기후변화 재난재해 예방을 통한 스마트 그린 도시 구축

2019. 10. 08

한국과학기술연구원
Korea Institute of Science and Technology
최재영

1.1 개요

정부가 업종별로 배정한 CO2 할당량과 업계요구량의 차이를 2010년 EU배출권 평균가격인 2.1만원을 기준으로 환산

정부방침 과징금 상한선 10만원 적용 시

환경부에 이의신청한 기업

업종	주요 기업
석유화학	LG화학, 롯데케미칼, 삼양사
발전에너지	한국전력, 남동발전
철강	동국제강, 노벨리스코리아
항공	대한항공, 아시아나항공, 제주항공
자동차	르노삼성자동차, 쌍용자동차
기타	전주시, 삼화제지

※총100여개사(12월31일 기준)

영업이익 2천억
배출권구매 1.5천억

탄소배출량이 부족해 탄소배출권을 사고 싶어하는 업체만 있고 **매각 가능 업체는 전무**

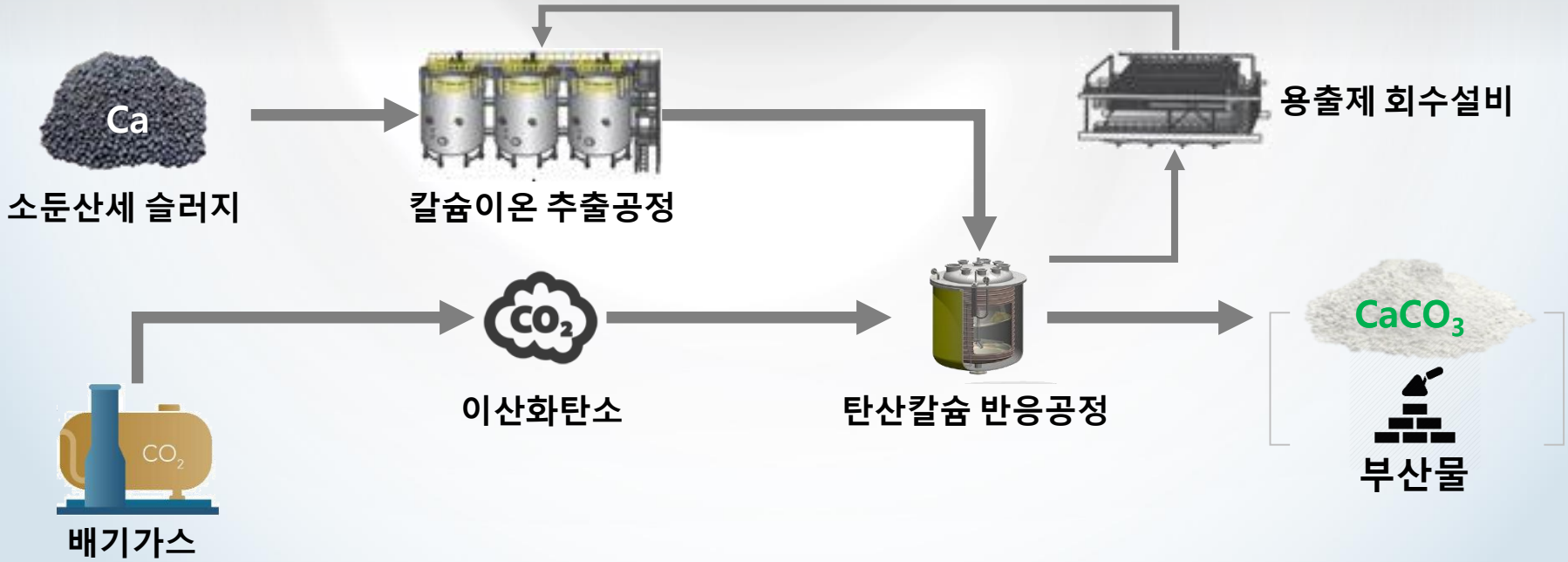
기술개발에 따른 탄소배출권시장 확보 가능성은 큼

1.1 개요

품목명 : 제철 슬러지 탄산화를 통한 CO_2 저감 및 부산물 고부가화 기술개발

□ CO_2를 활용하여 소둔산세 슬러지 탄산화, 처리하는 파일럿 공정개발 및 상용공정 기본설계 기술

슬러지 & CO_2 저감기술 주 유형 + 부산물 생산기술 부가유형1 + 플랜트 설계기술 부가유형2



1.2 연구개발의 필요성

이산화탄소 & 소둔산세슬러지 저감기술 필요

국내산업 애로사항

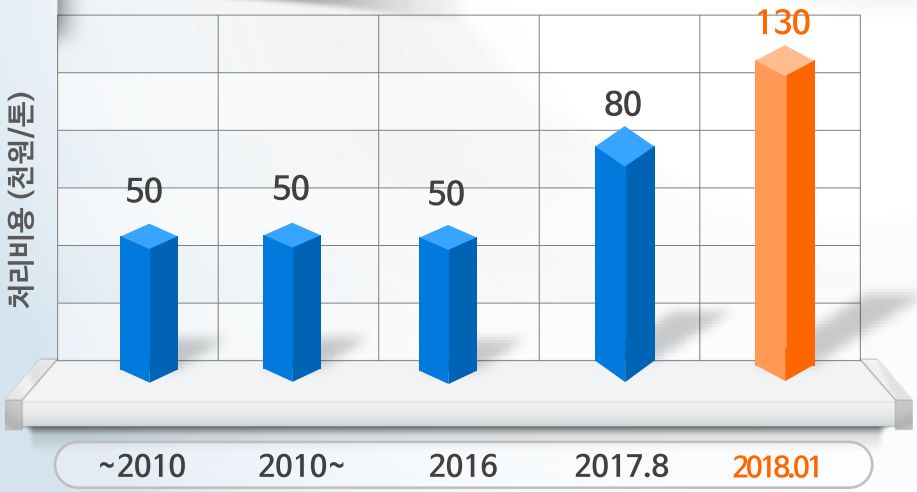
- 2015 탄소 배출권 거래 시행
- 이산화탄소 대량 저감기술 필요
- 제철슬러지 발생량 저감 기술 필요
- 경제적 CO_2 저감 및 슬러지 처리 BM 모델 필요

중점개선 방법

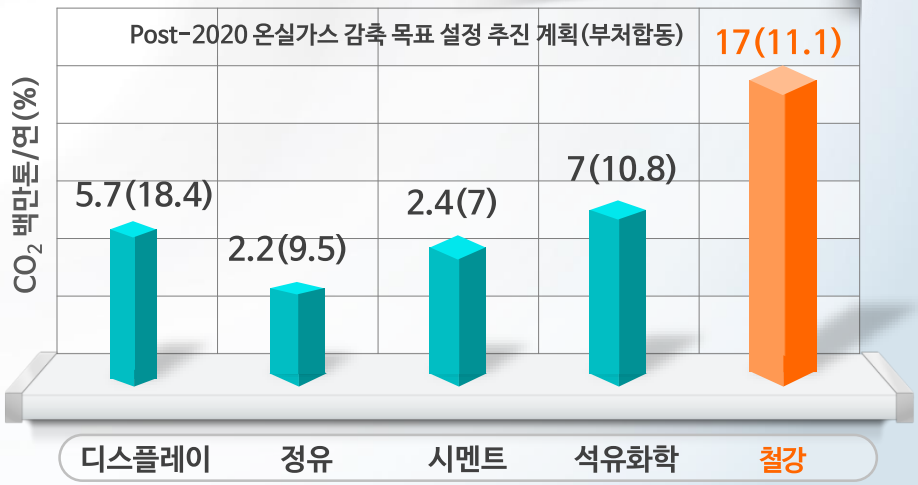
- 광물탄산화기술을 통한 CO_2 대량 저감기술제공
- 제철슬러지내 효율적 Ca 추출 방법 제시
- 잔여 슬러지의 재활용 모델 제시
- Full system 구축 계획(안) 제공

경제적 필요성

소둔산세 슬러지 처리비용 증가



산업 분야별 이산화탄소 저감(2030 730만톤)

