

---

# 2050 탄소중립 시나리오

## 세부 산출근거

---

2021. 10.





## 목 차



I. 2050년 전망을 위한 주요가정 .....	1
II. 부문별 세부 산출근거 .....	3
1. 전환 부문 .....	3
2. 산업 부문 .....	6
3. 건물 부문 .....	9
4. 수송 부문 .....	11
5. 농축수산 부문 .....	13
6. 폐기물 부문 .....	15
7. 수소 부문 .....	16
8. 탈루 부문 .....	19
9. 흡수원 부문 .....	19
10. 이산화탄소 포집 및 저장·활용(CCUS) 부문 .....	22



## I 2050년 전망을 위한 주요 가정

\* '20년에 수립한 「2050 장기저탄소발전전략(LEDs)」 마련을 위한 전문가 포럼('19.3~'20.2) 운영 당시에 '50년 전망치를 산정하기 위한 전제로서, 당시의 최신 통계·추정치를 활용하였음

- (인구 및 가구) 인구는 연평균 0.05%('18~'40) 증가 후 0.5%('40~'50) 감소, 가구는 1인 가구 증가 영향으로 0.6%('18~'40) 증가 후 0.03%('40~'50) 감소

[단위: 백만명, 백만가구]	'18년	'30년	'40년	'50년	'18~'40년 (연평균 증가율)	'40~'50년 (연평균 증가율)
인구	51.6	52.9	52.2	49.4	0.05%	-0.5%
가구	19.8	21.6	22.3	22.2	0.6%	-0.03%

※ '15년까지 실적 적용, '16년 통계청 전망

- (GDP) 전망기간 동안 연평균 1.9%('18~'40), 1.0%('40~'50) 성장 전망

[단위: %]	'18년	'30년	'40년	'50년	'18~'40년 (연평균 증가율)	'40~'50년 (연평균 증가율)
GDP 성장률	2.7	1.7	1.2	0.9	1.9%	1.0%

※ '18년까지 실적 갱신, KDI 전망

- (유가) 전망기간 동안 연평균 3.2%('18~'40), 1.2%('40~'50) 인상 전망

[단위: \$/bb]	'18년	'30년	'40년	'50년	'18~'40년 (연평균 증가율)	'40~'50년 (연평균 증가율)
국제유가	60	103	120	136	3.2%	1.2%

※ 3차 에너지기본계획('19) 전제조건 연장

- (산업구조) 서비스업 비중이 확대되는 가운데, 제조업 생산액 증가세 유지

[단위: 조원]		'18년	'40년	'50년	'18~'40년 (연평균 증가율)	'40~'50년 (연평균 증가율)
농림어업·광업	생산액	34	36	34	0.2%	-0.6%
	비중	(2.2%)	(1.5%)	(1.3%)		
제조업	생산액	511	724	786	1.6%	0.8%
	비중	(32.0%)	(29.7%)	(29.2%)		
서비스업	생산액	1,053	1,675	1,875	2.1%	1.1%
	비중	(65.9%)	(68.8%)	(69.6%)		

※ 산업연구원 전망('19)

## 전망 방법 및 한계

- (전망방법) 3차 에너지기본계획의 '40년까지 에너지 전망 자료를 기초로 목표수요 작업과의 연계성을 감안, 에너지기본계획 연장안 사용
  - ※ '50년 기준배출량은 경제발전에 대한 예측, 과거 온실가스 증가추세의 유지, 현재 수준의 에너지 믹스 등이 유지된다는 전제하에 온실가스 배출량을 추정
  - (에너지) 부문별 에너지 수요전망 취합 후, 전력·열 배출계수와 온실가스 인벤토리 산정방식(17)을 적용하여 온실가스 배출전망치\* 산정
    - \* Business As Usual, 온실가스 감축을 위한 인위적 조치를 취하지 않을 경우 예상되는 온실가스 배출량
  - (비에너지) 산업공정, 농축산, 폐기물은 전문가 논의\* 후 전망
    - \* 2050 장기저탄소발전비전포럼('19.3~'20.2) 기술작업반(온실가스종합정보센터, 에너지경제연구원, 산업연구원, 교통연구원 등 22개 기관 34명 참여)
- (한계점) 주요 전제 외 탄소중립 시나리오에 따른 추가적인 경제·사회 구조 변화는 미반영

## II 부문별 세부 산출근거

### 1 전환(발전) 부문

#### □ 주요 전제조건

- (수요) 산업, 수송, 건물 등 부문별로 전력화(화석연료→전기로 대체)가 진행되면서 전체 전력수요는 2018년 대비 221.7~230.7%로 대폭 증가  
- 2050년 전력수요는 1,166.5~1,213.7TWh 전망

(단위 : TWh)

구분	산업	수송	건물	농축수산	수소 생산	CCUS	DAC	합계
A안	503.6	71.3	277.1	25.1	235.3	101.3	-	1,213.7
B안		70.2			129.0	155.6	5.9	1,166.5

\* A안은 수전해 수소(그린 수소) 생산 비중 확대에 전력수요 高

- (공급) 2050년 발전량은 발전소 내 소비 및 송·배전손실(3.5%) 등을 고려하여 1,208.8~1,257.7TWh 필요

#### □ 2050년 온실가스 배출량 : 0~20.7백만톤

- 재생에너지 중심으로 전력을 공급하되, 수소, 잔여 원전 등 무탄소 전원을 활용하고 B안의 경우 일부 화석연료 발전 지속

(단위 : TWh)

구분	원자력	석탄	LNG	재생E	연료 전지	동북아 그리드	무탄소 가스발전	부생 가스	합계	배출량 (백만톤)
A안	76.9 (6.1%)	0.0 (0.0%)	0.0 (0.0%)	889.8 (70.8%)	17.1 (1.4%)	0.0 (0.0%)	270.0 (21.4%)	3.9 (0.3%)	1257.7 (100%)	0
B안	86.9 (7.2%)	0.0 (0.0%)	61.0 (5.0%)	736.0 (60.9%)	121.4 (10.1%)	33.1 (2.7%)	166.5 (13.8%)	3.9 (0.3%)	1,208.8 (100%)	20.7

