만 tCO₂으로 세계 9위에 랭크되어 있고, 전 세계 비중의 약 1.7%를 차지하고 있다. 이는 본격적으로 온실가스를 다배출하기 시작했던 1990년에 비해 101% 증가된 수치로 동기간 OECD 국가 중 증가율 1위를 기록하고 있음
- 녹색성장위원회는 8/4 발표한 ‘국가 온실가스 중기(2020년) 감축목표 설정 추진계획’을 통해 향후에도 지속적으로 온실가스 배출량이 증가할 것이라는 전망을 내놓았으며 녹색성장위원회의 예상에 따르면 우리나라는 2020년경에는 전체 온실가스 배출량이 8억 1천3백

만 tCO₂로 2005년보다 37% 증가할 것으로 전망했고, 현재 12.3 tCO₂인 1인당 배출량이 2020년에는 16.4 tCO₂까지 증가해 에너지다소비 구조가 훨씬 더 심해질 것으로 전망하고 있음

표 6. 국내 CO₂ 배출량 전망

(단위: 백만 tCO₂)

| 구 분 | 2005 | 2020 | 2030 | 연평균증가율 | |
|-----------------------------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| | | | | '05 ~ '20 | '20~ '30 |
| 총배출량(백만 tCO ₂) | 594(100) | 813(137) | 888(149) | 2.1% | 0.9% |
| 1인당배출량(톤CO ₂ /명) | 12.3 | 16.4 | 18.2 | - | - |

(에너지기후정책연구소, 2009)

- 2005년 교토의정서가 발효된 이후 선진국은 1990년 수준보다 5.2% 감축하되 각국의 경제 여건에 따라 -8%에서 +10%까지 차별화된 감축을 실시해야하며 개도국은 포스트 교토체제 이후부터 의무감축이 불가피한 실정임
- 농업분야 온실가스 배출량은 전체 배출량의 2.5% (1,470만CO₂t)이며 연평균 0.5% 씩 감소하고 있음
- 경기도의 농업 분야 배출량은 전체 배출량의 2.6~4.1% (1.8백만CO₂t)로 전국 평균보다 많은 실정임
- 이런 가운데 저탄소녹색성장시스템을 구축하기 위한 노력이 진행중에 있으나 미흡한 실정임
- 미국 시카고 배출권 거래소에서 농경지 토양 흡수원 거래가 50% 차지하고 있으나 국내에선 거래가 없는 실정임
- 또한 1990년대 이후 기후변화협약 대응 차원에서 국가 인벤토리 구축 작물별 수지평가, 온실가스 통계 DB화 등에 대한 연구가 진행중에 있으나 국내외적인 공인을 받지 못하고 있는 실정임
- 농촌에서는 경지이용향상과 환경개선을 위해 동계작물 재배가 필요하지만 경제성 문제로 확대되지 못하고 있는 실정임(호밀 소득 19.7천원/10a)
- 이와 관련하여 농식품부에서는 '08년 11월 농식품부 녹색성장대책 협의회를 구성하여 체계적인 녹색성장대책 및 신성장 동력발굴에 총력을 기울이고 있음

- 따라서 생산 소비 전과정에서 에너지 소비·환경오염원 배출을 최소화하여 신성장 동력을 창출하는 녹색성장 전략이 요구된다고 하겠음
- 이를 위해 국내 거래소 개시 대비 경제성 있는 탄소기반 작부체계를 구축하고 새로운 소득원으로 육성하기 위한 전략을 수립할 필요가 있음

(농업과학기술개발, 2009)

- 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
- 탄소동화작용이란 CO₂가 식물의 광합성을 통해서 산소로 바뀌는 것을 말하며, 이것을 화학식으로 보면 CO₂에서 식물의 생장에 필요한 탄소를 뽑아내는 과정을 말함
- CO₂는 최근 1세기 동안 배출량이 급격히 증가하여 지구온난화의 주범으로 작용하고 있으며, 탄소 배출권을 돈으로 거래하는 시대가 되었으며 식물은 광합성 과정을 통해서 이산화탄소를 흡수하여 산소를 만들어 냄
- 따라서 지구온난화를 막아낼 수 있는 유일한 대안은 식물을 키우는 농업에 있다고 해도 과언이 아님
- 공기 중에는 350 ppm 수준으로 일정한 농도의 이산화탄소가 분포하고 있지만, 밀폐된 하우스에서는 상황의 경우, 햇빛이 없는 밤 시간에는 식물도 광합성을 하지 못하고, 호흡만 하며 식물도 사람처럼 산소를 흡수하고 이산화탄소를 내뿜음
- 또한 밀폐된 하우스에서는 식물의 호흡작용으로 이산화탄소 농도가 1,500 ppm까지 올라가며 일출 후 햇빛이 나오면 다시 광합성을 시작하는데, 본격적인 광합성이 진행되면서 순식간에 이산화탄소 농도가 대기 중 이산화탄소 농도인 350 ppm 수준 이하로 급격히 낮아짐
- 오전 중에 하우스 시설 내 이산화탄소 농도는 180 ~ 200 ppm 이하로 낮아지는데, 이산화탄소 농도가 350 ppm에서 200 ppm 이하로 내려가면 작물의 수량이 45% 감소함. 따라서 광합성 량이 떨어지는 것을 방지하기 위해 이산화탄소를 비료로 사용함 (흙살림연구소)
- CO₂의 적정 시비는 농업생산성에 긍정적인 영향을 준다는 연구들이 발표되고 있으며 이를 이용하기 위한 다양한 기술들이 개발되고 있음
- 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 700 ppm 농도로 시비하면 수량

이 15% 증수되어 1ha당 연 9,922천원 소득이 증대된다는 결과를 발표하였음 (경상남도농업기술원)

- CO₂ 시비는 탄수화물의 생성량을 증가시키므로 성숙까지 이르는 시간을 단축시키고 식물체중을 증가시키며, 수량증대와 함께 식물체의 생장을 촉진시키며, CO₂는 고온과 고광도하에서 최대로 이용되며, 인위적인 시비를 해주면 효과적이어서 다른 작물들에서보다 더 높은 환기온도에도 견딜 수 있음
- 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
- 파프리카 재배농가에서 주간에 식용 CO₂를 700 ppm이상을 연속으로 시비하는데 소요되는 비용은 연간 300 ~ 400만원/10a 소요됨 (농촌진흥청)
- 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
- 대기 중의 CO₂ 농도는 보통 300 ~ 350 ppm이지만 시설파프리카 하우스 내부는 밀식재배로 인해 50 ppm까지 떨어지기 때문에 인위적인 공급이 없이는 고품질 생산이 어려울 뿐 아니라 수확량도 크게 감소함 (국립원예특작과학원)
- 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)
- 당진딸기 연구회 오광환 회장의 양액고설재배 시설하우스 5동에 CO₂ 시비시설을 지난 1월 20일에 설치하고 작물이 광합성을 왕성하게 하는 시간대인 오전 10시경 CO₂의 농도가 500 ppm이 되도록 설정함. 이는 CO₂ 시비시설이 없는 양액고설재배 시설하우스의 CO₂ 농도 110 ppm보다 5배 가량 높은 수치이고 대기중 CO₂ 농도 380 ppm보다도 높음. 실증시험을 위해 1동의 시설하우스에는 시비시설을 설치하지 않음. 일반적으로 시설하우스 내에 CO₂의 농도가 대기보다 낮은 이유는 작물이 광합성을 위해 CO₂를 흡수하기 때문이며, CO₂ 시비시설이 있는 시설하우스에서 생산된 딸기와 시비시설이 없는 시설하우스에서 생산된 딸기를 가지고 소비자 91명에게 블라인드 테스트를 실시한 결과 CO₂ 시비시설이 있는 딸기의 선호도가 81.4%로 시비시설이 없는 딸기의 선호도 18.6%에 비해 월등히 높은 것으로 나타남. 이는 CO₂를 시비한 경우 광합성이 잘 되어 당도 및 경도 등이 우수한 딸기가 생산되는 것으로 분석되었음 (농촌진흥일보)
- 최근에는 일부 석유화학제품 생산업체들이 경제난으로 공장 가동을 멈추면서 CO₂의 생산

량이 크게 감소했으며, 국내에 유통되는 CO₂는 공업용과 음료용 두 가지로 농사에 사용되는 것은 불순물이 거의 없는 음료용인데, 음료용 CO₂는 주로 비료나 정유공장에서 나오는 CO₂ 가스를 농축한 일명 ‘액화탄산’ 을 말함

- 최근 음료용 CO₂가 공급에 차질을 빚으면서 가격도 두 배 정도 뛰고 그나마 구하기도 어려운 실정이며, 연동하우스 8,250㎡(2,500평)에서 수출용 파프리카를 재배하는 정대원씨(50·경남 진주시 지수면)는 “10월 한 달 동안 CO₂ 구입비용이 500만원이나 들어갔다”며 “난방비에다 추가로 CO₂ 가격마저 올라 농사짓기가 너무 어렵다”고 하소연했다. 그는 이어 “몇년 전에는 1kg에 100원대이던 CO₂가 지난해에 170원에서 올해는 280원(부가세 포함 300원대)으로 치솟았다”며 “그나마 없어서 구입하지 못하는 농가가 태반이다”고 덧붙였다(농민신문)
- 작물에 CO₂를 공급하는 기술은 국내 수출농가가 외국에서 도입한 것으로 농업 선진국인 네덜란드에서는 보편적으로 하우스 내에 1,000 ppm까지 공급하고 있다. 반면 국내의 경우 도입 초기엔 농가가 공업용 CO₂를 사용하다 영농에 실패하는 등 정부 차원의 관심과 지원이 부족한 현실임



그림 10. 딸기 하우스내 CO₂ 공급

- 비닐하우스 농가가 CO₂를 사용하기 위해서는 액화탄산, 드라이아이스를 구매하거나 CO₂ 발생기 나 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 유효이용 증대를 위한 협약을 체결하고 하동화력발전소에 250평 규모로 딸기 시범재배 사업을 2년간 수행해 수익성 향상 가능성을 확인함
- 2008년 9월부터 국책연구기관을 중심으로 연구팀을 구성하여 국제적 기준의 분석체계를 통해 온실가스 배출 전망과 감축 잠재량을 체계적, 통합적으로 분석을 실시하였고 그 결과와 국제사회의 요구 수준 등을 감안하여 아래의 <표 7>에 제시된 바와 같이 3개의 시나리오가 도출되었으며, 사회적 의견을 수렴 후 국가온실가스 중기 감축목표를 2020년 배출

전망치(8억 1,300만 CO₂ 톤) 대비 30%인 2억 4,400만 CO₂ 톤으로 설정하여 공표함. 이는 2005년 배출한 온실가스 양(5억 9,400억 톤)을 기준으로 하여도 4% 낮은 수준이며 IPCC가 개발도상국에 권고한 감축 범위(배출 전망치 대비 15~30% 감축)중 최고 수준임

(석사학위논문, 고려대 경제학과 임지은, 2012)

표 7. 시나리오별 CO₂ 감축 정책 및 수단

| 시나리오 | 감축목표 | | 감축정책 선택기준 | 주요 감축수단(예시) (각각은 이전 시나리오의 정책수단 포함) |
|------|----------------|-----------|--------------------------|--|
| | 2020년 BAU대비 | 05년 기준 | | |
| 1 | -21% | +8% | 비용효율적 기술 | <ul style="list-style-type: none"> • 건물/주택의 녹색화 • 고효율 설비 보급 등 수요관리 강화 • 저탄소 교통체계 개편 • 신재생에너지 및 원자력 비중 확대 • 스마트 그리드 추진 |
| 2 | -27% | 동결 | 국제적 기준의 감축비용 도입 | <ul style="list-style-type: none"> • 지구온난화지수가 높은 불연소계 가스 제거 • 하이브리드카 보급 • CCS 일부 도입 |
| 3 | -30% | -4% | 개도국 최대 감축수준 | <ul style="list-style-type: none"> • 차세대 그린카 (전기차, 연료전지차 등) 보급 • 고효율 가전제품 보급 확대 • 강력한 수요관리정책 추진 |

(출처 : 농림수산식품부, 2011)

- 온실가스로 인한 기후변화에 대응하기 위해 이미 세계 여러 국가들은 온실가스 감축과 관련된 연구와 국제적 공조방안을 모색하고 있으며, 최근에는 대두되는 기후변화에 따른 피해를 해결하기 위해 각 나라별 온실가스감축 방안들도 구체적으로 검토되고 있음. 과거 2005년 2월에 발효된 기후변화협약(교토의정서)으로 주요 선진국들은 2008년~2012년 교토의정서 1차 공약 기간 중 CO₂를 1990년 기준 -8%에서 +10%까지 차등적인 저감의무를 규정받았고, 이에 대한 대응 정책을 국가별로 수립하여 추진 중에 있음
- 유엔 산하 기후변화 정부 간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)이 2007년 Fourth Assessment Report에서 제시한 2050년까지 50~85%의 감축안을 참고로, 2009년 7월 G8 정상회의에서는 2050년까지 80%의 CO₂ 감축안에 동의함. 이와 같은 CO₂ 감축 계획을 예상대로 달성하기 위해서는 대량의 CO₂를 단기간에 줄일 수 있는 기술이 필요함
- 이산화탄소를 자원으로 활용하면 탄소 배출을 절감하는 만큼 탄소를 배출 할 수 있는 권리, 탄소배출권이 생기고 이 권리는 UN을 통해서 사고 팔수가 있으며 2012년 전 세계 탄소배출권 시장 규모는 2,000억 달러 규모로 추정됨
(출처 : SBS CNBC KOREA REPORT)
- 이산화탄소 농도 증가에 따른 벼의 생육 반응에 대한 연구 결과를 보고하였음. 그들의 결과에 의하면, 벼 유효기에는 대조구에 비해 500 ppm, 700 ppm에서 건물중이 35~47% 증가

하였으며, 광합성률도 높은 CO₂ 농도에서 증가되었으나 생육이 진전될수록 약간 감소함. 출수 직전부터 55일 간 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

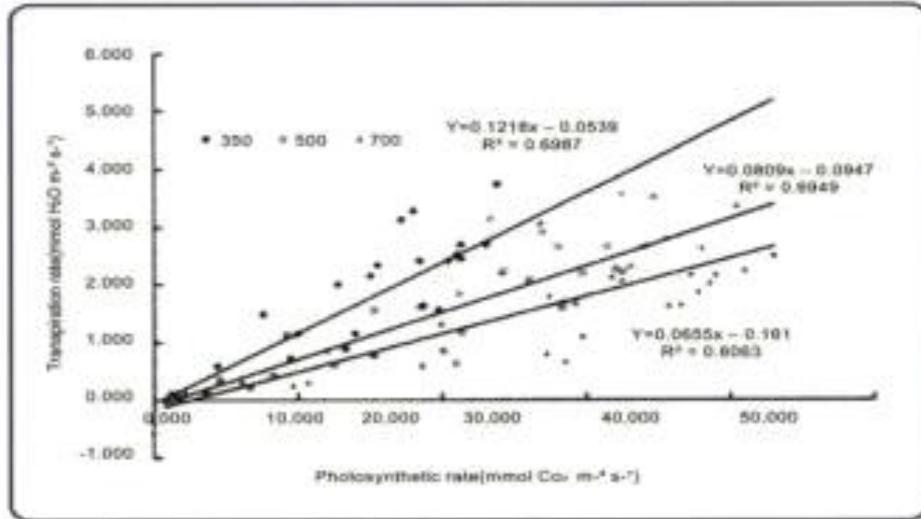


그림 11. 이산화탄소 농도에 따른 광합성 속도 및 증산량의 변화

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

표 8. 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)

- 최근 유럽위원회 공동연구센터와 네덜란드 환경영향평가청이 공동으로 발간한 보고서 ‘지구 이산화탄소 배출의 장기 경향’을 분석한 결과에 따르면, 지난 20년간 우리나라의 온실가스 배출량은 136% 증가해 증가 속도가 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)

- 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)

- 금세기 들어 빈번하게 발생하는 홍수, 폭염과 같은 기후변동은 지구 전체에 큰 위협으로 다가오고 있음
- 이러한 기후변화는 산업혁명 이후 급속히 진행된 산업화로 대기 중의 온실가스 배출 증가에 따른 지구온도 상승에 원인이 있다고 알려져 있고 이러한 지구온난화는 지난 100년간 우리나라의 평균온도를 1.7℃ 상승시켰음
- 지구온난화를 일으키는 주원인은 배출된 온실가스의 약 77%를 차지하는 이산화탄소이며 주 발생원은 화력발전소와 제철·시멘트·정유산업이고, 이러한 플랜트로부터 전 배출량의 약 45%가 방출됨
- 유엔 정부간 기후변화협의회(IPCC)는 “별다른 예방조치가 취해지지 않으면 21세기 말 지구온도는 산업혁명 이전보다 3~5℃ 상승할 것으로 예측된다.” 고 밝힘
- 유엔은 온난화에 의한 기후재앙을 막기 위해 지구 평균온도를 2℃상승 이내로 묶는 목표를 제시하였고 이 목표 달성을 위해 인류에게 허용된 CO₂ 배출량은 앞으로 120Gt에 불과하여 현재의 추세라면 이 허용량은 30년이면 소진될 것으로 추정됨
- 이러한 상황에서 CO₂ 감축을 위해 에너지의 절약과 효율적 이용, 신재생에너지 확대와 함께 CO₂ 포집·처리(CCS)기술, 특히 CO₂ 포집기술 및 이를 적용한 장치 개발이 중요함
- CCS 분야에는 우선 다양한 발생원에서 발생하는 CO₂를 저비용·고효율로 분리·회수하는 포집기술 확보가 필수적으로 필요함
- IEA(국제에너지기구)에 따르면 오는 2050년의 전세계 CO₂ 배출량 규모는 약 620억t이 넘을 것으로 추정하고 CCS와 같은 혁신적 에너지 기술이 적용될 경우 이 수치는 140억t으로 감축할 수 있을 것으로 전망됨

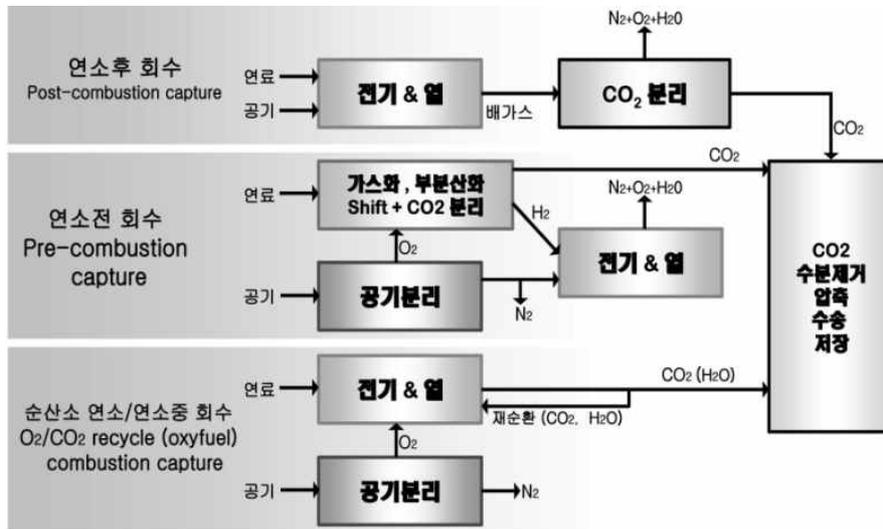


그림 12. 이산화탄소 포집기술

- CO₂ 감축 예측량 480억t중 약 91억t(19%)은 CCS 기술이 담당할 수 있을 것으로 예상되며 국내의 경우 CO₂배출의 약 83%를 차지하는 에너지 분야의 중심인 발전에 있어 화력발전의 비율이 높아질 것으로 예측되며 CCS 기술은 온실가스 감축목표 달성을 위해 필수적인 기술임
- 세계 각국은 온난화에 따른 위해성을 최소화하기 위한 기술개발에 노력하고 있는 바, 대기 중 CO₂를 줄이기 위한 다양한 방법 중에서 가장 주목 받는 것은 이산화탄소 처리를 위한 CO₂ 포집 및 저장 기술(Carbon Capture and Storage), 일명 CCS 기술임

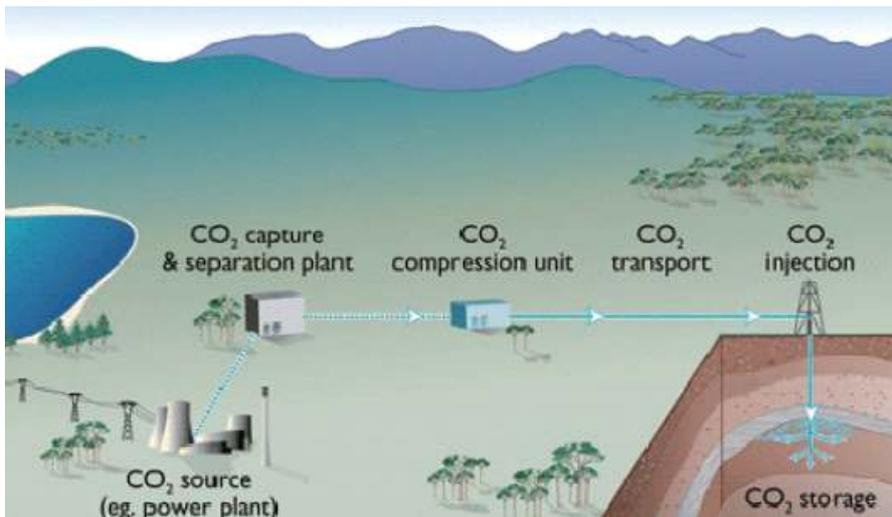


그림 13. CCS기술의 공정 개략도

- CO₂ 포집 및 지중저장(Carbon Capture and Storage, CCS) 기술은 CO₂를 직접 줄일 수 있는 감축 기술임. CO₂가 고농도로 발생하는 발전소 등의 발생원으로부터 이산화탄소를 포집하여 압축하고 운반한 후 지중, 해양 퇴적 암반층에 주입함으로써 대기 중으로부터 CO₂를 격리시키고 지속적 모니터링하는 기술을 총칭함

- 위 개략도를 토대로 공정 과정을 알아보자면 먼저 발전소 등과 같은 CO₂ 발생원으로부터 CO₂를 분리 및 포집하여 CO₂압축 공장에서 CO₂를 압축함. 그리고 CO₂ 운반매체로 주입소 까지 운반한 후 지중 및 해양 퇴적 암반층에 주입하여 저장하게 되며, 이 때 각각 CO₂ 포집기술, CO₂ 수송기술, CO₂ 저장기술이 필요함
- CO₂ 포집기술은 쉽게 말해 이산화탄소를 체포하는 단계라고 할 수 있음. CO₂를 다량 방출하는 발전소 및 산업체에서 직접 포집하며 연소 전 포집, 연소 후 포집, 순 산소 연소기술이 있음

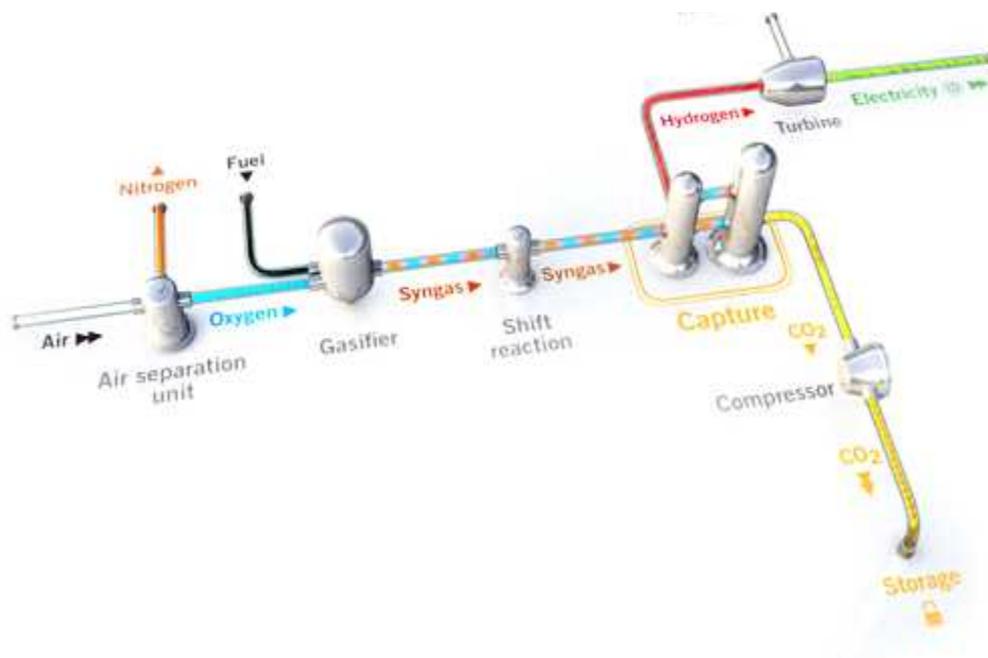


그림 14. 연소전 포집기술 공정

- 연소 전 포집 기술은 공장에서 사용되는 화석연료를 수소와 CO₂ 기체 혼합물로 분리하여, 수소는 연소시키되 CO₂는 압축하여 수송한 후 저장하는 기술임
- 이 기술 대부분은 이미 산업공정에서 증명되었고 석탄가스화 복합발전에 적용하는 경우 낮은 포집 비용을 기대할 수 있으나, 발전소 설계단계에서부터 근본적 변화를 추구해야 한다는 단점이 있어 기존 발전소에 적용하기 어려움
- 연소 후 포집 기술은 화석연료를 연소시켜 에너지를 얻은 후 방출되는 최종 배기혼합가스에서 CO₂를 분리해내어 CO₂를 액상 용매에 흡수시켜 포집하는 방법이며, 이 기술은 대표적인 상용 공정으로 아민계열 흡수 용매를 사용하여 신뢰성 높은 기술이지만 대량의 가스가 발생되어 많은 자본 및 추가 에너지가 필요해 경제적인 개선이 필요한 공정임

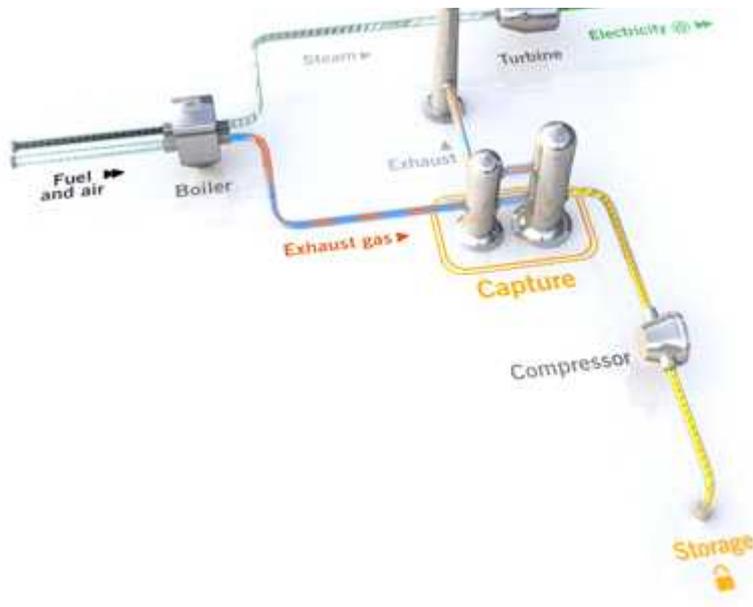


그림 15. 연소 후 포집기술 공정

- 순 산소 연소기술은 연소 후 포집기술과 같이 화석연료 연소를 위해 공기 대신 산소를 사용하며, 주로 수증기와 CO₂로 구성된 혼합가스를 배출하게 되는데, 이 가스는 쉽게 분리되는 특성 덕분에 고농도 CO₂ 기체를 포집할 수 있습니다. 이 기술의 장점은 가스가 고농도 CO₂를 포함하고 있어서 CO₂ 분리가 쉽다는 것이지만 산소제조 비용이 크다는 것이 단점임
- CO₂ 수송기술은 포집한 곳에서 저장소까지 안전하게 이산화탄소를 수송하여 주변 환경에 영향을 주지 않게 하는 것이 중요하며, 수송매체에 따라 파이프 수송, 차량 수송, 선박 수송기술이 있음
- 파이프 수송기술은 파이프라인을 통해 이동이 편하도록 고농도로 압축된 CO₂를 옮기게 되며, 대량의 CO₂를 수송할 수 있는 가장 보편화된 방법임
- 전 세계에 CO₂를 포함한 기체들을 수송하는 파이프라인이 수백만 km 정도 깔려 있는데, 미국의 경우는 1970년대부터 파이프라인을 통한 CO₂ 수송을 진행해오고 있으며 현재 3,000 마일 이상의 파이프라인을 보유할 정도로 경험이 풍부함
- 차량 수송기술은 말그대로 트럭이나 기차로 CO₂를 수송하는 기술이며, 이 기술은 소량의 CO₂를 수송하는 경우에 적합하여 포집 현장으로부터 인근 저장 부지까지 CO₂를 옮기는데 사용되고 있음
- 하지만 소량의 CO₂ 차량 수송은 미래적 관점에서 볼 때, CCS 기술로 포집되는 방대한 양의 CO₂를 수송하기에는 알맞지 않아서 주요 핵심 수송 기술로 선정되기엔 어려움이 있음

- 선박 수송기술은 비슷한 조건의 LPG 수송 기술과의 공통점을 고려해 볼 때 기술적으로는 어려움이 매우 적을 것으로 예상되며, 또한 실제 연구에 따르면 수송 거리를 따질 때 1,000 ~ 2,000 km 이내 내륙 수송 시에는 파이프라인이, 그 이상 해양 장거리 수송에는 선박 수송기술이 유리한 것으로 나타되며, 이미 세계 여러 나라에선 선박 수송을 차량 수송의 대안으로 삼고 있음



그림 16. 각종 CO₂ 수송기술

- CCS 저장 기술은 CO₂를 저장하는 매체에 따라 해양 저장, 광물 저장, 지중 저장기술이 있음
- 해양 저장기술은 심해에 CO₂를 주입하여 바닷물에 용해, 수화시켜 저장하는 방법이며, 해저 3,000m 이하에서 CO₂ 하이드레이트 형태로 저장시켜 500년 간 저장할 수 있지만, 생태계 파괴와 해양 산성화 등의 해양환경 문제 때문에 국제 런던협약에 의해 현재는 금지된 기술임
- 광물 저장기술은 마그네슘, 칼슘, 칼륨을 포함하고 있는 CO₂ 첨가 가능 광물에 CO₂를 화학적 반응시켜서 탄산염 광물로 만들고 고체화하여 저장하는 방법이며, 하지만 느린 반응 속도로 인한 과도한 공정비용과 반응이 끝난 후 만들어진 탄화물질의 수송과 저장, 낮은 저장용량 등의 2차적 문제로 아직 연구단계에 있음
- 현재 실질적으로 가장 유효한 기술인 지중 저장기술은 내륙 또는 해저의 심부 지하 지층 내에 있는 적합한 공간에 이산화탄소를 주입하여 고착화, 용해시켜 저장하는 기술이며, 1996년부터 미국, 캐나다, 유럽연합 등의 선진국에서 이미 석유, 천연가스 개발과 함께 적극적으로 적용되고 있으며, 이는 석유 및 천연가스 회수, 석탄층 메탄가스 회수를 높이는 부가가치 창출에도 효과적이기 때문에 경제적으로도 우수하다고 평가받고 있음
- 지중저장을 위한 적합한 장소로는 퇴적물 부피의 10~30%의 공극(퇴적물 입자 사이의 틈새)을 지닌 암석층과 덮개암이 함께하는 지층구조여야 하며, 압력에 따라 초임계 상태에 가까워져 밀도가 급증하는 CO₂를 특징 때문에 지하 800m이상의 깊이를 지닌 곳이 적합 후보지가 될 수 있음
- 지층 평가 기술, 시추 주입 기술, 거동 예측 기술, 거동 관측 기술, 환경영향 평가 기술 및

