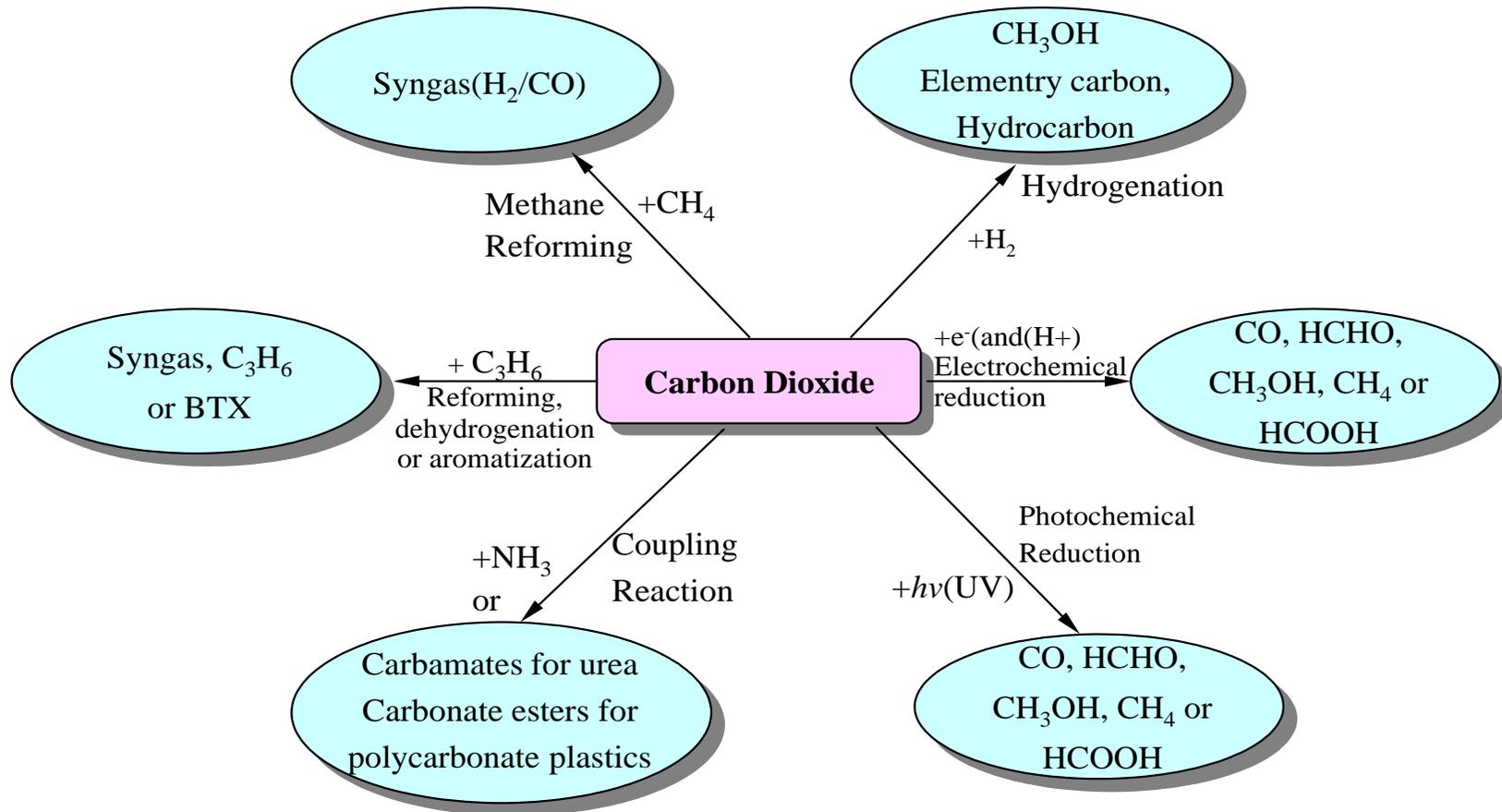


# CO<sub>2</sub> 변환기술 개발 현황

- 촉매화학적 방법
- 전기화학적 방법
- 광화학적 방법
- 생물학적 방법

# CO<sub>2</sub> 변환

## CO<sub>2</sub> 변환 기술



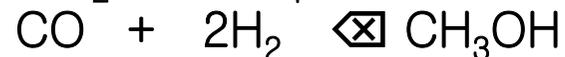
## CO<sub>2</sub> 변환

# 촉매화학적 방법

- 이산화탄소를 촉매반응 등을 이용하여 화학적으로 변환시켜 다른 물질로 전환시키는 방법

- 메탄올 및 DME 제조공정 개발

<반응>



<국내현황>

KIST : 수소화에 의한 메탄올 합성 연구(수율 14%정도)

