보안 과제( ), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개( ) 발간등록번호 ( )
국토교통연구기획사업 최종보고서

R&D / 20RDPP-C158831-01

차세대 순환유동층 해외 현지실증 기술개발 기획 최종보고서

2022. 2.

주관연구기관 / 두산중공업(주)
위탁연구기관 / 전북대학교산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술원장 귀하

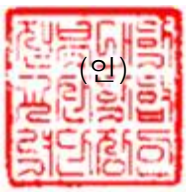
‘차세대 순환유동층 해외 현지실증 기술개발 기획’(연구개발 기간 : 2020. 6. 10 ~ 2021. 11. 9) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2022. 2. 18.

주관연구기관명 : 두산중공업(주) (대표자) 정 연 인 (인)



공동연구기관명 : 전북대학교산학협력단 (대표자) 조 기 환 (인)



주관연구기관책임자: 조 성 진
위탁연구기관책임자: 이 시 훈

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>20RDPP
-C158831-01</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>2020. 6. 10
~ 2021. 11. 9</td><td>단계구분</td><td>1/1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토교통연구기획사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">차세대 순환유동층 해외 현지실증 기술개발 기획</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">조성진</td><td>해당단계
참여연구원 수</td><td>총: 13 명
내부: 13 명
외부: 명</td><td>해당단계
연구비</td><td>정부: 120,000 천원
민간: 천원
정부외: 천원
상대국: 천원
계: 120,000 천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여연구원 수</td><td>총: 13 명
내부: 13 명
외부: 명</td><td>총 연구비</td><td>정부: 120,000 천원
민간: 천원
정부외: 천원
상대국: 천원
계: 120,000 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="3">두산중공업(주)
전략/혁신)에너지/환경기술개발팀</td><td colspan="2">참여기업명</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:전북대학교</td><td colspan="2">연구책임자:이시훈</td></tr>
</table>

※ 국내・외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반 과제

9대 성과 등록・기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ・장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록・기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설・장비 현황

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

○ 고효율 순환유동층 플랜트 설계 · 건설 · 운영기술 개발 전략 수립 - 고효율 순환유동층 보일러 설계기술 개발 - 고효율 순환유동층 플랜트 건설 · 시운전 - 고효율 순환유동층 보일러 운영기술 개발 ○ 한국형 하이브리드발전 상용화 기술개발 전략 수립 - 한국형 하이브리드발전 플랜트 기술개발 - 한국형 하이브리드발전 플랜트 주기기 핵심기술 개발 - 한국형 하이브리드발전 테스트베드 구축 및 운영기술 개발 ○ 초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증 전략 수립 - 미세먼지 집진기술 실증 - 고효율 탈황설비 설계 기술개발 - 고효율 탈질설비 설계 기술개발 - 이산화탄소 포집설비 설계 기술개발 ○ 세부 연구과제 상세 기획 및 사전타당성 검토 - 세부과제(핵심 요소기술) 도출 및 연구 목표, 연구내용 및 연구범위 설정 - 세부과제 기술개발 로드맵 제시 - 과제제안요구서 및 2022년도 국가개발사업 전략계획서 도출	보고서 면수 : 538

요약문

연구의 목적 및 내용	○ 탄소중립 · 저감 실현 및 환경오염물질 제로화 구현을 위한 신 화력발전 기술개발 기획 - 고효율 순환유동층 플랜트 설계 · 건설 · 운영기술 개발 - 한국형 하이브리드발전 상용화 기술개발 - 초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증
연구개발성과	○ 동향 및 환경분석 - 국내외 新화력발전 시장 · 정책 · 기술 동향 분석 - 세부기술별 특허 · 논문 분석 ○ 고효율 순환유동층 플랜트 설계 · 건설 · 운영기술 개발 전략 수립 - 고효율 순환유동층 보일러 설계기술 개발 - 고효율 순환유동층 플랜트 건설 · 시운전 - 고효율 순환유동층 보일러 운영기술 개발 ○ 한국형 하이브리드발전 상용화 기술개발 전략 수립 - 한국형 하이브리드발전 플랜트 기술개발 - 한국형 하이브리드발전 플랜트 주기기 핵심기술 개발 - 한국형 하이브리드발전 테스트베드 구축 및 운영기술 개발 ○ 초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증 전략 수립 - 미세먼지 집진기술 실증 - 고효율 탈황설비 설계 기술개발 - 고효율 탈질설비 설계 기술개발 - 이산화탄소 포집설비 설계 기술개발 ○ 세부 연구과제 상세 기획 및 사전타당성 검토 - 세부과제(핵심 요소기술) 도출 및 연구 목표, 연구내용 및 연구범위 설정 - 세부과제 기술개발 로드맵 제시
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 본 연구를 통해서 도출된 세부기술별 상세 기획보고서는 기술개발과제 도출을 위한 자료로 활용 - 세부기술 개발 과제 공모를 위한 제안요구서(RFP)

국문핵심어 (5개 이내)	순환유동층	하이브리드발전	환경설비	초임계압	저급연료
영문핵심어 (5개 이내)	Circulating Fluidized Bed	Hybrid Coal Gas Concept	Air Quality Control System	Super Critical	Low Rank Fuel

< 목 차 >

1장. 고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술 개발 ····· 1

1. 개요 ····· 1

가. 배경 및 필요성 ····· 1

(1) 기획 배경 ····· 1

(2) 기획 필요성 ····· 16

① 추진 필요성 ····· 16

② 시급성 ····· 23

③ 국고지원 타당성 ····· 24

나. 기획추진 개요 ····· 27

(1) 기획 범위 ····· 27

① 기술의 정의 ····· 27

② 기술분류체계 ····· 32

(2) 기획 추진체계 ····· 33

(3) 기획 추진경과 ····· 35

2. 동향 및 환경분석 ····· 37

가. 정책동향 분석 ····· 37

(1) 국외 정책동향 분석 ····· 37

① 미국 ····· 44

② EU ····· 45

③ 일본 ····· 47

④ 중국 ····· 49

(2) 국내 정책동향 분석 ····· 59

① 국정운영 5개년 계획 ····· 59

② 제4차 과학기술기본계획 ····· 61

③ 한국판 뉴딜 종합계획 ····· 61

④ 2050 탄소중립 추진전략 ····· 62

⑤ 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 ····· 62

나. 시장동향 분석 ····· 64

(1) 국외 시장동향 분석 ····· 64
(2) 국내 시장동향 분석 ····· 72
다. 기술동향 분석 ····· 74
(1) 국외 기술동향 분석 ····· 74
(2) 국외 기술동향 분석 ····· 80
(3) 고효율 순환유동층 개념설계 및 경제성 분석 ····· 95
① 개념설계 ····· 95
② 경제성 분석 ····· 133
라. 특허 및 논문 분석 ····· 142
(1) 특허 분석 ····· 142
(2) 논문 분석 ····· 146
3. 기술개발 내용 ····· 152
가. 기술개요 ····· 152
나. 사업목표 ····· 154
다. 핵심 개발내용 ····· 156
라. 연차별 연구개발 내용 ····· 161
(1) 연차별 연구내용 ····· 161
(2) 실행 로드맵 ····· 162
마. 차별성 및 연계성 ····· 162
4. 과제추진전략 ····· 165
가. 추진체계 ····· 165
나. 추진전략 ····· 167
다. 위험요인 및 극복방안 ····· 168
라. 성과관리 및 활용방안 ····· 170
(1) 성과목표 및 지표체계 ····· 170
(2) 성과관리방안 ····· 172
(3) 성과활용방안 ····· 172
5. 소요 예산 ····· 173
가. 예산총괄 및 재원조달계획 ····· 173
나. 세부과제 예산 ····· 174

6. 실증계획 수립 ····· 177
가. 테스트베드 실증 추진전략 ····· 177
나. 테스트베드 제원 및 특성 ····· 177
다. 테스트베드 실증내용 ····· 178
라. 테스트베드 실증목표 및 평가방법 ····· 178
마. 테스트베드 실증부지 ····· 179
바. 테스트베드 사후 활용방안 ····· 183
2장. 한국형 하이브리드발전 플랜트 상용화 기술개발 ····· 184
1. 개요 ····· 184
가. 배경 및 필요성 ····· 184
(1) 기획 배경 ····· 184
(2) 기획 필요성 ····· 199
① 추진 필요성 ····· 199
② 시급성 ····· 205
③ 국고지원 타당성 ····· 207
나. 기획추진 개요 ····· 209
(1) 기획추진 범위 ····· 209
① 기술의 정의 ····· 209
② 기술분류체계 ····· 211
(2) 기획 추진체계 ····· 212
(3) 기획 추진경과 ····· 214
2. 동향 및 환경분석 ····· 216
가. 정책동향 분석 ····· 216
(1) 국외 정책동향 분석 ····· 216
① 미국 ····· 224
② EU ····· 225
③ 일본 ····· 227
④ 중국 ····· 229
(2) 국내 정책동향 분석 ····· 239
① 국정운영 5개년 계획 ····· 239

② 제4차 과학기술기본계획 ····· 241
③ 한국판 뉴딜 종합계획 ····· 241
④ 2050 탄소중립 추진전략 ····· 242
⑤ 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 ····· 242
나. 시장동향 분석 ····· 244
(1) 국외 시장동향 분석 ····· 244
(2) 국내 시장동향 분석 ····· 245
다. 기술동향 분석 ····· 245
(1) 국외 기술동향 분석 ····· 245
① 미국 ····· 245
② 아시아 ····· 246
(2) 국내 기술동향 분석 ····· 247
라. 특허 및 논문 분석 ····· 249
(1) 특허 분석 ····· 249
(2) 논문 분석 ····· 251
3. 기술개발 내용 ····· 255
가. 기술개요 ····· 255
나. 사업목표 ····· 256
다. 핵심 개발내용 ····· 259
라. 연차별 연구개발 내용 ····· 266
(1) 연차별 연구내용 ····· 266
(2) 실행 로드맵 ····· 267
마. 차별성 및 연계성 ····· 267
4. 과제추진전략 ····· 270
가. 과제추진체계 ····· 270
나. 위험요인 극복방안 ····· 271
다. 성과관리 및 활용방안 ····· 273
(1) 성과목표 및 지표체계 ····· 273
(2) 성과관리방안 ····· 274
(3) 성과활용방안 ····· 275

5. 소요 예산 ····· 276
가. 예산총괄 및 재원조달계획 ····· 276
나. 세부과제 예산 ····· 277
6. 실증계획 수립 ····· 280
가. 테스트베드 실증 추진전략 ····· 280
나. 테스트베드 제원 및 특성 ····· 280
다. 테스트베드 실증내용 ····· 281
라. 테스트베드 실증목표 및 평가방법 ····· 281
마. 테스트베드 실증 대상 부지 ····· 281
바. 테스트베드 사후 활용방안 ····· 282
3장. 초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증 ····· 283
1. 개요 ····· 283
가. 배경 및 필요성 ····· 283
(1) 기획 배경 ····· 283
(2) 기획 필요성 ····· 292
① 추진 필요성 ····· 292
② 시급성 ····· 295
③ 국고지원 타당성 ····· 296
④ 미시행시 문제점 ····· 296
나. 기획추진 개요 ····· 297
(1) 기획 범위 ····· 297
① 기술의 정의 ····· 297
② 기술분류체계 ····· 298
(2) 기획 추진체계 ····· 299
(3) 기획 추진경과 ····· 301
2. 동향 및 환경분석 ····· 303
가. 정책동향 분석 ····· 303
(1) 국외 정책동향 분석 ····· 303
① 미국 ····· 303
② EU ····· 304

③ 일본 ····· 306
④ 중국 ····· 308
(2) 국내 정책동향 분석 ····· 310
① 국정운영 5개년 계획 ····· 310
② 제4차 과학기술기본계획 ····· 312
③ 한국판 뉴딜 종합계획 ····· 312
④ 2050 탄소중립 추진전략 ····· 313
⑤ 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 ····· 313
⑥ 대기오염 저감 정책 ····· 314
나. 시장동향 분석 ····· 317
(1) 국외 시장 동향 분석 ····· 317
① CCUS 시장 동향 ····· 317
② 초청정 환경플랜트 시장 동향 ····· 324
(2) 국내 시장 동향 분석 ····· 334
① CCUS 시장 동향 ····· 334
② 초청정 환경플랜트 시장 동향 ····· 336
다. 기술동향 분석 ····· 339
(1) 국외 기술동향 분석 ····· 339
① CCUS ····· 339
② 초청정 환경플랜트 ····· 340
(2) 국내 기술동향 분석 ····· 342
① CCUS ····· 342
② 초청정 환경플랜트 ····· 345
라. 특허 및 논문 분석 ····· 363
(1) 특허 분석 ····· 363
(2) 논문 분석 ····· 369
3. 기술개발 내용 ····· 386
가. 기술개요 ····· 386
나. 사업목표 ····· 386
다. 핵심 개발내용 ····· 389

라. 연차별 연구개발 내용 ····· 390
(1) 연차별 연구내용 ····· 390
(2) 실행 로드맵 ····· 391
마. 차별성 및 연계성 ····· 392
4. 과제추진전략 ····· 394
가. 과제추진체계 ····· 394
나. 추진전략 ····· 396
다. 위험요인 및 극복방안 ····· 396
라. 성과관리 및 활용방안 ····· 397
(1) 성과목표 및 지표체계 ····· 397
(2) 성과관리방안 ····· 397
(3) 성과활용방안 ····· 398
5. 소요예산 ····· 399
가. 예산총괄 및 재원조달계획 ····· 399
나. 세부과제 예산 ····· 400
6. 실증계획 수립 ····· 404
가. 테스트베드 실증 추진전략 ····· 404
나. 테스트베드 제원 및 특성 ····· 404
다. 테스트베드 실증내용 ····· 404
라. 테스트베드 실증목표 및 평가방법 ····· 405
마. 테스트베드 실증부지 ····· 406
바. 테스트베드 사후 활용방안 ····· 408
4장. 부록 ····· 409
1. 과제 제안요구서 ····· 409
가. 고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술 개발 ····· 409
나. 한국형 하이브리드발전 플랜트 상용화 기술개발 ····· 417
다. 초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증 ····· 425
2. 2022년도 국가개발사업 전략계획서 ····· 432
가. 고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술 개발 ····· 432
나. 한국형 하이브리드발전 플랜트 상용화 기술개발 ····· 445

다. 초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증 ····· 459
3. 핵심특허 분석 내용 ····· 473
가. 고효율 순환유동층 보일러 ····· 473
나. 하이브리드발전 ····· 483
다. 초청정 환경플랜트 ····· 491
4. 주요 회의록 ····· 511
붙임. 참고 문헌 ····· 537

< 표 차례 >

[표 1] 현행 전력시장제도와 '17년 발전용 연료비 기준 발전량 비중 전망 ····· 4

[표 2] 보일러 형태에 따른 성능 비교 ····· 29

[표 3] 기술분류체계 ····· 32

[표 4] 기획 추진체계 구성 및 역할 ····· 34

[표 5] 자문위원회 구성 ····· 34

[표 6] 기획 추진경과 ····· 35

[표 7] 기획활동 사진 자료 ····· 36

[표 8] 중국의 단계별 탄소중립 추진 방향 ····· 50

[표 9] 세계 각국의 에너지 정책 ····· 50

[표 10] 2050 탄소중립 추진전략 ····· 60

[표 11] 2019년 주요 국가 석탄 소비량 ····· 64

[표 12] 국내 유동층 설치 현황 및 실적 ····· 73

[표 13] 증기조건 별 보일러 운전 성능 비교 ····· 75

[표 14] 순환유동층 보일러 시장 선도업체 ····· 78

[표 15] 국내 유동층 연구개발 실적 및 현황 ····· 80

[표 16] 국내 주요 순환유동층 공급 업체 ····· 83

[표 17] 발전시설 건물 및 주요구조물 현황 ····· 98

[표 18] 주증기·재열증기 조건 ····· 99

[표 19] 200MW 베트남 무연탄 USC-순환유동층 보일러 복수기 설계데이터 ····· 100

[표 20] 250MW 인니 아역청탄 USC-순환유동층 보일러 복수기 설계데이터 ····· 100

[표 21] 315MW 남아공 무연탄 USC-순환유동층 보일러 복수기 설계데이터 ····· 101

[표 22] 200MW 베트남 무연탄 USC-순환유동층 보일러 탈기기 및 고온 급수가열기 설계자료 ····· 106

[표 23] 250MW 인니 아역청탄 USC-순환유동층 보일러 탈기기 및 고온 급수가열기 설계자료 ····· 107

[표 24] 315MW 남아공 무연탄 USC-순환유동층 보일러 탈기기 및 고온 급수가열기 설계자료 ····· 108

[표 25] 초임계 순환유동층 보일러 설계탄 성상 ····· 114

[표 26] 200MW 초임계 순환유동층 열손실 계산 결과 및 보일러 효율(베트남 무연탄) ····· 115

[표 27] 250MW 초임계 순환유동층 열손실 계산 결과 및 보일러 효율(인니 아역청탄) ····· 115
[표 28] 315MW 초임계 순환유동층 열손실 계산 결과 및 보일러 효율(남아공 무연탄) ····· 116
[표 29] 순환유동층 설계 시 설계 범주 인자 ····· 118
[표 30] 초초임계 순환유동층 보일러 연소로 형상 ····· 123
[표 31] HEAT TRANSFER TO EVAPORATOR(예 315MW 남아공 무연탄) ····· 124
[표 32] 수냉벽 EVAPORATOR 설계 결과(예 315MW 남아공 무연탄) ····· 124
[표 33] BACK-PASS 단면적 설계 결과 ····· 125
[표 34] 1·2차 과열기 튜브 배열 및 개수 ····· 125
[표 35] 1·2차 재열기, 절탄기 튜브 배열 및 개수 ····· 126
[표 36] 외부열교환기 설계값 ····· 130
[표 37] CYCLONE 일반 설계 수치 ····· 130
[표 38] CYCLONE 설계 결과 ····· 131
[표 39] 용량별 상용 순환유동층 보일러 FEEDER 개수 ····· 132
[표 40] 국내 발전 플랜트의 공사비용 ····· 133
[표 41] 초초임계 순환유동층 발전소 건설비용 분석 ····· 135
[표 42] 초초임계 순환유동층 발전소 운전, 연료, 감가상각 비용 분석 ····· 137
[표 43] 2014년 이후 유연탄 용량, 변동비 및 정산단가 ····· 138
[표 44] 초초임계 순환유동층 발전소 예상수익 ····· 139
[표 45] 초초임계 순환유동층 발전소 LCOE 계산 결과 ····· 139
[표 46] 고효율 순환유동층 특허분석 개요 ····· 142
[표 47] 고효율 순환유동층 핵심특허 리스트 ····· 143
[표 48] 고효율 순환유동층 주요 논문 피인용도 ····· 150
[표 49] 고효율 순환유동층 플랜트 분야 향후 모습 ····· 155
[표 50] 고효율 순환유동층 상용화 기술개발 연차별 연구내용 ····· 161
[표 51] 고효율 순환유동층 상용화 기술개발의 기존 유사과제 분석(1) ····· 163
[표 52] 고효율 순환유동층 상용화 기술개발의 기존 유사과제 분석(2) ····· 164
[표 53] 과제 추진체계 ····· 165

[표 54] 고효율 순환유동층 상용화 기술개발 주체별 역할 분담 ····· 166
[표 55] 고효율 순환유동층 상용화 기술개발의 SWOT 분석 ····· 169
[표 56] 고효율 순환유동층 플랜트 주요 성능지표 ····· 170
[표 57] 연차별 투자계획 ····· 173
[표 58] 세부과제 예산 ····· 174
[표 59] 세부과제 비목별 예산 ····· 175
[표 60] 고효율 순환유동층 테스트베드 제원 및 특성 ····· 177
[표 61] 고효율 순환유동층 플랜트 테스트베드 실증 및 평가방법 ····· 179
[표 62] 현행 전력시장제도와 '17년 발전용 연료비 기준 발전량 비중 전망 ····· 187
[표 63] 차세대 화력발전 플랜트 적용 시 이산화탄소 저감 양 ····· 208
[표 64] 기술분류체계 ····· 211
[표 65] 기획 추진체계 구성 및 역할 ····· 213
[표 66] 자문위원회 구성 ····· 213
[표 67] 기획 추진경과 ····· 214
[표 68] 기획활동 사진 자료 ····· 215
[표 69] 중국의 단계별 탄소중립 추진 방향 ····· 230
[표 70] 세계 각국의 에너지 정책 ····· 230
[표 71] 2050 탄소중립 추진전략 ····· 240
[표 72] 2019년 주요 국가 석탄 소비량 ····· 244
[표 73] 하이브리드발전 특허분석 개요 ····· 249
[표 74] 주요 하이브리드발전 특허 현황 ····· 250
[표 75] 주요 논문의 피인용도 ····· 254
[표 76] 한국형 하이브리드발전 플랜트 분야 향후 모습 ····· 258
[표 77] 한국형 하이브리드발전 상용화 기술개발 연차별 연구내용 ····· 266
[표 78] 한국형 하이브리드발전 상용화 기술개발의 기존 유사과제 분석(1) ····· 268
[표 79] 한국형 하이브리드발전 상용화 기술개발의 기존 유사과제 분석(2) ····· 268
[표 80] 한국형 하이브리드발전 상용화 기술개발의 기존 유사과제 분석(3) ····· 269

[표 81] 과제 추진체계 ····· 270
[표 82] 고효율 순환유동층 상용화 기술개발 주체별 역할 분담 ····· 271
[표 83] 한국형 하이브리드발전 주요 성능지표 ····· 273
[표 84] 연차별 투자계획 ····· 276
[표 85] 세부과제 예산 ····· 277
[표 86] 세부과제 비목별 예산 ····· 278
[표 87] 현행 전력시장제도와 '17년 발전용 연료비 기준 발전량 비중 전망 ····· 286
[표 88] 기술분류체계 ····· 298
[표 89] 기획 추진체계 구성 및 역할 ····· 300
[표 90] 자문위원회 구성 ····· 300
[표 91] 기획 추진경과 ····· 301
[표 92] 기획활동 사진 자료 ····· 302
[표 93] 중국의 단계별 탄소중립 추진 방향 ····· 309
[표 94] 2050 탄소중립 추진전략 ····· 311
[표 95] 미세먼지 관리대책 ····· 315
[표 96] 미세먼지 관련 대책 목표 비교 ····· 315
[표 97] 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법 주요 내용 ····· 316
[표 98] 미국 CCUS 시장규모 ····· 319
[표 99] 독일 CCUS 시장규모 ····· 320
[표 100] 중국 CCUS 시장규모 ····· 321
[표 101] 일본 CCUS 시장규모 ····· 321
[표 102] 기술별 CCUS 시장규모 ····· 322
[표 103] 세계 부문별 CCUS 시장규모 ····· 324
[표 104] DAIKIN INDUSTRY社 주요 M&A ····· 326
[표 105] 대기오염 측정장치 지역별 시장규모 ····· 327
[표 106] 대기오염 측정장치 제품별 시장규모 ····· 327
[표 107] 북미 환경플랜트 국가별 시장규모 ····· 329

[표 108] 1990년 대비 EU 온실가스 배출 목표 ····· 330
[표 109] EU 환경플랜트 국가별 시장규모 ····· 330
[표 110] EU 대기질 표준 ····· 330
[표 111] 아시아·태평양 환경플랜트 국가별 시장규모 ····· 331
[표 112] 미국 환경플랜트 기술별 시장규모 ····· 332
[표 113] 독일 환경플랜트 기술별 시장규모 ····· 332
[표 114] 중국 환경플랜트 기술별 시장규모 ····· 333
[표 115] 일본 환경플랜트 기술별 시장규모 ····· 333
[표 116] 세계 환경플랜트 기술별 시장규모 ····· 334
[표 117] 세계 환경플랜트 부문별 시장규모 ····· 334
[표 118] 한국 CCUS 시장규모 ····· 335
[표 119] 한국 CCUS R&D 투자 현황 ····· 335
[표 120] 한국 환경플랜트 기술별 시장규모 ····· 336
[표 121] 한국 환경플랜트 부문별 시장규모 ····· 337
[표 122] 미세먼지 집진기술 동향 ····· 347
[표 123] 가스재열기 형식별 특성 비교 ····· 362
[표 124] 대기오염 방지기술 지식재산권 현황(국내) ····· 363
[표 125] 대기오염 방지기술 지식재산권 현황(국외) ····· 365
[표 126] 주요 논문의 피인용도 ····· 373
[표 127] 주요 논문의 피인용도 ····· 377
[표 128] 주요 논문의 피인용도 ····· 381
[표 129] 주요 논문의 피인용도 ····· 385
[표 130] 초청정 환경설비 기술 개선수준 및 향후모습 ····· 388
[표 131] 기술개발 연차별 추진계획 ····· 390
[표 132] 초청정 환경설비 실증사업의 기존 유사과제 분석 ····· 392
[표 133] 초청정 환경설비 실증 기존 사업과의 차별성 ····· 392
[표 134] 초정정 환경설비 실증 사업의 기존 사업과의 중복성 및 연계성 ····· 393

[표 135] 과제 추진체계 ····· 394
[표 136] 고효율 순환유동층 상용화 기술개발 주체별 역할 분담 ····· 395
[표 137] 초청정 환경설비 주요 성능지표 ····· 397
[표 138] 연차별 투자계획 ····· 399
[표 139] 세부과제 예산 ····· 400
[표 140] 세부과제 비목별 예산 ····· 401
[표 141] 초청정 환경설비 테스트베드 실증 및 평가방법 ····· 405
[표 142] 핵심특허(1) ····· 473
[표 143] 핵심특허(2) ····· 474
[표 144] 핵심특허(3) ····· 475
[표 145] 핵심특허(4) ····· 476
[표 146] 핵심특허(5) ····· 477
[표 147] 핵심특허(6) ····· 478
[표 148] 핵심특허(7) ····· 479
[표 149] 핵심특허(8) ····· 480
[표 150] 핵심특허(9) ····· 481
[표 151] 핵심특허(10) ····· 482
[표 152] 핵심특허(11) ····· 483
[표 153] 핵심특허(12) ····· 484
[표 154] 핵심특허(13) ····· 485
[표 155] 핵심특허(14) ····· 486
[표 156] 핵심특허 (15) ····· 486
[표 157] 핵심특허(16) ····· 487
[표 158] 핵심특허(17) ····· 488
[표 159] 핵심특허(18) ····· 489
[표 160] 핵심특허(19) ····· 490
[표 161] 핵심특허(20) ····· 491

[표 162] 핵심특허(21) ····· 492
[표 163] 핵심특허(22) ····· 493
[표 164] 핵심특허(23) ····· 494
[표 165] 핵심특허(24) ····· 495
[표 166] 핵심특허(25) ····· 496
[표 167] 핵심특허(26) ····· 497
[표 168] 핵심특허(27) ····· 498
[표 169] 핵심특허(28) ····· 499
[표 170] 핵심특허(29) ····· 500
[표 171] 핵심특허(30) ····· 501
[표 172] 핵심특허(31) ····· 502
[표 173] 핵심특허(32) ····· 503
[표 174] 핵심특허(33) ····· 504
[표 175] 핵심특허(34) ····· 505
[표 176] 핵심특허(35) ····· 506
[표 177] 핵심특허(36) ····· 507
[표 178] 핵심특허(37) ····· 508
[표 179] 핵심특허(38) ····· 509
[표 180] 핵심특허(38) ····· 510

< 그림 차례 >

[그림 1] 산업화 이전(1850 – 1900년) 대비 지구 평균 기온 변화 ····· 1
[그림 2] 유엔기후변화협약(UNFCCC)의 장기저탄소 발전전략(LEDS) ····· 2
[그림 3] 주요 국가별 GDP 대비 수출 비중 및 국가별 이산화탄소 배출 ····· 3
[그림 4] 2050 탄소중립' 추진전략에서 제시한 탄소중립 기술 R&D 추진 개요 ····· 4
[그림 5] 2050 탄소중립 미래상 ····· 5
[그림 6] 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술별 기술목표 요약 ····· 6
[그림 7] 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술 개발 ····· 7
[그림 8] '19년 미국 에너지부 미래형 화력발전 COAL FIRST 과제 공고 ····· 8
[그림 9] 신재생 증대에 따른 미국 캘리포니아주 출력변동 위험 ····· 9
[그림 10] 미국 캘리포니아주 신재생 단축 운전('18년, '19년) ····· 9
[그림 11] COVID-19 이후 전력 소비 감소 ····· 12
[그림 12] 에너지 분야 COVID-19 영향 ····· 12
[그림 13] 전 세계 및 에너지 사용 분야에서의 이산화탄소 배출량 ····· 13
[그림 14] 증기 조건 고도화에 따른 석탄화력발전 효율 및 이산화탄소 저감 추이 ····· 14
[그림 15] 석탄화력발전 플랜트 설치 현황 ····· 15
[그림 16] 플랜트 시장 전망 및 수주 추이 ····· 15
[그림 17] 제3차 에너지기본계획 재생에너지 보급목표(2019) ····· 16
[그림 18] 초초임계 순환유동층 플랜트 사업추진 필요성 ····· 18
[그림 19] 연도별 전력 소비량 추이 ····· 19
[그림 20] 제9차 전력수급기본계획 ····· 20
[그림 21] 세계 에너지믹스 전망 ····· 20
[그림 22] 신재생에너지 전력생산 규모 전망(TRANSFORMING ENERGY SCENARIO) ····· 21
[그림 23] OECD 국가 전력생산 추이 ····· 21
[그림 24] 미국의 석탄화력 폐쇄에 따른 전력망 안정성 이슈 ····· 22
[그림 25] 전 세계 석탄 수요전망 ····· 26
[그림 26] 아임계와 초임계 상태의 물-스팀 거동 ····· 30

[그림 27] 초초임계 발전 플랜트 현황 ····· 31
[그림 28] 기획연구 추진체계 ····· 34
[그림 29] 전 세계 GDP 예측 ····· 37
[그림 30] 저 탄소 에너지믹스를 주도하는 신재생에너지 ····· 38
[그림 31] 에너지 소비의 전기화 ····· 38
[그림 32] 2040 에너지 소비 변화 ····· 39
[그림 33] 에너지 평균 소비 변화량 ····· 40
[그림 34] 자원별 에너지 소비량 ····· 40
[그림 35] 자원별 2040년 에너지 소비 사용량 ····· 41
[그림 36] 자원별 발전 분야 점유율 ····· 42
[그림 37] 자원별 발전 평균 점유율 ····· 43
[그림 38] 지역별 석탄 소비의 변화 ····· 43
[그림 39] 미국의 2020년 탄소 배출의 사회적 비용 ····· 44
[그림 40] EU의 탄소중립 달성 계획(1990-2050) ····· 46
[그림 41] Fit For NET-ZERO ····· 47
[그림 42] 2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략 ····· 49
[그림 43] 한국판 뉴딜 종합계획 추진전략 ····· 62
[그림 44] 2050 탄소중립을 위한 추진전략 전략체계도 ····· 63
[그림 45] 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 비전 및 목표 ····· 63
[그림 46] 전 세계 순환유동층 보일러 공급 현황 ····· 65
[그림 47] 순환유동층 고효율·대용량 및 바이오매스 전·혼소 추이 ····· 65
[그림 48] 2025년까지 순환유동층 보일러의 용량과 시장규모 ····· 66
[그림 49] 발전설비 형태에 따른 연도별 용량 변화 ····· 67
[그림 50] 순환유동층 설비 규모에 따른 용량 변화 ····· 68
[그림 51] 산업별 순환유동층 보일러 용량 변화 ····· 69
[그림 52] 순환유동층 보일러의 연료별 용량 변화 ····· 70
[그림 53] 지역별 순환유동층 보일러의 용량 변화 ····· 71

[그림 54] 순환유동층 보일러 시장의 변화 ····· 72
[그림 55] 국내 순환유동층 보일러 공급 추이 ····· 72
[그림 56] 청정 석탄화력발전의 CCS 기술개발 분야 ····· 74
[그림 57] 초초임계 순환유동층 보일러 기술 추진 현황 ····· 75
[그림 58] 주요 제작사의 순환유동층 기술발전 현황 ····· 76
[그림 59] LAGISZA 플랜트 개략도 및 건설현장 ····· 76
[그림 60] 순환유동층 기술의 제작사별 대용량화 개발 현황 및 특징 ····· 77
[그림 61] 중국 순환유동층 건설 및 기술개발 현황 ····· 77
[그림 62] 산소 부하 순환유동층 건설에 따른 부지 및 비용 절감효과 ····· 79
[그림 63] 산소 부하 순환유동층 보일러 평가 ····· 79
[그림 64] 국내 유동층 연구개발 분야 및 개발 경향, 실적 분석 ····· 80
[그림 65] 국내외 대용량 순환유동층 보일러 현황 ····· 84
[그림 66] 두산중공업 순환유동층 보일러 공급실적 ····· 84
[그림 67] 600MW급 초초임계 순환유동층 모델 ····· 85
[그림 68] 두산중공업 순환유동층 용량·증기 격상 개략도 ····· 86
[그림 69] 순환유동층 고효율, 대용량화 추이 ····· 87
[그림 70] 협동과제 연구개발 개요 ····· 88
[그림 71] 초초임계 순환유동층 설계도면 ····· 88
[그림 72] 초초임계 순환유동층 보일러 통합 설계 툴 ····· 89
[그림 73] 초초임계 순환유동층 플랜트 압력부 3D MODELING 및 전체 3D 형상 ····· 89
[그림 74] 한전-두산 초초임계 순환유동층 보일러 모델의 경쟁력 ····· 90
[그림 75] 대용량 화로 최적 설계 ····· 91
[그림 76] 고온 고압 증기 조건 상향 ····· 91
[그림 77] 보일러 CROSS OVER DUCT 최적화 ····· 92
[그림 78] 한국생산기술연구원에서 개발 중인 최적 연료 운영 프로그램 ····· 95
[그림 79] 200MW 베트남 무연탄 USC-순환유동층 보일러 복수기 개략도 ····· 100
[그림 80] 250MW 인니 아역청탄 USC-순환유동층 보일러 복수기 개략도 ····· 101

[그림 81] 315MW 남아공 무연탄 USC-순환유동층 보일러 복수기 개략도 ····· 102
[그림 82] 200MW 베트남 무연탄 USC-순환유동층 보일러 탈기기, 고온 급수가열기 구성 ····· 106
[그림 83] 250MW 인니 아역청탄 USC-순환유동층 보일러 탈기기, 고온 급수가열기 구성 ····· 107
[그림 84] 315MW 남아공 무연탄 USC-순환유동층 보일러 탈기기, 고온 급수가열기 구성 ····· 109
[그림 85] 보일러 기본 사양 결정 순서도 ····· 110
[그림 86] 200MW 초초임계 순환유동층 보일러 구성(베트남 무연탄) ····· 111
[그림 87] 250MW 초초임계 순환유동층 보일러 구성(인니 아역청탄) ····· 112
[그림 88] 315MW 초초임계 순환유동층 보일러 구성(남아공 무연탄) ····· 112
[그림 89] 200MW급 초임계 순환유동층 물·증기 CYCLE 구성(베트남 무연탄) ····· 113
[그림 90] 250MW급 초임계 순환유동층 물·증기 CYCLE 구성(인니 아역청탄) ····· 113
[그림 91] 315MW급 초임계 순환유동층 물·증기 CYCLE 구성(남아공 무연탄) ····· 114
[그림 92] 보일러 개념설계 순서 ····· 117
[그림 93] 연료성분별 보일러 설계 및 성능에 미치는 영향 ····· 120
[그림 94] 순환유동층 열·물질 정산 개략도 ····· 121
[그림 95] 순환유동층 LOOP 내 기체·고체 흐름도 ····· 122
[그림 96] 주요 요소 설계 항목 및 고려사항 ····· 128
[그림 97] SEAL-POT 및 EXTERNAL HEAT EXCHANGER 연결모습 ····· 129
[그림 98] 원통형 CYCLONE의 주요 치수 ····· 131
[그림 99] 2000년 이후의 플랜트 비용 지수 ····· 134
[그림 100] 소비자물가 및 근원물가 지수 상승률 ····· 138
[그림 101] 고효율 순환유동층 운영비 계산 결과 ····· 140
[그림 102] 고효율 순환유동층 TOTAL CAPITAL COST 계산 결과 ····· 140
[그림 103] 고효율 순환유동층 NET PRESENT VALUE 계산 결과 ····· 141
[그림 104] 고효율 순환유동층 LEVELIZED COST OF ELECTRICITY 계산 결과 ····· 142
[그림 105] 고효율 순환유동층 연도별 특허공개·등록 건수 ····· 143
[그림 106] 고효율 순환유동층 논문 연도별 추이 ····· 147
[그림 107] 고효율 순환유동층 논문 저자 국적 분포 ····· 147

[그림 108] 고효율 순환유동층 주요 논문 발표 기관 ····· 148
[그림 109] 순환유동층 보일러 개략도 ····· 152
[그림 110] 순환유동층 보일러 전력 생산 가격 및 이용률 분석 ····· 154
[그림 111] 고효율 순환유동층 보일러 설계 과정 ····· 157
[그림 112] 플랜트 엔지니어링 설계 과정 ····· 158
[그림 113] 실증설비 건설 과정 ····· 158
[그림 114] 미세먼지 저감 통합 환경설비 적용(안) ····· 159
[그림 115] 플랜트 운영기술 개발 ····· 159
[그림 116] 고효율 순환유동층 플랜트 운영기술 S/W ····· 160
[그림 117] 기술성·경제성 평가 S/W(예) ····· 160
[그림 118] 고효율 순환유동층 실행 로드맵 ····· 162
[그림 119] 고효율 순환유동층 실증후보지 정보(1) ····· 180
[그림 120] 고효율 순환유동층 실증후보지 정보(2) ····· 181
[그림 121] 고효율 순환유동층 실증후보지 정보(3) ····· 181
[그림 122] 고효율 순환유동층 실증후보지 정보(4) ····· 182
[그림 123] 고효율 순환유동층 실증후보지 정보(5) ····· 182
[그림 124] 고효율 순환유동층 실증후보지 정보(6) ····· 183
[그림 125] 산업화 이전(1850 – 1900년) 대비 지구 평균 기온 변화 ····· 184
[그림 126] 유엔기후변화협약(UNFCCC)의 장기저탄소 발전전략(LEDS) ····· 185
[그림 127] 주요 국가별 GDP 대비 수출 비중 및 국가별 이산화탄소 배출 ····· 186
[그림 128] 2050 탄소중립' 추진전략에서 제시한 탄소중립 기술 R&D 추진개요 ····· 187
[그림 129] 2050 탄소중립 미래상 ····· 188
[그림 130] 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술별 기술목표 요약 ····· 189
[그림 131] 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술 개발 ····· 190
[그림 132] '19년 미국 에너지부 미래형 화력발전 COAL FIRST 과제 공고 ····· 192
[그림 133] 신재생 증대에 따른 미국 캘리포니아주 출력변동 위험 ····· 192
[그림 134] 미국 캘리포니아주 신재생 단축 운전('18년, '19년) ····· 193

[그림 135] COVID-19 이후 전력 소비 감소 ····· 195
[그림 136] 에너지 분야 COVID-19 영향 ····· 195
[그림 137] 전 세계 및 에너지 사용 분야에서의 이산화탄소 배출량 ····· 196
[그림 138] 증기 조건 고도화에 따른 석탄화력발전 효율 및 이산화탄소 저감 추이 ····· 197
[그림 139] 석탄화력발전 플랜트 설치 현황 ····· 198
[그림 140] 플랜트 시장 전망 및 수주 추이 ····· 198
[그림 141] 제3차 에너지기본계획 재생에너지 보급목표(2019) ····· 199
[그림 142] 연도별 전력 소비량 추이 ····· 201
[그림 143] 제9차 전력수급기본계획 ····· 202
[그림 144] 세계 에너지믹스 전망 ····· 202
[그림 145] 신재생에너지 전력생산 규모 전망(TRANSFORMING ENERGY SCENARIO) ····· 203
[그림 146] OECD 국가 전력생산 추이 ····· 203
[그림 147] 미국의 석탄화력 폐쇄에 따른 전력망 안정성 이슈 ····· 204
[그림 148] 차세대 화력발전 플랜트의 이산화탄소 저감 개념 ····· 207
[그림 149] 이산화탄소 감축 시나리오 ····· 208
[그림 150] 하이브리드발전 개념도 ····· 210
[그림 151] 기획연구 추진체계 ····· 213
[그림 152] 전 세계 GDP 예측 ····· 216
[그림 153] 저 탄소 에너지믹스를 주도하는 신재생에너지 ····· 217
[그림 154] 에너지 소비의 전기화 ····· 218
[그림 155] 2040 에너지 소비 변화 ····· 219
[그림 156] 에너지 평균 소비 변화량 ····· 219
[그림 157] 자원별 에너지 소비량 ····· 220
[그림 158] 자원별 2040년 에너지 소비 사용량 ····· 221
[그림 159] 자원별 발전 분야 점유율 ····· 222
[그림 160] 자원별 발전 평균 점유율 ····· 223
[그림 161] 지역별 석탄 소비의 변화 ····· 223

[그림 162] 미국의 2020년 탄소 배출의 사회적 비용 ····· 224
[그림 163] EU의 탄소중립 달성 계획(1990-2050) ····· 226
[그림 164] Fit For NET-ZERO ····· 227
[그림 165] 2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략 ····· 229
[그림 166] 한국판 뉴딜 종합계획 추진전략 ····· 242
[그림 167] 2050 탄소중립을 위한 추진전략 전략체계도 ····· 243
[그림 168] 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 비전 및 목표 ····· 243
[그림 169] 미국 석탄화력발전 플랜트 및 HGCC 기술 관심 표명 발전소 현황 ····· 245
[그림 170] 미국 바이든 행정부 탄소중립 정책 방향 ····· 246
[그림 171] DOE HGCC 기술개발 및 실증 로드맵 ····· 246
[그림 172] 하이브리드발전 ESS 적용 개요 ····· 248
[그림 173] 하이브리드발전 연도별 특허공개 등록 건수 ····· 249
[그림 174] 연도별 논문 추이 ····· 251
[그림 175] 논문 저자 국적 분포 ····· 252
[그림 176] 주요 논문 발표 기관 ····· 252
[그림 177] 미국 DOE 350MW급 하이브리드 발전장치 공정 흐름도 ····· 255
[그림 178] 한국형 하이브리드발전 최적 구성, 용량 검토 기술개발 ····· 260
[그림 179] 한국형 하이브리드발전 연소 기술개발 ····· 261
[그림 180] 한국형 하이브리드발전 가스터빈 용량, 효율 최적화 기술개발 ····· 262
[그림 181] 한국형 하이브리드발전 보일러 기술개발 ····· 262
[그림 182] 한국형 하이브리드발전 증기터빈 기술개발 ····· 263
[그림 183] 한국형 하이브리드발전 환경설비 기술개발 ····· 263
[그림 184] 한국형 하이브리드발전 급속 기동 및 급속 부하 상승 기술개발 ····· 264
[그림 185] 한국형 하이브리드발전 상용화 개념 ····· 265
[그림 186] 한국형 하이브리드발전 실행 로드맵 ····· 267
[그림 187] HGCC 실증 및 HGCC 기반 무탄소 연료 전환기술 실증계획 ····· 280
[그림 188] 미국 DOE HGCC DEMO PLANT 구성 및 특성 ····· 280

[그림 189] DOE HGCC 실증 플랜트 건설 계획 ····· 281
[그림 190] DOE HGCC 실증사이트 전경 ····· 282
[그림 191] 산업화 이전(1850 – 1900년) 대비 지구 평균 기온 변화 ····· 283
[그림 192] 유엔기후변화협약(UNFCCC)의 장기저탄소 발전전략(LEDS) ····· 284
[그림 193] 주요 국가별 GDP 대비 수출 비중 및 국가별 이산화탄소 배출 ····· 285
[그림 194] 2050 탄소중립' 추진전략에서 제시한 탄소중립 기술 R&D 추진 개요 ····· 286
[그림 195] 2050 탄소중립 미래상 ····· 287
[그림 196] 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술별 기술목표 요약 ····· 288
[그림 197] 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술 개발 ····· 289
[그림 198] 미세먼지 대응 정책 계획 ····· 291
[그림 199] 해외 주요 도시 및 서울의 미세먼지·초미세먼지 농도 비교 ····· 292
[그림 200] 플랜트 시장 전망 및 수주 추이 ····· 294
[그림 201] 기획연구 추진체계 ····· 300
[그림 202] 미국의 2020년 탄소 배출의 사회적 비용 ····· 303
[그림 203] EU의 탄소중립 달성 계획(1990 – 2050) ····· 306
[그림 204] 2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략 ····· 308
[그림 205] 한국판 뉴딜 종합계획 추진전략 ····· 313
[그림 206] 2050 탄소중립을 위한 추진전략 전략체계도 ····· 314
[그림 207] 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 비전 및 목표 ····· 314
[그림 208] 지역별 CCUS 시장규모 ····· 318
[그림 209] 유럽 CCUS 시장규모 ····· 320
[그림 210] 기술별 CCUS 시장점유율 ····· 322
[그림 211] 산업별 CCUS 시장점유율 ····· 323
[그림 212] 세계 최대 규모 공기정화탑(중국) ····· 325
[그림 213] 공기정화탑(톈진) ····· 326
[그림 214] 세계 대기 환경기술 지역별 시장규모 ····· 328
[그림 215] 세계 대기 환경기술 시장 ····· 328

[그림 216] 국내 SCR 촉매 시장 ····· 338
[그림 217] 대규모 CCS 프로젝트 현황 ····· 339
[그림 218] 주요 선진사의 대기오염 방지기술 현황 ····· 341
[그림 219] CCS 공정 개요 ····· 343
[그림 220] CCS 적용 발전시스템 모식도 ····· 344
[그림 221] 국내 이산화탄소 포집 기술개발 성과 ····· 345
[그림 222] 전기집진기 원리·개략도 ····· 346
[그림 223] 여과 집진설비 구성도 ····· 346
[그림 224] 세정 집진설비 구조 ····· 347
[그림 225] 마이크로펄스 하전 방식 전기집진기(포스코 ICT社) ····· 349
[그림 226] 미세먼지 집진기술 현황 ····· 350
[그림 227] EME 소개 및 특징 ····· 351
[그림 228] EME 성능 및 특장점 ····· 352
[그림 229] 화력발전소 미세먼지 집진 통풍계통 설비 구성 ····· 352
[그림 230] 습식 전기집진기 대비 EME 기술 차별성 ····· 353
[그림 231] EME 기술적 기대효과 ····· 353
[그림 232] 6,000 m3/h급 PILOT EME 설비 및 시험성적서 ····· 354
[그림 233] 100,000 m3/h급 PILOT EME 설비 및 성능 ····· 354
[그림 234] 100,000 m3/h급 PILOT EME 설비 및 미세먼지 저감 성능 ····· 355
[그림 235] 하동 10,000 m3/h급 PILOT EME 설비 및 성능 ····· 355
[그림 236] 하동 10,000 m3/h급 PILOT EME 성능 인증 공문 및 성능 시험성적서 ····· 356
[그림 237] 500MW 적용 시 EME 외형도 ····· 357
[그림 238] SCR 설치 모습 및 시스템 개략도 ····· 358
[그림 239] 탈질공정 수치해석 기술개발 ····· 359
[그림 240] 가스재열기 구분 ····· 361
[그림 241] 최근 20년간 국가별 미세먼지 대응기술 특허 출원량 변화 ····· 368
[그림 242] 석탄화력발전소 배출기준과 사업장용 배출 저감기술 특허 출원량 변화 ····· 368

[그림 243] 국내 미세먼지 발생원인 관련 특허출원 분포 ····· 369
[그림 244] 연도별 논문 추이 ····· 370
[그림 245] 논문 저자 국적 분포 ····· 370
[그림 246] 주요 논문 발표 기관 ····· 371
[그림 247] 연도별 논문 추이 ····· 374
[그림 248] 논문 저자 국적 분포 ····· 374
[그림 249] 주요 논문 발표 기관 ····· 375
[그림 250] 연도별 논문 추이 ····· 378
[그림 251] 논문 저자 국적 분포 ····· 379
[그림 252] 주요 논문 발표 기관 ····· 379
[그림 253] 연도별 논문 추이 ····· 382
[그림 254] 논문 저자 국적 분포 ····· 383
[그림 255] 주요 논문 발표 기관 ····· 384
[그림 256] 초청정 환경설비 구성 및 공정흐름도 ····· 386
[그림 257] 초청정 환경설비 실행 로드맵 ····· 391
[그림 258] 초청정 환경설비 실증후보지 1(당진화력발전소) ····· 406
[그림 259] 초청정 환경설비 실증후보지 2(태안화력발전소) ····· 407
[그림 260] 초청정 환경설비 실증후보지 3(하동화력발전소) ····· 407
[그림 261] 초청정 환경설비 실증후보지 4(보령화력발전소) ····· 408

1장. 고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술 개발

1. 개요

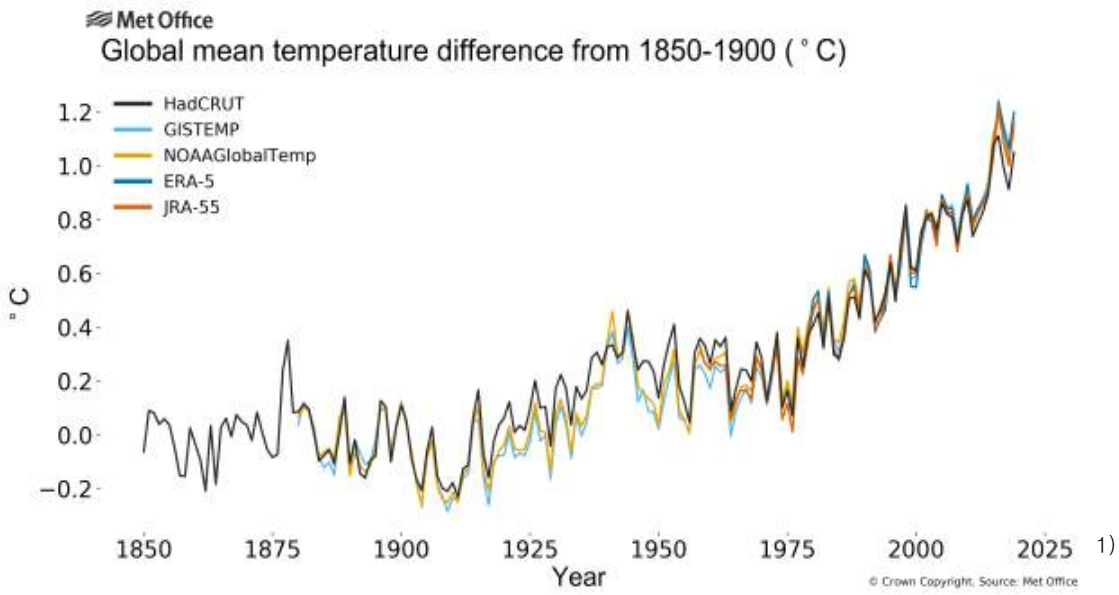
가. 배경 및 필요성

(1) 기획 배경

□ **지구온난화 가속화로 인한 기후위기**

○ 현재 추세로는 지구 온도 3℃ 이상 상승이 전망되며, 현재와 같은 온실가스 배출 상태 지속 시 2100년에는 3.2℃ 상승할 것으로 전망됨

- 긴급한 기후위기 비상조치 필요성에 대한 인식 확산
- 전 세계 153개국 11,258명의 과학자들은 현재 지구가 파멸적 위기에 직면하고 있다며 '기후 비상사태(CLIMATE EMERGENCY)'를 선언함(2019. 11)
- 세계경제포럼(WORLD ECONOMIC FORUM)은 '2020 지구위험 보고서'에서 인류에게 가장 큰 영향을 미치는 위험요인으로 '기후 행동 실패'를 선정함(2020. 01)
- UN 사무총장은 지구의 날 50주년 기념 메시지에서 COVID-19 위기보다 더욱 심각한 환경비상사태를 경고하며 지구 보호를 위한 결정적 행동을 촉구함(2020. 04)



1)

[그림 1] 산업화 이전(1850 - 1900년) 대비 지구 평균 기온 변화

□ **2050 탄소중립이 글로벌 新패러다임으로 대두됨에 따른 국제적 가속화**

- 최근 코로나19 사태는 기후변화 심각성을 인식하는 촉매 역할을 하며, 장기저탄소 발전전략(LEDS*)의 UN 제출시한(2020.12) 도래 등에 따라 주요국의 탄소중립 선언이

1) UNEP 2019

가속화됨

* LONG-TERM LOW GREENHOUSE GAS EMISSION DEVELOPMENT STRATEGIES

- EU(2019.12)·中(2020.09.22)·日(2020.10.26)·韓(2020.10.28) 등 주요국 탄소중립 선언

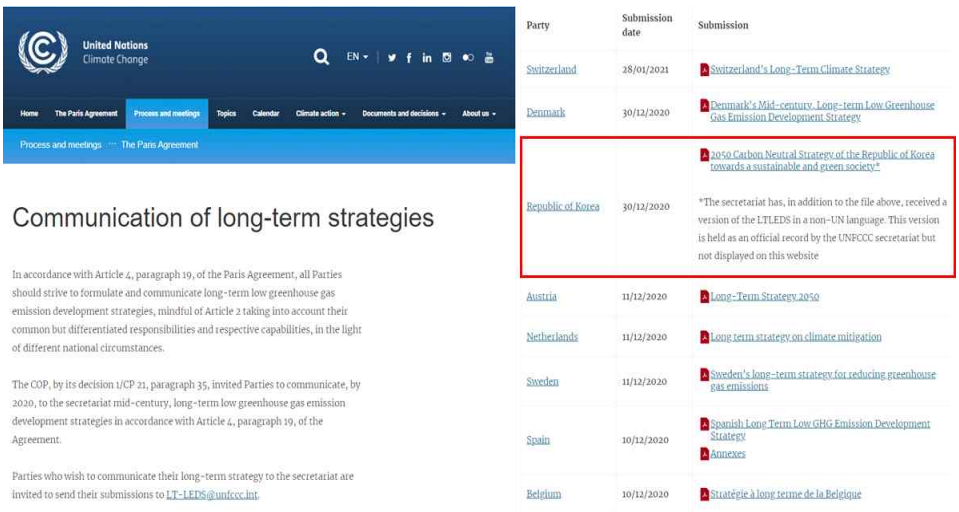
– 121개 국가가 2050 탄소중립 목표 기후동맹에 가입하며 탄소중립의 글로벌 의제화가 이루어짐

– 유럽연합(EU)은 '19년 11월 '기후 비상사태'를 선언하고 2050년까지 유럽연합 회원국들에 온실가스 배출 '0'을 약속할 것을 촉구하는 결의안을 채택함

– '50년까지 탄소중립 달성 목표를 법제화한 기후법안(EUROPEAN CLIMATE LAW)을 유럽의회에 제출함(2020.03)

– 미국, EU, 일본 등 29개국이 장기저탄소 발전전략(LEDS)을 유엔기후변화협약(UNFCCC)에 제출했으며(2021.01.28 기준), 우리나라는 2020년 12월 30일에 제출했음[2)]

– 캐나다, 독일, 멕시코, 미국, 베냉, 체코, 영국, 우크라이나, 마샬제도 공화국, 피지, 일본, 포르투갈, 코스타리카, EU, 슬로바키아, 싱가포르, 남아프리카 공화국, 핀란드, 노르웨이, 라트비아, 벨기에, 스페인, 스웨덴, 네덜란드, 오스트리아, 한국, 덴마크, 스위스, 프랑스



[그림 2] 유엔기후변화협약(UNFCCC)의 장기저탄소 발전전략(LEDS)

□ **우리나라는 '제22차 비상경제 중앙대책본부회의'에서 '2050 탄소중립 추진전략'을 확정·발표함('20.12)**

○ 국무회의에서 '2050 장기저탄소발전전략(LEDS)', '2030 국가온실가스감축목표(NDC)'를 정부안으로 확정함(2020.12)

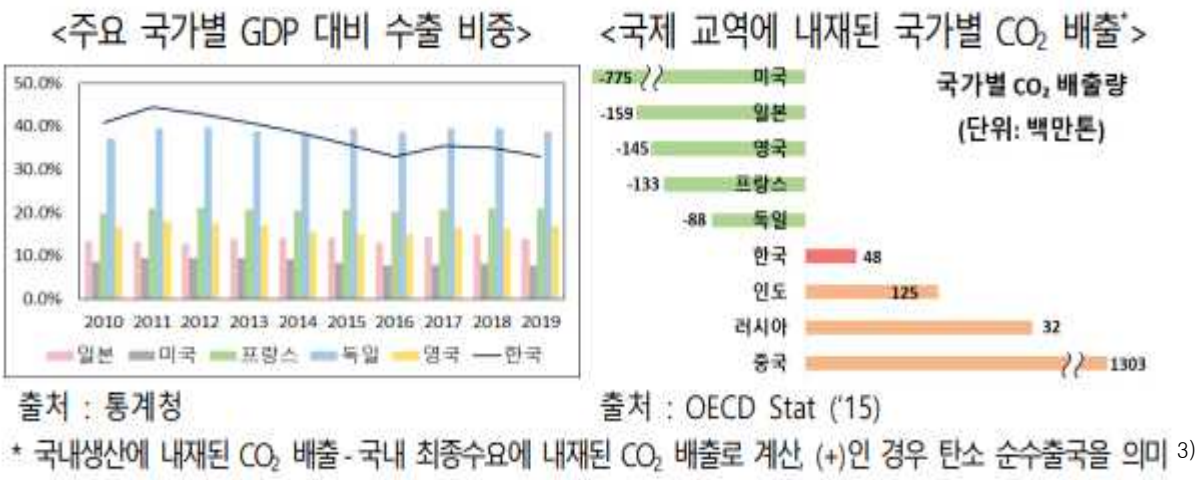
– 대한민국은 세계 10위권의 경제 대국이자 기술 강국인 한편 에너지 다소비 국가이자 온실가스 다 배출 국가임

– 온실가스 배출량은 2018년 약 7억 2,700만 톤으로 미국, 일본, 독일, 캐나다에 이어 OECD

2) 대한민국 2050 탄소중립 전략(대한민국정부), 유엔기후변화협약 홈페이지

국가 중 5위이며, 이 중 에너지 공급 부문이 36%, 산업 부문이 37%를 차지함

- OECD 국가 중 에너지 전환에 가장 뒤쳐진 국가 중 하나로 2021년 기준 석탄발전량 비중이 38.5%로 배출량은 여전히 높은 추세임
- 산업구조와 에너지원 구성의 측면에서 우리나라는 탄소 집약적 제조업 비중이 높아 심각한 타격이 예상됨
- 무역의존도가 높은 국내 경제·산업구조의 특성상 새로운 국제질서에 대한 적극적 변화 및 선제 대응이 필수적임
- 미온적인 대응 시 주력산업의 투자 및 글로벌 SOURING 기회 제한 등에 따른 수출, 해외 자금조달, 기업 신용등급 등에 부정적 영향이 초래될 우려가 있음
- 산업구조의 저 탄소화 및 신산업 육성 등을 통해 선제적으로 대응 시 '탄소중립 + 경제성장 + 삶의 질 향상'을 동시에 실현 가능함
- COVID-19를 계기로 하여, 기후변화의 심각성에 대한 국민의 높은 관심을 행동으로 연결하여 사회적 합의도출이 긴급히 요구됨



[그림 3] 주요 국가별 GDP 대비 수출 비중 및 국가별 이산화탄소 배출

❍ UN의 1.5℃ 경로에 맞는 강화된 NDC 및 LEDS 요구에도 불구하고 우리 정부의 NDC와 LEDS는 1.5℃ 경로에 부합하기에는 미흡한 것이 현실임

- 우리나라는 온실가스감축계획, 배출권거래제 등 실시에도 불구하고 에너지 부문의 온실가스 배출이 지속적 상승 추세임
- 2020년 기준 우리나라는 석탄발전 비중이 35.6%이고 LNG 발전 비중이 26.4%로, 석탄 및 LNG 발전 등 화석연료 기반의 발전 비중이 높음

3) 통계청, OECD Stat('15)

[표 2] 현행 전력시장제도와 '17년 발전용 연료비 기준 발전량 비중 전망

연도	원자력	석탄	LNG	신재생	석유	양수	계
2017	30.3%	45.4%	16.9%	6.2%	0.6%	0.7%	100%
2030	23.9%	40.5%	14.5%	20.0%	0.3%	0.8%	100%

4)

○ 정부의 2050 탄소중립 정책에 의하면, 가스발전 전환, 화력발전 CCUS*기술지원 등 탄소중립 국가전략을 정의하였고, 더 나아가 탄소중립은 전 세계적 아젠다로 부상함

* CARBON CAPTURE, UTILIZATION AND STORAGE

- 국내에서는 2020년 신재생 발전설비용량 20.1GW(15.8%)를 2034년까지 78GW(40%)까지 확대하는 계획을 수립하고 있으며, 세계적으로는 2017년 25%의 전기를 생산하고 있는 신재생이 2050년까지 86%까지 확대될 것으로 예상

- 에너지 부문 탄소중립을 통해 전력체계를 친환경·청정에너지 중심으로 전환하고 친환경 에너지 생산국이 됨으로써 에너지 자립도가 향상될 것으로 기대

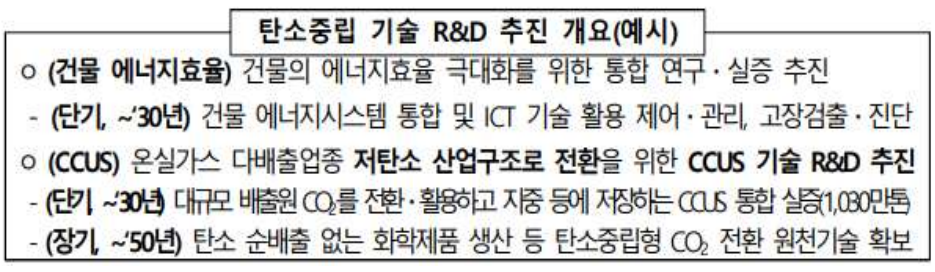
□ **국회에서 기후위기 대응과 그 목표를 '2050년 탄소 배출 중립'으로 분명히 제시한 만큼 보다 구체적이고 실질적인 로드맵과 정책수단이 필요함**

○ 화석연료 발전 중심의 전력공급 체계를 재생에너지와 그린 수소 중심으로 전환하고 이산화탄소 포집 기술 등을 활용하여 탈 탄소 미래기술 개발 및 상용화 촉진 필요

- CCUS 실증 및 저장기지 구축을 통해 CCUS 기술 조기 상용화를 추진하고, 포집 탄소를 원료 또는 연료로 재합성하는 탄소순환사업 육성

- 신재생에너지, CCUS, ICT 활용 융합·혁신 등 분야별 핵심기술 확보를 위한 전략으로 '탄소중립 R&D 전략' 수립

- 핵심기후 유망기술의 개발 난이도와 목적을 고려하여 단기 집중투자(범부처 프로젝트) 및 장기적 혁신기술 개발연구 병행



5)

[그림 4] 2050 탄소중립' 추진전략에서 제시한 탄소중립 기술 R&D 추진 개요

4) 산업통상자원부, 제8차 전력수급기본계획

5) 2050 탄소중립」 추진전략(대한민국 정책브리핑(www.korea.kr)(기획재정부))



6)

[그림 5] 2050 탄소중립 미래상

□ **과학기술정보통신부 '탄소중립 기술혁신 추진전략' 확정**

○ 석탄발전, 제조업 비중이 높은 우리나라의 경우 '2050 탄소중립'실현은 도전적 과제로, 이를 실현하기 위해서는 기술혁신이 무엇보다 중요하고 시급하다고 판단

○ 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술 개발 전략 제시

- 탄소중립에 핵심적 기여가 가능한 10대 핵심기술 전략적 개발
- ①태양광 및 풍력 ②수소 ③바이오에너지 ④철강·시멘트 ⑤석유화학 ⑥산업공정 고도화 ⑦수송 효율 ⑧건물 효율 ⑨디지털화 ⑩CCUS

○ 범부처 탄소중립 기술혁신 R&D사업 기획·착수

- 시급한 산업 수요기반 '현장특화 R&D'와 미래 대비 '중장기 혁신 원천 R&D'의 2-TRACK으로 '全주기 함께 달리기' R&D 추진
- 다 배출 업종의 저탄소 신공정 개발·적용을 지원하는 대형 R&D 및 도전적 원천기술 개발을 위한 10대 기술혁신 프로젝트 예타 추진

○ 新산업 창출로 이어지는 집중지원 체계 마련

- 출연(연) 100대 사업화 유망기술 지원 및 특구를 통한 신기술 실증 가속화
- 창업 지원 → 공공수요 구매연계 → 녹색 벤처·보증 등 탄소중립 기술기업 全주기 성장지원 강화

○ 민간이 주체가 되는 저탄소화 기술혁신 촉진

6) 10대 핵심기술이 적용된 2050 탄소중립 사회(과학기술정보통신부)

- 상용화 촉진 인센티브 발굴 및 표준·인증, 기술규제 적기 마련

- 탄소중립 R&D 세액공제 확대 검토 및 기업참여 부담 완화방안 강구

❍ 기술혁신이 지속되는 연구역량·기반 강화

- 탄소중립 전문 인력 양성 강화 및 교육·전시 등을 통한 문화 확산

- 기후기술개발촉진법, 기후대응기금 신설 등 안정적 추진기반 마련



[그림 6] 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술별 기술목표 요약 7)

7) 10대 핵심기술이 적용된 2050 탄소중립 사회(과학기술정보통신부)



[그림 7] 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술 개발

□ **전 세계 탄소중립 기조가 가속화되고 있으며 에너지믹스를 위해 이용되는 화석연료들의 탄소중립에 대한 요구가 핵심 과제로 떠오르고 있음**

❍ 탄소중립 달성을 위한 에너지 패러다임 변화로 미래형 발전시스템 적용 필요

- 산업발달에 의한 지구온난화가 가속화되어 탄소중립을 위한 신재생에너지 사용 확대 및 친환경성에 부응하는 차세대 친환경·고효율 화력발전 플랜트 기술개발 필요

- 친환경·고효율 화력발전 플랜트로 전환을 통해 신재생에너지 단점* 극복, 이산화탄소 발생량 저감* 및 기존 화력발전 플랜트 장점* 활용 필요

  * 과잉 전력생산, 높은 출력변동 극복 등

  * 초초임계 기술적용을 통한 플랜트 효율증가, 이산화탄소 포집 설비 구축 등

  * 낮은 연료비, 기존 인프라 활용 가능, 높은 기술성숙도, 에너지안보 확보 등

❍ 미국 에너지부는 석탄화력발전 기술에 가스터빈, 이산화탄소 포집, 에너지 저장, 초청정 환경기술 등 차세대 기술을 접목하여, 신재생에너지 단점을 보완하는 동시에 기존 석탄화력발전의 탄소중립을 실현할 수 있는 COAL FIRST(FLEXIBLE, INNOVATIVE, RESILIENT, SMALL & TRANSFORMATIVE) 과제를 추진[8)]

- 미국 내 기존 석탄화력발전소(252GW 규모)가 COAL FIRST 과제 적용 대상

- COAL FIRST 과제 필요성은 ❶ 석탄화력발전소 노후화에 따른 미래형 화력발전 플랜트로의 전환 필요, ❷ 신재생에너지 발전설비 확대에 따른 발전 간헐성 이슈 대응 필요, ❸ 미국 내

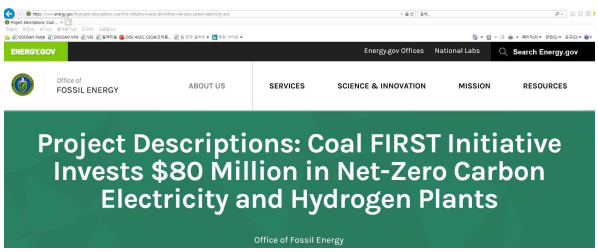
8) DOE : Department of Energy

노후 석탄화력발전소 폐지 후 녹지화 시 매몰 비용 과다 소요, ❹ 셰일가스 대비 석탄 가격 안정성에 기반한 에너지 안보 유지 등임

- FIRST의 의미는 ❶ FLEXIBLE : 최저부하·급속변동 운전 및 천연가스 혼합 연소로 운전·운전 유연성 확보, ❷ INNOVATIVE : 40% 이상 효율 발전 및 이산화탄소 포집·활용으로 고효율·친환경 발전 가능, ❸ RESILIENT : 신재생에너지 간헐성 등 단점 보완으로 전력망 안정화, ❹ SMALL : 50 - 350MW 규모 건설비·납기 단축이 가능한 소규모 발전, ❺ TRANSFORMATIVE : 설계·제작 혁신을 통한 모듈형 표준화 발전소 확보를 각각 의미함
- 미국 에너지부는 COAL FIRST 과제로 발굴된 미래 발전시스템을 탄소중립 실현을 위한 방안으로 활용하고, 실증 플랜트 건설을 위한 FEED 대상 기술을 선정하여 발표
- 석탄화력발전 분야 지원을 위해, 4개의 실증대상 과제를 선정하였으며, 약 80백만불 규모의 정부 지원책을 발표



[COAL FIRST 과제]



[미래형 화력발전 플랜트 지원 공고]

[그림 8] '19년 미국 에너지부 미래형 화력발전 COAL FIRST 과제 공고

□ **신재생에너지 확대에 따른 전력 수급상 문제 발생**

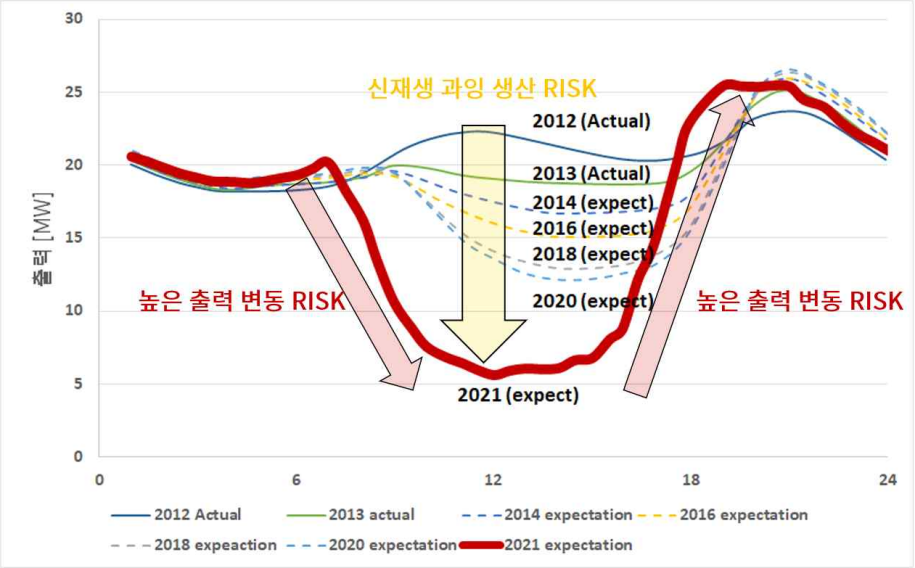
○ 미국 캘리포니아주는 '20년 8월 대규모 정전사태를 막기 위한 순환 정전 명령[9]

- 미국 캘리포니아주 정전사태의 원인은 신재생에너지 간헐성* 등 단점을 극복할 충분한 예비 전력시스템 부재로 대규모 정전사태 방지를 위한 조치[10]

  * 전력생산이 기상 및 외부요인에 좌우되는 특성

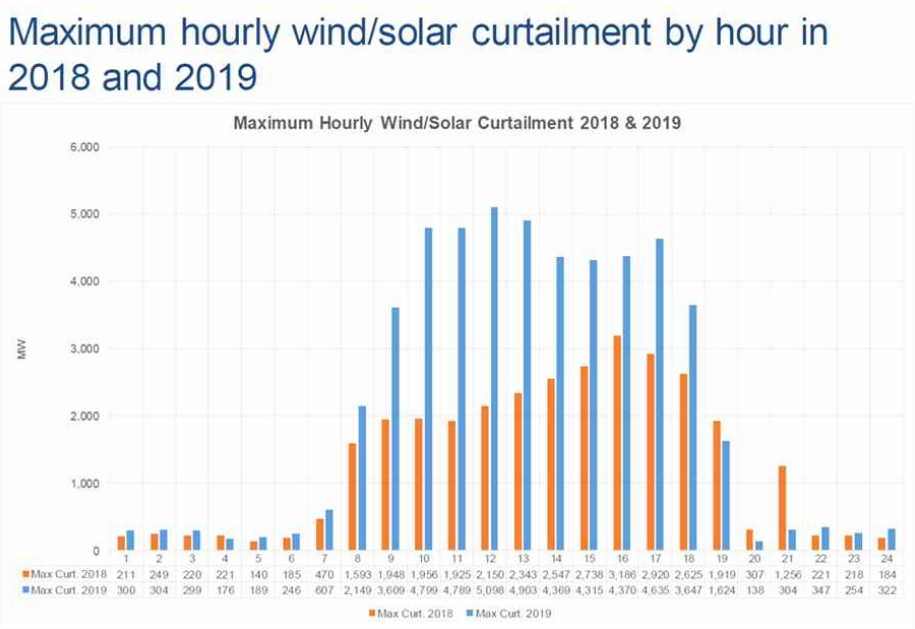
- 미국 캘리포니아주 '19년 산불로 대규모 정전사태 및 '18년 라스베가스 IT 전시행사 CES 정전사태 경험[11]

9) http://www.caiso.com/
10) Flexible capacity needs and availability assessment hours technical Study for 2021
11) https://www.yna.co.kr/view/AKR20180111011800003



12)

[그림 9] 신재생 증대에 따른 미국 캘리포니아주 출력변동 위험



13)

[그림 10] 미국 캘리포니아주 신재생 단축 운전('18년, '19년)

❍ 미국 텍사스주 오스틴 삼성전자 반도체 정전사태 발생[14)]

- '21년 미국 텍사스주에서 발생된 이상 한파에 따른 정전사태는 전력생산의 20%를 담당하는 풍력발전 결로로 인한 정지 및 가스발전 고장임
- 이를 극복할 수 있는 예비 전력시스템 부재 및 미국 주 전력망과 분리가 주요 원임임
- 이러한 정전사태 방지를 위한 신재생, 가스, 석탄 등 다양한 에너지원으로 구성된 전력생산

12) 두산중공업 내부자료
13) 두산중공업 내부자료
14) http://www.keaj.kr/news/articleView.html?idxno=3925

포트폴리오 구성이 중요함을 알 수 있음

□ **전 세계 천연가스 기반 화력발전이 증가에도 불구하고, 동남아시아, 아프리카 및 중국 등의 개도국에서는 자국에서 생산되는 석탄을 활용하는 청정화력발전에 대한 높은 지속적인 수요가 존재할 것으로 전망**

- 저개발국가에 다양하게 분포되어있는 저발열탄을 에너지원으로 사용할 경우, 연소성은 낮으나, 안정적인 연소 운영이 가능
- 기존의 낮은 효율 대비 높은 효율을 가진 청정화력발전 기술(낮은 이산화탄소, SOx, NOx 배출)에 대한 요구 증대

□ **전 세계 전력생산 에너지원 중 석탄 비율은 다소 감소하지만, 인도· 동남아시아 등 개발도상국 석탄 수요 상대적 증가로 절대량은 2040년까지 유지될 전망**

- 전 세계 석탄발전 수요 증가로 인하여 HARD COAL의 장기적 공급 어려움 및 저급탄(전 세계 매장량의 약 47.3%) 의존도의 증가가 예측되며, 이에 저급탄 활용을 위한 최적 SOLUTION인 유동층 보일러 시장 확대가 전망
- '80년대 이후 현재까지 유동층 보일러 시장은 지속적인 성장으로, 2014년 기준 전체 보일러 공급량의 약 6.0%를 차지함
- '00년대 초반 초임계 유동층 보일러 공급 이후, 고효율·대용량화 추이를 볼 수 있으며, 향후 500MW급 이상의 초초임계 유동층 보일러 수요는 지속적 증가가 예측됨
- RPS*, NOx·SOx 등 환경규제 강화, 저질탄, 바이오매스, 폐기물 혼합 연소 수요증가 등으로 전체 유동층 보일러 시장의 지속적인 성장이 전망되며, 특히 대형화·고효율화 유동층 보일러기술 추세 등을 고려해 볼 때, 200MW 이상 중대형 유동층 보일러의 비중이 확대될 것으로 예측됨

  * RENEWABLE PORTFOLIO STANDARD

- 현재까지 200MW 이하 중소형 유동층 보일러 시장은 아시아, 인도, 중국을 중심으로 4GW/년 내외 시장이 형성되었으며, 2000년대 중반 이후, SHI FW 및 중국 3사 주도로 아임계 중형 유동층 보일러 및 초임계급 중대형 유동층 보일러 시장이 가시화되어 기존 아임계 유동층 보일러 및 미분탄 보일러 시장 대체 기술로 부상 중
- 대용량 초초임계급의 순환유동층 보일러의 잠재적 시장규모는 전체 석탄 화력 플랜트 시장의 30% 수준으로 '20년 전체 시장규모 49,680억 달러 중 14,904억 달러로 예상

□ **대용량 초초임계 순환유동층 기술 국산화를 통한 친환경 新석탄화력발전 시장 대응 필요**

- 전 세계적인 기후변화에 대한 환경문제 인식 변화 및 관련 규제 강화에 따라 기본 석탄화력 대비 고효율·초청정 발전이 가능한 新석탄화력발전 기술의 시장 수요가 증가하고 있음
- 국내에서는 新석탄화력발전 시장 진출을 위해 세계 최고 수준의 대용량 초초임계 순환유동층

보일러 설계기술을 '18년 개발 완료

- 설계기술을 확보한 초초임계 순환유동층 플랜트의 국산화·상용화 및 해외시장 진출을 위해서는 실증을 통한 TRACK RECORD 확보가 필수적이며, 이를 위한 국가 차원의 실증 기회 제공이 필요

□ **국내기업의 수출형 패키지 개발을 통한 해외 진출 증대 필요**

- 외국 기술 도입을 통한 안정적 설비 건설 및 운영을 할 수 있음에도 불구하고, 국내기업 육성 및 일자리 창출 측면에서 비교적 RISK가 큰 플랜트 설계 및 제작, 건설 등의 국산화 부분은 정부의 지원을 통한 기술성 및 경제성의 RISK SHARE 필요

- 국내기업의 플랜트기술 실증을 통한 해외진출 기반 구축은 해외 신시장의 개척 및 외화수익 극대화에 기여 할 것으로 판단되며, 이는 국내 경제 활성화 및 기초기반 기술의 건실화에 큰 일익을 담당할 것으로 판단되어, 공익적 측면에서의 정부 지원이 절실히 요구됨

- 고효율·초청정 순환유동층 발전기술 뿐만 아니라, 실증을 통해 세계 최고 수준의 유동층 보일러 운영기술, 설계/제작 기술, 진단 기술 등 관련 요소기술 확보가 가능하여, 이를 위한 관련 기술 해외 진출에 대한 정부 차원의 전략적 선도가 필요

□ **에너지 안보(ENERGY SECURITY)와 에너지믹스(ENERGY MIX)의 중요성 더욱 강조됨**

- IEA의 GLOBAL ENERGY REVIEW 2020에 따르면 COVID-19로 인한 전 세계의 봉쇄정책으로 인하여 각국의 전력 소비가 최대 30%에서 10% 사이의 감소가 나타날 것으로 예측하였으며 중앙 집중식 발전인 석탄, 천연가스의 소비 감소가 두드러지게 나타남[15)]

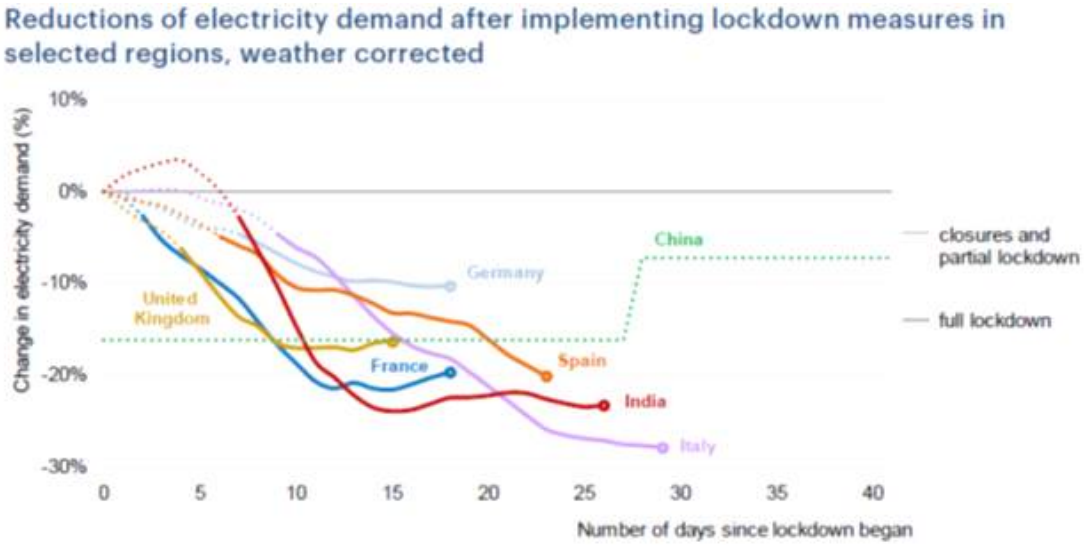
- BP는 COVID-19로 인한 각국의 봉쇄정책으로 인해서 모든 국가는 외부로부터의 제품 및 원료 수입을 줄이고 자국 내의 제품들을 이용하려는 경향이 강화됨[16)]

- 이와 같은 정책이 지속 시 '50년의 GDP는 초기에 예측한 값보다 6% 이상의 감소가 일어나고 석유, 천연가스의 수출이 줄어들고 이로 인해서 천연가스, 석유, 재생자원들의 이용이 모두 감소할 것으로 예측

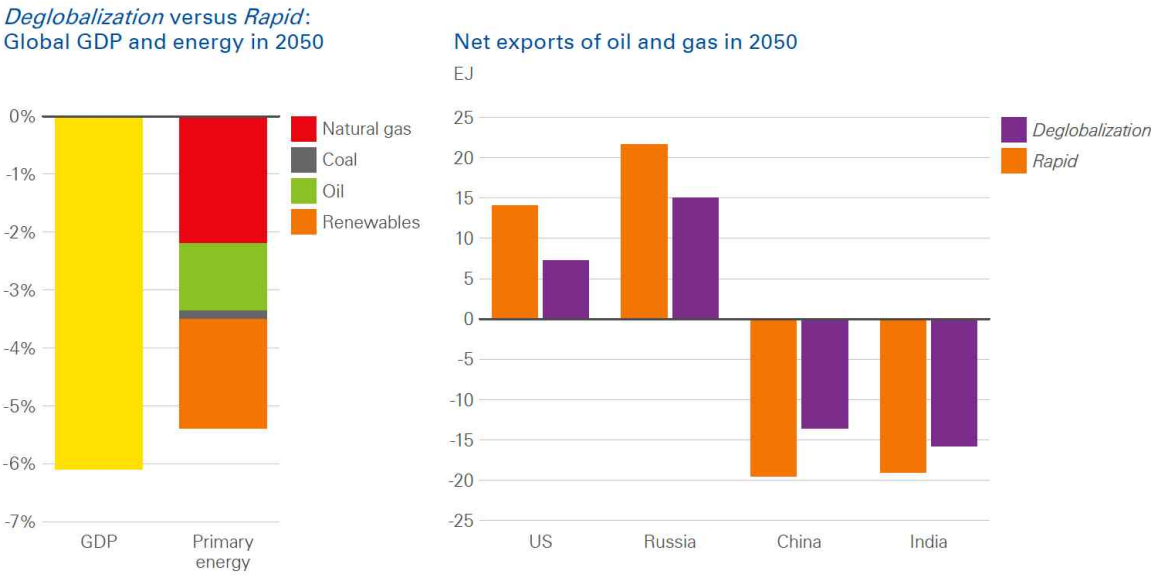
- 따라서 석유, 천연가스 등의 화석연료 자원들의 무역 감소는 자국 내의 에너지 자원에 대한 의존도 향상, 또는 세계 각국의 안정적인 에너지 공급을 위한 자원 확보에 대한 중요성이 강조되는 계기가 될 것이며 자국 내의 에너지 자원들의 효율적인 이용에 대한 중요성이 다시 강조됨

- 인구 및 전력수요가 급증하는 국가들에서는 석탄이 저비용의 보유 자원이며 수입되는 자원에 대한 의존도를 낮추고 에너지믹스를 강화할 수 있는 자원으로 인식됨에 따라서 석탄으로부터 청정에너지를 생산하는 기술이 중요함

15) IEA, Global Energy Review 2020
16) BP, Energy Outlook 2020 Edition



[그림 11] COVID-19 이후 전력 소비 감소



[그림 12] 에너지 분야 COVID-19 영향

- 에너지 연료 다변화로 에너지 안보에 기여가 점점 더 중요해지고 있으며, 탄소중립 기술이 적용된 화석연료 이용기술은 유연한 에너지믹스 유지가 가능하여 대외 환경변화 무관하게 안정적 전력 단가 유지 가능

- 특히, 탄소중립 기반의 화석연료 국산화 기술 활용 국내 건설 및 해외 선진사 독점견제 가능

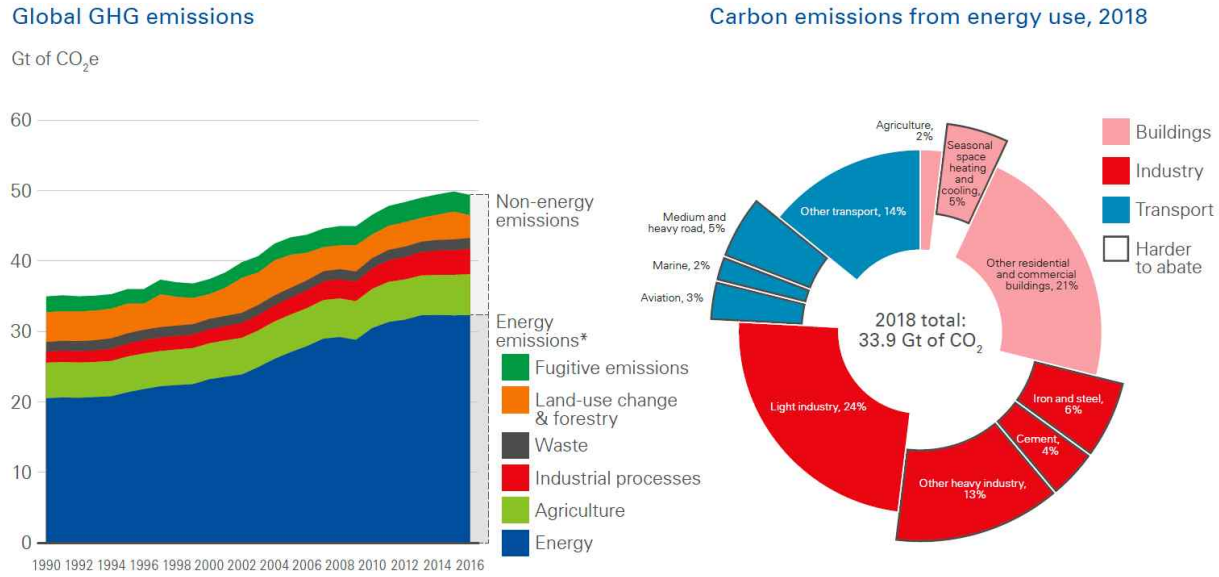
□ **대기오염물질 및 온실가스 배출규제의 강화**

- 전 세계 발전 플랜트에서의 대기 오염물질 규제치는 SOx·NOx 200mg/m^3에서 입자상물질, SOx·NOx 20mg/m^3 수준으로 낮아지고 있으며 수은에 대한 배출규제도 속속 도입되는 상황

- 기후변화로 대표되는 온실가스 배출규제는 파리 협약의 국회 의결 및 전 세계 국가들의 저탄소 에너지이용 정책들로 인해서 빠르게 적용되고 있으며 이는 전 세계 이산화탄소

배출의 65%를 차지하는 에너지 분야에서의 배출 저감이 중요

- 급변하는 세계 각국의 정책과 환경에 부합하고 온실가스 배출량을 저감과 동시에 증가하는 전력에너지 수요를 대처하는 기술이 요구되고 있으며 초초임계 순환유동층 보일러와 같은 고효율 에너지 전환 기술은 석탄 자원이 풍부한 국가들의 해법이 될 수 있음



[그림 13] 전 세계 및 에너지 사용 분야에서의 이산화탄소 배출량

□ 차세대 화력발전기술 확대로 이산화탄소 저감 가능

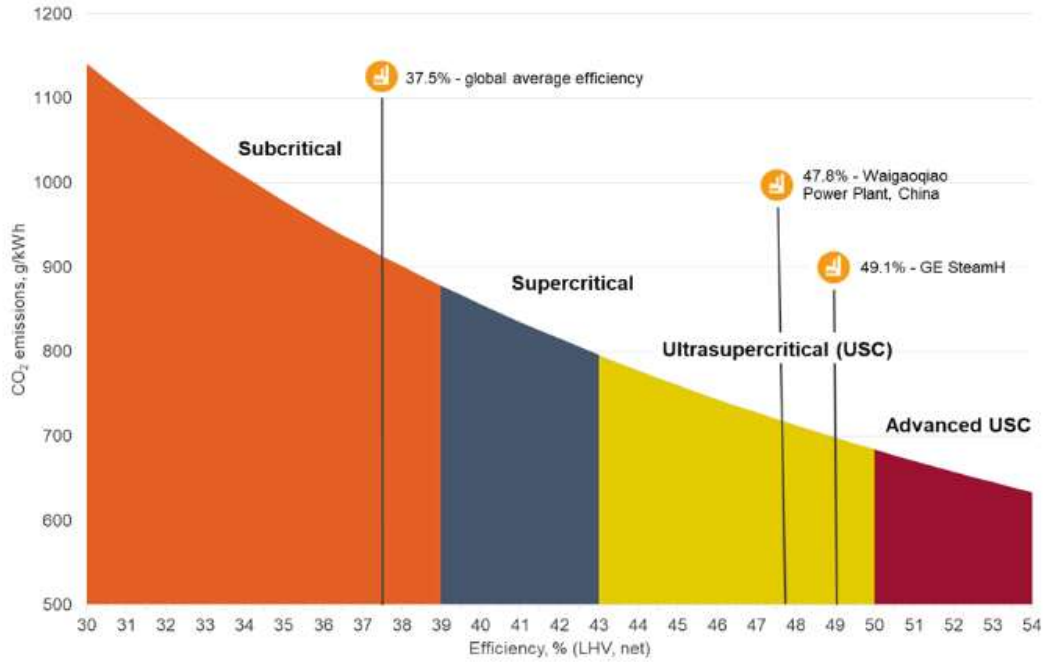
❍ 초초임계 보일러, 하이브리드발전 및 연소 후 이산화탄소 포집 설비적용으로 탄소 저감 극대화

- 현재 전 세계 석탄화력발전 플랜트의 효율은 37.5%인 것으로 나타났으며 '70 - '80년대에 건설되어 아직도 이용되고 있는 아임계압 석탄화력발전 플랜트의 온실가스 배출량은 kWh당 1,140g을 초과하고 있으나 49%의 에너지 전환 효율을 가지는 초초임계 발전 플랜트로 개선되면 kWh당 700g으로 대략 38% 이상의 온실가스 배출 저감 가능

- 석탄화력발전 기준, 아임계압 보일러 대비 고효율 발전기술인 초초임계 보일러 적용 시 이산화탄소 200 - 300g/kWh 이산화탄소 저감 가능[17)]

- 고온·고압 증기 조건의 초초임계 보일러는 700 - 800g/kWh 이산화탄소를 발생하여 아임계압 보일러 이산화탄소 발생량인 900 - 1100g/kWh 대비 100g/kWh(최소) - 400g/kWh(최대) 이산화탄소 저감이 가능하고, 이는 발전효율 향상에 따른 석탄사용량 감소 효과임

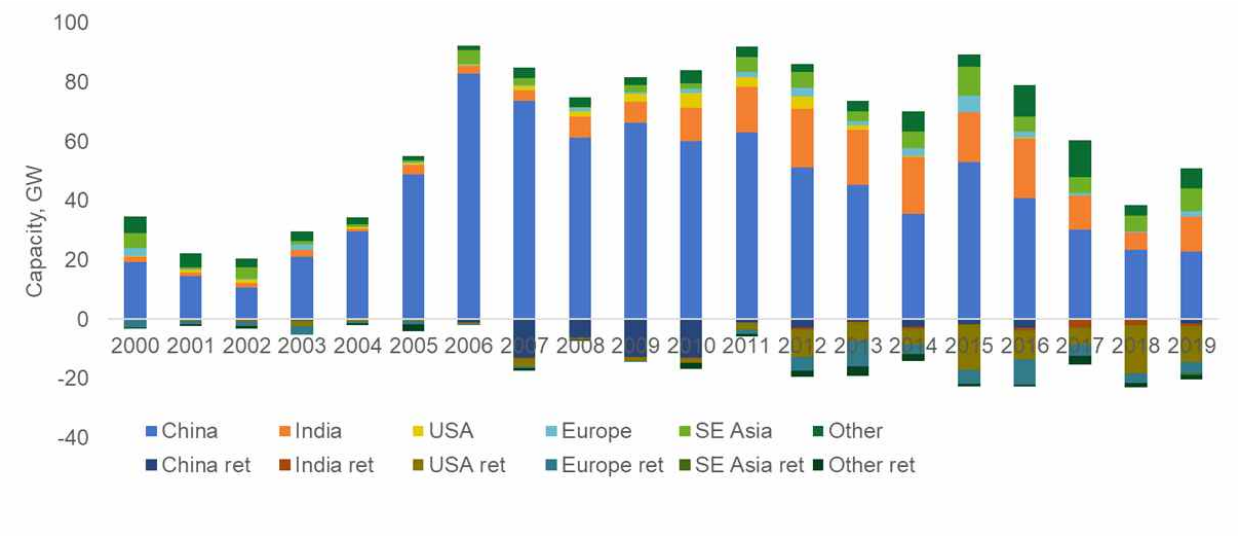
17) Toby Lockwood, IEA CCC 2020



[그림 14] 증기 조건 고도화에 따른 석탄화력발전 효율 및 이산화탄소 저감 추이

□ **고효율 석탄화력에 대한 지속적인 수요에 대한 대처 필요**

- 온실가스 배출 저감에 대한 OECD 국가들의 규제로 인하여 미국, 유럽 및 한국에서의 대용량 석탄 화력에 대한 신규 발주가 제한적이지만, 인도를 포함한 동남아시아 국가들의 빠른 경제성장으로 인해 석탄화력발전에 대한 지속적인 수요가 존재하고 있음
- 중국, 인도, 베트남, 인도네시아, 방글라데쉬, 터키, 필리핀의 석탄화력발전 플랜트의 건설 계획은 100GW를 초과하고 있으며 전 세계 온실가스 배출 저감에 대한 요구로 인하여 아임계보다 초임계, 초초임계 석탄화력발전 플랜트에 대한 수요로 옮겨가고 있음
- 중국 제조사들이 아임계 발전 플랜트 시장을 주도하고 있으나 초임계 및 초초임계 시장은 일본, 미국, 한국의 기업들이 기술 수출을 주도하고 있는 것으로 분석되고 있어 안정적인 시장이 형성되는 동남아시아 지역에서의 고효율 석탄 화력에 대응하기 위해서는 국내기술의 실증이 요구되고 있음



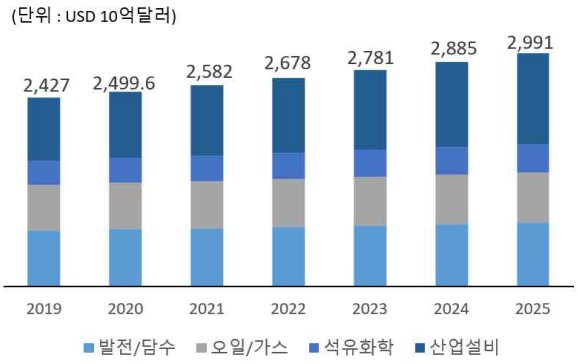
[그림 15] 석탄화력발전 플랜트 설치 현황

□ **해외 발전부문 플랜트 수출 급감으로 수주액 감소**

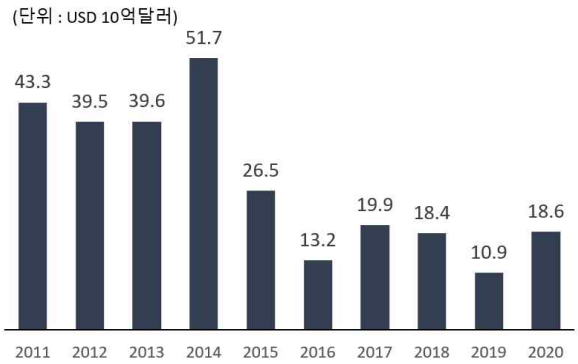
○ 세계 정책 변화로 발전자금 조달 문제, 국내기술 열위의 신재생에너지 발전 플랜트 수주 저조, 차세대 발전기술 부재 등으로 해외 플랜트 수출 급감

○ 발전부문 기술 다변화 및 기술경쟁력 강화로 수주 지속성 확보 필요[18)]

– 발전부문 수주 추이 : ('11년) 64,984,162천불 → ('20년) 26,604,325천불



['20년 글로벌 플랜트 시장 전망보고서]



[국내 기업 해외 플랜트 수주 추이]

[그림 16] 플랜트 시장 전망 및 수주 추이

□ **차세대 친환경·고효율 화력발전 플랜트기술은 전후방 경제적, 산업적 파급 효과가 큰 국가기간산업**

– (전방산업) 고효율·경제적 전력생산은 미래 반도체, 자동차 등 국가 핵심산업 경쟁력 우위에 큰 역할 가능

– (후방산업) 국내 보일러–터빈–환경설비 소재·장비·부품 밸류체인 유지 가능

18) 한국플랜트산업협회

(2) 기획 필요성

① 추진 필요성

□ **정부의 2050 탄소중립 및 재생에너지 전환정책 추진으로 탄소중립 달성을 위한 핵심기술 개발이 지원되고 있음**

❍ 2050 탄소중립이 글로벌 패러다임으로 대두됨으로 인해 능동적이고 적극적인 대응이 필요하며, 온실가스 다 배출 업종 저탄소 산업구조로의 전환을 위한 기술개발 추진이 필요함[19)]

- 산업발달에 의한 온실가스 증가로 인해 지구온난화가 가속화되어, OECD 국가를 중심으로 탄소중립을 위한 신재생에너지 사용 확대, 차세대 화력발전 기술개발 등이 추진됨
- 온실가스감축을 위한 화석연료 발전비율을 줄이려는 지속적인 노력으로 인해 신재생에너지 발전비율이 급격히 증가하여 '50년 기준 전체 에너지 소비의 50% 이상으로 예상됨
- 경제성장과 온실가스 배출이 분리되는 탈동조화가 시작되었으며, 신재생에너지 발전 증가가 탈동조화에 가장 큰 기여

❍ 친환경 시장의 성장에 따라 주요국은 新시장을 선점하기 위해 투자를 확대하고 있음

구분	'19년 실적	'34년 목표	증가량
신재생E	5.6% (19.7GW)	25.8% (84.4GW)	20.2%p (64.4GW)
재생E	5.0% (18.8GW)	22.2% (80.8GW)	17.2%p (61.9GW)
신E	0.6% (0.8GW)	3.6% (3.6GW)	3.0%p (2.8GW)

*폐기물 제외



20)

[그림 17] 제3차 에너지기본계획 재생에너지 보급목표(2019)

❍ 신재생에너지 확대 및 기후변화 대응 新기저발전 플랜트 TRACK RECORD 확보를 위한 기술개발이 시급함

- '2050 탄소중립' 준수를 위한 LNG 발전 전환, 화력발전 CCUS 기술지원 등 탄소중립 국가 전략이 중요하고, '30년 온실가스감축목표 달성을 위한 발전 플랜트 단위기술, 석탄·가스발전 CCUS 분야 등의 연구개발에 대한 정부 지원이 필요함
- 신재생에너지의 과잉 전력생산, 높은 출력변동 등의 단점을 극복하고 세계 최고 수준의 화력발전 기술 및 기존 인프라 활용이 가능한 차세대 新기저발전 기술개발의 필요성이 증대됨

19) 2050탄소중립 추진전략, 2020. 12. 7.
20) 공기액화 기반 에너지 저장 및 활용 시스템 기술개발 기획, 국토교통부 국토교통과학기술진흥원

□ **연료수급 안정성 및 발전 경제성**

- 우리나라는 현재 전체 에너지 소비량의 96.7%를 해외 수입에 의존하고 있으며 점차 증가하고 있는 에너지 비용은 국가적인 문제가 되고 있음
- 중국을 비롯하여 세계 각국의 에너지 수요가 급증하면서 양질의 석탄 자원 확보에도 어려움을 겪고 있음
- 이러한 배경하에서 저급석탄을 안정적으로 활용할 수 있으며 배출가스 내 공해 물질이 적어 저급연료를 활용해도 환경적인 부담이 적은 유동층 보일러에 대한 발전시장의 요구가 증가하고 있음
- 또한, 유동층 기술의 초초임계 격상을 통한 고효율화 기술개발은 발전 경제성 제고 및 국내외 신발전 시장 개척에 선도적 역할을 할 것으로 기대됨

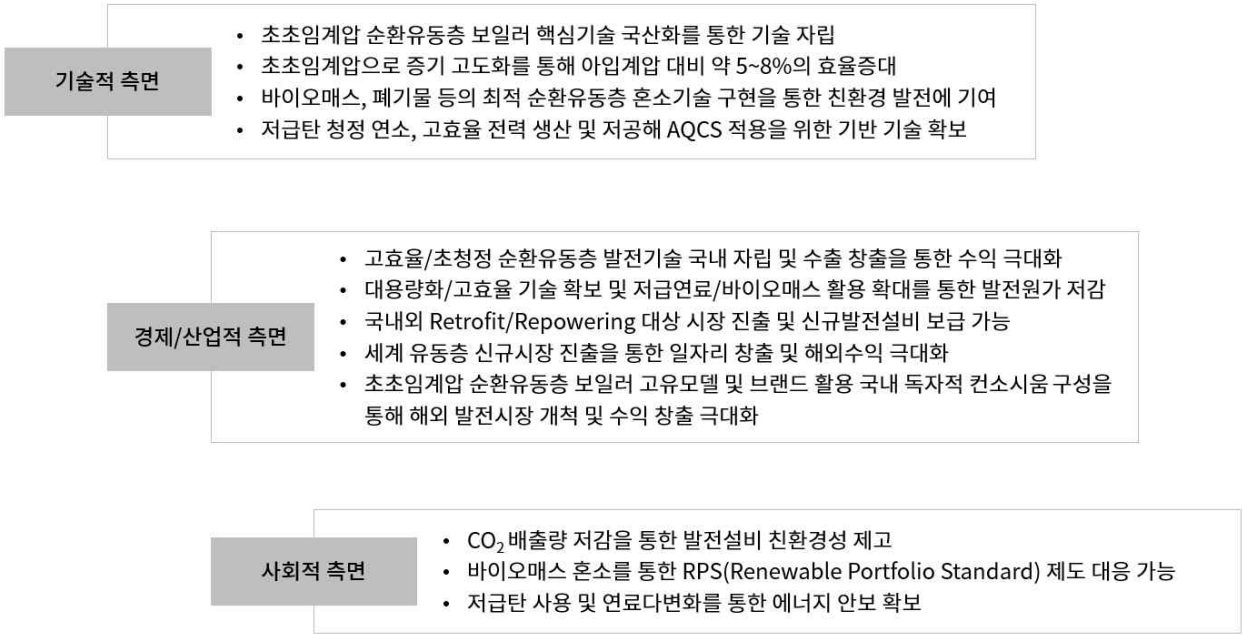
□ **이산화탄소 저감을 통한 친환경 발전 구현**

- 저급탄 대상 유동층 보일러의 아임계에서 초초임계로의 격상기술 개발은 약 5%의 효율증대를 가져올 것으로 기대되며, 이로 인한 직접적인 이산화탄소 약 5% 저감효과를 기대할 수 있음
- 바이오매스, 폐기물 등 신재생에너지 최적 혼합 연소기술 구현이 가능한 유동층 기술개발을 통해, 저급탄 대비 신재생에너지 혼합 연소율 10% 이상을 달성하여 이산화탄소 저감 친환경 발전에 기여
- CCS-READY 검토를 통해 부지확보 및 CCS 기술융합 가능성을 사전에 파악하여, 장기적인 이산화탄소 저감에도 전략적으로 대응