사후 관리 기술들이 서로 잘 맞물려야 지중 저장기술의 최대 효과를 낼 수 있음

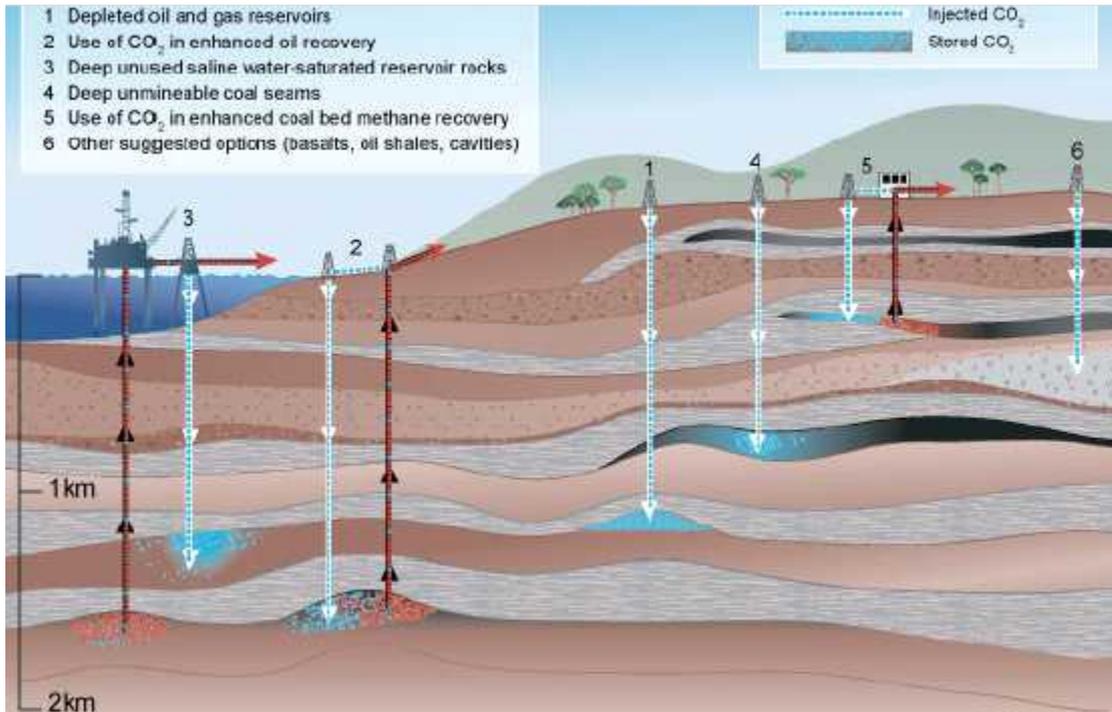


그림 17. CO₂ 지중 저장 방법

- 이산화탄소는 현재 환경문제를 일으키는 대표적 온실가스로, 지구전체 온실가스의 약 77%를 차지하며 합니다. 지구 전체 CO₂ 배출량의 약 45%가 (화력)발전소 및 산업체(제철소, 정유산업체)에서 배출되는데, 에너지부문(발전소)에서 지속적으로 배출되는 CO₂의 양을 직접적으로 감축할 수 있는 온실가스 대응기술은 이산화탄소 포집 및 저장기술(CCS)이 유일하며, CCS를 구성하는 CO₂의 포집, 수송, 저장 기술은 각각 다른 용도로 기존 산업에서 이용되어 왔기 때문에 기술의 실제 적용에 대한 위험성이 낮아 활용 가능성이 매우 높음
- 해양오염을 방지하기 위한 국제협약인 런던의정서는 2006년도에 이미 CCS 사업에 의한 CO₂를 해양지중저장으로 가능한 물질로 규정했으며, IEA(International Energy Agency, 국제 에너지 기구)는 2050년경 CCS 기술이 전 세계 CO₂ 감축량의 19%(단일기술 중 최대)에 해당하는 100억 톤을 CCS 방식으로 처리하게 될 것으로 전망하고 있으며, 이에 따라 세계 여러 나라들은 2020년 이후의 CCS 기술의 보급을 위해서 대규모 사업들을 추진 중에 있음
- 이렇듯 CCS기술은 현재의 화석연료기반적인 경제체제를 유지함과 동시에 온실가스를 직접적으로 감축할 수 있는 현실적인 대안기술로써, 적극적 기술 개발과 투자를 이끌어내며 세계의 주목받고 있음
- 우리나라는 ‘녹색기술 연구개발 종합대책’ 및 ‘녹색성장 국가전략’에서 CCS 기술을 중점 육성기술로 선정한 바 있으며, 한국해양과학기술원(전 한국해양연구원)은 한국석유공사

와 함께 한 해저지층구조 연구결과 동해 울릉분지 남서부 주변 해역 대륙붕에 이산화탄소 50억 톤 가량을 영구적으로 격리저장 가능함

- 이 때 확인된 50억 톤 규모의 저장용량은 2030년에 CCS 방식에 의하여 달성하고자하는 연간 감축 목표량인 3,200만 톤을 기준으로 계산할 경우, 이곳에서만 무려 150년 이상을 저장할 수 있는 규모임
- 지난 2010년 정부가 수립한 ‘국가 CCS 종합추진계획’ 을 보면 2016년부터 CO₂ 포집기술과 연계한 100만 톤급 CCS 실증사업을 2020년까지 실시 후, 상용화한다고 함
- CCS의 확대에는 CCS전체 비용의 약 2/3을 차지하는 CO₂포집비용의 절감이 필수적이며 저비용 포집기술 확보 및 포집장치의 상용화가 필요함
- 우리나라는 2009년 11월 국가 온실가스 중기 감축목표를 2020년 배출전망치(BAU) 대비 30% 감축하는 것으로 확정했고 정부는 CCS 기술을 저탄소녹색성장을 위한 중점육성기술로 선정하고 2020년까지 상용화에 국제경쟁력 확보를 목표로 ‘CCS 종합추진계획’ 과 ‘중장기 CCS기술개발 비전 및 목표’ 를 수립함
- 특히 미래창조과학부는 한국이산화탄소포집 및 처리연구개발센터(KCRC)를 설립하고 ‘한국 CCS 2020 사업’ 을 통해 차세대 CCS기술개발을 지원하고 있으나 기술 수준에 있어서 국내의 포집기술은 부분적으로 세계적 수준이지만 저장이나 대규모 실증에서는 저조한 것으로 평가되고 있음
- 온실가스 감축은 궁극적으로 신재생에너지로의 완전 대체이지만 이전까지는 에너지 절약 및 효율적 이용, 원전 이용 확대와 함께 가장 효과적인 CO₂ 감축 수단으로 평가되는 CCS 기술을 적극 활용하여 CO₂ 배출을 최소화해야 하며 전 세계적으로 대규모 CCS실증이 지연되고 있는 것은 막대한 초기투자과 에너지 효율 저하로 인한 운전비 상승과 함께 세계 경제의 침체 때문으로 보임
- CCS 확대에는 전체비용의 많은 부분을 차지하는 포집비용 절감이 필수적이고, 이는 혁신적인 저에너지 CO₂ 흡수제 및 공정 개발과 이를 적용한 포집장치 공급으로 가능할 것이며 더욱이 2015년부터 탄소배출권거래제 실시가 확실시되고 있는 우리나라는 이를 위해 보다 실효적인 기술개발 지원 및 제도가 뒷받침되어야 함

(한국과학기술정보연구원, 2014)

- 국내 CCS 관련 기술개발은 주로 포집기술에 집중되어 왔으며 지난 10년간 CCS기술 투여된 정부 총 예산 중 약 80%는 포집기술 개발에 투자된 것으로 조사되었음
- 그 결과 포집기술 분야는 선진국 대비 기술 수준이 2000년 45%에서 2007년 84%까지 향상되었으며 또한 포집과 관련된 일부 핵심요소기술은 세계적 수준에 이르게 되었음

- 이처럼 포집기술에 있어 선진국과의 기술격차를 따라잡을 수 있었던 것은 연구개발 투자 시 포집기술에 우선 투자가 이루어졌기에 가능했던 것으로 보임
- 저장기술 분야는 선진국 대비 기술수준이 2000년 36%에서 2007년 60%로 비교적 낮은 성장률을 보였으며 경상분지, 울릉분지 등을 대상지로 하여 이산화탄소 저장을 위한 기초 기술 및 관련 자료 분석을 수행 중에 있음
- 향후 CCS 상용화를 위해서는 저장분야와 관련하여 이산화탄소 저장 잠재량 평가, 저장 실증 등의 추진이 필요한 상황임
- 최근 정부가 대규모 CCS실증 플랜트 상용화 계획을 발표함에 따라 민간부문의 관심도 증대되고 있는 상황이기에 향후에는 정부 차원의 연구개발 뿐만 아니라 민간 참여를 통해 관련 기술개발 및 실증 프로젝트 추진에 노력해야 할 것으로 사료됨

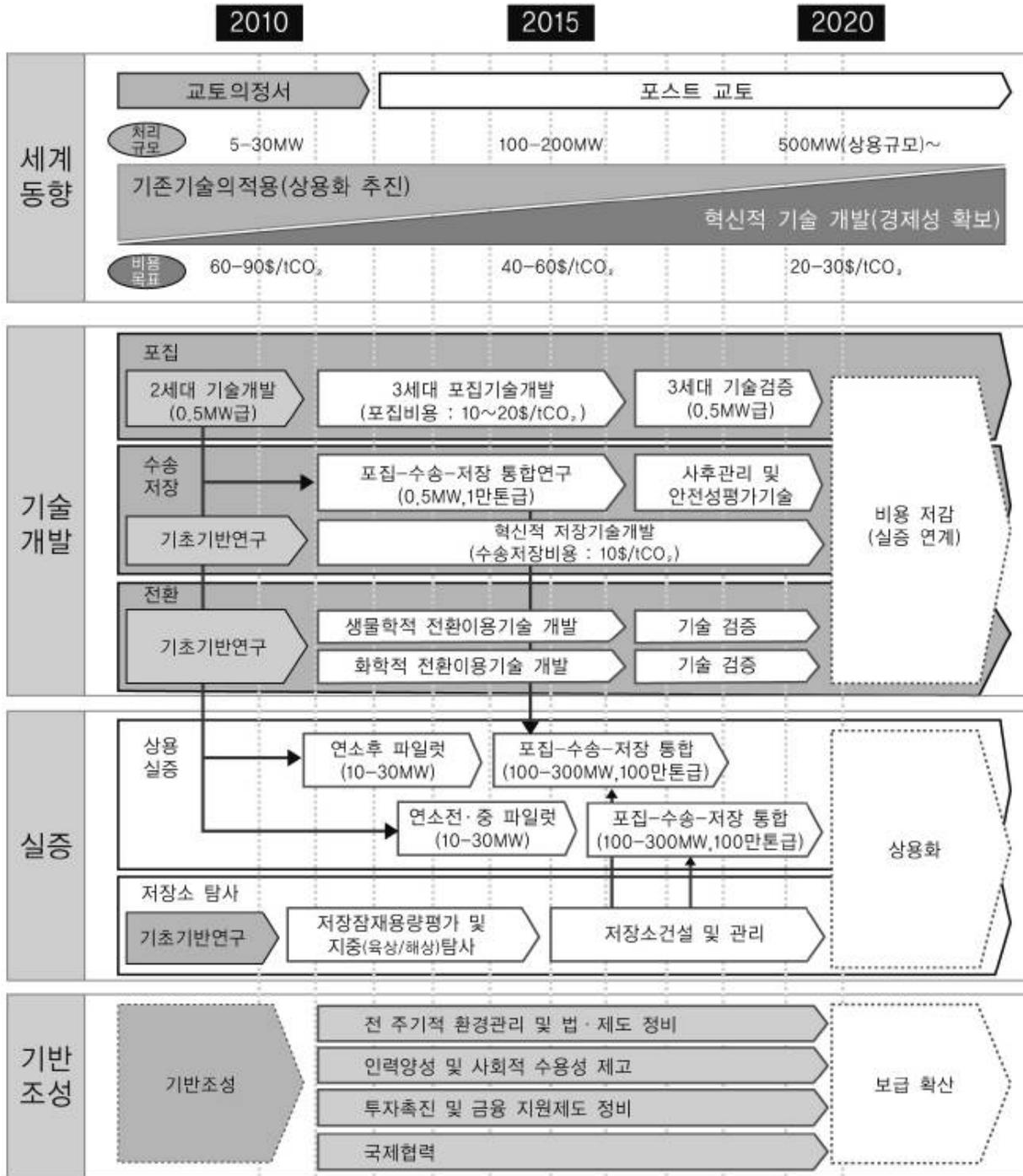


그림 18. 국가 CCS 종합 추진계획 로드맵

(한국농어촌공사 농어촌연구원, 2010)

- 최근 언론 보도에 따르면 울산시가 폐기물 매립가스에 포함된 이산화탄소를 산업자원으로 활용하는 생산 기술을 시범 사업으로 추진하고 있으며, 쓰레기를 매립하면 유기물질이 분해되고 부패하면서 가스가 발생하게 되는데 이 중 35%가 이산화탄소임. 이 이산화탄소로 탄산칼슘을 생산해 플라스틱 제품과 페인트 제지 등 화학제품을 생산하는 데 사용하겠다는 것이며, 그렇게 하면 이산화탄소 배출량과 석유 사용량을 줄일 수 있음

- 생물학적 전환방식은 자연에 존재하는 다양한 생물들이 이산화탄소를 흡수해 자연스럽게 자라도록 하는 방식. 특히 흡수와 생장이 빠른 클로렐라, 플랑크톤 등 미세조류를 활용해 바이오 디젤을 생산하는 방안이 주목받고 있음



그림 19. 울산 성암 생활폐기물 매립장

(출처 : 울산시 자원순환과)

- 많은 양의 미세조류가 이산화탄소를 흡수할수록 이산화탄소 배출량의 순감축 효과는 향상되며, 이밖에 인공광합성 방식을 통해 이산화탄소를 연료로 전환하는 방안 역시 태양에너지와 물, 이산화탄소만으로 연료를 생산할 수 있어 친환경적 미래 기술로 주목받고 있음

1-3. 연구개발 범위

| 구분 | 연도 | 연구개발의 목표 | 연구개발의 내용 |
|----------|------|-----------------------|---|
| 1차 년도 | 2015 | Proto type 설계 및 제작 | <ul style="list-style-type: none"> - CO 포집장치에 이용할 분리막 선정을 위한 자료분석 - 멤브레인 기술을 이용하여 부담면적을 고려하고 적정 용량을 선정한 CO₂ 포집 장치의 Proto type 설계 및 제작 - 축사 내 CO₂ 포집 시 필터링 체계 구축 - CO₂ 순도 분석 - 작물별 생육에 필요한 적정 CO₂ 산정 및 다른 요소들 간 상관관계 검정 - 최적의 공급 시스템 Proto type 설계 및 제작 - CO₂ 압축/이송 장치 Proto type 설계 및 제작 • 현장실증 - 상용규모의 온실에 시스템을 적용하여 재배할 작물 선정을 위한 자료조사 • 경제성분석 - 경제성분석 분석을 위한 다양한 재배환경 조성 |

| 구분 | 연도 | 연구개발의 목표 | 연구개발의 내용 |
|----------|------|----------------------|---|
| 2차 년도 | 2016 | 상용형 설계 및 제작, 수정보완 | <ul style="list-style-type: none"> - CO 포집장치에 이용할 분리막 선정 완료 - CO₂ 포집 장치 Proto type을 토대로 수정·보완한 상용형 설계 및 제작 - 작물별 생육에 필요한 적정 CO₂ 산정 및 다른 요소들 간 상관관계 확립 - CO₂ 공급 시스템 Proto type을 토대로 수정·보완한 상용형 설계 및 제작 - CO₂ 압축/이송 장치 상용형 설계 및 제작 <ul style="list-style-type: none"> • 현장실증 - 상용규모의 온실에 시스템을 적용하여 재배할 작물 선정(딸기 또는 파프리카) 및 대상작물 재배 - 동일규모로 구성된 연구동과 비교동에서 CO₂ 공급 시 작물 생육 비교 조사 <ul style="list-style-type: none"> • 경제성분석 - 다양한 재배환경에서 작물생육 및 경제성 분석 |

| 구분 | 연도 | 연구개발의 목표 | 연구개발의 내용 |
|----------|------|-----------------------|--|
| 3차 년도 | 2017 | 양산형 설계 및 제작, 상용형확정 | <ul style="list-style-type: none"> - CO 포집 장치 상용형 설계를 토대로 최종 양산형 설계 및 제작 - CO₂ 공급 시스템 상용형 설계를 바탕으로 최종 양산형 설계 및 제작 - CO₂ 압축/이송 장치 양산형 설계 및 제작 - CO₂ 포집 및 공급 시스템 확립 - 상용형 A/S 계획 수립 • 현장실증 - 상용규모의 온실에서의 작물재배를 통한 구체적인 데이터 분석 - 동일규모로 구성된 연구동과 비교동에서 CO₂ 공급 시 작물 생육 비교 조사를 토대로 실증 분석 - CO₂ 순도 분석 및 신뢰성 평가 실시 • 경제성분석 - 각 재배환경마다의 경제성 분석 완료 |

2. 연구수행 내용 및 결과

2-1. 1차년도 수행 내용

. CO₂ 포집 장치에 이용할 분리막 선정에 위한 자료 분석

(1) 분리막 기술 현황

- 이산화탄소 포집기술은 CCS 기술 중 전체비용의 80% 차지하는 핵심기술로 연소 전, 순산소 연소, 연소후 포집 기술로 구분됨
- 연소전과 순산소 연소 포집기술은 원천기술 개발 단계이고, 실제 상업화와 기존공정에 도입이 쉬운 연소후 포집 기술이 주목을 받고 있음
- 연소후 포집기술은 흡착, 흡수, 분리막, 심냉법 등이 있으며 다른 포집 방법과 비교해 분리막은 기존의 흡수, 흡착 방법에 비해 설치 및 운전비용이 저렴하고 친환경적인 공정으로 아직까지 화석연료 의존도가 높은 산업에 유리함
- 또한 분리막 공정의 장점은 기체분리를 위한 상변화가 필요하지 않아 에너지 효율이 높고 CO₂의 선택도를 높일수록 분리에 소모되는 에너지가 감소함
- 또한 친환경 공정으로 분리과정과 연계된 유해물질의 배출이나 폐수처리 문제가 매우 미미하고 분리막을 이용한 공정의 연구개발은 1970년대부터 시작하여 기존의 분리기술 중에는 역사가 짧은 편이지만 막의 소재와 특성에 관한 연구는 지금도 활발하게 진행하여 연구되고 있음
- 하지만 실제 적용하는 분리막 공정에서 분리막 소재만으로는 얻을 수 있는 효과가 제한되기 때문에 분리막 공정에 대한 기술개발도 필요함
- 분리막 공정의 기술개발은 단순히 환경문제를 해결할 뿐만 아니라 효율적인 공정 또는 운전의 방법을 도출하는데 의의가 있는데, 예를 들면 공정에 사용되는 단위 장치들을 개선하여 기존보다 적게 에너지를 사용하게 됨으로써 사용연료 대비 배출되는 오염원을 줄이거나 또는 연료는 동일하게 사용하지만 배출되는 오염원을 효과적으로 절감하여 배출하는 방법을 적용시킬 수 있음
- 기체 분리막은 산소, 질소, 수소, 이산화탄소 등 여러 기체의 생산, 분리, 회수에 이용되고

분리막 시장에서 공기를 이용해 질소나 산소를 생산하는 기체분리막이 전체 분리막 시장에 절반 이상을 차지하고 있으며, 보통 질소를 농축하는 질소부화막이 많이 이용됨

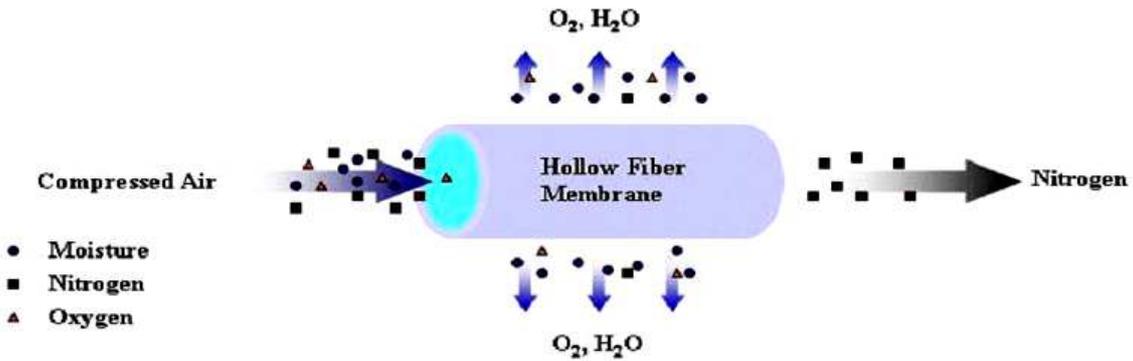


그림 20. 기체 분리 원리 모식도

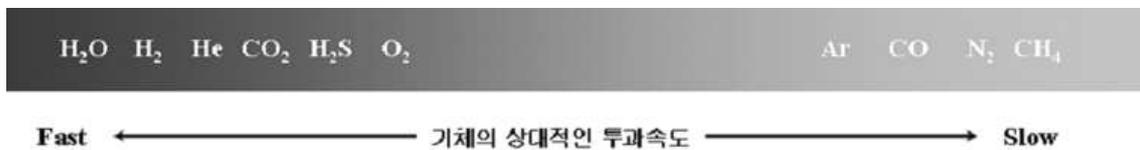


그림 21. 기체의 상대적 투과 속도

- 질소 부화막은 주요 산업에서 산화방지와 방폭 방지의 용도로 사용되고 있으며 화학, 석유화학, 식품산업 등 다양한 분야에 적용되고 있음
- 수소 분리막은 석유화학이나 철강분야의 생산 공정 중 발생하는 수소기체를 분리, 회수의 목적으로 이용되고 있으며 특히 석유화학 공정에서 탈황, 접촉개질, 접촉분해의 여러 공정에서 기체 분리막의 적용이 가능하고, 공정에서 요구되는 수소는 고순도를 필요로 하기 때문에 기체 분리막의 도입을 통해 다른 공정들을 대체할 수 있는 공정으로 예측됨
- 최근에는 천연가스 정제에도 분리막을 이용하여 천연가스 내에 존재하는 여러 성분 가운데 불활성 기체인 질소, 이산화탄소, 헬륨 등을 선택적으로 회수하는데 사용함
- 천연가스 정제에서 이산화탄소 제거 공정은 에너지 소모가 요구되는 공정이고, 대량의 가스를 처리하기 때문에 투자비나 조업비의 작은 차이에도 처리공정을 선택하는 중요한 요소임
- 분리막은 기존의 분리 공정에 비해 에너지 소모가 적고 친환경적이기 때문에 많이 활용되고 있는 추세임
- 기체 분리막을 이용한 이산화탄소 분리 공정은 흡수, 흡착공정에 비하여 에너지 효율이 뛰어

, 환경 친화적인 청정공정이며, 소형 분리 설비 및 그 운영이 매우 단순하다는 점 등의 측면에서 많은 장점을 가지고 있음

표 9. 분리막 재료에 따른 기체 투과량

| Membrane Materials | Temp (°C) | Permeability, $P \times 10^{10}$ | | | P_{CO_2}/P_{N_2} | P_{O_2}/P_{N_2} |
|------------------------------------|-----------|----------------------------------|----------------|----------------|--------------------|-------------------|
| | | CO ₂ | N ₂ | O ₂ | | |
| polydimethylsiloxane | 25 | 3240 | 300 | 605 | 10.8 | 2.0 |
| poly(4-methylpentene-1) | 25 | 93 | 3.83 | 32 | 24.3 | 8.4 |
| Ethyl cellulose | 25 | 113 | 4.43 | 15 | 25.5 | 3.4 |
| low density polyethylene | 25 | 12.6 | 0.97 | 2.89 | 13.0 | 3.0 |
| polysulfone | 25 | 5.39 | 0.19 | - | 28.4 | - |
| Cellulose acetate | 30 | 22.7 | 0.28 | 0.78 | 81.1 | 2.8 |
| high density polyethylene | 25 | 3.62 | 0.143 | 0.41 | 25.3 | 2.9 |
| polyvinylidene chloride | 25 | 0.029 | 0.001 | 0.005 | 29 | 5 |
| poly(acrylonitrile) | 25 | 0.0018 | - | 0.0003 | - | - |
| poly(vinyl alcohol) | 20 | 0.0005 | 0.00045 | 0.00052 | 1.1 | 1.2 |
| poly(2,6-dimethyl phenylene oxide) | 25 | 75 | 3.0 | 15 | 25 | 5 |
| poly tetrafluoroethylene | 25 | 12.7 | - | 4.9 | - | - |
| polystyrene | 20 | 10 | 0.32 | 2.01 | 31.3 | 6.3 |
| Butyl rubber | 25 | 5.2 | 0.33 | 1.30 | 15.8 | 4.0 |
| Cellulose acetate | 22 | - | 0.14 | 0.43 | - | 3.1 |
| Nylon 6 | 30 | 0.16 | - | 0.038 | - | - |

- 이런 기체 분리막은 소재에 따라 고분자 분리막, 무기막, 액막으로 분류되는데 이 중, 고분자 분리막은 이산화탄소에 대한 투과도와 선택도가 우수하며 분리막을 쉽게 제조할 수 있는 장점을 가짐
- 산업 배기가스로 부터 CO₂의 제거를 위한 환경 친화적이며 에너지 효율적인 기술개발에 있어서 고분자 기체 분리막은 온실효과에 대한 해결책에 근접해 있음
- 고분자 기체 분리막 소재로는 폴리술폰, 폴리에테르술폰, 폴리에테르이미드, 폴리디메틸실록산, 셀룰로오스 아세테이트, 셀룰로오스 트리아세테이트 등 여러 가지가 있음
- 특히 셀룰로오스계 고분자는 천연가스로부터의 CO₂의 분리, 바이오 가스 중 메탄가스의 농축분야에 적용 가능한 중요한 분리막 소재임
- 또한, 셀룰로오스계 고분자는 분리막 제조에 있어서 가격은 저렴하며 분리 특성은 매우 우수한 특징을 가지고 있음에도 불구하고, 대부분의 연구는 기체분리보다는 수처리 분야에 대하여 많은 연구가 진행되었음

(2) 모듈 기술

(가) 나선형 모듈 (Spiral Wound Type Module)

- 나선형 모듈은 입구가 한쪽인 봉투와 같은 형태의 평막 사이에 생산수가 흐를 수 있는 공간을 두었으며, 막과 막 사이에는 Mesh Space를 두어 원수가 흐를 수 있도록 하였음
- 막과 막의 표면사이에 Polypropylene 재질의 메쉬 스페이서를 삽입하여 와류 증대시켜 물질전달 촉진시키고 농도 분극 감소시킴
- 공급수가 각각의 모듈을 지나는 동안 분극 현상이 점차 증가로 압력 저하되고, 불리 구동력 감소 원인이 됨
- 즉 Module은 2장의 평막 사이에 통수가 가능한 지지체를 넣고 막의 외면에는 그물형태의 Spacer를 적층시킨 후 RollCake형태로 말아서 만듦

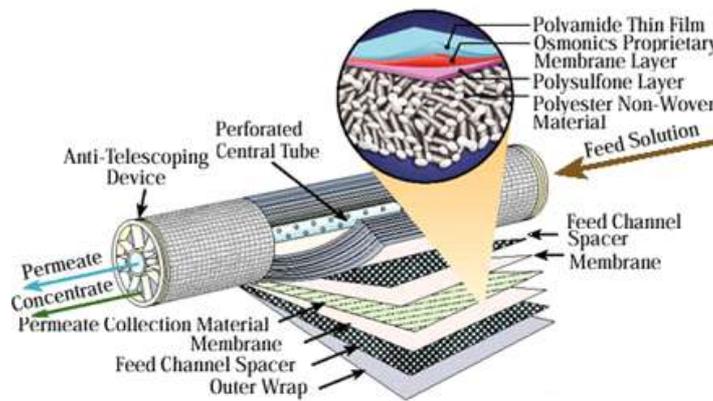


그림 22. 나선형 모듈 모식도

- 실제 공정에서 사용하는 경우에는 모듈을 압력베셀에 2~6개를 직렬로 연결하여 사용함
- Spiral-wound module은 가장 간단하고 가격이 싸기 때문에 가장 많이 사용됨
- 나선형 시스템은 중공사형만큼 촘촘하지는 못하지만 형태가 정해져 있지 않아 여러 가지 환경과 공정에 다양하게 적용할 수 있음

() 중공사형 모듈 (Hollow-Fiber Type Module)

- 중공사형 모듈은 pressure vessel속에 빈공간이 있는 섬유성 실을 수 천개에서 수 만개씩 배열시킨 형태임
- 중공사 모듈의 투과 방식은 막 내측에 유입하는 내압식과 막 외측에서 원수를 유입하는 외압식이 있음
- 중공사형 막은 사람의 머리카락보다 직경이 작은 매우 미세한 방향성 폴리아미드로 만들어 지는데 섬유는 표면 위에 0.1~1 μm 사이의 매우 얇고 촘촘한 층을 가지는 비대칭적인 것인 반면, 외층아래는 상대적으로 두꺼운 20~30 μm 다공성층이 존재



그림 23. 중공사막 모듈 구조

- 따라서 중공사형 막은 자기 지지형이며 두꺼운 벽을 가진 실린더와 유사하며 외경과 내경의 비가 2:1정도가 되는 중공사는 파괴 없이 높은 운전압력을 견딜 정도의 강도를 갖기 때문에 다른 시스템과 비교하여 극도로 뻑뻑하게 주어진 부피를 채울 수 있음
- 소규모의 RO장치에서는 관형의 외압형 모듈을 사용하는 것이 가장 바람직하며 대형화 할수록 단위 용적당 투과량이 큰 중공사형을 사용하는 것이 적합하다 판단됨
- 단위 부피당 막 면적이 넓어 처리액의 점도가 높지 않거나 sludge형성이 적은 물질을 분리하는 데는 성능 우수
- 막 내부 유로폐색을 일으킬 수 있으므로 철저한 전 처리 필요 (고농도 현탁 물질에 오염 용이)
- 제작이 용이하고 경제적인 system으로 매우 큰 fiber 막 면적을 가짐

() 관상형 모듈 (Tubular Module)

- 관상형 모듈은 내압 용기 안에 파이프 형상의 분리막 element를 여러 개 모아 놓은 형태
- 분리막 element 란 파이프 형태의 다공질 지지관의 안쪽에 분리기능을 갖는 분리막을 고정시키는 개별 파이프 형태로 대부분 내압식으로 운전하며 스폰지볼 세정
- Tubular module은 다른 module 형식에 비해 공급액 유로 입구가 크고 공급액의 유속을 크게 할 수 있는 구조로 됨



그림 24. 관상형 모듈 구조

- Tubular module은 good fluid hydrodynamics로 인한 fouling의 저항성이 크다는 장점이 있어서 비용이 높다는 문제를 극복하고 있지만 일반적으로 U/F에만 적용되고 있음
- 관형 시스템에서의 막은 직경 12~25mm의 고압에서 견딜 수 있는 다공성 튜브 내에 위치함
- 거대 입자만을 제거하는 정도의 단순한 전 처리만으로 막의 운전이 가능함
- Module 구조가 간단하므로 막 교환이 용이함 (막 교환 비용이 째)
- 막 면적 대비 장치용량이 크기 때문에 설치공간이 많이 필요하며 보통 높은 유속으로 운전하므로 에너지 소비가 많음
- 충전밀도 작으나 유로단면 커서 고농도의 현탁 입자 함유한 액체 적용 가능

() 평판형 모듈 (Plate & Frame Type Module)

- 각 모듈 간격 조절 가능하며, 고농도의 현탁 물질 함유한 원수 적용 가능하며 여과 면적을 넓게 하기 위하여 부채 형태로 접기도 함
- 평판형 module은 지지판의 양면에 평막을 붙인 것이고 작은 공간을 경계로 일정한 간격으로 층을 이루어 모듈화한 것임



그림 25. 평판형 모듈 구조

- 현재는 일반적으로 electrodialysis, pervaporation system 또는 small ultrafiltration과 R/O system에 제한되어 사용하고 있음
- R/O system이 적용되는 것은 보통 수평형 배열식을 쓰며, UF system에는 수직형 배열식을 사용함
- 분해 조립이 가능하여 세정이 용이하며 각각의 평막 자체만 교체가 가능함

(마) 모노리스형 모듈 (Monolith Type Module)

- 유기막과 무기막이 있으며 충전 밀도는 작으나 유로면적이 커서 고농도 현탁 물질을 함유한 원수에 적용 가능

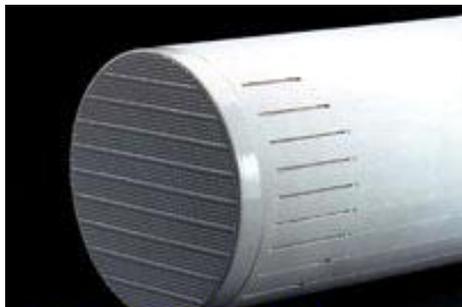


그림 26. 모노리스형 모듈 구조

(3) 분리막 선정 (중공사막 모듈)

- 고분자 막은 40~60°C에 적당하므로 고온용 소재와 제조방법이 필요하며 막의 선택도 역시 목표 순도에 비해 너무 낮기 때문에 기존의 O₂/N₂/CO₂/CH₄보다 높은 CO₂/N₂ 선택도 소재를 개발해야 하며, 연소 후 CC분리 막 공정은 대용량 배기량에는 경쟁력이 없으므로 모듈화해야 함
- 100만m₂/hr 이상의 모듈로 천연가스 처리에 적용하고 있으며 극저온 순 산소연소에 분리 막 적용은 경쟁력이 있음
- 물리적 기체분리막은 화학반응이 전혀 없이 이미 산업에 적용하고 있으며, 고분자는 상반되는 선택도와 투과도를 적당히 조절하는 방법이 체계적으로 이루어지고 치밀 고분자의 막 분리원인은 용해-확산모델로, 가스의 확산계수 비와 용해도 비는 운동력과 열역학으로 밝혔음
- CO₂/N₂의 최대 선택도 70~80은 경험치와 이론적 전산치가 동일하였으며 이는 대기압에서 기액 흡수공정의 CO₂/N₂와 같은 정도였고 단일 막에 의한 75의 선택도에서 0.8의 포집 비, 0.9의 순도는 불가능하지만 가스분리 막 공정에서는 2단으로 가능하나 막의 표면적 한계 때문에 막의 투과도를 증가시켜야 하며, 50의 선택도, 1000GPU의 투과도에서 막의 CO₂/포집비용은 \$23/t-CO₂로 추정되었음
- 중공사막은 단위부피당 면적이 다른 형태의 막에 비해 크며 상용화된 중공사막은 대개 0.5μm 보다 얇은 두께를 가지는데, 이는 1barrer의 막 투과도로부터 6.7·10⁻¹⁰mol / m² × s × Pa 의 기체 흐름을 가능하게 함
- 분리막을 사용한 CO₂ 분리공정에서 유입된 기체는 막의 한쪽 방향으로 들어와 막의 다른 방향으로 투과되며, 기체의 높은 확산계수로 인하여 정상 방향에서 막의 표면까지의 기상의 농도 구배는 매우 작으므로, 막 저항과 비교되는 기체의 막 저항은 무시될 수 있어 이것은 막 내부에서 기체의 막 저항은 일정함을 의미