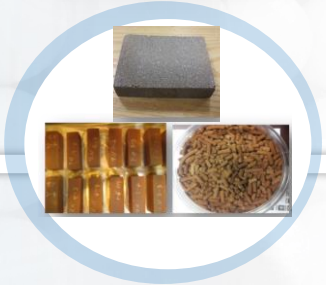


1.3 기술개발 개념도

소둔산세 슬러지발생

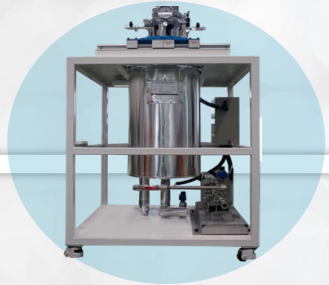
Ca 추출단계

배기가스주입



소제개발

Pilot 구축



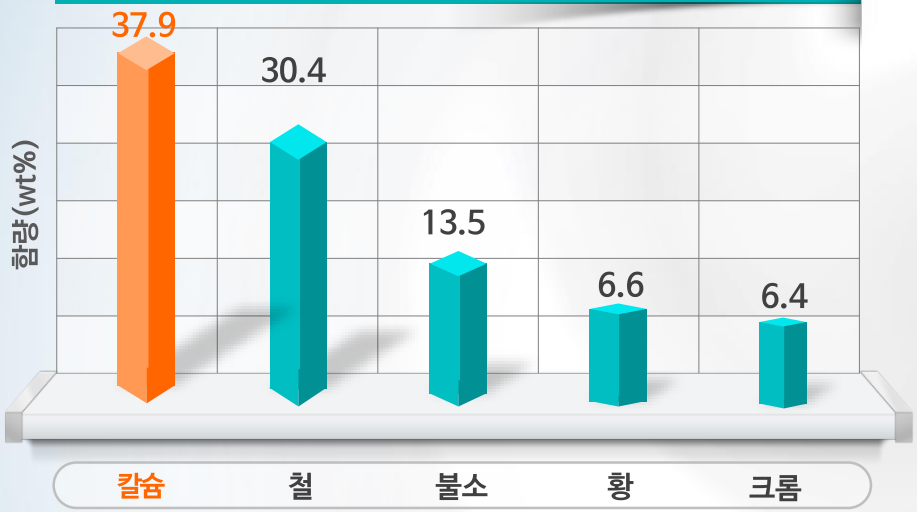
$CaCO_3$ 생성/반응기

- **소둔산세슬러지**
  - ▪스테인레스강의 산세과정 중 발생하는 폐수 → 소석회, 가성소다, 응집제투입 중화처리 → 다량의 철 슬러지 발생 → 침전 → 필터 압착 → 소둔산세슬러지발생
- **탄산칼슘**
  - ▪칼슘 + 이산화탄소 반응으로 탄산칼슘 형성
  - ▪고부가 침강형 탄산칼슘 제조: 입자 크기, 침강형 탄산칼슘 순도 결정기술 필요

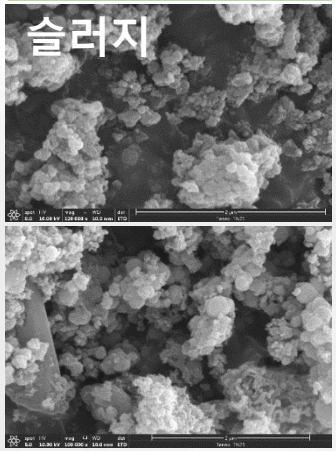
1.3 선행연구 (KIST)

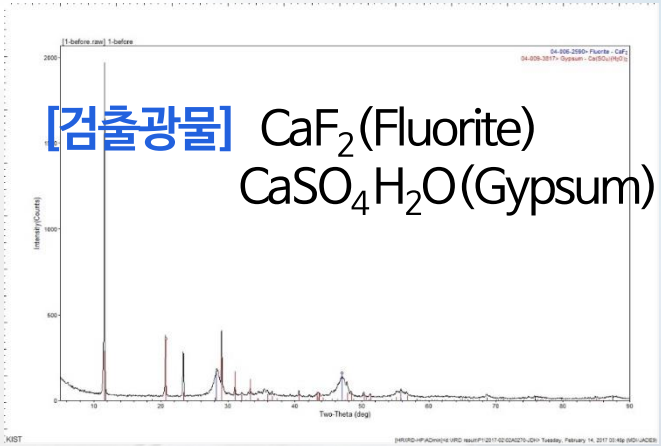
소둔산세 슬러지

소둔산세슬러지 원소분석(XRF)



SEM, XRD





추출용액 별/소둔산세슬러지전처리별 추출효율

Ca 농도 (%)

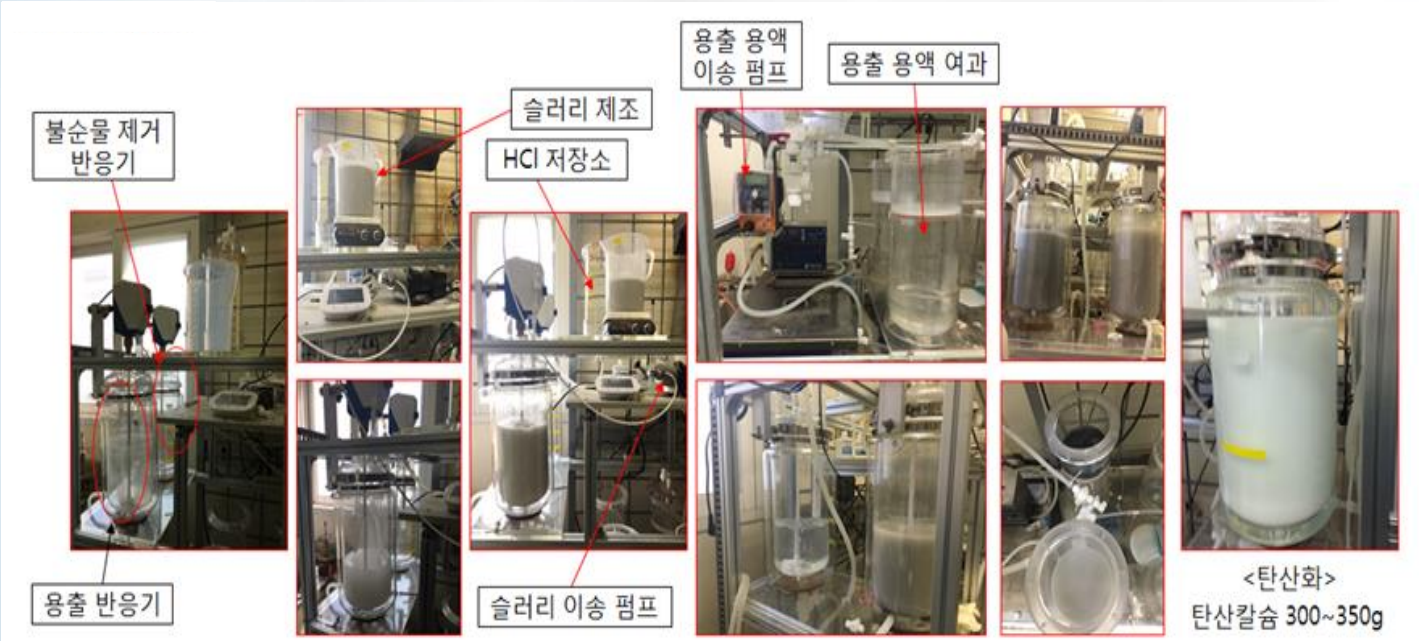
	추출액1	추출액2	추출액3	추출액4	추출액5	추출액6	추출액7
비전처리	10.5	7.5	13.8	**11.5**	9.3	8.0	4.6
전처리	30.6	22.5	43.6	**38.4**	25.6	12.3	10.8

☑ Lab Scale 규모의 칼슘 용출실험을 수행

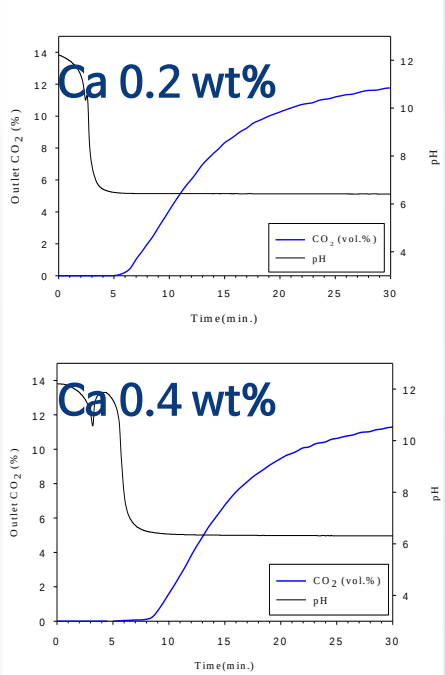
1.3 선행연구 (KIST)

광물탄산화 반응기 설계 연구(실내)

