

(가칭) 탄소자원화 국가전략프로젝트 기획연구

연구기관 : 과학기술정책연구원

2017. 1.

미 래 창 조 과 학 부

## 안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의 개인적 견해이며 미래창조과학부의 공식견해가 아님을 알려드립니다.

미래창조과학부 장관 최 양 희

# 제 출 문

미 래 창 조 과 학 부 장 관 귀 하

본 보고서를 “(가칭) 탄소자원화 국가전략프로젝트 기획연구”의 최종보고서로 제출합니다.

2017 . 01.

# 목 차

제1장 과제 개요 .....	1
제1절 추진배경 및 필요성 .....	1
1. 추진 배경 .....	1
2. 사업의 필요성 .....	5
3. 추진목적 .....	11
제2절 추진체계 .....	12
제2장 사업 추진의 당위성 .....	13
제1절 기존 사업과의 차별성 .....	13
1. 부처별 사업 개요 .....	13
2. 관련 주요 사업 현황 .....	21
3. 기존 사업과의 차별성 .....	28
제2절 기존 주요 사업과의 연계성 및 연계방안 .....	40
1. 기존 주요 사업과의 연계성 .....	40
2. 탄소자원화 사업과 기존 주요 사업과의 연계 방안 .....	47
제3장 사업추진의 정책적 타당성 .....	49
제1절 국내·외 정책동향 .....	49
1. 국내 정책동향 .....	49
2. 국외 정책동향 .....	55
제2절 사업추진의 적절성 .....	56
1. 정부의 정책적 활동과 노력 .....	56
2. 대통령의 최근 행보에서의 기후변화와 탄소자원화 이슈 부각 .....	58
3. 국가사업 추진의 중요성과 시의적절성 .....	59
4. 상위 계획과의 부합성 .....	60
5. 사업 추진 및 법·제도적 지원체계 .....	63
제3절 정부지원의 필요성 .....	66
1. 국가전략 프로젝트로서의 가치와 정부 역할 .....	66
2. 정부지원 프로젝트로서의 방향성 .....	67

<b>제4장 사업전략 및 운영구조 설계</b> .....	<b>68</b>
<b>제1절 사업의 개념 및 범주설정</b> .....	<b>68</b>
1. 탄소자원화 사업의 개념 .....	70
2. 사업의 범주설정 .....	70
<b>제2절 사업목표 및 추진전략 수립</b> .....	<b>71</b>
1. 사업의 비전 .....	71
2. 전략 체계도 .....	73
3. 추진 로드맵 .....	80
<b>제3절 사업구조 및 운영방안 설계</b> .....	<b>81</b>
1. 사업구조 .....	83
2. 사업 운영방안 설계 .....	84
3. 사업 추진절차 .....	88
4. 성과관리 체계 .....	90
<b>제5장 실증사업 추진방안 및 기대효과</b> .....	<b>92</b>
<b>제1절 추진 개요</b> .....	<b>92</b>
1. 추진 배경 및 경위 .....	92
2. 추진체계 및 기술로드맵 .....	94
3. 투자계획 및 추진일정 .....	96
4. 프로젝트 수행을 위한 지원활동 .....	99
<b>제2절 실증 및 전략 플랫폼 구축 계획</b> .....	<b>102</b>
1. 탄소전환 플래그십 .....	102
2. 탄소광물 플래그십 .....	105
3. 탄소자원화 전략 플랫폼 구축계획 .....	110
<b>제3절 사업 추진 시 고려사항 및 주요 이슈</b> .....	<b>117</b>
1. 전문가 의견 수렴 .....	119
2. 국내 배출권거래제 연계방안 .....	144
3. 해외 진출을 통한 탄소크레딧 확보 및 경제적 가치 창출 .....	150
<b>제4절 기대효과</b> .....	<b>157</b>
<b>참고문헌</b> .....	<b>163</b>

# 표 목 차

<표 I-1> 탄소자원화 부처·기술별 투자현황('15) .....	6
<표 II-1> CO2 포집 관련 타사업 현황 .....	24
<표 II-2> CO2 광물화 관련 타사업 현황 .....	27
<표 II-3> 수행주체 측면에서의 사업 차별성 .....	28
<표 II-4> 사업목적 및 사업범위 측면에서의 사업 차별성 .....	29
<표 II-5> 사업기간 및 예산 측면에서의 사업 차별성 .....	30
<표 II-6> 연구개발단계 측면에서의 사업차별성 .....	31
<표 II-7> 탄소자원화 관련 주요 사업의 연구단계별 R&D 투자 현황 .....	32
<표 II-8> C1 가스 리파이너리 사업과의 차별성 .....	37
<표 II-9> 사업기획의 연계성/당위성 .....	44
<표 III-1> 탄소자원화 관련 법률 현황(유관 법령 추가 검토추진 예정) .....	52
<표 III-2> 기후변화대응 정책의 패러다임 개선 .....	60
<표 III-3> 기후변화대응체계 주요 개편방향 .....	61
<표 III-4> 기후변화대응기술 확보 로드맵(CTR)(안) .....	62
<표 IV-1> 추진 로드맵 .....	80
<표 V-1> 추진 경위 .....	93
<표 V-2> 투자 계획(안) .....	97
<표 V-3> 단계별 추진 일정 .....	97
<표 V-4> 실증 로드맵 .....	98
<표 V-5> 탄소전환 플래그십 연도별 투자계획 .....	102
<표 V-6> 탄소전환 플래그십 세부과제 .....	103
<표 V-7> 탄소광물화 플래그십 연도별 투자계획 .....	106
<표 V-8> 탄소광물화 플래그십 세부과제(1) .....	107
<표 V-9> 탄소광물화 플래그십 세부과제(2) .....	108
<표 V-10> 산·학·연 다각적 협의체 운영방안 .....	113
<표 V-11> 전략허브센터 주관연구기관 선정 및 지정 절차 .....	116

## 그림 목차

[그림 I-1] 기술분야별 탄소자원화 정부 R&D 투자 .....	7
[그림 I-2] 기획 추진체계 .....	12
[그림 II-1] KCCS 2020 사업 주요 연구개발 내용 .....	23
[그림 II-3] KCCS 2020 사업 추진체계 .....	24
[그림 II-4] KCCS 2020 기술개발 로드맵 .....	24
[그림 II-5] 탄소자원화 관련 주요 사업의 연구단계별 R&D 투자 현황 .....	33
[그림 II-6] 기존 주요 사업과의 차별성 .....	39
[그림 II-7] C1가스 리파이너리 사업단과 기술교류 및 요소기술 연계 .....	41
[그림 II-8] 사업기획의 연계성/당위성 .....	42
[그림 II-9] 유기성 폐자원관련 사업기획의 연계성/당위성 .....	46
[그림 II-10] 탄소자원화 사업과 유관사업과의 연계성 .....	47
[그림 IV-1] 온실가스 발생 현황('13년 기준) .....	68
[그림 IV-2] 온실가스 활용으로 CO2 배출 억제 .....	69
[그림 IV-3] 탄소자원화 개념 및 모식도 .....	69
[그림 IV-4] 탄소자원화 사업의 범위 .....	70
[그림 IV-5] 비전 및 목표 .....	72
[그림 IV-6] 전략체계 .....	73
[그림 IV-7] 탄소전환 플래그십 사업 연계 사업화 모델 .....	74
[그림 IV-8] 탄소광물화 플래그십 연계 사업화 모델 .....	76
[그림 IV-9] 제3세부사업 사업 추진방향 .....	80
[그림 IV-10] 탄소자원화 사업 추진체계도 .....	82
[그림 V-1] 탄소자원화 실증사업 추진체계 .....	95
[그림 V-2] 기술 로드맵 .....	96
[그림 V-3] 탄소자원화 실증 세부 이행 로드맵 .....	99
[그림 V-4] 광양·여수 산단 및 실증단지(안) 위치 .....	105
[그림 V-5] 강원·충청 지역 탄소광물화 실증 사이트 연계(안) .....	109
[그림 V-6] 전략허브센터의 업무추진 구조 .....	111
[그림 V-7] 전략허브센터 탄소자원화 통합정보체계 구조 .....	115
[그림 V-8] 산·학·연 전문가 의견 수렴 결과 요약 정리 .....	118
[그림 V-9] 배출권 거래 .....	142
[그림 V-10] 국내 배출권거래제의 도입 .....	143

[그림 V-11] 국내 배출권거래제 운영계획 .....	144
[그림 V-12] 탄소시장 거래 배출권 .....	145
[그림 V-13] KAU15 거래 동향 .....	146
[그림 V-14] KCU15 거래 동향 .....	147
[그림 V-15] KOC 거래 동향 .....	147
[그림 V-16] 배출권 상쇄제도 .....	149
[그림 V-17] 기후변화협약 및 국제사회 대응 노력 .....	151
[그림 V-18] 파리협정의 주요 내용 .....	153
[그림 V-19] CDM 사업 등록 세부절차 .....	154
[그림 V-20] CDM 사업운영(모니터링) 세부절차 .....	156
[그림 V-21] 온실가스 감축 및 경제적 가치 창출 기대효과 .....	158





## 제1장 과제 개요

### 제1절 추진배경 및 필요성

#### 1. 추진 배경

##### □ (신 기후체제의 출범) 파리협정에 따른 온실가스 감축목표 강화

- 최근('15.12.12.) 유엔기후변화협약의 파리협정 체결로 신 기후체제가 출범하면서, 기후변화 대응이 세계 각국의 핵심 의제로 부각
  - 195개 협약 당사국은 교토의정서 만료('20) 이후의 기후변화 대응체제 수립을 위한 최종합의문을 채택하고 적극적 온실가스 감축에 합의
- 한국은 '30년 온실가스 감축목표로 BAU 대비 37% 설정
  - 이 중 국내 온실가스 감축분은 25.7%이며 나머지 11.3%는 국제시장을 활용해 감축
  - 현재 가장 많은 온실가스를 배출하고 있는 부문은 발전부문이며 배출량은 '13년 2.6억톤(점유율 37%)에서 '30년 3.3억톤(점유율 39%)으로 증가 전망
  - 철강·석유화학 등 산업부문에서는 '13년 2.5억톤(점유율 36%)에서 '30년 3.2억톤(점유율 36%)으로 온실가스 배출량이 증가할 전망
- 한국은 미국과 일본 등에 이어 세계 6위의 온실가스 배출국으로 그간의 온실가스 감축을 위한 법·제도 및 정책보다 더 적극적인 국가적 전략 수립이 필요한 상황
  - 온실가스 감축을 위한 법·제도적 기반으로는 '저탄소 녹색성장 기본법'(11 제정) 및 그 이행을 위한 녹색성장 5개년 계획, '온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률'('13년 제정) 등이 있음
  - RPS(신재생에너지 공급의무화제도)('12) 에너지-온실가스 목표관리제('12~), 온실가스 배출권거래제('15~) 등의 정책을 통해서도 온실가스 감축을 위한 노력

□ (선진국 대응동향) 온실가스 대응 기술개발을 위한 각국의 적극적 투자

- 최근 선진국에서는 기후변화에 따라 강화된 온실가스 규제에 대응하기 위해 적극적으로 탄소자원화 R&D 추진 중
  - 미국, EU, 일본 등에서 CO2 포집 등 일부 기술의 경우 이미 실증연구 단계에 도달하였으나 한국의 경우 아직 이에 이르지 못한 실정
- (미국) 에너지국(DOE)이 CO2 전환 기술을 미래기술로 선정하여 민간 기업의 적극적인 기술 개발을 촉진
  - 온실가스 포집 및 활용에 투자를 확대하여 포집 기술에 1,000억 원, 활용기술에 2,000억 원 가량 투자 ('14년)
  - '25년까지 '05년 대비 26~28%의 온실가스 감축목표 제시
- (EU) 전주기 탄소 포집 및 저장 기술 개발을 통한 무배출 발전소 플랫폼 구축을 위해 유럽 전역에서 대규모 프로젝트 CO2SINK, ENCAP, CASTOR 가동
  - CO2 활용을 위한 다국적 조직인 Smart CO2 Transformation(SCOT) 운영('13년) (영국, 독일, 프랑스 등 5개국 참여)
  - '30년까지 '90년 온실가스 배출량 대비 최소 40% 감축목표 제시
- (중국) 국가주도의 CO2 전환 기초 연구개발, 파일럿 및 실증 프로그램 추진 전략 수립
  - '30년까지 '05년 대비 연간 CO2 배출량을 GDP로 나눈 원단위 배출량 기준 60~65%감축목표 제시

□ (화학산업의 위기) 수요 정체, 환경 규제, 글로벌 경쟁 강화 등으로 위기 확대

- 한국의 화학산업은 국내 제조업 1위, 세계 5위 수준
  - 한국의 화학산업은 생산 규모면에서 중국, 미국, 일본, 독일에 이어 세계 5위이며, 전통적 화학산업 강국 수준에 근접(미국화학산업협회(ACC), '14)
  - 화학산업은 자동차, 정보전자, 신재생에너지 등 주요 산업의 발전에 필요한 중간재와 소재 및 핵심기술을 제공함으로써 타 산업의 기반산업이자 요소기술로서의 역할을 수행

## ○ 현재 수출 중심의 석유화학 산업에 위기요소가 누적되고 있음

- 선진국의 기술보호 강화, 공급과잉, 중국과 중동의 성장, 셰일가스 개발에 따른 석유화학 제품의 경쟁력 저하 가능성, 자원전쟁 심화 등의 문제 발생
- ASF, DuPont, Sinopec, SABIC 등 글로벌 화학 대기업은 주력 제품 구조조정, M&A 및 설비증설 등을 통한 규모의 경제 확보 전략을 적극 추진 중이며 한국의 경우 기존의 사업구조로는 장기적인 위기에 봉착할 가능성이 높음

## ○ 높은 중국 수출 의존도에 따른 취약한 산업 구조

- '12년 이후, 글로벌 화학기업은 지난 20년 평균을 상회하는 양호한 실적을 기록하고 있으나, 한국 화학기업은 중국 시장의 특수가 사라지면서 21개사 평균 영업이익율은 3%대로 저조
- 높은 수출 비중(56%), 대 중국 수출의존도(46%)로 중국 등 대외 여건 변화에 취약한 산업구조에 기인
- 저유가체제로 인해 최근 일시적인 영업이익률 반등이 있으나, 기술혁신 없이는 결국 위기를 초래할 우려

## □ (경쟁력 악화 우려) 온실가스 감축에 따른 발전·산업 분야의 어려움

## ○ 온실가스를 대량 발생시키는 국내 발전 산업에 적용가능한 기술 확보 미흡

- '30년까지 신재생에너지의 획기적 보급·확대가 어려운 상황에서 온실가스 추가 감축은 발전 원가 및 전기요금 인상 초래 우려

※ '27년까지 20기 석탄화력발전소 추가 건설 예정에 따라, 향후 온실가스 감축목표 달성에 어려움(제7차 전력수급기본계획, '15)

## ○ 산업계는 에너지사용 효율이 이미 세계 최고 수준으로, 과도한 온실가스 감축 시 산업 활동 위축 및 해외 업체와의 경쟁 어려움을 호소

- 현재 에너지 사용 효율은 미국 대비 석유화학(167%), 철강(118%), 정유(118%)에 달함
- '15-'17년의 탄소과징금 추정액은 석유화학 약 7,800억원, 철강 약 6,300억원

- 특히 석유화학 산업의 경우 온실가스 감축 의무 등 환경규제 대응에 어려움
  - 원료와 연료 모두 석유에 의존하기 때문에 에너지·환경문제에 취약
  - 국가 최종에너지 소비의 28.6%, 산업부문 에너지 소비의 45.9% 차지('13년)하고 있으며, 온실가스 배출량도 관리업체 전체 배출의 8.5%를 차지(철강에 이어 2위)
  - 국내 석유화학산업은 그간 지속적인 감축활동을 통한 원단위 개선 및 세계 최고수준 에너지효율 달성으로 추가 감축여력이 제한적이며, 장치산업 특성상 연간 1% 감축도 쉽지 않은 실정임

## 2. 사업의 필요성

- (국가적 측면) 국제사회와의 약속 준수, 주력 기간산업 경쟁력 유지, 신성장동력 창출 등 다면적 목표 달성을 위해 국가적 역량을 결집할 수 있는 전략사업 필요
- 국제협약에 수동적으로 대응해오던 기존방식에서 벗어나 기술혁신을 기반으로 한 능동적 대응으로 전환
  - 단순한 온실가스 감축의 한계를 뛰어넘어 이를 자원화로 연계시킴으로써 기후변화 대응에서 글로벌 리더로서의 위상 확보
  - 기술혁신을 기반으로 한 능동적 대응으로 국제사회와의 약속을 준수하고 이를 산업화로 연계시켜 친환경산업 선도국 입지 마련
- 정부는 온실가스 감축을 주요 정책 과제로 제시하고 주요 제도를 시행해왔으나, 국가 차원의 온실가스 대응기술 연구개발에 대한 전략은 부족
  - 현재 정부는 에너지·온실가스 목표관리제, 온실가스 배출권거래제 등을 도입·시행해왔으나, 연구개발 및 산업계와의 연계는 미흡
  - 선진국은 이미 온실가스 감축에 적극적으로 대응하기 위해 연구개발 투자를 늘려왔으며 이미 상용화에 가까운 실증 단계의 연구를 진행 중
  - 무리한 감축 시 발전·산업계의 경쟁력 약화가 우려됨에 따라 온실가스 감축 위주의 대응에는 한계
  - 우리나라의 제조업 위주의 성장 경제구조('12년 기준 32%)를 감안할 때 대폭적인 온실가스 감축이 어렵고, 국내 산업계에 부담을 줄 수 있음
- 신기후체제(파리 기후협정)를 산업성장의 기회로 활용할 수 있는 온실가스 활용 기술 개발이 필요
  - 한국의 국제적 책임과 녹색기후기금(GCF) 사무국 유치 등 그동안 쌓아온 기후변화 대응 리더십 등을 고려하고, 기후변화 대응 위기를 제조업 혁신 및 신시장 창출의 기회로 전환
  - 온실가스 활용 기술은 기술적 불확실성이 높은 고난이도 기술로 국가적

역량을 결집하여 목표달성을 위한 국가적 차원의 전략수립과 기술개발 추진 필요

□ (정책적 측면) 탄소자원화 현실화를 위해서는 목적지향형 기술개발과 더불어 조기 실증화 및 제도적 기반구축 등이 동시에 추진되는 전략사업 추진 필요

○ 현재 탄소자원화 관련 정부 R&D 투자는 복수 부처에서 개별적으로 진행되고 있으며, 중장기 원천기술 분야에 대한 투자비중이 높은 상황

- 2015년 기준, 탄소자원화 관련 정부 R&D는 산업부와 미래부가 중심인 가운데, 환경부, 해양수산부, 교육부 등을 포함 총 10개 부처에서 개별 진행

- R&D 투자 총 1,378.5억 원 중 산업부(526억 원, 64과제)와 미래부(516.8억 원, 170과제)가 투자금액 기준 약 75.6%를 차지

- 기술 분야별로 살펴보면, 부생가스 전환에 15%, CO2 광물화에 8.2%, 그리고 CO2 전환에 76.8%의 재원이 투입되고 있음

- 가장 많은 재원이 투입되고 있는 CO2 전환의 세부 기술별로 살펴보면 생물 기반 액체연료, 플라스틱 원료 생산기술 분야에 870.2억원, 전기화학 기반 화학원료 생산기술에 71.4억원, 태양광 기반 고부가가치 화학원료 생산기술에 69.4억원이 투입되고 있음탄소자원화 부처·기술별 투자현황('15)

<표 I-1> 탄소자원화 부처·기술별 투자현황('15)

구 분	연구비 (억원)	과제수	부생가스 전환 (과제 수)	CO2 광물화 (과제 수)	CO2 전환 (과제 수)
<b>총합계(억원)</b>	<b>1,378.4</b>	<b>376</b>	<b>206.7 (53)</b>	<b>113.1 (19)</b>	<b>1058.7 (301)</b>
산업통상자원부	526.0	64	51.1 (6)	46.1 (4)	428.8 (54)
미래창조과학부	516.8	170	31.6 (25)	49.7 (7)	435.5 (138)
환경부	107.2	7	98.7 (5)		8.5 (2)
해양수산부	105.2	14			105.2 (14)
교육부	45.0	73	3.7 (4)	1.8 (4)	39.5 (65)
국토교통부	25.1	4	8.5 (1)	14.5 (2)	2.1 (1)
중소기업청	21.0	16	6.1 (6)	0.9 (2)	14.0 (8)
산림청	17.6	9			17.6 (9)
농림축산식품부	7.5	6	4.0 (4)		3.5 (2)
농촌진흥청	7.0	13	3.0 (5)		4.0 (8)

\* 유기성 폐자원 재활용, 해양 거대(미세)조류 대량생산, 다양한 바이오매스 등의 바이오리파이너리 등을 통한 고부가 물질 생산 기술개발이 중점내용

[그림 I-1] 기술분야별 탄소자원화 정부 R&D 투자



- 실질적인 탄소자원화를 위해서는 온실가스의 포집 및 고부가가치의 화학제품으로의 전환기술에 대한 투자 비중 확대가 필요
  - 특히 부생가스 포집기술의 경우 CCS를 중심으로 한 CO<sub>2</sub> 포집기술 이외에 CO 및 CH<sub>4</sub> 가스의 포집 및 활용기술에 대한 체계적인 투자가 필요
  - 포집된 부생가스를 화학제품 제조까지 연계시키는데 있어 요구 물성 충족과 더불어 공정 개발과 관련해 유관 산업계가 참여하는 사업추진이 요구됨
- 과감한 온실가스 감축목표 달성을 위해서는 현재 진행 중인 관련 연구개발 성과의 조기 실증화 연계를 통한 기술개발 성과의 검증과 산업계로의 확산이 필요
  - 현재 산발적으로 진행되고 있는 포집 및 전환 기술의 실증화를 보다 대규모로 확대(scale up)하고, 이를 실현하기 위해 필요한 공백기술을 보완해야만 의미있는 탄소자원화가 실현될 수 있음
  - 또한 CO<sub>2</sub>를 CaCO<sub>3</sub>로 광물화하는데 있어 현재 1t 수준의 실증규모를 확대하여야만 하는데, 규모확대 과정에서 필요한 공백기술과 추가 보완기술 개발이 요구됨
  - 실증화 단계에서 탄소자원화의 기술적·경제적 타당성이 충분히



입증되어야만 관련 기업으로의 적극적 확산을 기대할 수 있음

○ 국가 전체차원의 기술개발-실증화-제도기반 연계와 선순환구조 구축 전략 수립이 시급

- 통상적인 ‘기초-응용-개발-실증-상용화’ 단계를 순차적으로 추진하는 것은 해당 부처가 독립적인 사업으로 추진하는 것이 바람직함
- 동 사업은 ‘기술개발-실증화-제도기반 구축’을 병행·연계하여 추진함으로써 탄소자원화라는 뚜렷한 전략적 목표를 주어진 기간 내에 달성하는 것을 목적으로 한다는 점에서 기존 부처 사업과는 차별성을 가짐
- 이를 위해서는 부생가스 전환분야에서 기 개발된 성과를 조기 실용화로 먼저 추진하고, 이에 대한 공백기술 개발과 생산된 화학제품의 경제성 확보를 위한 제도기반 구축을 병행함에 추진함으로써 사업의 실효성을 제고
- 또한 기술적으로 난이도가 높은 CO2 전환 기술분야에서 조기 성과창출이 가능한 기술분야를 집중적으로 추진함으로써 실증으로 연계되는 기간을 최대한 단축시키는 것이 필요
- 이를 위해서는 산학연관의 유기적인 네트워크 구축을 위한 사업 내 추진구조 구축 및 전략수립이 필수적이며, 정책적 차원에서 효율적인 탄소자원화를 위한 R&D 정책 수립과 포트폴리오 구성을 기반으로 한 투자가 필요

□ (경제·산업적 측면) 화학제품 및 그린시멘트 생산과 탄소자원화 플랜트 수출로 새로운 경제적 부가가치 창출 기회 마련

○ 온실가스 감축 목표 달성과 산업경쟁력을 유지할 동시에 실현할 수 있는 탄소자원화 산업생태계 조성을 통한 미래성장동력 창출

- 산업계 에너지 사용 효율은 이미 세계 최고 수준으로 온실가스 감축만으로는 한계가 있기에 배출 감소 위주에서 활용 중심으로 관점을 전환
- 석유화학업계가 '15~'17년 까지 할당 받은 탄소배출량은 총 1억4,369만

톤으로 기존 배출량의 15.4%를 줄여야 하는 수치이며, 탄소배출 10% 감축 시 석유화학산업 수출(-5.8%), 고용(-5.0%) 등 감소 전망

- 온실가스 배출 기업이 기존 생산량을 유지하면서 배출되는 온실가스를 자원으로 전환시킬 수 있다면 산업경쟁력을 유지할 수 있으며, 탄소자원화 자체가 탄소크레딧으로 연계된다면 새로운 미래성장동력으로서의 가능성이 있음

○ 대표적 친환경 플랜트 수출로 친환경 기술혁신 선도국가 입지 구축 및 새로운 성장동력원 창출 효과

- 온실가스·부생가스 등 탄소를 자원으로 활용하여 화학제품을 생산하는 혁신기술 확보를 통해, 온실가스를 감축하는 동시에 경제적 가치 창출
- 최근 화학물질의 개발, 공정설계 또는 이용 시 인간이나 환경에 유해한 물질의 생성 및 사용을 근본적으로 줄일 수 있는 녹색 화학과 환경복원을 위한 청색 화학이 주목 받고 있음
- 탄소배출 저감 기술개발과 실증화를 연계하는 탄소자원화 플랜트 기술이 확보되면, 관련 기술과 플랜트의 해외 수출로 국내 화학산업의 미래성장동력 창출 가능
- 그동안 한국경제 성장의 견인차 역할을 해온 화학산업의 산학연관이 축적된 인프라와 잠재역량을 기반으로 협력해 나간다면 이러한 어려움을 극복하고 제2의 경제도약과 복지강국을 실현할 수 있는 신성장동력이 될 수 있음

□ (기술적 측면) 부처별·단계별 분절화된 개별 R&D 사업 수행으로 인한 기술개발 성과확산 한계를 뛰어넘기 위한 범부처 전략사업 필요

○ 산업계의 직접적 부담 최소화를 위해 다양한 감축수단을 활용할 계획이나, 온실가스의 실질적 감축을 위한 기술의 검증과 실증화 연계가 확보되지 못한 상황임

- 탄소자원화 관련 기초·원천기술의 꾸준한 개발도 중요하지만, 개발된 기술의 조기 실증화와 상용화를 위한 단계별 장애요인이 극복되어야만 추가 기술개발이 탄력받을 수 있음
- 따라서 정책-R&D-실증-제도 연계로 기술개발 성과의 실효성을 제고하고 실증화에 필수적인 기술개발 성과의 검증 과정이 필요
- 또한 개발기술의 상용화 연계를 위해서는 전주기적평가(LCA) 및 표준화

### 기술개발 필요

기존 요소기술의 공백과 한계를 극복하기 위한 차세대 원천기술을 신규 개발하고 이를 기개발된 탄소자원 활용기술과 통합/연계하여 실증·상용화에 적용하기 위한 전략사업이 필요

- 부처별로 독립적으로 추진되고 기술 간 연계성이 부족한 상황에서는 차세대 원천기술 개발이 학술적 성과 창출에 그쳐 산업계의 활용가능성이 저하될 우려가 있음
- 이미 실증화로 연계된 기술 이외에 차세대 원천기술 개발에 있어서도 기술 간 경쟁을 통해 조기 실용화 가능성을 제고하는 것이 필요하며, 기존 기술과의 연계를 통해 탄소자원화의 실효성을 획기적으로 제고시키는 것이 필요
- 기존 부처별 사업체계에서는 차세대 기술 간 혹은 차세대 기술과 기개발 기술과의 연계를 추진하기 어려운 구조이므로, 동 사업과 같은 전략사업을 통해 조기 실용화·상용화를 추진할 수 있는 창구를 마련하는 것이 필요
- 기존 관련 사업과의 정합성 확보와 향후 탄소자원화를 국가적 차원에서 지원할 조직의 설립과 이의 운영방안 마련이 요구됨

### 3. 추진목적

- 탄소배출 저감 목표달성에 기여하는 탄소자원화 국가전략 프로젝트의 기획
- 국가차원의 탄소자원화 실효성 제고와 기술개발 및 산업생태계 조성을 위한 범부처 협력체계의 구축
- 탄소자원화 조기 실용화를 위한 사업의 목표, 전략, 구조, 체계 및 운영방안 등의 설계

- 탄소자원화와 관련된 기존 사업을 파악하여 현황 및 차별성, 연계성을 분석하고 이를 통해 본 사업의 정당성을 확보
- 탄소자원화 사업 개념 정립과 사업 범위를 확정
- 탄소자원화 사업의 비전, 목표, 전략 도출
- 탄소자원화 사업 추진체계, 관리방안, 추진절차, 성과관리 체계, 성과활용 계획 등 운영 방안 도출
- 정책, 법제 동향, R&D 투자 현황 분석을 통하여 효과있는 기획 결과 도출
- 탄소자원화 사업의 세부사업 및 전략과제별 추진 계획 도출
- 투자계획, 소요 인력 분석 및 자원조달 계획 도출
- 기술적, 정책적 타당성 및 파급효과 분석

## 제2절 추진체계

### 1. 기획 추진체계

- 본 사업의 기획 추진체계는 과학기술정책연구원에서 사업체계 기획, 한국화학연구원에서 핵심사업 및 전략과제 기획의 형태로 구성
- (과학기술정책연구원) 사업의 정책적 타당성, 사업체계, 목표, 전략, 운영방안을 중심으로 기획
- (한국화학연구원) 설정된 사업의 비전 및 목표를 기반으로 핵심세부사업을 설정하고 상세 전략과제를 도출
  - 핵심세부사업은 제1세부사업: 탄소전환 플래그십, 제2세부사업: 탄소광물화 플래그십, 제3세부사업: 탄소자원화 플랫폼으로 구성
  - ※ 각 기술 분야의 전문성을 고려하여 한국화학연구원/C1리파이너지사업단 (부생·온실가스 전환), 한국지질자원연구원(CO<sub>2</sub>광물화), 한국화학연구원/한국표준과학연구원/KCRC/한국지질자원연구원 (온실가스감축 평가인증)에서 추진

## 제2장 사업 추진의 당위성

### 제1절 기존 사업과의 차별성

#### 1. 부처별 사업 개요

##### □ 미래부 기후변화대응기술개발사업

##### ○ 사업목적

- 기후변화 대응을 위한 기초연구 강화를 통하여 미래 성장동력을 창출하고 관련 연구인력을 양성
- 온실가스 감축효과가 큰 기술분야에 대한 지원을 통해 경쟁력 있는 기초 원천기술 확보
- 에너지·환경분야의 세계 선도적 원천기술을 확보하여 타 부처의 실용화 사업에 활용하거나 기업에 기술이전 추진
- 기후변화의 정확한 예측을 위해 지구관측, 기후변화 분석 모델 개발, 국내 기후변화 영향 분석 등 통합기후예측시스템 연구
- 인공광합성 등 신분야에서 독자적 기술을 보유하고 있는 선진국과의 국제 협력 연구를 통하여 원천기술 확보 선도

##### ○ 사업구조

- '09년 기후변화대응 기초원천기술개발사업으로 출범하여 10년('09~'18) 간 총 2,500억 규모로 시작
- '11년 'Korea CCS 2020 사업'이 국가 CCS 종합추진계획('10년 7월 수립)에 따라 추진되면서, 동사업 구조가 2개의 내역사업인 '기후변화대응 기초원천기술개발사업'과 'Korea CCS 2020 사업'으로 분할되어 추진
- 'Korea CCS 2020 사업'은 별도의 사업추진 주체로 (재)한국이산화탄소 포집및처리연구개발센터(약칭 KCRC)를 두고 원천기술 개발, 정책 및 기획, 기술사업화 등의 총괄업무를 수행

○ 사업기간 및 예산

- 'Korea CCS 2020 사업' : '11년~'20년, '15년도 사업비 약 223억원
- '기후변화대응 기초원천기술개발사업' : '09년~'18년, '15년도 사업비 약 229억원

○ 수행주체

- 주로 기초원천기술 개발을 목적으로 하고 있기 때문에 대학과 출연연의 비중이 높음
- '15년 연구비 사용 기준, 대학 61.7%, 출연연 29.1%, 대기업 0.5%, 중소기업 2.9% 수행

○ 연구개발단계

- 'Korea CCS 2020 사업'이 내역사업으로 들어오면서 개발·응용 단계의 과제 비중이 높아졌으나 전체적으로 기초 단계의 비중이 높은 사업구조임
- '15년 연구비 사용 기준, 기초 63.1%, 응용 13.3%, 개발 20.5%

□ 미래부 C1가스리파이너리사업

○ 사업목적

- 기후변화대응과 더불어 국내 산업의 석유 의존도를 낮추고, 화학산업의 성장동력을 창출
- C1 가스를 활용하여 화학제품(플라스틱, 섬유, 염료 등) 원료 및 수송연료를 생산할 수 있는 핵심 촉매(바이오, 화학) 및 공정기술 개발

\* C1가스 : 셰일가스, 합성가스 및 바이오가스를 포함한 천연가스에서 유래한 탄소(C) 수가 1개인 메탄(CH<sub>4</sub>) 및 일산화탄소(CO)가스를 의미함(CO<sub>2</sub> 제외)

○ 사업기간 및 예산

- '15년~'23년(9년), 총 1,415억원('15년 40억원)

#### ○ 수행주체

- 비영리법인 형태의 사업단(주관기관; 서강대)을 추진주체로 구성하고 연구개발은 주로 대학 및 출연연이 주로 담당
- 기업은 초기 기획단계에 협의체 형태로 참여하고 이후 상용화가 근접한 시점부터 참여 계획
- '15년 연구비 사용 기준, 대학 60.8%, 출연연 35.3% 등으로 기업의 참여는 거의 없는 상황임

#### ○ 연구개발단계

- '15년 연구비 사용 기준, 기초 100%로 구성

### □ 산업부 신재생에너지핵심기술개발사업

#### ○ 사업목적

- 신재생에너지 기술경쟁력 확보 및 신성장동력산업으로 육성
- 기후변화협약 및 고유가 시대에 대비하고 에너지 저소비형 사회구조로의 전환 촉진
- 동 사업은 주로 태양광, 풍력, 연료전지 등 신재생에너지 핵심기술을 개발하는 사업으로 탄소자원화와 일부 관련성이 있는 세부 내역사업은 '폐기물' 분야임

#### ○ 사업기간 및 예산

- '06년~계속, '15년 기준 전체 사업비 2,131억원, 폐기물 분야는 86억원
- 탄소자원화와 관련있는 동사업 내 과제는 '15년 기준, 부생가스 분야 4개, CO2 전환 분야 1개 등 총 5개 과제 총 29.8억 원 규모

#### ○ 수행주체



- 동 사업은 주로 기업이 주관기관으로 과제를 수행하는 사업으로 기업이 주관하는 과제 비중이 약 78%에 달함
- '15년 연구비 사용 기준, 대학 6.9%, 출연연 11.5%, 대기업 32.2%, 중견기업 9.8%, 중소기업 35.9% 등으로 구성