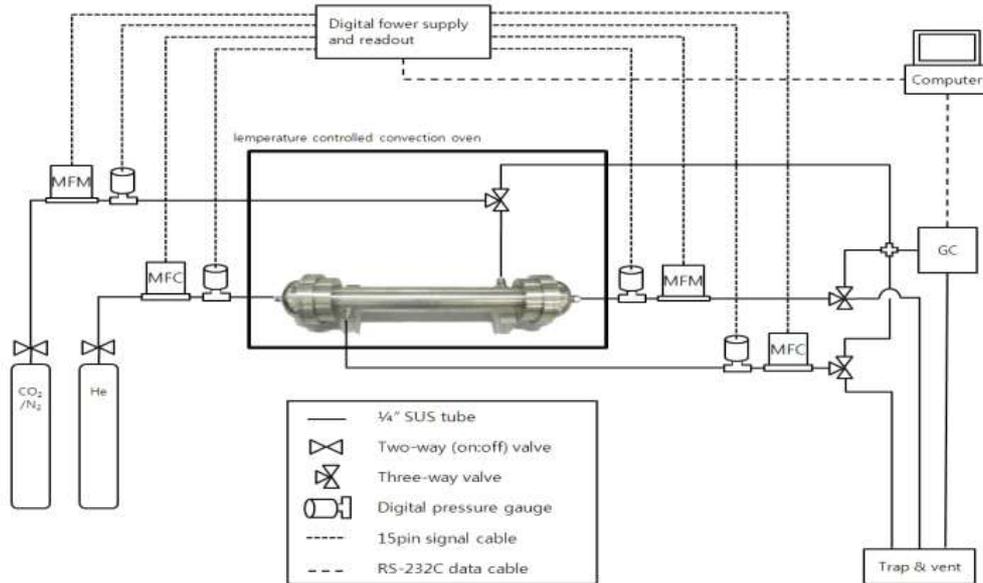


그림 27. 기체 분리막 투과 개략도

· 멤브레인 기술 이용 CO₂ 포집 장치 및 공급 장치 Proto type 설계 및 제작

- CO₂ Prototype에는 멤브레인 기술 중 만들기 쉽고 경제적인 시스템인 중공사 분리막으로 제조하였음

(1) 멤브레인 시스템 구성

- 농업시설 (축사)내 이산화탄소의 포집 하고 이를 압축하여 저장 및 공급 시스템 구축
- 축사에 간편하게 설치가 가능한 시스템을 구성하여 범용성이나 호환성을 증대 시킬 수 있는 타입으로 설계 및 제작하였음
- 시스템의 구성과 축사 내에 존재하는 혼합기체가 메인 컴프레서에 의해 압축되어 공기 탱크내로 이동함
- 드라이어를 통해 압축된 혼합기체에서 수분을 분리해 내고 기체를 냉각함
- 드라이어를 통하여 수분이 제거된 기체는 특정 기체를 분리해내는 멤브레인 필터부를 통하게 되며 이산화탄소를 분리함
- 분리된 이산화탄소를 압력으로 조절하는 유량계를 통하여 일정한 압력이 조절된 이산화탄소를 저장함

- 압축저장이 가능한 리시브탱크로 이산화탄소를 저장함

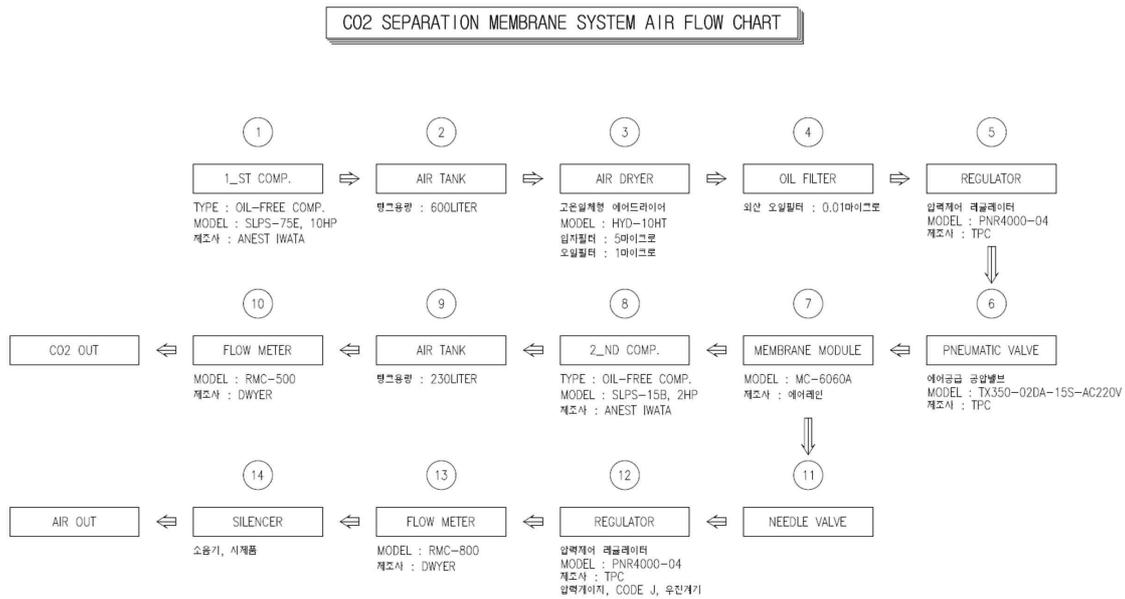


그림 28. 이산화탄소 분리 멤브레인 시스템의 개요

- 시스템의 각 부분을 설명하면 ①의 1번 컴프레서(10HP)는 온실 가스를 압축하여 공급하고 ②의 1번 에어 탱크(600리터)에 압축된 공기를 저장하며 ③의 에어 드라이어에서 압축된 온실가스를 건조시켜 수분을 분리해냄
- 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
- 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

(2) 시스템 설계 및 제작

- CO₂ 포집 시스템은 가스 포집부로서 이산화탄소를 압축함과 동시에 수분을 제거해 주는 컴프레서, 압축된 온실 가스를 건조시키는 드라이어 및 이산화탄소를 분리해내는 멤브레인 모듈로 구성함

- 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 구성하였음

표 10. 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 |

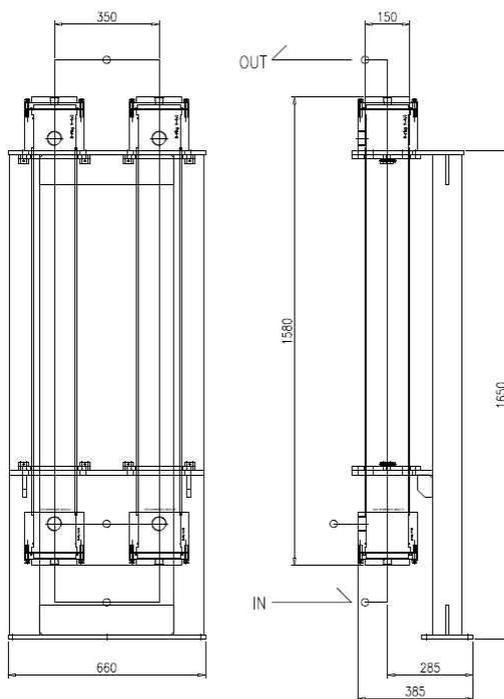


그림 29. 멤브레인 모듈 설계 및 제작



그림 30. 멤브레인 모듈 내 공급 및 이송 라인

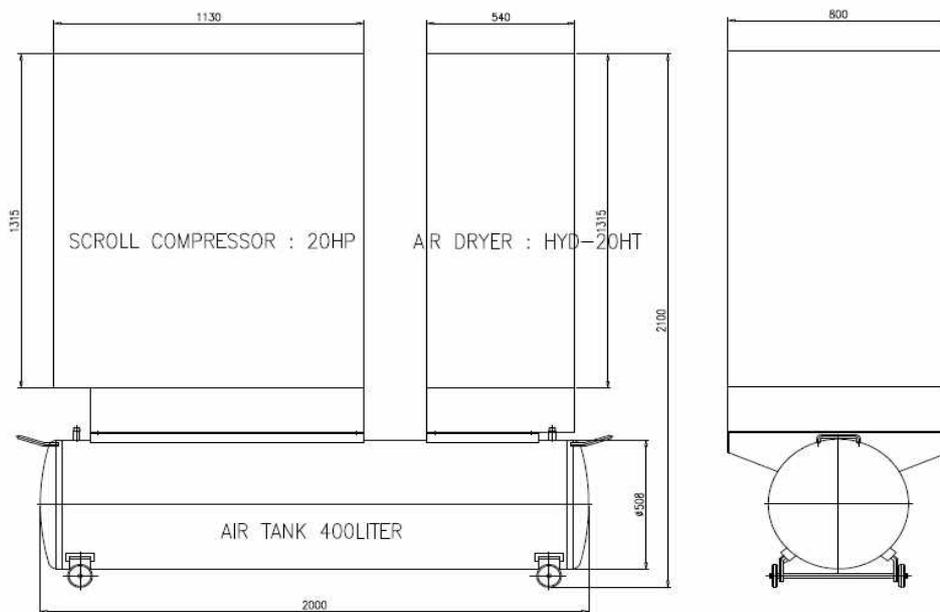


그림 31. 컴프레셔와 드라이어의 설계



그림 32. 컴프레셔와 드라이어의 제작

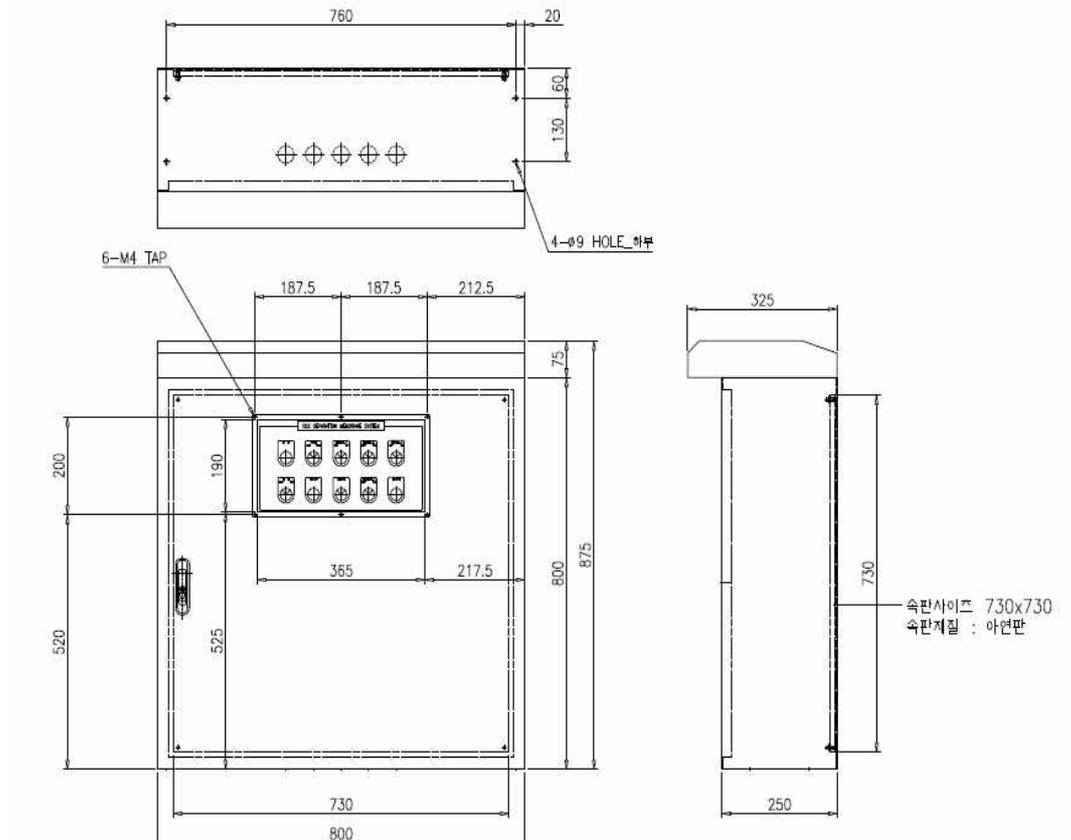


그림 33. 이산화탄소 포집 장치 콘트롤 시스템의 설계

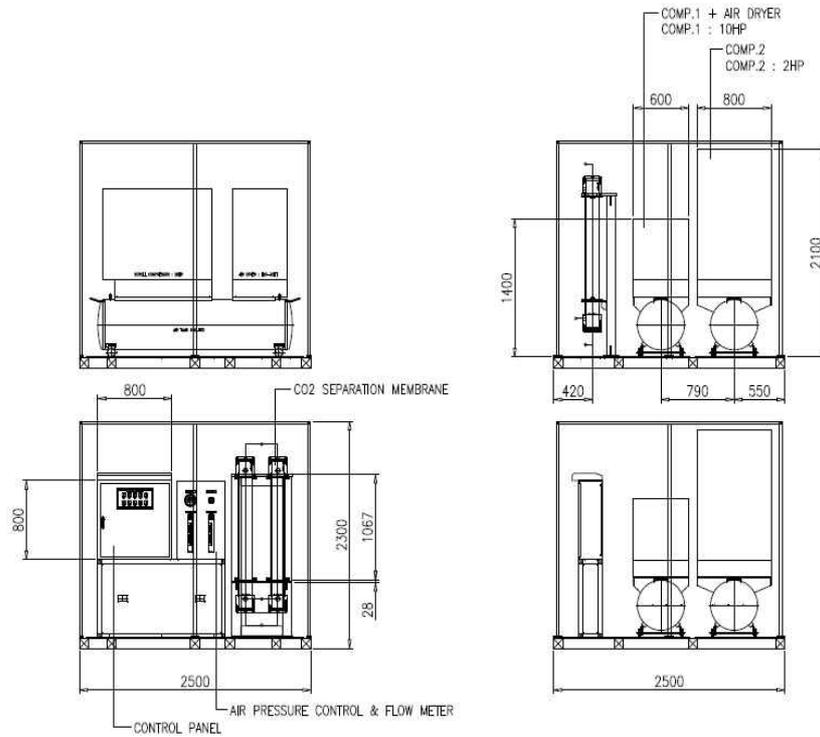
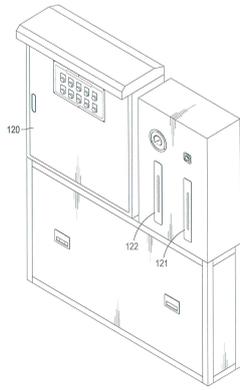


그림 34. 이산화탄소 포집 장치 콘트롤 시스템

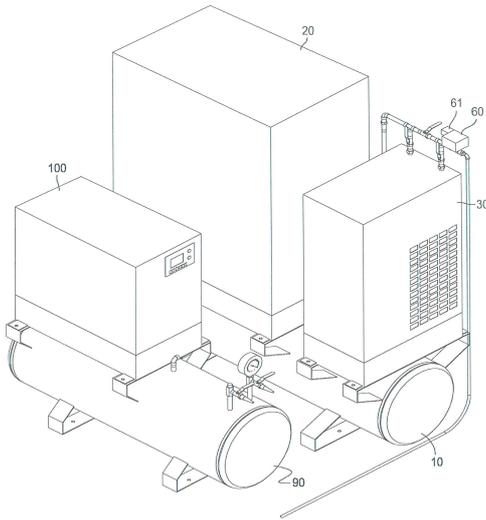


그림 35. 멤브레인 시스템 설계 도면 및 Proto type 제작

. CO₂ 압축/이송 장치 Prototype 설계 및 제작

- 농가이송을 위한 방법으로 가압형 pipe-line과 압축용기의 개발을 통한 이송방법을 제시하고자 함

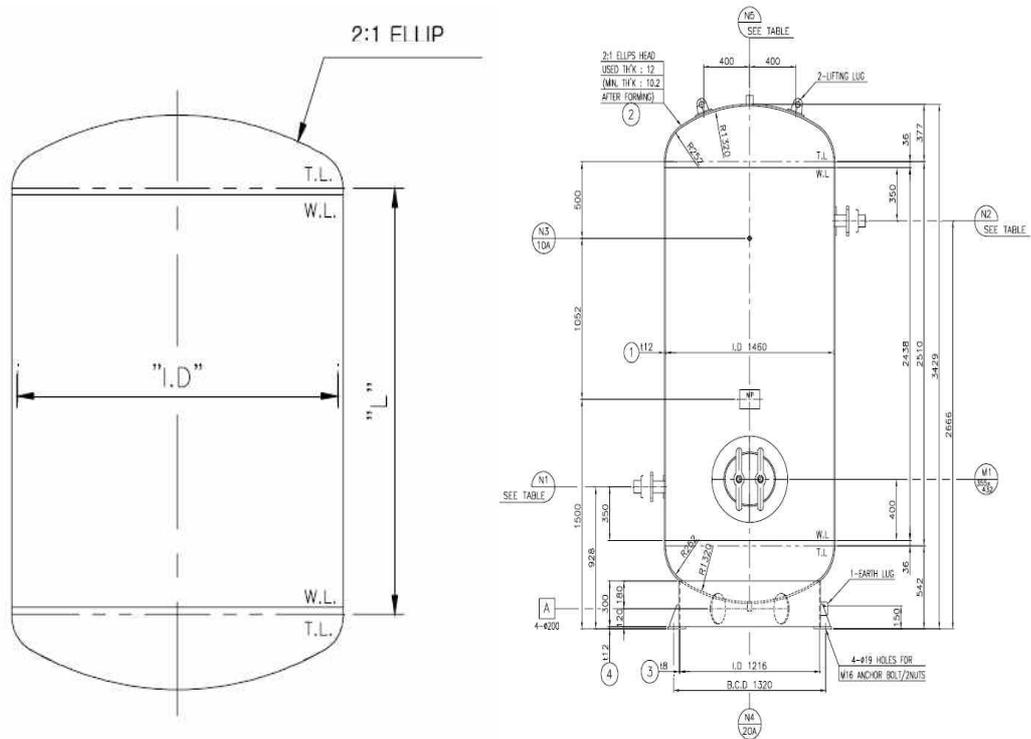


그림 36. 압축 용기 및 이송장치 컨트롤러

- 특히 압축용기의 경우, CO₂ 발생 지역에서 포집할 5,000~6,000ppm의 CO₂를 6~7bar로 압축하여 5~10m³ 규모의 압축용기에 저장하면 1ha규모의 온실에 공급 가능할 것으로 판단되므로, 적정 설계 및 용량 산정을 통하여 5~10m³ 규모의 이동 가능형 압축용기 제작을 추진하였음

. 축사 내 CO₂ 포집 시 필터링 체계 구축

- 내에는 CO₂ 뿐만 아니라 다량의 가스 상 물질 및 먼지가 포함되어 있으므로 이를 포집 후 필터링하여 순도 높은 CO₂를 저장할 수 있는 체계를 구축할 필요가 있음
- 체계 구축을 위하여 포집 기술과 필터링 기술을 분리하여 연구 개발함

(1) CO₂ 포집 기술

- 축사 내에서 발생하는 CO₂를 포집하기 위해 축사 내 덕트를 설치하여 고농도의 CO₂ 및 먼지, 가스 상 물질이 포함된 공기를 포집함
- CO₂의 경우 다른 기체에 비하여 무겁기 때문에 축사 바닥에 덕트를 설치하여 포집

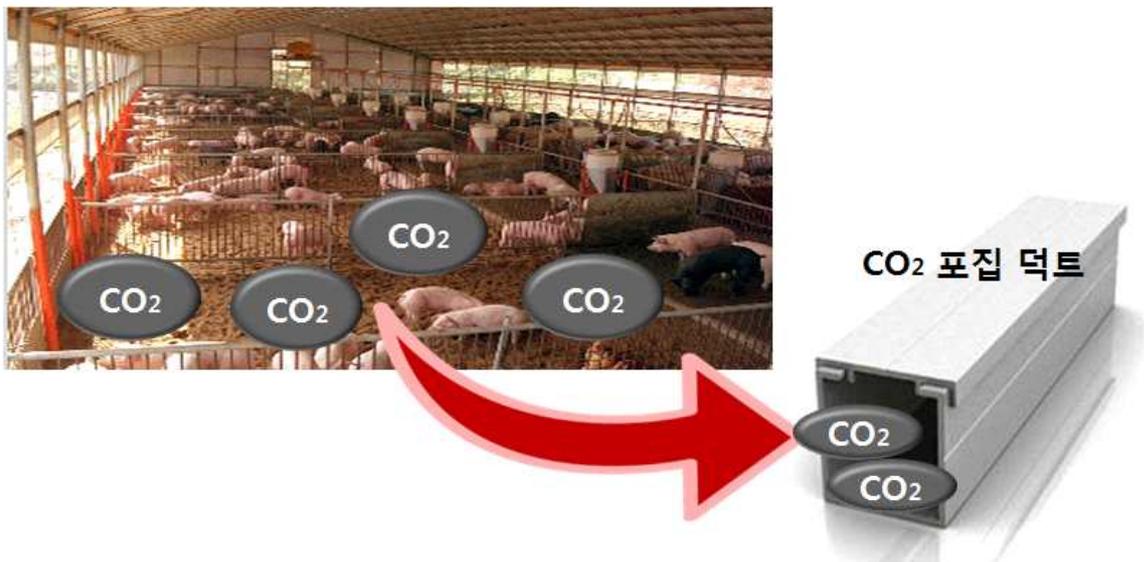
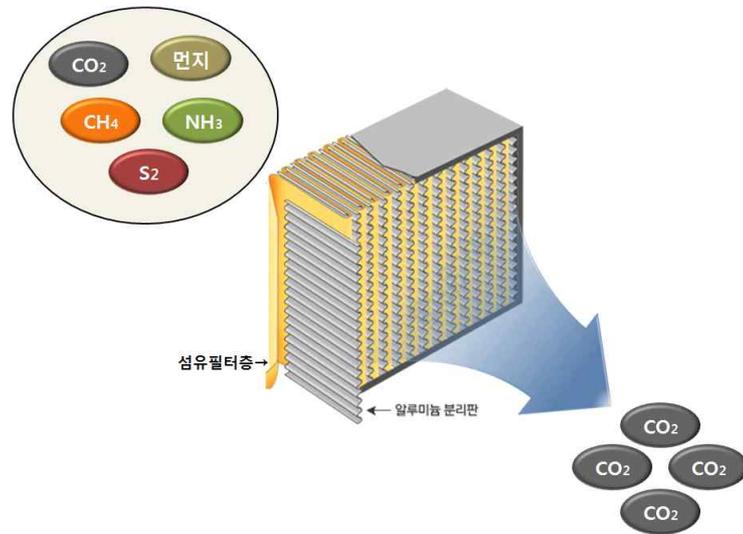


그림 37. CO₂ 포집 기술

(2) 축사 내 공기 필터링 기술

- 덕트를 통해 포집된 축사 내 공기는 부유먼지 등 각종 이물질이 존재하므로 공기 중에서 적절한 필터를 사용하여 분리하여야 함



38. 축사내 공기중 CO₂ 필터링 기술

(가) 공기 필터의 종류 분석

① 프리 필터 (PRE-FILTER)



- 대기 중의 오염물질 중 사람이 눈으로 볼 수 있는 가장 큰 입자들만 제거하는 초급 필터로 주요 재질은 부직포임
- 효율 : 중량법 80%
- 차압 : 7 ~ 8mmAq
- 제거 입자 : 10 μ m 이상
- 교체 주기 : 통상 2~3개월 (세정하여 사용 가능)
- 프레임 : 알루미늄

② 미디움 필터 (MEDIUM FILTER)



- 프리 필터에서 걸러주지 못하는 미세먼지를 제거하는 중급 필터로 MICRO GLASS FIBER (미세 유리섬유)로 구성
- 효율 : 비색법 65~95%
- 차압 : 15mmAq
- 제거 입자 : 0.3 μ m ~ 10 μ m
- 교체 주기 : 통상 6개월
- 프레임 : GALVANIZEED STEEL

③ 백 필터 (BAG FILTER)

- 효율등급은 미디움 필터 범주에 해당하나 여과지의 절곡 방식이 일반 미디움과는 달리

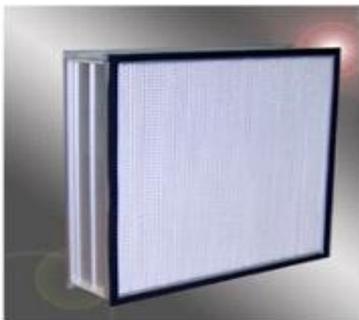
POCKET 구성되어 있으며 재질은 일반적으로 GLASS FIBER (유리섬유)와 SYNTHETIC FIBER (합성섬유) 두 종류임



- 효율 : 비색법 65~95%
- 차압 : 15mmAq
- 제거 입자 : 0.3 μ m ~ 10 μ m
- 교체 주기 : 통상 6개월
- 프레임 : GALVANIZEED STEEL

④ 헤파 필터 (HEPA FILTER)

- 프리, 미디움 필터에서 걸러주지 못하는 초 미세먼지를 제거해주는 고성능 필터로 간혹, 미디움 필터의 후단에 설치하는 경우도 있으나, 주로 클린룸 내의 천정에 설치되어 청정 공기를 통과시켜 주며, 공기 조화 시스템에서 가장 중요한 역할을 하는 필터로 재질은 역시 MICROGLASS FIBER (초미세 유리섬유)이나 미디움에 비해 훨씬 고밀도 고집적 구조 보유



- 클린룸 시스템에 따라 크게 일반 헤파 필터와 FFU용 헤파 필터로 나뉨- 효율 : DOP 99.97%
- 차압 : 25.4mmAq
- 제거 입자 : 0.3 μ m
- 교체 주기 : 1~1.5년

⑤ 울파 필터 (ULPA FILTER)



- 클린룸 내 고 청정도 클린룸에 쓰이며, 보통 반도체, 전자부품공장, 클린부스, 클린벤치에 주로 사용됨
- 효율 : DOP 99.97%
- 차압 : 25.4mmAq
- 제거 입자 : 0.1 μ m
- 교체 주기 : 1~1.5년

(나) 공기 필터 선정 (헤파 필터)

- 필터의 효율이 높고 교체 주기가 길며, 제거 입자 효율이 높은 헤파 필터와 울파 필터가 적합한 것으로 판단됨
- 성능적인 면에서는 큰 차이가 없으나 경제적인 면에서 더 효율적인 헤파 필터를 선정함

. CO₂ 농도 분석

- CO₂는 휴대용 CO₂ 측정기(TSI 7525 Indoor Air Quality Meter, TSI, USA)를 이용하여 측정
- CO₂는 돈사의 중앙 지점을 중심으로 상, 하, 좌, 우, 앞, 뒤 총 7지점을 측정함
- 돈사 내부 CO₂는 약 3,500~4,000 ppm의 농도로 매우 높게 측정되었음

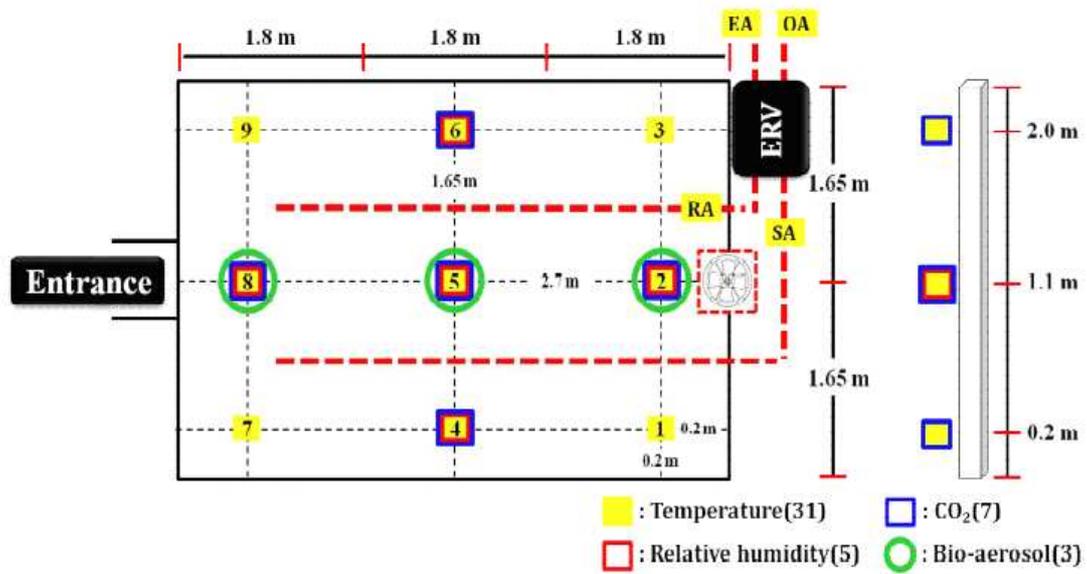


그림 39. 돈사 내부 CO₂ 측정 위치



그림 40. 돈사 내부 CO₂ 측정 모습

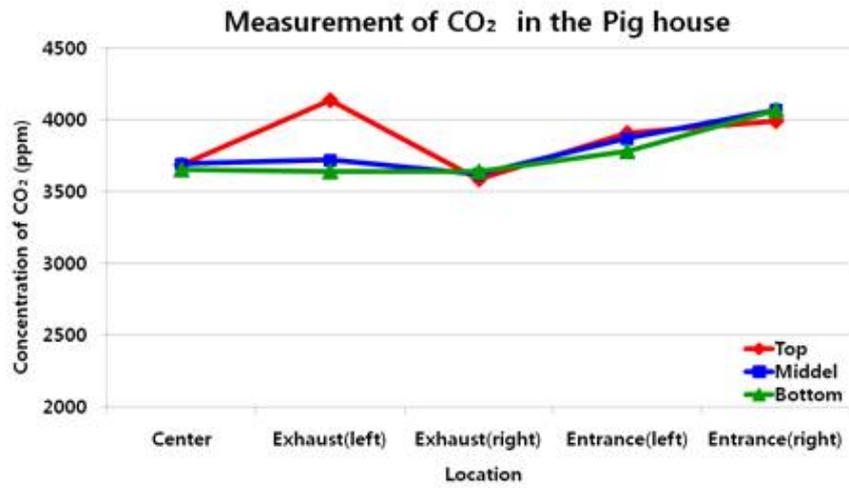


그림 41. 돈사 내부 CO₂ 측정 결과

· 작물별 생육에 필요한 적정 CO₂ 산정 및 환경 요소 조사

(1) 생육에 미치는 적정 CO₂ 농도 및 공급량

- 시설하우스내의 CO₂ 환경은 시간에 따라 이산화탄소의 농도 변화가 심하게 일어나는데, 아침에 해가 뜨고 광합성이 시작되면 이산화탄소의 농도는 서서히 낮아지기 시작하고, 밤에는 식물호흡과 토양호흡(토양 미생물의 분해활동)에 의해 농도가 높아짐
- 이산화탄소의 농도가 높아질수록 광합성 속도가 증가하나 CO₂ 포화점에 도달하면 더 이상 광합성 속도가 증가하지 않으므로, 적절한 CO₂ 공급량을 결정하여야 함
- 하우스내의 이산화탄소의 농도 분포는 바람이 없거나 적기 때문에 상하좌우 위치에 따라서 농도가 달라지며, 작물의 생육이 왕성한 잎과 줄기 주변의 농도가 특히 낮아짐
- 따라서 적절한 CO₂ 공급과 순환에 의해 CO₂ 농도를 일정하게 유지하는 시스템이 필요함

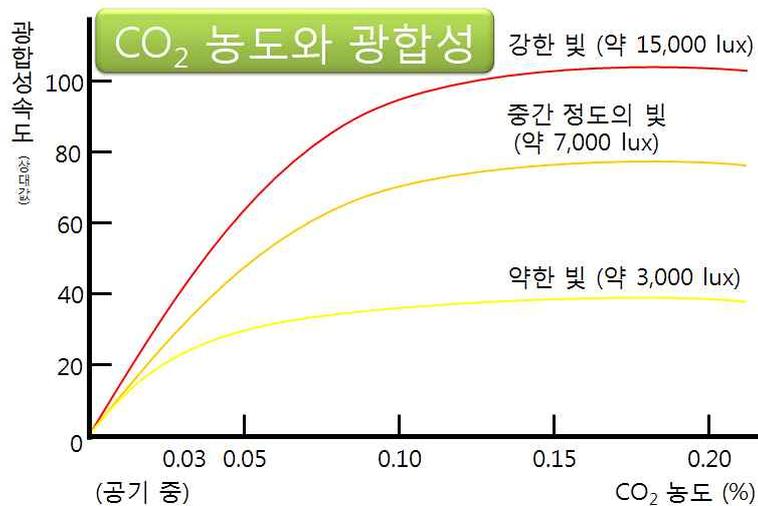


그림 42. CO₂ 농도와 광합성과의 상관관계

표 11. 원예작물의 하우스시설 내 적정 이산화탄소 농도

| 구 분 | 이산화탄소 최적 농도범위 (ppm) |
|---------------------|---------------------|
| 엽 채 류 | 1,500 ~ 2,500 |
| 근 채 류 | 1,000 ~ 3,000 |
| 과 채 류 | 500 ~ 1,500 |
| 오이, 피망, 가지, 강낭콩 | 800 ~ 1,500 |
| 토마토, 멜론, 딸기 (완숙과채류) | 500 ~ 800 |