1차용출 및 불순물처리	불순물제거 2차용출	탄산화진행



Ca 농도에 따른 CO_2 Gas 변화



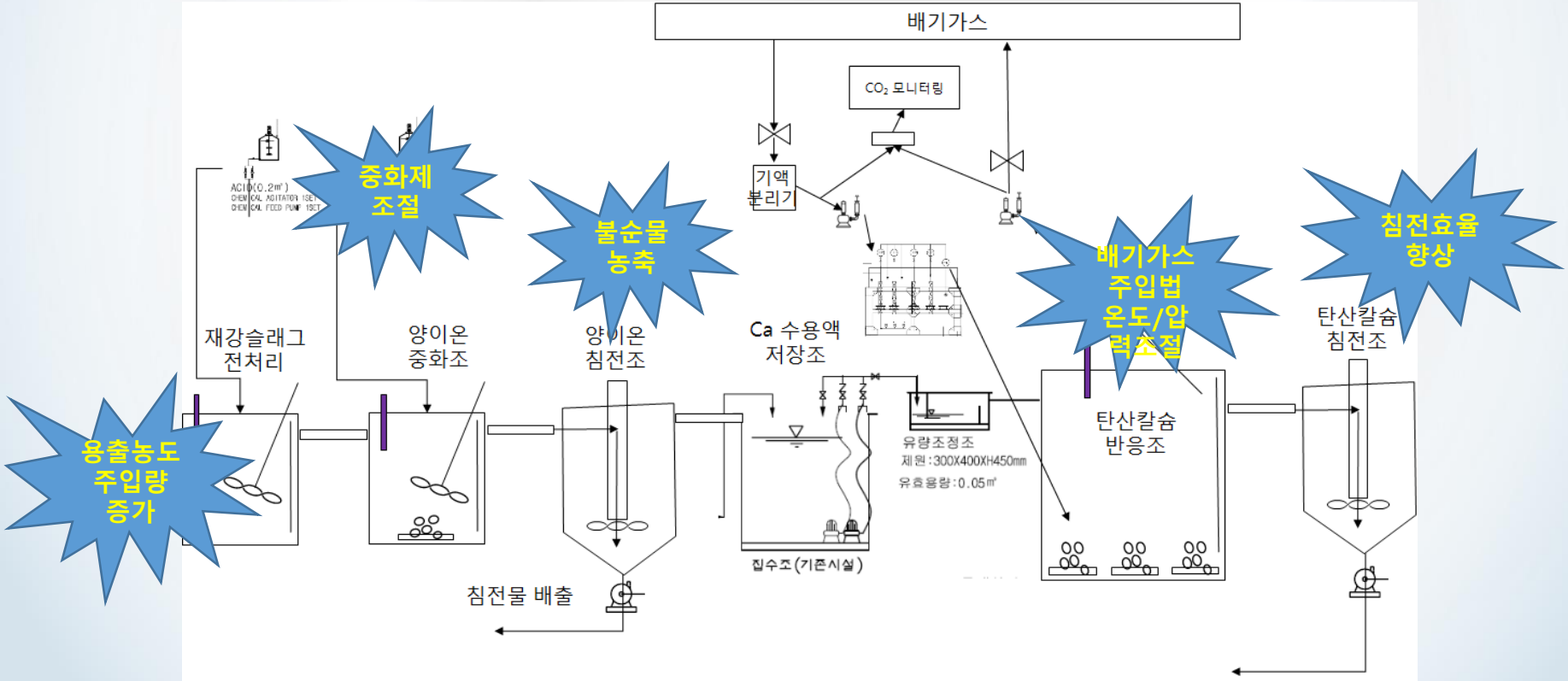
- [Ca] Ca 고농도 염수
- [CO_2] 상업용 CO_2
- [$CaCO_3$] 나노크기의 탄산칼슘 소재

☑ Bench Scale 규모의 탄산칼슘 제조실험을 수행

2.3 연차별 연구내용(KIST)

연구내용

- 배기가스 source 별 탄산염 광물 생성 인자 도출
  (시멘트공장, 화력발전소, 석유화학공장, 제철소 등)



2.3 연차별 연구내용

연구내용

Pilot Test 대상부지 선정 확보

- 원위치 이산화탄소 저감시설 구축
- 현장 업무 협조 진행
- 배기가스 공급 방법 확보
  - 중화처리시설 및 배기가스 거리 50~100 m 이격
  - 25A 스테인리스배관(STS316) 라인 설치
  - 1차안전밸브 설치
  - KIST 나노버블 system 과 연결 방법 고안

공정 발생 슬러지 성상유지기술 확보

- 폐수 유입 pH 에 따른 소석회/NaOH 사용량 다변화
- 소둔산세 슬러지의 Ca, Fe 함량 변화
- 소석회 사용량 최적 조절
- 소둔산세 슬러지내 Ca 함량 유지기술 확보 (50~60%) Slurry상태 적용방법 고안

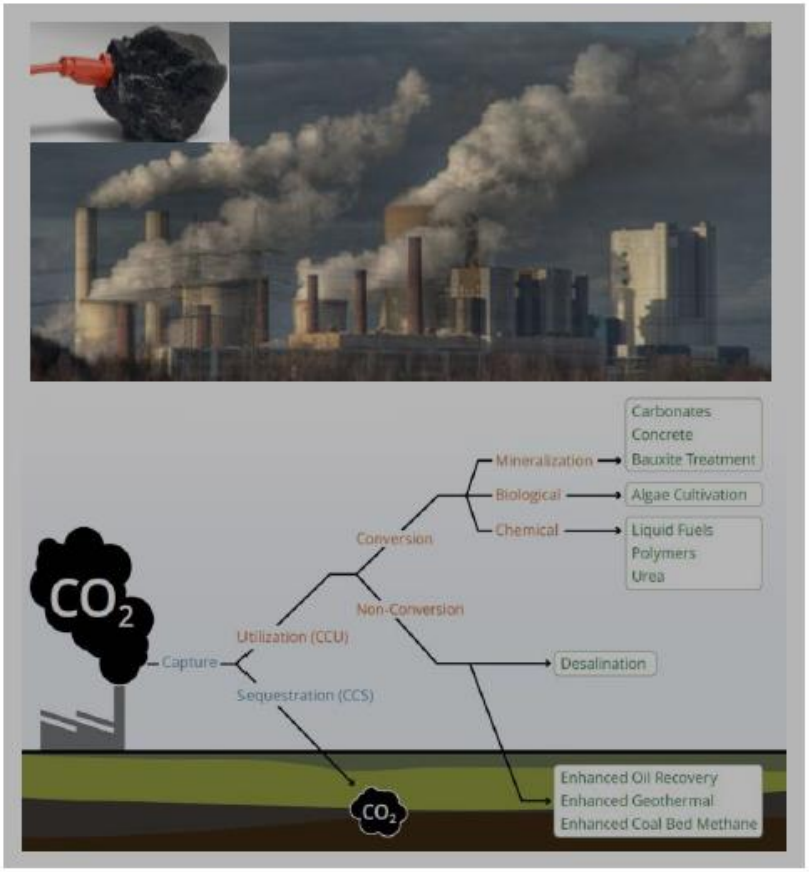
2.7 사업화(BM)

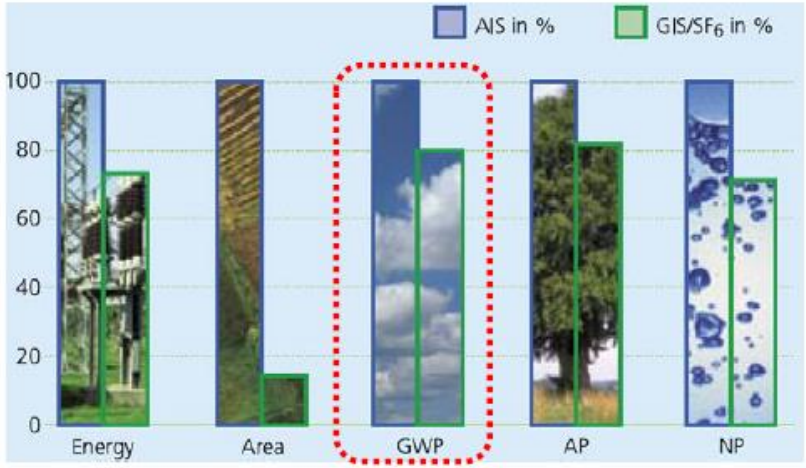
수익 창출 대상

단계별 시장진입 계획 (제품)	순이익 및 공정비용
1단계-Pilot • $CaCO_3$ GCC 10~15만원/톤 • CO_2 거래 1.2만원/톤 • 폐기물 처리비용 절감 2만/톤 • Pilot 장치납품 5 억/set	순이익 발생시점 : 2년 순이익: 33 억/연 공정관리비: 5,000 만원/연 감가상각비용 : 3,300 만원/연
2단계-New •$CaCO_3$, CO_2, Pilot 장치 • Nano 탄산소재화 50~60만원/톤 • 소재 50~60만원/톤	순이익 발생시점 : 2년 순이익: 60 억/연 공정관리비: 1억원/연 감가상각비용 : 1억원/연
3단계-Source • 소둔산세슬러지 5.1만톤/연 • 제철/고로슬러그 ? 만톤/연 • 탈황석고 ? 만톤/연 • Fly Ash ? 만톤/연 • 광산배수슬러지 ? 톤/연	순이익 발생시점 : 2년 순이익: 100 억/연 공정관리비: 5억원/연 감가상각비용 : 2억원/연

고온 열원을 이용한 SF6 및 HFCs 친환경 연속처리 메커니즘 규명 및 환경성 평가

1.1 개요





SF6 - Global warming potential(GWP) = 24,000

1 Pound SF6 = 11 Tons CO2

SF6 - estimated lifespan = 3,200 years

CO2 - estimated lifespan = 90 years

1.1 개요

(단위 : 천톤)

회 사 명	2011년		2012년		2013년		2014년	
	클링커	시멘트	클링커	시멘트	클링커	시멘트	클링커	시멘트
동양시멘트㈜	8,147	7,977	8,425	7,403	8050	6,955	7,767	6,953
쌍용양회공업㈜	13,364	11,198	13,338	11,032	12777	10,943	12,866	10,927
한일시멘트㈜	5,464	6,020	5,267	5,544	5283	5,838	5,424	5,927
현대시멘트㈜	3,925	4,328	4,231	4,526	4131	4,496	4,086	4,357
아세아시멘트㈜	2,834	3,117	2,802	3,021	2816	3,045	2,901	3,242
성신양회㈜	4,833	5,294	5,381	6,073	5618	6,275	5,170	5,858
라파즈한라시멘트㈜	6,058	6,684	5,060	5,561	5002	5,845	5,910	6,112
고려시멘트㈜	655	1,784	650	1,589	705	1,125	691	1,018
기타(한국, 한남, 대한)	-	1,848	-	2,113	-	2,770	-	2,653
합 계	**45,281**	**48,249**	**45,155**	**46,862**	**44,382**	**47,291**	**44,816**	**47,048**