○ 연구개발단계

- 기업이 매칭펀드 부담을 안고 참여하는 사업이기 때문에 주로 기술개발 성과가 바로 상용화로 연계될 수 있는 개발 단계 위주로 사업 구성
- '15년 연구비 사용 기준, 기초 9.8%, 응용 16.1%, 개발 70.4%

□ 산업부 에너지수요관리핵심기술개발사업

○ 사업목적

- 신기후체제(Post-2020)·유가변동 등 급변하는 에너지환경 변화에 적극 대응하고, 에너지신산업 활성화 등 정부핵심과제 추진을 위한 기술개발지원
- 주요 사업 분야는 에너지다소비기기(전기, 열 분야), 건물, 산업공정, 수송분야의 효율향상기술, 에너지저장, 온실가스처리(CCS), 에너지신산업, 에너지수요관리융합 분야 등으로 구성
- 탄소자원화와 관련성이 있는 분야는 이 중 온실가스처리(CCS) 분야임

○ 사업기간 및 예산

- '13년~계속, 특별회계에 의해 계속사업의 성격
- '15년 기준 전체 사업비 1,820억원, 온실가스처리(CCS) 분야는 262.6억원
- 탄소자원화와 관련성이 있는 동 사업내 과제는 '15년 기준, 부생가스 분야 1개, 광물화 분야 2개, CO2 전환 분야 1개 등 총 4개 과제 총 56억 원

## 규모

## ○ 수행주체

- NTIS 상 사업 단위 자료는 없으며, 유사과제 검색 결과, 위에 언급한 과제의 수행은 부생가스와 CO2 전환은 출연연, 광물화는 기업이 각각 수행

## ○ 연구개발단계

- 위에 언급한 4개 과제 경우, 부생가스와 CO2 전환은 개발단계, 광물화는 응용단계에 해당

## □ 산업부 청정화력핵심기술개발사업

## ○ 사업목적

- 화력발전 설비의 선진화·국산화를 통한 지속적 성장동력 확충 수출산업화 달성
- 기존 석탄·복합화력 발전소의 성능개선 및 신규 화력 발전소의 고효율·친환경화를 위한 기술개발
- 기존 청정화력 발전의 한계를 극복할 수 있는 타 분야 기술(IT, NT 등)과의 융합한 혁신기술을 개발하여 화력발전소에 적용
- 차세대 화력발전, 발전효율 및 부품 소재 성능 향상, 화력발전 친환경 기술, 청정화력 융합기술 개발 등이 주요 사업 내용
- 사업 구성은 청정화력 위주지만, '15년부터 청정화력융합이 소규모(10억원)로 추진

## ○ 사업기간 및 예산

- '13년~계속, 기금사업으로 계속사업 성격
- '15년 기준 전체 사업비 259.8 억원
- 탄소자원화와 관련성이 있는 동 사업내 과제는 광물화 분야 2개로 '15년

기준, 총 25.1억 원 규모

○ 수행주체

- 전체 사업의 경우, '15년 연구비 사용 기준, 대학 13.8%, 출연연 19.1%, 대기업 18.3%, 중견기업 7.6%, 중소기업 35.3% 등으로 구성
- 전체 사업의 수행주체는 주로 기업의 비중이 높으며, 특히 중소기업의 비중이 높은 것이 특징적
- 유사과제 검색 결과, 위에 언급한 2개 과제의 수행은 대기업과 비영리법인이 각각 수행

○ 연구개발단계

- 전체 사업의 경우, '15년 연구비 사용 기준, 기초 7.6%, 응용 27.1%, 개발 62.6% 등으로, 특히 개발연구 단계에 있는 과제의 비중이 높음
- 유사과제 검색 결과, 기업이 수행한 1개 과제는 응용단계, 비영리법인이 수행한 1개 과제는 개발단계에 해당

□ 환경부 폐자원에너지화 기술개발사업

○ 사업목적

- 폐자원의 매립·해양 배출을 최소화하고 발생 폐자원을 환경오염 없이 에너지 자원으로 이용하기 위한 한국형 폐자원 에너지화 실증시스템 개발

○ 사업기간 및 예산

- 2013년 ~ 2020년(총 8년)
- 총사업비 1,341억원', 15년 기준 사업비 180 억원
- 탄소자원화와 관련성이 있는 동 사업내 과제는 부생가스 분야 2개로 '15년 기준, 총 92.2억 원 규모

## ○ 수행주체

- 전체 사업의 경우, '15년 연구비 사용 기준, 대학 1.0%, 출연연 3.3%, 대기업 62.8%, 중소기업 29.9% 등으로 구성
- 지자체 또는 사업장(기업체)의 협력을 통한 실증-사업화 연계를 기본 사업구조로 하고 있기 때문에 기업의 비중이 매우 높은 편임
- 유사과제 검색 결과, 위에 언급한 2개 과제의 수행은 모두 대기업이 수행

## ○ 연구개발단계

- 전체 사업의 경우, '15년 연구비 사용 기준, 기초 92.8%, 개발 0.8% 등으로, 기초연구 단계에 있는 과제의 비중이 높음
- 유사과제 검색 결과, 기업이 수행한 2개 과제는 모두 기초연구 단계에 속하며, 대기업이 주관하는 과제가 기초연구인 점이 특이사항임

## □ 국토부 건설기술연구사업

## ○ 사업목적

- 건설기술의 선진화를 위한 각종 핵심기술, 엔지니어링, 재료 등을 연구개발하는 사업
- SOC 시설물 전주기(설계, 시공, 유지관리 및 해체)에 걸쳐 안전성, 고부가가치화, 첨단화 및 세계선도 등 4대 목표 달성을 위한 건설기술력 제고

## ○ 사업기간 및 예산

- '07년~계속, '15년 기준 전체 사업비 538.7 억원
- 탄소자원화와 관련성이 있는 동 사업내 과제는 광물화 분야 2개로 '15년 기준, 총 14.5억 원 규모

## ○ 수행주체

- 전체 사업의 경우, '15년 연구비 사용 기준, 대학 31.9%, 출연연 47.3%, 대기업 13.8%, 중소기업 1.3% 등으로 구성
- 전체 사업의 수행주체는 주로 대학과 출연연의 비중이 높으며, 특히 중소기업의 비중이 매우 적은 것이 특징적
- 유사과제 검색 결과, 위에 언급한 2개 과제의 수행은 모두 비영리법인이 수행

○ 연구개발단계

- 전체 사업의 경우, '15년 연구비 사용 기준, 기초 9.7%, 응용 6.4%, 개발 79.9% 등으로, 특히 개발연구 단계에 있는 과제의 비중이 높음
- 주요 수행 주체가 대학과 출연연인데도 불구하고 개발연구 비중이 절대적으로 높은 것이 여타 사업과는 차별화된 점임
- 유사과제 검색 결과, 1개 과제는 응용단계, 또 다른 1개 과제는 개발단계에 해당

## 2. 관련 주요 사업 현황

### □ 부생가스 활용 기술 사업진행 현황

- (청정액체연료) 산업 부생가스를 분리·정제, 촉매·생물을 이용한 전환을 통해 청정 액체연료(메탄올, 에탄올, 경유)생산하는 기술, 이와 유사 기술인 천연가스를 원료로 사용하는 공정 실증 R&D 수행 중
  - 화학적 전환 기술: 청정액체연료 생산 세계 최고 성능의 화학촉매 확보를 목표로 사업 진행 중 ('15~'24년)
  - 생물학적 전환 기술 : 세계 최고 성능의 생촉매 확보 목표 사업 진행 중
    - C1 바이오전환 관련 원천 효소 및 균주 개발('15~'24년)
    - 메탄 및 syngas의 상온상압에서의 알코올 전환 기술 개발('13~'16년)
    - 해양고세균 이용 바이오수소 생산 실용화 기술 개발('09~'20년)
  - 통합공정 개발 : 개발된 화학/생물 원천촉매 기반, 상용화 및 시장선도 가능한 C1 전환 시스템 개발 목표 사업 추진 중 ('15~'24년)
- (플라스틱원료) 부생가스를 원료로 화학촉매·생물촉매를 이용하여 플라스틱 원료 제품생산 원천기술 개발, 실증 및 사업화 R&D 추진
  - 화학적 전환 기술 : 균질계, 비균질계 화학촉매 이용 부생가스로 부터 고부가가치의 플라스틱 원료(올레핀, 이소시아네이트, 메탄산화체, 방향족 화합물) 생산 화학촉매 원천기술 확보 목표로 사업 진행 중 ('15~'24년)
  - 생물학적 전환 기술 : 미생물의 선택성, 활성을 활용 부생가스부터 고부가가치 고분자 및 고분자원료를 생산위한 세계 최고 성능의 생촉매 확보 목표 사업 진행 중 ('15~'24년)
  - 통합공정 개발 : 생물/화학 촉매와 연계하여 물질전달, 열전달 등 공정 상의 한계 돌파를 위한 통합공정 기술 개발 추진 중 ('15~'24년)

- (유기성 폐기물) 유기성 폐기물을 원료로 미생물 활용하여 기상 (수소, 메탄) 및 액상 (알콜, 바이오디젤) 에너지원으로 1차 변환하거나, 유기산으로 전환하여 후속공정을 위한 화학원료제조 기술로 미래부와 환경부 중심으로 기초연구와 실증연구 추진 중
- 환경부의 유기성 폐자원 에너지화 사업단에서는 크게 바이오가스화가 용이한 유기성 폐기물을 활용한 한국형 융복합 가스생산 및 악취저감 시설을 개발하고 흡착기술을 중심으로 고순도로 정제하여 도시가스화 자동차 연료 등을 생산하는 사업과 유기성 폐기물 슬러지의 건조를 통한 고체연료화 및 폐목재의 바이오부탄올 변환 연구를 수행하고 있음. 국내 관련 기업을 중심으로 기 개발되거나 최적화가 필요한 6개의 과제를 선정하여 환경신기술, 사업화 및 기술이전을 목표로 하고 있음
  - 원천기술 개발
    - 고수분 저등급 석탄으로부터 천연가스·화학원료를 생산원천 기술 확보
    - 바이오가스 고질화 생물학적 원천 기술 확보
    - 고효율 바이오수소 생산 원천 기술 확보
    - 농부산물 원료 고기능성 고부가가치 소재 개발 및 사업화 (50L급 반응조를 이용하여 배양/전환/회수 검증)
  - 실증 및 사업화
    - 유기성폐기물로부터 바이오메탄과 알코올을 동시 생산기술 1 ton/d 처리 규모 파일럿 플랜트 성능 검증
    - 도시 발생 탄소계 폐자원으로부터 고형연료·바이오가스 생산 및 이를 이용 17.4 Gcal/일 이상의 전기+냉난방 에너지 생산 기술 개발
    - 원료 바이오매스 종류 및 부하량 변화에 능동적 대처가 가능한 바이오가스 생산 공정 개선 기술 확보
    - 유기성 폐기물에서 메탄가스 생산량을 극대화 할 수 있는 원천기술 시스템화, 80톤/일 규모의 실증규모 시스템 및 운영기술 확보

○ (부생가스 분리기술) 부생가스 활용에 필요한 C1가스 분리기술은 공백기술로 국책사업 형태로 별도로 진행된 바 없음

- CCP융합연구단사업 : 주로 촉매 전환을 주로 하여 올레핀 제조공정을 주로 하고 있으며 포함된 분리기술은 올레핀/파라핀의 막분리 흡착 증류 혼성 분리공정을 통한 회수연구가 포함되어 있으며, 향후 철강내 LDG의 CO혼합가스를 수성촉매를 통해 수소화하여 분리한 후에 올레핀의 합성에 이용하는 분야를 현재 과제화를 모색중임

□ CO2 포집 및 처리 기술개발 사업

○ KOREA CCS 2020 사업(KCRC) : ‘국가 CCS 종합추진계획(’10.7)’에 의거 혁신적 저비용의 CCS 원천기술 개발

- (포집기술) 습식, 건식, 분리막 등을 통한 혁신적 저비용의 CO2 포집 원천기술 확보
- (저장기술) 파일럿 저장(1만톤 규모) 사업을 통한 부지탐사·선정, 거동예측 모델링, 주입, 모니터링 등 CO2 저장 핵심기술 확보
- (CO2전환·활용기술) 대량의 CO2 처리 및 경제성 확보 가능 고위험·고수익 (High-risk, High-return)형 세계 최고 수준의 핵심 원천기술 개발
- (CCS 기반조성) 정책기획, 동향정보 수집·분석, 교육, 국제협력, 수용성 제고 등



<표 II-1> CO2 포집 관련 타사업 현황

주요 비교 항목	과제 명	세부 내용
습식포집기술	CO2 포집 공정 시뮬레이션 및 공정 최적화	혁신 흡수제에 적합한 습식 포집공정의 모사기 개발 및 공정 개발, 최적화, 경제성 평가 가이드라인
	저수계 포집공정의 흡수제 성능향상을 위한 열변성과 기포 발생 현상 연구	열에너지 1.8GJ/tCO2 이하로 저감하여 포집비용 20\$/tCO2 이하의 세계 최고 수준 저에너지형 CO2 포집 공정개발
	아민화합물을 기반으로 한 저에너지 소비형 습식 CO2 흡수제 개발	저에너지 소비형 저수계 및 비수계 CO2 포집 흡수제 개발
	히드라진 기반 이산화탄소 흡수제 개발	히드라진 기반 신개념 이산화탄소 흡수제 개발
	고효율 저에너지형 비수계 이산화탄소 흡수제 개발	에너지 소비가 적으며, 고효율로 이산화탄소 흡수 및 재생이 가능한 혁신적인 비수계 유기 이산화탄소 흡수제 개발
	이산화탄소 습식 흡수제 포집반응 모사 및 신규 흡수제 설계	습식 흡수용액의 CO2 선택적 흡수/재생 반응 분자 수준 모사 및 이에 기반한 합리적 흡수제 설계
	제일원리기반 다단계 전산모사를 통한 고효율 이산화탄소 포집용 흡수제 디자인	차세대 고효율 저비용 CO2 흡수제 개발 및 연관된 원천기술 확보를 위한 이론적 메커니즘 및 기초 데이터 제공
	CO2 흡수 촉진용 Carbonic Anhydrase 모사 촉매 개발	CO2 흡수제의 CO2 흡수속도 촉진용 carbonic anhydrase 모사 촉매 개발
건식포집기술	에너지 교환형 다단 유동층 CO2포집기술 개발	서로 흡탈착 온도 영역이 다른 2가지 이상의 건식 흡수제를 사용함으로써 고온 영역의 흡수제가 CO2 흡수 시 발생하는 흡수열을 저온 영역의 흡수제가 CO2 방출 시 필요로 하는 재생열로 이용하는 기술 개발
	고효율 이산화탄소 포집을 위한 차세대 중공사 흡착제 개발	Rapid Temperature Swing Adsorption 공정에 사용될 고성능 CO2 분리용 중공사 흡착제 개발
	CO2 고흡수속도를 얻기 위한 담지체 및 아민 담지 기술 개발	고흡수능 및 고흡수속도를 가지는 아민/실리카 복합 CO2 흡수제 개발 및 실용화
	고체 아민 복합체형 이산화탄소 분리용 흡수제 개발	가교결합 구조형 고상 흡수제 합성법 합성법 개발
	유무기 복합 아민계 고히흡수제 개발	유동층 공정용 최적의 유무기 복합 아민계 이산화탄소 건식흡착제 개발
	Host-guest개념 흡수제를 위한 고도 guest 기술 개발	3차원 게스트 구조를 갖는 흡수제 기술 개발
	혁신적인 CO2 포집용 금속-유기 골격체 개발	혁신적인 CO2 포집용 금속 유기 골격체 개발
	유동층 건식흡수공정에 적용 가능한 다공성 금속 산화물계 CO2 흡수제 담지체 개발	고효율 중온 흡수제의 이산화탄소 흡수 메커니즘 규명과 이를 바탕으로 한 흡수제 설계기술개발
	고체화학적 이론 연구에 기반한 신규 중고온 흡수제 개발	고체화학에 기반한 중고온 흡수제의 작동원리 규명 및 혁신적 중고온 CO2 흡수제 개발
	온도 맞춤형 중고온 CO2 흡수제 개발	에너지 교환형 다단 CO2 포집 공정에 적용될온도 맞춤형 고온 흡수제 개발
분리막 포집	이산화탄소 highflux 초박형 무기질 모세관 분리막 기술 개발	이산화탄소 highflux 초박형 무기질 모세관 분리막 기술 개발
	CO2 포집용 나노탄소 분리막 대면적 모듈 제작 및 실증	연소 후 이산화탄소 포집 공정에 사용될 차세대 고투과선택성 분리막 소재 및 이의 가공 및 채널크기 제어기술 확보, 신소재에 알맞은 모듈 및 분리공정의 설계, 2000 GPU 이상 고투과선택성 분리막 모듈 개발
	CO2 분리용 신규막소재 및 지지체 기술 개발	.우수한 이산화탄소 선택성을 가지는 고분자 기반 신규 분리막 소재 개발
	연소후 이산화탄소 분리막 성능평가 및 포집 공정연구	실제 배가스 조건에 적용할 수 있는 이산화탄소 분리막 테스트베드 구축 및 신규분리막 공정개발
	이산화탄소 선택적인 실리카 제올라이트 분리막 제조	CO2 분리를 위한 제올라이트 분리막 합성법 개발. 특히, 물이 존재할 때 높은 CO2 분리 능력을 가질 수 있는 분리막 재질 설계 및 분리막 합성법 개발
	CO2 포집용 분리막/흡수제 하이브리드 기술개발	연소배가스 적용 분리막/흡수제 하이브리드 CO2 분리 기술 개발
	나노기술을 이용한 신개념 촉진수송 이산화탄소 분리막	이산화탄소와 가역적이고 선택적으로 상호작용이 가능한 촉진수송 운반체의 특성을 응용하여 기존 분리막 소재의 이론적 분리능을 극복하는 신개념 원천기술의 개발 및 중공사막모듈 제조

주요 비교 항목	과제 명	세부 내용
지중저장기술	CO2 용해도가 향상된 CO2포집용 증공사 제조 및 모듈 개발 이산화탄소 하이플렉스 분리막 및 그 모듈 개발	이산화탄소에 대해서 고용해성을 나타내는 신규 고분자 소재를 이용하여 고투과 및 고선택적 증공사막을 제조하여, 세계최고 수준의 상용화가 가능한 “고분자 증공사 분리막 모듈” 개발
	국내 육상 CO2 파일럿 저장소 선정 및 특성화	국내 육상에서 파일럿 규모의 CO2 주입 및 저장이 가능한 부지 선정 주입 부지의 저장층, 덮개층, 지질구조의 특성화 연구 및 특성화 기술개발
	CO2 지중저장을 위한 대심도 지질 및 수리특성 평가기술 개발 연구	대심도 시추 및 수리시험장치 개발/검증을 통한 지중저장 최적위치 선정과 시설 설치를 위한 설계인자 도출
	CO2 지중저장을 위한 시추공 완결기술개발 연구	대심도 시추기술 및 시추공 완결기술 확보
	CO2 육상 파일럿 지중저장 실증을 위한 모니터링 기술 개발 및 현장 실증	CO2 지중저장 모니터링 기술 확립 및 1만 톤급 육상 지중저장 모니터링 현장 실증
	마이크로중력, 광섬유 및 MEMS 센서를 이용한 이산화탄소 플룸 거동 모니터링	지구물리 및 측지기술을 이용하여 지중저장 CO2 총질량변화 및 플룸거동 모니터링 기술을 개발하여 국내 1만톤 육상저장소에 적용
	CO2 저장량 최적화 및 증대를 위한 다중 스케일 평가기술 개발	CO2 저장용량 극대화를 위한 주입조건 최적화 기술 개발
이산화탄소 화학적 전환 기술	NT(나노 물질)-BT(미생물, 바이오 필름)를 이용한 CO2 저장능력 향상 융합기술 개발	CO2 지중 저장 대상 지층 시스템(저장암+덮개암+지하수+미생물 +나노물질)의 성능(저장성능, 밀봉성능)평가에 기초하여 NT(나노 물질)-BT(미생물, 바이오 필름) 기술을 이용하여 저장암의 저장성능 향상, 덮개암의 밀봉성능 향상기술 개발
	해수기반 전기화학적 이산화탄소전환에 의한 무기탄산의 제조	배가스 50Nm <sup>3</sup> /h 규모의 이산화탄소로부터 무기탄산을 제조공정의 실증
	이산화탄소를 활용한 친환경 폴리카보네이트 제조 및 단량체 제조 원천기술 개발	이산화탄소의 고분자물질로의 혁신적 전환 촉매 개발
	CO2 수소화반응에 의한 포름산 및 포름산 유도체 생산시스템 개발	포름산 및 포름산 유도체제조를 위한 CO2 비균질화 수소화반응촉매개발 및 반응분리 시스템개발
	혁신적 CO2 reductase 개발 및 이를 이용한 전기화학적 BT-NT 융합 개미산 제조 시스템 개발	혁신적 CO2 reductase 개발 및 이를 이용한 전기화학적 개미산 합성 시스템개발
	이산화탄소 전환 나노와이어 기반 하이브리드 광촉매 개발	AM 1.5G의 태양광 에너지를 조사하였을 때, 2%의 광변환 효율 및 90% 이상의 선택도로 이산화탄소를 포름산으로 전환시키는 광촉매 시스템 개발
	폴리에스터 모노머제조를 위한 카복실화 촉매개발	폴리에스터 모노머제조를 위한 카복실화 촉매개발
	탈수소화 반응을 이용한 이중결합이 함유된 다양한 카보네이트 단량체의 촉매적 합성	폴리카보네이트 물성 개선을 위한 단량체의 이중결합을 포함시키는 기술개발
	CO2 하이드레이트를 이용한 고효율 냉방 시스템 기술 개발	포집 과정에서 투입되는 냉각열을 CO2 하이드레이트 해리열로 회수하여 지역 냉방에 적용
	합성가스 제조를 위한 CO2 저온전기분해 혁신기술 개발	CO2 전환에 의한 대규모 합성가스 생산 시스템 기반 기술 개발
이산화탄소 생물학적 전환	가압 운전용 튜브셀 기반 CO2/H2O 동시 전해반응에 의한 syngas 제조기술 개발	가압 운전용 튜브셀 기반 CO2/ H2O 고온 전해반응에 의한 합성가스 제조기술 개발
	다전자 전달 나노입자를 이용한 선택적 CO2 전환 전기화학 촉매의 개발	결정성 클러스터 화합물을 이용한 선택성 및 전환 효율 개선된 CO2 전환용 전극소재 물질 개발
	이산화탄소로부터 전기화학적 시스템에 적용 가능한 혁신적 탄소 전극 제조	금속 수소화물을 이용, CO2를 B-나 N-이 도핑된 다공성 탄소 및 그래핀 등의 탄소 물질로 전환하는 기술을 확보하고, 이를 supercapacitor와 연료전지의 양극반응에 대한 촉매로 활용
	이산화탄소 전환 합성가스 제조를 위한 고효율 고온 전해조 개발	이산화탄소 전환 합성가스제조를 위한 고효율 고온 전해조 개발
	생물학적 이산화탄소 고속전환 유기 자원화 기술	미세유체 공정시스템을 활용한 이산화탄소의 고속 유기자원화 공정개발
이산화탄소 생물학적 전환	분자생물학적 개량을 통한 고효율 이산화탄소고정 미세조류 개발	이산화탄소의 고속전환을 위해 Biomass 증가율 200%인 최고효율 광전환 미세조류 개발
	연속식 바이오디젤 직접생산을 위한 재조합시아노박테리아 활용 원천기술개발	세포의 바이오디젤의 분비와 바이오디젤을 직접생산 할 수 있는 재조합 시아노박테리아 균주의 개발을 통한 대량의 이산화탄소 처리가 가능한 생물학적 신기술 개발
	자연교배와 분자유전학적 개량법을 활용한 환경저항성 미세조류 균주개발 및 분자기작연구	대량배양 조건에서 200% 광합성생산성 + 장기배양시 안정적생산성 균주 개발
	통합적인 미세조류 분석 플랫폼의 개발	미세유체를 활용한 통합적인 미세조류 분석 플랫폼(iMAP)의 개발

- CO2 광물화 기술 사업 진행 현황
  - '16년 현재 7과제가 추진 중에 있으며, 총 사업비는 102.2억원이며, 산업부, 미래부, 국토부 등 3개 부처 수행 중
  - 산업부산물 활용 친환경 시멘트·콘크리트·폐지펄프 생산기술 92.2억원(90%, 6과제), 석회수 활용 나노탄산칼슘·자동차용 복합소재 생산 8.0억원(10%, 1과제)
- (CO2 및 산업발전부산물 활용) 산업부를 중심으로 산업, 발전부산물을 활용한 CO2 포집, 활용 기술위주로 6개의 R&D 사업이 추진 중
  - 저농도 CO2를 직접 활용하는 세계최고수준의 원천 기술(그린시멘트, 친환경 제지기술 등) 실증화 완료, 상용화 단계 진입 중
  - 저농도 CO2를 직접 활용하여 발전회의 중금속을 안정화하고 CO2를 활용하는 기술을 개발하여 폐광산 공동 채움재로 응용연구 추진 중
  - CO2 배출을 저감하는 탄산칼슘 건설재료도 일부 기초 연구 추진 중
- (CO2 및 석회수 활용) 미래부를 중심으로 해수를 활용한 CO2 무기 탄산염 기술위주로 1개의 R&D사업이 추진 중
  - 단일과제인 해수기반의 탄산칼슘 제조기술은 기초연구 단계로서, 응용연구를 통한 고기능성 나노 탄산칼슘 활용연구가 필요함

&lt;표 II-2&gt; CO2 광물화 관련 타사업 현황

주요 비교 항목	과제 명	세부 내용
친환경 시멘트·콘크리트· 폐지펄프 생산기술	CO2 배출저감형 건설구조재료 개발	탄소저감형 건설재료 실용화를 통한 건설재료 산업의 CO2 배출저감 ⇒ 건설재료의 CO2 통합관리 기술개발에 의한 탄소저감형 건설재료 활용기반 구축
	발전회 정제 및 복합무기폐기물의 중금속 안정화를 통한 CO <sub>2</sub> 고용화 기술 상용화기술개발	발전회 이송 및 정제 설비의 현장 적용을 위한 요소 기술 검토 발전회 대량 활용 특수시멘트 구성 물질 최적화 및 폐광산 채움재 시작품 생산에 따른 모형충진 실험
	발전소 부산물을 100% 활용한 압축강도 42.5MPa 급 상온경화형 비소성 결합재 및 활용기술 개발	발전소부산물을 활용한 압축강도 22.5MPa급 결합재 개발 ⇒ 원료 혼합 및 강도 증진용 무기질 첨가제 적용 기술 개발
	시멘트산업 연계 고순도 PCC 및 액화탄산 생산용 CCU 공정 개발	CO2 포집공정용 폐열회수 시스템 구축 및 PCC/액화탄산 제조 공정 설계 ⇒ 1000 Nm <sup>3</sup> /h CO2 포집 공정 제작을 위한 PDP 설계
	CO2와 제철슬래그를 활용한 탄산칼슘/중조 동시 제조의 핵심 기술 개발	슬래그로부터 Ca 용출 기술 개발 ⇒ 탄산칼슘, 중조 동시 제조 기술 개발 ⇒ 포집 CO2와 Ca 함유 제철슬래그를 활용한 무기탄산염 제조공정 개발
	국내 석회석광 적용 자동차 경량화 광물 원료 등 미래 자원화 기술 실증화 연구	선택적 채광, 맞춤형 선광 기술개발 및 후발기술 (자동차내외장재, 친환경제지, 시멘트혼합재) 개발
CO2 및 석회수 활용	고 전류밀도 전기분해시스템(200 mA/cm <sup>2</sup> @1.5V)을 통한 이산화탄소 대비 탄산칼슘 생산 ⇒ 콘크리트 로부터 나노칼슘카보네이트 제조: 1.2t-CaCO <sub>3</sub> /tCO <sub>2</sub> 및 NaCl 폐순환 사이클 공정개발	

### 3. 기존 사업과의 차별성

#### 가. 부처별 기존 사업과의 차별성

□ 수행주체, 사업목적 및 범위, 사업 기간 및 예산, 그리고 연구개발단계의 측면에서 각 부처에서 수행 중인 사업들과 ‘탄소자원화 국가전략 프로젝트’ 사업의 차별성 점검

□ 수행주체

<표 II-3> 수행주체 측면에서의 사업 차별성

관련 부처	사업	수행 주체	탄소자원화와의 차별성
범부처	탄소자원화	- 실증 : 기업주도 - 공백기술 및 원천기술 : 대학, 출연연 - 플랫폼 기술 : 대학, 출연연	- 실증화와 원천기술 주도 주체가 구분되어 연계
미래부	기후변화대응기술개발	- 대학 비중 2/3, 출연연 1/3 - 기업 참여 비중 미미	- 대학과 출연연 중심의 기초원천 연구 중심
미래부	C1리파이너리	- 대학, 출연연 위주 - 기업 참여 비중 미미	- 대학과 출연연 중심의 기초원천 연구 중심
산업부	신재생에너지핵심기술개발	- 기업 주도 - 대학과 출연연 참여 비중 제한적	- 기업 중심
산업부	에너지수요관리핵심기술개발	- NTIS 상 사업 단위 자료 없음	- 기업, 출연연 중심(추정)
산업부	청정화력핵심기술개발	- 기업 위주이며, 대학과 출연연 비중은 1/3 수준	- 기업 중심
환경부	폐자원에너지화 기술개발	- 기업(특히 대기업) 위주 - 대학과 출연연 비중 미미	- 기업 중심
국토부	건설기술연구	- 대학과 출연연 위주 - 기업 참여 비중 제한적	- 대학과 출연연 중심

## □ 사업목적 및 사업범위

&lt;표 II-4&gt; 사업목적 및 사업범위 측면에서의 사업 차별성

관련 부처	사업	사업목적 및 사업범위	탄소자원화와의 차별성
범부처	탄소자원화	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 온실가스 자원화</li> <li>- 조기 실증화를 위한 전주기 기술개발</li> <li>- 공동활용 플랫폼 기술개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 조기 실증화를 위한 범부처 전주기 기술개발 사업</li> </ul>
미래부	기후변화대응 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 온실가스 감축을 위한 원천기술 확보</li> <li>- CCS 2020 사업이 내역사업화되면서 전주기 지향</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 원천기술 확보 위주로 실증화와의 연계성 부족</li> </ul>
미래부	C1리파이너리	<ul style="list-style-type: none"> <li>- C1가스 활용 화학제품 제조기술 개발</li> <li>- CO2는 대상에서 제외</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CO2는 기술개발 대상에서 제외</li> <li>- 기초기술 개발 위주</li> </ul>
산업부	신재생에너지 핵심기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 태양광 등 다양한 신재생에너지 기술개발</li> <li>- 폐기물 분야에 일부 탄소자원화 과제 포함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 일부 과제 단위에서의 관련성은 있으나 사업 전반의 기술개발 대상이 상이</li> </ul>
산업부	에너지수요관리 핵심기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 신기후체제 대응과 에너지산업 육성을 위한 기술개발</li> <li>- CCS 분야가 탄소자원화와 관련성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 일부 과제 단위에서의 관련성</li> <li>- 응용/개발 위주지만 실증화 연계 부족</li> </ul>
산업부	청정화력핵심 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 화력발전 관련 친환경 기술개발</li> <li>- 부생가스 활용 일부 과제가 관련성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 화력발전소 대상의 사업구조</li> <li>- 일부 광물화 과제 단위에서의 관련성</li> </ul>
환경부	폐자원에너지화 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 폐자원 배출 최소화와 자원으로의 재활용 기술개발</li> <li>- 부생가스 활용 일부 과제가 관련성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 폐자원 배출 최소화와 에너지원 재활용</li> <li>- 일부 과제 관련성 있지만, 기초연구 단계</li> </ul>
국토부	건설기술연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SOC 시설물 전주기 기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 건설기술 확보 목적으로 사업목적 상이</li> <li>- 일부 과제 관련성 있지만 전체 사업 대비 비중 적음</li> </ul>

□ 사업기간 및 예산

<표 II-5> 사업기간 및 예산 측면에서의 사업 차별성

관련 부처	사업	사업기간 및 예산	탄소자원화와의 차별성
범부처	탄소자원화	- '17~'26(10년), 3,000억원	- 미래부 관련사업 일몰 분야를 연계 - 검증 및 표준화 관련 기술개발에 재원을 투입하여 실효성 제고
미래부	기후변화대응기술개발	- 기초원천 : '09~'18(10년), 2,500억원 - CCS 2020 : '11~'20(10년), 2,230억원	- 기초원천 분야 기술개발은 소규모 형태 - CCS 유관 과제도 기초연구 단계
미래부	C1리파이너리	- '15~'23(9년), 1,415억원	- 기초연구 위주의 과제당 2억원 규모
산업부	신재생에너지핵심기술개발	- '06년~계속, '15년 기준 전체 사업비 2,131억원, 폐기물 분야는 86억원	- 일부 실증화 연계 과제는 규모가 있음
산업부	에너지수요관리핵심기술개발	- '13년~계속, '15년 기준 전체 사업비 1,820억원, 온실가스처리(CCS) 분야는 262.6억원	- 부생가스, 광물화 분야 기업주관 과제는 연간 10억 이상 규모
산업부	청정화력핵심기술개발	- '13년~계속, '15년 기준 전체 사업비 259.8 억원 - 탄소자원화 관련 과제규모는 25.1억원	- 광물화 분야 기업주관 과제는 연간 20억 이상 규모
환경부	폐자원에너지화 기술개발	- '13~'20년(8년), 총사업비 1,341억원, 15년 기준 사업비 180억원 - 탄소자원화 관련 과제규모는 92.2억원	- 부생가스 분야 기초연구이지만 대기업 주관으로 과제 규모가 큼
국토부	건설기술연구	- '07년~계속, '15년 기준 전체 사업비 538.7 억원 - 탄소자원화 관련 과제규모는 14.5억원	- 광물화를 통한 건설소재 제조로 일부 과제에 중규모로 편성

□ 연구개발 단계

<표 II-6> 연구개발단계 측면에서의 사업차별성

관련 부처	사업	연구개발 단계	탄소자원화의 차별성
범부처	탄소자원화	- 실증화 : TRL 5 이상 - 원천기술 : TRL 3 이상	- 실증화 패키지 기술, 공백기술, 원천기술 등의 순환적 기술개발 - 실질적 성과 창출 및 검증을 위한 플랫폼기술 개발
미래부	기후변화대응기술개발	- 기초연구 비중이 높고, 응용/개발은 제한적	- 기초연구 중심 - 실증화 연계 부족
미래부	C1리파이너리	- 100% 기초연구	- 기초연구 중심 - 실증화 연계 부족
산업부	신재생에너지핵심기술개발	- 개발연구 비중 70% 이상	- 개발연구 중심 - 공백기술 개발 부족 - 플랫폼기술 개발 미비
산업부	에너지수요관리핵심기술개발	- NTIS 상 사업 단위 자료 없으나, 주로 응용/개발 단계로 추정	- 응용/개발연구 중심 - 공백기술 개발 부족
산업부	청정화력핵심기술개발	- 개발연구(62.6%) 위주	- 원천기술 개발 부족 - 공백기술 개발 부족
환경부	폐자원에너지화 기술개발	- 기초연구(92.8%) 위주	- 실증화 연계 부족
국토부	건설기술연구	- 개발연구(79.9%) 위주	- 원천기술 개발 부족 - 공백기술 개발 부족