- 시비는 일사량이 충분한 오전에 효과가 높으며, 비오는 날은 이산화탄소의 시비가 필요 없으며, 흐린 날은 맑은 날의 적정 이산화탄소 농도보다 약 30-40% 낮은 농도의 이산화탄소를 공급함
- 이산화탄소 농도에 따른 작물의 생산량 변화는 하우스내의 이산화탄소 농도를 350ppm 기준으로 하여, 750ppm일 경우 30%의 생산량이 증대되고, 350ppm보다 낮은 250ppm인 경우 생산량이 약 20% 감소함

(2) 시설 재배 시 환경 요소 조사

- 온실 환경을 제어하기 위해서는 시설 원예 작물의 5대 생장요인인 광, 온도, 습도, CO₂, 공기 유통에 대한 물리적 특성에 대한 충분한 이해가 필요할 뿐만 아니라 이들 요인의 상호관계를 이해하고 현장에 적용시키는 것도 필요함
- 예를 들어 온실 환경 제어에 크게 영향을 주는 온도와 대기습도의 관계, 광도와 생산량, 광도와 식물체의 온도, 온도와 습도, 온습도와 병원균의 관계 등 작물의 생육과 생산물의 품질에 미치는 영향을 현장에 응용할 수 있어야만 지속적인 고품질 농산물을 생산할 수 있음

(가) 온도

- 시설 내 온도는 주간에 높으나 해가 지면서 급강하하고, 해가 뜨면서 온도가 상승함
- 온실 내 온도 관리는 해가 뜨면서 광합성을 시작하지만 온실의 온도는 광합성에 적당한 온도에 도달되지 않으므로 1-2시간 정도 예비 가온을 하고, 해가 떠서 광량이 충분하면 광합성을 최대한 높일 수 있도록 온도를 적당히 유지해야 함

표 12. 과채류 작물별 온도지표

| 작 물 | 육 묘 | | 본 포 | | | | | | |
|-------|-------|-------|----------|-------|---------|----------|----------|-------|----------|
| | 주간 | 야간 | 주간 (°C) | | 야간 (°C) | | 지온 (°C) | | |
| | 적온 | 적온 | 최고 한계 | 적온 | 적온 | 최저 한계 | 최고 한계 | 적온 | 최저 한계 |
| 토마토 | 20-25 | 10-18 | 35 | 20-25 | 8-13 | 5 | 25 | 15-18 | 13 |
| 가지 | 25-30 | 15-20 | 35 | 23-28 | 13-18 | 10 | 25 | 18-20 | 13 |
| 파프리카 | 25-30 | 0-15 | 35 | 25-30 | 15-20 | 12 | 25 | 18-20 | 13 |
| 오이 | 22-25 | 7-12 | 35 | 23-28 | 5-10 | 8 | 25 | 18-20 | 13 |
| 수박 | 25-30 | 0-18 | 35 | 23-28 | 13-18 | 10 | 25 | 18-20 | 13 |
| 온실 멜론 | 25-30 | 18-22 | 35 | 25-30 | 3-18 | 15 | 25 | 18-20 | 13 |
| 참 외 | 25-30 | 17-22 | 35 | 20-25 | 5-10 | 8 | 25 | 15-18 | 13 |
| 딸 기 | 20-25 | 15-20 | 30 | 20-28 | 8-13 | 5 | 25 | 15-18 | 13 |

(나) 습도

- 1m³의 공기의 무게는 대략 1.2kg이며, 온실 면적 m²당 공기는 약 5.1kg 정도 존재
- 물리어 다이어그램은 습도와 온도의 관계를 보여주는데, 20.3°C 온도에서 절대 습도(AH)가 15g/m³일 때, 수증기의 최대량은 60g/m³이며 이는 작물의 증산작용과 비교했을 때 대단히 작은 양임
- 햇볕 드는 날 작물은 m²당 6리터까지 증산할 수 있으므로 24시간으로 보아 작물의 증산량은 대략 시간당 210g임
- 작물은 주로 햇볕이 있는 낮 동안 증산작용을 하므로 실제로 증산량은 낮에 더 많으므로 이 때 수증기를 제거하기 위해서는 상당한 양을 환기 조치해야 함



그림 43. 물리어 다이어그램

(다) 광량

- 일정 시간동안 광도를 측정한 값의 합계를 광량이라 하고, 광량은 klx/hr로 표시함
- 광합성은 해가 있다면 온도에 크게 영향을 받지 않고 이루어지나 주로 오전 60~70%, 오후 30~40%가 이루어짐

- 광도와 광량은 작물이 광합성과 증산량에 직접적인 연관을 가지고 있으며 흔히 광도가 증가할수록 광합성과 증산량도 증가함
- 또한 증산작용은 물을 필요로 하기 때문에 광도는 근권부 물 관리에도 직접적인 영향을 줌
- 즉 일중 광량이 $2,500\text{J}/\text{cm}^2$ 이었다면 하루 중 작물이 증산한량은 $5,000\text{cc}/\text{m}^2$ 이고 암면을 이용한 배지에서 일중 총 배액을 20%로 관리한다면 $6,000\text{cc}/\text{m}^2$ 급액 필요

표 13. 광량 환산표

| Lux | watt/m ² | J/cm ² /hr |
|---------|---------------------|-----------------------|
| 1,000 | 24.0 | 8.6 |
| 2,000 | 47.0 | 16.9 |
| 3,000 | 69.0 | 24.8 |
| 4,000 | 90.1 | 32.4 |
| 4,500 | 100 | 36.0 |
| 5,000 | 110.2 | 39.6 |
| 10,000 | 196.2 | 70.6 |
| 15,000 | 258.0 | 92.9 |
| 20,000 | 295.8 | 106.2 |
| 25,000 | 313.1 | 112.7 |
| 30,000 | 350.7 | 126.2 |
| 40,000 | 454.6 | 163.6 |
| 50,000 | 551.9 | 198.7 |
| 60,000 | 642.8 | 213.4 |
| 70,000 | 727.1 | 261.8 |
| 80,000 | 805.5 | 289.8 |
| 90,000 | 876.3 | 315.5 |
| 100,000 | 941.1 | 338.8 |

· 상용규모의 온실에 시스템 적용 재배 작물 선정에 위한 자료 조사

- 국내 원예작물을 재배하는 시설면적은 채소작물이 2011년 기준 약 49,537 ha이며, 화훼작물은 2,856 ha임
- 시설채소의 온실현황을 보면, 비닐하우스가 시설재배면적의 99%(49,175 ha)이며, 이 중에서 단동하우스는 86%(42,350 ha)를 차지하고 있어 대부분 단동 비닐하우스가 주류를 이루고 있음
- 시설유형별 면적은 단동하우스 중 터널형이 26,504 ha, 아치형이 15,569 ha임

14. 시설 채소 온실 현황 및 채소류 생산 실적 (단위 : ha, 톤)

| 구 분 | | '10 | '11 | '12 | '13 |
|------|----|---------|---------|---------|---------|
| 재배면적 | 시설 | 6,841 | 5,681 | 6,290 | 6,789 |
| | 노지 | 208 | 135 | 145 | 101 |
| | 계 | 7,049 | 5,816 | 6,435 | 6,890 |
| 생산량 | 시설 | 228,698 | 169,243 | 188,998 | 214,578 |
| | 노지 | 3,105 | 2,276 | 3,142 | 2,203 |
| | 계 | 231,803 | 171,519 | 192,140 | 216,803 |

(농림축산식품부)

- 온실에서 재배하는 다양한 작물 중 가장 보편적이고 부가가치가 높은 작물 몇 가지를 선정하여 자료 분석

(1) 참외

- 참외는 토양은 가리지 않는 편이어서 어느 토양에서나 재배 가능함
- 산소 요구량이 많기 때문에 뿌리가 잘 자라게 하려면 보수력이 좋으면서도 배수가 잘되어 지온이 빨리 오를 수 있는 토양이 이상적임
- 시설재배 참외의 표준 시비량은 10a당 질소 18.7kg, 인산 6.3kg, 칼리 10.9kg이지만 비료의 요구량이 많지 않아서 비료를 더 주거나 덜 주어도 수량에는 큰 차이가 없음

표 15. 시설참외 표준 시비량

| | 표준 시비량 (kg/10a) | 실제 시비량 (kg/10a) | | 기타 (kg/10a) |
|----|--------------------|-----------------|-------------|----------------|
| | | 밑거름 | 웃거름 | |
| 질소 | 18.7 | 요소 : 16.3 | 요소 : 24.4 | 퇴비 : 1,500 |
| 인산 | 6.3 | 용성인비 : 31.5 | | 복합비료 : 35 |
| 加里 | 10.9 | 염화가리 : 7.3 | 염화가리 : 10.9 | (21-17-17) |

(농촌진흥청)

- 참외 주산지의 하우스 폭은 대부분 5.0m 내외이므로 하우스의 길이 방향으로 넓은 이랑 2개를 만드는 것이 일반적임
- 무가온 재배에서는 터널 위에 부직포를 덮어 보온해야 하므로 가운데 통로와 하우스의 측면에 어느 정도의 공간을 두는 것이 작업하기에 편리함
- 하우스방향이 동서동인 단동형 하우스의 경우 남쪽이랑의 경우 보온부직포의 그늘에 가려 지온이 낮고 조도가 떨어지기 때문에 북쪽이랑의 초기생육이 빠름
- 단동형 하우스의 경우 동서동이 원칙이나 참외의 경우 무가온 보온재배이므로 동서동 보다는 남북동으로 설치하는 것이 좋음
- 환기가 되지 않는 시설재배의 경우에는 외부에서 탄산가스를 보충, 공급 해주는 방법으로 광합성을 더욱 왕성하게 하여 생육을 촉진시키고 생산품의 품질을 향상시킴
- 일반적으로 탄산가스를 사용하면 생육이 촉진되고, 재배기간의 단축, 조기수확 및 색상과 당도가 향상됨
- 따라서 적정수준의 탄산가스를 공급해줌으로서 광합성 효율을 증대시켜 식물의 개화 및 생장을 촉진하고 품질 및 수량의 증대효과를 가져옴
- 사용 시기는 엽채류와는 달리 참외의 경우 착과 당일부터 사용하여야 하며, 만약 정식 직후부터 사용하면 식물은 영양 생장이 왕성하여 과번무 현상으로 인하여 암꽃의 개화가 늦거나 암꽃이 오지 않는 수도 있기 때문에 반드시 착과 시킨 이후에 사용하여야 함

표 16. 탄산가스 농도별 참외의 품질 및 수량 구분

| 구 분 | 광합성율 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) | 과중 (g) | 당도 (Brix) | 과육두께 (mm) | 상품과율 (%) | 상품수량 (kg/10a) |
|----------|---|-----------|--------------|--------------|-------------|------------------|
| 무시용 | 36.2 | 227 | 12.8 | 14.6 | 63.1 | 743 |
| 500ppm | 39.7 | 307 | 13.1 | 15.8 | 63.1 | 774 |
| 1,000ppm | 42.9 | 330 | 13.3 | 16.8 | 71.8 | 1,093 |
| 1,500ppm | 40.8 | 344 | 13.0 | 16.6 | 70.3 | 1,032 |

(2)

- 딸기 재배면적은 고소득 작물로 인식되기 시작하면서 최근 증가세를 보이고 있으며 전체 재배면적의 98.5%('13 기준)가 시설재배임
- 노지재배는 고령화, 시설현대화, 근교농업 확대 등의 영향으로 감소하고 있으며, 시설재배의 경우 주로 토경재배를 하고 있으나 노동력 투입 대비 생산성이 낮아 고설(양액)재배로 전환하는 추세임

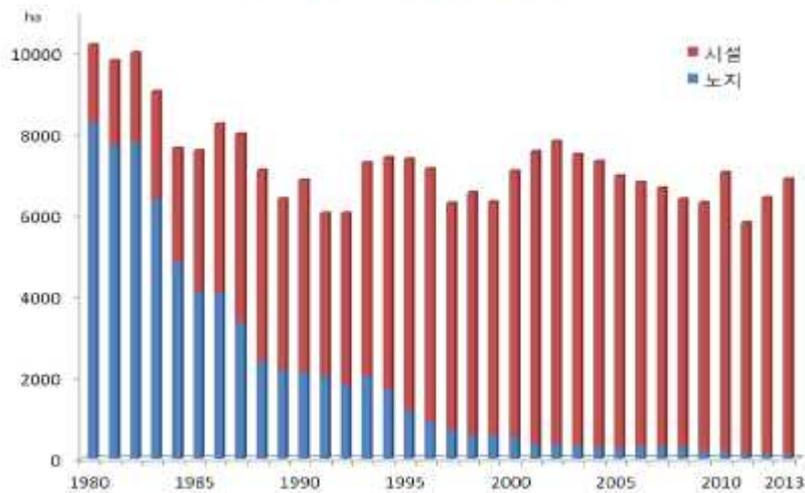


그림 44. 딸기 재배형태별 재배면적 추이

- 재배종은 원예적으로 육성된 것으로 유럽이나 남·북아메리카에서 몇 종의 야생종과 교배시킨 것으로 촉성·반촉성·노지(露地)·역제 등의 재배형이 있음
- 대개는 비닐하우스 재배로 내부에 비닐 터널을 설치하여 보온하며 꽃을 수확 후 주거나 봉지를 씌워서 큰 열매를 따기도 함

- 딸기는 과채류 중에서 저온에 비교적 강하여 우리나라 남부지방(경남)에서 무가온으로 시설재배가 용이하며 맛과 향기가 독특하고 비타민 C의 함량이 높아 영양면에서 중요할 뿐만 아니라 농가의 고소득 작물로서 매년 그 재배면적이 확대되고 있음
- 재배기간이 길고 노동력이 많이 드는 작물이지만, 저온에서도 생육이 양호하여 재배기간 동안 난방비 비중이 높지 않고, 수확과 선별에 드는 노동력을 제외하면 경영비가 비교적 적음
- 국내 딸기 총생산량과 시설딸기 생산량의 약 67%는 충남과 경남에서 생산되고 있으며, '13년 딸기 생산량의 지역 비중은 경남이 34.6%로 가장 높으며, 수출량은 '13년 수출실적 기준 경남이 98%를 차지함
- 경남에서는 진주, 산청 등이 주산지이며 11~4월에 출하되는 겨울, 봄 딸기로 수출용 '매향'과 내수용 '설향'을 주로 재배하고 있음

(3) 수박

- 전국 수박 생산량은 2009년 이후 감소하다 2011년 이후로 증가하여 2013년 672,914 톤으로 나타남
- 주요 생산지는 충남, 경남, 경북 등으로 나타났으며 지역으로는 부여, 함안, 고령인 것으로 조사됨

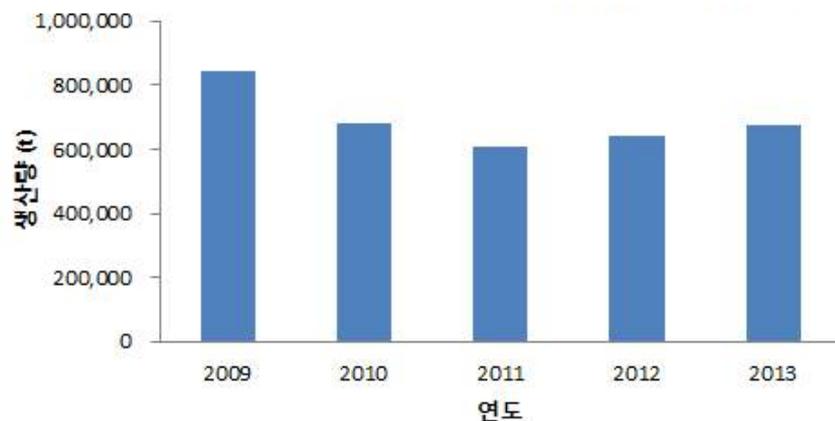


그림 45. 국내 수박 생산량 (통계청)

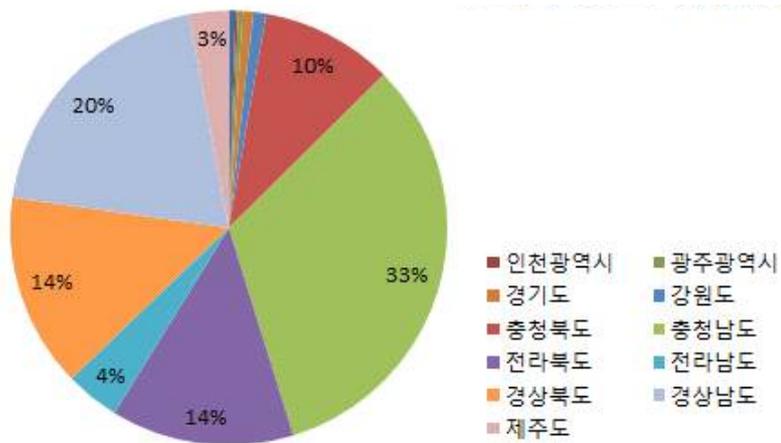


그림 46. 시도별 주요 생산지 (통계청)

- 고온성이며 또한 다른 작물에 비하여 높은 광도를 요구하므로 우리나라의 대부분 농가는 밀폐된 하우스 내에서 낮 동안에 들어온 열을 최대한 이용하여 밤에 온도가 떨어지지 않도록 보온하고 있는데 낮 동안에는 40~45°C의 고온이 유지되고 밤에는 5~10°C정도 유지하는 실정임
- 이와 같은 재배방법은 낮에 2중 피복의 고정으로 인하여 광선의 차단이 많고 탄산가스 농도가 낮아져 광합성 량이 줄어들 수밖에 없으므로 고정피복 커튼은 걷을 수 있도록 하여 정식 후 활착기에는 최고온도 35°C, 평균 26~30°C, 야간 최저온도는 12°C는 되도록 관리하는 것이 좋음

(4) 파프리카

- 파프리카는 시설재배로 '13 기준 채소류 60,226ha의 0.95%인 575ha를 차지함
- 매년 지속적으로 재배면적과 생산량이 증가하고 있으며 수출 중심의 생산에서 최근에는 내수 출하가 증가하고 있음

표 17. 연도별 파프리카 재배면적 및 생산량 (단위: ha, 톤)

| 구 분 | '06 | '07 | '08 | '09 | '10 | '11 | '12 | '13 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 재배면적 | 335 | 320 | 367 | 410 | 424 | 429 | 430 | 575 |
| 생산량 | 28,145 | 28,870 | 32,778 | 36,023 | 41,396 | 43,160 | 50,642 | 62,622 |

- 파프리카는 단위면적당 소득이 높은 작물로 재배면적이 지속적으로 증가 중이며 최근 재배기술 향상 및 우량 품종 공급으로 단위면적당 생산량이 크게 증가함

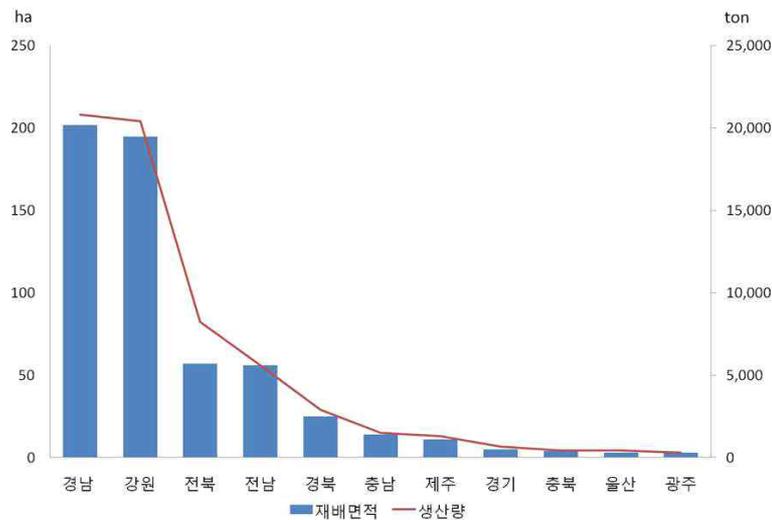


그림 47. 2013년 지역별 재배면적, 생산량

- 파프리카는 키가 크고 직립성이 강한 작물이기 때문에 환경관리 측면이나 생산성 면에서 온실이 높을수록 유리함
- 파프리카 생육 특성을 고려할 때 중방까지의 높이를 최소한 4.5m 이상은 확보해야 할 것으로 판단됨
- 파프리카 재배시설은 벤로형이나 와이드스팬 유리온실부터 다양한 형태의 플라스틱 피복 하우스까지 광범위함
- 일반적으로 토마토나 오이 생산에 적합한 구조라면 어느 형태나 가능하지만, 무거운 플라스틱하우스 재배는 부적합함
- 파프리카는 잿빛곰팡이병과 흰가루병에 민감하여 시설내 습도를 제어하기 위한 환경 조절과 광환경 개선, 가온, 환기, CO2 공급 및 보온 등과 같은 종합 환경관리 장비가 필수적임

(5) 작물 선정

- 농가 수익성 측면에서 본다면 파프리카가 가장 우수한 것으로 판단되지만, 파프리카는 수형이 높고 자라는 작물인 관계로 낮게 깔리는 이산화탄소의 특성을 고려한

다면 CO₂ 공급의 효율성이 떨어질 것으로 판단됨

- 파프리카의 경우, 원활한 이산화탄소의 공급을 위해서는 공기 교반기와 같은 별도의 장비가 추가로 필요할 것으로 사료되며, 이에 따른 추가 비용이 발생함
- CO₂ 공급 효율성 측면에서 본다면 참외 등과 같은 포복성 작물이 재배에 적합하리라 사료되나, 경제성 측면과 함께 고려한다면 판단을 내리기가 모호한 부분이 존재함
- 시스템의 설치비용, 작물생산량, 이산화탄소 공급 효율에 따른 경제성 분석 등을 통하여 작물 선정해야 할 것으로 판단하였으며, 이러한 부분들을 고려하여 차기년도 사업에서 주요 타깃 작물을 선정하기 위한 기초 자료로 활용하였음

2-2. 2차년도 수행 내용

. CO₂ 포집 장치의 기체 분리막 선정

(1) 분리막의 선정

- 본 개발에서 기체 분리막은 다음 그림과 같은 재료를 선정하였으며,
- 중공사막은 단위부피당 면적이 다른 형태의 막에 비해 크며 상용화된 중공사막은 대개 0.5 μ m 보다 얇은 두께를 가지는데, 이는 1barrer의 막 투과도로부터 $6.7 \cdot 10^{-10} \text{mol} / \text{m}^2 \times \text{s} \times \text{Pa}$ 의 기체 흐름을 가능하게 함

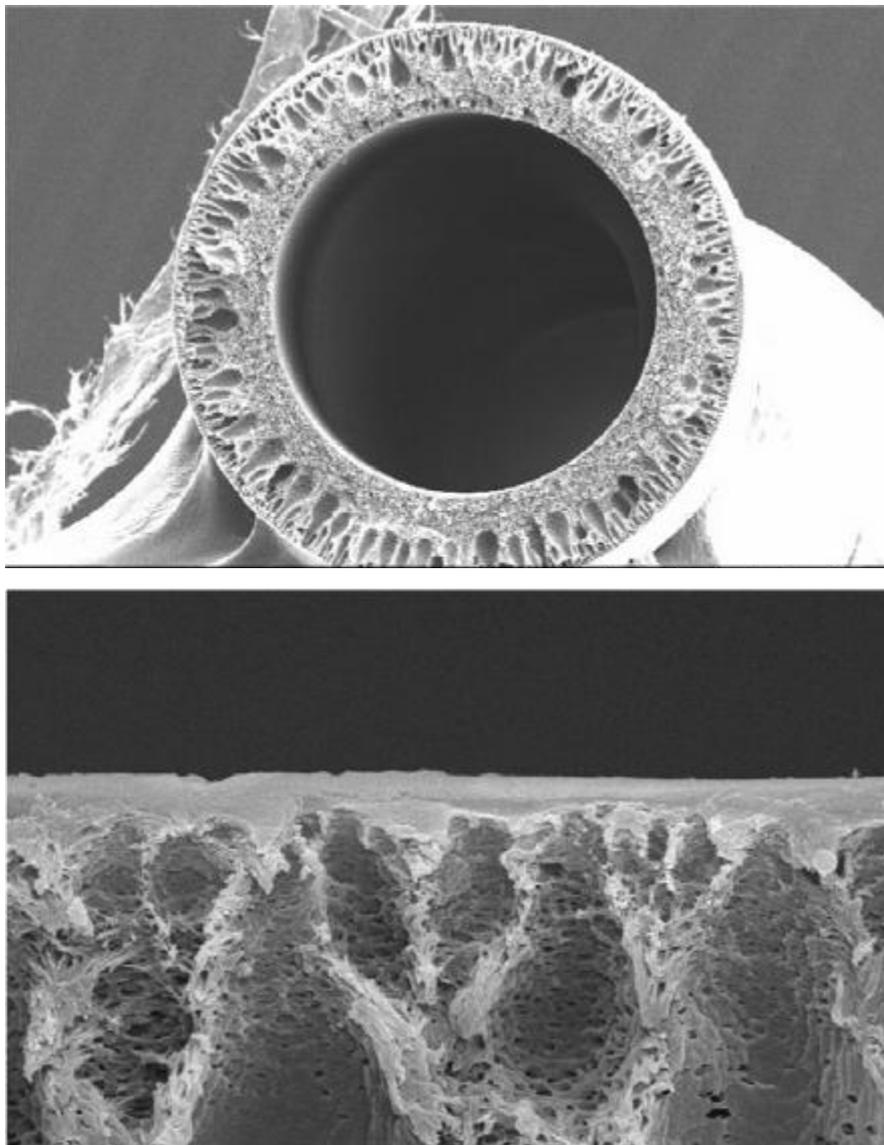


그림 48. 본 과제에서 선정한 중공사막 모듈

(2) 분리막의 성능

- 성능시험을 위하여 Prototype의 시스템에 적용하였으며 시스템의 개략도를 그림 2에 나타냄

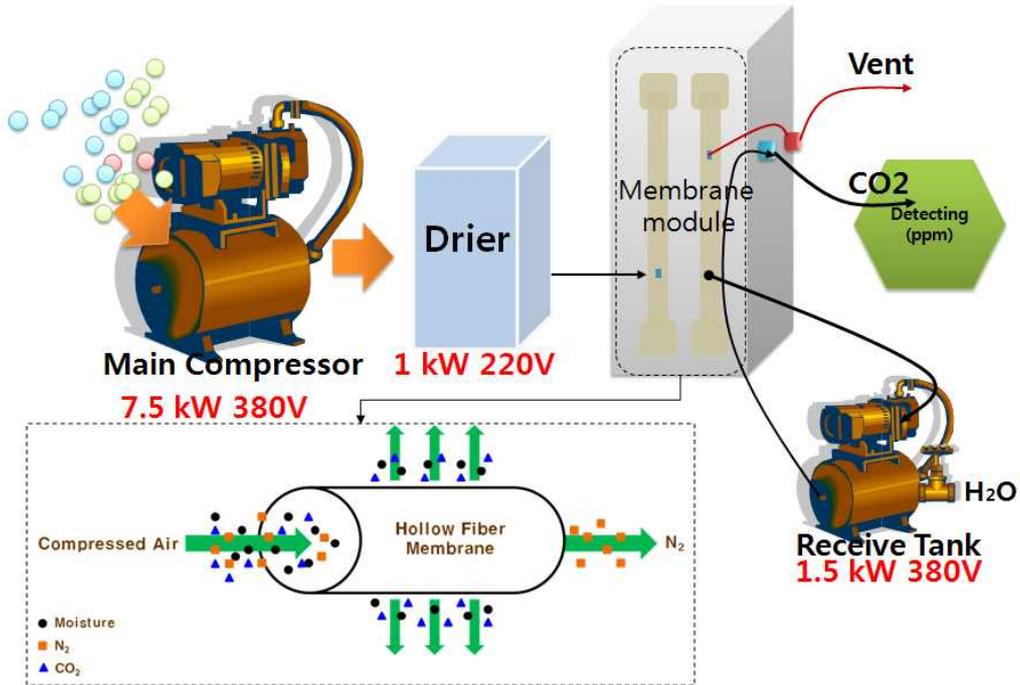


그림 49. 분리막 시스템 흐름도

- 분리막은 배기의 CO₂농도가 높을수록 분리효율이 증가하며, 최소 20%(vol) 이상이 적합하고 75%의 CO₂/N₂ 선택도로 최대 90%의 순도를 얻을 수 있는 민감도 조사에서 15%의 CO₂농도에서 포집효율은 50%(압축비 0.01), 30%의 CO₂에서는 80%(압축비 0.07)로 나타남

· 멤브레인 기술 이용 CO₂ 포집 장치 및 공급 장치 상용형 설계 및 제작

- CO₂ 상용형 모델은 Prototype을 기반으로 수정 및 보완하여 제작이 용이하고 경제적인 시스템인 중공사 분리막으로 제조하였음
- 고농도의 CO₂ 가스를 획득할 수 있는 축사 내에는 다량의 가스 상 물질 및 먼지가 함께 존재하므로 이를 포집 후 필터링하여 순도 높은 CO₂를 저장할 수 있는 시스템을 구축해야 함

(1) 상용형 멤브레인 시스템 구성

- 농업시설 (축사)내의 이산화탄소를 포집 및 압축하여 저장 및 공급하는 시스템 구축
- 축사 인접 공간에 설치가 용이한 시스템으로 구성하여 범용성이나 호환성을 증대시킬 수 있도록 상용형 장비를 설계 및 제작함



그림 50. 상용형 멤브레인 시스템의 개략도

(2) 상용형 멤브레인 시스템 설계 및 제작

- CO₂ 포집 시스템은 가스 포집부로서 이산화탄소를 압축하는 컴프레서, 압축과 동시에 수분을 제거할 수 있도록 압축된 온실 가스를 건조시키는 드라이어 및 이산화탄소를 분리해내는 멤브레인 모듈로 구성하였음
- 상용 형태의 전체 시스템은 다음의 도면과 같이 설계하였으며 각각의 구성부를 사각형상의 베이스 프레임(2,500×2,500mm) 상부에 수직으로 세워진 마운팅 프레임(2,300mm)과 수평으로 구성되는 지지 프레임 등으로 모듈형태의 하우징으로 구성하였음

표 18. 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-40B, 5HP 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 |