50 kg/day 생산 데모 플랜트 건설 중 (KIST-POSCO-한전)

KIER : 2단계 반응에 의한 DME제조공정 연구 (8.5 kg/일)

가스공사/삼성Eng/KIST/KIER/KRICT:

DME제조 Pilot plant 연구 중 (50 kg/일)

<국외현황>

일본 RITE 연구소 : 50kg/day 직접전환방식의 pilot plant 수행

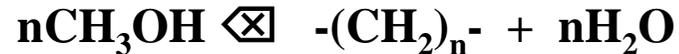
CO<sub>2</sub> 변환

## 촉매화학적 방법 (탄화수소류 제조)

(FTS 경유 제조법)



(메탄올 경유 제조법)



<국내현황>

**KAIST** : FTS경유법 촉매반응공정에 필요한 촉매 기초연구

현대석유화학 : 실험실적으로 80%탄화수소 선택성 촉매공정 개발(FTS)

<국외현황>

일본 : 오사카 국립연구소 및 교토대학 등에서 메탄올 경유법으로 제조하고 있으나 C<sub>2-4</sub>가 주로 생성되므로 부가가치가 낮음

독일 : Karlsruhe대학 FTS경유법으로 Fe/Cu/K/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 촉매사용공정 개발

미국 : EXXON에서 FTS법에 의한 촉매 공정 개발

CO<sub>2</sub> 변환

# 촉매화학적 방법 (Dimethyl Carbonate )

<반응>

(에스테르 교환법)



(메탄올 산화법)



<국내현황>

KAIST 및 일부대학에서 기초연구 수행

KIST에서 실험실적 규모로 연구(에스테르 교환법)

<국외현황>

90년대 이후 미국, 일본, 유럽 등에서 활발히 연구되고 있음

일본 : 상업화 (3,000ton/yr)

프랑스 : SNPE에서 상업화

이테리 : 메탄올 산화법 공정이 상업화 되었음

독일 : Bayer에서 상업화 연구중

CO<sub>2</sub> 변환

## 촉매화학적 방법 (에틸벤젠 탈수소화 )

<반응>



<국내현황>

국내 여러기관에서 연구되어 왔고 현재도 진행중임

(KRICT, KAIST, 포항공대, KIST, KIER 등)

**KIER: Pilot Plant 연구 (SM 250 kg/day)**

**KRICT/삼성종합화학: Pilot Plant 연구 중 (SM 100 kg/day)**

<국외현황>

이산화탄소에 의한 탈수소화는 해외에서도 90년대 들어 결과가 발표되기 시작하였음

일본 : 자원환경 연구소, 미쯔비시 캐미칼 등에서 촉매 및 상업화 연구

중

기타 선진국에서도 계속 연구중에 있음

## CO<sub>2</sub> 변환

# 전기화학적 방법

공정에서 배출되는 이산화탄소가 포함되어 있는 가스를 **KOH**나 **KHCO<sub>3</sub>** 등의

수용액에 흡수, 포화시키고 금속전극을 사용하여 이를 전기화학적으로 환원시켜

일산화탄소, 메탄, 에틸렌, 메탄올, 포름산 등의 생성물을 얻어 내는 방법

- 연구관련 요소

전극 재료 및 종류, 전해질의 조성, 열원, 생산품, 반응조건(온도, pH 등)