\* 석탄발전 중단은 근거 법률 및 보상방안 마련 전제

\* 환경급전, 배출권거래제 등 시장 메커니즘 활용 전환 추진

- (A안) 화력발전 전면 중단\*으로 전환부문 배출량 제로化

\* 단, 산단 및 가정·공공 열 공급용 LNG는 유지(산업, 건물 부문에서 각각 배출량 포함)

- (B안) 화력발전 일부 유지\*(LNG)하여 배출량 잔존

\* 석탄발전 중단, LNG 발전은 유연성 전원으로 활용

## □ 세부 산출 근거

- **재생에너지** : 잠재량을 고려하고 수용성·환경성을 우선한 공급
  - 현행 규제 조건 하에 2050년 기술전망을 감안한 재생에너지 시장 잠재량은 769.3TWh으로 추정되나, 규제개선 및 기술 혁신 가속화를 통해 설치용량 및 발전량 증대 가능
  - 기술적 잠재량\*은 충분하므로 국토 입지규제 완화, 기술 혁신, 국민적 수용성 확보 등을 통해 시장잠재량을 점차 확대\*\*
  - \* '20년 기술수준 등에 따른 '20년 기준 기술잠재량(TWh, 2020 신재생에너지 백서)
    - 태양광 3,117, 육상풍력 781, 해상풍력 1,176 등
  - \*\* 태양광 이격거리 규제 완화, 영농형·마을형 태양광 확대, 풍력 규제완화 및 부유식 확산 등
- **화석연료** : 모든 시나리에서 석탄발전은 2050년 이전에 폐지
  - (A안) 모든 화석연료 발전 중단
  - (B안) LNG 발전량을 전체 발전량의 약 5%로 유지하며, 배출되는 온실가스는 CCUS를 통해 포집 처리. LNG는 수소와 혼소가 가능하므로, 무탄소가스발전과 함께 사용
- **원자력** : 설계수명이 남은 원전 지속 발전
  - 2050년 기준 설계수명이 도래하지 않은 9기(11.4GW) 원전을 유지하되, 이용률은 각 대안별로 상이
  - 대안별 이용률 : (A안) 77% (B안) 87%
  - 이용률 산정 근거 : (A안) 지난 10년간 세계 원전 평균 이용률, (B안) 전문가 그룹 의견 반영
- **연료전지(수소)** : 대안별 이용량 차이 큼
  - (A안) 재생에너지 확대에 따른 계통불안정성에 대응하기 위해서, 유연성 전원으로 수소터빈을 더 적극적으로 활용하며 연료전지는 특수 용도에만 3.9GW 이용한다고 가정하고, 이용률 50% 적용
  - (B안) 기존의 연료전지 확대정책을 반영해 2050년 발전용 13GW, 가정·건물용 3.9GW 설치를 가정하고 이용률 82% 적용
  - \* 수소경제 활성화로드맵(19.1)의 2040년 연료전지 보급목표 : 발전용 8GW, 가정·건물용 2.1GW

- 동북아 그리드 : 대안에 따라 신설 또는 미이용
  - (A안) 대용량 그리드 연결 시 계통 운영에 제약으로 작용할 수도 있으므로 동북아그리드를 제외
  - (B안) 중국(2.4GW), 러시아(3GW)와 협력을 통해 5.4GW 규모의 그리드를 통해 33.1TWh(이용률 70%) 확보 추진
- 무탄소 가스발전
  - 수소터빈, 암모니아 발전 등 수소기반 터빈발전으로 재생에너지 중심 전력망에서 핵심 유연성자원으로 기능
  - 발전용 연료사용량 산정을 위해, 현재 상용화가 가능성이 가장 높은 수소터빈(효율 60% 기준)을 기준으로 수소 소요량 산정
- 부생가스
  - 부생가스 1.2GW를 활용하여 3.9TWh 전력 공급
- 재생에너지 저장 및 계획적 차단
  - 최적의 저장용량을 확보하기 위해 전체 재생에너지 발전량의 5%는 계획적으로 차단(curtailment)
    - ※ 5% 계획적 차단 시 저장장치 필요 용량이 통상 1/2로 감소
  - 수소 수전해용 전력 소요량을 제외한 저장량은 양수발전과 배터리 저장 장치에 1:3의 비율로 저장, 활용
  - 전력 저장 및 재이용에 따른 전환손실은 양수발전 20%, 배터리지장 10% 가정
  - 재생에너지 발전량(889.8, 736.0 TWh)은 순발전량으로, 저장손실 및 커테일먼트를 고려한 총발전량은 각각 970.9, 790.0 TWh임

## 2 산업 부문

### □ 주요 전제조건

○ (에너지 수요\*) 연 원료를 포함하는 산업부문 에너지 수요는 139.3백만TOE\*\* 전망

\* 동 수요는 '에너지 효율화' 등 온실가스 감축 수단을 모두 적용한 후의 에너지 수요를 의미

\*\* 원료 제외 에너지 수요는 71.2 백만TOE

- 탄소중립 이행과정에서 산업부문의 최종에너지 소비 중 석유·석탄·도시가스의 상당 부분을 전력이 대체하면서 전력 소비 증가는 불가피

### < 산업부문 에너지 수요 전망 >

(단위 : 백만TOE)

	2017년	2018년	2050년						
			철강	시멘트	화학	정유	반디	기타	
합계	147.8	148.7	139.3	18.0	3.3	78.8	3.6	11.0	24.6
석탄	32.8	32.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
석유	74.7	74.5	25.6	0.0	0.0	22.4	1.7	0.0	1.5
도시가스	8.8	12.6	3.9	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	3.1
전력	22.4	22.9	43.3	6.1	0.5	10.0	1.4	11.0	14.3
신재생	9.0	6.7	30.5	0.0	1.5	22.8	0.5	0.0	5.7
수소	-	-	36.0	11.9	1.3	22.8	0.0	0.0	0.0

### □ 2050년 온실가스 배출량 : 51.1백만 톤

○ 직접배출 25.6만 톤, 공정배출 25.5만 톤으로 구성

### □ 감축 수단 및 산출 근거

○ (철강) 수소환원제철 기술을 100% 도입하여 코크스 생산용 유연탄을 수소로 대체하고, 기존 고로는 모두 수소환원강+전기로로 전환  
⇒ 96.6백만 톤 감축