□ 연구단계별 R&D 투자 현황

○ 탄소자원화 관련 주요 사업들의 연구단계별 R&D 투자 현황을 분석함

- <표 II-7>는 NTIS에 등록된 각 사업들의 2015년도 투자 현황 및 연구단계를 나타낸 결과임

\* 투자현황에서 인력지원사업은 제외하였음(예: 중견연구자지원사업)

<표 II-7> 탄소자원화 관련 주요 사업의 연구단계별 R&D 투자 현황

(단위: 억원)

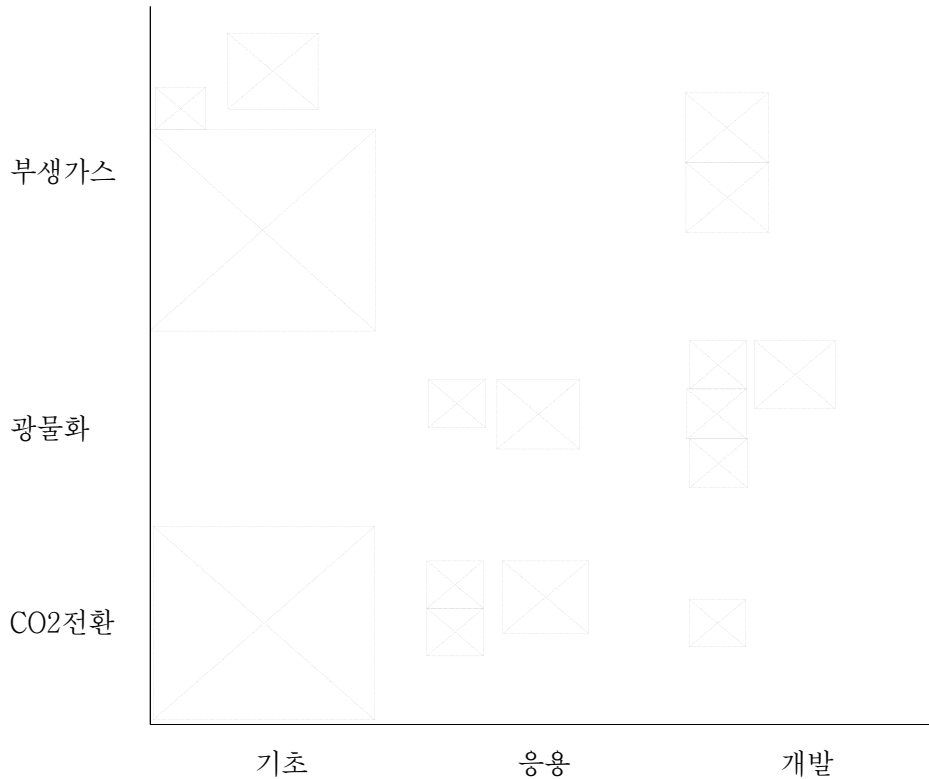
	부처명	사업명	기초	응용	개발	실증	총액
☒	미래부	기후변화대응기술개발	70.0	2.0	2.8		74.8
☒	미래부	C1리파이너지사업	21.8				21.8
☒	산업부	신재생에너지핵심기술개발	2.8	8.0	19.0		29.8
☒	산업부	에너지수요관리핵심기술개발		21.0	35.0		56.0
☒	산업부	청정화력핵심기술개발		20.4	4.7		25.1
☒	환경부	폐자원에너지화 기술개발사업	92.2				92.2
☒	국토부	건설기술연구사업		8.9	5.6		14.5
	합 계		186.8	60.3	67.1	0	314.2

- 각 부처의 탄소자원화 관련 사업들의 R&D 투자는 기초단계에 186.8억원, 응용단계에 60.3억원, 그리고 개발단계에는 67.1억원이 투자되었음

○ ‘탄소자원화 국가전략프로젝트’는 기존 사업들과는 달리, 개발·실증단계에 투자의 초점을 둔다는 점에서 차별성을 가짐

- [그림 II-5]는 <표 II-7>을 바탕으로 가로축은 연구단계로, 세로축은 투자현황으로 구성된 2차원 평면의 매트릭스 형태로 시각화함

[그림 II-5] 탄소자원화 관련 주요 사업의 연구단계별 R&D 투자현황



\* 원의 크기(R&D규모): 소(小): 10억원 미만대, 중(中): 25억원 미만, 대(大): 50억원 이상

- [그림 II-5]에서 확인할 수 있듯이, 기존사업들에서는 기초단계에서 상대적으로 대규모 사업들이 진행되고 있음
- 반면, 응용·개발단계에서는 소규모 사업들이 부처별 개발 목표 하에서 추진되고 있으며, 실증단계에 해당하는 사업은 이루어지고 있지 않음
- ‘탄소자원화 국가전략프로젝트’는 분산된 국가 역량을 결집하고 실증 가능 기술을 범부처 민간협력으로 조기 실증한다는 점에서 차별성을 가짐
- 또한, 향후 국가전략프로젝트로서의 ‘전략적 정책’ 추진에 있어서 기존~현행의 기초 및 응용 단계에서 한 발 더 나아가 개발 단계의 실증 중심으로 정책의 주안점이 전환되어야 함을 시사함
- 따라서 실증 목표의 현행 국가전략프로젝트 추진은 시의적절하다고 판단함

## 나. 기존 주요 사업과의 차별성

### (1) C1가스리파이너리사업 및 C1 전환 기술개발 사업과의 차별성

- 탄소자원화 사업은 4가지 관점\*에서 C1가스 리파이너리 사업단, C1가스를 원료로 화학제품 및 액체연료 생산을 위한 전환기술 개발 사업(산업부, 환경부 수행 포함) 등 여타 대형 국책 연구 사업과 큰 차별성을 가짐

\* 1) 대상원료, 2)기술의 지향점, 3) 기술의 범위, 4)최종목표

※ C1가스: 천연가스, 천연가스/석탄/바이오매스/유기성폐기물 유래 합성가스 등

#### ○ 대상원료

- 제안 사업은 부생가스 내 존재하는 미활용탄소자원인 C1가스(CH<sub>4</sub>, CO)를 분리·정제하여 수송용 연료 및 화학제품을 생산하는 기술개발 사업으로 천연가스/세일가스/석탄/바이오매스 유래 원료를 사용하는 타사업들과 구별됨
- 발전용 원료로 사용되어 잠재적인 온실가스로 배출될 수 있는 부생가스 및 유기성 폐기물을 원료로 활용하여 국가적 온실가스 저감에 기여할 수 있는 기술개발 사업으로 조기 실증을 통한 국내 산업 적용이 필요함
- 대상원료에 따라 세부 요소 기술 (부생가스 분리·정제 기술) 및 기술개발 전략이 달라지므로 이를 위한 새로운 사업이 필요로 함

#### ○ 기술의 지향점

- 기존 정부 지원 사업은 대부분 정제된 원료를 사용하여 C1 가스 전환기술 위주의 연구가 주로 진행되어 왔으며, 모험적이고 원천성이 강한 기초연구개발 성격을 띠고 있음
- 탄소자원화 사업은 기존 원천적이고 전환기술 위주의 요소기술 개발보다는 현장에서 배출되는 원료 (부생가스, 유기성 폐기물)를 시작으로 분리·정제/전환 기술을 통해 제품을 생산하는 전주기 통합공정 패키지를 조속히 구축하고 이를 바탕으로 산업현장에 적용이 가능한 실용기술을 개발하는데 큰 차이가 있음
- 또한 탄소자원화 핵심기술 패키지화 사업은 대형 국책사업단의 핵심기술 성과를 연계하여 국가적인 현안을 해결해 나가고자 하는 과제로, 실용기술 개발이라는 효과를 극대화 시킬 수 있음

## ○ 기술의 범위

- 기존 국책사업에서 수행되었던 기 개발 요소기술들, 공백기술의 통합을 통해 “부생가스 원료부터 화학제품까지” 전주기적 기술의 조기실증·상용화를 추진, 제철-화학 민간기업과 연계 탄소자원화 모델을 구축하고 국가적 현안인 온실가스 저감을 실현하는 것이 최종 목표임
- 기존 사업은 기술 난이도가 높은 CO 생물전환 또는 CH<sub>4</sub> 직접전환기술 개발 중심으로 진행되고 있으나 대규모 온실가스 저감을 위해서는 기(既) 확보 기술 적용으로 조기 실증/상용화 전략 병행이 필요함

## ○ 최종목표의 차별성

- 기존 타사업은 기술완성도가 낮은 기술의 원천성을 확보하고 개발된 연구성과를 활용 세계적으로 선도할 수 있는 기초원천연구를 목표로 하고 있음. First-Mover형 기술의 개발은 가능하나 기술사업화를 위한 연구개발기간의 장기화가 예상되고 사회적 현안을 적용하기에 기술완성도가 미흡하여 응용연구에 이르지 못하는 경우가 많음
- 사회적 현안을 해결하고 산업현장 조기 적용을 위해서는 실증단계 이상의 기술완성도를 갖는 필요한 요소기술을 선정하고 통합하여 연구개발기간의 장기화를 막고 적시에 사회·경제적 가치창출로 연결될 수 있는 후속연구 지원사업이 필요로 함
- 본 사업의 목표는 미활용 탄소자원을 활용하여 화학제품을 생산하는 혁신기술의 조기실증을 통해 국내 산업현장에 적용, 온실가스 감축하는 동시에 제품생산을 통해 경제적 가치를 창출하는 것임

□ 또한, 탄소자원화 사업은 기존사업에서 제외되어 있는 공백기술 중 하나인 부생가스 분리기술 개발을 아우르고 있음

○ 부생가스 내의 일산화탄소 및 메탄, 수소의 경제적 분리를 위한 분리막 및 흡착제 등 분리소재 및 막분리공정, 흡착분리공정의 개발은 국내 중소형 규모의 개별 연구과제로만 수행되었을 뿐 실용화 연구사례가 없음. 부생가스 분리기술은 탄소자원화 플래그십의 원료물질을 공급하는 기반 기술이며, 탄소자원화 사업을 위해 꼭 필요한 요소기술의 구성요소임

○ 실용 가능한 산업부생가스 전환기술을 확보하기 위해 경제성 있는 CH<sub>4</sub>, CO, H<sub>2</sub> 가스포집 분리 기술개발이 선행되어야 함

- 지금까지 부생가스를 발전용 열원으로 사용한 이유는 부생가스 구성성분의 경제성 있는 분리·정제 기술의 부재에 있음

- 탄소자원화 핵심기술 패키지화 전략과제 내 공백기술로 부생가스 전환 패키지 기술 확보를 위해서 경제성 있는 부생가스 분리·정제기술이 필요함

- KCRC 사업 : 공백기술로 분리기술은 현재 KCRC에서 추진중인 CCS의 분리기술분야의 세부기술과 분리막, 흡착기술, 흡수기술과 비슷하게 보이지만 KCRC의 경우 발전분야의 연소배가스(주성분 : 고농도 질소내의 이산화탄소회수)의 경제적 분리회수를 목적으로 이산화탄소의 분리를 연구하는데 비해 제안 사업은 주로 철강산업, 석유화학산업, 유기성 폐기물의 부생가스인 일산화탄소, 수소, 메탄 등을 분리회수하는 기술로서 각각의 적용분야의 구성하는 가스들의 성분(수소, 일산화탄소, 메탄, 이산화탄소, 산소, 질소 등)이 다르고, 함유된 불순물(타르, 황화수소, 암모니아, 실록산, 분진, 탄화수소 등)의 종류가 다르기 때문에 기술적으로 차별화될 수 있음

□ 탄소자원화 사업은 기존 C1사업들에 비해 다음과 같은 특징을 가지고 있음

○ (산학연 협업형 R&BD) 통합공정 패키지 및 조기실증을 위한 협업형 R&BD 도입

- 부처 및 산업별 단위 요소기술 및 활용기술 수준에 따른 국가현안 해결 개발 계획 부재의 한계를 극복

○ (대규모 투자 지원) 단위 패키지 기술 실증 과제당 평균 200억 원을 투자 지원하는 대규모 사업으로 원천-실용화 연계기술개발이 가능

- 소규모 예산의 중소형 과제로 요소기술 연구, 현상규명 연구 등 실용성이 부족한 기존 사업의 한계를 개선

○ (상생형 개발) 허브센터, 실증단지를 중심으로 기업-연구소-대학의 상생형 기술지원을 통해 동반성장형 성과창출 가능

- 탄소자원화 허브센터를 중심으로 필수 핵심 요소기술 개발 (대학), 통합기술 실증 (연구소), 산업현장 적용 및 추가 수요기술 발굴 (기업)을 통한 상생 도모 가능

&lt;표 II-8&gt; C1 가스 리파이너리 사업과의 차별성

C1 가스 리파이너리 사업	차 별 성	탄소전환 플래그십
<p><b>(대상원료)</b> - 셰일가스(천연가스), 부생가스 등 C1 가스 (CH<sub>4</sub>, CO)</p> <p><b>(지향점)</b> - 생물/화학 기술의 융복합을 통한 C1가스 전환 원천기술 개발 - C1가스리파이너리 생태계 구축 (요소기술의 개발)</p> <p><b>(목표)</b> - C1 가스 리파이너리 플랫폼 구축 :수송용연료와 기초화학원료 생산을 위해 생물, 화학, 리파이너리 공정을 개발 - 미래원천 요소기술 (축매, 공정) 확보 및 장기적 관점에서 실증화</p> <p><b>(기술범위)</b> - 기술 경제성을 갖는 C1가스 원천기술 확보 - 높은 기술난이도를 갖으나 파급효과가 큰 기술개발 사업</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 잠재적 온실가스인 산업부생가스 및 유기성폐기물 활용 화학제품 생산</li> <li>② 기(既) 개발 요소기술들의 선정을 통한 기술패키지 조기확보로 기술 조기 실증</li> <li>③ 실증단지 적용을 통한 전라남도 핵심산업의 고도화 기술개발에 따른 산업 육성</li> <li>④ 기초원천기술 성격의 대형국책사업과 연계, 후속연구 지원체계 지원을 통한 사회적 가치창출</li> <li>⑤ 산업부생가스 활용 글로벌 모델 제시</li> </ol>	<p><b>(대상원료)</b> - 산업부생가스, 유기성폐기물</p> <p><b>(지향점)</b> - 기술패키지 완성을 통한 미활용탄소자원 활용 통합공정 구축 - 실증단지 적용을 위한 실용화 가능기술 위주 요소기술 선정 (요소기술의 선정 및 개선)</p> <p><b>(목표)</b> - 공백기술 확보 및 통합공정기술 패키지 확보를 통한 미활용탄소자원 조기 실증/사업화 : 온실가스 저감 및 에너지 개발 국가적 현안 충족</p> <p><b>(기술범위)</b> - 기 개발 요소기술들의 선정 및 기술패키지 완성을 통해 TRL 6 이상 (파일럿 규모) 기술 조기 실증 - 테스트 베드 구축: 요소기술들의 지속적인 업그레이드를 통해 기술완성도 증진</p>

## (2) KCCS 2020 사업과의 차별성

- 기존 KCRC의 'Korea CCS 2020' 사업은 이산화탄소의 포집, 저장 및 처리를 위한 CO2 전환 기술 개발 목표
- 따라서 KCRC의 활용 물질은 CO2 로 한정되어 있으며, 포집 및 저장 실증 기술을 중심으로 개발하되, 처리를 위한 CO2 전환 원천 기술 개발의 전략을 가지고 있음
- 탄소자원화 CO2 전환기술은 KCRC에서 既 개발되었거나 추진되었던 전환기술을 기반으로 既 개발된 분야기술과 융·복합하여 기존 개발기술의 한계를 돌파하는 기술로 구성
- 융복합 기술개발 추진시 필요한 중복성이 없는 기술을 융복합화 기술추진 체계 내에 반영
- 기 개발된 CO2 전환 제품의 상품화를 위한 제품화 전략과제는 탄소자원화의 CO2 전환기술로 추진

## (3) CO2 광물화 기존 사업과의 차별성

- 기존 CO2 및 산업, 발전부산물을 활용한 CO2광물화 사업의 경우 원천기술 확보 및 일부 실증화 완료단계 사업으로 신규사업은 발전, 시멘트, 제지산업 등에서 발생하는 저농도 CO2를 활용하는 상용화 사업을 위한 공백기술을 개발, 패키지화하여 국내외 온실가스 감축, 활용 및 해외 탄소크레딧을 확보 가능
    - 국내 온실가스 감축량: 184만톤/년('30년 기준)
    - 해외 온실가스 감축량: 816만톤/년('30년 기준)
  - CO2 광물화기술은 세계 최고 수준의 원천기술을 바탕으로 발전회 저농도 CO2 광물화, 친환경 제지원료 등의 기술 개발을 통해 온실가스 다량 배출 산업의 한계 돌파 기술로 구성
    - 발전회 복합탄산염 데모 플랜트 및 폐광산 채움재 Test-bed 시공 데모 플랜트 설계 및 구축을 통한 실증사업 추진
    - Test-bed 연계 친환경 제지원료 데모플랜트 설계 및 구축을 통한 실증사업 추진
  - CO2 광물화 CDM 패키지 기술을 통해 폐광산 채움재 패키지 실증, 친환경 제지 카본머니 패키지 실증 사업의 탄소크레딧 확보 상세 방안 및 검증 연구 수행
- \*CDM(Clean Development Mechanism, 청정개발체제) : 기후변화협약 총회에서 채택된 교토의정서 제12조 규정에 따라 지구온난화 현상 완화를 위해 선진국과 개발도상국이 공동으로 추진하는 온실가스 감축사업 제도
- 차세대 미세먼지 복합처리 기술개발을 통해 미래혁신형 연구개발 추진 및 향후 CO2광물화 플래그십 실증사업 외 온실가스의 추가적인 감축 및 활용을 촉진할 핵심기술 확보



## 제2절 기존 주요 사업과의 연계성 및 연계방안

### 1. 기존 주요 사업과의 연계성

#### (1) C1가스리파이너리사업과의 연계성

##### □ 제 1 세부사업: 탄소전환 플래그십

- 전주기 기술 패키지 확보를 위해 기존 개발 기술 외에 공백 요소기술을 파악하고, 공백기술의 기술완성도를 높여 요소기술들과 연계하여 조기실증 모사 연구를 착수함 (개발단계 : 탄소자원화 원천기술 → 패키지 모사연구 → 파일럿 실증 → 데모 실증 → 기술이전 → 상용화)
- C1 가스 전환 분야에서 기존 관련 사업의 기초원천 핵심성과에 대한 기술실증 지원
  - 기술적 난이도는 높으나 파급효과가 큰 C1 가스전환 원천기술 개발 핵심성과 창출 가능기술의 선정 및 기술지원을 통해 기술 실증 지원
- 부생가스 및 온실가스의 구성성분은 C1 가스로 C1가스 리파이너리 사업단의 연구대상 원료와 일치하고 그대로 배출되거나 발전용 연료로 사용될 경우 국가온실가스 배출량을 증가시키는 물질이기 때문에 감축 및 조절되어야 하는 대상임. 따라서 본 사업은 향후 C1가스 리파이너리 사업단과 미활용탄소자원활용, 기후변화 정책수립에 따른 탄소활용 기술, 온실가스 관련 글로벌 이슈에 공동으로 대응 적극 공조를 추진할 것임
- 기술 완성도가 높은 미활용탄소자원의 활용 패키지 기술은 요소기술 선정과 요소기술의 지속적인 업그레이드가 필수적이며, 기술 상호연계 가능성이 높은 現수행 타사업과 기술교류/협력을 통해 추진

- 본 사업 내 분리기술은 현재 추진중인 C1 가스 (CO, CH<sub>4</sub>) 리파이너리 기술의 공백기술로서 본 연구에서 CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> 등의 분리기술의 개발에 성공할 경우, C1가스 리파이너리사업의 촉매 전환기술과의 연계 및 패키지를 위해 반드시 필요한 고순도 가스원료공급의 핵심기술로 완성되어 C1가스 리파이너리사업의 성공적인 개발에 연계되어 고부가가치의 화학제품의 생산에 큰 기여를 할 수 있음

[그림 II-7] C1가스 리파이너리 사업단과 기술교류 및 요소기술 연계

## (2) KCCS 2020 사업과의 연계성

- 전략과제 4: CO2 전환 핵심성과 연계 실증
  - 탄소자원화 CO2 전환 핵심성과 연계 실증 과제에서는 KCCS 2020사업을 통해 확보된 CO2 전환 기술의 핵심 원천 성과를 연계하여 요소·단위 기술의 개발 수준을 고도화하고자 함
  - 보다 파급력 있는 CO2 전환 기술의 실증 패키지 확보를 위해 최종 제품 위주의 탄소자원화 실증 기술을 완성하기 위한 기술의 확대 및 통합 공정 기술을 확보하고자 함

[그림 II-8] 사업기획의 연계성/당위성

## (3) CO2 광물화 기존 사업과의 연계성

- (CO2 및 산업·발전부산물 활용) 기 추진 중인 사업의 성과와 연계하여, CO2광물화 발전전략의 성과목표인 산업체, 발전소 등에서 발생하는 배기가스 중 저농도 CO2를 직접 활용하는 실증사업 공백, 모사기술의 패키지화가 필요하며, 이를 통한 신기후체제 대응 온실가스 활용 및 감축 가능
- 그린시멘트 및 친환경 제지 기술 등 일부기술은 요소 기술의 실증을 완료한 상태로, CDM모델 확보 및 조기 상용화 가능
- 해외 사업화를 위한 개도국 공백, 적정기술 맞춤형 패키지 기술 개발을 통해 해외 기술이전 및 탄소크레딧 확보 가능
- 既 추진 중인 CO2광물화 사업 기반의 플래그십 구축을 통한 공백기술 패키지 강화
- (탄소광물화 플래그십 사업) 폐광산 채움재, 친환경 제지 카본머니 패키지 실증 등을 통해 광물화 핵심기술 패키지화, 실증 및 시범사업 실현

<표 II-9> 사업기획의 연계성/당위성

CO <sub>2</sub> 광물화 실증사업	
탄소광물화 실증사업(강원-충청)	<p>▶ 그린시멘트 및 저농도 CO<sub>2</sub>와 발전회를 활용한 폐광산 채움재 Demo Plant 실증 추진</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실증사업엔지니어링 패키지 개발</li> <li>- 공학/환경적 탄소배출 모니터링 시스템 개발</li> <li>- 폐광산 채움재 규격화 및 환경영향 평가</li> <li>- 신규 방법론적 CDM 모델 확보</li> </ul>
친환경 에너지타운 실증사업	<p>▶ 저농도 CO<sub>2</sub>와 폐지, 폐기저귀 등을 활용한 친환경 제지원료 생산기술 실증 및 Action Plan 추진</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 폐지, 폐기저귀 등 수거시스템과 IT기술 접목한 교통카드, 도서구입 등 CO<sub>2</sub> 카본머니* 시스템 개발</li> <li>*카본머니: 폐기물 처리 시 분리수거를 하는 경우 적립금등 부여</li> <li>- 폐지수거 노인 등의 복지정책 등을 통해 산업-시민 동반성장 모델 개발</li> </ul>
해외 탄소크레딧 사업	<p>▶ 해외 개도국 실정에 맞는 탄소광물화 적정기술(물, 생활쓰레기, 질병 등) 맞춤형 패키지 기술이전</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 해외 탄소광물화 허브센터 구축을 통한 기술이전 및 교육 포함 지속가능한 성장기술 지원</li> <li>- 2030년까지 5개국으로 기술이전 완료를 통한 해외 탄소크레딧 확보</li> </ul>

## (4) 유기성 폐기물 활용 기술 기존 사업과의 연계성

## □ 유기성 폐자원 에너지화 사업

- 탄소자원화 기획에서 진행하는 유기성 폐기물에서 혐기성 소화에 의한 고농도 수소, 메탄, 이산화탄소의 효율적 생산 및 분리막 등에 의한 불순물 정제, 이산화탄소의 고순도 회수를 통한 메탄, 수소, 이산화탄소의 고순도 가스들을 생산하거나 적절한 화학원료가스 조성비의 조절, 이러한 원료가스를 대상으로 화학적 촉매기술을 적용한 청정액상연료의 화학적 생산기술의 패키지 실증사업로 구성됨
- 환경부에서 추진중인 유기성 에너지화 사업단에서의 연관된 세부과제는 유기성 폐기물의 혐기성 소화 및 응용기술의 음식물 쓰레기 등에서 유기성 폐자원의 혐기성 소화를 통해 바이오 메탄, 이산화탄소만을 생산하고 이중 메탄을 고순도로 분리정제하여 도시가스화에 적용하는 실증화 연구사업임
- 따라서 본 기획에서 바이오전환 막분리정제, 화학적 전환을 하는 본 사업과 연계될 경우, 유기성 폐자원에서 생산될 바이오 메탄뿐만 아니라, 방출되는 이산화탄소를 활용한 화학연료 생산과 함께, 시설추가에 의한 고부가가치의 바이오 수소 및 바이오 액상연료 등의 추가적인 생산으로 전체 공정 운영상의 경제성 및 온실가스 저감에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대됨
- 아울러 바이오 메탄가스의 혐기성 소화, 도시가스나 자동차연료 사용을 위한 메탄 정제기술만을 목표로 하는 기존 유기성 폐기물 실증단지를 바이오 수소가스의 생산 및 이산화탄소를 화학원료로 포함한 청정 액상 연료의 동시 생산기지로의 전환을 통해 미래지향적인 응용분야의 다양성을 추가로 확보할 수 있음

□ 유기성폐자원 요소성분 활용 타부처 관련 사업

- 탄소자원화 기획에서 진행하는 유기성 폐기물을 이용해서 CNG 또는 청정액체연료를 생산하기 위한 가스원료 공급기술은, 이미 추진중인 C1가스 리파이너리사업의 C1 가스(일산화탄소, 메탄, 이산화탄소) 화학제품화, CCP융합연구단사업의 화학적 전환기술에 의한 올레핀·중질유 등 고부가가치 화학축매 합성기술에 반드시 필요한 고순도 메탄, 수소, 이산화탄소 등의 가스원료 공급이 가능한 공백기술임
- 또한 이러한 세가지 바이오가스들을 대상으로 한 축매반응에 의한 청정액상연료 생산기술은, 이미 추진중인 C1가스 리파이너리사업의 C1 가스 화학적 전환에 의한 화학제품화, CCP융합연구단사업의 화학적 전환기술에 의한 올레핀·중질유 등 고부가가치 화학축매 합성기술과는 가스원료의 공급처, 생산물의 종류, 실증화 추진 여부 등에 있어 차별화된 화학적 전환기술임
- 본 연구에서 고순도 메탄, 이산화탄소, 수소의 동시 생산 및 막분리정제, 화학적 전환기술 개발 실증에 성공할 경우, C1가스 리파이너리사업 및 CCP융합연구단사업에 필요한 고순도 가스원료를 원활히 공급할 수 있어 상기 사업의 고부가 가치 화학제품 생산에 큰 기여 가능

[그림 II-9] 유기성 폐자원관련 사업기획의 연계성/당위성

## 2. 탄소자원화 사업과 기존 주요 사업과의 연계 방안

### □ 기존 유관사업으로부터 원천핵심기술 연계

- 탄소자원화 관련 사업들의 목록과 부처별 유관사업과의 연계성은 [그림 II-11]과 같이 도식화할 수 있음
- 탄소자원화 사업은 실증위주로 전개되기 때문에, 기초원천 및 핵심기술 등은 기존 유관사업과의 연계를 통해 확보
  - 특히, 기술적 불확실성이 높은 촉매, 유기자원 전환 등은 기술개발 성과창출까지 상당한 기간이 필요하므로, 기존 유관사업의 성과를 적극적으로 활용
- 기존 유관사업 기술개발성과 중 타당성과 성공가능성이 높은 기술위주로 본 사업에서 실증으로 연계하여, 관련 R&D의 목적지향성을 제고  
 [그림 II-10] 탄소자원화 사업과 유관사업과의 연계성



- 신설되는 전략허브센터를 중심으로 원천핵심기술 연계와 협력연구 추진
  - 초기 기획 단계부터 기존 사업단 관계자와 협의를 통해 사업단 간 연구의 중복성 방지와 기술개발성과의 연계·협력 방안 도출
    - 전략허브센터를 중심으로 주기·정기적인 협의 추진
  - 일부 실증화에 필수적인 요소기술 개발은 동 사업에서 역으로 기존 유관사업단에 기술개발 요구하는 기술개발의 선순환구조 구축
  - 동 사업에서 추진하는 온실가스감축 평가인증 기술개발에 있어서도 기존 연구조직의 보유 자료·정보 협조가 필수적이며, 개발된 평가방법은 다시 기존 유관사업 조직에 환류하여 검증

## 제3장 사업추진의 정책적 타당성

### 제1절 국내·외 정책동향

#### 1. 국내 정책동향

##### 가. 정책 동향

- 정부는 그간 글로벌 기후변화 대응을 위해 온실가스 감축을 주요 정책과제로 제시하고 법·제도적 기반 마련과 실제적 감축 정책을 추진
  - ‘저탄소 녹색성장 기본법’을 제정(‘11)하고, 이행을 위한 녹색성장 5개년 계획 수립·추진
  - ‘온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률’을 제정(‘13)하여 배출권거래제 추진 기반 마련
  - 에너지·온실가스 목표관리제(‘12), 온실가스 배출권거래제(‘15) 등 국가 온실가스 감축을 위한 제도를 본격 도입·시행
  - RPS(신재생에너지 공급의무화제도) 도입 시행(‘12) 등 신재생 에너지 보급 확대를 위한 제도적 기반 마련 및 투자 확대
- 또한 정부는 글로벌 기후변화 대응을 위해 온실가스 감축을 촉진할 핵심기술 개발을 지속적으로 추진
  - 제3차 과학기술기본계획(‘13.7)을 통해 기후변화 대응력 강화를 중점과제로 제시하고 이산화탄소 포집·저장·이용 기술 등을 중점 국가 기술로 선정
  - 제2차 녹색성장 5개년 계획(‘14.6)을 통해 기후변화대응 및 온실가스 감축 핵심기술 개발·상용화를 핵심과제로 제시

- 제11차 국가과학기술자문회의에서 기후 변화 대응을 위한 에너지  
新산업 및 기술개발 전략('14.7)을 수립·발표
  - \* 기후변화 대응 에너지 신산업 창출방안(산업부), 기후변화 대응 핵심 기술개발 전  
략(미래부), 제로에너지 빌딩 조기 활성화 방안(국토부)
  
- 최근 박근혜 대통령은 기후변화 대응 위기를 기회로 활용하기 위해  
'기후변화 대응을 위한 에너지 신산업 육성'을 정부 24개 핵심개혁  
과제의 하나로 선정
  
- 2030년 온실가스 감축목표를 BAU대비 37%로 확정하고, 유엔 기후  
변화협력 당사국 총회(COP21)를 통해 국제사회에 공식발표
  
- 이에 따라 정부는 2015.4월 경제관계장관회의를 통해 기후변화 대응  
을 위한 에너지 신산업 활성화 및 핵심기술개발 전략 이행계획을 발표
  - 시장으로(조기성과창출 및 민간투자 촉진), 미래로(핵심기술 확보 및 신사  
업·신기술 발굴), 세계로(해외진출 및 국제협력 강화) 등 3대 추진방향 제  
시
  
- 아울러 정부는 2030 에너지 신산업 확산전략('15.11)을 통해, 온실  
가스 감축, 온실가스 활용, 개방형 혁신(국제협력) 등 3대 기술혁신  
분야 설정
  - (온실가스 감축) 핵심 6대 기술개발 추진, (온실가스 활용) 탄소자원화  
전략 수립 (개방형혁신) 국제기술 협력 공조체계 강화
  
- 신기후체계가 새로운 경제도약의 기회로 인식되며, 기후변화대응 정책  
방향이 온실가스 감축에서 온실가스 활용을 통한 신시장 창출로 확대
  
- 각 부처는 기후변화 대응 및 에너지 신산업 육성 기반구축을 위해  
부처별 또는 부처 공동으로 온실가스 저감·활용확대를 위한 정책을

추진 중

- (미래부) 기후변화대응 핵심기술개발 및 글로벌 기술협력
- (산업부) 8대 에너지 신산업 및 신재생에너지 산업 육성을 위한 기술개발 및 기반구축
- (환경부) 바이오부탄올 등 유기성 폐기물·폐자원의 바이오연료화를 통한 자원순환
- (농림부) 탄소흡수원 증진, 가축분뇨 및 산림바이오매스의 에너지화
- (국토부) 제로 에너지빌딩 확산 등 온실가스 발생저감 시설 유지·관리

나. 법제 동향

- 탄소자원화 유관 법령은 환경 측면, 연구개발 측면, 신규 에너지 촉진 측면에서 나누어 검토 가능
- 환경보호 측면에서는 저탄소녹색성장법, 배출권 거래법, 자원재활용법 등
- 연구개발 측면에서는 기초연구법, 신재생에너지법 등
- 신규 에너지 촉진 측면에서는 신재생에너지법 등

<표III-1> 탄소자원화 관련 법률 현황(유관 법령 추가 검토추진 예정)

법률명	주요내용	한계
저탄소 녹색성장 기본법 (약칭: 녹색성장법) (국무조정실)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 입법목적                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 저탄소(低炭素) 녹색성장에 필요한 기반을 조성하고 녹색기술과 녹색산업을 새로운 성장동력으로 활용</li> </ul> </li> <li>○ 주요내용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국가전략 수립, 녹색성장위원회, 녹색기술 연구개발·사업화 촉진, 금융의 지원 및 활성화, 녹색기술·녹색산업에 대한 지원·특례, 녹색기술·녹색산업 집적지 및 단지 조성 등</li> <li>- 기후변화대응의 기본원칙, 에너지정책 등의 기본원칙, 기후변화 영향평가 및 적응대책의 추진 등</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 입법목적이 기후변화와 환경훼손 등 ‘환경’ 이슈 중심</li> <li>◆ ‘기본법’으로서 원칙적/선언적 규정 중심이므로</li> <li>◆ 탄소자원화 기술개발 및 산업진흥을 위해 실효성 및 구속력을 가질 수 있는 규정은 부재</li> </ul>
온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률 (약칭: 배출권거래법) (국무조정실)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 입법목적                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 온실가스 배출권 거래제도 도입에 필요한 사항 규정</li> </ul> </li> <li>○ 주요내용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기본계획 수립, 할당대상 업체의 지정, 배출권의 거래, 배출량의 보고·검증 및 인증, 배출권의 제출, 이월·차입, 상쇄 등</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 입법 목적 및 정책범위 자체가 배출권 거래제도에 한정</li> <li>◆ 탄소자원화 기술개발 및 산업활성화 시책 추진 근거로 활용 불가</li> </ul>
탄소흡수원 유지 및 증진에 관한 법률 (약칭: 탄소흡수원법) (산림청)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 입법목적                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 산림의 탄소흡수 기능을 유지하고 증진</li> </ul> </li> <li>○ 주요내용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 신규조림, 보호지역 탄소흡수원 유지 및 증진, 재해방지 탄소흡수원 관리 등 탄소흡수원 확충, 탄소저장 목제품 및 산림바이오매스 에너지의 이용증진</li> <li>- 산지전용 억제 및 산림황폐화 방지, 산림탄소상쇄, 탄소흡수원 증진 기반 조성 등</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 입법 목적 및 정책범위 자체가 “산림”의 탄소흡수에 제한</li> <li>◆ 탄소자원화 정책추진을 위한 법으로 활용 불가</li> </ul>
자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 (약칭: 자원재활용법) (환경부)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 입법목적                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 폐기물 발생억제 및 재활용 촉진 등 자원의 순환적 이용 활성화</li> </ul> </li> <li>○ 주요내용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 자원의 절약과 폐기물의 발생억제, 제품의 자원순환성 평가, 포장폐기물의 발생억제, 포장재의 재질·구조 개선, 1회용품의 사용 억제, 폐기물부담금 등</li> <li>- 폐기물의 분리·수거 및 재사용 촉진, 폐기물의 재활용 촉진, 재활용산업 육성을 위한 자금 등의 지원, 재활용단지조성 등</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ “탄소자원화” 중 극히 일부인 ‘폐기물로부터 에너지를 회수하는 것’과 관련된 시책 추진만 가능</li> <li>◆ 주로 폐기물 억제 및 재활용추진을 위한 시책 중심이며</li> <li>◆ 이를 자원화하기 위한 기술개발, 상용화를 통한 관련 산업진흥 추진에는 한계</li> </ul>
신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 (약칭: 신재생에너지법) (산업통상자원부)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 입법목적                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 신에너지 및 재생에너지의 기술개발 및 이용·보급 촉진과 산업의 활성화를 통하여 에너지를 다양화하고, 에너지의 안정적인 공급, 에너지 구조의 환경친화적 전환 및 온실가스 배출의 감소를 추진</li> </ul> </li> <li>○ 주요내용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기본계획·연차별 실행계획, 사업비 조성 및 사용, 사업의 실시, 투자권고 및 이용의무화, 공급의무화 등</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 재생에너지 중 일부 탄소자원화 개념과 중복 가능</li> <li>◆ 신재생에너지 등에 대한 기술개발, 공급 및 이용의무화가 입법의 주요내용</li> <li>◆ 다만 탄소자원화에 특화된 원천기술 및 연구개발, 그리고 이를 (화학)산업 활성화에</li> </ul>