- 생성물

메탄, 에틸렌 : **Cu, Ru**

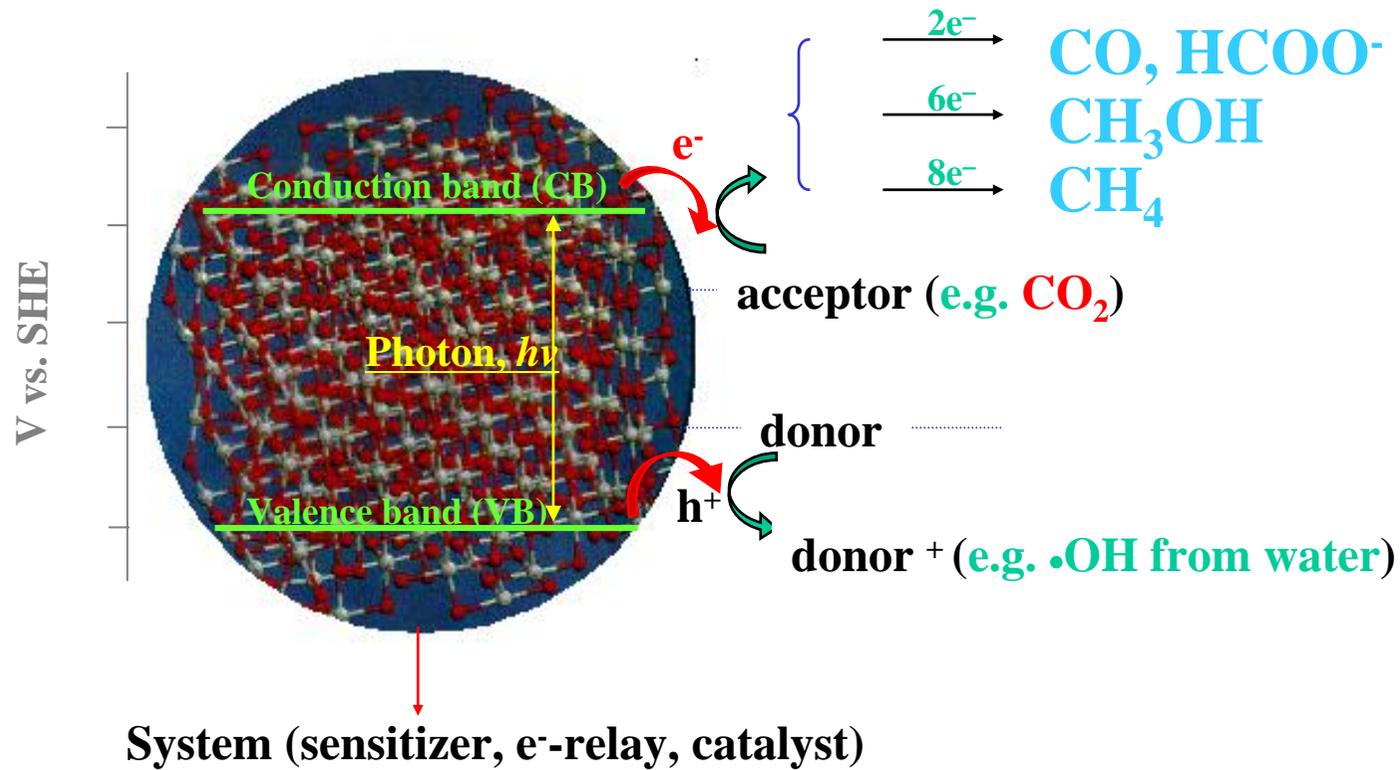
일산화탄소 : **Ag, Au**

**glycolic acid, malic acid** : **Pb, Hg**(수용성 전해질)

**oxalic acid** : **Pb, Hg**(비수용성 전해질)

# CO<sub>2</sub> 변환

## 광화학적 방법



## CO<sub>2</sub> 변환

# 광화학적 방법 연구 현황

광화학적 CO<sub>2</sub>의 methane, methanol, 그리고 formate로의 전환 (1997 ~ )  
- 대부분 일본의 대학에서 수행 중임.