\* ('18) 101.2백만 톤 배출 → ('50) 4.6백만 톤 배출

- 전로강에서 수소환원강으로 100% 전환하여 코크스 제조원료인 유연탄을 수소로 대체

- 전기로제강 전환('50년까지 누적 8백만 톤 전환)
- 석회석과 백운석 소비 감소 등으로 공정배출 0.9백만 톤 감축

(참고 1) 철강 생산량 전망

단위 : 천톤	2017	2030	2040	2050	비고
전로강	47,676	48,765	44,690	-	
전기로강(Scrap)	23,354	26,354	29,354	31,354	'30 전기로(+3,000) '40 전기로(+3,000) '50 전기로(+2,000)
전기로강(H <sub>2</sub> -DRI)	-	-	1,000	38,469	
조강생산합계	71,030	75,119	75,044	69,823	

○ (시멘트) 폐합성수지(페플라스틱 등) 및 수소열원 활용을 통한 연료 전환 + 석회석 원료 및 혼합재 사용을 통한 원료 전환 ⇒ **18백만 톤 감축**

\* ('18) 34.1백만 톤 배출 → ('50) 16.1백만 톤 배출

- (연료전환) 고체화석연료(유연탄)를 폐합성수지 60%, 수소열원 40%로 완전 대체

※ 예열기에 주로 사용 중인 폐합성수지 사용 비율 확대('17년 20% → '50년 60%), 폐합성수지 확대 후 남는 유연탄 40%와 기타 석유, 도시가스는 전기로 대체

- (원료전환) 석회석 원료 대체율(슬래그, 애시류 등) 12%·혼합재 비중 20% 확대, 혼합시멘트 생산 비율 증가 등

(참고 2) 폐합성수지 대체 관련 해외사례

- (EU) '50년 유연탄의 바이오 및 폐합성수지 대체율 60%

\* 출처: A sustainable future for the European Cement and Concrete Industry: Technology assessment for full decarbonisation of the industry by 2050. ETH Zurich(2018)

- (영국) '50년 유연탄의 바이오 및 폐합성수지 대체율 80%

\* 출처 : Mineral Products Association(2013). MPA Cement Reduction Strategy: Roadmap to 2050

○ (석유화학·정유) 연료 전환, 바이오·수소 원료 활용을 통한 납사원료 전환, 폐플라스틱 활용, 정유-플라스틱-고무산업을 포함한 화학산업 전반의 생산구조 변화 ⇒ **45.9백만 톤 감축**

\* ('18) 62.8백만 톤 배출 → ('50) 16.9백만 톤 배출

- 전기가열로 도입 및 바이오매스 보일러 교체
- 바이오 및 수소 원료 활용을 통한 납사 원료 전환
- 자원 순환을 통한 폐플라스틱 원료 활용
- 탄소중립연료 확대 등 수요구조 변화로 석유제품 생산 규모 축소 및 화학산업 생산구조 재편 고려
- 정유 부문의 LNG 연료를 저/무탄소 연료(암모니아)로 대체

**(참고 3) 전세계 석유수요 전망**

○ BP, Energy Outlook 2050('20.9)

- 전세계 석유 수요는 Net Zero 시나리오 기준, 2050년에 2018년 대비 **77.7%** 감소 전망

(unit : EJ)	2018	2030	2040	2050	18년 대비 50년
World	190	168	96	42	-77.7%
EU	26	18	7	2	-90.9%
United States	37	29	14	6	-72.9%
China	27	25	15	7	-74.2%
India	10	11	8	4	-62.2%
Other Asia	18	19	13	6	-69.7%

○ IEA, The World's Roadmap to Net Zero by 2050('21.5)

- 전세계 석유 수요는 2050년에 2019년 대비 **75%** 감소 전망

(unit : EJ)	2019	2030	2040	2050	19년 대비 50년
World	171	129	77	42	-75%

○ (기타) 설비 경량화, 에너지효율 개선, 가스 대체, 친환경 냉매 전환 ⇒ **48.9백만 톤 감축**

\* ('18) 62.4백만 톤 배출 → ('50) 13.5백만 톤 배출

- 설비 경량화, 열손실 감소 기술 적용, 노후설비 교체 등을 통해 에너지 효율 10~20% 개선

- 스마트공장, 스마트산단, FEMS 도입 가정
- 불소계 온실가스를 대체 가스·친환경 냉매로 전환
- 열병합발전설비에서 사용하는 석탄, 석유를 LNG와 바이오매스로 대체

**(참고 4) 업종별 에너지 효율 목표**

- (기계) 고효율기기 보급 확대, 공정 신기술 적용을 통한 에너지 효율 개선
  - 기존 보일러(효율 85%) 대비 높은 고효율 보일러 (효율 90%이상) 보급
  - 기존 전동기(효율 90%) 대비 5% 이상 효율이 높은 고효율 전동기(효율 95~97%) 보급
  - 가열 및 열처리로 내 산소농도 제어, 산소연소 등 연소효율 개선이 가능한 신기술 개발 및 보급을 통해 5~7% 효율 개선
- (전기전자) 국가 전체의 전력 목표수요는 BAU 대비 '30년 12.6%, '40년 19.6% 감축될 계획이며, 전기전자 분야는 동 수준을 효율 목표로 제시
  - '50년 목표는 공정 스마트화에 따른 효율 향상과 고효율기기 보급의 점진적 진행을 가정하여 25%로 제시함. 시나리오에서는 제시한 효율 향상 목표를 준용해 에너지 효율화 부문의 에너지 절감 가능량을 추산
  - \* 제3차 에너지기본계획(산업통상자원부, 2019.6) 참조
- (섬유) 비수계 염색공정으로의 전환, 저온/고반응형 염료·가공제 사용, 공통기기 및 공정설비 효율화 등을 통한 에너지 절감
  - 온실가스 100% 감축 : ('17) 1.4백만톤 배출 → ('50) 0 배출

**3 건물 부문**

□ 주요 전제조건

- (에너지 수요\*) 건물단열 등 에너지효율 향상, 고효율기기 보급 등으로 36.0백만TOE 전망
  - \* 동 수요는 '에너지 효율 개선' 등 온실가스 감축 수단을 모두 적용한 후의 에너지 수요를 의미
- 2018년 46.9백만TOE 대비 23.2% 감축(△10.9백만TOE)