1. KS표준 개정(혼합재 비율 증대)
2. 슬래그시멘트 생산비율 확대
3. 대체연료 사용 확대
4. 공통기기(건조기, 전동기, 보일러) 효율개선
5. 폐열회수 발전용량 확대

→ 2020년 BAU 대비 8.5% 감축(347만톤CO2) 목표 한계도달

새로운 강력한 온실가스감축방안 – **신사업 필요**

1.1 개요

품목명 : SF6 및 HFCs 친환경 연속처리 기술 개발

□ 시멘트 생산 킬른 활용 고온열원을 이용한 SF6, HFCs 친환경 연속 처리 메커니즘 규명 및 환경성 평가

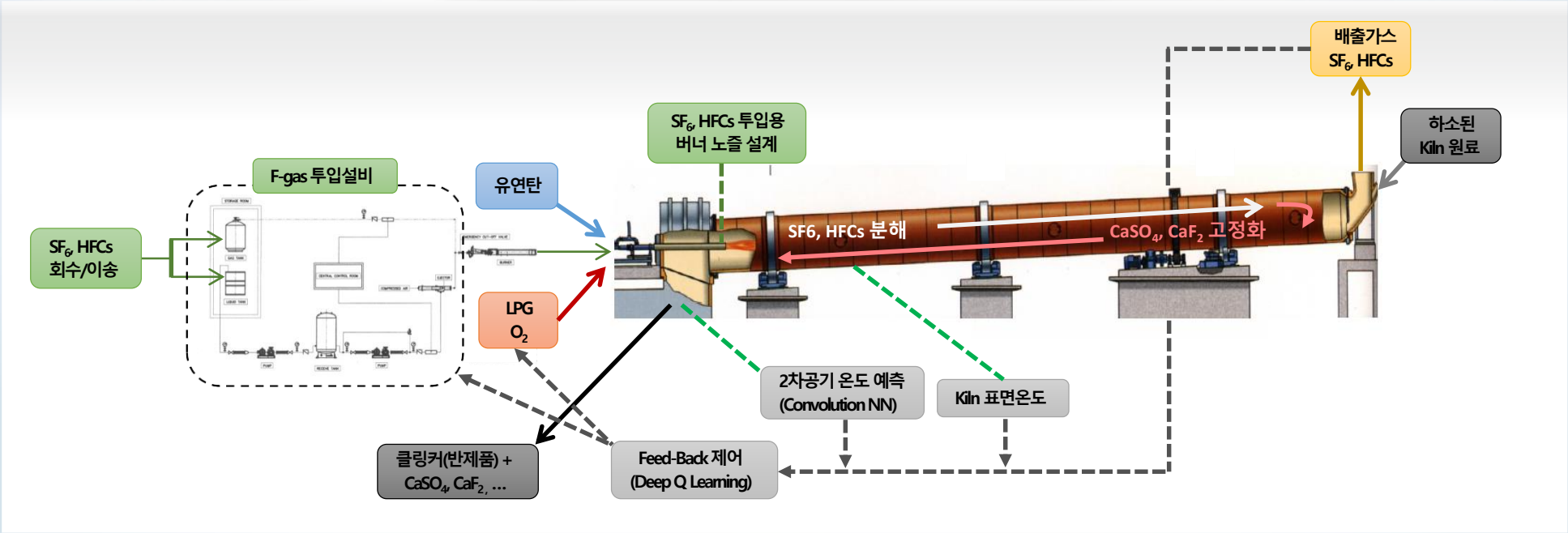
SF6 & HFCs 열분해메카니즘규명 — 주 유형 1

\+

열분해 생성물 고정화메카니즘규명 — 주 유형 2

\+

환경성 평가 공정환경/제품안정성 — 부가유형1



1.2 연구개발의 필요성

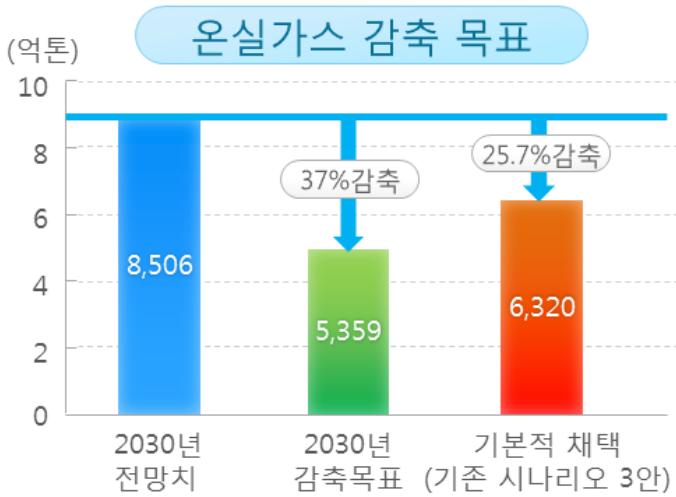
Non CO_2 gas 중 SF6 & HFCs 저감 필요성대두

온실가스 저감

- SF6 사용량 급증 3.9%/연
- F-gas 중 HFCs 43% 배출(8백만톤/연)
- SF6 를 이용한 전략산업 육성
- 6대 배출규제 대상가스지정(SF6, 3차당사국회의)

SF6 분해기술 (고온, 킬른활용)	SF6 연속처리기술 (온도, 고정화, 자원화)	중점개선 방법	S & F 고정화광물 메커니즘 규명	고정화광물 ($CaSO_4$, CaF_2, 환경성평가)

온실가스 감축



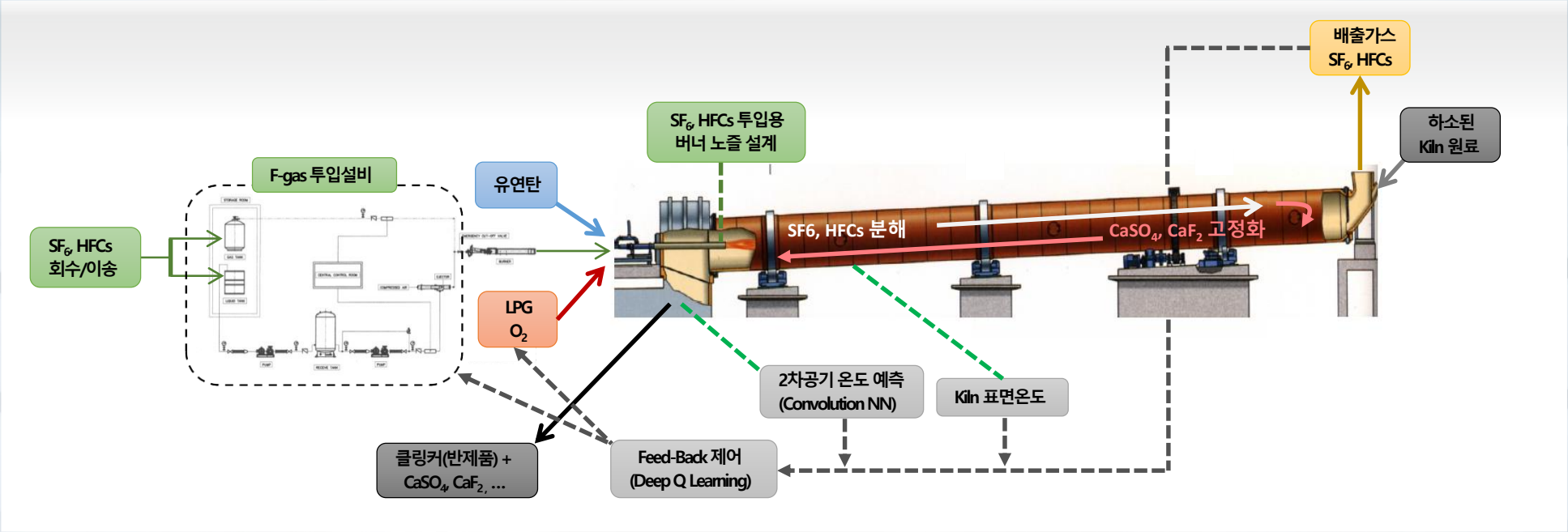
Data credit : 관계부처합동 산업부문 감축률 12% (102백만톤)

2020 대비 높아진 온실가스 감축 목표

- 2030년 배출 전망치 대비 **37% 감축안** ➡ UN 제출
- 실제적 감축 부담 25.7%
- 국제시장 활용 감축 부담 11.3% 9,600만톤
- 에너지 다소비 업종 연평균 0.7% 증가