### 1. Japan

**photocatalyst (embedded TiO<sub>2</sub> in SiO<sub>2</sub>, CdS, etc), solvent**

~ 4  $\mu\text{mol}$  acetone / h / 0.56mg coated catalyst in acetonitrile

**TiO<sub>2</sub> in liquid CO<sub>2</sub> medium, high pressure : ~ 6  $\mu\text{mol}$  formic acid / 10h / g-cat**

**Rhenium bipyridine complexes: ~ 5  $\mu\text{mol}$  formic acid / h**

**mesoporous zeolite: 7 ~ 12  $\mu\text{mol}$  methane / h / g-cat**

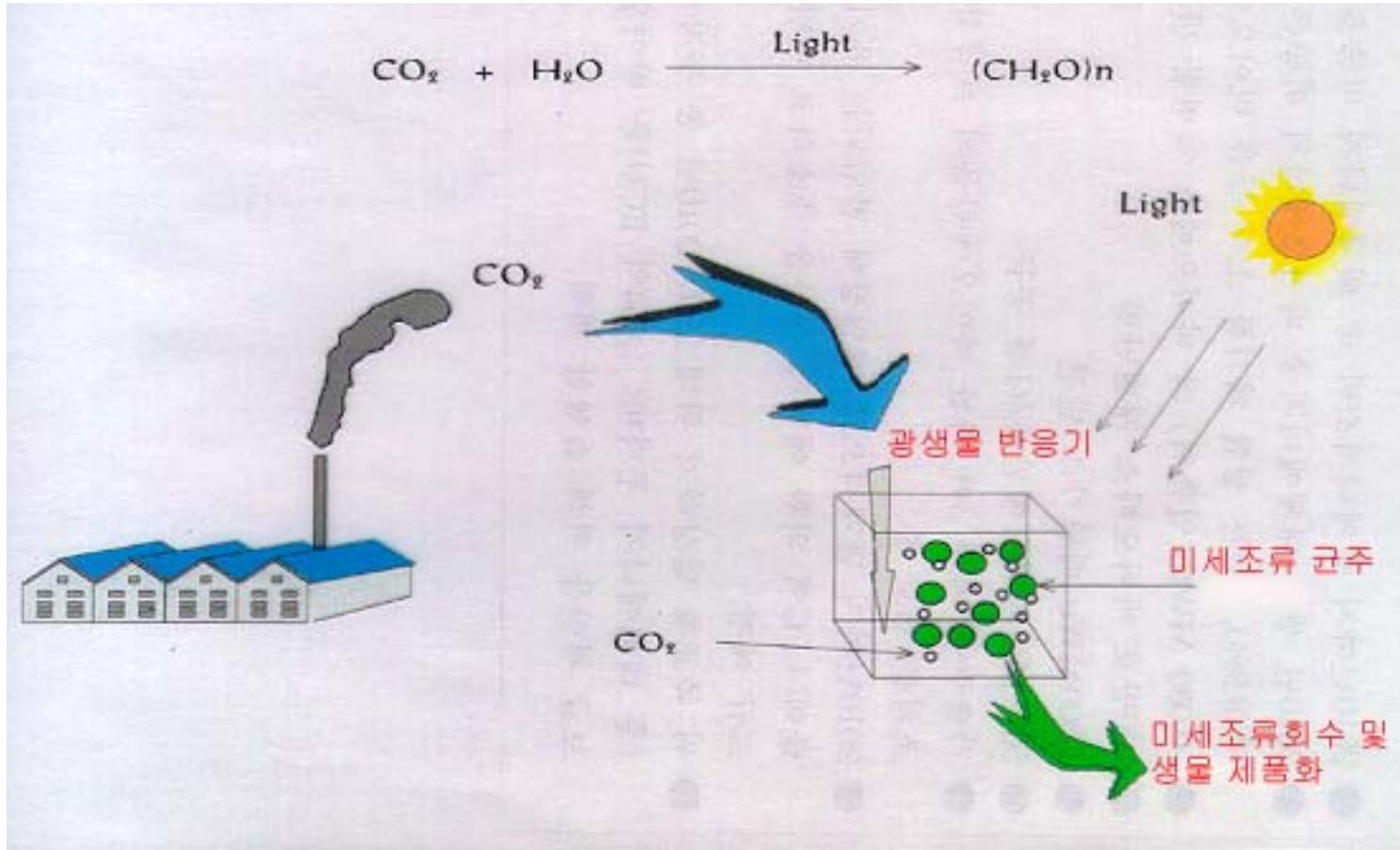
**ZnS nanocrystallites: ~ 80  $\mu\text{mol}$  formate / 5h**

### 2. Premkumar, J. (India) : metal porphyrins and phthalocyanines with Nafion

~ 200  $\mu\text{mol}$  formic acid / h

CO<sub>2</sub> 변환

# 생물학적 CO<sub>2</sub> 고정화 공정의 개요



CO<sub>2</sub> 변환

## 생물학적 CO<sub>2</sub> 고정화 공정의 장점

- CO<sub>2</sub> 고정화 공정의 운전에 따른 에너지 소모량 극히 적음.  
(CO<sub>2</sub>의 발생량은 제거량의 0.02%)\*
- 연소가스로부터 직접 CO<sub>2</sub> 고정화 가능.  
(CO<sub>2</sub>의 분리 과정이 필요 없음)
- 투자비가 낮음.
- 미세조류의 활용 가능 (예: 사료, 연료 등).