□ 2050년 온실가스 배출량 : 6.2백만 톤

- 2018년 52.1백만 톤 대비 88.1% 감축(△45.9백만 톤)

< 최종 에너지 수요 및 온실가스 배출량 >

구분		2018년	2050년
에너지(백만Toe)	합계	46.9	36.0
	석탄	0.4	-
	석유	6.8	-
	도시가스	14.7	2.9
	전력	20.6	23.8
	열	2.7	2.7
	신재생	1.7	6.6
온실가스(백만톤CO <sub>2</sub> eq)		52.1	6.2

□ 감축 수단 및 산출 근거

- (에너지 효율 향상) 에너지 절약 설계기준 강화(신축), 그린리모델링 사업 확대(기존 건물) 등 ⇒ 10.4백만톤 감축
  - 냉·난방 원단위 효율 향상('18년 대비 32% ↑)을 통한 감축 효과 도출
    - \* 건물유형별 냉·난방 원단위 효율 향상 : (주거) 40%, (비주거) 30%
  - '50년 ZEB 보급률 신축 100%, 그린리모델링 이행율 100%
    - \* 제로에너지건축물 ZEB 1등급, 그린리모델링 에너지효율등급 가정 1++, 상업·공공 1+
- (고효율기기 보급) 에너지소비효율 강화 및 표시제도 확대 등 조명 및 기기 에너지 사용 원단위 향상 ⇒ 6.5백만톤 감축
  - 감축 대상 기기의 효율 향상 효과를 종합하면 '18년 대비 25~30% 원단위 향상, 이를 에너지 절감률로 산정 시 30~32% 절감
    - \* 기기별 효율 향상 : (주거) 5~15%, (비주거) 5~10%
    - \*\* 열전기 저장 매체 활용에 의한 효율 향상 : 10%, 개별 기기의 스마트 제어 : 10%
- (스마트에너지 관리) BEMS, HEMS 보급 확대 등 에너지 이용 최적제어 통합 관리시스템 도입 ⇒ 0.8백만톤 감축
  - 홈(Home) 또는 빌딩(Building) 에너지관리시스템(EMS) 100% 보급과 에너지 절감률 적용을 통한 절감

- (행태개선) 국민의 자발적 동참, 기후환경비용 반영 등을 통한 에너지 수요 절감 ⇒ 0.2백만톤 감축
- (청정에너지 확대) 냉·난방 및 급탕 시 신재생에너지(태양열, 지열, 수열 등) 보급 확대 ⇒ 2.9백만톤 감축
- (저탄소 에너지 활용) 지역난방에 폐열, 미활용열 등 이용(고효율 히트펌프 등 적용), 잔여 화석연료 전기 대체 ⇒ 15.0백만톤 감축
  - 연료전지, 발전소 폐열 등 청정열을 활용한 지역난방 공급량 확대
  - 잔여 화석연료는 사용 편리성 및 저탄소 전력 생산 등을 고려하여 전기로 대체하되, 도시가스(LNG)는 에너지 공급 안정성 등을 감안하여 가정 부문 최종 수요량의 50% 잔존(2.9백만TOE)

## 4 수송 부문

### □ 주요 전제조건

- (에너지 수요\*) 교통 수요관리 및 무공해차 전환 등으로 2018년 36백만 TOE 대비 59.4% ~ 64.9% 감소한 12.6백만TOE ~ 14.6백만TOE 전망
  - \* 동 수요는 '무공해차 전환' 등 온실가스 감축 수단을 모두 적용한 후의 에너지 수요를 의미
- (연료 전환) 화석연료(석탄, 석유, 도시가스) 사용량은 2018년 97.4%에서 2050년 4.3~7.7%로 감소, 전력 및 신재생에너지는 95.7~92.3%로 확대
  - \* e-fuel 등 탄소중립 연료는 생산에 필요한 전력·수소량을 가정하여 반영

### □ 2050년 온실가스 배출량 : 2.8백만톤(A안) ~ 9.2백만톤(B안)

- 에너지 소비 감축 및 에너지원 전환을 통해 2018년 98.1백만톤 대비 91%~97% 감축
  - \* 전력 등 생산 시 발생하는 간접 배출량은 전환 분야 포함

(단위 : 백만톤CO<sub>2</sub>eq)

	도로	철도	해운	항공
'50년 배출량	1.0(A안) ~ 7.4(B안)	0	0.3	1.5

\* B안의 도로 부문 배출량은 대체연료(E-fuel) 생산시 탄소포집으로 상쇄(-7.4백만톤)

□ 감축 수단 및 산출 근거

- (수요관리 강화) 비수도권 대중교통 수단 분담율 10% 상향 등을 통해 승용차 통행량 15% 감축\*, 경·소형차 보급 확대(비중 '18년 31%→'50년 48%) 등 추진 ⇒ 7.1백만톤 감축

\* '18년 59.6백만 → '50년 50.9백만 (통행량/일)