법률명	주요내용	한계
		연계시키기 위한 입법적 기반 미흡
기초연구 진흥 및 기술개발지원에 관한 법률 (약칭: 기초연구법)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 입법목적                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기초연구를 지원·육성하고 핵심기술에 대한 연구개발을 촉진</li> </ul> </li> <li>○ 주요내용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기초연구의 진흥, 기초연구사업 추진, 종합계획수립, 학술단체 활동지원, 기술개발지원 등</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 다수의 기초연구에 대한 지원으로 <b>탄소자원화를 특화하여 추진하기에 한계</b></li> <li>◆ 기초연구 및 연구개발과 관련된 정책추진에 제한되어 있어 <b>연구의 상용화를 통한 산업발전과의 연계</b>를 위한 정책추진 근거로서 활용 곤란</li> </ul>

□ ‘탄소자원화’ 라는 개념을 전적으로 포괄할 수 있는 법령상 개념 부재

\* 법에 있어서 “개념정의”는 해당 법의 정책영역을 결정하므로 “탄소자원화”를 포괄하는 법적 개념이 존재하지 않는 한 그 직접적 정책입법도 없다고 볼 수 있음

○ 가장 유사한 개념이 “자원순환”, “폐기물의 재활용 또는 처리”라 할 수 있으나 이는 “폐기물로부터 에너지를 회수하는 것”으로 “탄소자원화”의 극히 일부에 불과

\* 자원순환(「자원재활용법」 제2조 제1호): 폐기물의 발생 억제 및 발생된 폐기물의 재활용 또는 처리

\* 재활용(「폐기물관리법」 제2조 제7호 나목): 폐기물로부터 에너지를 회수하거나 회수할 수 있는 상태로 만들거나 폐기물을 연료로 사용하는 활동

○ 「신재생에너지법」 제2조 제2호 바.목에서 규정하고 있는 ‘재생에너지’ 중 ‘바이오에너지’\*와 일부 중첩될 수 있으나,

○ ‘탄소자원화 기술’의 일부에 해당하는 ‘바이오 정제기술’은 바이오매스를 정제하여 ‘에너지’ 뿐만 아니라 ‘원료’나 ‘제품’ 등을 생산하는 기술로 ‘바이오에너지’를 포함하는 상위 개념

\* 바이오에너지(「신재생에너지법 시행령」의 [별표1]): 생물유기체를 변환시켜 얻

어지는 기체, 액체 또는 고체의 연료 및 이러한 연료를 연소 또는 변환시켜 얻어지는 에너지

- ‘연구개발 → 상용화(제품 및 서비스) → 산업진흥 → 국가경쟁력 강화’ 라는 선순환 구조를 위한 연계된 입법체계 미흡
- 탄소자원화 입법정책의 기본방향은 단순히 기초연구 증진 차원이 아니라 연구개발과 그 상용화 및 산업진흥을 통한, 산업자원의 경쟁력 강화라는 선순환 구조 확립
- 단순히 연구개발, 환경, 에너지 자원 확보라는 각각의 정책의제가 끊임 없이 연계될 수 있는 입법적 조치가 필요
- 현행법제에 의할 경우 ‘탄소자원화’를 위한 독자적 연구개발, 상용화 등의 정책추진이 곤란

## 2. 국외 정책동향

- 세계 주요국들은 기후변화 대응 및 경제성장 활성화 등을 위해 탄소 발생 저감기술과 더불어 미활용 탄소자원 활용기술 개발 정책을 지속 강화
  - (미국) '25년까지 온실가스 배출량을 '05년 대비 26~28% 감축목표 제출 (COP15에서 밝힌 '20년까지 '05년 대비 17% 감축보다 강화된 목표) : 대체연료 사용 및 신재생 확대를 통한 CO2 감축, 온실가스 활용 기술개발 투자 확대 (DOE, '12)
  - (EU) '30년까지 '90년 온실가스 배출량 대비 최소 40% 감축목표 제출 : 수입에너지 의존도 감소로 인한 에너지안보 강화와 비용절감, 미활용 탄소자원 활용을 위한 다국적 \*SCOT조직 운영 ('13)
    - ※ SCOT: Smart CO2 Transformation, 영·독·프 등 5개국 참여
  - (중국) '30년까지 GDP단위당 온실가스 배출량 '05년 대비 60~65% 감축 : 정부 정책 시행으로 전 세계 신재생 에너지 시장을 주도
    - ※ 단위당 배출량 감축목표 설정으로 경제성장에 미치는 피해 최소화
  - 미국 및 유럽을 중심으로 DME 연료의 법제화를 위한 노력을 2012년부터 본격적으로 착수
    - ※ 2015년 DME 연료에 대한 ISO를 제정함
    - ※ 2015년 워싱턴주에서는 DME 연료에 대한 Tax incentive를 발효함



## 제2절 사업추진의 적절성

### 1. 정부의 정책적 활동과 노력

- 정부는 그간 글로벌 기후변화 대응을 위해 온실가스 감축을 주요 정책과제로 제시하고 법·제도적 기반 마련과 실제적 감축 정책을 추진해 옴
  - ‘저탄소 녹색성장 기본법’을 제정(‘11)하고, 이행을 위한 녹색성장 5개년 계획을 수립·추진 중임
  - ‘온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률’을 제정(‘13)하여 배출권거래제 추진 기반 마련
  - 에너지·온실가스 목표관리제(‘12), 온실가스 배출권거래제(‘15) 등 국가 온실가스 감축을 위한 제도를 본격 도입·시행
  - RPS(신재생에너지 공급의무화제도) 도입 시행(‘12) 등 신재생 에너지 보급 확대를 위한 제도적 기반 마련 및 투자 확대
- 또한, 정부는 글로벌 기후변화 대응을 위해 온실가스 감축을 촉진할 핵심기술 개발을 지속적으로 추진
  - 제3차 과학기술기본계획(‘13.7)을 통해 기후변화 대응력 강화를 중점과제로 제시하고 이산화탄소 포집·저장·이용 기술 등을 중점 국가기술로 선정
  - 제2차 녹색성장 5개년 계획(‘14.6)을 통해 기후변화대응 및 온실가스 감축 핵심기술 개발·상용화를 핵심과제로 제시
  - 제 11차 국가과학기술자문회의에서 기후 변화 대응을 위한 핵심 기술개발 전략(‘14.7)을 수립 및 발표
    - \* 기후변화 대응 핵심 기술개발 전략(미래부), 기후변화 대응 에너지 신산업 창출방안(산업부), 제로에너지 빌딩 조기 활성화 방안(국토부)
  - 2015.4월 경제관계장관회의를 통해 기후변화 대응을 위한 에너지 신산업 활성화 및 핵심기술개발 전략 이행계획을 발표
    - \* 시장으로(조기성과창출 및 민간투자 촉진), 미래로(핵심기술 확보 및 신사업·신기술 발굴), 세계로(해외진출 및 국제협력 강화) 등 3대 추진방향 제시

- 2030 에너지 신산업 확산전략('15.11)을 통해, 온실가스 감축 및 활용, 개방형 혁신(국제협력) 등 3대 기술혁신 분야 설정
  - \* (온실가스 감축) 핵심 6대 기술개발 추진, (온실가스 활용) 탄소자원화 전략 수립, (개방형혁신) 국제기술 협력 공조체계 강화
  
- 제 33차 국가과학기술자문회의에서 탄소자원화 발전전략 발표('16.4)
  - \* 3대 전략(탄소자원화 전주기 기술 개발, 탄소자원화 시범단지 구축, 탄소자원화 생태계 조성) 제시 및 7대 과제 마련
  
- 기후변화대응기술 확보 로드맵 수립('16.6)을 통해 탄소자원화 기술 확보 로드맵 마련

## 2. 대통령의 최근 행보에서의 기후변화와 탄소자원화 이슈 부각

- 최근 박근혜 대통령은 기후변화 대응 위기를 기회로 활용하기 위해 ‘기후변화 대응을 위한 에너지 신산업 육성’을 정부 24개 핵심개혁과제의 하나로 선정
- 2030년 온실가스 감축목표를 BAU대비 37%로 확정하고, 유엔 기후변화협력 당사국 총회(COP21)를 통해 국제사회에 공식발표

- ▶ 제 33차 국가과학기술자문회의 시 모두말씀 ('16.4)  
창의적 역발상과 패러다임 전환으로 그간 제거 대상으로 여겨왔던 온실가스를 혁신적 자원으로 탈바꿈시키고 관련 상용화를 통하여 온실가스 감축은 물론 경제적 가치까지 창출
- ▶ 파리 기후변화협력 당사국 총회 기조연설 ('15.12)  
기후변화 대응을 부담이 아니라, 새로운 성장기회로 활용할 수 있도록 에너지 신산업을 통한 온실가스 감축 적극 추진 필요
- ▶ VIP 신년기자회견 ('15.1)  
기후변화 위기를 기회로 활용하기 위해 에너지 신산업을 적극 육성

### 3. 국가사업 추진의 중요성과 시의적절성

□ 新기후체계가 새로운 경제도약의 기회로 인식되며, 기후변화대응 정책방향이 온실가스 감축에서 온실가스 활용을 통한 新시장 창출로 확대된다는 점에서 국가 프로젝트로서의 사업추진이 필요함

\* (기대효과) 온실가스 감축('30年: 2,500만톤/年, '40年: 4,000만톤/年) 및 경제적 부가가치 창출('30年: 16조원/年, '40年: 34조원/年) 예상

○ 각 부처는 기후변화 대응 및 에너지 신산업 육성 기반구축을 위해 부처별 또는 부처 공동으로 온실가스 저감·활용확대를 위한 정책을 추진 중

\* (미래부) 기후변화대응 핵심기술개발 및 글로벌 기술협력

\* (산업부) 8대 에너지 신산업 및 신재생에너지 산업 육성을 위한 기술개발 및 기반구축

\* (환경부) 바이오부탄올 등 유기성 폐기물·폐자원의 바이오연료화를 통한 자원순환

\* (농림부) 탄소흡수원 증진, 가축분뇨 및 산림바이오매스의 에너지화

\* (국토부) 제로 에너지빌딩 확산 등 온실가스 발생저감 시설 유지·관리

□ (중요성) 태양전지·연료전지 등의 탄소발생 저감 기술과 더불어, 발생된 탄소를 자원으로 활용하는 기술 개발 추진이 주요 정책 이슈로 부각

□ (시의적절성) 국내외 기술단계·수준을 분석하고 탄소자원화 기술의 조기 실증·상용화 및 차세대 핵심 원천기술 개발을 위한 전략 도출이 중요

#### 4. 상위 계획과의 부합성

- 제2차 과학기술기본계획('13.7)의 중점 추진과제 중 하나인 '국가전략기술 개발'의 정책목적에 부합하는 사업임
  - 국가전략기술 개발 분야 가운데, 세부과제인 '기후변화 대응력 강화'에 해당함
    - 온실가스 포집·저장·활용을 위한 기술개발과 배출량 저감을 위한 통합관리시스템 구축을 제시하고 있으며, 본 사업은 그 취지를 반영하는 사업임
- 제2차 에너지기본계획('14.1)의 6대 중점과제 중 하나인 '에너지 정책의 지속가능성 제고(환경보호, 안전강화, 기술 등)'의 정책목적에 부합하는 사업임
  - 에너지 정책의 지속가능성 제고 분야 가운데, '기후변화 대응'에 해당함
    - 감축규제 제도화 중심에서 첨단기술 등을 활용한 원천적·창조적 감축노력과 시장 활성화로의 정책 패러다임 개선을 제시하고 있으며, 본 사업은 그 취지를 반영하는 사업임

<표 III-2> 기후변화대응 정책의 패러다임 개선

과거	⇒	新정책 패러다임
온실가스 감축목표 설정		목표달성을 위한 비용효과적 수단 마련, 산업경쟁력 강화 고려
규제 중심의 온실가스 감축		기술과 시장 중심의 온실가스 감축

\* 자료: 제2차 에너지기본계획(2014)

- 제2차 녹색성장 5개년 계획('14.6)의 중점과제 중 '첨단융합 녹색 기술개발'과 '녹색 창조산업의 육성'의 정책목적에 부합하는 사업임
  - 첨단융합 녹색기술개발 분야에서는 '기후변화대응 핵심기술 개발·상용화 지원 체계 구축' 및 'C1 가스 활용·전환 기술 개발' 등이 해당함
    - 기초부터 상용화까지의 이음새 없는 기술개발을 위한 범부처·전주기 기후변화대응 R&D 추진전략 수립 및 이행점검 추진 지원을 제시하고 있으며, 본 사업은 그 취지를 반영하는 사업임
    - C1 가스 기반 화학제품 및 수송용 연료 등 고부가 유용 자원화 기술개발 및

상용화 핵심 기술 확보를 제시하고 있으며, 본 사업은 그 취지를 반영하는 사업임

○ 녹색창조산업의 육성 분야에서는 ‘ICT·녹색기술 기반 신산업·신시장 창출’이 해당함

– 과학기술·ICT 기반 기후변화 대응 신기술·신산업 창출방안 수립(‘14) 등을 통해 기후변화대응기술 활용 고부가가치 창출 지원을 제시하고 있으며, 본 사업은 그 취지를 반영하는 사업

□ 파리협정 이행을 위한 기후변화 대응체계 개편방안(‘16.2)의 온실가스 감축수단인 ‘시장·기술·R&D 병행’의 정책목적에 부합하는 사업임

○ 시장·기술 중심의 감축수단을 적극 활용하여 미래 신성장동력이 되는 신산업 창출의 전기로 활용할 계획에 해당함

– 특히, 10대 기후기술개발에 집중 및 탄소자원화 전략을 마련하도록 하였으며, 이러한 취지는 본 사업과 부합함

<표 III-3> 기후변화대응체계 주요 개편방향

	현행	개편
온실가스 감축정책 총괄·조정	환경부	범부처 참여 총력체계 (국무조정실 총괄/부문별 소관부처 책임제)
배출권 거래제 운영	기재부 총괄/환경부 운영	기재부 총괄 강화/4개 관장부처 운영 (국토, 농림, 산업, 환경)
중장기 전략 수립	온실가스 감축 로드맵 (20년 감축목표 기준)	· 온실가스 감축 로드맵(30년 감축목표 기준) · 기후변화대응 기본계획 · 2050 저탄소 발전전략
온실가스 감축수단	규제 중심	시장·기술·R&D병행
지자체·시민사회 협력	형식적 관리	실질적 협력(환경부 주관, 부처 협조)

\* 자료: 기후변화대응체계 개편방안(2016)

□ 기후변화대응기술 확보 로드맵(CTR)(‘16.6)의 4가지 분야 가운데, ‘탄소활용 기술’의 정책목적에 부합하는 사업임

○ 10대 기후기술 가운데, 탄소활용기술로는 부생가스 전환, CO2 전환, CO2 광물화를 제시하고 있으며, 이러한 취지는 본 사업과 부합함

- 요소기술 연계·통합을 통한 기술실증·상용화 추진 및 차세대 유망 핵심 원천기술을 확보하고자 함
- 또한, 해당 기술개발에 기반한 실증 및 활용 방안으로 탄소자원화 실증단지 조성(광양·여수, 강원·충청)과 해외 탄소크레딧 확보를 제시하고 있는 것 또한 본 사업의 목적과 부합함

<표 III-4> 기후변화대응기술 확보 로드맵(CTR)(안)

주요내용	분야	10대 기후기술	50대 세부기술군	실증 및 활용	
	1. 탄소저감	①태양전지	30대 세부기술군	·12대 기후산업육성모델 ·CCS 실증	4. 글로벌 협력 (NDE)
		②연료전지			
		③바이오연료			
④이차전지					
⑤전력IT					
⑥CCS					
2. 탄소활용	⑦부생가스 전환	10대 세부기술군	·탄소자원화 실증단지조성 (광양·여수, 강원·충청) ·해외 탄소크레딧 확보		
	⑧CO2 전환				
	⑨CO2 광물화				
3. 기후변화 적응	⑩공통 플랫폼	10대 세부기술군	·공통 플랫폼 개발		

\*기후변화대응기술 확보 로드맵(CTR)(안)(2016)

## 5. 사업 추진 및 법·제도적 지원체계

□ 출연연 중심으로 탄소자원화 원천기술 개발 및 연구자-산업계 간 협력의 강화를 위한 지원체계와 테스트베드 등 인프라 마련이 중요('16.4. 제 33차 국가과학기술자문회의 시 대통령 말씀)

○ 출연연의 탄소자원화 원천기술 개발을 강화하고, 첨단 연구 역량이 집약된 출연연 내에 전략 허브 센터를 운영하여 산학연 협력 지원의 인프라 역할 제고

\* ('16) 탄소자원화 전략 허브 센터 지정 요건 마련 및 심사를 통해 지정·운영

\* ('17~) 전략 허브 센터 고도화(전문인력 확보 등) 추진 및 산·연 협력 강화 지원

○ 시범·실증단지 조성계획(안)을 마련하고 관계 부처, 지자체, 출연연 및 관계 기업 협의를 통해 탄소 전환·광물화 기술 실증 테스트베드 구축 추진

\* ('16) 실증단지 협의회 구성·운영(상반기) 및 실증단지 조성 계획(안) 마련(하반기)

\* ('17~) 강릉·충청 실증 테스트베드 구축·운영 및 해외 개도국 실증 착수('18~), 광양·여수 실증단지 조성 완료 및 운영('20~)

□ 탄소자원화 규제개혁 및 인센티브 도입

○ 안정적인 탄소원 공급과 활용의 경제성 확보를 위한 기후기술개발촉진법(假) 제정 추진 및 제도개선 과제 추진

- '연구개발 → 상용화(제품 및 서비스) → 산업진흥 → 국가경쟁력 강화'라는 선순환 구조를 위한 연계된 입법체계의 필요

\* 탄소자원화 입법정책의 기본방향은 단순히 기초연구 증진 차원이 아니라 연구개발과 그 상용화 및 산업진흥을 통한, 산업자원의 경쟁력 강화라는 선순환 구조 확립

\* 단순히 연구개발, 환경, 에너지 자원 확보라는 각각의 정책의제가 끊임 없이 연계될 수 있는 입법적 조치가 필요

- '탄소자원화'라는 개념을 전적으로 포괄할 수 있는 법령상 개념 부재

- 가장 유사한 개념이 "자원순환", "폐기물의 재활용 또는 처리"라 할 수 있으나 이는 "폐기물로부터 에너지를 회수하는 것"으로 "탄소자원화"의 극히 일부에 불과

\* 자원순환(「자원재활용법」 제2조 제1호) : 폐기물의 발생 억제 및 발생된 폐기물의 재활용



또는 처리

\* 재활용(「폐기물관리법」 제2조 제7호 나목):폐기물로부터 에너지를 회수하거나 회수할 수 있는 상태로 만들거나 폐기물을 연료로 사용하는 활동

- 「신재생에너지법」 제2조 제2호 바.목에서 규정하고 있는 ‘재생에너지’ 중 ‘바이오에너지’\*와 일부 중첩될 수 있으나, ‘탄소자원화 기술’의 일부에 해당하는 ‘바이오 정제기술’은 바이오매스를 정제하여 ‘에너지’ 뿐만 아니라 ‘원료’나 ‘제품’ 등을 생산하는 기술로 ‘바이오에너지’를 포함하는 상위 개념

\* 바이오에너지(「신재생에너지법 시행령」 의 [별표1]) : 생물유기체를 변환시켜 얻어지는 기체, 액체 또는 고체의 연료 및 이러한 연료를 연소 또는 변환시켜 얻어지는 에너지

**※ 기후변화대응기술개발 촉진법(안)**

▶제정목적: 파리협정 이행 관련 기후변화대응 법체계 재구성 및 기후변화대응기술개발 체제 구축을 통한 지속가능 성장 체계 마련

▶주요골자: 기후변화대응기술 범주, 기술확산을 통한 기후변화 대응 원칙, 기술개발 추진체제, 기술개발 및 산업육성, 산업국민생활 등에서의 혁신활동 촉진 및 기반조성제도정비 등

▶입법방법: 의원입법, 정부입법 고려

▶추진일정: 기획연구(STEPI, ‘16.4~’16.7)→ 의원발의 또는 입법예고(‘16.6)→ 제정추진(‘16 하반기)

※ 기후변화대응기술개발 촉진법 제정을 통한 탄소자원화 제도개선 사항

▶인센티브: 공공부문의 탄소자원화 기술 또는 제품 활용 촉진, 세제지원, 기술개발 자원 마련

▶기반조성: 인력양성, 정보체계 구축, 온실가스 저감 효과 평가인증, 전략센터, NDE 활동 근거 등

□ 온실가스 감축을 위한 그 간의 법·제도 및 정책의 현황

○ 온실가스 감축을 위한 법·제도적 기반 마련

- ‘저탄소 녹색성장 기본법’을 제정(‘11)하고, 이행을 위한 녹색성장 5개년 계획 수립·추진

- ‘온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률’을 제정(‘13)하여 배출권거래제 추진 기반 마련

○ 주요 온실가스 감축정책 실시

- 국가 온실가스 감축을 위한 제도를 본격 도입·시행

\* 에너지온실가스 목표관리제(‘12~), 온실가스 배출권거래제(‘15~)

- 신재생 에너지 보급확대를 위한 제도적 기반 마련 및 투자 확대

\* RPS(신재생에너지 공급의무화제도) 도입 시행(‘12)

- 건축물 에너지 절감 및 성능향상 추진

\* 건축물 에너지 허가기준 강화하고 기존 건축물 성능개선을 위한 공공건축물 그린 리모델링 시범사업 추진

- 수송 부문 에너지 절감 및 온실가스 감축 추진

\* 참여형 교통수요 관리, 광열 철도망 확충, 저탄소 물류체계를 위한 물류단지 지정 등

□ 온실가스 감축을 위한 기본법이 기 마련되어 있으며,

○ 관련 기술개발 촉진을 지원하는 법제 정비 방안이 추진 중에 있으므로,

→ 현 시점에서 탄소자원화 국가전략 프로젝트 추진 타당

### 제3절 정부지원의 필요성

#### 1. 국가전략 프로젝트로서의 가치와 정부 역할

##### 가. 국가전략 프로젝트로서의 가치

- (Global) 국제사회 의무준수와 기후변화 대응 신산업 육성으로 국격 제고
  - 대표 브랜드 사업 추진으로 친환경 기술혁신 선도국가 입지 구축
- (National) 기후변화 대응 및 삶의 질 향상을 위한 역량과 자원 집중
  - 구체적 성과 창출 및 확산을 통해 국민과 기업이 체감하는 효과 창출
- (R&D) 차세대 기술개발 및 정책-R&D-실증 간 연계로 사업의 실효성 제고
  - 부처별·단계별로 분절화되어 수행되는 개별 R&D 사업들의 중복성과 비효율성으로 인한 한계 극복

##### 나. 정부의 역할

- 탄소자원화 신규 원천기술 확보와 경제적 부가가치 창출을 위한 화학소재·연료 생산 분야 차세대 R&D 및 실증·사업화 체계 구축에 대한 국가적 차원의 지원 중요성 대두
- 온실가스 추가 감축과 동시에 경제적 부가가치 창출 목적으로 탄소원 활용 혁신 기술 확보 및 산업생태계 조성 위한 기존 지원의 확대 필요
- 신규(공백) 개발 및 既 개발 탄소자원 활용기술의 통합/연계를 통해 R&D 결과의 실증·상용화에 적용, 조기성과 창출 기대
  - ※ '20년까지 탄소전환/광물화 실증단지(단기) 조성 예정으로, 탄소자원화 기술의 조기 상용화를 위한 실증사업 적용 가능 원천기술 개발 필요
- 기후변화 대응을 위해 탄소자원 활용 기술 개발을 통한 온실가스 감축 및 화학소재·연료를 생산하는 혁신형 R&D 생태계 조성의 필요성
  - 실증·상용화 조기 진입 가능한 차세대 글로벌 선도형 /한계돌파형 탄소활용 혁신 기술 확보로 대형 성과 창출

- 국가 온실가스 감축 목표를 달성하는 동시에, 산업 경쟁력을 유지 및 확보할 수 있는 기술혁신 및 온실가스 추가감축 수단의 개발에 대한 국가적 차원의 지원 필요

## 2. 정부지원 프로젝트로서의 방향성

- 기존 탄소자원화 사업을 차질 없이 추진하고, 전주기 기술개발 및 조기실증을 위한 신규 사업의 신설을 추진
  - (탄소전환 플래그십) 既원천기술개발 및 사업화지원(기술이전 등) 사업의 조기 성과 창출 지원
    - ※ 전주기기술 패키지에서 공백 요소기술 확보 및 조기 실증을 위한 모사연구 착수
  - (탄소광물화 플래그십) CO<sub>2</sub> 광물화 핵심기술 조기상용화
    - ※ 광축매-바이오축매 융합 CO<sub>2</sub> 전환 기술개발 등
  - (탄소자원화 플랫폼) 개발된 기술의 공정에서 온실가스 감축효과 측정 및 정 표준화 기술개발과 감축 인증 메커니즘(모델) 개발 필요

## 제4장 사업전략 및 운영구조 설계

### 제1절 사업의 개념 및 범주설정

#### 1. 탄소자원화 사업의 개념

- 현재, 다량의 온실가스가 발생함으로 인해 환경문제와 국제사회 규제에 직면
  - 발전소, 제철소, 산업체 등에서 발생하는 온실가스·부생가스 多
    - 발전소, 제철소 등 온실가스 다량 배출 ('13년 기준, 약 4억톤)
    - 제철석유화학 공장 등 산업체에서 발생하는 부생가스를 단순 열원으로 활용 중 ('13년 기준, CO 2천만톤, CH<sub>4</sub> 370만톤)

[그림 IV-1] 온실가스 발생 현황('13년 기준)

- 온실가스 발생문제의 해결대안 중 하나로 '자원화'함으로서 화석연료 대체 활용
  - CO<sub>2</sub> 포집·활용하여 공기 중 배출 억제
    - 온실가스를 포집하여 화학소재 및 연료 생산
  - CO 및 CH<sub>4</sub> 활용하여 열원 사용시 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출 억제
    - 부생가스를 활용하여 화학소재 및 연료 생산 (온실가스 전환을 사전에 차단)

[그림 IV-2] 온실가스 활용으로 CO2 배출 억제

- ‘탄소자원화’ 개념의 구현을 위해서, 탄소원(Source)의 포집 및 정제, 자원전환, 제품화에 이르는 쉐주기 기술·설비의 구현 필요
  - 포집기술 : 탄소자원 확보
  - 전환기술 : 탄소원의 종류에 따른 기초화학물질 및 연료 합성
  - 제품화기술 : 산업 전반 고부가화 제품제조
  - 자원순환 : 탄소자원화 공정시 발생하는 2차 부생 및 온실가스를 탄소자원으로 재투입

[그림 IV-3] 탄소자원화 개념 및 모식도

## 2. 사업의 범주설정

□ 본 사업은 온실가스 감축 및 탄소자원화 혁신 산업생태계 조성을 위해 3개 세부사업으로 구성

○ (제1세부사업) 탄소전환 플래그십

- 부생가스 활용 기술의 조기성과 창출을 위한 既 개발기술 외 공백기술을 개발하고, CO2 전환 핵심성과 연계기술의 파일럿 규모 실증을 실현

○ (제2세부사업) 탄소광물화 플래그십

- CO2 광물화 핵심 원천기술의 조기 상용화와 친환경 패키지 연구를 통한 플래그십 실증사업 추진 및 해외 개도국 대상 기술이전

○ (제3세부사업) 탄소자원화 플랫폼

- 국가 탄소자원화 전략에 따른 탄소자원화 기술 구현 시 온실가스 감축효과를 정량적으로 평가하고 감축량을 인정받기 위한 탄소자원화 플랫폼 구축을 위한 사업

[그림 IV-4] 탄소자원화 사업의 범위

## 제2절 사업목표 및 추진전략 수립

### 1. 사업의 비전

#### 가. 현재 환경적 여건

- 현재 우리나라는 높은 수준의 온실가스 감축 목표를 수립 중
  - 2030년 국가 온실가스 감축목표를 BAU대비 37%로 확정하고, UN 기후변화협약 당사국 총회(COP21)를 통해 국제사회에 공식 발표
  
- 높은 석유 의존율로 인해 온실가스 감축이 용이하지 않음
  - 우리나라 산업은 높은 석유에너지 의존율을 나타내는 구조로서 온실가스 감축에 어려움이 예상
    - 총 온실가스 발생 현황('13년)은 6.9억톤으로 발전부문 2.85억톤(37%), 산업부문 2.52억톤(36%)에 이르고 있음
    - 특히 주요국 대비 높은 제조업 비중('13년 기준 31%)
  
- 화학산업의 글로벌 경쟁력 악화로 탄소배출권거래제 시행 시 타격이 예상
  - 산업환경요건이 위축된 상황에서 높은 온실가스 배출(8.5%로 철강에 이어 2위)상태를 개선하는 것이 실질적으로 용이하지 않음
    - '12년 이후 국내 화학기업 21개사의 평균 영업이익률은 3%대로 저조한 실정(LG경제연구원, 2014)
    - 탄소배출 10% 감축시 석유화학산업 수출(-5.8%), 고용(-5.0%) 감소 전망(한국석유화학산업협회, 2009)



## 나. 사업의 비전 및 목표

- 온실가스 감축을 위기에서 기회로 전환할 필요
  - 우리나라가 처한 환경적 여건으로 인해 온실가스 배출의 감소 유도는 한계
  - 온실가스의 배출감소 유도의 한계 극복을 위해 배출된 온실가스의 ‘자원화’를 통해 다중효과 달성
    - 첫째, 온실가스 자원화를 통해 배출량 감축 한계를 보완
    - 둘째, 온실가스 자원화를 통해 확보된 에너지를 석유에너지 대체에 활용
    - 셋째, 탄소자원화 기술의 원천개발 및 실증을 통해 기후변화대응 기술 선도
- 이러한 방향성을 기반으로 본 사업에서는 다음과 같은 비전 및 목표를 설정

[그림 IV-5] 비전 및 목표

## 2. 전략 체계도

- 본 사업은 비전 및 목표의 달성을 위해 3대 세부사업들을 설정하고 이를 기반으로 9대 전략과제 및 19개 세부과제를 설정

[그림 IV-6] 전략체계

□ [제1세부사업] 탄소전환 플래그십

○ (추진방향) 既개발된 원천기술의 전주기 패키지와 공백 요소 기술 확보 및 실증 구현으로 탄소자원화 조기 상용화 성과 창출을 위한 사업

※ C1가스리파이너리 사업 등 기존기술 보완 및 사업화지원(기술이전 등) 사업의 조기 성과 창출 지원

[그림 IV-7] 탄소전환 플래그십 사업 연계 사업화 모델

## ○ (사업주요내용)

## ① 탄소자원화 핵심기술 패키지화 : 기존 기술의 공백기술 개발 및 통합·연계로 패키지 완성

a. 부생가스 전환 : 산업 부생가스 회수 및 전처리, 분리공정과 CO, CH<sub>4</sub> 전환의 “미활용탄소자원에서 고부가제품까지” 전주기 원천기술 패키지화를 위한 공백기술 개발 및 통합패키지 설계

\* (예) 부생가스 불순물 정제 - 일산화탄소 및 메탄의 경제적 고효율 분리회수 - 전환에 의한 화학제품 생산 패키지화

## ② 탄소자원화 시범단지 조성 및 실증 : 요소기술의 실증적용을 위한 인프라 조성 및 테스트베드 운영으로 상용화 기술 완성도 제고

## a. 파일럿 및 공정 모사 연구 : 상용기술 확보 및 민간투자 유도를 목적으로 실증단지에 적용 가능한 통합 공정 파일럿 개발 및 실증 공정 전산모사 (TRL 5, 6단계)

\* (예) 산업부생가스 활용 메탄올 생산, 제철부생가스 활용 에탄올 생산, CO<sub>2</sub> 수소화를 통한 청정액체연료 생산 등

b. 부생가스 및 CO<sub>2</sub> 전환 실증(광양-여수, 대전) : 광양·여수 산업단지 및 대전 유기성 폐기물 매립장에서 발생하는 부생가스 및 CO<sub>2</sub> 를 활용, 탄소 전환 핵심기술 조기 실증·상용화를 위한 실증사업 추진

\* 광양-여수 시범단지 조성 시기('20~)를 고려하여 '19년(2단계)부터 파일럿 연구 착수

## ○ (최종성과) 탄소자원화 공백 요소기술 보완 및 연계를 통한 통합 공정 기술 패키지 (촉매·생물, 공정, 시스템) 완성 및 조기('27) 상용화 가능한 테스트베드 구축·운영

- 시범단지(광양-여수 부생가스 전환 및 대전시 유기성 폐자원 실증단지) 조성과의 연계하여 플래그십 기술의 조기 실증 추진 및 실용화 연계

- 광물화 국내외 상용화 및 CDM 사업 ('23)

□ [제2세부사업] 탄소광물화 플래그십

- (추진방향) 세계 최고수준의 기 확보 기술을 조기에 상용화하고 선  
도기술을 중심으로 해외 기술수출을 통해 신산업 창출  
[그림 IV-8] 탄소광물화 플래그십 연계 사업화 모델

○ (사업주요내용)

- ① 폐광산 채움재 패키지 실증 : 그린시멘트를 활용한 발전소 저농도 CO<sub>2</sub>광물화 기술기반의 폐광산 채움재 패키지 연구 및 실증사업
  - \* 그린시멘트는 발전회 등 산업부산물을 활용하여 시멘트 주원료인 석회석 사용량과 생산 에너지(전력)를 감소, 온실가스 배출 감축
  - \* 폐광산 탄산염 채움재는 저농도 CO<sub>2</sub>와 산업부산물(CaO계 광물 등)을 활용, 중금속 흡수능력이 뛰어난 복합 탄산염(CaCO<sub>3</sub> 등)을 제조·활용
  