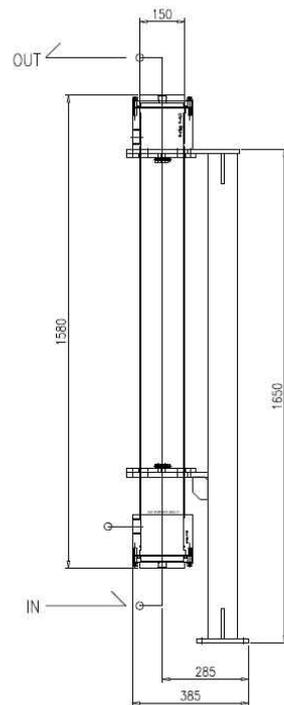


그림 51. 멤브레인 모듈 설계 및 제작

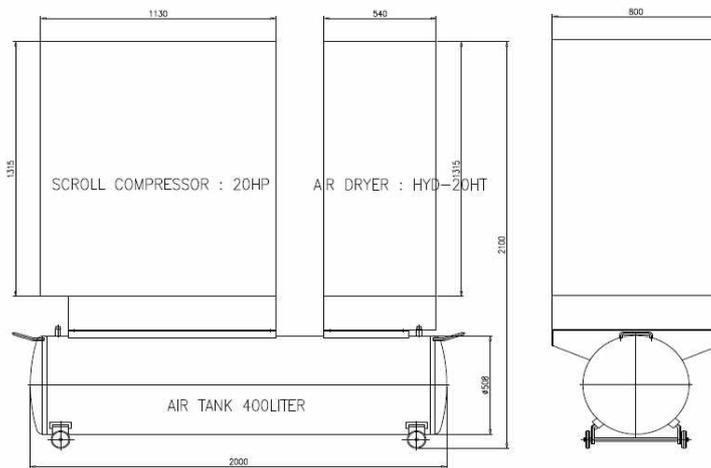
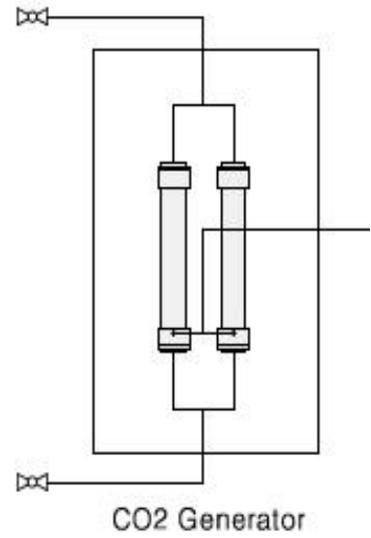
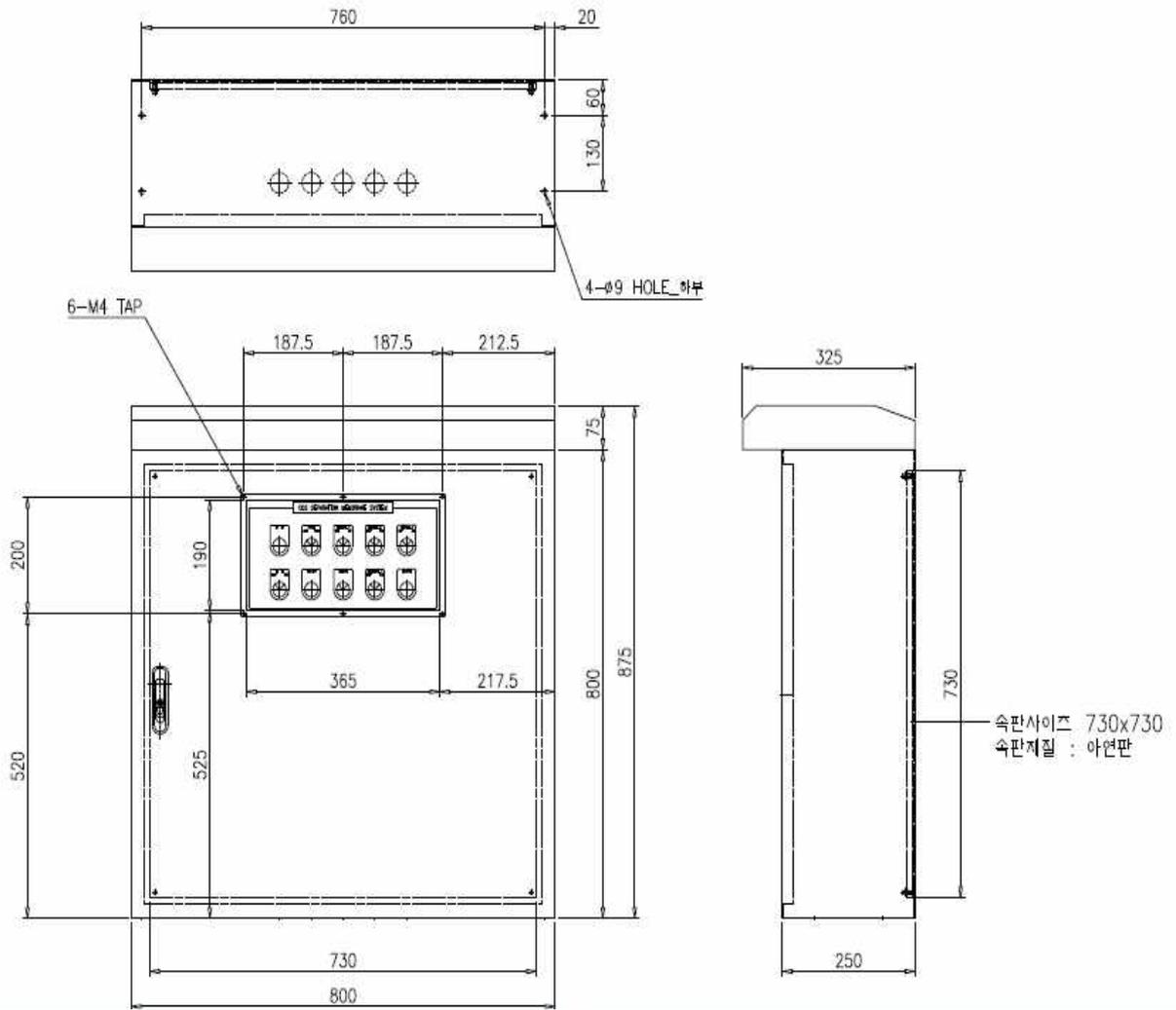


그림 52. 컴프레셔 & 드라이어 설계 및 제작



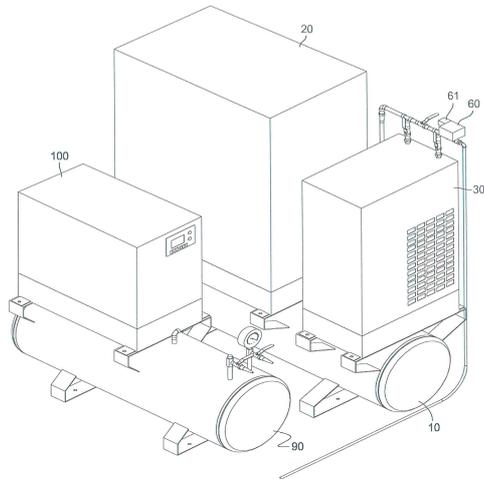
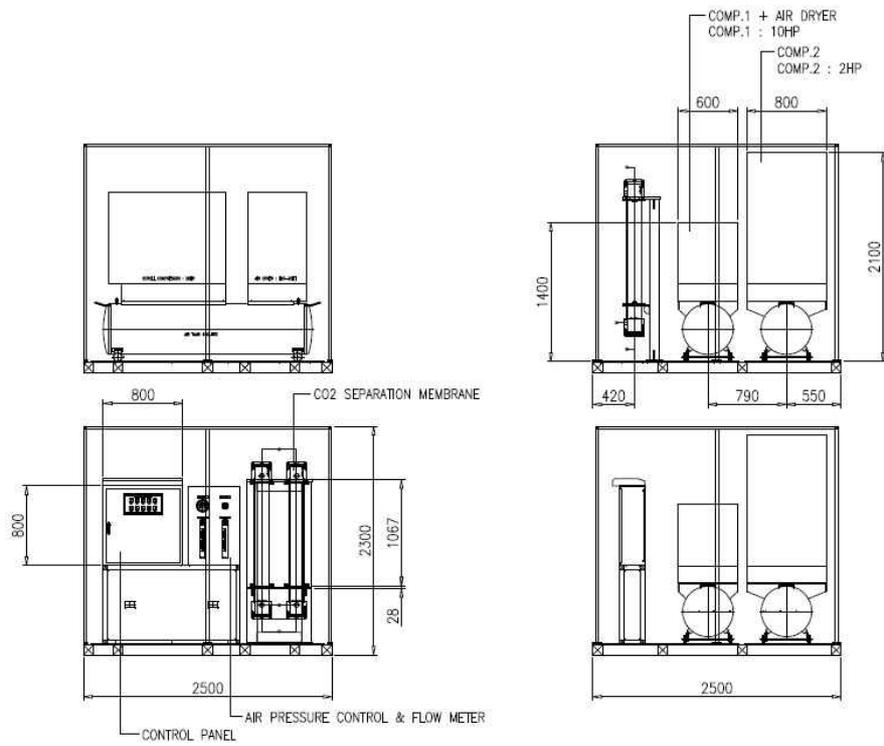


그림 53. 멤브레인 시스템 설계도면 및 상용형 제작

· CO₂ 공급시스템 수정보완 상용형 설계 및 제작

- 농가 현장에 적절한 농도의 CO₂ 공급을 하기위한 압력 및 농도 조절 콘트롤 시스템이 구비된 장치를 설계 제작하였음

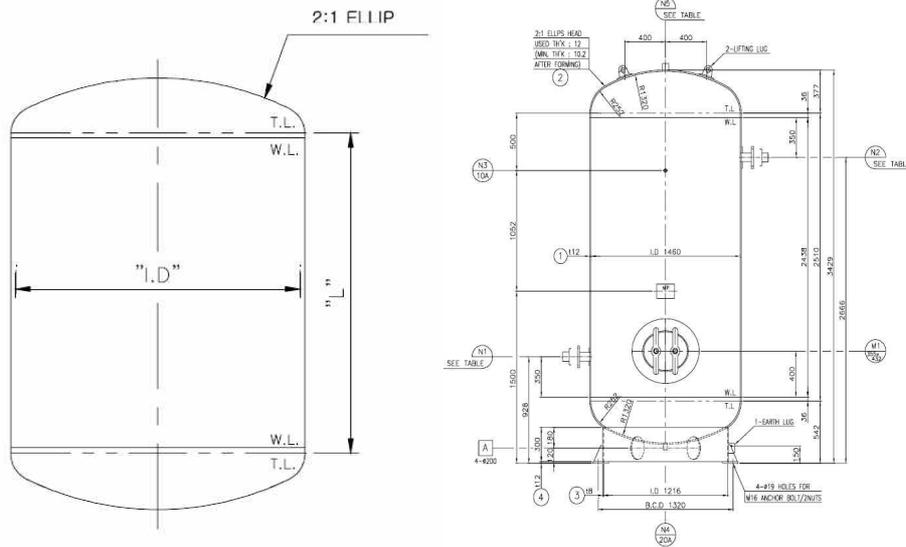


그림 54. 압축 용기 및 이송장치 콘트롤러

- 농가에서 탄산 시비 시 불필요한 탄산의 소모를 막고, 필요시 구입한 탄산을 같이 사용할 수 있도록 탄산가스 봄베의 설치 또한 가능한 형태의 장비로 구성하였음

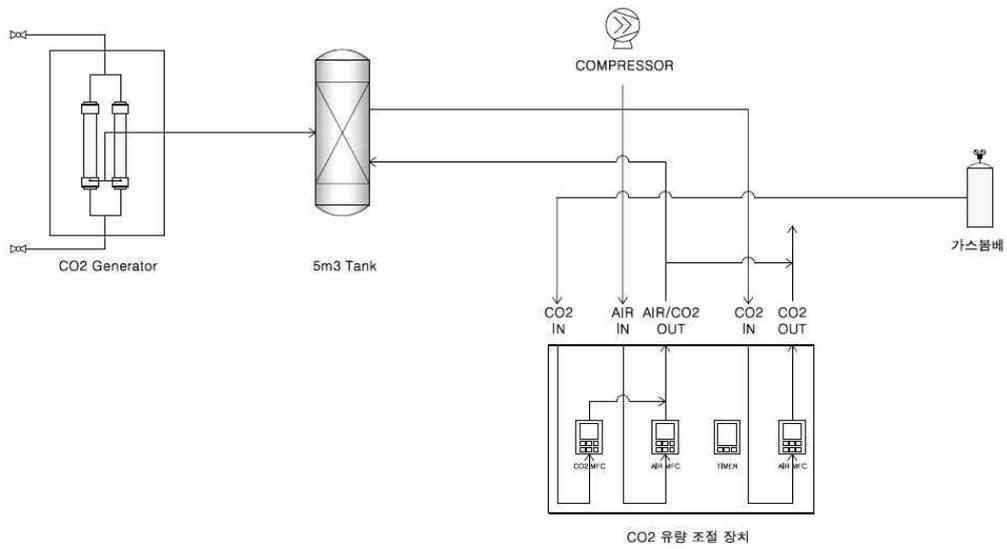


그림 55. 적정 CO₂ 농도 분배 공급장치 구성도

- 포집 이송한 CO₂ 를 적정 농도로 분배 시비하기 위하여 CO₂ 유량 조절장치를 구성하여 일정한 농도로 공급할 수 있도록 장치하였음

· 딸기 하우스 내 CO₂ 공급에 따른 각 환경 요인과 수확량의 상관관계 분석 (현장실증)

(1) 작물 선정

- 국내 원예작물을 재배하는 시설면적은 채소작물이 2011년 기준 약 49,537 ha이며, 화훼작물은 2,856 ha임
- 시설채소의 온실현황을 보면, 비닐하우스가 시설재배면적의 99%(49,175 ha)이며, 이 중에서 단동하우스는 86%(42,350 ha)를 차지하고 있어 대부분 단동 비닐하우스가 주류를 이루고 있음
- 시설유형별 면적은 단동하우스 중 터널형이 26,504 ha, 아치형이 15,569 ha임

표 19. 시설 채소 온실 현황 및 채소류 생산 실적

(단위 : ha, 톤)

| 구 분 | | '10 | '11 | '12 | '13 |
|------|----|---------|---------|---------|---------|
| 재배면적 | 시설 | 6,841 | 5,681 | 6,290 | 6,789 |
| | 노지 | 208 | 135 | 145 | 101 |
| | 계 | 7,049 | 5,816 | 6,435 | 6,890 |
| 생산량 | 시설 | 228,698 | 169,243 | 188,998 | 214,578 |
| | 노지 | 3,105 | 2,276 | 3,142 | 2,203 |
| | 계 | 231,803 | 171,519 | 192,140 | 216,803 |

(농림축산식품부)

- 온실에서 재배하는 다양한 작물 중 가장 보편적이고 부가가치가 높은 작물 몇 가지를 선정하여 자료 분석하고 작물을 선정함
- 딸기의 경우, 원활한 이산화탄소의 공급을 위해서는 공기 교반기와 같은 별도의 장비가 추가로 필요할 것으로 사료되며, 이에 따른 추가 비용이 발생한다는 단점도 있음
- CO₂ 공급 효율성 측면에서 본다면 참외 등과 같은 포복성 작물이 재배에 적합하리라 사료되나, 경제성 측면과 함께 고려한다면 판단을 내리기가 모호한 부분이 존재함

- 시스템의 설치비용, 작물생산량, 이산화탄소 공급 효율에 따른 경제성 분석 등을 통하여 작물 선정해야 할 것으로 판단되며, 이러한 부분들을 고려하여 딸기로 선정함

(2) 포장선정 및 장치 설치

(가) 포장선정

- 주소 : 경상북도 군위군 군위읍 내량리 507-1번지
- 면적 : 1,500평
- 재배작물 : 딸기 (설향)



그림 56. 실험설비 설치 농가

(나) 장치 설치

- CO₂ 포집 및 공급 시스템의 현장 설치를 위하여 그림 57과 같이 시설하우스 외부의 공터에 기초 공사를 실시하였음



그림 57. 시스템 설치를 위한 기초 공사

() 수정보완된 시스템에는 그림 58과 같이 CO₂ 분배장치를 적용하여 일정 시간 내 원하는 농도만큼 공기와 혼합하여 공급해 줄 수 있는 조절 가능하도록 구성하였음



그림 58. CO₂ 분배장치

(라) 그림 59와 같이 컨트롤 시스템에 적산 전력량계와 타이머 장착하여 시스템 운용에 소요되는 적산전력을 측정할 수 있도록 하였으며, 타이머 설정으로 원하는 시간만큼 CO₂ 를 공급하거나 포집 및 저장할 수 있도록 구성하였음



그림 59. 적산전력계와 타이머의 설치

() CO₂ 포집 후 저장탱크로 유입되는 라인에 설치되는 보조 콤프레셔는 그림 60과 같이 2HP 급의 제품을 채택하였음



그림 60. 보조 콤프레셔

(바) CO₂ 포집 및 공급 시스템의 현장 설치는 그림 61과 같이 수행되었음



그림 61. 수정보완된 CO₂ 포집 및 공급 시스템의 현장 설치

- CO₂ 를 포집하기 위하여 경북 군위군 내량리 소재 농가들로 우측 딸기 온실 과 좌측 돈사가 인접한(100 m 내외) 현장을 선택하여 장비를 설치했으며, 현실적으로 돈사와 시설원예농가가 인접한 경우가 많지 않으므로 직접 연결 보다는 CO₂ 압축 이송 컨테이너를 이용한 공급방안을 기본으로 고려하여 설치하였음
- 기본적으로 시설원예농가 인근에 CO₂ 포집 장치를 설치하고 포집장치와 인접하여 CO₂ 공급을 위한 대형 저장장치와 이송되어 사용하게 될 운반용 컨테이너가 연결될 수 있도록 연결부를 장치하였고, 일반 판매용 탄산폼베도 장치가 가능하도록 장비를 설계 제작하였음

(사) 그림 62에 Storage Tank(ST) 로부터 온실에 CO₂ 를 공급하는 모식도를 나타내었으며, CO₂ 공급은 멤브레인 시스템과 저장탱크에서 동시에 CO₂ 를 시비하는 방법을 채택하였음

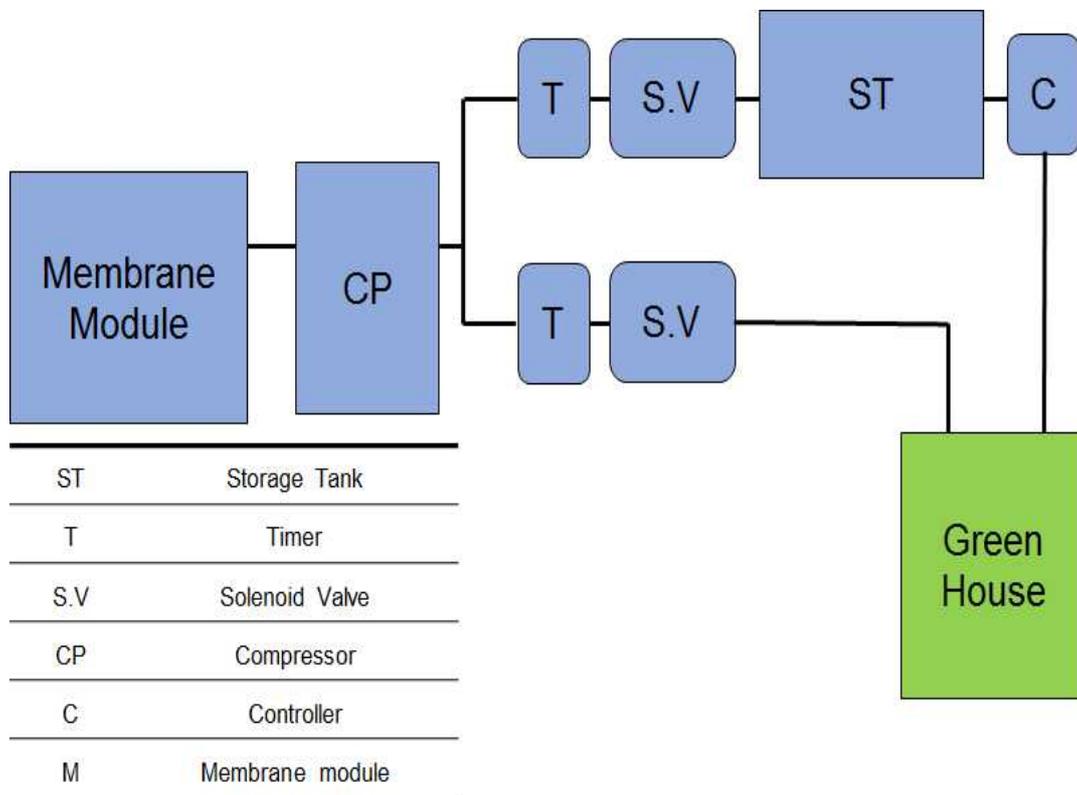


그림 62. Storage Tank(ST) 로부터 온실에 CO₂ 공급 모식도

(아) CO₂ 센서는 그림 63과 같이 온실 중앙의 상, 중, 하층부와 전, 후측 및 양측의 중층부 등 7개소에 설치하였으며, 측정값은 DALI 사의 MCH-383SD 데이터로거를 이용하여 기록되도록 하였음

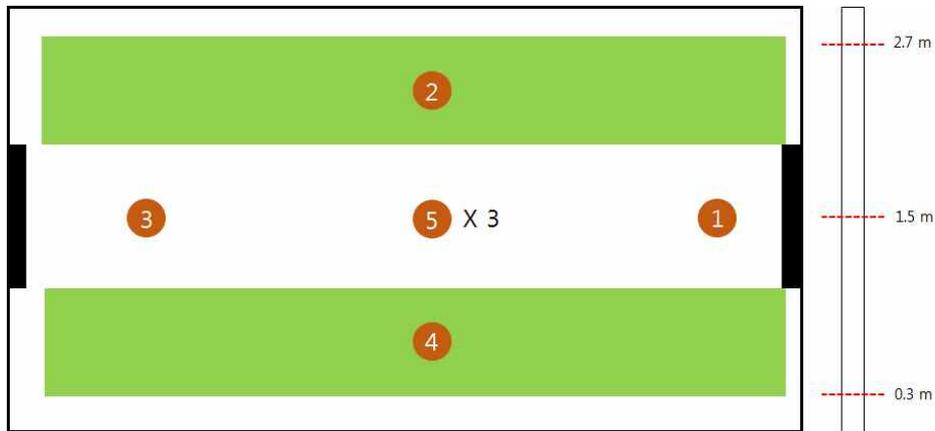


그림 63. 온실 내 CO₂ 센 위치



그림 64. CO₂ 센서

(자) 양액 시스템은 (주)동우 사의 보급형 기기인 D-1990A가 설치되었으며, EC와 pH의 제어는 EC 센서와 pH센서를 통해 측정하고 제어할 수 있도록 함. 또한, 관수 펌프의 제어를 통해 원하는 시간과 관수량을 설정할 수 있음



그림 65. 양액 시스템

- 양액 제조를 위해 양액 탱크 라인에 원수 탱크를 통해 적정량의 물을 공급하여 목표하고자 하는 최적의 양액을 조성하여 공급할 수 있도록 양액의 배합 및 공급 시스템을 구성하였으며 그림 66과 같이 온실 내부의 관수 시스템이 농가에 설비되어 있음



그림 66. 양액 탱크



그림 67. 재배 Bed 설치 전경

표 20. 실험동 및 비교동 정보

| | 위치 | 크기 |
|-----|------------------|-------------------|
| 실험동 | 경상북도 군위군 군위읍 내량리 | 100평(5m×66m=330㎡) |
| 비교동 | | |

(3) 실험방법

- 측정은 Testo사 model 535 기기의 자체 온습도 기능 옵션을 추가한 제품을 사용함
- 이산화탄소 측정방법은 환경부 「다중이용시설 등의 관한 실내공기질 관리법」의 실내공기질 공정시험방법을 이용하여 이산화탄소를 측정하였음

- NDIR(Non-dispersive infrared) 비분산 적외선을 이용한 가스 센서 방법을 채택하여 농도를 산출함



68. 이산화탄소 측정 장면

표 21. 이산화탄소 측정 방법 제원

| 측정항목 | 감도한계치 | 측정방법 | 채취시간 | 분석방법 |
|-------|---------|---------------|------------------------------------|--------------------|
| 이산화탄소 | 0.1 ppm | NDIR 또는 전기화학식 | CO ₂ 방사 후 직후로부터 1분간격 측정 | 직독식 (data-logging) |

- 수확량 측정은 일반적인 저울(태광저울, ST-A시리즈)을 사용하여 딸기 과육의 무게를 측정함



그림 69. 딸기 과육 무게 비교실험동(좌)과 대조동(우)의 과육 정성 비교

- 온실 내 이산화탄소 방사 직후부터 1분 간격으로 측정하였음

(4) 통계처리 방법

- 데이터 취합 방법은 직독식으로서 실시간 데이터는 RS232-cable을 통해 다운로드 실시함
- 통계분석방법은 IBM SPSS V20.0을 이용하여 비교군과 대조군의 비교를 위하여 T-test를 사용함



그림 70. IBM SPSS V20.0 프로그램

(5) 비교 결과 및 고찰

- 비교군은 이산화탄소를 주입한 시설하우스이고, 대조군은 이산화탄소를 주입하지 않은 시설 하우스임
- 측정 횟수는 총 100분간 실시하였으며, 대조군과 비교군의 농도가 비슷해지는 시점에서 실험을 중단하게 됨(96분 후 비교군과 대조군의 농도가 비슷한 농도를 보였음)

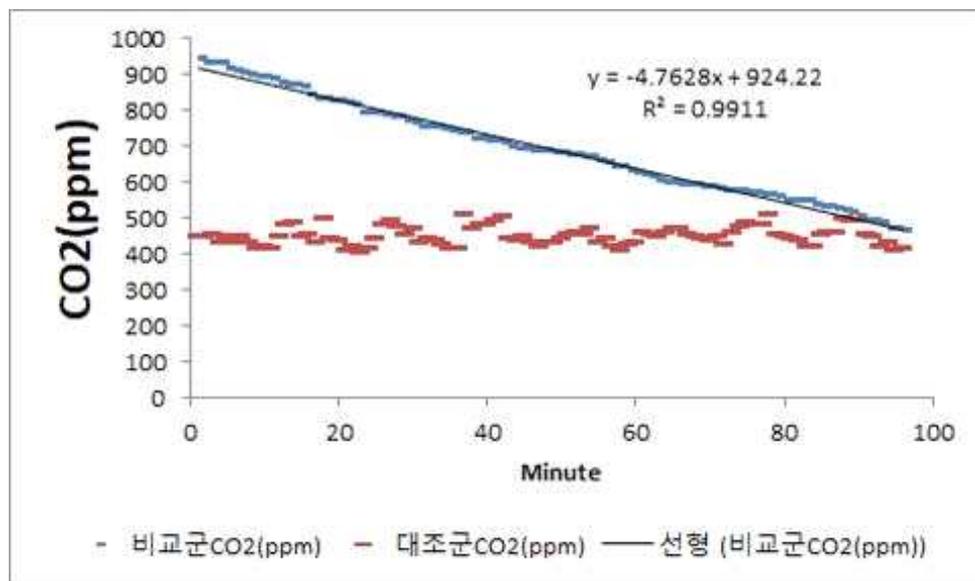


그림 71. 비교군과 대조군의 회귀분석에 따른 농도 분포도

- 이산화탄소 농도는 비교군이 평균 693.21 ± 133.26 ppm, 대조군이 평균 450.77 ± 25.85 ppm로 나타남
- 식물이 생육 성장함에 있어 이산화탄소가 식물의 먹이원이 되고 있다는 과거 문헌 내용의 이산화탄소를 흡수하는 것이 증명됨
- 총 수확량은 비교군이 1,317(kg)으로 조사되었으며, 대조군은 1,176(kg)으로 조사됨
- 전체적으로 비교군과 대조군의 수확량을 확인하였을 때 약 12% 증가됨

표 22. 비교군과 대조군의 각 환경적 요인에 따른 기술통계 자료 및 T-test 검증

| | (분당1회) | 온도 (°C) | 상대습도 (%) | 이산화탄소농도 (ppm) | P-Value | 수확량(kg) |
|-----|--------|----------|-----------|---------------|---------|---------|
| 비교군 | 100 | 16.1±5.7 | 70.2±20.8 | 693.21±133.26 | 0.000 | 1,317 |
| 대조군 | 100 | 16.3±5.7 | 70.1±20.7 | 450.77±25.85 | | 1,176 |

- 이를 피어슨 이변량 상관분석으로 상관관계를 파악한 결과 이산화탄소와 수확량의 상관관계 결과 CO₂가 생육 성장에 도움을 준다는 것을 통계적으로 입증하였음($\beta=0.832$, $p<0.05$)

표 23. 각 환경적 요인에 따른 피어슨 이변량 상관분석

| | 온도 | 습도 | 이산화탄소 농도 | 수확량 |
|----------|----|--------|----------|--------|
| 온도 | 1 | -.468* | .525* | .341 |
| 습도 | | 1 | -.131 | -.110 |
| 이산화탄소 농도 | | | 1 | .832** |
| 수확량 | | | | 1 |

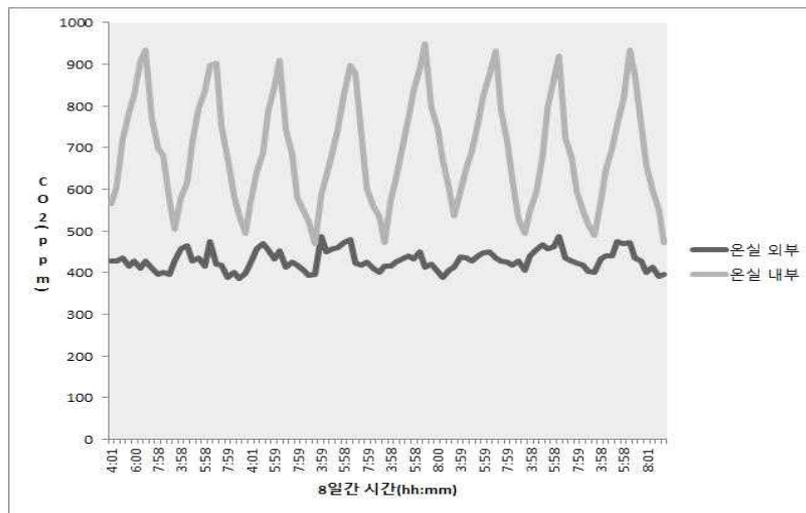


그림 72. 8일간의 연속 측정에 따른 온실의 내외부 이산화탄소 농도 비교(비교군 시설하우스)

- 이산화탄소의 흡수에 관한 증명을 위하여 새벽 4시부터 3시간 동안 이산화탄소를 비교군 시설하우스에 주입하고 8일간 연속측정 실시

- 흡수가 현저하게 거시적으로 나타났으며, 온실 외부에서는 400ppm대에서 변화가 적었음
- 이산화탄소 농도가 증가할수록 딸기 재배에 도움이 될 것이라 판단됨

· CO₂ 압축/이송 장치 상용형 설계 및 제작

- 포집된 CO₂ 가스의 농가이송을 위한 방법으로 이동형 압축용기 어셈블리의 개발을 통한 이송방법을 제시하고자 함
- 고압용기의 경우, 고농도의 CO₂ 발생 지역에서 포집할 10,000~12,000ppm의 CO₂를 8~9 bar로 압축하여 1~2 m³ 규모의 압축용기에 저장하여 온실에 공급 할 경우 단일 장비의 활용도를 더욱 높일 수 있을 것으로 판단되며, 적정 설계 및 용량 산정을 통하여 1~2 m³ 규모의 이동 가능형 압축용기 어셈블리 및 그의 이송용 대차를 설계하고 제작 진행 중임
- 이송용 용기의 경우 축산농가 포집 후 인근 시설원예농가에 이송이 용이하도록 소형 압력 펌베를 병렬연결 하는 구조로 설계하였으며, 3차년도 현장 적용 시험 시 적용성을 판단할 계획 임