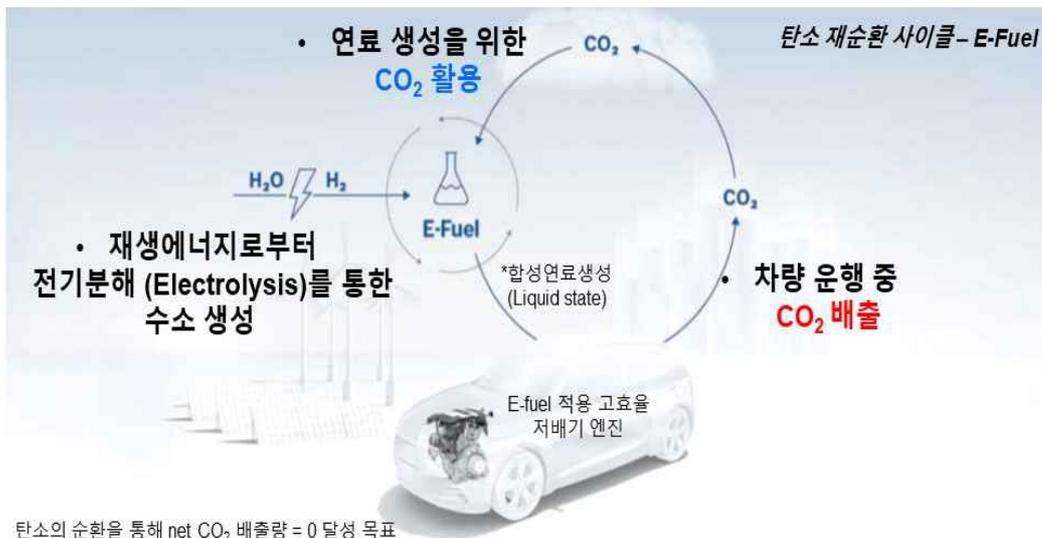
- (무공해차 전환) ⇒ 64.4백만톤 ~ 72.7백만톤 감축

구분	A안	B안
전환방향	○ 무공해 차량을 중심으로 탄소중립 실현방안 제시	○ 무공해차 중점 보급 및 잔여차량 적용을 위한 대체연료(E-fuel 등) R&D 병행
세부내용	○ 전기차 80% 이상 ○ 수소차 등 대안 17% 이상	○ 전기·수소차 85% 이상 보급 ○ 잔여차량 E-fuel 등 100% 보급
에너지 등 수요	○ 전력 : 전기차 59.1Twh ○ 수소 : 수소차 1.37백만톤 ○ 화석연료 : 0.35백만TOE	○ 전력 : 전기차 48.1Twh E-fuel 9.9Twh ○ 수소 : 수소차 1.62백만톤 E-Fuel 0.46백만톤
온실가스 배출량	○ 1.0백만톤	○ 7.4백만톤*

\* 잔여 차량의 E-fuel 연소에 따른 배출량만큼 직접공기포집(DAC)기술을 통해 상쇄(-7.4백만톤)

(참고 5) 대체연료 예시 : E-fuel

- (개요) 대기중으로부터 CO<sub>2</sub>를 포집하고 재생에너지를 통해 수소와 결합시켜 E-Fuel을 생성 → 주행 중 배출되는 CO<sub>2</sub>는 E-Fuel 생성 시 포집한 양과 상쇄시키는 것으로 전제



탄소의 순환을 통해 net CO<sub>2</sub> 배출량 = 0 달성 목표

※ 출처 : 2020 Vienna, Bosch

- (친환경 철도 전환) '18년 기준 전기차량 91.7%, 경유차량 8.3%, 경유차량을 무탄소동력(전기·수소) 철도차량으로 100% 전환 ⇒ 0.08백만톤 감축
  - \* 전시 등 비상 상황에 대비한 최소한의 차량과 에너지원(경유)은 감축량 산정에서 제외
- (친환경 해운 전환) 전체 해운에너지 소비량 중 30%는 바이오연료 및 LNG 연료 확대, 40%는 전기·수소선박 보급, 선박에너지효율·운항효율 개선 등 ⇒ 0.8백만톤 감축
- (친환경 항공 전환) 전체 항공유 소비량 중 30%는 바이오항공유 확대, 20%는 전기·수소항공기 도입 ⇒ 1.3백만톤 감축

**5 농축수산 부문**

□ 주요 전제조건

- 농축산부문 기후위기 대응 시나리오는 ①식량안보를 향상하고, ②온실가스 감축을 통해 농촌과 농업의 지속가능성을 높이며 ③안전하고 건강한 먹거리를 생산·소비하는 것을 목표로하며, 이를 달성하기 위해 감축 가능한 기술과 정책을 최대한 반영

□ 2050년 온실가스 배출량 : 15.4백만톤

(단위 : 백만톤CO2eq)

구분	2018년	2050년
합 계	24.7백만톤	15.4백만톤
에너지	3.5백만톤	0.2백만톤
비에너지	21.2백만톤	15.2백만톤

□ 감축 수단 및 산출 근거

- ① (농축산 에너지 전환) 바이오매스 에너지화, 고효율에너지 설비 보급, 농기계 전기·수소 전환 등 반영 산출

- (고효율에너지설비 보급) 공기열히트펌프 등 고효율에너지 설비보급으로 '50년 시설원에 소요 난방유(등유) 50% 절감 ⇒ **41.3천톤 감축**
- (농기계 전기·수소 전환) 등유 수요의 50%와 경유 수요의 100%를 절감 ⇒ **189.8천톤 감축(직접)**
- (바이오매스 에너지화) ⇒ **0.4천톤 감축(간접)**

② (수산 에너지 전환) 어선 효율화(어선 노후기관 교체 및 대체, 하이브리드 어선 감척 등)와 고효율 장비 보급 등을 반영 산출 ⇒ **753천톤 감축**

③ (영농법 개선) 논물관리, 질소질 비료 사용 절감, 바이오차(Biochar)\* 토양개량제 사용 등 반영 산출

\* 바이오매스(biomass)와 숯(charcoal)의 합성어로 목재 등을 300~350°C 이상의 온도에서 산소 없이 열분해 하여 만든 숯 형태의 유기물, 바이오차를 토양 살포 시 토양 내 탄소 저장 효과(UN 기후변화 협의체, IPCC 지침)

- (논물관리) 간단관개와 논물 얇게 대기 등 ⇒ **539.8천톤 감축**
- (질소질 비료 사용 절감) ⇒ **268천톤 감축**
- (바이오차 토양개량제) 최근 토양 내 탄소 고정 효과가 입증된 바이오차를 농경지에 45천톤 보급 ⇒ 토양 내 **65천톤 고정**

④ (가축관리) 가축분뇨 자원순환 확대 및 저탄소 가축관리시스템 구축 등을 반영 산출

- (가축분뇨 처리방법 개선) 비농업계(에너지화, 정화처리 등) 이동 비율 확대 ⇒ **4,291천톤 감축**
- (저탄소 가축관리시스템 구축) 한·육우·젓소에 저메탄사료 보급, 한우, 돼지 사료 내 단백질 수준 조절을 통해 분뇨 포함 질소량 감축  
⇒ 2세 이상의 한·육우, 젓소 대상 저메탄 사료 100% 보급으로 **402천톤 감축**  
⇒ 저단백질사료 보급으로 분뇨 내 질소 1%감소로 **48천톤 감축**