➢ 신재생에너지확대,석탄화력비중 축소, 효율화
➢ 원자력 비중 확대, CCS상용화, 그린카 도입, F가스처리강화, 바이오연료강화 등

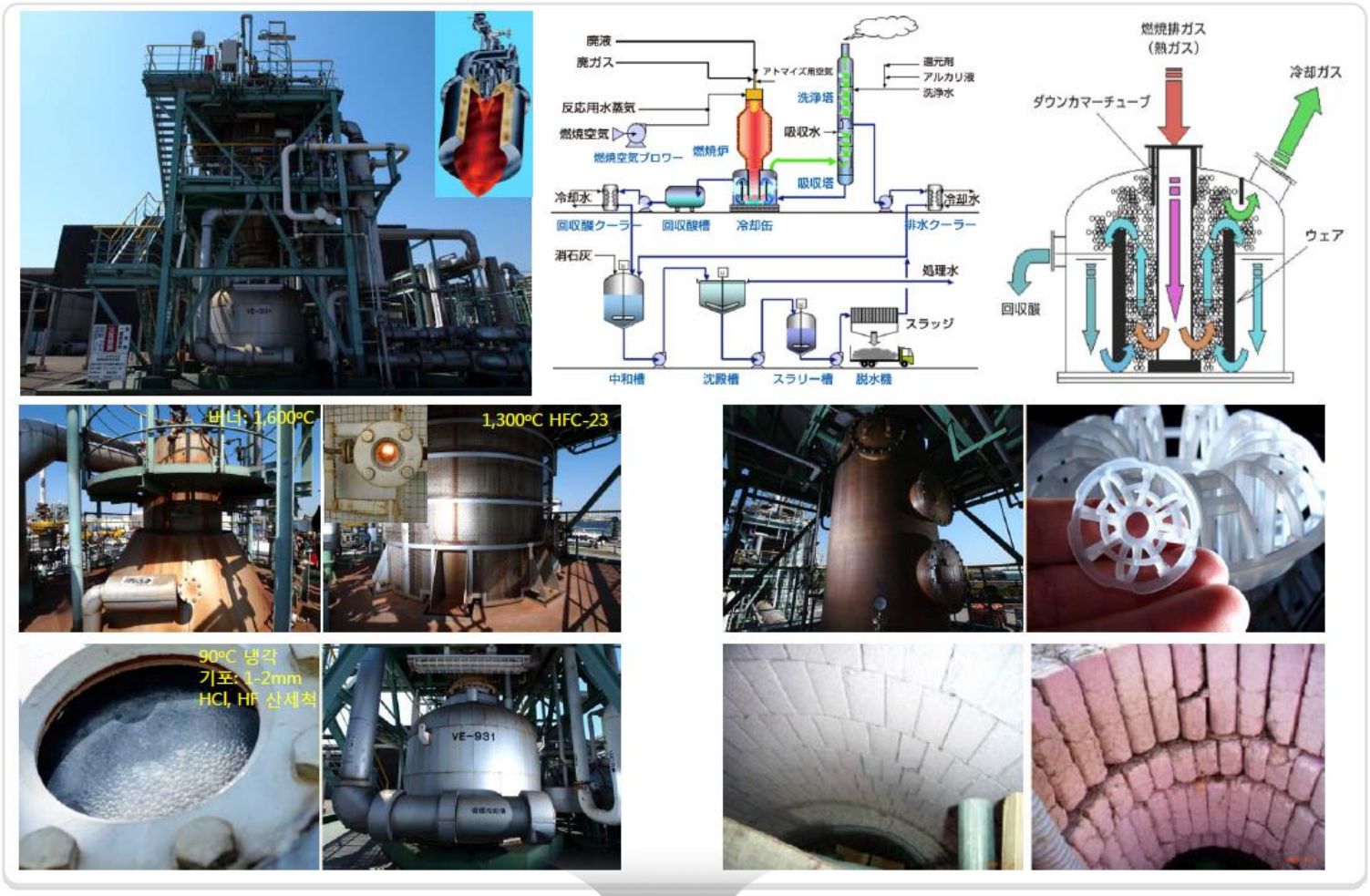
1.3 기술개발 개념도



- **열분해 메카니즘**
  - SF6 & HFCs 킬른 투입 → 고온조건 열분해 → HF, SOx 등 생성
- **고정화 메카니즘**
  - 시멘트 원료 $CaCO_3$ 투입 → 예열실 탈탄산 ($CaCO_3 \rightarrow CaO+CO_2$) → 킬른 내 CaO 존재
  - 열분해 생성물 (HF, SOx)과 CaO 반응 고정화 물질 (CaF_2, $CaSO_4$) 생성
- **환경안정성 평가**
  - 생산 제품 환경안정 평가 (유해성분 용출 특성 등)
  - CaF_2 & $CaSO_4$ 가 시멘트 품질에 미치는 영향 평가 (압축강도, 휨강도, 투수율 등)
  - SF6 & HFCs 및 분해 부산물 외부 누출시 환경영향

1.3 SF6 처리공정

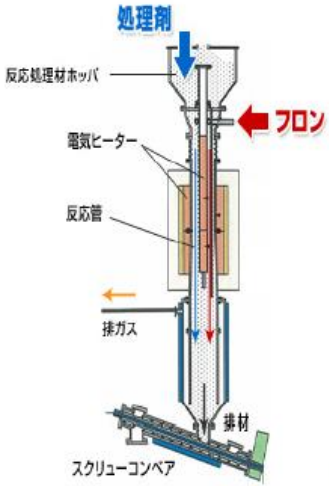
연소법 (Panasonic co.)

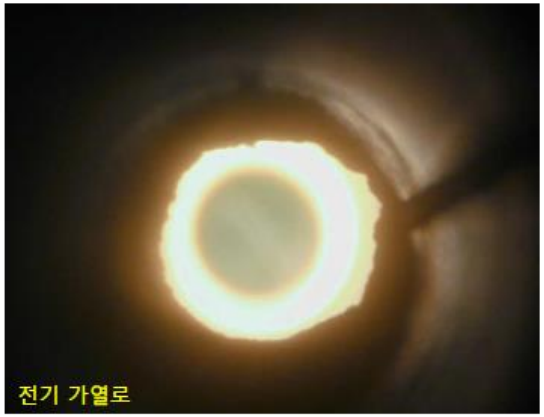


☑ 고비용 유지관리문제, 2차 폐기물 발생, 내화벽돌 부식 문제 야기

1.3 SF6 처리공정

열분해법 (Chukyo Fron/DAIOH-SHINOYO)

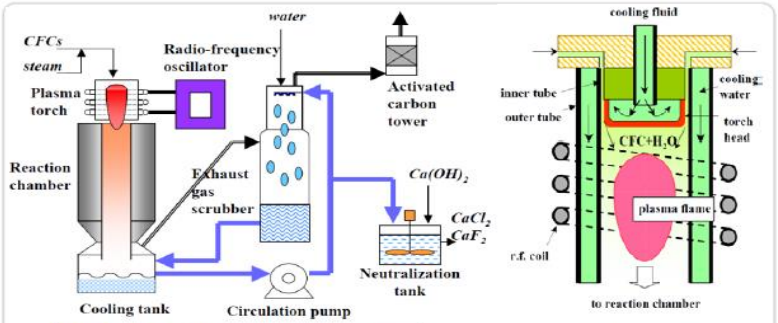




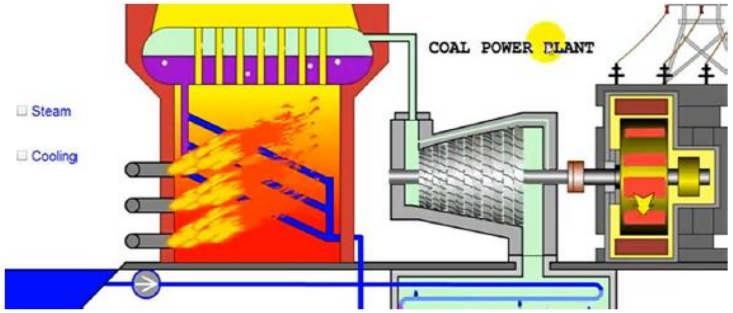
☑ 연소법과 마찬가지 고비용, 별도 고정화제 필요, 2차 폐기물 처리 시스템 필요

1.3 SF6 처리공정

열분해법 (플라즈마/열병합/화력발전 등)



- 10,000K 고온
- 2차 폐기물발생



- 높은 에너지 필요, 부 반응물 생성

  가스 유량 증가시 전기에너지 투입량 급격히 증가

2.7 사업화(BM)

사업화 경제성 분석

※ 연간 100톤-SF_6 처리 기준

연간 손익분석

구 분	항 목	[백만원]	비 고
수익	배출권 수익		배출권 90%만 인정 가정
	Cement 영업이익 증가		이익률 12.6% 가정 (매출 5,800백만원)
비용	SF_6, HFCs 회수비용		회수+운송비
	SF_6, HFCs 처리 - 변동비		전력비(0.2억)+연료비(4.8억)
	SF_6, HFCs 처리 - 고정비		판관비+감가상각비(2억 x 33%)
기타손익	기술판매이익		
손익 계			

가스 톤당손익

구 분	항 목	[천원]	비 고
수익	배출권 수익		배출권 90%만 인정 가정
	Cement 영업이익 증가		이익률 12.6% 가정
비용	SF_6, HFCs 회수비용		회수+운송비
	SF_6, HFCs 처리 - 변동비		전력비+연료비
	SF_6, HFCs 처리 - 고정비		판관비+감가상각비(33% 상각)
손익 계			(톤당 처리비용 : 774만원)