- ② 친환경 제지 카본머니 패키지 실증 : CO<sub>2</sub>광물화 폐지활용 친환경 제지원료 카본머니 핵심기술 패키지 연구 및 실증사업
  - \* 친환경 고급용지는 제지산업 등에서 발생하는 저농도 CO<sub>2</sub>와 CaO계 광물, 폐지를 활용하여 침강성탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub> 등)을 생산, 친환경 펄프 제조

③ **광물화 CDM 패키지 실증** : 해외 CO2광물화 적정기술 CDM 패키지 연구 및 실증사업

- \* 엔지니어링 플랜트 개발을 통한 개도국 맞춤형 기술이전 및 국내 신규 CDM확보, 개도국 공백기술 실증 및 기술이전 등 추진

④ **고부가화합물 동시 격상기술 실증** : CO2활용 고부가화합물 동시생산 격상기술 개발 및 실증플랜트 건설

- \* 석탄화력발전소의 배기가스에 포함되어 있는 기체상태의 CO2로 부터 별도의 CO2 포집설비 없이 고부가화합물(중탄산소다, 수소, 염소 및 차아염소산 등)을 동시 생산하는 기술개발 및 실증플랜트 구축을 통한 조기상용화

○ **(최종성과) 실증사업 착수를 통한 조기상용화**

- 실증단지(강원-충청 탄소 광물화 실증단지) 조성과 연계하여 플래그십 기술의 조기 실증 추진 및 실용화 연계
- 광물화 국내외 상용화 및 CDM 사업 ('22)
  - \* 국내 온실가스 감축량: 184만톤/년('30년 기준)
  - 해외 온실가스 감축량: 816만톤/년('30년 기준)

□ [제3세부사업] 탄소자원화 플랫폼

- 국가 탄소자원화 전략에 따른 탄소자원화(CCU) 기술 구현 시 온실가스 감축효과를 정량적으로 평가하고 감축량을 인정받기 위한 탄소자원화 플랫폼 구축

[그림 IV-9] 제3세부사업 사업 추진방향

○ (사업주요내용)

- ① 온실가스감축 평가인증 기술 : 실증 기술에 대해 전과정(Life Cycle) 온실가스 감축효과를 정량적으로 평가하기 위한 모델 개발, 최적의 방법론 적용 및 표준화에 기반한 글로벌 탄소시장 진출
  - (CCU 기술분야 플랫폼 LCI DB 구축) CCU 기술에 대해 LCA를 수행하기 위하여 CCU 기술의 전과정 각 단계(life cycle stage)별 전과정 목록분석(life cycle inventory, LCI) 실시하고 이를 DB화
  - (CCU 실증공정 온실가스 감축 평가 검·인증방법 구축) 다양한 실증 CCU 기술에 대해 온실가스 감축효과를 검증하고, CCU 기술을 적용하여 자원화한 제품의 전과정 온실가스 감축량을 인증하기 위한 방법을 개발하고 표준화
  - (글로벌 탄소시장 진입을 위한 표준화 및 국제협력) 글로벌 탄소시장 내 온실가스 감축실적 확보를 위한 한국형 사업모델 개발 및 개도국 탄소크레딧 협력을 위한 탄소측정기술의 국제표준화 추진

- (최종성과) 플랫폼 구축으로 요소기술 개발 성과 간 연계, 실증 및 상용화 고도화로 온실가스 감축 효과 인증 메커니즘 확립 및 글로벌 탄소시장 선도
  - 전과정 평가 기법을 활용한 국가 탄소자원화 기술의 온실가스 저감 및 환경성 평가 플랫폼 구축으로 탄소자원화 요소기술 개발 성과 간 연계, 실증 및 상용화 고도화로 온실가스 감축 효과 극대화 메커니즘 확립 및 산업 생태계 조성
  - 국제적 수준에서의 탄소자원화 온실가스 감축 측정·산정 기술개발을 통해 온실가스 감축 효과에 대한 인증 메커니즘을 개발하여 국내 배출권 거래제도 및 탄소크레딧 확보를 위한 기반 조성
  - 탄소자원화 기술의 표준을 바탕으로 한 탄소자원화 시장 진출 및 주도



### 3. 추진 로드맵

<표 IV-1> 추진 로드맵

세부사업 및 핵심과제	핵심성과목표	17	18	19	20	21	22	예산(억원)
단계		1단계		2단계				(정부출연금)
<b>1. 탄소전환 플래그십</b>								
전략과제 1. 부생가스 분리정제 패키지 실증	<ul style="list-style-type: none"> <li>공백기술(부생가스 가스분리) 패키지 확보</li> <li>시범단지 내 합성가스 공급망 구축</li> </ul>	분리 기술 패키지 완성			가스 공급망 구축 및 분리기술 최적화			459 (250)
전략과제 2. 부생가스 화학적 전환 패키지 실증	<ul style="list-style-type: none"> <li>부생가스 전환기술 통합공정 실증</li> <li>사업화 기술 패키지 3건 (TRL 7)</li> <li>시범단지 내 기술 실증 (실증플랜트 구축 및 운전)</li> </ul>	기술패키지 완성 및 플랜트 설계			실증플랜트 구축 및 기술 실증			448 (290)
전략과제 3. 폐탄소원 생물화학 복합 전환 패키지 실증	<ul style="list-style-type: none"> <li>유기성폐기물 원료 청정연료 제조 패키지기술 구축</li> <li>분리/전환 기술 패키지 2건 확보 (TRL 7)</li> </ul>	기술 패키지 완성			패키지 기술 기술 실증			410 (230)
전략과제 4. CO <sub>2</sub> 전환 핵심성과 연계 실증	<ul style="list-style-type: none"> <li>KCCS 사업 핵심성과 연계·통합 실증 2건</li> </ul>	연계 요소 통합기술 개발			파일럿 착수 및 최적화			378 (200)
<b>2. 탄소광물화 플래그십</b>								
전략과제 5. 폐광산 채움재 패키지 실증	<ul style="list-style-type: none"> <li>저농도 CO<sub>2</sub> 및 채움재 공백기술 패키지 확보</li> <li>Demo-Plant 구축 및 조기상용화 추진</li> </ul>	Demo-Plant 구축·운영			Test-Bed별 광산 채움재 실증 및 조기 상용화			1,530 (280)
전략과제 6. 친환경 제지 카본머니 패키지 실증	<ul style="list-style-type: none"> <li>폐지수거 및 IT연계 카본머니 시스템 패키지 확보</li> <li>Demo-Plant 구축 및 조기상용화 추진</li> </ul>	폐지수거 카본머니 시스템 구축			Demo-Plant 운영 및 조기 상용화			385 (190)
전략과제 7. 광물화 CDM 패키지 실증	<ul style="list-style-type: none"> <li>개도국별 우선수요 기후기술 수요조사 Data-base</li> <li>개도국 CDM사업 기술이전 및 탄소크레딧 확보</li> </ul>	개도국별 우선수요조사			개도국 CDM 사업 기술이전 및 탄소크레딧 확보			185 (120)
전략과제 8. 고부가화합물 동시 격상기술 실증	<ul style="list-style-type: none"> <li>실증플랜트 구축 및 탄산화 공정 최적화</li> </ul>	실증플랜트 설계/구축			실증플랜트 운영 및 공정최적화			225 (135)
<b>3. 탄소자원화 플랫폼</b>								
전략과제 9. 온실가스감축 평가인증기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>CCU 기술 LCI DB 구축</li> <li>온실가스 감축 측정표준화 기술 확보</li> </ul>	측정표준화 전략방향 수립			평가기술 및 제품 검·인증 실시			210 (180)
<b>총 계</b>								4,230 (1,875)

## 제3절 사업구조 및 운영방안 설계

## 1. 사업구조

## □ 사업의 주요 목적

- 본 사업은 요소기술 개발과 실증사업 간 연계를 통해 탄소자원화를 실현하고, 기술혁신형 산업생태계 조성을 주요 목적으로 하고 있음
  - 既개발 기술과 신규 기술 결합을 통해 실용화 패키지 완성 및 조기실증사업화 촉진

## □ 주요 추진체계

- 본 사업은 미래부를 비롯, 범부처 공동주관 사업으로 재단법인 형태의 「탄소자원화 사업단」을 설립하고, 사업을 총괄하는 사업단장과 복수의 RM(R&D Manager)을 통해 운영
- 탄소자원화는 미래부는 물론 관련 부처, 지방자치단체, 관련 산업 간 조정·협력이 필수적인 분야라는 점에서 정책협조를 위한 「탄소자원화 정책TFT」 구축 운영
- 산업계 전문가 중심의 ‘산업자문단(IAB: Industrial Advisory Board)’ 구성 및 초기 기획단계부터 적극 참여
  - 탄소자원화 실증사업 및 상업화에 대한 산업계 참여 유도
- 동 사업의 기획·사업화 지원, 범부처 협력·정책조정을 위해 「탄소자원화 전략허브센터」 구축
  - 탄소자원화 기술개발 성과물의 타부처의 관련 사업의 연계 또는 활용 지원
  - 국가전략 수립·정책설계·DB 구축 등
- 사업간 연계 및 민·관 역할 분담에 관한 체계도는 다음과 같음

[그림 IV-10] 탄소자원화 사업 추진체계도

□ 사업단 구조

- (법적실체) 공익법인의 설립운영에 관한 법률 규정에 따라 주무부처 장관이 부과하는 설립허가에 의해 재단법인 형태로 구성
  - 국가전략 프로젝트 추진을 위한 재단법인 형태의 주요 특징
    - \* 대규모 예산으로 중장기 집중 투자가 필요하며, 국가가 추진하여야 할 목적이 명확한 사업 수행
    - \* 국가가 추진하여야 할 기반기술 구축 및 원천기술개발·실증사업을 수행
    - \* 사업단의 자율성과 독립성을 강화하여, 사업단의 지원이 기관소속 형태보다 효율적인 운영 가능
- (사업단 목적) 탄소자원화 요소기술 개발 및 실증사업, 플랫폼사업 등 3개 사업을 추진
  - 기존 탄소자원화 기술패키지 완성 및 실증 및 기술사업화 등을 위한 연구과제를 발굴하고, 선정평가를 통한 효율적 사업 추진
  - 3개 사업에서 개발된 기술 및 성과 간 연계 및 융합을 추진할 수 있는 기술 중심의 통합연계시스템 구축
  - 관련 부처 및 외부 기관(대학·연구기관·기업) 간 협력을 추진하며, 개발된 탄소자원화 원천기술의 활용과 응용범위를 확대하고 활성화를 위한 지원 추진

- (사업단 조직) 사업단 구조는 독립법인 형태로서 이사회, 사업단장, 3개 위원회, 사무국, 3개 사업부로 구성
  - \* 탄소자원화 정책TFT는 사업단의 운영 및 관리 총괄
  - \* 전담평가기관은 사업단의 사업수행 및 실적을 평가하고, 사업단과 협약 체결
  - 이사회: 산학연 전문가 10인으로 구성하며, 미래부 담당국장이 당연직 이사로 참여
    - \* 사업단의 운영의 주요 사항(예산, 기술료 취득, 사업계획 수립, 사업단장 및 사업부 RM의 선임 등)을 의결하는 최상위 기구
  - 사업단장: 사업단의 임무와 목표를 달성하기 위해 사업단 운영, 정책관리 등 사업단의 총괄 운영
    - \* 사업단장은 3개 위원회의 위원장으로 위원회 운영
  - 사무국: 사업단 운영, 사업기획 및 관리, 연구관리 및 지원, 관련 위원회 운영 등
  - 3개 위원회: 사업추진시 효율적 운영, 과제선정 및 연구생산성 제고, 연구결과의 활용 등에 대해서 객관성과 적합성을 확보하기 위해 내·외부 전문가로 구성
    - \* 운영위원회: 사업전략 및 사업계획 수립, 3개 RM의 선임 등 사업운영의 전반적 검토
    - \* 선정 및 평가위원회: 연구과제 발굴 및 선정, 연구결과 평가 등에 대한 검토, 원천기술 및 실증사업 과제 발굴 및 선정 등
    - \* 협력 및 사업화지원위원회: 내외부 기관 및 타 연구개발사업과의 협력연구, 원천기술의 활용성 제고 등 검토
  - 3개 사업부: ‘탄소전환 플래그십 사업부’, ‘탄소광물화 플래그십 사업부’, ‘플랫폼사업부’로 구성
    - \* 사업부 특성을 고려한 연구과제 발굴 및 연구과제 수행, 연구결과의 상호연계·활용을 원칙으로 운영
    - \* 각 RM은 연구과제 수행을 총괄하며, 3개 위원회의 당연직으로 참여

## 2. 사업 운영방안 설계

### 가. 세부과제 관리체계

#### □ 범부처형 통합관리체계 구축

- 예산의 효율적 배분, 전략 우선순위별·단계별 차등지원 등을 통한 통합관리체계 구축·운영

- 통합관리체계는 사업선정, 진도관리·결과평가, 성과활용 등 전체 3단계에 걸쳐 운영

#### □ 사업선정단계

- 선정 및 평가위원회를 중심으로 사업단 종합사업 추진계획에 근거하여 각 사업부에서 추진하여야 할 연구과제 발굴

- 관련 전문가를 대상으로 기술수요조사를 실시하고, 선정 및 평가위원회·협력 및 사업화지원위원회 간 협의를 통해 발굴

- 파급효과가 크고 연구기반과 시장수요가 확보된 분야 선정

- 초기단계부터 사업화로 연계될 수 있는 연구주제 선정

#### □ 진도관리단계

- 사업의 효율적 관리를 위해 정기적 진도관리가 필요하며, 이를 효과적으로 운영하는 관리시스템 운영

- 사업단은 개별 연구개발프로젝트에 대한 진도관리를 실시, 연구책임자가 제시한 마일스톤에 입각한 마일스톤 목표 달성도에 대한 평가 실시

- 사업의 진도관리: 연차평가와 단계평가로 구분하여 실시

- (연차평가) 중간평가, 자체평가 실시

- (단계평가) 단계별 최종평가를 통해 마일스톤 달성여부를 판단하고 프로젝트의 계속 수행 또는 탈락 결정

## ○ 종료평가 실시

- 개별 연구개발 과제의 종료시점에 추진실적 및 성과에 대하여 과제별 종합평가를 실시
- 특히 국가전략프로젝트로서 본 사업은 상용화 접근성 및 실현 여부에 중점을 둔 평가를 실시

## ○ 추적평가 실시

- 과제 종료 후 5년 동안 매년의 누적된 연구성과에 대한 추적조사 실시

## □ 성과활용단계

## ○ 원칙적으로 연구성과물은 기술평가는 물론 마케팅전략 수립을 통해 적극적인 활용 추진

- 원천기술 또는 기업의 요구에 적합한 요소 및 핵심기술에 대해서 협력 및 사업화지원위원회에서 선별과정과 지원체계를 마련하여 효과적 활용 추진

## 나. 세부과제 평가

## (1) 세부과제 선정평가

## □ 세부 연구과제 선정절차

## ○ 연구과제 선정은 탑다운(top-down) 방식과 미들업다운(middle up-down) 방식을 활용하여 기획

## ○ (탑다운 방식) 종합추진계획과 기술수요조사에 근거하여 추진할 연구과제풀(pool)을 구성하고 선정 및 평가위원회에서 선정

- 선정 및 평가위원회에서 사업부별 차별화된 요소 및 핵심기술 연구개발과제 선정

\* 개발된 요소 및 핵심기술의 경우, 연계가능한 주요 요소 및 핵심 공백기술 발굴

- 연구과제 추진기획 시기는 연구 수행시점으로부터 6개월 이전부터 기획을 추진(3개월 소요)

- (미들업다운 방식) 사전기획을 통한 분야제시 후 과제공모를 통한 사업구성
  - (예시) 사업초기의 경우 부생가스 전환, CO2 광물화, CO2 전환 등 3대 분야 우선 제시 후 1대 분야 자유공모
- (과제선정) 국가전략적 중요성, 실행가능성, 시장친화도 등을 주된 요소로 평가
  - 책임평가제 및 평가실명제 도입을 통한 평가의 투명성 확보, 우수 연구자 및 연구과제 발굴을 추진
  - \* (책임평가제) 과제운영의 연속성을 확보하고 일관된 관점의 평가수행이 가능하도록 선정평가에 참여한 평가위원의 일부가 결과평가에 참여하는 방식
  - \* (평가실명제) 평가결과의 왜곡현상을 최소화하기 위하여 평가자의 실명을 공개

## (2) 세부과제 단계평가

### □ 평가의 기본방향

- 상대적으로 부족한 진행 단계의 면밀한 평가가 이루어질 수 있도록 실시간 모니터링을 기반으로 하는 평가 실시
- 책임평가제 및 평가실명제 도입을 통해 평가의 투명성 확보 및 시장·사업화 중심의 평가 추진
  - 연구책임자가 제시한 마일스톤에 입각한 마일스톤 목표달성도에 대한 평가
  - 글로벌 시장의 니즈에 부합되는 글로벌 스탠더드 기준에 의한 평가
  - 논문·특허 등 기존 평가요소를 지양하고, 사업화 관점에서의 평가

### □ 평가방법 및 운영

- 일정 기간마다 단계별 공개경쟁, 공정한 평가에 의해 계속 지원여부 결정
  - 중도탈락의 엄격한 적용을 통해 과제 간 경쟁 촉진

- 기존 사업과의 차별성 확보를 위해 실시간 점검 및 모니터링 등 새로운 평가방법 제시
- 단순히 단계평가가 아닌 상시평가시스템을 통해 연구개발의 진행에 따라 평가 및 후속조치가 즉각적으로 이루어질 수 있는 평가 실시(go/fail 의사결정시점 신속화)
  - 성공가능성이 적은 과제를 실적 및 개인 연구비 확보차원에서 끌고 가는 사례를 사전에 차단
- (평가 운영원칙) 평가결과가 사업비 운영효율성과 성과창출 극대화를 위해 적극 활용될 수 있도록 연차 및 단계평가를 운영
  - 연차평가를 기본으로, 평가방향은 계획 대비 달성도 평가를 통한 사업수행 완성도를 높이는 방향으로 진행
  - (연차평가) 연차평가 결과에 따라 각 세부 사업단이 수행하는 차년도 사업비를 차등 지원
    - \* (예시) 평가결과는 ‘상·중·하’로 구분
    - \*\* 평가결과의 ‘상’의 경우 20% 예산 증액, ‘중’의 경우 예산 지속, ‘하’의 경우 예산 20% 삭감
    - \*\*\* 삭감된 예산은 우수 등급의 세부 사업단에 지원함으로써 경쟁력 제고
  - (중간평가) 2단계 사업은 연구기간이 4년으로 2차년 수행 후 중간평가 실시
  - 전체 사업의 목표 대비 달성도 제고를 위해 각 세부 사업단별 사업수행 내용에 대한 중간 점검 및 멘토링 실시
  - (단계평가) 각 단계별 평가결과에 따라 연구개발 및 사업수행 분야 조정
    - \* (예시) 1단계 탄소자원화 실증모사 기술개발 3대 사업 ‘부생가스 전환·CO2광물화·CO2전환’ 中 단계평가를 통해 1/3 탈락
    - \*\* 포괄적 중단·강제탈락·조기종료 등 단계적 중단을 통해 사업의 ‘선택과 집중’ 강화
  - 단계별 사업진행과 평가를 통해 성과가 부재·미흡한 부분은 과감히 정리
  - 강점을 보이고 성과를 낼 수 있는 사업 분야 및 세부 사업단에 집중



### 3. 사업 추진절차

#### □ 사업추진의 기본방향

- 확보기술의 조기 실증·상용화 추진 및 한계돌파형 차세대 핵심 원천기술의 이원화 전략 추진
  - 개발된 핵심기술의 공백기술 보완을 통해 실증·상용화 연계
  - 탄소자원화 및 저감을 위한 차세대 기술 개발
- 연구개발 성과물의 실증·사업화를 통한 생태계 조성을 위해 표준개발 및 인증메커니즘 구축 등 플랫폼 기술개발 추진
  - 온실가스 감축 인증 및 탄소크레딧 확보 메커니즘 개발
  - 공정별 온실가스 감축 및 측정표준 개발

#### □ 사업의 기본 추진전략

- (실효성) 사업내 연계성·정합성 제고를 통한 사업의 실효성 극대화
  - 연구개발정책 + 연구개발사업 + 성과 실증사업 간 연계
- (개방성) 초기 단계부터 관련 부처·사업단·민간기업 참여를 통한 개방형 혁신 지향
  - 민간기업 전문가 중심 산업자문단 구성 및 적극 참여
  - 사업 중반부터 민간기업 참여 및 적극적 licensing in/out 추진
- (유연성) 실질적 성과 창출을 위한 협력망(network) 구축 및 전략 수립
  - 사업기획, 성과검증, 기술표준 개발 등 단계별 추진성과 검증 및 환류체계 확립
  - 시장·정책환경 변화를 반영하여 중간목표 및 참여주체 변경이 가능하도록 설계
- (책임성) 목표설정, 세부 사업선정, 성과평가 과정의 책임성 강화
  - 전략수립, 사업선정, 성과평가 등 의사결정의 책임성 제고를 통해 투입재원의 효율성 극대화
  - 사업 및 세부사업 평가는 학술적 평가보다 목표달성도 중심으로 사업화 관련 실적을 평가

□ 핵심기술 개발 추진체계

- 선정 및 평가위원회를 중심으로 사업단 종합사업 추진계획에 근거하여 각 사업부에서 추진하여야 할 연구과제 발굴
- 발굴된 핵심기술은 사업화를 기술연계 및 기술이전에 대해서도 평가 실시
- 기술개발을 위한 지원예산은 종합계획에 근거하고, 선정 및 평가위원회에서 예산 지원규모 결정

#### 4. 성과관리 체계

##### □ 성과관리 방향

- 사업단의 추진 사업은 정부 R&D예산 지원을 통해 이루어지므로 R&D사업 평가체계 하에서 평가 실시
- 현재 R&D사업 평가는 자체·상위평가, 사업이슈를 중심으로 수행되는 심층평가, 공공기관 차원의 기관평가 형태로 추진
  - 본 사업단 역시 연구개발이 주된 활동이라는 점에서 R&D사업 평가는 물론 법인의 경영성과 역시 주요 관리대상임
- 본 사업의 경우 1단계(2년), 2단계(4년)로 구성되므로 각 단계별 주기에 맞춰 평가 실시
  - (1단계) 사업단 및 세부 사업부 목표 달성을 위한 프로젝트 포트폴리오의 구성이 적절한지에 대하여 중점적 평가
  - (2단계) 사업단을 대표할 수 있는 실질적 성과들이 나타나고 있는지에 대한 평가를 통하여 관련 예산의 가감을 결정

##### □ 사업성과 관리방안

- (사업성과 통합관리 시스템 운영) 사업단은 각 세부 사업부별로 도출되는 성과를 극대화하기 위해 통합 관리 추진
  - 탄소자원화 사업단은 개별 연구성과를 통합하고 탄소자원화 전략허브센터 DB에 저장
  - 이를 통해 도출된 연구성과를 상호 공유할 수 있는 시스템 구축

- (사업 성과목표 및 성과지표 관리방안) 사업 최종목표 달성을 위하여 단계별, 연차별 성과목표를 설정하고, 각 세부과제별 목표치를 조정 및 관리
  - 특히 사업화 연계 성과목표를 달성하기 위한 연차별 성과지표 설정
- (사업종료 후 성과관리) 사업성과의 구체적 실현은 사업 후에도 나올 수 있기 때문에 사업 종료 후에도 지속적으로 성과관리를 함
  - 사업 종료 후에도 계속적으로 창출될 성과를 관리하고 활용도를 높일 수 있는 후속 프로그램을 기획, 운영

## 제5장 실증사업 추진방안 및 기대효과

### 제1절 추진 개요

#### 1. 추진 배경 및 경위

##### 가. 추진 배경

#### (1) 실증단지 조기 조성 및 운영을 통한 실효성 있는 사업 추진 기반 마련

- (탄소전환) 온실·부생가스 등의 탄소를 자원으로 유용제품을 생산하여 온실가스 감축과 경제적 가치 창출에 기여하는 탄소자원화 기술 개발·실증 추진
- 전략과제 1. 부생가스 분리·정제, 2. 부생가스 화학적 전환, 3. 폐탄소원 생물·화학 복합전환 패키지, 4. CO<sub>2</sub> 전환 핵심성과 연계 중 공백 기술을 확보하여 전주기 통합공정 패키지를 구축하고 온실가스 감축 효과의 조기 현장 실증 추진이 가능한 1 과제 및 2 과제의 실증 세부과제 추진
- (탄소광물화) 발전소·시멘트사 등에서 배출되는 CO<sub>2</sub>와 산업·발전부산물 등을 활용, 탄산염 기반 친환경 광물화 제품을 생산하는 기술의 실증·상용화 추진
- 전략과제 5. 폐광산 채움재 패키지, 6. 친환경 제지 카본머니 패키지, 7. 광물화 CDM 패키지, 8. 고부가화합물 동시격상기술 중 환경영향 모니터링 및 온실가스 감축 효과의 조기 현장 실증 추진이 가능한 5 과제 및 6 과제의 실증 세부과제 추진

(2) 탄소전환 및 탄소광물화 실증단지 조성 사업에 대한 효과적 정책지원

- (전략허브센터) 탄소자원화 기술이 조기에 국내·외 온실가스 감축 기여로 연계되기 위한 지원기반 구축 및 기술 확산 거점으로서의 전문기관 구축 필요

나. 추진 경위

<표 V-1> 추진 경위

구분	시기	비고
제33차 국가과학기술자문회의 대통령 대면보고	‘16.4	- 신기후체제 대응을 위한 탄소자원화 발전전략
미래부 차관주재 출연(연) 간담회(대전)	‘16.5	- 에너지(연), 지자(연), 화학(연)
탄소자원화 기술로드맵 전문가회의 kick-off	‘16.5	- 4개 분과구성 : 부생가스 전환, CO2광물화, CO2전환, 간사팀
기후기술확보 로드맵(CTR) 국과심 안건 상정	‘16.6	
탄소자원화 전략 후속 기획용역 발주	‘16.6	- 신기후체제 대응을 위한 "탄소자원화 전략" 세부 이행계획 수립연구(화학(연))
탄소자원화 국가전략 프로젝트 기획용역 발주	‘16.7	- 탄소자원화 국가전략 프로젝트 기획(STEPI)
제2차 과학기술전략회의 대통령 대면보고	‘16.8	- 탄소자원화 국가전략 프로젝트 선정

## 2. 추진체계 및 기술로드맵

### 가. 추진 체계

- 탄소자원화 사업은 미래부를 비롯하여 범부처 공동주관 사업으로 탄소자원화 협의체를 설립하고, 사업을 총괄하는 협의체 의장과 복수의 RM(R&D Manager)를 통하여 운영
  - 미래부: 탄소자원화 기술개발 및 실증사업 총괄 추진
  - 산업부: 탄소자원화 상용화 기술개발 및 실증사업, 민간연계 추진
  - 환경부: 탄소자원화 기술의 환경영향 관련 제도 지원과 인허가·규제 개선 및 ‘기후변화 대응 기술 확보 로드맵’과의 연계를 통한 사업 활성화 추진
- 특히, 동 사업의 기획·사업화 지원, 범부처 협력·정책조정을 위하여 탄소자원화 전략허브센터를 구축 및 운영함
  - 탄소자원화 기술개발 성과물의 타부처 관련 사업의 연계 또는 활용 지원
  - 국가전략 수립·정책설계·R&D/실증 관련 성과정보 수집 DB 구축

[그림 V-1] 탄소자원화 실증사업 추진체계

## 나. 기술 로드맵

- 우선실증: 총 475억원 (정부 340억원, 민간 135억원)
  - 탄소전환 기술 실증을 위한 공백기술 확보 및 유망기술 조기 실증
    - 부생가스 중 CO 분리: 공백기술(부생가스 분리) 확보를 통한 패키지 기  
완성 및 전환기술 통합 실증 추진
      - \* 발생원 → 분리·정제 → 전환 → 생산
    - 부생가스 전환 메탄올 생산: 조기 생산 공정 실증
  - 탄소광물화 기술 상용화를 위한 조기 실증 유망 기술
    - 폐광산 채움재 파일럿 실증: CO<sub>2</sub>와 발전회·시멘트부산물을 활용하여 폐  
광산 채움재를 생산하는 소규모\* 실증



- \* CO2 처리 6,000톤/년 계획 (참고: 대규모 실증은 CO2 처리 60,000톤/년 계획)
- 친환경제지 카본머니 시스템 구축: CO2·폐지 활용 친환경 제지 생산 공백 기술 개발

[그림 V-2] 기술 로드맵

### 3. 투자계획 및 추진일정

#### □ 투자 계획(안)

#### ○ 총 사업비 475억원 (정부지원 340억원)

※ '17년 정부 제출 예산: 95억원 (미래부 59억원, 산업부 18억원, 환경부 18억원)

- 탄소전환 플래그십: 263억원 (정부지원 178억원)

- 탄소광물 플래그십: 202억원 (정부지원 162억원)

<표 V-2> 투자 계획(안)

(단위: 억원)

구분	합계	'17	'18	'19	'20	'21	'22
탄소자원화 (민간매칭)	340 (135)	95 (10)	110 (37)	57 (32)	35 (25)	23 (16)	20 (15)
탄소전환 (민간매칭)	178 (95)	41 (0)	45 (27)	40 (27)	23 (20)	16 (11)	13 (10)
실증플랜트 건축운영최적화	143	36	39	34	17	10	7
온실가스 감축 산정	35	5	6	6	6	6	6
탄소광물 (민간매칭)	162 (40)	54 (10)	65 (10)	17 (5)	12 (5)	7 (5)	7 (5)
복합탄산염 생산, 효율향상 연구	57	18	18	8	5	4	4
실증플랜트 건축 운영 및 최적화	67	18	37	4	4	2	2
CO2 모니터링, 환경 평가 및 CDM	38	18	10	3	3	2	2

※ 사업단장 선정 후, 사업세부계획 수립 시 변경될 수 있음

□ 향후 추진 일정

- 예산확정 및 사업단장 선정 ('16년 말 ~ '17년 초)
- 사업단 구성 및 사업 착수 ('17.上)

<표 V-3> 단계별 추진 일정

1단계	2단계	3단계
2016	2017 ~ 2022	2023 ~
① 탄소자원화 국가전략 프로젝트 선정 및 예 산확보 ② 관계기관 협력체계 구축	① 탄소자원화 국가전 략프로젝트 추진 ② 전략허브센터 구축	① 탄소자원화 상용화 추진 ② 탄소자원화 수출모 델 개발 등 해외 진 출
탄소자원화 준비	탄소자원화 생태계 조성	탄소자원화 성과 확산

<표 V-4> 실증 로드맵

구분	실증 준비	본격 실증	운영·성과 도출
탄 소 전 환 플 래 그 십 실 증	공정시뮬레이션 및 Mini Pilot 실증 (‘17~‘18) (‘17.3) 사업단 구성, 착수 (‘17.8) 최적 후보기술 선정 (‘18.8) 분리막·흡착제·화학축매 최 적성능 확보 (‘18.12) Mini Pilot 구축, 운영 * 제품 생산 3톤/연 규모 (‘18.12) 기초원료 및 utility LCI DB 확보	Pilot 실증 플랜트 구축 (‘19~‘20) (‘19.12) 부지·유틸리티 구축 및 실 증 소재 확보 * 실증 분리막, 흡착제, 화학축매 (‘20.12) Pilot 구축 및 시운전 * 제품 생산 3,000톤/연 규모 (‘20.12) 실증 공정 LCA 분석 * Pilot 실증 플랜트 구축 공정 LCA 수행 및 방법론 보완	Pilot 실증 플랜트 운영 (‘21~‘22) (‘22.12) 최적화 및 장기운전 (‘22.8) 온실가스 저감효과 및 경제 성 분석 * LCA 평가 활용 * 전략허브센터와 협력 (‘22.12) 상용기본설계집 확보 * 실증기술 보급 및 확산 전략 수 립
	공정 개선 (‘17) (‘17.3) 사업단 구성, 착수 (‘17.8) 기 수행과제 성과로 공정 개 선 * Pilot 설계인자 도출	Pilot 실증 플랜트 구축 (‘18~‘19) (‘18.12) 복합탄산염 Pilot 구축 * CO2 처리 6,000톤/연 규모 (‘19.1) 복합탄산염 Pilot 운영 * 복합탄산염 효율향상 검증 및 공정 최적화 (‘19.6) 폐광산 채움재 시공 Pilot 구축·운영 * 제품 생산 30,000톤/연 규모 * 시공성, 환경성 평가	Pilot 공정 최적화 및 CO2 모니터링, 표준화 (‘20~‘22) (‘20.6) Pilot 최적화 * 패키지 공정 운영을 통한 최적화 및 Demo 스펙도출 (‘21.6) 국내외 표준화 * CO2 및 환경 모니터링 * KS, ISO82 등 표준화 (‘22.3) CDM모델 신청 * 탄소광물 신규 CDM 모델 신청 (‘22.6) 해외 사업모델 확보 * 탄소광물 기술기반 적정기술 융 합 해외 기술이전 추진
전 략 플 래 그 십 실 증	허브센터 지정 및 DB 플랫폼 구축 (‘17~‘18) (‘17.3) 탄소자원화 플랫폼 기술 개 발 과제 선정 * 차세대탄소자원화 사업 중 일부 예산 활용(‘17년 7억원 검토) (‘17.6) 탄소자원화전략허브센터 지 정 * 협력 네트워크, 기술정보, 시설 장비 등 기술 활용 인프라 구축 및 기능 수행	제도 개선사항 발굴 및 기반 기술 확보 (‘19~‘20) (‘19.6) 정책·제도 개선 사항 발굴 * 연구개발 및 사업화 투자에 대 한 세제 혜택 등 제도개선 사항 발 굴 (‘20.12) 온실가스 감축효과 측정· 평가 기반 구축 * 차세대 개발 기술 온실가스 감 축효과 측정·평가 방법론 마련 및 LCI DB 구축	성과 활용 및 확산 방안 마련 (‘21~‘22) (‘21.6) 협력 네트워크 활성화 및 성과확산 * 산학연 교류 및 국제협력 지원 * 관련기업 육성 및 기업 간 교류 지원(‘22.6) BAT 도출 및 사업화 지 원 * LCI DB-피드백 정보를 활용한 사업성과 개선, BAT 도출을 통한 기술개선 방향 설정 및 사업화 지원

[그림 V-3] 탄소자원화 실증 세부 이행 로드맵

#### 4. 프로젝트 수행을 위한 지원활동

##### 가. 국가전략프로젝트 기획 협의체 운영

- (탄소전환·탄소광물화) 한국화학연구원(전환) 및 지질자원연구원(광물화)을 중심으로 하는 국가전략프로젝트 기획 협의체를 구성
- (전략허브센터) STEPI가 주관하여 기후변화 대응 과학기술기본법에 대한 초안 마련을 지원하고, 이와 연계할 수 있는 탄소자원화 운영 거점으로서의 전략허브센터 설립에 대한 법적 근거 마련 및 예산·인력 운영과 관련한 단/중장기 운영전략과 세부계획 수립