□ **수출형 패키지 개발을 통한 해외시장 개척 및 수익 극대화**

- 최근 해외 선진제작사들에 의한 대용량 초임계 순환유동층 보일러 시장의 독점적 기술선점 현상이 두드러지게 나타나고 있으며, 국내 주요 관련 기업과 기술제휴 관계에 있는 스미토모 포스터휠러社나 중국 기업들(동방, 상해, 하얼빈 등)이 대용량 순환유동층 보일러로의 기술개발 및 시장 진출에 적극적이어서 이에 대한 대응전략 필요
- 두산중공업, 현대중공업 등 국내기업 또한, 세계 각국의 저급연료 활용 정책에 부응하기 위한 차세대 유동층 보일러 기술개발의 필요성에 직면하였으며, 이를 위해 초초임계 순환유동층 보일러 기술개발에 대한 기술적, 경제적 타당성 검토 등에 대한 기초 연구개발을 진행한 상태임
- 한전 및 남부발전은 유동층 기술개발에 대한 MOU를 체결('13. 10)하고 향후 국내 유동층 신발전 기술의 선도를 약속하였으며, 이를 통해 국내외 발전사업 진출 및 운영에 대한 협력을 통해 해외수익 극대화를 꾀하고 있음
- 초초임계 순환유동층 VALUE CHAIN을 형성하고 수출형 패키지를 구축하여 해외시장 개척 및

수익 창출에 기여



[그림 18] 초초임계 순환유동층 플랜트 사업추진 필요성

□ **발전부문 탄소중립 국가 실현을 위해 신재생·천연가스 발전 확대, 화력발전 CCUS 기술지원 등의 전략을 정하고, 이를 추진 중임**

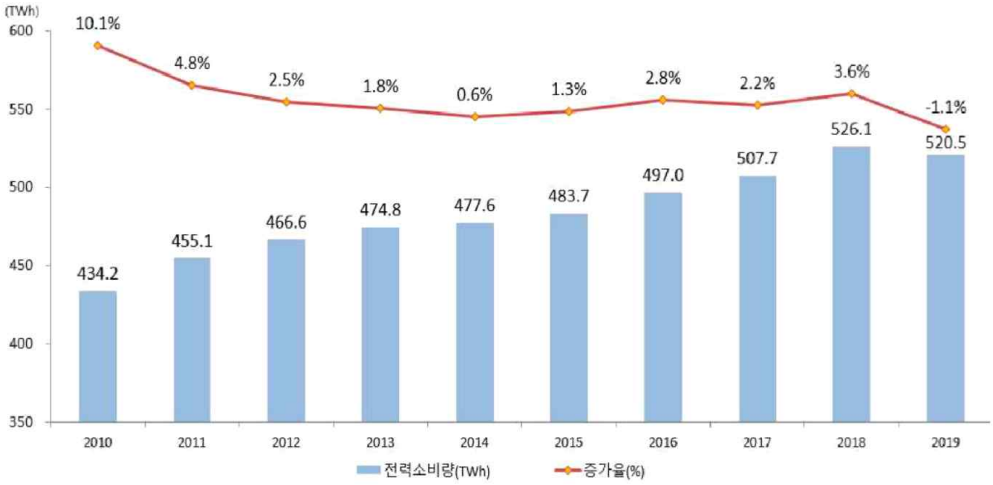
- 천연가스 발전은 신재생에너지 시대로 가기 위한 징검다리로서 전력피크 등 전력공급 사태 대비 및 에너지 안보 강화를 위해 지속 유지
- "녹색금융전략"으로 대기오염방지 등 녹색설비·기술 관련 투자 확대 지속 지원 계획
- '30년 온실가스감축목표 달성을 위해, "깨끗하게 생산된 전기·수소의 활용 확대" 및 "탄소 제거 등 미래기술의 상용화" 기본방향을 설정하고 장기적 화석연료 발전 CCUS 기술적용 필요성을 명시

□ **정부는 탄소중립, 미세먼지 제어 등 정책을 반영한 제9차 전력수급기본계획 수립**

○ 석탄·원자력 축소, 천연가스·신재생에너지 확대 예정

- 국내의 전력소비량 연평균 증가율은 1.7%로서 '10년 - '14년간의 평균 증가율 3.9% 대비 절반 이하 수준으로 하락하였으며 '19년 전력소비량은 520.5TWh로 나타남[21)]
- 전력소비량 증가율은 '14년 저점(0.6%)을 기록한 이후 '18년까지 3.6%로 상승, 19년에는 동·하계 온화하고 신선한 날씨로 전년 대비 1.1% 감소하였으며 최종에너지 대비 전력 비중은 '01년 14.5%에서 '10년 19.2%로 빠르게 증가[22)]

21) 산업통상자원부, ENCORED, INC 국가에너지계획 발표자료
22) 산업통상자원부, 제9차전력수급계획



[그림 19] 연도별 전력 소비량 추이

- 국내 '19년도 발전설비 규모는 '09년 기준 73.5 GW 대비 70%(연평균 5.5%)가 증가하였으며, '14년 기준 93.2 GW 대비 34%(연평균 6.1%) 증가한 것으로 나타났으며 현재 총 발전설비 규모는 세계 10위 수준임
- 국내 발전설비 비중을 보면 LNG(32%), 석탄(30%), 원자력(19%), 신재생(13%) 수준이나, 실제 발전량 기준 비중은 석탄(43%), 원자력(26%), LNG(26%), 신재생(6%) 수준으로 신재생에너지 설비의 증가에 비해 실제 발전량의 기여도는 여전히 낮은 상태에 있음
- 향후 탄소중립에 기조에 발맞추어 석탄(35.8 → 29.0GW) 및 원자력(23.3 → 19.4GW) 축소, 천연가스(41.3 → 59.1GW) 및 신재생에너지(20.1 → 77.8GW) 확대 예정임
- 천연가스 발전량을 확대하고 신재생에너지 단점 보완이 가능한 관련 기술개발 및 적용 필요

'20년	'22년	'30년	'34년
20.1GW	29.4GW	58.0GW	77.8GW

○ 재생에너지3020, 수소경제활성화 로드맵, 3차 에너지기본계획, 신재생에너지법 개정*('19.10월), 그린뉴딜 계획 등 반영

* 비재생 폐기물은 신재생 범위에서 제외

- 태양광(45.6GW) 및 풍력(24.9GW)은 '34년 신재생 전체의 91% 수준
- 연료전지는 8차 계획의 '30년 기준 대비 3.5배 증가(0.75GW→2.6GW)

< '34년 신재생에너지 용량 (단위 : MW) >

구분	태양광	풍력	수력	해양	바이오/매립가스	연료전지	IGCC	소계
정격용량	45,594	24,874	2,085	256	1,410	3,200	346	77,764
피크기여도	13.9%	3.1%	21.6%	1.1%	44.7%	67.7%	60.0%	-
실효용량	6,338	771	450	3	824	2,166	208	10,760

< 신재생 발전량 및 설비 비중 >

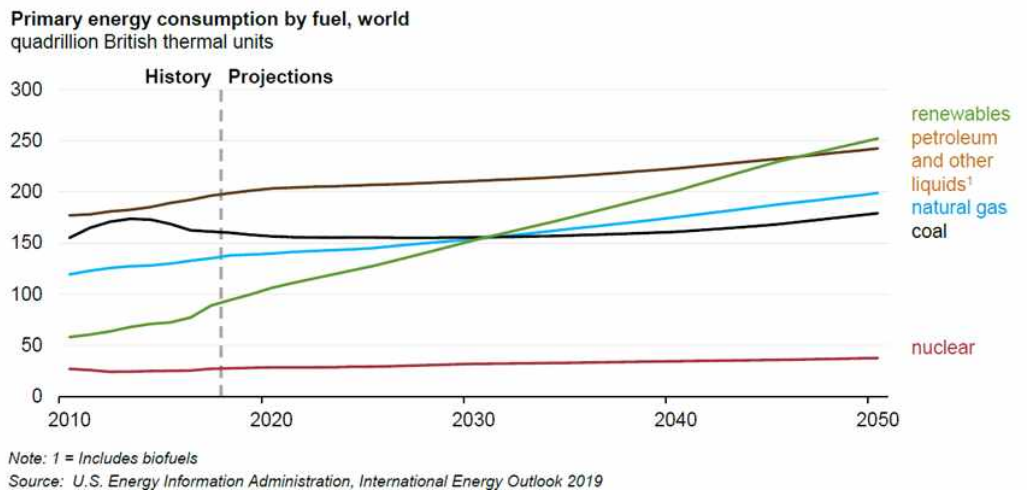
구분	'20년	'22년	'30년	'34년
발전량(TWh)	41.2 (7.5%)	57.6 (10.2%)	121.7 (20.8%)	157.8 (26.3%)
설비(GW)	20.1 (15.8%)	29.4 (20.6%)	58.0 (33.8%)	77.8 (40.9%)

* 사업용 설비 기준

[그림 20] 제9차 전력수급기본계획

□ **'50년까지 가스·신재생발전 증가, 석탄발전 감소 후 일정 비율 유지로 전망되어 차세대 친환경·고효율 화력발전 플랜트 필요성 확대**

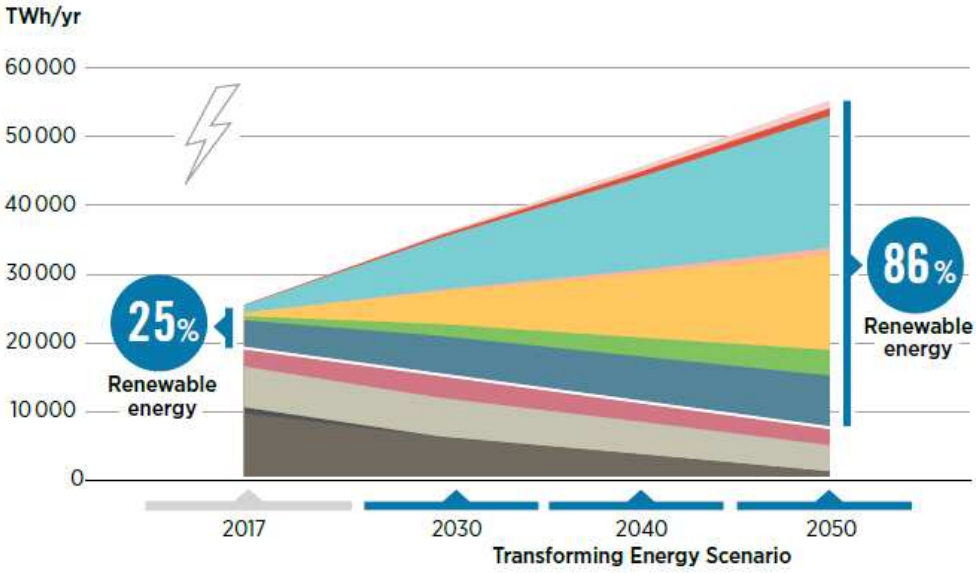
❍ 가스·석탄발전 용량은 신재생발전 증가에도 유지될 것이란 전망은, 태양광, 풍력 등 전력생산이 기상에 의존되는 간헐성에 따라, 이때 부족한 전력생산을 위해 가스·석탄발전이 필요[23)]



[그림 21] 세계 에너지믹스 전망

❍ 신재생 전력생산 규모는 '17년 25%에서 '50년 86%까지 확대될 것으로 전망[24)]

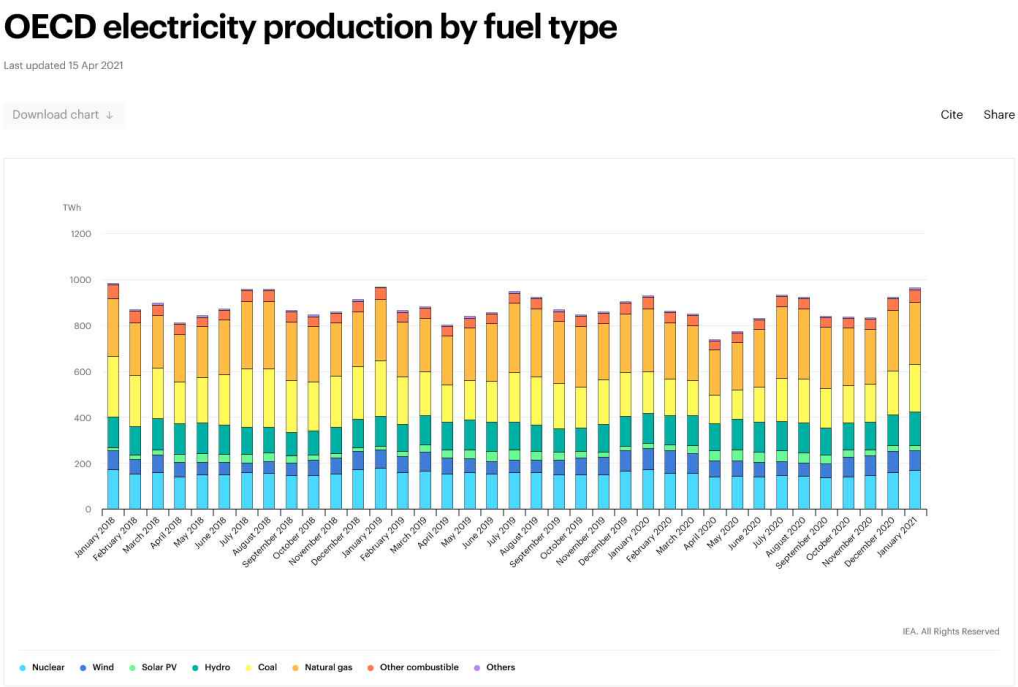
23) EIA(Energy Information Administration), International Energy Outlook 2019
24) IRENA(International Renewable Energy Agency) Global, Renewables Outlook 2020



[그림 22] 신재생에너지 전력생산 규모 전망(TRANSFORMING ENERGY SCENARIO)

❍ OECD 국가는 다양한 에너지를 사용한 균형적 전력생산 포트폴리오 구성[25]

- 천연가스, 석탄, 바이오매스 등이 약 50%, 수력, 원자력 및 신재생이 나머지 전력생산을 담당
- 특정 에너지원에 집중된 국가 전력생산은 연료 가격 상승 등 외부요인에 따라 전력생산 단가 상승이 불가피하여 균형적 전력생산 포트폴리오 구성 중요



[그림 23] OECD 국가 전력생산 추이

25) https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/oecd-electricity-production-by-fuel-type

□ **신재생에너지 확대 및 정전사태 방지 대응전략**

○ 미국은 신재생에너지 확대 발전환경에 적합한 미래발전기술 개발

- '17년 기준 미국 전력생산의 30%를 담당하고 있는 석탄화력발전 플랜트를 신재생에너지 확대 발전환경에 적합한 미래형 발전시스템으로 개선하여 문제점 해결 노력
- 350MW 규모 모듈화 발전시스템의 미국 전역 적용으로 신재생에너지 전력생산 중단 시, 부족 전력을 생산하여 전력망 안정성을 높이는 전략
- 미국 에너지부는 이러한 미래형 발전시스템 개발 및 실증을 위한 COAL FIRST 과제를 추진하고 있으며, 4% 이상 부하변동률 및 20% 이하 최저부하 운전기능 등의 요구조건을 만족 시, 전력망 안정성 확보 가능할 것으로 기대



[그림 24] 미국의 석탄화력 폐쇄에 따른 전력망 안정성 이슈

② 시급성

□ **신재생에너지 보급확대 정책목표 달성을 보조할 수 있는 탄소중립 기반 안정적 화석연료 이용기술이 요구됨**

○ 신재생에너지의 간헐성 등 단점 보완을 통한 정전사태 방지

- 대규모 신재생발전이 날씨의 변화로 인해 전력생산이 불가할 때 신속하게 대응할 수 있는 대체 전력설비가 없으면 정전 발생 가능성 상승
- 우리나라는 초임계 및 초초임계 발전설비가 중간부하를 담당하고 있어 정전이 잘 발생 되지 않으나, 신재생발전이 대규모로 확대되고 초임계 설비들이 없어지면 미국과 같은 정전 발생 가능성 상승
- 초고효율 기반의 발전 플랜트들은 높은 효율로 인한 탄소 배출 저감과 동시에 신재생에너지 확대에 따른 전력공급 간헐성을 해결할 수 있는 현실적인 대안으로 떠오르고 있으며 최근 가시화되고 있는 중국, 유럽 등 전력난 해결에서도 가장 유력한 해결 방법으로 인식됨

○ 신재생에너지의 간헐성 단점 보완을 통한 신재생 발전제한(CURTAILMENT) 방지

- 신재생발전이 날씨의 변화로 인해 전기를 생산하기 어려울 때 대체 전원을 공급할 수 있는 설비가 없으면 정전이 발생 될 수 있으므로, 이를 예방하기 위해서는 신재생발전량을 미리 줄이는 발전제한(CURTAILMENT)을 실시해야 함
- 우리나라는 신재생발전의 지리적 여건이 좋지 않아 설비용량 대비 발전량이 낮은 편인데 신재생 발전제한까지 발생 시 발전 경제성 악화가 예상됨*

  * '20년 국내 신재생설비용량은 20.1GW이지만 실효 용량은 3.7GW 임

○ 국내 신재생에너지 사용 여건을 고려한 조건과 환경에 맞는 전략 구상이 필요함

- 신재생에너지 확대에 대응하여 신재생에너지의 단점을 보완하면서 환경규제를 준수하는 초고효율 발전 플랜트로의 전환이 요구되고 있음

□ **미세먼지 저감 정책 및 온실가스감축목표 실현**

○ 국내에서 운영 중인 화력발전소의 환경설비 성능개선 등을 통해 국내 미세먼지 저감 대책 등의 목표 조기달성이 필요함

- 세계시장의 친환경으로의 기조 변화에 따른 해외시장 진출 대응을 위해 오염물질 저감을 위한 환경기술 실증사업 추진이 시급함(공동연구 등 대상국과 협력)

○ 국제사회와 약속한 온실가스감축 목표를 달성해야 함

- 국제사회는 기후변화 문제의 심각성을 인식하고 이를 해결하기 위해 선진국에 의무를 부여하는 '교토의정서(1997년)' 채택에 이어, 선진국과 개도국이 모두 참여하는 '파리협정(2015년)'을 채택했고, 국제사회의 적극적인 노력으로 인해 2016년 11월 4일

협정이 발효됨(우리나라는 2016년 11월 3일 파리협정 비준)

- 대통령은 2020년 10월 28일, 국회 시정연설에서 2050 탄소중립 계획을 처음 천명했으며, 같은 해 11월 3일 국무회의 모두발언을 통해 “우리도 국제사회의 책임 있는 일원으로서 세계적 흐름에 적극 동참해야 한다”며 “기후위기 대응은 선택이 아닌 필수”라고 강조함

- 정부는 2020년 12월 7일 ‘제22차 비상경제 중앙대책본부회의’를 개최하여 ‘2050 탄소중립 추진전략’을 확정·발표했고, 같은 해 15일 국무회의에서 ‘2050 장기저탄소발전전략(LEDS)’과 ‘2030 국가온실가스감축목표(NDC)’ 정부안을 확정함

□ **미래시장 개척 및 글로벌 시장 선도**

○ 고효율·초청정 발전 플랜트 분야에서 해외 선진사의 시장 카르텔 형성을 견제하기 위해서는, 개발된 핵심기술의 실증 및 향후 사업화 기반을 마련하는 것이 필요함

- 아시아 개발도상국 중심으로 고효율·초청정 발전시장이 형성되고 있으며, 개발 완료된 국산 핵심기술의 조기 실증을 통해 시장진입에 유리한 위치를 선점하는 등 경쟁력 확보가 시급함

○ (전후방 효과) 복합발전플랜트 상용화 기술은 전후방 경제적, 산업적 파급 효과가 큰 국가기간산업임

- (전방산업) 고효율·초청정 및 저렴한 전력생산은 미래 반도체, 자동차 등 국가 핵심 산업에서 경쟁력 우위를 가능케 함

- (후방산업) 국내 보일러-터빈-환경설비 소재·장비·부품 밸류체인 유지 가능함

○ (에너지 안보) 에너지 연료 다변화로 에너지 안보에 기여

- 유연한 에너지믹스 유지로 대외 환경변화에 무관하게 안정적인 전력 단가 유지

- 국산화 기술을 활용하여 국내 고효율 발전 플랜트 건설 및 해외 선진社의 독점견제

□ **국산화 기술개발·상용화 속도 가속화**

○ 초고효율 발전시장을 선점하기 위해 조속한 기술 실증실적의 확보가 필요하고, 각 지역에 적합한 응용기술 개발이 추가되어야 함

- 유럽, 일본 중심의 초고효율 발전기술 실증과 국내 독자 모델의 개발에 필요한 인력과 예산은 한정적임

- 한국형 발전 설계기술을 조기에 개발하고 초고효율 발전기술 실증실적을 확보하기 위해 미국 에너지부 COAL FIRST 과제와 유사하게 정부 지원을 병행해야 함

③ 국고지원 타당성

□ **초고효율 화력발전 플랜트는 신재생에너지 비율 확대에 따른 안정적 전력 수급 문제를 해소하고 탄소중립에 기여하는 차세대 발전 기술임**

○ “2050 탄소중립” 및 “제9차 전력수급기본계획” 정책에 정의된 ① 신재생·천연가스 발전 확대, ②

화력발전 CCUS 기술지원 내용 부합

- 신재생에너지 간헐성 등 단점 해소로 신재생에너지 확대정책에 부합
- 연소 후 포집 설비 설치로 배기가스 이산화탄소 90% 이상 저감 가능하여 NET-ZERO 정책에 부합

❍ 차세대 화력발전 플랜트 상용화 시, 발전부문 이산화탄소 감축 기여

- 신재생에너지 단점 보완을 통한 안정적 확대로 간접적 이산화탄소 발생량 감축 가능
- 기존 석탄화력보일러 대비 최대 95% 이산화탄소 저감 가능*
- ❶ 초초임계 증기 조건 보일러 및 가스터빈 고효율 CYCLE 적용을 통한 효율 향상으로 이산화탄소 저감, ❷ 연소 후 포집설비 적용으로 이산화탄소 저감

❍ OECD 국가 중심으로 진행되고 있는 탄소중립에 기여 가능한 초고효율 발전기술로서 신재생에너지와의 가교역할을 담당[26)]

- 미국 EIA는 탄소중립을 이산화탄소 감축 대응 시나리오에 추가하고, 이를 실현하기 위한 혁신적인 노력의 중요성 강조
- 신재생에너지 전력생산 확대에 따른 미래형 초고효율 화력발전 시스템의 중요성이 점차 증대되고 있는 상황

□ **신재생에너지 확대에 따른 안정적 전력망 구축을 위한 차세대 화력발전 적용 필요**

- 한국형 초고효율 발전기술은 한국 및 동남아시아 시장 특성에 적합한 기술개발 및 국내 탄소중립 실현 및 동남아시아 등 해외 발전시장 개척에 도움이 되는 과제이므로 한국 정부의 지원이 필요함
- 미국 DOE 과제는 미국 내 노후 석탄발전설비를 신재생 증대 발전환경에 적합한 차세대 발전시스템으로 개발하고 실증을 위한 기본설계를 지원하는 것이므로 한국형 발전 시스템개발에 필요한 예산은 지원되지 않음
- 국내 모델의 해외 실증은 기술 상호보완 및 소요 비용 절감이 가능하고, 다양한 사례 검토를 통한 기술개발 과제 완성도를 높여 미국 및 한국·동남아시아 등 해외시장 사업화를 동시에 성공 가능한 기회임

□ **국내 실증의 불확실성**

- 정부는 깨끗하고 안전한 에너지믹스로의 전환을 위해, 9차 전력수급계획(안)에서 재생에너지 발전 비중을 '34년 40% 목표로 확대하고 신규 석탄발전소 건설 금지, 노후 석탄발전소 폐지 및 LNG 전환을 진행하고 있어, 기개발된 초초임계 순환유동층 플랜트 설계기술이 국내 실증될 가능성이 매우 낮음

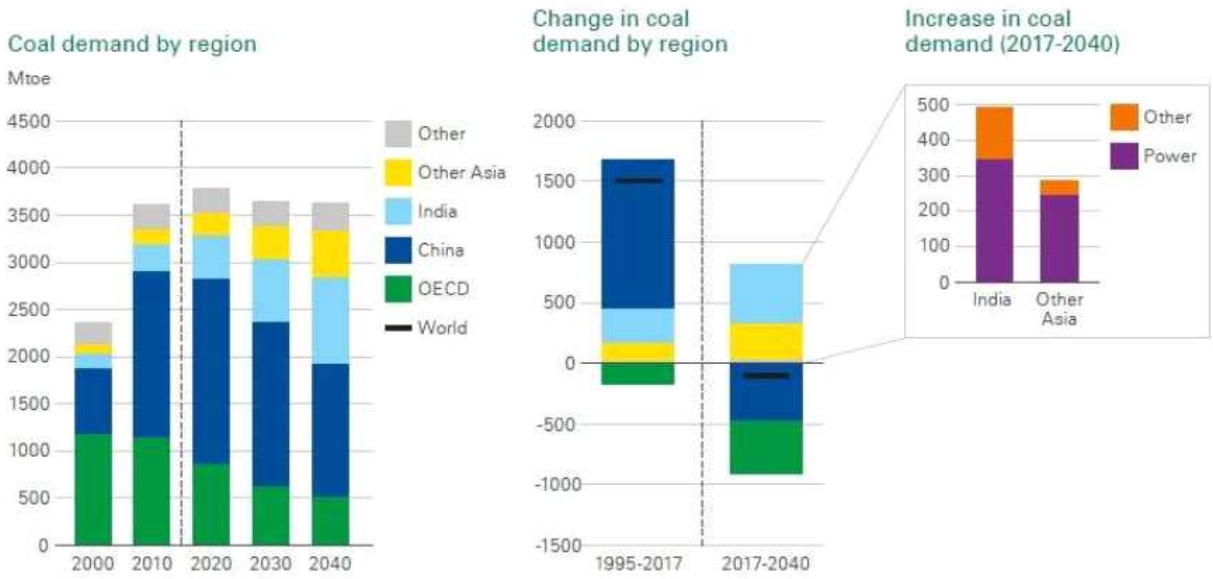
26) https://www.iea.org/data-and-statistics

- 국내 노후 500MW 표준화력 대상 실증을 계획하였으나, 정부의 탈석탄 기조 유지로 지연됨

□ **석탄 수요조사국가의 청정발전 니즈 증가**

- 인도 등 아시아 저개발국의 석탄 수요 증가로, 전 세계적 석탄 수요는 '40년까지 유지될 것으로 전망됨[27)]

- 저급탄 활용 및 고효율·저공해 에너지 전환 공정으로서 적합한 발전설비인 순환유동층 보일러가 크게 주목받고 있음



[그림 25] 전 세계 석탄 수요전망

□ **잠재적 해외시장 존재**

○ 순환유동층 보일러의 잠재적 시장은 다양한 형태로 존재함

- 인도네시아, 터키 등 저급탄 보유국 NEW BUILD 시장

- 인도, 베트남, 필리핀 등 급격한 경제성장에 따른 경제적인 전력수요 확대가 예상되는 개발도상국 NEW BUILD 시장

- 국내외 '80년대 건설된 노후 석탄화력발전 성능·환경개선을 위한 RETROFIT, RE-POWERING 시장

□ **국내 화력발전 산업 지속 유지**

- 소재·부품·장비 국산화 및 관련 SUPPLY CHAIN 유지

- 제작사·발전사 고용 유지 및 전문인력 유출 방지

- 최고 수준 설계·건설·운영 기술확보 및 해외 발전사업 진출

27) BP Energy Outlook 2020

나. 기획추진 개요

(1) 기획 범위

① 기술의 정의

□ **순환유동층 보일러**

○ 순환유동층 보일러는 고체 입자가 유체처럼 움직이는 유동층 공정의 하나인 순환유동층을 이용하여 석탄, 바이오매스, 폐기물 등의 연료를 연소하여 유동층 물질을 가열시키고 전열관을 통해 고온, 고압의 증기를 생산하고 이를 터빈으로 보내 전력을 생산하는 기술임[28)29)]

- 순환유동층 보일러의 구성은 연료의 연소 및 층물질의 유동 및 비산이 일어나는 연소로와 비산 유출되는 입자를 기체와 분리하여 포집하고 연소로 내부로 다시 순환시키는 사이클론 및 루프-씰, 그리고 열 흡수 및 성능을 조율하는 유동층 열교환기 및 백패스로 구성됨

- 연소로 하단부 분산판을 통해 일차 공기가 주입되어 층물질의 유동을 일으키고, 이차 공기는 일정 높이의 연소로 측면을 통해 공급되어 횡 방향 혼합 및 연소 공기로 이용되며 연소로에서 연소 반응으로 발생된 열은 층물질 및 고온의 연소 가스에 의해 벽면의 전열관을 통해 일부 흡수되고, 잔여열은 밖으로 배출되는 미세 입자 및 배기가스 등의 열원을 통해 백패스에서 흡수되거나 외부 열교환기 혹은 바닥재 처리부에서 열원을 흡수하기도 하며 순환유동층 보일러가 일반적으로 지니는 특징은 다음과 같음

  - 고체 연료와 탈황 흡수제가 주입되는 연소로에서 연소를 위해 주입되는 공기로 재순환되는 유동 매체 및 고체 연료, 탈황 흡수제가 유동화되고 1차 공기는 분산판 하부에서 공급되고 연소로 상부에서 연소를 위한 2차 공기가 주입됨

  - 고효율의 CYCLONE과 같은 고체 분리 시스템이 연소로에서 고온의 가스들이 배출되는 외부에 설치되어 연소로를 떠나는 대부분의 고체 입자들을 포집하여 연소로에 재주입하며 소량의 비산 회재가 배기가스에 의해서 동반 배출되나 전기 집진기와 같은 입자 포집기들에 의해서 포집됨

  - 과열기(SUPERHEATER), 재과열기(REHEATER), 절탄기(ECONOMIZER), 공기 예열기(AIR PREHEATER) 등을 포함하는 대류 전열부(CONVECTIVE PASS)는 가스 흐름에 맞추어 설치되고 전열관이 CYCLONE 후단에 따라 설치되는 IN-LINE과 반대 방향에 설치되는 OVER-THE-TOP 설계로 구분됨

  - 내부 및 외부 열교환기가 CYCLONE 하부에 설치되고 CYCLONE 또는 다른 종류의 고체 포집기들은 마찰에 의한 손실을 최소화하기 위하여 냉각되며 유동층 방식의 외부 열교환기도 설치되는 경우가 있으며, 연소로에 있는 고온의 유동 매체와 냉각된 저온의

28) 이시훈, 이종민, 초초임계 순환유동층 보일러 기술 소개 및 현황, KEPCO J., 2, 211-221, 2016
29) Toby Lockwood, Techno-economic analysis of PC versus 순환유동층 combustion technology, IEA Clean Coal Center, 2013

순환매체가 연소로 온도를 설계 온도로 유지할 수 있는 역할을 함

- 순환유동층 보일러는 기존의 화염 연소방식인 미분탄(PULVERIZED COAL) 보일러와 달리 연료에 화염을 생성시키지 않고 고온의 층물질이 유동, 순환하면서 열을 전달해 주는 연소방식을 갖고 있어 화염이 생성되지 않는 연료도 고온의 층물질과 섞여 서서히 타면서 층물질을 가열하는 에너지원으로 사용될 수 있어 저급의 고수분탄 및 고회분탄 뿐만 아니라 OIL SHALE, PETROLEUM COKE, WOOD WASTE, 도시 및 산업 폐기물 등을 연료로 할 수 있으며 특히, 저열량 연료에 대해서도 보조 연료 없이 전소할 수 있는 장점이 있음
- 기체-고체의 원활한 혼합, 높은 연소 속도, 그리고 미연탄소분의 재순환에 의한 체류 시간 증대로 인해 높은 연소효율을 얻을 수 있으며 순환유동층 보일러는 화염이 발생하지 않으므로 일반적으로 연소로 온도가 800 - 900℃ 정도로 운전되고 미분탄 보일러와 비교해 낮은 연소 온도로 인해 환경 측면에서는 석회석 첨가에 의한 연소 중 탈황이 가능할 뿐 아니라, 연소 중 약 95% 이상의 황산화물을 제거해 별도의 탈황설비를 설치할 필요가 없어 비용 절감효과가 있으며 THERMAL NOx의 발생이 억제되어 NOx의 생성 및 배출이 타 방식 대비 매우 낮은 장점이 있음

❍ 보일러의 형태에 따른 성능 비교는 다음과 같음

[표 3] 보일러 형태에 따른 성능 비교

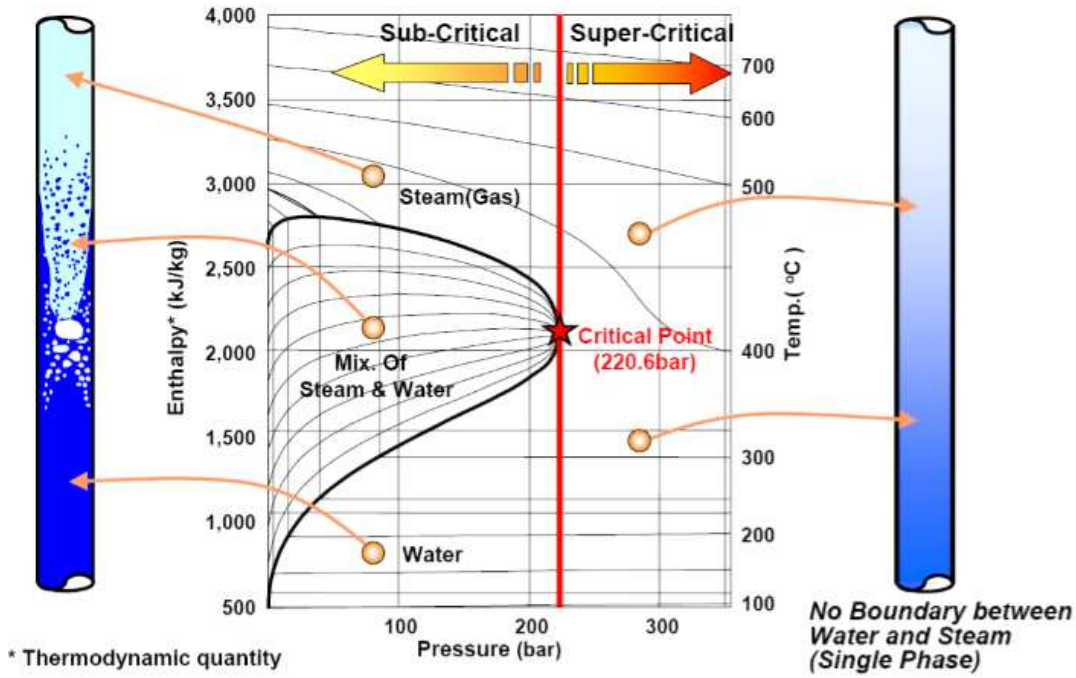
PROPERTY	PACKED BED	FLUIDIZED BED	FAST BED	PNEUMATIC TRANSPORT
APPLICATION IN BOILERS	STOKER FIRED	BUBBLING FLUIDIZED	CIRCULATING FLUIDIZED	PULVERIZED COAL FIRED
MEAN PARTICLE DIAMETER (mm)	<300	0.03-3	0.05-0.5	0.02-0.08
GAS VELOCITY THROUGH COMBUSTOR ZONE	1-3	0.5-2.5	3.5-6	15-30
TYPICAL U/UT	0.01	0.3	2	40
GAS MOTION	UP	UP	UP	UP
GAS MIXING	NEAR PLUG FLOW	COMPLEX TWO PHASES	DISPERSED PLUG FLOW	NEAR PLUG FLOW
SOLIDS MOTION	STATIC	UP AND DOWN	MOSTLY UP, SOME DOWN	UP
SOLID-SOLID MIXING	NEGLIGIBLE	USUALLY NEAR PERFECT	NEAR PERFECT	NEAR PLUG FLOW
OVERALL VOIDAGE	0.4-0.5	0.5-0.85	0.85-0.99	0.98-0.998
TEMPERATURE GRADIENT	LARGE	VERY SMALL	SMALL	MAY BE SIGNIFICANT
TYPICAL BED-TO-SURFACE HEAT TRANSFER COEFFICIENT(W/㎡K)	50-150	200-550	100-200	50-100
ATTRITION	LITTLE	SOME	SOME	CONSIDERABLE
AGGLOMERATION	CONSIDERABLE	SOME	LESS	NO PROBLEM

□ **초초임계 보일러 시스템**

❍ 순환유동층 보일러는 연료의 연소를 통한 열을 이용하여 물을 가열하여 증기로 전환하고 이를 증기터빈에 공급하여 발전기를 가동하여 전력을 생산하는 방식으로 전력 생산 공정 대부분을 차지하고 있음

- 증기터빈 CYCLE은 물의 압력을 증가시켜 압축수를 만드는 압축기, 압축수의 온도를 끓는점까지 가열시켜 포화수를 만드는 절탄기, 포화수가 포화증기가 될 때까지 증발시키는 증발기, 그리고 포화증기를 가열하여 더욱 온도를 높이는 과열기, 과열된 증기가 기계적 에너지로 전환되는 증기터빈, 터빈 후단에서 물을 회수하는 복수기, 물을 압축기로 순환시키는 보일러 급수펌프로 이루어진 랭킨 CYCLE을 통해서 전기를 생산하고 있음[30)]

30) 한국산업기술진흥원, Market leading products - 대용량 USC-순환유동층 보일러, 한국산업기술진흥원, 대한민국, 2014



[그림 26] 아임계와 초임계 상태의 물-스팀 거동

- 랭킨 CYCLE을 이용한 발전효율을 보다 높이기 위해서는 등온의 증발과정이 없이 액체상태에서 곧바로 과열증기로 변하는 초임계 상태 이상으로 증기 온도와 압력 향상이 필요하며 이를 위해 보일러는 액체에서 기체로 상변화가 일어나지 않는 열교환기가 되므로 물과 스팀의 자연대류 현상을 이용하는 드럼형(DRUM TYPE)이 아니라 관류형(ONCE THROUGH TYPE)이 사용됨

- 상업적으로 이용되는 증기의 랭킨 CYCLE의 효율 향상 최적의 방법은 과열증기의 온도·압력을 상승시키는 것이 일반적으로 재료의 개발이 활발해지면서 증기의 초임계 상태 이하에서 운전되는 아임계압 랭킨 CYCLE에서 초임계 조건, 또는 초임계 이상의 조건에서의 조업이 가능해지면서 증기의 랭킨 CYCLE의 효율이 44% 이상으로까지 향상되고 있음

- 초초임계 순환유동층 보일러 기술은 석탄, 바이오매스 등의 고체 탄화수소 물질들을 연소로 내부로 주입하여 연소로 내부를 순환하는 고온의 유동층 물질과 혼합시켜 연소시키고, 이때 가열된 고온의 순환유동층 층물질에서 전열관을 통해 열을 회수하여 증기터빈의 구동에 필요한 과열 수증기를 만들어 전력을 생산하는 방식임

❍ 현재 상용으로 운전되는 대부분의 순환유동층 보일러는 증기 조건에 따라 아임계(SUB-C : SUB CRITICAL), 초임계(SC : SUPER CRITICAL), 초초임계(USC : ULTRA-SUPER CRITICAL)로 구분되며, 발전 경제성, 환경성, 연료 수급 안정성에 따라 점차 대용량화 및 고효율화가 진행되고 있음

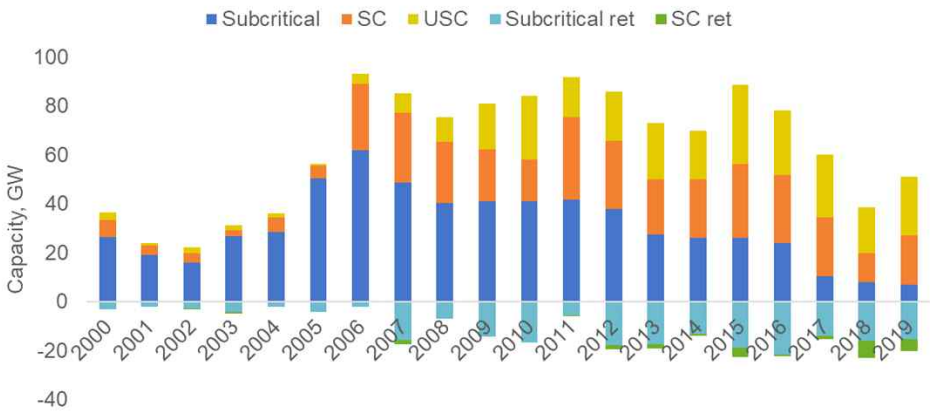
- 순환유동층 보일러의 발전 방향은 증기의 온도 및 압력을 높여 증기 CYCLE로부터 얻어지는 효율을 높이는 고효율화와 기존 실증된 상업화 모듈의 자가복제 방식의 대형화가 주류를

이루고 있음

- 기존의 드럼형 아임계압 보일러에서 초임계 이상 증기 조건인 250bar, 600℃ 이상의 증기 조건으로 고도화되고 있으며 신규 건설이 계획 또는 진행되고 있는 순환유동층 보일러의 상당수가 초임계 이상 증기 CYCLE을 채택하고 있음
- 순환유동층 보일러의 증기 CYCLE은 연소로 내의 절대온도가 기존의 미분탄 보일러와 다르며 수직 방향 온도 분포 및 이에 따른 열전달 특성이 달라 수관의 모양과 형태가 달라져야 함
- 순환유동층은 순환하는 유동층 물질들의 순환으로 수관 벽면에서 발생하는 SLAGGING, FOULING 등 현상이 줄어들어 안정적인 운전이 지속 되어 열전달율에는 큰 변화가 없으나 입자의 마모에 의한 수관의 손실이 발생할 가능성이 높음[31)]
- 2000년대 이후에 건설된 석탄화력발전 플랜트를 살펴보면, 초기에 아임계압 보일러가 많이 건설되었으나 최근에는 초임계 또는 초초임계 증기 CYCLE의 채택이 대부분이며 운전이 중지되는 석탄발전 플랜트의 대부분은 아임계압 증기 CYCLE을 채택하고 있음[32)]

❍ 드럼 방식의 아임계 보일러와는 다르게 초초임계 순환유동층 보일러는 관내에서 증기로 완전히 변화되고 후류로 갈수록 증기 온도가 꾸준히 상승하고 아임계 증기 CYCLE과는 다르게 유체의 양이 적으나 이로 인해서 튜브 내의 온도 차가 커지고 각 튜브 간의 열적 변형이 발생할 수 있는 ONCE THROUGH 방식의 증기 순환 방식을 채택하고 있으며 이로 인한 장점들은 다음과 같음

- 미분탄 보일러에서의 열전달을 살펴보면 최대값과 평균값 차이가 크지만 순환유동층 보일러에서는 열전달의 불균일성이 20% 이하로 매우 균일한 특성을 가짐
- 순환유동층 보일러에서 최대의 열전달이 일어나는 영역은 증발기의 가열 부분으로 가장 낮은 물 온도에서 최대의 열전달이 나타나 열전달 효율 측면에서 유리함
- 초초임계 순환유동층 보일러의 평균 열전달은 미분탄 보일러와 큰 차이가 나지 않아 경쟁할 수 있음



[그림 27] 초초임계 발전 플랜트 현황

31) Prabir Basu, Circulating fluidized bed boilers, Springer, New York, USA, 2015
32) Toby Lockwood, A technology roadmap for HELE coal-fired power plant, IEA Clean Coal Center, 2020

② 기술분류체계

□ **고효율 순환유동층 발전 플랜트 상용화 기술은 발전설비, 환경설비 및 플랜트 건설·운영기술로 분류될 수 있음**

[표 4] 기술분류체계

대분류	중분류	소분류
발전설비	청정생산/설비	환경설비기술
		청정생산 공정설계
	수화력 발전	고온고압화 발전기술
		석탄/석유 청정화/이용기술
		수화력발전 환경오염방지기술
		가스터빈 기술
		발전설비 운영기술
	시설물 설계·해석기술	플랜트
		설계 표준화기술
	발전용 핵심기기	GAS TURBINE
		BOILER
		STEAM TURBINE
		ESS(ENERGY STORAGE SYSTEM)
		EME(ELECTROSTATIC MIST ELIMINATOR)
		SCR(SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION)
		GGH(GAS-GAS HEATER)
		FGD(FLUE GAS DESULFURIZATION)
환경설비	친환경 공정	배출량 저감 최적화기술
	대기질 관리	미세먼지오염 개선기술
		대기오염 방지기술
	온실가스 처리	이산화탄소 포집기술
		이산화탄소 전환기술
		이산화탄소 저장기술
		NON-이산화탄소 처리기술
플랜트 건설·운영	플랜트 설계·건설	플랜트 설계
		건설/시운전
	O&M	디지털 HANDOVER 체계
		전력계통 연계
		자동제어/자율운전
	안전	통합공정안전
		위험도평가
		안전기준
	사업화	정책/경제적 타당성
		사업화모델
		규제 및 제도 보완

(2) 기획 추진체계

□ **총괄기획위원회**

○ 총괄기획위원회는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원 담당자 및 주관·위탁연구기관 연구책임자로 구성

○ 총괄기획위원회 역할

- 과제기획 총괄
- 연구과제 목표 및 범위 검토
- 기술개발 및 실용화 전략 검토
- 최종 기획보고서 검토·확정

□ **자문위원회**

○ 효율적인 국내외 기술동향조사 및 기술개발과제 도출 등을 위하여 세부 기술별로 관련 기업, 연구기관, 대학 및 수요기관의 전문가로 구성

- 순환유동층 보일러, 환경설비, 하이브리드발전 플랜트 연구·설계·시공·운영 경험이 있는 기관

○ 자문위원회에는 주관·위탁연구기관의 기획 주도성을 위해 주관·위탁연구기관 연구책임자 및 참여연구원 포함

○ 자문위원회 역할

- 관련 분야 메가트렌드 조사·전망
- 민간 참여분야 도출 및 사업성 검토
- 연구과제 도출
- 연구과제 추진체계 설정
- 연구과제 목표 및 범위 설정
- 연구과제 기술개발 전략 수립
- 사전 타당성 검토 및 최종기획보고서 검토

○ 기획추진체계



[그림 28] 기획연구 추진체계

[표 5] 기획 추진체계 구성 및 역할

구분	소속·구성	역할
주관연구기관	두산중공업	기획주관 자문위원회
위탁연구기관	전북대학교	순환유동층 공동기획 자문위원회
용역기관	전력연구원	순환유동층 기획지원
용역기관	부산대학교	하이브리드발전 기획지원
용역기관	한양대학교	환경설비 기획지원

[표 6] 자문위원회 구성

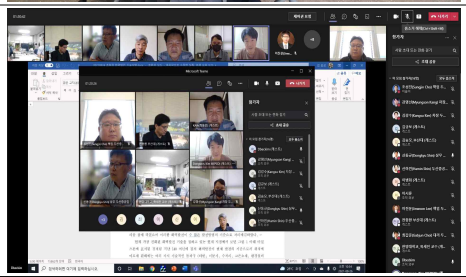
소속	성명	분야
현대중공업	김정래 이사	순환유동층
남부발전	안영현 차장	순환유동층
에너지기술연구원	선도원 박사	순환유동층
에너지기술연구원	류호정 박사	하이브리드발전
생산기술연구원	이은도 박사	하이브리드발전
기계연구원	길상인 박사	환경설비
부산대학교	전충환 교수	하이브리드발전
연세대학교	황정호 교수	순환유동층
연세대학교	서용칠 교수	환경설비
교통대학교	김성원 교수	순환유동층
호서대학교	송금주 교수	환경설비

(3) 기획 추진경과

[표 7] 기획 추진경과

일자	기획 활동	활동 내용
‘20.06.23	착수회의	추진계획 보고, 기획내용 추가·보완
‘20.07.08	내부 착수회의(전북대)	위탁연구 추진계획 협의
‘20.10.15	내부 착수회의(전력연)	용역 연구 추진계획 협의
‘20.10.22	1차 산·학·연 자문회의	기획연구 결과 산·학·연 전문가 자문
‘20.11.26	KAIA 보고	기획연구 결과 KAIA 보고, 중간보고서 목차 협의
‘20.12.10	국토부 보고	기획연구 결과 국토부 보고
‘21.04.23	2차 산·학·연 자문회의	기획연구 결과 산·학·연 전문가 자문
‘21.04.23	공청회	기획연구 결과 산·학·연 전문가 대상 공청회(화학공학회) 개최 및 의견 수렴
‘21.06.08	3차 산·학·연 자문회의	기획연구 결과 산·학·연 전문가 자문
‘21.07.09	KAIA 보고	기획연구 결과 KAIA 보고
‘21.08.26	용역 중간보고	기획연구 결과 KAIA 보고 환경설비·하이브리드발전 용역 중간보고

[표 8] 기획활동 사진 자료

일자	기획 활동	사진 자료
‘20.10.22	1차 산·학·연 자문회의	
‘21.04.23	2차 산·학·연 자문회의	
‘21.04.23	공청회	
‘21.06.08	3차 산·학·연 자문회의	
‘21.08.26	용역 중간보고	

2. 동향 및 환경분석

가. 정책동향 분석

(1) 국외 정책동향 분석

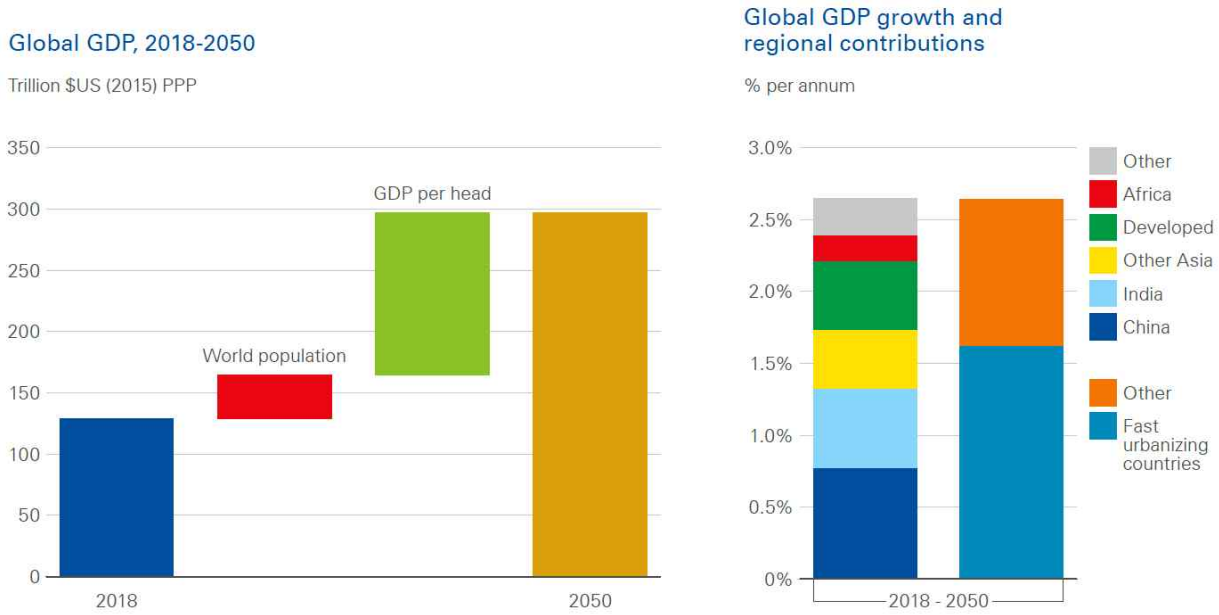
□ **전 세계 발전부문 정책 기조**

○ ENERGY OUTLOOK 2020에 따르면, 2050년까지 전 세계 GDP는 지속적으로 상승하여 300조$에 달할 것으로 예측되며, COVID-19 팬더믹을 고려하여 성장률이 기존 예측보다 조금 낮아진 2.6%/Y를 나타낼 것으로 예상

- GDP 성장에서의 기여도는 인구 증가보다는 저개발국가들의 빠른 성장으로 인한 생산량 증가의 기여도가 더 클 것으로 예측되며, 인도, 중국을 포함한 아시아 지역의 성장이 세계 GDP 성장을 견인할 것으로 예상

- 온실가스 배출 증가에 따른 기후변화의 영향을 고려하면 OECD 국가들과 중국은 2050년 예상한 GDP에서 대략 3%의 저감이 예상되며 기타 지역들은 7 - 11%의 감소가 일어날 수 있을 것으로 예상*

* 온실가스 배출량이 현재와 같은 수준에서 동결된다고 가정하여 예측함



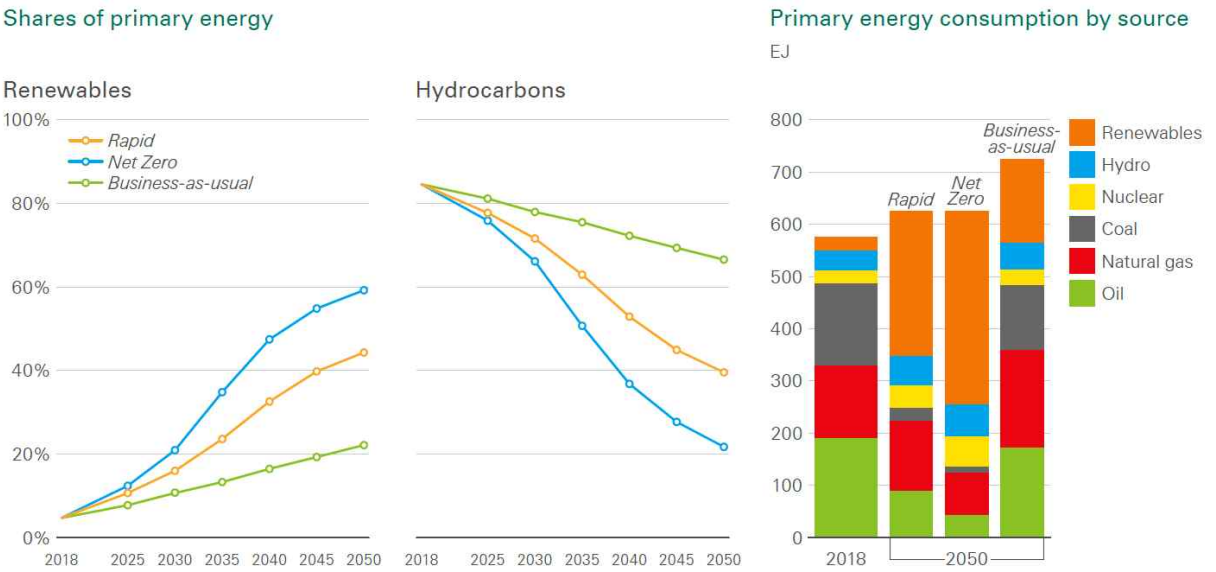
[그림 29] 전 세계 GDP 예측

○ 전 세계의 에너지 수요는 지속적으로 증가하고 있으나 OECD 국가들은 재생에너지 자원들을 기반으로 증가하는 에너지 수요를 대처하려고 하고 있으며 그 외의 국가들은 자국의 에너지 자원들을 기반으로 화석연료 기반의 에너지 전환 설비의 빠른 설치를 통해서 증가하는 전력 수요를 대처하려고 하고 있음

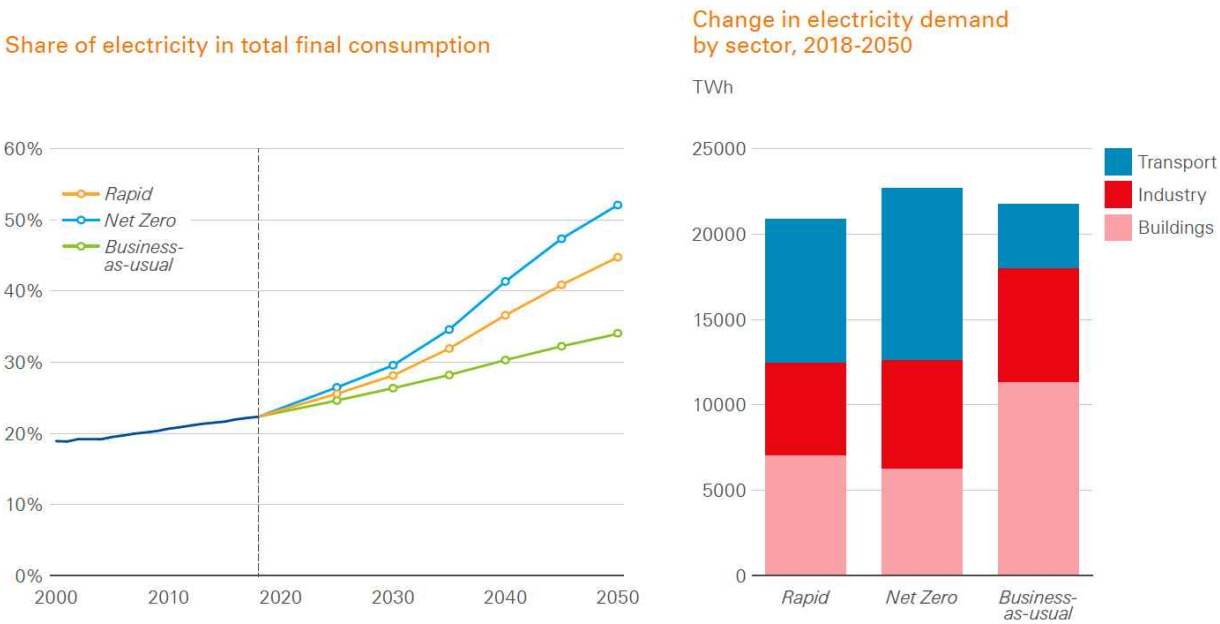
- 전 세계의 에너지 패러다임은 '저탄소(DE-CARBONIZATION)'로 대표되고 있으며, 전 세계의

에너지 생산과 소비의 80% 이상을 차지하는 석유, 석탄, 천연가스로 대표되는 탄화수소 자원들의 점유율은 시나리오별로 '50년에 20%에서 65%까지 감소할 것으로 BP는 예상

- 전 세계의 에너지시스템은 '전기화(ELECTRICFICATION)'로서 에너지 생산과 소비의 중심이 화석연료의 연소에서 빠르게 전기의 이용으로 전환되고 있으며 이로 인해서 석유 소비의 적극적인 감소도 일어나고 전체 에너지 소비에서의 전기가 차지하는 점유율이 '18년 대략 20%에서 34% - 52%까지 증가할 것으로 예측됨



[그림 30] 저 탄소 에너지믹스를 주도하는 신재생에너지



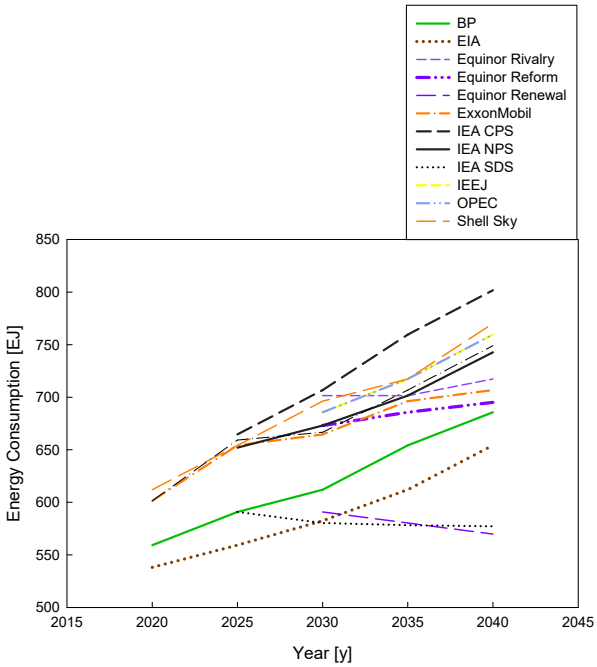
[그림 31] 에너지 소비의 전기화

□ 전 세계 ENERGY MIX 현황·전망

❍ 전 세계의 에너지 현황을 분석하기 위하여 BP, IEA, EIA, IEEJ, EQUIOR, OPEC, SHELL 등의 기관에서 2018년[33]에 발표한 자료들과 최신 자료들을 모두 이용하여 분석하였으며 각 기관들의 에너지 시나리오에 따른 변화량들을 모두 반영하여 평균을 도출함

- BAU 시나리오 : EIA REFERENCE, EQUINOR RIVALRY, IEA CPS, IEEJ REFERENCE, OPEC REFERENCE
- EVOLVING 시나리오 : BP EVOLVING, EQUINOR REFORM, IEA NPS, EXXONMOBIL
- AMBITIOUS CLIMATE : IEA SDS, SHELL SKY, EQUINOR RENEWAL

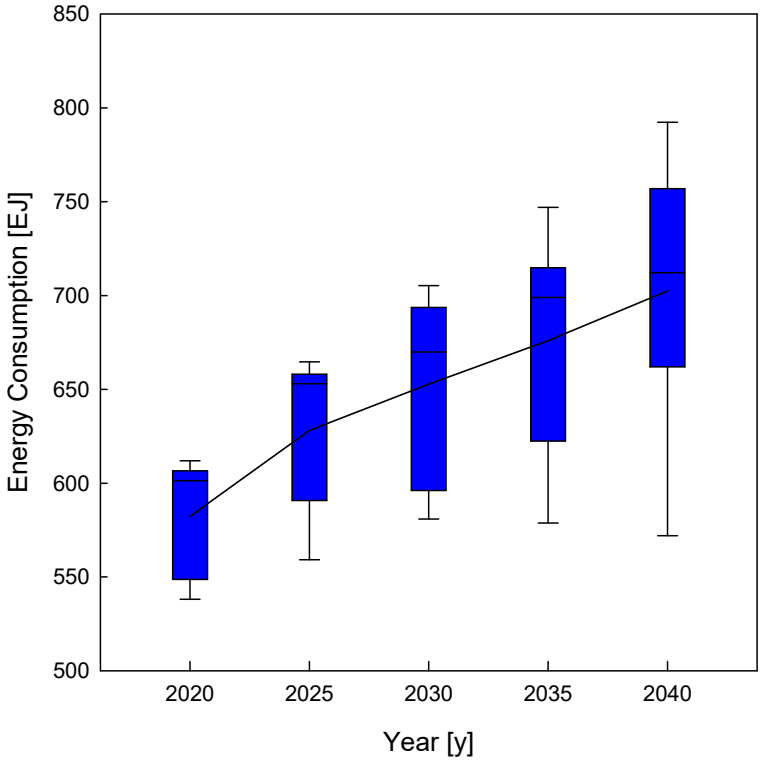
❍ 세계에너지기구, 각국 정부, 기업들의 에너지 소비 변화를 예측한 그림을 보면 최대 800EJ에서 최저 550EJ 까지 세계 각국의 온실가스 정책 및 재생에너지 이용 증가에 따라 크게 변화하고 있으며 기후변화 최소화를 위한 다양한 정책들이 이용됨에 따라서 20 - 30%의 에너지 소비가 저감 될 수 있을 것으로 전망됨

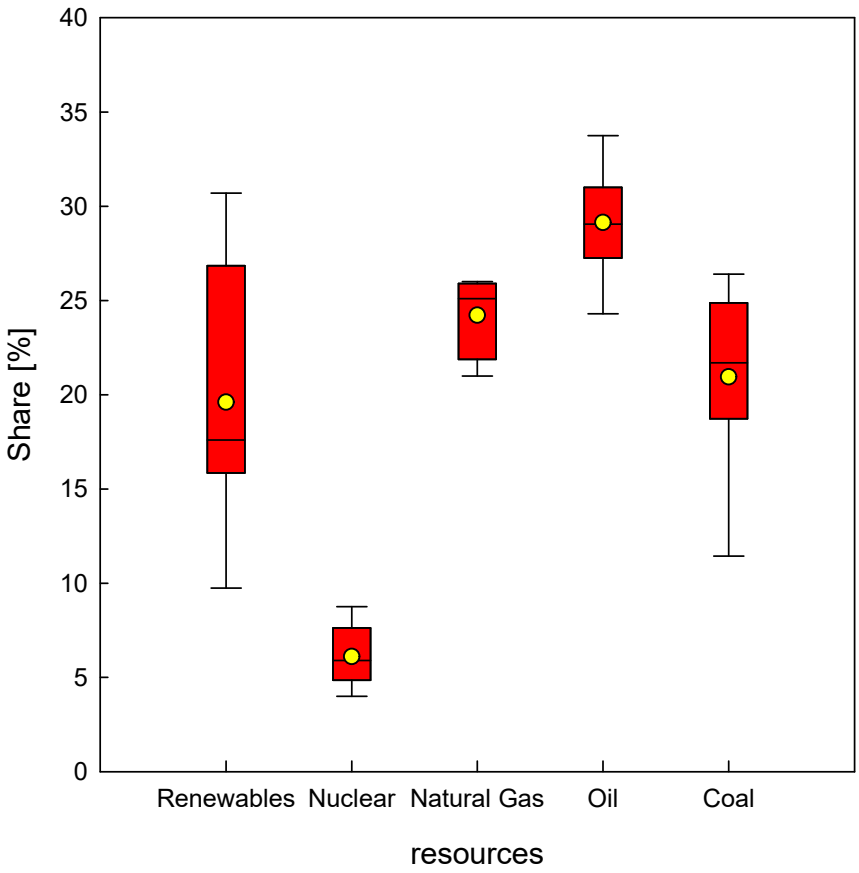


[그림 32] 2040 에너지 소비 변화

- 다양한 시나리오에 따른 예측값의 평균을 구한 그림을 보면 평균적인 에너지 소비 증가량은 매년 1.0%에 달하며 정책의 지속적인 이용에 따라서 큰 폭으로 차이가 발생할 수 있으나 평균값으로 보면 2040년 대략 700EJ의 에너지를 소비할 것으로 예측됨

33) NEWELL ET AL., GLOBAL ENERGY OUTLOOK 2019

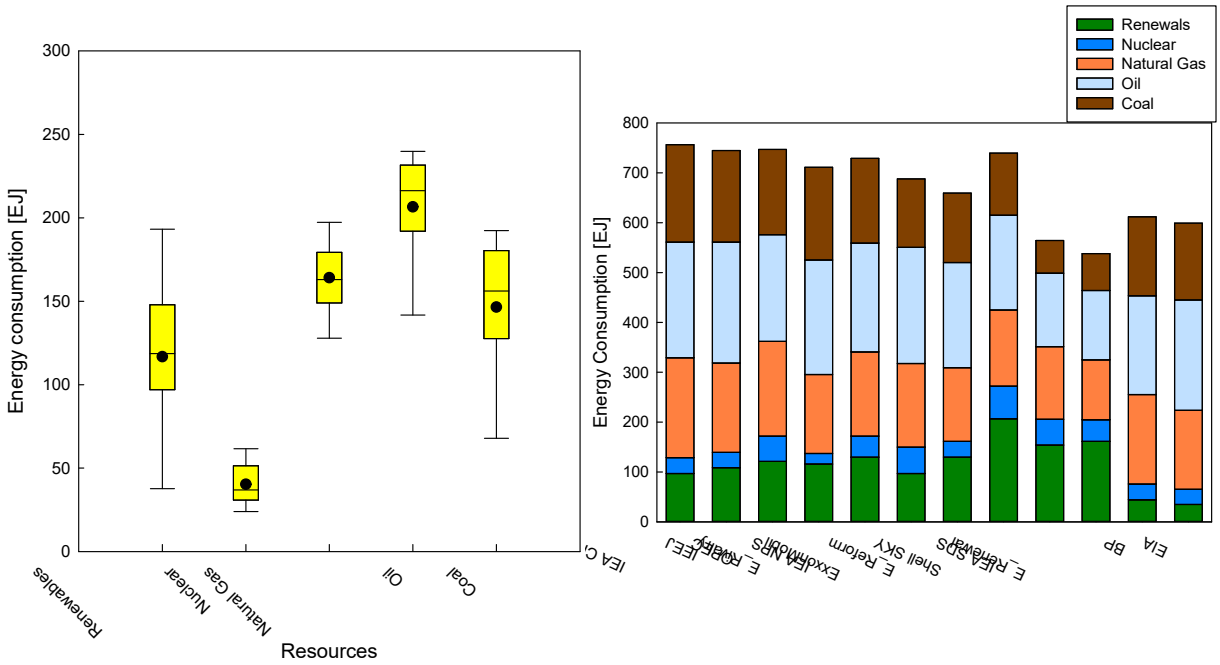




[그림 34] 자원별 에너지 소비량

- 2040년의 에너지원별 평균 소비 점유율을 보면 재생에너지가 대략 20%, 천연가스가 24%, 석유가 27%, 석탄이 20%를 차지할 것으로 예측되나 정책에 따른 신재생에너지 이용률의 변동 폭이 10 - 30%로 크고 발전 분야에서의 신재생에너지 확대의 대부분은 석탄의 점유율 하락에서 발생하고 있음

- 2040년 사용량에 따른 자원별 에너지 소비량을 보면, 재생에너지가 대략 120EJ, 석유가 200EJ, 천연가스가 160EJ, 석탄이 140EJ일 것으로 예측되며, 정책에 따른 재생에너지 소비량이 큰 폭의 차이가 있고 대부분 전력생산에 소비되는 재생에너지이기에 반대급부로 석탄의 이용이 큰 폭으로 감소 될 것으로 예측됨



[그림 35] 자원별 2040년 에너지 소비 사용량

- 최근 발표된 BP ENERGY OUTLOOK 2020을 보면 적극적인 정책이 반영된 시나리오들을 통해서 전력생산 분야에서의 석탄 이용이 감소 될 수 있으며, 특히 OECD 중심으로 재생에너지 이용량이 50%를 넘어가는 2050년이 되면 석탄의 이용률은 10% 이하로까지 떨어질 것으로 예측됨

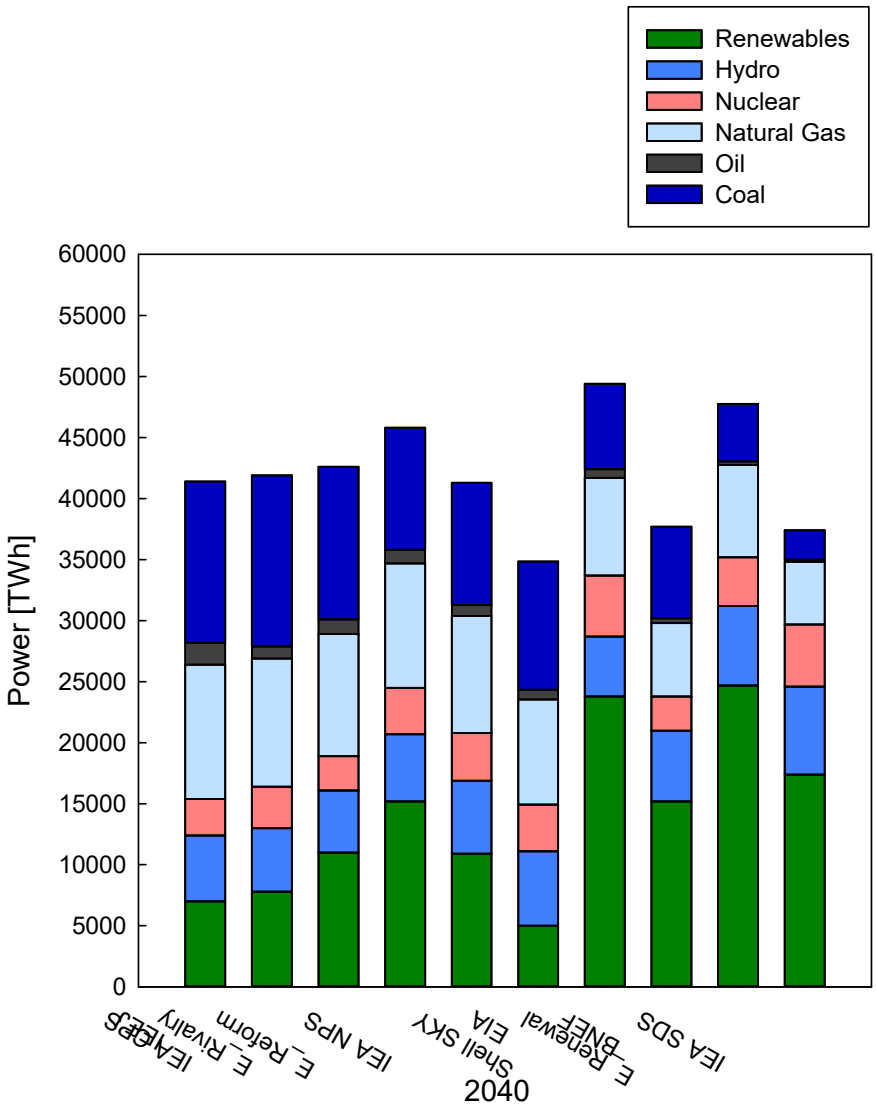
❍ 2040년 전력 생산량은 35,000TWh에서 50,000TWh 이상으로 시나리오에 따라서 차이가 발생하고 있으며 전기화의 확대에 따라서 전력 생산량은 증가할 것으로 예측됨

- 시나리오에 따라서 재생에너지의 전력 생산량이 거의 25,000TWh에 달해 자원별 전력생산 점유율이 최대 50% 이상으로 나타나고 있으며 현재 석탄이 차지하고 있는 위치를 재생에너지 자원이 차지할 것으로 예측됨

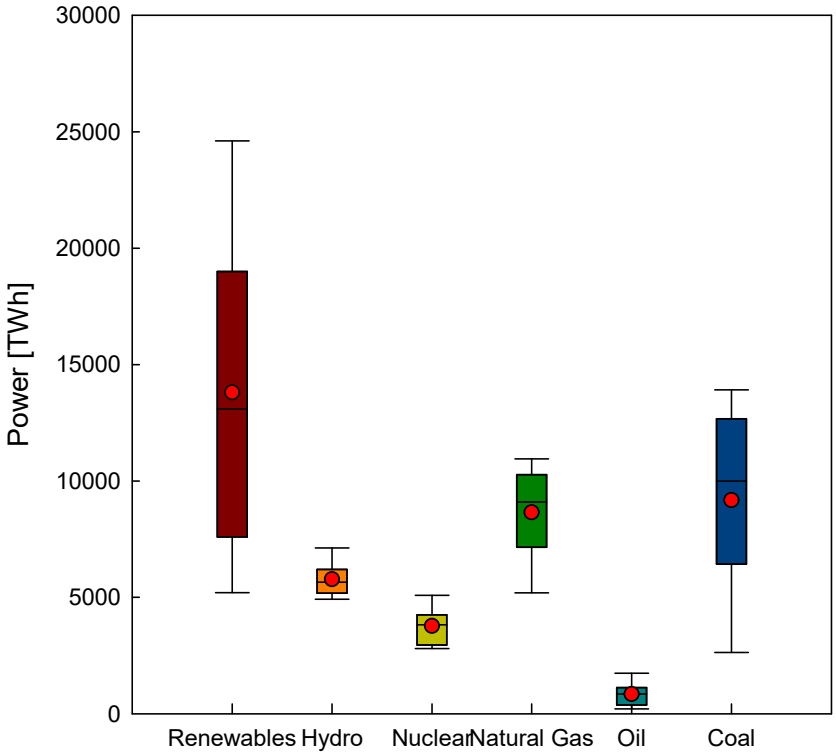
- 이에 비해 BAU 시나리오들은 2040년이 되어도 석탄의 점유율이 현재와 같은 위치를 차지하고 있고 재생에너지 점유율이 10 - 20% 사이를 유지할 것으로 예측되어, 결국

재생에너지와 석탄이 서로 상대적인 위치에 있을 것으로 예측함

- 전체 전력생산의 자원별 평균값을 보면 재생에너지가 거의 14,000TWh, 석탄이 10,000 TWh를 차지할 것으로 예측되어 석탄은 1위에서 2위로 한 단계 낮아지고 그 자리를 재생에너지로 넘겨주나 안정적인 전력공급을 위한 역할이 대두됨

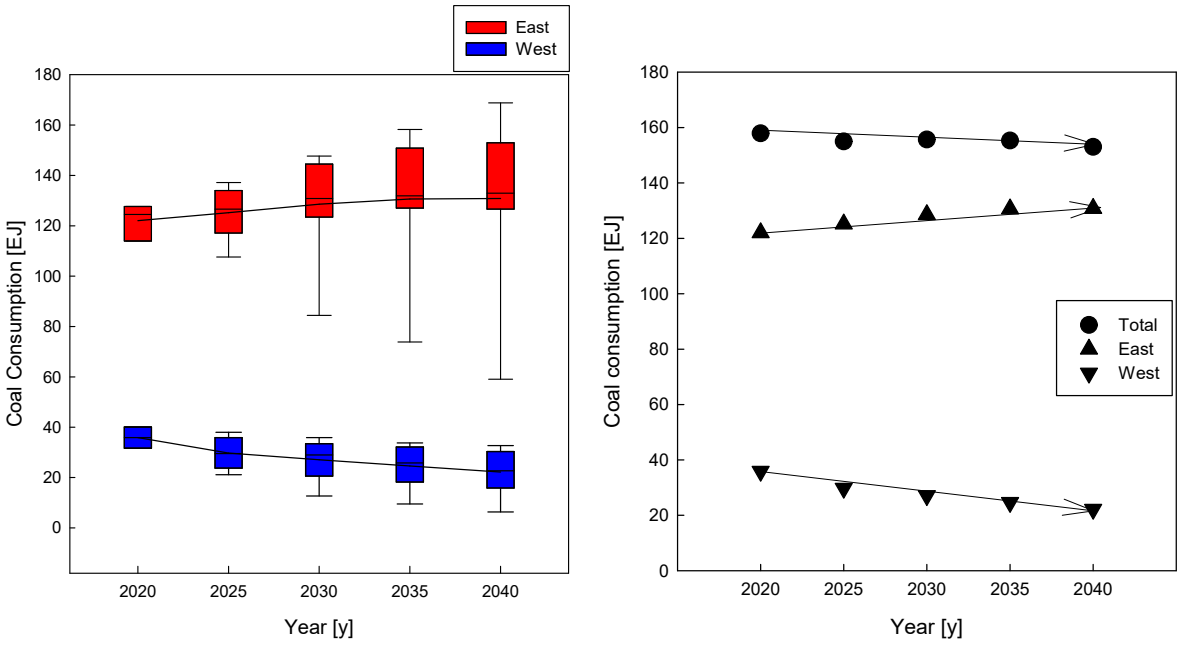


[그림 36] 자원별 발전 분야 점유율



[그림 37] 자원별 발전 평균 점유율

- 특히, 석탄 소비량은 2040년까지 유지될 것으로 예측되나 유럽, 미국으로 대표되는 서구는 사용량이 감소하고 중국과 인도를 포함한 아시아 지역은 석탄 이용량이 소폭 증가할 것으로 예측됨



[그림 38] 지역별 석탄 소비의 변화

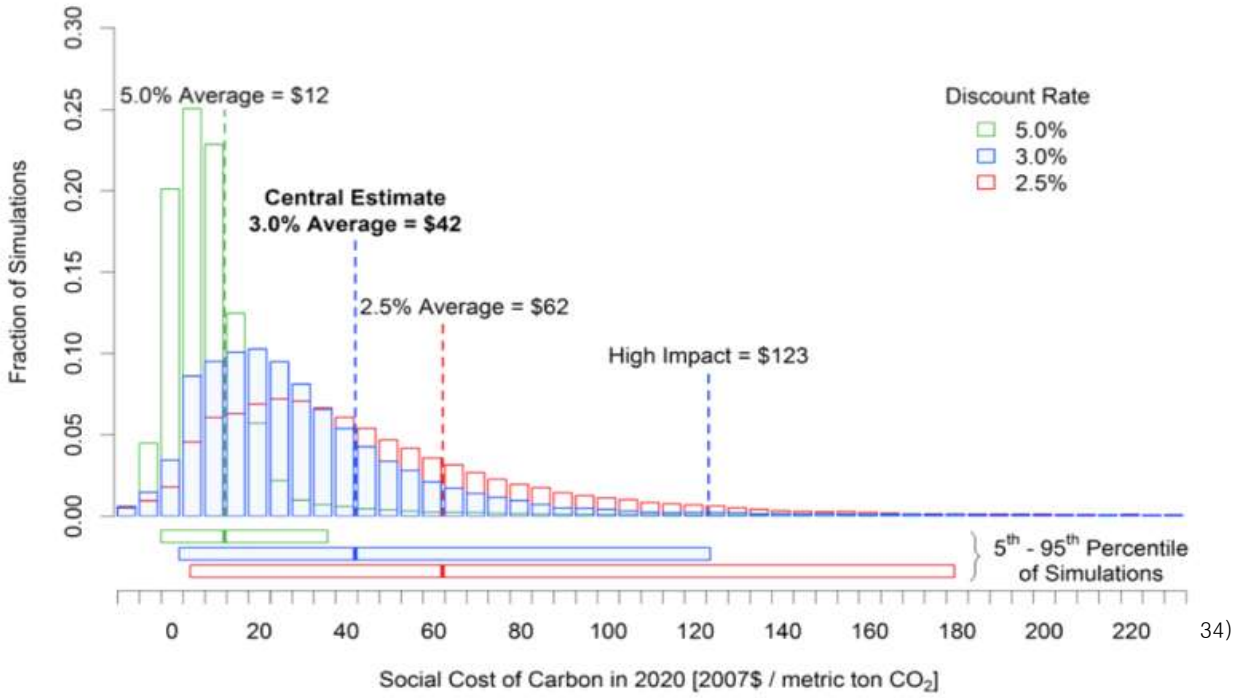
① 미국

□ 4년 주기로 국회와 행정부에 '국가 기후평가 보고서(NATIONAL CLIMATE ASSESSMENT)'를 제출하는 US GLOBAL CHANGE RESEARCH PROGRAM(USGCRP)을 운영 중임

- USGCRP는 13개의 연방정부 기관과 협력하여 연구하는 범정부적 연구 협의체로 기후변화를 포함한 범지구적 환경의 변화와 사회적 영향 등을 연구하는 연방정부 연구 프로그램임

□ 2000년부터 2018년까지 네 차례의 '국가 기후평가 보고서'를 의회와 행정부에 제출했으며, 다음 보고서는 2023년에 제출될 예정임

- 미국 바이든 행정부는 재생에너지 확대 및 에너지효율 개선을 강조한 오바마 정부의 정책 계승을 약속하며 그린뉴딜 정책을 발표하고 탄소세 및 탄소국경세 시행 등을 예고함



34)

[그림 39] 미국의 2020년 탄소 배출의 사회적 비용

- 바이든 신행정부의 주요 기후·에너지 정책은 파리협정 재가입 및 2050 탄소중립 선언, 기후 및 청정에너지 RDD&D(RESEARCH DEVELOPMENT DEMONSTRATION AND DEPLOYMENT) TF가 구성됨

- 유럽과 유사하게 모든 탄소 배출 활동에 가격을 매겨, 탄소 감축 활동을 독려, 타국 수입품에도 탄소 조정세를 적용하여, 미국으로 수출하는 국가들의 탄소 감축 의무 이행을 유도함

34) Technical Update Of The Social Cost Of Carbon For Regulatory Impact Analysis, Technical Support Document, 2016

□ **'청정에너지·인프라 계획' 추진을 통해 2050년까지 경제 전반에 걸쳐 탄소 배출 '넷-제로(NET-ZERO)'를 달성할 계획임**

- 기후변화 대응을 위한 5대 투자 부문으로 구성된 계획은 바이든의 핵심 대선공약으로, 임기 4년간 2조 달러 규모의 예산 투입을 통해 일자리 100만 개를 창출한다는 목표를 제시함*

  * 인프라, 자동차, 전력, 건축, 청정에너지 혁신

- 이에 따라 캘리포니아는 재생에너지 전력 목표 50% 달성 시기가 '30년에서 '26년으로 앞당겨졌고, '30년은 목표는 10% 인상되었으며, '45년에는 100%를 목표로 함

- 전력 부문에서 '35년까지 전기발전 부문의 탄소 배출량 제로 달성과 이산화탄소 포집 기술개발을 위한 투자 및 조세 인센티브 2배 확대, 추가로 10년 이내에 '그린 수소'를 기존 수소와 동등한 비용으로 제공할 것을 제시함

□ **과학기술혁신**

- 국가기후 TF 내부에 국가기후혁신워킹그룹(CLIMATE INNOVATION WORKING GROUP)을 신설하고, ARPA-C(ADVANCED RESEARCH PROJECTS AGENCY-CLIMATE)를 통해 탄소중립 관련 연구개발을 촉진할 예정임

- 미국 에너지부는 ARPA-E(ADVANCED RESEARCH PROJECTS AGENCY-ENERGY)를 통하여 혁신적인 저탄소 에너지기술에 대해 1억 달러를 지원할 예정임

② EU

□ **EU 집행위원회는 2019년 12월 발표한 유럽 그린딜(EUROPEAN GREEN DEAL)을 통해 '2050년까지 탄소중립' 목표를 제시함**

❍ 2030년까지 탄소배출을 1990년 수준 대비 최소 55% 감축하는 것을 목표로 제시함

❍ 법적 구속력을 부여하기 위해 '유럽 기후법(EUROPEAN CLIMATE LAW)' 법안을 발의하여 채택 절차를 진행하고 있음

- 유럽의회에서는 목표를 1990년 대비 60% 감축하는 것으로 강화하였으나, 현재까지 유럽연합 각료이사회의 동의를 얻지 못한 상태임

❍ 2050년 탄소중립 목표 달성을 위해 유럽 그린딜은 청정에너지, 순환경제, 에너지 효율적 건축, 지속가능한 수송 등의 분야에서 정책 패키지와 실행 로드맵을 제안함[35)]

- [청정에너지] △해상풍력을 활용한 재생에너지 전략(2020년 11월 발표) △에너지 효율 제고를 위한 「에너지법」 개정(2021년 6월까지) △회원국별 에너지 및 기후변화 계획 개선(2023년까지)

- [순환경제] △지속가능한 산업으로 전환 △재활용 가능 물질 및 제품 개발을 통한 관련

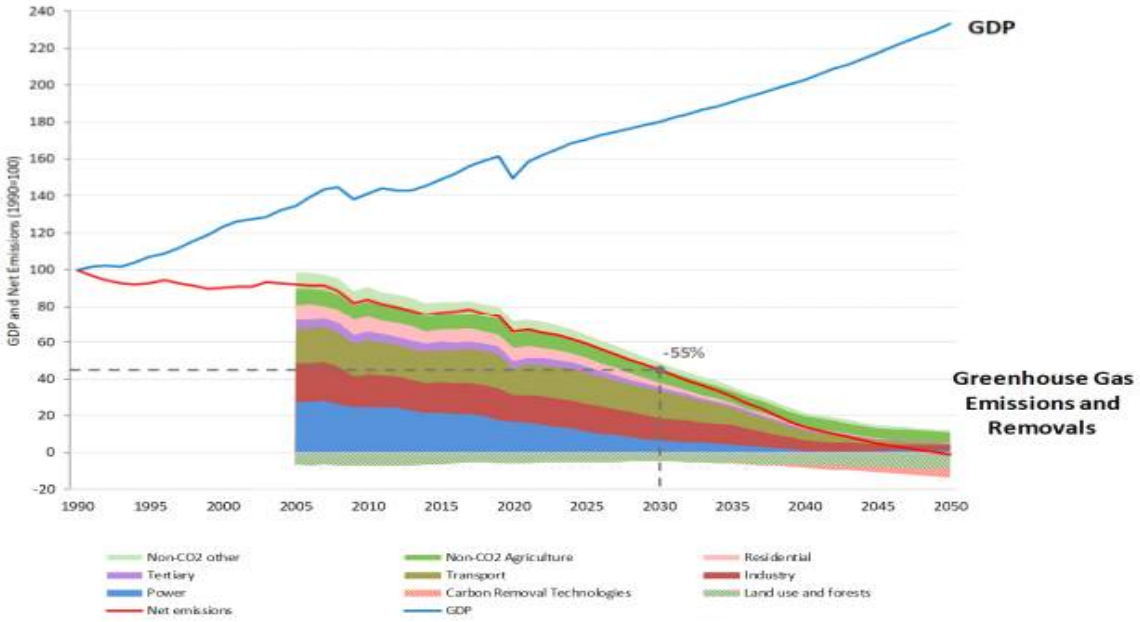
35) 유럽 그린딜이 한국 그린뉴딜에 주는 정책 시사점, KIEP 오늘의 세계경제, 대외경제정책연구원, 2020

시장규모 확대 △디지털기술을 활용하여 제품의 탄소 배출 관련 정보를 소비자에게 제공

- [자원 효율적 건축] △건물의 에너지 사용 효율성을 제고를 위한 회원국별 중장기 전략 평가 △에너지 혁신을 가로막는 장애 요인 식별 및 철폐를 위한 논의 실시
- [지속가능한 수송] △지속가능한 스마트 수송전략(2020년 12월 발표) △해양 및 항공 부문의 배출권거래제(ETS: EMISSIONS TRADING SYSTEM) 편입 △자율자동차, 커넥티드카 등 다양한 운송수단 개발, 스마트 도로관리 시스템 연계

❍ (EU) 탄소중립 달성을 위한 구체적인 실행계획은 2020년 9월 발표한 '2030 기후목표 계획'에 제시되어 있음[36)]

- 2020년 20% 감축 목표를 달성하였고, 2030년 목표였던 1990년 수준 대비 40% 감축을 50% 감축으로 강화함

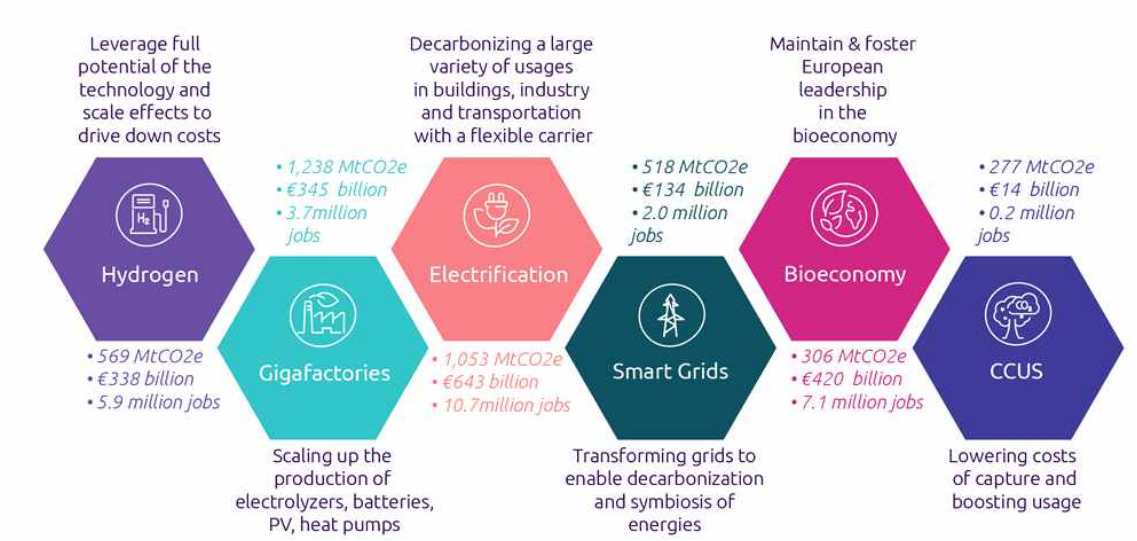


[그림 40] EU의 탄소중립 달성 계획(1990-2050)

- 2030 및 2050 목표 달성을 위해 산업, 교통, 건축 분야에서 친환경 재생에너지 비중 증대, 이산화탄소 외 온실가스감축을 위한 폐기물 처리 및 농축산업 분야 기술 개선, 배출권거래제 강화 등을 제시함
- 이에 더하여 탄소 포집 기술개발, 삼림 조성 및 토지의 효율적 사용을 통해 대기 중 탄소 흡수량도 점차 늘려갈 예정임

❍ 탄소중립을 위한 새로운 전략인 FIT FOR NET-ZERO를 발표[37)]

36) https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/2030_ctp_en
37) Capgemini Invent(2020.10), Fit for NET-ZERO



[그림 41] Fit For NET-ZERO

- 유럽연합은 2050년 탄소 배출 넷 제로의 목표를 달성하기 위해 에너지, 산업, 건물, 수송, 식량, 토지의 5가지 핵심 경제 부문을 선정하였고 핵심 경제 부문별로 200개 이상의 개별 프로젝트들을 분석하고 55개의 기술 탐구 주제를 제시

- 유럽연합은 6개의 경로를 통해서 탄소중립의 달성과 더불어 거의 3천 만개의 새로운 일자리와 3,960Mt 규모 이산화탄소 배출을 저감 시장을 창출하고자 함

③ 일본

□ **2050년까지 온실가스 배출량 80% 저감을 골자로 하는, '파리협정에 근거한 성장전략으로서의 장기전략(2050년 장기 저탄소 발전전략)'을 발표함(2019년 6월)**

○ 일본 정부가 제시한 발전전략은 2050년까지 온실가스 배출량을 현재의 80% 수준으로 감축하여 최종적으로는 탄소중립을 금세기 후반까지 가능한 한 빨리 실현하는 것임

- 현재 온실가스 배출량 중 이산화탄소가 차지하는 비중이 약 90%이고 이산화탄소 배출량은 연간 0.3억 톤 정도의 속도로 감축이 진행되고 있으며, 일본 정부는 이산화탄소 배출 저감을 위해 에너지 공급 저 탄소화, 에너지 소비효율 개선 등을 추진하고 있음

- 에너지 공급 저 탄소화를 위한 비 화석연료 전력발전 비율을 19%→44%까지 높임

- 일본 에너지 기본계획의 목표는 안정적, 지속적, 자립적인 에너지 공급을 통해 일본 경제사회의 발전과 국민 생활 편의 향상과 지속 가능한 발전에 기여임

○ [배출 저감 대책] 일본 정부는 목표 달성을 위해 에너지, 산업, 수송, 지역·삶 등 총 4개 부문에서의 배출 저감 대책과 정부 차원의 횡단정책을 제시함

- [에너지] ①재생에너지 주 전력화 ②원자력·화력에 대한 의존도 축소 ③에너지 소비효율 향상

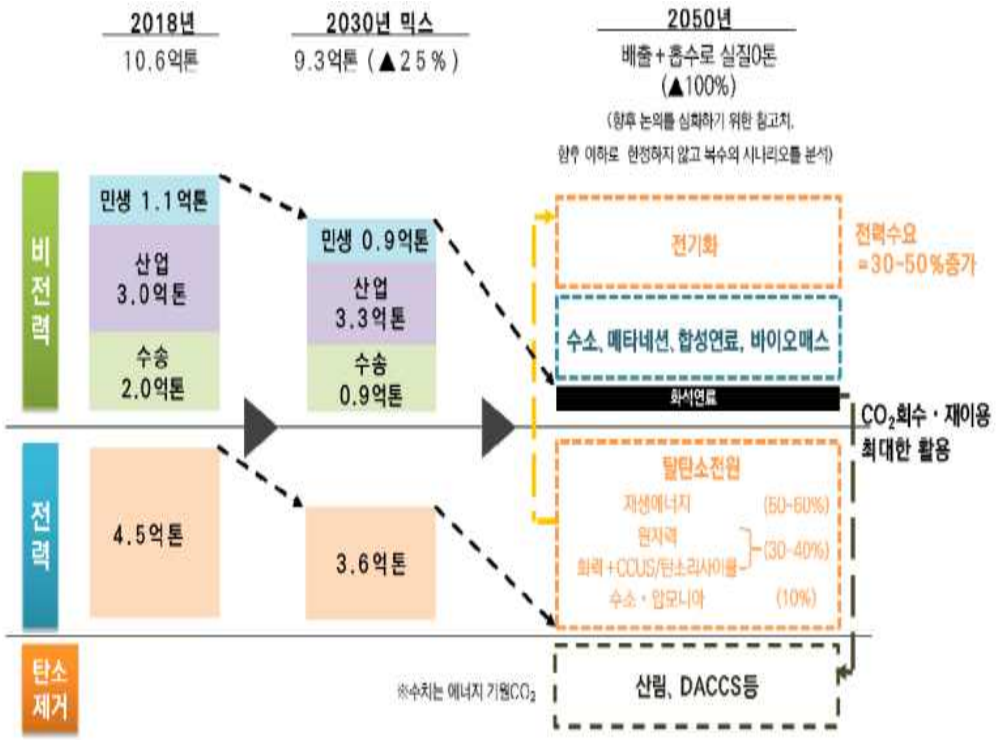
등을 통한 이산화탄소 배출 절감 추진

- [산업] ①산업계의 자주적인 절감 노력 ②CCS·CCU(탄소 포집) 기술의 활용을 통한 원료 전환 ③에너지 소비효율 향상 등을 통해 탄소중립 추구
- [수송] ①2050년까지 일본산 자동차에 세계 최고 수준의 친환경적 성능 실현 ②자율주행 자동차, 커넥티드카 등의 보급 ③친환경 드라이브 지원 시스템의 보급 등
- [지역·삶] ①가능한 지역·기업부터 2050년 이전에 탄소중립 실현 ②탄소중립적 삶 : 주택·사무실의 건축 구조가 ZEH(ZERO ENERGY HOUSE)·ZEB(ZERO ENERGY BUILDING)에 준하도록 하는 기술개발 및 보급, 라이프스타일 전환 등

○ [횡단정책] 기술혁신, 금융기관이 탄소중립을 뒷받침하는 녹색 금융, 정책·제도 구축 및 국제공조 등을 추진함

- 스가 총리는 탄소중립의 핵심으로 차세대 태양전지, 탄소 순환(CARBON RECYCLE) 등의 이노베이션을 언급하면서, 이를 위해 ①실용화를 고려한 연구개발 가속화 ②환경 관련 규제개혁 ③에너지 소비효율 향상 ④재생에너지 도입 등을 통해 기존 석탄화력발전에 의존한 정책을 근본적으로 전환하겠다고 선언함
- 일본 경제산업성은 2050년 탄소중립을 실현하기 위해 중점적으로 육성할 14개 산업 분야와 이를 뒷받침할 정책수단이 포함된 '2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략 실행계획'을 발표함(2020년 12월 25일)[38]
- [실행계획] 일본 정부는 에너지, 수송·제조, 가정·사무실 등 크게 세 분야에서 탄소중립과 관련하여 총 14개 산업을 선정하고, 산업별 현황 및 목표·주요 실행계획을 제시함

38) 経済産業省(2020. 12. 25), 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」



39)

[그림 42] 2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략

④ 중국

□ **2030년을 기점으로 탄소배출량을 감축하고 2060년까지 탄소배출 중립을 달성할 것이라고 발표하여 정부 차원에서 처음으로 탄소중립에 대한 목표 연도를 제시함(2020년 9월)40)**

○ 유엔총회에서 탄소중립을 선언, '제14차 5개년 계획 및 2035 장기 목표 강요'를 발표하고 그간 중국의 미온적 이미지를 탈피하고 선도적 역할 수행을 위한 정책 추진

- 중국은 '21년 2월 전국 범위의 탄소배출권 거래시장 수립의 기반이 되는 법안을 도입함
- 중국 국무원은 2020년 12월 31일 「탄소배출권 거래시장 관리방법」을 발표하였으며, 생태환경부는 적법한 전국 탄소배출권 등록 및 거래 기관을 조직하고 관련 시스템을 구축할 계획임
- 경제성장, 산업구조 조정, 에너지구조 최적화, 대기오염물질 배출규제 등을 고려해 탄소배출량 총량 확정 및 배분 방안도 마련할 예정임
- 2021년 3월 중국 전국인민대표대회에서 발표된 14차 경제·사회발전 5개년 계획(2021 – 2025년)에 구체적인 내용이 포함됨
- 탄소중립 선언 이후 칭화대학교의 기후변화 및 지속가능발전연구소에서 발표한 로드맵에 따르면, 2060년까지 탄소중립을 달성하기 위해서는 2020년 기준 온실가스 배출량을 90%

39) 일본 경제산업성 홈페이지, 20년 12월 25일
40) https://baijiahao.baidu.com/s?id=1682342923502148062&wfr=spider&for=pc

감축해야 한다고 밝히고 있음[41)]

❍ 2030년까지는 기존의 배출량을 줄이는 것보다 추가적인 배출량을 줄이는 것이 우선되어야 할 것이라고 언급함

❍ 중국 내에서는 시진핑 주석의 탄소중립 선언이 기후변화 대응에 있어 선도적인 역할을 수행하고자 하는 의지를 표명한 것이라 평가함

- 중국 내부에서는 그동안 시진핑 정부가 녹색전환, 저탄소, 지속가능한 발전을 강력히 추진하고 기후변화, 생물다양성, 화학품 등의 분야에서 국제 환경 관련 조약의 의무를 성실히 이행함으로써 그 효과를 거두었다고 평가하고 있음

[표 9] 중국의 단계별 탄소중립 추진 방향

구분	1단계(- 2030년)	2단계(- 2060년)
내용	• 환경보호를 위한 '제14차 5개년(2021-2025) 계획'을 통해 2030년 이전에 탄소 배출 정점 도달을 목표로, 전국 탄소 시장 구축을 가속화 • 에너지구조를 개선하고, 신규 에너지 수요는 주로 비화석 에너지의 신규 공급으로 충족하고 있으며, 기본적으로 석탄, 석유 등의 화석에너지가 다시 증가하지 않도록 제한	• 에너지시스템을 '신에너지와 재생에너지로, 제로에 가까운 배출 에너지시스템 구축'으로 전환 • 석탄, 석유, 천연가스 등의 소비는 극도로 낮은 수준으로 유지되고, 이산화황, 질소산화물, PM2.5 등의 오염물질 배출 저감

[42)]

[표 10] 세계 각국의 에너지 정책

미국	• 미국 우선 에너지 계획(AMERICA FIRST ENERGY PLAN) <'미국 우선 에너지 계획' 주요 내용> □ '기후 행동 계획(THE CLIMATE ACTION PLAN)' 정책 폐지를 통한 7년간 300억 달러의 임금 인상 효과 창출 □ 50조 달러 규모의 셰일 석유·가스 본격 개발 및 생산으로 일자리 복원 기대 □ 에너지 생산 소득으로 인프라 건설 확대와 농업 부양에 활용 □ 깨끗한 석탄을 생산하는 기술개발에 주력하여 석탄 산업재건 노력 강화 □ 석유수출국기구(OPEC) 카르텔로부터 에너지 독립 추구 및 걸프만 동맹국과 협력관계 개선 • 기후변화 대응 - 기존 오바마 정부의 에너지 발전 핵심 정책인 청정전력계획(CPP)*을 폐기하고 이를 대체하는 '청정에너지(AFFORDABLE CLEAN ENERGY,

41) https://chinadialogue.net/en/climate/researchers-unveil-roadmap-for-a-carbon-neutral-china-by-2060/
42) 국가나노기술정책센터(2021.1), 탄소중립 정책동향과 나노기술