☑ 총 수익 ? 억원

➡ 사업화 후 배출/처리 업계 내 총 이익 분배 예상됨

☑ 톤당 처리비용 ? 만원

기술료 납부계획

☑ 조기 현금 납부 (기술실시계약 체결 시)

정부출연금 ? 억원 x 20% x (1-40% 감면) = **? 억원**

발전소내 미세조류PBR 통한 CO_2 저감 및 부산물 고부가화 기술개발

KIST 한국과학기술연구원 Korea Institute of Science and Technology 최재영

1. 미세조류

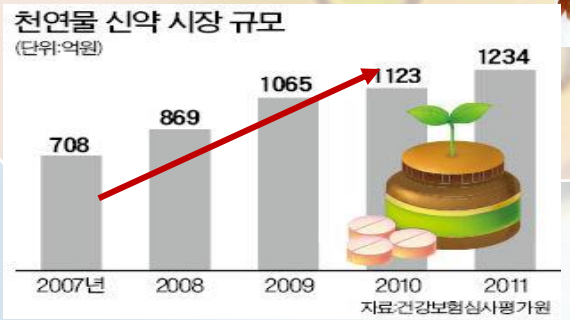
➢ **Advanced wastewater treatment**

Reuse of wastewater

Bioenergy production

3rd generation biomass

➢ **DHA, Omega 3**



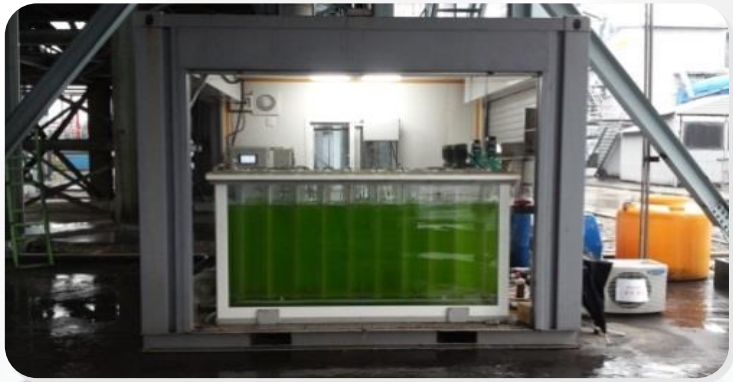
Natural medicines production

2. 연구 개념

연구 목적

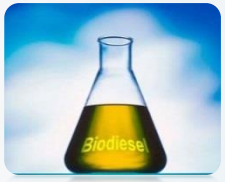
배기가스발생

미세조류 광배양 시스템 개발



CO_2 저감

부가가치 공정

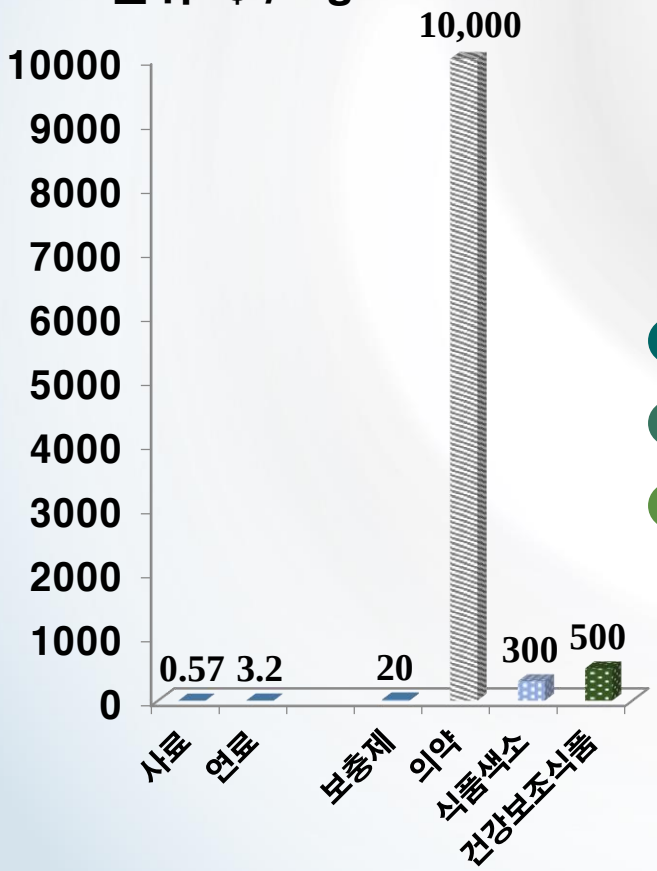


4. 시장성

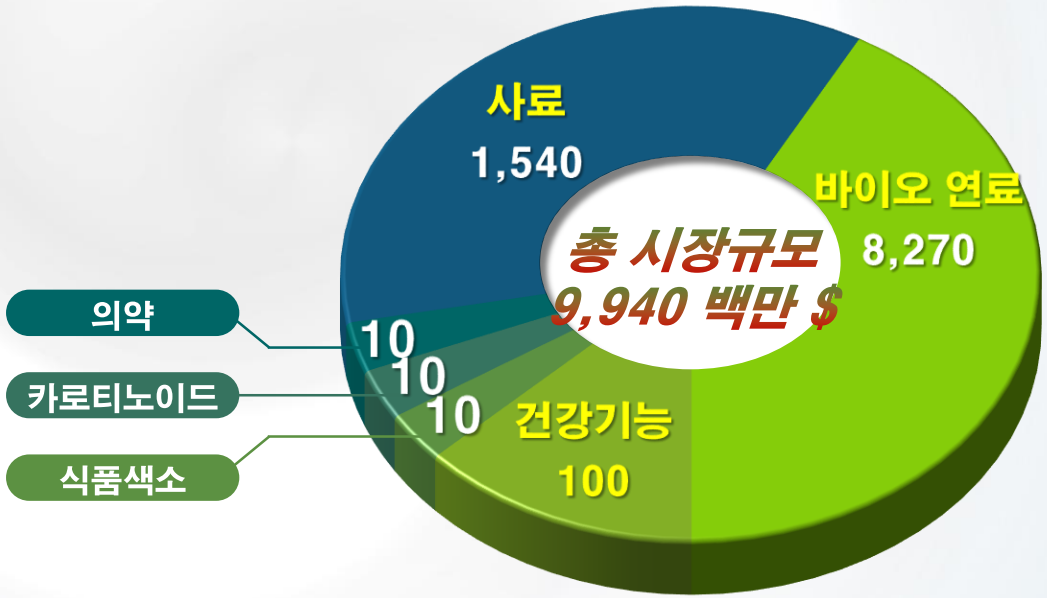
미세조류 부산물의 추정가치

부산물 부가가치

단위: $ / kg



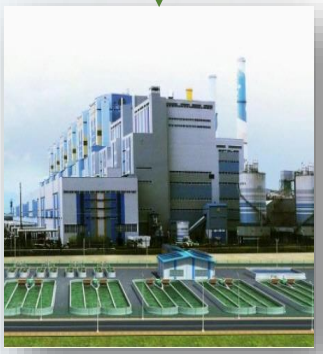
단위: 백만 $



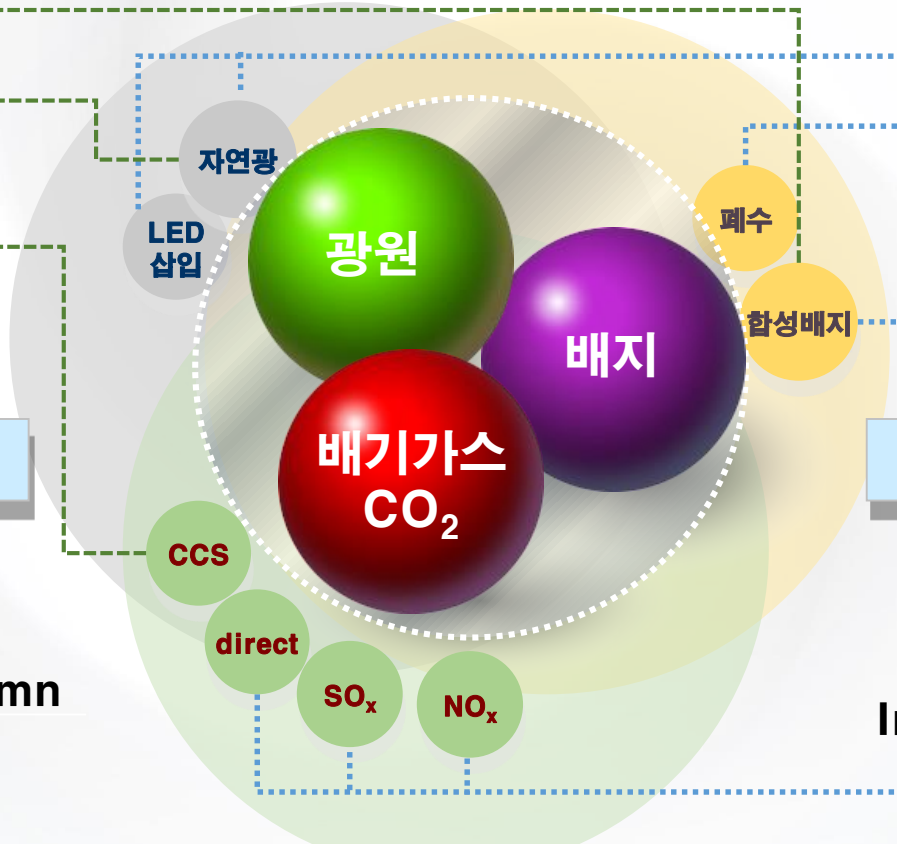
출처: 국제농업식량기구 2013

5. 차별성

미세조류 배양기술 개선



Race way type + column
CO_2 간접주입(CCS)