##### 나. 전문가 포럼 개최 및 정책지원 사항

###### (1) 각계 전문가 회의 및 포럼 개최와 운영

□ 탄소자원화 국가전략 프로젝트 기획과제 전문가 회의

○ 일시 : 2016년 9월 12일(月) 10:30~12:00

○ 장소 : 미래창조과학부 2층 소회의실

○ 참석자 : 산학연 관계자 총 16명

- 미래창조과학부, 과학기술 및 정책 출연(연) 전문가 등

○ 주요 논의 내용: 사업기획 및 추진체계 방향을 중심으로 전문가 의견 수렴

- (추진체계) 사업단·전략허브센터 설립과 운영방향

\* 480억 예산을 활용하여 제3세부사업의 전략허브센터를 조기 설립추진 및 운영 검토중

- (사업운영) 사업기획 및 연구추진 방향

\* 실증단지 조성 방향 및 연차별 사업추진 방안과 고려할 사항에 대한 검토

□ 실증계획 및 추진체계 구축 방안을 위한 전문가 포럼

○ 일시 : 2016년 10월 11일(火) 15:00~18:00

○ 장소 : 한국화학연구원 본관 2층 대회의실

○ 참석자 : 산학연 관계자 총 60명

- 미래창조과학부, 학계, 과학기술 및 정책 출연(연) 전문가 등

○ 주요 논의 내용: 단기·중장기 사업전략과 전략허브센터 설립 및 운영방안

- (단기·중장기) 비예타 및 예타 사업의 추진체계 및 실증계획 논의

\* 기존사업과의 차별성 및 보완성을 감안한 실증 관련 구체적 추진방안 논의

- (전략허브센터) 지정방안 및 지정절차, 유사 센터와의 중복성 여부 검토

\* 국가연구개발사업규정에 의거한 전문기관으로서의 설치 및 업무범위 설정 의견 수렴

(2) 실증계획 관련 정책 대응 지원

- 국가전략 프로젝트 추진을 위한 기획 단계에 참여 및 미래부의 국회 및 예산관련 부서 보고를 위한 정책 대응 지원과 코디네이팅
- 미래부와의 전체 사업 추진에 대한 의견 교환 및 정책연구 전문조직으로서의 정책검토 의견 개진
- 관련 사업을 추진 구상 중에 있는 담당 부처(해수부, 2016.10.6) 및 지자체(대구시청, 2016.10.28)와 본 사업과의 연계방안에 대한 실무협의 진행
- 유관 연구기관인 C1리파이너리사업단, KCRC, 한국연구재단, KIST 등 전문가와의 수시 기획회의 및 업무협의 진행

## 제2절 실증 및 전략 플랫폼 구축 계획

### 1. 탄소전환 플래그십

#### □ 과제 개요

- 사업비(안): 총 273억원(정부지원 178억원, 민간 100억원)
- 사업기간: '17~'22 (총 6년)
- 주요 내용: 부생가스 활용 화학원료 생산기술 통합실증 1개 과제
  - 산업 부생가스를 활용하여 메탄올 등 화학원료를 생산하는 전환 기술의 패키징, 실증플랜트 구축 및 온실가스 감축 정량적 산정 추진
- 연도별 투자계획

<표 V-5> 탄소전환 플래그십 연도별 투자계획

(단위: 억원)

구분	구분	'17	'18	'19	'20	'21	'22
정부예산* (민간매칭)	178 (95)	41 (0)	45 (27)	40 (27)	23 (20)	16 (11)	13 (10)

\* 국회예산심의 과정 또는 사업 세부기획 과정에서 변경이 있을 수 있음

#### □ 기술 현황 및 추진 계획

- 현재 일부 핵심 요소기술\*을 확보한 상황으로, 우수 기술의 통합 패키징화 및 조기 실증·최적화 추진 ('17~)

\* 구리 촉매 이용 메탄올 생산, 금속 촉매 이용 액체연료 생산 등

- 부생가스 內 CO의 선택적 고효율 혼성 분리·정제(흡착 등) 공정기술

※ 실증 스펙(분리막 공정 예시): 순도 95% 이상의 CO 정제 가스, 선택도(CO<sub>2</sub>/CO)

20 이상 및 투과도 100 GPU 이상의 분리막, 선택도(CO/N<sub>2</sub>) 8 이상의 흡착제, CO 회수규모가 2,000 kg/day인 막분리·흡착 혼성공정 플랜트 구축, 설계규모 150,000 kg/day 이상 기본설계안 제작 등

- C1가스 활용 화학축매 전환을 통한 메탄올 등 화학원료 생산 공정기술

※ 실증 스펙(메탄올 생산 예시): 부생가스 원료 메탄올 전환 통합공정 10톤/일 규모 실증, 메탄올 수율 40% 이상(CO+CO<sub>2</sub> 혼합물 기준), 메탄올 축매 생산성 650 g/L/h (축매 1L 부피 당 메탄올 생산 속도), 플랜트 연속운전 1,000시간 이상, 100만톤/연 규모 상용 통합공정 기본 설계 패키지 확보

○ H<sub>2</sub> 분리·정제, 액체연료 및 플라스틱 원료 생산 등 요소기술 개발·보완 및 패키지화, 실증 및 최적화 추진 ('18~)

<표 V-6> 탄소전환 플래그십 세부과제

과제명	기술명	주요 내용
① 부생가스 분리 및 정제	H <sub>2</sub> 분리·정제	제철 부생가스 內 H <sub>2</sub> 의 선택적 분리·정제를 위한 흡착·막분리 등 공정기술 개발 및 실증 * 흡착소재: 탄소분자체구리흡착제 등, 분리막소재: 폴리설폰계폴리아미드 등 * H <sub>2</sub> 회수 1천톤/연 규모
	액체연료 생산기술	부생가스(H <sub>2</sub> , CO)로부터 코발트 축매이용 경유 등 액체연료 생산기술 개발 및 실증 * 액체연료 생산 15,000배럴/연 규모
② 부생가스 화학적 전환	플라스틱원료 생산기술	부생가스(H <sub>2</sub> , CO)로부터 구라·제올라이트 혼성 축매이용 올레핀 등 플라스틱 원료 생산기술 개발 및 실증 * 올레핀 생산 30톤/연 규모
	유기성 폐자원 정제기술	매립지 등에서 혐기성소화·분리막 정제기술을 통해 CO, H <sub>2</sub> 및 CH <sub>4</sub> 등 고효율 바이오가스 생산 * CH <sub>4</sub> 회수 1천톤/연, H <sub>2</sub> 회수 10톤/연 규모
③ 폐탄소원 생물·화학 복합전환	액체연료 생산기술	CO 및 CH <sub>4</sub> 등을 활용한 액체연료 생산 기술 * 액체연료 생산 6백톤/연 규모
	CO <sub>2</sub> 활용 메탄올 DME 합성공정	포집된 CO <sub>2</sub> 와 H <sub>2</sub> 를 활용하여 메탄올 및 DME 생산 * DME(Dimethyl ether; 디메틸에테르): 메탄올 유래 화합물 * 메탄올/DME 생산 3톤/연 규모
④ CO <sub>2</sub> 전환 핵심성과 연계	CO <sub>2</sub> 활용 생물공정 자원화	CO <sub>2</sub> 를 미세조류*를 활용 고부가가치 바이오매스 생산 * Chlamydomonas reinhardtii, 또는 Chlorella vulgaris 균주 등 * 배양시설 10톤 규모



- 실증플랜트 운영을 통한 공정기술 최적화 및 온실가스 감축 산정
  - 공정 최적화: 통합 공정 시뮬레이션\* 및 경제성 검토, 실증플랜트 운영을 통한 부생가스 전환 후보기술 개선 및 상용 설계 패키지 확보
    - ※ 가스 조성(COG, BFG, LDG 등) 비율에 따른 통합공정 최적화 등
  - 온실가스 감축 산정: LCA\* 방식의 정량적 온실가스 감축량 산정 기술 개발·표준화 및 그 과정에서 수집된 정보의 DB 구축
    - ※ Life-Cycle Assessment: 제품, 공정, 활동 등의 전과정에서 사용된 물질과 오염 물질을 규명하고 정량화하여 지구환경에 미치는 영향을 평가하는 기술

□ 추진 전략

- 광양·여수 산업단지 인근의 부생가스를 자원화하는 실증단지를 조성, 산학연이 참여하는 전환 기술 조기 실증을 통해 상용화 촉진 지원
- 유관기관 협조를 통해 효율적으로 조기 실증·상용화 추진
  - (미래부) 탄소자원화 국가전략프로젝트(탄소전환 플래그십) 총괄 지원
    - ※ 사업단 구성·운영, 사업계획 수립 및 과제 수행 지원 등
  - (전라남도, 광양·여수·순천시) 탄소전환 플래그십의 추진에 따른 플랜트 구축 관련 인허가 등의 행정적 지원
    - \* 광양·여수시(광양 및 여수 산단 기업 참여 지원), 순천시(전남 TP 연계 지원)
  - (참여기업) 탄소전환 플래그십을 위한 가스공급 등 실증사업 협력
    - ※ 대상기업: 포스코, GS칼텍스 및 롯데케미컬 등 총 41개 기업
- 원천 요소기술 통합·패키징, 플랜트 구축·운영 및 최적화를 통해 확보된 온실가스 감축 관련 DB를 탄소자원화센터\*에 집결하여 감축 산정기술 확보
  - \* 기능: 탄소자원화 관련 기획 및 성과활용 등 지원('17년 구축 예정)

## [그림 V-4] 광양·여수 산단 및 실증단지(안) 위치

## □ 장기 계획

○ 유망한 탄소전환 원천기술의 확보가 예상됨에 따라, 탄소전환 실증사업의 확대 및 조기 상용화를 위한 기획 추진

- 旣 원천기술 개발 사업\*이 2단계에 접어드는 등 기술 성숙도가 높아지면서 국가전략프로젝트에서 진행되지 않은 유망기술의 실증 수요 증가 예상

\* C1가스 리파이너리 사업('15~'23), Korea CCS 2020 사업('11~'20) 등

※ 후보기술 (예시): 부생가스 생물학적 전환 패키지 기술, 폐기물 매립지 유래 탄소원의 생물·화학 복합 전환 패키지 기술 및 친환경 제지 생산기술 등

○ 대규모 실증을 위한 실증단지 조성 추진

- 실증단지 조성을 위한 인프라 구축 추진 내용

▪ 실증 부지) 광양-여수 인근에 실증 플랜트 집적이 가능한 부지 확보

※ 예시: 여수 묘도, 여수 삼동지구 및 광양 세풍산단 등

▪ (가스 공급체계) 안정적으로 부생·온실가스를 제공할 수 있는 공급망 구축

※ 예시: 해저 공동구 및 육상배관 파이프랙 등

▪ (용수 및 전력 등 유틸리티) 광양산단의 공업용수망 연계 및 지하용수 활용, 전력망을 활용한 전력확보 등 검토

※ 탄소자원화 에너지 공급을 위한 신재생에너지 보급은 별도 추진

## 2. 탄소광물 플래그십

## □ 과제 개요

- 사업비(안): 총 202억원(정부지원 162억원, 민간 40억원)
- 사업기간: '17~'22 (총 6년)
- 주요 내용: CO2 활용 폐광산 채움재 생산기술 통합실증 1개 과제
  - CO2를 활용하여 폐광산 채움재를 생산하는 통합 기술 패키징, 실증플랜트 구축, 환경영향 모니터링 및 온실가스 감축 정량적 산정 추진
- 추진 체계: 미래부·산업부·환경부 공동 추진
  - 3개 부처 공동으로 예산을 pooling하여 기술개발, 실증 및 환경영향 모니터링 등을 일원화 하여 범부처로 추진
- 연도별 투자계획

<표 V-7> 탄소광물화 플래그십 연도별 투자계획

(단위: 억원)

구분	합계	'17	'18	'19	'20	'21	'22
정부예산*	162	54	65	17	12	7	7
(민간매칭)	(40)	(10)	(10)	(5)	(5)	(5)	(5)

\* 국회예산심의 과정 또는 사업 세부기획 과정에서 변경이 있을 수 있음

□ 기술 현황 및 추진 계획

- CO2와 발전회 등을 활용한 복합 탄산염 안정화 모사연구
  - 복합 탄산염의 CO2 고용화를 통한 중금속 안정화 연구 및 Demo Plant 설계를 통한 엔지니어링 패키지 기술 확보
    - ※ 실증 스펙(예시): CO2 처리 6천톤/연 규모, CO2 고용량 20%
- 그린시멘트, 복합탄산염 등을 활용한 폐광산 채움재 생산기술 통합 실증
  - 발전소의 저농도(약 13% 이하) CO2와 발전회·그린시멘트 등을 활용하여

복합 탄산염을 생산하여 폐광산 채움재로 실증

- 다양한 폐광산 Test Bed별 폐광산 채움재로서의 적용성을 높이기 위해 실제 환경과 동일한 조건에서의 환경영향 평가 모사연구 추진

<표 V-8> 탄소광물화 플래그십 세부과제(1)

과제명	기술명	주요 내용
⑤ 폐광산 채움재	폐광산 채움재 생산기술	발전소의 저농도(약 13% 이하) CO <sub>2</sub> 와 발전화그린시멘트 등을 활용하여 안정성*이 높은 복합 탄산염의 폐광산 채움재의 생산기술 실증 * 중금속 흡수능력이 뛰어나 환경적 영향 최소화 * CO <sub>2</sub> 처리 6천톤/년 규모
	폐광산 채움재 사용 실증	폐광산 사이트 內 채움재 사용 실증 및 환경영향 모니터링 * 폐광산 채움재 사용에 따른 토양 및 지하수 환경영향

- 친환경 제지 생산, 광물화 CDM\* 기술, 고부가화합물 동시생산 등 요소기술의 통합 패키지와 실증·최적화 추진 ('18~)

\* Clean Development Mechanism(청정개발체제): 선진국-개도국 공동으로 온실가스 감축 프로젝트를 수행하고, 탄소크레딧을 확보·공유 하는 체계

<표 V-9> 탄소광물화 플래그십 세부과제(2)

과제·기술명	주요 내용
⑥ 친환경 제지 카본머니	CO <sub>2</sub> ·폐지 광물화 기술을 활용하여 친환경 제지 원료 생산 * 친환경 제지 생산 11천톤/년 규모
⑦ 광물화 CDM 패키지	국내에서 확보한 광물화 기술을 개도국 수요에 맞춤형으로 변형하여 CDM 등록 및 해외 탄소 크레딧 확보 * CO <sub>2</sub> 처리 1천톤/년 규모
⑧ 고부가화합물 동시개발	CO <sub>2</sub> 활용 고부가화합물(중탄산소다, 수소, 염소 및 차아염소산 등)을 동시 생산하는 기술의 개선 및 격상 * CO <sub>2</sub> 처리 6.6천톤/년 규모 (1MW 발전소 규모)

□ 추진 전략

- 강원·충청도의 발전소·시멘트사·폐광산 실증부지를 연계하여 폐광산 채움재 생산기술의 현장 실증·최적화 및 조기 상용화 추진
- 미래부·산업부, 지자체(강원·충북도) 및 민간(남부발전 등) 협업을 통해 추진
  - (미래부·산업부·환경부) 탄소광물화 플래그십 공동\* 지원
    - \* 사업단 구성·운영, 사업계획 수립 및 과제 지원 등 사업 수행과 직결되는 사항
    - \*\* 관련 MOU 체결 및 제도개선 등은 미래부 총괄 지원
  - (강원도 및 충청북도) 탄소광물화 플래그십의 추진에 따른 플랜트 구축 등 관련 인허가 등의 행정적 지원
  - (참여기업) 탄소광물화 플래그십을 위한 가스공급 등 실증사업 협력
    - ※ 대상기업: 남부발전, 한일시멘트, 대성MDI, 현대건설, 두산중공업, 중원, GSPT 등 총 50개 기업
- 원천 요소기술의 통합·패키징, 실증플랜트 구축·운영 및 최적화를 통해 확보된 온실가스 감축 관련 DB를 탄소자원화센터\*에 집결

- 온실가스 감축 산정기술 확보 및 해외 CDM 모델 개발에 활용

\* 기능: 탄소자원화 관련 기획 및 성과활용 등 지원('17년 구축 예정)

[그림 V-5] 강원·충청 지역 탄소광물화 실증 사이트 연계(안)

□ 장기 계획(안)

○ 탄소광물화 플래그십 성과를 바탕으로, 폐광산 채움재 생산기술 실증을 위한 민간기업 중심의 데모플랜트 구축 추진 및 국내 확대 적용 방안 마련

- 기존 화력발전소·폐광산 등 실증 부지를 활용한 기술 확대 적용(데모 플랜트\* 구축·운영) 및 신규 발전소 엔지니어링 설계 반영 검토

\* 예시: CO<sub>2</sub> 처리 기준 연간 60,000톤급 실증 플랜트

### 3. 탄소자원화 전략 플랫폼 구축계획

#### 가. 전략 플랫폼 개요

- (추진목적) 탄소자원화 정책, 기술개발 및 기술확산의 거점 마련을 통해 탄소자원화 기술의 온실가스 감축 기여 및 신산업 창출 추진
- (추진근거) 탄소자원화 발전전략(제33차 국가과학기술자문회의 VIP 보고, '16.4.21)
- (주요기능) 탄소자원화 종합정보 제공, 정책·기술개발 지원\* 및 성과확산

\*차세대 탄소자원화기술 분석 및 BAT(Best Available Technology, 최적가용기술)도출 등 포함

#### 나. 전략 플랫폼 이행 과제

- (종합정보분석 및 제도·정책 개발) 탄소자원화 정책개발, 사업기획, 탄소자원화 R&D 정보분석 및 측정·표준 등 제도개선 선도
- (성과활용 기반마련) R&D 및 실증 관련 통합정보 DB 구축, 기술·시장동향 정보 제공, 산·학·연·관 다채널 소통 활성화 등 다각적 국내외 협력 네트워크 형성

[그림 V-6] 전략허브센터의 업무추진 구조

다. 세부 업무내용

(1) 정책개발 지원 : 제도개선 발굴 및 기본계획·사업계획 수립

- 탄소자원화 관련 국내외 환경변화 및 기업의 수요에 대응하는 정책 및 제도 개선
- 탄소자원화 및 이산화탄소 포집에 대한 인센티브 ('17-'20년)
  - 신재생에너지 활성화 인센티브 제도와 같이 산업주체를 탄소자원화 산업에 끌어들이 수 있는 인센티브 제도 마련
    - ※ (수행과제) 실증단계에서도 이산화탄소 감축량 인정, 광물화기술 탄소 감축량 인정, 탄산 농법 지원 등
  - 탄소자원화 제품에 대한 인센티브 ('17-'20년)
    - 탄소자원화 공급, 활용의 경우 감축된 이산화탄소 배출 산정량에 대한 감축실정 인정 및 배출권 부여
      - ※ (산업계 수요) 온실가스 감축 인정에 대한 차별적 효과(가중치) 부여
    - 부생가스 공급 및 자원화 기업에 대한 인센티브 제공
      - ※ (산업계 수요) 부생가스 감축실적 확대적용(B사, 탄소자원화 기업 수요조사)
      - ※ (수행과제 1) 부생가스를 단순열원으로 활용하는 수익과 탄소자원화 원료로 활용할 때 수익을 비교하여 차액보상 및 보조금 지급



※ (수행과제 2) 탄소자원화 활용 부생가스에 대한 신재생에너지 공급량에 포함(RPS제도)

- 탄소제품에 대한 공공구매·우선조달 등 인센티브 제공

○ 탄소자원화 투자기업에 대한 인센티브 ('17-'23년)

- 탄소자원화 기술 연구개발·실용화·사업화 투자에 대한 세제 혜택

※ (산업계수요) 초기시장인 탄소자원화 기술에 대한 투자촉진을 위한 세제지원 필요(B사, 탄소자원화 기업 수요조사)

※ (수행과제) 탄소자원화 기술 연구개발 및 실용화·사업화 투자에 대한 세제 혜택 제공하여 투자 인센티브 제공

- 탄소자원화 기술개발, 실용화 및 사업화 관련 기업에 대한 기술 보조

○ 실증사업 규제완화 및 제도적 지원 ('16-'17년)

- 탄소자원화 시범단지 내 부생가스 전환 실증플랜트 인허가 간소화

- 부생가스 전환 실증플랜트의 사업주체가 비영리법인일 경우, 안전관리 주체와의 이원화 허용

- 실증플랜트 내 건축물 관련 세금 감면혜택 제공

□ 탄소자원화 기본계획 및 시행계획 수립

○ (가칭)기후변화대응 연구개발 촉진법을 근거로, 탄소자원화 기본계획(5개년) 및 세부실행계획 수립 총괄

(2) R&D사업 기획 : 탄소자원화사업 운영 관련 상시 지원활동

□ 정례 및 수시 기술동향 등의 조사·분석 및 전략기획

○ 탄소자원화 관련 국내외 정책, 시장 및 기술 동향 분석을 통한 기술 수요 예측 등을 바탕으로 급변하는 환경변화에 대응하는 정책 및 제도개선 발굴·추진

○ 탄소자원화 기본계획에 따라 R&D 핵심 및 요소기술 관련 과제 발굴

및 사업기획

□ 산·학·연 협의체 운영

- 탄소원 수급을 위한 배출-활용 기업 간 협의체와 연구기관(대학, 연구소)과의 협력으로 R&D 및 사업화 지원을 위한 협의체 운영

<표 V-10> 산·학·연 다각적 협의체 운영방안

구분	협력 내용
대학, 출연(연), 기업부설연구소	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 연구성과 공유</li> <li>▪ 연구 위탁 및 공동연구 수행</li> </ul>
탄소자원화 관련 R&D 사업단	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 통합 정보망 구축(사업단 DB 연계) 및 제공</li> <li>▪ 대국민 행사 공동 추진</li> </ul>
산업체 (기업 및 협회 등)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 수요기업협의체 구축운영</li> <li>▪ 수요기술 발굴 및 R&amp;D 사업 연계</li> <li>▪ 대중소기업 상생관계 유지</li> <li>▪ 산업체 정보 획득</li> </ul>
창조경제혁신센터	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 지역 중소기업 R&amp;D, 인프라 등 사업화 지원</li> </ul>
국제기구 (CTCN, TEC 등)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 국제협력 프로그램 공동 기획 및 참여</li> <li>▪ 신기후체계 메커니즘 협력 대응</li> </ul>
정부 및 지자체	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 정부 및 지자체 R&amp;D 투자 방향 마련</li> <li>▪ 탄소자원화 전략 이행 및 모니터링</li> <li>▪ 지역 산업 활성화 위한 실증 단지 조성 및 제도개선</li> </ul>

□ 탄소크레딧 확보 모델 개발 및 기술 국제협력 추진

- ODA 연계 기후기술협력사업 추진을 통한 탄소크레딧 확보
  - CTCN, GCF 등 공적기금 활용 개발도상국 R&D 지원, 기술이전 등으로 탄소크레딧 확보를 위한 사업 주도적으로 추진
- 국제인식제고 위한 홍보 및 기술협력
  - 해외 선진연구기관과의 국제공동연구 및 국제포럼 등 국제 홍보 추진

(3) 정보기반 : 탄소자원화 통합정보 구축·제공과 성과확산

- 탄소자원화 관련 전 세계 기술시장 리포트 및 동향정보의 통합 관리
  - ※ 연구조직별 계정의 통합 관리로 정보 접근의 용이성 및 관리의 효율성 제고
  
- 탄소자원화 관련 연구개발 수행주체(중 사업단, 대학 및 출연연 등)의 성과 관련 데이터를 집결한 통합정보체계 구축
  
- (Phase 1: D/B 구축) 탄소자원화 기술에 대한 LCA\* 수행을 위한 원천·실증기술의 LCI\*\* 각 단계별 분석 실시 및 DB화
  - \* Life Cycle Assessment(전과정평가) 제품, 공정, 활동 등의 전과정에서 사용된 물질과 오염물질을 규명하고 정량화하여 지구환경에 미치는 영향을 평가하는 기술
  - \*\* Life Cycle Inventory(전과정목록) : 제품 1단위 생산시, 투입되는 자원의 양과 버려지는 배출물과 폐기물의 발생량을 전 과정에 걸쳐 목록화
  
- (Phase 2: 피드백) 전주기 과정을 통하여 집계 및 축적된 LCI 기술 정보는 향후 실증 성과개선·보완을 위한 자료(R&D 기획, 공정설계 등)로 활용
  - ※ 정부·정책기관·산학연 네트워크를 위한 일원화된 R&D정보 창구로서의 개방형 플랫폼 역할
  
- 포럼, 컨퍼런스, 성과 전시회 등 대국민 행사 개최

[그림 V-7] 전략허브센터 탄소자원화 통합정보체계 구조

- 그 밖에 미래창조과학부 장관이 위임하는 사항
  - 지역 기업 육성을 위한 R&D 및 장비 등 인프라 지원 등

#### 라. 전략 플랫폼 구축 방안

- 탄소자원화 플랫폼 기술 개발」 과제 공모·선정을 통해 탄소자원화 전주기 R&D 역량이 결집된 출연연·대학 內 구축
  - (구축 방법) 과제 공모방식으로 평가를 통해 주관연구기관을 선정, 기관 內 센터를 설치하도록 하고 탄소자원화 전략허브센터로 지정
  - (활용 예산) 차세대탄소자원화('17년 64.23억원)\* 中 7억원 활용
    - \* 기후변화대응기술개발사업('17년 769.8억원)의 내역사업
  - 탄소자원화 플랫폼 기술 개발: 연간 7억원, 6년(3년+3년)
  - (심사·평가 항목) 탄소자원화 연구개발 직접 수행 실적·경험이 풍부하고, 기획·성과확산을 지원 할 수 있는 인력·설비 운영 계획이 적절한 기관

<표 V-11> 전략허브센터 주관연구기관 선정 및 지정 절차

구분	절차		시행평가 주체
과제 공모·선정	추진계획 확정	- 「탄소자원화 플랫폼 기술 개발」 과제 추진계획 마련	기후변화대응기술개발 사업 추진위원회
	↓		
	과제 공고	- 과제 RFP 기획 및 공고	연구재단
	↓		
	신청	- 과제 추진 계획서 등 제출서류 접수 - 참여 자격 및 신청서식 적합성 검토	신청기관
	↓		
	평가	- (서면) 제출 서류에 대한 평가 - (발표) 연구계획에 대한 발표 및 패널 평가 - (현장) 인프라 등 시설·환경 조사	연구재단 (전문가 평가)
↓			
평가결과 심의	- 과제 선정 평가 결과 최종심의	기후변화대응기술개발 사업 추진위원회	
↓			
주관연구기관 확정·통보	- 과제 선정 결과(주관연구기관·연구책임자) 확정 및 통보	미래부	
↓			
전략허브센터 구축 및 지정	센터 설치	- 탄소자원화 전략허브센터 설치	주관연구기관
	↓		
	센터 지정	- 탄소자원화 전략허브센터 지정 (6년간)	미래부

### 제3절 사업 추진 시 고려사항 및 주요 이슈

#### 1. 전문가 의견 수렴

##### ○ 조사 내용 개요

- 탄소자원화 실증사업의 성공적인 성과 창출에 있어서 고려해야 할 사항과 주요 이슈를 도출하기 위하여 각계 전문가들의 의견을 사전적으로 파악
- 2017.01.17.~01.20까지 진행된 ‘탄소자원화 국가전략 프로젝트 추진을 위한 전문가 의견 조사’의 결과를 진행
- \* 산·학·연에서 활동중인 탄소자원화 및 기후변화 대응에 관한 연구 및 실무에 종사하고 있는 전문가 총 15명에게 의견 수렴 요청을 하여 12명이 응답하였으며, 오픈형 서술식 방식의 심층 의견 조사 방식을 취함

##### ○ 주요 조사 항목

- \* 총 다섯 개 카테고리에 따라 조사를 진행하였고, 원문 내용을 최대한 그대로 수록함으로써 현장의 목소리를 구체적 내용과 사례들을 중심으로 파악할 수 있도록 하였음
- 기술 및 경제적·산업적 이슈
- 사업 운영상 이슈
- 사업 평가 방향: 선정평가, 수행 및 사후 평가
- 사업 추진시 외부 조직과의 연계 방안: 수요기업, 정부부처, 지방자치단체 및 주민, 탄소배출권 인증기관
- 제도적·법적 보완 요소: 성과목표 달성 관련, 기술적·법적 규제

##### ○ 주요이슈 및 세부항목을 바탕으로 연관 이슈 도출과 정책 제안

- 조사내용을 성격에 따라 재분류 후 요약·정리한 결과, 배출권거래제 연계방안과 탄소크레딧 확보와 경제적 가치 창출 방안 마련이 중요 사안으로 제기됨

[그림 V-8] 산·학·연 전문가 의견 수렴 결과 요약 정리

## □ 기술적 및 경제적·산업적 이슈와 고려사항

## ○ 기술적 이슈

- 그동안 진행되어 왔던 기술과의 차별화와 발전 필요
  - \* 예를 들어 메탄가스로부터 경유를 생산하는 연구 등은 그동안 많이 진행되어 왔고, 그 외에도 현재 언급되고 있는 기술 등은 이미 진행되어 온 사례가 많기 때문에 기존 연구 성과 분석을 통해 기술 발전 방향 설정이 중요
- 부생가스의 양 자체가 한계가 있기 때문에 온실가스 감축 효과도 크지 않을 수 있으므로 화석연료 기반 물질(예 플라스틱)을 가스화하여 메탄과 수소 가스를 생산하여 원료 공급하는 연구도 필요
- 경쟁사 기술개발 수준 대비 경쟁력이 있는지 여부가 중요
  - \* 화학적 전환 공정의 경우 운전상의 트러블 발생에 대한 매뉴얼 등의 제공까지 이루어져야 하고, 공정 운전과 관련된 사항들은 보장할 수 있는 수준으로 개발되어야 함. 또한 상용공정 대비 반응온도/압력/분리회수 등에 대해 보다 유리한 점이 있어야 기업체에서 관심을 가질 것으로 판단됨
- 분리된 CO 또는 CH<sub>4</sub>를 활용한 화학제품 제조 기술은 이미 상용화된 기술이 다수 존재함으로 이의 소규모 실증은 무의미함
  - \* 단지 철강 부생가스를 활용하기 위해 필요한 불순물 정제 및 가스 분리 기술이 경제적이고, 효율적인 것이 부재함으로 이에 대한 개발 및 실증 필요할 것으로 판단됨
- 광양 및 여수산단 사이에 실증 단지 구현을 위해서는 부생가스를 가져오기 위한 가스배관망이 설치되어야하는데 이에 대한 구체적 검토 필요함
  - \* 해당기술의 신뢰도 강화를 위한 안전성 부분 등 사전고려필요  
해외수출을 고려하였을때 해외의 기준 등 고려필요  
온실가스 감축기술 인정을 위한 CDM 방법론 승인 반드시 필요  
기술과 지역산업화를 엮은 패키지기술로 개발 필요
- 전환에 활용할 부생가스는 COG가스외에 마땅히 없음. COG 가스가 없다면



다른 가스는 전략으로 활용할 수도 없으므로 다른 가스의 활용시 분리비용 부담이 너무 커짐.

- 한국, 일본, 유럽등에서는 이 COG가스를 활용하는 연구를 COURSE Project (EU), ULCOS project (일본), HIsarana pilot plant, RIST project 등으로 수행되어 왔으며 이들의 결과를 검토하여 보고서에 포함하는 것이 바람직하다고 판단
- 부생가스를 이용하는 기술은 POSCO-RIST, 현대제철등에서 이미 평가 프로그램등 많은 기술개발결과들을 가지고 있으므로 정부주도보다는 POSCO, 현대제철등 부생가스자원을 활용하고 있는 민간기업이 주도하여 실증프로젝트를 도출하는 것이 국내 산업의 발전에 바람직할 것임. 통상, 학연과 기업과의 시각차가 크며 실증단계에서는 민간기업의 의견을 존중하는 추진하는 것이 바람직하며 학연은 민간기업의 기술적 견해에 맞추어 기술개발을 추진하는 것이 바람직함.
- 제철소의 자원을 활용하기 위해서는 가장 중요한 기술은 아직 미 활용된 고온 에너지를 회수 활용하는 기술임. 따라서 고온열 회수 기술을 개발하고 미활용 고온열을 활용해서 이산화탄소를 직접 전환하는 기술을 개발하는 것이 보다 산업화에 도움이 되는 현실적인 이산화탄소 저감 탄소자원화 기술이 될 수 있음.
- 기존의 발전을 신재생에너지로 대체하여 이산화탄소를 저감하는 것보다는 기존의 부생가스이용 발전설비의 효율을 향상시키고 최적화 하여 이산화탄소 발생량을 저감하고 추가로 적절한 규모의 신재생에너지 설비를 도입하여 이산화탄소를 직접 전환하는 기술과 융합하여 Solar-CCES (CO2 conversion Chemical Energy Storage)로 추진하는 것이 위험부담을 줄이는 미래 지향적인 탄소 자원화기술로 판단됨.
- 탄소자원화 상용화 핵심요소인 ‘탄소자원 배출 모델 - 탄소자원 활용 모델’의 연계를 고려한 실증기술 도출 필요하며, 기술 및 산업적 부분을 복합적(2차원 또는 3차원 매트릭스 분석)으로 고려

- 탄소자원화 R&D과제는 다양한 사업에서 추진 중임에 따라 실증 도출 모델 도출시 세밀한 분석 필요
- 탄소자원화는 외부 이슈(전통적인 화석연료, 생산 제품 등의 가격변동 등)에 민감함에 따라 관련 동향 및 예측에 기반한 기술 실증 필요
- 온실가스 감축수단으로 활용하면서 경제적인 이득을 취하는 것이 본 프로젝트의 목적임에 따라, 대량의 CO2 처리가 가능하면서 전환 제품의 생산단가를 현행 유지 또는 낮출 수 있는 혁신적인 기술 확보가 관건이지만 기술적으로 난이도가 매우 높아 매우 불확실함. 그럼에도 실증까지 로드맵을 구체적으로 그리는 것은 향후 기술성 및 경제성 측면에서 적합하지 않는 기술을 불필요하게 실증할 수 있음
- 실증은 막대한 국가 예산이 소요됨에 따라 실증단지 구축의 선행 단계로 실증에 적합한 기술 상태인지 유무를 확인하는 절차가 반드시 필요. 따라서 산학연 기술 전문가로 구성된 기술 검증 조직을 만들어 객관적인 평가를 실시하고, 우수한 기술에 대한 실증으로 국가 예산 낭비를 막을 필요 있음
- 실증단지 구현을 통해 대규모 상용화 공정을 위한 통합공정 확보 및 지적권 창출필요
- 상용기술의 적극적인 도입으로 궁극적인 연구 성과 극대화 필요
- 출연연 보유 탄소광물화 원천기술(CO2 고정화, 무기폐기물)을 통한 개도국에 기술 이전 시 추가적으로 미세먼지와 발전소 열부분을 전환을 하여 환경적인 문제 해결 및 수자원 회수 등과 같은 기술도 같이 상용화가 되어야 하나 아직 진행되어 있지 않음. 이렇게 비어져 있는 연구부분을 수반되어 실증플랜트에 적용하는 것이 고려되어야 함.
- On-site형 CFBC 보일러의 발전회를 활용하는 탄소광물화 실증플랜트를 설계하는 것에 패키지 공백기술에 대한 효율적인 연구와 시기, 예산이 규

모 대비 절대적으로 부족하여 성공적으로 진행하기 위해서는 균형적인 방향이 되어야 함

- 국가가 설정한 대표적인 탄소광물화 기술이 지속적으로 follow-up이 되지 않으면 일반적인 광물화 부분(간접탄산화)이나 그린시멘트 기술이 한국형 기후변화 대응 CDM으로 구현이 어려움.
- 폐광산채움재의 경우, 가시적으로 성공되도록 집중 추진하며, 병행부분으로 폐광산 지하공간을 설계하려고 하나, 아직 정확한 자료가 되어있지 않은 문제점.
- 국내의 가행·휴·폐광산 중 가행이 중단된 규모가 큰 광산을 선택하여 CDM으로 실증하는 것이 국가적으로 시급한 사례
- 금속, 석탄광등은 지하수의 유입이 심각한 경우, 고려할 사항이 매우 많기 때문에 향후 장기적인 연구가 사례가 있어야 할 것으로 고려
- 최종적으로 2030년에는 폐광산채움재가 최종적인 결과물이기 때문에 석유사업과 차별된 부처 간 연계를 통해 예비타당성 연구가 필요.
- 탄소광물화 기술로 적용한 물질의 공정 및 물질 등 모든 분야의 표준화가 이루어져야 하기 때문에 표준화 연구 및 표준화 제정 시급
- 요소 기술간 격차 존재 : 기 개발된 요소 기술간 기술 수준이 상이하어 실증 공정 구성 시 통합의 어려움 예상

### ○ 경제적·산업적 이슈

- 감축량을 국제 및 국내 탄소시장에서 거래를 통한 수익 창출에 대한 부분에 대한 집중적 연구 및 검토 필요
- 탄소자원화 개발은 결국 CO2 저감이 목적이 있으나, CO2의 분리/회수/화학적 전환 과정에서 많은 에너지가 필요할 것으로 판단됨. 결국 공정에 소

모되는 에너지는 CO2를 발생하는 Source로부터 생성되므로 최종적으로 개발된 기술이 CO2 저감 효과가 있는지는 정량적으로 판단할 필요가 있을 것임. 또한 국가전략프로젝트에 의해 개발된 기술을 기업체에서 도입할 경우 기업체가 얻을 수 있는 메리트(지원금 or 세제 혜택 등)가 있어야 할 것임

- 철강 공정에서 발생하는 부생가스는 석탄에서 기인하는 것으로 가스 내 다양한 불순물, 특히 화학제품 전환에 필요한 촉매에 치명적인 황화합물 및 타르 등이 존재함. 부생가스 내 불순물을 효과적이고도 경제적으로 정제하지 않으면 화학제품 제조에 따른 경제성 확보 어려움.
- 현재 활용하고자 하는 부생가스는 철강 공정에서 다양하게 활용되고 있어, 탄소전환 기술의 상용화 시 제철소 내 부생가스 부족하게 되어 제철소는 고가의 타 가스 연료(LNG 등)를 수급하여야 하며, 수전량이 증가하여 제철 공정 생산 원단위를 증가시켜 산업경쟁력을 저하시킬 수 있음. 탄소전환에 필요한 부생가스 공급에 따른 부족한 부생가스에 대한 대책 방안 수립 필요함
- 생산된 제품의 시장상황을 고려한 잠재적 활용성 고려필요
- 제품의 경제성 확보 방안 및 대안 마련
- 국제적 기금 등과 연계하여 개도국 진입시장 확보고려
- 지역의 산업화로 연계가능토록 사업추진 필요
- 산업화를 위한 연계산업 등 중소기업 연계성장방안 마련필요
- 탄소자원화의 전문인력양성 등 지속가능한 산업육성을 위한 전문 인력 창출
- 특별법제정 등을 통한 산업지원(규제프리존 등)
- 현재, 부생가스의 발전으로 약 5000 억/년의 전력비를 POSCO가 절약하고

있음. 결국 이에 대한 자원화기술의 투자로 최소한 5000 억원/년이상의 순수수익이 창출되어야 함. 투자비 회수를 고려한다면 경제적인 부담이 매우 클 것으로 판단되며 국가가 신재생에너지에 의한 전력을 무상으로 제공하지 않는 한 POSCO가 투자하기는 어려울 것으로 판단됨.