		ACE)’ 규정 확정(2019.6월) • 재생에너지 정책 – (세액공제) 연방정부의 대표적인 지원정책은 생산세액공제(PRODUCTION TAX CREDIT, PTC)와 투자세액공제(INVESTMENT TAX CREDIT, ITC)로 구분 지원 – (주 정부 제도) 주 정부별 신재생 의무 목표량(RPS)을 수립. 특히, 미국 캘리포니아는 2045년 100% 탄소 제로 전원 정책을 수립(2018.9월)하여 기존의 화석에너지를 대체할 수 있는 전력원 마련 준비 중
유럽	덴마크	• ‘18년 6월 덴마크 의회는 2020 – 2030년간 덴마크의 에너지 정책 추진 방향을 설정하는 에너지 합의문(ENERGY AGREEMENT)을 통과 • 저 탄소 사회 실현 및 탈 화석연료 달성 등을 위해 덴마크 정부는 2030년까지 덴마크 내 전력 소비 전체(100%)와 총 에너지 소비의 50% 이상을 신재생에너지로 공급할 예정이며, 나아가 신재생에너지 비율 55%까지도 달성할 수 있도록 관련 로드맵을 설정하고 예산을 배정할 예정 – 해상풍력단지 조성 – 전기세 완화 – 연구 예산 증액 – 교통 부문 예산 증액 – 에너지 절약 노력 제고 – 지역난방 증대
	독일	• 「에너지 구상 2010(ENERGY CONCEPT 2010)」을 기초로 하며 재생에너지 확대와 에너지효율 강화를 통해 2050년까지 온실가스 중립 달성 달성을 목표 • ①에너지이용의 경제성, ②에너지 공급의 안정성, ③에너지의 환경친화적 이용이라는 3대 목표를 기조로 추진 • △1차 에너지 소비를 2020년까지 20%, 2050년까지 50% 감축(2008년 대비), △온실가스 배출량을 2020년까지 40%, 2030년까지 55%, 2050년까지 80 – 95% 감축(1990년 대비) △재생에너지원의 전력 소비(발전 비중)를 2020년 35%까지, 2030년 50%까지, 2040년 65%, 2050년 80%까지 확대 목표 • **탈원전**, ‘안전한 에너지 공급 윤리위원회’ 결과를 토대로 17개의 운영 원전 중 8개 노후원전의 가동중단 및 2022년까지 모든 원전의 폐쇄를 선언 • **탈석탄,** 에너지·기후정책에 대한 폭넓은 사회적 합의도출을 위해 「성장·구조개혁·고용위원회(이하 脫석탄위)」을 발족(2018.6.6.), 2019.1월 脫석탄위는 △2038년까지 석탄발전 폐지, △석탄지역 구조전환 지원을 골자로 하는 “탈석탄 로드맵” 최종 권고안 확정 • 에너지 구상(2010)은 최종에너지 소비에서 재생에너지가 차지하는 비중을 2020년까지 18%로 확대, 2030년 30%, 2014년 45%, 2050년 60%로 확대 목표 – 전력 소비에서 재생에너지가 차지하는 비중은 2020년 최소 35%로 확대하고 2030년 50%, 2040년 65%, 2050년 80%로 확대한다는 장기

		목표 설정
	러시아	• 2035 러시아 에너지전략 ① 국가의 사회경제적 발전 수요를 충족시키는 연료에너지 공급 - 1차 에너지원 채굴 및 생산량을 2035년까지 25% 증대 - 연료에너지 분야 투자를 2024년까지 40% 확대 - 석유화학 등 분야의 고부가가치 제품 생산 활성화 - 국내 에너지 시장의 경쟁력 제고(독점 활동의 투명성 제고, 연료에너지 분야 교차 보조의 점진적 폐지, 세제 예측 가능성 제고 등) ② 에너지 분야 수출 확대 및 다변화 - 에너지 제품의 수출을 2024년까지 15%, 2035년까지 46% 확대 - LNG 생산을 2024년까지 3.4배, 2035년까지 7.4배 확대 - 야말·기단 반도 LNG 클러스터 조성, 6개 석유화학 클러스터 조성, 수소 경제 선도국 진입 및 에너지 수출선 다변화 ③ 인프라의 현대화, 발전 및 접근성 제고 - 러시아 전역의 가스화 수준 2030년까지 83% 달성 - 극동 및 동시베리아 지역 가스 수송 인프라 개발 및 UGSS 통합 - 가스충전소 네트워크 및 전기차 충전 인프라 구축 - 극동 및 북극 지역 에너지 인프라 개발(북극항로 이용 확대 등) - 지역난방 효율성 개선 및 원거리 고립지역에 재생에너지 개발 ④ 연료에너지 분야 기술 자립성 달성 및 경쟁력 제고 - 에너지기업 혁신 활동 증가율 2024년 50%, 2035년 75%로 확대 - 국내기술·장비·자재에 기반하여 연료에너지 분야 현대화 및 경쟁력 제고, 수입 대체화 전략 이행 적극 추진 ⑤ 연료에너지 분야 디지털 전환 - 전력에너지 계량의 지능화 시스템 도입 - 스마트미터기 도입 비율 2024년까지 30%, 2035년까지 100% 목표 - 지능형전력망컨트롤 시스템 2035년까지 모든 지역에 도입
	불가리아	• 2021 – 2030 국가 에너지 및 기후 계획 - 온실가스 배출량 1990년 수치 대비 최소 40% 감소 - 에너지효율 최소 27% 증가 - 신재생에너지 점유율 EU 에너지 사용량의 최소 27%로 증가 - 에너지 안보 보장
	오스트리아	• 오스트리아 기후·에너지 통합전략 : #MISSION2030 • 『기후보호법(KSG, KLIMASCHUTZGESETZ)』 - 2008년부터 2020년까지 6개 산업(에너지 산업, 교통, 건물, 농업, 폐기물처리산업, 플로오린 가스산업)에 대해 배출량 최대허용치 규정 • CLIMATE PROTECTION INITIATIVE(KLIMAAKTIV) 운동 전개 - 시민들의 자발적인 참여를 통한 재생에너지 확대를 위한 기후 보호 이니셔티브인 'KLIMAAKTIV' 운동을 전개 중 - 2030년까지 재생에너지 전력생산 비율을 100%까지 끌어올리기 위해

		기업, 가정, 지자체, 건축·교통 분야에 에너지 효율성 제고 – 녹색 일자리(GREEN JOB) 창출 • 기후 및 에너지 펀드(CLIMATE AND ENERGY FUNDS) 조성 • 발전차액 지원제도(FEED-IN TARIFFS) – 2002년에 제정된 녹색전력법(ÖKOSTROMGESETZ: GREEN ELECTRICITY ACT)에 따라 재생에너지 발전에 의한 전력가격과 시장가격의 차이를 보전해 주는 발전차액 지원제도를 시행 중
	우크라이나	• 신재생에너지 정책 – 전력 구매 시 적용한 녹색 전력요금(GREEN TARIFF) 인센티브를 2020.1월부터 대폭 축소하고 녹색 경매(GREENAUCTION) 제도를 도입 – 2020.1.1일부터 GREEN TARIFF 인센티브를 태양광 발전에 대해서는 25% 감축(이후 3년간 매년 2.5%씩 추가 감축)하고, 풍력발전에 대해서는 10% 감축(이후 3년간 매년 1.5%씩 추가 감축)
	프랑스	• 다년도 에너지계획(PPE, 2020) (목표) – 기후변화 대응을 위한 국제적 협력 프레임워크 – EU 프레임워크 – 국가적 프레임워크 : 녹색성장을 위한 에너지 전환법(2019년 개정) – 기후플랜 : 2050년 탄소중립 (이행계획) – 최종에너지 소비 감축 – 신재생에너지 확대 방향으로 에너지믹스 조정
캐나다		• 대내적으로는 에너지 자원 사업에 대한 외국기업의 투자유치를 통해 국내 고용 창출, 경제성장 도모를 목표 – 대외적으로는 생산되는 에너지 자원을 국제시장에 효과적으로 수출하는 것을 목표 • 자유당 정부 : 에너지 정책 기조(공약사항 중심) • 연방정부 : 현재 에너지 분야 뿐 아니라 다방면에서 R&D와 기술 상업화를 추진, 저 탄소 경제로의 전환을 우선화
중국		• 13차 5개년 계획 기간 에너지 발전 계획 – 2017년 “13·5” 계획에 따라 안전, 자원, 환경, 기술, 경제 등 요인을 종합적으로 고려하여 2020년까지의 에너지 발전의 주요 목표를 설정 – (주요 정책 방향) 에너지효율 제고, 에너지 소비혁명, 에너지 공급 혁명, 에너지 기술혁신, 에너지 체제혁신, 에너지 국제 협력 강화, 에너지 복지 발전 • “14·5” 계획 – (과제) ▶ “14·5” 기간 중 자연자원의 형세판단과 전략목표 연구 ▶ 자연자원의 개발이용과 보호 국내외 비교 연구

	▶ 자연자원 자산 소유자권익에 대한 효과적 보호 연구 ▶ 자연자원 개발이용 연구 ▶ 국토공간 개발이용 및 보호 연구 ▶ 국토이용 용도 관리 통일적 행사 연구 ▶ 국토공간 생태 회복 연구 ▶ 생태보호 및 자연보호지역 체계 건설 연구 ▶ 경작지 보호 전략 연구 ▶ 전략성 광산자원 개발이용 및 보호 연구 ▶ 해양강국 신속 건설 중요문제 연구 ▶ 수자원 개발이용 및 보호 연구 ▶ 기본측량 및 지리정보 개발연구 ▶ 자연자원 개혁창신 연구 ▶ 자연자원 과학기술 창신 및 정보화 전략 연구
인도	• 국가 에너지 정책(NATIONAL ENERGY POLICY, 2018 - 2040년) 마련 (목표) - 합리적인 에너지 가격 설정 - 에너지 안보 및 독립성 제고 - 에너지원의 지속가능성 제고 - 경제성장 (부문별 정책목표) - (석탄) 석탄 수입 의존도를 제로로 낮추고 2020년까지 석탄 생산량을 두 배인 15억 톤까지, 2030년까지 석탄 화력 발전용량을 현재의 3배 수준인 450GW로 증대시킬 계획 - (석유) 2022년까지 석유수입량 10% 감축 목표를 설정(2015.3월)하고, 석유·가스 수입 의존도(2015 - 2016년 기준 81%)를 2022년에 67%, 2030년에 50%까지 감축하는 계획을 발표하였으며, 수입 다변화를 동시에 추진 - (천연가스) 천연가스의 1차 에너지 분담률을 2020년까지 15%로 높이고, 이를 위해 천연가스가 매장되어 있는 동부지역을 개발할 계획이며, 국내 천연가스 생산 증대를 위해 생산 여건이 열악한 매장지에서 생산한 가스에 대해 가스 판매가격과 마케팅 자율화 등에서 인센티브를 제공하기로 결정(2016.3월) - (재생에너지) 재생에너지 발전설비 용량을 2022년까지 227GW로 확대, 2027년까지 275GW로 증설·확대하였으며(국가에너지계획, NEP), 국가 태양광 미션(NATIONAL SOLAR MISSION)을 수립·개정(2015년)하여 2022년까지 태양광발전설비용량을 100GW로 확대하는 목표를 설정, 2019/20 회계연도에 태양광 발전 프로젝트에 약 4.3억 달러 예산을 책정 - (원자력) 원전 설비용량을 2032년까지 63GW로 증대하고 2050년까지 전력 생산량의 25%를 원자력으로 충당할 계획 - (온실가스감축) 2030년까지 GDP 단위당 온실가스 배출량을 2005년 대비 33 - 35% 감축할 계획
인도네시아	

	• 인도네시아 정부는 화석연료 생산과 부존량 감소, 기후변화에 따른 온실가스 배출량 축소에 대한 국제사회의 압력에 대처하기 위해 2014.10.17일 새로운 국가 에너지 정책(GR NO.79/2014)을 발표 • 인도네시아의 에너지자원정책 총괄은 에너지 광물자원부(인니어 약어 ESDM, 영문 약어 MEMR)가 담당하고 있으며, 관련 기후변화정책은 산림환경부가 맡고 있음. 에너지부와 환경부는 해양조정·투자장관(부총리)이 지휘·감독 • 에너지 정책 전반을 관통하는 상위법으로 에너지법(LAW NO.30/2007)이 있으며, 석유·가스법(LAW NO.22/2001), 전력법(LAW NO.30/2009), 광업법(LAW NO. 4/2009) 존재
말레이시아	• 제11차 말레이시아 수정계획 • 신재생 에너지정책 – (정책목표) 2025년까지 재생에너지 발전 비중 20%(100 MW 이상 수력발전 제외)
베트남	(전력산업 관련 정책) • 제7차 전원개발계획 개정(2016.3) 주요 내용(– 2030년) • 베트남의 전력시장 체계 – 2005년 전력법 시행으로 2024년까지 도매시장과 소매시장에도 단계적으로 경쟁체제가 도입될 예정 • 베트남 신규 태양광 발전 차액지원제도 (자원 관련 정책) • 베트남의 에너지·자원산업은 국가 주도로 추진되며, 정부는 직접 또는 국영기업을 통해 자원 개발 및 수출입, 유통을 통제
필리핀	• 전력의 안정성 수급 • 신재생에너지 발전 추진 – 2040년까지 신재생에너지 설비용량 20,000MW 달성목표 • 원전 도입 검토
가나	• 국가전력화계획(NATIONAL ELECTRIFICATION SCHEME, NES, 1990 – 2020) • 신재생에너지법(RENEWABLE ENERGY ACT 2011)
가봉	• 가봉 부상 전략(2009 – 2025) • 경제회복계획(2017 – 2019) • 석유산업 현지화 정책
나이지리아	• 석유 및 가스산업 정책 • 전력산업 정책 – 전력공급 부족 문제 해결을 위해 2011년 조나단 정부 이후로 지속적으로 민간자본 유치를 위한 민영화 추진

남아공	• 통합자원계획 2019(INTEGRATED RESOURCE PLAN, IRP, 2019) • 남아공전력공사 구조개혁 방안
마다가스카르	• 신에너지 정책(NOUVELLE POLITIQUE DE L'ENëRGIE, 2019 - 2030) • 마다가스카르 부흥계획(IME) • 대규모 광업법(LGIM, LOI SUR LES GRANDS INVESTISSEMENTS MINIERS, 2019) • 신재생에너지 설비 수입세 면제(2019 - 2030)
멕시코	• 석유공사(PEMEX)는 중남미 국영 석유회사 중 최대 부채 규모(총 1,065억불 규모)를 가지고 있으며, PEMEX 재정 건전화를 신정부 주요 정책과제로 추진 중 • 유가 급락에 따른 OPEC+ 국가들의 감산합의(2020.4.12)에서 멕시코는 당초 회원국들의 1일 40만 배럴 감산 요구에 대해 자국 사정을 감안하여 1일 10만 배럴만 감산하기로 합의 • 2012년 기후변화법(GENERAL LAW ON CLIMATE CHANGE)이 승인되었으며, 이산화탄소 방출량을 배출전망치(BAU) 대비 2020년 30%, 2050년 50%까지 감축하는 것을 목표로 설정
몽골	• 국가 에너지 정책(2015.6월 국회 결의) • 신재생에너지 정책 • 재생에너지 관련 지원제도 • 자원 개발 정책 - 연간 생산 규모가 GDP의 5% 이상 광산을 '전략광산'으로 지정(2006년, 광업법)
미얀마	• 미얀마 에너지 정책(MYANMAR ENERGY POLICY, 2014) 2013년 NYAN TUN 부통령을 위원장으로 15명의 각 부처 장관들로 구성된 국가에너지관리위원회(NEMC)에서 주도하여 마련 • 열대지역에 속하며 바이오에너지에 대한 큰 잠재력을 지닌 국가이나 현재까지 신재생에너지에 대한 법적 규제 존재
베네수엘라	• 정책 기조 • 마두로 정권 PDVSA 혁신방안 발표(2020.4.28) - 21세기 사회주의(SOCIALISM)를 추구, 미국으로 대변되는 제국주의와 자본주의를 타파를 주장하고 있으며 쿠바, 러시아, 중국, 벨라루스, 베트남, 이란, 시리아, 리비아 등 사회주의 독재식 국가와 전략 경제협력을 강화 중
브라질	• 광업 에너지부 산하에 석유가스청(ANP), 전력청(ANEEL), 광물생산국(ANM) 등의 집행기관들이 에너지 자원 정책을 지원

사우디아라비아	• 2016.4월 SAUDI VISION 2030 및 2016.6월 NATIONAL TRANSFORMATION PLAN(NTP) 2020을 통해 천명한 정책 기조 유지 • (정부조직개편) 2019.9월 기존 '에너지산업광물자원부'를 분리하여 석유·가스·전력을 담당하는 '에너지부'와 광물자원 개발을 담당하는 '산업광물자원부'로 개편
알제리	• 석유 가스 탐사 개발 확대 및 석유화학 산업 육성 • 셰일가스, 신재생에너지 등 비전통 에너지 발전 촉진 • 투자 규제 완화를 통한 투자 여건 개선
이라크	• 통합국가에너지전략(INTEGRATED NATIONAL ENERGY STRATEGY, INES)
이란	• 국내산업 육성 정책 • PARS 가스전 개발 및 수출 확대 • 전력 분야 지역 허브 정책 추진 • 신재생에너지 – 재생에너지 구매 보장 인센티브를 활용한 민간부문과 협력을 통해 5년 내(2022년까지)에 5.000 MW 재생에너지 설비용량 개발 추진
칠레	• 2012 – 2030 국가에너지전략(ESTRATEGIA NACIONAL DE ENERGIA 2012 – 2030) • 2018 – 2022 에너지 로드맵 • 에너지 매트릭스 탈 탄소화 계획 • 에너지 2050(ENERGIA 2050)
카메룬	• 카메룬 VISION 2035 • 新정부 에너지 정책 • 에너지 부문 주요 프로그램 – 지방 전력보급 및 전력 접근성 개선 프로젝트(PERACE)
카자흐스탄	• 에너지부는 2017.1월 석탄 이용 시 환경안전 강화, 석탄을 활용한 고부가가치 창출을 최우선 목표로 '석탄 개발 로드맵 2030'을 확정 발표 • 신재생에너지 보급확대를 위해, 2009.7월 '신재생 에너지원 활용 촉진에 관한 법률' 제정 • '2013 – 2020 신재생에너지 개발계획'에 따르면, 2020년까지 총 3,054MW(106기 설비)의 신재생에너지 발전설비 보유 계획
카타르	• 기존 유전 재개발을 통한 생산량 유지 • 글로벌 LNG 시장에서 경쟁적 우위 유지 • 해외 자원 개발 투자를 통한 석유 및 가스 생산 확대
콜롬비아	• 신재생에너지

	– 2022년까지 총 에너지 발전량의 15% – 20%를 태양광 및 풍력 에너지로 충당할 계획)
태국	• 전력개발계획(PDP; POWER DEVELOPMENT PLAN) • 대체에너지개발계획(AEDP : ALTERNATIVE ENERGY DEVELOPMENT PLAN)
터키	• 전략계획(2019 – 23) 주요 내용(출처 : 에너지부 2020년) – 지속가능한 에너지공급 안보 – 에너지 효율성 제고에 중점 – 기업 및 부문별 역량 강화 – 에너지 및 천연자원에 대한 지역 및 글로벌 효과성 증대 – 연구·기술개발 및 현지화 – 에너지시장의 예측가능성 제고 – 지속가능한 광업 및 생산역량 증대
투르크메니스탄	• 기본방향 – 에너지 수출선 다변화 – 외국인 투자유치 확대 – 에너지 생산 및 수출 증대 • 석유·가스 주관 부처 및 관련 법령 – 석유가스부(MINISTRY OF OIL AND GAS)와 석유가스자원관리청(STATE AGENCY FOR MANAGEMENT AND USE OF HYDROCARBON RESOURCES UNDER THE PRESIDENT OF TURKMENISTAN) 폐지 – 상기 정부조직에도 불구하고 중요한 석유·가스 관련 계약 체결 관련 최종적인 의사결정권은 대통령 1인에게 집중 – 석유법(LAW ON HYDROCARBON RESOURCES)(1996년 제정, 2016년 최근 개정) • 중점 추진 프로젝트 – TAPI(TRUKMENISTAN–AFGHANISTAN–PAKISTAN–INDIA) 파이프라인 프로젝트 – TRANS CASPIAN PIPELINE(TCP) 프로젝트
페루	• 석유·가스 산업 정책 – 석유·가스 개발 인센티브 – 석유·가스 개발 관련 주요 기관 • 신재생에너지 – 장기 에너지 정책 수립 추진 – 신재생에너지 관련 법령 – 신재생에너지 정책 담당 기관 • 전력정책
호주	• 공정한 에너지(A FAIR DEAL ON ENERGY) 정책 청사진을 통해 3대 중심축과 축별 목표 제시

	- 요금정책 - 신재생에너지 정책 - 온실가스감축 정책

(2) 국내 정책동향 분석

① 국정운영 5개년 계획

□ **'제22차 비상경제 중앙대책본부회의'에서 '2050 탄소중립 추진전략'을 확정·발표함(2020년 12월)**

○ 정책 추진을 통해 탄소중립 경제성장 및 삶의 질 향상을 동시에 달성하기 위해 능동적으로 대응함

- 대통령 직속 민관합동 '2050 탄소중립위원회' 설치
- 산업통상자원부에 에너지 전담 차관 신설

○ 경제구조의 저탄소화, 新유망 저탄소산업 생태계조성, 탄소중립사회로의 공정전환, 탄소중립 제도적 기반 강화의 3+1 전략을 추진함

[표 11] 2050 탄소중립 추진전략

전략	내용
경제 구조의 저탄소화	• (에너지 전환 가속화) 에너지 주공급원을 화석연료에서 신·재생에너지로 적극 전환, 송배전망 확충, 지역생산·지역소비의 분산형 에너지시스템 확산 • (고탄소 산업구조 혁신) 철강, 석유화학 등 탄소 다배출 업종 기술개발지원, 고탄소 중소기업 대상 맞춤형 공정개선 지원 등 • (미래모빌리티로 전환) 친환경차 가격·충전·수요 혁신을 통해 수소·전기차 생산, 보급확대, 전국 2천만 세대 전기차 충전기 보급, 도시·거점별 수소 충전소 구축 • (도시·국토 저탄소화) 신규 건축물 제로에너지 건축 의무화, 국토 계획 수립 시 생태자원 활용한 탄소흡수기능 강화
신유망 저탄소 산업 생태계 조성	• (신유망 산업 육성) 차세대전지 관련 핵심기술 확보, 그린 수소 적극 활성화하여 2050년 수소에너지 전체의 80% 이상을 그린 수소로 전환, 이산화탄소 포집 기술 등 혁신기술 개발 • (혁신 생태계 저변 구축) 친환경·저탄소·에너지 산업 분야 유망기술 보유기업 발굴·지원, 그린 예비 유니콘으로 적극 육성, 탄소중립 규제 자유 특구 확대
탄소중립 사회로의 공정전환	• (취약 산업·계층 보호) 내연기관차 완성차 및 부품업체 등 축소산업에 대한 R&D, M&A 등을 통해 대체·유망분야로 사업전환 적극 지원, 맞춤형 재취업 지원 • (지역 중심의 탄소중립 실현) 지역 중심 탄소중립 실행 지원, 지역별 맞춤형 전략 이행을 위한 제도적 기반 정비 • 탄소중립 사회에 대한 국민 인식 제고
탄소중립 제도적 기반 강화	• (재정)'기후대응기금(가칭)' 신규조성, 세제·부담금·배출권거래제 등 탄소가격 체계 재구축, 탄소인지 예산제도 도입 검토 • (녹색금융) 정책금융기관의 녹색 분야 자금지원 비중 확대, 저탄소 산업구조로의 전환을 위한 기업지원, 기업의 환경 관련 공시의무 단계적 확대 등 금융시장 인프라 정비 • (R&D) CCUS, 에너지효율 극대화, 태양전지 등 탄소중립을 위한 핵심기술 개발 집중지원

□ **정부의 2050 탄소중립 정책에 의하면, 가스발전 전환, 화력발전 CCUS 기술지원 등 탄소중립 국가 전략을 정의하였고, 탄소중립은 전 세계적 아젠다로 부상함**

- 국내에서는 2020년 현재의 신재생 발전설비용량 20.1GW(15.8%)를 2034년까지 78GW(40%)로 확대하는 계획을 수립하고 있으며, 세계적으로는 2017년 25%의 전기를 생산하고 있는 신재생이 2050년까지 86%로 확대될 것으로 전망됨

○ 국회에서 기후위기 대응과 그 목표를 '2050년 탄소 배출 중립'으로 분명히 제시한 만큼 보다

43) 대한민국정책브리핑, 2050 탄소중립, 2020. 12. 21

구체적이고 실질적인 로드맵과 정책수단이 필요함

- 화석연료 발전 중심의 전력공급 체계를 재생에너지와 그린 수소 중심으로 전환하고 이산화탄소 포집 기술 등을 활용하여 탈탄소 미래기술 개발 및 상용화를 촉진함
- CCUS 실증 및 저장기지 구축을 통해 CCUS 조기 상용화를 추진하고, 포집 탄소를 원료 또는 연료로 재합성하는 탄소 순환사업을 육성함
- 신재생에너지, CCUS, ICT 활용 융합·혁신 등 분야별 핵심기술 확보 전략으로 '탄소중립 R&D 전략'을 수립함
- 핵심기후 유망기술의 개발 난이도와 목적을 고려하여 단기 집중투자(범부처 프로젝트) 및 장기적 혁신기술 개발연구를 병행함

□ **환경부는 2021년 3월 탄소중립 실현의 선도적 역할 수행을 위해 "2050년 탄소중립 실현을 위한 2021년 환경부 탄소중립 이행계획"을 발표하고 추진함**

- 탄소중립 시나리오 마련, 부문별 핵심 추진전략을 수립하여 국가 온실가스 감축 목표를 상향하는 등 탄탄한 이행체계를 구축하여 추진함
- 재생에너지 확대(5개 댐에 수상 태양광 등), 미래차 보급(누적 30만대), 순환경제 등 각 분야별 탄소중립 과제를 촉진함
- P4G(녹색성장과 글로벌 목표 2030을 위한 연대)의 성공적 개최 등 국제사회에서 탄소중립 관련 국가 위상 제고

② 제4차 과학기술기본계획

□ **제4차 과학기술기본계획은 국가 과학기술 관련 정책 수립 및 추진 방향을 제시하는 최상위 계획임**

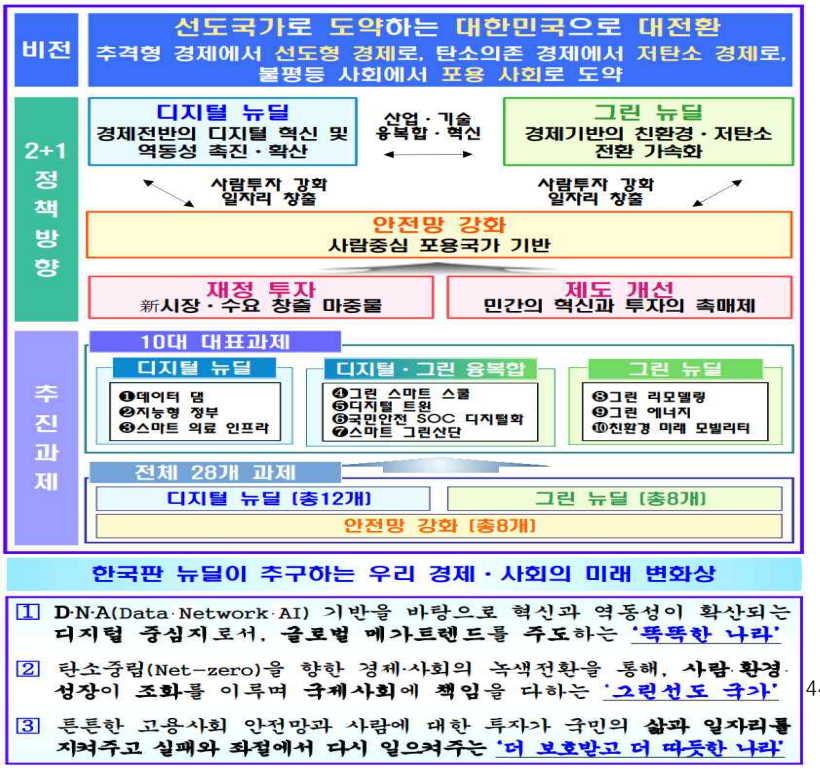
○ 2040년까지의 장기적 비전으로 과학기술이 지향해야 할 바람직한 미래사회의 모습을 구체적인 목표로 제시함

- '과학기술로 국민 삶의 질을 높이고 인류사회 발전에 기여'하는 비전을 설정하고, 4대전략과 19개 중점추진과제, 120대 중점과학기술을 제시함

③ 한국판 뉴딜 종합계획

□ **정부는 2020년 7월 대통령 주재 한국판 뉴딜 국민보고대회(제7차 비상경제회의)를 개최하여 「한국판 뉴딜 종합계획」을 확정 발표함**

○ 추격형 경제에서 선도형 경제로, 탄소 의존 경제에서 저탄소 경제로, 불평등 사회에서 포용 사회로의 도약을 위해 수립됨



44)

[그림 43] 한국판 뉴딜 종합계획 추진전략

④ 2050 탄소중립 추진전략

□ **탄소중립이라는 대전환 시대에 능동적으로 대응하기 위해 정부는 관계부처 합동으로 '2050 탄소중립 추진전략'을 마련하고 2020년 12월 '제22차 비상경제 중앙대책본부회의'에서 그 내용을 발표함**

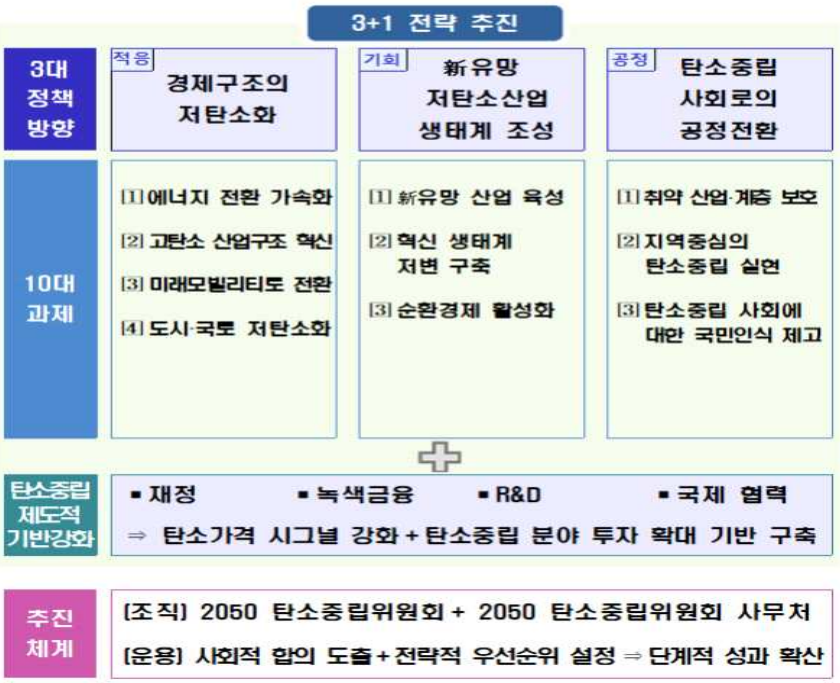
- "적응적(ADAPTIVE) 감축"에서 "능동적(PROACTIVE) 대응"으로 탄소중립·경제성장·삶의 질 향상을 동시에 달성하는 것을 목표로 함

⑤ 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획

□ **국토교통과학기술에 관한 장기적이고 종합적인 정책 방향을 설정하고 중장기 투자계획을 정하는 최상위 법정 종합계획임**

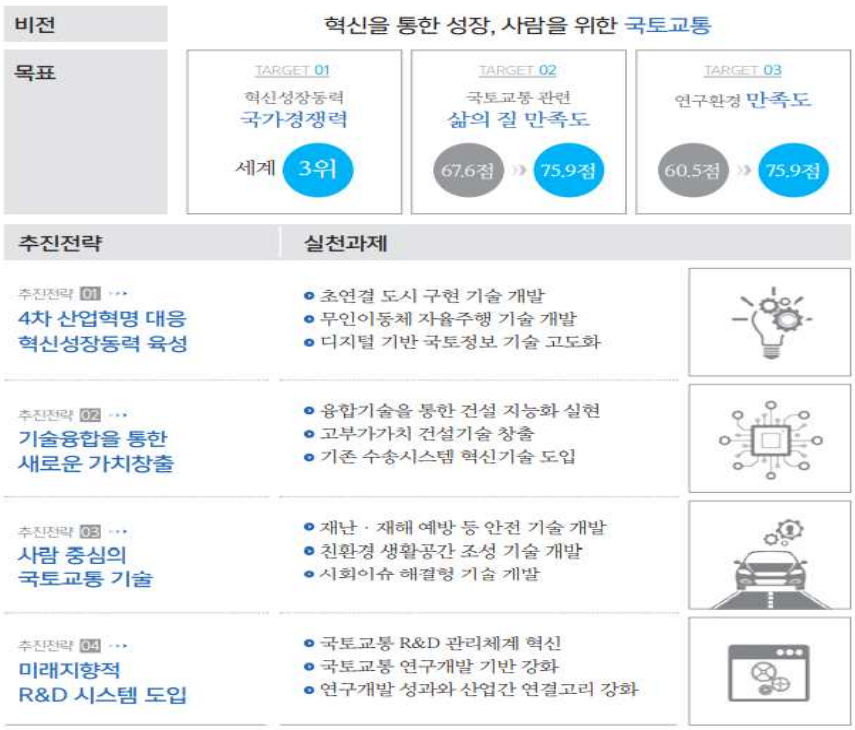
- 4차 산업혁명을 새로운 도약기회로 활용하고 삶의 질 향상 등 사회적 요구에 효과적으로 대응할 수 있는 기술개발 전략을 수립함

44) 한국판 뉴딜 종합계획 발표, 기획재정부, 2020.07.14



45)

[그림 44] 2050 탄소중립을 위한 추진전략 전략체계도



46)

[그림 45] 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 비전 및 목표

45) 「2050 탄소중립」 추진전략(대한민국 정책브리핑(www.korea.kr),기획재정부)
46) 공기액화 기반 에너지 저장 및 활용 시스템 기술개발 기획, 국토교통부 국토교통과학기술진흥원

나. 시장동향 분석

(1) 국외 시장동향 분석

□ **탄소중립에 대한 세계 각국의 노력에도 불구하고 기존의 화석연료에 대한 수요는 당분간 지속 유지될 것으로 전망되고 있으며 중국과 유럽의 전력 상황으로 인해서 석탄의 이용도 당분간 증가할 것으로 전망됨**

- 석탄은 가장 저렴하고 공급이 안정적인 발전 연료로 지리적으로 전 세계에 골고루 분포되어 공급 시 정치 상황에 대한 영향을 가장 적게 받음
- 전 세계 석탄 매장량은 909,064Mton으로 이중 절반에 가까운 430,293Mton이 아역청탄 또는 갈탄에 해당하는 저등급 석탄임

[표 12] 2019년 주요 국가 석탄 소비량

순위	국가	소비량 (Mton)
1	CHINA	3,826
2	INDIA	948
3	UNITED STATES	546
4	RUSSIA	225
5	SOUTH AFRICA	192
6	JAPAN	187
7	GERMANY	171
8	INDONESIA	136
9	SOUTH KOREA	132
10	TURKEY	121

47)

□ **1980년대 이후 2008년까지 순환유동층 보일러 시장 지속적 성장, 전 세계적인 탈석탄 기조에 의해 2008년 이후 현재까지 발주량 감소 추세가 지속[48)]**

❍ 초고효율 발전 플랜트 분야는 2000년대 초반 이후, 중대형 초임계급 순환유동층 시장이 가시화되어 기존 아임계 순환유동층 및 미분탄 보일러 시장 대체 기술로 부상 중

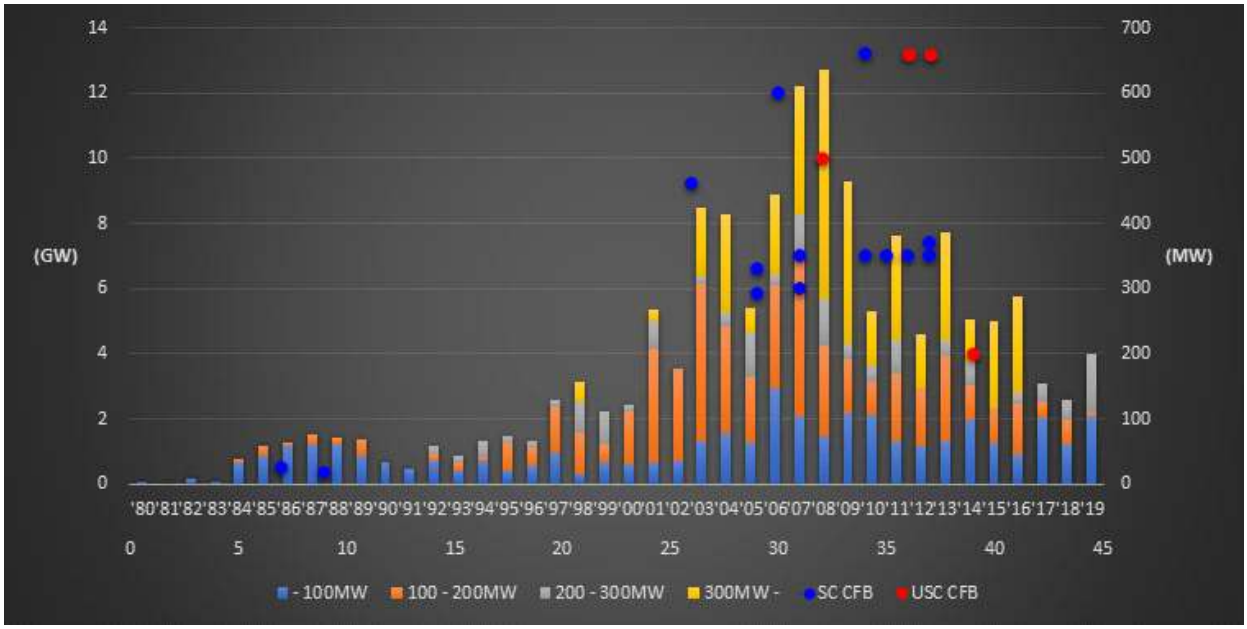
- 최근 고효율·저공해·연료 다변화 보일러 수요증가에 따른 중소형 초초임계압 순환유동층 보일러* 및 바이오매스·폐기물 연소 순환유동층 보일러 발주가 가시화 예상

  * GE사 : HEQU → 초임계, 350MW x 2, LISHI → 초임계, 350MW x 2

  * 상하이보일러 : NANGANG → 초초임계, 200MW x 3

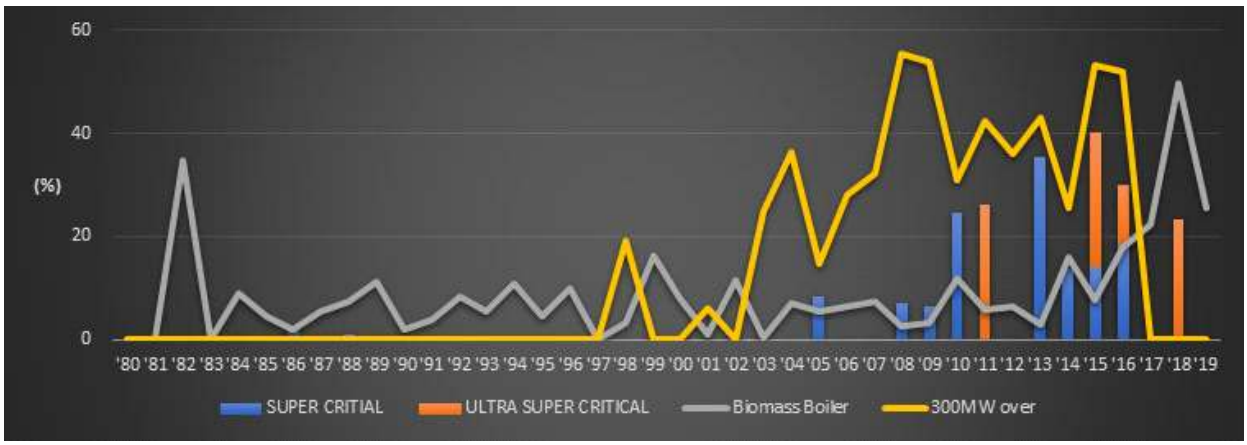
- 국내외 아임계 노후 소형 순환유동층 보일러 성능개선 요구 증가에 RE-POWERING·RETROFIT 시장 가시화 예상

47) 두산중공업 내부자료
48) McCoy Report 2021



[그림 46] 전 세계 순환유동층 보일러 공급 현황

- 전체 순환유동층 발주량 대비 초임계·초초임계, 300MW 이상, 바이오매스 전·혼소 순환유동층 보일러 비율은 2000년 이후 증가 추세
- 300MW 이상, 초임계 이상 순환유동층 보일러 비율은 각각 30% 정도를 차지하여, 순환유동층 보일러 시장이 고효율·대용량화되고 있음을 확인
- 탄소중립 연료인 바이오매스의 순환유동층 전·혼소를 통한 친환경 발전비율이 확대되고 있음을 확인

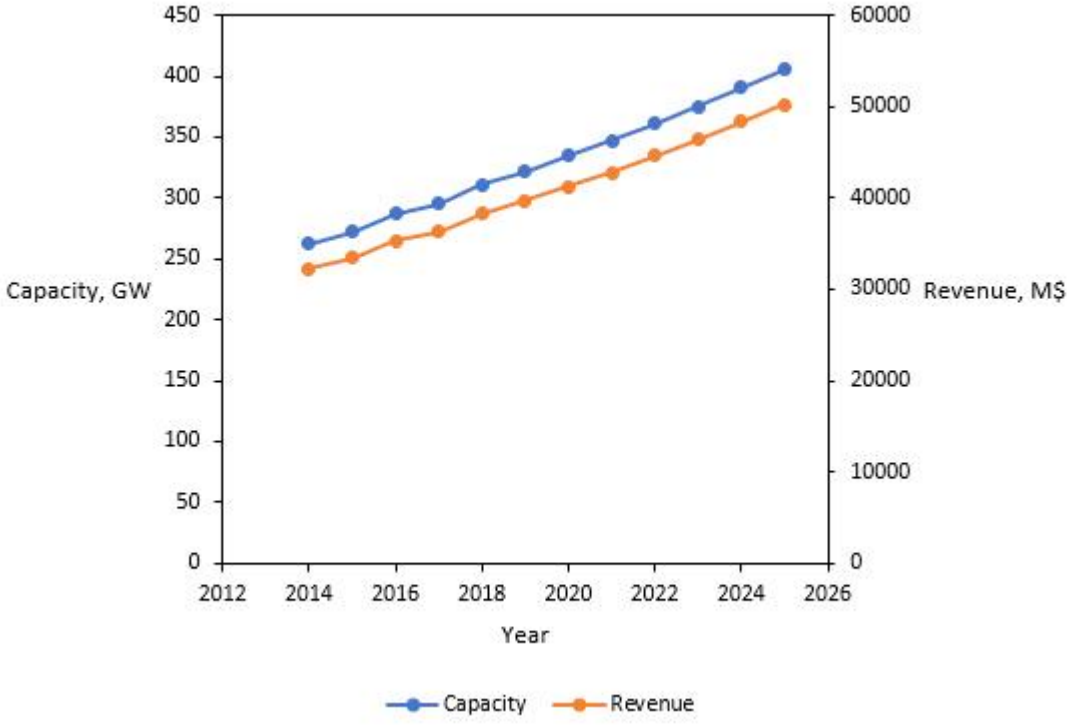


[그림 47] 순환유동층 고효율·대용량 및 바이오매스 전·혼소 추이

□ **지난 20년 동안, 순환유동층 보일러 기술은 신뢰성, 연료 유연성, 청정 연소 등의 장점으로 재조명되었고 전통적인 미분탄 시장을 잠식하고 있음[49)]**

49) Global Market Insights : Circulating Fluidized Bed Boiler Market, 2025

❍ 2025년까지 용량 기준으로 3.9%가 매년 증가하고 매출 기준으로 매년 4.0%가 증가할 것임



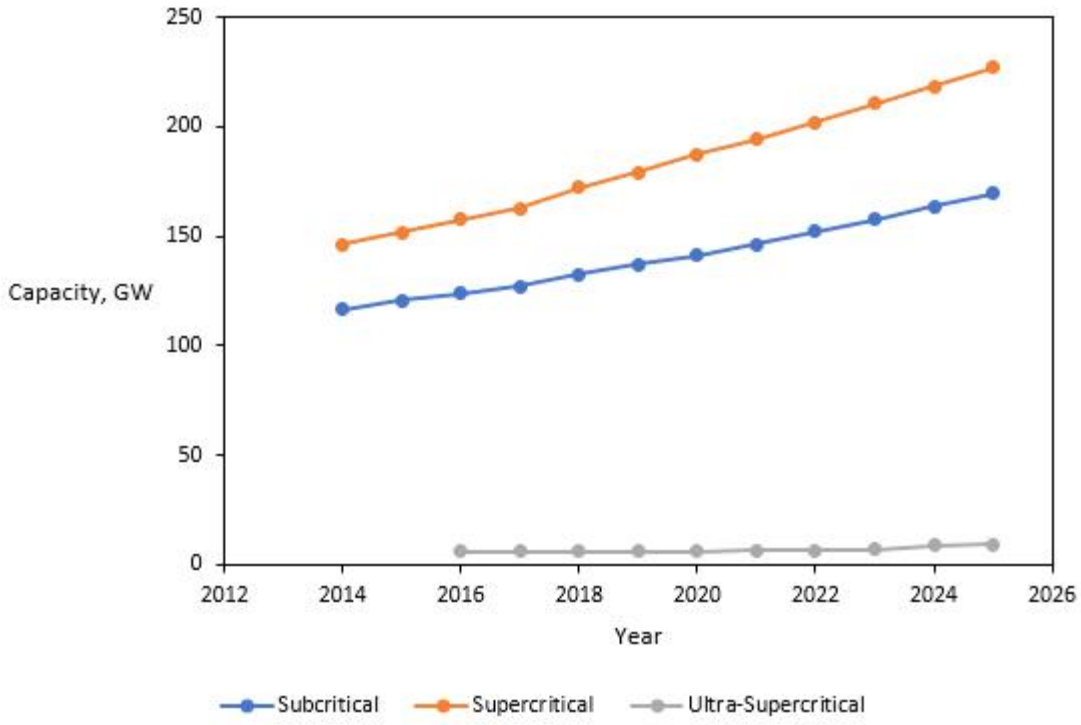
[그림 48] 2025년까지 순환유동층 보일러의 용량과 시장규모

- 지난 10년 동안 전 세계의 발전시장은 정부의 엄격한 규제로 인하여 새로운 변화를 맞이하였음
- 환경 유해 물질들의 배출을 제한으로 인하여 에너지효율이 가장 중요한 인자가 되었고 이로 인하여 순환유동층 보일러를 포함한 다양한 지속 가능 설비들의 시장이 급격하게 상승하고 있음
- 특별한 환경설비 개조 없이 질소산화물과 황산화물을 효율적으로 제어할 수 있는 능력 및 저품질의 바이오매스, 플라스틱 폐기물, 석탄, 슬러지, 폐타이어 등의 연료들을 이용하여 전기를 생산할 수 있다는 장점이 순환유동층 보급확대에 기여
- 제철, 알루미늄 산업과 같은 에너지 다소비 산업체들이 일반적으로 사용하던 고품질의 미분탄에서 저품질의 석탄사용을 확대함에 따라 순환유동층 보일러의 이용을 통해 필요한 전기를 생산하고 초과 생산된 전기를 유틸리티 회사들에 판매하고 있음

❍ 증기 CYCLE에 사용되는 소재의 품질 및 신뢰성이 향상되면서 초임계 발전시스템에 대한 수요가 신규 발전설비 및 기존 설비들의 대체에도 적용되면서 초임계 시스템이 빠르게 성장하고 있음

- 초초임계 발전설비들은 500MW 이상의 대형 설비들에 적용되고 있으며, 재생에너지 이용이 확대됨에도 불구하고 석탄이 대형 발전 플랜트에서 가장 경제적인 연료로 자리매김을 하고 있어 저등급 석탄을 효율적으로 연소할 수 있는 초초임계 순환유동층 보일러 시스템 설치가 전 세계에서 증가하고 있음

- 아임계 발전은 '25년까지 매년 3.6%가 증가하고 초임계는 4.0%, 초초임계는 7.9%가 증가할 것이나 전체 시장에서는 초임계 발전설비가 55 - 56%를 차지하여 가장 큰 시장을 형성할 것으로 전망됨



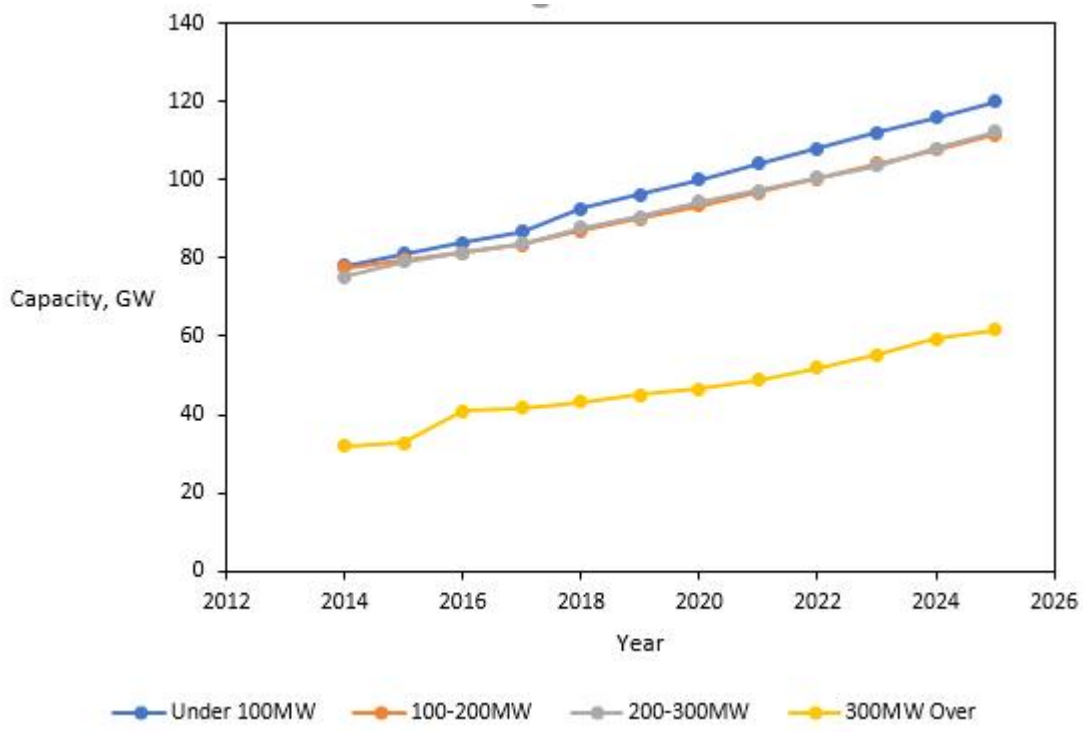
[그림 49] 발전설비 형태에 따른 연도별 용량 변화

□ **초임계 발전설비 시장은 '25년까지 214억불 정도의 시장을 형성하고 초초임계 발전설비 시장은 12억불의 시장을 형성할 것으로 예측**

❍ 산업체에서 발생하는 폐기물의 처리 측면 장점으로 인하여 100MW 이하 순환유동층 보일러들이 설탕, 펄프 및 제지, 제약 및 기타 산업체에서 확대되고 있음

❍ 100 - 300MW 용량 규모의 순환유동층 보일러는 초임계 설비 영역에 속해 연료비를 절감하고 산성 가스의 배출을 저감 할 수 있다는 장점으로 인하여 전 세계에서 설치가 빠르게 증가하고 있음

❍ 300MW 이상의 대형 플랜트보다 높은 경제성 확보가 가능하고 초초임계 증기 CYCLE의 확대에 따라서 점유율은 15% 정도이지만 매년 5.4%가 성장할 것으로 전망됨



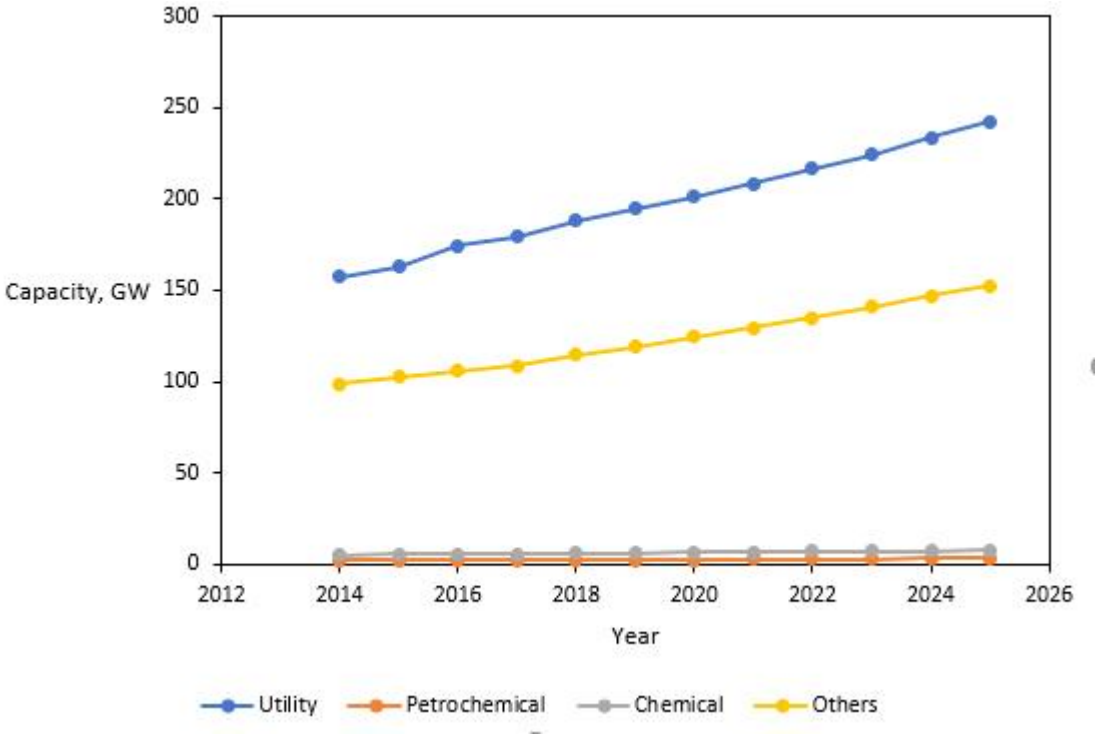
[그림 50] 순환유동층 설비 규모에 따른 용량 변화

□ **순환유동층 보일러가 가장 많이 사용되는 산업 분야는 전력생산 분야로서 지난 10년 동안 성장을 견인해 왔으며 성장률이 평균적으로 3.8%로서 '25년에는 전체 시장에서 거의 60%를 차지할 것으로 예측**

- 지난 5년 동안 전 세계에서 거래되는 석탄의 품질이 저하되면서, 보다 효율적으로 저급탄* 발전을 통한 전력생산이 가능한 순환유동층 보일러에 대한 적용이 확대되고 있음

  * 순환유동층 보일러는 3,900 - 8,000kcal/kg의 넓은 발열량 범위의 석탄을 연료로 이용 가능

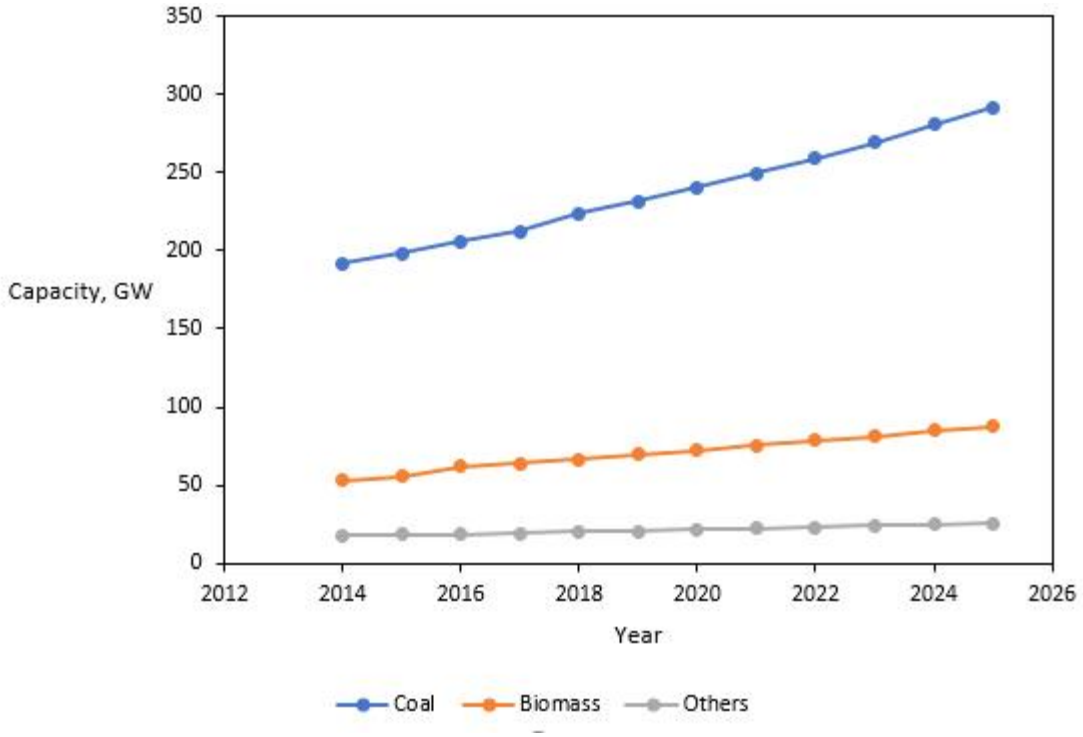
- 석유 가격 하락으로 석유화학 산업 내 경제적 에너지 요구에 따라서 순환유동층 보일러의 이용이 확대되고 있으며, 전체적으로 2025년까지 석유화학 산업계에서의 순환유동층 보일러 이용은 매년 5.3%가 증가하고 화학 산업계에서는 3.5%가 증가할 것으로 전망됨



[그림 51] 산업별 순환유동층 보일러 용량 변화

□ **순환유동층 보일러의 핵심 연료는 석탄으로 전체 사용 연료의 거의 72%를 차지하고, 바이오매스 등 연료 다변화 확대가 전망됨**

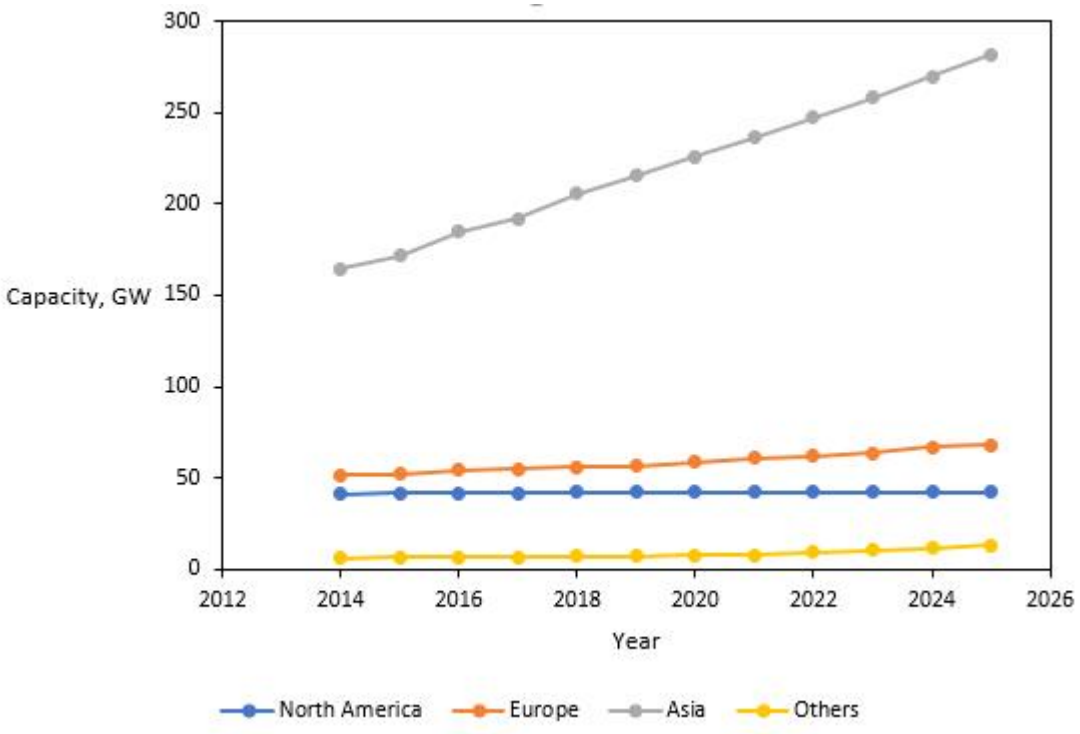
- 순환유동층 보일러는 100% 바이오매스 연소가 가능하며, 바이오매스 및 기타 연료들의 사용을 위한 순환유동층 보일러 이용도 전 세계에서 확대될 것이며 특히 바이오매스의 이용은 석탄보다 활발하게 진행되어 매년 4.0%의 증가가 이루어질 것으로 예측됨



[그림 52] 순환유동층 보일러의 연료별 용량 변화

□ **순환유동층 제조 산업과 새로운 산업 센터들의 개발에 대한 정부의 지원이 아시아·태평양 지역에서의 순환유동층 확대를 가져오는 역할을 함**

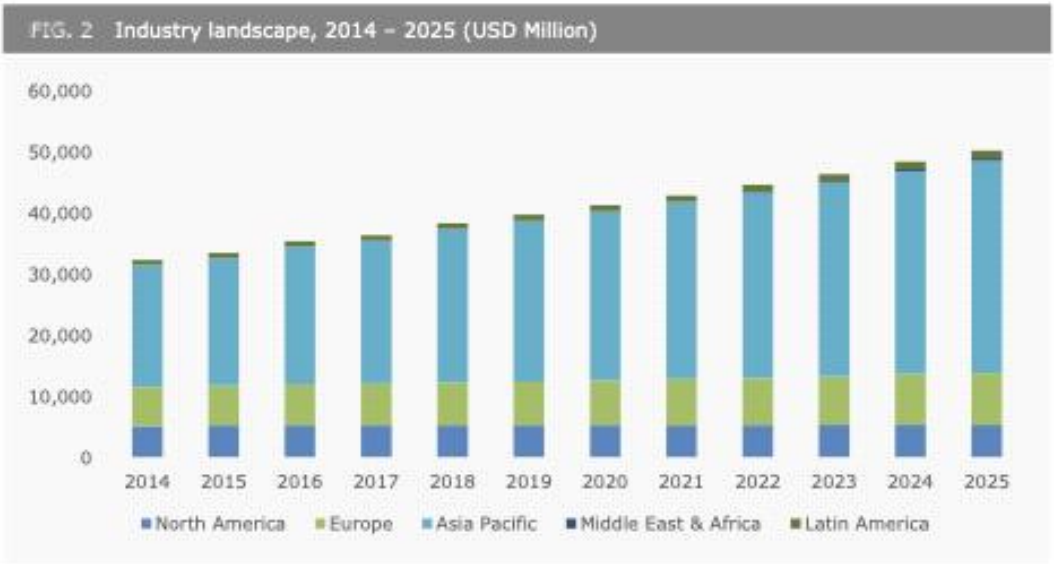
- 지난 10년 동안 전력 수요의 급격한 증가와 빠른 산업화는 발전시장의 확대를 가져왔으며 특히 중국과 인도의 용량이 큰 폭으로 증가하였음
- 과거 침체기를 지나 북미 지역은 화학 및 제약 산업에서의 수요 증가로 인하여 소폭 증가할 것으로 전망되며 유럽은 엄격한 배출규제로 인하여 전통적인 보일러들의 대체 수요가 있을 것으로 기대됨
- 향후 '25년까지 아시아 지역은 4.6%의 성장이 예측되며 유럽은 3.0%, 그 외의 지역은 4.2%의 증가가 전망되고 있음



[그림 53] 지역별 순환유동층 보일러의 용량 변화

□ **순환유동층 보일러 산업은 2014년부터 2025년까지 지속적 성장이 전망되며 발전시장 외 화학, 석유화학 설비 등에서 순환유동층의 이용이 확대될 것임**

- 순환유동층 보일러 시장 확대 견인은 아시아 지역을 중심으로 빠른 산업화와 전력 수요 증가가 순환유동층 시장을 선도할 것으로 전망됨
- 순환유동층 보일러의 평균 가격은 용량의 차이로 인하여 예측하기 어려우나, 아임계와 초임계 보일러는 안정적으로 유지될 것으로 예측되고 초초임계 보일러는 약간의 증가가 전망되고 있으며 단일 보일러 가격도 아임계, 초임계보다 높게 유지될 것으로 예측됨



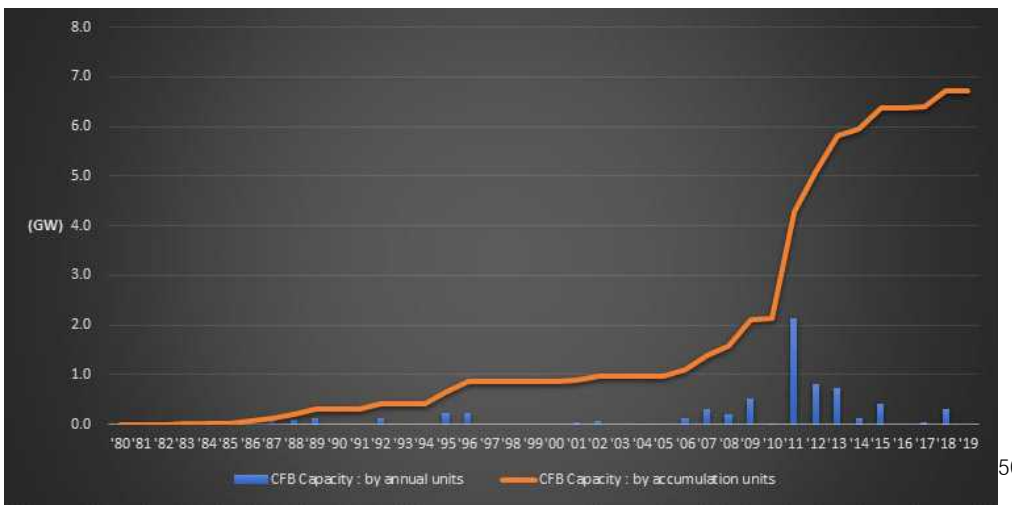
[그림 54] 순환유동층 보일러 시장의 변화

(2) 국내 시장동향 분석

□ **신재생에너지 급격한 증가에 따른 안정적 전력공급 필요성, 미세먼지 등 오염물질 저감의 전 국민적 공감대 형성 및 국제사회 탄소중립 의무 부각으로 친환경·고효율 화력발전 플랜트 시장 확대 전망**

□ **국내 순환유동층 보일러는 1980년대 중반 동양화학 최초 도입 이후 지속적 공급 증가로 현재 약 60기 이상, 총 6.7GW 규모가 운영되고 있음**

- 소각, 폐열회수 등에 활용되는 순환유동층 보일러 일부는 국내 원천기술로 제작되었지만, 발전용 순환유동층을 포함한 대부분 설비는 해외 원천 설계기술을 도입하여 공급되고 있음
- 설치·운영 측면에서는 순환유동층 관련 경험의 축적, 연구개발 등을 통해 선진국과 동등한 수준을 기술력을 가진 것으로 평가되고 있음



50)

[그림 55] 국내 순환유동층 보일러 공급 추이

[표 13] 국내 유동층 설치 현황 및 실적

업체	설치년도	증기용량 (톤/시간)	증기압 (kg/cm^3)	설계 연료	증기 용도	제작업체
동양화학	1984	120	110	COAL	열병합 발전	현대중
SK(수원)/SK(울산)	1988/89	25/200	10/114	COAL	공정/ 열병합	현대중
LG(여천)	1989	210	102	COAL	열병합 발전	현대중
현대정유	1989	120	110	PET. COKE	열병합 발전	현대중
석유화학지원공단	1990	250	93	COAL	열병합 발전	현대중
부산염색단지	1991	160(80×2)	102	COAL	열병합 발전	대우중
고려아연(온산)	1991	175	115	COAL	열병합 발전	한국중(두산)
삼양GENEX	1990	60	63	COAL	열병합 발전	현대중
한국동서발전(주) 동해화력	1998, 99	693×2 (200MW)	176	ANTHRA-CITE	발전	한국중(두산)
금호 석유화학	2003	305	100	COAL	열병합 발전	현대중
대구 염색단지	2004	160	92	COAL	열병합 발전	현대중
군장에너지	2007	200 × 2	93	COAL	열병합 발전	현대중
한화석유화학	2009	400 × 3	93	COAL	열병합 발전	F/W
BASF	2009	180	45	COAL	공정용	현대중
군장에너지	2010	250	95	COAL	열병합 발전	F/W
군장산단열병합	2011	250× 2	120	COAL	열병합 발전	F/W
씨텍	2011	500	95	COAL	열병합 발전	-
한국남동발전(주) 여수화력	2011	1040 (340MW)	176	COAL	발전	두산중
한국남부발전(주) 삼척화력	2015	500MW ×4기	257	COAL & BIOMASS	발전	F/W

51)

50) McCoy Report 2021
51) 두산중공업 내부자료

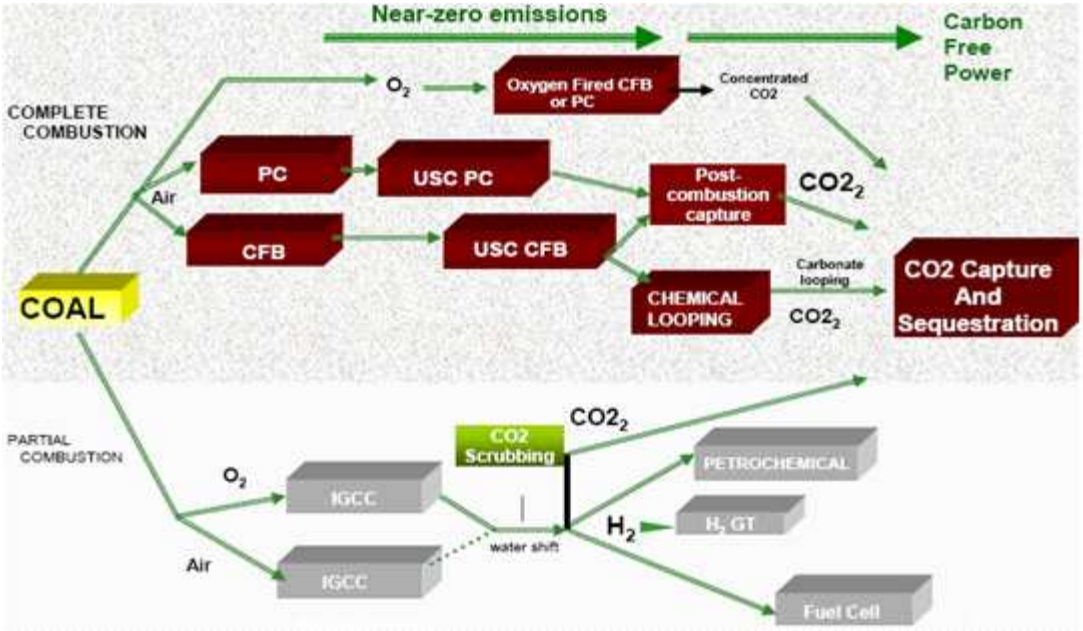
다. 기술동향 분석

(1) 국외 기술동향 분석

□ **초고효율 순환유동층 발전 플랜트의 주요 기술개발은 효율 향상과 CCS 기술의 적극적인 적용으로 진행되고 있음**

○ 연료 다변화에 따른 에너지원 이용기술의 순환유동층 기술의 적합성 부각

- 초초임계 대용량 순환유동층 기술개발 및 보급에 따른 경쟁력 제고
- 이산화탄소 환경규제에 따른 미래 순환유동층-CCS 기술 보급 및 실질적 감축 기술 부각



52)

[그림 56] 청정 석탄화력발전의 CCS 기술개발 분야

○ 초임계 및 초초임계 운전으로 얻어지는 CYCLE 상 열효율 증가로 석탄화력발전은 대용량, 초임계로 기술 전환되고 있으며, 향후 초초임계 발전기술이 석탄화력발전의 주력이 기종이 될 전망이며 단위 발전용량은 계속 증가하여 미분탄 보일러의 경우 1,000MW 이상의 석탄화력발전소가 상용 운전되고 있음

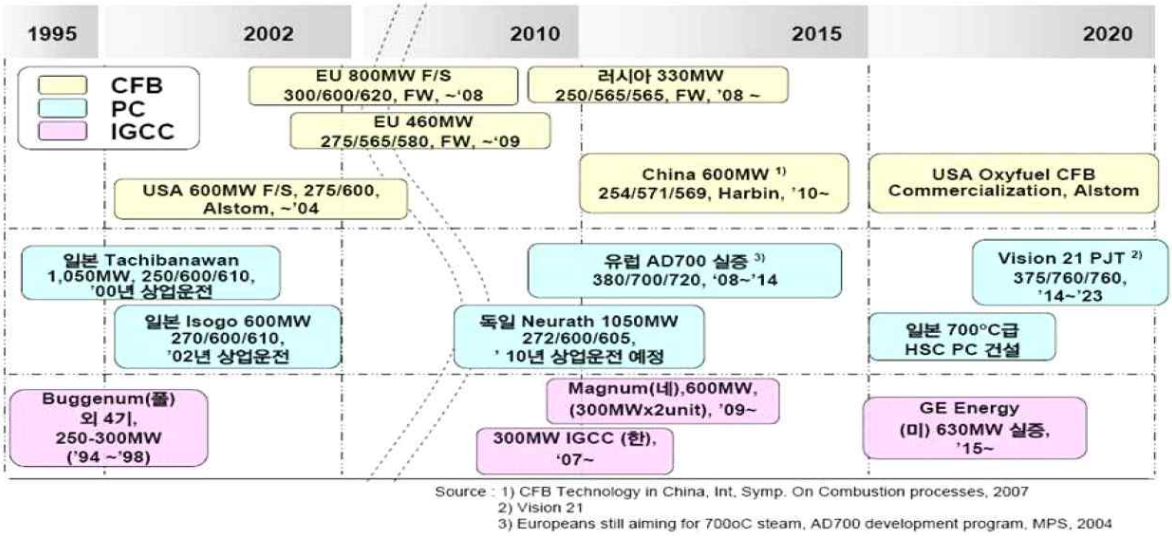
- 아임계, 초임계, 초초임계 보일러의 증기 온도와 압력의 변화에 따라 보일러 열효율의 개선 효과를 비교한 결과 초임계의 경우 42% 이상의 발전효율을, 초초임계의 경우 48% 이상의 발전효율을 보임

52) 두산중공업 내부자료

[표 14] 증기조건 별 보일러 운전 성능 비교

플랜트 (보일러) 구분	아임계	초임계	초초임계
CAPEX ($/kW)	850	1050	1100
증기압력 (bar)	165	290	365
증기온도 (℃)	538	580	700
플랜트 효율 (%)	< 40.0	> 42.0	> 48.0
이산화탄소 발생량 (g/kWh)	~ 855	~ 780	~ 710
황산화물 배출량 (g/kWh)	~ 2.4	~ 2.2	~ 2.0

53)



54)

[그림 57] 초초임계 순환유동층 보일러 기술 추진 현황

□ **국외 순환유동층 보일러 관련 제작사·연구소·대학교 등은 순환유동층 보일러의 대형화, 280기압, 600℃ 이상의 초초임계 증기 생산을 통한 고효율화, CCS-READY 기술 접목, 바이오매스 연료 다변화 등에 대한 기술개발을 현재 진행 중임**

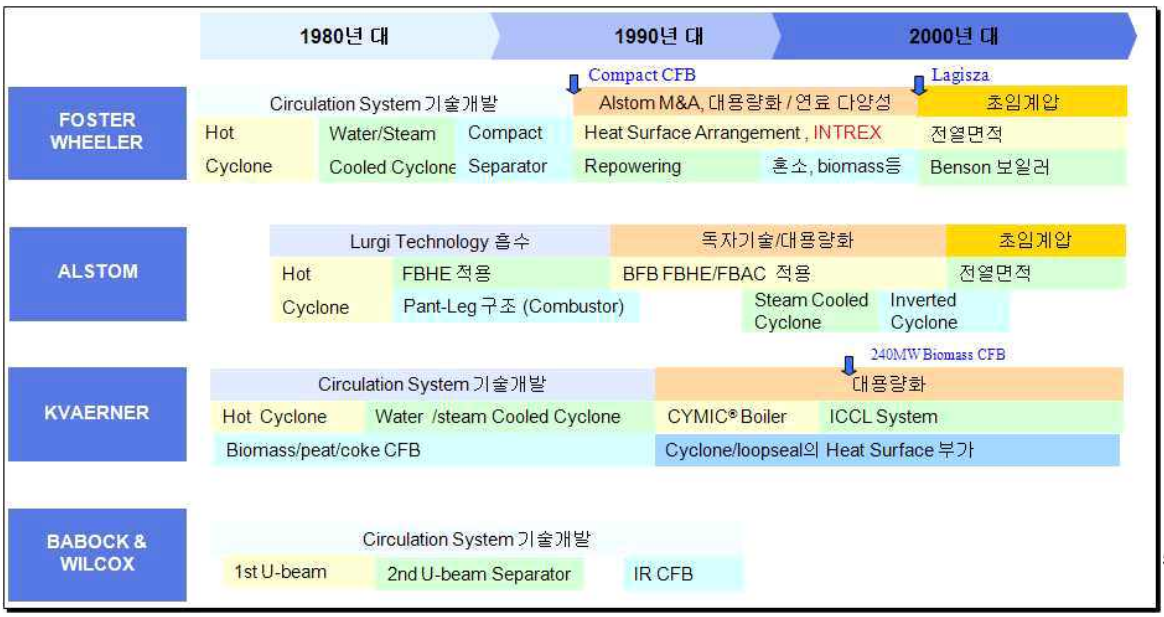
○ 순환유동층 기술은 미분탄 연소기술과 경쟁하며 대용량, 초초임계 기술개발로 전환 중이며, 현재 폴란드 LAGISZA(460MW), 중국 BAIMA(600MW) 등 순환유동층 발전소가 초임계로, 한국 삼척그린파워(500MW) 등 순환유동층 발전소가 초초임계로 운전되고 있음

○ 1990년에서 2000년대까지는 200 - 300MW급 아임계압 순환유동층 설비가 주를 이루고 있지만, 최근 대용량 초임계·초초임계 설비보급이 진행되고 있음

- 상용으로 운전 중인 460MW LAGISZA 플랜트는 세계 최초 상용 초임계 순환유동층 보일러로 275기압 560℃의 스팀 생산, 전체 효율은 45.4%*로 설계되었으며, 건설 당시 초초임계 미분탄 보일러와의 경쟁에서 플랜트 효율이 0.3% 이상 크고 초기 건설비용이 3% 낮으며, 연료 유연성이 좋아 미래 연료 확보 측면이 부각 되어 선정됨

53) 두산중공업 내부자료
54) 두산중공업 내부자료

* 저위발열량 기준



55)

[그림 58] 주요 제작사의 순환유동층 기술발전 현황

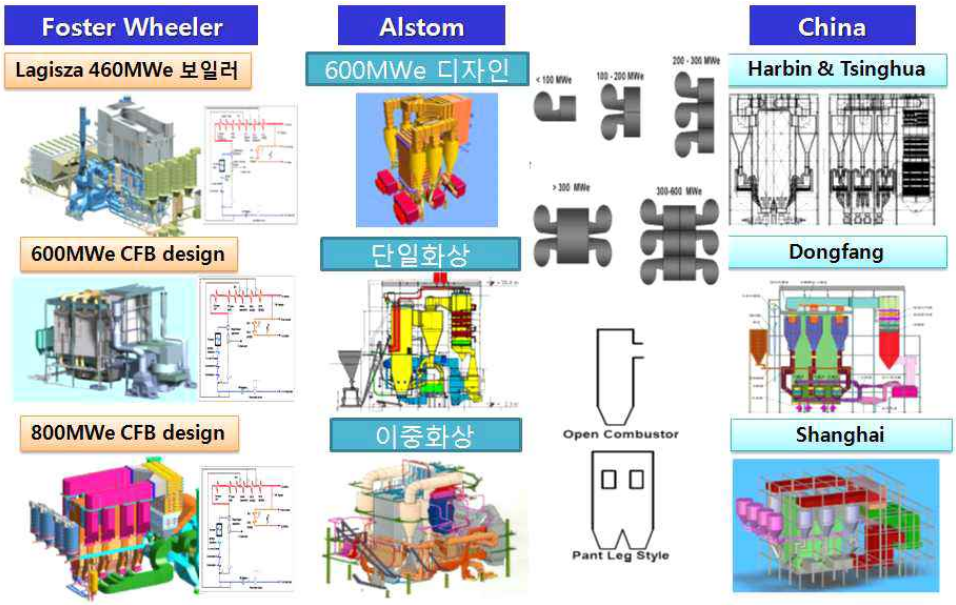


[그림 59] LAGISZA 플랜트 개략도 및 건설현장

- 순환유동층 대용량화 기술개발은 크게 스미토모 포스터휠러社와 GE社(구 ALSTOM社)가 양분하여 성장하는 가운데, 신규 중국 시장의 확대에 따른 중국기술(동방, 하얼빈, 상해 보일러社)이 자국 시장을 중심으로 부각되고 있음
- 일부 중소형 순환유동층 보일러는 METSO社 및 중국 중소형 제작사 등이 관련 시장 기술을 개발, 확대 보급 중인 것으로 보고됨
- 대용량 순환유동층 기술개발은 초초임계 800MW급까지 설계가 되어 있는 것으로 보고되고 있으며 COMPACT CYCLONE, FBHE, INTREX, NOZZLE 등 각 제작사의 고유한 순환유동층

55) 두산중공업 내부자료

요소기술을 보유한 것으로 평가됨



56)

[그림 60] 순환유동층 기술의 제작사별 대용량화 개발 현황 및 특징

□ **현재 중국에는 약 3,000호기 이상, 80GW 이상 규모로 순환유동층 보일러가 보급되어 있으며, 이 중 300MW급 이상의 순환유동층 보일러는 120호기 이상 운영 중인 것으로 보고되고 있음**

- 중국 순환유동층 기술은 연구기관과 대학 및 중공업사 협력으로 자체 기술개발을 수행하는 것과 동시에 스미토모 포스터휠러社, GE社 등에서 300MW급 이하의 아임계 순환유동층 기술을 도입

- 2006년 300MW급 LIGNITE 순환유동층 발전소를 건설한 이래 기술흡수를 통한 순환유동층 기술 개선으로 동방 보일러社가 2013년 최대 규모인 600MW급 초임계 순환유동층 보일러인 BAIMA 발전소 운전에 성공함으로써 상용급 규모 순환유동층 기술개발을 선도하고 있음



57)

[그림 61] 중국 순환유동층 건설 및 기술개발 현황

56) 두산중공업 내부자료
57) 두산중공업 내부자료

[표 15] 순환유동층 보일러 시장 선도업체

업체명(국적)	생산품목과 주요 특징	비고
스미토모 포스터휠러社 (일본, 핀란드, 미국)	• 순환유동층 시장점유율 1위 업체 • 세계 최초 초임계 순환유동층 실적(LAGISZA, 460MW, 폴란드) • 세계 최초 초초임계 순환유동층 실적(삼척그린파워, 500MW, 한국)	독점 및 선점에 유리한 위치
GE社(구 ALSTOM社) (프랑스, 미국)	• 순환유동층 시장점유율 2위 업체 • 600MW급 순환유동층 설계기술 확보, 실증 단계	600MW급 순환유동층 설계기술 보유
VALMET社 (핀란드)	• 중소형 순환유동층·기포유동층 보일러 실적 다수 보유 • 300MW급 이하의 아임계 순환유동층 실적 및 연료 다변화 기술 보유	주 사업분야 : 300MW급 이하 아입계압급 순환유동층
동방보일러社 (중국)	• 스미토모 포스터휠러社의 50 - 100MW급 순환유동층 보일러 기술 도입 • 2003년 BAIMA에 600MW급 초임계급 순환유동층 상용운전 성공	초임계급 600MW 상업운전(2013년)
하얼빈보일러社 (중국)	• 중국에서 가장 큰 발전설비 제조업체로 발전설비의 제조, 건설 및 기술개발 수행 • GE社(구 ALSTOM社)과 독일 EVT의 대용량 순환유동층 보일러 기술과 미국 CPC의 중소용량 순환유동층 기술 도입 : 중국 주요 国电热工院, 칭화대학교 등이 합작	주 사업분야 : 300MW급 이하 아입계압급 순환유동층
상해보일러社 (중국)	• 중소형 보일러는 중과원공정열물리소(中科院工程热物理所)와 일본 MES社 합작 • 대용량 보일러기술은 GE社에 속한 ABB社와 합작	주 사업분야 : 300MW급 이하 아입계압급 순환유동층

58)

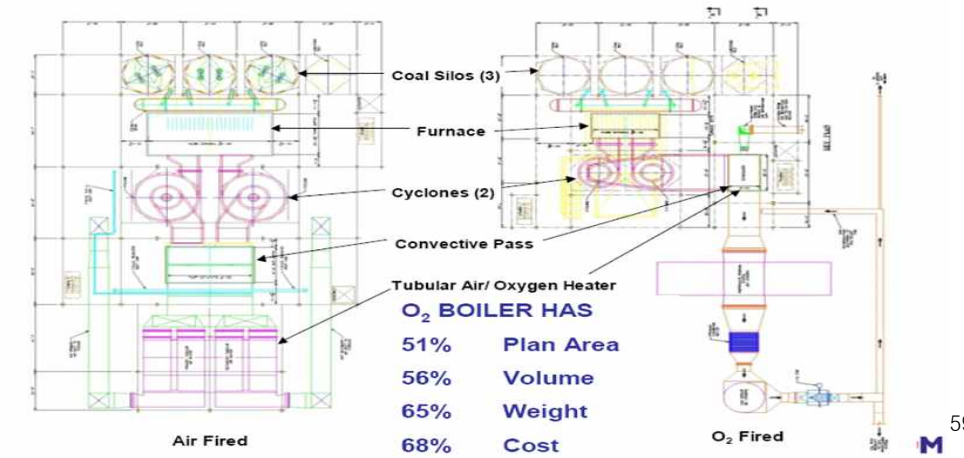
□ **순환유동층 보일러의 이산화탄소 저감을 위한 산소 부하 순환유동층 기술개발은 유럽 선진국을 중심으로 꾸준하게 이루어지고 있으며, 3MWth 및 30MWth급의 PILOT PLANT 개발을 근간으로 300MW의 산소 부하 순환유동층 PROJECT가 스페인의 CIUDEN에서 추진 중임**

- GE社에 의하면, 산소 부하 순환유동층 기술의 이산화탄소 포집을 위한 비용이 CCS 반응기 중 가장 낮은 것으로 나타났으며, ADVANCED ASU*를 이용한 산소 부하 순환유동층 시스템의 경우 가장 낮은 이산화탄소 포집 비용이 예상된다고 보고됨

* AIR SEPARATION UNIT

58) 두산중공업 내부자료

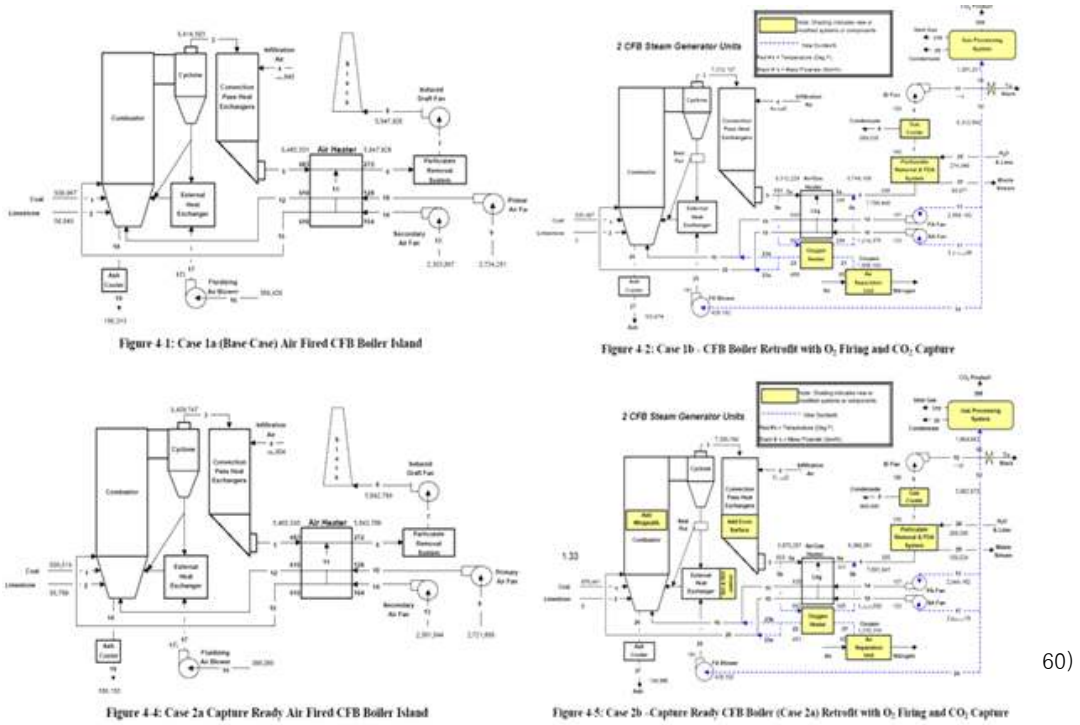
- 산소 부하 순환유동층 전용 보일러는 보일러 건설부지 포함 비용 절감이 기존 발전시스템 대비 51 - 68% 경제적임



59)

[그림 62] 산소 부하 순환유동층 건설에 따른 부지 및 비용 절감효과

- 대용량 초임계 600MW 순환유동층 보일러를 산소 부하 순환유동층으로 RETROFIT을 고려하고 시스템 및 초기 투자비용에 대한 CASE STUDY 수행하여 CCS-READY의 기술을 구현하고, 향후 CCS 기술 전반에 대한 적용, 보급이 가능하면 산소 부하 순환유동층으로 전환할 기술 기반을 갖추는 형태의 기술개발을 수행하고 있음



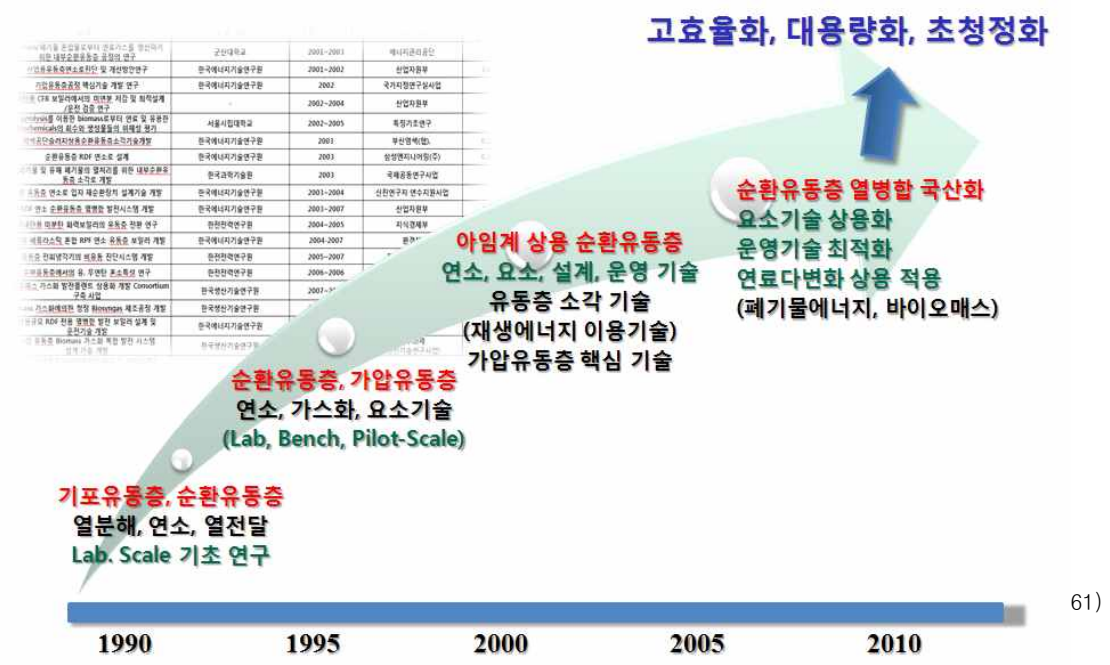
60)

[그림 63] 산소 부하 순환유동층 보일러 평가

59) 두산중공업 내부자료

(2) 국외 기술동향 분석

□ 국내 유동층 관련 연구는 1990년대 기포·순환·가압유동층의 LAB·BENCH·PILOT 규모 열분해·연소·열전달 연구 및 요소기술 개발, 2000년대 아임계 상용 순환유동층 연소· 설계·운영 기술, 유동층 소각 기술 및 가압유동층 핵심기술 개발, 최근에는 순환유동층 열병합 국산화, 상용화 규모 대용량 초초임계 순환유동층 보일러 설계·운영 기술 국산화, 폐기물·바이오매스 연료다변화 상용 적용기술 개발 등이 진행·완료됨



61)

[그림 64] 국내 유동층 연구개발 분야 및 개발 경향, 실적 분석

[표 16] 국내 유동층 연구개발 실적 및 현황

과제명	수행 기관	수행기간 (년도)	지원기관
유동층 연소로 내에서 수평 휜 전열관의 침식 및 열전달 특성	국민대학교	-	국제공동연구
2단 성회류 유동층연소로를 이용한 산업 고형폐기물 소각에 관한 연구	경성대학교	-	핵심전문연구
유동층 연소 반응기 패키지 기술개발	삼성엔지니어링	-	국책연구개발사업
바이오매스/폐기물 유동상 고정층 가스화 기술	한국에너지기술연구원	-	내부과제
유동층 연소 보일러의 실용화 연구	한국자원연구소	1987	국가주도사업
파키스탄 석탄의 이용기술 연구	한국자원연구소	1987-1989	과학기술처

60) 두산중공업 내부자료
61) 두산중공업 내부자료

고형폐기물의 유동층 연소특성	부산수산대학교 환경공학과	1987	핵심전문연구
한국산 무연탄을 이용한 충진 유동층 연소로의 동특성에 관한 연구	부산대학교 환경공학과	1988	핵심전문연구
순환유동층 석탄 연소 기술개발	한국과학기술원 화학공학과	1989	과기부과제
석탄의 국내 종합 활용 연구(3) 석탄의 저온. 부분 가스화	한국과학기술원	1990	과기부과제
순환유동층 석탄 연소 기술개발2	한국과학기술원 화학공학과	1990	과기부과제
석탄의 국내 종합 활용연구(석탄의 저온부분 가스화)	한국과학기술연구원	1990	정부민간사업
유연탄의 저온 열분해에 의한 CHAR, CHOWM 연료제조 및 활용기술 3	한국자원연구소	1991	러시아현지연구 개발사업
순환유동층 석탄 연소 기술개발3	한국과학기술원 화학공학과	1991	과기부과제
촉매 석탄 가스화 공정개발(PILOT-SCALE 순환유동층 가스화 반응기의 연구)	한국과학기술원	1995-1997	통상산업부
BENCH SCALE 가압유동층 석탄연소 기술개발	한국에너지기술연구원	1997	통상산업부
순환유동층 연소 및 배연조절 기술개발	한국에너지기술연구원	1998-2000	통상산업부
국내탄용 순환유동층 보일러의 운전 특성 연구	한전전력연구원	1998-2000	한전
가압유동층 연소 요소기술개발	KAIST	1999-2002	산업자원부
국내 무연탄 연소로 설계	한국에너지기술연구원	2000	산업자원부
순환유동층에서의 입자 및 마모 특성연구	한전전력연구원	2000-2002	한전
BIOMASS/폐기물로부터 연료가스를 생산을 위한 내부순환유동층 공정연구	군산대학교	2001-2003	에너지관리공단
산업용 유동층 연소로 진단 및 개선방안연구	한국에너지기술연구원	2001-2002	산업자원부
가압 유동층공정 핵심기술 개발연구	한국에너지기술연구원	2002	국가지정연구실 사업
국내탄용순환유동층 보일러에서의 미연분 저감 및 최적설계·운전 검증 연구	한전전력연구원	2002-2004	산업자원부
FAST PYROLYSIS를 이용한 BIOMASS로부터 연료 및 유용한 BIOCHEMICALS의 회수	서울시립대학교	2002-2005	특정기초연구
염색공단 슬러지 상용 순환유동층 소각 기술개발	한국에너지기술연구원	2003	부산염색(협),
순환유동층 RDF 연소로 설계	한국에너지기술연구원	2003	삼성엔지니어링(주)

고형폐기물 및 유해 폐기물의 열처리를 위한 내부순환유동층 소각로 개발	한국과학기술원	2003	국제공동 연구사업
순환유동층 연소로 입자 재순환장치 설계기술 개발	한국에너지기술연구원	2003-2004	신진연구자 연수지원사업
RDF 연소 순환유동층 열병합 발전시스템 개발	한국에너지기술연구원	2003-2007	산업자원부
국내탄용 미분탄 화력보일러의 유동층 전환 연구	한전전력연구원	2004-2005	지식경제부
슬러지 폐플라스틱 혼합 RPF 연소 유동층 보일러 개발	한국에너지기술연구원	2004-2007	환경부
유동층 전회 냉각기의 비유동 진단시스템 개발	한전전력연구원	2005-2007	한국동서발전
순환유동층에서의 유, 무연탄 혼소특성 연구	한전전력연구원	2006-2006	한국동서발전
바이오매스 가스화 발전플랜트 상용화 개발 CONSORTIUM 구축사업	한국생산기술연구원	2007-2007	생산기술 연구사업
BIOMASS 가스화에 의한 청정 BIO SYNGAS 제조 공정개발	한국생산기술연구원	2007-2010	지식경제부
상용규모 RDF 전용 열병합 발전 보일러 설계 및 운전기술 개발	한국에너지기술연구원	2007-2011	지식경제부
가압유동층 BIOMASS 가스화 복합발전 시스템 설계 기술개발	한국생산기술연구원	2008-2008	생산기술 연구사업
상용 순환유동층 보일러에서의 RDF 및 바이오매스 이용기술 개발	한전전력연구원	2008-2009	한국동서발전
300MW급 순환유동층 보일러의 최적 운영기술 개발	한전전력연구원	2009-2011	한국남동발전
대용량 순환유동층 보일러에서의 연료 다변화 연소공정 기술개발	한전전력연구원	2011-2013	한국남동발전

❍ 국내 주요 순환유동층 보일러는 두산중공업, 현대중공업, 포스코건설, 효성에바라 등에 의해 공급되고 있으며, 폐기물 소각, 스팀 공급, 발전 등 여러 목적으로 적용되고 있음

[표 17] 국내 주요 순환유동층 공급 업체

업체명	주생산품목과 특징	비고
두산중공업(주)	- MAP TA PHUT(태국), 115MW - CEBU(필리핀), 103MW - 여수(한국), 330MW - 스미토모 포스터휠러社와 기술제휴 - 2012년 원천기술사 LURGI社 인수	<300MW 순환유동층 기술 보유
현대중공업(주)	- 군장에너지(1,2), 50MW - 여수바스프, 50MW급(전기X, 스팀량 기준) - 군장에너지(3), 50MW급(전기X, 스팀량 기준) - 중국내 합작회사를 통해 소형 순환유동층사업 진행중 - 200 ton/h-STEAM 내외의 중형급 이상 대상	<200MW 순환유동층 기술 보유
포스코 건설(주)	- 원주 RDF : 10MW - 부산 RDF : 25MW - 포항 RDF 12MW(2011 - 2013년) - RDF 위주의 폐기물에너지화 사업에 집중	소형 폐기물 순환유동층
효성 에바라(주)	- 유동상 폐기물 소각 - 유동상 소각과 용융을 결합한 기술 적용중	기포유동층 기술 중심

❍ 현재 한전·발전사는 세부 100MW급 2기, 동해화력 200MW급 2기, 여수화력 300MW급 2기, 삼척화력 500MW급 4기 등 다양한 브랜드·규격·방식의 순환유동층 보일러를 보유하고 있으며, 독자적인 운전·설치 경험 및 기술개발을 통해 순환유동층 운영기술을 개선하고 있으나, 설계기술은 국외 기업과의 기술제휴를 통한 수입에 의존하고 있음

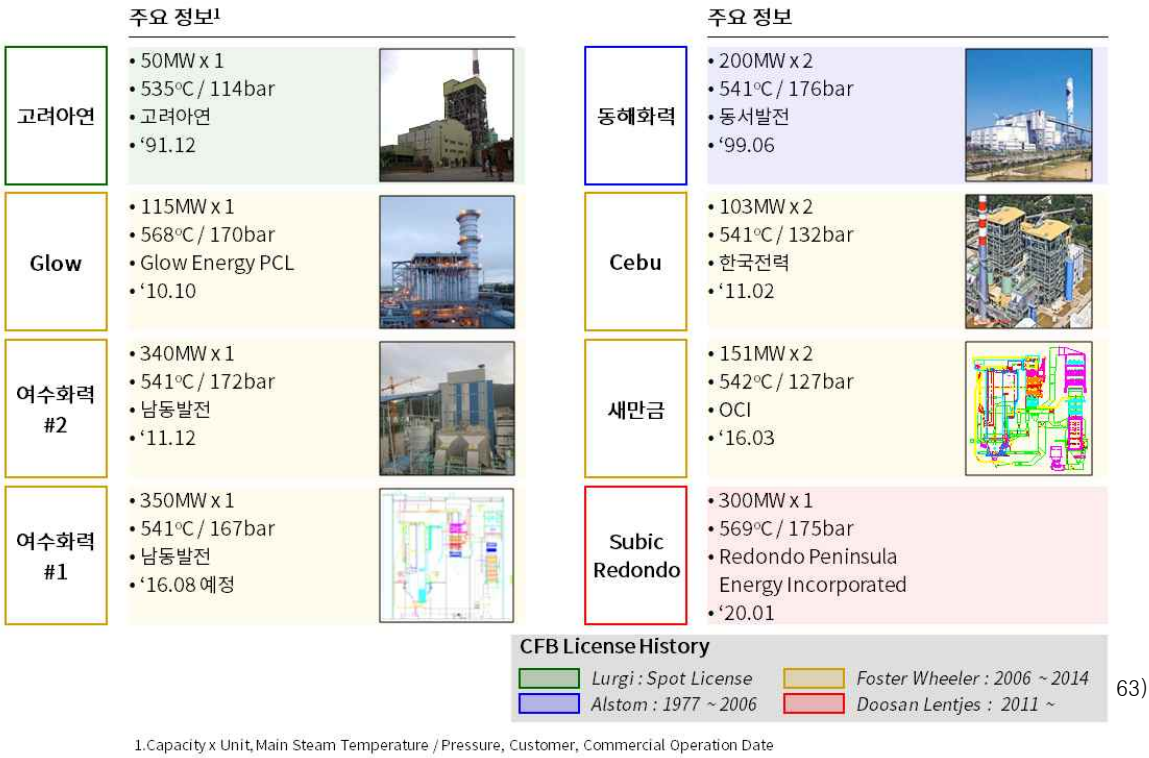
❍ 국내 주요 제작사인 두산중공업 및 현대중공업의 기술개발 및 보일러 제작은 기술제휴·합병·흡수를 통해 이루어지고 있음

- 현대중공업은 150MW급 이하 중·소용량 순환유동층 보일러 요소기술 자립을 이룬 것으로 평가되고 있음
- 두산중공업은 2012년 독일 LENTJES社(구. LURGI社)를 인수하여 300MW급 이하 설계 능력을 확보하였음
- 한전은 순환유동층 최적 운영을 위한 기술개발 및 그 실용화가 상당 부분 진척되어 있어 이의 흡수 및 통합을 통해 고효율의 초임계급 순환유동층 기술개발에 활용이 가능할 것으로 판단됨



62)