- ⑤ **(식생활 전환)** 사회구조변화(소득 수준 상승, 인구 감소, 고령화 등)와 식물성 단백질 선호도 증가, 대체 단백질 기술 개발 등 ⇒ **1,133천톤 감축**
- ⑥ **(생산성 향상)** 주요 축종(한·육우, 젖소, 돼지, 닭) 대상 스마트축사 보급을 중심으로 디지털 축산 경영을 통한 가축 정밀 사육, 폐사율 감소 등 생산성 향상 ⇒ **815천톤 감축**
- ⑦ **(대체 가공식품 증가)** 대체 가공식품(배양육, 식물 성분 고기, 곤충 원료 대체) 확대 ⇒ **318천톤 감축**

**6 폐기물 부문**

□ 주요 전제조건

- **(폐기물 발생량)** 2050년 폐기물 발생량은 감량 및 재활용 확대로 '18년 발생량 162.8백만톤 대비 6.1% 감소한 **152.8백만톤으로 예측**
- **(온실가스 감축)** 폐기물의 감량·재활용으로 처리량을 최소화하고, 최종 처리 단계에서 온실가스 활용 확대 및 발생 저감수단 추진

□ 2050년 온실가스 배출량 : 4.4백만톤

\* 2018년 17.1백만톤 대비 **74% 감축**

구분	2018년	2050년
합계	17.1백만톤	4.4백만톤
매립	7.8백만톤	1.6백만톤
소각	7.1백만톤	1.3백만톤
하폐수	1.7백만톤	1.4백만톤
생물학적 처리	0.4백만톤	0.1백만톤

□ 감축 수단 및 산출 근거

- **(폐기물 감량·재활용)** 1회용품 사용 제한, 음식물쓰레기 감축, 재생원료 사용 의무화 등으로 온실가스 배출 폐기물의 매립 최소화 및 재활용 극대화 ⇒ **5.6백만톤 감축**

※ 생활폐기물 직매립 비율 : 15%('18) → 10%('22) → 0%('30)

구분	감량률*	재활용률**
생활 폐기물	'50년 기준전망 대비 25%	'18년 62% → '50년 90%
사업장 폐기물		'18년 82% → '50년 94%
지정 폐기물		'18년 66% → '50년 70%

\* 감량률 목표는 온실가스를 배출하는 폐기물 중심으로 적용(온실가스 배출이 상대적으로 적고 재활용률이 높은 건설폐기물과 특수성을 감안한 의료폐기물은 제외)

\*\* 재활용률에 폐플라스틱 유화·가스화 등 新 재활용 수단 포함하여 전제

○ (바이오플라스틱 대체) 소재 개발 및 제도개선\* 등으로 생활 및 사업장 플라스틱의 47%\*\*를 바이오 플라스틱으로 대체 ⇒ 22백만톤 감축

\* 바이오 기반 소재 개발 R&D('22~), 바이오 플라스틱 사용지원 로드맵 마련('23~)

\*\* 소각·매립 대상 플라스틱을 중심으로 생활계 100%, 사업장계 45%

○ (바이오가스의 에너지 활용) 매립지, 생물학적 처리시설에서 메탄가스를 회수하여 메탄가스 발전 등 에너지 활용 및 온실가스 발생량 감축 ⇒ 0.4백만톤 감축

\* 바이오매스 처리시 발생하는 이산화탄소는 국가 온실가스 인벤토리 미산정, 메탄은 온실가스 배출량에 포함 → 발생한 메탄을 에너지로 사용 후 배출되는 이산화탄소는 배출량으로 미산정

○ (매립지 준호기성 운영 강화) ⇒ 0.5백만톤 감축

\* 사용완료 및 직매립 금지('26 수도권, '30 비수도권) 등으로 메탄회수 잠재량이 적은 매립지에 적용

## 7

## 수소 부문

□ (수요) 전환(연료전지, 수소터빈), 산업(철강, 석유화학, 시멘트), 수송(수소차), CCU(화학적 전환) 등에 필요한 수소량 27.4(A안)~27.7(B안)백만톤 예상

○ (전환) 무탄소 가스터빈 및 수소연료전지 수요 등을 고려하여 전환 부문 수소 13.5~14.2백만톤 필요

○ (산업) 수소환원제철 등 산업공정에 사용되는 원료와 연료로서의 수소 10.6백만톤 필요

- (수송) 수소차 확대 보급, 대체연료 생산 등에 따른 수소 1.5~2.2백만톤 필요
- (농축수산) 농기계, 어선 등의 연료 전환에 따른 수소 0.003백만톤 필요
- (CCUS) CCU 화학적 전환을 위한 수소 1.0~1.6백만톤 필요

(단위 : 백만톤 H<sub>2</sub>)

부 문		2018년	2050년	
			A안	B안
수요량	합계	-	27.4	27.9
	① 전환	-	14.2	13.5
	② 산업	-	10.6	10.6
	③ 수송	-	1.5	2.2
	④ 농축수산	-	0.003	0.003
	⑤ CCUS	-	1.0	1.6

□ (공급) 수입, 수전해, 추출 + CCUS 및 부생수소를 활용하여 공급

- (주요 수입처) 호주, 중동, 러시아, 북아프리카 등이 예상되며, 정부 노력에 따라 수입 잠재량 확보가 가능할 것으로 전망

(단위 : 백만톤 H<sub>2</sub>)

부 문		2018년	2050년	
			A안	B안
공급량	합계	-	27.4	27.9
	① 해외 수입 수소	-	21.9(80%)	22.9(82.0%)
	② 수전해 수소	-	5.5(20%)	3.0(10.8%)
	③ 추출 수소 + CCUS	-	-	1.0(3.6%)
	④ 부생 수소	-	-	1.0(3.7%)

- 비고 : 1. 수전해에 필요한 전력 소비량은 43kWh/kgH<sub>2</sub>(시스템 효율)로 전망하여 산정  
 2. 수전해 수소 공급량 산정시 폐플라스틱 가스화 등 바이오매스를 활용하여 생산한 수소 포함  
 3. 1·2안은 '50년까지 현재 부생수소 생산 수준 유지 가정