- 신재생에너지를 활용한다고 하면 기존의 전력을 신재생에너지로 대체하는 것 보다는 기존의 발전설비를 개선해서 CO2발생량을 줄이도록 하고 생산되는 이산화탄소를 Test bed의 수준으로 신재생에너지의 전력을 사용해서 CO2 전환기술을 적용하는 것이 기업의 부담은 물론 정부의 부담을 최소화하며 향후 투자위험을 줄이는 방법이며 기술적으로도 향후 확장성을 갖는 선도기술의 실용화를 앞당기는 의미를 제공할 수 있음. 신재생에너지로 수소생산 후 이를 화학적 방법으로 이산화탄소를 환원하는 방법은 화학적 CO2 전환에 사용시 경제적일 수 없음 (수소차의 경우는 다름). IAEA가 제공하는 신재생에너지 이용 수소생산 경제성 평가 수단인 HEEP code를 사용한 경제성 평가는 신재생에너지에 의한 수소생산단가를 \$5000/t-H2로 평가하고 있으며 이를 화학전환에 사용시 원단위 부담이 매우 높아 (예, 메탄올 생산시 100%수율 및 공정비용이 0원으로 가정해도 수소원료비용만 \$937/t-MeOH가 됨.) 경제적일 수 없으며 직접 CO2전환기술이 타당함 (예, CO의 경우 전력비용이 \$200/t-CO 수준이 됨-현재 국내는 CO가 매우 부족함.)
- 국내 CO2 소요 시장을 보면 조선, 용접용, 공업용, 음료용, 기타 순으로, 공급원으로는 석유화학플랜트에서 주로 CO2를 포집하여 공급하고 있다. 현재 시장은 상당히 안정적인 수요 및 공급 상태임에 따라 현재의 시장에 큰 변동을 주지 않도록 현행 시장 외적인 부분에 대한 자원화 필요
- 탄소자원화를 통한 온실가스 감축 및 미래 시장 창출을 위해서는 전환된 제품의 경제성, 판매가격의 현실성, 기존 생산 공정 대비 원가 절감 효과, 배출권거래제 하에서 이익 확보 등을 만족해야 함에 따라 충분한 미래 시장을 고려하여 기술개발 전략 및 로드맵 마련이 필요

- CO를 전환하여 생산할 수 있는 제품의 대부분은 기존 석유, 천연가스, 석탄 등을 원료로 대량으로 생산되는 범용 제품과 시장에서 경쟁을 해야 하는 상황임, 생산품 자체의 원가 경쟁력 확보가 중요함
- 탄소전환 제품의 품질 확보 : 탄소전환 기술로 생산된 제품의 품질 미확보 시 기존 시장 진입 시 어려움 예상 (품질 표준화 및 검증 기술 부재)

#### □ 사업 운영 상 이슈

- 전략허브센터의 주요 역할 중의 하나가 개도국 진출로 여겨지며 이를 위해서는 초기 단계부터 개도국 진출을 위한 기획과 시범사업을 통한 진출 기반 확보가 필요하나 현재에는 이러한 면에 대한 고려가 부족함
- 또한 전략허브센터에서는 개발된 기술의 국내외 탄소시장 진출을 위한 지원 역할도 필요함.
- 전략허브센터의 역할 및 기능의 범위를 명확해야 할 것으로 보임. 기술개발의 조기 사업화를 위해서는 연구진행 사항을 기업체들과 공유하고 피드백을 받아 이후 기술개발에 반영하여 할 것으로 보임. 국가 예산으로 운영되는 사업인 만큼 책임감 있는 임무 수행을 위해 기술개발 수준 및 사업화 성공 여부에 따른 참여 인원의 평가기준이 있어야 할 것으로 판단됨. 프로젝트 종료 후에도 조직을 지속 유지하여 참여 기업의 확장 및 기술 도입 기업의 원활한 공정운전을 도울 수 있도록 해야 할 것으로 보임
- 탄소자원화 사업 실증에 있어 가장 중요한 것은 부생가스 공급 기업(철강), 화학제품 수요 기업(석유화학), 기술 실증 연구(학연) 간에 유기적 조직이 필요.
- 기존 타부처 진행 사업 중 실증과 연계 시 발생할 수 있는 문제점 등을 협의할 수 있는 조직 필요.
- 탄소자원화에 따른 탄소저감 및 경제성 등을 객관적으로 평가할 수 있는

외부 조직 필요

- 성공적실증, 상용화(지역산업화), 성과도출을 고려
  - 기술의 상용화가 우선 이루어져야하며 이를 통해 지역 신산업이 창출되고 일자리창출 및 온실가스 감축 등 성과의 도출로 연계되어야함
  - 따라서 실증단계에서부터 성공적실증(인허가 등)과 산업화를 고려한 지자체를 포함시키고 역할을 부여함으로써 함께 추진하는 것이 바람직함
- 탄소자원화의 요소 핵심기술은 KCRC, C1 리파이너리사업단등 이미 핵심 요소기술을 개발하는 국가프로젝트가 진행되고 있음. 따라서 본 탄소자원화기술은 TRL7이상의 실증으로 범위를 한정하고 기존의 사업단의 요소 핵심기술 또는 다른 산학연의 탄소자원화 핵심요소기술을 활용하는 전략으로 범위를 분명히 할 필요가 있음.
- 본 탄소자원화 기술은 부생가스를 활용하는 기술로 되어 있으나 이는 POSCO, 현대제철, 시멘트 산업등의 기업의 자원을 활용하는 것이고 이미 이들 기업은 이의 활용에 대한 많은 연구결과들을 자체적으로 보유하고 있기 때문에 사업 계획 및 추진은 정부주도보다는 이들 민간기업주도로 하고 민간의 의견을 적극 받아들여 사업을 추진하도록 하고 정부는 핵심기술지원 또는 정부정책지원에 한정하는 것이 바람직함.
- 정부주도로 무리하게 탄소자원화 실증 및 사업을 추진 할 시 기업의 산업기반을 훼손할 수 있음.
- 따라서 허브센터는 산학연을 중심으로 하는 센터구축을 하고 POSCO 나 현대제철, 시멘트 산업의 추진방향을 주축으로 정부는 핵심기술지원 및 정부정책을 반영하도록 추진하는 것이 바람직함.
- 전략허브 센터 : 탄소자원화 관련 연구 및 측정 인프라 지원, 국내외 기술·시장·기업 동향 정보 구축 및 제공

- 국내 연구자간 연구개발 정보 공유 및 기업 기술지원 등을 위한 네트워크 활성화
- 기업협의체 운영 등을 통한 탄소자원 기술 활용 정보 및 컨설팅 등 지원
- 연구자-기업 교류를 위한
- 탄소자원화기술의 글로벌 진출을 위한 국제 협력 네트워크 운영

- 실증 사업단

- 국내외 동향 분석, 기술 실증 전략 수립·보완 및 기술실증 정보 및 데이터 체계적 구축,
- 상용화 연구, 플랜트 및 공정기술 개발 구축을 위한 연구수행 (연구개발 인력 및 엔지니어로 구성)
- 글로벌 진출을 위한 지식재산권 확보 및 기술이전 전략 수행(지식재산 및 기술이전 전문가)
- 기업 수요발굴 및 탄소자원화 비즈니스 모델 정보 제공 등을 수요기업 협의체 구성운영

- 실증 사업단 및 전략허브센터의 이원화된 조직체계는 사업 추진시 상호 공통 업무 및 역무 경계 부분에 있는 공백 업무에 대해서 담당 주체의 모호함을 야기해서 향후 상호 책임 전가가 예견됨. 따라서 이원화된 조직보다는 단장 또는 센터장이 구심점으로 실증사업단 및 전략허브센터의 전체적인 운영 필요

- 개별 연구자이 연구관련 최대한 자율성을 부여하되, 성과창출 요구로 긴장을 부여하고, “성과가 없는 과제는 과감하게 중단” 한다는 원칙 마련 필요

- 학연·지연·직장연의 철저한 배제와 우수한 연구자를 선택되는 구조로 사업 관리가 필요하고, 기업체의 참여 여부, 학계의 평가(학술지 논문게재), 기술경영전문가그룹의 객관적인 평가 등 외부의 평가정보를 충분히 활용하여 우수한 과제를 발굴·선정할 수 있는 프로세스 마련 필요



- 개별과제 수준에서 목표 및 연구내용을 국내외 동향 및 기술개발 수준을 고려 조정·변경하거나 통폐합하고, 연구과제 특성에 맞게 연구몰입을 유인할 수 있는 규모의 적절한 연구비 지원 체계 마련 필요, 또한 기업체 참여를 이끌어내기 위하여 기업체 고위급 임원을 만나 설득하는 등 조정자의 역할 수행 필요. 운영하는 실증사업단, 전략허브센터, 개별연구팀이 동지적 관계로 인식할 수 있는 기반 마련 필요
- 실증사업은 상용화를 목적으로 하는 프로젝트임에 따라 참여기업이 없거나 기업의 사업화 의지가 없는 과제는 삼진아웃제를 도입하여 필요시 과감히 중단 필요(시장의 반응 정보를 활용하여 과제의 GO/STOP 여부 결정)
- 단계별로 과제수를 줄이면서 성과를 창출할 수 있는 과제를 선택하여 집중하는 “선택과 집중” 전략을 구사
- 실증과제별로 1-2-3단계로 구분하고, 성과 기대가 낮은 1단계 과제는 중단 또는 축소하고, 성과 창출이 불확실하나 지원이 필요한 2단계 과제는 지속 추진, 성과가 우수한 3단계 과제는 연구비의 확대지원을 통하여 가속화
- 실증사업 전체의 성과 디자인을 통하여 개별 과제별로 성과관리 방향과 목표를 설정하고, 과제별 특성에 맞는 성과목표를 제시하고, 성과창출을 독려 필요
- 일부 연구자들은 간섭이 심하다고 느낄 정도로 타이트한 성과관리로 연구자들에게 긴장감을 조성하여 기술개발 가속화 (Self-motivated된 연구자는 긍정적 효과를 가져옴)
- 탄소광물화기술의 주요 적용모델은 발전산업 모델이며, 적용과 응용분야는 광산산업 분야이기 때문에 석유·가스 등을 활용한 탄소전환과 부생가스 분야와 매우 상이하야, 병렬형 진행이 맞으나, 사업형태가 통합집중형으로 되었으나 서로 다른분야와 기술로 인해 데이터베이스, 방법론 등 모든 대상기술에 적용하는 것이 상이하야 이에 대한 통합집중형 부분은 실질적으

로 어려움이 있음.

- 기존에 수행하고 있는 연구부분과 연계하여 CO2 부분으로 실증을 설계하므로 연구자가 기본으로 Sub 사업단의 단장으로 운영하는 것이 사업단 운영에 더욱 성공적인 모델이라 사료.
- 현재 공고된 사업단장의 sub 사업단에 대한 겸직부분을 운영위원회 결정에 따라 겸직을 하는 것은 바람직하지 않음.
- 국가와 출연(연), 단장이 연합하여 국가 주도의 원천기술을 바탕으로 탄소자원화 사업이 운영되어야 함에 따라, 학교나 일반 대기업이 사업단 주관기관으로 추진하는 것은 부적합.
- 사업단장은 출연(연)을 관장하는 NST같은 전문기관에 위임하거나, 이사장이 겸직을 하는 것도 하나의 방안으로 사료됨. 이렇게 강력하게 추진하지 않으면, 국가전략을 통한 국내 실증사업의 성공 및 해외 탄소크레딧 확보는 실패할 가능성이 높음.
- 기본적으로 사업단의 국가전략은 타 사업단과는 차별적인 성격으로 개도국에 해외 부분을 2030년까지 수주하기 위해서는 국내와 국외를 병행해야 하며, CTCN와 연계된 기본 출연(연) 연구조직과 유기적인 병행을 통해 달성할 수 있을 것으로 판단.
- 고유주요사업부분도 사업단과 출연(연) 간에 행정과 지원 뿐 아니라 기본 고유사업부분의 일부 협력부분으로 사업단 수행내용이 아니어도 긴급으로 필요한 패키지 요소기술을 병행할 수 있도록 미래부가 조정할 수 있어야 함.
- 해외 허브센터 구축 전략으로 탄소광물화의 경우 탄소전환가 달리 발전산업 및 폐광산, 싱크홀 부분이 더욱 중요하므로 국내보다 개도국으로 허브센터 협력방안이 중요. 이에 개도국 대상 Track record로서 전략허브센터를 구축하는 것이 바람직.

- 탄소자원화 국가전략 프로젝트의 사업 구성 및 규모, 기획 과정을 고려할 때 sub사업단장의 총괄사업단장 겸임이 가능한 병렬형 방식의 사업단 추진이 바람직할 것으로 판단
- 통합·집중형으로 추진 시, 별도의 전임 사업단장 선임에 따른 예산 추가 지출 및 사무국 운영비 과다 집행 등에 의한 사업 관리 비효율 예상

## □ 사업 평가 방향

### ○ 선정 평가

- 자유공모 과제외 범위를 넓혀 새로운 아이디어를 지속적으로 모집하고 구현할 필요가 있음.
- 심사위원회는 풀을 만들고 무작위로 선정하는 방법으로 진행하여 공정한 평가가 될 수 있도록 하고, 신규 연구팀이 참여할 수 있도록 길을 열어 둘 필요가 있음.
- 많은 경우 동일한 팀이 사업단이 끝날 때까지 하는 바람에 침체되고 좋은 결과를 얻지 못하는 경우가 많아 최대 5년 이상하면 spin-off하고 새로운 팀이 들어 올 수 있도록 함.
- 탄소자원화 국가전략프로젝트 사업에서 정한 기준에 따라 우선순위를 정해 과제를 선정하면 될 것으로 보이며, 만약 기준을 마련해야 한다면 산학연과 정부에서 우선 순위로 생각하는 기준을 모아 전문가 모임에서 정할 필요가 있음. (예를 들어, 탄소 저감량이나 사업화 가능성여부 등을 평가항목으로 선정하고 배점을 주는 방식 등)
- 본 사업은 탄소자원화 실증이므로 평가기준으로 경제성 확보이며, 이에 따른 탄소 저감량 산정이 필요함
- 기존 제품 대비 화학 제품 제조 비용 저감

(but, 비교를 위한 기존 화학 제품 제품의 제조비 산출 데이터 확보)

- 평가단 구성: 관련 연구자, 엔지니어링 전문가, 부생가스 공급 및 화학제품 수요 기업
- 정부출연연구기관, 대기업, 중소기업, 연구소, 지자체 등 실증과 더불어 향후 산업화, 국제적 감축기술인정을 위한 체계적인 사업단이 구성되어하며 각각의 참여자들의 핵심역량이 가장 중요함. 일반적 평가기준과 더불어 지자체와의 협력성, 탄소배출권사업의 방법론 개발역량, 실증 후 산업화 추진방향 등이 고려되어야 할 것임
- 실증기술로서 타당성 평가
  - 평가기준
    - (1) 신 기후체제 대응기술 (국가전략기술)로서의 타당성: 기술개발 목표달성시 CO2 저감기술로서의 타당성, 기술개발 목표달성시 향후 경제적 타당성
    - (2) 기술개발의 실증화 타당성: 선진국대비 기술수준 평가: 세계 선도기술로서의 가능성, 산업화 가능성(국가산업 기여도 수준)
    - (3) 추진체계의 합리성: 추진체계가 목표를 달성하기에 적합한가
    - (4) 추진조직구성의 타당성: 추진조직이 목표를 달성할 수 있도록 합리적이고 유기적으로 구성되어 있는가 여부
  - 평가단 구성
    - (1) 탄소자원화 핵심기술 사업단장: C1리파이너리, KCRC, 바이오매스..
    - (2) 부생가스보유기업; POSCO, 현대제철
    - (3) 광물화기업: 시멘트기업
    - (4) 국내 CDM 사업관련 평가위원
    - (5) CO2 저감평가 전문가
- (온실가스 감축) 탄소자원화 기술의 온실가스 감축 잠재량 및 실질적 감축

- 효과 등을 기준으로 평가하는 것이 바람직함
- (경제적 효과) 탄소자원화 제품 생산에 따른 기존제품 대체효과 및 경제적 파급효과 등을 기준으로 평가하는 것이 바람직함
- 기술실증 타겟기술에 대한 명확한 비즈니스 모델\* 타당성
  - \* 탄소자원 배출모델-탄소자원 활용모델 연계, 관련 인프라, 국내외 변수 등
- 핵심 타겟기술 및 요소기술의 우수성 및 적합성
- 주요기술의 국제특허 출원 및 등록 여부, LCA 평가 방식 및 용이성 등 해외 진출을 통한 INDC 기여분 확보 가능성
- 지자체와 협력방안, 유관 산업체와 협력 및 네트워크 역량 등
- 기술경영전문가 그룹 구성 및 적극적인 활용
  - 선정 평가 관련 부족한 역량을 보완하기 위하여 외부의 기술경영전문가그룹을 적극 활용. 수시로 정책과제의 외부 발주를 통하여 실증과제에 대한 선정평가의 객관적인 정보와 데이터를 수집, 활용하고 이를 기술경영자문그룹에 제공하여 선정평가시 최대한 활용
  - 주기적인 특허조사를 통해 평가 대상 과제를 특허성 검증 및 관련 조사 결과를 기술경영전문가 그룹에서 활용하여 선정 평가시 참조
- 투명성 제고 필요
  - 연구과제를 신청한 연구자가 선정평가 결과에 대하여 이의가 있는 경우 재심사의 기회를 부여해 평가의 공정성과 투명성 제고 필요
  - 재평가가 필요한 경우라고 판단한 경우에는 평가 실시에 관한 기본 사항을 연구자에게 통보하고, 재평가 절차 및 방법에 관한 구체적인 사항은 향후 일정 등을 고려하여 처리
- 실증단지를 통해서 얻어지는 결과물이 실제 기술이전이나 제품화시 필요한 것들로 적절하게 구성되었는지 평가 필요 (예를 들면, 기술의 scale-up

- 가능성 및 validation, 투자경제성 검토에 필요한 information 확보 등)
- 선정평가 시 보유 원천기술에 대한 역량 평가를 중점적으로 시행하고 이를 바탕으로 한 패키지 요소 원천기술에 대한 평가가 필요함.
  - 사업단장은 출연(연)이 주도적으로 책임을 맡아야 하며, 탄소자원화 관련 전문적인 기술의 성과 부분으로 평가되어야 함. 아울러 기술에 대한 세계적인 부분으로 향후 확대, 도출될 수 있는 가능성이 평가되어야 함.
    - \* 해외 개도국 대상 기술이전을 위하여 국내 토종기술이 성공하여 세계적인 기술을 가지고 있는 부분으로 고려되어야 하므로 CTCN가입을 통한 출연(연)이 의무적으로 사업단 주관으로 지원하는 규정이 필요함.
  - 세부조직의 경우, 각 사업분야의 사업단장을 선임하고, 탄소광물화 사업단은 책임제로 논하는 것이 합당하며, 2년별로 사업수행에 대한 책임을 기관과 사업단장이 성과 평가를 해야 할 것으로 판단.
    - 이미 기존에 미래부에서 광물화 분야 산·학·연 전문가 구성되어 있는 부분을 활용하여 전문가자문위원회의 의견을 반영한 외부 및 내부평가 구분하여 실시.
  - 평가기준 및 지표는 목적에 맞게 유기적으로 객관성 있게 유지하는 것이 바람직하며, 탄소전환과 탄소광물 사업이 동일한 평가기준으로 평가하는 것은 바람직하지 않음. 별도 평가기준 및 지표가 sub 사업단 결정 후 결정하는 것이 바람직.
  - 국정목표 반영 및 국가경제 견인을 위한 국가전략 프로젝트의 특성상 산·학·연 균등 배분과 함께 주무 부처의 평가 참여 필요
  - 전문적 지식에 근거한 객관적 판단이 가능한 전문가들을 중심으로 평가단을 구성하는 것이 바람직함
    - \* 공정성이 과도하게 강조되어 유사분야 연구자를 철저히 배제하는 것은 전문성 확보 차원에서 바람직하지 않음

○ 수행 및 사후 평가

- 상업화 목적의 R&D는 논문을 내기 어려운 연구도 많은데 SCI 논문이 주요 지표로 작용하는 사례가 많은데 이 보다는 국제 특허 등에 좀더 비중을 높일 필요가 있음.
- 사후 평가는 상업화와 매출에 근거하여 평가
- 매년 선정된 평가기준으로부터 달성된 수준을 통해 사후 평가를 진행. 평가 위원은 선정 평가 구성원과 마찬가지로 관련 연구 전문가 및 산학연 인원으로 구성. 평가 결과를 통해 차년도 과제 수행 여부 결정
- 평가 지표 항목
- 기존 제품 대비 화학 제품 제조 비용 저감
- 공정 설계 및 모사 정확도
- 상용화 공정 설계
- 탄소전환 공정에 적용하기 위한 부생가스 순도 및 수율
- 시제품화하기 위한 화학제품 순도 및 수율
- 평가단 구성: 관련 연구자, 엔지니어링 전문가, 부생가스 공급 및 화학제품 수요 기업
- 국내 관련 분야 특허 전문가 및 기술사업화 전문가로 구성된 특허전략 및 기술사업화 위원회를 구성하여 특허맵 분석 및 특허전략 수립 타당성, 확보된 원천기술의 보호 전략, 사업화 전략 및 실적 평가
- 실용화 과제의 특성으로 논문 및 특허 성과보다 기술실시 계약 등 사업화 실적으로 사업의 성공 및 실패 결정 필요
- 실증을 통해 확보된 기술의 국외 기술 진출시 높은 비중의 수행 및 사후 평가 필요

- 실증을 통해 확보된 기술의 기술경쟁력 평가 방안 마련 필요. 최고 선도국의 기술 수준 평가 방안 및 국내 기술 평가 척도를 수립하여 수행 및 사후 평가에 활용 필요
- 사업 종료후 기술 인프라 관리 관련 평가방안을 마련하여 국가 예산을 통해 구축된 실증설비 및 테스트 베드의 활용 방안 구체화 필요
- (일관성 유지) 선정 평가단 50% 이상 수행 및 사후 평가에 지속 참여
- (심층 평가 필요) 사업 내용 및 결과에 대한 다각적 평가 진행 필요
- (현장 평가 중심) 파일럿플랜트, 실증단지 등에 대한 현장 평가 필요
- (Moving target) 국제·사회·경제적 변동에 따른 목표 및 내용 변경 필요
- (성실실패 용인) 세부과제를 성실히 수행하였더라도 국가전략 프로젝트 방향성과 맞지 않을 경우 사업 중단 가능

#### □ 사업 추진시 외부 조직과의 연계 방안

##### 1) 수요기업

- 기술 수요기업의 사업성 (부생가스 제공 기업/탄소자원화 제품 활용 기업)  
평가 : COG등의 일부 부생가스는 보일러 열원 등으로 사용하므로, 이를 탄소자원화에 이용하게 되면 추가적인 열원이 필요하며, 이에 따른 경제성 검토가 필요함. 또한, 목적 제품에 대한 수요 및 수요처 확보가 선행되어야 함
- 가연성 가스 및 독성가스 사용에 따른 공정안전관리(PSM, Process Safety Management) 해당 사항 검토 --> 해당 시 설계 반영 및 관리
- 관련기업과 협의할 사항
  - 실증사업의 On-site내 부지, CO2, 발전회를 제공하는 남부발전 및



폐광산 채움재 패키지 기술 중 그린시멘트를 생산,제공하는 한일시멘트, 실제 폐광산 채움재 Test-bed를 제공하는 대성MDI 및 기타 엔지니어링, CDM사업 등 다양한 관련기업과 협의 필요

- 국내 감축분(INDC)중 해외 감축분에 대응하기 위한 해외거점으로 있는 발전소를 건설한 회사(ex: 한국전력 해외사업본부)와의 긴밀한 협력이 필요
- 탄소세, 탄소특별법 등에 제정으로 인해 탄소배출에 대한 감면, 관련된 공정 유예 등에 대한 인센티브, 기술이전 실시 협의
- 탄소배출에 대한 유예, 내수, 수출품에 대한 세금 감면 등 규제, 제한에 대한 면제

## 2) 정부 부처

- 기존 기술 및 제품과의 경쟁을 위한 개발 기술 및 제품에 대한 제도적 지원 : 탄소자원화 제품이 기존 제품에 대해 가격 경쟁력을 갖지 못할 경우 인센티브 및 세금 감면 등의 제도적 지원을 통해 탄소자원화 기업의 사업성을 보상해 줄 필요가 있음

## 3) 지방자치단체 및 주민

- 부지 선정 및 그에 따른 환경영향 평가 : 부생가스, 특히 일산화탄소는 독성이 강해 지자체 주민들과 갈등이 있을 수 있으며, 광물화의 경우에는 환경적 영향이 검증되지 않음. 이를 예방하기 위한 환경영향 평가 등의 검토가 선행되어야 함
- 부생가스 내 황화합물 및 타르 등 처리에 따른 악취 등 환경 문제 발생 가능성 검토 --> 환경 설비 대책, 부산물 처리 방안
- 탄소광물화 기술 실증사업의 경우 지자체가 절대적으로 지원되어야 함. 폐광산이 있는 충청도-강원도로 국한하는 것이 바람직함. 2개의 지자체들이 규제프리존을 지정하는 것이 성공적으로 사업하기 위한 협의

- 지자체 주민과의 협의 필요하며, 이를 위해 지자체와의 MOU 추진, 관련된 이해당사자와의 사업설명회 수행을 통한 폐광산 채움재로서 광산 제공시 여러 가지 인센티브, 혜택에 대한 협의
- 지자체, 기업과의 예산 분담 시 명확한 기준에 따른 규모 및 향후 예측 불가능한 상황 발생시 추가 분담 기준 설정 필요
- 실증사업 전주기 기술개발 현황, 경제성 확보 현황, 성과 홍보 등의 투명성 확보로 지역사회단체 및 지역민과 신뢰관계 구축 필요
  - 공청회, 사업설명회, 간담회를 통한 지역 의견수렴 추진
  - 지역 방송 및 언론과의 네트워크 구축 및 방송·언론 대상 프로젝트의 과학적 의의와 안정성, 지역사회의 경제적 이익 등을 설명 필요
- 현장조사단 운영을 통해서 지역사회 특성, 신뢰기관 선호도, 정보전달 및 의사소통 맵 등을 조사/분석하여 지역사회단체 및 지역주민 대상 맞춤형 홍보·교육 추진 필요

#### 4) 탄소배출권 인증기관

- 탄소 배출권 확보 : 사업이 성공적으로 추진되기 위해서는 탄소 배출권 확보가 명확하게 인증되어야 하며, 이를 통해 사업성이 강화될 수 있음.
- 부생가스 이송 및 탄소전환 공정 설비(온도, 압력, 사용량 등) 인허가
- CO 및 CH<sub>4</sub> 가스는 환경규제 물질임에 따라 관련 규제 검토 필요

### □ 제도적·법적 보완 요소

#### ○ 성과목표 달성 관련 제도 개선사항

- 현재 신기후체제에서의 국제 탄소시장은 설계 단계이므로 속단하기는 어려우나 교토체제처럼 융통성을 갖는 탄소시장이 자리매김할 것으로 여겨

- 지나, 앞으로는 CDM은 쇠퇴하고, JI와 거래제가 활성화되리라 여겨짐.
- 개발 기술 진출이 가장 용이한 개도국을 목록화 하고, 개도국에 대한 기술 수요 조사, 감축기술 전략 수립 등에 대한 지원을 통해 주요 개도국 기술 확산을 위한 교두보 확보 위한 전략 연구 절대적 필요
  - 탄소자원화 제품 인증 및 인센티브 지원 제도 시행 : 기업 참여 유도를 위해 탄소자원화 제품에 대한 재정적 지원 및 녹색제품 인증, 기술료 감면 등의 제도적 지원이 필요함. 탄소자원화 기술 확대를 위한 해외 기업과의 기술 이전 계약 체결 등 관련 법규 정립 및 개선이 필요함. 또한, 현재 진행되고 있는 배출권 거래를 활성화 할 수 있는 제도적 개선이 필요함
  - 탄소자원화를 통해 실질적으로 온실가스 저감 효과가 있는지 객관적 평가 필요(국제적 기준에 의거한 탄소 배출량 산정): 기존 제조 공정 대비 부생 가스 활용 공정에서의 온실가스 배출량 산정(부생가스 이송, 처리, 전환 등 포함)
  - 현재 CO2 저감평가제시가 제안자가 임의로 숫자를 제시한 것으로 판단 됨. 현재, CO2저감에 대한 국제수준에 부합하는 평가방법을 산업부 (KETEP)에서 기업에 위탁을 주어 진행하고 있음.
  - 따라서 각 부서 (미래부, 산업부, 환경부)와 협의 하에 국제수준에 부합하는 CO2 저감평가 tool을 확보하는 방법개발을 포함할 필요가 있음.
  - 공정별 탄소저감 측정 표준 개발을 통한 LCA 개발하여 국내탄소저감 인증 체계 구현하여 온실가스 감축에 따른 인센티브 등 선도적으로 추진하여 성공사례 등을 마련
  - UNFCCC 산하 국제회의체(TEN, CTCN 등)를 활용한 탄소자원 이슈화, 탄소저감 측정 기술 국제표준화 등을 통한 탄소저감 CREDIT의 국제적 신뢰성 제고하여 INDC 기여분 확보 추진

- 경제개발 대상국 중심으로 CO2 적정기술 보급을 통한 탄소저감 CREDIT을 확보 등 탄소자원 플랜트 수출 기반 조성
- 성과목표 중 사업성 평가 강화, 연구 참여 기관의 독자적인 사업성 평가는 시장현황 및 전망치를 적절히 반영할 수 없으므로, 관련기업 및 외부 평가기관을 통한 객관적인 평가 제도 마련 필요
- 사업단장 및 사업단이 주도적으로 법적제도, 평가, 성과, 관리가 사업단과 연계하여 일원화해야 함.
- 적정기술 패키지화 및 수자원 확보 등 여러 가지 track record 기술을 추진해야 할 것임.
- CDM 신규방법론이 가능하나 국내 CDM을 등록하기 위해 최소 플랜트 건설 및 실증 등 요구되는 부분이 필요하기 때문에 방법론적으로 독립적인 연구부분이 필요.
- 탄소광물화 기술에 대한 사업화 부분의 예산이 절대적으로 부족하므로 성공적인 사업화를 위해서는 예비타당성을 병행하여 추진이 필요
- 국가가 이미 과학기술로서 토종기술(출연(연)이 보유하고 있는 원천기술)이어야 개도국에 진출할 때 INDC에 카운팅이 되어 탄소크레딧을 확보할 수 있음. 탄소광물화 기술은 출연(연)으로 지정되어 추진하는 것이 바람직함.
- 배출권거래제 관련: 탄소자원화 기술·제품에 대한 CDM 및 배출권 거래제 연계 방안 마련
- \* 온실가스 배출권 거래제 內 외부 사업 활용 방안 마련 등
- 감축 인증 관련: 탄소자원화 제품 생산 공정의 온실가스 감축량 인증을 위한 상용 제품 생산 공정의 배출량 관련 국가차원의 D/B 구축 필수
- 기후기술네트워크 관련: 기후기술협력 선진국 및 개도국과의 네트워크 구