[그림 65] 국내외 대용량 순환유동층 보일러 현황



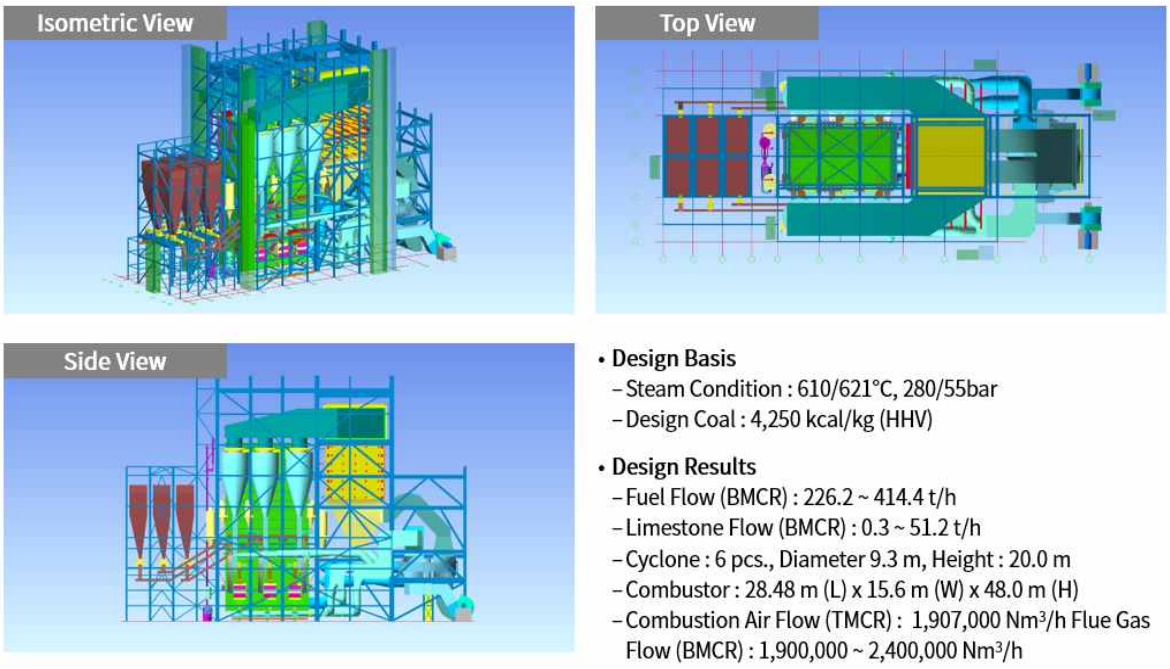
63)

[그림 66] 두산중공업 순환유동층 보일러 공급실적

62) 두산중공업 내부자료
63) 두산중공업 내부자료

❍ 초초임계급 순환유동층 기술개발을 위한 기초 검토단계로 한전 전력연구원, 한국에너지기술연구원 및 두산중공업이 협력하여 2013년 초초임계 순환유동층의 시장성, 경제성, 기술성 평가 및 타당성 검토를 수행함

- 기술적 타당성과 초초임계 순환유동층 RPM(REFERENCE PRODUCT MODEL)에 대한 개념설계, 그리고 국내 발전부분에 적용하였을 경우의 경제성을 검토함
- 초초임계 순환유동층 개념설계 도출 완료 : 한전 전력연구원, 두산 랜체스
- 발전 경제성 미분탄 보일러와 비교 시, 30% 우위 확보 가능 : 한전 전력연구원
- 동남아시아 중심 해외 초초임계 순환유동층 시장성 확인 : 에너지기술연구원
- 이와 같은 순환유동층 기술개발 연구에도 불구하고 동해화력, 여수화력, 삼척그린파워 등 대용량 순환유동층 보일러는 국외 기술로 설계되었으며 국내 순수 기술로 설계·건설된 200MW 이상의 대용량 순환유동층 보일러 건설은 현재까지 없는 실정임



64)

[그림 67] 600MW급 초초임계 순환유동층 모델

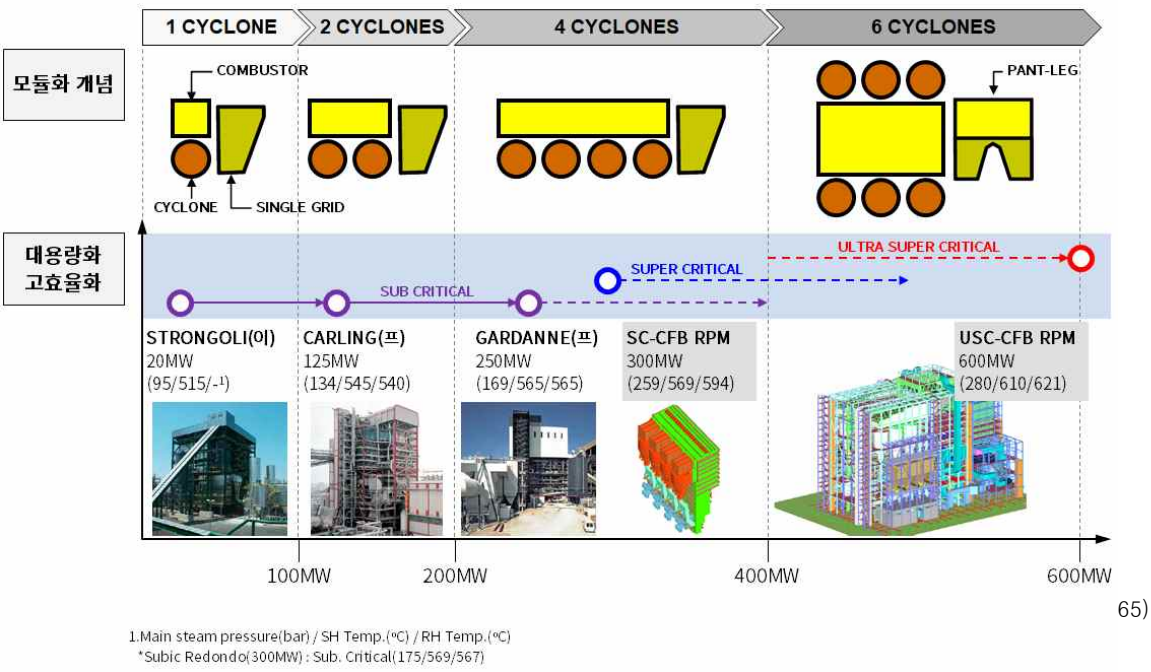
□ **국내 순환유동층 보일러 제작사인 두산중공업은 자체 설계기술을 확보하지 못해 Lurgi社, 스미토모 포스터휠러社 등 국외 순환유동층 원천기술사와의 제휴를 통해 순환유동층 보일러를 공급하였으나, 2011년 순환유동층 원천기술사인 랜체스社를 인수하여 순환유동층 보일러 설계기술을 내재화하였음**

- 두산중공업 자체 기술과 랜체스社의 원천기술을 활용하여 순환유동층 모델 LINE-UP을

64) 두산중공업 내부자료

확대하였으며, CYCLONE 개수 증가(1,2,4,6 CYCLONE) 및 모듈화를 통한 용량 격상으로 화로 내 전열 면적을 확보하였고, 물·증기계통 고도화를 통해 아임계에서 초임계로 증기 조건을 격상하였음

- 초초임계 순환유동층 보일러 설계·제작·운영 기술 국산화 및 한전·두산중공업·발전 3社(남부발전, 남동발전, 동서발전)의 초초임계 순환유동층 해외사업 공동 진출을 위한 민간 협동과제를 수행하였음

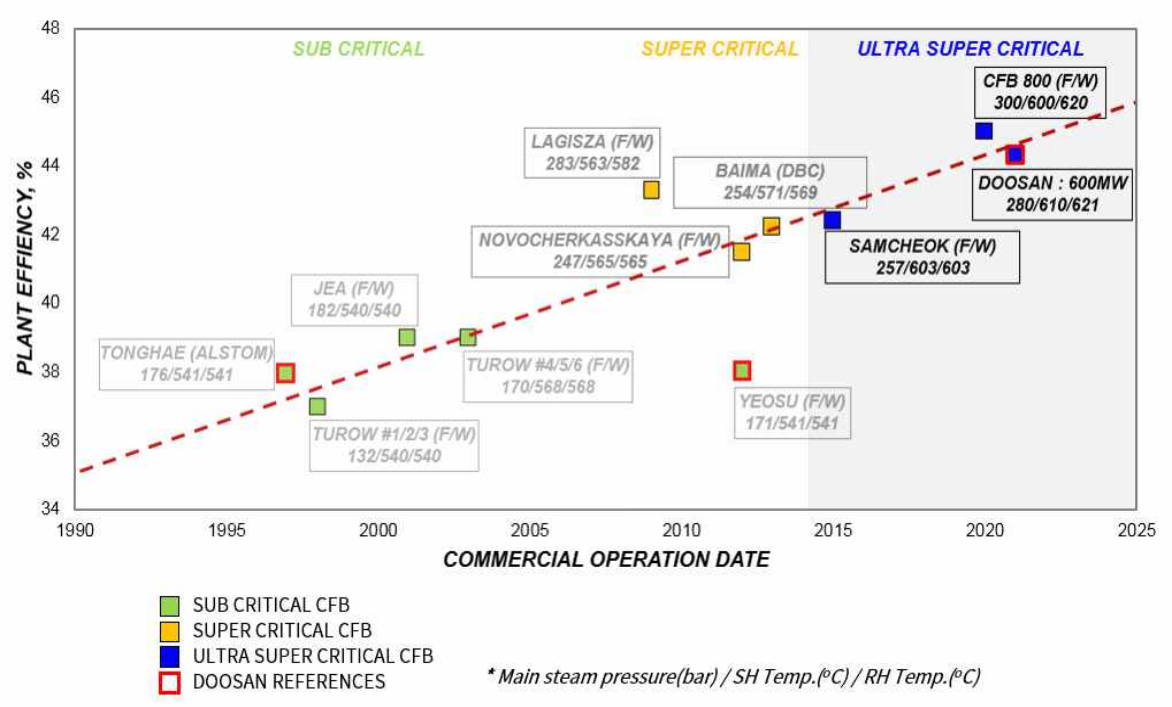


65)

[그림 68] 두산중공업 순환유동층 용량·증기 격상 개략도

□ **순환유동층 보일러 기술은 고효율, 대용량 보일러 수요증가에 따라 스미토모 포스터휠러社, GE社 및 중국 3社(동방, 상하이, 하얼빈 보일러) 중심으로 고도화되어, 그 기술을 바탕으로 시장을 독점하였음**

65) 두산중공업 내부자료



66)

[그림 69] 순환유동층 고효율, 대용량화 추이

□ **민간 협동과제를 통해 국산기술 기반 고효율·초청정 순환유동층 국내 브랜드화 기술을 확보하였으며, 주요 추진 실적은 아래와 같음**

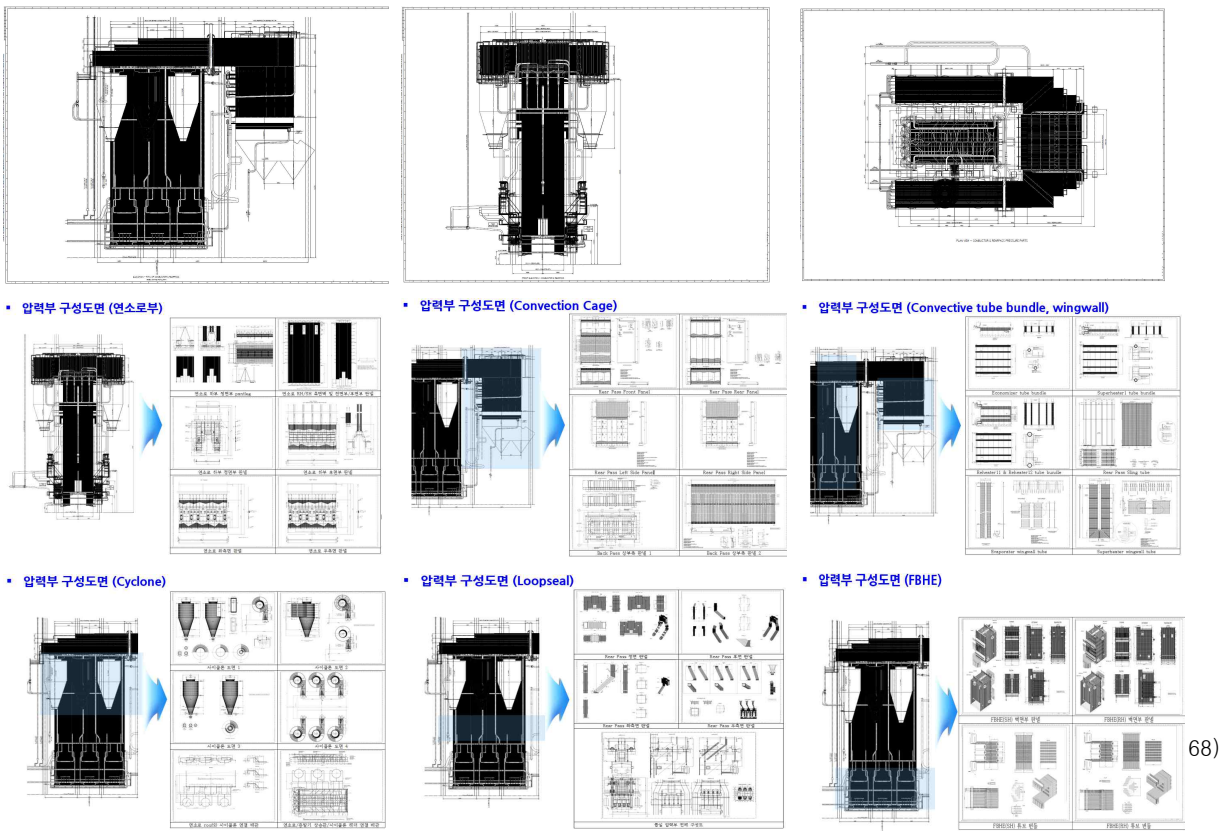
- 국내외 중대형 순환유동층 보일러 핵심요소 설계 특성 분석
- 순환유동층 보일러 운영 문제점 및 해결방안 도출
- 핵심요소설비 고유모델 개발 및 600MW급 초초임계 기준모델 설계기술 확보
- 순환유동층 연소로 해석기술 개발 및 설계탄·바이오매스 혼소 최적화 기술 확보
- 증기계통 고도화 및 순환유동층 동특성 모델 개발
- 핵심기기 고유모델 검증
- 고체 순환계통 설계 검증 및 최적화
- 순환유동층 보일러 용량 격상 기술개발
- 초초임계 순환유동층 설계툴 개발

66) 두산중공업 내부자료



67)

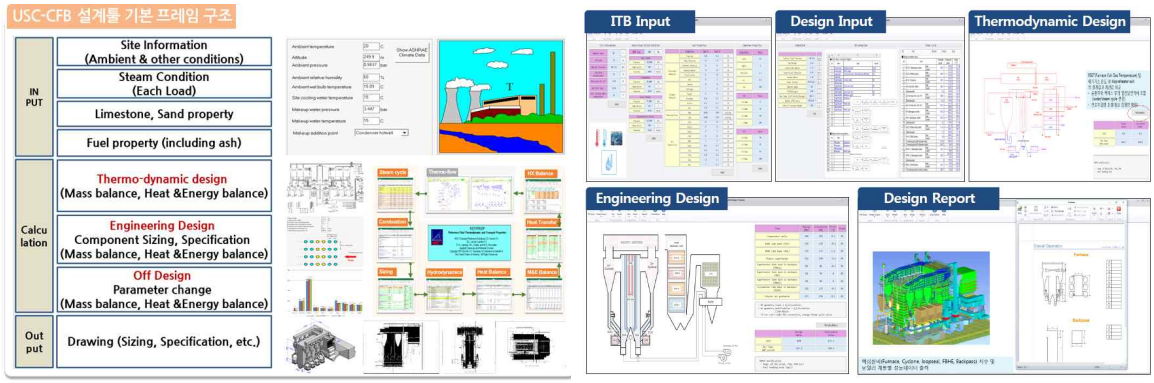
[그림 70] 협동과제 연구개발 개요



68)

[그림 71] 초초임계 순환유동층 설계도면

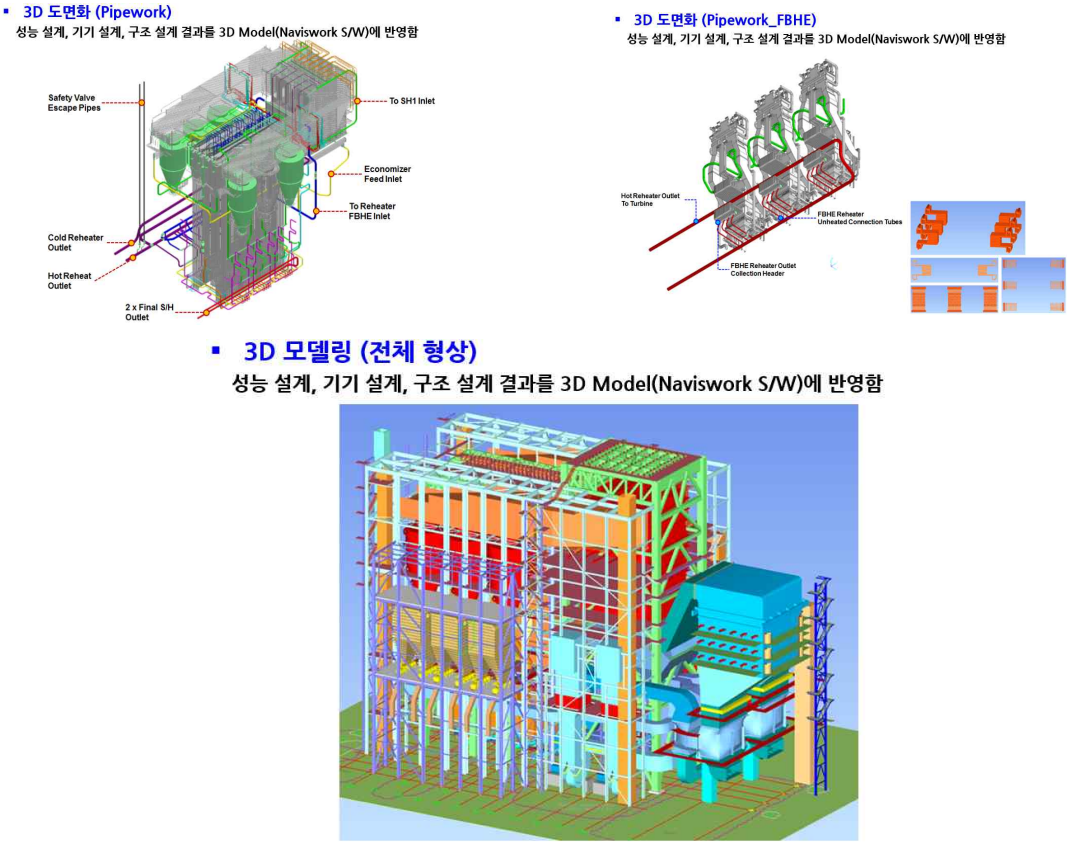
67) 두산중공업 내부자료
68) 두산중공업 내부자료



- 입력부 : 대기온도, 대기압력(고도), 습도, 습구온도, 연료 및 회재 성상, 석회석 및 층물질(모래 등)의 성상 및 부하별 물/증기 조건(최종 과열증기, 최종 재열증기, 절탄기 및 재열기 입구 물/증기 조건 등)
- 계산부 : 열역학적 설계부, 공학적 설계부 및 최적화 설계부로 구성
- 출력부 : 2D 및 3D 도면 출력

69)

[그림 72] 초초임계 순환유동층 보일러 통합 설계 툴



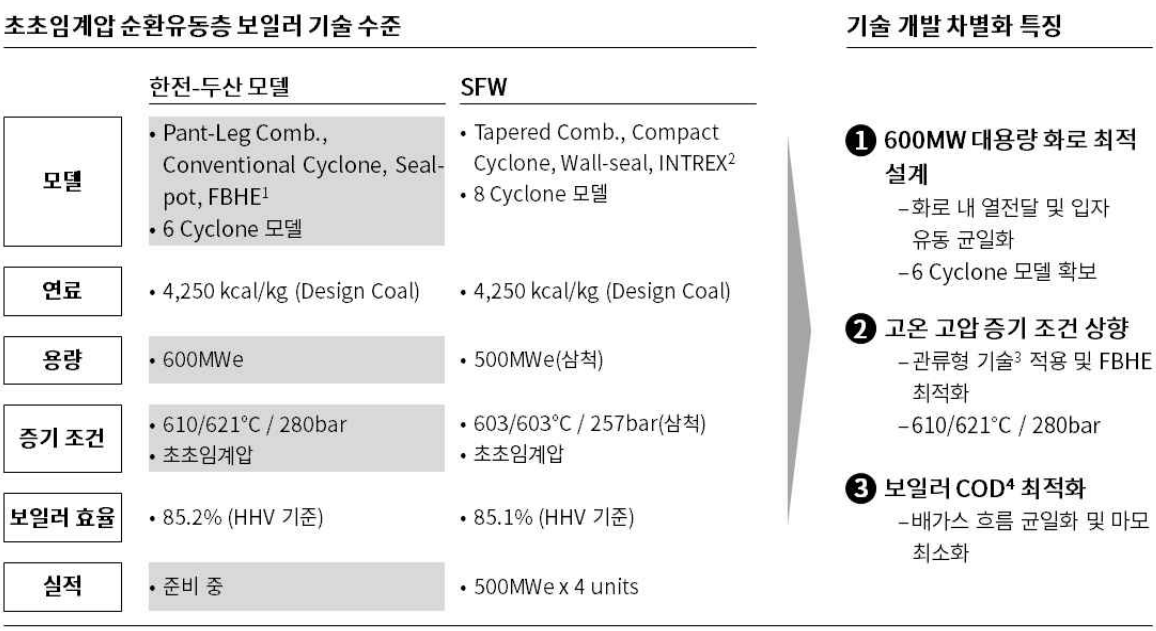
- 주요/보조기기, 압력부 및 철골부를 각각 MODELING 한 후, 이를 NAVISWORKS S/W에 3D MODEL을 최종 통합하여 각각의 세부 3D 도면 도출

[그림 73] 초초임계 순환유동층 플랜트 압력부 3D MODELING 및 전체 3D 형상

□ **민간 협동과제를 통해 개발된 초초임계 순환유동층 기술 수준은 세계시장 점유율 1위 기업인**

69) 두산중공업 내부자료

스미토모 포스터휠러社 대비 동등한 수준으로 평가되고 있으나, 실증이 완료되지 않아 해외시장 진출이 어려움



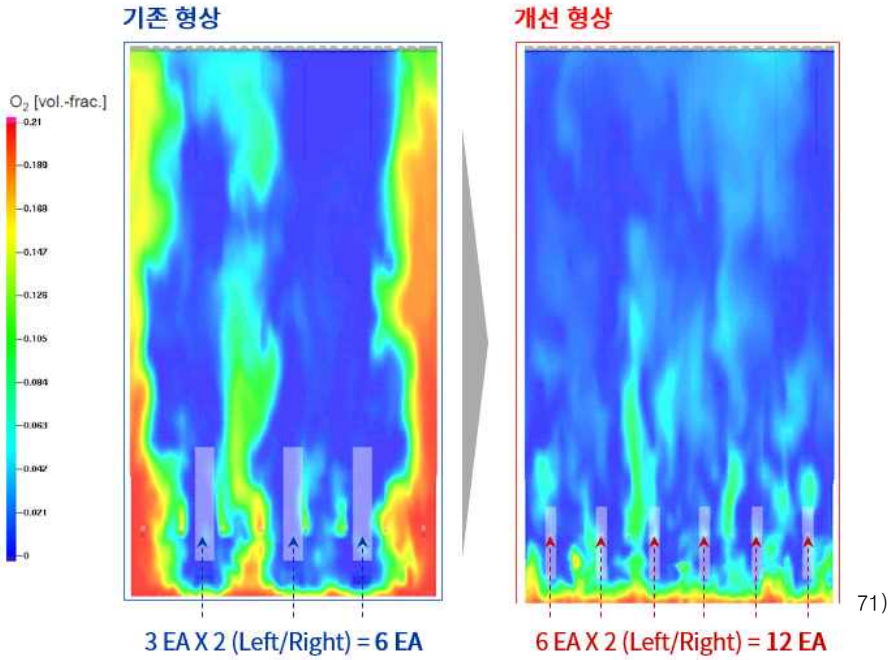
70)

[그림 74] 한전–두산 초초임계 순환유동층 보일러 모델의 경쟁력

□ **스미토모 포스터휠러社 대비 한전–두산 초초임계 순환유동층 보일러 모델의 경쟁력은 아래와 같음**

– 대용량 화로 최적 설계로 화로 내 연소·입자 유동 안정화, CYCLONE 효율 최적화, 공기 침투도 최적화로 로내 탈황·탈질 효율 최적화 달성

70) 두산중공업 내부자료



71)

[그림 75] 대용량 화로 최적 설계

- 순환유동층 핵심 기술인 외부 열교환기의 최적 열전달 및 입자 성능 조건을 고려한 설계로 고온·고압 증기 조건 달성

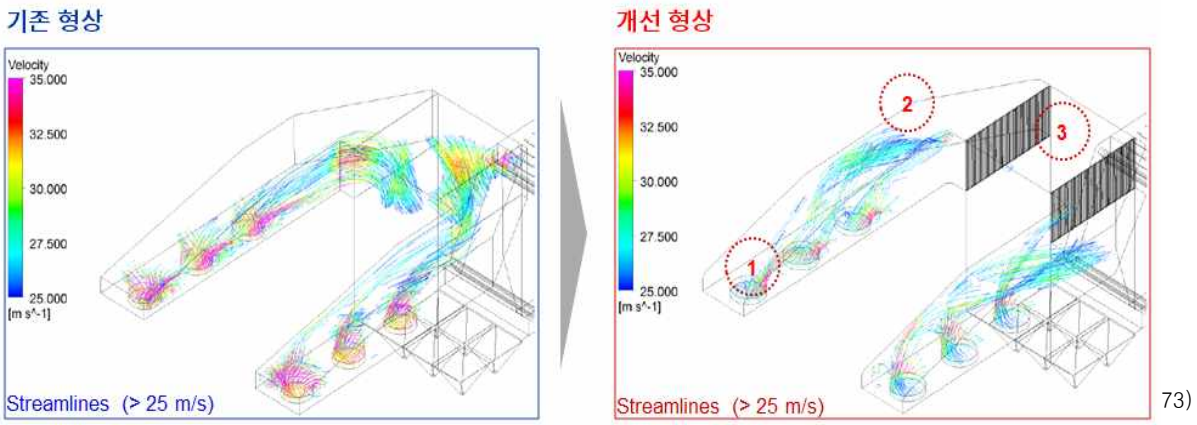


72)

[그림 76] 고온 고압 증기 조건 상향

71) 두산중공업 내부자료

– 화로 대형화에 따른 연소 가스의 균일한 흐름 및 CYCLONE 출구 마모 가능성을 고려하여 최적 CROSS OVER DUCT 형태 도출



73)

[그림 77] 보일러 CROSS OVER DUCT 최적화

□ **한전 전력연구원은 국내외 여러 순환유동층 보일러의 역설계, 기술지원 등을 통해 축적된 노하우를 기반으로 아래와 같은 운영상 문제점에 대한 해결방안을 마련함**

❍ 주증기 온도 미달*

* 열교환기 배치 및 열흡수 면적 설계 오류 및 운전 미흡

– 보일러 및 터빈 간 열물질 수지 균형 검토 및 관련 설비 개선

– 운전기법 개선*

* 운전조건 조정을 통한 연소로 내 고체 체류량 증가

❍ 연소로 온도 불균형*

* 연소로 내 연료 공급계통 설계 오류 및 운전 미흡

– 연료 입도, 연료 투입구 개수 및 위치, CYCLONE 효율 검토를 통한 설비 개선

– 연소성 검토*

* CLINKER, FOULING FORMATION 모니터링

– 운전기법 개선*

* 적정 연료 입도 위치별 연료투입량 조절 등

❍ 낮은 CYCLONE 효율

– 연소로 상하부 온도 편차 심화 : 고체 순환량 감소

72) 두산중공업 내부자료
73) 두산중공업 내부자료

- 연소로 상부 차압 감소 : 연소로 내 층물질 입도 조대화로 인한 부유 층물질 감소
- 탈황 효율 감소 및 미연 탄소분 증가
- 연소로 내 수냉벽, WING-WALL, PLATEN HX 열 교환량 감소
- CYCLONE 형상 개선 및 운전기법 개선을 통한 포집 효율 증대 필요

❍ 보일러 마모

- 적절한 연소로 하부 내화재 높이 및 경사도 선정
- 수냉벽 튜브 설치 시 직관도 확보 및 튜브 코팅 작업 시 철저한 시공관리 필요

□ **바이오매스 활용도 증가를 위한 플랜트 운영기술**

- '12년 국내 신재생에너지 의무할당제(RPS) 시행에 따라 비태양광 분야에서는 바이오매스의 혼소를 통해 REC 획득하고 있음
- 목질계 바이오매스 기반의 전력생산량은 2012년 106 GWh에서 2018년 6,490 GWh로 6년간 약 61배 증가함
- '3차 에너지기본계획'에서는 재생에너지원 중 바이오에너지의 비중을 17%로 산정하였지만 '9차 전력수급계획'에는 연료 연소기반의 재생에너지(폐기물, 우드펠릿 등)에 대한 REC 가중치를 축소 추진안을 발표함
- 산업부에서는 신재생에너지 공급의무화제도 관리 운영 지침 개정안을 고시하였으며 기존 목재팰릿, 목재칩의 REC를 0.5로 산정하였음

  * 2019년 6월 30일까지 전기사업법에 따른 공사 계획인가 또는 집단에너지사업법에 따른 공사 계획 승인을 받은 발전 사업소는 목재펠릿과 목재칩의 REC를 1.0으로 적용함(반면, 이용 산림 바이오매스의 경우 혼소시 REC 1.5와 전소시 REC 2.0를 부여했음)

- 최근 코로나 19사태로 기후변화의 심각성에 대한 인식이 확대됨에 따라 정부는 '2050년 장기저탄소발전전략(LEDS)' 대응을 위한 '2050 탄소중립 달성'을 선언하였음
- 이에 따라 기존 석탄 순환유동층 발전 플랜트에서 CO_2 감축 요구량이 크게 증가할 예정이며 바이오매스의 활용율 증가가 향후 중요한 이슈로 대두될 것임

❍ 순환 유동층 보일러에서 바이오매스의 활용에 따른 문제점은 다음과 같음

- 보일러 튜브의 회분 점착 형성 높아짐에 따른 보일러 효율 저감
- 바이오매스 입자의 특성에 따른 연소실 온도상승
- 석탄 대비 염소 및 알칼리 함량이 높아 부식문제 유발

❍ 해외 순환유동층 보일러에서 바이오매스 활용 증가에 따른 영향 분석 사례

- 체코-CTU에서는 순환유동층 보일러에서 초본계 바이오매스 활용에 따른 영향성에 대해

연구를 수행함

- CTU는 현재 발전중인 초본계 바이오매스의 혼소율을 15%에서 30%까지 증대하는 목표로 연구를 수행함
- 대상 보일러 증기 조건: 140 /hr, 535℃, 12.5 Mpa
- 대상 석탄 및 바이오매스 연료 특성
  - 갈탄: 18.8 MJ/kg
  - 초본계 바이오매스 펠릿 : 15.2 MJ/kg(황 성분 석탄 대비 20% 해당)
- 바이오매스 혼소율 15%에서 30% 증가에 따른 특성 평가
  - 열교환기 튜브의 회분의 점착량 증가로 인한 주증기 온도 약 16℃ 감소(열교환기 튜브의 표면 열저항 증가)
  - 연소실 온도, 사이클론 후단 및 보일러 출구 온도 각각 17, 20, 24℃ 상승
  - 과열기의 ALKALINE BUILDUP 형성
  - 혼소율 30% 증가에 따른 보일러 열효율 1.36% 감소
  - 혼소율 변화에 따른 연소 특성의 영향은 크지 않음
  - 과열기 튜브 표면의 염소에 의한 부식율이 증가되며 수명 단축
  - 탈황을 위한 석회석 투입량 약 20% 감소 및 NOx 배출 27% 저감
- 결론적으로 순환유동층 보일러에서 바이오매스의 혼소율 증가에 따른 대기환경 오염물질의 저감과 CO_2 CREDIT 절감에 의한 경제적 효과는 확보할 수 있지만 보일러 운영 측면에서 초본계 바이오매스를 통한 30% 혼소는 어려운 실정임.

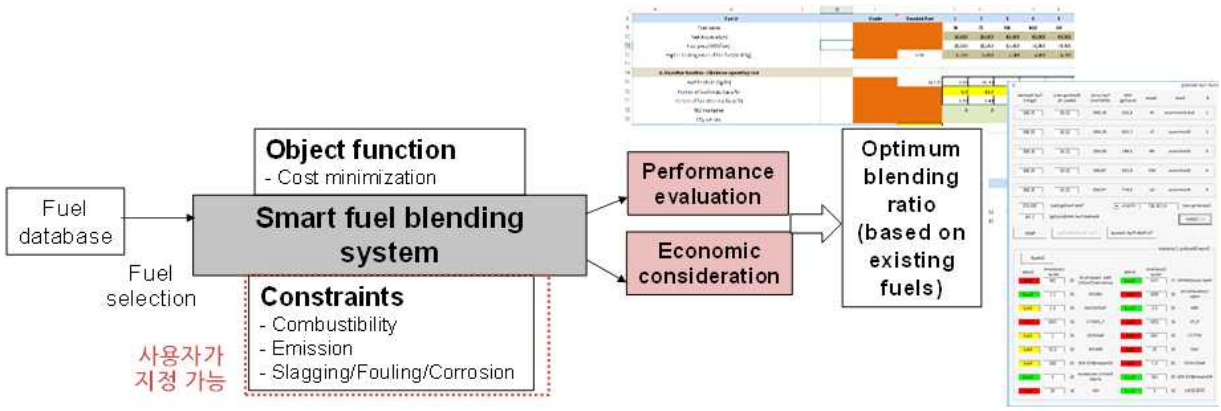
❍ 국내 순환유동층 보일러에서 바이오매스 혼소 비율은 약 3~5%로 발전되고 있으며 동해화력 1,2호기의 경우 10%의 혼소 비율로 발전중임

- 순환유동층 보일러에서 우드펠릿을 발전용 연료로 활용할 경우 약 10%의 혼소 비율에서 연소 및 환경성에 큰 영향이 없이 안정적 운전이 가능할 것으로 판단됨
- 향후 미활용 바이오매스의 활용도 증가를 위해 아래와 같은 기술의 개발이 필요함
  - 국내 미활용 바이오매스 활용성 증대, 다양한 탄종, 바이오매스 혼소율 증대에 대응하기 위한 연료 운영 최적화 기술확보
  - 보일러 핵심설비인 열교환기(외부 열교환기 포함)의 운전 장애 요인 규명 및 해결방안 마련
  - 연료품질 및 운전 장애 관리 시스템 구축: 최적 연료혼합 조건에 따른 경제성 및 운전 장애 무제까지 고려한 체계적인 운영 방안 마련

❍ '한국생산기술연구원'에서는 순환유동층 보일러의 연료 유연성 확보를 위해 혼탄/바이오매스 운영기술을 개발 중임

- 현재 우드펠릿에 국한된 바이오 연료를 우드칩, 미활용 바이오매스로 확대 시 발생되는 보일러 운전 장애 요인(불완전연소, AGGLOMERATION, ASH DEPOSITION 등)을 선제적으로 예측·대응하여 설비의 고효율 운전을 도모하는 운영기술 개발을 목적으로 가지며 세부연구 개발내용은 다음과 같음

  - 연료 다변화에 따른 유동층 보일러의 운전 특성 분석
  - 다양한 연료별 활용 가능성 평가 및 혼소율 변화에 따른 적정 운전조건 도출
  - 열교환기 운전 장애 요인분석 및 개선방안 도출
  - 경제성을 고려한 보일러 효율증가 및 운전 장애 최소화가 가능한 최적 연료 운영 시스템개발



[그림 78] 한국생산기술연구원에서 개발 중인 최적 연료 운영 프로그램

- 현재 개발 중인 최적 연료 운영 프로그램은 실 발전시스템의 운영 안정화 및 설비 효율 향상 분야에 적용하도록 진행 중이며 다양한 발전설비를 대상으로 고도화를 통해 해외 의존도 높은 발전소 운전 장애 예측 프로그램의 국산화 가능할 것으로 판단됨

(3) 고효율 순환유동층 개념설계 및 경제성 분석

① 개념설계

□ **개념설계 개요**

- 초초임계 순환유동층 보일러 개념설계 툴을 이용하여 다양한 설계탄을 적용한 초임계 순환유동층 발전 플랜트의 개념설계 수행
- 인도네시아 아역청탄(200MW), 베트남 무연탄(250MW), 남아공 무연탄(315MW) 등 실제 실증 예상지역 및 연료를 이용하여 개념설계 도출
- 초임계 순환유동층 보일러의 발전플랜트 전반에 관한 주요 개념 설계안을 소개하고, 각각 용량별 연료별에 따라 부합하는 순환유동층 보일러의 설계에 대한 기술적 개발 사안 및 설계

결과를 언급하고자 함

□ **순환유동층 발전 플랜트 계통 설계도**

❍ 부지 배치

- 배치 계획

  - 발전시설의 주요시설물 배치는 운전 및 유지보수에 필요한 공간의 확보를 충분히 고려하여 배치하며, 다음과 같은 기본사항을 중점으로 계획하였다. 발전설비, 연료저장창고 및 각종 탱크류는 기초 지반이 양호하고 인입, 인출이 용이한 곳에 배치
  - 주변 지역과의 조화, 경관 및 미관을 고려하며, 지역주민과의 유대를 강화하고 친근감을 줄 수 있도록 배치
  - 증기터빈 발전기는 보일러 인근에 배치하여 주증기관의 길이가 최소가 될 수 있도록 한다. 주변압기는 발전기와 가능한 가까운 곳에 배치하며 SWITCH YARD는 송전선 인출이 용이한 곳에 배치
  - 주택가 쪽에는 오염물질 발생이 없고 소음발생이 없도록 배치하여 환경영향을 최소화하고, 주진입 도로는 부지 경계에 접한 주도로를 활용하고 출입 동선이 용이하도록 배치
  - 냉각탑은 통풍이 잘되고 주기기와 가능한 원거리에 위치하도록 배치하며, PLUME에 의한 FOGGING 등의 환경 영향이 최소가 되도록 설치
  - 보일러는 연료저장창고로부터 연료의 이송, 주입이 원활하도록 설치하고, 배기가스 처리계통 및 연돌을 통한 배기가스 배출이 용이하도록 배치
  - 보일러 및 부대설비는 터빈 발전기 및 부대설비와 함께 발전소를 구성하는 중요한 설비 중의 하나로 부지의 중앙에 위치하도록 배치
  - 보일러 및 부대설비를 발전소부지 중앙에 배치함으로써 연료의 공급이 원활하도록 하고 각 설비와의 연계를 위한 동선 확보가 용이하도록 하고, 터빈 발전기동과 인접하여 위치하도록 함으로써 보일러로부터 생산된 증기가 터빈으로 공급되는데 소요되는 거리를 최소화하여 건설비용 절감 및 운전이 용이하도록 배치
  - 연료저장 및 공급설비는 연료 야적장 및 연료저장 사일로 등으로 구성되며 발전소가 안정적으로 운전되기 위해 가장 중요한 연료 공급의 안정성을 확보하고 발전소 구성 설비와의 간섭이 발생되지 않도록 배치
  - 연료 야적장은 발전소 북측 부지경계면에 위치하도록 배치하여 타 설비와의 간섭을 최소화하였고, 발전소 정문을 통해 들어온 연료공급 차량이 타 설비를 거치지 않고 바로 연료 야적장으로 접근할 수 있도록 동선을 확보
  - 연료저장 사일로는 보일러에 연료와 함께 주입되는 석회석 사일로, 유동사 저장 사일로

등과 함께 위치하도록 하여 동일 계통설비가 인접할 수 있도록 배치하였으며, 특히 보일러에 인접하여 위치하도록 함으로써 콘베이어 등을 통한 보일러 연료주입 등이 원활하도록 함

- 배기가스 및 회처리설비는 전기집진기(백필터), 탈황설비, 탈질설비로 구성되는 배기가스 처리설비와 저회(BOTTOM ASH), 비산회(FLY ASH) 처리설비로 구성되는 회처리 설비로 이루어지며, 배기가스 처리설비 및 회처리 설비는 보일러 설비와 연계되는 설비로 보일러와 인접하도록 배치
- 배기가스 처리설비는 보일러 배기가스의 흐름이 원활하게 대기로 배출될 수 있도록 보일러에 인접하여 배치
- 배기가스 처리설비를 구성하는 각 처리설비는 그 배치순서에 따라 백필터부터 최종적으로 연돌을 통해 대기로 배출될 수 있도록 흐름에 따라 배치
- 회처리 설비는 배기가스 처리설비와 연계될 수 있는 설비로서 배기가스 처리설비와 인접하여 위치하도록 함으로써 비산회 및 저회의 처리가 원활하도록 배치
- 증기터빈 건물 내에 증기터빈 발전기와 급수가열기, 보일러 급수펌프, 복수기 등의 주요기기를 배치하고, 전기유압식 제어기, 윤활유 계통 및 발전기 냉각 계통설비 등의 보조설비도 동일 건물 내에 배치하여 기능상 원활한 운전이 이루어지도록 하고, 증기터빈 건물은 보일러 설비와 함께 발전소 부지 중앙에 배치함으로써 보일러와 가장 인접하도록 함
- 증기터빈 복수기에 소요되는 냉각수(순환수)는 냉각탑과 함께 터빈이 원활하게 운전되어 전력생산이 이루어질 수 있도록 하는 설비로서 터빈과 연계되는 설비이나 순환수 냉각을 위해 운전되는 냉각탑으로부터의 비산수분이 발생하기 때문에 터빈 건물과 인접하게 배치하여서는 안 되며, 수처리설비는 보일러의 급수의 보충수 및 순환수 보충수 공급을 위한 설비이므로 냉각탑과 인접하도록 배치하는 것이 타당하며, 따라서 냉각탑 및 수처리설비는 발전소 부지의 서쪽 경계면 측에 배치하였으며, 타 설비와 이격거리를 유지함으로써 비산수분 등으로 인한 타 설비에 미치는 영향을 최소화 함
- 주변 전소는 터빈 발전기로부터 생산된 전력의 송전 및 발전소 운전에 소요되는 기동전력의 수전 등을 위한 설비로서 고압설비가 설치되게 되므로 타 설비와 격리하여 배치될 필요가 있어, 본 발전소에서는 발전소 부지 동쪽 경계면에 주변 전소를 배치하여 전력의 송·수전이 원활하게 이루어질 수 있도록 하였고, 타 설비와 격리되도록 함으로써 전기로 인한 위험을 최소화 함

– 발전시설의 주요건축물

- 초초임계 순환유동층 발전소에 설치될 건물 및 주요 구조물은 표와 같음

[표 18] 발전시설 건물 및 주요구조물 현황

건물	주요 옥외구조물
보일러동	FLY ASH SILO
증기터빈 발전기동	BED ASH SILO
제어동	FUEL SILO
배기가스처리설비동	BED MATERIAL SILO
관리동	LIMESTONE SILO
수/폐수처리동	원수저장탱크
폐수처리동	순수저장탱크
부품창고 및 정비동	냉각탑
경비실	SWITCH YARD
	순환수 펌프장
	굴뚝

❍ 열평형도

- 주증기/재열증기 조건

• 일반사항

: 발전소 열효율을 향상시키기 위하여 사용되는 대표적인 방법은 주증기의 압력 및 온도를 증가시키는 것이며, 본 대상 초임계 순환유동층 보일러의 경우, TMCR 기준으로 주증기 압력 및 온도는 각각 250bar, 593℃이며, 재열증기 압력 및 온도는 각각 53.09bar, 593℃로 주증기 및 재열증기 유량은 용량에 따라 상이하며, 터빈 및 복급수계통은 상용 프로그램 THERMOFLEX로 증기 CYCLE을 구성함

• 급수가열기 단수

: 발전소의 열 CYCLE은 일반적으로 급수가열기 단수가 증가할수록 그 효율이 향상되나, 현실적으로는 터빈으로부터의 추기점을 충분히 만들 수 없는 제작상의 문제점과 효율 상승과 급수가열기 단수 증가의 경제성 문제에서 제한을 받게 되고, 보일러의 효율을 향상시키기 위해 절탄기 입구 급수의 온도를 가능한 한 높게 하여 배기가스의 산노점 이상으로 운전될 수 있도록 하고 CYCLE의 효율 또한 상승시키기 위하여, 200MW 발전소는 탈기기 전단을 3단의 저압급수 가열기를, 탈기기 후단에 2단의 고압급수 가열기를 구성함으로써 급수가열기 단수를 6단으로 구성함

[표 19] 주증기·재열증기 조건

TYPE	주증기 조건			재열증기 조건		
	온도(℃)	압력(BAR)	유량(KG/S)	온도(℃)	압력(BAR)	유량(KG/S)
200MW (베트남 무연탄)	593℃	250BAR	169.1KG/S	593℃	53.09BAR	133.8KG/S
250MW (인니 아역청탄)			209.7KG/S			166.9KG/S
315MW (남아공 무연탄)			262.7KG/S			210.9KG/S

- 탈기기 운전압력 및 최종급수온도

  : 탈기기 운전압력은 터빈 추기증 기량에 영향을 주는 인자로서 운전압력이 높을 경우 추기 증기량이 증가하여 터빈의 발전출력이 감소하게 되며, 본 발전소와 같이 탈기기 전·후단에 급수가열기가 설치되는 경우는 급수가열기로 유입되는 급수를 가열하기 위해 터빈으로부터 증기를 추기하게 되므로 이 경우 급수가열기를 위한 추기 증기량과 탈기기를 위한 추기 증기량을 적절히 조절함으로써 증기터빈의 팽창선도에 균형을 유지할 수 있도록 하여야 하며 그럼으로써 터빈의 운전이 원활히 이루어질 수 있도록 하여야 함

  : 일반적으로 탈기기나 급수가열기로 공급되는 추기 증기는 각각의 설계조건(운전압력, 최종급수온도)에 가장 근접한 추기단(추기압력)에서 추기하는 것이 일반적이므로 이러한 점을 고려하여 추기 증기량이 균형을 이룰 수 있도록 운전압력과 최종 급수온도를 설정하여야 함

  : 본 발전소에서는 급수가열기는 FLASH BACK WITH DRAIN COOLER 타입으로 터빈 TMCR 조건에서의 급수가열기, 탈기기 운전조건 및 최종급수온도를 선정

- 복수기 진공압력

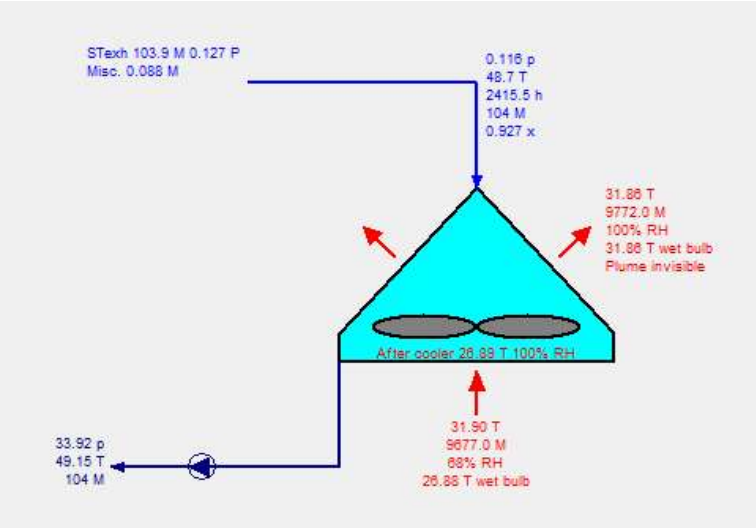
  : 복수기의 진공압력은 터빈의 출력에 영향을 미치는 인자로 복수기의 형태 및 냉각수 종류 등에 따라 다르게 설계됨

  : 일반적으로 해수를 냉각수로 사용하는 국내 표준석탄화력 발전소의 경우 표면접촉식 복수기를 채용하고 있고, 초초임계 순환유동층 보일러의 경우, 베트남, 인도네시아, 남아공에 설치될 예정으로 복수기는 공기 냉각식 타입으로 결정함

  : 공기의 입구 온도는 21.99℃를 사용하였으며 출구 온도는 28.89℃로 가정하여 복수기로 유입될 유량을 계산하였고, 복수기 출구 복수 진공압력은 0.4147bar 및 온도는 48.69℃로 설계

[표 20] 200MW 베트남 무연탄 USC-순환유동층 보일러 복수기 설계데이터

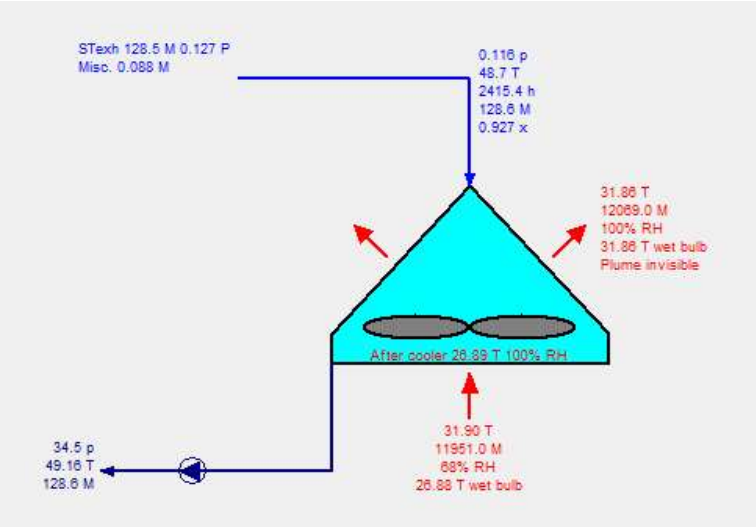
CONDENSER: Air cooled condenser with continuous air saturation				
	P	T	h	M
	bar	C	kJ/kg	kg/s
LPT exhaust	0.1272	50.61	2416.7	103.9
LPT SS to condenser			3181.2	0.0756
Drain from GSC	0.827	94.47	395.5	0.0882
Condenser in	0.1156	48.70	2415.5	104
Condensate	0.4147	48.69	203.8	104
Cooling air in		31.90		9677
Cooling air out		31.86		9772
Main condenser heat rejection =	230105	kJ/s		
Heat exchanger arrangement	A-Frame			



[그림 79] 200MW 베트남 무연탄 USC-순환유동층 보일러 복수기 개략도

[표 21] 250MW 인니 아역청탄 USC-순환유동층 보일러 복수기 설계데이터

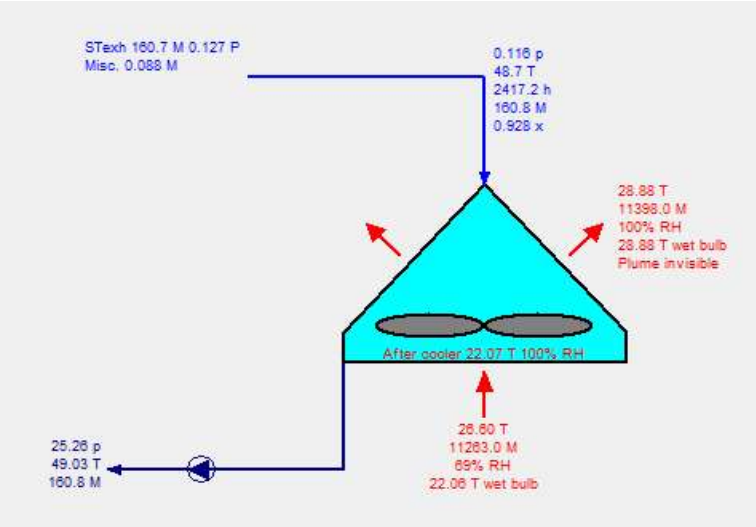
CONDENSER: Air cooled condenser with continuous air saturation				
	P	T	h	M
	bar	C	kJ/kg	kg/s
LPT exhaust	0.1272	50.61	2416.4	128.4
LPT SS to condenser			3180.0	0.0756
Drain from GSC	0.827	94.47	395.5	0.0882
Condenser in	0.1156	48.70	2415.4	128.6
Condensate	0.4147	48.69	203.8	128.6
Cooling air in		31.90		11951
Cooling air out		31.86		12069
Main condenser heat rejection =	284358	kJ/s		
Heat exchanger arrangement	A-Frame			



[그림 80] 250MW 인니 아역청탄 USC-순환유동층 보일러 복수기 개략도

[표 22] 315MW 남아공 무연탄 USC-순환유동층 보일러 복수기 설계데이터

CONDENSER: Air cooled condenser with continuous air saturation				
	P	T	h	M
	bar	C	kJ/kg	kg/s
LPT exhaust	0.1272	50.61	2418.0	160.6
LPT SS to condenser			3178.9	0.0756
Drain from GSC	0.827	94.47	395.5	0.0882
Condenser in	0.1156	48.70	2417.2	160.8
Condensate	0.4147	48.69	203.8	160.8
Cooling air in		26.60		11263
Cooling air out		28.88		11398
Main condenser heat rejection =	355854	kJ/s		
Heat exchanger arrangement	A-Frame			



[그림 81] 315MW 남아공 무연탄 USC-순환유동층 보일러 복수기 개략도

❍ 주요 계통구성 및 설비용량

- 주증기, 증기터빈·발전기 및 부대설비 계통

  • 증기터빈은 보일러에서 공급되는 증기의 열에너지를 운동에너지로 변환시켜 발전기를 가동시키는 기기

  • 열에너지의 일부는 터빈으로부터 추기되어 급수의 가열에 이용되며, 나머지 폐열은 터빈 배기구로 빠져나와 복수기를 통하여 순환수계통으로 방출

  • 설계 기준

    : 터빈은 TANDEM COMPOUND(직렬배열), 3,600rpm, 단류 터빈을 갖는 재열, 재생, 추기 복수식이며, 터빈과 연계되는 부대설비 계통은 적용 가능한 터빈 제작사의 요구사항과 설계 추천방식을 준용

    : 터빈은 보일러의 부하변동 특성을 허용할 수 있도록 설계하고, 터빈은 최대 보증 부하에서 최저부하 범위에 걸쳐 연속적인 운전이 가능하도록 설계

    : 터빈 및 제어밸브는 순차적으로 운전되는 제어밸브로 정압조건에서 운전이 가능하도록 설계

    : 터빈 및 부대설비 계통은 증기압력의 변동을 감당하고 순간적인 부하 상실시 발생하는 증기압력 및 온도의 과도현상에 대처할 수 있도록 하며, 터빈의 급수가열용 추기 단수는 8단으로 설계

  • 계통 구성

    : 보일러로부터 생산된 고온, 고압의 주증기는 주증기 배관을 통해 터빈의 제어밸브로 유입되고, 초기 기동 시 또는 비상정지 시 등 터빈 바이패스 운전이 필요한 상황에 대비하여 터빈 바이패스 계통을 설계

: 터빈 제어밸브로 유입된 주증기는 제어밸브에서 일정한 압력으로 조절된 후 터빈으로 유입되게 되고, 주증기 중 일부가 터빈의 밀봉을 위해 밀봉 증기로 소요되게 되며, 밀봉증기 과류(EXCESS FLOW)는 SSR(SEALING STEAM REGULATOR)와 GSC(GLAND STEAM CONDENSER)를 거쳐 복수기로 유입

: 터빈 바이패스 운전 시 고온·고압의 증기가 곧바로 복수기로 유입될 경우 복수기의 냉각 부하가 과도하게 되어 운전이 어려우므로 적정한 온도와 압력으로 감온, 감압한 후 복수기로 유입되는데, 이 때 감온·감압을 위한 분사수는 보일러 급수펌프 출구에서 일부 분기하여 공급

: 터빈으로 유입된 증기는 터빈의 팽창단을 통과하면서 압력과 온도가 낮아지게 되며, 증기의 팽창력을 이용하여 터빈이 전력을 생산하게 되고, 터빈 내부에서 팽창하는 증기는 고압 급수가열기 및 저압 급수가열기와 탈기기의 운전을 위해 일부 추기되어 급수가열기와 탈기기로 공급되며, 나머지 증기는 터빈 배기단을 거쳐 최종적으로 복수기로 유입되어 응축

- 주요기기 설계 사양

① 증기터빈

· 형식 : 직렬배열형, 단류터빈, 재열, 재생, 추기복수식
· 수량 : 1기
· 정격 출력 : 315,000kW
· 주증기 압력 : 250kg/cm^2
· 주증기 온도 : 593℃
· 주증기 유량 : 169.1, 209.7, 262.7kg/s
· 재열증기 압력 : 53.091bar
· 재열증기 온도 : 593℃
· 재열증기 유량 : 133.8, 166.9, 210.9kg/s
· 정격 배압 : 0.1156bar
· 회전수 : 3,000rpm

② 그랜드 스팀 콘덴서(GLAND STEAM SEAL CONDENSER)

· 형 식 : U-TUBE TYPE
· 수 량 : 100% × 1기

③ 터닝기어(TURNING GEAR)

· 형 식 : MOTOR DRIVEN, MANUAL & AUTOMATIC
· 수 량 : 100% × 1기

- 급수 계통

- 급수 계통은 보일러 급수를 저압 급수가열기를 거쳐 탈기기, 탈기기 하부의 급수 저장 탱크로부터 급수펌프에 의하여 고압 급수가열기를 거쳐 보일러 절탄기 입구로 공급하는 역할을 함

- 설계 기준

: 탈기기는 SPRAY & TRAY TYPE의 급수/증기 접촉부와 수평, 원통형 급수저장탱크로 구성

: 급수 저장탱크는 복수계통으로부터의 급수공급이 정지될 경우에도 일정 시간동안 급수를 공급할 수 있는 용량으로 설계하여 발전소 비상정지계통이 원활히 이루어질 수 있도록 하고 탈기기와 급수가열기는 안전변을 설치하여 증기압력의 변동을 감당하고 순간적인 부하상 실시 발생하는 증기압력 및 온도의 과도현상에 대처할 수 있도록 설계

: 탈기기와 급수가열기는 터빈의 최대 보증 부하에서 최저부하 범위에 걸쳐 연속적인 운전이 가능하도록 설계

• 계통 구성

: 저압 급수가열기에서 급수와 열교환 후 응축된 추기 증기는 각 후단의 저압 급수가열기로 보내지고 1단 저압 급수가열기에서는 복수기로 보내어 짐

: 탈기기는 SPRAY & TRAY TYPE의 급수·증기 접촉부와 수평, 원통형 급수 저장탱크로 구성되며, 100% 용량 1대로 설치하였고 탈기기로 공급된 급수를 탈기기 운전압력에서의 포화온도까지 가열하기 위해 공급되는 추기 증기는 탈기기의 NECK 부분으로 공급되어 급수·증기 접촉부의 상부로 상승하면서 급수와 직접 접촉, 급수를 가열하게 됨

: 복수 펌프를 거쳐 저압 급수가열기 3 - 4단을 거쳐 공급된 급수는 탈기기의 접촉부 상부로 공급되어 하부로 분사되면서 TRAY를 통해 상승하는 가열용 추기 증기와 직접 접촉하게 되며, 포화온도까지 가열됨으로써 급수 내에 존재하는 불응축성 가스가 제거되고 급수 저장탱크에 저장

: 급수 저장탱크에 저장된 급수는 보일러 급수펌프를 통해 고압으로 승압된 후 고압 급수가열기로 보내지고, 보일러 급수펌프는 100% 용량 2대의 전동기 구동식 급수펌프가 설치되며, 급수펌프의 토출 배관에는 최소유량 배관과 유량 제어밸브를 설치하여 급수 저장탱크로 급수를 회수할 수 있도록 하였음

: 고압 급수가열기는 U-TUBE 형식, 수평형으로 100% 용량 1대가 3단으로 설치되며, 배수 냉각기(DRAIN COOLER)가 내장되어 있고, 고압 급수가열기에는 전동기 구동식 차단 밸브 및 바이패스 밸브가 설치 됨

: 고압 급수가열기는 터빈으로부터 고압 급수가열기 동체(SHELL) 측으로 추기 증기를 공급받아 튜브 측 급수를 가열하고, 고압 급수가열기에서 가열된 급수는 유량계를 거쳐 보일러의 절탄기로 공급되게 됨

: 고압 급수가열기에서 급수와 열교환 후 응축된 추기 증기는 탈기기로 보내져 급수 저장탱크에 저장된 급수와 합쳐지게 되며 보일러 급수펌프를 통해 고압 급수가열기로 공급

: 보일러 급수펌프는 100% 용량 2대의 전동기 구동식 급수펌프가 설치되며, 급수펌프의 토출 배관에는 최소유량 배관과 유량 제어밸브를 설치하여 급수 저장탱크로 급수를

회수할 수 있도록 하였고, 보일러의 절탄기로 공급되는 보일러 급수 중의 일부는 주증기의 온도조절을 위해 보일러 과열기에 설치된 과열 저감기에 분사수를 공급하며, 또한 초기 기동 시나 비상정지로 인한 터빈 바이패스 운전시 과열 저감기에 분사수를 공급

- 주요기기 설계 사양

: 급수가열기 설계는 상용프로그램 THERMOFLOW를 이용하였으며, 주요 설계 인자로 TTD(TERMINAL TEMPERATURE DIFFERENCE)와 DCA(DRAIN COOLER APPROACH)를 이용

: TTD는 출구측 급수온도와 급수가열기 포화온도의 차이며, DCA는 급수가열기 DRAIN 출구 온도와 입구측 급수의 온도 차이이며, 본 설계에서는 각 급수가열기 단별로 승온되는 온도를 고려하여 저압 급수가열기에서는 TTD 및 DCA를 각각 2.778℃와 5℃로 가정하여 계산

: 고압 급수가열기에서는 TTD 및 DCA를 각각 - 2.778℃, - 2.467℃, - 1.196℃와 5℃로 가정하여 계산

① 저압 급수가열기(LP FEEDWATER HEATER)
- 형 식 : 수평형, U-TUBE(WITH DRAIN COOLER)
- 수 량 : 100% × 1기(총 3-4단)

② 탈기기(DEAERATOR) 및 고온 급수가열기(HP FEEDWATER HEATER)
- 형 식 : 수평형, SPRAY & TRAY TYPE(탈기기), U-TUBE(FWH)
- 수 량 : 100% × 1기(탈기기), 100% × 1기(총 3 단, FWH)

[표 23] 200MW 베트남 무연탄 USC-순환유동층 보일러 탈기기 및 고온 급수가열기 설계자료

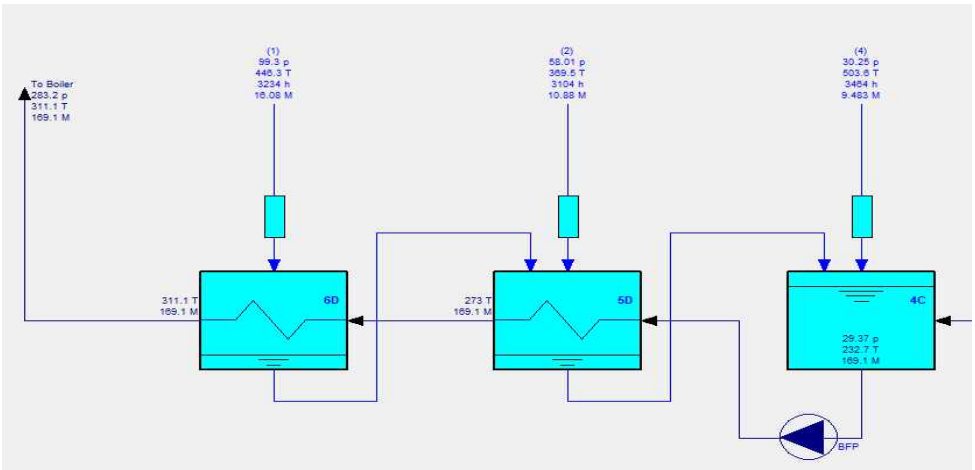
FWH4: Deaerator										
Feedwater					Bleed Steam					
Stream	P	T	h	M	Stream	P	T	h	M	Tsat
	bar	C	kJ/kg	kg/s		bar	C	kJ/kg	kg/s	C
					IPT1 port (4)	30.25	503.6	3463.8	9.483	
Feedwater in	29.37	191.1	813.3	132.7	Steam in	29.37	502.1	3461.4	9.483	232.7
					Flash back			1070.5	26.96	
Feedwater out	29.37	232.7	1002.8	169.1						
Booster pump in	31.62	232.7	1002.8	169.1						
FW pump in	39.09	232.9	1003.9	169.1						
FW pump out	284.3	241.9	1050.7	169.1						

FWH5: Flash Back with Drain Cooler										
Feedwater					Bleed Steam					
Stream	P	T	h	M	Stream	P	T	h	M	Tsat
	bar	C	kJ/kg	kg/s		bar	C	kJ/kg	kg/s	C
					HPT exit port (2)	58.01	369.5	3104.4	10.88	
Feedwater in	284.3	241.9	1050.7	169.1	Steam in	56.32	367.2	3102.1	10.88	271.5
					Flash back			1224.7	16.08	
Feedwater out	283.7	273.0	1196.0	169.1	Drain to FWH4	56.32	246.9	1070.5	26.96	

Terminal temperature difference =	-1.56	C
Drain cooler approach =	5.00	C

FWH6: Flash Back with Drain Cooler										
Feedwater					Bleed Steam					
Stream	P	T	h	M	Stream	P	T	h	M	Tsat
	bar	C	kJ/kg	kg/s		bar	C	kJ/kg	kg/s	C
					HPT port (1)	99.3	446.3	3234.5	16.08	
Feedwater in	283.7	273.0	1196.0	169.1	Steam in	96.41	443.7	3232.2	16.08	308.3
Feedwater out	283.2	311.1	1386.9	169.1	Drain to FWH5	96.41	278.0	1224.7	16.08	
To boiler	283.2	311.1	1386.9	169.1						

Terminal temperature difference =	-2.78	C		
Drain cooler approach =	5.00	C		
Total bleed steam for FWH system =	64.39	kg/s	202317	kJ/s



[그림 82] 200MW 베트남 무연탄 USC-순환유동층 보일러 탈기기, 고온 급수가열기 구성

[표 24] 250MW 인니 아역청탄 USC-순환유동층 보일러 탈기기 및 고온 급수가열기 설계자료

FWH5: Deaerator										
Feedwater					Bleed Steam					
Stream	P	T	h	M	Stream	P	T	h	M	Tsat
	bar	C	kJ/kg	kg/s		bar	C	kJ/kg	kg/s	C
					IPT1 port (4)	30.25	503.7	3463.9	11.76	
Feedwater in	29.37	191.1	813.3	164.5	Steam in	29.37	502.2	3461.6	11.76	232.7
					Flash back			1070.5	33.46	
Feedwater out	29.37	232.7	1002.8	209.7						
Booster pump in	31.62	232.7	1002.8	209.7						
FW pump in	39.09	232.9	1003.9	209.7						
FW pump out	284.3	241.9	1050.7	209.7						

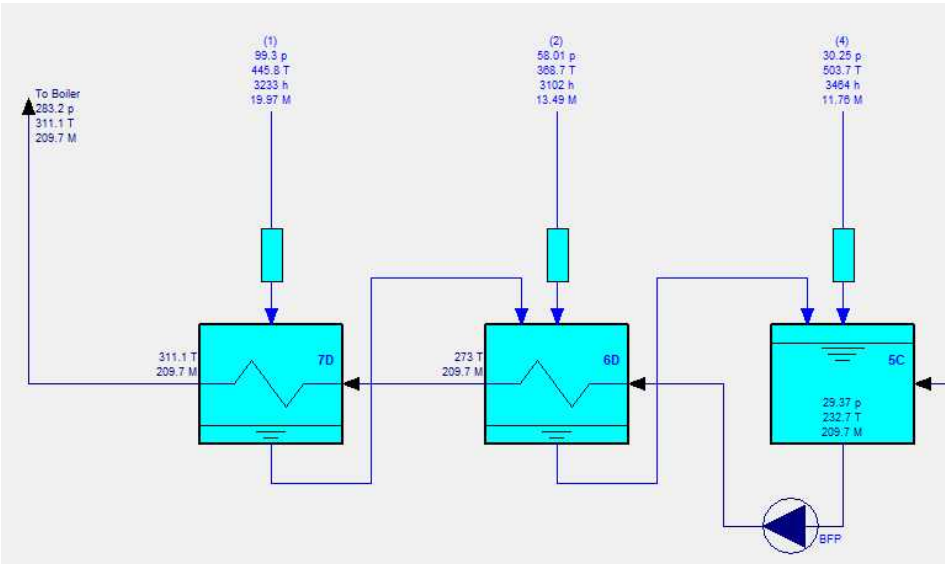
FWH6: Flash Back with Drain Cooler										
Feedwater					Bleed Steam					
Stream	P	T	h	M	Stream	P	T	h	M	Tsat
	bar	C	kJ/kg	kg/s		bar	C	kJ/kg	kg/s	C
					HPT exit port (2)	58.01	368.7	3102.4	13.49	
Feedwater in	284.3	241.9	1050.7	209.7	Steam in	56.32	366.5	3100.1	13.49	271.5
					Flash back			1224.6	19.97	
Feedwater out	283.7	273.0	1195.9	209.7	Drain to FWH5	56.32	246.9	1070.5	33.46	

Terminal temperature difference =	-1.53	C
Drain cooler approach =	5.00	C

FWH7: Flash Back with Drain Cooler										
Feedwater					Bleed Steam					
Stream	P	T	h	M	Stream	P	T	h	M	Tsat
	bar	C	kJ/kg	kg/s		bar	C	kJ/kg	kg/s	C
					HPT port (1)	99.3	445.8	3233.1	19.97	
Feedwater in	283.7	273.0	1195.9	209.7	Steam in	96.41	443.2	3230.7	19.97	308.3
Feedwater out	283.2	311.1	1386.9	209.7	Drain to FWH6	96.41	278.0	1224.6	19.97	
To boiler	283.2	311.1	1386.9	209.7						

Terminal temperature difference =	-2.78	C
Drain cooler approach =	5.00	C

Total bleed steam for FWH system =	80.37	kg/s	251268	kJ/s



[그림 83] 250MW 인니 아역청탄 USC-순환유동층 보일러 탈기기, 고온 급수가열기 구성

[표 25] 315MW 남아공 무연탄 USC-순환유동층 보일러 탈기기 및 고온 급수가열기 설계자료

FWH5: Deaerator										
Feedwater					Bleed Steam					
Stream	P	T	h	M	Stream	P	T	h	M	Tsat
	bar	C	kJ/kg	kg/s		bar	C	kJ/kg	kg/s	C
					IPT1 port (5)	20.4	445.0	3346.2	10.28	
Feedwater in	19.81	180.7	766.9	202.3	Steam in	19.81	443.6	3343.8	10.28	211.9
					Flash back			969.3	50.13	
Feedwater out	19.81	211.9	906.3	262.7						
Booster pump in	22.05	211.9	906.3	262.7						
FW pump in	29.53	212.1	907.4	262.7						
FW pump out	284.8	220.5	954.6	262.7						

FWH6: Flash Back with Drain Cooler										
Feedwater					Bleed Steam					
Stream	P	T	h	M	Stream	P	T	h	M	Tsat
	bar	C	kJ/kg	kg/s		bar	C	kJ/kg	kg/s	C
					IPT1 port (4)	34.65	524.8	3506.6	8.783	
Feedwater in	284.8	220.5	954.6	262.7	Steam in	33.65	523.3	3504.3	8.783	240.3
					Flash back			1076.3	41.34	
Feedwater out	284.3	243.1	1056.2	262.7	Drain to FWH5	33.65	225.5	969.3	50.13	

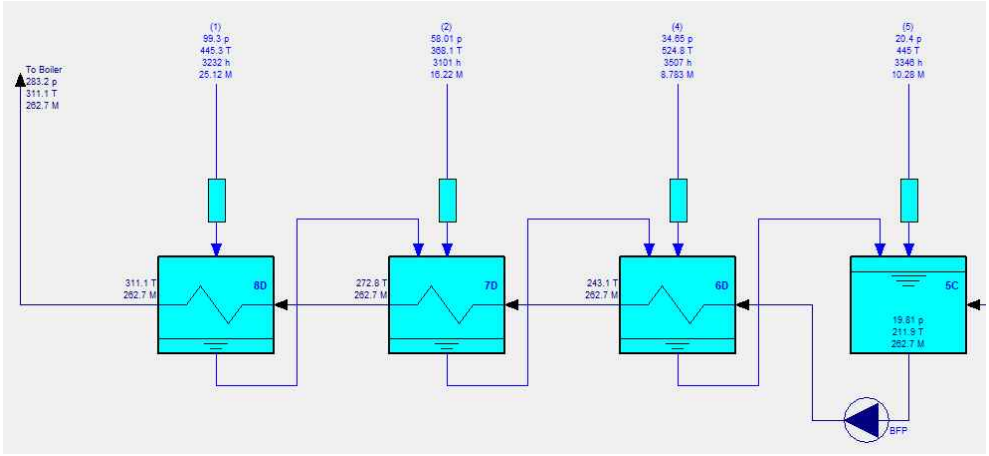
Terminal temperature difference =	-2.78	C
Drain cooler approach =	5.00	C

FWH7: Flash Back with Drain Cooler										
Feedwater					Bleed Steam					
Stream	P	T	h	M	Stream	P	T	h	M	Tsat
	bar	C	kJ/kg	kg/s		bar	C	kJ/kg	kg/s	C
					HPT exit port (2)	58.01	368.1	3100.6	16.22	
Feedwater in	284.3	243.1	1056.2	262.7	Steam in	56.32	365.8	3098.3	16.22	271.5
					Flash back			1223.8	25.12	
Feedwater out	283.7	272.8	1195.2	262.7	Drain to FWH6	56.32	248.1	1076.3	41.34	

Terminal temperature difference =	-1.38	C
Drain cooler approach =	5.00	C

FWH8: Flash Back with Drain Cooler										
Feedwater					Bleed Steam					
Stream	P	T	h	M	Stream	P	T	h	M	Tsat
	bar	C	kJ/kg	kg/s		bar	C	kJ/kg	kg/s	C
					HPT port (1)	99.3	445.3	3231.8	25.12	
Feedwater in	283.7	272.8	1195.2	262.7	Steam in	96.41	442.7	3229.4	25.12	308.3
Feedwater out	283.2	311.1	1386.9	262.7	Drain to FWH7	96.41	277.8	1223.8	25.12	
To boiler	283.2	311.1	1386.9	262.7						

Terminal temperature difference =	-2.78	C		
Drain cooler approach =	5.00	C		
Total bleed steam for FWH system =	101.1	kg/s	315319	kJ/s



[그림 84] 315MW 남아공 무연탄 USC-순환유동층 보일러 탈기기, 고온 급수가열기 구성

- 복수계통

  - 복수계통은 터빈 배기증기를 복수기에서 응축시켜 복수기 하단의 HOT WELL에 모아 복수펌프에 의해 GLAND STEAM CONDENSER를 거쳐 탈기기 및 급수 저장탱크로 공급
  - 복수기는 매우 높은 진공상태에서 운전되므로 운전 중 대기가 복수기 내부로 유입되지 않도록 철저히 밀봉되도록 설계
  - 복수펌프는 흡입측이 복수기 내부의 진공압력에 의해 흡입, 토출 운전이 원활하지 않을 수 있으므로 충분한 흡입 양정을 확보할 수 있도록 설계
  - 복수기는 정상운전 및 비상시 최대증기량을 응축할 수 있도록 충분한 냉각 부하를 감당할 수 있도록 설계

- 용수 공급, 수처리, 약품 주입 및 시료 채취계통

  - 용수는 발전소 부지 인근의 상수관에서 분기하여 발전소 운전에 소요되는 용수를 공급
  - 용수공급계통 및 수처리계통은 원수저장 및 공급계통, 순수제조 및 공급계통으로 구분되며 수질 관리를 위한 순환수처리계통, 약품 주입 및 시료 채취계통으로 구성
  - 원수저장 및 공급계통

    : 원수공급 계통으로부터 공급된 원수는 연수화 설비를 거쳐 소내 공급에 양호한 수질의 용수로 저장 탱크에 저장된 후 원수공급계통에 의해 냉각탑 보충수를 포함한 소내 공정수, 음용수 및 순수제조설비로 공급
  - 순수제조 및 공급계통

    : 원수는 보충수 펌프로 이송되어 활성탄 여과기에서 물속에 포함된 부유물질 및 잔류 염소가스를 제거한 뒤 수질을 개선키 위해 수중의 양이온 및 음이온은 양·음이온 교환수지를 통해 제거된 후 순수 저장탱크에 저장

: 순수 저장 탱크에 저장된 순수는 순수 공급펌프를 통해 발전시설 내의 응축수 탱크 및 지역 난방계통의 보충수 등 각 소요처로 공급

- 약품 주입 및 시료 채취계통

: 약품 주입계통은 보일러 급수, 관수 및 응축수 계통의 각종 기기 및 배관의 부식을 방지하기 위하여 수중 용존산소를 탈산소제로 제거하고, 운전조건에 따른 pH를 적절히 유지하기 위하여 암모니아(NH_4OH)를 주입하며 보일러 관수에 의한 SCALE 생성방지를 위하여 인산염(PHOSPHATE)을 주입하는 설비계통

: 시료 채취계통은 급수, 관수 및 응축수 계통의 수질 관리를 위하여 여러 지점에서 시료수가 채취되며 시료 냉각기 및 분석기 등이 장치된 SAMPLING RACK으로 유도되어 수질분석이 될 수 있도록 함

- 음용수 급수설비

: 생활용수는 원수를 공급받아 생활용수 저장 탱크에 저장

: 생활용수 저장 탱크는 건물의 옥상에 설치되는 고가탱크이며, 이곳으로부터 각 생활용수 수요처에 공급

- 폐수처리 계통

- 폐수처리 계통은 발전시설에서 발생되는 폐수를 폐수 특성별로 구분 집수하여 적정 처리 후 최종 방류 수조를 거쳐 방류시키는 설비이며, 이들 폐수는 물리·화학적 처리 방식을 적용하여 중화, 침전, 응집, 여과, 흡착처리를 거쳐 처리수는 하수종말처리시설로 인입하고 슬러지는 농축, 탈수 등의 공정을 거치며 탈수 케익은 위탁처리 함

- 보일러 산세정, 터빈발전기 폐윤활유 등은 전문처리 업체에 위탁처리하는 것으로 가정

❍ 초초임계 순환유동층 보일러 사양 결정

- 기본적인 보일러 사양 결정은 아래와 같은 순서에 의해서 결정됨



[그림 85] 보일러 기본 사양 결정 순서도

- 연료 결정 및 성상 분석

  : 본 설계에 사용된 연료는 무연탄(베트남, 남아공), 아역청탄(인도네시아)로 결정

- 보일러 종류 결정

  : 본 설계에서는 저급탄을 연료로 사용하는 데 가장 적합한 초초임계 순환유동층 보일러로 결정함

- 증기터빈 사양 결정

  : 주증기 압력·온도·유량 : 250bar, 593℃, 262.7kg/s

  : 재열증기 압력·온도·유량 : 53bar, 593℃, 210.9kg/s

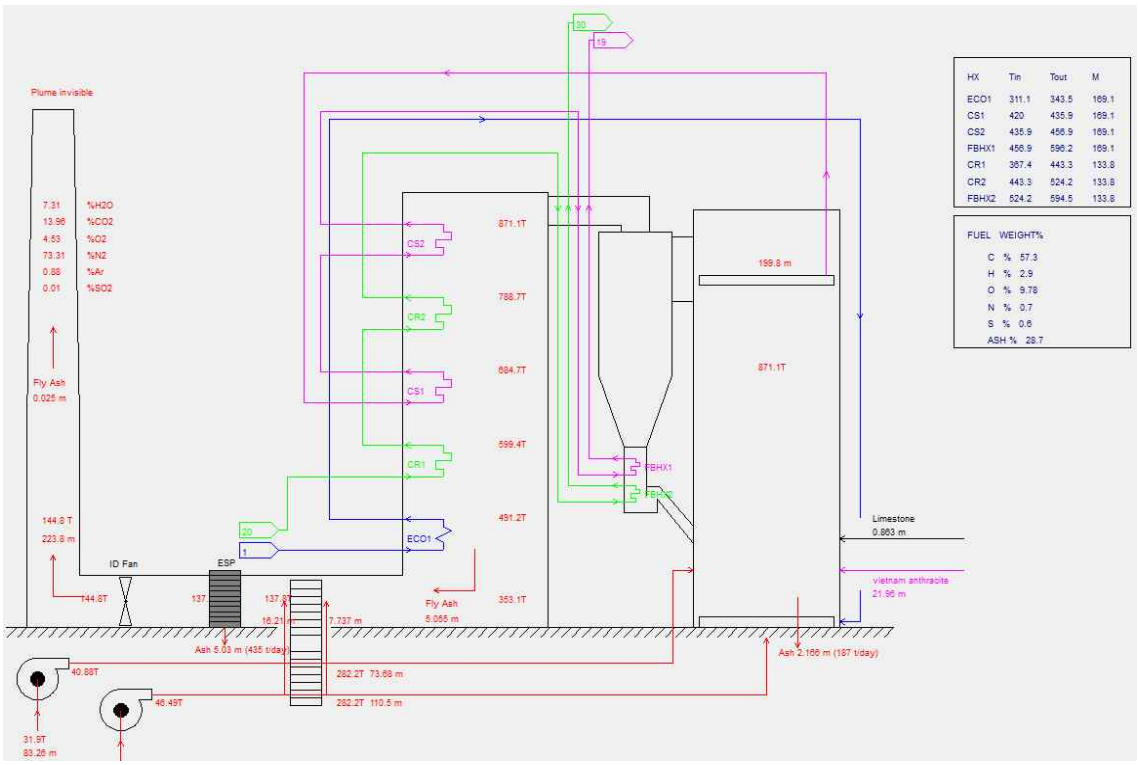
  : 일반적으로 터빈 사양은 터빈 입구 증기 조건에 의해서 결정이 되며, 본 설계에서는 주증기 조건은 250bar, 593℃이며 재열증기 조건은 53bar, 593℃임

- 증기 CYCLE 결정

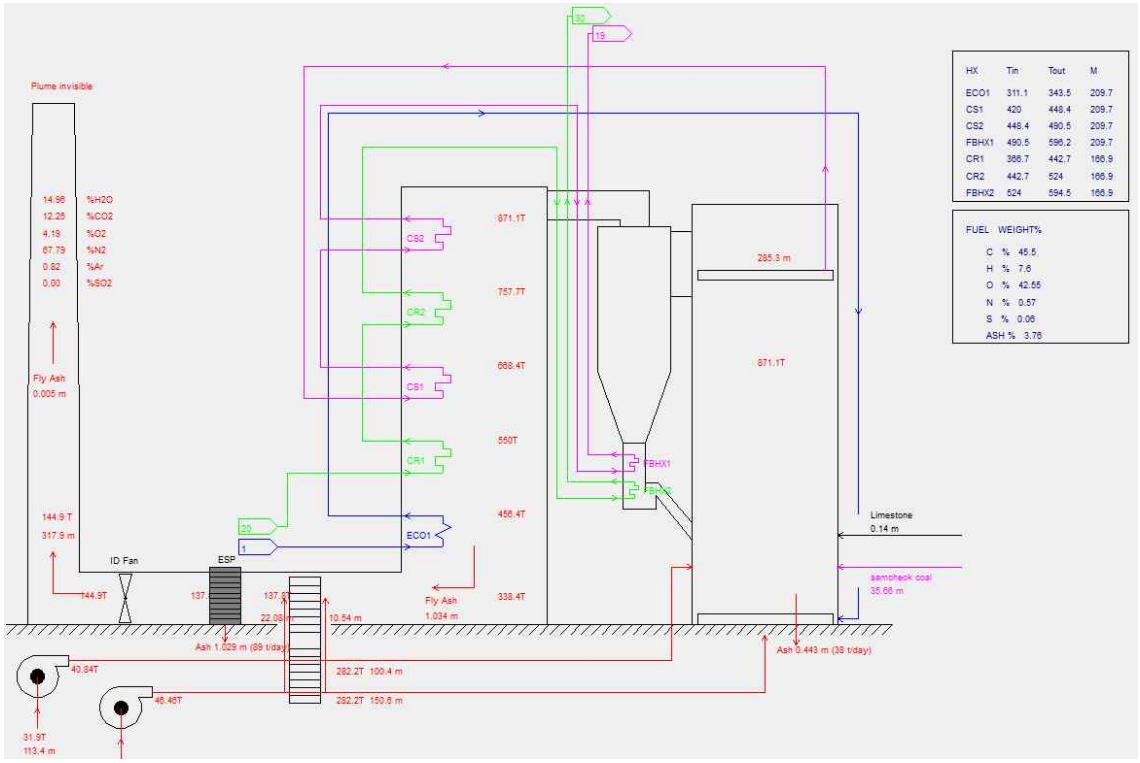
  : 대용량 보일러의 경우, 효율 상승을 위해 재열 및 재생 CYCLE을 이용하며, 본 200, 250, 315MW급 초임계 순환유동층 보일러는 6 - 8개의 급수가열기를 사용하는 재생 CYCLE을 도입

  : 보일러의 열교환기는 크게 절탄기, 증발기, 과열기 및 재열기로 구성

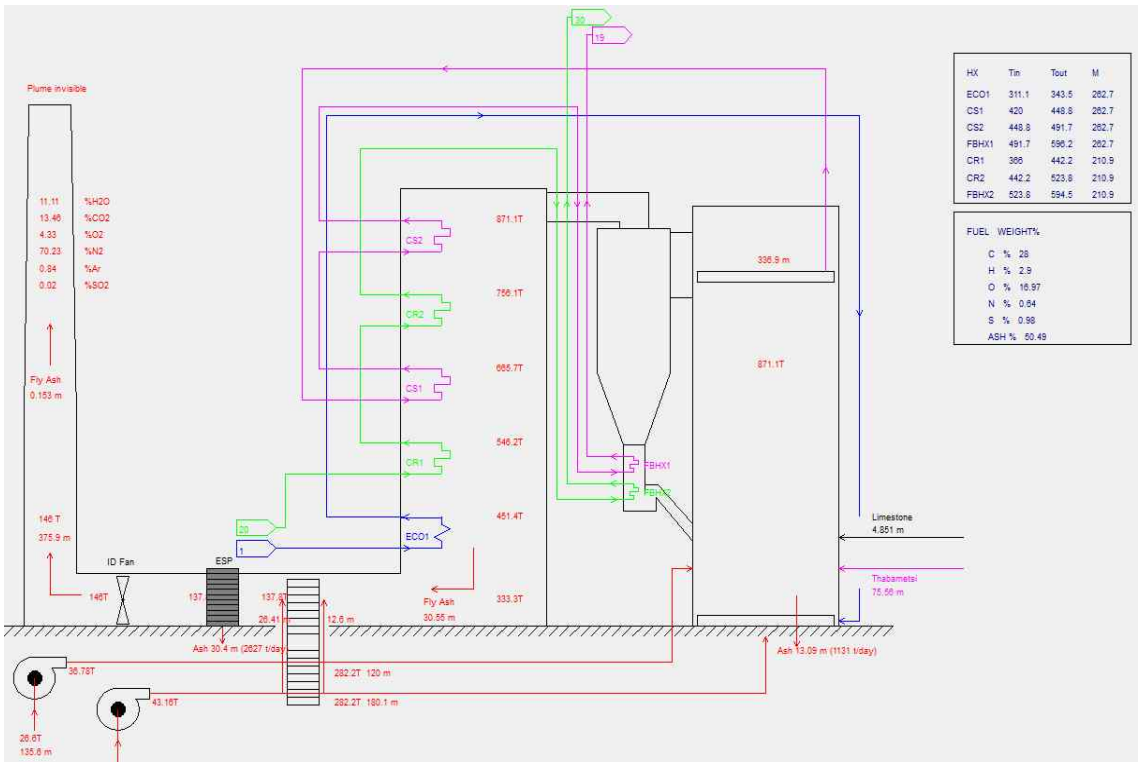
  : 급수 압력은 CONDENSATE FORWARDING PUMP, BOILER FEED BOOSTER PUMP와 BOILER FEEDWATER PUMP를 이용하여 높여주고 각 열교환기 위치별 물·증기의 온도, 압력 및 유량을 함께 표시



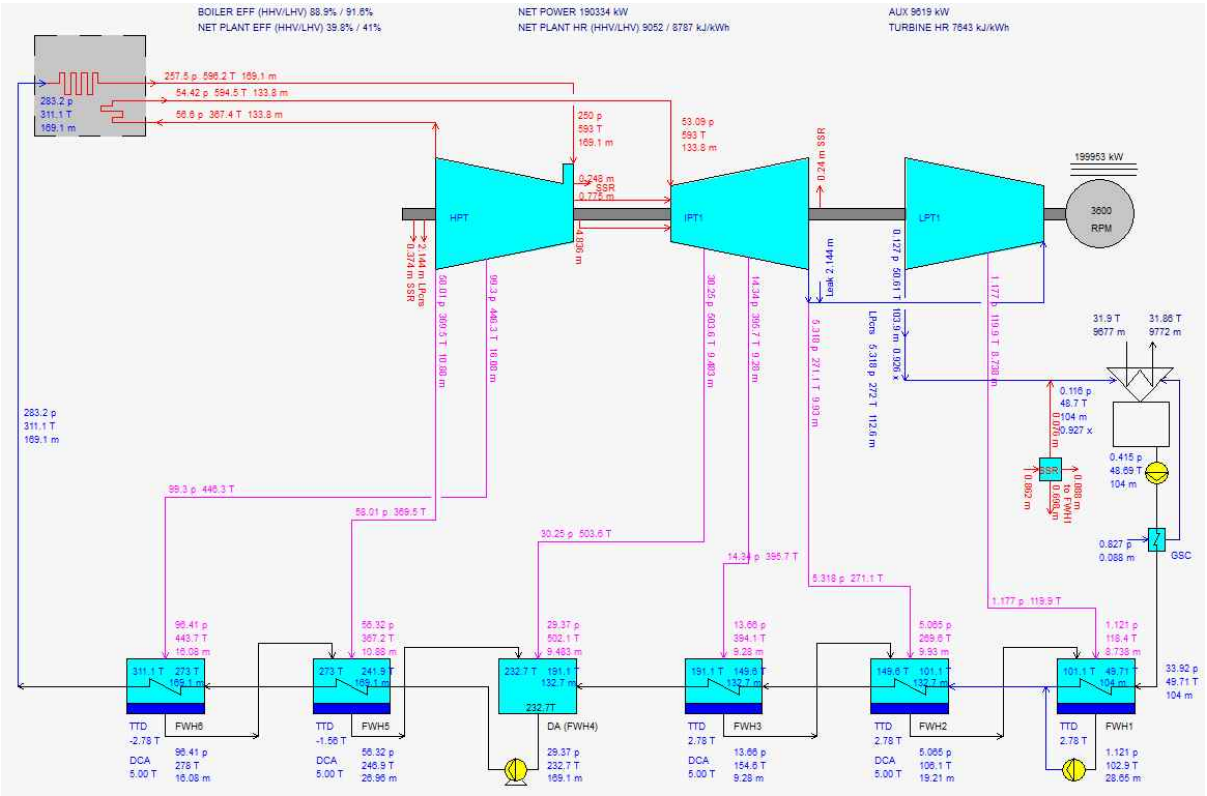
[그림 86] 200MW 초초임계 순환유동층 보일러 구성(베트남 무연탄)



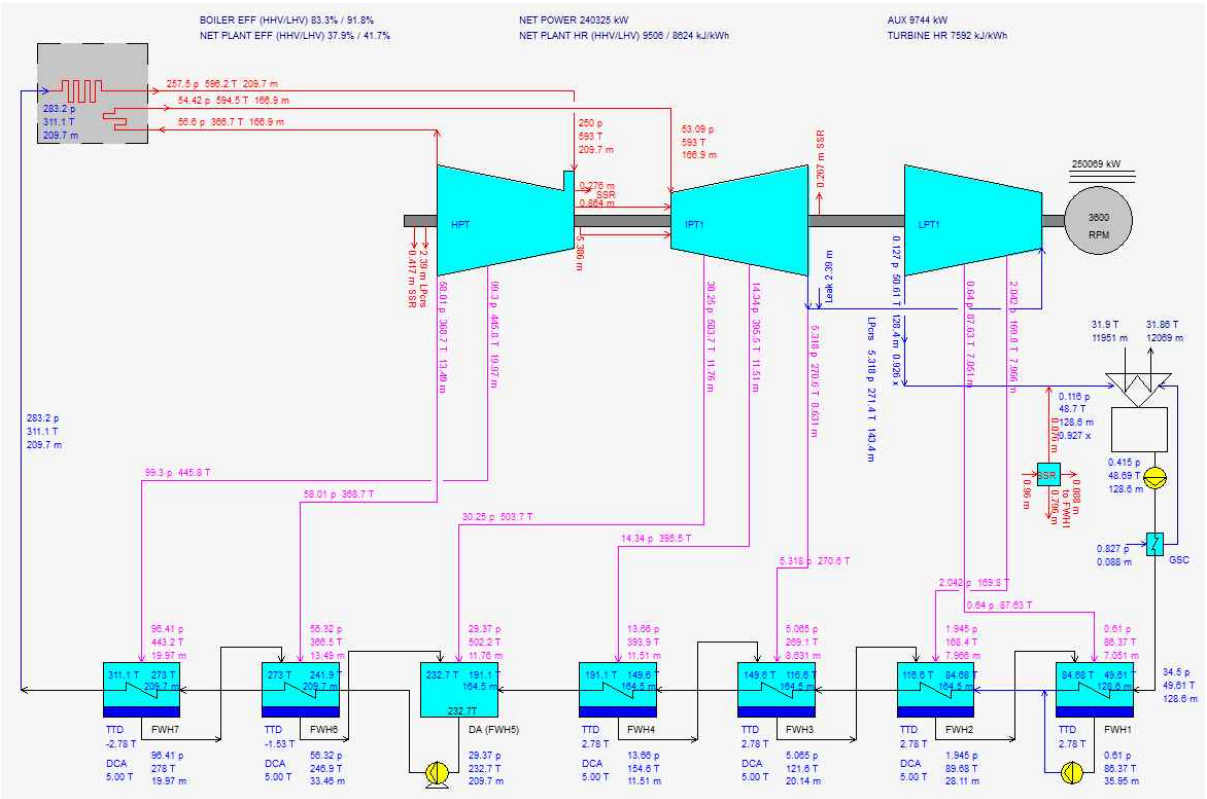
[그림 87] 250MW 초초임계 순환유동층 보일러 구성(인니 아역청탄)



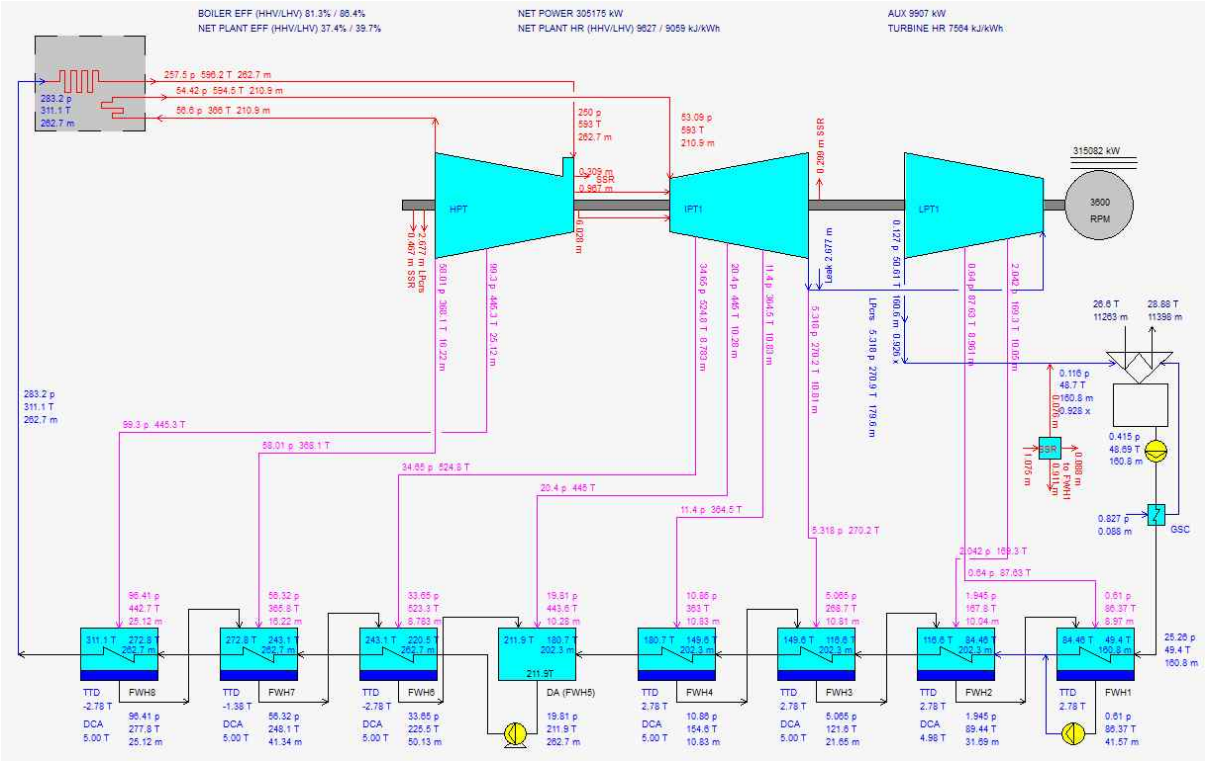
[그림 88] 315MW 초초임계 순환유동층 보일러 구성(남아공 무연탄)



[그림 89] 200MW급 초임계 순환유동층 물·증기 CYCLE 구성(베트남 무연탄)



[그림 90] 250MW급 초임계 순환유동층 물·증기 CYCLE 구성(인니 아역청탄)



[그림 91] 315MW급 초임계 순환유동층 물·증기 CYCLE 구성(남아공 무연탄)

[표 26] 초임계 순환유동층 보일러 설계탄 성상

ITEM		UNIT	베트남 무연탄	인니 아역청탄	남아공 무연탄
CALORIFIC VALUE	AS RECEIVED BASIS (HHV)	kcal/kg	5,207	4,252	2,537
		kJ/kg	21,788	17,794	10,620
TOTAL MOISTURE		wt.%	8.2	33.5	10.00
PROXIMATE ANALYSIS	INHERENT MOISTURE	wt.%	8.2	33.5	1.85
	VOLATILE MATTER		7.5	35.13	18.00
	ASH		28.7	3.76	54.60
	FIXED CARBON		55.6	27.61	25.55
ULTIMATE ANALYSIS	C	wt.%	57.3	45.49	28.00
	H		2.0	3.82	1.80
	O		2.5	12.8	8.09
	N		0.7	0.57	0.64
	S		0.6	0.06	0.98
	ASH		28.7	3.76	50.49
	MOISTURE		8.2	33.5	10.00

[표 27] 200MW 초임계 순환유동층 열손실 계산 결과 및 보일러 효율(베트남 무연탄)

ASME Boiler Energy Balance			
Energy In	**HHV based**	**LHV based**	
Energy input from fuel*	478575	464588	kW
Credit due to entering dry air	4005	4005	kW
Credit due to moisture in entering air	151.3	151.3	kW
Credit due to sensible heat in fuel	0	0	kW
Credit due to sulfation	1857.4	1857.4	kW
Credit due to sensible heat in sorbent	0	0	kW
Credit due to auxiliary equipment power	43.58	43.58	kW
Total credits	6058	6058	kW
Total energy in	484633	470645	kW
Energy Out			
Energy output to steam and water	425525	425525	kW
Loss due to sensible heat in dry gas	24140	24140	kW
Loss due to moisture in fuel	4783	382.7	kW
Loss due to moisture from burning hydrogen	10425	834.3	kW
Loss due to moisture in air	894.6	894.6	kW
Loss due to unburned carbon	4245	4245	kW
Loss due to calcination of sorbent	1483.2	1483.2	kW
Loss due to radiation and unmeasured losses	13150	13150	kW
Total losses	59120	45129	kW
Total energy out	484645	470654	kW
ASME fuel efficiency (Output/Input)	**88.92**	**91.59**	**%**
ASME gross efficiency (Output/(Input+Credits))	**87.8**	**90.41**	**%**
*Energy input from fuel is based upon fuel heating value at 77 F/25 C			
Zero enthalpy: dry gases & liquid water at 77 F/25 C			
The entering air enthalpy is calculated based on air temperature before air heater.			
The leaving gas enthalpy is calculated based on flue gas temperature after air heater.			

[표 28] 250MW 초임계 순환유동층 열손실 계산 결과 및 보일러 효율(인니 아역청탄)

ASME Boiler Energy Balance			
Energy In	**HHV based**	**LHV based**	
Energy input from fuel*	634620	575703	kW
Credit due to entering dry air	5445	5445	kW
Credit due to moisture in entering air	205.7	205.7	kW
Credit due to sensible heat in fuel	0	0	kW
Credit due to sulfation	301.6	301.6	kW
Credit due to sensible heat in sorbent	0	0	kW
Credit due to auxiliary equipment power	70.76	70.76	kW
Total credits	6023	6023	kW
Total energy in	640643	581727	kW
Energy Out			
Energy output to steam and water	528621	528621	kW
Loss due to sensible heat in dry gas	32557	32557	kW
Loss due to moisture in fuel	31723	2539.1	kW
Loss due to moisture from burning hydrogen	32327	2587.5	kW
Loss due to moisture in air	1218.8	1218.8	kW
Loss due to unburned carbon	246.1	246.1	kW
Loss due to calcination of sorbent	240.8	240.8	kW
Loss due to radiation and unmeasured losses	13729	13729	kW
Total losses	112042	53118	kW
Total energy out	640663	581739	kW
ASME fuel efficiency (Output/Input)	**83.3**	**91.82**	**%**
ASME gross efficiency (Output/(Input+Credits))	**82.51**	**90.87**	**%**
*Energy input from fuel is based upon fuel heating value at 77 F/25 C			
Zero enthalpy: dry gases & liquid water at 77 F/25 C			
The entering air enthalpy is calculated based on air temperature before air heater.			
The leaving gas enthalpy is calculated based on flue gas temperature after air heater.			

[표 29] 315MW 초임계 순환유동층 열손실 계산 결과 및 보일러 효율(남아공 무연탄)

ASME Boiler Energy Balance			
Energy In	**HHV based**	**LHV based**	
Energy input from fuel*	816047	767907	kW
Credit due to entering dry air	5308	5308	kW
Credit due to moisture in entering air	174.5	174.5	kW
Credit due to sensible heat in fuel	0.002	0.002	kW
Credit due to sulfation	10436	10436	kW
Credit due to sensible heat in sorbent	0	0	kW
Credit due to auxiliary equipment power	149.9	149.9	kW
Total credits	16069	16069	kW
Total energy in	832116	783976	kW
Energy Out			
Energy output to steam and water	663574	663574	kW
Loss due to sensible heat in dry gas	39523	39523	kW
Loss due to moisture in fuel	20064	1605.7	kW
Loss due to moisture from burning hydrogen	32274	2582.9	kW
Loss due to moisture in air	1272.2	1272.2	kW
Loss due to unburned carbon	35327	35327	kW
Loss due to calcination of sorbent	8333	8333	kW
Loss due to radiation and unmeasured losses	31769	31769	kW
Total losses	168563	120414	kW
Total energy out	832137	783988	kW
ASME fuel efficiency (Output/Input)	**81.32**	**86.41**	**%**
ASME gross efficiency (Output/(Input+Credits))	**79.75**	**84.64**	**%**
*Energy input from fuel is based upon fuel heating value at 77 F/25 C			
Zero enthalpy: dry gases & liquid water at 77 F/25 C			
The entering air enthalpy is calculated based on air temperature before air heater.			
The leaving gas enthalpy is calculated based on flue gas temperature after air heater.			