\*: Neenan et al., SERI/SP-231-2250, SERI, Golden CO. p.149 (1986).

# 생물학적 고정화

- 국외 현황

- Aquasearch Inc., IGV-GmbH, 동경전력 등
- CO<sub>2</sub>의 고부가가치 제품화 (사료 첨가제, 식용 색소, 의약품) 기술 연구
- 광 생물반응기 개발, 미세조류 균주 개량 연구 등
- 고 생산성 대형 광생물반응기 개발, 균체 생산성 0.6g/l-day, 반응기 700kL (17.8 Nm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/h 처리, 균체 1g 생산시 CO<sub>2</sub> 2g 사용)  
반응기 용량이 증가하면 생산성 낮아지고, vice versa
- 상용화 경계치: 미세조류 가격, kg > 50,000원, 반응기 > 200kL

- 국내현황

- LNG 연소가스로부터 직접 CO<sub>2</sub> 고정화 기술 개발, 우수 균주 특허, 1kL 광생물반응기, CO<sub>2</sub>의 기능성 사료제품화 기술 연구중 (한국에너지기술연구원)
- 타 고부가제품화 기술을 학교, 출연연에서 연구 중

## 향후 연구 방향

생물학적 CO<sub>2</sub> 고정화 방법은 처리 속도가 낮아 연소배가스의 대량처리 수단으로서 한계가 있으므로,

배가스의 직접 처리보다는 CO<sub>2</sub>를 원료로 산업적으로 중요한 유용 물질을 생산하는 분야에 집중되고 있다

따라서 연구가 필요한 분야로는

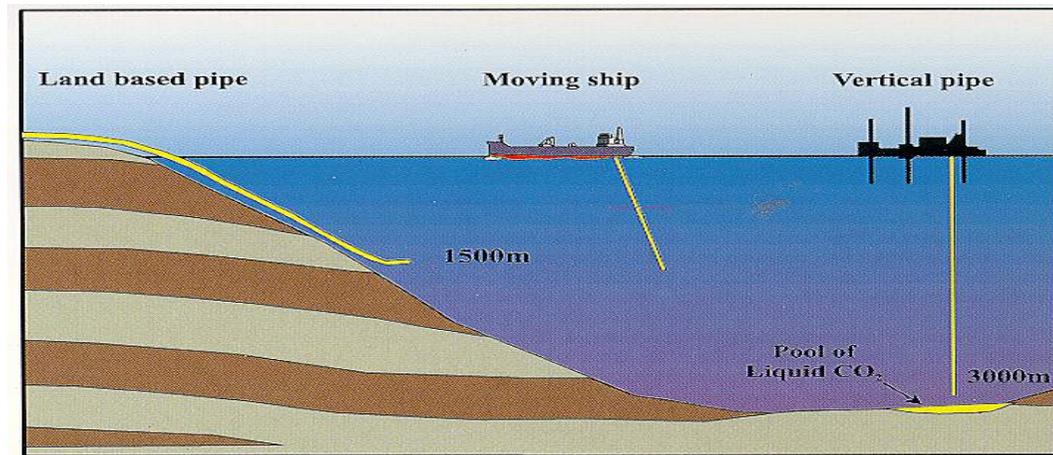
- CO<sub>2</sub>로부터 고가의 유용 물질(예: 의약품, 식용 색소, 기능성 식품 등)을 생산할 수 있는 미세조류 균주의 탐색 분야
- 유용 물질 생산을 위한 광 생물 반응기 개발 분야
- 유용 물질의 정제 및 활용 분야

# CO<sub>2</sub> 저장기술 개발 현황

- 해양저장
- EOR (enhanced oil recovery)
- 난채굴 석탄층 저장
- 광물저장
- 대수층 저장

## 해양저장 기술개요

- 해수의 CO<sub>2</sub> 용해작용을 이용한 저장기술
  - 500m이하의 해수에 액화 CO<sub>2</sub>를 분산하여 해수에 용해
  - 3,000m이하의 해저에 액화 CO<sub>2</sub>를 주입하여 고형화 (수화물형성)
  - 탄산칼슘으로 고정시켜 해양에 폐기하는 방법
- 해양저장 개념도