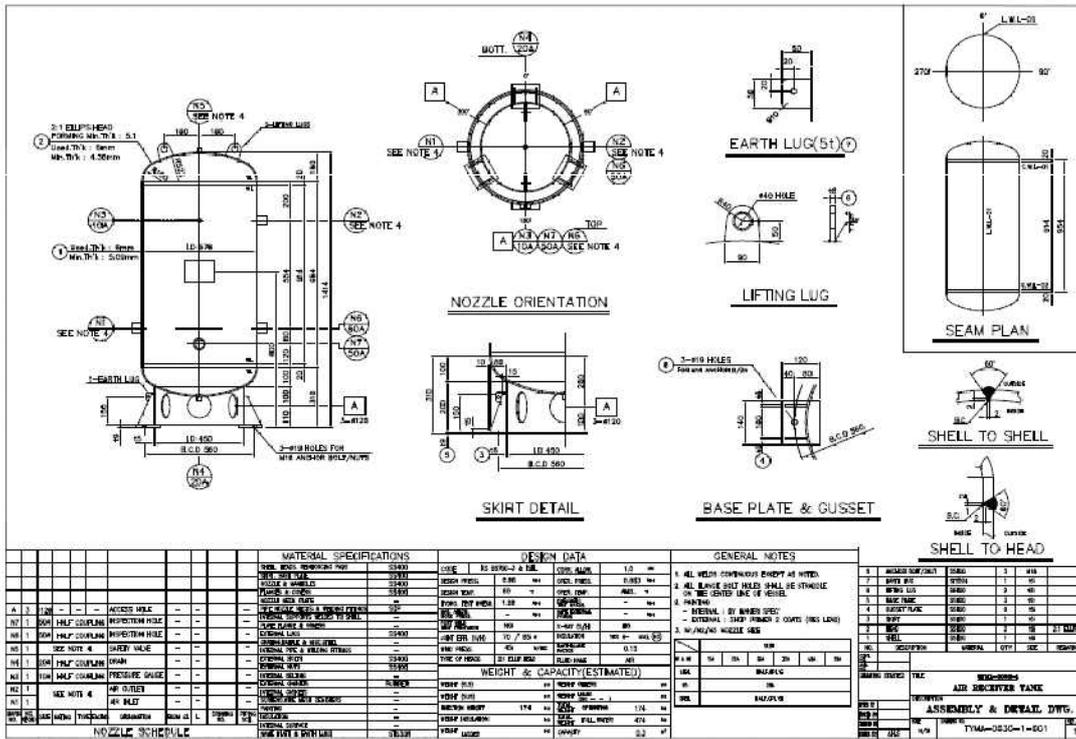


그림 73. 고압 이송용 용기 설계도면

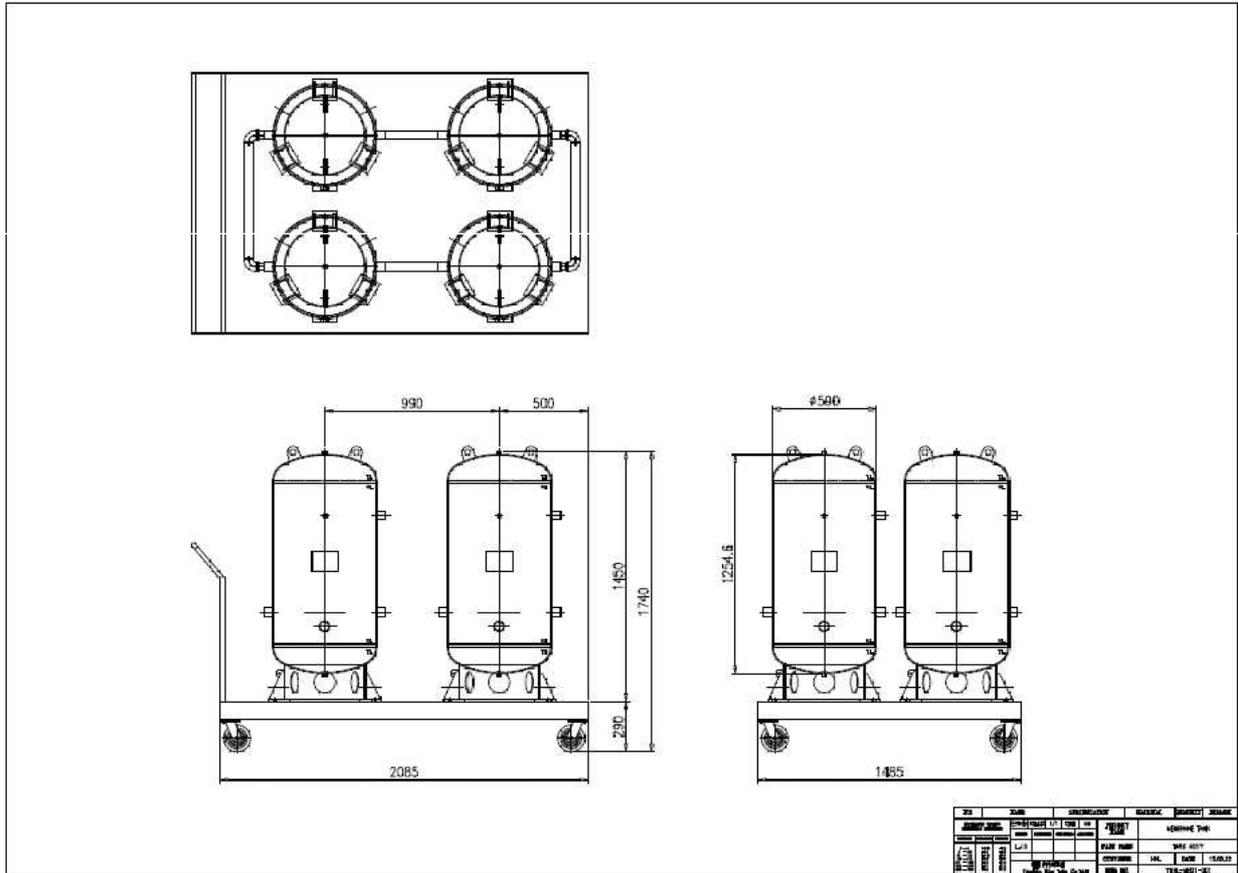


그림 74. 고압 이송용 용기 상세도

- 설계 및 제작에 관한 spec

24. 고압 이송용 용기 설계 및 제작에 관한 spec

| DESIGN DATE | | | |
|--------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|
| CODE | KS B6750-3 & ISHL | CORR. ALLOW | 1.0 mm |
| DESIGN PRESS | 0.98MPa | OPER. PRESS | 0.883MPa |
| DESIGN TEMP | 60°C | OPER. TEMP. | AMB °C |
| HYDRO TEST PRESS | 1.28MPa | PNEUMATIC TEST PRESS | -MPa |
| MAX. ALLOW. WORK PRESS. | -MPa | SAFE EXTERNAL PRESS | -MPa |
| POST WELD HEAT TREATMENT | NO | X-RAY (S/H) | NO |
| JOINT EFFI.(S/H) | 70 / 85 % | INSULATION | YES (- mm), NO |

| | | | |
|---|--------------------------------|-------------------|------------------------|
| WIND PRESS | 45 m/s | EARTHQUAKE FACTOR | 0.15 |
| TYPE OF HEADS | 2:1 ELLIP. HEAD | FLUID NAME | AIR |
| WEIGHT & CAPACITY(ESTIMATED) | | | |
| WEIGHT (C.S) kg | WEIGHT OTHERS kg | | |
| WEIGHT (SUS) kg | WEIGHT LIQUID(S.G= -) kg | | |
| ERECTION WEIGHT 174 kg | TOTAL WEIGHT OPERATING 174 kg | | |
| WEIGHT INSULATION kg | TOTAL WEIGHT FULL WATER 474 kg | | |
| WEIGHT LADDER kg | CAPACITY 0.3 m ³ | | |
| GENERAL NOTES | | | |
| <p>1. ALL WELDS CONTINUOUS EXCEPT AS NOTED.</p> <p>2. ALL FLANGE BOLT HOLES SHALL BE STRADDLE ON THE CENTER LINE OF VESSEL.</p> <p>2. PAINTING</p> <p>- INTERNAL : BY MAKER SPEC'</p> <p>- EXTERNAL : SHOP PRIMER 2 COATS (RES LEAD)</p> <p>3. N1/N2/N5 NOZZLE SIZE</p> | | | |
| | SIZE | | |
| N1&N2 | 15A | 20A | 25A |
| SPEC | HALF.CPL'G | | |
| N5 | 20A | | |
| SPEC | HALF.CPL'G | | |
| 8 | ANCHOR BOLT/2NUT | SS400 | 3 |
| 7 | EARTH LUG | STS304 | 1 |
| 6 | LIFTING LUG | SS400 | 2 |
| 5 | BASE PLATE | SS400 | 3 |
| 4 | GUSSET PLATE | SS400 | 6 |
| 3 | SKIRT | SS400 | 1 |
| 2 | HEAD | SS400 | 2 |
| 1 | SHELL | SS400 | 1 |
| NO | DESCRIPTION | MATERIAL | Q'TY |
| CONT NO | JOB NO | | |
| DRAWING STARTED | | | TITLE TYMA-0030-1 |
| APPED BY | | | AIR RECEIVER TANK |
| TRACED BY | | | DESCRIPTION |
| | | | ASSEMBLY & DETAIL DWG. |
| CHECKED BY | | SCALE | DRAWING NO |
| DRAWN BY | | N/S | TYMA-0030-1-001 |
| | | | REV NO |
| | | | 1 |
| A | 3 | Ø120 | ACCESS HOLE |
| N7 | 1 | 50A | INSPECTION HOLE |
| N6 | 1 | 50A | INSPECTION HOLE |
| N5 | 1 | SEE NOTE 4. | SAFETY VALVE |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------|---|---|---------------|----------------|------------|----------|---------------|-------------|
| N4 | 1 | 20A | HALF COUPLING | | DRAIN | - | - | | - |
| N3 | 1 | 10A | HALF COUPLING | | PRESSURE GAUGE | - | - | | - |
| N2 | 1 | SEE NOTE 4. | | | AIR OUTLET | - | - | | - |
| N1 | 1 | | | | AIR INLET | - | - | | - |
| MARK NO. | NO. REQ 'D | SIZE | RATING | FACING | DESIGNATION | F R O M CL | L | DRAWING NO. | PIPING SCH. |
| NOZZLE SCHEDULE | | | | | | | | | |
| MATERIAL SPECIFICATIONS | | | | | | | | | |
| SHELL. HEADS. REINFORCING PADS | | | | | | SS400 | | | |
| SKIRT. BASE PLATE | | | | | | SS400 | | | |
| NOZZLE & MANHOLES | | | | | | SS400 | | | |
| FLANGES & COVERS | | | | | | SS400 | | | |
| NOZZLE NECK PLATE | | | | | | - | | | |
| PIPE NOZZLE NECKS & WELDING FITTINGS | | | | | | SGP | | | |
| INTERNAL SUPPORTS WELDED TO SHELL | | | | | | - | | | |
| PLATE FLANGE & COVERS | | | | | | - | | | |
| EXTERNAL LUGS | | | | | | SS400 | | | |
| GRATING.BAFFLE & MISC.STEEL | | | | | | - | | | |
| INTERNAL PIPE & WELDING FITTINGS | | | | | | - | | | |
| EXTERNAL BOLTS | | | | | | SS400 | | | |
| EXTERNAL NUTS | | | | | | SS400 | | | |
| INTERNAL BOLTING | | | | | | - | | | |
| EXTERNAL GASKETS | | | | | | RUBBER | | | |
| INTERNAL GASKETS | | | | | | - | | | |
| SCREENS.WIRE MESH DEMISTERS | | | | | | - | | | |
| PAINTING | | | | | | - | | | |
| INSULATION | | | | | | - | | | |
| INTERNAL SURFACE | | | | | | - | | | |
| NAME PLATE & EARTH LUGS | | | | | | STS304 | | | |
| NO | NAME | | | SPECIFICATION | | MATERIAL | QUANTITY | REMARK | |
| TOLERANCE UNLESS | |  |  | SCALE | 1/1 | UNIT | MM | DIMENSION | MACHINING |
| DRAWN | | DESIGNED | | CHECHED | | APROVED | | APROVED | |
| l.j.s | | | | | | | | | |
| PROJECTNAME | | | MEMBRANE TANK | | | PART NAME | | TANK ASS'Y | |
| CUSTOMER | HNL | | DATE | | 17.08.22 | | DWG NO. | THNL-MB01-001 | |

2-3. 3차년도 수행 내용

. CO 공급 시스템 최종 양산형 설계 및 제작

(1) CO₂ 공급 시스템 최종 양산형 설계

- 이산화탄소 공급 시스템의 최종 양산형 모델을 다음과 같이 설계함
- 이동형 탄산가스 저장장치와 함께 사용될 예정이므로, 지난 연차에 설비한 개선 시스템 보다 소형 사이즈로 계획되었으며 Membrane Module, Compressor, 1개의 Air Tank 및 Air Dryer로 구성되어 높이 x 폭 x 깊이 1,700 x 1,550 x 950 (mm)로 제작하였음
- 1, 2차년도의 Prototype을 기반으로 설계된 양산형 장비는 제작과 서비스가 용이한 형태의 경제적인 시스템을 지향하며 중공사 분리막을 이용하여 구성하였음

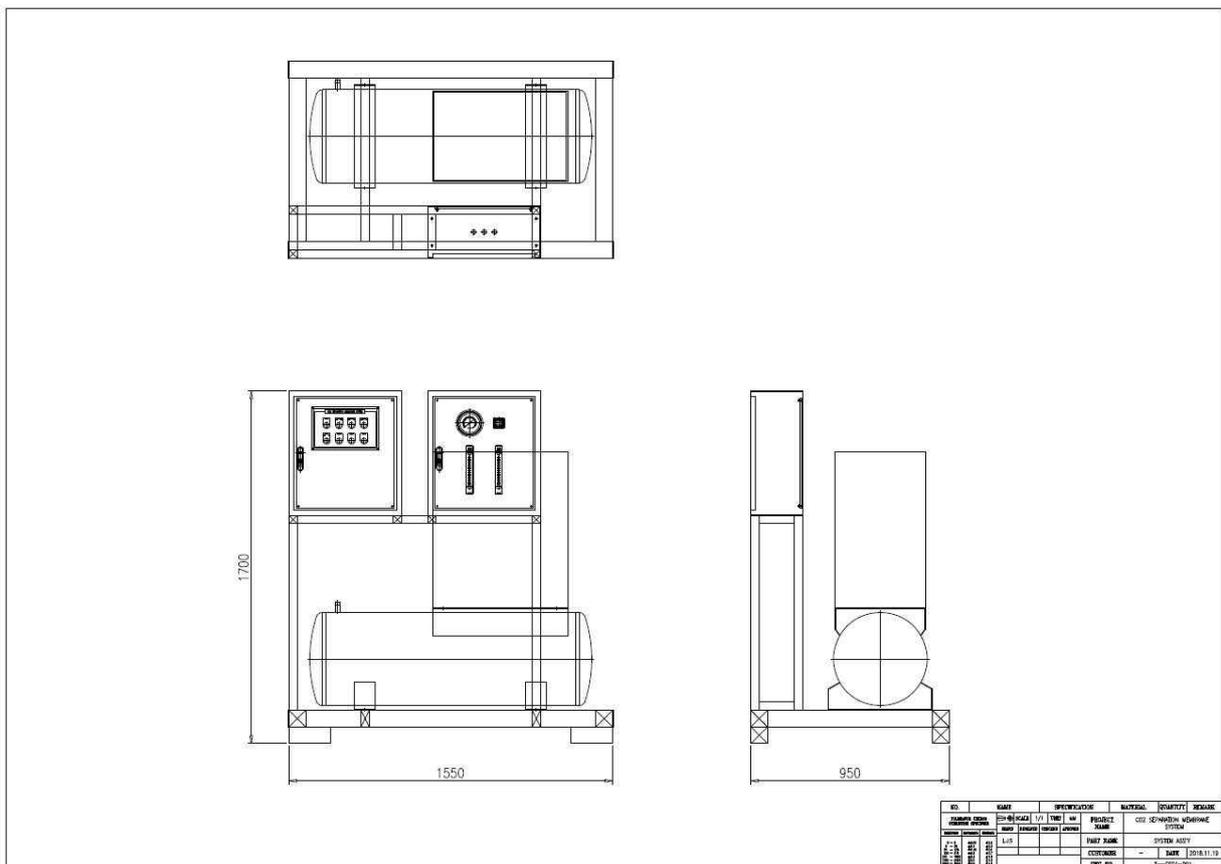


그림 75. 멤브레인 시스템의 양산형 설계

(2) CO 시스템 최종 양산형 제작

- 농업 시설 내 발생하는 이산화탄소를 포집하고 압축 저장할 수 있는 시스템으로서 축사와 인접한 장소에 설치가 용이할 수 있도록 범용성이나 호환성을 갖출 수 있도록 설계하여 제작
- 설계와 같이 가스 포집부, 이산화탄소 압축부, 수분 제거를 위한 드라이어 및 멤브레인 모듈로 구성됨



그림 76. 멤브레인 시스템의 양산형 제작

. CO 압축/이송 장치 양산형 설계 및 제작

(1) CO₂ 압축/이송 장치 양산형 설계

- 내에서 포집된 CO₂ 가스를 시설재배 농가에 이용하기 용이한 방법 중 현지 상황에 효율적인 방향으로 적용하기 위해서는 이동형 압축용기 시스템이 적당한 것으로 판단됨
- 그림과 같이 축산농가에서 CO₂ 가스를 포집하여 인근 거리에 위치한 시설재배 농가에 이송이 용이하도록 소형의 가스 탱크를 병렬로 연결하는 구성과 함께 이송용 대차 형식으로 설계하였음

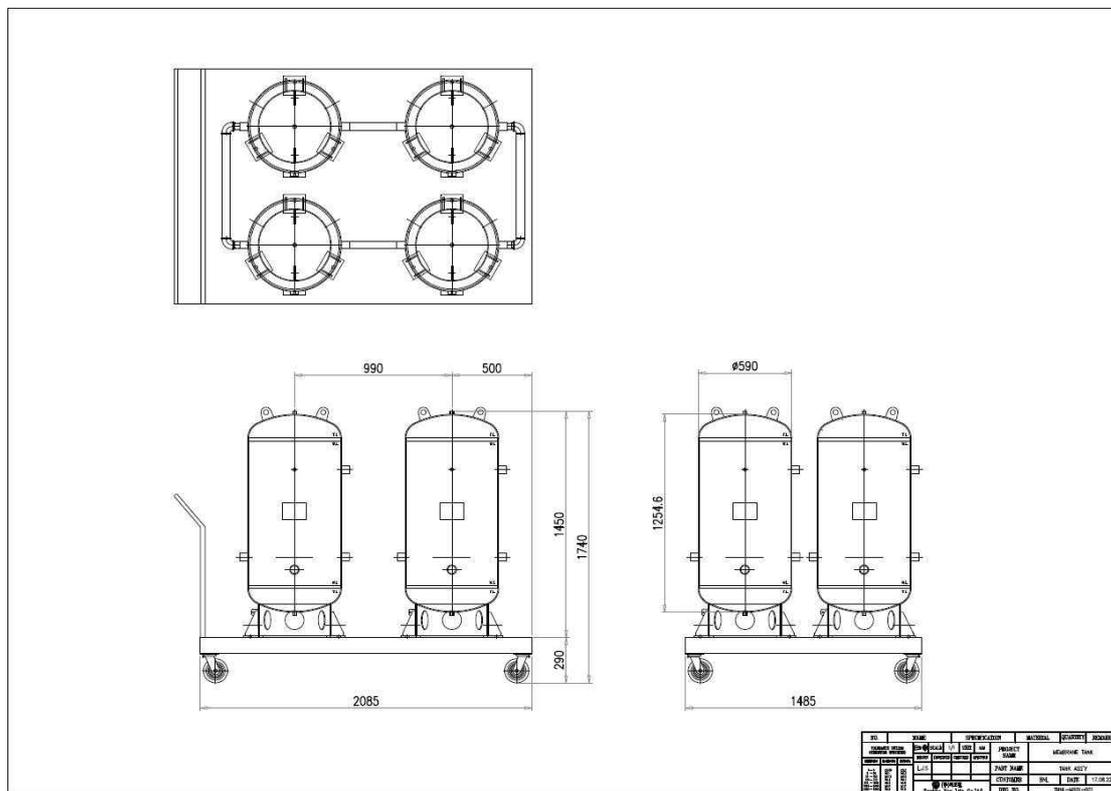


그림 77. 멤브레인 시스템 이동형 압축 탄산가스 장치 양산형 설계

(2) CO /이송 장치 양산형 제작

- 이송 대차의 설계와 같이 아래 그림에 제작된 압축 및 이송 장치를 나타내었음



그림 78. 멤브레인 시스템 이동형 압축 탄산가스 장치 양산 모델 제작



그림 79. 멤브레인 시스템 압축 탄산가스 탱크의 제원



그림 80. 멤브레인 압축 탄산가스 탱크의 안전 밸브 및 압력계 부착

. CO 포집 및 공급 시스템 확립

- 상용형 포집 및 공급 시스템을 축사 현장에 설치하였으며, 포집된 CO₂ 가스는 이송용 대차를 통하여 시설 원예 농가로 배송되어 작물 재배 시 이용할 수 있도록 CO₂ 가스의 포집과 공급 시스템을 운용하였음
- 그림에는 군위 지역 돈사에 설치된 포집 및 저장 시스템을 나타내었으며, 그림 83, 84에는 저장 시스템을 이송시켜 시설 재배 하우스에 분배할 수 있도록 구비한 모습을 나타내었음
- 상용형 시스템의 운용 방법으로 낮시간 동안 축사에서 발생하는 CO₂ 가스를 포집 및 압축 저장한 후 시설하우스 내 공급이 원활할 수 있도록 저녁 또는 야간 시간대에 CO₂ 가스 대차를 이송시켜 대기할 수 있도록 함



그림 81. 상용형 CO₂ 포집 및 공급 시스템의 현장 설치



그림 82. 멤브레인 시스템의 축사 포집 시스템 설치



그림 83. 멤브레인 시스템 축사 축 이동형 압축 탱크 운용



그림 84. 멤브레인 시스템 시설재배 하우스 축 분배 용기로 적용

. 온실 작물재배를 통한 구체적인 데이터 분석

(1) 작물 생육 비교

- 작물 생육의 비교 시험은 동일규모로 구성된 연구동과 비교동에서 CO₂ 공급 시 생육 상태를 조사하여 실증 분석을 수행함

(가) 시험 장소 및 조건

- 공시 재료 : 딸기(산타)
- 시험 장소 : 경상북도 군위군 군위읍 내량리 507-1번지
- 측정 대상 : 작물의 성장 비교를 위한 개체 수, 크기 등 수확량
기상 상태를 파악하기 위한 온실내 온/습도 정보 및 CO₂ 농도
- 시험 조건 : 시험 기간 중 오전 04시 경부터 07시 까지 약 3시간 동안 지속적으로 600~900 ppm의 CO₂ 공급

(나) 시험 장치의 설치

- 상용형 장치의 현장 시험을 위하여 군위 지역 돈사에 협조를 구하여 모돈사 외측부에 이산화탄소 포집 장치를 설치하고 그와 약간 이격된 거리에 압축 저장 용기 세트를 위치시켜 축사 내부의 이산화탄소 포집을 수행하였음



그림 85. 멤브레인 CO₂ 포집 및 저장 시스템의 축사 측 설치

- 현장 설치 전 개발품의 성능시험을 위해 축사 측으로부터 포집하여 이산화탄소 가스 공급 작

수행하며 개발 시스템에서 포집 후 공급 가능한 이산화탄소 농도를 측정하였음

- 포집 전 측사 내 이산화탄소 농도는 그림 86과 같이 2,148, 2,198 및 2,006 ppm 으로 평균 약 2,117 ppm 으로 측정되었음



그림 86. 측사 내 이산화탄소 농도 측정

- 개발 시스템을 측사 내에서 가동하여 이산화탄소의 포집 및 공급 동작을 수행했을 시 그림 87, 88과 같이 이산화탄소 농도가 측정되었음. 평균 약 7,311 ppm 으로 측정 및 산출되었으며 이는 향후 이산화탄소의 운반 및 공급 시스템의 용량과 크기를 상당 부분 감소시킬 수 있는 경제성과 연관될 수 있는 요인을 제공할 수 있을 것으로 판단됨



그림 87. 멤브레인 CO 포집 시스템의 공급 가능 농도 측정[1]



그림 88. 멤브레인 CO₂ 시스템의 공급 가능 농도 측정[2]

- 또한, 상용형 장비의 압축 및 저장 시스템을 이용하여 본 측사에서 이산화탄소를 고압으로 저장한 후 아래 그림 89와 같이 시설 재배 하우스 인근으로 이동되어 적정 시간대에 식물 성장을 위해 하우스 내부로 공급할 수 있도록 설치하였음



그림 89. 멤브레인 CO₂ 저장 및 공급 시스템의 시설재배 하우스 측 설치

- 현장 설치 전 개발품의 성능시험을 위해 측사 측으로부터 포집하여 시설하우스에 이산화탄소가스를 공급한 후 이산화탄소 농도를 측정하였음. 그림 90과 같이 측정되었으며 평균 약 1,314 ppm 으로 산출되었음



그림 90. 멤브레인 CO₂ 및 공급 시스템의 시설 하우스 내 공급 농도 측정

() 생육 상태의 측정

- 재배 시설의 실내/외 온/습도, CO₂ 농도를 측정하기 위하여 AZ Instrument의 AZ 77532 모델을 이용하였으며, NDIR 방식의 측정기이며 CO₂ 측정 범위는 0~3,000 ppm, 분해능 2 ppm, 정밀도 ±5%의 장비임



그림 91. 재배 시험 이산화탄소 농도 측정에 활용한 Carbon Dioxide Meter

- 개발 기간 중 몇 건의 반복 시험과 같이, 측정은 총 100분간의 공급 시간 중 실시하였으며, 대조군과 비교군의 농도가 비슷해지는 시점에서 시험을 중단함(약 96분 경과 후 대조군과 비교군의 이산화탄소 농도가 비슷한 값을 나타냄)



그림 92. 관행 재배 시 시설재배 하우스 내 이산화탄소 농도 측정



그림 93. 멤브레인 시스템 가동 시 시설재배 하우스 내 이산화탄소 농도 측정

- 정도의 비교를 위해 대조군과 비교군의 엽장 차이를 측정하였음. 이산화탄소 공급을 추가로 수행한 비교군의 경우 엽장이 다소 긴 경향을 보이기는 하였으나 통계적으로 유의미한 차이를 보이는 정도는 아니었음
- 아래 그림에 대조군과 비교군 별 생육 비교를 나타내었으며 엽장과 과실수 등의 차이를 확인할 수 있으며 이산화탄소 농도의 증가는 딸기의 재배에 긍정적인 영향을 미칠 것이라 판단할 수 있음



그림 94. 비교 시험 시 얻은 재배한 딸기의 생장 비교(대조군의 경우)



그림 95. 비교 시험 시 얻은 재배한 딸기의 생장 비교 (비교군의 경우)

- , 과실 크기, 과실 중량 등의 측정을 수행하였으며 사용된 측정장비는 CAS 전자저울 모델 EC-D이며, Min. 50 g, Max. 15 kg, Resolution 1 g 의 장비임



그림 96. 재배 시험 생체중 측정에 활용한 전자 저울

- 딸기의 생체중 측정을 수행하였으며, 대조군의 경우 15개 과실의 중량이 356 g으로 측정되어 과실 당 평균 23.7 g으로 산출됨
- 비교군의 경우 8개 과실의 중량이 203 g으로 측정되어 과실 당 평균 25.4 g으로 산출됨에 따라 이산화탄소 시비의 효과는 과실 중량 측면에서 산술적인 7.2 % 포인트 증가하는 결과



그림 97. 대조군 내 재배한 딸기의 생체중 측정

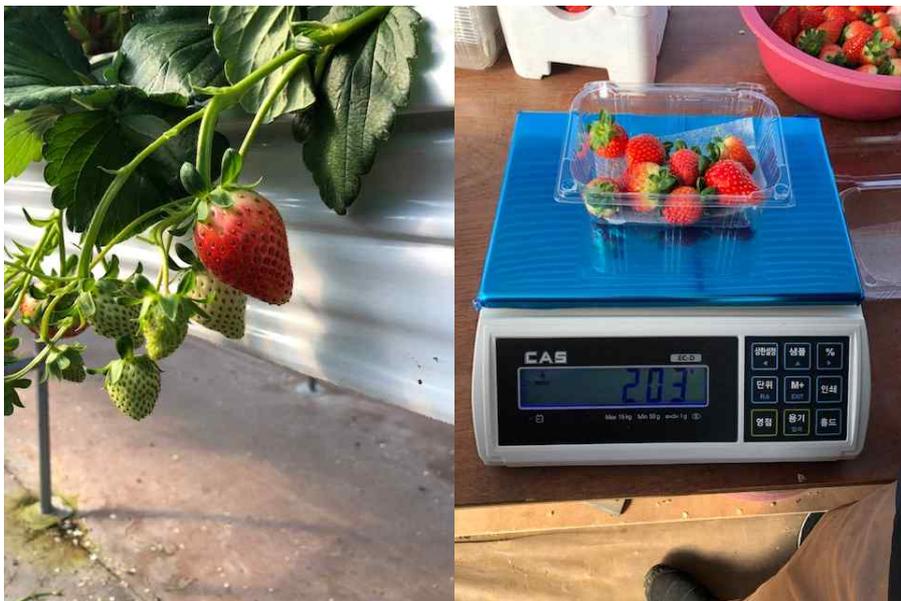


그림 98. 비교군 내 재배한 딸기의 생체중 측정

. 경제성 분석

- 본 개발품을 설치하여 포집 및 공급 과정을 통하여 작물 재배 시험을 실시하고 그 결과를 바탕으로 재배환경에 따른 경제성 분석을 수행하였음

(1) 경제성 분석 방법

(가) 운영수입에 따른 소비자의 지불의사에 관한 방법(WTP)

- WTP(Willingness-to-pay) = EV(Equivalent Variation, 대등변화), Compensating Variation(CV, 보상 변화)를 통한 Willingness-to-accept (WTA) 수용의지 방법 산출 기대는 다음과 같이 지불의사를 계산함
- EV는 분리막 기술을 이용한 대기 중 CO₂ 포집 및 시설하우스 공급장치 중 딸기 판매 운영수입에 대한 구매에 대한 지불의사의 구매를 표현하며 CV는 딸기재배에 따른 기타 구매에 대한 편익을 표현한 것임

$$U_0(Y_0, E_0)$$

where, U₀ : Initial state of well-being
Y₀ : Which is achieved with the income
E₀ : Environmental quality level

$$U_1(Y_0, E_1)$$

where, U₁ : Initial state of well-being
Y₀ : Which is achieved with the income
E₁ : Environmental quality level

$$U(Y_0 - WTP, 1) = U(Y_0, 0)$$

where, U : Initial state of well-being
Y₀ : Which is achieved with the income
WTP : Willingness-to-pay

- 분리막 기술을 이용한 시설 하우스 수익형 모델 생산자의 이익 계산

- 생산자의 경제적 이익 창출과 판매자의 이익을 계산

(나) 가격수준

- 시간이 지남에 따른 지속성에 대한 물가가격에 따른 구매 욕구에 대한 비용편익을 산정함

(다) 가격

- 사회적인 세금을 포함한 비용을 나타낸다. 일반적으로 Net-tax factor(NTF) 세금계수를 이 항목에 포함

(라) 유통 및 기타 누수 비용

- 유통과정 및 기타 누수 비용에 대한 내용을 포함

(마) 사회적 할인율

- 경험적 유래 할인 요금
- 이론적 유래 할인 요금

※ 본 사회적 할인율은 KDI(한국개발연구원)에서 최근 지정된 저성장형 모델의 4.5%를 채택함

$$p_x = d + e(gc - gn)$$

where, p_x : social marginal rate of time preference

d : pure rate of time preferences

e : Rate at which the marginal utility of consumption falls as per capita consumption increases

gc : yearly growth in the total real consumption

gn : yearly growth in population

(바) 할인절차

- 순현재가치(NPV, net present value)를 산출한다.

$$PV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + P_x)^t}$$

where, B_t : benefits in year
 C_t : costs in year
 P_x : social discount rate

(2) 경제성 분석 결과

- 비용편익결과 도출(시설재배하우스 농가 전체(총 생산량에 따른 딸기 품질 증가시))
- 비용

$$) + \{(B) \times ((1 + (C))^{(D)})\} \times (E) = (F)$$

there,

- (A) : 설치비용(초기설치 비용 20,000,000원, 333.3m² 당)
- (B) : 간접비(시설 유지비(10kw×24시간×30일×6개월) 및 수리비(매년 초기설치비용 10%))
- (C) : 할인율(3.5% 물가상승률)
- (D) : 행정입안정책적용 년도(년)
- (E) : 딸기 시설하우스 총면적에 따른 동수
- (F) : 총 비용(원)

$$[(A) \times (B) \times (E) + (G) + (H)] \times ((1 + (C))^{(D)}) = (F)$$

- 편익

there,

- (A) : 700ppm 경우의 딸기 증산 비율 12%(본 연구 실험)
- (B) : 총 생산량 (2014, 국가통계포털(KOSIS), 192,140톤)
- (C) : 할인율(3.5% 물가상승률)
- (D) : 행정입안정책적용 년도(년)
- (E) : 톤당 가격 (8,829 달러/192,140톤)*1,000원(2017년 납품 원가)
- (G) : 탄소저감배출 무게(1동당 1,813kg 탄소배출권 가격 적용, 톤당 400유로 ~ 2,500유로 적용시 870,240원 ~ 54,390,000원)
- (H) : 이산화탄소 제조에 따른 등유 소비 저감량(742.8리터, 리터당 1,000원)

표 25. 경제성 분석 결과(전국 총 생산량에 따른 딸기 품질 증가시)

| 비용 | 항목 | 모델명 | 최초 설치비 (A, 원) | 간접비 (B, 원) | 할인율 (C, %) | 행정입안 정책 적용 연도 (D, 년) | 시설하우스 총면적에 따른 동수 (딸기) (E, m ²) | 비용 총계 (F, 원) | | | B/C ratio |
|----|----|-------------------|----------------|-------------------|------------|----------------------|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|-----------|
| | 값 | | | 2,294,649,400,797 | | | | | | | |
| 편익 | 항목 | GI VA-시험-2018-013 | 딸기 증산비율 (A, %) | 총생산량 (B, 톤) | 3.5 | 10 | 톤당 가격 (E, 원) | 탄소저감 비용(G, 원) | 등유소비저감 비용(H, 원) | 편익 총계 (F, 원) | 1.21 |
| | 값 | | 12 | 192,140 | | | 8,829,000 | 870,240 *49,908 =43,431,937,920 | 742,800 *49,908 =37,071,662,400 | 2,793,657,199,131 | |

- 비용편익결과 도출(농가 1개당 10동 기준 비용편익분석)

표 26. 본 실험 군위 소재 딸기 농가 1동당 수익 및 지출된 내역

| 조수입(원) | 수량(kg) | 가격(원/kg) | |
|---------------|-------------|------------|----------|
| 6,748,529 | 1,176 | 8,829 | |
| 경영비(원) | | | |
| 2,988,006 | | | |
| 종묘비(원) | 무기질 비료비(원) | 유기질 비료비(원) | 농약비(원) |
| 679,643 | 110,992 | 125,286 | 69,366 |
| 광열동력비(원) | 수리비(원) | 제재료비(원) | 소농구비(원) |
| 279,233 | 3,272 | 777,222 | 2,665 |
| 대농구 상각비(원) | 영농시설 상각비(원) | 수선비(원) | 기타요금(원) |
| 126,005 | 268,051 | 30,474 | 2,286 |
| 농기계·시설임차료(원) | 토지임차료(원) | 위탁영농비(원) | 고용노력비(원) |
| 3,785 | 98,194 | 2,131 | 409,393 |
| 조수입-경영비=소득(원) | | | |
| 3,760,523 | | | |

- 비용

$$) + \{(B) \times ((1 + (C))^{D})\} \times (E) = (F)$$

there,

(A) : 설치비용(초기설치 비용 20,000,000원, 333.3m² 당)

(B) : 간접비(시설 유지비(10kw×24시간×30일×6개월) 및 수리비(매년 초기설치비용 10%))

(C) : 할인율(3.5% 물가상승률)

(D) : 행정입안정책적용 년도(년)

(E) : 딸기 시설하우스 총면적에 따른 동수

(F) : 총 비용(원)

$$[(A) \times (B) \times (E) + (G) + (H)] \times ((1 + (C))^{(D)}) = (F)$$

- 편익

there,

(A) : 700ppm 경우의 딸기 증산 비율 12%(본 연구 실험)

(B) : 총 생산량 (2014, 국가통계포털(KOSIS), 192,140톤)

(C) : 할인율(3.5% 물가상승률)

(D) : 행정입안정책적용 년도(년)

(E) : 톤당 가격 (8,829 달러/192,140톤)*1,000원(2017년 납품 원가)

(G) : 탄소저감배출 무게(1동당 1,813kg 탄소배출권 가격 적용, 톤당 400유로 ~ 2,500유로 적용시 870,240원 ~ 54,390,000원)