- 열손실법을 이용하여 보일러 효율 값을 추론한 결과, 각각 88.92%, 83.3%, 81.32%의 보일러 효율을 가지고 있음을 확인
- 앞서 계산한 필요 HEAT DUTY를 보일러 효율로 나눈 결과인 연료 입열양을 이용하여 대략적인 연료 필요량을 예측하여 초기값으로 설정하였으며, 열물질 정산을 통해 계산한 결과 각각 1,898ton/day, 3,081ton/day, 6,528ton/day의 연료량이 필요한 것으로 계산됨

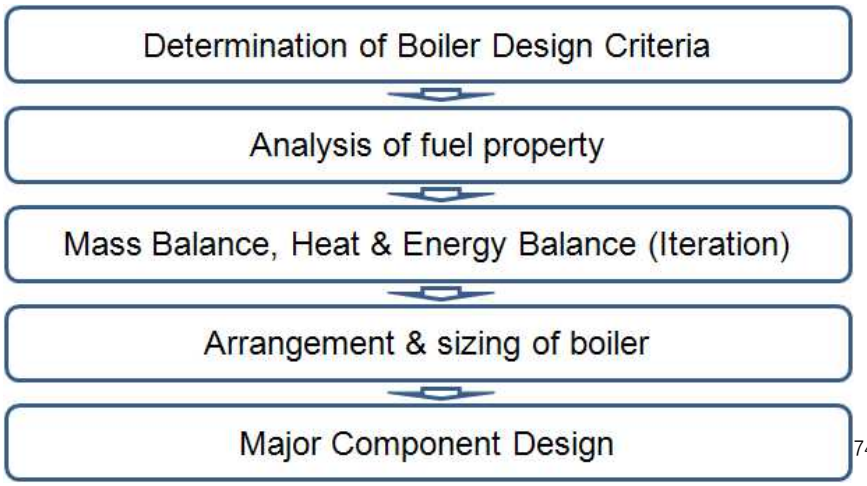
❍ 순환유동층 기본 구성

- 순환유동층 연소로는 연소로, CYCLONE, LOOP-SEAL이 한 LOOP를 형성하는 반응기로 반응기 내에서의 고체 순환은 이 LOOP을 기준으로 순환하고 있음
- CYCLONE을 지나 배출되는 입자 및 가스상 배출 통로인 백패스는 일반적 보일러 관군부의 설계와 유사하며, 이의 전체적 구성 및 열 배분, 배열 등이 순환유동층 설계에 중요한 결과물임
- 순환유동층 보일러에 대한 설계 단계는 다음과 같이 진행됨
  - ① PRELIMINARY DESIGN을 통해 전체 순환유동층 보일러에 대한 개념 및 SPECIFICATION 등을 결정

- ② DETAIL PROPOSAL DESIGN을 통해 설계 상세 조율
- ③ FINAL DESIGN을 수행하며, ⓐ THERMAL DESIGN(PROCESS DESIGN), ⓑ HYDRODYNAMIC DESIGN(CIRCULATION, DRAFT PLAN), ⓒ EQUIPMENT SELECTION(FAN, FEEDER, ESP, ETC) 및 ⓓ MECHANICAL DESIGN(PRESSURE VESSEL CODE) 등을 포함

□ **고효율 순환유동층 설계 절차 및 CASE 별 개념설계**

- 보일러 개념설계는 보일러 설계 기준을 정리하고, 연료의 성상 분석을 통해 필요공기량 및 배기가스 성분 등을 결정
- 연료 회융점을 조사하여 보일러 내의 온도 결정에 반영하게 되고 순환유동층 보일러 설계 시에는 연소로 부분과 백패스 부분으로 나누어 설계하며, 각각에 대해 열 및 물질 정산을 수행
- 고체 영역, 물 증기 영역, 공기 및 배기가스 영역으로 나눈 다음 설정값 수렴 여부를 판단하는 방법으로 반복계산을 통해 계산
- 열물질 정산이 끝나면 보일러의 사이즈 및 열교환기 배열방법을 결정하게 되며 마지막으로 주요 CYCLONE 등 단위 기기 설계를 수행



74)

[그림 92] 보일러 개념설계 순서

- DESIGN CRITERIA
  - 순환유동층 설계 툴을 개발하기 위해 초기 설계 범주를 결정해야 함
  - 설계 범주에서는 플랜트에서 요구하는 보일러의 기본 특성 외에 여러 경험과 기존의 설계 기법 등을 분석 고찰하여 다양한 인자를 결정하며, 공기배분 비율, 일·이차공기 온도 및 배기가스 출구 온도, 미연탄소 비율, 전체 회재 중 비산재 비율 및 노 상부 및 하부 연소 비율 등으로 나누어지며, 이는 기존의 설계 자료를 바탕으로 가정

74) 두산중공업 내부자료

[표 30] 순환유동층 설계 시 설계 범주 인자

Property	Symbol	Unit	Value	Remark
Air Supply Ratio				
Primary	Xprimary air	%	40.1	User Define
Fluidizing air	Xloop seal air	%	5.9	User Define
Secondary	Xsecondary air	%	54.0	Calculation
Gas Temperatures				
Stack	Tstack	℃	135	User Define
Ambient	Tambient	℃	24.0	User Define
Furnace	Tfurnace	℃	870	User Define
Velocities				
Upper Bed	Ug, upper bed	m/s	5	User Define
Backpass	Ug, back pass	m/s	8	User Define
Fuel				
Temperature	Tfuel	℃	24	Input
Specific Heat	cp	kJ/kg*K	0.975	DB
Operation				
Fraction Fly Ash by Weight	Xfly ash	%	30	User Define
Unburned Carbon	Xunburnt C	%	5, 0.5, 5	User Define
Combustion Fractions				
Lower Furnace	α	-	0.7	User Define
Cyclone	β	-	0	User Define
Upper Furnace			0.3	Calculation

- AIR SUPPLY RATIO

  : 순환유동층에 소요되는 유동화 공기는 크게 일차공기, 이차공기 및 유동화 공기로 나눌 수 있으며, 유동화 공기는 순환유동층 구성에 따라 SEAL-POT, 외부열교환기 등에 사용되는 공기를 의미하며, 본 기본설계 툴에서는 3 - 4개의 SEAL-POT, 외부열교환기의 유동화 공기를 기본 구성으로 함

  : 보일러 설계 기준으로 활용되는 공기비는 일차 공기비 40.1%, 이차 공기비 54.0% 그리고 유동화 공기비 5.9%로 설정하여 나머지 항목을 고려하였음

  : 실제 설계 항목 중 SEAL-POT과 외부열교환기의 크기를 결정하고, 그 때 5.9%의 유동화 공기량에 대한 HYDRODYNAMIC CONDITION CHECK를 고려한 결과 만족하는 것으로 판단함

- VELOCITY

  : 순환유동층 연소로 내의 유속과 BACK-PASS 부분에서의 속도로써 이때의 속도는 FULLY DEVELOPED VELOCITY를 의미하며 연소로에서는 4~8m/s의 유속을, 그리고 BACK-PASS의 경우는 10m/s의 이하의 유속을 갖는 것이 일반적임

  : 순환유동층의 HYDRODYNAMIC 조건과 더불어 EROSION 문제와 직접 관계되는

것으로 가스상 입자 농도에 따라 고려함이 일반적이며, 보일러 설계 시 열교환기가 설치되는 부분에서 지나가는 배기가스의 속도 유지를 위해 관 배열 및 간격을 조정하는 것이 필요

- OPERATION

  : 비산회 분율(FRACTION FLY ASH BY WEIGHT)는 연료 내의 회 중 비산회(FLY ASH)로 배출되는 양과 저회(BOTTOM ASH)로 배출되는 양의 비를 나타내며 이는 연료 내의 회 함유량과 입도 그리고 CYCLONE 효율, BACK-PASS 열전달 등과 직접 관계된 값임

  : 일반적으로 연료 내에 회 함유량이 높고, 입도가 클수록 바닥재 회 분율은 높아 본 설계에서는 비산재 대 바닥재 배출비율을 30 : 70의 분율을 갖는 것으로 설계함

  : 미연분의 양 결정은 연료의 연소성과 직접 관계된 값으로, 연소 특성을 추정하여 미연분의 값을 결정하고 이를 고려

  : 본 설계에서는 미연 탄소율을 약 5, 0.5, 5%로 가정하여 계산함

- COMBUSTION FRACTION

  : 연소 분율은 순환유동층 LOOP에서의 연료 연소 분포를 의미하며, 크게 순환유동층 연소로 하부에서의 연소, 상부에서의 연소 그리고 CYCLONE에서의 연소로 나눌 수 있음

  : 연소 분율에 따라 연소에 의한 열 생성 양을 계산하고 이를 통한 열정산을 수행하여 흡열양 및 운전 온도 등을 산정하기 위한 절차이며, 일반적으로 휘발분이 높은 연료일수록 하부 연소 분율 보다는 상부 및 CYCLONE 연소 분율이 높아지며, 입도가 작은 잔여 촤의 연소성이 낮을수록 CYCLONE 연소 분율이 증가하는 경향을 가짐

  : 로 하부에 설치되는 내화물의 높이에 따라 연소 분율이 바뀌게 되며 보일러 설계 시에는 연소 분포를 맞추기 위해서 내화물의 높이 혹은 경사진 부분의 높이를 조절하여 제작하는 것이 일반적임

– 연료특성 분석

- 연료가 결정되면 공업분석, 원소분석, 회성분 분석, 회융점 및 발열량을 측정하여 특성을 분석하고, 그 결과를 바탕으로 연소에 필요한 필요공기량, 석회석 투입량 등을 예측하게 되며 그 방법 및 결과는 아래와 같음

- STOICHIOMETRIC CALCULATION(양론 계산)

  : 순환유동층 연소 개념에서는 다음과 같은 반응을 고려하여 투입되는 연료의 성분 및 양에 따라 전체 양론비로부터 필요공기량 및 석회석 투입량을 산정함

  · COMBUSTION

  $C + O_2 = CO_2 + 32{,}790$ kJ/kg of CARBON,

  $mCn\ Hm + (n + m/4)O_2 = nCO_2 + m/2\ H_2O + Q$

  $S + O_2 = SO_2 + 9{,}260$ kJ/kg of SULFUR

  · CALCINATION

$CaCO_3$ = CaO + CO_2 - 1,830 kJ/kg of $CaCO_3$

$MgCO_3$ = MgO + CO_2 - 1,183 kJ/kg of $MgCO_3$.

· SULFATION

CaO + SO_2 + 1/2 O_2 = $CaSO_4$ + 15,141 kJ/kg S.

$MgCO_3$ = MgO + CO_2 - 1,183 kJ/kg of $MgCO_3$.

· SULFATION

CaO + SO_2 + 1/2 O2 = $CaSO_4$ + 15,141 kJ/kg S.

: 기본 반응식을 통한 석탄 성상에 따른 필요공기량 및 LIMESTONE 필요량에 대한 계산식, 그리고 생성되는 공기량 및 WASTE SOLID 양을 MASS BALANCE 및 CHEMICAL REACTION 양론식을 통해 도출할 수 있음

: 연료 성상 및 특성은 보일러 설계 시 및 운영 시 성능에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 설비 영향을 고려하여야 함



75)

[그림 93] 연료성분별 보일러 설계 및 성능에 미치는 영향

- 열물질 정산

• 순환유동층 보일러 설계 시에는 열물질 정산은 크게 순환유동층 LOOP(FURNACE)와 BACKPASS 부분으로 나누어 계산하게 되고, 각각 출구 온도를 가정하고 반복계산을 통해 BALANCE를 도출하게 됨

: 순환유동층 LOOP(FURNACE)

· HEAT INPUT = HEAT LEAVING + HEAT ABSORPTION

· HEAT INPUT TO 순환유동층 LOOP = COMBUSTION + HOT AIR

· HEAT LEAVING 순환유동층 LOOP(FURNACE, CYCLONE, STANDPIPE, LOOP-SEAL) =

75) 두산중공업 내부자료

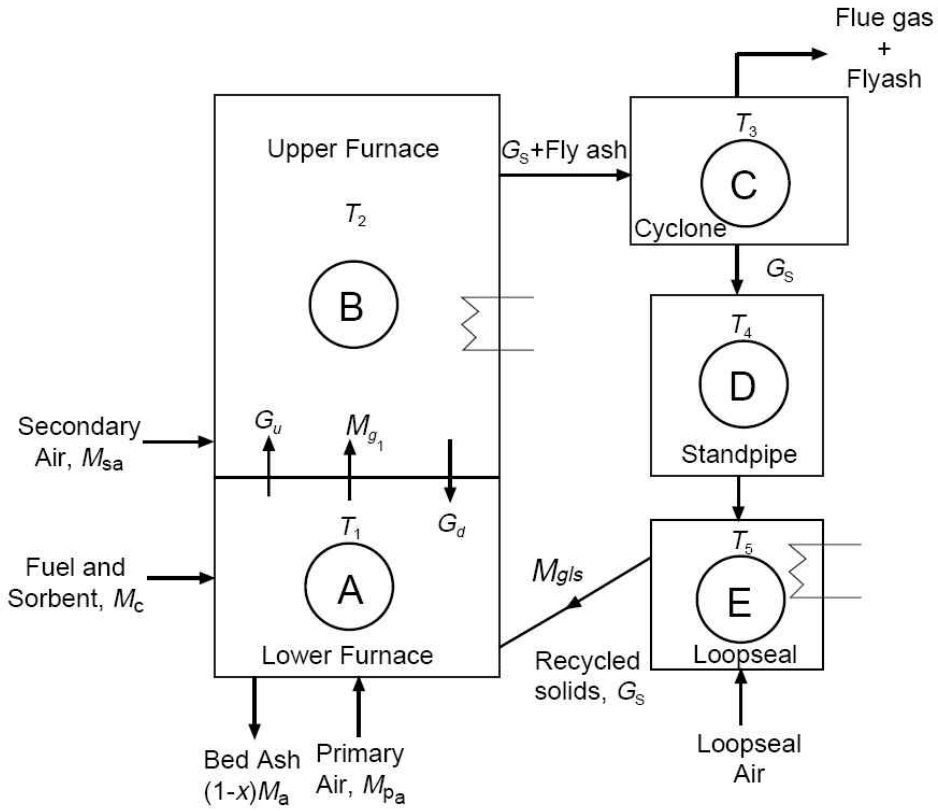
ENTHALPY OF HOT GAS & DUST LEAVING LOOP + ENTHALPY OF DRAINED SOLIDS + SURFACE LOSSES

· HEAT ABSORPTION IN 순환유동층 LOOP
= HEAT ABSORPTION IN FURNACE & THAT OUTSIDE FURNACE

· IN-FURNACE ABSORPTION
= EVAPORATOR DUTY + X1·SUPERHEATER DUTY + X2 ·REHEATER DUTY

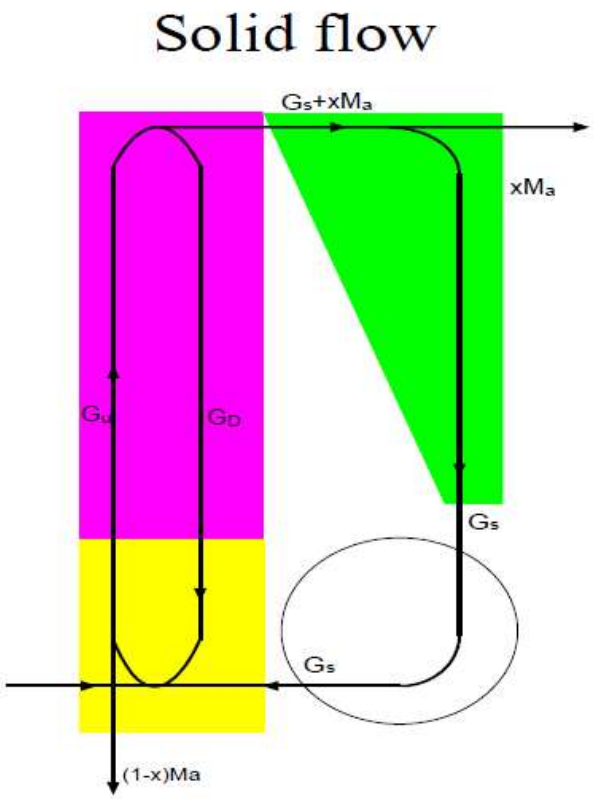
· OUTSIDE-FURNACE ABSORPTION = Y1·SUPERHEATER DUTY + Y2·REHEATER DUTY

X1, X2, Y1,Y2 ARE FRACTION HEAT DUTIES ABSORBED IN RESPECTIVE SECTION



[그림 94] 순환유동층 열·물질 정산 개략도

: OVERALL HEAT BALANCE를 기본 개념으로 하여 전체 열정산을 계산하며, 순환유동층 순환 LOOP에 대한 HEAT & MASS BALANCE는 다음과 같이 수행하여 각 부분에서의 생성 및 흡열 열량 그리고 각 부분에서의 반응 도달 온도를 추정함



[그림 95] 순환유동층 LOOP 내 기체·고체 흐름도

- 보일러 사이즈 및 열교환기 배열

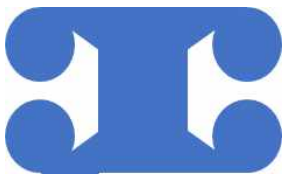
  - FURNACE SIZE

    : 순환유동층에서 연소로의 단면적은 유동화 속도 혹은 GRATE HEAT RELEASE RATE [MW/m^3]에 따라 결정되며, 연소로의 높이 및 ASPECT RATIO는 WATER WALL의 EVAPORATOR 필요 열교환 면적 및 LIMESTONE 및 연소 반응속도에 의해 결정

  - FURNACE CROSS-SECTION

    : 본 설계에서는 유동화 속도에 따라 단면적을 계산하였으며, 그 계산방법은 UPPER FURNACE에서 발생하는 배기가스 체적유량을 계산하여 가정한 FURNACE 내 유속으로 나누어 그 면적을 구하여 설계값에 사용

[표 31] 초초임계 순환유동층 보일러 연소로 형상

	200MW (베트남 무연탄)	250MW (인니 아역청탄)	315MW (남아공 무연탄)
연소로 배기가스 유량 (kg/s)	199.8kg/s	285.3kg/s	336.9kg/s
연소로 배기가스 유량 (m^3/s)	648.0m^3/s	925.2m^3/s	1092.6m^3/s
FURNACE CROSS-SECTION (m^2)	129.6m^2	185.0m^2	218.5m^2
Width (m)	8m	8m	12m
depth (m)	16.2m	23.1m	18.2m
연소로 평면도 (CYCLONE 개수)			

$$A = \frac{V_{flue\ gas}}{U_{furnace}} = \frac{648.0, 925.2, 1092.6\,[m^3/s]}{5\,[m/s]} = 129.6, 185.0, 218.5\,[m^2]$$

- FURNACE ASPECT RATIO 및 HEIGHT
  : 연소로의 ASPECT RATIO는 연료 공급부 개수, CYCLONE 개수 및 2차 공기의 침입 깊이와 관련이 있음
  : 2차 공기의 침입 깊이를 고려하여 연소로의 DEPTH를 각각 8, 8, 12m로 결정
  : 연소로의 높이는 EVAPORATOR 필요 열교환면적 및 연소 반응속도에 의해 결정
  : 충분한 EVAPORATOR 열교환면적을 확보하기 위해 UPPER FURNACE의 높이는 각각 40, 42, 50m로 결정

[표 32] HEAT TRANSFER TO EVAPORATOR(예 315MW 남아공 무연탄)

HEAT TRANSFER TO EVAPORATOR								
SYMBOL	VALUE	UNIT	SYMBOL	VALUE	UNIT	SYMBOL	VALUE	UNIT
Csf	0.036	-	tc	0.0104	s	Re	30,283	-
εc	0.964	-	ep	0.932	-	Pr	0.7625	-
kp	0.200	W/mK	ew	0.58	-	dtube	0.0381	m
kg	0.078	W/mK	σ	5.67E-08	W/(m^2K^4)	ttube	0.00711	m
M	0.022	-	ec	0.966	-	di	0.02388	m
N	2.843	-	ed	0.977	-	hc	159.45	W/m^2*K
kc	0.078	W/mK	ρsus	3.70	kg/m^3	hcr	70.67	W/m^2*K
cp	971	J/kgK	Tb	885	℃	hd	0.96	W/m^2*K
cg,total	1283.21	J/kgK	Ts	669.74	℃	hdr	107.50	W/m^2*K
(ρC)c	90463.49	-	Tw	406.75	℃			
δ	1.3492	-	f	0.303	-	ho	145.29	W/m^2*K
Ucl	3.7196	m/s	C1	1.40	-	kpipe	50.20	W/m*K
Lc	0.0388	m	Ct	1.47	-	U	141.64	W/m^2*K

- EVAPORATE의 배열 및 튜브 개수

  : 연소로 상부 열교환면적 계산을 위해, EVAPORATOR 튜브 직경 및 피치를 고려하여 각 벽면에 배치할 튜브 개수를 계산함

[표 33] 수냉벽 EVAPORATOR 설계 결과(예 315MW 남아공 무연탄)

Furnace Walls		
Area	2401	m^2
dtube	0.0381	m
Pitch	0.063	m
Aactual/Aprojected	1.35	
hprojected	141.64	W/m^2K
Awall, projected	3068.35	m^2
Additional required area (EVAP)	3771.30	m
Alower bed	500.00	m^2
AFBHE_EV	0.00	m^2
Aroof	218.5	m^2

- BACK-PASS SIZE

  : 순환유동층 보일러의 BACK-PASS의 단면적은 미리 가정한 배기가스의 유속에 의해 대략적인 값이 결정됨

  : 공탑속도가 아닌 열교환기가 배치되어 있는 부분에서의 유속이 중요하며 그때의 유속이 12m/s 이상일 경우, 열교환기 튜브의 마모를 발생시킬 수 있어 유의하여야 함

  : 유속이 너무 낮을 경우, 배기가스와 비산재의 분리가 발생할 수 있고 열전달 계수가

낮아질 수 있기 때문에 8m/s 정도를 유지하는 것이 필요

: BACK-PASS의 단면적은 배기가스 체적유량을 가정된 배기가스 유속으로 나누어 계산함

[표 34] BACK-PASS 단면적 설계 결과

	200MW (베트남 무연탄)	250MW (인니 아역청탄)	315MW (남아공 무연탄)
연소로 배기가스 유량 (m^3/s)	648.0	925.2	1092.6
BACK-PASS CROSS-SECTION (m^2)	81.0	115.7	136.6

$$A = \frac{V_{flue\ gas}}{U_{backpass}} = \frac{648.0, 925.2, 1092.6\,[m^3/s]}{8\,[m/s]} = 81.0, 115.7, 136.6\,[m^2]$$

- BACK-PASS HEIGHT

  : BACK-PASS의 ASPECT RATIO는 필요 열교환 면적에 의해 결정됨

  : 각 열교환기의 정해진 튜브 직경 및 피치를 이용하여 계산된 BACK-PASS 단면적을 참조하여 BACK-PASS 내에 설치 가능한 행방향의 튜브 개수를 결정하고 이를 이용하여 필요 튜브 열 개수로 높이를 계산할 수 있음

[표 35] 1·2차 과열기 튜브 배열 및 개수

Primary Superheater		
dtube	0.0381	m
ttube	0.0061	m
The tubes are arranged in line		
Abackpass	135.10	m^2
Width	7.50	m
Depth	18.01	m
s1	0.12	m
s2	0.12	m
Htubebank	1.838	m
Ag	72.23	m^2
ntubes	3520	
nstage	4.00	
nrows	4.00	
ncolumns	220.0	
QSH1	33989.40	kW
Habsorbed	33869.35	kW
Error	0.35%	ok

2ndary Superheater		
dtube	0.0381	m
ttube	0.0061	m
The tubes are arranged in line		
Abackpass	135.10	m^2
Width	7.50	m
Depth	18.01	m
s1	0.12	m
s2	0.12	m
Htubebank	0.878	m
Ag	83.09	m^2
ntubes	1456	
nstage	2.00	
nrows	4.00	
ncolumns	182.0	
QSH2	47247.63	kW
Habsorbed	47766.70	kW
Error	1.10%	ok

[표 36] 1·2차 재열기, 절탄기 튜브 배열 및 개수

Primary Reheater		
dtube	0.0445	m
ttube	0.00419	m
The tubes are arranged in line		
Abackpass	135.10	m^2
Width	7.50	m
Depth	18.01	m
s1	0.12	m
s2	0.07	m
Ap	68	m^2
Htubebank	1.695	m
Ag	65.01	m^2
ntubes	3360	
nstage	4.00	
nrows	4.00	
ncolumns	210.0	
QECO	41164.70	kW
Habsorbed	40957.15	kW
Error	0.50%	ok

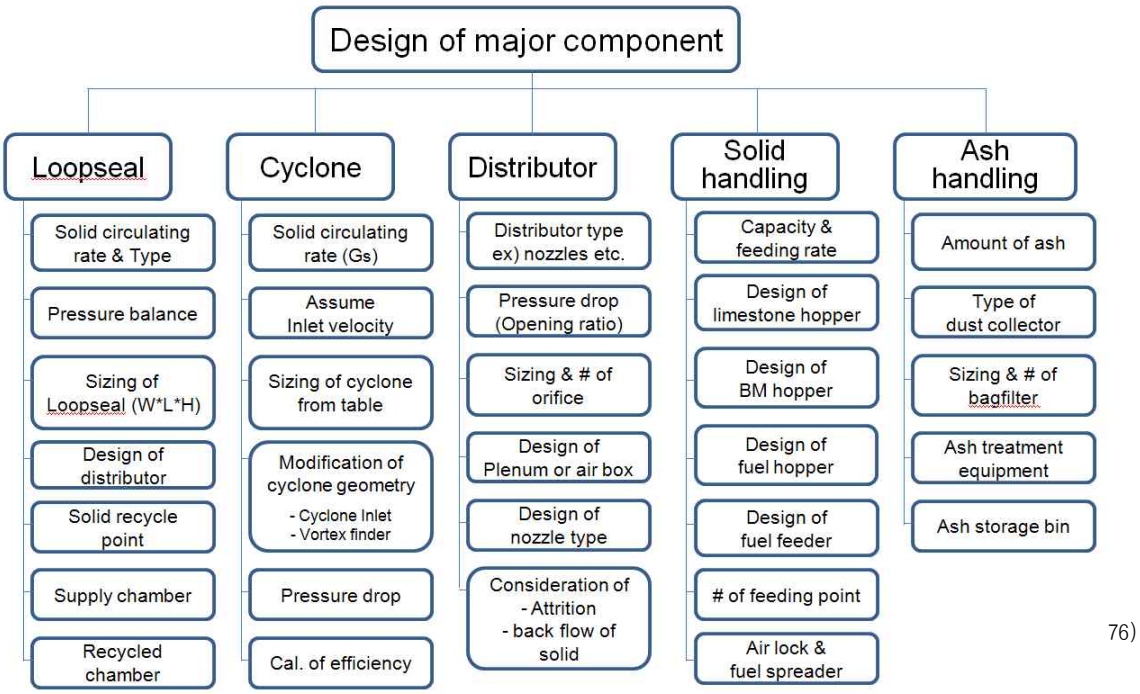
2ndary Reheater		
dtube	0.0445	m
ttube	0.00419	m
The tubes are arranged in line		
Abackpass	135.10	m^2
Width	7.50	m
Depth	18.01	m
s1	0.24	m
s2	0.07	m
Htubebank	0.595	m
Ag	85.03	m^2
ntubes	900	
nstage	2.00	
nrows	3.00	
ncolumns	150.0	
QECO	18977.46	kW
Habsorbed	18961.86	kW
Error	0.08%	ok

Economizer		
dtube	0.0381	m
ttube	0.0066	m
The tubes are arranged in line		
Abackpass	135.10	m^2
Width	7.50	m
Depth	18.01	m
s1	0.08	m
s2	0.065	m
Htubebank	3.223	m
Ag	66.515486	m^2
ntubes	12000	
nstage	10.0	
nrows	5.0	
ncolumns	240.0	
QECO	69760.81	kW
Habsorbed	69423.81	kW
Error	0.48%	ok

❍ 주요 요소 설계

- 순환유동층 보일러에서의 주요 요소로는 아래와 같음

- LOOP-SEAL(고체 재순환부) - SEAL POT & EXTERNAL HEAT EXCHANGER
- CYCLONE(기체·고체 분리기)
- DISTRIBUTOR(유동화공기 주입부)
- SOLID HANDLING PART(연료, 층물질, 석회석 공급 장치)
- ASH HANDLING PART(회재 처리 장치)



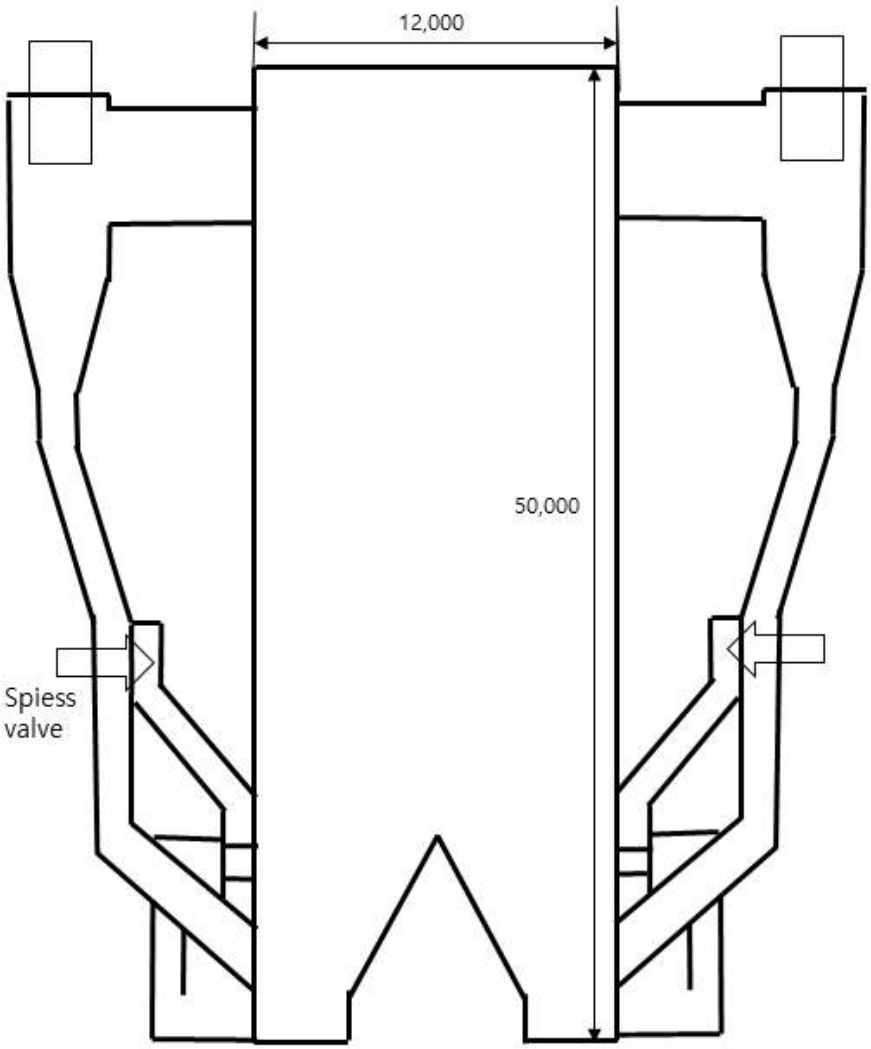
76)

[그림 96] 주요 요소 설계 항목 및 고려사항

- LOOP-SEAL(SEAL-POT) DESIGN

- 초임계 순환유동층 보일러의 경우, CYCLONE 입구유속 및 CYCLONE 직경을 고려하여 3 - 4개로 설정함
- CYCLONE 하부 SEAL-POT 및 EXTERNAL HEAT EXCHANGER는 각각 3 - 4개가 있으며, 200MW, 250MW의 경우, 한쪽 면에만 2차 SH, FINAL SH, FINAL RH가 외부열교환기로 배치되며, 315MW의 경우, 각각 배전면부에 FINAL SH 2개, 후면부에 FINAL RH 2개를 배치함
- CYCLONE 하부에는 SEAL-POT로 연결되며, SEAL-POT는 2개의 OUTLET으로 구성되고, FRONT 측 PORT는 연소로로 바로 주입되며, REAR 측 PORT는 EXTERNAL HEAT EXCHANGER로 주입되는데, 그 층 물질량을 조절하기 위해 ACV(AUTOMATIC CONTROL VALVE)가 설치되어 있음

76) 두산중공업 내부자료



[그림 97] SEAL-POT 및 EXTERNAL HEAT EXCHANGER 연결모습

[표 37] 외부열교환기 설계값

FBHE_FSH		
Area	8	m^2
dtube, walls	0	m
$d_{FBHE,\ bank}$	0.0508	m
thickness	0.013	m
Pitch(longitudinal) S2	0.056	m
Pitch(transverse) S1	0.144	m
Q_{FBHE_SH}	31,675	kW
Qsand	31,675	kW
Difference(QFBHE_SH - Qsand)	0	
Tsand_out	612	
Row	6	(6stage)
column	25	
Arequired		m^2
Difference(Required Area - Design Area)		m^2

FBHE_FRH		
Area	8	m^2
dtube, walls	0	m
$d_{FBHE,\ bank}$	0.054	m
thickness	0.007	m
Pitch(longitudinal) S2	0.060	m
Pitch(transverse) S1	0.144	m
Q_{FBHE_RH}	27,504	kW
Qsand	27,504	kW
Difference(QFBHE_SH - Qsand)	0	
Tsand_out	646	
Row	6	
column	25	
Arequired		m^2
Difference(Required Area - Design Area)		m^2

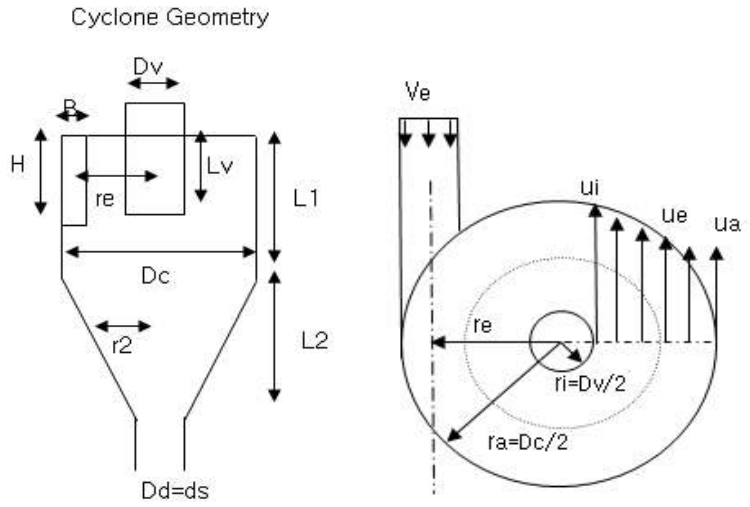
- CYCLONE DESIGN

  - 상용 보일러 CYCLONE의 설계는 INLET GAS VELOCITY를 기준으로 이루어지고 있으며, INLET VELOCITY, Ui = G/(K.L)로 나타낼 수 있으며, 여기서 G는 CYCLONE으로 유입되는 TOTAL GAS VOLUME FLOW이며 20 - 30m/s를 기준으로 설계하고 있음

[표 38] CYCLONE 일반 설계 수치

Standard Proportion of Vertical Reverse-Flow Cyclones

Recommended Duty	$\frac{K}{D_c}$	$\frac{L}{D_c}$	$\frac{M}{D_c}$	$\frac{F}{D_c}$	$\frac{S}{D_c}$	$\frac{H}{D_c}$	$\frac{E}{D_c}$	N_h	$\frac{Q}{D_c^2}$	References
a. High throughput	0.75	0.375	0.75	0.875	1.5	4.0	0.375	7.2	4.58	Stairmand (1951)
b. High throughput	0.8	0.35	0.75	0.85	1.7	3.7	0.4	7.0	3.47	Swift (1969)
c. General purpose	0.5	0.25	0.5	0.6	1.75	3.75	0.4	7.6	1.86	Swift (1969)
d. General purpose	0.5	0.25	0.5	0.625	2.0	4.0	0.25	8.0	1.91	Lapple (1951)
e. High efficiency	0.44	0.21	0.4	0.5	1.4	3.9	0.4	9.2	1.37	Swift (1969)
f. High efficiency	0.5	0.22	0.5	0.5	1.5	4.0	0.375	5.4	1.53	Stairmand (1951)
General CFB	0.8	0.35	0.45	0.5–1.0	1.0	2.0	—	—	—	—



[그림 98] 원통형 CYCLONE의 주요 치수

[표 39] CYCLONE 설계 결과

CYCLONE INLET FLOW, Vgas [m^3/s]	180.047
CYCLONE DIAMETER. Dc [m]	8.010
LENGTH OF CYCONE, L1 [m]	7.198
LENGTH OF CONE, L2 [m]	10.172
LENGTH OF ENTRANCE, H [m]	6.398
WIDTH OF ENTRANCE, B [m]	1.828
DIAMETER OF SOLID EXIT, Dd [m]	3.936
DIAMETER OF VORTEX, Dv [m]	3.261
LENGTH OF VORTEX, Lv [m]	1.957
CYCLONE INLET VELOCITY, Ve [m/s]	15.39
INLET AREA [m^2]	11.70

- CYCLONE 입구 속도를 20m/s로 가정한 결과를 바탕으로 CYCLONE 입구의 ASPECT RATIO를 가정하여 순환유동층의 관계식을 이용하여 그 각각의 값을 계산함
- 315MW 보일러의 경우, CYCLONE의 개수가 4개이며, 입구의 배기가스 유량은 약 276.2m^3/s로 CYCLONE 입구의 단면적은 약 13.81m^2으로 계산됨
- 본 설계대로 CYCLONE을 제작하였을 경우, D50은 약 47.8mm이며 전체 CYCLONE 효율은 약 99.7%로 추정되며, CYCLONE 전체에 발생하는 압력강하 값은 약 380Pa로 예상됨

- 기타(DISTRIBUTOR DESIGN 외)

- 연소로 분산판 설계 순서는 일반적으로, 최소 부하 운전기준에서의 유량을 기준으로 전체 순환유동층 연소로 내의 전체 차압을 구한 다음, 분산판의 압력강하 값을 가정하게 되며,

이를 통해 오리피스의 속도를 결정하게 되고 위의 결과를 바탕으로 오리피스 직경을 가정하여 개수 및 OPENING RATIO에 맞게 반복계산법을 이용하여 설계하게 됨

- FUEL FEEDING POINT 개수는 FEEDER 당 담당하는 보일러 단면적을 계산하여 FEEDING POINT 및 개수 결정하게 되며, 본 보일러 설계에서는 연료가 휘발분이 적고 고정탄소를 다량으로 함유한 무연탄이므로 FEEDER 당 담당하는 면적을 약 26m^2으로 결정하고 FEEDING POINT를 10개로 함

[표 40] 용량별 상용 순환유동층 보일러 FEEDER 개수

Plant	Capacity MWe	Feed Points	MWth/ Feed	Bed area (m^2/feed)	Fuel
Henan Pingdingshan, China	12	1	34.3	13.4	Subbituminous coal
Kanoria Chemicals, India	25	2	35.7	9.9	Coal/slurry
Sogma, Spain	25	3	23.8	11.3	Municipal solid waste
Stadwerke Pforzheim, Germany	25	2	35.7	11.7	Hardwood
Bayer, Germany	35	2	50.0	11.1	Hard coal + 20% brown coal
Stadwerke Saarbrucken, Germany	40	4	28.6	9.5	Hard coal
Sinarmas Pulp, India	40	2	57.1	21.6	Hard coal + 20% brown coal
GEW Koln, Germany	75	4	53.6	13.3	Brown coal
Duisberg Co-Generation, Germany	96	4	68.6	15.9	Bituminous coal
Nisco Co-Generation, USA	100	4	71.4	19.5	PetCoke + bituminous coal
Goaba, China	100	2	142.9	44.5	Anthracite coal
Colorado-Ute, USA	110	6	52.4	16.3	Bituminous coal
Northampton, USA	110	4	78.6	22.5	Culm-anthracite waste
Colver, USA	110	4	78.6	22.5	Bituminous gob
GIPCL, India	125	2	178.6	40.7	Lignite
Akrimota TPS, India	125	4	89.3	25.9	Lignite
Emile Huchet Power Stn., France	125	6	59.5	15.8	Coal/slurry
Point Aconi, Canada	190	4	135.7	33.8	Subbit. coal
Tonghae, Korea	200	4	142.9	33.3	Anthracite coal
Turow, Poland	235	8	83.9	26.2	Brown coal
EC Zeran Plant, Polant	235	4	167.9	22.9	Coal
Alholmens. Finland	240	12	57.1	17.1	Bark, wood residue, peat
Turow, Poland	235	8	92.9	26.1	Brown coal
Provence, France	250	4	178.6	21.3	Subbituminous coal
Jacksonville, USA	300	4	214.3	42.8	PetCoke coal
Fenyi, China	100	4	214.3	23.8	Bituminous

② 경제성 분석

□ 고효율 실증 플랜트는 순환유동층 연소로 기반의 초임계 또는 아임계 증기 CYCLE 구성이 모두 가능한 발전 플랜트임

○ 개념설계를 통해 검토한 실증 플랜트의 경제성 분석을 위하여 기발표된 국내외 발전 플랜트의 건설비용 자료를 이용하는 것이 타당하기에 유사한 구조를 지니는 순환유동층 발전 플랜트의 비용을 이용함

- 경제성 평가를 위해 최근 국내에 건설되어 운전되고 있는 삼척 발전 플랜트를 참고 플랜트로 하였음*

  * 삼척 상용 플랜트 설비는 스미토모 포스터휠러社에서 설계한 발전소로 보일러 과열기 증기는 257bar, 603℃이고, 재열증기는 54bar, 603℃이며 보일러 높이는 86.2m, 길이 82m, 폭은 60m임

- 참고 플랜트의 총설비용량은 2,000MW로 49개월 동안 건설되었고 총 비용은 약 3조 2,000억원, 건설단가는 약 1,600천원/kW으로 국내에 건설 및 운전되고 있는 타 발전 플랜트의 건설단가인 1,460천원/kW와 비교해 10% 정도 높은 상태임

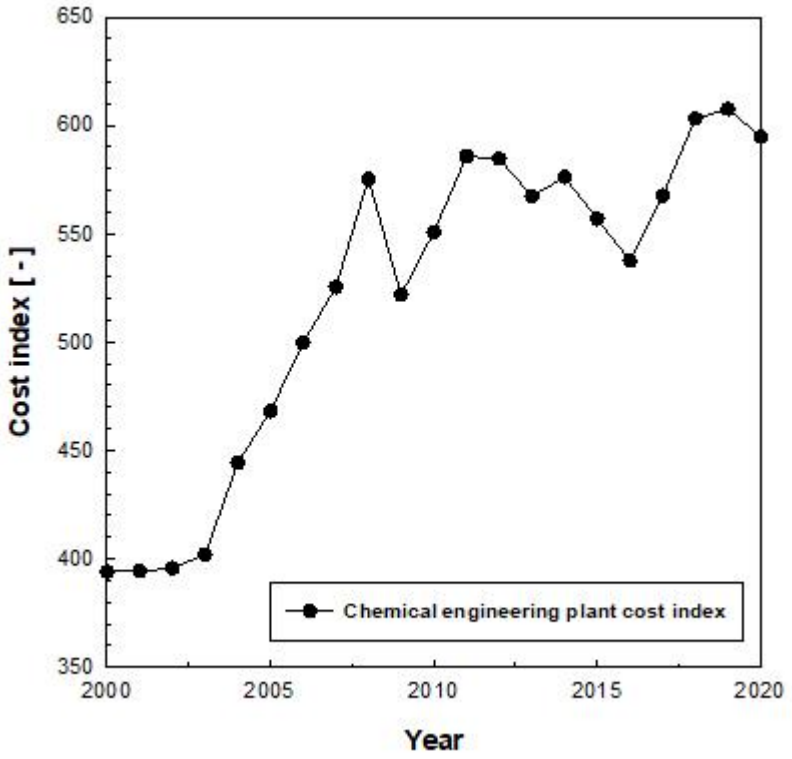
- 본 과제에서는 세부 공정들의 금액이 제시된 미국 DOE에서 2007년 발표한 상압 미분탄 보일러 발전 플랜트 비용 자료[77] 와 국내에서 수행된 기존의 경제성 분석 자료를 이용하여 경제성 분석의 타당성을 검증함

[표 41] 국내 발전 플랜트의 공사비용

발전소명	시설용량 (MW)	건설기간	공사비 (억원)
삼척 1,2호기	1,000 X 2	2012.06-2016.06	32,000
당진 9,10호기	1,020 X 2	2011.06-2016.06	28,500
신보령 1,2호기	1,000 X 2	2011.11-2017.06	27,900
태안 9,10호기	1,050 X 2	2012.09-2016.12	33,000

- 새로운 공정의 기술 경제성 분석을 위해 이용되는 방법은 동일한 공정 비용 자료를 이용하는 것이 가장 정확하나 공정 비용은 기업의 핵심 정보이기 때문에 분석을 위한 자료를 확보하는 것이 매우 어렵고 경제 상황에 따라서 지속적으로 변화하기 때문에 2,000년 이후의 CHEMICAL ENGINEERING MAGAZINE의 플랜트 비용 지수를 분석하고 이를 이용하여 건설 비용을 재산정하여 이용하였음

77) Seo et al., Energy, doi: 10.1016/j.energy.2021.121217



[그림 99] 2000년 이후의 플랜트 비용 지수

NEW COST = (BASE COST)(COST INDEX IN NEW YEAR / COST INDEX IN BASE YEAR)

- 새로운 공정 비용을 추산하기 위하여 이용한 기존의 공정과 새로운 공정의 규모가 일반적으로 다르기 때문에 경제성 평가에서는 용량에 따른 SCALE FACTOR를 이용하여 비용을 규모에 맞추어 산정하고 있으며 순환유동층 보일러에서는 0.74의 값을 이용하여 아래 식을 통해서 공정 비용을 추산함

$$\frac{Cost2}{Cost1} = (\frac{Size2}{Size1})^{SF}$$

❍ 실증 플랜트의 경제성 분석을 위한 기본 가정은 다음과 같음

- 200, 250, 315MW급 1기의 신규 발전 플랜트 건설을 기준으로 하였으며 각각의 플랜트의 건설 기간은 4년, 자본 및 차입금은 자기자본 10%, 차입금 90%로 하였고 건설 이자율은 4.5%로 설정함

[표 42] 초초임계 순환유동층 발전소 건설비용 분석

건설기간	4년
자기자본 비율	10%
차입금 비율	90%
건설 이자율	4.5%
발전용량	315MW

환율 (2022년 1월 3일 기준) : 0.00084$/원

INITIAL CAPITAL COST	699.674M$

건설비 투자 비율					
년도	-4	-3	-2	-1	합계
CAPITAL COST	35M$	210M$	350M$	105M$	699.67M$
COST RATE	5%	30%	50%	15%	100%

CONSTRUCTION DISBURSEMENT SCHEDULE					
년도	-4	-3	-2	-1	합계
EQUITY	350M$	20.99M$	34.98M$	10.50M$	69.97M$
LOAN	31.49M$	188.91M$	314.85M$	94.46M$	629.71M$
소계	34.98M$	209.90M$	349.84M$	104.95M$	699.67M$

INTEREST DURING CONSTRUCTION					
년도	-4	-3	-2	-1	합계
PRINCIPAL	31.49M$	188.91M$	314.85M$	94.46M$	629.71M$
INTEREST	0.71M$	5.67M$	17.00M$	26.21M$	49.59M$
소계	32.19M$	194.58M$	331.86M$	120.67M$	679.30M$

TOTAL CAPITAL COST (INCLUDING IDC)					
년도	-4	-3	-2	-1	합계
EQUITY	3.50M$	20.99M$	34.98M$	10.50M$	69.97M$
LOAN	31.49M$	188.91M$	314.85M$	94.46M$	629.71M$
INTEREST	0.71M$	5.67M$	17.00M$	26.21M$	49.59M$
소계	35.69M$	215.57M$	366.84M$	131.16M$	749.26M$

- SCALING FACTOR는 발전 플랜트에 적용할 수 있는 0.74를 적용하였으며 발전용량을 기준으로 정리하였고 대상 플랜트가 설치되는 각국의 경제 상황 등은 고려하지 않았음
- 운전유지비(OPERATION AND MAINTENANCE COST)는 발전소 운영 소요비용 중 연료비를 제외한 모든 비용으로 인건비, 소모성 물품 및 장비비, 행정 조직 인건비, 세금 및 보험료 등의 고정운전유지비와 발전량에 비례하는 변동비가 있으며 주요 항목은 아래와 같으며 석탄을 연료로 사용하는 발전소의 경우 전체 투자비의 약 2.5% 내외를 추산함

- 실증 플랜트의 운전 비용은 1기 운영, 발전소 이용률 : 87.7%(연간 가동일 320일 기준), 발전소 효율 : 44.0%(초초임계, 저위발열량 기준), 소내 전력소비율 : 4.9%, 발전소 내용연수 : 30년 등의 기준으로 산정함

- 발전소 연료 비용은 IEA[78]의 자료를 이용하여 산정하였으며 베트남 무연탄, 인도네시아 아역청탄, 남아공 무연탄의 발열량을 기준으로 산정하여 각각 57.6$/톤, 46.5$/톤, 29.1$/톤의 가격을 경제성 평가를 위한 기준으로 산정하였으며, 국내와는 다르게 석탄세가 없다고 가정함

- 발전소의 연료비는 발전소에서 이용하는 연료를 확보하고 사용하는데 드는 모든 비용을 포함하며 발전소 사용 연료의 경제성을 비교하기 위한 자료로써 아래 발전가격 계산식들을 주로 사용하고 있으며 본 경제성 분석도 동일 방법을 준용함

$$\text{발전가격}(\text{원}/kWh) = \text{열소비율}(kcal/kWh) \times \frac{\text{열량단가}(\text{원}/Gcal)}{10^6}$$

$$\text{열소비율}(kcal/kWh) = \frac{860(kcal/kWh)}{\text{발전소효율}}$$

- 고정자산의 가격 감소를 보상하는 감가상각비는 실증 플랜트의 비용을 기준으로 30년의 운전기간 동안 정액법을 적용하여 감가상각비를 다음과 같이 계산함

감가상각비 = (취득원가 – 잔존가치) / 내용연수

- 대상 발전소의 토지 비용을 제외하여 감가상각비 계산식에 적용하면 연간 감가상각비는 대략 247억원으로 계산함

78) https://www.iea.org/reports/coal-2020/prices-and-costs

[표 43] 초초임계 순환유동층 발전소 운전, 연료, 감가상각 비용 분석

운전유지비 산출 기본 가정	
발전용량	315MW
총 건설공사비	749.26M$
이용률	0.877
연료 단가 (발전가격)	0.020$/kWh
발전소 효율	44.0%
열량 단가	10.212$/Gcal
내용연수	30년
소내 전력률	0.049

*내용연수 동안 연간 운전유지비, 연료비는 동일하게 유지된다고 가정

ANNUAL O&M COST	18.73M$

ANNUAL FUEL COST	
연간 발전량	2,419GWh
연간 연료비	48.3M$

DEPRECIATION	
정액법 (내용연수 동안 균등상각) 적용 감가상각비 = (취득원가 - 잔존가치) / 내용연수	
잔존가치	74.93M$
ANNUAL DEPRECIATION	22.48M$

❍ 실증 플랜트는 30년 동안 운전되기 때문에 경제성 평가를 현가로 환산하기 위해서는 할인율의 설정이 매우 중요함

- OECD ANALYTICAL DATABASE, 한국은행에서 발표한 OECD 한국경제보고서 (2016년 5월 발표)를 보면 국내 물가 상승률은 2011 - 2021년 사이의 물가 상승률 평균인 1.12%이나 해외 실증을 위해 3.5%의 이자율을 적용함



1. OECD 의 근원물가지수에는 식료품과 에너지가 제외. 중앙은행의 물가안정목표 대상은 소비자물가지수 상승률임.

출처: OECD Analytical Database, 한국은행.

[그림 100] 소비자물가 및 근원물가 지수 상승률

❍ 실증 플랜트의 예상수익 분석은 전력산업의 경제성 분석에 이용되는 용량 단가, 석탄화력발전 변동비 단가를 기준으로 하여 계산하였으며, 전력통계정보시스템의 자료를 기준으로 계산하였으며 해외 실증이기에 모두 $를 기준으로 환산하여 계산함*

* 2021년 1월 13일 환율 기준 사용

- 2014년 이후의 용량 단가는 10.27 - 10.68원/kWh 범위에서 결정되고 있기에 본 경제성 평가에서는 2014 - 2021년 사이의 평균 단가인 10.51원/kWh를 사용할 수 있음
- 변동비 단가는 용량 단가와 동일하게 2014 - 2021년 사이의 평균값인 74.87원/kWh를 사용할 수 있음

[표 44] 2014년 이후 유연탄 용량, 변동비 및 정산단가

년도	용량단가(원/kWh)	변동비단가(원/kWh)	정산단가(원/kWh)
2014	10.43	80.07	90.5
2015	10.38	73.62	84
2016	10.27	69.33	79.6
2017	10.39	72.61	83
2018	10.68	79.42	90.1
2019	10.68	78.72	89.4
2020	10.65	68.95	79.6
2021	10.65	76.25	86.9

- 315MW의 실증 플랜트의 연간 예상수익 및 계산은 다음과 같이 할 수 있으며 전력 비용의 결과는 아래와 같음

[표 45] 초초임계 순환유동층 발전소 예상수익

예상수익 산출 기본 가정	
입찰률	0.877
용량 단가	0.0088$/kWh
변동기 단가	0.0629원/kWh
소내전력 소비율	0.049
*내용연수 동안 연간 운전유지비, 연료비는 동일하게 유지된다고 가정	

연간 예상수익 계산			
연간 발전량	전력 판매량	용량 정산금	변동 정산금
2,491GWh	2,301GWh	17.82M$	126.85M$

[표 46] 초초임계 순환유동층 발전소 LCOE 계산 결과

LEVELIZED COST OF ENERGY	
ASSUMPTIONS	
INITIAL INVESTMENT COST	749.26$
OPERATIONS AND MAINTENANCE COSTS	18.73M$
O&M GROWTH COSTS	0%
ANNUAL FUEL COSTS	48.31M$
DEPRECIATION COSTS	22.48M$
ANNUAL ELECTRICITY OUTPUT	2,419GWh
PROJECT LIFESPAN	30 YEARS
DISCOUNT RATE	3.50%

NPV OF TOTAL COSTS	2,396$

TOTAL ENERGY OUTPUT	ENTRY
PRESENT VALUE OF COSTS	44,494$

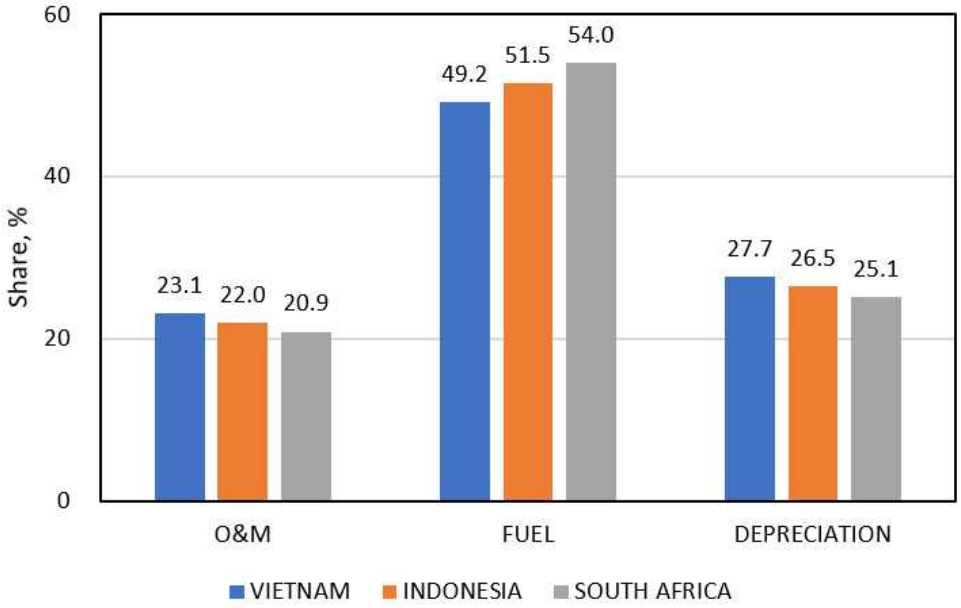
LCOE	0.0538$/kWh

❍ 2017년에 진행한 초임계 순환유동층 발전 플랜트의 해외수출에 따른 경제성 분석 결과를 보면 저급탄, 폐기물, 바이오매스 등의 이용 확대로 인해서 경제성을 가지는 것으로 분석됨[79)]

- 베트남, 인도네시아, 남아프리카공화국 3개국*의 건설 비용, 사용하는 석탄 발열량 차이로 발생하는 비용 등으로 운영비는 대략 20 - 22%, 연료비는 49 - 52%, 감가상각비는 25 - 28% 차이가 발생함

79) 이시훈, 600MW USC-순환유동층 실증 개발 및 해외사업 기반 구축의 경제적 타당성 분석, 2017

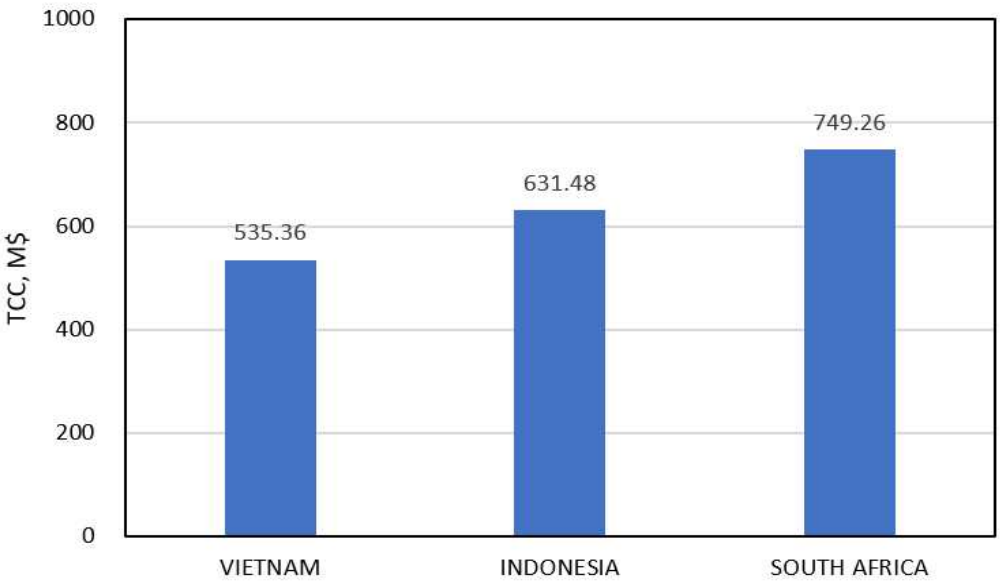
* 대상 발전 플랜트 규모는 각각 베트남 200, 인도네시아 250, 남아프리카공화국 315MW 임



[그림 101] 고효율 순환유동층 운영비 계산 결과

- 발전 규모가 작은 베트남 감가상각비가 가장 높으며 발열량이 낮고 연료를 많이 사용하는 남아프리카공화국의 연료 비용이 상대적으로 높은 것을 확인할 수 있음

- 실증 플랜트는 신규로 설치되며 규모가 상의하나 총 건설비의 10%는 자기자본으로 하고 90%를 차입한다고 가정하였으며 초초임계 발전 플랜트 건설 비용 자료를 이용하여 계산한 총 투자 비용은 535M$, 631M$, 749M$로 계산되었으며, 감가상각비 계산을 위하여 총 투자 비용의 10%는 잔존한다고 가정하여 비용을 계산함

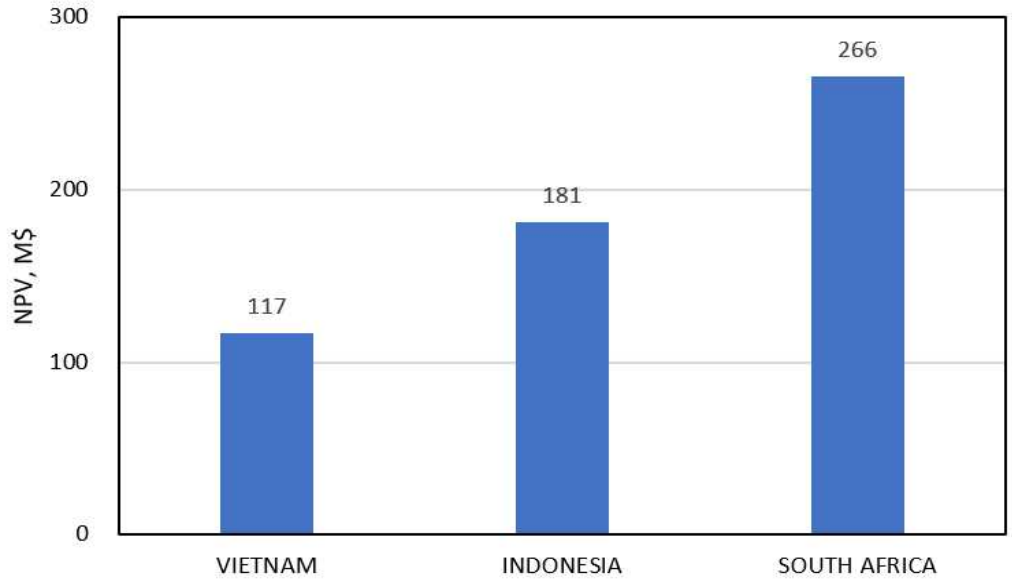


[그림 102] 고효율 순환유동층 TOTAL CAPITAL COST 계산 결과

- 모든 플랜트는 4년간 신규로 건설되어 30년 가동된다고 가정하였으며 수익은 전력 판매를 통해서 발생하며 320일의 가동일 동안에 100%의 부하로 가동되고 생산된 전력 중에서 소내 전력 소비를 제외하고 모두 판매한다고 가정하였으며 전력 판매 단가는 모두 동일하게 0.0717$/kWh의 가격으로 판매된다고 가정하여 계산함

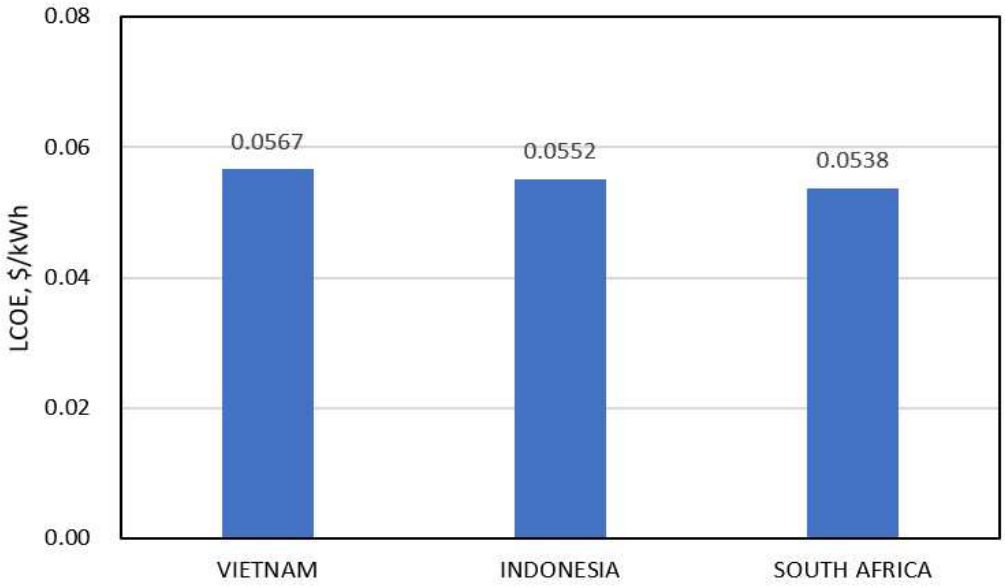
- 동일한 전력 판매가격을 기준으로 계산한 NPV(NET PRESENT VALUE)는 117M$에서 266M$로 발전 플랜트의 규모와 석탄 가격에 따라 증가하는 것으로 나타났으며 이는 발전 원가가 대략 0.039 - 0.040$kWh 범위로 전력 판매 단가보다 낮기에 가능한 것으로 나타남

- 베트남, 인도네시아, 남아프리카공화국 발전 플랜트에서의 IRR(INTERNAL RATE OF RETURN)이 각각 4.95%, 5.37%, 5.78%인 것을 통해서 해외 실증 플랜트가 자국 내의 저렴한 석탄을 사용한다면 경제성을 가질 수 있을 것으로 판단되며 특히 남아프리카공화국의 경제성이 가장 좋은 것으로 판단됨



[그림 103] 고효율 순환유동층 NET PRESENT VALUE 계산 결과

- 3개국의 균등화발전원가(LEVELIZED COST OF ELECTRICITY)는 각각 0.0567, 0.0552, 0.0538 $/kWh로 확인되었으며 남아프리카 공화국의 발전 플랜트가 LCOE 분석을 통해서도 가장 경제적임을 확인함



[그림 104] 고효율 순환유동층 LEVELIZED COST OF ELECTRICITY 계산 결과

라. 특허 및 논문 분석

(1) 특허 분석

□ **고효율 순환유동층 관련 특허공개 및 특허등록 된 한국, 일본, 미국, 유럽 및 중국의 특허를 분석 대상으로 함**

- KEYWERT 검색 DB를 활용하여 특허정보를 수집하여, 특허공개 및 특허등록 동향을 분석

[표 47] 고효율 순환유동층 특허분석 개요

항목	내용
기술	고효율 순환유동층 보일러
국가	한국, 일본, 미국, 유럽, 중국
기간	'02년-'21년 (20년)
활용 DB	KEYWERT
검색식	(CIRCULATING AND FLUIDIZED AND BED AND BOILER AND SUPERCRITICAL)

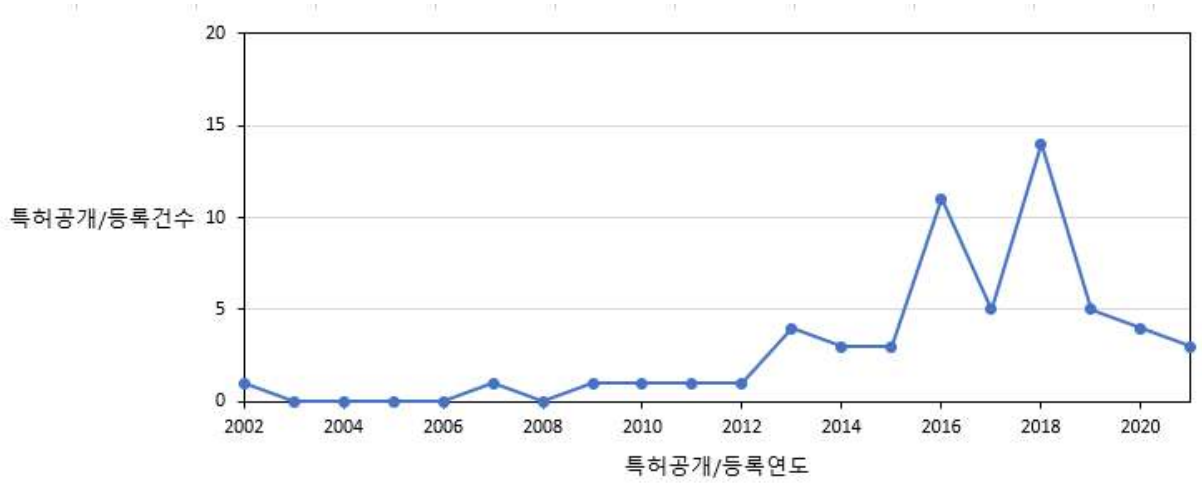
□ **연도별 특허 동향**

○ 고효율 순환유동층 관련 분야 특허출원은 2000년대 초반부터 시작되어, 2010년대 중반부터 급격한 증가세를 보임

- 2000년대 중반부터 친환경 발전 이슈가 대두되면서, 관련 산업에 대한 관심도 증가와 함께 출원 건수가 증가한 것으로 보임

- 전체 특허 중 2건을 제외한 56건이 중국에서 출원되었으며, DONGFANG BOILER, HARBIN BOILER, SHENHUA GROUP 등의 보일러 제작사 및 UNIV SOUTHEAST, UNIV TSINGHUA 등의 순환유동층 보일러를 연구하는 대학 중심으로 특허를 출원

- 중국 내 급격한 순환유동층 보일러 보급과 기술발전이 동시에 이루어지고 있음을 짐작할 수 있으며, 중국 자국 내에서 기술 내재화 후 동남아시아 등으로 기술 수출이 예상됨



[그림 105] 고효율 순환유동층 연도별 특허공개·등록 건수

[표 48] 고효율 순환유동층 핵심특허 리스트

연번	출원번호	분류	발명의 명칭	출원인	국가코드
1	2021-11084733	A	A 1000MW GRADE SUPER-SUPERCRITICAL CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER	东方电气集团东方锅炉股份有限公司	CN
2	2021-11024018	A	A SUPERCRITICAL CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER CENTER CYLINDER INSTALLATION METHOD AND SEALING DEVICE	烟台通用电力设备有限公司	CN
3	2021-10419159	A	NATURAL GAS PRESSURE REGULATING STATION AND METHOD FOR SUPPLYING GAS TO SUPERCRITICAL CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER	HUADIAN ELECTRIC POWER RES INST CO LTD	CN
4	2020-10691051	A	OPERATION REGULATING METHOD FOR PREVENTING FURNACE COKING AFTER	DONGFANG BOILER GROUP CO LTD OF DONGFANG ELECTRIC	CN

			BOILER TRIP (BT) OF SUPERCRITICAL CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER	CORP	
5	2020-10587945	A	ULTRA-SUPERCRITICAL CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER SCREEN TYPE HEATING SURFACE WITH INTERMEDIATE MIXING HEADER AND BOILER	UNIV XI AN JIAOTONG	CN
6	2018-11051420	B	COMBUSTION COAL FEEDING CONTROL METHOD OF SUPERCRITICAL CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER	CHINA ENERGY INVESTMENT CORPORATION LTD | SHENHUA GUONENG ENERGY GROUP CORP LTD | SICHUAN BAIMA CIRCULATING FLUIDIZED BED DEMONSTRATION POWER STATION CO LTD	CN
7	2018-11051420	A	METHOD OF CONTROLLING COMBUSTION COAL SUPPLY OF SUPERCRITICAL CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER	CHN ENERGY INVEST GROUP CO LTD | SHENHUA GUONENG ENERGY GROUP CORP LTD | SICHUAN BAIMA CIRCULATING FLUIDIZED BED DEMONSTRATION POWER STATION CO LTD	CN
8	2018-10797671	A	ULTRA-SUPERCRITICAL CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER HEARTH WITH HANGING SCREENS AND CONTROL METHOD OF ULTRA-SUPERCRITICAL CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER HEARTH	UNIV XI AN JIAOTONG	CN
9	2018-10205578	B	EMERGENCY COOLING SYSTEM FOR SUPERCRITICAL CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER AND CONTROL	GUANGDONG ELECTRIC POWER DESIGN INST OF CHINA ENERGY ENG GROUP CO LTD	CN

			METHOD THEREOF		
10	2017-11210273	B	SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE-FIRED CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER AND POWER GENERATION SYSTEM AND METHOD FOR GENERATING ELECTRIC POWER	UNIV SOUTHEAST	CN
11	2017-11210273	A	SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE COAL-FIRED CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER, POWER GENERATION SYSTEM AND POWER GENERATION METHOD	UNIV SOUTHEAST	CN
12	2017-11164674	B	SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE THE LARGE CIRCULATING FLUIDIZED BED COAL-FIRED BOILER AND POWER GENERATING DEVICE AND POWER GENERATION METHOD	UNIV SOUTHEAST	CN
13	2017-11164674	A	SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE LARGE-SCALE CIRCULATING FLUIDIZED BED COAL BURNING BOILER, AS WELL AS POWER GENERATING DEVICE AND POWER GENERATING METHOD	UNIV SOUTHEAST	CN
14	2017-11022841	B	A SUPERCRITICAL CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER EXTERNAL HEAT EXCHANGER OF THE COMMIS METHOD	DONGFANG BOILER GROUP CO LTD OF DONGFANG ELECTRIC CORP	CN
15	2017-11022841	A	COMMISSIONING METHOD OF EXTERNAL HEAT EXCHANGER OF SUPERCRITICAL CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER	DONGFANG BOILER GROUP CO LTD OF DONGFANG ELECTRIC CORP	CN
16	2017-11056190	B	THE LARGE-SCALE SUPERCRITICAL CIRCULATING FLUIDIZED	DONGFANG BOILER GROUP CO LTD OF DONGFANG ELECTRIC	CN

			BED BOILER BED LAYER FLUCTUATION ADJUSTMENT METHOD	CORP	
17	2017-11056190	A	REGULATION AND CONTROL METHOD FOR BED FLUCTUATION OF LARGE SUPERCRITICAL CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER	DONGFANG BOILER GROUP CO LTD OF DONGFANG ELECTRIC CORP	CN
18	2017-11010865	B	SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE CIRCULATING FLUIDIZED BED COAL-FIRED BOILER AND ITS DRIVING POWER GENERATION SYSTEM	UNIV SOUTHEAST	CN
19	2017-11010865	A	SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE CIRCULATING FLUIDIZED BED COAL FIRED BOILER AND POWER GENERATION SYSTEM DRIVEN BY SAME	UNIV SOUTHEAST	CN
20	2017-10502649	A	SUPERCRITICAL-CARBON-DIOXIDE CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER HEATING SYSTEM AND HEATING METHOD	UNIV SHANDONG	CN

(2) 논문 분석

□ **키워드 분석**

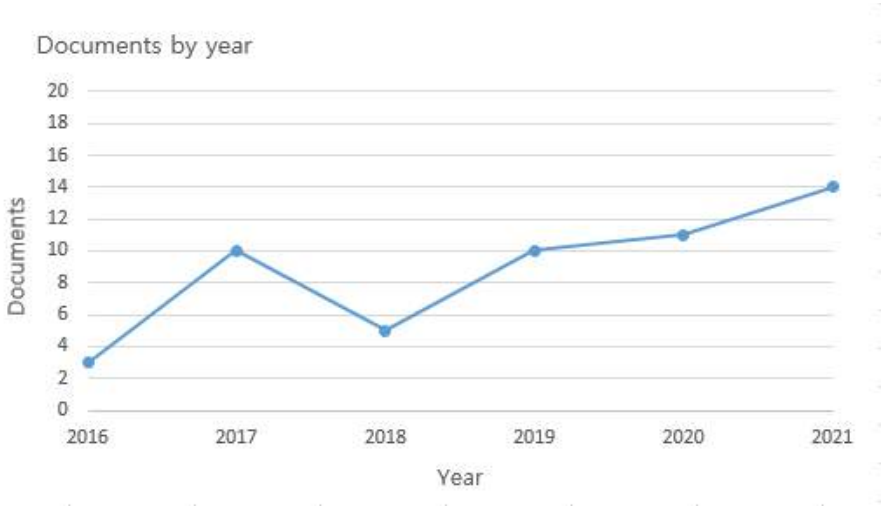
❍ 초초임계 순환유동층 연구 관련 논문을 검색하기 위해 사용한 키워드는 'ULTRA SUPERCRITICAL CIRCULATING FLUIDIZED BE', 'USC-순환유동층', 'ULTRA SUPERCRITICAL 순환유동층' 등임

- 논문 분석은 최근 6년간 논문을 중점적으로 다루었으며 국제학술지(SCI, SCI-E)를 중점적으로 분석하였음

- 논문 내용 확인이 어려운 국가 저널은 제외하여 수행함

□ **연도별 논문 추이 분석**

❍ 초초임계 순환유동층 관련 논문은 2016년부터 2022년 1월 현재까지 총 53편이 게재되거나 발표되었으며 석탄, 바이오매스, 폐기물 등의 다양한 원료 물질들의 이용 증대로 인하여 관련 논문의 게재/발표가 지속적으로 증가하는 양상을 보임

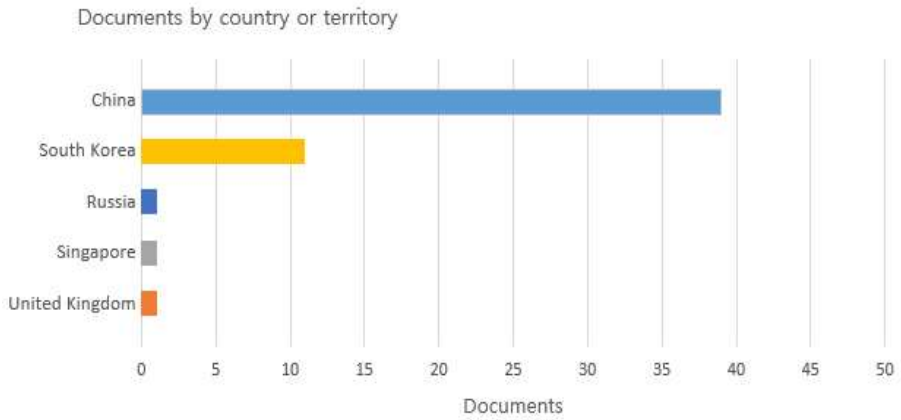


[그림 106] 고효율 순환유동층 논문 연도별 추이

❍ 발표된 논문의 국가별 분석 결과 순환유동층 연구가 활발하게 진행되고 있는 중국이 전체의 73%, 즉 39편의 논문을 차지하고 있어 세계 기술개발을 선도하고 있음을 확인함

❍ 한국도 11편(21%)의 논문을 발표하며 관련 연구를 활발히 수행하고 있음을 확인* 할 수 있으며 한국과 중국이 전체 논문 발표의 94%를 차지하여 최근 초초임계 순환유동층 관련 연구가 중국과 한국을 중심으로 진행되고 있다고 결론을 내릴 수 있음

* 2017년: 2편, 2019년 2편, 2020년: 3편, 2021년: 4편

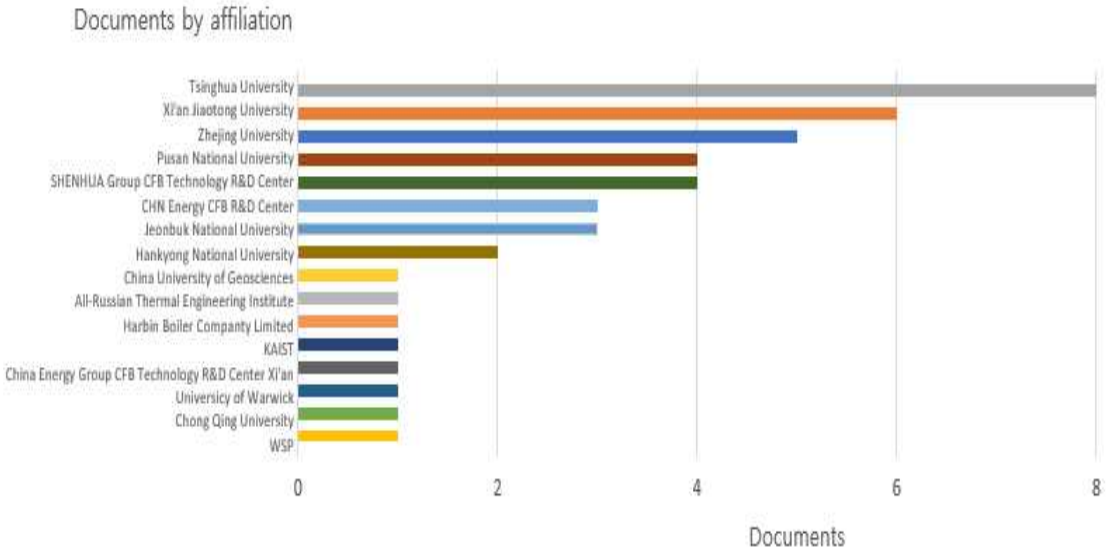


[그림 107] 고효율 순환유동층 논문 저자 국적 분포

- 관련 논문을 발표하는 주요 연구기관을 살펴보면, 중국의 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY, TSINGHUA UNIVERSITY, ZHEJIANG UNIVERSITY가 5편 이상의 연구 성과를 게재·발표함
- 이외에도 중국의 CHONG QING UNIVERSITY, CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES가 있으며 영국의 UNIVERSITY OF WARWICK이 각 1편 이상의 연구 성과를 발표함
- 대학기관 외에도 싱가포르의 WILLIAMS SALE PARTNERSHIP LIMITED(WSP), 중국의 CHINA ENERGY GROP 순환유동층 TECHNOLOGY R&D CENTER XI'AN(1편), SHENHUA GROUP

순환유동층 TECHNOLOGY R&D CENTER(4편), CHN ENERGY 순환유동층 TECHNOLOGY R&D CENTER(3편), HARBIN BOILER COMPANY LIMITED(1편), 러시아의 ALL-RUSSIAN THERMAL ENGINEERING INSTITUTE가 연구 성과를 게재·발표함

- 한국에서는 한국과학기술원, 부산대학교, 전북대학교, 한경대학교에서 관련 연구를 수행 중이며 논문을 게재함



[그림 108] 고효율 순환유동층 주요 논문 발표 기관

□ **논문별 피인용도 분석**

❍ 초초임계 순환유동층에 관한 논문 중 최다 피인용도를 보인 논문은 한국 전북대학교에서 2019년에 발표한 'ECONOMIC ANALYSIS OF A 600 MWE ULTRA SUPERCRITICAL CIRCULATING FLUIDIZED BED POWER PLANT BASED ON COAL TAX AND BIOMASS CO-COMBUSTION PLANS' 논문으로 총 49회 피 인용되었음

- 전북대학교에서 발표한 이 논문은 저탄소 청정발전 기술 분야를 선도하고 있는 한국전력 전력연구원, 충북대학교와 공동으로 수행한 연구로 600MW 초초임계 순환유동층 발전소의 경제성 분석을 분석하였고 탄소 배출 저감을 위해 실시되는 석탄세, 탄소 크레딧 등이 초초임계 순환유동층 발전 플랜트에 미치는 영향을 분석하고 탄소중립 자원인 바이오매스의 이용으로 인해서 얻을 수 있는 경제적 이익을 제시함으로서 초초임계 순환유동층의 연구에 기술·경제적인 당위성을 제시함

- 두 번째로 높은 피인용도를 보인 논문은 CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES가 2016년에 발표한 'CARBON REDUCTION COST ESTIMATING OF CHINESE COAL-FIRED POWER GENERATION UNITS: A PERSPECTIVE FROM NATIONAL ENERGY CONSUMPTION STANDARD'로서 총 25회 피 인용되었음

- 이 논문은 1000MW 초초임계 장치의 탄소 저감 잠재력과 낮은 장치 저감 비용을 보여주며 중국 석탄 화력 발전 분야에서 탄소 저감 비용을 추정할 수 있는 모델을 제안하였기에 지속적으로 인용되고 있음

- 3번째로 높은 피인용도를 보인 논문으로는 TSINGHUA UNIVERSITY 연구팀이 발표한 'PROGRESS OF CIRCULATING FLUIDIZED BED COMBUSTION TECHNOLOGY IN CHINA: A REVIEW'(22회), ZHEJIANG UNIVERSITY 연구팀이 발표한 'PREDICTIONS OF NOx/N2O EMISSIONS FROM AN ULTRA- SUPERCRITICAL 순환유동층 BOILER USING A 2-D COMPREHENSIVE CFD COMBUSTION MODEL'(21회), 한경대학교 연구팀이 발표한 'TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF ULTRA-SUPERCRITICAL POWER PLANTS USING AIR- AND OXY- COMBUSTION CIRCULATING FLUIDIZED BED WITH AND WITHOUT 이산화탄소 CAPTURE'(17회), ZHEJIANG UNIVERSITY 연구팀이 발표한 'A NOTE ON LARGE-SIZE SUPERCRITICAL 순환유동층 TECHNOLOGY DEVELOPMEN'(17회) 임

□ **정량분석 결론**

- 초초임계 순환유동층 관련 기술은 시스템 성능·효율 평가, 성능향상, 파일럿 플랜트 실증 시험, 최적화, 경제성 분석 등의 다양한 주제에 대한 연구가 2016년 이후로 진행되고 있고 중국과 한국을 중심으로 발표가 되고 있음

- 중국은 환경보호를 위해 고효율 기술 도입을 의무화하여 600MW 이상 발전소는 초임계 또는 초초임계 사용 계획을 추진하고 있기에 관련 연구가 활발히 진행되고 있고 CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES, TSINGHUA UNIVERSITY, ZHEJIANG UNIVERSITY 의 연구 결과가 높은 피인용지수를 보이고 있음

- 초초임계 순환유동층에 대한 관심이 높아짐에 따라 중국, 한국, 싱가포르, 러시아, 영국에서 수행한 연구 결과가 논문으로 게재되었으며, 향후 실증 및 상용화가 이루어지고 석탄 외에 바이오매스, 폐기물의 이용이 활발히 모색되고 있어 관련 논문의 발표는 지속적으로 증가할 것으로 예상됨

[표 49] 고효율 순환유동층 주요 논문 피인용도

순서	논문제목	저자	소속기관	피인용도
1	ECONOMIC ANALYSIS OF A 600 MWE ULTRA SUPERCRITICAL CIRCULATING FLUIDIZED BED POWER PLANT BASED ON COAL TAX AND BIOMASS CO-COMBUSTION PLANS	S. LEE, ET AL.	JEONBUK NATIONAL UNIVERSITY (한국)	49
2	CARBON REDUCTION COST ESTIMATING OF CHINESE COAL-FIRED POWER GENERATION UNITS: A PERSPECTIVE FROM NATIONAL ENERGY COMSUMPTION STANDARD	S. YU, ET AL.	CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES (중국)	25
3	PROGRESS OF CIRCULATING FLUIDIZED BED COMBUSTION TECHNOLOGY IN CHINA: A REVIEW	R. CAI, ET AL.	TSINGHUA UNIVERSITY (중국)	22
4	PREDICTIONS OF NOx/N2O EMISSIONS FROM AN ULTRA-SUPERCRITICAL 순환유동층 BOILER USING A 2-D COMPREHENSIVE CFD COMBUSTION MODEL	J. JI, ET AL.	ZHEJIANG UNIVERSITY (중국)	21
5	TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF ULTRA-SUPERCRITICAL POWER PLANTS USING AIR- AND OXY-COMBUSTION CIRCULATING FLUIDIZED BED WITH AND WITHOUT 이산화탄소 CAPTURE	T. VU, ET AL.	HANKYONG NATIONAL UNIVERSITY (한국)	17
6	A NOTE ON LARGE-SIZE SUPERCRITICAL 순환유동층 TECHNOLOGY DEVELOPMENT	L. CHENG, ET AL.	ZHEJIANG UNIVERSITY (중국)	17

□ **시사점**

- 초초임계 순환유동층 관련 기술은 고효율 및 환경친화적인 전력 생산을 세계 각국이 모색하고 있기에 차세대 발전 산업의 주력 기종으로 기술개발 및 상용화가 진행됨
- 초초임계 화력 발전 플랜트 건설을 위해서는 보일러의 설계기술 및 니켈 등을 이용하는 초내열합금의 사용, 고효율 및 고신뢰성의 용접기술이 요구되고 있으며 관련 기술개발도 활발히 진행되나 상용화를 위해 필요한 실증 시간을 맞추기 어려워 이를 극복할 수 있는 산학연 협력이 요구되고 있음

- 환경 규제는 지속적으로 강화되고 있고 지구온난화에 따른 온실가스 저감에 대한 현실적인 요구가 있기에 초초임계 순환유동층은 기존의 석탄 외에 바이오매스, 폐기물의 적극적인 이용이 모색되고 있기에 초고효율의 환경친화적 순환유동층 연소로 또는 보일러에 대한 지속적인 연구 개발이 필요함
- 본 기획과제와 같은 실증급 기술 개발은 국내의 산학연 협력에 이정표가 될 것이며 초초임계 순환유동층 연구와 산업을 국내의 산학연 협력체가 세계를 주도할 수 있도록 도와줄 것으로 예상됨

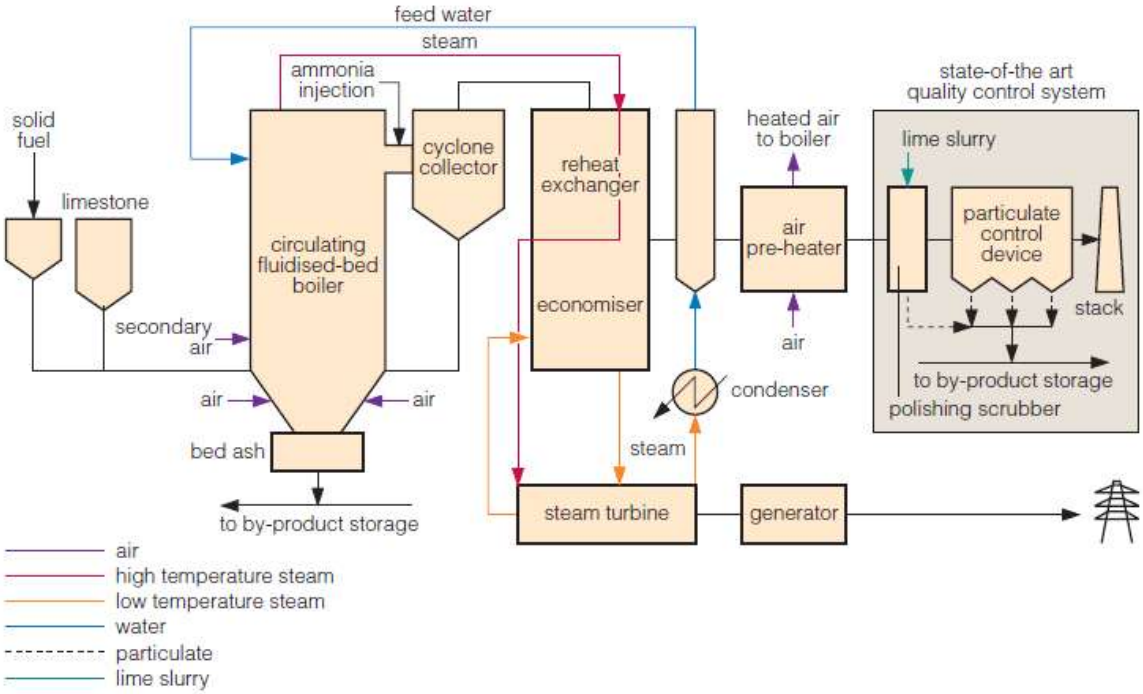
3. 기술개발 내용

가. 기술개요

□ **상용급 초고효율 순환유동층 실증플랜트 : 초임계 증기(593℃, 246기압 이상) 조건에서 증기터빈을 운전하는 초고효율 발전 플랜트**

○ 순환유동층 보일러는 고체 입자가 유체처럼 움직이는 유동층 공정의 하나인 순환유동층을 이용하여 석탄, 바이오매스, 폐기물 등의 연료를 연소하여 유동층 물질을 가열시키고 전열관을 통해 고온, 고압의 증기를 생산하고 이를 터빈으로 보내 전력을 생산하는 기술

- 순환유동층 보일러의 구성은 연료의 연소 및 층물질의 유동 및 비산이 일어나는 연소로와, 비산 유출되는 입자를 기체와 분리하여 포집하고 연소로 내부로 다시 순환시키는 CYCLONE, LOOP-SEAL, 열흡수 및 성능을 조율하는 EXTERNAL HEAT EXCHANGER 및 보일러 CONVECTIVE BACK-PASS로 구성됨



80)

[그림 109] 순환유동층 보일러 개략도

- 고체 연료와 탈황 흡수제가 주입되는 연소로에서 연소를 위해 주입되는 공기에 의해 재순환되는 유동 매체 및 고체 연료, 탈황 흡수제가 유동화되고 1차 공기는 분산판 하부에서 공급되고 연소로 상부에서 연소를 위한 2차 공기가 주입됨

- 고효율의 CYCLONE과 같은 고체 분리 시스템이 연소로에서 고온의 가스들이 배출되는 외부에 설치되어 연소로를 떠나는 대부분의 고체 입자들을 포집하여 연소로에 재주입하며 소량의 비산 회재가 배기가스에 의해서 동반 배출되나 전기 집진기와 같은 입자 포집기들에

80) 두산중공업 내부자료

의해서 포집됨

- 과열기(SUPERHEATER), 재과열기(REHEATER), 이코노마이저(ECONOMIZER), 공기가열기(AIR PREHEATER) 등을 포함하는 대류 전열관(CONVECTIVE PASS)은 가스 흐름에 맞추어 설치되고 전열관이 CYCLONE 후단에 따라 설치되는 IN-LINE과 반대 방향에 설치되는 OVER-THE-TOP 설계로 구분됨

- 내부 및 외부 열교환기가 CYCLONE 하부에 설치되고 CYCLONE 또는 다른 종류의 고체 포집기들은 마찰에 의한 손실을 최소화하기 위하여 냉각되며 유동층 방식의 외부 열교환기도 설치되는 경우가 있으며 연소로에 있는 고온의 유동 매체와 냉각된 저온의 순환매체가 연소로의 온도를 설계 온도로 유지시켜 줌

□ **탄소중립 기반의 초고효율 순환유동층 보일러 설계 및 플랜트 엔지니어링 기술**

- 상용급 초고효율 순환유동층 보일러의 개발을 위해 실증 규모의 보일러 설계 및 플랜트 엔지니이링 기술이 필요함

- 플랜트 엔지니어링 및 최적 공정 구성

- CCUS-READY를 위한 부지계획 및 관련 설비 구성

□ **이산화탄소 및 미세먼지 저감형 초초임계 순환유동층 플랜트 실증건설**

❍ BIOMASS·BIO-SRF 20% 혼소 가능 초초임계 순환유동층 플랜트 실증건설

❍ 핵심요소설비 모듈 제작·설치를 통한 건설 기간 단축 및 플랜트 신뢰성 향상

❍ 미세먼지 저감 통합 환경설비 및 솔루션 설치

- 미세먼지 배출현황 및 AQCS(AIR QUALITY CONTROL SYSTEM) 설비 진단시스템 구축

- 기개발된 NON LEAKAGE GGH(GAS-GAS HEATER), 고효율 EME(ELECTROSTATIC MIST ELIMINATOR) 및 고효율 DE-NOx 시스템 설치

- 환경오염물질 배출 최소화 : SOx(<5ppm), NOx(<5ppm), DUST(<2mg/Nm^3)

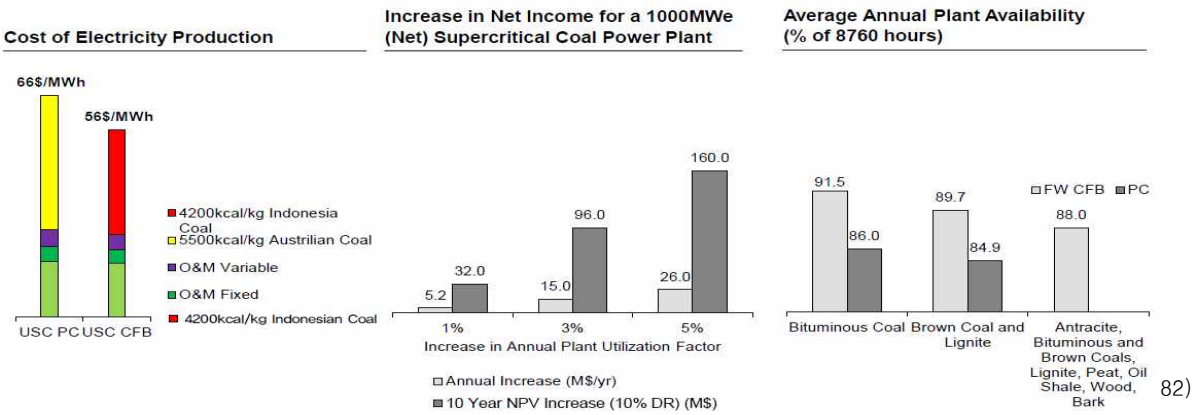
❍ 초초임계 순환유동층 보일러 시 운전 및 성공적 상업 운전 달성

□ **초초임계 순환유동층 플랜트 수익 모델**

❍ 초초임계 순환유동층 플랜트 상용화를 통한 수익모델은 플랜트 발전원가 제고, 환경성 제고 및 관련 기술·기자재 등 판매수익 창출임

❍ 해외 발전사업 실증에 따른 발전원가 제고 및 환경성 제고에서는 기존 고급 유연탄을 저급탄으로 대체함으로써 얻어지는 경제적 이득 부분이 있으며 이는 현지 공적 사업의 발전원가 제고라는 부분의 수익으로 창출될 것으로 기대함

- 전력 생산 가격(COE : COST OF ELECTRICITY PRODUCTION), 저급탄 이용률 등 측면에서 미분탄 보일러 대비 순환유동층 보일러가 우수하다는 것이 근거가 됨[81)]



82)

[그림 110] 순환유동층 보일러 전력 생산 가격 및 이용률 분석

나. 사업목표

□ **비전 : 탄소중립·기후대응을 위한 고효율 순환유동층 발전 플랜트 상용화 설계·운영기술 실증화를 통한 차세대 기저발전 시스템 해외시장 개척**

□ **목표 : 고효율 순환유동층 보일러 설계기술을 국산화하고, 상용 플랜트 건설·운영을 통한 해외시장 진출 토대 마련**

○ 고효율 순환유동층 보일러 설계 기술개발

- 보일러 BOUNDARY CONDITION 결정
- 초임계급 순환유동층 보일러 기본·상세설계
- 바이오매스 혼합연소를 위한 핵심설비 설계
- 보일러 효율 최적화 운전기술 개발

○ 고효율 순환유동층 실증 플랜트 건설

- 보일러부·터빈부·BOP부 SPECIFICATION 결정
- 플랜트 건설 계획 표준화

○ 고효율 순환유동층 실증 플랜트 운영기술 개발 및 표준화

- 고효율 순환유동층 플랜트 운영 S/W 개발

81) The Value Proposition Of 순환유동층 Technology For The Utility Power Sector, PGA 2013
82) 두산중공업 내부자료

□ 해외 진출용 고효율 순환유동층 플랜트 기술개발 전·후 수준

[표 50] 고효율 순환유동층 플랜트 분야 향후 모습

<table>
<tr><th rowspan="2">핵심항목</th><th rowspan="2">현재 수준(모습)</th><th colspan="2">R&D 수행시 개선수준(모습)</th><th rowspan="2">향후 수준(모습)</th></tr>
<tr><th>'23년 수준</th><th>최종 목표수준</th></tr>
<tr><td></td><td>~'21</td><td>'23</td><td>'27(종료년도)</td><td>'27~(종료이후)</td></tr>
<tr><td>고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술</td><td>▪ 300MW 이하급 순환유동층 보일러 기본설계

– 플랜트 효율 : < 38%
– 바이오매스 혼합 연소 비율 : 0%
– 이산화탄소 배출량 : > 900g/kWh</td><td>▪ 해외 진출용 300MW 이상급 고효율 순환유동층 플랜트 기본·상세설계

– 플랜트 효율 : > 43%
– 바이오매스 혼합 연소 비율 : > 20%
– 이산화탄소 배출량 : < 700g/kWh
– 초초임계 플랜트 기본·상세설계확보</td><td>▪ 해외 진출용 300MW 이상급 고효율 순환유동층 플랜트 건설·운영

– 플랜트 효율 : > 43%
– 바이오매스 혼합 연소 비율 : > 20%
– 이산화탄소 배출량 : < 700g/kWh
– 초초임계 플랜트 건설·운영기술 확보</td><td>▪ 해외 고효율 기저발전 시장 선도

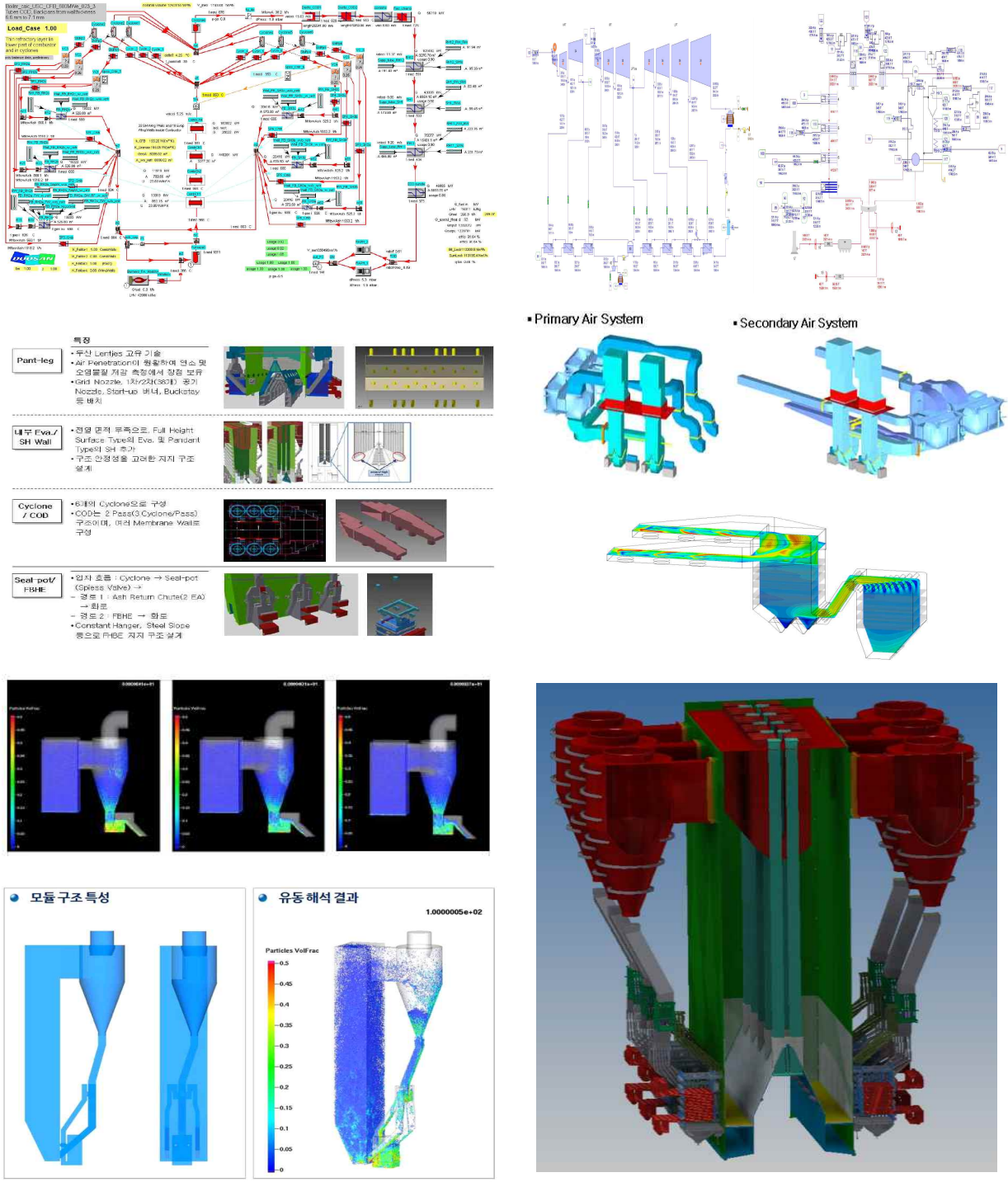
– 플랜트 효율 : > 43%
– 바이오매스 혼합 연소 비율 : > 20%
– 이산화탄소 배출량 : < 700g/kWh
– 초초임계 플랜트 설계·건설·운영기술 확보</td></tr>
<tr><td>AS-IS</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>TO-BE</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
</table>

다. 핵심 개발내용

□ 고효율 순환유동층 보일러 설계

- 고효율 순환유동층 보일러 개념설계
  - 연료 등 BOUNDARY CONDITION 정의 및 터빈 사양, 연소로 등 설계 개념 확정
  - 바이오매스 20% 이상 혼합연소 설계 반영
  - 보일러 설계조건 확정
  - 보일러 구조·재질 확정
  - 보일러 HEAT BALANCE 검토
- 고효율 순환유동층 보일러 단위 구성기기 설계
  - 연소로 모듈화·대용량화 CONCEPT 결정
  - 주요기기(연소로, CYCLONE, 재 순환부) 설계 CONCEPT 결정
  - 보조기기(백패스, 공기·배기가스 공급설비, 환경설비 등) 설계 CONCEPT 결정
  - 공기·입자계통 및 물·증기계통 설계 CONCEPT 결정
- 고효율 순환유동층 보일러 기본·상세설계
  - PROCESS ENGINEERING
    : HEAT BALANCE CALCULATION
    : PFD : PROCESS FLOW DIAGRAM
    : P&ID : PIPING & INSTRUMENTATION DIAGRAM
  - MECHANICAL ENGINEERING
    : 단위 기기(연소로, CYCLONE, 외부열교환기 등) 성능·사이즈 설계
    : 자재 사양서(BOM : BILL OF MATERIAL)
  - ARRANGEMENT PLANING & STEEL STRUCTURE ENGINEERING
    : 구조해석
    : 기기배치도
    : 철골구조도
    : 압력부·비압력부 간섭 검토
    : 보일러 2D·3D 모델링
  - CONTROL LOGIC ENGINEERING
    : 제어로직 설계 및 전체·단위 제어 기능설명서
  - 운전·유지보수 매뉴얼