KIST

Insert column and LED
CO_2 직접주입 (CCU)

Biomass 0.3kg/ton/day
CO_2 fixation 0.54kg/ton/day

CO_2 고정화 약 5배 향상 →

Biomass 1.5kg/ton/day
CO_2 fixation 2.74kg/ton/day

6. 연구지역

영동 화력 발전처

- 발전량: 125MW+200MW
- 연료: 무연탄, 유연탄 혼소
- 위치: 강원도 강릉시

- 배기가스 성상

  CO_2 14~16%, O_2 4~5%, CO 100~3000ppm

  NO_x 200~250 ppm, SO_x 50~70 ppm

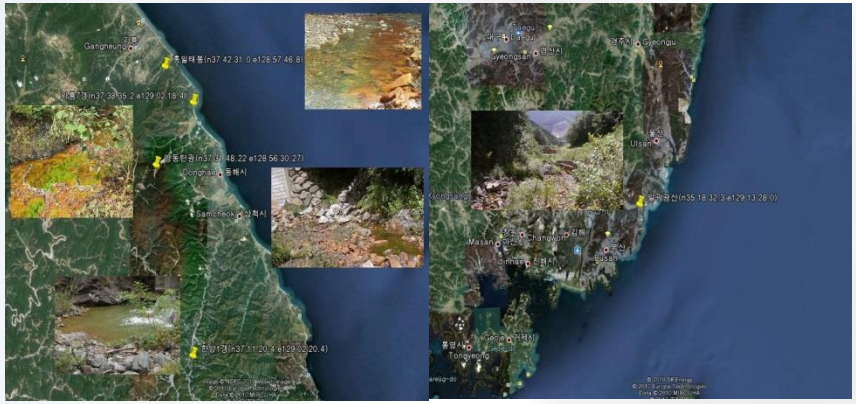
- 이산화탄소 발생량

  1호기 90만톤/년, 2호기 140만톤/년

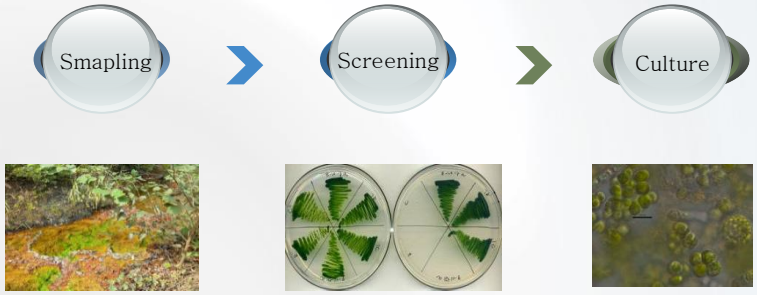
7. 미세조류 확보(실내)

미세조류 분리/동정

광산배수 지역 미세조류 샘플링



미세조류 분리 동정



미세조류 배양 실험

- 500 ml serum vial 이용(배지: BBM, 배지 용량: 300 ml)
- CO_2 (14.1%) 가스 치환시간 1시간
- 배양: 5일, 교반 150rpm, 광량: 120 μmol/m^2/s, 초기 미세조 조류 접종: OD 0.05
- 분석: IC, UV, TOC, GC/FID, Bligh and Dyer method, 28s rRNA

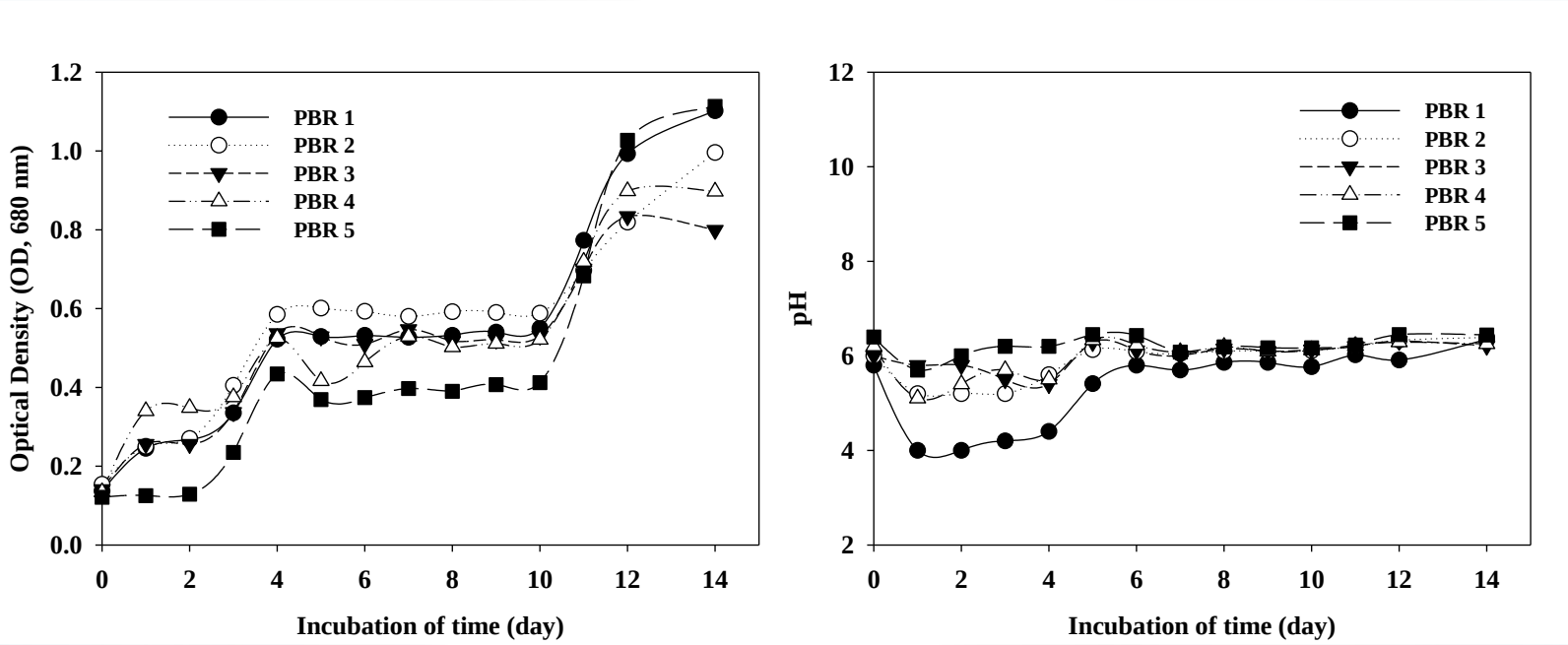
7. 연구장비구축(Pilot scale)

배양기술 | **10톤 배양기 설계**

- 10톤 배양 시스템 설치완료

8. 연구 결과

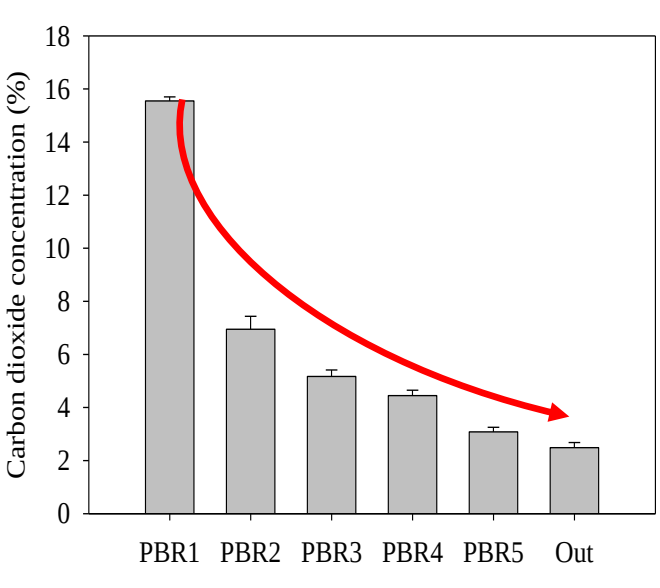
CO_2 저감 배양기술 성장속도 및 pH 변화

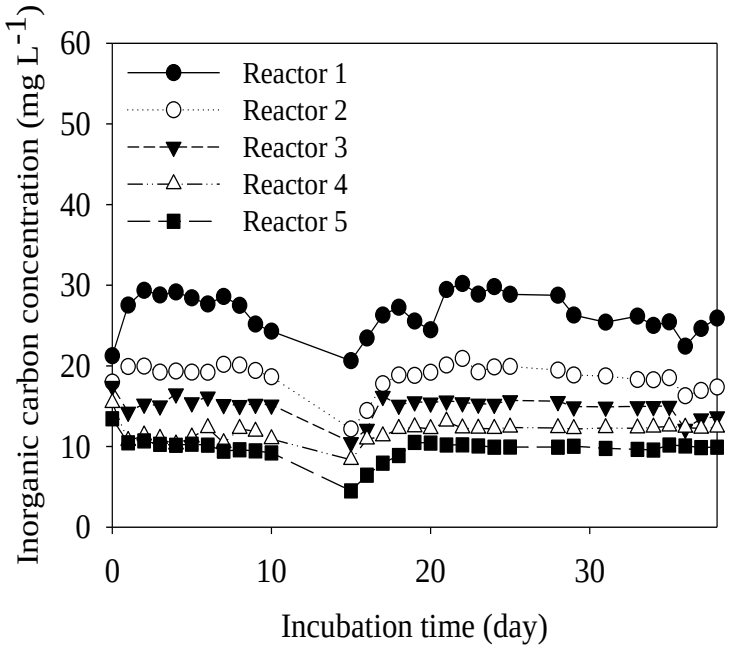


- 현장 미세조류 배양기 운용결과 1~5번 PBR 모두 지속적 미세조류 성장
- 배기가스내 NOx 로 인해 PBR 1 초기 pH 하강, 미세조류 성장 후 pH 6 으로 유지