(H) : 이산화탄소 제조에 따른 등유 소비 저감량(742.8리터, 리터당 1,000원)

표 27. 경제성 분석 결과(농가 1개당 10동 기준 비용편익분석)

| 비용 | 항목 | 모델명 | 최초 설치비 (A, 원) | 간접비 (B, 원) | 할인율 (C, %) | 행정 입안 정책 적용 년도 (D, 년) | 시설하우스 총면적 (딸기) (E, m ²) | 1동 당 비용 총계 (F, 원) | | | | B/C ratio |
|----|----|-------------|----------------|---|------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------|
| | 값 | GI VA | 20,000,000 | 2,000,000 1,641,600 총 : 3,641,600 | 3.5 | 10 | - | 45,977,587 | | | | |
| 편익 | 항목 | 시-2 018- | 딸기 증산비율 (A, %) | 10동당 이익가격 (B, 원) | | | 3.5 | 10 | 톤당 가격 (E, 원) | 탄소저감비용(G, 원) | 등유소비저감비용(H, 원) | 편익 총계 (F, 원) |
| | 값 | 013 | 12 | 37,605,230 | - | 8,702,400 | | | 7,428,000 | 82,164,920원 | | |

. 결론

- (1) 온실 내 딸기의 생육 성장시 CO₂가스 농도를 비교해 본 결과 비교군의 시설하우스 내 일반적인 대조군 시설하우스와 비교 96분이 소요됨
- (2) 비교군과 대조군의 시설하우스의 CO₂ 가스이외 온도와 습도에 대한 유의적 차이는 보이지 않았음
- (3) CO₂ 가스 주입에 따른 시설하우스 내 딸기 생육 과채 중량은 대조군 시설하우스에서 과실 당 평균 23.7 g 또는 타 시험에서 1,176 kg 보다 비교군 시설하우스에서 과실당 평균 25.4 g 또는 1,317 kg 으로서 각각 약 7.2% 포인트 및 11.9% 포인트 증체된 수확량을 나타내었음
- (4) 이변량 상관분석 결과 CO₂가 생육 성장에 도움을 준다는 것을 통계적으로 입증하였음($\beta=0.832$, $p<0.05$)
- (5) 경제성 분석결과
 - 전국 대상 면적 총 생산량에 따른 딸기 품질 증가시 B/C ratio 1.21
 - 군위 소재 농가 대상 1개소 10동 기준 비용편익분석 B/C ratio 1.79

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표

| 성과 목표 | 사업화지표 | | | | | | | | | | 연구기반지표 | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|------------------|----------|------|----------|------------------------|------------------|----------|----------|------------------|------------------|----------------------------|
| | 지식 재산권 | | | 기술 실시 (이전) | | 사업화 | | | | | 기술 인증 | 학술성과 | | | | 교육 지도 | 인력 양성 | 정책 활용·홍보 | | 기타 (타 연구 활용 등) |
| | 특 허 출원 | 특 허 등록 | 품 종 등록 | 건 수 | 기 술 료 | 제 품 화 | 매 출 액 | 수 출 액 | 고 용 창 출 | 투 자 유 치 | | 논문 | | 논 문 평 균 IF | 학 술 발 표 | | | 정 책 활 용 | 홍 보 전 시 | |
| | | | | | | | | | | | | SCI | 비 SCI | | | | | | | |
| 단위 | 건 | 건 | 건 | 건 | 원 | 백만 원 | 백만 원 | 백만 원 | 명 | 백만 원 | 건 | 건 | 건 | 건 | 명 | 건 | 건 | | | |
| 가중치 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 최종 목표 | 2 | 1 | | 1 | | 3 | 1 | | 1 | | | 1 | | 2 | | | 1 | 2 | | |
| 1차 년 도 | 목 표 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 실 적 | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | |
| 2차 년 도 | 목 표 | 1 | | | | 2 | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | |
| | 실 적 | 1 | 1 | | | 2 | 19 | | | | | | 1 | | | | | 1 | | |
| 3차 년 도 | 목 표 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | | | | | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | | |
| | 실 적 | 1 | 0 | | | 2 | 0 | | | | | 1 | 1 | | | | 1 | 3 | | |
| 소 계 | 목 표 | 2 | 1 | | 1 | 3 | 1 | | 1 | | | 1 | | 2 | | | 1 | 2 | | |
| | 실 적 | 2 | 1 | | 1 | 4 | 19 | | 2 | | | 1 | | 2 | | | 1 | 4 | | |
| 종료 1차년도 | | | | | | 1 | 5억 | | | | | | | | | | | 1 | | |
| 종료 2차년도 | | | | | | 1 | 8억 | | | | | | | | | | | 1 | | |
| 종료 3차년도 | | | | | | 1 | 20억 | | | | | | | | | | | | | |
| 종료 4차년도 | | | | | | | 30억 | | | | | | | | | | | | | |
| 종료 5차년도 | | | | | | | 35억 | | | | | | | | | | | | | |
| 소 계 | | 1 | | | | 3 | 98억 | | | | | | | | | | | 2 | | |
| 합 계 | 2 | 2 | | 1 | | 6 | 99억 | | 1 | | | 1 | | 2 | | | 1 | 3 | | |

3-2. 목표 달성여부

· 국내외 논문 게재

| No | 논문명 | 학술지명 | 주저자명 | 호 | 코드번호 | | C-06-01 | | |
|----|--|-----------|------|--------|------|----------|------------------|-----|------|
| | | | | | 국명 | 발행기관 | SCI여부 (SCI/비SCI) | 게재일 | 등록번호 |
| 1 | 분리막 기술을 이용한 축산시설 CO ₂ 포집 및 시설 하우스 공급장치 개발 | 한국환경보건학회지 | 나규동 | 44권 6호 | 대한민국 | 한국환경보건학회 | 비SCI | | |

한국환경보건학회지, 제44권 제6호(2018)
J Environ Health Sci. 2018; 44(6): 599-607

p-ISSN: 1738-4087 e-ISSN: 2233-8616
https://doi.org/10.5668/JEHS.2018.44.6.599

원저 | Original articles

축산시설 내 온실가스(CO₂) 포집 및 시설하우스 공급을 통한 온실가스 저감기술 개발

나규동* 조만수**

*기바린티내셔널(주), **대구가톨릭대학교 산업보건학과

Development of GHG Reduction Technology by Collecting Greenhouse Gas (CO₂) in Livestock Facilities and Supply of Facility House

Gyu Dong Nah* and Man Su Cho**

*Giva International Co. Ltd.

**Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu

ABSTRACT

Objectives: Carbon dioxide (CO₂) may be one of the biggest causes of climate change. The purposes of this study were to reduce greenhouse gases and to increase strawberry production by developing the supply devices in livestock facilities using the membrane technology

Methods: Carbon dioxide was collected from beside to livestock facilities. The injection of CO₂ was stopped when it reached 1,000 ppm in the facility house. Case group with injection of CO₂ was compared to control group with normal environment. The experiments were conducted for 8 days from December 11, 2017.

Results: Total strawberry production was found to be 1,317 kg in the case group and 1,176 kg in the control group. The correlation between CO₂ and crop yields has led to some statistical evidence that carbon dioxide helps to grow (β=0.832, p<0.05).

Conclusions: This study identified the potential for efforts to reduce the CO₂ in farming households. Increased concentrations of CO₂ have shown that strawberries have a better growth condition. In addition, it can be explained that the plants need wide leaves to quickly absorb much CO₂.

Keywords: Membrane, carbon dioxide (CO₂), carbon cycle, facility house, strawberry

I. 서론

이산화탄소는 기후변화를 일으키는 가장 큰 원인 물질 중 하나이다.^{1,2} 기후변화로 인한 지구는 산업 혁명 이후 지속적으로 환경파괴가 되고 있다.^{3,4} 산업 혁명 이후 이산화탄소는 35% 이상 증가하였다.⁵ 이산화탄소 증가량은 다른 온실가스보다 빠르게 증가하고 있으며 이는 인류멸망까지 초래할 수 있다는

경고를 주고 있다. 세계 각국에서는 온실가스에 대한 규제 및 국가별 탄소배출권 거래까지 이뤄지고 있다.^{1,6,7} 현재 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있는 방법을 전 세계적으로 연구하고 있으나 획기적인 성과 방법을 찾는 것은 어렵다고 볼 수 있다.⁸ 산업의 근간이 될 수 있는 1차 산업의 농업분야에서는 「농가마을 탄소 순환」이란 정책으로 탄소 배출 후 탄소를 자체 감축하는 캠페인이 추진되고 있다.^{9,10} 농

*Corresponding author: D5-217, 13-13 Hayang-m, Hayang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do, Rep. of Korea, Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu, Korea, Tel. +82-53-850-3739, Fax: +82-53-850-3736, E-mail: s100002@naver.com
Received: 07 December 2018, Revised: 13 December 2018, Accepted: 20 December 2018

그림 99. 학술논문 투고 실적

나. 국내 및 국제학술회의 발표

| No | 회의명칭 | 발표자 | 발표일시 | 코드번호 | | C-06-02 | |
|----|---------------------------|-----|--------------|--------------|------|---------|--|
| | | | | 장소 | 국명 | | |
| 1 | 제47회 한국산업보건학회 2017 하계학술대회 | 조만수 | 2017. 8. 16 | 현대호텔 경주 | 대한민국 | | |
| 2 | 한국환경보건학회 2018 가을정기학술대회 | 나규동 | 2018. 11. 15 | 서울대학교 호암교수회관 | 대한민국 | | |

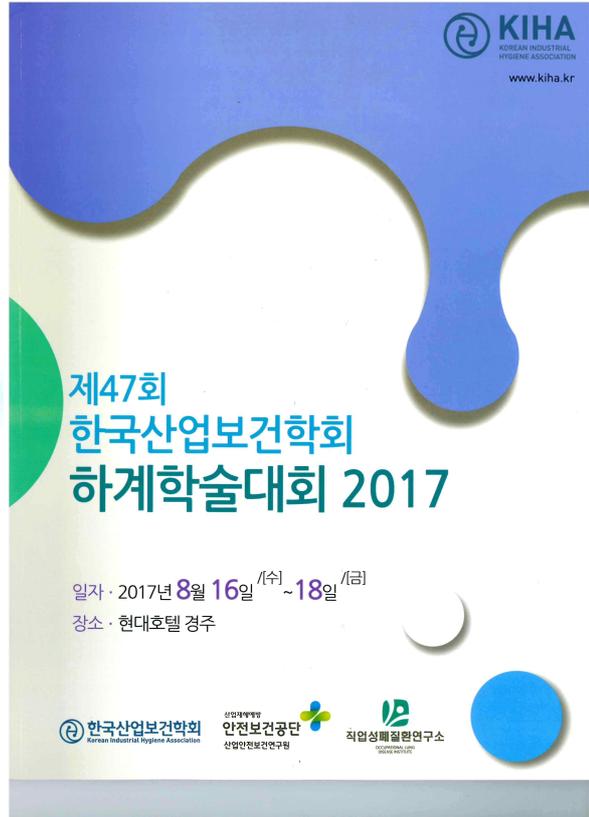


그림 100. 국내 학술대회(2017년 한국산업보건학회) 발표 실적

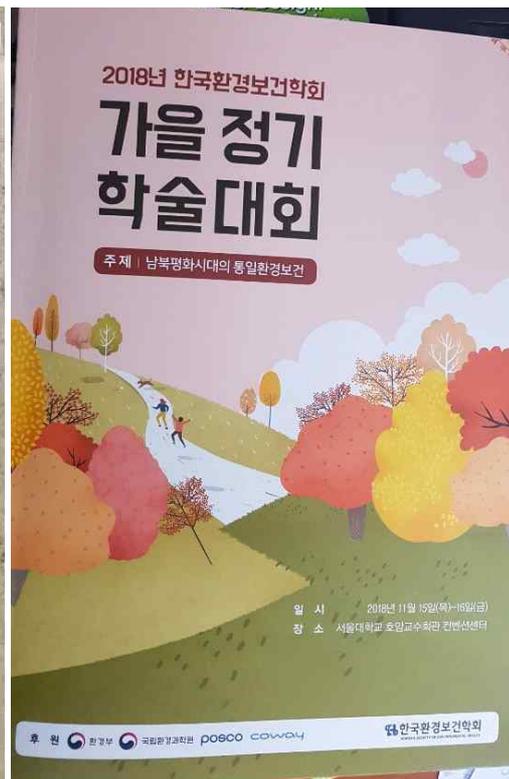
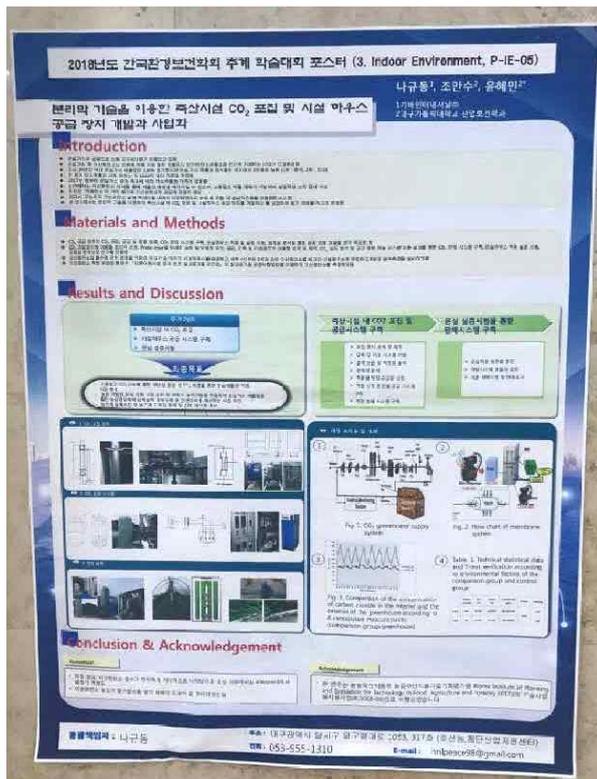


그림 101. 국내 학술대회(2018년 한국환경보건학회) 발표 실적

· 생명자원(생물자원)/화합물

| | | 코드번호 | | C-06-03 |
|----|-----------------|---------|---------|---------|
| No | 생명자원(생물자원)/화합물명 | 등록/기탁번호 | 등록/기탁기관 | 발생년도 |
| | | | | |
| | | | | |

라. 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

| | | | 코드번호 | | C-06-04 | | | | |
|----|--|-----|------|----------|-----------------|-----|----------|------------|-----|
| No | 지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재) | 국 명 | 출원 | | | 등록 | | | 기여율 |
| | | | 출원인 | 출원일 | 출원번호 | 등록인 | 등록일 | 등록번호 | |
| 1 | 축사용 이산화탄소 포집모듈 시스템 및 이를 이용한 이산화탄소 공급 시스템 | 한국 | 나규동 | 20151021 | 10-2015-0146519 | 나규동 | 20160205 | 10-1594742 | 100 |
| 2 | 이산화탄소 포집 및 분배 시스템 | 한국 | 나규동 | 20181017 | 10-2018-0123536 | | | | |

등록특허 10-1594742

| | | |
|---|--|---|
|  | (19) 대한민국특허청 (KR) | (45) 공고일자 2016년02월16일 |
| | (12) 등록특허공보(B1) | (11) 등록번호 10-1594742 |
| | | (24) 등록일자 2016년02월05일 |
| (51) 국제특허분류(Int. Cl.) | B01D 53/22 (2006.01) A01G 9/18 (2006.01) | (73) 특허권자 나규동 |
| | A01K 1/00 (2014.01) B01D 53/68 (2006.01) | 대우광역시 달성군 다사읍 대실역남로 35, 403동 202호(죽곡청아파트리슈빌4단지) |
| (52) CPC특허분류(Coo. Cl.) | B01D 53/22 (2013.01) | (72) 발명자 나규동 |
| | A01G 9/18 (2013.01) | 대우광역시 달성군 다사읍 대실역남로 35, 403동 202호(죽곡청아파트리슈빌4단지) |
| (21) 출원번호 | 10-2015-0146519 | (74) 대리인 이용환 |
| (22) 출원일자 | 2015년10월21일 | |
| 심사청구일자 | 2015년10월21일 | |
| (56) 선행기술조사문헌 | KR101501697 B1 KR101439523 B1 KR1019950073538 A KR1020140025801 A | |

전체 청구항 수 : 총 7 항 심사관 : 김경은
 (54) 발명의 명칭 축사용 이산화탄소 포집모듈 시스템 및 이를 이용한 이산화탄소 공급시스템

(57) 요약
 본 발명은 축사에 연결되는 포획관 축사용 이산화탄소 포집모듈 시스템으로서, 축사와 연결되므로 연결되어 축사에서 발생된 온실가스를 압축하여 공급하는 제 1 압축제; 제 1 압축제에서 압축된 온실가스를 건조시켜 수분을 분리하는 드라이어; 드라이어를 통해 수분이 분리된 온실가스의 공급을 제어하는 공급밸브; 공급밸브를 통

(뒷면 계속)

도표도

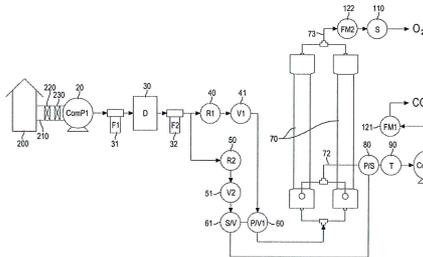


그림 102. 축사용 이산화탄소 포집모듈 시스템 및 이를 이용한 이산화탄소 공급 시스템 기술의 특허 출원 및 등록

관인생략 출원번호통지서

출원일자 2018.10.17
 특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)
 출원번호 10-2018-0123536 (접수번호 1-1-2018-1020980-25)
 출원인명칭 기바인터내셔널 주식회사(1-2005-017132-4)
 대리인성명 이충한(9-2013-001988-2)
 발명자성명 나규동
 발명의명칭 이산화탄소 포집 및 분배 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 통통된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 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
 ※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

그림 103. 이산화탄소 포집 및 분배 시스템 기술의 특허 출원

· 저작권(소프트웨어, 서적 등)

| | | | | | | C-06-05 | |
|----|-------------------------------|----------|------------|----------|------------------|------------|------|
| No | 저작권명 | 창작일 | 저작자명 | 등록일 | 등록번호 | 저작권자명 | 기여율 |
| 1 | 이산화탄소 포집, 분배, 공급 장치의 콘트롤 프로그램 | 20170320 | 기바인터내셔널(주) | 20181029 | 제 C-2018-028355호 | 기바인터내셔널(주) | 100% |

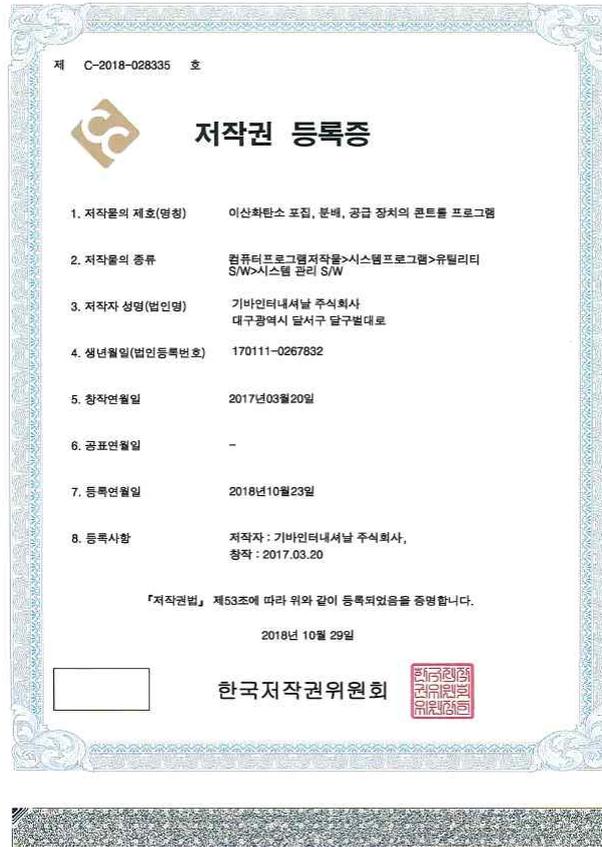


그림 104. 이산화탄소 포집, 분배 및 공급 콘트롤 프로그램의 저작권 등록

· 전문연구 인력양성

| No | 분류 | 기준 년도 | 현 황 | | | | | | | | | | | |
|----|----|----------|-----|----|----|----|----|---|-----|-----|-----|-----|----|--|
| | | | 학위별 | | | | 성별 | | 지역별 | | | | | |
| | | | 박사 | 석사 | 학사 | 기타 | 남 | 여 | 수도권 | 충청권 | 영남권 | 호남권 | 기타 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | |

사. 산업기술 인력양성

(: 명, 년)

| No | 프로그램명 | 프로그램 내용 | 교육기관 | 교육 개최회수 | 코드번호 | |
|----|-------|---------|------|---------|---------|--------|
| | | | | | C-06-07 | 총 교육시간 |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |

. 기술거래(이전) 등

| | | | | | 코드번호 | C-06-08 |
|----|---------|---------|-----------|-----------|----------------|---------|
| No | 기술이전 유형 | 기술실시계약명 | 기술실시 대상기관 | 기술실시 발생일자 | 기술료 (당해연도 발생액) | 누적 징수현황 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

자. 사업화 투자실적

| | | | | 코드번호 | C-06-09 |
|----|-----------|-------|-------|------|---------|
| No | 추가 R&D 투자 | 설비 투자 | 기타 투자 | 합계 | 투자자금 성격 |
| | | | | | |

차. 사업화 현황

| | | | | | | | 코드번호 | C-06-10 | | |
|----|--------|--------|-------|-------------|------|---------|--------|---------|---------|-------|
| No | 사업화 방식 | 사업화 형태 | 지역 | 사업화명 | 내용 | 업체명 | 매출액 | | 매출 발생년도 | 기술 수명 |
| | | | | | | | 국내 | 국외 | | |
| 1 | 매출 | 판매 | 국내 세종 | 멤브레인 시스템 모듈 | 모듈판매 | (주)이디에프 | 19 백만원 | | 2016 | 10년 |

카. 표준화

| | | | | | 코드번호 | C-06-11 | |
|----|-------|--------|--------|--------|------|---------------------|----|
| No | 수행기관명 | 표준화 주제 | 표준화 기구 | 표준화 단계 | 관련번호 | (채택)일 yyyy.mm.dd | 국가 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

타. 기술요약정보

| | | | 코드번호 | C-06-12 |
|----|-----|------|-------|---------|
| 연도 | 기술명 | 요약내용 | 기술완성도 | 등록번호 |
| | | | | |
| | | | | |

파. 보고서 원문

| | | 코드번호 | C-06-13 |
|----|--------|------|---------|
| 연도 | 보고서 구분 | 발간일 | 등록번호 |
| | | | |
| | | | |

. 기타

(1) 제품화 실적 [합계 4건]

- 이산화탄소 포집장치의 제품화



그림 105. 제품화 실적 ① 이산화탄소 포집 장치

- 이산화탄소 공급장치의 제품화



그림 106. 제품화 실적 ② 이산화탄소 공급 장치

- 양산형 이산화탄소 공급장치의 제품화



그림 107. 제품화 실적 ③ 양산형 이산화탄소 공급 장치

- 이산화탄소 압축/이송 장치의 제품화



그림 108. 제품화 실적 ④ 이동형 압축 탄산가스 장치

(2) 정책활용 : 경기도청 동물방역위생과, 농업정책과에 본 개발 내용을 전하여 시범 운영 제안

기바인터내셔널 주식회사

우편 42801 대구광역시 달서구 달우빌대로 1063, 37,38층(호산동, 첨단산업지원센터) TEL(053)355-1310 / FAX(053)355-1311

| | | | | | |
|------|------------------|-----|--|----|--|
| 문서번호 | GV-18-09-20-2 | 성명 | | 지시 | |
| 시행일자 | 2018. 09. 20 () | 접일자 | | 결 | |
| 수신 | 경기도청 동물방역위생과 | 수번호 | | 개 | |
| 참조 | 동물방역위생과장 | 처리과 | | 공 | |
| | | 담당자 | | 함 | |

제목 2018년 농림식품기술기획기원 기술사업화지원사업 결과에 따른 정책 제안 건

1. 귀 청의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 당사는 2018년 "분리막 기술을 이용한 축산시설 CO₂ 포집 및 시설하우스 공급 장치 개발 사업화" 수행을 통해 별첨과 같은 결과를 도출하였습니다.
3. 첨부자료를 통해 향후 경기도 내 축산 및 재배농기 시범운영 관련 정책제안을 위해 본 결과를 송부하오니 검토하시어 시범운영 할 기회를 마련해 주시면 감사하겠습니다.

첨부 분리막 기술을 이용한 축산시설 CO₂ 포집 및 시설하우스 공급 장치 기술 소개자료 1부 끝.

분리막 기술을 이용한 축산시설 CO₂ 포집 및 시설 하우스 공급 장치

본 기술은 농업분야에서도 많은 CO₂ 를 배출하는 축산시설에서 교농도의 CO₂ 를 분리막 기술을 통해 포집 저장하여 작물 재배농가에 공급함으로써 농촌의 자발적인 온실 감축과 시설 농가의 CO₂ 시비를 통한 생산성 향상에 기여하는 장치임

□ 축산시설의 온실가스 배출문제

- 최근 한국농촌경제연구원 연구자료에 따르면 2005년~ 2013년까지 농업 관련 부문의 온실가스 연평균 배출량은 약 3,000만 톤 정도 되는 것으로 추정되고 이 가운데 축산활동을 통해 배출되는 온실가스는 약 860만 톤으로 가장 많은 양을 차지하는 것으로 나타나 감축이 필요한 상황임
- 현재 농림축산식품부는 농업부문에 대한 의무적인 온실가스 감축을 요구하는 대신 '농업·농촌 자발적 온실가스감축사업' 및 '저탄소 농축산물 인증제' 를 도입하여 자발적 감축을 유도하고 있음

□ 고품질 작물재배를 위한 CO₂ 시비

- 작물 재배에 있어서 CO₂ 의 최적 시비는 농업생산성에 긍정적인 영향을 준다는 연구들이 발표되고 있으며 국립원예특작과학원에서 피프리카 재배 CO₂ 시비효과와 방법을 연구한 결과 CO₂ 를 일출 후 4~12(CO₂ppm) 시비하면 수량이 15% 증가하고 11kg/ha 연 9,922천원 소득이 증가한다는 결과를 발표하였음
- 또한, CO₂ 시비를 통해 생산된 딸기의 경우 평형성이 잘 되어 당도 및 경도 등이 우수한 딸기가 생산되는 것으로 분석되었고 이를 소비가 인명에게 불라이트테스트를 한 결과 CO₂ 시비를 한 딸기의 선포도가 81.4%로 시비하지 않은 딸기의 선포도 38.8%에 비해 월등히 높은 것으로 나타남
- 이처럼 시설하우스에서 고품질 작물을 재배하기 위해서는 CO₂ 시비가 필요하지만 액화탄산 시장은 최근 몇 년 사이 공급에 차질을 초래하고 있을 뿐만 아니라, 그 가격 또한 비싸게 형성되어 농업경영에 막대한 지장을 초래하고 있음
- 이와 같이 농업분야 온실가스 배출의 1순위인 축산시설의 CO₂ 감축과 농가의 인공적인 CO₂ 공급을 위해 포집과 공급 기술 개발이 절실히 요구되고 있는 상황임

기바인터내셔널 주식회사 대표 

□ 기술소개

C 시스템 개요도

- 농림시설(축사)내의 이산화탄소를 포집 압축하여 저장 및 공급하는 시스템



3) 핵심 기술별 주요내용

- CO₂ 포집장치의 기계 분리막
- 중공사막은 단위부피당 면적이 다른 막에 비해 크며 상용화된 중공사막은 대개 0.5μm 보다 얇음
- Drier의 막 두께로부터 8.7~10-10mol / m2 × s × Pa 의 기계 요율 가능
- CO₂ 포집장치의 구성
- 컴프레서 가스 포집부에서 이산화탄소 압축
- 드라이어 압축된 온실 가스 건조
- 멤브레인 모듈 이산화탄소 분리
- 상용 형태의 전체 시스템은 각각의 구성부를 사각형상의 베이스 프레임(2,600×2,500mm) 상부에 수직으로 세워진 마운팅 프레임(2,300mm)과 수평으로 구성되는 지지 프레임 등으로 모듈형태의 하우스정으로 구성
- CO₂ 공급시스템
- 농가에 적당농도의 CO₂ 를 공급하기 위한 압력 및 농도 조절 장치 설계 제작
- 농가에서 탄산 시비 시 필요한 탄산의 소모를 막고, 필요 시 구입한 탄산을 같이 사용할 수 있도록 탄산가스 볼베의 설치 또한 가능한 형태의 장비 구성

C 분리막 기술을 이용한 축산시설 CO₂ 포집 및 시설 하우스 공급장치

1) CO₂ 포집 시스템

- CO₂ 포집 시스템은 가스 포집부에서 이산화탄소를 압축하는 컴프레서, 압축과 동시에 수분을 제거할 수 있도록 압축된 온실 가스를 건조시키는 드라이어 및 이산화탄소를 분리하는 멤브레인 모듈로 구성하였음

2) CO₂ 압축 / 이송장치

- 농가 현장에 적정 농도의 CO₂ 를 공급하기 위한 압력 및 농도 조절을 위한 장치를 설계 제작하여 농가에서 탄산 시비 시 필요한 탄산의 소모를 막고, 필요 시 구입한 탄산을 같이 사용할 수 있도록 탄산가스 볼베의 설치 또한 가능한 형태의 장비로 구성함

- 포집된 CO₂ 가스의 농기이송을 위한 이동형 압축용기 아반블리

- 고압 이송용 용기의 경우 축산농가 포집 후 인근 시설원예농가에 이송이 용이하도록 소형 압력 볼베를 병렬연결 하는 구조로 설계

- 포집 이송된 CO₂를 적정 농도로 분배 시키기 위해 CO₂ 유량 조절장치 구성
- CO₂ 압축이송장치
- 이동형 압축용기 아셈블리의 개발을 통한 포집된 CO₂ 가스의 농기이송 방법 제시
- 속사와 같은 고농도 CO₂ 발생 지역에서 포집할 10,000-12,000ppm의 CO₂를 0-9bar로 압축, 1-2m³ 규모의 압축용기에 저장하여 공급 할 경우 단일 장비의 활용도를 높일 것으로 판단 적정 설계 및 용량 산정을 통해 1-2m³ 규모의 이동형 압축용기 아셈블리 및 이송용 대차 설계·제작
- 고압 이송용 용기는 포집 후 이송이 용이하도록 소형 압력 분배를 병렬연결 구조로 설계



□ 활용계획 및 기대효과

○ 활용계획

- 시설농가 CO₂ 시비를 통한 생산성 향상
- CO₂ 포집을 통한 탄소배출권 거래 시장 형성
- 농촌 자발적 온실 건축 사업 추진
- 저탄소 농업기술을 적용하여 온실가스 배출량을 줄인 농업경영체에 감축실적 정부구매 등 인센티브를 제공하는 사업 추진
- 농기계 등록추진 및 농기계 가격진 등재 및 지적 재산권 확보

○ 기술적 측면

- 분리막을 이용한 CO₂ 포집 기술 개발이 농업시설의 새로운 환경 창출이 예상됨
- 효율적인 CO₂ 공급체계의 구축을 통한 실용화
- CO₂ 포집과 공급 장치 개발을 통한 농가의 새로운 이익 구조 창출
- 분리막 이용 CO₂ 공급 장치의 농업시설 적용으로 통하여 고정비탄산시비비용을 줄이고 생산성향상을 통한 수출경쟁력 강화
- CO₂ 회수 및 시비의 탄소순환을 통한 추가적 CO₂ 발생이 없는 친환경 탄산가스 저감효과

○ 경제·산업적 측면

- 현재 추진되고 있는 탄소배출권 사담에 있어 본 연구에서 만들어코자하는 기계의 도입으로 농가 및 정부차원의 경제적 이익이 있을 것으로 전망됨
- 시설원에 시장에서 역회탄산가스는 이미 널리 쓰이고 있으며 이를 대체할 수 있는 본 시스템을 공급 하였을 경우 고품질, 고가격 작물의 시설하우스의 생산성 향상이 기대됨
- 국내 온실가스 목표관리제 도입 및 시행에 따른 감축량 할당에 대한 기술적 대책방안 강구
- 경제성장 둔화 없는 온실가스 저감을 통한 지속가능한 성장과 환경보호 동시 달성
- 국가 녹색산업 육성정책에 부응 및 기술시장 진입능력 제고

그림 109. 정책활용 (경기도청, 2018. 09. 07)

(3) 홍보전시 [합계 4건]

- 중공사막형 멤브레인 활용과 관련하여 2017년 8월 3~5일 동안 중국 북경 소재 CAU(China Agricultural University)에서 멤브레인 필터링 기술 설명 및 해외적용을 위한 CAU와의 홍보 미팅 및 MOU 체결을 실시하였음



그림 110. 홍보전시_미팅 및 MOU 체결 (중국, CAU, 2017. 08. 03~05)

- CAU 학장 및 부학장 등 관련 교수/연구진을 대상으로 본 기술에 대한 설명 및 홍보 진행하였으며, CAAE(China Academy of Agricultural Engineering, 한국내 농촌진흥청 농업공학부 대응기관)의 부소장을 접견하고 관련 기술에 대한 의견을 교환하였음



그림 111. 홍보전시 담당자 정보 (중국, CAU, 2017. 08. 03~05)

- 영남일보, 대구일보 및 매일신문 등 이산화탄소 포집 및 공급 기술개발 관련 농림축산식품과 학기술대상 총리상 수여 내용 게재



그림 112. 신문기사 게재 ① (영남일보)

D 대구일보

사람 지역 정치 경제 사회 문화 교육 오피니언 스포츠 일반 포토 특집 PDF

통합검색

대구에 소재한 중견 기업인 기바인터내셔널(주) 나규동 대표가 18일 서울 양재동 aT센터에서 열린 '제21회 농림축산식품 과학기술 대상' 시상식에서 국무총리표창을 수상했다.