- 외부열교환기 소재 적용성 검토
- 보일러 동특성 해석



[그림 111] 고효율 순환유동층 보일러 설계 과정

- 고효율 순환유동층 보일러 단위 구성기기 설계 검증·최적화
  - 3D 모델링 수치해석 활용 연소로·CYCLONE·외부열교환기 설계 검증

• 용량 격하 시험장치 활용 설계 검증·최적화

□ **고효율 순환유동층 플랜트 건설·시운전**

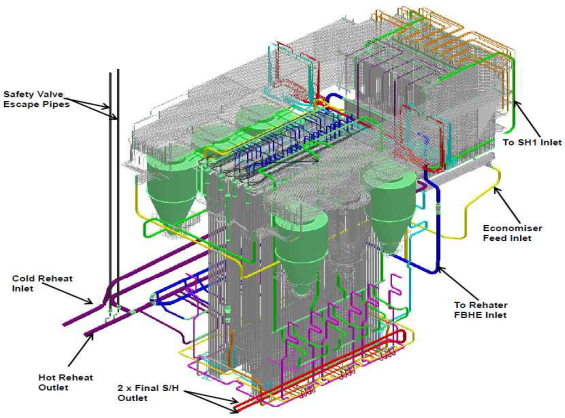
– 고효율 순환유동층 플랜트 건설·시운전

• 고효율 순환유동층 보일러 건설·시운전 매뉴얼 개발

• 플랜트 시운전 계획수립 및 보일러 성능 테스트

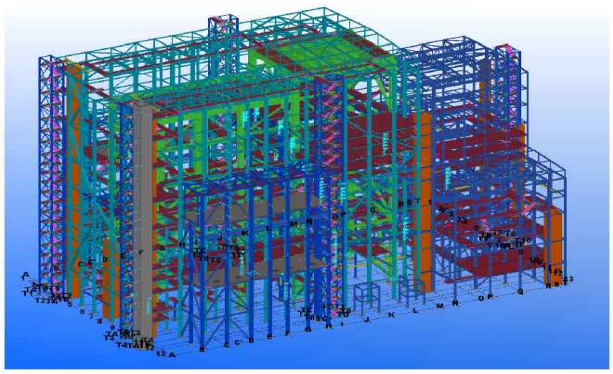


[부지계획 및 설비배치안(예)]



[고효율 순환유동층 보일러 설계(예)

[그림 112] 플랜트 엔지니어링 설계 과정



[600MW 초초임계 순환유동층 보일러 구조물(예)]



[600MW 초초임계 순환유동층 보일러 실증건설(예)]

[그림 113] 실증설비 건설 과정

• 미세먼지 등 대기오염물질 저감 통합 환경설비 및 솔루션 설치

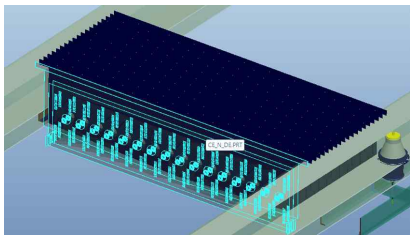
: AQCS(AIR QUALITY CONTROL SYSTEM) 진단시스템 구축

: LEAKAGE GGH, EME(ELECTROSATIC MIST ELIMINATOR) 및 고효율 DE-NOx 시스템 설치

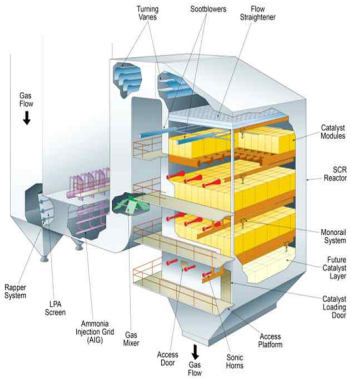
: 이산화탄소 포집·저장·활용 부지계획 및 설비 구성 반영



[NON LEAKAGE GGH(예)]



[고집진 EHE(예)]



[고효율 SCR(예)]

[그림 114] 미세먼지 저감 통합 환경설비 적용(안)

□ **고효율 순환유동층 보일러 운영기술 개발**

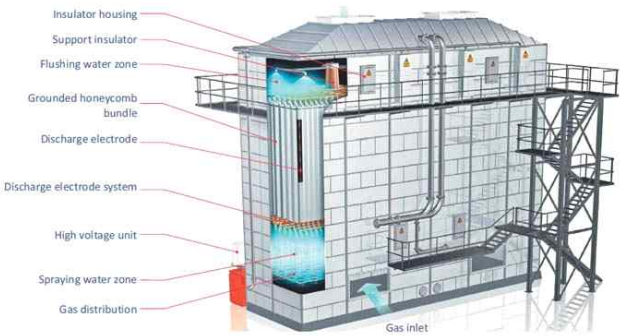
- 고효율 순환유동층 보일러 운영기술 개발

  • 보일러 운전 장애 방지 및 환경 문제 대응 기술개발

  : 연료별 보일러 성능예측 및 효율 향상 기술개발

  : 환경오염물질 계측 스마트 센서 적용 및 환경 부하 최소화 기술개발

  : LOW INVENTORY 운전기법 개발 및 최적 튜브 코팅기법 선정



[미세먼지 저감 기술개발(습식 ESP 예)]



[튜브 마모 최소화 기술개발(예)]

[그림 115] 플랜트 운영기술 개발

• 최적 운영기술 개발 및 패키지화

: 디지털 솔루션 개발·적용을 통한 최적 운영기술 구현

: 빅데이터 기반 고효율 순환유동층 보일러 모니터링 시스템 구축

• VIRTUAL SIMULATOR 국산화 S/W 개발

: 플랜트 조기경보 진단시스템 개발

: VIRTUAL SIMULATOR 구현을 통한 보일러 종합관리시스템 개발

- 동특성 모델 국산화 S/W 개발

  : 계통별 동특성 모델 개발

  : 동특성 모델 통합 및 안정화 테스트

- 연소로 해석기술 국산화 S/W 개발

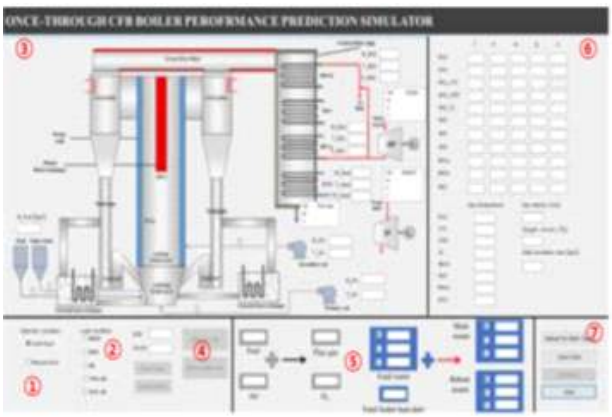
  : 연소로 유동·연소 수치해석 기법 개발

  : 압력부 열전달 모델 개발

- 보일러 설계 국산화 S/W 개발

  : 국산 설계 S/W 통합·검증(신뢰성)

  : 국산 보일러·환경설비·터빈 통합설계 S/W 구현



[고효율 순환유동층 플랜트 DYNAMIC SIMULATOR(예)]



[고효율 순환유동층 플랜트 VIRTUAL PLANT 구현(예)]

[그림 116] 고효율 순환유동층 플랜트 운영기술 S/W

- 고효율 순환유동층 플랜트 기술·경제성 평가방법 표준화

  : 고효율 순환유동층 플랜트 기술성·경제성 종합 평가 및 평가 S/W 개발



[그림 117] 기술성·경제성 평가 S/W(예)

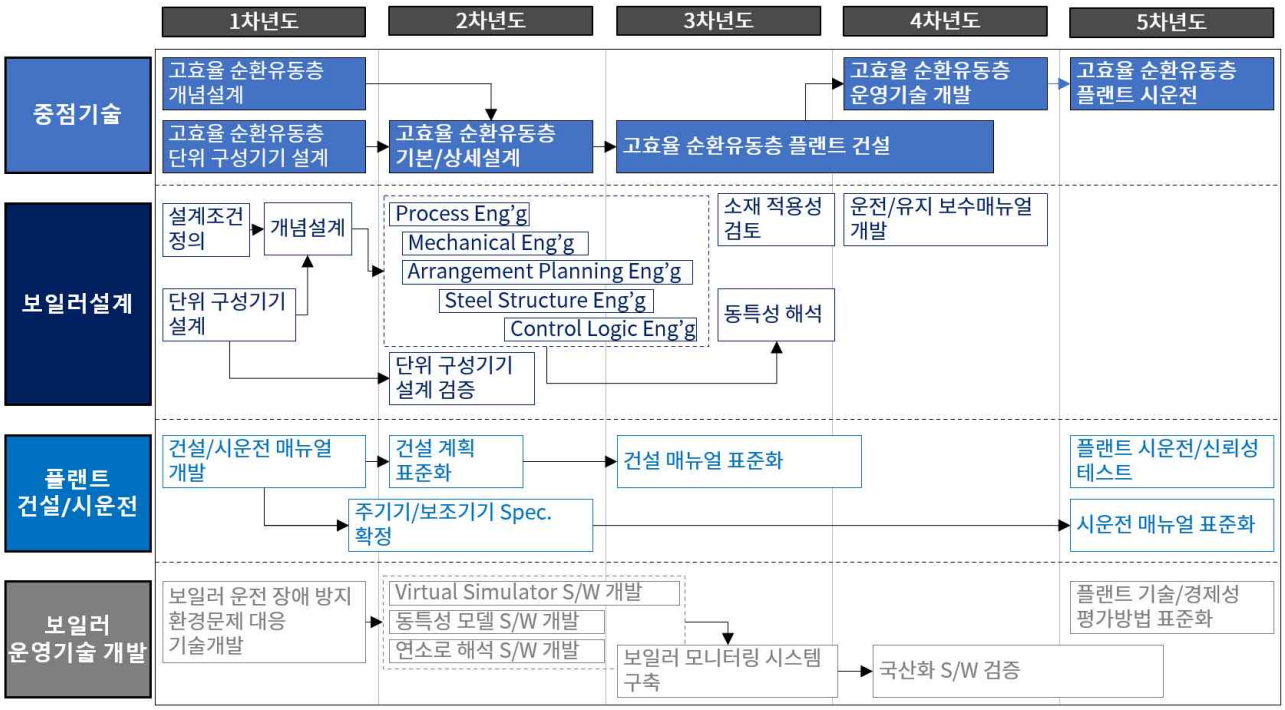
라. 연차별 연구개발 내용

(1) 연차별 연구내용

[표 51] 고효율 순환유동층 상용화 기술개발 연차별 연구내용

	고효율 순환유동층 상용화 기술개발				
	연차별 추진계획				
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
중점 기술	• 고효율 순환유동층 개념설계 • 고효율 순환유동층 단위 구성기기 설계	• 고효율 순환유동층 기본·상세설계	• 고효율 순환유동층 플랜트 건설	• 고효율 순환유동층 플랜트 건설 • 고효율 순환유동층 보일러 운영기술 개발	• 고효율 순환유동층 플랜트 시운전
보일러 설계	• BOUNDARY CONDITION 정의 • 바이오매스 혼합연소 설계 반영 • 보일러 설계조건 정의 • 보일러 단위 구성기기 설계	• PROCESS ENGINEERING • MECHANICAL ENGINEERING • ARRANGEMENT PLANNING & STEEL STRUCTURE ENGINEERING • CONTROL LOGIC ENGINEERING • 보일러 단위 구성기기 설계 검증·최적화	• 외부열교환기 소재 적용성 검토 • 보일러 동특성 해석	• 운전·유지보수 매뉴얼 개발	
플랜트 건설·시운전	• 보일러 건설·시운전 매뉴얼 개발	• 플랜트 건설 계획 표준화 • 터빈, 환경설비 등 주·보조기기 SPECIFICATION 확정	• 플랜트 건설 매뉴얼 표준화		• 플랜트 시운전 • 플랜트 신뢰성 테스트 • 플랜트 시운전 매뉴얼 표준화
보일러 운영 기술 개발	• 보일러 운전 장애 방지 및 환경문제 대응 기술개발	• VIRTUAL SIMULATOR S/W 개발 • 동특성 모델 S/W 개발 • 연소로 해석 S/W 개발	• 보일러 모니터링 시스템 구축	• 국산화 S/W 검증	• 국산화 S/W 검증 • 플랜트 기술·경제성 평가 방법 표준화

(2) 실행 로드맵



[그림 118] 고효율 순환유동층 실행 로드맵

마. 차별성 및 연계성

□ 선행 연구 및 차별성

- 대용량 초초임계 순환유동층 기술개발, USC-CFB RPM DEVELOPMENT, USC-CFB FEASIBILITY STUDY 등의 관련 선행 연구가 수행됨
- 선행연구들은 본 과제와 달리 고효율 순환유동층 타당성 조사 및 설계 기술개발에 국한되어 있어, 연계성은 있으나 고효율 순환유동층 보일러의 기본·상세설계, 운영기술개발, 특히 실증이 포함되어 있지 않아 차별성 확인

[표 52] 고효율 순환유동층 상용화 기술개발의 기존 유사과제 분석(1)

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
대용량 초초임계 순환유동층 기술개발	한국전력 두산중공업 남동발전 남부발전 동서발전	2015.12. - 2018.11.	유사과제는 600MW급 초초임계 순환유동층 기본설계 개발 사업 본 과제에서는 기본설계 외 상세설계, 실제 플랜트 실증을 통한 TRACK RECORD 확보 측면에서 차별성이 있음
USC-CFB RPM DEVELOPMENT	두산중공업	2014.08. - 2016.11.	유사과제는 두산중공업 자체 과제로서 600MW급 초초임계 순환유동층 모델 개발 사업 본 과제에서는 기본설계 외 상세설계, 실제 플랜트 실증을 통한 TRACK RECORD 확보 측면에서 차별성이 있음
USC-CFB FEASIBILITY STUDY	두산중공업	2013.01. - 2013.12.	유사과제는 두산중공업 자체 과제로서 600MW급 초초임계 순환유동층 모델 개발 타당성 조사 사업 본 과제에서는 기본설계 외 상세설계, 실제 플랜트 실증을 통한 TRACK RECORD 확보 측면에서 차별성이 있음

□ **연계방안**

- 대용량 초초임계 순환유동층 기술개발 선행연구에서 확보한 초초임계 순환유동층 기본설계 국산화 기술, 바이오매스 혼합연소 기술, 단위 핵심 설계기술 등을 고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술개발 시 활용 가능

[표 53] 고효율 순환유동층 상용화 기술개발의 기존 유사과제 분석(2)

<table>
<tr><td colspan="2">사전 확보기술</td><td></td><td>본 핵심 R&D
필요기술명</td><td></td><td colspan="2">후속/연계 활용기술
(본 사업 핵심/구성기술애서)</td></tr>
<tr><td>선행
기술명</td><td>• 대용량 초초임계 순환유동층 기술개발</td><td rowspan="3">⇨</td><td rowspan="3">고효율
순환유동층
플랜트
설계·건설·운영
기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td>기술명</td><td>• 고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술개발</td></tr>
<tr><td>연계
대상물</td><td>• 고효율 초초임계 보일러 기본설계 기술</td><td>대상
성과물</td><td>• 실증사이트 대상 고효율 순환유동층 설계도면, 운영 S/W, 건설·운영 매뉴얼</td></tr>
<tr><td>활용
방안</td><td>• 고효율 초초임계 보일러 기본설계 경험 활용 상세설계, 운영기술개발, 실증건설·운영을 통한 TRACK RECORD 확보에 연계</td><td>활용
방안</td><td>• 고효율 순환유동층 보일러 TRACK RECORD 확보
• 고효율 순환유동층 플랜트 동남아시아 시장 진출</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>⇧</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술연계</td><td colspan="2">과제 개요</td><td colspan="2">연계대상 성과물</td><td colspan="2">차별성/연계성</td></tr>
<tr><td colspan="2">• 과제명 : 대용량 초초임계 순환유동층 기술개발
• 과제기간 : ‘21.12 – ’18.11
• 과제개요 : 초초임계 순환유동층 기본설계 개발 사업
• 과제목적 : 대용량 초초임계 순환유동층 보일러 국산 기본설계 기술 확보</td><td colspan="2">• 대용량 초초임계 순환유동층 보일러 기본설계 도면</td><td colspan="2">• (차별성) 기본설계 외 상세설계, 실제 플랜트 실증을 통한 TRACK RECORD 확보 추가
• (연계성) 기본설계 국산화 기술 활용, 바이오매스 혼합연소 기술 활용, 단위 핵심 설계기술 활용</td></tr>
</table>

4. 과제추진전략

가. 추진체계

□ **추진체계**

○ 상용급 초고효율 순환유동층 실증화는 연구단(산·학·연 협동 연구 체계) 급으로 사업추진

[표 54] 과제 추진체계



❍ 사업추진 주체별 역할 분담

[표 55] 고효율 순환유동층 상용화 기술개발 주체별 역할 분담

주체	역할 및 기능
주관부처 (국토교통부)	• 사업총괄 부처(최상위 의사결정기관) • 사업의 추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정 • 사업 시행계획 수립 • 사업 투자우선순위 결정 등
전문기관 (국토교통과학기술진흥원)	• 연구단 기획·평가·운영위원회 구성·운영 • 연구단 진도 및 실적 점검 • 연구단 및 중점, 세부과제 선정·단계·최종평가 • 사업진도 및 연구개발 성과에 대한 검증 및 평가 수행 • 각 기술 분야 산학연 전문가들로 구성된 평가위원 풀을 이용하여 관계법령에 따라 선정평가, 연차 단계평가, 최종평가 등을 시행(연차평가, 현장실태 점검, 중간실적 및 계획 평가, 최종성과 평가) • 기술 확산 및 정책 활용성 검토 등
연구단	• 연구단장 – 사업추진을 위한 컨소시엄 구성 – 세부과제 진도관리·자체평가·참여기관 간 역할배분 등 – 연구성과 관리 및 사업화 지원 – 연구성과 보급·확산 및 홍보 • 대학: 시스템 공정 시뮬레이션 및 개념설계, 수치해석, 데이터 분석, 경제성 평가 해석, 가스 분석 등 • 출연연: 라이선스 확보, 기본설계, 최적화 등 • 민간기업: 상세설계, 건설, 운영 등
연구개발사업 협의체 (사업협력기관)	• 통합과제와 세부과제 간 사업추진 방향과 운영에 대한 실무 협의 • 세부과제 간 과제, 예산 조정 협의 • 후속과제 기획 협의

나. 추진전략

□ **고효율 순환유동층 보일러 국산화 기술을 통한 실증사업 완료와 실증사업 이후 신 발전기술의 해외수출을 통한 수익 창출 분야가 주 사업 목적임**

- 해외 실증사업은 고효율 순환유동층 건설·운영을 통해 발전 경제성 및 환경성을 제고 가능한 분야로, 고효율화 및 연료 다변화를 통해 발전원가 저감뿐만 아니라, 이산화탄소의 실질적 저감을 통해 친환경 발전 효과 극대화 가능
- 해외사업 진출은 실증, 검증된 기술의 고유모델 및 브랜드를 가지고 국내 독자적 컨소시움 구성을 통해 건설(중공업사)에서 시운전 및 운영(한전·발전사 : EPC, EPCM)까지 맡아 해외수익 창출의 극대화를 기대할 수 있음
- 본 사업 모델을 만족하기 위해 기업 부분에서 한전 및 발전사 그리고 이의 제작을 위한 중공업사의 참여가 예상됨

□ **기술 실현성 및 상용화 가능성이 높은 연구개발 분야를 사업 모델로 진행하고 상업화 시기가 늦은 연구개발 분야는 연구 모델로 수행하는 사업 모델과 연구개발 모델의 병렬 추진**

- 기술개발 방향은 타당성조사 기반의 설계자료 구축 및 시스템 종합설계 기술개발과 향후 도출결과의 실증적용 및 운전, 운영 기술개발로 구분할 수 있음
- 대형발전시설로의 적용은 정부의 정책 및 경제적 지원을 통한 관련 연구의 구심점 확보, 실증 산·학·연 공동연구를 통하여 실증계획 추진
- 연구 개발 분야는 기술 고도화 차원에서 기본기술을 소유한 연구기관 및 중공업사의 공동연구개발을 중심으로 이루어져야 하며, 실증·건설에서는 발전사의 참여를 통한 시스템 활용 실증을 근간으로 한 운영기술의 개발이 이루어져야 함

□ **해외수출형 기술확보와 실증화를 고려한 효율적인 사업관리 및 개발성과의 확산체계 구축**

- 현지 국가 정부 및 유관 기관과의 업무협약을 통하여 현지 공동개발 기획, 사업화 부지 조사, 등에 관한 교류·협력을 추진
- 연구개발 성과물의 실용화 및 현장적용 강화를 위한 실용화 단계별 세부적인 지원방안을 수립

□ **본 사업을 통해 예상되는 초초임계 순환유동층 발전설비의 주 고객군은 아래와 같음**

- 아시아 시장 : 인도, 인도네시아, 베트남, 필리핀, 중국, 등 아시아 개도국의 정부, 전력회사 및 발전사가 주 고객군이 될 수 있으며, 중국 등의 경우는 국내에서 발전투자지분을 가지고 있는 산서성의 격맹국제 전력회사 등이 될 수 있음
- 아시아 외 시장 : 터키, 독일 등의 저급탄 매장량이 풍부한 유럽 지역과 미국, 기타 유럽국가의 기존 노후 화력설비의 RETROFIT 시장이 주 고객군임

- 한국 및 일본 : 석탄 최다 수입국 중에 하나로, 저급탄을 활용한 고효율, 청정발전을 목표로 하고 있어, 아시아 시장과 마찬가지의 신규 발전설비뿐만 아니라, 노후 발전설비의 RETROFIT이 주요 시장일 수 있으며, 한국에서는 남부발전 및 남동발전 그리고 동서발전 등이 주 유동층 보일러의 시장고객이 될 수 있음

□ **순환유동층 플랜트의 경쟁력 확보를 위해서는 국내 유동층을 연구·공급하는 산업체·학교·연구소가 공조하여 순환유동층의 설계·건설·운전 최적화 기술확보가 필요함**

- 순환유동층 플랜트는 설치 후 아래와 같은 주요 운영상 문제점이 발생하고 있어, 이를 개선하기 위한 제작사·발전사를 중심으로 설계·건설·운전 기술 최적화 노력을 진행하고 있음

- 신규 순환유동층 플랜트 공급 시 이러한 문제점을 사전 방지하기 위해 설계·건설·운전 경험·데이터를 축적하여 현재 국산화하고 하고 있고, 개발된 국산화 기술은 해외 플랜트 수출을 위한 기반이 되고 있음

- 운전 분야는 보일러 성능 최적화, 배기가스 오염물질 농도 최소화, 압력부 마모 및 내화물 탈락 최소화 등을 위해 DIGITAL TRANSFORMATION 개념을 도입하여 순환유동층 COMBUSTION OPTIMIZER, 압력부 진단시스템 등 여러 S/W를 국내 제작사·연구소를 중심으로 개발 중임

다. 위험요인 및 극복방안

□ **기술개발의 한계 및 극복방안**

○ 석탄화력발전소에 대한 국내 부정적 시각

- 석탄화력발전소는 미세먼지와 온실가스 발생의 원인으로 인식되고 있어 정부는 기존 노후 석탄발전소를 폐지하고 신규 석탄화력의 전력시장 진입을 제한하고 있음

- 유동층 발전방식은 보일러 연소온도가 낮고 비산회 발생량이 적어 기존 발전방식과 비교할 때 배기가스 중 미세먼지 발생량이 적으며, 바이오매스 연료 다변화가 가능하여 온실가스 저감에도 효과적인 기술임

- 고효율 순환유동층 발전시스템에서는 최신식 미세먼지 저감장치를 도입하고, 발전효율을 향상(5%↑)시켜 석탄 사용량을 저감함과 동시에 바이오매스 혼소율을 20%까지 높여 친환경 발전을 구현함으로써 미세먼지 및 온실가스 발생량을 획기적으로 감소시킬 수 있음

- 또한, CCS READY 기술을 통해 부지확보 및 CCS 기술융합 가능성을 사전 파악하여, 중장기적인 이산화탄소 저감에 대한 전략적 대응 가능

○ 국산화 기술개발품에 대한 높은 해외시장 진입장벽

- 연구개발의 대상이 되는 발전시설은 성공적으로 개발되어도 실용화를 위하여 실증시험을 거치고, 실제 발전을 하는 TRACK RECORD가 필수임

- 고효율 순환유동층 발전시스템은 동남아시아, 남아공 등의 신규 해외발전시장의 경쟁우위

선점을 위해 반드시 국내 TRACK RECORD 확보가 필요하며, 이를 위해 정부가 정책적으로 국산화 신기술 발전설비에 대한 인센티브 지급 고려 필요

- 본 기술개발 성공을 통해 종합 설계(A&E) - 기자재 공급(EPC) -건설 - 연료 조달(E&P) - 운영&유지(O&M)의 VALUE CHAIN을 구성하여 수출형 PACKAGE 개발을 통한 해외시장 개척이 가능하고 수익을 극대화시킬 수 있음

❍ 신발전 기술의 실증 계획 수립 및 사이트 마련 시 정부 협조 필요

- 효율 신발전시스템의 국산화개발을 위해서는 반드시 국내 실증이 필요함

- 신규 발전소 건설을 위해서는 차기 전력수급계획에 반영이 선행되어야 하므로 국가 에너지 안보 및 친환경 에너지기술의 육성 차원에서 정부 지원이 필수임

❍ 기술개발을 위해서는 기획범주에서 언급한 바와 같이, 증기 질의 향상 연구를 통한 초초임계 기술의 융합과 용량 격상을 위한 기술개발 및 검증이 종합적으로 이루어져야 함

[표 56] 고효율 순환유동층 상용화 기술개발의 SWOT 분석

국내역량요인 / 국외환경요인		강 점 요 인 (S)	약 점 요 인 (W)
		• 저급탄 활용 기회 증가 • 발전설비 고효율 전환증대 • 해외 신규 순환유동층 건설 증가 • 설계 기반기술 성숙화	• 자체 기술 확보 노력 미비 • 대규모 연구 개발 지원 필요 • 실증후보지 마련 정책 필요
기회요인 (O)	• 저급탄 수요 증대 • 개도국 순환유동층 시장 확대 • 원자력 안전문제 대두 • 초청정 기술구현 의무화	SO 전략 • 저급탄 고효율 확대 구축 • 이산화탄소 저감기술 구현 • 청정연료 사용기반 확대 • 기반기술 승계·통합·발전	WO 전략 • 재원 공동분담·RISK SHARE • 기술 자체 브랜드화·수출 • 타당성 확보를 통한 실증 정책 입안
위협요인 (T)	• 기술 독점 심화 • 신재생에너지 이용 확대 • 대규모 프로젝트 협력 개발	ST 전략 • 고효율, 초청정 순환유동층 자체 기술개발 및 구축 • 연료 다변화를 통한 경제성 제고	WT 전략 • 기업·연구소·에너지공급사 등 협력 연구를 통한 자체 기술 확보 • 정부의 RISK SHARE를 통한 대형 프로젝트 시행

라. 성과관리 및 활용방안

(1) 성과목표 및 지표체계

[표 57] 고효율 순환유동층 플랜트 주요 성능지표

핵심기술·제품 성능지표		단위	달성목표		국내 최고 수준	세계 최고 수준	
			개발 전	개발 후		현재	과제종료 시점
1	보일러 정격 출력	MW	150	300	150	500	600
2	보일러 증기 성능	℃/bar	-	600/250	545/175	600/250	600/250
3	플랜트 효율	%	38	> 43	38	43	43
4	플랜트 가동률	%	70	> 90	-	70	> 90
5	바이오매스 혼소율	%	-	> 20	10	10	20
6	대기오염물질 (SOx·NOx·먼지)	ppm·ppm ·mg/m^3	50·50·12	10·9·2	15·10·3	15·10·3	10·9·2
7	이산화탄소 배출량	g/kWh	900	< 700	900	< 700	< 700
8	보일러 운영 S/W	-	-	상용화	-	상용화	상용화

□ **성과지표**

○ 보일러 정격 출력

- NORMAL RATING 출력 시 전기 생산량

○ 보일러 증기 성능

- NORMAL RATING 출력 시 보일러 출구 주증기 온도·압력

○ 플랜트 효율

- NORMAL RATING 출력 시 발열량 기준 전기 생산 효율 계산

○ 플랜트 가동율

- 플랜트 계획 가동 시간 ÷ 플랜트 실제 가동 시간

○ 바이오매스 혼소율

- 전체 사용 연료 투입량 중 바이오매수 투입 비율

○ 대기오염물질

- TMS 기준 보일러 출구 오염물질 배출농도

❍ 이산화탄소 배출량

- 단위 전력 생산량 대비 TMS 기준 이산화탄소 배출량 계산

❍ 보일러 운전 S/W

- VIRTUAL SIMULATOR S/W, 동특성 모델 S/W 및 연소로 해석 S/W 구축 여부 확인

□ **특성화지표**

❍ 수입 대체율(10%)

- 측정산식 : (전체연구비 - 해외 지출 연구비) ÷ 전체연구비 × 100
- 측정방법 : 연구결과물(설계, 제작, 시공, 운영 등) 국산화율에 비례한 비용 절감효과 등을 통해 수입 대체율(국산화율) 목표 달성

❍ 기술료(8백만원/정부 출연금 10억)

- 측정산식 : ∑ (기술실시·이전을 통해 발생하는 기술료 징수액) ÷ 정부 출연금
- 측정방법 : 기술료 증빙

❍ 특허등급지수(SMART)(4.0)

- 측정산식 : ∑ (특허 등급 × 배점) ÷ (등록 특허 건수)
- 측정방법 : 한국발명진흥회의 특허 분석 평가시스템 SMART 활용
- 논문지수(50.0)
- 측정산식 : ∑ (게재 논문 순위보정 영향력 지수(mrnIF) ÷ 논문게재 건수
- 측정방법 : 당해연도에 게재된 논문을 대상으로 JCR 분류에 따라 해당 저널 Impact Factor 순위를 확인 후 표준화된 순위보정 영향력 지수(mrnIF)를 계산

* 최근 5년간(2015-2019) 플랜트연구사업의 학술지 게재 논문지수의 평균값(59.06)을 목표치로 설정

(2) 성과관리방안

□ **과제 선정방식**

- 사전기획 내용 및 기술수요 조사 등을 반영한 TOP-DOWN(지정 공모) 방식을 통해 평가 기준에 따른 선정

□ **과제 관리방식**

- 고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영 기술개발 사업은 세부과제 수행 기관 선정에서부터 종료 후 추적 평가에 이르기까지 전주기를 모니터링 관리

□ **과제 평가 방안**

○ 실증 플랜트 설계·건설·운전 자료를 통한 정량·정성 평가

- 보일러 기본·상세 설계 결과의 바이오매스 20% 이상 혼소율, 주증기 온도·압력, 보일러 용량, 플랜트 효율 만족 여부 평가
- 플랜트 건설 시 계획에 따라 공기 준수 여부, 감리 진행 여부 등을 평가
- 플랜트 시운전 시 보일러·플랜트 성능 만족 여부, 대기오염 배출물질 목표치 달성 여부 등 평가
- 보일러 운영 S/W 보유 여부, 특허·소프트웨어 등록·논문 등의 지식재산권 확보 및 실제 플랜트 시운전을 통해 운영 S/W 활용성 등 평가

(3) 성과활용방안

□ **탄소 저감형 고효율 기저발전 플랜트 해외시장 진출**

- 실증 TRACK RECORD를 근거로 동남아시아 중심 저급탄 및 바이오매스 보유국 중심 플랜트 기술 수출

□ **테스트베드에서 안정적 운영완료 후, 사업시행 주체가 될 발전사업자 대상 홍보활동 추진**

□ **테스트베드의 성과홍보를 위해 테스트베드에서 지역별 발전사업자 등 기술 활용 대상기관을 초청하여 설명회, 견학 프로그램 마련**

5. 소요 예산

가. 예산총괄 및 재원조달계획

□ 총괄표

❍ 연차별 투자계획

[표 58] 연차별 투자계획

구분 (사업기간)	총사업비 (백만원)	연차별 투자계획				
		‘23년	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년
사업기간 : ‘23-’27년	41,429	7,143	4,286	14,286	12,857	2,857
합계	41,429	7,143	4,286	14,286	12,857	2,857
국고	29,000	5,000	3,000	10,000	9,000	2,000
민간매칭 등	12,429	2143	1286	4286	3857	857

* 민간매칭은 향후 정부투자에 따라 변경가능

□ 재원조달계획

❍ (재원 분담률) 국고(회계) : 지방비 : 민자 = 70 : 0 : 30

- 대기업, 중견, 중소기업 공동참여 구성이 예상되므로, 민자 30% 수준으로 민간 분담비율을 설정
- 공모 시, 대기업과 중소기업 참여 수에 따라 민간 분담비율 변경 가능

❍ 기존 재원 범위 내에서의 수용 가능성

- 계획된 소요 예산은 국토교통부 기술개발 예산 규모에서 수용 가능
- 민간부담금의 경우 전체 연구개발비의 30% 수준이며 본 사업의 경우 지원대상이 대기업·중소기업으로 중점분야별 참여기업 규모를 고려하여 민간부담금 적용 비율을 차등 적용
- 재원조달 문제로 인한 본 사업의 지연 가능성은 매우 적은 것으로 판단

나. 세부과제 예산

□ 세부과제 예산

* 세부과제 상세 예산은 추후 변경될 수 있음

[표 59] 세부과제 예산

세부과제	예산 (백만원)		'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	계
보일러 설계	정부		1,500	900	3,000	2,700	600	8,700
	민간	현금	54	32	107	96	21	311
		현물	589	354	1,179	1,061	236	3,418
		계	643	386	1,286	1,157	257	3,729
	소계		2,143	1,286	4,286	3,857	857	12,429
플랜트 건설 시운전	정부		3,000	1,800	6,000	5,400	1,200	17,400
	민간	현금	107	64	214	193	43	621
		현물	1,179	707	2,357	2,121	471	6,836
		계	1,286	771	2,571	2,314	514	7,457
	소계		4,286	2,571	8,571	7,714	1,714	24,857
보일러 운영기술 개발	정부		500	300	1,000	900	200	2,900
	민간	현금	18	11	36	32	7	104
		현물	196	118	393	354	79	1,139
		계	214	129	429	386	86	1,243
	소계		714	429	1,429	1,286	286	4,143
총계	정부		5,000	3,000	10,000	9,000	2,000	29,000
	민간	현금	179	107	357	321	71	1,036
		현물	1,964	1,179	3,929	3,536	786	11,393
		계	2,143	1,286	4,286	3,857	857	12,429
	소계		7,143	4,286	14,286	12,857	2,857	41,429

[표 60] 세부과제 비목별 예산

세부과제	예산 (백만원)		'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	계
보일러 설계	직접비	재료비	1,286	771	2,571	2,314	514	7,457
		노무비	321	193	643	579	129	1,864
		경비	429	257	857	771	171	2,486
	간접비		107	64	214	193	43	621
	소계		2,143	1,286	4,286	3,857	857	12,429
플랜트 건설 시운전	직접비	재료비	2,571	1,543	5,143	4,629	1,029	14,914
		노무비	643	386	1,286	1,157	257	3,729
		경비	857	514	1,714	1,543	343	4,971
	간접비		214	129	429	386	86	1,243
	소계		4,286	2,571	8,571	7,714	1,714	24,857
보일러 운영기술 개발	직접비	재료비	357	214	714	643	143	2,071
		노무비	179	107	357	321	71	1,036
		경비	143	86	286	257	57	829
	간접비		36	21	71	64	14	207
	소계		714	429	1,429	1,286	286	4,143
총계	직접비	재료비	4,214	2,529	8,429	7,586	1,686	24,443
		노무비	1,143	686	2,286	2,057	457	6,629
		경비	1,429	857	2,857	2,571	571	8,286
	간접비		357	214	714	643	143	2,071
	소계		7,143	4,286	14,286	12,857	2,857	41,429

□ **세부과제 소요예산 산출내역**

○ 재료비

- 고효율 순환유동층 보일러 설계기술 개발
  - 보일러 단위 구성기기 설계 검증 테스트 설비 구축 : 6,000백만원
  - 검증 테스트 시약 등 소모품 : 1,457백만원
- 고효율 순환유동층 플랜트 건설·시운전
  - 순환유동층 보일러 시제품 제작 : 13,000백만원
  - 순환유동층 보일러 시운전 소모품 : 1,914백만원
- 보일러 운영기술개발
  - 다이나믹 등 디지털솔루션 상용 S/W 라이선스 : 2,071백만원

❍ 노무비

- 고효율 순환유동층 보일러 설계기술 개발

투입인력(인)	‘23년	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년	계
책임급*	4.5	2.7	8.9	8.0	1.8	25.9

* 노무비 72백만원 기준

- 고효율 순환유동층 플랜트 건설·시운전

투입인력(인)	‘23년	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년	계
책임급*	8.9	5.4	17.9	16.1	3.6	51.8

* 노무비 72백만원 기준

- 보일러 운영기술개발

투입인력(인)	‘23년	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년	계
책임급*	2.5	1.5	5.0	4.5	1.0	14.4

* 노무비 72백만원 기준

❍ 경비

- 고효율 순환유동층 보일러 설계기술 개발

  • 단위 설계 검증, LAB TEST 및 수치해석 외주용역 : 1,500백만원

  • 기타 회의비, 출장비 등 : 986백만원

- 고효율 순환유동층 플랜트 건설·시운전

  • 순환유동층 보일러 시제품 건설 외주용역 : 4,000백만원

  • 기타 회의비, 출장비 등 : 971백만원

- 보일러 운영기술개발

  • 플랜트 SIMULATOR 개발 외주용역 : 800백만원

  • 기타 회의비, 출장비 등 : 29백만원

6. 실증계획 수립

가. 테스트베드 실증 추진전략

- 고효율 순환유동층 설계·건설·운영기술 실증을 통한 해외 선진사 대비 우수한 국내 독자기술 확보
- 국산기술이 적용된 핵심 구성기기 제작·설치를 통한 테스트베드 건설 경험 확보
- 전주기 공정 및 핵심 구성기기 설계와 테스트베드 건설 및 운영(국산 S/W 신뢰성, 긴급비상운전, 기타 O&M 등) 데이터베이스 확보
- 대·중·소기업의 참여 및 산학연 협력을 통한 테스트베드 실증으로 국내산업 및 기술 생태계 구축
- 고효율 순환유동층 실증이력(TRACK RECORD)을 확보하여 국내 독자기술 기반의 저탄소용 기저발전 시장진입 교두보 확보

나. 테스트베드 제원 및 특성

[표 61] 고효율 순환유동층 테스트베드 제원 및 특성

항목	규격
장소	석탄·바이오매스 보유국, 동남아시아
보일러 정격 출력 (NORMAL RATING)	300MW 전·후
보일러 바이오매스 혼소 비율	20% 이상
보일러 주증기 조건	초임계 이상
플랜트 효율	43% 이상
플랜트 가동율	90% 이상
연돌 대기오염물질 농도	황산화물 10ppm, 질소산화물 9ppm, 먼지 2mg/m^3, 이산화탄소 700g/kWh

다. 테스트베드 실증내용

□ **고효율 순환유동층 보일러 설계기술 실증**

- 바이오매스 혼합연소 반영 고효율 순환유동층 개념·기본·상세설계 기술
- 보일러 운전·유지보수 기술
- 동특성 모델 신뢰성 기술

□ **고효율 순환유동층 플랜트 건설·시운전**

- 보일러 건설·시운전 표준화 기술
- 플랜트 신뢰성 평가기술

□ **고효율 보일러 운영기술 개발·적용**

- 보일러 장애 방지 및 환경문제 대응기술
- 보일러 모니터링 기술
- 보일러 운영 S/W 신뢰성 확보기술
- 플랜트 기술·경제성 평가기술

라. 테스트베드 실증목표 및 평가방법

□ **테스트베드 실증목표**

- 고효율 순환유동층 보일러 설계기술 실증
- 고효율 순환유동층 플랜트 건설·시운전
- 고효율 보일러 운영기술 적용

□ **평가항목 및 평가방법**

[표 62] 고효율 순환유동층 플랜트 테스트베드 실증 및 평가방법

실증목표	평가항목	점검기준	점검방법
고효율 순환유동층 보일러 설계기술 실증	보일러 용량	300MW	NORMAL RATING 정격 출력 기준 전기 생산량 300MW 수준
	보일러 증기 성능	600℃/250bar	NORMAL RATING 정격 출력 기준 보일러 출구 증기 성능 600℃/250bar수준
	플랜트 효율	43% 이상	NORMAL RATING 정격 출력 기준 플랜트 효율 43% 이상
	플랜트 가동률	90% 이상	플랜트 계획 가동 시간 대비 실제 가동 시간 90% 이상
	바이오매스 혼소율	20% 이상	보일러 바이오매스 연료 투입 비율 20% 이상
고효율 순환유동층 플랜트 건설·시운전	플랜트 건설 기간	계획 준수	플랜트 건설 기간 계획 준수
	플랜트 시운전 절차	계획 준수	플랜트 시운전 절차 계획 준수
고효율 보일러 운영기술 적용	국산화 운영 S/W 성능	신뢰성 확보	VIRTUAL SIMULATOR S/W, 동특성 모델 S/W 및 연소로 해석 S/W 신뢰성 확보

마. 테스트베드 실증부지

□ 실증부지 필수 요건

- 부지 제공 기관의 개발계획이 테스트베드 구축 및 운영일정과 부합하여 테스트베드 실증 성과물을 성공적으로 실험·검증할 수 있는 환경 제공이 가능할 것
- 보일러·터빈·보조기기 등을 충분히 수용할 수 있는 면적 부지를 테스트베드 실증지역으로 제공 가능할 것
- 테스트베드 구축과 관련한 민원 수용성 확보를 위한 주민 동의 계획 및 민원 발생 방지 및 처리 계획이 명확할 것

□ 실증부지 부가 요건

- 기술개발 결과 실증에 필요한 전력, 공업용수, 도시시설물(상수/하수/오수, 도로 등) 등의 인프라가 구축되어 있고 이를 제공 가능할 것
- 테스트베드를 효율적으로 건설하고 실증시험 수행이 원활하도록 행정적 지원(인허가,

민원처리 등)이 가능할 것

- 테스트베드 실증 목적에 부합하도록 전력 활용을 위한 연계가 용이한 시설물이 인접해 있을 것

□ **실증후보지 정보**

- 바이오매스 20%이상 혼합 연소, 고효율 순환유동층 플랜트 등 기술개발 범위를 만족하는 국내외 실증후보지를 검토함

사업명	사업 개요	추진 경과
삼척그린파워 후속기 (남부발전)	삼척그린파워 1·2호기 인근 유휴부지에 초초임계 순환유동층 국산화 기술을 활용하여 3·4호기 실증 건설	삼척후속기 실증을 목표로 한전-두산중공업-발전3사 참여 협동과제를 수행하였으나, 탈 석탄 정책으로 인해 보류



[그림 119] 고효율 순환유동층 실증후보지 정보(1)

사업명	사업 개요	추진 경과
호남화력 RE-POWERING (동서발전)	호남화력 폐지 후 초초임계 순환유동층 국산화 테스트베드로 활용 4차 산업기술 접목 기존 미분탄 보일러에서 순환유동층 보일러로 변경	호남화력 대상 실증을 위해 사전사업타당성 조사보고서를 에기평에 제출하였으나 탈 석탄 정책으로 보류
		

[그림 120] 고효율 순환유동층 실증후보지 정보(2)

사업명	사업 개요	추진 경과
THABAMETSI 프로젝트 (남아공)	남아공 600MW급 신규 석탄화력 프로젝트	발주처에 초초임계 순환유동층 보일러를 제안하였으나 아임계압 순환유동층 보일러로 대상 모델 선정 FINANCING 이슈로 보류
		

[그림 121] 고효율 순환유동층 실증후보지 정보(3)

사업명	사업 개요	추진 경과
아람코 PET-COKE 프로젝트 (사우디아라비아)	사우디아라비아 아람코 발주 JUBAIL 지역 PET-COKE 전용 초초임계 순환유동층 보일러 신규 건설 프로젝트	PET-COKE 전용 보일러로 초초임계 순환유동층 보일러 기술적용 검토 사우디아라비아 정책 변화, 경제성 이슈 등으로 입찰 작업 보류
		

[그림 122] 고효율 순환유동층 실증후보지 정보(4)

사업명	사업 개요	추진 경과
여수화력 바이오매스 전소 성능개선 (남동발전)	여수 아임계압 순환유동층 보일러를 바이오매스 전소 순환유동층 보일러로 연료전환 및 성능개선	사업 진행사항 모니터링 중
		

[그림 123] 고효율 순환유동층 실증후보지 정보(5)

사업명	사업 개요	추진 경과
베트남 순환유동층 보일러 프로젝트 (베트남 VINACOMIN社)	베트남 북부 CAMPHA 지역 신규 고효율 순환유동층 플랜트 신규 건설	사업 진행사항 모니터링 중
		

[그림 124] 고효율 순환유동층 실증후보지 정보(6)

바. 테스트베드 사후 활용방안

□ **발전사 운영**

- 테스트베드의 안정적 실증 운영 완료 후, 테스트베드 부지 소유 발전사 중심으로 운영하면서 친환경 발전소 운영 홍보로 테스트베드 운영 동기부여
- 테스트베드 부지 소유 발전사 및 인근 지역에 구축되어 있는 산업 인프라를 활용하여 운영함으로써 산업 생태계 활성화 기여

□ **탄소중립 발전 테스트베드 활용**

- 탄소중립 정책·인프라 확대 시점에 이산화탄소 포집 설비 추가 설치 및 실증으로 탄소중립 발전 실현

□ **해외수출 용 홍보사이트로 활용**

- 고효율 순환유동층 플랜트의 성공적 실증 시, 신규 프로젝트 입찰 시 테스트베드 해외수출 용 홍보사이트로 활용 가능

2장. 한국형 하이브리드발전 플랜트 상용화 기술개발

1. 개요

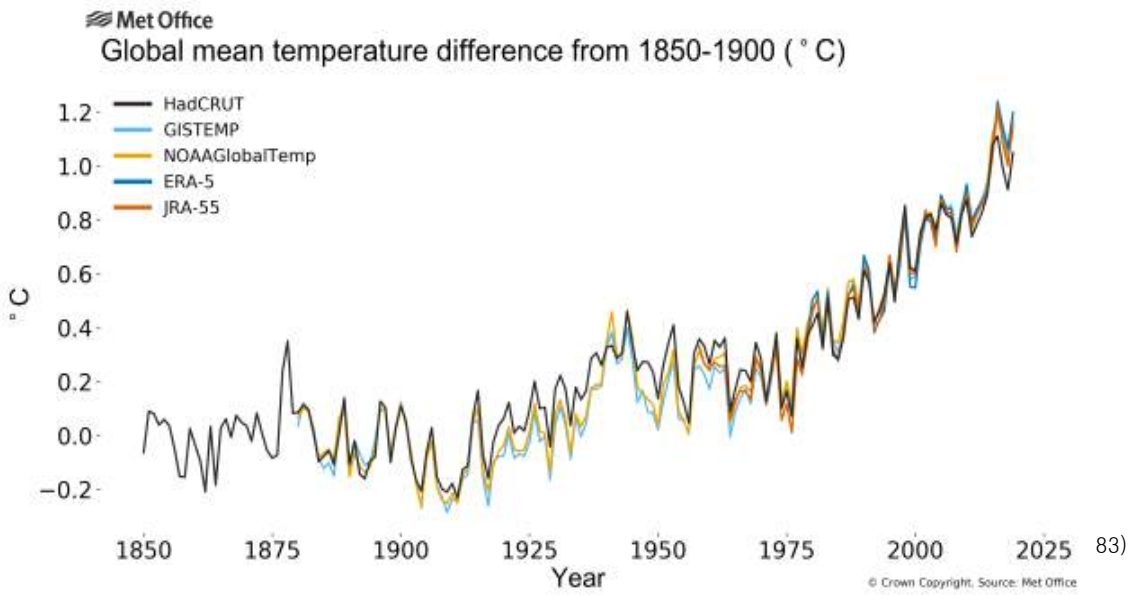
가. 배경 및 필요성

(1) 기획 배경

□ **지구온난화 가속화로 인한 기후위기**

○ 현재 추세로는 지구 온도 3℃ 이상 상승이 전망되며, 현재와 같은 온실가스 배출 상태 지속 시 2100년에는 3.2℃ 상승할 것으로 전망됨

- 긴급한 기후위기 비상조치 필요성에 대한 인식 확산
- 전 세계 153개국 11,258명의 과학자들은 현재 지구가 파멸적 위기에 직면하고 있다며 '기후 비상사태(CLIMATE EMERGENCY)'를 선언함(2019. 11)
- 세계경제포럼(WORLD ECONOMIC FORUM)은 '2020 지구위험 보고서'에서 인류에게 가장 큰 영향을 미치는 위험요인으로 '기후 행동 실패'를 선정함(2020. 1)
- UN 사무총장은 지구의 날 50주년 기념 메시지에서 COVID-19 위기보다 더욱 심각한 환경비상사태를 경고하며 지구 보호를 위한 결정적 행동을 촉구함(2020. 4)



83)

[그림 125] 산업화 이전(1850 - 1900년) 대비 지구 평균 기온 변화

□ **2050 탄소중립이 글로벌 新패러다임으로 대두됨에 따른 국제적 가속화**

- 최근 코로나19 사태는 기후변화 심각성을 인식하는 촉매 역할을 하며, 장기저탄소

83) UNEP 2019

발전전략(LEDS*)의 UN 제출시한('20.12) 도래 등에 따라 주요국의 탄소중립 선언이 가속화됨

* LONG-TERM LOW GREENHOUSE GAS EMISSION DEVELOPMENT STRATEGIES

- EU('19.12월)·中('20.9.22)·日('20.10.26)·韓('20.10.28) 등 주요국 탄소중립 선언

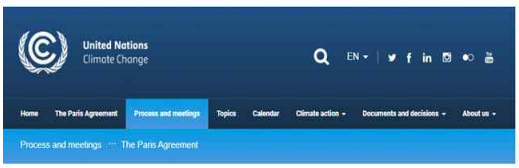
– 121개 국가가 2050 탄소중립 목표 기후동맹에 가입하며 탄소중립의 글로벌 의제화가 이루어짐

– 유럽연합(EU)은 '19년 11월 '기후 비상사태'를 선언하고 2050년까지 유럽연합 회원국들에 온실가스 배출 '0'을 약속할 것을 촉구하는 결의안을 채택함

– '50년까지 탄소중립 달성 목표를 법제화한 기후법안(EUROPEAN CLIMATE LAW)을 유럽의회에 제출함(2020. 3)

– 미국, EU, 일본 등 29개국이 장기저탄소 발전전략(LEDS)을 유엔기후변화협약(UNFCCC)에 제출했으며(2021.01.28 기준), 우리나라는 2020년 12월 30일에 제출했음[84)]

– 캐나다, 독일, 멕시코, 미국, 베냉, 체코, 영국, 우크라이나, 마샬제도 공화국, 피지, 일본, 포르투갈, 코스타리카, EU, 슬로바키아, 싱가포르, 남아프리카 공화국, 핀란드, 노르웨이, 라트비아, 벨기에, 스페인, 스웨덴, 네덜란드, 오스트리아, 한국, 덴마크, 스위스, 프랑스



Party	Submission date	Submission
Switzerland	28/01/2021	Switzerland's Long-Term Climate Strategy
Denmark	30/12/2020	Denmark's Mid-century, Long-term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategy
Republic of Korea	30/12/2020	2050 Carbon Neutral Strategy of the Republic of Korea towards a sustainable and green society* *The secretariat has, in addition to the file above, received a version of the LTLEDS in a non-UN language. This version is held as an official record by the UNFCCC secretariat but not displayed on this website
Austria	11/12/2020	Long-Term Strategy 2050
Netherlands	11/12/2020	Long term strategy on climate mitigation
Sweden	11/12/2020	Sweden's long-term strategy for reducing greenhouse gas emissions
Spain	10/12/2020	Spanish Long Term Low GHG Emission Development Strategy; Annexes
Belgium	10/12/2020	Stratégie à long terme de la Belgique

[그림 126] 유엔기후변화협약(UNFCCC)의 장기저탄소 발전전략(LEDS)

□ **우리나라는 '제22차 비상경제 중앙대책본부회의'에서 '2050 탄소중립 추진전략'을 확정·발표함('20.12)**

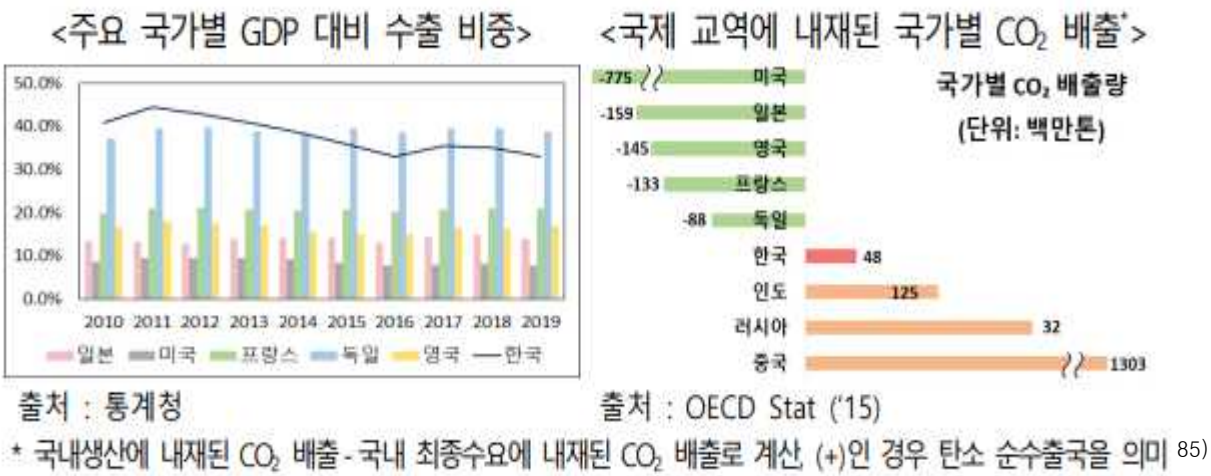
❍ 국무회의에서 '2050 장기저탄소발전전략(LEDS)', '2030 국가온실가스감축목표(NDC)'를 정부안으로 확정함(2020.12)

– 대한민국은 세계 10위권의 경제 대국이자 기술 강국인 한편 에너지 다소비 국가이자

84) 대한민국 2050 탄소중립 전략(대한민국정부), 유엔기후변화협약 홈페이지

온실가스 다 배출 국가임

- 온실가스 배출량은 2018년 약 7억 2,700만 톤으로 미국, 일본, 독일, 캐나다에 이어 OECD 국가 중 5위이며, 이 중 에너지 공급 부문이 36%, 산업부문이 37%를 차지함
- OECD 국가 중 에너지 전환에 가장 뒤쳐진 국가 중 하나로 2021년 기준 석탄발전량 비중이 38.5%로 배출량은 여전히 높은 추세임
- 산업구조와 에너지원 구성의 측면에서 우리나라는 탄소 집약적 제조업 비중이 높아 심각한 타격이 예상됨
- 무역의존도가 높은 국내 경제·산업구조의 특성상 새로운 국제질서에 대한 적극적 변화 및 선제 대응이 필수적임
- 미온적인 대응 시 주력산업의 투자 및 글로벌 SOURCING 기회 제한 등에 따른 수출, 해외 자금조달, 기업 신용등급 등에 부정적 영향이 초래될 우려가 있음
- 산업구조의 저 탄소화 및 신산업 육성 등을 통해 선제적으로 대응 시 '탄소중립 + 경제성장 + 삶의 질 향상'을 동시에 실현 가능함
- COVID-19를 계기로 하여, 기후변화의 심각성에 대한 국민의 높은 관심을 행동으로 연결하여 사회적 합의도출이 긴급히 요구됨



85)

[그림 127] 주요 국가별 GDP 대비 수출 비중 및 국가별 이산화탄소 배출

❍ UN의 1.5℃ 경로에 맞는 강화된 NDC 및 LEDS 요구에도 불구하고 우리 정부의 NDC와 LEDS는 1.5℃ 경로에 부합하기에는 미흡한 것이 현실임

- 우리나라는 온실가스감축계획, 배출권거래제 등 실시에도 불구하고 에너지 부문의 온실가스 배출이 지속적 상승 추세임
- 2020년 기준 우리나라는 석탄발전 비중이 35.6%이고 LNG 발전 비중이 26.4%로, 석탄 및

85) 통계청, OECD Stat('15)

LNG 발전 등 화석연료 기반의 발전 비중이 높음

[표 63] 현행 전력시장제도와 '17년 발전용 연료비 기준 발전량 비중 전망

연도	원자력	석탄	LNG	신재생	석유	양수	계
2017	30.3%	45.4%	16.9%	6.2%	0.6%	0.7%	100%
2030	23.9%	40.5%	14.5%	20.0%	0.3%	0.8%	100%

86)

❍ 정부의 2050 탄소중립 정책에 의하면, 가스발전 전환, 화력발전 CCUS*기술지원 등 탄소중립 국가 전략을 정의하였고, 더 나아가 탄소중립은 전 세계적 아젠다로 부상함

* CARBON CAPTURE, UTILIZATION AND STORAGE

- 국내에서는 2020년 신재생 발전설비용량 20.1GW(15.8%)를 2034년까지 78GW(40%)까지 확대하는 계획을 수립하고 있으며, 세계적으로는 2017년 25%의 전기를 생산하고 있는 신재생이 2050년까지 86%까지 확대될 것으로 예상

- 에너지 부문 탄소중립을 통해 전력체계를 친환경·청정에너지 중심으로 전환하고 친환경 에너지 생산국이 됨으로써 에너지 자립도가 향상될 것으로 기대

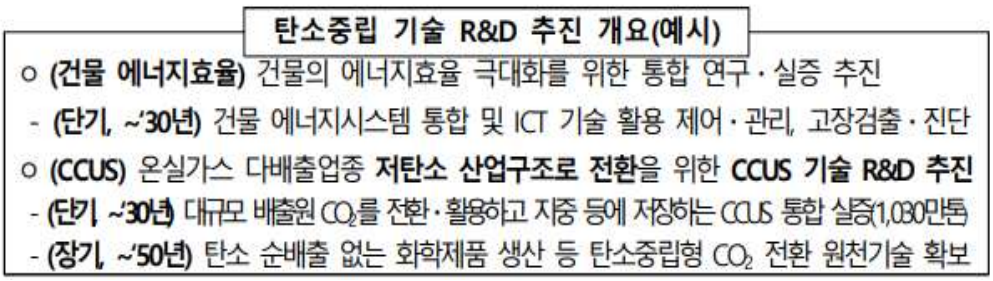
□ **국회에서 기후위기 대응과 그 목표를 '2050년 탄소 배출 중립'으로 분명히 제시한 만큼 보다 구체적이고 실질적인 로드맵과 정책수단이 필요함**

❍ 화석연료 발전 중심의 전력공급 체계를 재생에너지와 그린 수소 중심으로 전환하고 이산화탄소 포집 기술 등을 활용하여 탈 탄소 미래기술 개발 및 상용화 촉진 필요

- CCUS 실증 및 저장기지 구축을 통해 CCUS 기술 조기 상용화를 추진하고, 포집 탄소를 원료 또는 연료로 재합성하는 탄소순환사업 육성

- 신재생에너지, CCUS, ICT 활용 융합·혁신 등 분야별 핵심기술 확보를 위한 전략으로 '탄소중립 R&D 전략' 수립

- 핵심기후 유망기술의 개발 난이도와 목적을 고려하여 단기 집중투자(범부처 프로젝트) 및 장기적 혁신기술 개발연구 병행



87)

[그림 128] 2050 탄소중립' 추진전략에서 제시한 탄소중립 기술 R&D 추진개요

86) 산업통상자원부, 제8차 전력수급기본계획



88)

[그림 129] 2050 탄소중립 미래상

□ **과학기술정보통신부 '탄소중립 기술혁신 추진전략' 확정**

○ 석탄발전, 제조업 비중이 높은 우리나라의 경우 '2050 탄소중립'실현은 도전적 과제로, 이를 실현하기 위해서는 기술혁신이 무엇보다 중요하고 시급하다고 판단

○ 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술 개발 전략 제시

- 탄소중립에 핵심적 기여가 가능한 10대 핵심기술 전략적 개발
- ①태양광 및 풍력 ②수소 ③바이오에너지 ④철강·시멘트 ⑤석유화학 ⑥산업공정 고도화 ⑦수송 효율 ⑧건물 효율 ⑨디지털화 ⑩CCUS

○ 범부처 탄소중립 기술혁신 R&D사업 기획·착수

- 시급한 산업 수요기반 '현장특화 R&D'와 미래 대비 '중장기 혁신 원천 R&D'의 2-TRACK으로 '全주기 함께 달리기' R&D 추진
- 다 배출 업종의 저탄소 신공정 개발·적용을 지원하는 대형 R&D 및 도전적 원천기술 개발을 위한 10대 기술혁신 프로젝트 예타 추진

○ 新산업 창출로 이어지는 집중지원 체계 마련

- 출연(연) 100대 사업화 유망기술 지원 및 특구를 통한 신기술 실증 가속화
- 창업 지원 → 공공수요 구매연계 → 녹색 벤처·보증 등 탄소중립 기술기업 全주기 성장지원 강화

87) 2050 탄소중립」 추진전략(대한민국 정책브리핑(www.korea.kr)(기획재정부))
88) 10대 핵심기술이 적용된 2050 탄소중립 사회(과학기술정보통신부)

❍ 민간이 주체가 되는 저탄소화 기술혁신 촉진

- 상용화 촉진 인센티브 발굴 및 표준·인증, 기술규제 적기 마련
- 탄소중립 R&D 세액공제 확대 검토 및 기업참여 부담 완화방안 강구

❍ 기술혁신이 지속되는 연구역량·기반 강화

- 탄소중립 전문 인력 양성 강화 및 교육·전시 등을 통한 문화 확산
- 기후기술개발촉진법, 기후대응기금 신설 등 안정적 추진기반 마련



89)

[그림 130] 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술별 기술목표 요약

89) 10대 핵심기술이 적용된 2050 탄소중립 사회(과학기술정보통신부)



[그림 131] 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술 개발

□ **전 세계 탄소중립 기조가 가속화되고 있으며 에너지믹스를 위해 이용되는 화석연료들의 탄소중립에 대한 요구가 핵심 과제로 떠오르고 있음**

❍ 탄소중립 달성을 위한 에너지 패러다임 변화로 미래형 발전시스템 적용 필요

- 산업발달에 의한 지구온난화가 가속화되어 탄소중립을 위한 신재생에너지 사용 확대 및 친환경성에 부응하는 차세대 친환경·고효율 화력발전 플랜트 기술개발 필요

- 친환경·고효율 화력발전 플랜트로 전환을 통해 신재생에너지 단점* 극복, 이산화탄소 발생량 저감* 및 기존 화력발전 플랜트 장점* 활용 필요

  * 과잉 전력생산, 높은 출력변동 극복 등

  * 초초임계 기술적용을 통한 플랜트 효율증가, 이산화탄소 포집 설비 구축 등

  * 낮은 연료비, 기존 인프라 활용 가능, 높은 기술성숙도, 에너지안보 확보 등

❍ 가스발전은 신재생에너지 시대로 가기 위한 징검다리 기술이며, 전력피크 등 전력공급 사태 대비 및 에너지 안보 강화를 위해 지속 유지해야 함[90]

- 국제에너지기구(IEA)에서 2017년에 발간한 에너지기술전망(ENERGY TECHNOLOGIES PERSPECTIVES)에 따르면, 이산화탄소 감축 목표를 달성하기 위해 CCS가 목표량의 약 14%를 담당해야 하는 감축 분야는 에너지효율 분야임

- 국제 CCS 기구(GLOBAL CCS INSTITUTE)에서 2017년에 발간한 'CCS 국제 현황'에서 국가별 CCS 정책 파악을 위한 지표를 제시하였고, 호주, 캐나다, 덴마크, 영국, 미국과 같이

90) * KATS기술보고서, 국가기술표준원, 2018

CCS가 이미 활성화되어 세부 규정을 갖추고 있는 A 집단, CCS를 일정 부분에 적용하는 특정 법률 또는 규정이 있는 B 집단(27개국), CCS가 일정 부분에 특정 법률 또는 규정이 거의 없는 C 집단(21개국)으로 분류함

- 우리나라는 '저탄소 녹생성장 기본법', '제1차 국가 CCS 종합 추진계획(2010년)', 'KOREA CCS 2020사업(2011년)', '기후변화대응 핵심기술개발 전략(2014년)' 등의 CCS 관련 정책·법·프로그램을 추진 중임

❍ 미국 에너지부는 석탄화력발전 기술에 가스터빈, 이산화탄소 포집, 에너지 저장, 초청정 환경기술 등 차세대 기술을 접목하여, 신재생에너지 단점을 보완하는 동시에 기존 석탄화력발전의 탄소중립을 실현할 수 있는 COAL FIRST(FLEXIBLE, INNOVATIVE, RESILIENT, SMALL & TRANSFORMATIVE) 과제를 추진[91)]

- 미국 내 기존 석탄화력발전소(252GW 규모)가 COAL FIRST 과제 적용 대상

- COAL FIRST 과제 필요성은 ❶ 석탄화력발전소 노후화에 따른 미래형 화력발전 플랜트로의 전환 필요, ❷ 신재생에너지 발전설비 확대에 따른 발전 간헐성 이슈 대응 필요, ❸ 미국 내 노후 석탄화력발전소 폐지 후 녹지화 시 매몰 비용 과다 소요, ❹ 셰일가스 대비 석탄 가격 안정성에 기반한 에너지 안보 유지 등임

- FIRST의 의미는 ❶ FLEXIBLE : 최저부하·급속변동 운전 및 천연가스 혼합 연소로 운전·운전 유연성 확보, ❷ INNOVATIVE : 40% 이상 효율 발전 및 이산화탄소 포집·활용으로 고효율·친환경 발전 가능, ❸ RESILIENT : 신재생에너지 간헐성 등 단점 보완으로 전력망 안정화, ❹ SMALL : 50 - 350MW 규모 건설비·납기 단축이 가능한 소규모 발전, ❺ TRANSFORMATIVE : 설계·제작 혁신을 통한 모듈형 표준화 발전소 확보를 각각 의미함

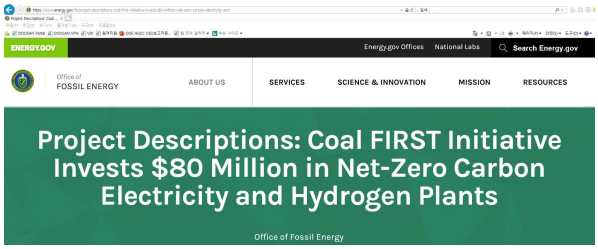
- 미국 에너지부는 COAL FIRST 과제로 발굴된 미래 발전시스템을 탄소중립 실현을 위한 방안으로 활용하고, 실증 플랜트 건설을 위한 FEED 대상 기술을 선정하여 발표

- 석탄화력발전 분야 지원을 위해, 4개의 실증대상 과제를 선정하였으며, 약 80백만불 규모의 정부 지원책을 발표

91) DOE : DEPARTMENT OF ENERGY



[COAL FIRST 과제]



[미래형 화력발전 플랜트 지원 공고]

[그림 132] '19년 미국 에너지부 미래형 화력발전 COAL FIRST 과제 공고

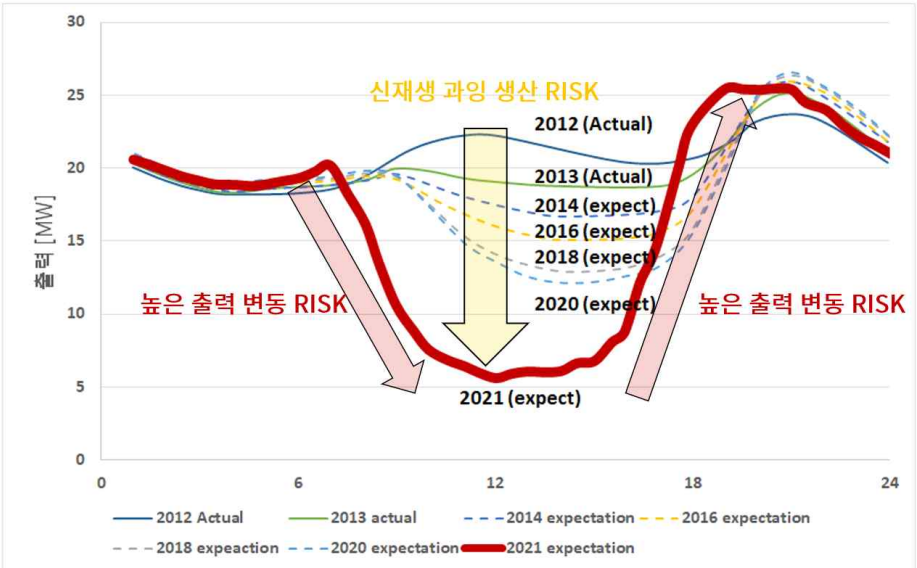
□ **신재생에너지 확대에 따른 전력 수급상 문제 발생**

○ 미국 캘리포니아주는 '20년 8월 대규모 정전사태를 막기 위한 순환 정전 명령[92]

- 미국 캘리포니아주 정전사태의 원인은 신재생에너지 간헐성* 등 단점을 극복할 충분한 예비 전력시스템 부재로 대규모 정전사태 방지를 위한 조치[93]

* 전력생산이 기상 및 외부요인에 좌우되는 특성

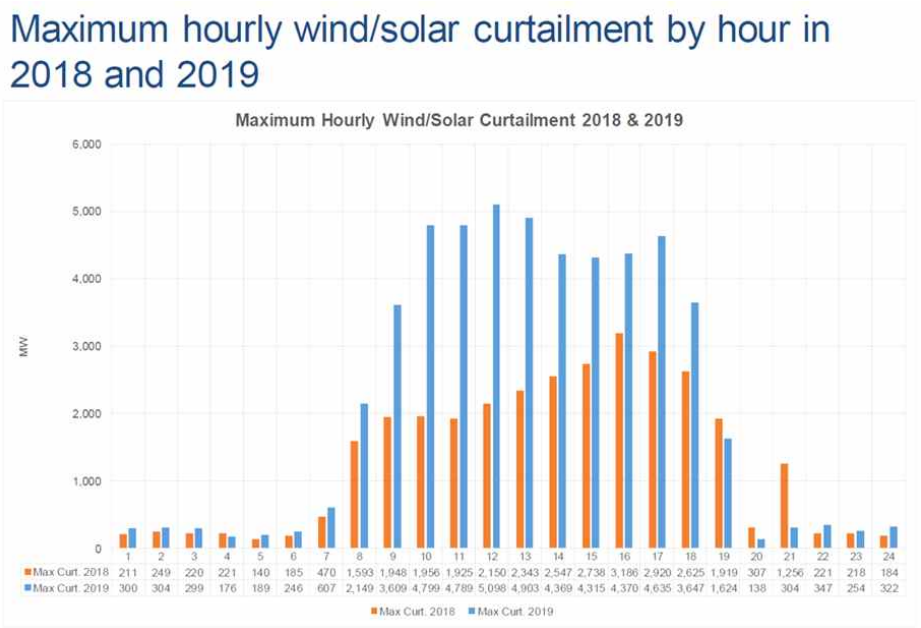
- 미국 캘리포니아주 '19년 산불로 대규모 정전사태 및 '18년 라스베가스 IT 전시행사 CES 정전사태 경험[94]



95)

[그림 133] 신재생 증대에 따른 미국 캘리포니아주 출력변동 위험

92) http://www.caiso.com/
93) Flexible capacity needs and availability assessment hours technical Study for 2021
94) https://www.yna.co.kr/view/AKR20180111011800003
95) 두산중공업 내부자료



96)

[그림 134] 미국 캘리포니아주 신재생 단축 운전('18년, '19년)

❍ 미국 텍사스주 오스틴 삼성전자 반도체 정전사태 발생[97)]

- '21년 미국 텍사스주에서 발생된 이상 한파에 따른 정전사태는 전력생산의 20%를 담당하는 풍력발전 결로로 인한 정지 및 가스발전 고장임
- 이를 극복할 수 있는 예비 전력시스템 부재 및 미국 주 전력망과 분리가 주요 원임임
- 이러한 정전사태 방지를 위한 신재생, 가스, 석탄 등 다양한 에너지원으로 구성된 전력생산 포트폴리오 구성이 중요함을 알 수 있음

□ **전 세계 천연가스 기반 화력발전이 증가에도 불구하고, 동남아시아, 아프리카 및 중국 등의 개도국에서는 자국에서 생산되는 석탄을 활용하는 청정화력발전에 대한 높은 지속적인 수요가 존재할 것으로 전망**

- 저개발국가에 다양하게 분포되어있는 저발열탄을 에너지원으로 사용할 경우, 연소성은 낮으나, 안정적인 연소 운영이 가능
- 기존의 낮은 효율 대비 높은 효율을 가진 청정화력발전 기술(낮은 이산화탄소, SOx, NOx 배출)에 대한 요구 증대

□ **국내기업의 수출형 패키지 개발을 통한 해외 진출 증대 필요**

- 외국 기술 도입을 통한 안정적 설비 건설 및 운영을 할 수 있음에도 불구하고, 국내기업 육성 및 일자리 창출 측면에서 비교적 RISK가 큰 플랜트 설계 및 제작, 건설 등의 국산화 부분은 정부의 지원을 통한 기술성 및 경제성의 RISK SHARE 필요

96) 두산중공업 내부자료
97) http://www.keaj.kr/news/articleView.html?idxno=3925

- 국내기업의 플랜트기술 실증을 통한 해외진출 기반 구축은 해외 신시장의 개척 및 외화수익 극대화에 기여 할 것으로 판단되며, 이는 국내 경제 활성화 및 기초기반 기술의 건실화에 큰 일익을 담당할 것으로 판단되어, 공익적 측면에서의 정부 지원이 절실히 요구됨

- 고효율·초청정 순환유동층 발전기술 뿐만 아니라, 실증을 통해 세계 최고 수준의 유동층 보일러 운영기술, 설계/제작 기술, 진단 기술 등 관련 요소기술 확보가 가능하여, 이를 위한 관련 기술 해외 진출에 대한 정부 차원의 전략적 선도가 필요

□ **에너지 안보(ENERGY SECURITY)와 에너지믹스(ENERGY MIX)의 중요성 더욱 강조됨**

- IEA의 GLOBAL ENERGY REVIEW 2020에 따르면 COVID-19로 인한 전 세계의 봉쇄정책으로 인하여 각국의 전력 소비가 최대 30%에서 10% 사이의 감소가 나타날 것으로 예측하였으며 중앙 집중식 발전인 석탄, 천연가스의 소비 감소가 두드러지게 나타남[98)]

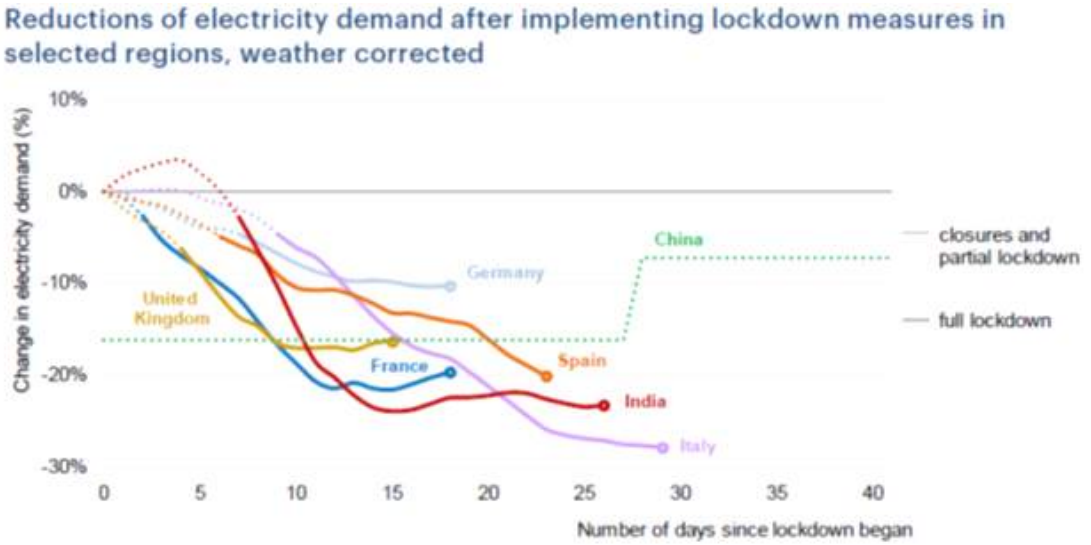
- BP는 COVID-19로 인한 각국의 봉쇄정책으로 인해서 모든 국가는 외부로부터의 제품 및 원료 수입을 줄이고 자국 내의 제품들을 이용하려는 경향이 강화됨[99)]

- 이와 같은 정책이 지속 시 '50년의 GDP는 초기에 예측한 값보다 6% 이상의 감소가 일어나고 석유, 천연가스의 수출이 줄어들고 이로 인해서 천연가스, 석유, 재생자원들의 이용이 모두 감소할 것으로 예측

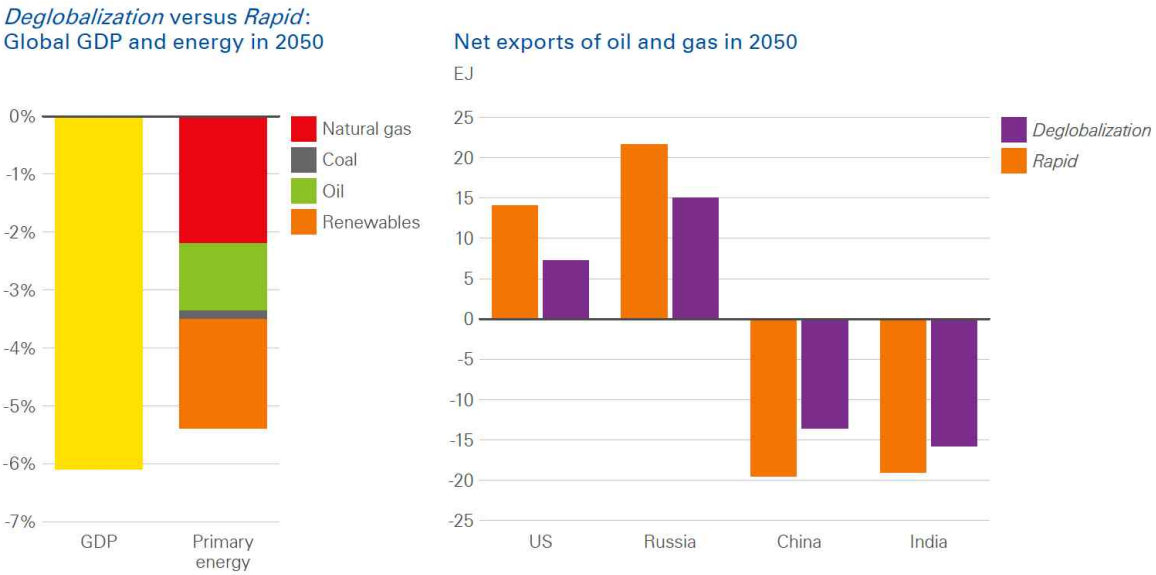
- 따라서 석유, 천연가스 등의 화석연료 자원들의 무역 감소는 자국 내의 에너지 자원에 대한 의존도 향상, 또는 세계 각국의 안정적인 에너지 공급을 위한 자원 확보에 대한 중요성이 강조되는 계기가 될 것이며 자국 내의 에너지 자원들의 효율적인 이용에 대한 중요성이 다시 강조됨

- 인구 및 전력수요가 급증하는 국가들에서는 석탄이 저비용의 보유 자원이며 수입되는 자원에 대한 의존도를 낮추고 에너지믹스를 강화할 수 있는 자원으로 인식됨에 따라서 석탄으로부터 청정에너지를 생산하는 기술이 중요함

98) IEA, Global Energy Review 2020
99) BP, Energy Outlook 2020 Edition



[그림 135] COVID-19 이후 전력 소비 감소



[그림 136] 에너지 분야 COVID-19 영향

- 에너지 연료 다변화로 에너지 안보에 기여가 점점 더 중요해지고 있으며, 탄소중립 기술이 적용된 화석연료 이용기술은 유연한 에너지믹스 유지가 가능하여 대외 환경변화 무관하게 안정적 전력 단가 유지 가능

- 특히, 탄소중립 기반의 화석연료 국산화 기술 활용 국내 건설 및 해외 선진사 독점견제 가능

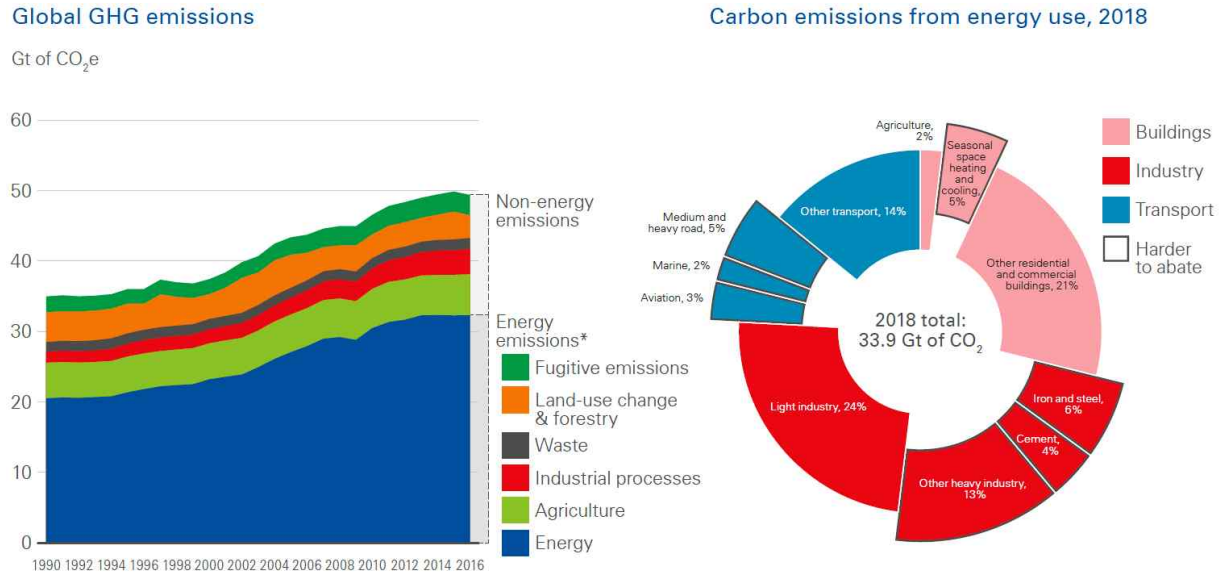
□ **대기오염물질 및 온실가스 배출규제의 강화**

- 전 세계 발전 플랜트에서의 대기 오염물질 규제치는 SOx·NOx 200mg/m^3에서 입자상물질, SOx·NOx 20mg/m^3 수준으로 낮아지고 있으며 수은에 대한 배출규제도 속속 도입되는 상황

- 기후변화로 대표되는 온실가스 배출규제는 파리 협약의 국회 의결 및 전 세계 국가들의 저탄소 에너지이용 정책들로 인해서 빠르게 적용되고 있으며 이는 전 세계 이산화탄소

배출의 65%를 차지하는 에너지 분야에서의 배출 저감이 중요

- 급변하는 세계 각국의 정책과 환경에 부합하고 온실가스 배출량을 저감과 동시에 증가하는 전력에너지 수요를 대처하는 기술이 요구되고 있으며 초초임계 순환유동층 보일러와 같은 고효율 에너지 전환 기술은 석탄 자원이 풍부한 국가들의 해법이 될 수 있음



[그림 137] 전 세계 및 에너지 사용 분야에서의 이산화탄소 배출량

□ **차세대 화력발전기술 확대로 이산화탄소 저감 가능**

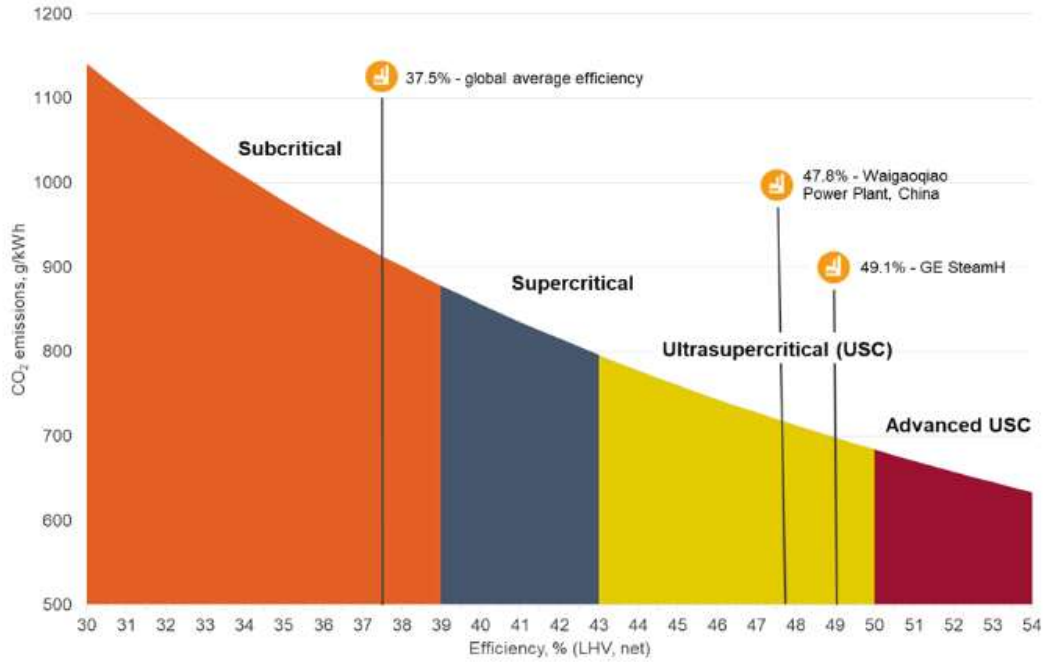
❍ 초초임계 보일러, 하이브리드발전 및 연소 후 이산화탄소 포집 설비적용으로 탄소 저감 극대화

- 현재 전 세계 석탄화력발전 플랜트의 효율은 37.5%인 것으로 나타났으며 '70 - '80년대에 건설되어 아직도 이용되고 있는 아임계압 석탄화력발전 플랜트의 온실가스 배출량은 kWh당 1,140g을 초과하고 있으나 49%의 에너지 전환 효율을 가지는 초초임계 발전 플랜트로 개선되면 kWh당 700g으로 대략 38% 이상의 온실가스 배출 저감 가능

- 석탄화력발전 기준, 아임계압 보일러 대비 고효율 발전기술인 초초임계 보일러 적용 시 이산화탄소 200 - 300g/kWh 이산화탄소 저감 가능[100)]

- 고온·고압 증기 조건의 초초임계 보일러는 700 - 800g/kWh 이산화탄소를 발생하여 아임계압 보일러 이산화탄소 발생량인 900 - 1100g/kWh 대비 100g/kWh(최소) - 400g/kWh(최대) 이산화탄소 저감이 가능하고, 이는 발전효율 향상에 따른 석탄사용량 감소 효과임

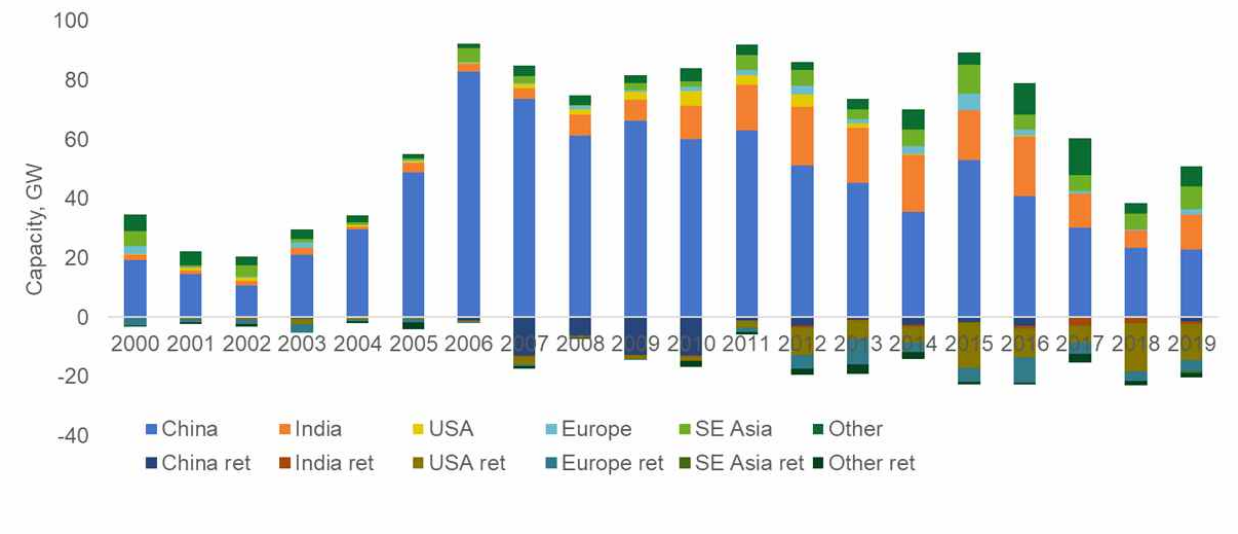
100) Toby Lockwood, IEA CCC 2020



[그림 138] 증기 조건 고도화에 따른 석탄화력발전 효율 및 이산화탄소 저감 추이

□ **고효율 석탄화력에 대한 지속적인 수요에 대한 대처 필요**

- 온실가스 배출 저감에 대한 OECD 국가들의 규제로 인하여 미국, 유럽 및 한국에서의 대용량 석탄 화력에 대한 신규 발주가 제한적이지만, 인도를 포함한 동남아시아 국가들의 빠른 경제성장으로 인해 석탄화력발전에 대한 지속적인 수요가 존재하고 있음
- 중국, 인도, 베트남, 인도네시아, 방글라데쉬, 터키, 필리핀의 석탄화력발전 플랜트의 건설 계획은 100GW를 초과하고 있으며 전 세계 온실가스 배출 저감에 대한 요구로 인하여 아임계보다 초임계, 초초임계 석탄화력발전 플랜트에 대한 수요로 옮겨가고 있음
- 중국 제조사들이 아임계 발전 플랜트 시장을 주도하고 있으나 초임계 및 초초임계 시장은 일본, 미국, 한국의 기업들이 기술 수출을 주도하고 있는 것으로 분석되고 있어 안정적인 시장이 형성되는 동남아시아 지역에서의 고효율 석탄 화력에 대응하기 위해서는 국내기술의 실증이 요구되고 있음



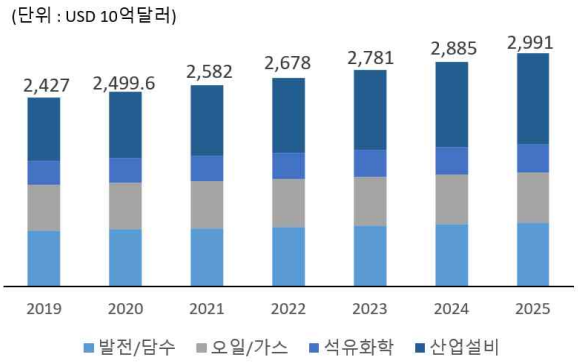
[그림 139] 석탄화력발전 플랜트 설치 현황

□ **해외 발전부문 플랜트 수출 급감으로 수주액 감소**

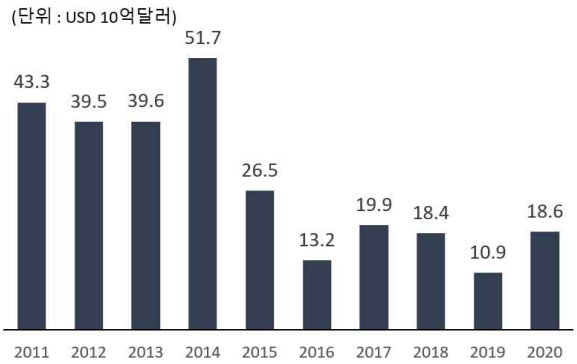
○ 세계 정책 변화로 발전자금 조달 문제, 국내기술 열위의 신재생에너지 발전 플랜트 수주 저조, 차세대 발전기술 부재 등으로 해외 플랜트 수출 급감

○ 발전부문 기술 다변화 및 기술경쟁력 강화로 수주 지속성 확보 필요[101]

– 발전부문 수주 추이 : ('11년) 64,984,162천불 → ('20년) 26,604,325천불



['20년 글로벌 플랜트 시장 전망보고서]



[국내 기업 해외 플랜트 수주 추이]

[그림 140] 플랜트 시장 전망 및 수주 추이

□ **차세대 친환경·고효율 화력발전 플랜트기술은 전후방 경제적, 산업적 파급 효과가 큰 국가기간산업**

– (전방산업) 고효율·경제적 전력생산은 미래 반도체, 자동차 등 국가 핵심산업 경쟁력 우위에 큰 역할 가능

– (후방산업) 국내 보일러–터빈–환경설비 소재·장비·부품 밸류체인 유지 가능

101) 한국플랜트산업협회

(2) 기획 필요성

① 추진 필요성

□ **정부의 2050 탄소중립 및 재생에너지 전환정책 추진으로 탄소중립 달성을 위한 핵심기술 개발이 지원되고 있음**

○ 2050 탄소중립이 글로벌 패러다임으로 대두됨으로 인해 능동적이고 적극적인 대응이 필요하며, 온실가스 다 배출 업종 저탄소 산업구조로의 전환을 위한 기술개발 추진이 필요함[102)]

- 산업발달에 의한 온실가스 증가로 인해 지구온난화가 가속화되어, OECD 국가를 중심으로 탄소중립을 위한 신재생에너지 사용 확대, 차세대 화력발전 기술개발 등이 추진됨
- 온실가스감축을 위한 화석연료 발전비율을 줄이려는 지속적인 노력으로 인해 신재생에너지 발전비율이 급격히 증가하여 '50년 기준 전체 에너지 소비의 50% 이상으로 예상됨
- 경제성장과 온실가스 배출이 분리되는 탈동조화가 시작되었으며, 신재생에너지 발전 증가가 탈동조화에 가장 큰 기여

○ 친환경 시장의 성장에 따라 주요국은 新시장을 선점하기 위해 투자를 확대하고 있음

구분	'19년 실적	'34년 목표	증가량
신재생E	5.6% (19.7GW)	25.8% (84.4GW)	20.2%p (64.4GW)
재생E	5.0% (18.8GW)	22.2% (80.8GW)	17.2%p (61.9GW)
신E	0.6% (0.8GW)	3.6% (3.6GW)	3.0%p (2.8GW)

*폐기물 제외



103)

[그림 141] 제3차 에너지기본계획 재생에너지 보급목표(2019)

○ 신재생에너지 확대 및 기후변화 대응 新기저발전 플랜트 TRACK RECORD 확보를 위한 기술개발이 시급함

- '2050 탄소중립' 준수를 위한 LNG 발전 전환, 화력발전 CCUS 기술지원 등 탄소중립 국가 전략이 중요하고, '30년 온실가스감축목표 달성을 위한 하이브리드발전 단위기술, 석탄·가스발전 CCUS 분야 등의 연구개발에 대한 정부 지원이 필요함
- 신재생에너지의 과잉 전력생산, 높은 출력변동 등의 단점을 극복하고 세계 최고 수준의 화력발전 기술 및 기존 인프라 활용이 가능한 차세대 한국형 하이브리드발전 기술개발의 필요성이 증대됨

□ **연료수급 안정성 및 발전 경제성**

102) 2050탄소중립 추진전략, 2020. 12. 7.
103) 공기액화 기반 에너지 저장 및 활용 시스템 기술개발 기획, 국토교통부 국토교통과학기술진흥원

- 우리나라는 현재 전체 에너지 소비량의 96.7%를 해외 수입에 의존하고 있으며 점차 증가하고 있는 에너지 비용은 국가적인 문제가 되고 있음

- 중국을 비롯하여 세계 각국의 에너지 수요가 급증하면서 양질의 석탄 자원 확보에도 어려움을 겪고 있음

- 이러한 배경하에서 저급석탄을 안정적으로 활용할 수 있으며 배출가스 내 공해 물질이 적어 저급연료를 활용해도 환경적인 부담이 적은 유동층 보일러에 대한 발전시장의 요구가 증가하고 있음

□ **이산화탄소 저감을 통한 친환경 발전 구현**

- 저급탄 대상 유동층 보일러의 아임계에서 초초임계로의 격상기술 개발은 약 5%의 효율증대를 가져올 것으로 기대되며, 이로 인한 직접적인 이산화탄소 약 5% 저감효과를 기대할 수 있음

- 바이오매스, 폐기물 등 신재생에너지 최적 혼합 연소기술 구현이 가능한 연료 다변화 기술개발을 통해, 저급탄 대비 신재생에너지 혼합 연소율 10% 이상을 달성하여 이산화탄소 저감 친환경 발전에 기여

- CCS-READY 검토를 통해 부지확보 및 CCS 기술융합 가능성을 사전에 파악하여, 장기적인 이산화탄소 저감에도 전략적으로 대응

□ **발전부문 탄소중립 국가 실현을 위해 신재생·천연가스 발전 확대, 화력발전 CCUS 기술지원 등의 전략을 정하고, 이를 추진 중임**

- 천연가스 발전은 신재생에너지 시대로 가기 위한 징검다리로서 전력피크 등 전력공급 사태 대비 및 에너지 안보 강화를 위해 지속 유지

- "녹색금융전략"으로 대기오염방지 등 녹색설비·기술 관련 투자 확대 지속 지원 계획

- '30년 온실가스감축목표 달성을 위해, "깨끗하게 생산된 전기·수소의 활용 확대" 및 "탄소 제거 등 미래기술의 상용화" 기본방향을 설정하고 장기적 화석연료 발전 CCUS 기술적용 필요성을 명시

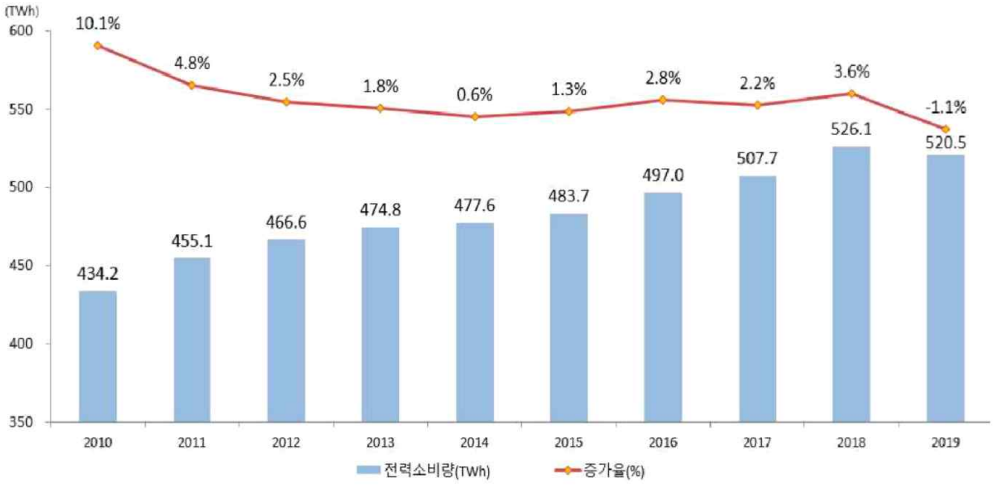
□ **정부는 탄소중립, 미세먼지 제어 등 정책을 반영한 제9차 전력수급기본계획 수립**

○ 석탄·원자력 축소, 천연가스·신재생에너지 확대 예정

- 국내의 전력소비량 연평균 증가율은 1.7%로서 '10년 - '14년간의 평균 증가율 3.9% 대비 절반 이하 수준으로 하락하였으며 '19년 전력소비량은 520.5TWh로 나타남[104)]

- 전력소비량 증가율은 '14년 저점(0.6%)을 기록한 이후 '18년까지 3.6%로 상승, 19년에는 동·하계 온화하고 신선한 날씨로 전년 대비 1.1% 감소하였으며 최종에너지 대비 전력 비중은 '01년 14.5%에서 '10년 19.2%로 빠르게 증가[105)]

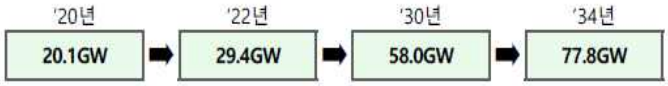
104) 산업통상자원부, ENCORED, INC 국가에너지계획 발표자료



[그림 142] 연도별 전력 소비량 추이

- 국내 '19년도 발전설비 규모는 '09년 기준 73.5 GW 대비 70%(연평균 5.5%)가 증가하였으며, '14년 기준 93.2 GW 대비 34%(연평균 6.1%) 증가한 것으로 나타났으며 현재 총 발전설비 규모는 세계 10위 수준임
- 국내 발전설비 비중을 보면 LNG(32%), 석탄(30%), 원자력(19%), 신재생(13%) 수준이나, 실제 발전량 기준 비중은 석탄(43%), 원자력(26%), LNG(26%), 신재생(6%) 수준으로 신재생에너지 설비의 증가에 비해 실제 발전량의 기여도는 여전히 낮은 상태에 있음
- 향후 탄소중립에 기조에 발맞추어 석탄(35.8 → 29.0GW) 및 원자력(23.3 → 19.4GW) 축소, 천연가스(41.3 → 59.1GW) 및 신재생에너지(20.1 → 77.8GW) 확대 예정임
- 천연가스 발전량을 확대하고 신재생에너지 단점 보완이 가능한 관련 기술개발 및 적용 필요

105) 산업통상자원부, 제9차전력수급계획



○ 재생에너지3020, 수소경제활성화 로드맵, 3차 에너지기본계획, 신재생에너지법 개정*('19.10월), 그린뉴딜 계획 등 반영

* 비재생 폐기물은 신재생 범위에서 제외

- 태양광(45.6GW) 및 풍력(24.9GW)은 '34년 신재생 전체의 91% 수준
- 연료전지는 8차 계획의 '30년 기준 대비 3.5배 증가(0.75GW→2.6GW)

< '34년 신재생에너지 용량 (단위 : MW) >

구분	태양광	풍력	수력	해양	바이오/매립가스	연료전지	IGCC	소계
정격용량	45,594	24,874	2,085	256	1,410	3,200	346	77,764
피크기여도	13.9%	3.1%	21.6%	1.1%	44.7%	67.7%	60.0%	-
실효용량	6,338	771	450	3	824	2,166	208	10,760

< 신재생 발전량 및 설비 비중 >

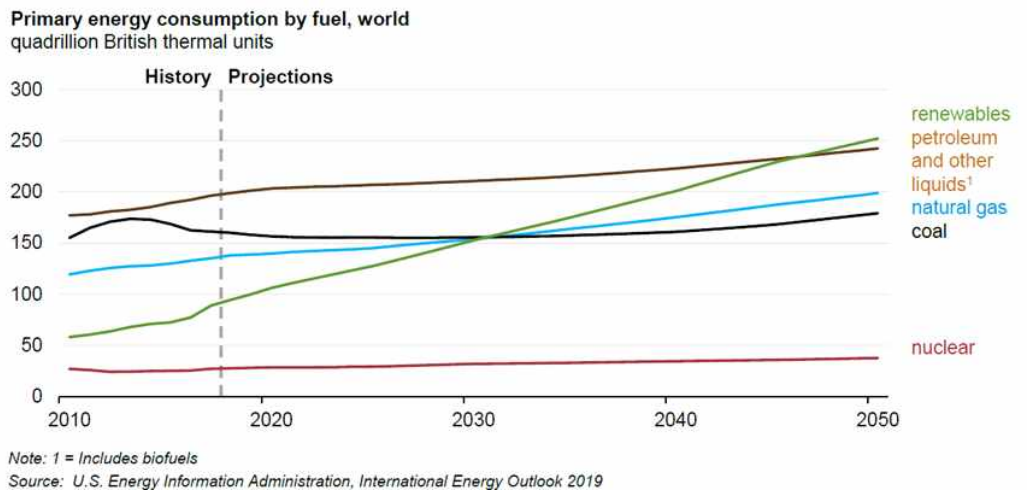
구분	'20년	'22년	'30년	'34년
발전량(TWh)	41.2 (7.5%)	57.6 (10.2%)	121.7 (20.8%)	157.8 (26.3%)
설비(GW)	20.1 (15.8%)	29.4 (20.6%)	58.0 (33.8%)	77.8 (40.9%)