축·유지·확장을 위한 제도적 지원 필요

- 국가탄소자원화전략허브센터를 통한 정보 및 성과 집중(안) 마련: 탄소자원화 국가전략허브센터의 기능이 제대로 발휘될 수 있도록 탄소자원화 기술·정책·시장 정보뿐 아니라, 정부 주도의 연구개발 사업의 성과를 전략센터로 집중화, 일원화할 수 있는 법적, 제도적 지원 필요

### ○ 기술적·법적 규제사항과 개선사항

- 개발된 기술이 기술적 법적 규제사항으로 인해 구현 과정에서 어려움을 겪을 수 있음
- 특히 환경 관련 규제에 문제가 생길 수 있으므로 과제 초기 단계에 이해관계자를 포함한 협의체를 만들고 이를 통해 문제 소지가 있는 사항에 대해 지속적 논의를 통해 의견수렴 할 필요가 있음
- 부생가스 활용 및 탄소광물화의 경우 환경적 규제가 있으며, 이와 관련된 사업의 경우 규제 완화 정책 마련 등 개선이 필요함
- 기존 제철 산업에서 부생가스는 열 또는 발전을 위한 연료원으로 활용되고 있으므로, 이를 탄소전환에 활용하기 위한 공급 유도 방안 또는 제도적 지원 필요
- 탄소자원화에 의해 실질적 온실가스 저감 효과가 발생할 때 이러한 온실가스 저감량을 어떻게 배분할 것인지 규정 마련 필요
- 기업 참여 촉진을 위해 탄소자원화 시설 투자시 일정기간 탄소세 징수 유예 및 혁신기술 관련 투자 세액 공제 등 세제 혜택 확대
- 탄소자원 관련 규제 프리존 확대 및 네거티브·사후규제 방식 도입 등
- 국가 탄소자원화 전략에 따라 개발된 신기술·신제품의 시장출시를 조속히 진행하기 위해 시범사업에 대한 규제 예외를 인정하는 포괄 근거 법률 제정이 필요(규제특례검토 필요)

- 사업융합 촉진법 개정을 통해 실증 사업의 상용화를 위한 근거 마련 필요
- 실증을 통해 생산된 유용물질에 대한 인증제도 마련 및 기존 인증제도와 차별화를 통해 경쟁력 확보 필요
- 기술개발 및 실증, 상용화 단계별 그레이 존 해결을 위한 실증사업의 범위 설정 필요. 범위에 따라 상호 역할을 명확히 하는 제도 마련 필요
- 탄소자원화로 인해 사용된 탄소에 대해서는 감축량으로 인정: 직접적인 배출량 감축 효과를 제공하여 철강, 석유화학 등 타 산업대비 온실가스 배출이 많은 기업의 적극적인 참여를 유도할 수 있음
- 탄소자원화 R&D 세제 지원 강화: 탄소자원화는 다른 CO2 감축수단에 비해 경제성 확보가 곤란, R&D 활성화를 위해 기존보다 강화된 R&D 세제 지원 필요
- 탄소자원화 생산 제품 특별 지원: 탄소자원화로 생산한 제품이 기존 제품 대비, 경제성이 열위할 경우 상용화는 성공하기 어려움. 예를 들어, 탄소자원화로 생산한 중조( $\text{NaHCO}_3$ ), 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ )의 품질, 경제성이 기존 제품 대비 열위할 경우, 상용화는 현실적으로 곤란함. 따라서 탄소자원화 제품의 경제성 확보를 위해 기존 신재생에너지 지원과 같은 특별한 지원이 필요함. 이를 전제하지 않을 경우, 대부분의 탄소자원화는 실질적인 CO2 저감과 연계되지 않을 가능성이 높음.
- 온실가스배출-자원화 기업 간 상생협력 촉진을 위한 탄소특별법 등의 제정으로 탄소배출에 대한 탄소세 감면, 관련된 공정적용 시 탄소세 유예 등 인센티브 제도지원을 통한 기술이전 활성화 유도 필요
- 국가전략프로젝트 실증사업 시 지역, 산업별 신산업 성장-촉진을 위한 네거티브·사후규제 방식의 인센티브 도입 및 규제 프리존을 통해 규제 제한 철폐 등 경제적인 인센티브 추가를 위한 특별법 제정
- 탄소자원화 제품에 대한 인센티브 제도 마련 필요

- 탄소자원화 제품 보급 사업 추진 등 기술 활용 촉진 방안 필요
- 탄소자원화 제품의 온실가스 감축량 인증을 위한 전과정 인벤토리 및 평가 데이터베이스(LCI/LCA DB) 필요

## 2. 국내 배출권거래제 연계방안

### 가. 배출권거래제

- 적용기업에게 할당된 탄소배출량을 탄소시장을 통해 거래할 수 있도록 만든 제도
- 할당량보다 초과 배출한 기업들은 탄소시장에서 배출권을 구매가능
- 할당량에 비해 배출량이 적은 기업은 탄소시장에서 배출권을 판매가능

[그림 V-9] 배출권 거래

- 할당된 배출권을 시장에서 직접 거래하는 방식 외에 다양한 방법을 활용하여 배출권 제출의 유연성 확보(KEI, 2015)
- 이행연도별 부족분 및 여분에 대해 차입 또는 이월 허용
- 배출권거래제가 시행되기 이전의 감축실적이 있는 경우 배출권 추가 할당(총배출량의 3% 이내)
- 외부감축실적 및 청정개발체제(CDM, Clean Development Mechanism) 사업을 통해 확보한 탄소크래딧을 상쇄배출권(KCU,

Korean Credit Unit)으로 전환하여 거래 및 제출 가능

- 국내 배출권거래제는 2012년도에 「온실가스 배출권할당 및 거래에 관한 법률」을 제정하고 2015년부터 시행 중에 있음
- (2013년 12월 배출권거래제 기본계획 수립) 거래제 운영의 기본방향, 국내 산업 지원대책 등
- (2014년 6월 국가 할당계획 수립) 배출허용총량, 부문·업종별 할당기준 및 할당량, 유상할당, 예비분의 구성·운영 등
- 2014년 1월 한국거래소를 배출권거래소로 지정
- 2014년 12월 23개 업종 520여개 업체에 온실가스 배출권을 할당하고, 2015년 1월 1일부터 온실가스 배출권거래제를 시행

[그림 V-10] 국내 배출권거래제의 도입



- 배출권거래제는 할당 기업들의 적용범위를 확대하고 무상할당의 비율을 축소해나가는 방향으로 운영계획을 수립
  - 제1차 계획기간(2015~2017년)에서는 배출권거래제의 성공적 안착을 목표로 100% 무상할당
  - 제2차 계획기간(2018~2020년)에서는 적용범위를 확대하고 97% 무상 할당을 통해 상당수준 감축
  - 제3차 계획기간(2021~2025년)에서는 유상할당을 확대(90% 이내 무상 할당)하여 적극적 감축
- \* 2016년 현재 할당대상업체는 최근 3년 배출량 평균이 125,000tCO<sub>2</sub>eq 이상 업체 또는 25,000tCO<sub>2</sub>eq 이상인 사업장

[그림 V-11] 국내 배출권거래제 운영계획

#### 나. 탄소시장 거래 배출권 및 동향

- 국내 탄소시장에서 거래되는 배출권은 할당배출권(KAU, Korean Allowance Unit), 상쇄배출권(KCU, Korean Credit Unit)이 있음
- 상쇄배출권은 업체들이 외부사업실적(KOC, Korean Offset Credit) 및 CDM사업을 통한 인증실적(CER, Certified Emission Reduction)을 전환한 배출권을 뜻함

[그림 V-12] 탄소시장 거래 배출권

- (할당배출권(KAU)) 할당대상기업이 정부로부터 할당받은 배출권으로 거래, 보유 유연성이 높음
- 제출 한도가 없고, 구매 후 별도의 전환 절차 없이 할당량으로 바로 제출이 가능하므로 국내에서 활용 가능성과 편의성이 높지만,
- 2016년 6월까지 KAU15의 총거래량은 180만톤(장내거래, 정부예비분 공급 27만톤 제외)이며,
- 총 거래금액은 267억원(장외거래 포함)이었음

[그림 V-13] KAU15 거래 동향

- (상쇄배출권(KCU)) 할당대상기업이 외부사업 인증실적(KOC)나 청정개발체제 인증실적(CER)을 전환한 배출권으로 할당배출권과 마찬가지로 거래, 보유 유연성이 높음
- 할당배출권과 동일하게 별도의 전환 절차 없이 제출 가능하므로 국내 활용성이 높은 편이지만, 해당연도 배출 인증량의 10%까지 제출 가능
- 보유기한에 따른 리스크가 존재하고 외부사업 인증실적의 장내거래가 가능해짐으로써 잠재적 거래량은 감소할 것으로 예상

[그림 V-14] KCU15 거래 동향

- (외부사업 인증실적(KOC)) 외부사업 사업자가 외부사업을 통하여 인증한 실적으로 거래 유연성이 높고 보유기한이 없음
  - 보유기한이 없으므로 보유 유연성이 높지만, 상채배출권으로 전환하는 절차가 필요
  - 기존에 장내거래가 불가능한 상황에서 매수자와 매도자 간의 정보 부족으로 거래가 원활하지 않았으나, 5월 23일 배출권거래소 신규상장을 통해 거래량이 점차 증가할 것으로 예상

[그림 V-15] KOC 거래 동향

- (청정개발체제 인증실적(CER)) 청정개발체제 사업을 통하여 인증된 실적으로 장외거래만 가능
- 외부사업 인증실적과 마찬가지로 상쇄배출권으로 전환하는 절차가 필요하므로 국내 활용성이 낮지만,
- 국내 CERs가 KOCs로 발행됨에 따라 잠재적 거래량은 높을 것으로 예상

#### 다. 국내 배출권거래제 연계방안

- 할당되는 유상배출권을 탄소자원화 실적과 연계
  - 배출권거래제가 시작된 2015년부터 2017년까지의 1차 계획기간에서는 제도의 안정적인 정착을 위해 100% 무상할당이 이루어짐
  - 하지만 2차 계획기간이 시작되는 2018년부터는 유상할당이 점차 확대될 예정(2차 계획기간('18~'20) 3%, 3차 계획기간('21~'25) 10% 이상)
  - 할당되는 유상배출권을 탄소자원화 사업을 통해 발생한 저감실적과 연계하여 인센티브 부여
  - 탄소자원화 실적이 연계된다면, 상대적으로 할당량에 비해 배출량이 적은 대기업의 적극적인 참여가 기대됨
- 탄소자원화 실증사업에 대한 '배출권거래제 외부사업 등록 방법론 개발 및 승인'을 통해 저감실적 인증
  - 배출권거래제는 배출권의 적용기업 할당 외에, 제도의 유연성을 높이기 위해 상쇄제도를 두고 있음
  - [그림 V-15]와 같이, 상쇄제도는 외부사업 인증실적(KOC) 및 CDM

사업의 인증실적(CER)을 통해 상쇄배출권(KOU)을 확보할 수 있게 함

- 탄소자원화 사업을 통해 발생한 저감실적을 외부사업에 등록하는 방법론 개발 및 승인이 이루어진다면,
- 기업들이 탄소자원화를 통해 상쇄배출권을 확보하고자 하는 유인을 제공할 수 있을 것으로 기대

[그림 V-16] 배출권 상쇄제도

□ 탄소자원화를 통한 해외 청정개발체제 인증실적(CDM CER)으로 상쇄배출권 (KOU) 확보

- 2020년부터 국내 배출권거래제에 해외 청정개발체제 인증실적(CDM CER)이 외부사업 인증실적(KOC)으로 승인 가능
- 탄소자원화 사업을 통한 해외 CDM CER이 국제탄소시장 뿐만 아니라, 국내의 KOC로 승인될 수 있는 방법론 개발 필요

- 배출권거래제도와와의 간접적인 연계방안으로, 확보된 탄소자원화 기술의 이전을 통해 할당기업의 부담완화
- 실증성과(경제성, CO2 감축 등) 홍보를 통해 공정특허, 촉매, 반응기 및 설계패키지(플랜트 설계집 및 플랜트 운전·제어 기준 등)를 국내 기업으로 이전
- 기술이전 기업의 기술 상용화를 통해, 유관 기업들로 실증 기술이 확산되고 산업계 온실가스 배출량 감축을 촉진

### 3. 해외 진출을 통한 탄소크레딧 확보 및 경제적 가치 창출

#### 가. 기후변화협약 및 국제사회 대응 노력

- 기후변화체제는 2015년 파리협약이 체결되면서 신기후체제로 전환
- (1992년 유엔 기후변화협약 채택) 기후대응 목표, 기본원칙 등 추가 협상 기반 조성
- (1997년 교토의정서 채택) 선진국의 감축의무 및 유연성 체제 도입
- (2015년 파리협정 채택) 신기후체제 플랫폼으로서의 파리협정 채택
  - 4년간의 협상 끝에 모든 국가가 참여하는 보편적 기후변화 대응체제 수립
- 파리협정 채택 11개월만에 공식 발효(2016년 11월 4일)
  - 미·중의 동시 비준(9.3), EU, 인도 등의 조속한 비준 등으로 조속한 발효 모멘텀 마련(우리나라는 11.3 97번째로 비준)

[그림 V-17] 기후변화협약 및 국제사회 대응 노력

## 나. 파리협정의 주요 내용

### 지속가능발전 메커니즘

- (개념) 국제기구 주도의 융양집권적 감축사업 등록 추진(기존 CDM 방식과 동일)
- (이슈) 기존 CDM 제도의 개편논의(환경건전성 부분 강화 등)
- (잠재성) 국제적 제도로 활성화 측면 및 감축실적 잠재성 측면 우수 (리스크가 가장 낮음)
- (전략) 단기적 시장선점 및 확대전략(선호도 가장 우수 전망)

### 협력적 접근법

- (개념) 파리협약 당사국회의(CMA)\*에서 정한 기준에 따라 양자 간 협력하여 감축추진(예: 일본 JCM방식(양자협정))

\* 파리협약 당사국회의(CMA, the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement)



○ (이슈) 파리협약 당사국회의(CMA)의 기준에 따른 국가별 제도 수정 등 필요(이중계산 방지방안, 접근방법 등)

○ (잠재성) 감축달성량(ITMO)\* 창출보다 선진기술의 수출확대 목적 활용전망(JCM 벤치마크 필요)

\* 감축달성량(ITMO, Internationally transferred mitigation outcomes)

○ (전략) 중장기 측면에 전략마련 필요(이중계산 등 핵심적 고려 필요)

□ 비시장 접근법

○ (개념) 감축과 적응을 포괄한 개도국 기술지원 및 역량강화 추진

○ (이슈) 비시장접근법의 중요성 인식 확인 정도로 개념 구체화 논의 (탄소시장 및 NDC\* 연계성 등 구체화 필요)

\* 감축기여방안(NDC, National Determined Contribution)

○ (잠재성) 기후재원과 연계한 개도국의 역량강화 지원사업 연계 전망 (CTCN 지정 등)

\* CTCN(Climate Technology Centre and Network) : 기후기술센터-네트워크

○ (전략) 단기적 기술이전, 역량강화 추진(ODA사업과의 차별화 방안 필요)

[그림 V-18] 파리협정의 주요 내용

## 다. 해외 진출을 통한 탄소크레딧 확보 및 경제적 가치 창출

### (1) 개도국 협력

#### □ CDM 방법론 개발 및 UNFCCC 승인

○ 국제적인 온실가스 감축기술로 인정받기 위해서는 UNFCCC CDM 방법론으로 승인이 필요(승인없이 국제적 배출권 확보 불가)

○ 따라서 연구의 성과로 반드시 CDM 방법론 승인이 포함되어야 함

\* 방법론 개발에서 끝나는 것이 아니라, 승인까지를 포함한 실적창출이 필요

\*\* [그림 V-18]는 CDM 사업 등록 세부절차를 나타냄

#### □ CDM 사업운영(모니터링) 체계화

○ [그림 V-19]와 같이, CDM 사업 등록 절차를 통해 승인을 받은 이후 CDM 사업운영이 적절히 이루어졌을 때 최종적으로 CER 확보 가능

○ CER 확보를 위한 탄소자원화 사업운영 및 모니터링의 체계화 필요

□ 해외 기후기술 수요조사를 통해 국내 실증이 완료된 기술을 개도국 맞춤형 적정기술화\*하여 해외 실증, 기술이전 및 CDM 등록 추진

\* 현지 기후 및 자연·사회 환경 여건에 맞게 변형 (예: 폐지, 하수 슬러지 및 녹조 등을 탄소광물 기술을 통해 친환경제지 등 유용제품으로 생산)

- CTCN\* 등의 기후기술협력 네트워크를 활용하여 개도국의 기후기술 수요와 자체 감축계획을 파악, 전략적 기술이전 및 탄소크레딧 확보 추진

\* CTCN(Climate Technology Centre and Network) : 기후기술센터-네트워크

[그림 V-19] CDM 사업 등록 세부절차

[그림 V-20] CDM 사업운영(모니터링) 세부절차

## (2) 선진국 진출

- 경제성 및 온실가스 감축이 실증된 공정기술을 해외로 수출(기술이전 및 플랜트 수출 등)하여 경제적 부가가치를 창출
  - 조인트 벤처 설립을 통한 탄소자원화 기술사업화 활성화 및 시장진입
  - 기술적 보완성이 높은 영역을 중심으로 국내외 기업들 간 핵심 지식재산권(IPRs, Intellectual Property Rights) 공유 및 전략적 협력을 통한 파트너십 구축
- 양자·다자간 협의를 통해, 기술·플랜트 수출과 동시에 탄소크레딧을 확보 할 수 있는 체계 개발(사례: 일본 양자 공동 크레딧 체계, JCM)
  - 국가간 탄소크레딧과 금전적 수익을 협의·배분하여 기술·플랜트 수출과 동시에 일부 탄소크레딧을 확보

\* 現 기술플랜트 수출의 경우 현지에서 감축한 온실가스에 대해 탄소크레딧 불인정

※ JCM(Joint Crediting Mechanism) 참고자료

- ▶ (과정) 양국간 공동으로 온실가스 감축 프로젝트를 수행 양측 합의로 탄소크레딧 분배
  - 온실가스 인벤토리 구축을 통한 감축사업 도출 → 온실가스 감축기술 이전  
→ 적응 전략수립 통한 적응 사업 도출 → JCM 크레딧 획득
  - 전문가 섭외 및 파견, 지원사업 진행할 민간기업 선정, MRV 수행

(3) 국제적 온실가스 감축기술로의 인정 및 신뢰성 확보

- 실증과정에서 도출된 온실가스 감축 산정기술의 국·내외 홍보를 통해 감축 효과에 대한 투명성 확보 및 배출권 연계 관련 공감대 형성
- 온실가스 감축 산정기술의 다각적 홍보\*를 통해 산정기술의 국제 신뢰도 제고 및 국제기준(MRV)\*\* 선도

\* NDE 활동, 글로벌 공동 연구 및 국제 컨퍼런스 발표 등 글로벌 협력

\*\* Measurement, Reporting and Verification: 온실가스 측정·보고·검증 기법

※ NDE 참고자료

- ▶ (기능) 유엔기후변화협약 下 기술개발·이전을 위한 당사국 소통창구로 기술메커니즘 연계하는 대·내외 협력 구심점 역할 수행
  - 개도국: 기후기술센터네트워크(CTCN)를 통해 기술지원 요청
  - 선진국: 기후기술 관련 자국기관과의 협업을 통해 CTCN에 정보·기술 지원
- ▶ (현황) 197개 당사국 중 153개국에서 NDE 지정('16.10 기준)
  - 우리나라는 미래부 內 기후기술협력팀을 신설하여 NDE 역할을 수행

## 제4절 기대효과

- (온실가스 감축) 사업성과('25) 750만톤/연, 기대효과('30년) 2,500만톤/연
  - 사업성과('25, 연간) 부생가스 전환 450만톤, CO2 광물화 300만톤
  - 기대효과('30, 연간) 부생가스 전환 1,500만톤, CO2 광물화 1,000만톤
  
- (경제적 가치 창출) 사업성과('25) 4.9조원/연, 기대효과('30년) 16.3조원/연
  - 사업성과('25, 연간) 탄소자원화 제품생산 4.9조원
    - ※ 부생가스 전환 : 3.7조원, CO2 광물화 : 1.2조원
    - ※ BTX(벤젠·톨루엔·자일렌) 수요량('25년 200Mt)에 근거, '22년 실증화 완료 후 상용 플랜트 4기 건설(부생가스 관련 2기, 폐탄소원 관련 2기)
  - 기대효과('30, 연간) 탄소자원화 제품생산 13.6조원, 플랜트 수출 2.7조원
    - ※ 제품생산= 부생가스 전환 : 9.6조원 + CO2 광물화 : 4조원
    - ※ BTX(벤젠·톨루엔·자일렌) 수요량('30년 225Mt)에 근거, 상용 플랜트 20기(3.3기/연) 수출<sup>1)</sup>
  
- 파급효과
  - 주력산업 경쟁력 강화 및 지속적 성장 토대 마련
  - 탄소자원화 세계 1위 기술국으로 글로벌 시장 창출 및 선도

1) 25만톤 생산규모 플랜트 가격: 8,000억원

[그림 V-21] 온실가스 감축 및 경제적 가치 창출 기대효과

참고 : 기술개발 전략 (기대효과)

□ 탄소자원화 플러그칩

<부생가스 전환 기술개발>

제품	시장 규모 (만톤/년) <sup>1)</sup>	시장 가격 (만원/톤) <sup>2)</sup>	탄소자원화 사용량 (만톤) <sup>3)</sup>			부생가스 발전 신재생에너지 활용률 (%) <sup>4)5)</sup>			제품 생산 (만톤/년) <sup>6)</sup>	온실 가스 저감 (만톤/년) <sup>7)</sup>	시장 대체 효과 (십억/년) <sup>8)</sup>	세계 시장 점유 (%) <sup>9)</sup>
			CO	CH4	H2	CO	CH4	H2				
<b>① 부생가스 활용 청정 액체연료 (메탄올, 에탄올, 경유) 생산기술</b>												
메탄올	18,041	81	208	-	28	4.5	-	7.4	226	273	1,833	1.25
에탄올	20,200	115	139	-	19	3.0	-	5.0	109	183	1,268	0.54
경유	359,440	282	301	-	44	6.6	-	11.5	146	393	4,147	0.04
합계	-	-	741			38			482	850	7,249	-
<b>② 부생가스 활용 플라스틱 원료 생산기술</b>												
에틸렌	43,510	179	-	49	-	-	1.1	-	40	105	731	0.09
벤젠	12,823	168	182	-	18	4.0	-	4.8	80	244	1,358	0.62
합계	-	-	249			9.8			121	349	2,090	-
<b>(①+②) 부생가스 전환기술</b>												
합계	-	-	831	49	110	18	1.1	28	603	1,200	9,339	-

1) 2030년 세계 시장규모 예측, 연평균 성장률(CAGR) 6% 고려; 메탄올('13년): 6,700만톤, 에탄올('16년): 662만톤, 경유('12년): 2,608만 배럴/일 (생산량), 에틸렌('14년): 16,158만톤, 벤젠('11): 4,238만톤, 괄호()표시는 국내시장규모.

2) 2030년 세계 시장가격 예측, 공업제품 물가상승률('10~'15 국내평균) 2.62% 고려; 메탄올('13년): \$442/톤 (북미), 에탄올('11년): 6,600만톤, 경유('14): 1,555원/리터 (국내, 세후공장도), 에틸렌('14년): \$978톤 (북미), 벤젠('14): 1,117천원/톤(국내), 환율('16년 1월 기준): 1,213원/\$ 고려

3) 정의: 탄소자원화공정 적용시 발전에 사용되는 부생가스 일부 분리, 정제하여 사용, 부생가스 내 CO2는 분리하지 않음

계산식: (제품생산량)×(가스 활용비), (가스 활용비) = (몰수 × 가스 분자량) ÷ (몰수 × 제품 분자량), (가스 분자량)은 CO, H2, 또는 CH4 중 선택

화학반응식 고려 계산, 탄소전환효율 95% 가정, 미전환 탄소원은 CO2로 전환, 미전환 수소는 발전전력으로 재사용

메탄올	CO + 2H2 → CH3OH
에탄올	2CO + 4H2 → C2H6O
경유	12CO + 28H2 → C12H28 + 12H2O
에틸렌	2CH4 + O2 → C2H4 + 2H2O
벤젠	6CO + 9H2 → C6H6 + 6H2O

4) 정의: 화력발전소 내 탄소자원화공정으로 분리된 부생가스의 전기에너지 보충분을 신재생에너지('30년)로 대체, 부생가스 발전효율 45% 고려



- 계산식: (신재생에너지 보충분) ÷ (2030년 신재생에너지 총량)
- 5) 2030년 신재생에너지 총량: 국내 총 발전량 대비 신재생에너지 보급률 (9.7%) 고려; 2014년도 국내 총발전량: 546,249 GWh, 국내 총 발전량 증가율: 0.58%,
- 6) 정의: 분리, 정제된 부생가스 활용 제품 생산, 3)의 화학반응식 고려
- 7) 정의: 분리, 정제된 부생가스 활용 제품 생산 시, 발전용으로 부생가스 연소시 배출되는 CO2 배출저감 효과, 부생가스 대체 발전량은 신재생에너지로 공급
- 계산식: (탄소자원화 부생가스 사용량) × (연소시 탄소배출량) - (신재생에너지 CO2 배출계수) × (부생가스 대체 발전량), (연소시 탄소배출량)은 CO, H2 또는 CH4 중 선택, (신재생에너지 CO2 배출계수, 태양전지 기준) = 0.054 tCO2/MWh
- 화학반응식 고려 계산, 연소효율 45% 고려
- CH4:  $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$   
 CO:  $CO + 0.5O_2 \rightarrow CO_2$   
 H2:  $H_2 + 0.5O_2 \rightarrow H_2O$
- 8) 정의: 2030년 기준, 탄소자원화 제품의 시장 대체 시장규모, 2)의 및 시장가격 고려
- 9) 정의: 2030년 기준, 탄소자원화 제품의 세계시장 점유 시장규모, 괄호()표시는 국내시장 대체율, 2)의 및 시장규모 고려

<유기성 폐기물 전환 기술개발>

탄소폐기물	바이오에너지 발생량	에너지량 <sup>1)</sup>	원유환산량 <sup>2)</sup>
음식물쓰레기 <sup>3)</sup>	311.22 백만 m <sup>3</sup>	0.27 백만 TOE	1.7 백만 배럴
하수슬러지 <sup>3)</sup>	147.42 백만 m <sup>3</sup>	0.13 백만 TOE	0.82 백만 배럴
가축분뇨 <sup>3)</sup>	1,330.88 백만 m <sup>3</sup>	1.14 백만 TOE	7.17 백만 배럴
<b>계</b>	<b>1,789.52 백만 m<sup>3</sup></b>	<b>1.54 백만 TOE</b>	<b>9.69 백만 배럴</b>

1) 메탄에너지 = 8.54 MCal/m<sup>3</sup>, 1 TOE = 10,000 MCal

2) 1 TOE = 원유 6.29 barrrel

3) 2030년까지 유기물의 메탄가스 전환율을 농업부산물/기타 유기성 폐기물을 활용하여 각각 80%, 60%, 65%로 전환하는 기술을 개발한다고 가정

(현재 최고기술수준: 60%, 30%, 40%, 에너지환산 1백만 TOE)

○ 이산화탄소 저감량: 바이오에너지를 통해 저감되는 원유가 발생시켰던 CO2량 만큼 저감된다고 가정  
 - 1,540,000 m<sup>3</sup> × 0.9 ton/m<sup>3</sup> (석유비중) × 3.06 (석유의 이산화탄소 배출량) = 4.24 백만톤

○ 2030년까지 전체 바이오에너지의 70%를 이용한다고 가정\*

\*(근거) 우리나라의 현재 탄소폐기물 수집이용율은 10%미만이며, 세계 최고수준인 독일도 30% 수준: 2020년까지 덴마크의 경우 50%의 이용율 목표이며, 본 과제에서는 2030년까지 70% 수집이용율 가정

- CO2 저감량 = 4.24 × 0.7 = 3백만 톤

○ 부가가치 산출: 바이오에너지를 통한 원유수입 대체효과\* 고려

\*(근거) 2030년까지 기술개발을 통한 탄소폐기물기인 에너지 증가분 3.4 백만 배럴 × \$75/배럴 (2030년까지의 평균 원유가격가정) × 1200원/\$ (환율) = 3,000억원

- 기술개발 완료후 부가가치 = 3천억원

● 탄소 전환 효과= 부생가스 전환+유기성 폐자원

● 온실가스 감축효과= 부생가스 1200만톤 + 유기성 300만톤= 1500만톤

● 경제적 가치= 부생가스 9.3 조+ 유기성 0.3조=9.6조

<CO<sub>2</sub> 광물화 기술개발>

'30년 제품 목표량' (만톤/년)			CO <sub>2</sub> 활용량 (온실가스 저감) <sup>2)</sup>		제품 예상 판매가 (만원) <sup>3)</sup>	경제적 효과 (만원/년) <sup>4)</sup>			경제적 효과 (만원/CO <sub>2</sub> -톤 )	
국내	세계	소계	%	만톤/년		제품	탄소세	소계		
① 그린시멘트(기술) - 친환경 투수블럭, 콘크리트(활용) <sup>5)</sup>										
300	2,200	2,500	2	50	7.5	187,500,000	900,000	188,400,000	376.8	
② 폐광산 기능성 탄산염(기술) - 폐광산 탄산염 충전재(활용) <sup>6)</sup>										
280	2,000	2,280	25	570	5.0	114,000,000	10,260,000	124,260,000	21.8	
③ 폐지펄프 침강성탄산칼슘(기술) - 친환경 고급용지(활용) <sup>7)</sup>										
120	180	300	75~100	280	30~100	72,600,000	50,040,000	77,640,000	27.7	
④ 석회수 활용 나노소재 탄산칼슘, 자동차용 복합소재(활용) <sup>8)</sup>										
11	117	128	79	100	10~250	41,218,000	1,820,160	43,038,160	42.6	
(①+②+③+④) CO <sub>2</sub> 광물화 기술										
합계				1,000	-	415,318,000	18,020,160	433,338,160	-	

- 2030년 국내 및 세계 시장규모 예측, 각 산업별 상황을 고려하였으며, ① 국내 시멘트 산업은 '14년 대비 소폭 감소, ② 전력산업은 '14년 기준 신규 석탄화력(CFBC) 발전소 건설에 따른 증가, ③ 제지산업은 '14년 시장 기준 동등, ④ 소재산업은 '14년 시장 기준 동등으로 고려.
- CO<sub>2</sub> 광물화에 따른 활용(감축)량은 각 기술에 따라 차이를 보임. CO<sub>2</sub> 활용 %는 1톤의 물질 기준 CO<sub>2</sub> 활용량을 의미. (계산식 : CO<sub>2</sub> 활용량(만톤/년) = 전체 목표량 X CO<sub>2</sub> 활용 % / 100)  
- 화학식 : CaO + H<sub>2</sub>O => Ca(OH)<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub> -> CaCO<sub>3</sub>
- CO<sub>2</sub> 광물화에 따른 각 제품별 예상 판매가는 현재 거래 중인 가격을 참고하였으며, 일부 가격은 정부 또는 자치단체의 상황에 따라 변동될 가능성이 있음.
- CO<sub>2</sub> 광물화에 따른 경제적 효과는 제품 판매가와 목표량을 고려하여 산정하였으며, 탄소세는 '14년 KVER 지원금 12,000원/톤의 향후 CO<sub>2</sub> 크레딧 가격 상승을 고려하여 산정.
- 그린시멘트 기술을 활용한 친환경 투수블럭, 콘크리트 적용은 1톤의 물질 대비 0.02톤의 CO<sub>2</sub> 활용량을 적용하였으며, 제품 예상단가는 75,000원/톤을 적용.
- 폐광산 기능성 탄산염 기술을 활용한 폐광산 탄산염 충전재 적용은 1톤의 물질 대비 0.25톤의 CO<sub>2</sub> 활용량을 적용하였으며, 제품 예상단가는 50,000원/톤을 적용.
- 폐지펄프 침강성탄산칼슘 기술을 활용한 친환경 고급용지 적용은 1톤의 물질 대비 0.75톤의 CO<sub>2</sub> 활용량을 적용하였으며, 제품 예상단가는 300,000원~1,000,000원/톤을 적용.
- 석회수를 이용한 나노소재 탄산칼슘, 자동차용 복합소재 적용은 1톤의 물질 대비 0.79톤의 CO<sub>2</sub> 활용량을 적용하였으며, 제품 예상단가는 100,000원~2,500,000원/톤을 적용.

○ 탄소자원화 플랜트 수출 2.7조원/년

\* BTX 공정 관련 기술의 상용화 시점을 '25년으로 잡고 '30년까지의 예상 수요량을 근거로 예상플랜트 건설대수를 예측하고 목표시장점유율을 고려하여 플랜트 수출 기대효과 추정

\* (산식1)  $25\text{MT} = 25\text{만T} * X / 0.2 \implies (X = 20\text{개})$

\* (산식2)  $20\text{개} * 8000\text{억원} / 6\text{yrs} = 2.67 \text{조원/년}$

산출물	추가수요량	목표점유율	플랜트1기당 생산량	예상 플랜트 건설대수	비고
BTX	25Mt	20%	25만톤	20	$25 * 0.2 / 0.25 = 20$

\* BTX의 수요량 추정 : 200 Mt('25년), 225 Mt('30년) (IEA, '13)

\* 플랜트 건설비용 추정 : 1기당 8,000억원

## 참고문헌

- 관계부처 합동(2016), 「新기후체제 대응을 위한 탄소자원화 발전전략 및 과학외교 강화방안」,  
『제33차 국가과학기술자문회의 대면보고 자료』.
- 관계부처 합동(2016), 「9대 국가전략프로젝트: 탄소자원화」, 『제2차 국가과학기술전략회의  
대면보고 자료』.
- 관계부처 합동(2016), 「제1차 기후변화대응 기본계획」.
- 국회기후변화포럼·국회입법조사처(2016), 「COP22 협상결과와 향후 과제」, 『정책심포지엄』.
- 미래창조과학부 보도자료(2016. 3. 18.), 「온실가스 배출권 인증위, 상쇄배출권 393만톤 승인」.
- 미래창조과학부 보도자료(2016. 12. 12.), 「정부 “탄소자원화 국가전략프로젝트 실증 로드맵”  
발표」.
- 연구성과실용화진흥원(2017), 「탄소자원화 기술 및 시장 동향 보고서」, 『S&T Market Report』,  
Vol. 44.
- 이충국(2016. 12. 15.), 「기후변화와 탄소광물화 -강원도 탄소광물화 추진 전략-」. 『탄소광물화  
세미나』, 과학기술정책연구원.
- 과학기술정책연구원·한국화학연구원·한국지질자원연구원(2016), 「탄소자원화 기술개발 -  
신기후체제 대응을 위한 역발상 “탄소폐기물의 자원화” -」.
- 정순용 외(2016), 「탄소자원화 전략 수립을 위한 기획연구」, 한국화학연구원.
- 환경부·한국환경공단(2014), 「온실가스 배출권거래제 상쇄제도」.
- 한국환경정책평가연구원(2015), 「배출권거래제 현황 및 이슈」, 『KEI 포커스』, Vol. 3(2).
- Cantner, U. & Pyka, A. (2001), “Classifying Technology Policy from an Evolutionary  
Perspective”, *Research Policy*, 30(5), pp. 759–775.