나규동 대표는 '분리막 기술을 이용한 CO2 포집 및 시설 하우스 공급 장치'와 'NFC 및 영상인식 기술을 활용한 가축 전염병 확산방지 기술'을 통해 농가의 재배작물 품질 향상 및 소득 증대, 온실가스 감축 방안과 가축전염병 사전차단 방안 마련 등 국가와 국민 생활의 발전에 기여한 공적을 인정 받았다.

'분리막 기술을 이용한 CO2 포집 및 시설 하우스 공급 장치'의 경우 '축산시설에서 발생하는 고농도의 CO2를 포집하여 이를 압축 저장하고 작물재배 농가에 공급하는 기술이다. 이 기술은 친환경 CO2포집 및 시비 기술 확보를 통해 국가 온실가스 저감 목표 달성에 기여하고 탄소 시비에 발생하는 고경비의 감소와 생산성 향상을 통한 농가소득 증대 및 수출경쟁력 강화 효과가 기대된다.

'NFC 및 영상인식 기술을 활용한 가축 전염병 확산방지 기술'의 경우 스마트폰(방문자)과 방문차량(영상인식)의 출입 이력을 관리하고 가축전염병 발병 시 승인된 사람만 농가에 출입이 가능하도록 구성된 시스템으로 가축전염병 발생 초기에 차단 방역에 기여할 것으로 기대된다. 향후 정부 주도의 국가동물방역통합시스템 등 기존 인프라와 결합하면 가축전염병의 초기 확산 방지가 가능한 것으로 판단되며 이를 통해 지역 경제활동 위축과 살처분 등 재정 손실 방지에 기여할 것이라고 밝혔다.

나규동 대표는 "농업 현장에 필요한 기술을 개발하고 이를 적용하기 위해 부단히 노력해준 회사 연구원들과 여러 관계자에게 감사 말씀을 전하며, 앞으로도 국내 농업 발전과 현장 적용에 더욱 증진하겠다"고 수상소감을 전했다.

이창재 기자 lcj@idaegu.com

그림 113. 신문기사 게재 ②(대구일보)

농업기술 개발한 지역업체, '농림축산식품과학기술대상' 국무총리 표창 수상

매일신문 배포 2018-10-21 16:27:49 | 수정 2018-10-21 16:14:40 |



기바인터내셔널(주) 나규동 대표(오른쪽)는 18일 열린 '농림축산식품과학기술대상'에서 국무총리 표창을 받았다.

축산시설에서 나오는 이산화탄소(CO2)를 작물재배농가에 공급하는 획기적 기술을 개발한 대구시 달성군의 기바인터내셔널(주) 나규동 대표.

나 대표는 '분리막 기술을 이용한 CO2 포집 및 시설 하우스 공급장치' 등의 기술 개발 공로를 인정받아 지난 18일 '농림축산식품과학기술대상' 시상식에서 국무총리 표창을 받았다. 해당 시상식은 우수 연구개발을 통해 농식품발전에 기여한 연구자를 발굴하는 취지로 올해 21회째를 맞았다.

현재 작물재배농가에서는 식물 광합성에 필요한 CO2를 위해 CO2 발생기를 구비하는 등 추가 비용을 감수하고 있는 상황이다. 가족들이 내뿜는 고농도의 CO2를 활용하면 축산시설과 작물재배농가가 모두 윈윈 효과를 거둘 수 있다는 것이다.

나 대표는 해당 기술이 작물재배농가에 큰 도움이 될 뿐만 아니라 온실가스 저감에도 효과가 있다고 강조했다. 나 대표는 "이 장치를 이용하면 친환경적으로 CO2를 모아 농가에 공급할 수 있다. 농가 입장에서는 생산성이 올라가 소득 증대를 노릴 수 있다"며 "최근 과도한 가축 사육으로 문제가 되고 있는 온실가스 저감에도 자연스럽게 기여할 수 있을 것으로 본다"고 말했다.

그림 114. 신문기사 게재 ③(매일신문)

3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 미달성 해당 사항 없음
- 3년차 개발년도에 수행한 현장 적용 시험이 성공적으로 진행되어 농림축산식품 과학기술대상 국무총리상 수상, 정책활용 및 홍보전시 등의 실적을 확보할 수 있었으나, 향후 관련한 다수의 농업 현장에 적용을 하여 그 효과를 입증할 수 있는 기회를 확보하겠음
- 이는 경기도청 담당자의 본 개발 시스템 보급 의지를 시범 사업으로 실시하여 관련 농가에 적용하고 실험 데이터를 얻을 수 있도록 적극 협조를 구하도록 추진할 것임

4. 연구결과의 활용 계획 등

. 제품홍보, 판로확보, 판매전략 등의 사업화 추진전략

| | | C-21-03-01 |
|---------------|---|------------|
| 구분 | 구체적인 내용 | |
| 형태/규모 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 상용화 형태 : 제품 및 시스템 판매 ○ 수요처 : 전국 소재 중소형 시설원예농가 ○ 예상 단가 : 70,000천원(대) ○ 개발 투입인력 및 기간 : 연 인원 24명/3년 | |
| 상용화 능력 및 자원보유 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 농업 및 기술사업화 전문인력의 직접 참여를 통한 사업화 추진 ○ 상용화 이전 양산설비 구축을 통한 직접생산설비 구축 | |
| 상용화 계획 및 일정 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 매출발생 1차년도(2020년) : 매출목표 7억원 <ul style="list-style-type: none"> - 내수 : 매출목표 7억원(10대) →추정근거 : 예상 시장규모의 10%를 유효시장으로 간주, 그 중 0.4% ○ 매출발생 2차년도(2021년) : 매출목표 18억2천만원 <ul style="list-style-type: none"> - 내수 : 매출목표 17.5억원(25대) →추정근거 : 예상 시장규모의 10%를 유효시장으로 간주, 그 중 1% - 수출 : 매출목표 7천만원(1대) : →추정근거 : 국내 시장규모의 100배로 추정, 해외시장 진출가능성 타진을 위한 초도 수출 ○ 매출발생 3차년도(2022년) : 매출목표 19억6000만원 <ul style="list-style-type: none"> - 내수 : 매출목표 17.5억원(25대) →추정근거 : 예상 시장규모의 10%를 유효시장으로 간주, 그 중 1% - 수출 : 매출목표 2.1억원(3대) : →추정근거 : 국내 시장규모의 100배로 추정, 해외시장 진출 ○ 매출발생 4차년도(2023년) : 매출목표 21억 <ul style="list-style-type: none"> - 내수 : 매출목표 17.5억원(25대) →추정근거 : 예상 시장규모의 10%를 유효시장으로 간주, 그 중 1% - 수출 : 매출목표 3.5억원(5대) : →추정근거 : 국내 시장규모의 100배로 추정, 해외시장 진출 ○ 매출발생 5차년도(2023년) : 매출목표 45억5천만원 <ul style="list-style-type: none"> - 내수 : 매출목표 35억원(50대) →추정근거 : 예상 시장규모의 10%를 유효시장으로 간주, 그 중 2% - 수출 : 매출목표 10.5억원(15대) : →추정근거 : 국내 시장규모의 100배로 추정, 해외시장 진출 | |

가. BM 수립 배경

- (1) 본 기술의 특징은 농촌지역 환경오염으로 문제가 되는 축산 농가에서 발생하는 CO₂를 포집해서 원예시설에 제공하는 것으로, 공업용으로 만들어지는 탄산가스나 난방열원에서 발생된 CO₂와는 발생원 자체에서 차별성을 가지는 친환경 기술임
- (2) 시설원예에서 CO₂ 시비로 인한 품질의 향상부분은 농존진흥청의 원예시험장 및 개별농가에서 자발적인 검증 및 시범연구들을 통하여 이미 확인되었음.
 - 딸기, 토마토, 파프리카, 장미 등에서 실험을 통하여 입증됨
- (3) 국내 존재하는 대형 시설원예농가의 경우 수익성 및 운영성 전반에서 훌륭히 자리매김하고 있고, 국내외 기술의 접목을 통하여 경쟁력 있는 운영을 하고 있는데 반하여 전체 시설원예농가의 90% 이상을 차지하는 중소형 시설원예 농가를 대상으로 하는 장비의 개발을 통하여 중소형 시장을 공략할 수 있는 장비와 공급시스템을 사업화할 계획임
- (4) 축산 농가측에 제공할 수 있는 폐열회수 환기장치나 산소 공급 장치의 구성 또는 이산화탄소 판매 이익 공유 등의 유인책으로 양질의 이산화탄소를 공급받을 수 있을 것이며, 축산 농가의 환경개선에도 일익을 담당할 수 있는 시스템이 될 것임

나. BM 목표 및 핵심경쟁요인

(1) BM 목표

국내 시설원예농가의 대다수를 차지하는 중소형 농가대상 시스템 판매

(2) 핵심경쟁요인

회사 내 농업관련 전공자 및 기술사업화 전문인력 보유로 시장진입 용이

다. 목표 시장 구조

(1) 경쟁기업 현황

(가) 경쟁기업 현황 및 시장경쟁구조

- 대상기술의 경쟁시스템은 2가지가 있으며, 본 기술의 시스템과의 경쟁력은 아래의 표와 같음. 기바인터내셔널(주)의 시스템과 경쟁시스템은 시설하우스에 재배하는 모든 작물에 적용 가능하며 단가와 제공 CO₂의 형태, 포집원에서 차이를 보임
- 아래의 표는 당사의 개발 제품과 타사의 경쟁 제품을 비교한 것이며, 이산화탄소의 압축 저장 시스템으로 구성되는 바 저장용기 등의 안전성 등의 인증시험 절차를 거친 제품으로 제작 및 공급됨
- 각 제품의 제원을 비교하였음
- 최종적으로 경쟁력면에서 평가 :
경쟁력이 높음: ●, 경쟁력 보통: ○, 경쟁력 없음: X 나타내었음

| 제품명 | 회사명 | 구성 | CO ₂ 형태 | CO ₂ 포집원 | CO ₂ 저장형태 | 사용평수 | CO ₂ 공급가 | 시스템 단가 (천원) |
|------|------------|---------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------|---------------------|-------------|
| 본 기술 | 기바인터내셔널(주) | CO ₂ 공급제어 장치, 온도습도센서 | 기체 | 축사 | 일반 가스 봄베 (최대 40리터) | 100평 | | 10,000 천원 |
| 비타원 | 동양로지텍 | CO ₂ 공급제어 장치, 온도습도센서 | 액체 | 실내등유 | 톤 이상 대형 저장탱크 | 300-500평 | 200-250/kg | |

| | | | | | | | | |
|----------------------------|----------|---------------------------------------|--|---|---|----|-------------------------|---|
| CO ₂ Tistory | 소하 테크 | CO ₂ 공급제어 장치, 온도습도센서 | 액체 | 난방용 가스 | 톤 이상대형 저장탱크 | 대형 | 200- 250/ kg | 20,000 천원 (: 10,000 천원 공급호스 및 센서: 10,000 천원) |
| 기바인터내셔널 (주)의 경쟁력 | | 구성은 모두 같음 | 액체로 저장해 야 같은 공간에 많은 량을 저장할 수 있음 | 축사의 CO ₂ 를 포집, 친환경 기술임 | 우리나라 대다수(99%) 중소형 온실농가를 대상으로 함 | | 가격면 에서 경쟁력이 강함 | |
| | | | ● | X | ● | ● | ● | |

(2) 시장진입 장벽

- 현 상황에서의 시장진입장벽은 개발기술에 대한 홍보 및 이해와 관련한 노력을 통하여 해소할 수 있을 것으로 판단됨
- 개발 장비의 탄소배출권 관련 권리부분을 정의함으로써 장비의 시장 진입장벽 해소를 위한 추가적인 방안으로 작동할 수 있을 것으로 판단됨

라. 수익 확보 전략

(1) 주요 고객군

- 전국 소재 중소형 시설원예농가
- 시설원예농가 인근 소재 축산 시설 농가

(2) BM의 수익창출 방안

- 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 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

붙임. 참고문헌

- * 농업부문 온실가스 감축 목표와 대응전략 / 정학균, 김창길 / 한국농촌경제연구원 / 2015.10.
- * 지구 온난화 원인, 주범 이산화탄소 '석유·석탄 화석연료 연소 때 발생' / 이투데이뉴스 / 2016.01.
- * 온실가스 감축을 위한 세계 주요국의 2016년 에너지정책 변화 / 해외정보분석실 양의석 선임연구위원, 석주헌 부연구위원, 김아름 전문연구원 / 세계 에너지현안 인사이트 / 2016
- * 이산화탄소 포집 기술은 지구온난화의 해결책이 될 수 있을까 / GE리포트 코리아 / 2015.12.
- * 탄소 포집 및 저장 기술의 20년 / 국제 에너지 기구 / KEITI 한국환경산업기술원 / 2017.01.
- * 환경부문 CCS추진 로드맵 수립연구 최종보고서 / 환경부 / 2013.03.
- * 이산화탄소 포집·저장·활용기술 / 김한해·배준희·정지연 / KISTEP 한국과학기술기획평가원 / 2018
- * 2020년 이후 농업부문 온실가스 배출량 전망과 감축잠재량 분석 / 정현철, 이종식, 최은정, 김건엽, 서상욱, 정학균, 김창길 / 국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과, 한국농촌경제연구원 자원환경연구부 / 2015
- * 이산화탄소(CO₂) 포집 및 장치 기술 / 이홍원 / 한국과학기술정보연구원 / 2014.12
- * 우리나라 CCS 기술 현황 및 보급을 위한 전략 / 한종훈, 임영섭
- * 이산화탄소 포집저장(CCS) 기술 현황과 정책 동향 / 한국과학기술기획평가원 GLOBAL CCS INSTITUTE 자료
- * 이산화탄소도 자원이다 / 특허뉴스 / 2015.04.06

- * 울산시, 매립가스 내 이산화탄소 자원화 시범사업 최초 '착수' / NEWS1 뉴스 / 2015
- * 온실가스 감축을 위한 국제사회의 탄소가격제 도입과 경제영향 분석 / 문진영 외 3명 / 대외경제정책연구원 / 2017
- * 이산화탄소 시비 / 농사로
- * 딸기, 이산화탄소 시비 맛 좋아져 / 한국농어민신문 / 2014
- * CO₂(이산화탄소)로 키운 딸기로 농업위기 넘는다 / 조선일보 / 2012
- * 재배 시 탄산시비가 딸기 '매향' 의 품질과 저장성에 미치는 영향 / 최인이 외 5명 / 시설원예식물공장 / 2017

<부록> 시험 성적서 및 세금계산서

1. 이산화탄소 농도, 부하공기 발생량 및 이산화탄소 공급량 시험 성적서

시 험 성 적 서

| | | |
|---|---|--|
| <p style="text-align: center;">한국생산기술연구원</p> <p style="font-size: small;">경상북도 경산시 하양읍 지식산업로 15 (Tel: 053_580_0383, Fax: 053_580_0310)</p> | <p>성적서 번호 : C18N900450</p> <p>페이지 (1) / (총 6)</p> |  <p>KITECH 한국생산기술연구원</p> |
| <p>1. 의뢰자</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 업체(기관)명 : 기바인터내셔널(주) ○ 주 소 : (42601) 대구광역시 달서구 달구벌대로 1053 첨단산업지원센터 317호 <p>2. 성적서 용도 : 과제 제출용</p> <p>3. 시험대상품목</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 품 명 : 이산화탄소 포집 및 공급 시스템 ○ 제작업체 : 기바인터내셔널(주), 에어레인 <p>4. 시험기간 : 2018년 12월 18일</p> <p>5. 시험방법 : 의뢰인이 제시한 시험절차 및 기준에 따라 입회하여 자료 검토</p> <p>6. 시험환경</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 온도 : 20 °C ○ 습도 : 45 % R.H. <p>7. 시험결과 : 별첨 결과 참조</p> <p style="margin-left: 40px;">이 시험결과는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에만 한정됩니다.</p> | | |
| 확 인 | <p>작성자</p> <p>성 명 : 신 민 석 </p> | <p>기술책임자</p> <p>성 명 : 오 주 영 </p> |
| <p style="font-size: small;">이 시험성적서는 용도 이외의 사용을 금하며 기타 상품광고, 법정소송 등의 목적으로 사용할 수 없음</p> <p style="font-size: x-large; margin-top: 20px;">2018. 12. 19.</p> <p style="font-size: x-large; margin-top: 10px;">한국생산기술연구원장 (인) </p> | | |

시험결과

성적서 번호 : C18N900450

페이지 (2) / (총 6)



1. 시험 대상품

- 시험대상 : 이산화탄소 포집 및 공급 시스템
- 시료수량 : 1개
- 모델명 : N/A



그림 1 이산화탄소 포집 및 공급 시스템

2. 시험기준

2.1. 시험 장소

- 기바인터내셔널(주), 대구광역시 달서구 달구벌대로 1053 첨단산업지원센터 317호
- 설치 현장, 경상북도 영천시 신녕면 치산효령로 582

2.2. 시험 장비

| 장비명 | 제조사 | 모델 | Serial No. | 교정일 |
|-----------|-------|----------|------------|-----|
| 이산화탄소 측정기 | TSI | IAQ 7515 | - | - |
| 풍속계 | PROVA | AVM-03 | - | - |

시험 결과

성적서 번호 : C18N900450

페이지 (3)/(총 6)



2.3. 시험 항목 및 방법

- 시험 규격 : 의뢰자 제시 기준
- 시험 방법

| No. | 시험항목 | 시험방법 | 시험 기준 | 비고 |
|-----|--------------------------|---|--|----|
| 1 | CO ₂ 농도 | ○ CO ₂ 가스의 토출 측에서 10회 측정하고 그 평균값으로 시스템의 이산화탄소 공급 가능 농도를 계산 | ○ 포집장치에서 멤브레인 필터를 통과한 후 분배장치를 통과한 포집가스를 채취하여 농도 측정에 사용 | |
| 2 | CO ₂ 부하공기 발생량 | ○ 포집장치로 공급되는 공기 유량을 직경 16mm 관로를 설치하여 풍속을 측정하고 체적유량으로 환산 | ○ 포집장치의 멤브레인 필터를 통과하기 전 공기 유량의 측정 및 1일 단위로 체적유량 환산 | |
| 3 | CO ₂ 공급량 | ○ 포집장치에서 토출되는 1,000ppm 이상의 이산화탄소를 직경 16mm 관로를 설치하여 풍속을 측정하고 체적유량으로 환산 | ○ 포집장치에서 멤브레인 필터를 통과한 후 분배장치를 통과한 포집가스의 유량을 측정, 1일 단위로 체적유량 환산 | |

시험결과

성적서 번호 : C18N900450

페이지 (4)/(총 6)



3. 시험결과

3.1. CO₂ 농도

- 토출 측 이산화탄소 가스의 농도를 평균 1,219 ppm 으로 측정 및 계산



그림 2 CO₂ 농도 측정 시험

| 항목 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 평균 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CO ₂ 농도 (ppm) | 1,280 | 1,166 | 1,213 | 1,246 | 1,321 | 1,299 | 1,135 | 1,122 | 1,183 | 1,228 | 1,219 |

시험 결과

성적서 번호 : C18N900450
 페이지 (5) / (총 6)



3.2. CO₂ 부하공기 발생량

- 멤브레인 필터 측으로 공급되는 공기 유량의 풍속을 측정하고 1일 단위의 체적 유량으로 환산하여 나타냄

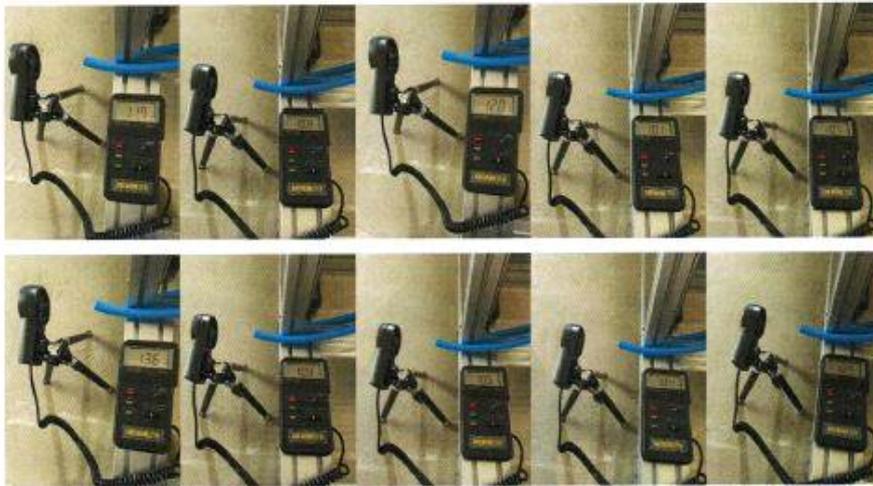


그림 3 CO₂ 부하공기 발생량 측정 시험

| 항목 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 평균 |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| CO ₂ 부하공기 발생량 (속도 m/s) | 11.7 | 10.4 | 12.0 | 10.1 | 10.7 | 13.6 | 10.4 | 10.5 | 10.4 | 10.9 | 11.07 |

- 부하공기 발생량 환산 : 속도(m/s) × 면적(m²) × 시간(60초 × 60분 × 24시간) = 192.31 m³/day

| 항목 | 시험결과 |
|---|--------|
| CO ₂ 부하공기 발생량 (m ³ / day) | 192.31 |

3.3. CO₂ 공급량

- 토출되는 이산화탄소의 풍속을 측정하고 1일 단위의 체적 유량으로 환산하여 나타냄



그림 4 CO₂ 공급량 측정 시험

| 항목 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 평균 |
|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| CO ₂ 공급량 (속도 m/s) | 4.9 | 4.8 | 5.7 | 5.5 | 6.3 | 5.8 | 5.7 | 6.2 | 6.1 | 5.1 | 5.61 |

- 공급량 환산 : 속도(m/s) × 면적(m²) × 시간(60초 × 60분 × 24시간) = 97.46 m³/day

| 항목 | 시험결과 |
|---|-------|
| CO ₂ 공급량 (m ³ / day) | 97.46 |

- 끝 -

2. 이산화탄소 공급 농도 및 작물생산량 시험 성적서

축산 시설 이산화탄소 포집 및 공급 시스템 시험성적서

1. 성적서번호 : KNUBIME20181130A
2. 시험항목
가. CO₂ 공급농도(ppm)
나. 작물 생산량
3. 시험방법 및 결과
가. 각 시험항목의 해당 문서 내용 참조
4. 전체 페이지 : 5페이지

2018. 11. 30.

위 항목의 시험 결과를 확인합니다.

확인자 : 경북대학교 생물산업기계공학과 교수 하 유 신 (인)



기바인터내셔널(주) 대표이사 귀하

시 험 성 적 서

1. 성적서번호 : KNUBIME20181130A
2. 시험항목 : CO₂ 공급농도(ppm)
3. 시험방법
 - 공시재료 : 50평 시험하우스
 - 측정방법 : 온실 내 탄산가스를 적정 목표 농도로 공급하며 시간을 측정
온실의 3군데 지점을 선택하여 3반복으로 측정
총 3회에 걸친 시험 진행
180분간 CO₂ 공급하여 CO₂ 공급효율 측정
4. 시험장비
 - CO₂ 측정기, 타이머
5. 시험결과
 - 50평의 시험하우스에서 적정 농도의 탄산가스를 지속 공급 가능한
3시간 동안 3회, 3반복 측정하여 공급량을 표기함
 - 측정 결과, 목표 CO₂ 농도로 시설하우스에 공급가능한 시간은 약 3시간
이상인 것으로 산출됨

- 이하여백 -



| 구 분 | 공급 농도 (ppm) | 시작 시각 | 종료 시각 | 공급 시간 (분) |
|-----|-------------|-------|-------|-----------|
| 1 | 975 | 08:00 | 11:00 | 180 |
| | 1,125 | | | |
| | 1,028 | | | |
| 2 | 1,022 | 08:10 | 11:10 | 180 |
| | 989 | | | |
| | 1,088 | | | |
| 3 | 1,189 | 08:30 | 11:30 | 180 |
| | 1,001 | | | |
| | 1,120 | | | |
| 평균 | 1,059.67 | | | 180 |

- 이하여백 -

시 험 성 적 서

1. 성적서번호 : KNUBIME20181130A

2. 시험항목 : 작물 생산량

3. 시험방법

- 공시재료 : 딸기(산타)
- 측정방법 : 온실 내 탄산가스 시비 유무에 따른 생체중, 과수량을 측정함
- 시험의 조건은 표와 같음

| Treatment | Fresh weight | Quantity of fruit |
|----------------|--------------|-------------------|
| Control | Test-1 | Test-1 |
| 600 ppm / 3h | Test-2 | Test-2 |
| 600 ppm / 6h | Test-3 | Test-3 |
| 1,000 ppm / 3h | Test-4 | Test-4 |
| 1,000 ppm / 6h | Test-5 | Test-5 |

4. 시험장비

- Scale

5. 시험결과

- 탄산가스 농도를 다르게 공급하여 재배, 생체중 측정 평균값을 제시함
- 탄산가스 농도를 다르게 공급하여 재배, 과수량 측정 평균값을 제시함
- 탄산가스 적용 전/후의 생체중과 과수량 차이를 산출함

- 이하여백 -

- 생체중의 측정 결과

| Treatment | Mean | S.D. | F-value | P-value |
|-------------|-------------------|------|---------|---------|
| Control | 23.7 ^a | 0.57 | 11.090 | 0.000 |
| 600ppm-3h | 24.9 ^b | 0.85 | | |
| 600ppm-6h | 23.8 ^b | 0.77 | | |
| 1,000ppm-3h | 25.1 ^b | 0.36 | | |
| 1,000ppm-6h | 25.4 ^b | 0.70 | | |

* Duncan's multiple range test at P=0.05

- 과수량의 측정 결과

| Treatment | Mean | S.D. | F-value | P-value |
|-------------|--------------------|------|---------|---------|
| Control | 35.6 ^a | 1.34 | 6.690 | 0.001 |
| 600ppm-3h | 36.6 ^{ab} | 1.14 | | |
| 600ppm-6h | 36.8 ^{ab} | 1.30 | | |
| 1,000ppm-3h | 37.6 ^b | 1.51 | | |
| 1,000ppm-6h | 39.6 ^c | 1.14 | | |

* Duncan's multiple range test at P=0.05

- 생산량 증가

| 구 분 | 적용 전 | 적용 후 | 증감 (%) |
|----------|------|------|----------|
| 생체중 (g) | 23.7 | 25.4 | 6.6 % p |
| 과수량 (EA) | 35.6 | 39.6 | 10.1 % p |

- 성적서의 마지막 페이지 -

3. 세금계산서

| 전자세금계산서 | | | | | 승인번호 | 20170316-10000000-66597811 | | | | | |
|-------------|-------------|------------------------------------|-----------|----------------|------------|----------------------------|-------------|--|----|-------------|-----|
| 공 급 자 | 등록 번호 | 504-81-57057 | | 중사업장 번호 | | 공 급 받 는 자 | 등록 번호 | 831-88-00493 | | 중사업장 번호 | |
| | 상호 (법인명) | 주식회사에이치엔엘 | | 성명 | 나규동 | | 상호 (법인명) | 주식회사 이디에프 | | 성명 | 나현규 |
| | 사업장 주소 | 대구광역시 달성군 다사읍 대실역남로2길 20-6, 2층(2층) | | | | | 사업장 주소 | 세종특별자치시 갈매로 364(어진동, 세종시 푸르지오시티) 1548호 | | | |
| | 업태 | 제조,건설,도 매 | 종목 | 전기보일러,산업기계제작 외 | | | 업태 | 제조,도매 및 소매 | 종목 | 산업기계,방탄성유 외 | |
| | 이메일 | hnl@hnl.co.kr | | | | | 이메일 | edfhk9792@hanmail.net | | | |
| 작성일자 | 공급가액 | | 세액 | | 수정사유 | 비고 | | | | | |
| 2017-03-16 | 35,000,000 | | 3,500,000 | | 해당없음 | | | | | | |
| 월 | 일 | 품목 | 규격 | 수량 | 단가 | 공급가액 | 세액 | 비고 | | | |
| 03 | 16 | CO2 Membrane System | 식 | 1 | 35,000,000 | 35,000,000 | 3,500,000 | | | | |
| 합계금액 | | 현금 | 수표 | 어음 | 외상미수금 | 이 금액을 (청구) 함 | | | | | |
| 38,500,000 | | | | | | | | | | | |

 본 인쇄물은 국세청 홈택스(www.hometax.go.kr)에서 발급 또는 전송 입력된 전자(세금)계산서입니다. 발급사실 확인은 상기 홈페이지의 "조회/발급>전자세금계산서>제3차 발급사실 조회"를 이용하시기 바랍니다.

| 전자세금계산서 | | | | | 승인번호 | 20170420-10000000-88853551 | | | | | |
|-------------|-------------|------------------------------------|---------|----------------|-----------|----------------------------|-------------|--|----|-------------|-----|
| 공 급 자 | 등록 번호 | 504-81-57057 | | 중사업장 번호 | | 공 급 받 는 자 | 등록 번호 | 831-88-00493 | | 중사업장 번호 | |
| | 상호 (법인명) | 주식회사에이치엔엘 | | 성명 | 나규동 | | 상호 (법인명) | 주식회사 이디에프 | | 성명 | 나현규 |
| | 사업장 주소 | 대구광역시 달성군 다사읍 대실역남로2길 20-6, 2층(2층) | | | | | 사업장 주소 | 세종특별자치시 갈매로 364(어진동, 세종시 푸르지오시티) 1548호 | | | |
| | 업태 | 제조,건설,도 매 | 종목 | 전기보일러,산업기계제작 외 | | | 업태 | 제조,도매 및 소매 | 종목 | 산업기계,방탄성유 외 | |
| | 이메일 | hnl@hnl.co.kr | | | | | 이메일 | edfhk9792@hanmail.net | | | |
| 작성일자 | 공급가액 | | 세액 | | 수정사유 | 비고 | | | | | |
| 2017-04-20 | 7,000,000 | | 700,000 | | 해당없음 | | | | | | |
| 월 | 일 | 품목 | 규격 | 수량 | 단가 | 공급가액 | 세액 | 비고 | | | |
| 04 | 20 | Membrane System Module | | 1 | 7,000,000 | 7,000,000 | 700,000 | | | | |
| 합계금액 | | 현금 | 수표 | 어음 | 외상미수금 | 이 금액을 (청구) 함 | | | | | |
| 7,700,000 | | | | | | | | | | | |

 본 인쇄물은 국세청 홈택스(www.hometax.go.kr)에서 발급 또는 전송 입력된 전자(세금)계산서입니다. 발급사실 확인은 상기 홈페이지의 "조회/발급>전자세금계산서>제3차 발급사실 조회"를 이용하시기 바랍니다.

| 전자세금계산서 | | | | | 승인번호 | 20170929-10000000-92985067 | | | | |
|-------------|-------------|------------------------------------|-----------|------------|------|----------------------------|--|----|-------------|-----|
| 공 급 자 | 등록 번호 | 504-81-57057 | | 종사업장 번호 | | 등록 번호 | 831-88-00493 | | 종사업장 번호 | |
| | 상호 (법인명) | 주식회사에이치엔엘 | | 설립 | 나규동 | 상호 (법인명) | 주식회사 이디에프 | | 성명 | 나현규 |
| | 사업장 주소 | 대구광역시 달성군 다사읍 대실역남로2길 20-6, 2층(2층) | | | | 사업장 주소 | 세종특별자치시 갈매로 364(어진동, 세종시 푸르지오시티) 1548호 | | | |
| | 업태 | 제조 | 종목 | 산업기계제작 | | 업태 | 제조,도매 및 소매 | 종목 | 산업기계,방탄성유 외 | |
| | 이메일 | hnl@hnl.co.kr | | | | 이메일 | edfhk9792@hanmail.net | | | |
| 이메일 | | | | | 이메일 | | | | | |
| 작성일자 | 공급가액 | | 세액 | | 수정사유 | 비고 | | | | |
| 2017-09-29 | 15,000,000 | | 1,500,000 | | 해당없음 | | | | | |
| 월 | 일 | 품목 | 규격 | 수량 | 단가 | 공급가액 | 세액 | 비고 | | |
| 09 | 29 | CO2 Membrane system | | | | 15,000,000 | 1,500,000 | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| 합계금액 | | 현금 | 수표 | 어음 | | 외상미수금 | 이 금액을 (청구) 함 | | | |
| 16,500,000 | | | | | | | | | | |


 본 인쇄물은 국세청 홈택스(www.hometax.go.kr)에서 발급 또는 전송 입력된 전자(세금)계산서입니다.
 발급사실 확인은 상기 홈페이지의 "조회/발급>전자세금계산서>제3차 발급사실 조회"를 이용하시기 바랍니다.

<뒷면지>

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 기술사업화지원사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.