* 사업용 설비 기준

[그림 143] 제9차 전력수급기본계획

□ **'50년까지 가스·신재생발전 증가, 석탄발전 감소 후 일정 비율 유지로 전망되어 차세대 친환경·고효율 화력발전 플랜트 필요성 확대**

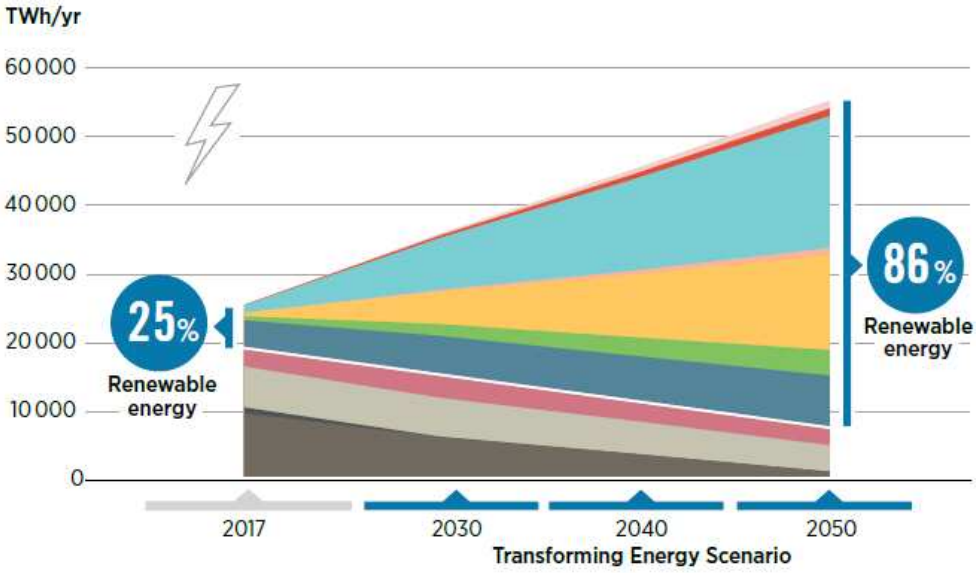
❍ 가스·석탄발전 용량은 신재생발전 증가에도 유지될 것이란 전망은, 태양광, 풍력 등 전력생산이 기상에 의존되는 간헐성에 따라, 이때 부족한 전력생산을 위해 가스·석탄발전이 필요[106)]



[그림 144] 세계 에너지믹스 전망

❍ 신재생 전력생산 규모는 '17년 25%에서 '50년 86%까지 확대될 것으로 전망[107)]

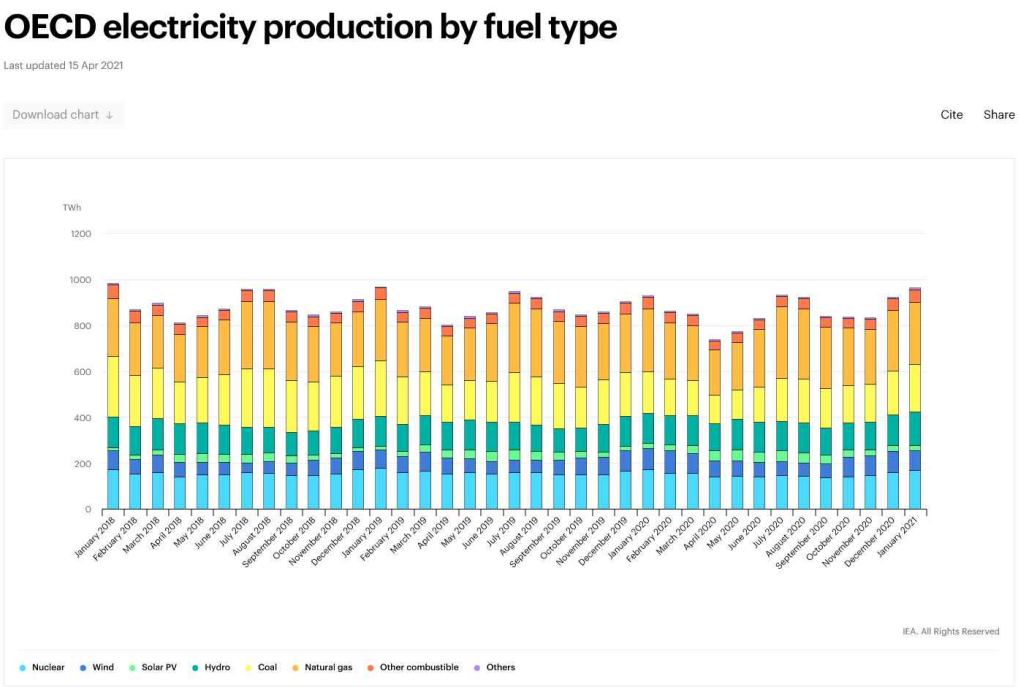
106) EIA(Energy Information Administration), International Energy Outlook 2019
107) IRENA(International Renewable Energy Agency) Global, Renewables Outlook 2020



[그림 145] 신재생에너지 전력생산 규모 전망(TRANSFORMING ENERGY SCENARIO)

❍ OECD 국가는 다양한 에너지를 사용한 균형적 전력생산 포트폴리오 구성[108]

- 천연가스, 석탄, 바이오매스 등이 약 50%, 수력, 원자력 및 신재생이 나머지 전력생산을 담당
- 특정 에너지원에 집중된 국가 전력생산은 연료 가격 상승 등 외부요인에 따라 전력생산 단가 상승이 불가피하여 균형적 전력생산 포트폴리오 구성 중요



[그림 146] OECD 국가 전력생산 추이

108) https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/oecd-electricity-production-by-fuel-type

□ **신재생에너지 확대 및 정전사태 방지 대응전략**

○ 미국은 신재생에너지 확대 발전환경에 적합한 미래발전기술 개발

- '17년 기준 미국 전력생산의 30%를 담당하고 있는 석탄화력발전 플랜트를 신재생에너지 확대 발전환경에 적합한 미래형 발전시스템으로 개선하여 문제점 해결 노력
- 350MW 규모 모듈화 발전시스템의 미국 전역 적용으로 신재생에너지 전력생산 중단 시, 부족 전력을 생산하여 전력망 안정성을 높이는 전략
- 미국 에너지부는 이러한 미래형 발전시스템 개발 및 실증을 위한 COAL FIRST 과제를 추진하고 있으며, 4% 이상 부하변동률 및 20% 이하 최저부하 운전기능 등의 요구조건을 만족 시, 전력망 안정성 확보 가능할 것으로 기대



[그림 147] 미국의 석탄화력 폐쇄에 따른 전력망 안정성 이슈

② 시급성

□ **신재생에너지 보급확대 정책목표 달성을 보조할 수 있는 탄소중립 기반 안정적 화석연료 이용기술이 요구됨**

○ 신재생에너지의 간헐성 등 단점 보완을 통한 정전사태 방지

- 대규모 신재생발전이 날씨의 변화로 인해 전력생산이 불가할 때 신속하게 대응할 수 있는 대체 전력설비가 없으면 정전 발생 가능성 상승

- 우리나라는 초임계 및 초초임계 발전설비가 중간부하를 담당하고 있어 정전이 잘 발생 되지 않으나, 신재생발전이 대규모로 확대되고 초임계 설비들이 없어지면 미국과 같은 정전 발생 가능성 상승

- 초고효율 기반의 발전 플랜트들은 높은 효율로 인한 탄소 배출 저감과 동시에 신재생에너지 확대에 따른 전력공급 간헐성을 해결할 수 있는 현실적인 대안으로 떠오르고 있으며 최근 가시화되고 있는 중국, 유럽 등 전력난 해결에서도 가장 유력한 해결 방법으로 인식됨

○ 신재생에너지의 간헐성 단점 보완을 통한 신재생 발전제한(CURTAILMENT) 방지

- 신재생발전이 날씨의 변화로 인해 전기를 생산하기 어려울 때 대체 전원을 공급할 수 있는 설비가 없으면 정전이 발생 될 수 있으므로, 이를 예방하기 위해서는 신재생발전량을 미리 줄이는 발전제한을 실시해야 함

- 우리나라는 신재생발전의 지리적 여건이 좋지 않아 설비용량 대비 발전량이 낮은 편인데 신재생 발전제한까지 발생 시 발전 경제성 악화가 예상됨*

  * '20년 국내 신재생설비용량은 20.1GW이지만 실효 용량은 3.7GW 임

○ 국내 신재생에너지 사용 여건을 고려한 조건과 환경에 맞는 전략 구상이 필요함

- 신재생에너지 확대에 대응하여 신재생에너지의 단점을 보완하면서 환경규제를 준수하는 하이브리드발전 등 초고효율 발전 플랜트로의 전환이 요구되고 있음

□ **미세먼지 저감 정책 및 온실가스감축목표 실현**

○ 국내에서 운영 중인 화력발전소의 환경설비 성능개선 등을 통해 국내 미세먼지 저감 대책 등의 목표 조기달성이 필요함

- 세계시장의 친환경으로의 기조 변화에 따른 해외시장 진출 대응을 위해 오염물질 저감을 위한 환경기술 실증사업 추진이 시급함(공동연구 등 대상국과 협력)

○ 국제사회와 약속한 온실가스감축 목표를 달성해야 함

- 국제사회는 기후변화 문제의 심각성을 인식하고 이를 해결하기 위해 선진국에 의무를 부여하는 '교토의정서(1997년)' 채택에 이어, 선진국과 개도국이 모두 참여하는 '파리협정(2015년)'을 채택했고, 국제사회의 적극적인 노력으로 인해 2016년 11월 4일

협정이 발효됨(우리나라는 2016년 11월 3일 파리협정 비준)

- 대통령은 2020년 10월 28일, 국회 시정연설에서 2050 탄소중립 계획을 처음 천명했으며, 같은 해 11월 3일 국무회의 모두발언을 통해 “우리도 국제사회의 책임 있는 일원으로서 세계적 흐름에 적극 동참해야 한다”며 “기후위기 대응은 선택이 아닌 필수”라고 강조함

- 정부는 2020년 12월 7일 ‘제22차 비상경제 중앙대책본부회의’를 개최하여 ‘2050 탄소중립 추진전략’을 확정·발표했고, 같은 해 15일 국무회의에서 ‘2050 장기저탄소발전전략(LEDS)’과 ‘2030 국가온실가스감축목표(NDC)’ 정부안을 확정함

□ **미래시장 개척 및 글로벌 시장 선도**

○ 고효율·초청정 발전 플랜트 분야에서 해외 선진사의 시장 카르텔 형성을 견제하기 위해서는, 개발된 핵심기술의 실증 및 향후 사업화 기반을 마련하는 것이 필요함

- 아시아 개발도상국 중심으로 고효율·초청정 발전시장이 형성되고 있으며, 개발 완료된 국산 핵심기술의 조기 실증을 통해 시장진입에 유리한 위치를 선점하는 등 경쟁력 확보가 시급함

○ (전후방 효과) 복합발전플랜트 상용화 기술은 전후방 경제적, 산업적 파급 효과가 큰 국가기간산업임

- (전방산업) 고효율·초청정 및 저렴한 전력생산은 미래 반도체, 자동차 등 국가 핵심 산업에서 경쟁력 우위를 가능케 함

- (후방산업) 국내 보일러-터빈-환경설비 소재·장비·부품 밸류체인 유지 가능함

○ (에너지 안보) 에너지 연료 다변화로 에너지 안보에 기여

- 유연한 에너지믹스 유지로 대외 환경변화에 무관하게 안정적인 전력 단가 유지

- 국산화 기술을 활용하여 국내 고효율 발전 플랜트 건설 및 해외 선진社의 독점견제

□ **국산화 기술개발·상용화 속도 가속화**

○ (초고효율 발전기술) 초고효율 발전시장을 선점하기 위해 조속한 기술 실증실적의 확보가 필요하고, 각 지역에 적합한 응용기술 개발이 추가되어야 함

- 유럽, 일본 중심의 초고효율 발전기술 실증과 국내 독자 모델의 개발에 필요한 인력과 예산은 한정적임

- 한국형 발전 설계기술을 조기에 개발하고 초고효율 발전기술 실증실적을 확보하기 위해 미국 에너지부 COAL FIRST 과제와 유사하게 정부 지원을 병행해야 함

○ (차세대 환경설비) 남부발전은 하동 7,8호기 환경설비를 개선하기 위한 연구과제를 수행 중이며, 2021년 5월 중 도출된 연구용역 결과물을 근거로 추진하고 있음

- 개발 완료된 환경설비 개선사업이 추진될 예정이나, 발전사에서는 운전 실적이 없는 연구결과물의 적용을 검토하지 않고 있어서 국가 지원을 통한 조기 실증이 절실히 필요한

상황임

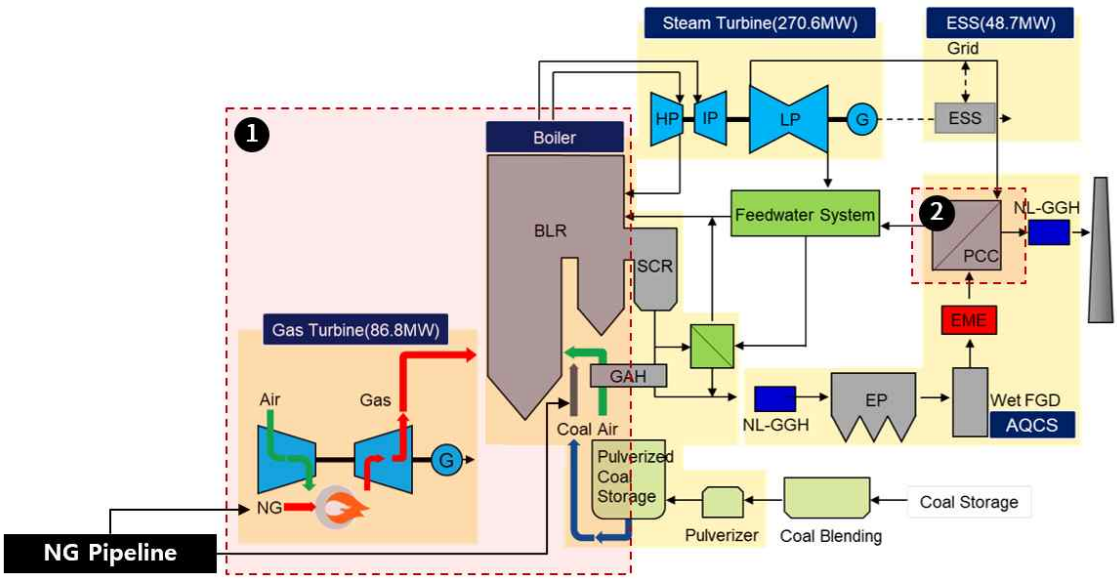
③ 국고지원 타당성

□ **차세대 화력발전 플랜트는 신재생에너지 비율 확대에 따른 안정적 전력 수급 문제를 해소하고 기저부하를 담당하는 석탄-가스발전 NET ZERO 기술로 적합**

❍ '2050 탄소중립' 및 '제9차 전력수급기본계획' 정책에 정의된 ① 신재생·천연가스 발전 확대, ② 화력발전 CCUS 기술지원 내용 부합

- 신재생에너지 간헐성 등 단점 해소로 신재생에너지 확대정책에 부합
- 천연가스 100% 연소 가능 기술로 천연가스 확대정책에 부합
- 연소 후 포집 설비 설치로 배기가스 이산화탄소 90% 이상 저감 가능하여 NET ZERO 정책에 부합
- 차세대 화력발전 플랜트 상용화 시, 발전부문 이산화탄소 감축 기여
- 신재생에너지 단점 보완을 통한 안정적 확대로 간접적 이산화탄소 발생량 감축 가능
- 기존 석탄화력발전 대비 최대 95% 이산화탄소 저감 가능*

  *❶ 초초임계압 증기 조건 보일러 및 가스터빈 고효율 사이클 적용을 통한 효율 향상으로 이산화탄소 저감, ❷ 연소 후 포집설비 적용으로 이산화탄소 저감



109)

[그림 148] 차세대 화력발전 플랜트의 이산화탄소 저감 개념

- 하이브리드발전 적용 시, 천연가스의 석탄 대체 및 연소 후 이산화탄소 포집 설비 추가 적용으로 이산화탄소 발생량 최소화 가능

109) 두산중공업 내부자료

- 고온고압 초초임계압 증기 조건 적용과 가스터빈 TOPPING CYCLE 적용으로 플랜트 효율이 증대되고, 탄소 비율이 적은 천연가스를 혼합·전체 연소하여 약 37% - 51%* 이산화탄소 저감 가능

  * 천연가스 30% - 100% 연소 기준

- 연소 후 이산화탄소 포집 설비 추가 적용 시, 약 95% 이산화탄소 저감 가능

[표 64] 차세대 화력발전 플랜트 적용 시 이산화탄소 저감 양

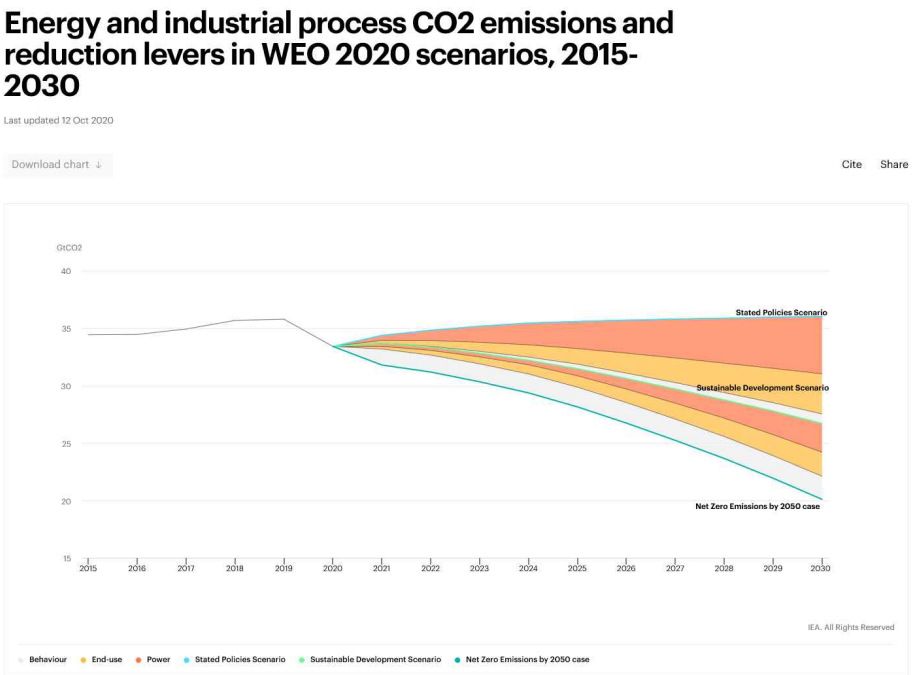
	現 미국/세계평균	하이브리드발전	하이브리드발전 + 이산화탄소 포집 설비
천연가스 30% 혼합 연소 (미국형)	935g/kWh (100%) ⇒	589g/kWh (63%) ⇒	59g/kWh (6%)
천연가스 100% 연소 (한국형)	935g/kWh (100%) ⇒	458g/kWh (49%) ⇒	46g/kWh (5%)

110)

❍ OECD 국가 중심, 신재생에너지 전력생산 비중확대로 탄소중립 노력 지속[111)]

- 미국 EIA는 탄소중립을 이산화탄소 감축 대응 시나리오에 추가하고, 이를 실현하기 위한 혁신적인 노력의 중요성 강조

- 신재생에너지 전력생산 확대에 따른 미래형 가스·석탄 발전시스템 역할 필요



[그림 149] 이산화탄소 감축 시나리오

110) 두산중공업 내부자료
111) https://www.iea.org/data-and-statistics

□ **신재생에너지 확대에 따른 안정적 전력망 구축을 위한 차세대 화력발전 적용 필요**

- 한국형 하이브리드발전 기술개발은 미국 DOE 과제와 시스템 구성 및 과제 내용 측면에서 차별화되고, 한국 및 동남아시아 시장 특성에 적합한 기술개발 및 국내 탄소중립 실현 및 동남아시아 등 해외 발전시장 개척에 도움이 되는 과제이므로 한국 정부의 지원이 필요함
- 미국 DOE 과제는 미국 내 노후 석탄발전설비를 신재생 증대 발전환경에 적합한 차세대 발전시스템으로 개발하고 실증을 위한 기본설계를 지원하는 것이므로 한국형 하이브리드발전 시스템개발에 필요한 예산은 지원되지 않음
- 미국 DOE 과제와 한국형 하이브리드발전 기술개발을 병행하여 추진함으로써, 기술 상호보완 및 소요비용 절감이 가능하고, 다양한 사례 검토를 통한 기술개발 과제 완성도를 높여 미국 및 한국·동남아시아 등 해외시장 사업화를 동시에 성공 가능한 기회임

□ **국내 화력발전 산업 지속 유지**

- 소재·부품·장비 국산화 및 관련 VALUE CHAIN 유지
- 제작사·발전사 고용 유지 및 전문인력 유출 방지
- 최고 수준 설계·건설·운영 기술확보 및 해외 발전사업 진출

나. 기획추진 개요

(1) 기획추진 범위

① 기술의 정의

□ **탄소중립 구현을 위한 한국형 하이브리드발전**

○ (플랜트 효율) 가스터빈 배기가스를 초초임계압 보일러에 직접 투입하여 효율 향상

- 초초임계압 및 가스터빈 TOPPING CYCLE 기술적용

○ (신재생에너지 확대) 에너지 저장 시스템과 연계한 신재생 간헐성 해소

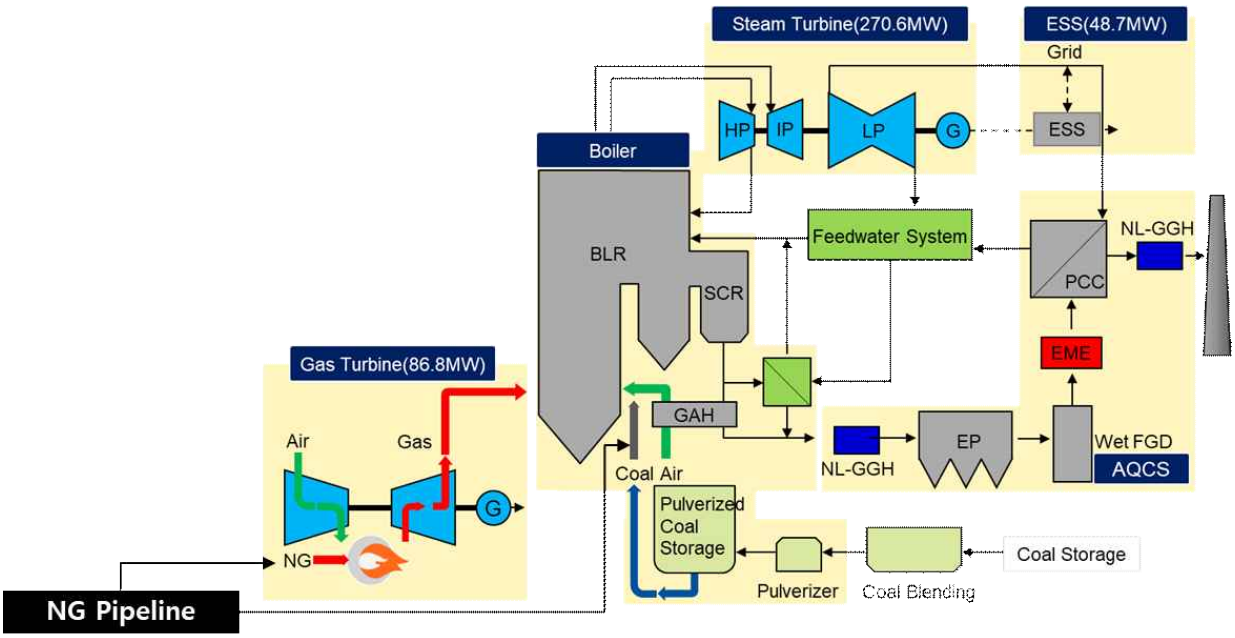
- 신재생에너지 발전량 급감 시, 가스터빈·에너지저장장치가 첨두부하, 초초임계압 기술이 중간부하를 효과적으로 대응하여 정전사태 방지

○ (이산화탄소·미세먼지 저감) 이산화탄소 포집 설비, 미세먼지 집진설비 등 초청정 환경설비 적용으로 NET ZERO 달성

- 초초임계압 및 가스터빈 TOPPING CYCLE 기술적용
- 플랜트 효율 향상 및 천연가스 혼합 연소로 이산화탄소 저감
- 연소 후 포집설비 적용으로 이산화탄소 저감
- 차세대 미세먼지 제거 설비적용 및 천연가스 100% 연소 가능

❍ (차별성) 한국형 개발·실증 후 동남아시아 수출전략 모델로 활용

- 중국 미세먼지 영향, 발전 연료 가격 추이 등 한국 발전환경 특수성을 고려한 미국 하이브리드발전 기술 고도화
- 중국발 미세먼지 유입 농도에 따라 천연가스 최대 100% 보일러 공급 가능
- 동남아시아 기존 석탄화력발전소 RETROFIT SOLUTION으로 활용 가능



[그림 150] 하이브리드발전 개념도

112)

112) 두산중공업 내부자료

② 기술분류체계

□ **하이브리드발전 상용화 기술은 하이브리드발전 설계기술, 플랜트 건설 및 운영기술로 분류될 수 있음**

[표 65] 기술분류체계

대분류	중분류	소분류
발전설비	청정생산/설비	환경설비기술
		청정생산 공정설계
	수화력 발전	고온고압화 발전기술
		석탄/석유 청정화/이용기술
		수화력발전 환경오염방지기술
		가스터빈 기술
		발전설비 운영기술
	시설물 설계·해석기술	플랜트
		설계 표준화기술
	발전용 핵심기기	GAS TURBINE
		BOILER
		STEAM TURBINE
		ESS(ENERGY STORAGE SYSTEM)
		EME(ELECTROSTATIC MIST ELIMINATOR)
		SCR(SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION)
		GGH(GAS-GAS HEATER)
		FGD(FLUE GAS DESULFURIZATION)
환경설비	친환경 공정	배출량 저감 최적화기술
	대기질 관리	미세먼지오염 개선기술
		대기오염 방지기술
	온실가스 처리	이산화탄소 포집기술
		이산화탄소 전환기술
		이산화탄소 저장기술
		NON-이산화탄소 처리기술
플랜트 건설·운영	플랜트 설계·건설	플랜트 설계
		건설/시운전
	O&M	디지털 HANDOVER 체계
		전력계통 연계
		자동제어/자율운전
	안전	통합공정안전
		위험도평가
		안전기준
	사업화	정책/경제적 타당성
		사업화모델
		규제 및 제도 보완

(2) 기획 추진체계

□ **총괄기획위원회**

○ 총괄기획위원회는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원 담당자 및 주관·위탁연구기관 연구책임자로 구성

○ 총괄기획위원회 역할

- 과제기획 총괄
- 연구과제 목표 및 범위 검토
- 기술개발 및 실용화 전략 검토
- 최종 기획보고서 검토·확정

□ **자문위원회**

○ 효율적인 국내외 기술동향조사 및 기술개발과제 도출 등을 위하여 세부 기술별로 관련 기업, 연구기관, 대학 및 수요기관의 전문가로 구성

- 순환유동층 보일러, 환경설비, 하이브리드발전 플랜트 연구·설계·시공·운영 경험이 있는 기관

○ 자문위원회에는 주관·위탁연구기관의 기획 주도성을 위해 주관·위탁연구기관 연구책임자 및 참여연구원 포함

○ 자문위원회 역할

- 관련 분야 메가트렌드 조사·전망
- 민간 참여분야 도출 및 사업성 검토
- 연구과제 도출
- 연구과제 추진체계 설정
- 연구과제 목표 및 범위 설정
- 연구과제 기술개발 전략 수립
- 사전 타당성 검토 및 최종기획보고서 검토

○ 기획추진체계



[그림 151] 기획연구 추진체계

[표 66] 기획 추진체계 구성 및 역할

구분	소속·구성	역할
주관연구기관	두산중공업	기획주관 자문위원회
위탁연구기관	전북대학교	순환유동층 공동기획 자문위원회
용역기관	전력연구원	순환유동층 기획지원
용역기관	부산대학교	하이브리드발전 기획지원
용역기관	한양대학교	환경설비 기획지원

[표 67] 자문위원회 구성

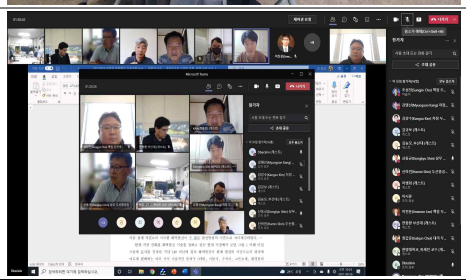
소속	성명	분야
현대중공업	김정래 이사	순환유동층
남부발전	안영현 차장	순환유동층
에너지기술연구원	선도원 박사	순환유동층
에너지기술연구원	류호정 박사	하이브리드발전
생산기술연구원	이은도 박사	하이브리드발전
기계연구원	길상인 박사	환경설비
부산대학교	전충환 교수	하이브리드발전
연세대학교	황정호 교수	순환유동층
연세대학교	서용칠 교수	환경설비
교통대학교	김성원 교수	순환유동층
호서대학교	송금주 교수	환경설비

(3) 기획 추진경과

[표 68] 기획 추진경과

일자	기획 활동	활동 내용
‘20.06.23	착수회의	추진계획 보고, 기획내용 추가·보완
‘20.07.08	내부 착수회의(전북대)	위탁연구 추진계획 협의
‘20.10.15	내부 착수회의(전력연)	용역 연구 추진계획 협의
‘20.10.22	1차 산·학·연 자문회의	기획연구 결과 산·학·연 전문가 자문
‘20.11.26	KAIA 보고	기획연구 결과 KAIA 보고, 중간보고서 목차 협의
‘20.12.10	국토부 보고	기획연구 결과 국토부 보고
‘21.04.23	2차 산·학·연 자문회의	기획연구 결과 산·학·연 전문가 자문
‘21.04.23	공청회	기획연구 결과 산·학·연 전문가 대상 공청회(화학공학회) 개최 및 의견 수렴
‘21.06.08	3차 산·학·연 자문회의	기획연구 결과 산·학·연 전문가 자문
‘21.07.09	KAIA 보고	기획연구 결과 KAIA 보고
‘21.08.26	용역 중간보고	기획연구 결과 KAIA 보고 환경설비·하이브리드발전 용역 중간보고

[표 69] 기획활동 사진 자료

일자	기획 활동	사진 자료
‘20.10.22	1차 산·학·연 자문회의	
‘21.04.23	2차 산·학·연 자문회의	
‘21.04.23	공청회	
‘21.06.08	3차 산·학·연 자문회의	
‘21.08.26	용역 중간보고	

2. 동향 및 환경분석

가. 정책동향 분석

(1) 국외 정책동향 분석

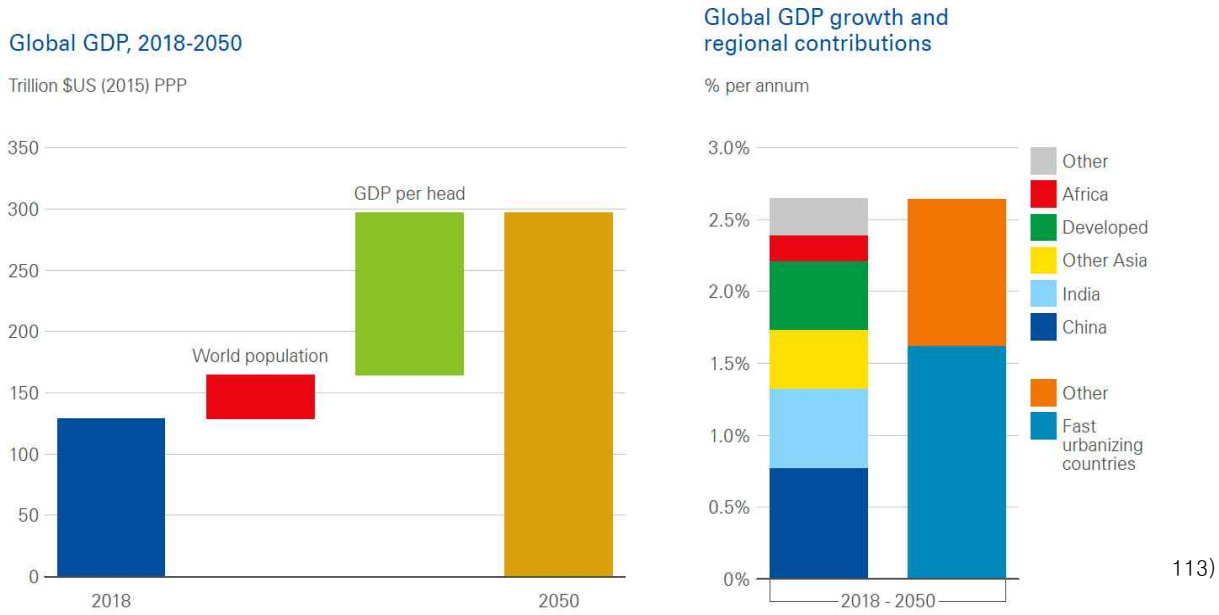
□ **전 세계 발전부문 정책 기조**

○ ENERGY OUTLOOK 2020에 따르면, 2050년까지 전 세계 GDP는 지속적으로 상승하여 300조$에 달할 것으로 예측되며, COVID-19 팬더믹을 고려하여 성장률이 기존 예측보다 조금 낮아진 2.6%/y를 나타낼 것으로 예상

- GDP 성장에서의 기여도는 인구 증가보다는 저개발국가들의 빠른 성장으로 인한 생산량 증가의 기여도가 더 클 것으로 예측되며, 인도, 중국을 포함한 아시아 지역의 성장이 세계 GDP 성장을 견인할 것으로 예상

- 온실가스 배출 증가에 따른 기후변화의 영향을 고려하면 OECD 국가들과 중국은 2050년 예상한 GDP에서 대략 3%의 저감이 예상되며 기타 지역들은 7 - 11%의 감소가 일어날 수 있을 것으로 예상*

* 온실가스 배출량이 현재와 같은 수준에서 동결된다고 가정하여 예측함



113)

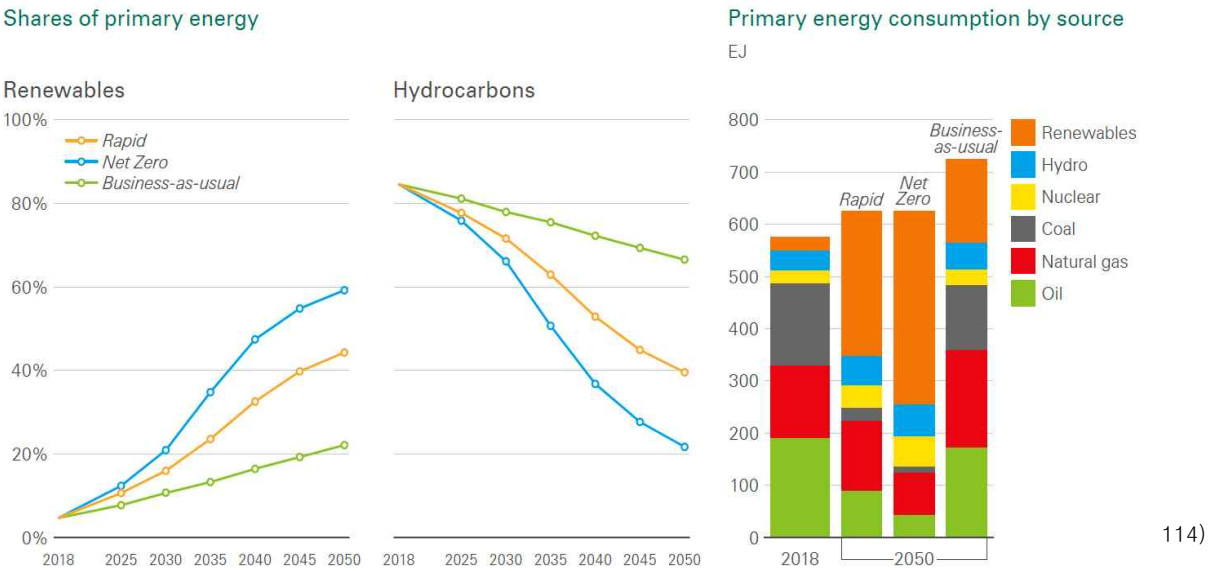
[그림 152] 전 세계 GDP 예측

○ 전 세계의 에너지 수요는 지속적으로 증가하고 있으나 OECD 국가들은 재생에너지 자원들을 기반으로 증가하는 에너지 수요를 대처하려고 하고 있으며 그 외의 국가들은 자국의 에너지 자원들을 기반으로 화석연료 기반의 에너지 전환 설비의 빠른 설치를 통해서 증가하는 전력 수요를 대처하려고 하고 있음

113) Energy Outlook 2020

- 전 세계의 에너지 패러다임은 '저탄소(DE-CARBONIZATION)'로 대표되고 있으며, 전 세계의 에너지 생산과 소비의 80% 이상을 차지하는 석유, 석탄, 천연가스로 대표되는 탄화수소 자원들의 점유율은 시나리오별로 '50년에 20%에서 65%까지 감소할 것으로 BP는 예상

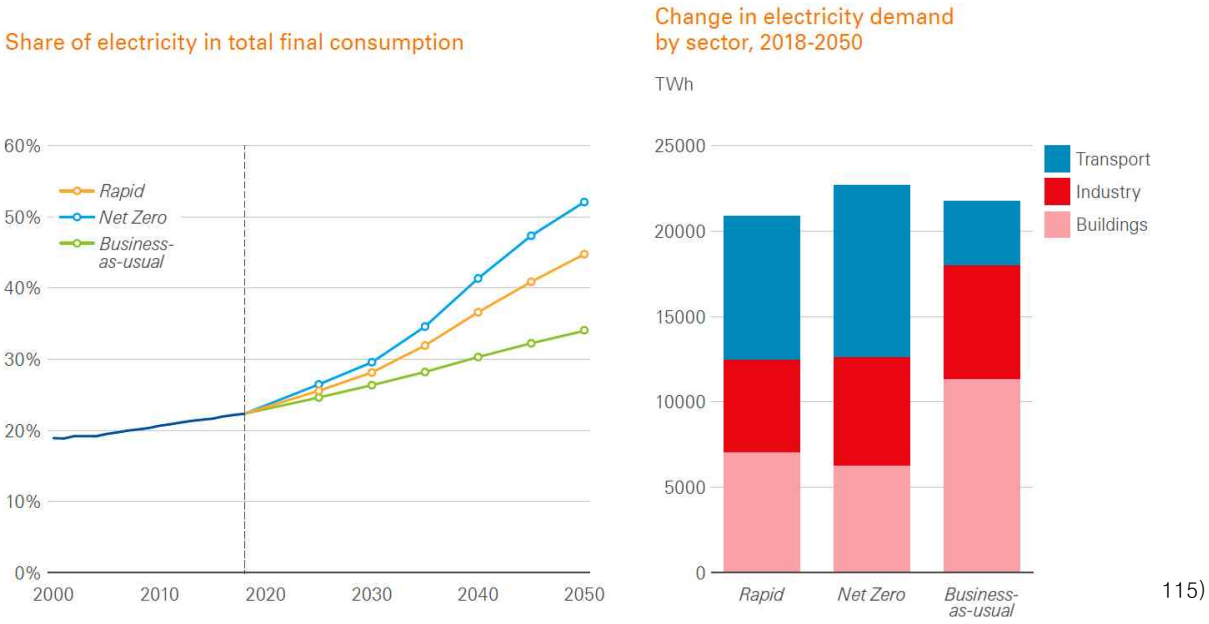
- 전 세계의 에너지시스템은 '전기화(ELECTRICFICATION)'로서 에너지 생산과 소비의 중심이 화석연료의 연소에서 빠르게 전기의 이용으로 전환되고 있으며 이로 인해서 석유 소비의 적극적인 감소도 일어나고 전체 에너지 소비에서의 전기가 차지하는 점유율이 '18년 대략 20%에서 34% - 52%까지 증가할 것으로 예측됨



114)

[그림 153] 저 탄소 에너지믹스를 주도하는 신재생에너지

114) Energy Outlook 2020



115)

[그림 154] 에너지 소비의 전기화

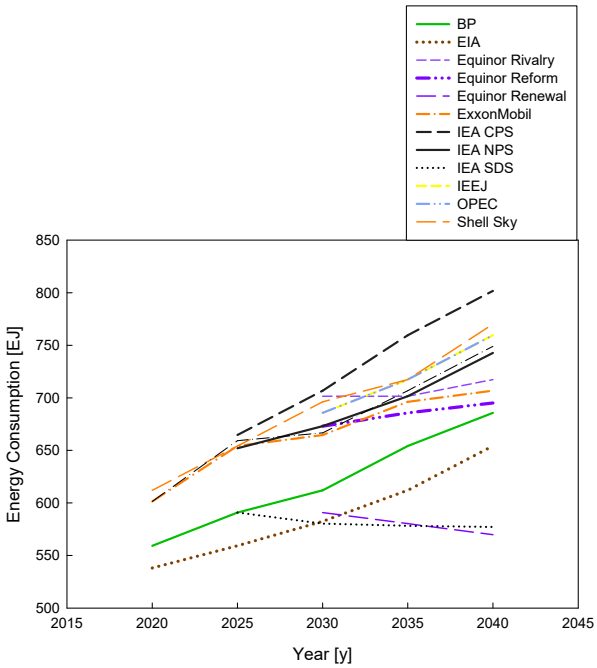
□ **전 세계 ENERGY MIX 현황·전망**

○ 전 세계의 에너지 현황을 분석하기 위하여 BP, IEA, EIA, IEEJ, EQUIOR, OPEC, SHELL 등의 기관에서 2018년[116]에 발표한 자료들과 최신 자료들을 모두 이용하여 분석하였으며 각 기관들의 에너지 시나리오에 따른 변화량들을 모두 반영하여 평균을 도출함

- BAU 시나리오 : EIA REFERENCE, EQUINOR RIVALRY, IEA CPS, IEEJ REFERENCE, OPEC REFERENCE
- EVOLVING 시나리오 : BP EVOLVING, EQUINOR REFORM, IEA NPS, EXXONMOBIL
- AMBITIOUS CLIMATE : IEA SDS, SHELL SKY, EQUINOR RENEWAL

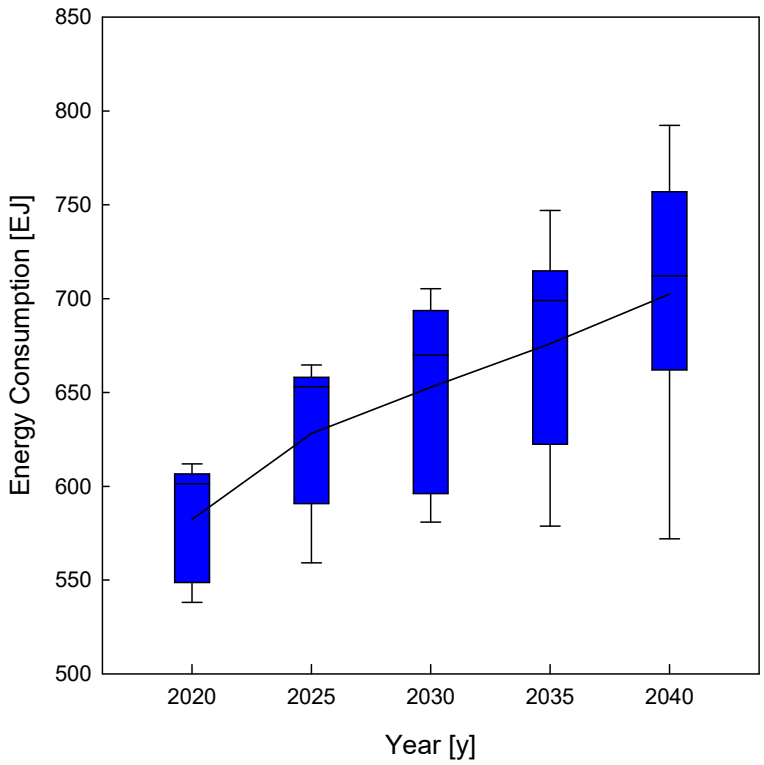
○ 세계에너지기구, 각국 정부, 기업들의 에너지 소비 변화를 예측한 그림을 보면 최대 800EJ에서 최저 550EJ 까지 세계 각국의 온실가스 정책 및 재생에너지 이용 증가에 따라 크게 변화하고 있으며 기후변화 최소화를 위한 다양한 정책들이 이용됨에 따라서 20 – 30%의 에너지 소비가 저감 될 수 있을 것으로 전망됨

115) Energy Outlook 2020
116) NEWELL ET AL., GLOBAL ENERGY OUTLOOK 2019

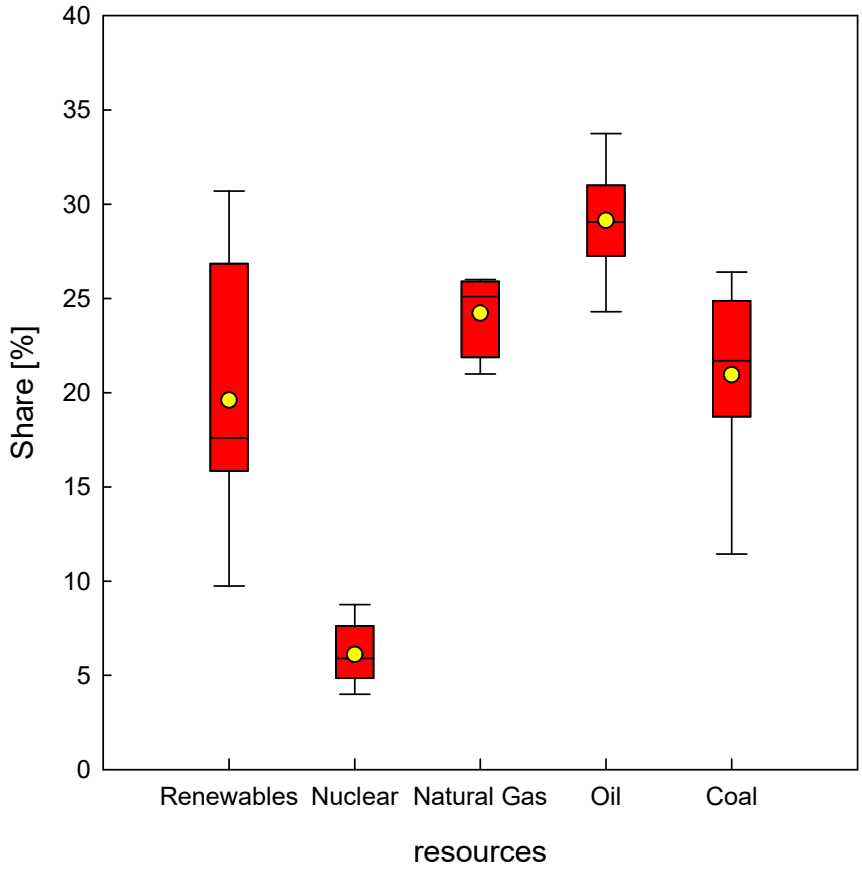


[그림 155] 2040 에너지 소비 변화

- 다양한 시나리오에 따른 예측값의 평균을 구한 그림을 보면 평균적인 에너지 소비 증가량은 매년 1.0%에 달하며 정책의 지속적인 이용에 따라서 큰 폭으로 차이가 발생할 수 있으나 평균값



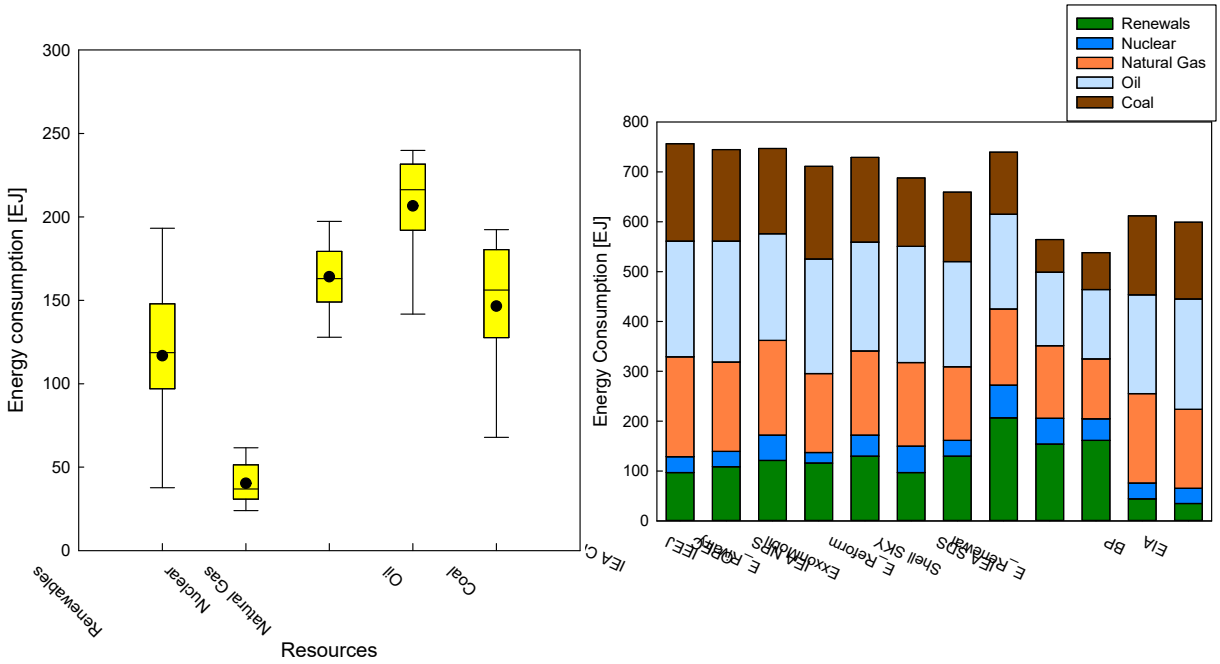
[그림 156] 에너지 평균 소비 변화량



[그림 157] 자원별 에너지 소비량

- 2040년의 에너지원별 평균 소비 점유율을 보면 재생에너지가 대략 20%, 천연가스가 24%, 석유가 27%, 석탄이 20%를 차지할 것으로 예측되나 정책에 따른 신재생에너지 이용률의 변동 폭이 10 - 30%로 크고 발전 분야에서의 신재생에너지 확대의 대부분은 석탄의 점유율 하락에서 발생하고 있음

- 2040년 사용량에 따른 자원별 에너지 소비량을 보면, 재생에너지가 대략 120EJ, 석유가 200EJ, 천연가스가 160EJ, 석탄이 140EJ일 것으로 예측되며, 정책에 따른 재생에너지 소비량이 큰 폭의 차이가 있고 대부분 전력생산에 소비되는 재생에너지이기에 반대급부로 석탄의 이용이 큰 폭으로 감소 될 것으로 예측됨



[그림 158] 자원별 2040년 에너지 소비 사용량

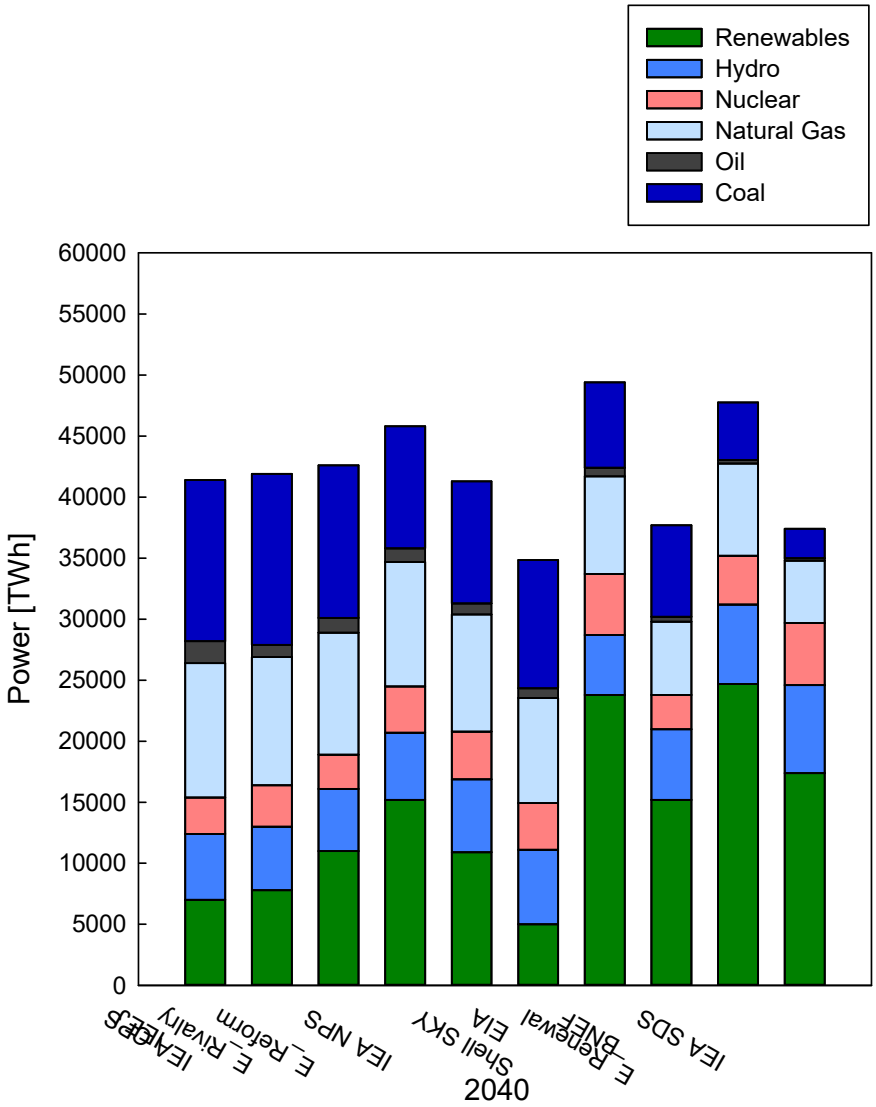
- 최근 발표된 BP ENERGY OUTLOOK 2020을 보면 적극적인 정책이 반영된 시나리오들을 통해서 전력생산 분야에서의 석탄 이용이 감소 될 수 있으며, 특히 OECD 중심으로 재생에너지 이용량이 50%를 넘어가는 2050년이 되면 석탄의 이용률은 10% 이하로까지 떨어질 것으로 예측됨

❍ 2040년 전력 생산량은 35,000TWh에서 50,000TWh 이상으로 시나리오에 따라서 차이가 발생하고 있으며 전기화의 확대에 따라서 전력 생산량은 증가할 것으로 예측됨

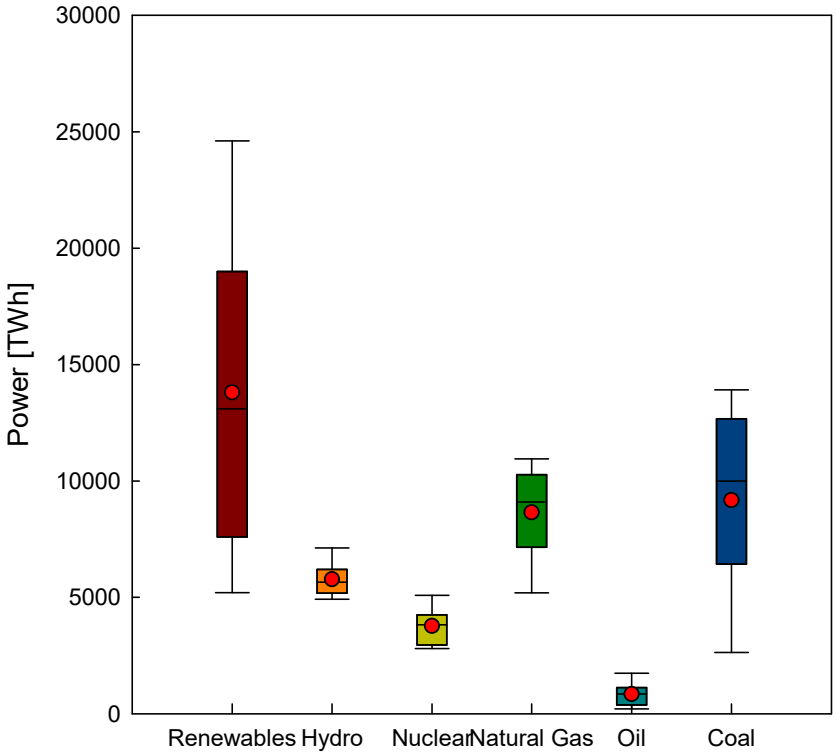
- 시나리오에 따라서 재생에너지의 전력 생산량이 거의 25,000TWh에 달해 자원별 전력생산 점유율이 최대 50% 이상으로 나타나고 있으며 현재 석탄이 차지하고 있는 위치를 재생에너지 자원이 차지할 것으로 예측됨

- 이에 비해 BAU 시나리오들은 2040년이 되어도 석탄의 점유율이 현재와 같은 위치를 차지하고 있고 재생에너지 점유율이 10 - 20% 사이를 유지할 것으로 예측되어, 결국 재생에너지와 석탄이 서로 상대적인 위치에 있을 것으로 예측함

- 전체 전력생산의 자원별 평균값을 보면 재생에너지가 거의 14,000TWh, 석탄이 10,000 TWh를 차지할 것으로 예측되어 석탄은 1위에서 2위로 한 단계 낮아지고 그 자리를 재생에너지로 넘겨주나 안정적인 전력공급을 위한 역할이 대두됨

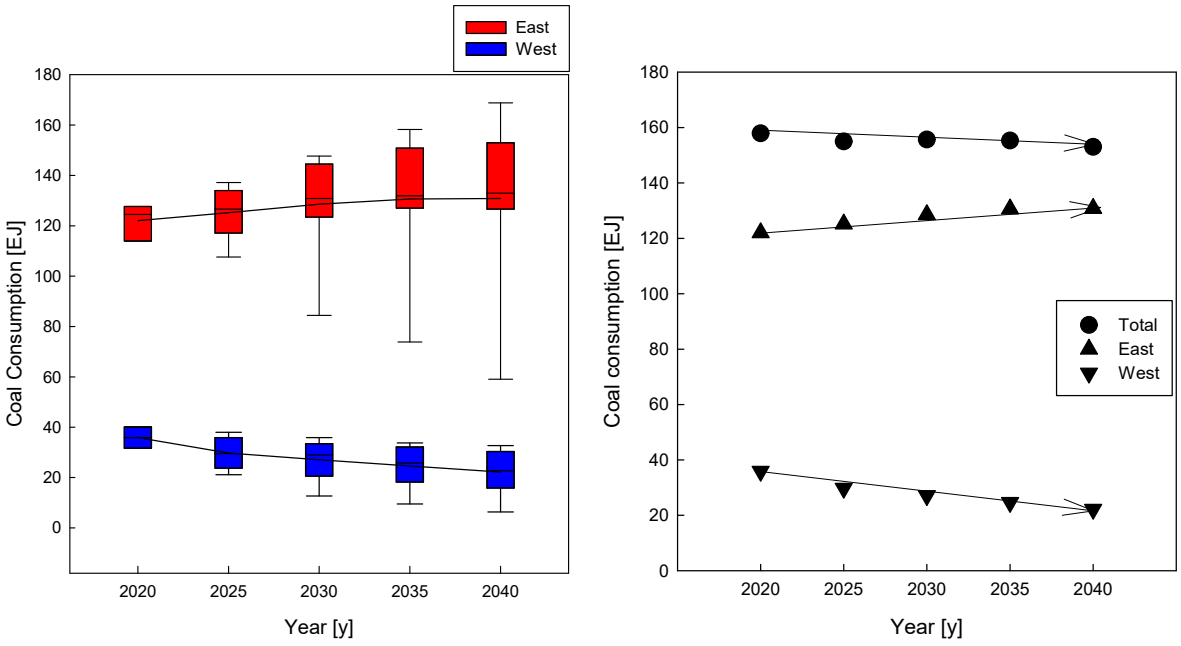


[그림 159] 자원별 발전 분야 점유율



[그림 160] 자원별 발전 평균 점유율

- 특히, 석탄 소비량은 2040년까지 유지될 것으로 예측되나 유럽, 미국으로 대표되는 서구는 사용량이 감소하고 중국과 인도를 포함한 아시아 지역은 석탄 이용량이 소폭 증가할 것으로 예측됨



[그림 161] 지역별 석탄 소비의 변화

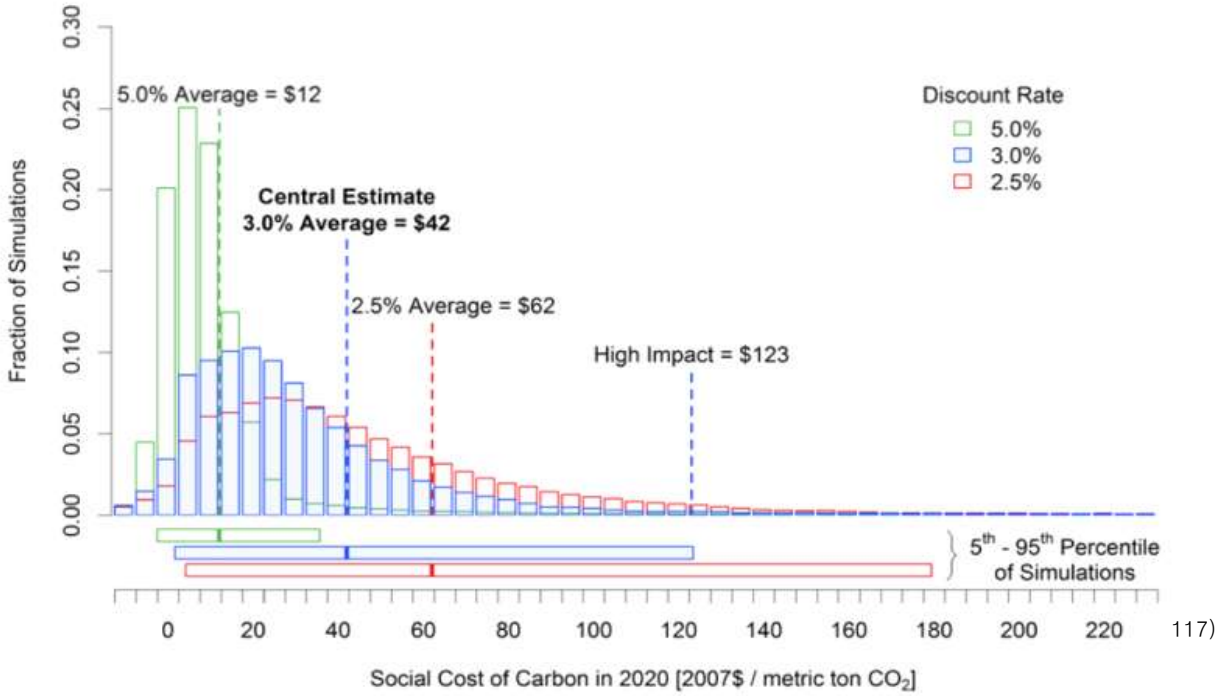
① 미국

□ 4년 주기로 국회와 행정부에 '국가 기후평가 보고서(NATIONAL CLIMATE ASSESSMENT)'를 제출하는 US GLOBAL CHANGE RESEARCH PROGRAM(USGCRP)을 운영 중임

- USGCRP는 13개의 연방정부 기관과 협력하여 연구하는 범정부적 연구 협의체로 기후변화를 포함한 범지구적 환경의 변화와 사회적 영향 등을 연구하는 연방정부 연구 프로그램임

□ 2000년부터 2018년까지 네 차례의 '국가 기후평가 보고서'를 의회와 행정부에 제출했으며, 다음 보고서는 2023년에 제출될 예정임

- 미국 바이든 행정부는 재생에너지 확대 및 에너지효율 개선을 강조한 오바마 정부의 정책 계승을 약속하며 그린뉴딜 정책을 발표하고 탄소세 및 탄소국경세 시행 등을 예고함



117)

[그림 162] 미국의 2020년 탄소 배출의 사회적 비용

- 바이든 신행정부의 주요 기후·에너지 정책은 파리협정 재가입 및 2050 탄소중립 선언, 기후 및 청정에너지 RDD&D(RESEARCH DEVELOPMENT DEMONSTRATION AND DEPLOYMENT) TF가 구성됨

- 유럽과 유사하게 모든 탄소 배출 활동에 가격을 매겨, 탄소 감축 활동을 독려, 타국 수입품에도 탄소 조정세를 적용하여, 미국으로 수출하는 국가들의 탄소 감축 의무 이행을 유도함

□ '청정에너지·인프라 계획' 추진을 통해 2050년까지 경제 전반에 걸쳐 탄소 배출 '넷-제로(NET-ZERO)'를 달성할 계획임

117) Technical Update Of The Social Cost Of Carbon For Regulatory Impact Analysis, Technical Support Document, 2016

- 기후변화 대응을 위한 5대 투자 부문으로 구성된 계획은 바이든의 핵심 대선공약으로, 임기 4년간 2조 달러 규모의 예산 투입을 통해 일자리 100만 개를 창출한다는 목표를 제시함*

  * 인프라, 자동차, 전력, 건축, 청정에너지 혁신

- 이에 따라 캘리포니아는 재생에너지 전력 목표 50% 달성 시기가 '30년에서 '26년으로 앞당겨졌고, '30년은 목표는 10% 인상되었으며, '45년에는 100%를 목표로 함

- 전력 부문에서 '35년까지 전기발전 부문의 탄소 배출량 제로 달성과 이산화탄소 포집 기술개발을 위한 투자 및 조세 인센티브 2배 확대, 추가로 10년 이내에 '그린 수소'를 기존 수소와 동등한 비용으로 제공할 것을 제시함

□ **과학기술혁신**

- 국가기후 TF 내부에 국가기후혁신워킹그룹(CLIMATE INNOVATION WORKING GROUP)을 신설하고, ARPA-C(ADVANCED RESEARCH PROJECTS AGENCY-CLIMATE)를 통해 탄소중립 관련 연구개발을 촉진할 예정임

- 미국 에너지부는 ARPA-E(ADVANCED RESEARCH PROJECTS AGENCY-ENERGY)를 통하여 혁신적인 저탄소 에너지기술에 대해 1억 달러를 지원할 예정임

② EU

□ **EU 집행위원회는 2019년 12월 발표한 유럽 그린딜(EUROPEAN GREEN DEAL)을 통해 '2050년까지 탄소중립' 목표를 제시함**

❍ 2030년까지 탄소배출을 1990년 수준 대비 최소 55% 감축하는 것을 목표로 제시함

❍ 법적 구속력을 부여하기 위해 '유럽 기후법(EUROPEAN CLIMATE LAW)' 법안을 발의하여 채택 절차를 진행하고 있음

- 유럽의회에서는 목표를 1990년 대비 60% 감축하는 것으로 강화하였으나, 현재까지 유럽연합 각료이사회의 동의를 얻지 못한 상태임

❍ 2050년 탄소중립 목표 달성을 위해 유럽 그린딜은 청정에너지, 순환경제, 에너지 효율적 건축, 지속가능한 수송 등의 분야에서 정책 패키지와 실행 로드맵을 제안함[118)]

- [청정에너지] △해상풍력을 활용한 재생에너지 전략(2020년 11월 발표) △에너지 효율 제고를 위한 「에너지법」 개정(2021년 6월까지) △회원국별 에너지 및 기후변화 계획 개선(2023년까지)

- [순환경제] △지속가능한 산업으로 전환 △재활용 가능 물질 및 제품 개발을 통한 관련 시장규모 확대 △디지털기술을 활용하여 제품의 탄소 배출 관련 정보를 소비자에게 제공

- [자원 효율적 건축] △건물의 에너지 사용 효율성을 제고를 위한 회원국별 중장기 전략 평가

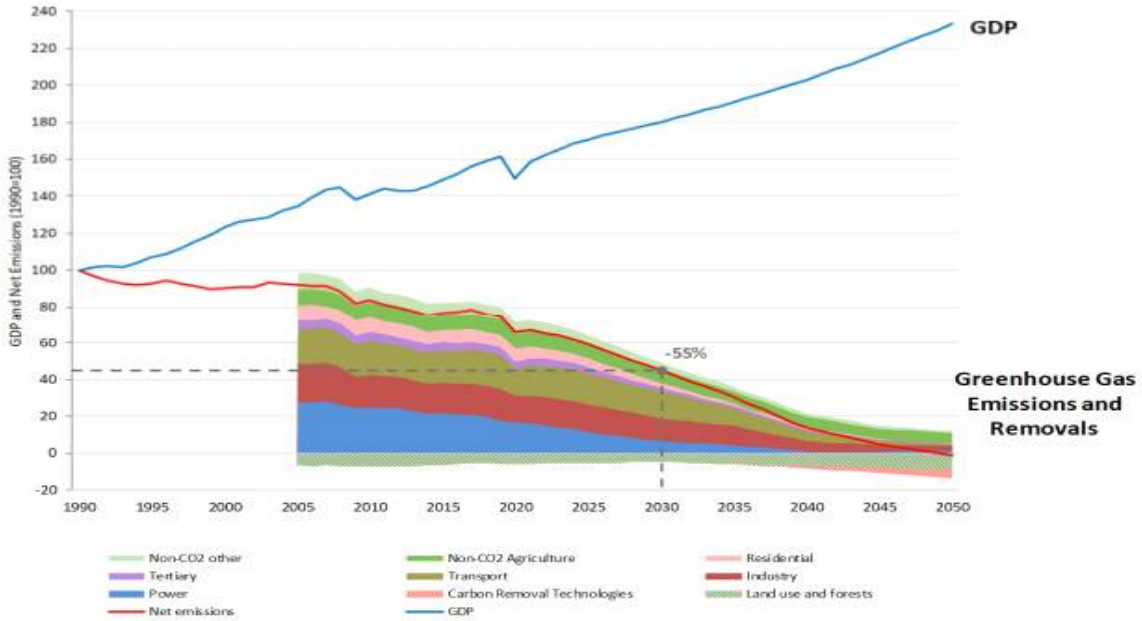
118) 유럽 그린딜이 한국 그린뉴딜에 주는 정책 시사점, KIEP 오늘의 세계경제, 대외경제정책연구원, 2020

△에너지 혁신을 가로막는 장애 요인 식별 및 철폐를 위한 논의 실시

- [지속가능한 수송] △지속가능한 스마트 수송전략(2020년 12월 발표) △해양 및 항공 부문의 배출권거래제(ETS: EMISSIONS TRADING SYSTEM) 편입 △자율자동차, 커넥티드카 등 다양한 운송수단 개발, 스마트 도로관리 시스템 연계

❍ (EU) 탄소중립 달성을 위한 구체적인 실행계획은 2020년 9월 발표한 '2030 기후목표 계획'에 제시되어 있음[119)]

- 2020년 20% 감축 목표를 달성하였고, 2030년 목표였던 1990년 수준 대비 40% 감축을 50% 감축으로 강화함



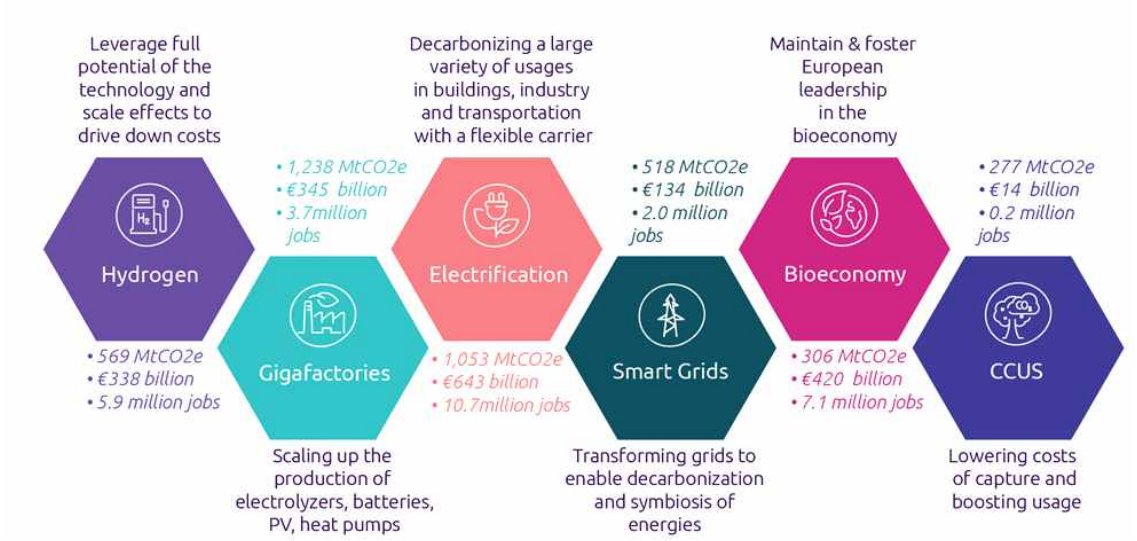
[그림 163] EU의 탄소중립 달성 계획(1990-2050)

- 2030 및 2050 목표 달성을 위해 산업, 교통, 건축 분야에서 친환경 재생에너지 비중 증대, 이산화탄소 외 온실가스감축을 위한 폐기물 처리 및 농축산업 분야 기술 개선, 배출권거래제 강화 등을 제시함

- 이에 더하여 탄소 포집 기술개발, 삼림 조성 및 토지의 효율적 사용을 통해 대기 중 탄소 흡수량도 점차 늘려갈 예정임

❍ 탄소중립을 위한 새로운 전략인 FIT FOR NET-ZERO를 발표[120)]

119) HTTPS://EC.EUROPA.EU/CLIMA/POLICIES/EU-CLIMATE-ACTION/2030_CTP_EN
120) Capgemini Invent(2020.10), Fit for NET-ZERO



[그림 164] Fit For NET-ZERO

- 유럽연합은 2050년 탄소 배출 넷 제로의 목표를 달성하기 위해 에너지, 산업, 건물, 수송, 식량, 토지의 5가지 핵심 경제 부문을 선정하였고 핵심 경제 부문별로 200개 이상의 개별 프로젝트들을 분석하고 55개의 기술 탐구 주제를 제시

- 유럽연합은 6개의 경로를 통해서 탄소중립의 달성과 더불어 거의 3천 만개의 새로운 일자리와 3,960Mt 규모 이산화탄소 배출을 저감 시장을 창출하고자 함

③ 일본

□ **2050년까지 온실가스 배출량 80% 저감을 골자로 하는, '파리협정에 근거한 성장전략으로서의 장기전략(2050년 장기 저탄소 발전전략)'을 발표함(2019년 6월)**

❍ 일본 정부가 제시한 발전전략은 2050년까지 온실가스 배출량을 현재의 80% 수준으로 감축하여 최종적으로는 탄소중립을 금세기 후반까지 가능한 한 빨리 실현하는 것임

- 현재 온실가스 배출량 중 이산화탄소가 차지하는 비중이 약 90%이고 이산화탄소 배출량은 연간 0.3억 톤 정도의 속도로 감축이 진행되고 있으며, 일본 정부는 이산화탄소 배출 저감을 위해 에너지 공급 저 탄소화, 에너지 소비효율 개선 등을 추진하고 있음

- 에너지 공급 저 탄소화를 위한 비 화석연료 전력발전 비율을 19%→44%까지 높임

- 일본 에너지 기본계획의 목표는 안정적, 지속적, 자립적인 에너지 공급을 통해 일본 경제사회의 발전과 국민 생활 편의 향상과 지속 가능한 발전에 기여임

❍ [배출 저감 대책] 일본 정부는 목표 달성을 위해 에너지, 산업, 수송, 지역·삶 등 총 4개 부문에서의 배출 저감 대책과 정부 차원의 횡단정책을 제시함

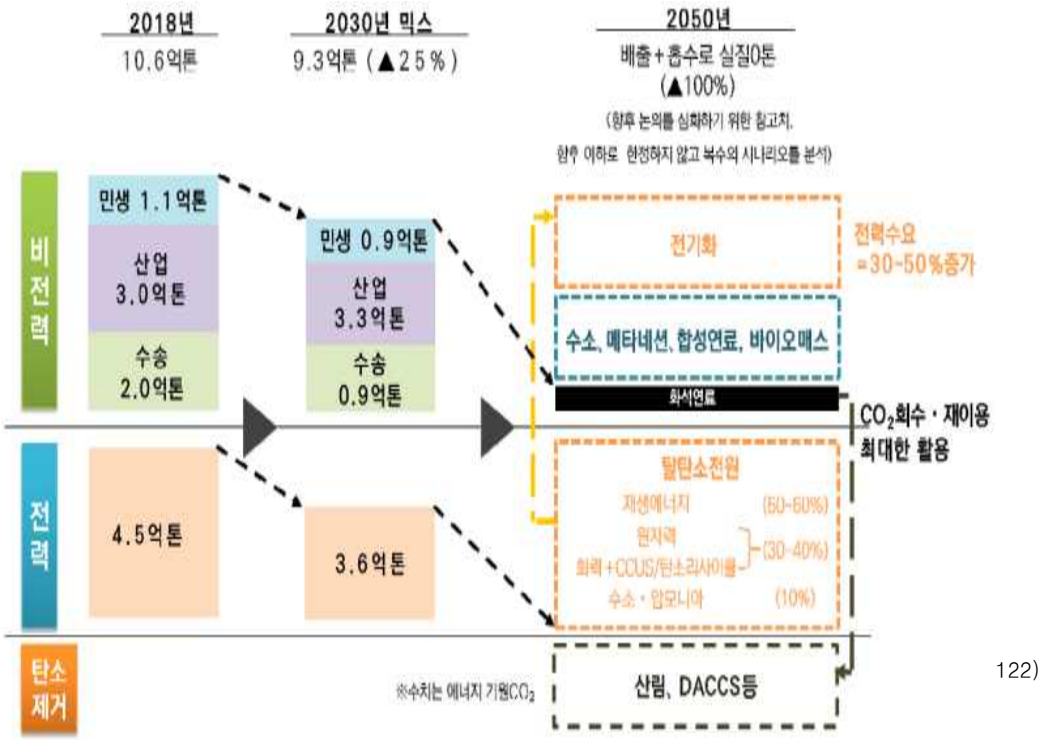
- [에너지] ①재생에너지 주 전력화 ②원자력·화력에 대한 의존도 축소 ③에너지 소비효율 향상 등을 통한 이산화탄소 배출 절감 추진

- [산업] ①산업계의 자주적인 절감 노력 ②CCS·CCU(탄소 포집) 기술의 활용을 통한 원료 전환 ③에너지 소비효율 향상 등을 통해 탄소중립 추구
- [수송] ①2050년까지 일본산 자동차에 세계 최고 수준의 친환경적 성능 실현 ②자율주행 자동차, 커넥티드카 등의 보급 ③친환경 드라이브 지원 시스템의 보급 등
- [지역·삶] ①가능한 지역·기업부터 2050년 이전에 탄소중립 실현 ②탄소중립적 삶 : 주택·사무실의 건축 구조가 ZEH(ZERO ENERGY HOUSE)·ZEB(ZERO ENERGY BUILDING)에 준하도록 하는 기술개발 및 보급, 라이프스타일 전환 등

❍ [횡단정책] 기술혁신, 금융기관이 탄소중립을 뒷받침하는 녹색 금융, 정책·제도 구축 및 국제공조 등을 추진함

- 스가 총리는 탄소중립의 핵심으로 차세대 태양전지, 탄소 순환(CARBON RECYCLE) 등의 이노베이션을 언급하면서, 이를 위해 ①실용화를 고려한 연구개발 가속화 ②환경 관련 규제개혁 ③에너지 소비효율 향상 ④재생에너지 도입 등을 통해 기존 석탄화력발전에 의존한 정책을 근본적으로 전환하겠다고 선언함
- 일본 경제산업성은 2050년 탄소중립을 실현하기 위해 중점적으로 육성할 14개 산업 분야와 이를 뒷받침할 정책수단이 포함된 '2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략 실행계획'을 발표함(2020년 12월 25일)[121]
- [실행계획] 일본 정부는 에너지, 수송·제조, 가정·사무실 등 크게 세 분야에서 탄소중립과 관련하여 총 14개 산업을 선정하고, 산업별 현황 및 목표·주요 실행계획을 제시함

121) 経済産業省(2020. 12. 25), 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」.



122)

[그림 165] 2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략

④ 중국

□ **2030년을 기점으로 탄소배출량을 감축하고 2060년까지 탄소배출 중립을 달성할 것이라고 발표하여 정부 차원에서 처음으로 탄소중립에 대한 목표 연도를 제시함(2020년 9월)123)**

○ 유엔총회에서 탄소중립을 선언, '제14차 5개년 계획 및 2035 장기 목표 강요'를 발표하고 그간 중국의 미온적 이미지를 탈피하고 선도적 역할 수행을 위한 정책 추진

- 중국은 '21년 2월 전국 범위의 탄소배출권 거래시장 수립의 기반이 되는 법안을 도입함
- 중국 국무원은 2020년 12월 31일 「탄소배출권 거래시장 관리방법」을 발표하였으며, 생태환경부는 적법한 전국 탄소배출권 등록 및 거래 기관을 조직하고 관련 시스템을 구축할 계획임
- 경제성장, 산업구조 조정, 에너지구조 최적화, 대기오염물질 배출규제 등을 고려해 탄소배출량 총량 확정 및 배분 방안도 마련할 예정임
- 2021년 3월 중국 전국인민대표대회에서 발표된 14차 경제·사회발전 5개년 계획(2021 – 2025년)에 구체적인 내용이 포함됨
- 탄소중립 선언 이후 칭화대학교의 기후변화 및 지속가능발전연구소에서 발표한 로드맵에 따르면, 2060년까지 탄소중립을 달성하기 위해서는 2020년 기준 온실가스 배출량을 90%

122) 일본 경제산업성 홈페이지, 20년 12월 25일
123) https://baijiahao.baidu.com/s?id=1682342923502148062&wfr=spider&for=pc

감축해야 한다고 밝히고 있음[124)]

❍ 2030년까지는 기존의 배출량을 줄이는 것보다 추가적인 배출량을 줄이는 것이 우선되어야 할 것이라고 언급함

❍ 중국 내에서는 시진핑 주석의 탄소중립 선언이 기후변화 대응에 있어 선도적인 역할을 수행하고자 하는 의지를 표명한 것이라 평가함

- 중국 내부에서는 그동안 시진핑 정부가 녹색전환, 저탄소, 지속가능한 발전을 강력히 추진하고 기후변화, 생물다양성, 화학품 등의 분야에서 국제 환경 관련 조약의 의무를 성실히 이행함으로써 그 효과를 거두었다고 평가하고 있음

[표 70] 중국의 단계별 탄소중립 추진 방향

구분	1단계(- 2030년)	2단계(- 2060년)
내용	• 환경보호를 위한 '제14차 5개년 (2021 - 2025) 계획'을 통해 2030년 이전에 탄소 배출 정점 도달을 목표로, 전국 탄소 시장 구축을 가속화 • 에너지구조를 개선하고, 신규 에너지 수요는 주로 비화석 에너지의 신규 공급으로 충족하고 있으며, 기본적으로 석탄, 석유 등의 화석에너지가 다시 증가하지 않도록 제한	• 에너지시스템을 '신에너지와 재생에너지로, 제로에 가까운 배출 에너지시스템 구축'으로 전환 • 석탄, 석유, 천연가스 등의 소비는 극도로 낮은 수준으로 유지되고, 이산화황, 질소산화물, PM2.5 등의 오염물질 배출 저감

[125)]

[표 71] 세계 각국의 에너지 정책

미국	• 미국 우선 에너지 계획(AMERICA FIRST ENERGY PLAN) <'미국 우선 에너지 계획' 주요 내용> □ '기후 행동 계획(THE CLIMATE ACTION PLAN)' 정책 폐지를 통한 7년간 300억 달러의 임금 인상 효과 창출 □ 50조 달러 규모의 셰일 석유·가스 본격 개발 및 생산으로 일자리 복원 기대 □ 에너지 생산 소득으로 인프라 건설 확대와 농업 부양에 활용 □ 깨끗한 석탄을 생산하는 기술개발에 주력하여 석탄 산업재건 노력 강화 □ 석유수출국기구(OPEC) 카르텔로부터 에너지 독립 추구 및 걸프만 동맹국과 협력관계 개선 • 기후변화 대응 - 기존 오바마 정부의 에너지 발전 핵심 정책인 청정전력계획(CPP)*을 폐기하고 이를 대체하는 '청정에너지(AFFORDABLE CLEAN ENERGY,

124) https://chinadialogue.net/en/climate/researchers-unveil-roadmap-for-a-carbon-neutral-china-by-2060/
125) 국가나노기술정책센터(2021.1), 탄소중립 정책동향과 나노기술

		ACE)’ 규정 확정(2019.6월) • 재생에너지 정책 – (세액공제) 연방정부의 대표적인 지원정책은 생산세액공제(PRODUCTION TAX CREDIT, PTC)와 투자세액공제(INVESTMENT TAX CREDIT, ITC)로 구분 지원 – (주 정부 제도) 주 정부별 신재생 의무 목표량(RPS)을 수립. 특히, 미국 캘리포니아는 2045년 100% 탄소 제로 전원 정책을 수립(2018.9월)하여 기존의 화석에너지를 대체할 수 있는 전력원 마련 준비 중
유럽	덴마크	• ‘18년 6월 덴마크 의회는 2020 – 2030년간 덴마크의 에너지 정책 추진 방향을 설정하는 에너지 합의문(ENERGY AGREEMENT)을 통과 • 저 탄소 사회 실현 및 탈 화석연료 달성 등을 위해 덴마크 정부는 2030년까지 덴마크 내 전력 소비 전체(100%)와 총 에너지 소비의 50% 이상을 신재생에너지로 공급할 예정이며, 나아가 신재생에너지 비율 55%까지도 달성할 수 있도록 관련 로드맵을 설정하고 예산을 배정할 예정 – 해상풍력단지 조성 – 전기세 완화 – 연구 예산 증액 – 교통 부문 예산 증액 – 에너지 절약 노력 제고 – 지역난방 증대
	독일	• 「에너지 구상 2010(ENERGY CONCEPT 2010)」을 기초로 하며 재생에너지 확대와 에너지효율 강화를 통해 2050년까지 온실가스 중립 달성 달성을 목표 • ①에너지이용의 경제성, ②에너지 공급의 안정성, ③에너지의 환경친화적 이용이라는 3대 목표를 기조로 추진 • △1차 에너지 소비를 2020년까지 20%, 2050년까지 50% 감축(2008년 대비), △온실가스 배출량을 2020년까지 40%, 2030년까지 55%, 2050년까지 80 – 95% 감축(1990년 대비) △재생에너지원의 전력 소비(발전 비중)를 2020년 35%까지, 2030년 50%까지, 2040년 65%, 2050년 80%까지 확대 목표 • **탈원전**, ‘안전한 에너지 공급 윤리위원회’ 결과를 토대로 17개의 운영 원전 중 8개 노후원전의 가동중단 및 2022년까지 모든 원전의 폐쇄를 선언 • **탈석탄,** 에너지·기후정책에 대한 폭넓은 사회적 합의도출을 위해 「성장·구조개혁·고용위원회(이하 脫석탄위)」을 발족(2018.6.6.), 2019.1월 脫석탄위는 △2038년까지 석탄발전 폐지, △석탄지역 구조전환 지원을 골자로 하는 “탈석탄 로드맵” 최종 권고안 확정 • 에너지 구상(2010)은 최종에너지 소비에서 재생에너지가 차지하는 비중을 2020년까지 18%로 확대, 2030년 30%, 2014년 45%, 2050년 60%로 확대 목표 – 전력 소비에서 재생에너지가 차지하는 비중은 2020년 최소 35%로 확대하고 2030년 50%, 2040년 65%, 2050년 80%로 확대한다는 장기

		목표 설정
	러시아	• 2035 러시아 에너지전략 ① 국가의 사회경제적 발전 수요를 충족시키는 연료에너지 공급 - 1차 에너지원 채굴 및 생산량을 2035년까지 25% 증대 - 연료에너지 분야 투자를 2024년까지 40% 확대 - 석유화학 등 분야의 고부가가치 제품 생산 활성화 - 국내 에너지 시장의 경쟁력 제고(독점 활동의 투명성 제고, 연료에너지 분야 교차 보조의 점진적 폐지, 세제 예측 가능성 제고 등) ② 에너지 분야 수출 확대 및 다변화 - 에너지 제품의 수출을 2024년까지 15%, 2035년까지 46% 확대 - LNG 생산을 2024년까지 3.4배, 2035년까지 7.4배 확대 - 야말·기단 반도 LNG 클러스터 조성, 6개 석유화학 클러스터 조성, 수소 경제 선도국 진입 및 에너지 수출선 다변화 ③ 인프라의 현대화, 발전 및 접근성 제고 - 러시아 전역의 가스화 수준 2030년까지 83% 달성 - 극동 및 동시베리아 지역 가스 수송 인프라 개발 및 UGSS 통합 - 가스충전소 네트워크 및 전기차 충전 인프라 구축 - 극동 및 북극 지역 에너지 인프라 개발(북극항로 이용 확대 등) - 지역난방 효율성 개선 및 원거리 고립지역에 재생에너지 개발 ④ 연료에너지 분야 기술 자립성 달성 및 경쟁력 제고 - 에너지기업 혁신 활동 증가율 2024년 50%, 2035년 75%로 확대 - 국내기술·장비·자재에 기반하여 연료에너지 분야 현대화 및 경쟁력 제고, 수입 대체화 전략 이행 적극 추진 ⑤ 연료에너지 분야 디지털 전환 - 전력에너지 계량의 지능화 시스템 도입 - 스마트미터기 도입 비율 2024년까지 30%, 2035년까지 100% 목표 - 지능형전력망컨트롤 시스템 2035년까지 모든 지역에 도입
	불가리아	• 2021 – 2030 국가 에너지 및 기후 계획 - 온실가스 배출량 1990년 수치 대비 최소 40% 감소 - 에너지효율 최소 27% 증가 - 신재생에너지 점유율 EU 에너지 사용량의 최소 27%로 증가 - 에너지 안보 보장
	오스트리아	• 오스트리아 기후·에너지 통합전략 : #MISSION2030 • 『기후보호법(KSG, KLIMASCHUTZGESETZ)』 - 2008년부터 2020년까지 6개 산업(에너지 산업, 교통, 건물, 농업, 폐기물처리산업, 플로오린 가스산업)에 대해 배출량 최대허용치 규정 • CLIMATE PROTECTION INITIATIVE(KLIMAAKTIV) 운동 전개 - 시민들의 자발적인 참여를 통한 재생에너지 확대를 위한 기후 보호 이니셔티브인 'KLIMAAKTIV' 운동을 전개 중 - 2030년까지 재생에너지 전력생산 비율을 100%까지 끌어올리기 위해

		기업, 가정, 지자체, 건축·교통 분야에 에너지 효율성 제고 – 녹색 일자리(GREEN JOB) 창출 • 기후 및 에너지 펀드(CLIMATE AND ENERGY FUNDS) 조성 • 발전차액 지원제도(FEED-IN TARIFFS) – 2002년에 제정된 녹색전력법(ÖKOSTROMGESETZ: GREEN ELECTRICITY ACT)에 따라 재생에너지 발전에 의한 전력가격과 시장가격의 차이를 보전해 주는 발전차액 지원제도를 시행 중
	우크라이나	• 신재생에너지 정책 – 전력 구매 시 적용한 녹색 전력요금(GREEN TARIFF) 인센티브를 2020.1월부터 대폭 축소하고 녹색 경매(GREENAUCTION) 제도를 도입 – 2020.1.1일부터 GREEN TARIFF 인센티브를 태양광 발전에 대해서는 25% 감축(이후 3년간 매년 2.5%씩 추가 감축)하고, 풍력발전에 대해서는 10% 감축(이후 3년간 매년 1.5%씩 추가 감축)
	프랑스	• 다년도 에너지계획(PPE, 2020) (목표) – 기후변화 대응을 위한 국제적 협력 프레임워크 – EU 프레임워크 – 국가적 프레임워크 : 녹색성장을 위한 에너지 전환법(2019년 개정) – 기후플랜 : 2050년 탄소중립 (이행계획) – 최종에너지 소비 감축 – 신재생에너지 확대 방향으로 에너지믹스 조정
캐나다		• 대내적으로는 에너지 자원 사업에 대한 외국기업의 투자유치를 통해 국내 고용 창출, 경제성장 도모를 목표 – 대외적으로는 생산되는 에너지 자원을 국제시장에 효과적으로 수출하는 것을 목표 • 자유당 정부 : 에너지 정책 기조(공약사항 중심) • 연방정부 : 현재 에너지 분야 뿐 아니라 다방면에서 R&D와 기술 상업화를 추진, 저 탄소 경제로의 전환을 우선화
중국		• 13차 5개년 계획 기간 에너지 발전 계획 – 2017년 “13·5” 계획에 따라 안전, 자원, 환경, 기술, 경제 등 요인을 종합적으로 고려하여 2020년까지의 에너지 발전의 주요 목표를 설정 – (주요 정책 방향) 에너지효율 제고, 에너지 소비혁명, 에너지 공급 혁명, 에너지 기술혁신, 에너지 체제혁신, 에너지 국제 협력 강화, 에너지 복지 발전 • “14·5” 계획 – (과제) ▶ “14·5” 기간 중 자연자원의 형세판단과 전략목표 연구 ▶ 자연자원의 개발이용과 보호 국내외 비교 연구

	▶ 자연자원 자산 소유자권익에 대한 효과적 보호 연구 ▶ 자연자원 개발이용 연구 ▶ 국토공간 개발이용 및 보호 연구 ▶ 국토이용 용도 관리 통일적 행사 연구 ▶ 국토공간 생태 회복 연구 ▶ 생태보호 및 자연보호지역 체계 건설 연구 ▶ 경작지 보호 전략 연구 ▶ 전략성 광산자원 개발이용 및 보호 연구 ▶ 해양강국 신속 건설 중요문제 연구 ▶ 수자원 개발이용 및 보호 연구 ▶ 기본측량 및 지리정보 개발연구 ▶ 자연자원 개혁창신 연구 ▶ 자연자원 과학기술 창신 및 정보화 전략 연구
인도	• 국가 에너지 정책(NATIONAL ENERGY POLICY, 2018 - 2040년) 마련 (목표) - 합리적인 에너지 가격 설정 - 에너지 안보 및 독립성 제고 - 에너지원의 지속가능성 제고 - 경제성장 (부문별 정책목표) - (석탄) 석탄 수입 의존도를 제로로 낮추고 2020년까지 석탄 생산량을 두 배인 15억 톤까지, 2030년까지 석탄 화력 발전용량을 현재의 3배 수준인 450GW로 증대시킬 계획 - (석유) 2022년까지 석유수입량 10% 감축 목표를 설정(2015.3월)하고, 석유·가스 수입 의존도(2015 - 2016년 기준 81%)를 2022년에 67%, 2030년에 50%까지 감축하는 계획을 발표하였으며, 수입 다변화를 동시에 추진 - (천연가스) 천연가스의 1차 에너지 분담률을 2020년까지 15%로 높이고, 이를 위해 천연가스가 매장되어 있는 동부지역을 개발할 계획이며, 국내 천연가스 생산 증대를 위해 생산 여건이 열악한 매장지에서 생산한 가스에 대해 가스 판매가격과 마케팅 자율화 등에서 인센티브를 제공하기로 결정(2016.3월) - (재생에너지) 재생에너지 발전설비 용량을 2022년까지 227GW로 확대, 2027년까지 275GW로 증설·확대하였으며(국가에너지계획, NEP), 국가 태양광 미션(NATIONAL SOLAR MISSION)을 수립·개정(2015년)하여 2022년까지 태양광발전설비용량을 100GW로 확대하는 목표를 설정, 2019/20 회계연도에 태양광 발전 프로젝트에 약 4.3억 달러 예산을 책정 - (원자력) 원전 설비용량을 2032년까지 63GW로 증대하고 2050년까지 전력 생산량의 25%를 원자력으로 충당할 계획 - (온실가스감축) 2030년까지 GDP 단위당 온실가스 배출량을 2005년 대비 33 - 35% 감축할 계획
인도네시아	

	• 인도네시아 정부는 화석연료 생산과 부존량 감소, 기후변화에 따른 온실가스 배출량 축소에 대한 국제사회의 압력에 대처하기 위해 2014.10.17일 새로운 국가 에너지 정책(GR NO.79/2014)을 발표 • 인도네시아의 에너지자원정책 총괄은 에너지 광물자원부(인니어 약어 ESDM, 영문 약어 MEMR)가 담당하고 있으며, 관련 기후변화정책은 산림환경부가 맡고 있음. 에너지부와 환경부는 해양조정·투자장관(부총리)이 지휘·감독 • 에너지 정책 전반을 관통하는 상위법으로 에너지법(LAW NO.30/2007)이 있으며, 석유·가스법(LAW NO.22/2001), 전력법(LAW NO.30/2009), 광업법(LAW NO. 4/2009) 존재
말레이시아	• 제11차 말레이시아 수정계획 • 신재생 에너지정책 – (정책목표) 2025년까지 재생에너지 발전 비중 20%(100 MW 이상 수력발전 제외)
베트남	(전력산업 관련 정책) • 제7차 전원개발계획 개정(2016.3) 주요 내용(– 2030년) • 베트남의 전력시장 체계 – 2005년 전력법 시행으로 2024년까지 도매시장과 소매시장에도 단계적으로 경쟁체제가 도입될 예정 • 베트남 신규 태양광 발전 차액지원제도 (자원 관련 정책) • 베트남의 에너지·자원산업은 국가 주도로 추진되며, 정부는 직접 또는 국영기업을 통해 자원 개발 및 수출입, 유통을 통제
필리핀	• 전력의 안정성 수급 • 신재생에너지 발전 추진 – 2040년까지 신재생에너지 설비용량 20,000MW 달성목표 • 원전 도입 검토
가나	• 국가전력화계획(NATIONAL ELECTRIFICATION SCHEME, NES, 1990 – 2020) • 신재생에너지법(RENEWABLE ENERGY ACT 2011)
가봉	• 가봉 부상 전략(2009 – 2025) • 경제회복계획(2017 – 2019) • 석유산업 현지화 정책
나이지리아	• 석유 및 가스산업 정책 • 전력산업 정책 – 전력공급 부족 문제 해결을 위해 2011년 조나단 정부 이후로 지속적으로 민간자본 유치를 위한 민영화 추진

남아공	• 통합자원계획 2019(INTEGRATED RESOURCE PLAN, IRP, 2019) • 남아공전력공사 구조개혁 방안
마다가스카르	• 신에너지 정책(NOUVELLE POLITIQUE DE L'ENëRGIE, 2019 - 2030) • 마다가스카르 부흥계획(IME) • 대규모 광업법(LGIM, LOI SUR LES GRANDS INVESTISSEMENTS MINIERS, 2019) • 신재생에너지 설비 수입세 면제(2019 - 2030)
멕시코	• 석유공사(PEMEX)는 중남미 국영 석유회사 중 최대 부채 규모(총 1,065억불 규모)를 가지고 있으며, PEMEX 재정 건전화를 신정부 주요 정책과제로 추진 중 • 유가 급락에 따른 OPEC+ 국가들의 감산합의(2020.4.12)에서 멕시코는 당초 회원국들의 1일 40만 배럴 감산 요구에 대해 자국 사정을 감안하여 1일 10만 배럴만 감산하기로 합의 • 2012년 기후변화법(GENERAL LAW ON CLIMATE CHANGE)이 승인되었으며, 이산화탄소 방출량을 배출전망치(BAU) 대비 2020년 30%, 2050년 50%까지 감축하는 것을 목표로 설정
몽골	• 국가 에너지 정책(2015.6월 국회 결의) • 신재생에너지 정책 • 재생에너지 관련 지원제도 • 자원 개발 정책 - 연간 생산 규모가 GDP의 5% 이상 광산을 '전략광산'으로 지정(2006년, 광업법)
미얀마	• 미얀마 에너지 정책(MYANMAR ENERGY POLICY, 2014) 2013년 NYAN TUN 부통령을 위원장으로 15명의 각 부처 장관들로 구성된 국가에너지관리위원회(NEMC)에서 주도하여 마련 • 열대지역에 속하며 바이오에너지에 대한 큰 잠재력을 지닌 국가이나 현재까지 신재생에너지에 대한 법적 규제 존재
베네수엘라	• 정책 기조 • 마두로 정권 PDVSA 혁신방안 발표(2020.4.28) - 21세기 사회주의(SOCIALISM)를 추구, 미국으로 대변되는 제국주의와 자본주의를 타파를 주장하고 있으며 쿠바, 러시아, 중국, 벨라루스, 베트남, 이란, 시리아, 리비아 등 사회주의 독재식 국가와 전략 경제협력을 강화 중
브라질	• 광업 에너지부 산하에 석유가스청(ANP), 전력청(ANEEL), 광물생산국(ANM) 등의 집행기관들이 에너지 자원 정책을 지원

사우디아라비아	• 2016.4월 SAUDI VISION 2030 및 2016.6월 NATIONAL TRANSFORMATION PLAN(NTP) 2020을 통해 천명한 정책 기조 유지 • (정부조직개편) 2019.9월 기존 '에너지산업광물자원부'를 분리하여 석유·가스·전력을 담당하는 '에너지부'와 광물자원 개발을 담당하는 '산업광물자원부'로 개편
알제리	• 석유 가스 탐사 개발 확대 및 석유화학 산업 육성 • 셰일가스, 신재생에너지 등 비전통 에너지 발전 촉진 • 투자 규제 완화를 통한 투자 여건 개선
이라크	• 통합국가에너지전략(INTEGRATED NATIONAL ENERGY STRATEGY, INES)
이란	• 국내산업 육성 정책 • PARS 가스전 개발 및 수출 확대 • 전력 분야 지역 허브 정책 추진 • 신재생에너지 – 재생에너지 구매 보장 인센티브를 활용한 민간부문과 협력을 통해 5년 내(2022년까지)에 5.000 MW 재생에너지 설비용량 개발 추진
칠레	• 2012 – 2030 국가에너지전략(ESTRATEGIA NACIONAL DE ENERGIA 2012 – 2030) • 2018 – 2022 에너지 로드맵 • 에너지 매트릭스 탈 탄소화 계획 • 에너지 2050(ENERGIA 2050)
카메룬	• 카메룬 VISION 2035 • 新정부 에너지 정책 • 에너지 부문 주요 프로그램 – 지방 전력보급 및 전력 접근성 개선 프로젝트(PERACE)
카자흐스탄	• 에너지부는 2017.1월 석탄 이용 시 환경안전 강화, 석탄을 활용한 고부가가치 창출을 최우선 목표로 '석탄 개발 로드맵 2030'을 확정 발표 • 신재생에너지 보급확대를 위해, 2009.7월 '신재생 에너지원 활용 촉진에 관한 법률' 제정 • '2013 – 2020 신재생에너지 개발계획'에 따르면, 2020년까지 총 3,054MW (106기 설비)의 신재생에너지 발전설비 보유 계획
카타르	• 기존 유전 재개발을 통한 생산량 유지 • 글로벌 LNG 시장에서 경쟁적 우위 유지 • 해외 자원 개발 투자를 통한 석유 및 가스 생산 확대
콜롬비아	• 신재생에너지