## 해양저장 요소기술

- 이산화탄소 이송기술
  - 기체상의 CO<sub>2</sub>를 액화, 수송에는 기술적 문제는 없음
    - 이산화탄소의 임계온도 및 압력 ; 31 °C, 72.8 bar
    - 액화 이산화탄소의 수송은 파이프 라인 또는 LNG수송선을 이용
  - ♣ 3,000m이상의 해수로 이송 설계기술은 개발여지가 있음
- 이산화탄소 주입기술
  - 액화 CO<sub>2</sub>의 이송과 같이 주입기술에는 큰 장애요소가 없음
    - 1m 직경의 파이프로 약 5,000m이하의 해저에 주입이 가능
    - 고품의 이산화탄소 주입기술도 검토되고 있음
  - ♣ 해수 용해 또는 해저 저장에 따른 환경영향 평가기술 확보가 필요

## 해양저장기술의 국내외 현황

- 국 외

- 미국, 일본에서는 기본 기술은 이미 확보, 적용이 가능

- 처리 가능지역 및 기본 실험 완료 ( MIT, 전력중앙연구소 등)
- 해양에서의 pH변화 등에 관한 예측모형 개발에 관한 연구추진

- ♣ 해양 저장이 가장 현실적인 이산화탄소 처리기술분야 임

- 국 내

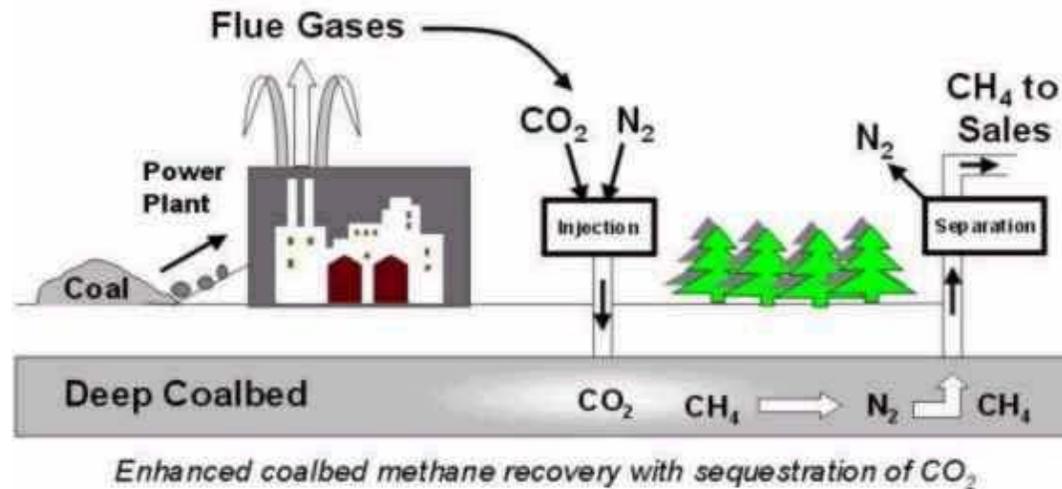
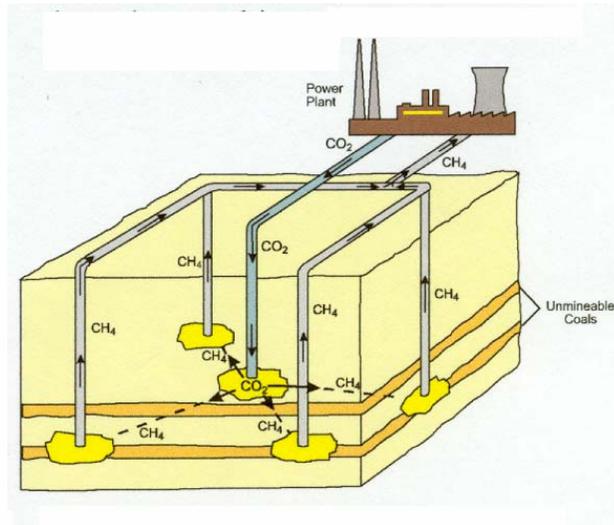
- 기술개발을 위한 초보적인 사전연구를 주로 수행