□ (온실가스 배출) 추출 수소 생산을 하지 않는 경우 0톤(A안), 추출 수소 생산 시 9.0백만톤(B안) 배출

※ B안에서 배출량은 전량 CCUS 처리로 순배출은 제로화

□ 세부 산출 근거

< 참고 : 발전량 및 배출량 산정 시 이용 계수 >

고려사항	단위	계수
추출수소배출계수	tCO2e/tH2	9
수소전기분해효율	MWh/tH2	43

- (부생) B안의 경우 현재 공급량 0.93 백만톤과 추가 계획된 0.1백만톤 (SK인천석유화학, 포스코 등) 공급량을 '50년까지 유지, A안은 부생수소 無
- (추출) B안은 추출방식으로 1백만톤의 수소를 공급하고, 이때 발생하는 9백만톤의 온실가스는 CCUS를 통해 처리
- (그린 수소) 국내 재생에너지 여건을 고려하여, A안은 전체수요의 20%, B안은 10%를 재생에너지를 활용한 수전해 수소로 공급하고, 80%는 해외에서 생산된 그린 수소를 도입
  - 규제혁신과 기술개발로 재생에너지 비용과 생산량을 확대할 수 있다면, 국내공급 그린 수소 비중을 대폭 확대 가능
- 수전해 시스템 효율 43kWh/kgH<sub>2</sub> 적용
  - 국제재생에너지기구(IRENA)는 '50년 수전해 시스템 효율을 45kWh/kgH<sub>2</sub> 이하로 전망하였으며, 탄소중립 시나리오는 이보다 더 적극적 수준인 43kWh/kgH<sub>2</sub> 적용

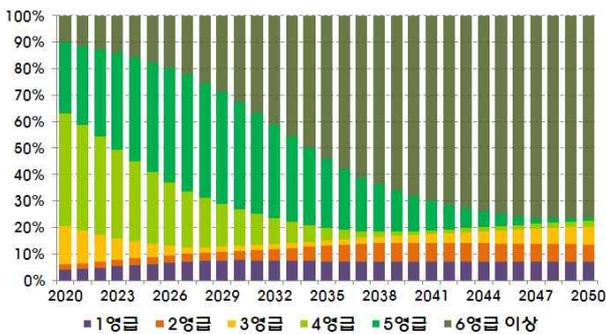
## 8 탈루 부문

- 탈루는 천연가스 사용 시 발생하는 기타 누출이 대부분으로, 천연가스 소비 전망(A안 : 6.8백만TOE, B안 : 16.5백만TOE)을 토대로 0.5(A안)~1.3(B안) 백만 톤으로 추정

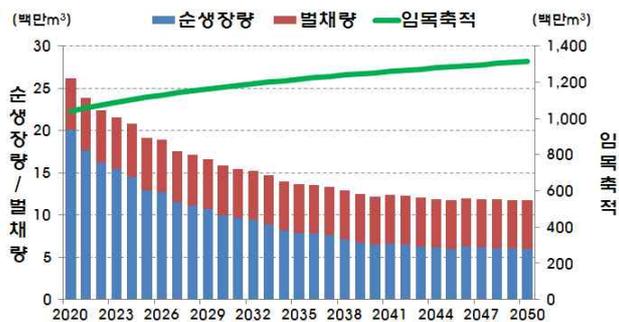
## 9 흡수원 부문

### □ 주요 전제조건

- (산림) 현재와 같은 상황이 유지될 경우 우리 산림의 지속성 감소
  - 인구감소 등으로 한계농지가 산림으로 전환되어 산림면적 증가
  - 침엽수가 쇠퇴하여 활엽수와 혼효림으로 전환
  - 총임목축적\*은 지속적으로 증가하나 순임목생장량\*\*은 빠르게 감소
  - \* 전체 나무의 양(부피) \*\* 매년 나무들이 자라면서 증가하는 나무의 양(부피)
  - 6영급 이상(51년생 이상) 산림면적이 급격히 증가
  - \* 6영급 이상 산림면적 비율(%) : ('20) 10.2 → ('30) 32.7 → ('50) 72.1



**【영급별 산림면적 비율】**



**【순임목생장량 및 임목축적】**

- (해양) 식생연안습지 이외 갯벌퇴적물과 패각 등 저장고 활용 추가
  - IPCC에서 인정한 식생연안습지 외에도, 연안퇴적물, 외해퇴적물, 패각 등은 탄소가 저장되고 지속적인 보전·관리 시 재배출되지 않으므로 이에 대한 국제적 인정 필요
  - \* 연안습지는 기존 국가통계상 토지 카테고리화 미중복

- 해조숲 조성을 통해 해수 중에서 흡수되는 이산화탄소 흡수량 인정
  - \* 조성된 식생습지, 해조숲 등은 계속 유지되는 것으로 간주

○ (댐, 하천 등) 댐홍수터, 저류지, 수변녹지 등을 활용한 온실가스 감축

- 댐 유역 부지에 조성되는 정화림, 수변 녹지 등은 산림 부문과 미중복

□ 2050년 온실가스 흡수량 : 25.3백만톤

- 산림, 해양, 댐, 하천, 초지, 도시지역 녹지 등으로 산정

□ 흡수 수단 및 산출 근거

① 산림

- (흡수능력 강화) 영급구조 개선 및 숲가꾸기 확대, 우수품종 조림 면적 확대를 통한 산림의 흡수능력 증진 ⇒ 20,808천톤 흡수
- (신규 흡수원 확충) 유휴토지 조림, 도시숲 조성을 통한 흡수량 확충 ⇒ 600천톤 흡수
- (흡수원 보전·복원) 생태복원, 재해피해 방지를 통한 흡수원 보전 ⇒ 0천톤 순배출(생태복원 100천톤, 재해피해 -100천톤)
- (고부가가치 목재이용) 국산목재이용확대, 장수명재료목재 이용 확대 등 ⇒ 2,200천톤 흡수

② 해양

- (식생연안습지 신규조성) IPCC 2013 지침에 따라 연안습지(염습지, 잘피림) 조성을 감축 수단으로 적용 ⇒ 230천톤 흡수
- (비식생습지 보호·복원) 갯벌복원을 통한 비식생습지 확대 해양보호구역 지정을 통한 해양공간의 개발억제 및 보전 활동을 감축 수단으로 적용 ⇒ 864천톤 흡수
  - \* 산림경영 또는 REDD+의 경우 '보전(conservation)'조치도 감축 활동으로 인정

- (바다숲 조성) 국내 연안에서 매년 갯녹음 발생으로 해조군락 감소하며, 해조숲 신규 조성을 통해 흡수되는 이산화탄소를 감축량으로 적용 ⇒ 179천톤 흡수
- (굴양식) 우리나라는 수하식 양식을 통해 매년 34만톤의 굴을 생산하며, 생산된 굴의 패각에 격리·저장된 탄소를 감축량으로 적용 ⇒ 90천톤 흡수