8. 연구 결과

CO_2 저감 기술 | 이산화탄소 제거 (연속식 배양)

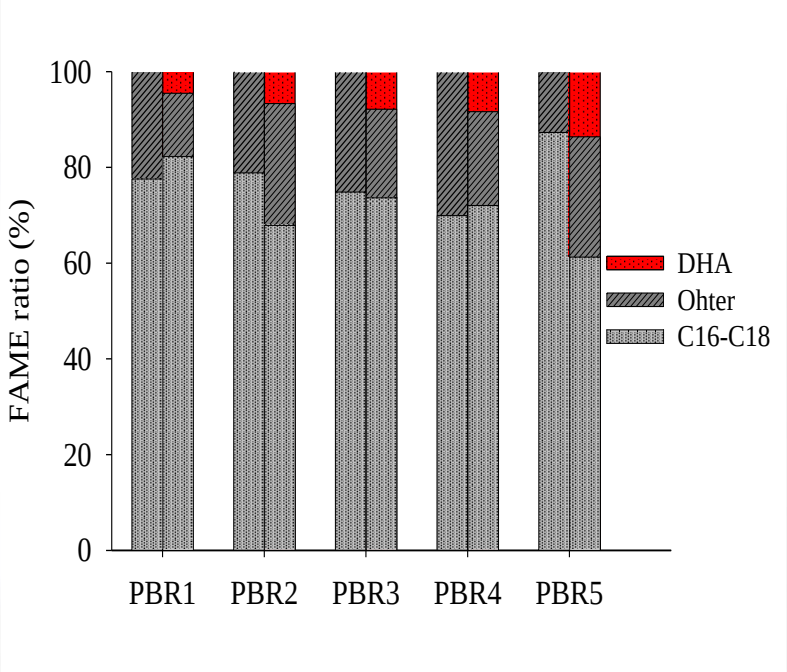




- 배기가스내 이산화탄소 농도 14.6% 유입
- PBR 5 까지 통과시 약 12.4% 이산화탄소 제거(연 31.2 ton/year)
- PBR 1에서 전체 총량 중 50%의 이산화탄소 제거

8. 연구 결과

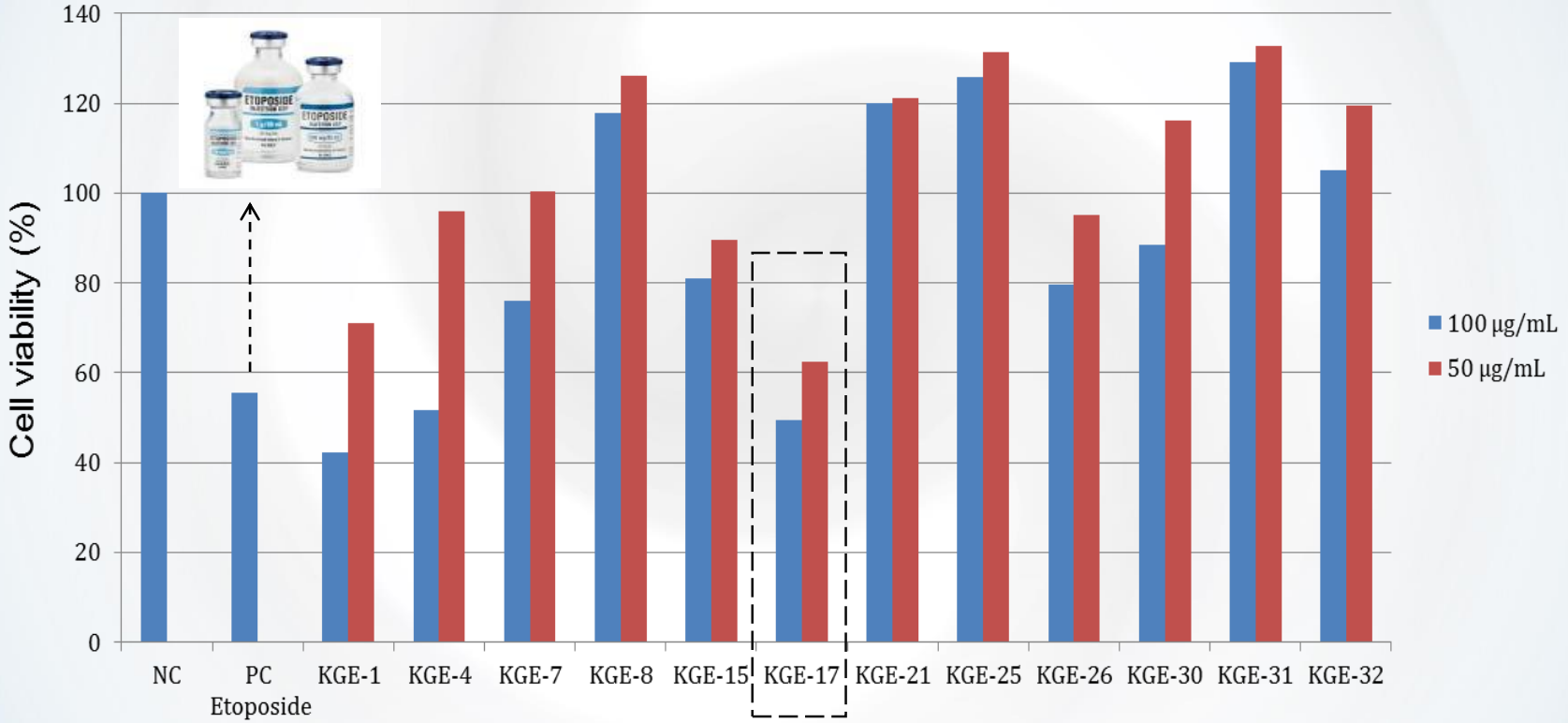
바이오디젤 지방산 함량변화 (연속식 배양)



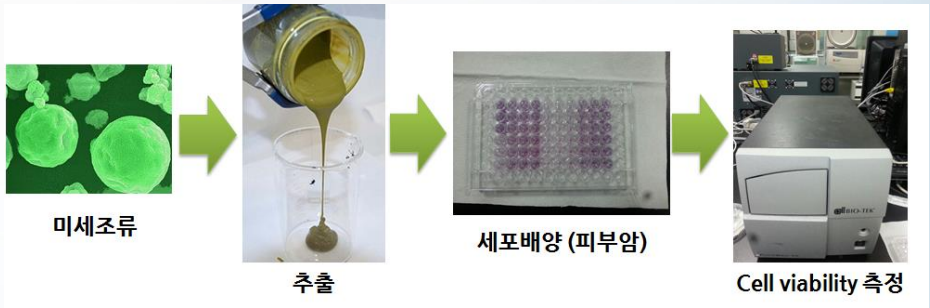
- 각 배양기별 생산된 미세조류 바이오매스 내 바이오디젤, DHA 생산성 평가
- 미세조류 내 C16~C18 지방산 함량이 60~80%→ 고품질 바이오디젤 생산 가능성 확인
- 지속적 배양 시 DHA 생성 확인(최대 13%)→ 시설운용 추가 경제성 확보

8. 연구 결과

바이오매스 부산물 항피부암 활성테스트



- 미세조류 추출물이 증가할 수록 효율증가
- KGE17번에서 항피부암 최대수치 확인



8. 연구 결과

- 배양속도가 우수하고 배기가스 적용이 가능한 **대용량 배양시설 구축**
- 배기가스 이용 지속적인 미세조류 배양을 통해

  유용물질 DHA 증가 및 카로티노이드 증가
- 미세조류로 부터 **고지질을 함유** 유지를 통해 바이오연료 생산가능성을 확인
- 배기가스 직주입을 통한 **고농도 CO_2 제거 기술 확보**
- CO_2 제거의 공정을 설계하고 제안할수있음

연구 계획: 고부가 유용물질(의약, 기능성식품) 을 생산할수있는 원료물질 공급 연구필요

감사합니다