- 전력연구원, 해양연구소 및 KAIST에서 추진
- 2000년부터 CO<sub>2</sub> 격리처리를 위한 기술개발이 과기부에서 추진

- ♣ 해외의 기술협력 또는 공동연구가 필요한 분야임

CO<sub>2</sub> 저장

# 난채굴 석탄층 저장 (CO<sub>2</sub>-ECBM)



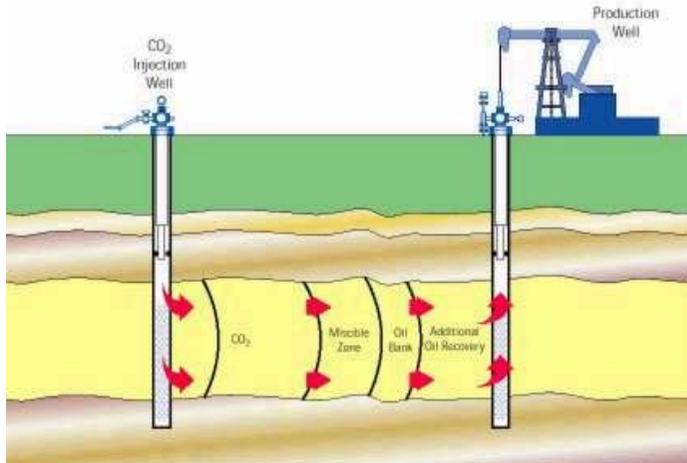
- 실증 연구예:

U.S. (Burlington Resources+BP Amoco); San Juan Basin  
Canada (Alberta Research Council+IEA); Fenn Big Valley

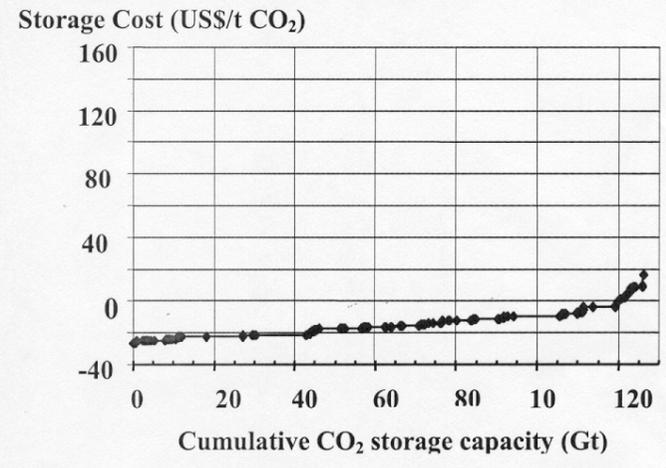
- R&D needs:

경제적 site 선정, 저장된 CO<sub>2</sub> 거동 예측, 경제적인 주입 기술 개발

# CO<sub>2</sub> 저장 EOR (Enhanced Oil Recovery)



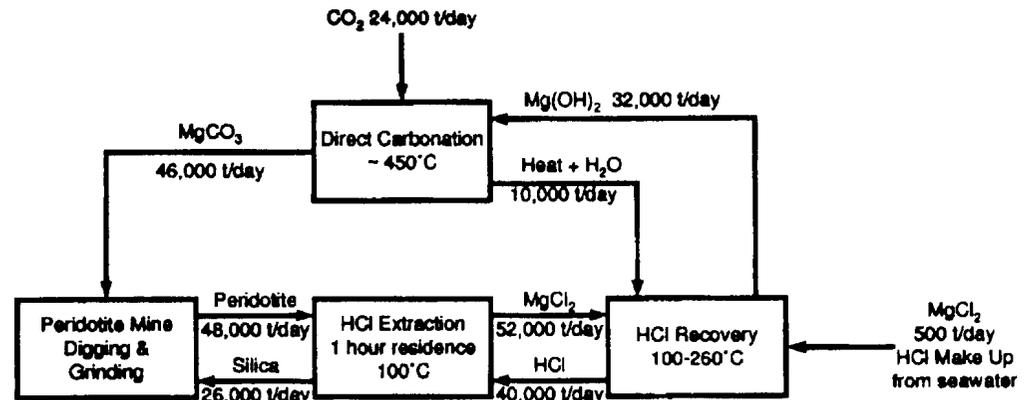
EOR의 개념도



CO<sub>2</sub>-EOR을 통한 저장 가능량 및 경제성

- 지하에 매립된 이산화탄소를 이용, 전세계 유정에서 사용 중
- Anthropogenic CO<sub>2</sub>를 이용한 실증 연구 예:
  - Canada+U.S.+IEA: Canada의 Weyburn 유정
  - Exxon mobil 사: Sharon Ridge 유정
  - Chevron 사: Rangley 유정, Anadarko 사: Purdy 유정