### ③ 댐, 하천 등

- (댐) 댐 유역 부지 생태공간 조성, 댐 부유물 활용 바이오차(Biochar) 생산, 댐 유희수면 인공수초섬 조성 등 ⇒ 22천톤 흡수
- (하천) 저류지 활용, 4대강 유역 수변 녹지·생태벨트 조성 등 ⇒ 61천톤 흡수
- (기타) 그린도시 건설 내 철새서식지(연안습지) 조성, 새만금 사업으로 환경생태용지 활용 등 ⇒ 18천톤 흡수

### ④ 초지

- (초지 면적 확대) 현재 초지 면적은 감소하고 있으나, 2025년 이후 매년 1%씩 면적을 증가시킨다고 가정 ⇒ 136천톤 흡수
- (초지관리등급 개선) 향후 초지 온실가스 배출량 산정에 초지관리등급을 적용할 것이고, 2025년부터 상급 초지가 1%씩 증가하고 중·하급 초지가 0.5%씩 감소한다고 가정 ⇒ 31천톤 흡수

### ⑤ 도시지역 녹지 등

- (그린벨트) 그린벨트 내 환경문화·생활공원 조성 등 ⇒ 2.3천톤 흡수
- (택지개발) 신규 택지개발 사업 구간 내 녹지 등 ⇒ 11천톤 흡수
- (재개발, 재건축) 재개발, 재건축 사업구간내 녹지 등 ⇒ 3천톤 흡수

## □ 주요 전제조건

○ (CCS) 국내·외 약 20억톤 규모 CCS 저장소 확보\* 및 CCS 저장용량은 최대 2080년대까지 운영\*\*하는 것을 전제

\* 국내 대상 : 대륙붕 저장소 6억톤, 한계령 저장소 2억톤, 저장량 증진 2억톤(25% 증진)  
 해외 대상 : 한중일 공동수역 저장소, 해외 저장소(호주, 동남아, EU, 북미) 등 10억톤

\*\* 국제적으로 CCS 기술은 온실가스 감축을 위한 가교 기술로써, 2050년부터~2060년경 정점을 이룬 후 기타 탄소중립 기술의 발전에 따라 2090년 이후 종료 될 것으로 전망

○ (CCU) 모든 에너지를 무탄소 전원으로 공급, 공정상 필요 수소는 그린수소 및 해외 도입 수소 사용 등을 전제로 복수의 분석 방법 적용

- CCU 제품의 2050년 국내 수요를 예측하고, 대상 제품별 또는 대상 품목(기술)별로 감축량을 추산하여, 국내 CCU 감축 잠재량 도출

⇒ CCUS 부문은 2050년 기술별 최대 감축 잠재량을 산출하고, 시나리오에는 실제 Net Zero 달성을 위해 필요한 수치만 반영

## □ 2050년 CCUS 감축량 : (A안) 55.1백만톤 / (B안) 84.6백만톤

(단위 : 백만톤 CO<sub>2</sub>e)

부 문	2018년	2050년	
		A안	B안
① 저장(CCS)	-	38.8	59.6
② 활용(CCU)	-	16.3	25.0
감축량	총합	55.1	84.6

## □ 세부 산출 근거

### ○ (CCS) 저장소 확보, 기술 개발, 경제성 등을 고려하여 산출

\* 국내+해외 저장소 활용 CCS 프로젝트로 '21-'50년까지 누적 5.7억톤, '51년 이후 누적 14.3억톤 감축 실현 ('80년대 모든 CCS 프로젝트 종료 예상)

- (국내) 발전·산업 분야 포집원과 유망 대륙붕 저장소를 연계한 CCS 프로젝트를 개념적으로 설계하여 도출 ⇒ 30백만톤 흡수

\* '20~'30년대 착수 및 점진적 확대(('20)400→('30)1,200만톤), '40~'60년대 저장소 집중 활용 (('40)2,000→('50)3,300→('60)3,000만톤), '70~'80년대 점진적 감축(('70)1,400→('80)300만톤)

- (해외) 해외저장소, 경제성 확보 여부에 따라 불확실성이 크지만, 국제 공동 저장 사업이 활성화되는 환경 변화를 반영 ⇒ 30백만톤 흡수

\* 해외 주요 저장소 보유국의 저장용량 규모는 미국 약 2,000억톤, 호주 160억톤, 노르웨이 160억톤, 영국 28억톤, 중동 100억톤, 캐나다 24억톤, 브라질 40억톤, 러시아 100억톤, 동남아시아 260만톤 등 약 3,000억 톤 추산 (GCCSI, 2020)

### ○ (CCU) CCU 분야별 기술 및 시장분석 등을 통해 산출

- (화학적 전환) 포집한 이산화탄소로 유기고분자\*, 메탄올 등 화학제품\*\*으로 합성, 윤활기유·항공유로 활용 ⇒ 10백만톤 감축

\* CO<sub>2</sub> derived PC기반 고분자, CO<sub>2</sub> derived Polyester기반 고분자 및 PVC 등

\*\* 메탄올, 포름알데히드, 초산 원료, 에틸렌글리콜 등

- (생물학적 전환) 화력발전소 유희지, 농업 유희지 활용 및 해양 배양, 고밀도 조류배양 등 ⇒ 5.18백만톤 감축

※ 「CCU 기술혁신 로드맵」('21.6, 관계부처 합동)과 'US DOE 미세조류 실증자료'('18)를 기반으로 2050년 생물학적 기술 이용 CO<sub>2</sub> 감축량 예상

- (광물탄산화) 탄산물질(시멘트·콘크리트 양생시 활용)로 전환\*하거나 건설자재로 활용\*\*, 탈황석고·인산석고 처리 등 ⇒ 10백만톤 감축

\* △시멘트 제품 시장 규모(5천만 톤/년) 중 20%를 CO<sub>2</sub> 흡수경화 시멘트로 대체하고 양생, △콘크리트 시장규모(약 1억 4천만 m<sup>3</sup>) 중 20% 적용

\* 활용가능한 산업부산물(CaO) 50% 활용, 탄산화 효율 최대 20~40% 가정