## Carbonation 공정의 개략도



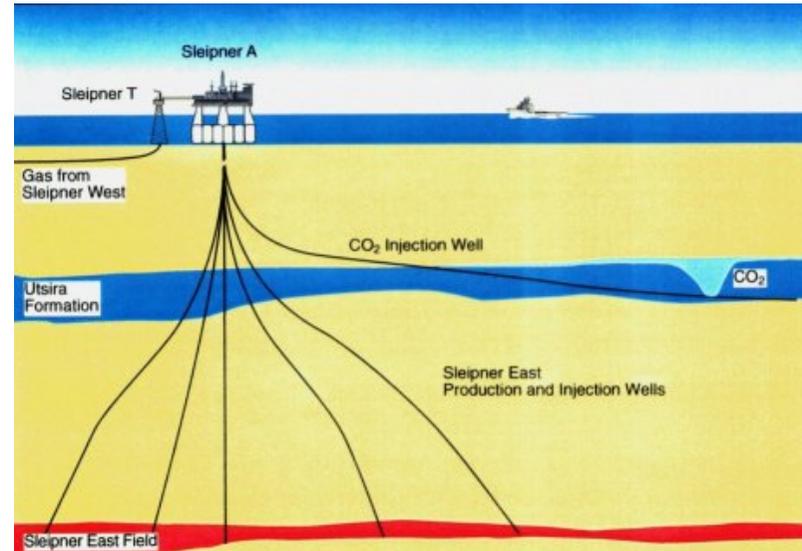
- 장점:  
저장 안정성이 보장됨  
2차적인 환경문제 없음
- 단점: MgO, CaO 함유 광물 (Peridotites, Serpentinite)의 채취에 많은 비용이 소비 (약 20\$/t), CO<sub>2</sub> 1 ton 처리에 광물이 많게는 3 ton이 필요, 염산의 회수에 많은 비용이 소비됨
- 연구 방향:  
MgCl<sub>2</sub> melt 사용하여 염산 회수 비용 절감: \$62/tCO<sub>2</sub>  
고온, 고압의 수용액 중에서 반응 (염산 회수가 불필요, 광물의 전처리에 많은 비용이 소비)

## CO<sub>2</sub> 저장

# 대수층 저장

### 대수층 저장의 개념도

- 저장 기구:  
대수층의 광물에 포집  
물과 용해되어 포집
- 장점:  
해양 저장 다음으로 저장  
가능성이 큼  
저장 비용이 작음 (4.7\$/tC)



- 실증 연구 예:  
Statoil 사 : 북해 Sleipner 대수층에 연간 백만톤의 이산화탄소를 폐기하  
는 실증 실험 수행 (1998년 여름부터 시작)  
지층의 안정성 감시 및 예측 모델, 저장된 이산화탄소의 거동  
예측 모델들을 개발

# CO<sub>2</sub> 기술 분야별 연구비 지원

기술 분야	연구비 지원					계 (백만원)
	환경부 (1992-1998)	산자부 (1992-2001)	과기부 (1998-2001)	특허청 (2000)	민간	
조사, 분석		30	56	57		143
CO <sub>2</sub> 회수	흡수분리		2,878		1,975	4,853
	흡착분리		591	880	805	2,276
	막분리	320	204	205	197	926
	혼성분리			715		715
CO <sub>2</sub> 전환	촉매화학적	2,386	2,288	3,396	2,247	10,317
	생물학적		271	1,038	244	1,553
	전기화학적		105		34	139
	광화학적		109			109
CO <sub>2</sub> 저장		137	380		8	525
기후변화탐지			445			445
계 (백만원)	2,706	6,613	7,115	57	5,510	22,001

# 결론

- CO<sub>2</sub> 회수 및 처리기술
  - 탄소세와 연계, 저비용 회수 및 처리기술 개발  
\$100~300/ton CO<sub>2</sub> → \$ 10/ton CO<sub>2</sub> 이하
  - 혁신적 저비용 기술: 초기 탐색 단계
  - 연구비
    - 미국: 2000년~2015년, 1조 1500억원 투자
    - 우리나라: 향후 10년 동안 1000억 이하
  - 향후 개발 방향
    - 소규모로 다양한 분야 기반 기술 연구, 추이 탐색
    - 가능성 있는 기술 집중 투자
    - 대량 회수 ⇒ 저장 기술 우선 개발