	– 2022년까지 총 에너지 발전량의 15% – 20%를 태양광 및 풍력 에너지로 충당할 계획)
태국	• 전력개발계획(PDP; POWER DEVELOPMENT PLAN) • 대체에너지개발계획(AEDP : ALTERNATIVE ENERGY DEVELOPMENT PLAN)
터키	• 전략계획(2019 – 23) 주요 내용(출처 : 에너지부 2020년) – 지속가능한 에너지공급 안보 – 에너지 효율성 제고에 중점 – 기업 및 부문별 역량 강화 – 에너지 및 천연자원에 대한 지역 및 글로벌 효과성 증대 – 연구·기술개발 및 현지화 – 에너지시장의 예측가능성 제고 – 지속가능한 광업 및 생산역량 증대
투르크메니스탄	• 기본방향 – 에너지 수출선 다변화 – 외국인 투자유치 확대 – 에너지 생산 및 수출 증대 • 석유·가스 주관 부처 및 관련 법령 – 석유가스부(MINISTRY OF OIL AND GAS)와 석유가스자원관리청(STATE AGENCY FOR MANAGEMENT AND USE OF HYDROCARBON RESOURCES UNDER THE PRESIDENT OF TURKMENISTAN) 폐지 – 상기 정부조직에도 불구하고 중요한 석유·가스 관련 계약 체결 관련 최종적인 의사결정권은 대통령 1인에게 집중 – 석유법(LAW ON HYDROCARBON RESOURCES)(1996년 제정, 2016년 최근 개정) • 중점 추진 프로젝트 – TAPI(TRUKMENISTAN–AFGHANISTAN–PAKISTAN–INDIA) 파이프라인 프로젝트 – TRANS CASPIAN PIPELINE(TCP) 프로젝트
페루	• 석유·가스 산업 정책 – 석유·가스 개발 인센티브 – 석유·가스 개발 관련 주요 기관 • 신재생에너지 – 장기 에너지 정책 수립 추진 – 신재생에너지 관련 법령 – 신재생에너지 정책 담당 기관 • 전력정책
호주	• 공정한 에너지(A FAIR DEAL ON ENERGY) 정책 청사진을 통해 3대 중심축과 축별 목표 제시

	- 요금정책 - 신재생에너지 정책 - 온실가스감축 정책

(2) 국내 정책동향 분석

① 국정운영 5개년 계획

□ **'제22차 비상경제 중앙대책본부회의'에서 '2050 탄소중립 추진전략'을 확정·발표함(2020년 12월)**

○ 정책 추진을 통해 탄소중립 경제성장 및 삶의 질 향상을 동시에 달성하기 위해 능동적으로 대응함

- 대통령 직속 민관합동 '2050 탄소중립위원회' 설치
- 산업통상자원부에 에너지 전담 차관 신설

○ 경제구조의 저탄소화, 新유망 저탄소산업 생태계조성, 탄소중립사회로의 공정전환, 탄소중립 제도적 기반 강화의 3+1 전략을 추진함

[표 72] 2050 탄소중립 추진전략

전략	내용
경제 구조의 저탄소화	• (에너지 전환 가속화) 에너지 주공급원을 화석연료에서 신·재생에너지로 적극 전환, 송배전망 확충, 지역생산·지역소비의 분산형 에너지시스템 확산 • (고탄소 산업구조 혁신) 철강, 석유화학 등 탄소 다배출 업종 기술개발지원, 고탄소 중소기업 대상 맞춤형 공정개선 지원 등 • (미래모빌리티로 전환) 친환경차 가격·충전·수요 혁신을 통해 수소·전기차 생산, 보급확대, 전국 2천만 세대 전기차 충전기 보급, 도시·거점별 수소 충전소 구축 • (도시·국토 저탄소화) 신규 건축물 제로에너지 건축 의무화, 국토 계획 수립 시 생태자원 활용한 탄소흡수기능 강화
신유망 저탄소 산업 생태계 조성	• (신유망 산업 육성) 차세대전지 관련 핵심기술 확보, 그린 수소 적극 활성화하여 2050년 수소에너지 전체의 80% 이상을 그린 수소로 전환, 이산화탄소 포집 기술 등 혁신기술 개발 • (혁신 생태계 저변 구축) 친환경·저탄소·에너지 산업 분야 유망기술 보유기업 발굴·지원, 그린 예비 유니콘으로 적극 육성, 탄소중립 규제 자유 특구 확대
탄소중립 사회로의 공정전환	• (취약 산업·계층 보호) 내연기관차 완성차 및 부품업체 등 축소산업에 대한 R&D, M&A 등을 통해 대체·유망분야로 사업전환 적극 지원, 맞춤형 재취업 지원 • (지역 중심의 탄소중립 실현) 지역 중심 탄소중립 실행 지원, 지역별 맞춤형 전략 이행을 위한 제도적 기반 정비 • 탄소중립 사회에 대한 국민 인식 제고
탄소중립 제도적 기반 강화	• (재정)'기후대응기금(가칭)' 신규조성, 세제·부담금·배출권거래제 등 탄소가격 체계 재구축, 탄소인지 예산제도 도입 검토 • (녹색금융) 정책금융기관의 녹색 분야 자금지원 비중 확대, 저탄소 산업구조로의 전환을 위한 기업지원, 기업의 환경 관련 공시의무 단계적 확대 등 금융시장 인프라 정비 • (R&D) CCUS, 에너지효율 극대화, 태양전지 등 탄소중립을 위한 핵심기술 개발 집중지원

126)

□ **정부의 2050 탄소중립 정책에 의하면, 가스발전 전환, 화력발전 CCUS 기술지원 등 탄소중립 국가 전략을 정의하였고, 탄소중립은 전 세계적 아젠다로 부상함**

- 국내에서는 2020년 현재의 신재생 발전설비용량 20.1GW(15.8%)를 2034년까지 78GW(40%)로 확대하는 계획을 수립하고 있으며, 세계적으로는 2017년 25%의 전기를 생산하고 있는 신재생이 2050년까지 86%로 확대될 것으로 전망됨

○ 국회에서 기후위기 대응과 그 목표를 '2050년 탄소 배출 중립'으로 분명히 제시한 만큼 보다

126) 대한민국정책브리핑, 2050 탄소중립, 2020. 12. 21

구체적이고 실질적인 로드맵과 정책수단이 필요함

- 화석연료 발전 중심의 전력공급 체계를 재생에너지와 그린 수소 중심으로 전환하고 이산화탄소 포집 기술 등을 활용하여 탈탄소 미래기술 개발 및 상용화를 촉진함
- CCUS 실증 및 저장기지 구축을 통해 CCUS 조기 상용화를 추진하고, 포집 탄소를 원료 또는 연료로 재합성하는 탄소 순환사업을 육성함
- 신재생에너지, CCUS, ICT 활용 융합·혁신 등 분야별 핵심기술 확보 전략으로 '탄소중립 R&D 전략'을 수립함
- 핵심기후 유망기술의 개발 난이도와 목적을 고려하여 단기 집중투자(범부처 프로젝트) 및 장기적 혁신기술 개발연구를 병행함

□ **환경부는 2021년 3월 탄소중립 실현의 선도적 역할 수행을 위해 "2050년 탄소중립 실현을 위한 2021년 환경부 탄소중립 이행계획"을 발표하고 추진함**

- 탄소중립 시나리오 마련, 부문별 핵심 추진전략을 수립하여 국가 온실가스 감축 목표를 상향하는 등 탄탄한 이행체계를 구축하여 추진함
- 재생에너지 확대(5개 댐에 수상 태양광 등), 미래차 보급(누적 30만대), 순환경제 등 각 분야별 탄소중립 과제를 촉진함
- P4G(녹색성장과 글로벌 목표 2030을 위한 연대)의 성공적 개최 등 국제사회에서 탄소중립 관련 국가 위상 제고

② 제4차 과학기술기본계획

□ **제4차 과학기술기본계획은 국가 과학기술 관련 정책 수립 및 추진 방향을 제시하는 최상위 계획임**

○ 2040년까지의 장기적 비전으로 과학기술이 지향해야 할 바람직한 미래사회의 모습을 구체적인 목표로 제시함

- '과학기술로 국민 삶의 질을 높이고 인류사회 발전에 기여'하는 비전을 설정하고, 4대전략과 19개 중점추진과제, 120대 중점과학기술을 제시함

③ 한국판 뉴딜 종합계획

□ **정부는 2020년 7월 대통령 주재 한국판 뉴딜 국민보고대회(제7차 비상경제회의)를 개최하여 「한국판 뉴딜 종합계획」을 확정 발표함**

○ 추격형 경제에서 선도형 경제로, 탄소 의존 경제에서 저탄소 경제로, 불평등 사회에서 포용 사회로의 도약을 위해 수립됨



127)

[그림 166] 한국판 뉴딜 종합계획 추진전략

④ 2050 탄소중립 추진전략

□ **탄소중립이라는 대전환 시대에 능동적으로 대응하기 위해 정부는 관계부처 합동으로 '2050 탄소중립 추진전략'을 마련하고 2020년 12월 '제22차 비상경제 중앙대책본부회의'에서 그 내용을 발표함**

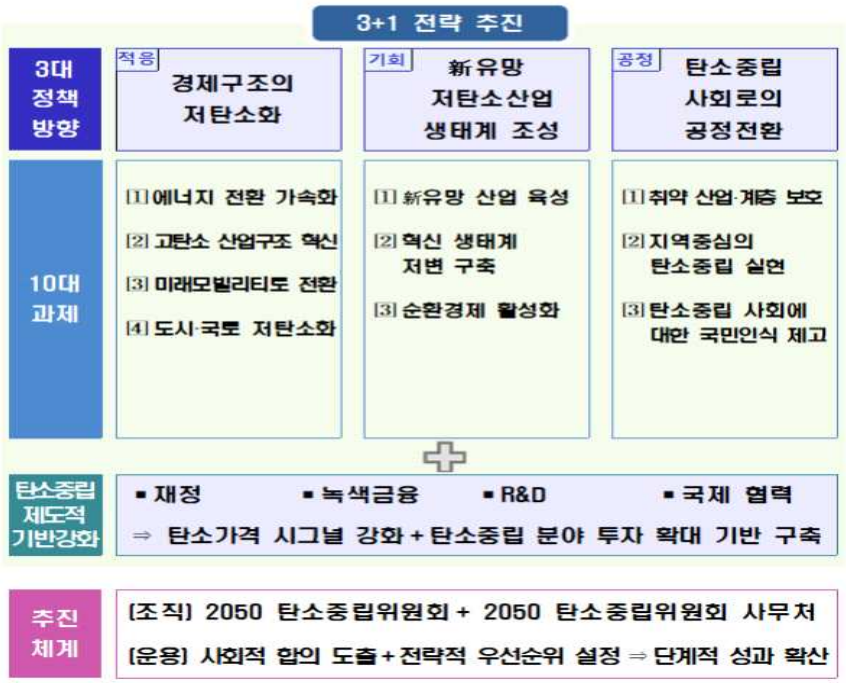
- "적응적(ADAPTIVE) 감축"에서 "능동적(PROACTIVE) 대응"으로 탄소중립·경제성장·삶의 질 향상을 동시에 달성하는 것을 목표로 함

⑤ 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획

□ **국토교통과학기술에 관한 장기적이고 종합적인 정책 방향을 설정하고 중장기 투자계획을 정하는 최상위 법정 종합계획임**

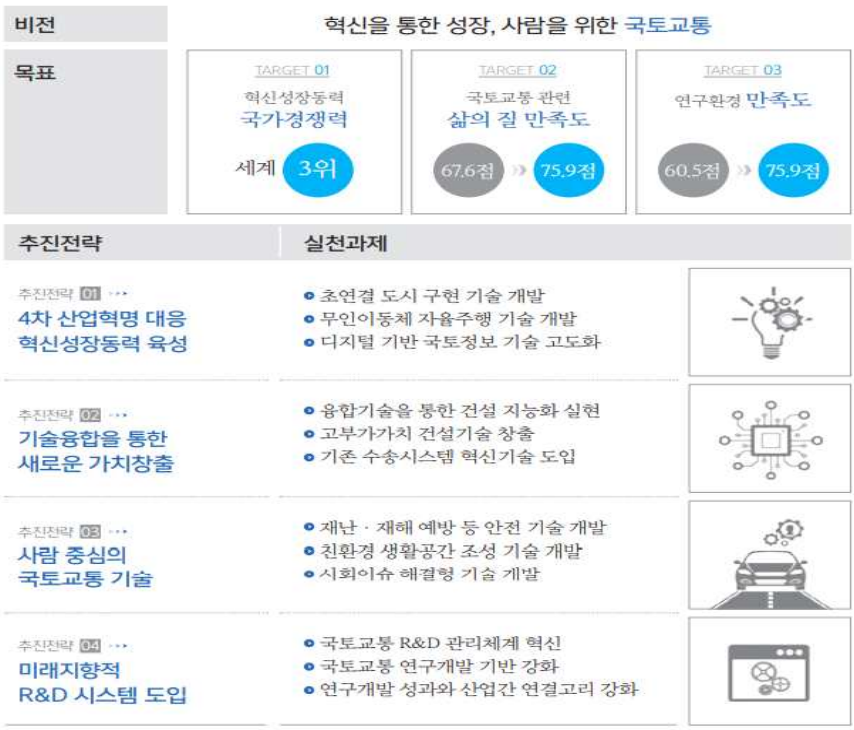
- 4차 산업혁명을 새로운 도약기회로 활용하고 삶의 질 향상 등 사회적 요구에 효과적으로 대응할 수 있는 기술개발 전략을 수립함

127) 한국판 뉴딜 종합계획 발표, 기획재정부, 2020.07.14



128)

[그림 167] 2050 탄소중립을 위한 추진전략 전략체계도



129)

[그림 168] 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 비전 및 목표

128) 「2050 탄소중립」 추진전략(대한민국 정책브리핑(www.korea.kr),기획재정부)
129) 공기액화 기반 에너지 저장 및 활용 시스템 기술개발 기획, 국토교통부 국토교통과학기술진흥원

나. 시장동향 분석

(1) 국외 시장동향 분석

□ **탄소중립에 대한 세계 각국의 노력에도 불구하고 기존의 화석연료에 대한 수요는 당분간 지속 유지될 것으로 전망되고 있으며 중국과 유럽의 전력 상황으로 인해서 석탄의 이용도 당분간 증가할 것으로 전망됨**

- 석탄은 가장 저렴하고 공급이 안정적인 발전 연료로 지리적으로 전 세계에 골고루 분포되어 공급 시 정치 상황에 대한 영향을 가장 적게 받음
- 전 세계 석탄 매장량은 909,064Mton으로 이중 절반에 가까운 430,293Mton이 아역청탄 또는 갈탄에 해당하는 저등급 석탄임

[표 73] 2019년 주요 국가 석탄 소비량

순위	국가	소비량 (Mton)
1	CHINA	3,826
2	INDIA	948
3	UNITED STATES	546
4	RUSSIA	225
5	SOUTH AFRICA	192
6	JAPAN	187
7	GERMANY	171
8	INDONESIA	136
9	SOUTH KOREA	132
10	TURKEY	121

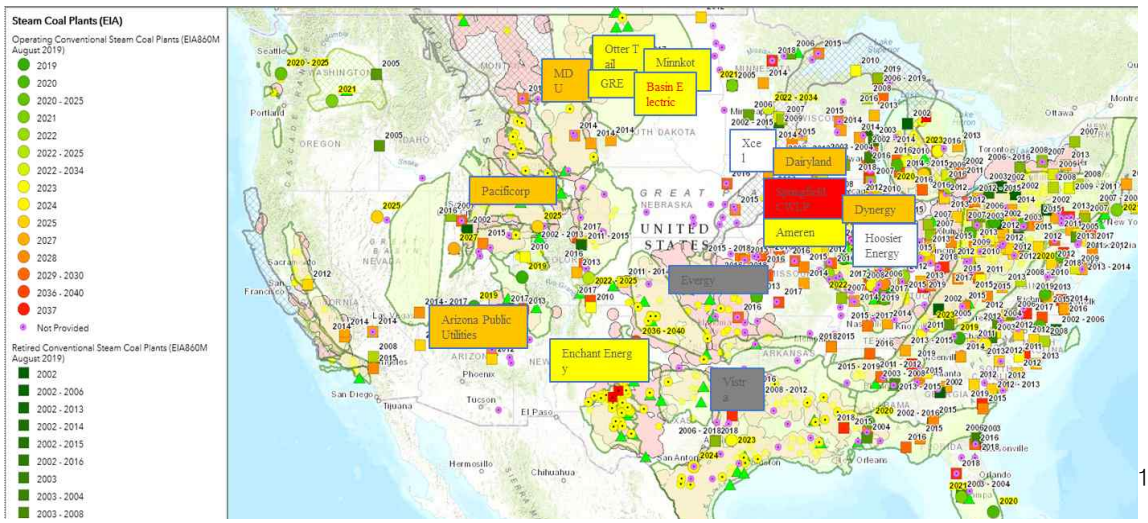
130)

□ **미국 내 석탄화력발전소는 대부분 1980년대 이전에 지어져 노후화된 설비고, 신재생에너지의 간헐성 이슈, 미국의 에너지 안보 및 NET ZERO 달성을 위해 노후 석탄화력발전소 활용방안에 대한 니즈 발생**[131]

- 미국 내 약 518개 UNIT(100MW 미만 발전소 제외), 석탄화력발전소의 88%가 1980년 이전 설치됨
- 최근 석탄 및 천연가스 가격의 변동성이 급증하고 에너지 대란에 따른 전력 시장 가격도 요동치고 있는 시장 환경에서, 연료 유연성에 대한 강점과 ESS를 통한 급전 시장 참여가 가능한 하이브리드발전 플랜트 기술개발을 추진
- 기존 석탄화력발전소 자산을 매몰하지 않고 최대한 자산 재활용에 대한 장점과 다양한 연료를 유연하게 사용할 수 있는 하이브리드발전을 DOE 국책과제로 진행함

130) 두산중공업 내부자료
131) EIA 2018

- 하이브리드발전을 통해 연료의 수급 상황과 시장 상황 등에 따라 석탄, 천연가스를 유연하게 선택하여 사용할 수 있으며, 환경설비 및 이산화탄소 포집 설비를 통해 환경 오염 배출물질과 이산화탄소도 대부분 제거 가능한 차세대 발전 플랜트 설비로 적용 예정임



132)

[그림 169] 미국 석탄화력발전 플랜트 및 HGCC 기술 관심 표명 발전소 현황

□ **미국 실증대상 사이트인 일리노이주 스프링 필드 CWLP 발전소 및 DOE HGCC FEED 과제 수행 시 실증 사이트 외 사이트*에 대한 CASE STUDY(연료 및 사이트 조건 반영) 실시 예정**

* WYOMING, NORTH DAKODA 프로젝트

- 그 외 노후 15곳의 노후 석탄화력발전소에서 HGCC 기술에 대한 관심표명

(2) 국내 시장동향 분석

□ **신재생에너지 급격한 증가에 따른 안정적 전력공급 필요성, 미세먼지 등 오염물질 저감의 전 국민적 공감대 형성 및 국제사회 탄소중립 의무 부각으로 친환경·고효율 화력발전 플랜트 시장 확대 전망**

다. 기술동향 분석

(1) 국외 기술동향 분석

① 미국

□ **신재생에너지 공급증가 문제점 극복을 위한 국가 주도 하이브리드발전 세계 최초 개발 중**

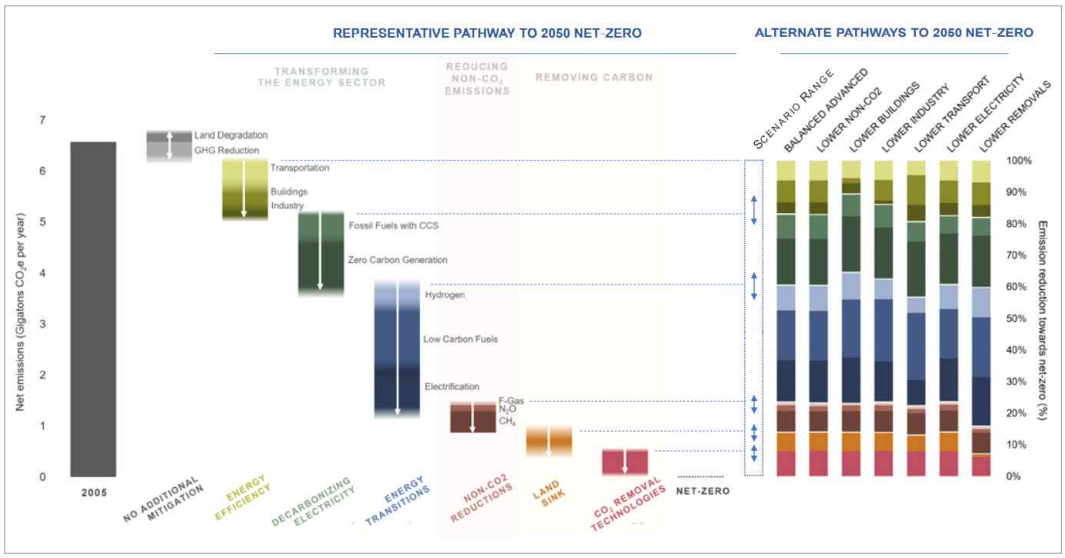
○ 미국 정부는 신재생에너지 단점을 보완할 수 있는 차세대 발전기술 개발하여 '70 - '80년대 건설된 노후 석탄화력발전소를 하이브리드발전 플랜트로 RETROFIT 계획

- 최근 미국 텍사스 지역 한파로 풍력발전소 정지되어 대규모 정전사태 발생

132) 두산중공업 내부자료

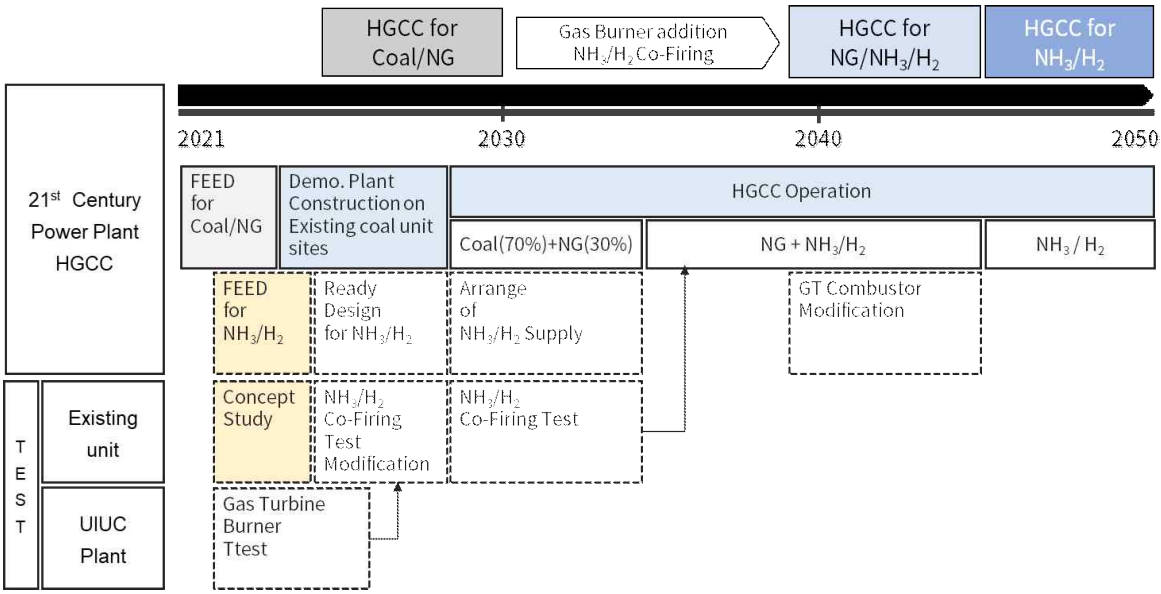
- ’17년 기준 미국 내 RETROFIT 대상 석탄화력발전소는 약 60GW 수준

- NET ZERO 달성을 위한 다양한 발전 플랜트 기술개발을 주도하고 있으며, 석탄발전의 이산화탄소 포집 설비적용을 통한 탄소중립 발전 분야 등 다양한 가능성을 기반으로 기술개발을 진행 중임



133)

[그림 170] 미국 바이든 행정부 탄소중립 정책 방향



134)

[그림 171] DOE HGCC 기술개발 및 실증 로드맵

② 아시아

□ **HELE(HIGH EFFICIENCY LOW EMISSION) 석탄화력발전 기조 지속으로 초초임계압 석탄화력,**

133) BidenAdministration'sPathwaystoNet-ZeroGreenhouseGasEmissionsby2050(natlawreview.com
134) 두산중공업 내부자료

하이브리드발전 등 친환경·고효율 화력발전 플랜트의 NEW BUILD 또는 RETROFIT 개별 시장 가시화 전망

- 차세대 석탄화력발전에 대한 요구가 아시아 주요국가를 중심으로 증가하고 있음
- (중국) 청정 석탄발전 기저 전원 활용 및 차세대 석탄화력발전 RETROFIT 계획 추진
- (인도) 청정 석탄발전 및 신재생 기반 전력생산 확대 추진
- (베트남) 신재생에너지 권장 및 석탄화력발전 비중확대 추진

(2) 국내 기술동향 분석

□ **국내 두산중공업은 미국 에너지부 과제에 참여하여 하이브리드발전 핵심 기반기술을 개발 중이며, 한국형 하이브리드발전 개발계획 구체화 중**

○ 고효율 석탄·가스 하이브리드발전 플랜트를 미국 에너지부 국책과제로 제안하여 실증을 위한 기본설계(FRONT END ENGINEERING DESIGN) 지원대상 과제로 선정됨

- 가스터빈(천연가스 30% 사용), 이산화탄소 포집 장치, 에너지 저장장치 등 접목

○ 세계 최초로 하이브리드발전 개념설계를 완료하고 기본설계 기술을 개발 중이며, 하이브리드발전 기반기술인 초초임계압 보일러 및 가스터빈 설계, 제작 및 운영기술 보유

- 1,000MW 초초임계압 미분탄 보일러 상용화, 600MW 초초임계압 유동층 보일러 기본설계 기술 보유
- 세계 4번째 270MW급 대형 가스터빈 개발 성공 및 한국표준 복합발전용 370MW 가스터빈 개발 중

○ '21년 4월 표준 가스복합발전 모델개발 및 테스트베드 구축사업에 국내 발전 5개사와 공동으로 가스터빈, 환경설비 및 디지털솔루션 기술개발을 제안하여 친환경 에너지발전 연구개발에 박차를 가하는 중

○ 국내 전력·환경정책, 화석연료 수입비용, 신재생에너지 연계 기저발전 필요성, 중국 미세먼지 정도 등을 고려한 한국형 하이브리드발전 기술개발 계획을 수립

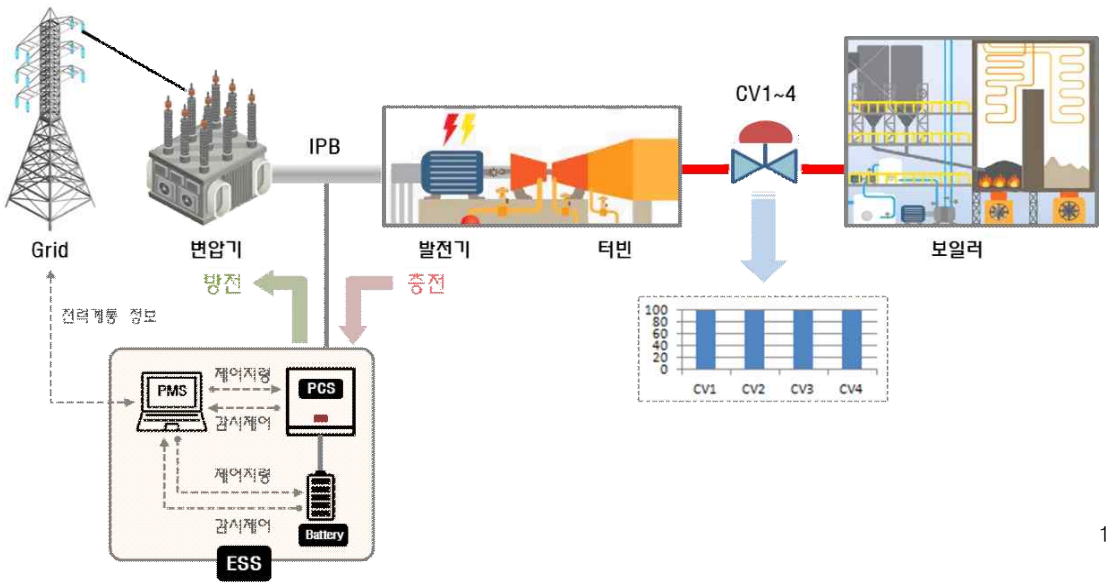
- 800MW 이상 석탄화력 + 300MW 가스터빈 조합, 미세먼지 농도 연계 100% 천연가스 연소 등 한국형 하이브리드발전 개념 구상 중

□ **신재생에너지 간헐성 제어를 통한 안정적 전력공급을 위해 ESS를 하이브리드발전 내 구성함**

- 현재 정부의 에너지 관련 정책 기조는 미세먼지 저감을 위한 친환경 미래 에너지 발굴 및 육성을 바탕으로 안전하고 깨끗한 에너지로의 전환이며 이를 위해 탈원전 및 분산형 전원 보급 확대, 재생 에너지 비율의 확대 등이 추진되고 있음
- 하지만 태양광과 풍력발전 같은 신재생에너지 비중의 상승은 신재생에너지의 기상, 기후 영향에 따른 출력의 변동성으로 인해 전력계통의 주파수 불안정성으로 이어질 수 있음.

더구나 국가 간 전력 계통망이 연계되어 슈퍼 그리드를 형성하고 있는 유럽지역에 비해 전력 계통망이 고립되어있는 우리나라의 경우 국내 신규 원전 건설 계획 중단 및 노후 화력발전소 폐쇄와 같은 기저부하를 담당하던 안정적인 발전자원이 점차 감소함에 따라 이러한 현상은 더욱 심화될 것으로 예상됨

- 화력발전소에서 일반적인 출력변동은 연료 공급량을 통해 조정되며 따라서 출력에 대한 속응성이 느리며 실제 출력변동이 발생하기까지 일정 지연 시간을 가지게 됨
- 또한 터빈제어밸브는 부분 개방(PARTIAL OPEN)된 상태로 운전되다가 전력수요와 공급간 편차 발생으로 계통주파수가 불안정해지는 경우 터빈제어밸브를 빠르게 조정하여 발전기 출력을 증감하는 GOVERNOR REGULATION 운전을 하게 되는데, 터빈제어밸브의 부분 개방은 일상 운전에서 지속적인 교축손실을 야기하며 주파수 조정 운전의 경우에도 터빈제어밸브만으로는 출력 요구에 대한 속응성 및 변동 가능한 출력 폭이 제한됨
- 반면, ESS가 연계된 발전소의 경우 ESS를 통한 부하 대응이 가능하기 때문에 일상 운전에서 터빈제어밸브를 전개(FULL OPEN) 상태로 운전할 수 있어 교축 손실을 최소화할 수 있음
- 또한 출력변동시에도 보일러의 느린 응답성과 출력 지연을 ESS를 통해 보상함으로써 출력 지연 없이 안정적인 부하 추종운전이 가능하게 됨은 물론 전력계통의 주파수 변화로 인한 급격한 출력 조정이 필요한 경우에도 응답 시간이 빠른 ESS를 이용하여 즉각적인 출력 대응이 가능하게 되어 계통의 전기 품질 향상도 동시에 기대할 수 있는 장점이 있음



135)

[그림 172] 하이브리드발전 ESS 적용 개요

135) 두산중공업 내부자료

라. 특허 및 논문 분석

(1) 특허 분석

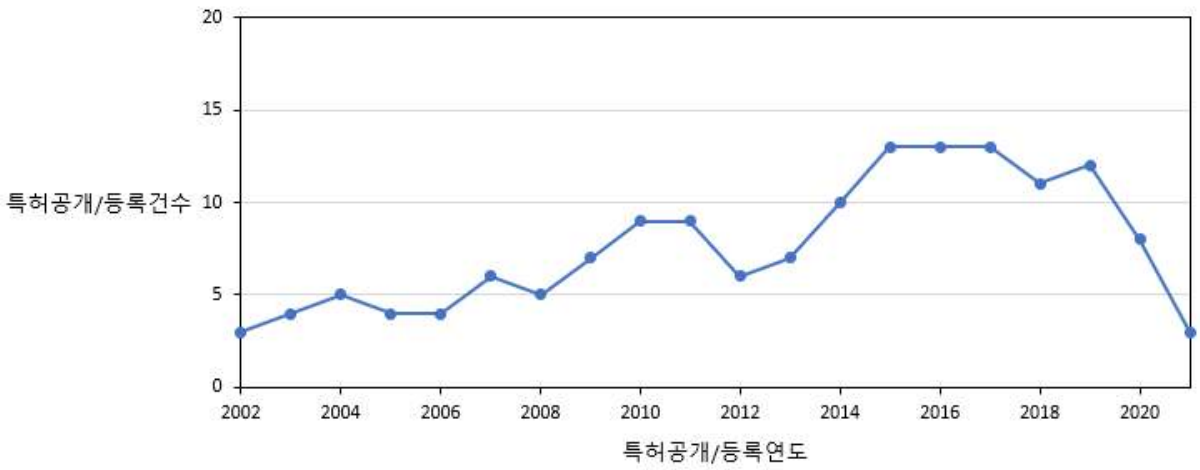
□ **하이브리드발전 관련 특허공개 및 특허등록 된 한국, 일본, 미국, 유럽 및 중국의 특허를 분석 대상으로 함**

- KEYWERT 검색 DB를 활용하여 특허정보를 수집하여, 특허공개 및 특허등록 동향을 분석

[표 74] 하이브리드발전 특허분석 개요

항목	내용
기술	하이브리드발전
국가	한국, 일본, 미국, 유럽, 중국
기간	'02년-'21년 (20년)
활용 DB	KEYWERT
검색식	(HYBRID AND COAL AND GAS AND BOILER AND TURBINE)

□ **하이브리드발전 관련 분야의 특허출원은 1970년대부터 시작되었으나, 1990년대 일본 위주의 특허출원이 집중적으로 있었으며, 2015년 이후 국내, 미국에서 관련 특허출원이 진행됨**



[그림 173] 하이브리드발전 연도별 특허공개 등록 건수

- 1990년대, 일본에서는 천연가스 이용 가스터빈을 천연가스 이용 보일러에 연결하는 하이브리드발전 장치에 대한 특허가 출원되었으며, 이를 바탕으로 건설되어 운영한 사례도 있음
- 2015년대 이후 출원 특허는 기존 석탄발전소의 효율증대, 용량 증대 및 가스터빈 배기가스 이산화탄소 포집 효율증대를 위한 하이브리드발전 장치 기술 특허가 출원됨
- 최근 이산화탄소 저감, 효율증대, CCUS 접목 기술개발이 계속하여 진행됨에 따라 관련 특허출원 건수는 계속 증가할 것으로 예상

- 하이브리드발전 장치 CONFIGURATION은 과거 1970년대부터 출원이 시작된 기술로 CONFIGURATION에 대한 특허출원 대비 하이브리드발전 장치 구현을 위한 실용 기술, 상세 기술, 운전 방안 등에 대한 특허가 출원될 것으로 예상

[표 75] 주요 하이브리드발전 특허 현황

연번	출원번호	분류	발명의 명칭	출원인	국가코드
1	10-2016-0081861	-	하이브리드 발전장치	두산중공업 주식회사	KR
2	10-2016-0154433	-	하이브리드 발전장치	한국전력공사	KR
3	10-2017-0170419	-	가스터빈을 이용한 복합 발전설비	주식회사 포스코건설	KR
4	16/551701	-	POWER PLANT METHODS AND APPRATUS	MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS AMERICA	US
5	15/172024	-	POWER PLANT METHODS AND APPRATUS	MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS AMERICA	US
6	15/340670	-	SYSTEM AND METHOD FOR PROVIDING SUPERCRITICAL STEAM	GENERAL ELECTRIC TECHNOLOGY GMBH	US
7	12/787425	-	HYBRID OXY-FUEL BOILER SYSTEM	HISASHI KOBAYASHI	US

□ **주요 출원인 특허출원 현황**

- 일본의 MHPS, MHI, HITACHI는 1990년대 가스터빈 - 가스보일러 연계 발전장치 관련 특허를 출원하였으며, 최근 가스터빈 - 석탄발전소 연계 발전장치 특허를 출원함
- 한국전력공사에서는 국내 석탄화력발전소의 RE-POWERING을 위한 하이브리드발전 장치 특허를 출원함
- 두산중공업에서는 가스터빈 - 석탄 보일러 연계 하이브리드발전 장치 개발을 위한 연소기술

관련 특허를 출원함

(2) 논문 분석

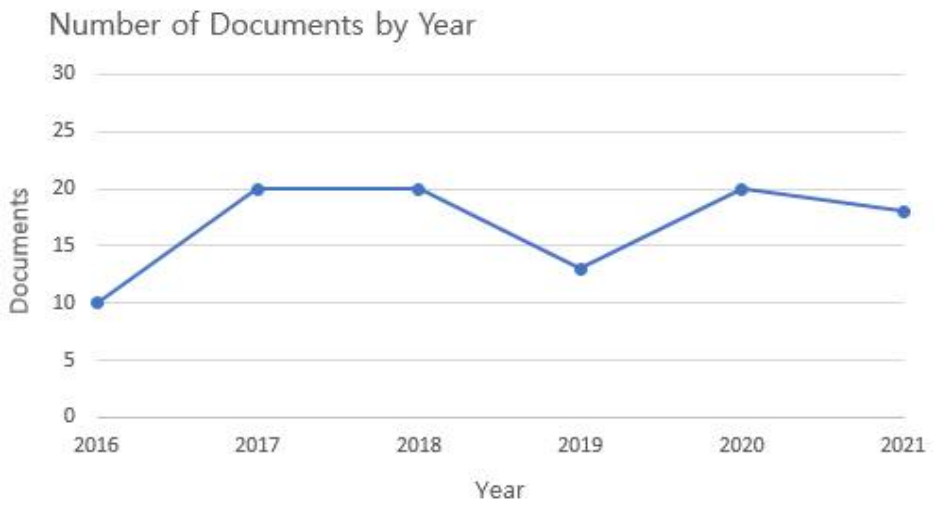
□ **키워드 분석**

○ 하이브리드발전 핵심 기반기술 관련 논문을 검색하기 위해 사용한 키워드는 'TOPPING CYCLE & POWER PLANT'임

- 논문 분석은 최근 6년간 논문을 중점적으로 다루었으며 국제학술지(SCI, SCI-E)를 중점적으로 분석하였음
- 논문 내용 확인이 어려운 국가 저널은 제외하여 수행함

□ **연도별 논문 추이 분석**

○ 하이브리드발전 핵심 기반기술 관련 논문은 2016년부터 2021년까지 총 105편이 게재되거나 발표되었으며 가스터빈 및 에너지 저장장치(ESS)를 활용한 신재생에너지 불안정성 및 간헐성 대응기술 개발로 관련 논문의 게재/발표가 2016년 대비 비교적 활발하게 연구가 진행되는 양상을 보임

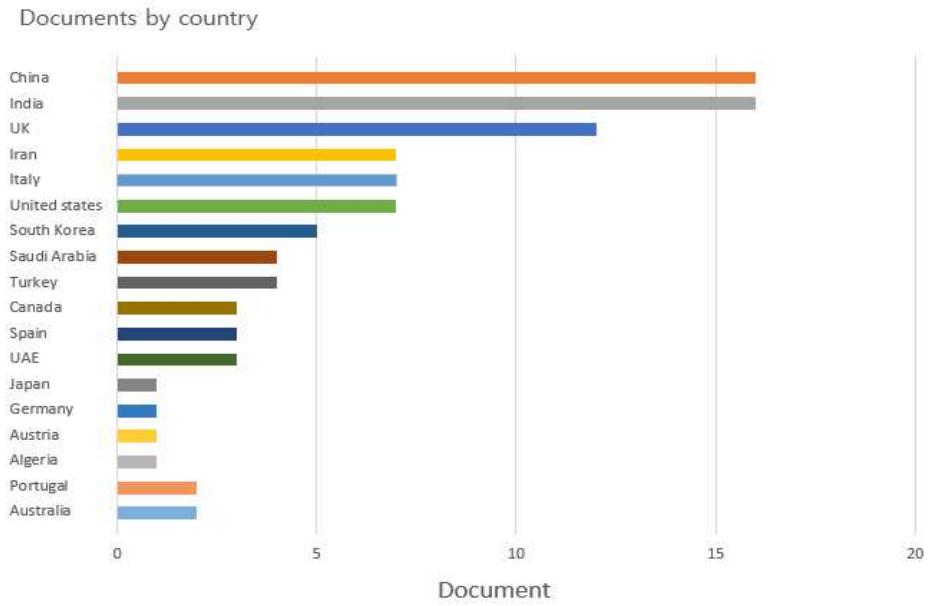


[그림 174] 연도별 논문 추이

○ 발표된 논문들을 국가별로 분석한 결과, 하이브리드발전 기술 연구가 활발하게 진행되고 있는 중국과 인도가 전체의 15.8%, 즉 16편의 논문을 차지하고 있어 하이브리드발전 기술을 선도하고 있음을 확인함

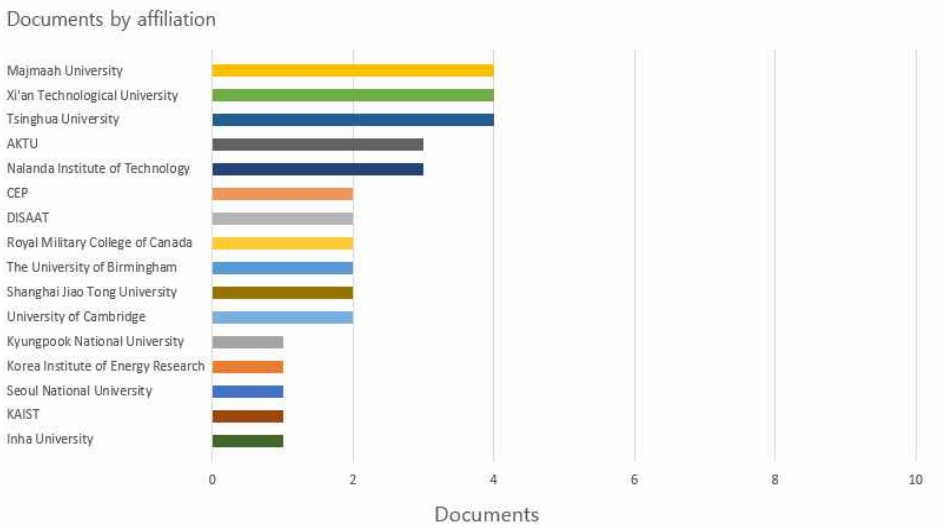
○ 한국도 5편(약 4.9%)의 논문을 발표하며 관련 연구를 활발히 수행하고 있음(2016년: 2편, 2018년: 1편, 2020년: 2편)

○ 중국과 인도, 영국이 전체 논문 발표의 43.6% 차지하여 최근 하이브리드발전 기술 연구가 해당 국가들을 중심으로 진행되고 있다는 결론을 내릴 수 있음



[그림 175] 논문 저자 국적 분포

- 관련 논문을 발표하는 주요 연구기관을 살펴보면, 사우디아라비아의 MAJMAAH UNIVERSITY, 중국의 XI'AN TECHNOLOGICAL UNIVERSITY, TSINGHUA UNIVERSITY가 4편의 연구 성과를 게재·발표함
- 이 외에도 인도의 ABDUL KALAM TECHNICAL UNIVERSITY(3편), NALANDA INSTITUTE OF TECHNOLOGY(3편), 중국의 SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY(2편), 영국의 THE UNIVERSITY OF BIRMINGHAM이 2편의 연구 성과를 게재·발표
- 한국에서는 한국에너지기술연구원, 한국과학기술원, 서울대학교, 인하대학교, 경북대학교에서 관련 연구를 수행 중이며 논문을 게재함



[그림 176] 주요 논문 발표 기관

□ **논문별 피인용도 분석**

- 하이브리드 발전 기술 관련 논문 중 최다 피인용도를 보인 논문은 이란의 NIROO RESEARCH INSTITUTE에서 2019년에 발표한 'COMPARATIVE STUDY OF TWO NOVEL MICRO-CCHP SYSTEMS BASED ON ORGANIC RANKINE CYCLE AND KALINA CYCLE' 논문으로 총 98회 피인용 되었음
- 이란의 NIROO RESEARCH INSTITUTE에서 발표한 이 논문은 TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, IRAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY와 공동으로 수행한 연구로 효율적인 친환경 발전설비 구축을 위해 열역학적 모델링을 통한 사이클 시스템 성능을 분석하였고 열효율 및 에너지효율 비교분석을 통한 시스템 성능 최적화로 최적의 하이브리드발전 구성방안을 제시함
- 두 번째로 높은 피인용도를 보인 논문은 호주의 THE COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION에서 2017년에 발표한 'ADVANCED POWER CYCLES FOR CONCENTRATED SOLAR POWER'로서 총 84회 피 인용되었음
- 이 논문은 전력 사이클에 대한 검토를 제공하며 초임계 이산화탄소 브레이튼 사이클의 높은 효율을 보여줌으로서 구성 요소 비용 및 성능에 대한 지식을 구축하는 연구의 중요성을 제안하였기에 지속적으로 개선 연구가 진행되고 있음
- 다음으로 높은 피인용도를 보인 논문으로는 한국과학기술원 연구팀이 발표한 'STUDY ON THE SUPERCRITICAL CO_2 POWER CYCLES FOR LANDFILL GAS FIRING GAS TURBINE BOTTOMING CYCLE'(83회), XI`AN JIAOTONG UNIVERSITY 연구팀이 발표한'OPTIMUM DESIGN AND THERMODYNAMIC ANALYSIS OF A GAS TURBINE AND ORC COMBINED CYCLE WITH RECUPERATORS'(79회), DIPARTIMENTO DELL'INNOVAZIONE INDUSTRIALE E DIGITALE 연구팀이 발표한 'REVERSE ELECTRODIALYSIS HEAT ENGINE FOR SUSTAINABLE POWER PRODUCTION'(78회) 임

[표 76] 주요 논문의 피인용도

순서	논문제목	저자	소속기관	피인용도
1	COMPARATIVE STUDY OF TWO NOVEL MICRO-CCHP SYSTEMS BASED ON ORGANIC RANKINE CYCLE AND KALINA CYCLE	H. ROSTAMZADEH, ET AL.	NIROO RESEARCH INSTITUTE (이란)	93
2	ADVANCED POWER CYCLES FOR CONCENTRATED SOLAR POWER	W. H. STEIN, ET AL.	CSIRO (호주)	84
3	STUDY ON THE SUPERCRITICAL CO2 POWER CYCLES FOR LANDFILL GAS FIRING GAS TURBINE BOTTOMING CYCLE	M. S. KIM, ET AL.	KAIST (대한민국)	83
4	OPTIMUM DESIGN AND THERMODYNAMIC ANALYSIS OF A GAS TURBINE AND ORC COMBINED CYCLE WITH RECUPERATORS	Y. CAO, ET AL.	XI`AN JIAOTONG UNIVERSITY (중국)	79
5	REVERSE ELECTRODIALYSIS HEAT ENGINE FOR SUSTAINABLE POWER PRODUCTION	A. TAMBURINI, ET AL.	DIPARTIMENTO DELL'INNOVAZONE INDUSTRIALE E DIGITALE (이탈리아)	78

3. 기술개발 내용

가. 기술개요

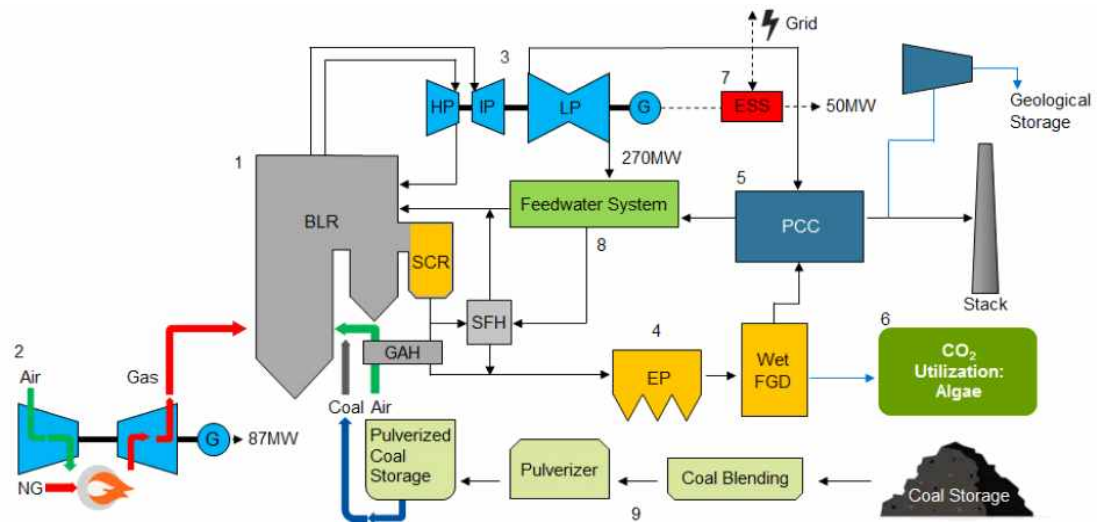
□ **국내 두산중공업은 미국 에너지부 과제에 참여하여 하이브리드발전 핵심 기반기술을 개발 중이며, 한국형 하이브리드발전 개발계획 구체화 중**

- HGCC(HYBRID GAS TURBINE · USC* COAL BOILER CONCEPT) : 가스터빈의 배기가스를 초초임계압 보일러에 투입하여 효율을 향상시키고 에너지저장시스템, 첨단환경설비, 이산화탄소 포집설비를 갖춘 미래형 발전설비

  * ULTRA SUPER CRITICAL BOILER : 물의 임계점을 초과하는 상태(593℃, 246기압 이상)로 터빈을 운전하는 고효율 발전 플랜트

□ **하이브리드발전 기술개발 목표**

- 낮은 최저부하 및 급속변동, 석탄과 천연가스의 혼소 가능
- 가스터빈(TOPPING CYCLE) 결합으로 인한 효율증가 기술
- 이산화탄소 포집 설비를 통한 이산화탄소 저감기술
- 첨단 환경설비를 통한 SOx·NOx 등 환경 오염물질 배출 저감
- 가스터빈 및 에너지 저장장치(ESS)를 활용한 신재생에너지 간헐성 대응기술
- 급속 기동 기술을 통한 부하 변화 대응성 향상



136)

[그림 177] 미국 DOE 350MW급 하이브리드 발전장치 공정 흐름도

□ **한국형 하이브리드발전 최적 용량 및 구성 검토**

- 미국 DOE 과제는 하이브리드발전 플랜트는 80MW 가스터빈과 270MW 증기터빈을 연계한

136) 두산중공업 내부자료

350MW급 하이브리드발전 플랜트 구성방안에 대해 기술개발을 진행하고 있으며, 40년 이상 운영된 석탄발전소를 철거하고 신규설비 설치 기준 기술개발을 진행 중

- 한국형 하이브리드발전 플랜트는 기존에 설치된 석탄화력발전소를 대상으로 1) 20년 이상 운영된 500MW급 석탄화력발전소, 2) 10년 이상 운영된 800MW급 석탄화력발전소, 3)10년 이내로 운영 중인 1,000MW급 석탄화력발전소를 대상으로 최적 구성방안 검토 및 기술개발 진행이 필요
- 이산화탄소 배출 감소를 위한 단계적 접근을 위한 1) 기존 석탄화력발전소 + 가스터빈 적용을 통한 약 10 – 25% 이산화탄소 저감, 2) 하이브리드발전 장치 구성 후 천연가스 대체를 통한 25 – 50% 이산화탄소 저감 접근이 필요
- 한국형 표준복합화력발전소 건설 진행으로 인해 철거되는 복합화력발전소의 가스터빈 설비 활용방안 검토가 필요
- 용량, 규모, 활용성, 예산, 기술 수준 등을 복합적으로 고려하였을 때, 20년 이상 운영된 500MW급 석탄화력발전소와 150 – 200MW급 노후 가스터빈을 활용한 한국형 하이브리드발전 플랜트를 개발 대상으로 선정
- 가스터빈 – 보일러 연계에 따른 성능 설계, 시스템 설계 및 유동, 구조 안정성 검토, 핵심 기자재 설계 및 운전 방안 기술개발 필요
- 한국형 하이브리드발전 운영을 위한 단위 기기 시운전, 연계 장치 시운전, 운전 시나리오 수립 및 정상·비정상 운전 모드에 대한 운전 절차 개발이 필요
- 기존 석탄 발전소 부지에 한국형 하이브리드발전 플랜트 건설을 위한 부지 조사 및 최적 배치 방안, 건설, 인허가, 운영 방안에 대한 검토가 필요

나. 사업목표

□ **비전 : 탄소중립·기후대응을 위한 한국형 하이브리드발전 상용화 설계·운영기술 개발로 차세대 기저발전 시스템 해외시장 개척**

□ **목표 : 천연가스 연소 가스터빈과 초초임계압 보일러를 결합한 한국형 하이브리드발전 설계기술 확보**

○ 한국형 하이브리드발전 개념설계 기술개발

- 한국형 하이브리드발전 모델 기술개발
- 한국형 하이브리드발전 최적 구성, 용량 검토 기술개발
- 플랜트 열정산 및 구성기기 시스템 구성 기술개발
- 플랜트 운전 개념 및 제어 로직 개발 기술개발
- 한국형 하이브리드발전 플랜트 최적 배치 방안 검토

❍ 한국형 하이브리드발전 주요기기 기술개발

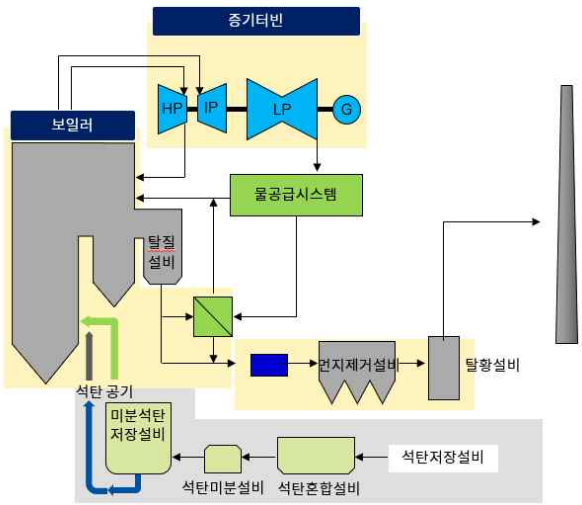
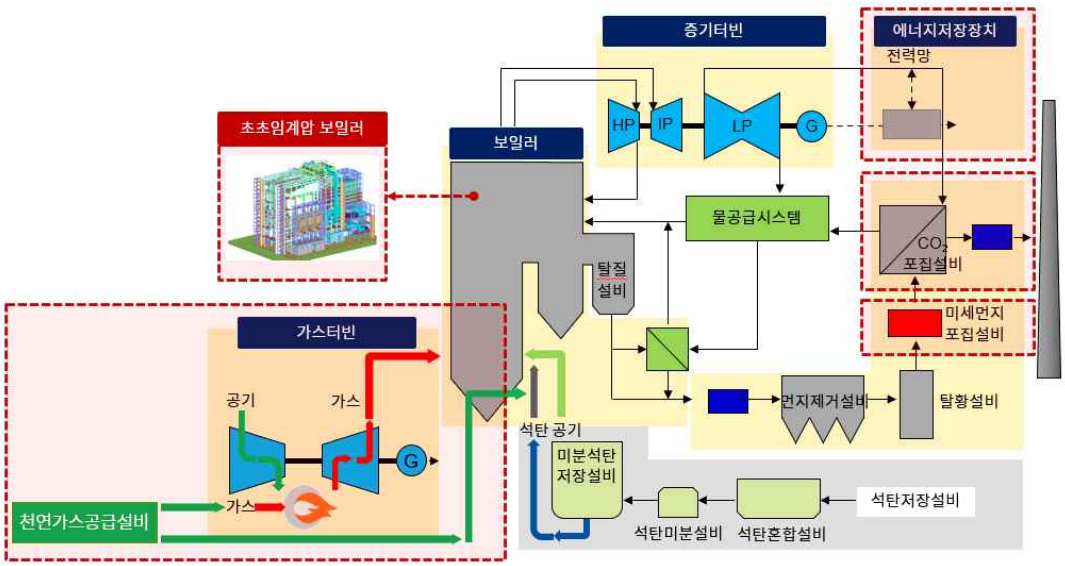
- 노후 주요기기 활용을 위한 가스터빈, 보일러, 증기터빈 용량, 효율 최적화 방안 검토 및 기술개발
- 기존 환경설비, BOP 활용을 위한 활용방안 검토 및 기술개발
- 가스터빈-보일러 Tie-in 구조·유동·연소해석 검증·설계
- 보일러 효율 최적화 및 운전기술 개발

❍ 한국형 하이브리드발전 플랜트 건설 및 운영기술 개발

- 한국형 하이브리드발전 플랜트 건설 엔지니어링 및 운영기술 개발
- 천연가스 등 신규설비 사양 검토 및 건설 방안 검토
- 한국형 하이브리드발전 플랜트 건설 계획·예산·인허가 방안 수립
- 한국형 하이브리드발전 플랜트 시장 확대 방안 표준화
- 국내 확산을 위한 다양한 가스터빈 모델 - 보일러 용량에 대한 발전소 구성안 검토
- 해외 확산을 위한 발전소 구성 검토 및 해외시장 요구사항 확인

□ **한국형 하이브리드발전 상용화 기술개발 전·후 수준**

[표 77] 한국형 하이브리드발전 플랜트 분야 향후 모습

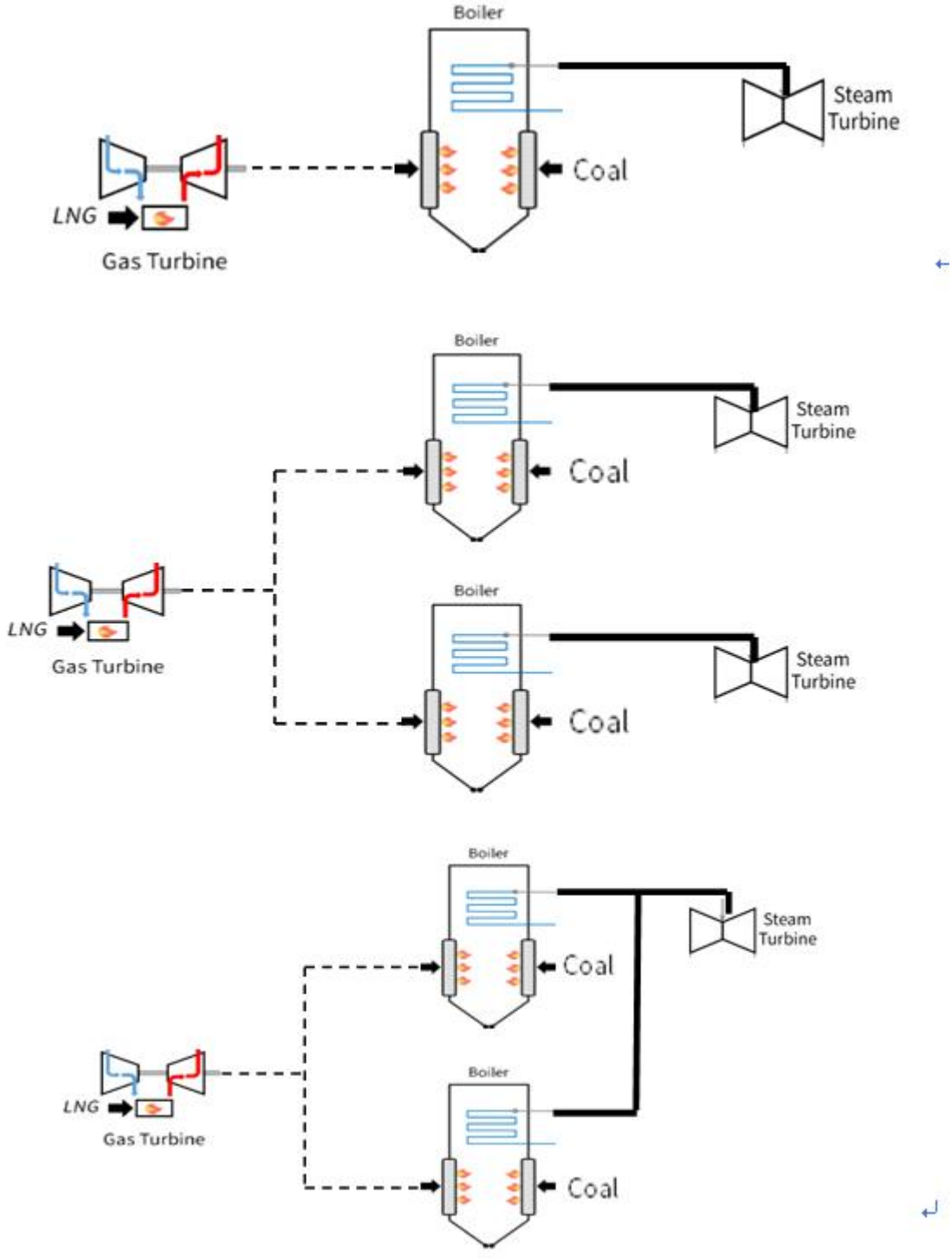
핵심항목	현재 수준(모습)	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습)
		'23년 수준	최종 목표수준	
	~'21	'23	'27(종료년도)	'27~(종료이후)
한국형 하이브리드 발전 상용화 기술	▪ 미국형 하이브리발전 개념·기본설계기술 확보 – 플랜트 효율 : <40% – 이산화탄소 배출량 : 900g/kWh 이상 – 신재생에너지 전력망 : 불안정	▪ 한국형 하이브리드발전 : 개념설계 착수 – 플랜트 효율 : <40% – 이산화탄소 배출량 : 900g/kWh 이상 – 신재생에너지 전력망 : 불안정	▪ 한국형 하이브리드발전 설계·건설·운영 국산화 기술 상용화 준비 완료 – 플랜트 효율 : >45% – 이산화탄소 배출량 : 100g/kWh 이하 – 신재생에너지 전력망 : 안정	▪ 한국형 하이브리드발전 실증 후 해외시장 진출 – 플랜트 효율 : >45% – 이산화탄소 배출량 : 100g/kWh 이하 – 신재생에너지 전력망 : 안정
AS-IS				
TO-BE				

다. 핵심 개발내용

□ **(세부1) 한국형 하이브리드발전 개념설계 기술개발**

❍ 한국형 하이브리드발전 모델개발

- 한국형 하이브리드발전 플랜트 최적 구성, 용량 검토 기술
- 한국형 하이브리드발전 성능 설계 및 최적화 기술
- 500MW급 석탄발전소 대상 최적 가스터빈 모델 검토 기술
- 가스터빈 배기가스 에너지 활용 공정 기술
- 가스터빈 배기가스를 통한 환경오염물질 배출 최소화 기술
- 한국형 하이브리드발전 플랜트 모듈화 설계기술
- 한국형 하이브리드발전 플랜트 운전 및 성능평가 기술



[그림 178] 한국형 하이브리드발전 최적 구성, 용량 검토 기술개발

❍ 한국형 하이브리드발전 시스템 엔지니어링

- 한국형 하이브리드발전 시스템 엔지니어링 기술
- 한국형 하이브리드발전 WATER BALANCE 검토
- 한국형 하이브리드발전 BOP 최적화 기술

- 한국형 하이브리드발전 시스템 제어 및 실증 기술
- 한국형 하이브리드발전 운전제어 절차서

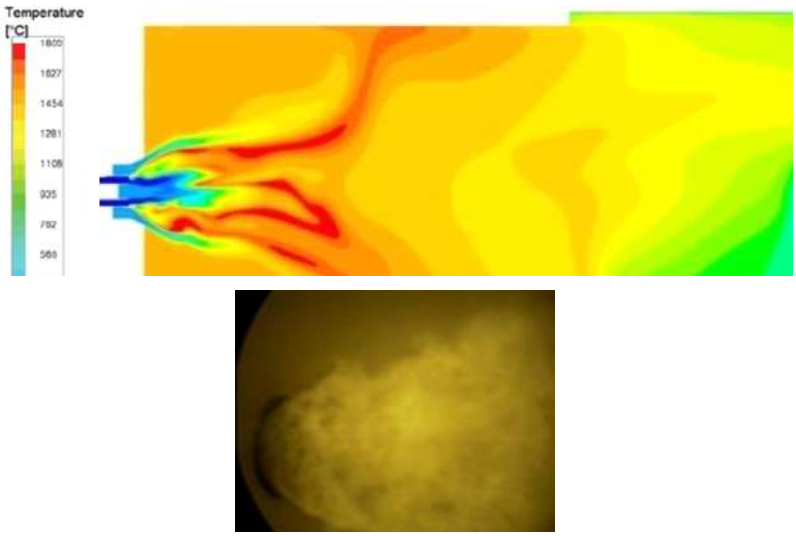
□ **(세부2) 한국형 하이브리드발전 주요기기 기술개발**

❍ 한국형 하이브리드발전 가스터빈 - 보일러 연계 기술개발

- 가스터빈 - 보일러 TIE-IN 기술*

  * 유동 안정성, 구조 안정성, 기기 배치

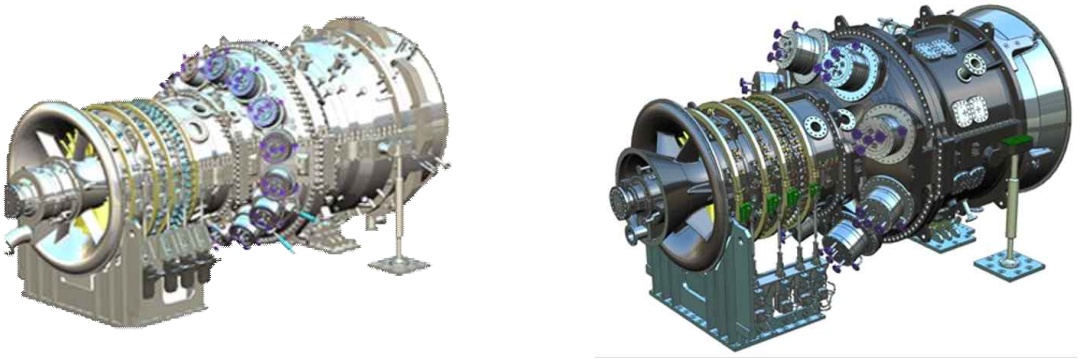
- 가스터빈 배기가스 활용 석탄 버너 기술
- 가스터빈 배기가스, 연소 공기 혼합기 최적화 기술
- 가스터빈 - 보일러 연계 환경오염물질 배출량 예측 기술
- 가스터빈 - 보일러 연계 배기가스 폐열 활용 최적화 기술



[그림 179] 한국형 하이브리드발전 연소 기술개발

❍ 한국형 하이브리드발전 가스터빈 기술개발

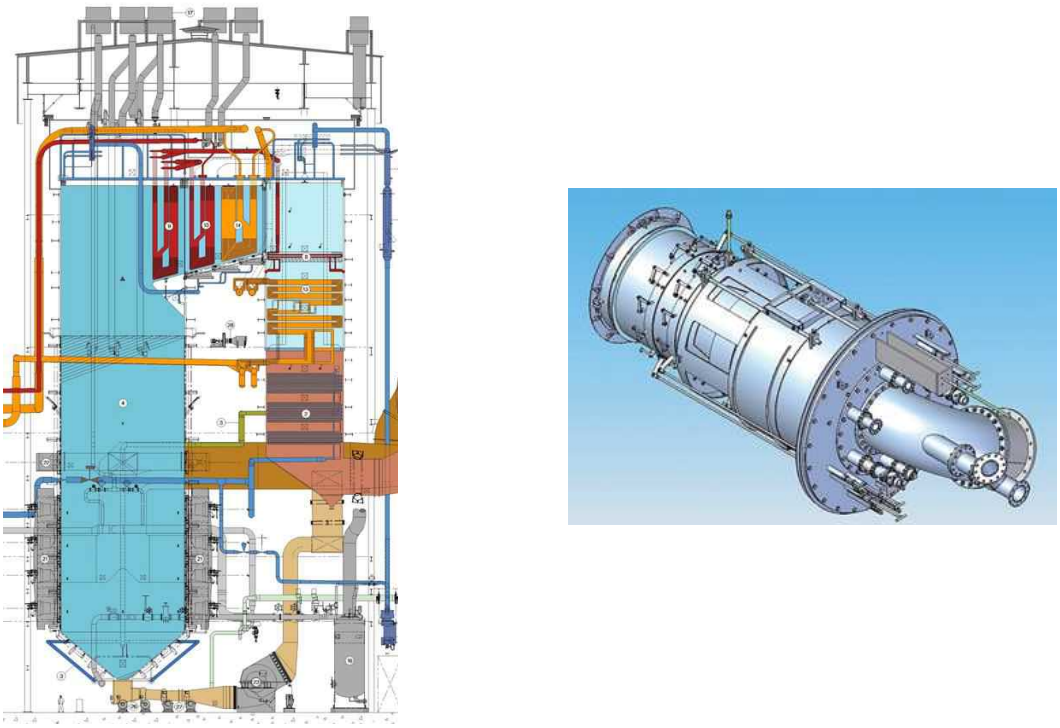
- 한국형 하이브리드발전 가스터빈 용량, 효율 최적화
- 한국형 하이브리드발전 가스터빈 로터 진동·동특성 해석기술
- 한국형 하이브리드발전 가스터빈 수명 최적화 운전기술



[그림 180] 한국형 하이브리드발전 가스터빈 용량, 효율 최적화 기술개발

❍ 한국형 하이브리드발전 보일러 기술개발

- 한국형 하이브리드발전 보일러 용량, 효율 최적화
- 한국형 하이브리드발전 보일러 수명 증대 기술
- 한국형 하이브리드발전 보일러 운전 및 성능평가 기술

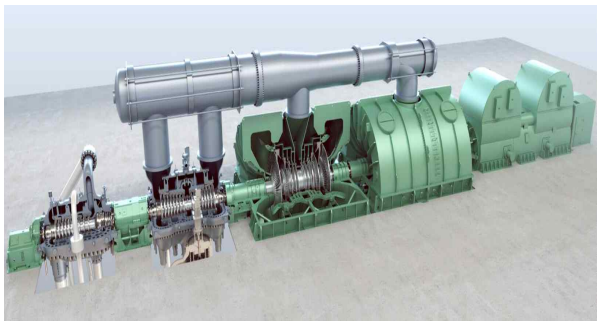


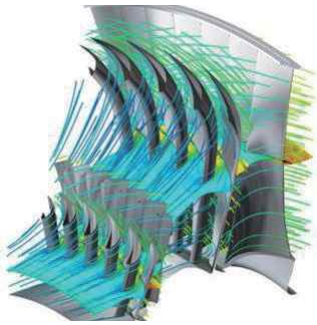
[그림 181] 한국형 하이브리드발전 보일러 기술개발

❍ 한국형 하이브리드발전 증기터빈 기술개발

- 한국형 하이브리드발전 증기터빈 용량, 효율 최적화
- 한국형 하이브리드발전 증기터빈 로터 진동·동특성 해석기술

- 한국형 하이브리드발전 증기터빈 최적 활용방안 개발

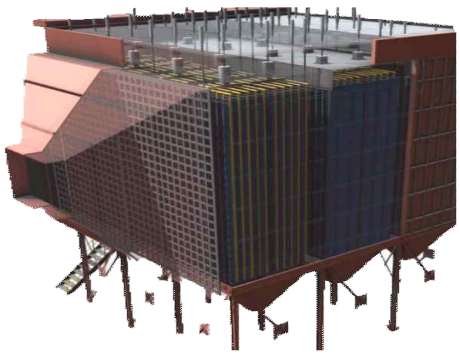


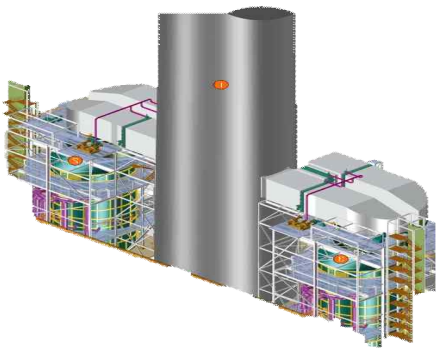


[그림 182] 한국형 하이브리드발전 증기터빈 기술개발

❍ 한국형 하이브리드발전 BOP·환경설비 기술개발

- 한국형 하이브리드발전 BOP 최적 활용방안 검토
- 한국형 하이브리드발전 신규 설비용량, 설치, 운영방안 검토
- 한국형 하이브리드발전 환경설비 용량, 설치, 운영방안 검토





[그림 183] 한국형 하이브리드발전 환경설비 기술개발

❍ 한국형 하이브리드발전 ESS 기술개발

- 한국형 하이브리드발전 ESS 최적 활용방안 검토
- 한국형 하이브리드발전 ESS 활용 급속 기동 기술개발
- 한국형 하이브리드발전 ESS 활용 부하 추종성 향상 기술개발
- 한국형 하이브리드발전 ESS 용량 및 모델 산정

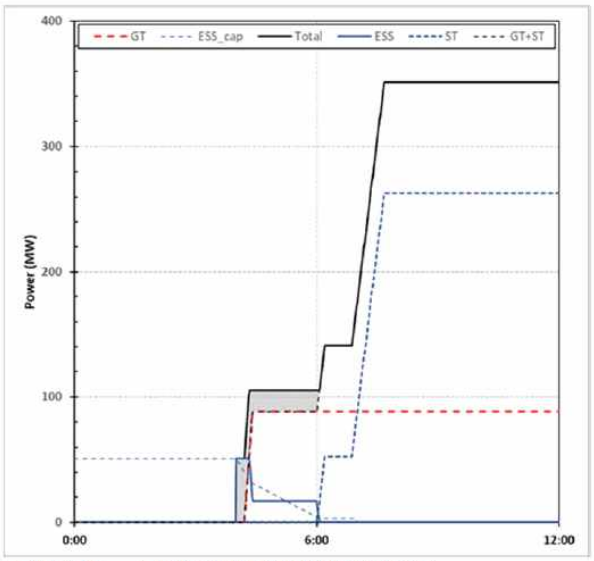


Figure 2-3 Rapid Startup Capability of HGCC

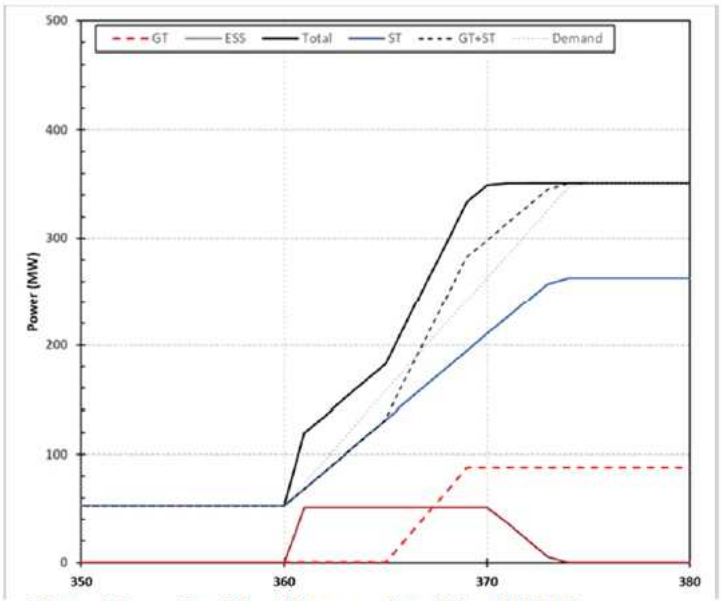


Figure 2-2 Rapid Load Increase Capability of HGCC

[그림 184] 한국형 하이브리드발전 급속 기동 및 급속 부하 상승 기술개발

□ **(세부3) 한국형 하이브리드발전 플랜트 건설 및 운영기술 개발**

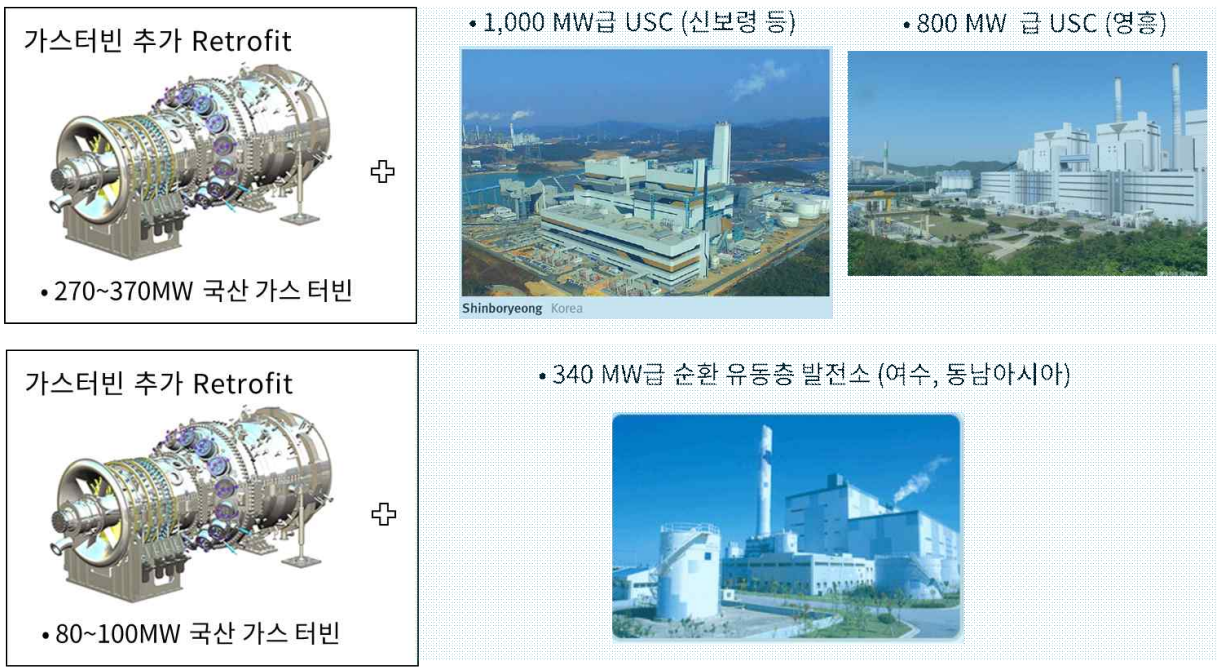
○ 한국형 하이브리드발전 플랜트 엔지니어링 및 운영기술 개발

- 한국형 하이브리드발전 플랜트 공정 효율 향상 기술개발
- 한국형 하이브리드발전 플랜트 주기기 배치 및 시공 기술개발
- 한국형 하이브리드발전 플랜트 정상운전 요구조건 개발
- 한국형 하이브리드발전 플랜트 비정상 운전 요구조건 및 시나리오 개발
- 한국형 하이브리드발전 플랜트 운전모드 별 운전 절차 개발

- 한국형 하이브리드발전 플랜트 유지보수 방안 검토
- 한국형 하이브리드발전 플랜트 시운전 절차서 개발
- 시운전 : 단위기기 무부하·부하 운전, 단위 공정, 전주기 공정

❍ 한국형 하이브리드발전 플랜트 건설 기술개발

- 대상 플랜트 부지 지반조사 및 부지 측량
- 대상 플랜트 토지, 건축, 전기, 소방 등 기본·상세설계
- 위험성 평가(HAZOP) 수행
- 대상 플랜트 전기·건설 안전 신고 방안 검토
- 대상 플랜트 토목·건축·고압가스·소방 인허가 방안 검토
- 환경 영향 평가 진행 방안 검토



[그림 185] 한국형 하이브리드발전 상용화 개념

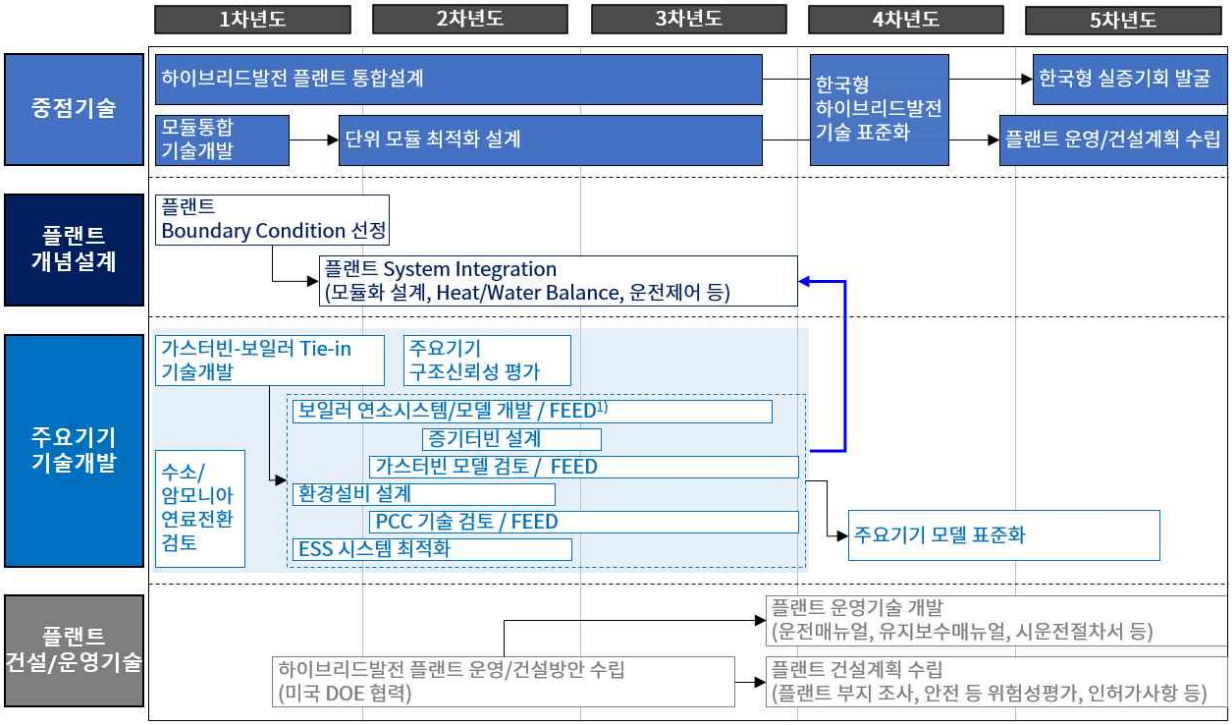
라. 연차별 연구개발 내용

(1) 연차별 연구내용

[표 78] 한국형 하이브리드발전 상용화 기술개발 연차별 연구내용

	고효율 순환유동층 상용화 기술개발				
	연차별 추진계획				
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
중점 기술	• 플랜트 개념설계 기술개발 • 발전소 최적 구성, 용량 검토 • 대상 발전소, 모델 선정 • 플랜트 시스템 엔지니어링	• 한국형 하이브리드 발전 요소 기술개발 • 가스터빈 – 보일러 연계 기술개발 • 주기기 구조 신뢰성 해석·검증 • BOP·환경설비 검토	• 주기기 모델 개발 및 설계 • ESS 활용 기술개발 • 건설·운영 기술개발	• 한국형 초초임계압 하이브리드발전 적용 사업기회 발굴	• 한국형 초초임계압 하이브리드발전 적용 사업기회 발굴
세부1	• 한국형 하이브리드발전 플랜트 최적 CONFIGURATION 및 INTEGRATION 기술개발	• 한국형 하이브리드발전 플랜트 시스템 기술개발	• 한국형 하이브리드발전 플랜트 최적 운전 방안 개발	• 한국형 하이브리드발전 플랜트 실증 수행 기술개발	• 한국형 하이브리드발전 플랜트 시장 확대 방안 표준화
세부2	• 가스터빈 – 보일러 TIE-IN 기술 및 설비 개발	• 한국형 하이브리드발전 플랜트 효율증대 기술 및 설비 개발	• 한국형 하이브리드발전 플랜트 보일러 모델개발	• 최적 운전 방안 개발 및 실증적용	• 조건별 최적화 표준모델 구축
세부3	• 미국 DOE와 공동 테스트베드 건설 방안 도출 • 수소·암모니아 연료전환 테스트 방안도출	• 테스트베드 통합 운영기술 개발(미국 DOE와 공동 실증)	• 한국형 하이브리드발전 플랜트 공정 엔지니어링 및 운영기술 개발	• 실증 플랜트 수행 설계기술 개발	• 주요기기 모듈화 기술개발

(2) 실행 로드맵



[그림 186] 한국형 하이브리드발전 실행 로드맵

마. 차별성 및 연계성

□ **선행 연구 및 차별성**

[표 79] 한국형 하이브리드발전 상용화 기술개발의 기존 유사과제 분석(1)

과제 명	한국형 하이브리드 발전 기술개발 및 활용 기술개발	미국형 하이브리드 발전 기본설계 (FEED) 개발
과제 내용	• 천연가스 100% 혼소 초초임계압 보일러 개발 • 300MW 순환유동층 보일러 및 800·1,000MW 미분탄 보일러 설비개선 적용 기술개발	• 석탄연소 270MW 초초임계압 미분탄 보일러, 87MW 가스터빈 및 50MW 에너지저장장치로 구성된 하이브리드발전 시스템개발 • 실증 플랜트 건설 준비를 위한 기본설계(FEED) 기술개발
개발범위	• 천연가스 100% 혼소 초초임계압 보일러 개발 • 및 설비개선 엔지니어링 기술개발	• 플랜트 성능계산 및 운전기술개발 및 주기기 원천기술 개발
기대효과	• 효율 향상을 통한 에너지 절감 • 국내 화력발전설비 이산화탄소 약 37% 저감(이산화탄소 포집설비 미적용, 향후 수소·암모니아 연소 기술개발 적용 시 100% 저감) • 정전방지를 통한 신재생 안정적 확대	• 효율 향상을 통한 에너지 절감 • 미국 석탄화력발전소 이산화탄소 약 92% 저감(이산화탄소 포집설비 적용) • 정전방지를 통한 신재생 안정적 확대
실증대상	• 340MW 여수 순환유동층 보일러 설비개선 • 800·1,000MW 초초임계압 미분탄 보일러 설비개선	• 미국 일리노이주 CWLP 사 SPRINGFIELD 발전소(350MW)
사업 지역	• 한국 및 동남아시아	• 미국

□ **연계방안**

[표 80] 한국형 하이브리드발전 상용화 기술개발의 기존 유사과제 분석(2)

부처명	사업명 (과제명)	총 연구기간	차별성 및 연계방안
미국 에너지부	미국형 하이브리드 발전시스템 기본설계 개발	'21.04 – '23.12	(차별성) 중국발 미세먼지 대응 및 신재생에너지 간헐성 등 단점 보완을 위한 한국형 하이브리드발전 시스템 : 플랜트 효율 5% 향상, 천연가스 100% 연소 가능
			(연계성) 탄소중립형 하이브리드발전 기본설계기술 연계·활용
산업부	표준/신표준 발전소 대상 미세먼지 저감 통합 환경설비 솔루션 개발	'16.12 – '19.03	(차별성) 기존 유사과제는 환경설비 요소기술의 기반기술개발이 과제목표(TRL 4 – 7단계)
			(연계성) 기 개발된 요소기술의 상용화급 실증으로 해외수출을 위한 TRACK RECORD 확보에 연계·활용

[표 81] 한국형 하이브리드발전 상용화 기술개발의 기존 유사과제 분석(3)

<table>
<tr><th colspan="2">사전 확보기술</th><th></th><th>본 핵심 R&D
필요기술명</th><th></th><th colspan="2">후속/연계 활용기술
(본 사업 핵심/구성기술애서)</th></tr>
<tr><td>선행
기술명</td><td>• 미국 에너지부 HGCC CONCEPT 개발 및 PRE-FEED</td><td rowspan="3">⇨</td><td rowspan="3">한국형
하이브리드발전
시스템 보일러
모델 및 적용
기술개발</td><td rowspan="3">⇨</td><td>기술명</td><td>• 한국형
하이브리드발전
시스템 및 응용기술</td></tr>
<tr><td>연계
대상물</td><td>• 미국형 하이브리드발전 시스템 개념설계</td><td>대상
성과물</td><td>• 탄소중립형
하이브리드발전
기본설계 도면</td></tr>
<tr><td>활용
방안</td><td>• 미국형 하이브리드발전 개념설계 경험 활용 한국형 개발</td><td>활용
방안</td><td>• 초초임계압 보일러 연계 한국형 하이브리드발전 시스템개발
• 한국형 하이브리드발전 시스템 동남아시아 시장 수출</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>⇧</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술연계</td><td colspan="2">과제 개요</td><td colspan="2">연계대상 성과물</td><td colspan="2">차별성/연계성</td></tr>
<tr><td colspan="2">• 과제명: 미국형 하이브리드발전 시스템 기본설계(FEED) 개발 및 실증사업
• 기간 : ‘21.04 – ’27.12, 목적 : 미국형 하이브리드발전 시스템개발 및 FEED 설계</td><td colspan="2">• 초초임계압 미분탄보일러(270 MW급 석탄화력발전소) 연계 하이브리드발전 시스템 설계</td><td colspan="2">• (차별성) 중국발 미세먼지 대응 및 신재생에너지 간헐성 등 단점 보완을 위한 한국형 하이브리드발전 시스템 : 플랜트 효율 5% 향상, 천연가스 100% 연소 가능
• (연계성) 탄소중립형 하이브리드발전 기본설계기술 연계·활용</td></tr>
</table>

4. 과제추진전략

가. 과제추진체계

□ **추진체계**

○ 한국형 하이브리드발전 상용화 기술개발은 연구단(산·학·연 협동 연구 체계) 급으로 사업추진

[표 82] 과제 추진체계



❍ 사업추진 주체별 역할 분담

[표 83] 고효율 순환유동층 상용화 기술개발 주체별 역할 분담

주체	역할 및 기능
주관부처 (국토교통부)	• 사업총괄 부처(최상위 의사결정기관) • 사업의 추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정 • 사업 시행계획 수립 • 사업 투자우선순위 결정 등
전문기관 (국토교통과학기술진흥원)	• 연구단 기획·평가·운영위원회 구성·운영 • 연구단 진도 및 실적 점검 • 연구단 및 중점, 세부과제 선정·단계·최종평가 • 사업진도 및 연구개발 성과에 대한 검증 및 평가 수행 • 각 기술 분야 산학연 전문가들로 구성된 평가위원 풀을 이용하여 관계법령에 따라 선정평가, 연차 단계평가, 최종평가 등을 시행(연차평가, 현장실태 점검, 중간실적 및 계획 평가, 최종성과 평가) • 기술 확산 및 정책 활용성 검토 등
연구단	• 연구단장 – 사업추진을 위한 컨소시엄 구성 – 세부과제 진도관리·자체평가·참여기관 간 역할배분 등 – 연구성과 관리 및 사업화 지원 – 연구성과 보급·확산 및 홍보 • 대학: 시스템 공정 시뮬레이션 및 개념설계, 수치해석, 데이터 분석, 경제성 평가 해석, 가스 분석 등 • 출연연: 라이선스 확보, 기본설계, 최적화 등 • 민간기업: 상세설계, 건설, 운영 등
연구개발사업 협의체 (사업협력기관)	• 통합과제와 세부과제 간 사업추진 방향과 운영에 대한 실무 협의 • 세부과제 간 과제, 예산 조정 협의 • 후속과제 기획 협의

나. 위험요인 및 극복방안

□ 기술개발의 한계 및 극복방안

❍ 미국 DOE 과제 연계 한국 프로젝트 대상 실증 추진

– 국내 석탄화력발전은 미세먼지·온실가스 발생원인으로 인식되어, 정부는 노후 석탄화력발전 폐지 및 신규 석탄화력발전 전력시장 진입을 제한하고 있음

– 한국형 하이브리드발전은 제9차 전력수급계획에 명시된 가스발전 비율을 상향할 수 있으며, 이산화탄소 저감을 위한 신재생에너지 확대에 마중물 역할을 할 수 있는 차세대 新기저발전 시스템임

– 미국 DOE 과제를 연계(미국형 설계기술 개발 및 SPRING FIELD 실증)하여 하이브리드발전

기술 신뢰성 검증 및 하이브리드발전 기반기술을 확보하고, 이를 기반으로 한국 등 동남아 지역 맞춤형 한국형 하이브리드발전 설계기술 개발 및 실증이 필요함

- 한국형 하이브리드발전 기술개발·실증은 화석연료 기반 화력발전 정책 기조 변화·완화 시, 탄소중립 기술적 기여도를 검증하여 추진되어야 함

- 한국형 하이브리드발전은 국내 폐지예정인 표준 석탄화력발전소를 대상으로 매몰 비용, 관련 인력 해외유출 등을 고려해 선제적 실증이 필요하며, 화력발전 관련 산업 유지, 신재생에너지 확대 속도 등을 종합적으로 고려하여 국내 석탄화력발전소 대상 순차적 적용 범위 확대가 필요함

❍ 국산화 기술개발품에 대한 높은 해외시장 진입장벽

- 한국형 하이브리드발전 해외 진출은 기술난이도를 고려해 先 국내실증 後 해외수출 순서로 추진되어야 하며, 이를 위해 국내 상용급 규모 실증 TRACK RECORD 확보가 필수임

- 한국형 하이브리드발전 시스템은 동남아시아 개도국 중심 탄소중립 패러다임 확대시장에 대응하기 위해, 정부는 국산화 新기저발전에 대한 정책적 인센티브 고려 필요

- 남아공 등의 신규 해외발전시장의 경쟁우위 선점을 위해 반드시 국내 TRACK RECORD 확보가 필요하며, 이를 위해 정부가 정책적으로 국산화 신기술 발전설비에 대한 인센티브 지급 고려 필요

- 설계(A&E) - 기자재 공급(EPC) -건설 - 연료 조달(E&P) - 운영&유지(O&M)의 VALUE CHAIN 기반 PACKAGE 해외수출을 위한 정부 주도 산·학·연 정책·기술 전략 수립 필요

다. 성과관리 및 활용방안

(1) 성과목표 및 지표체계

[표 84] 한국형 하이브리드발전 주요 성능지표

핵심기술·제품 성능지표		단위	달성목표		국내 최고 수준	세계 최고 수준	
			개발 전	개발 후		현재	과제종료 시점
1	플랜트 정격 출력	MW	-	350	-	-	350
2	플랜트 효율 (350MW 이하)	%	38	45	-	38	40
3	플랜트 최저부하	%	30	20	35	20	20
4	플랜트 부하변동율	%/min	3	> 4	3	3	4
5	이산화탄소 배출량	g/kWh	935	59 - 589	900	900	589
6	대기오염물질 (SOx·NOx·먼지)	ppm·ppm ·mg/m^3	50·50·12	10·5·2	15·10·3	15·10·3	10·9·2
7	플랜트 가동률	%	-	90	-	-	90

□ **성과지표**

○ 플랜트 정격 출력

- NORMAL RATING 출력 시 전기 생산량

○ 플랜트 효율

- NORMAL RATING 출력 시 발열량 기준 전기 생산 효율 계산

○ 플랜트 최저부하

- NORMAL RATING 부하 대비 최저 연속운전 부하

○ 플랜트 부하변동율

- 운전 부하 변화 속도

○ 플랜트 가동율

- 플랜트 계획 가동 시간 ÷ 플랜트 실제 가동 시간

○ 대기오염물질

- TMS 기준 보일러 출구 오염물질 배출농도

❍ 이산화탄소 배출량

- 단위 전력 생산량 대비 TMS 기준 이산화탄소 배출량 계산

□ **특성화지표**

❍ 수입 대체율(10%)

- 측정산식 : (전체연구비 - 해외 지출 연구비) ÷ 전체연구비 × 100
- 측정방법 : 연구결과물(설계, 제작, 시공, 운영 등) 국산화율에 비례한 비용 절감효과 등을 통해 수입 대체율(국산화율) 목표 달성

❍ 기술료(8백만원/정부 출연금 10억)

- 측정산식 : ∑ (기술실시·이전을 통해 발생하는 기술료 징수액) ÷ 정부 출연금
- 측정방법 : 기술료 증빙

❍ 특허등급지수(SMART)(4.0)

- 측정산식 : ∑ (특허 등급 × 배점) ÷ (등록 특허 건수)
- 측정방법 : 한국발명진흥회의 특허 분석 평가시스템 SMART 활용
- 논문지수(50.0)
- 측정산식 : ∑ (게재 논문 순위보정 영향력 지수(mrnIF) ÷ 논문게재 건수
- 측정방법 : 당해연도에 게재된 논문을 대상으로 JCR 분류에 따라 해당 저널 Impact Factor 순위를 확인 후 표준화된 순위보정 영향력 지수(mrnIF)를 계산

* 최근 5년간(2015-2019) 플랜트연구사업의 학술지 게재 논문지수의 평균값(59.06)을 목표치로 설정

(2) 성과관리방안

□ **과제 선정방식**

- 사전기획 내용 및 기술수요 조사 등을 반영한 TOP-DOWN(지정 공모) 방식을 통해 평가 기준에 따른 선정

□ **과제 관리방식**

- 하이브리드발전 상용화 기술개발 사업은 세부과제 수행 기관 선정에서부터 종료 후 추적 평가에 이르기까지 전주기를 모니터링 관리

□ **과제 평가 방안**

❍ 실증 플랜트 설계·건설·운전 자료를 통한 정량·정성 평가

- 핵심성능 지표 달성을 위한 기술개발 및 사업화 달성 여부 평가
- 핵심성능 지표 달성도 평가

(3) 성과활용방안

□ **탄소중립형 하이브리드발전 플랜트 해외시장 지출**

- 실증 TRACK RECORD를 근거로 미국 발전 플랜트 탄소중립화 시장 참여
- 실증 TRACK RECORD를 근거로 동남아시아 하이브리드발전 플랜트 신규 및 RETROFIT 시장 참여

□ **테스트베드에서 안정적 운영 완료 후, 사업 시행 주체가 될 발전사업자 대상 홍보 활동 추진**

□ **하이브리드발전 기반 수소·암모니아 전환기술로 2050 한국 탄소중립 실현 기여**

- 국내 800 - 1,000MW 석탄화력발전소에 국산 수소 가스터빈을 추가하고 보일러 설비를 수소·암모니아 연소설비로 개조하여 탄소중립 실현

5. 소요 예산

가. 예산총괄 및 재원조달계획

□ **총괄표**

○ 연차별 투자계획

[표 85] 연차별 투자계획

구분 (사업기간)	총사업비 (백만원)	연차별 투자계획				
		‘23년	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년
사업기간 : ‘23-’27년	20,000	5,714	7,143	5,714	714	714
합계	20,000	5,714	7,143	5,714	714	714
국고	14,000	4,000	5,000	4,000	500	500
민간매칭 등	6,000	1,714	2,143	1,714	214	214

* 민간매칭은 향후 정부투자에 따라 변경가능

□ **재원조달계획**

○ (재원 분담률) 국고(회계) : 지방비 : 민자 = 70 : 0 : 30

- 대기업, 중견, 중소기업 공동참여 구성이 예상되므로, 민자 30% 수준으로 민간 분담비율을 설정
- 공모 시, 대기업과 중소기업 참여 수에 따라 민간 분담비율 변경 가능

○ 기존 재원 범위 내에서의 수용 가능성

- 계획된 소요 예산은 국토교통부 기술개발 예산 규모에서 수용 가능
- 민간부담금의 경우 전체 연구개발비의 30% 수준이며 본 사업의 경우 지원대상이 대기업·중소기업으로 중점분야별 참여기업 규모를 고려하여 민간부담금 적용 비율을 차등 적용
- 재원조달 문제로 인한 본 사업의 지연 가능성은 매우 적은 것으로 판단

나. 세부과제 예산

□ 세부과제 예산

* 세부과제 상세 예산은 추후 변경될 수 있음

[표 86] 세부과제 예산

세부과제	예산 (백만원)		'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	계
플랜트 개념설계 기술개발	정부		1,600	2,000	1,600	200	200	5,600
	민간	현금	57	71	57	7	7	200
		현물	629	786	629	79	79	2,200
		계	686	857	686	86	86	2,400
	소계		2,286	2,857	2,286	286	286	8,000
플랜트 주기기 핵심기술 개발	정부		1,600	2,000	1,600	200	200	5,600
	민간	현금	57	71	57	7	7	200
		현물	629	786	629	79	79	2,200
		계	686	857	686	86	86	2,400
	소계		2,286	2,857	2,286	286	286	8,000
테스트베드 구축 및 운영기술 개발	정부		800	1,000	800	100	100	2,800
	민간	현금	29	36	29	4	4	100
		현물	314	393	314	39	39	1,100
		계	343	429	343	43	43	1,200
	소계		1,143	1,429	1,143	143	143	4,000
총계	정부		4,000	5,000	4,000	500	500	14,000
	민간	현금	143	179	143	18	18	500
		현물	1,571	1,964	1,571	196	196	5,500
		계	1,714	2,143	1,714	214	214	6,000
	소계		5,714	7,143	5,714	714	714	20,000

[표 87] 세부과제 비목별 예산

세부과제	예산 (백만원)		'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	계
플랜트 개념설계 기술개발	직접비	재료비	–	–	–	–	–	–
		노무비	1,600	2,000	1,600	200	200	5,600
		경비	29	36	29	4	4	100
	간접비		114	143	114	14	14	400
	소계		2,286	2,857	2,286	286	286	8,000
플랜트 주기기 핵심기술 개발	직접비	재료비	–	–	–	–	–	–
		노무비	1,600	2,000	1,600	200	200	5,600
		경비	571	714	571	71	71	2,000
	간접비		114	143	114	14	14	400
	소계		2,286	2,857	2,286	286	286	8,000
테스트베드 구축 및 운영기술 개발	직접비	재료비	–	–	–	–	–	–
		노무비	800	1,000	800	100	100	2,800
		경비	286	357	286	36	36	1,000
	간접비		57	71	57	7	7	200
	소계		1,143	1,429	1,143	143	143	4,000
총계	직접비	재료비	–	–	–	–	–	–
		노무비	4,000	5,000	4,000	500	500	14,000
		경비	886	1,107	886	111	111	3,100
	간접비		286	357	286	36	36	1,000
	소계		5,714	7,143	5,714	714	714	20,000

□ **세부과제 소요예산 산출내역**

❍ 노무비

– 한국형 하이브리드발전 플랜트 개념설계 기술개발

투입인력(인)	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	계
책임급*	22.2	27.8	22.2	2.8	2.8	77.8

* 노무비 72백만원 기준

– 한국형 하이브리드발전 플랜트 주기기 핵심기술 개발

투입인력(인)	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	계
책임급*	22.2	27.8	22.2	2.8	2.8	77.8

* 노무비 72백만원 기준

- 보일러 운영기술개발

투입인력(인)	‘23년	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년	계
책임급*	11.1	13.9	11.1	1.4	1.4	38.9

* 노무비 72백만원 기준

❍ 경비

- 한국형 하이브리드발전 플랜트 개념설계 기술개발

  • 기타 회의비, 출장비 등 : 100백만원

- 한국형 하이브리드발전 플랜트 주기기 핵심기술 개발

  • 보일러-가스터빈 TIE-IN 설계 검증 테스트 외주용역 : 1800백만원

  • 기타 회의비, 출장비 등 : 200백만원

- 보일러 운영기술개발

  • 플랜트 SIMULATOR 개발 외주용역 : 800백만원

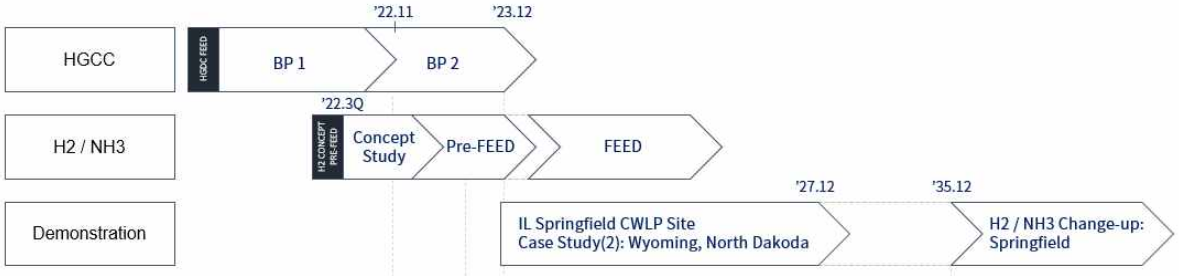
  • 기타 회의비, 출장비 등 : 200백만원

6. 실증계획 수립

가. 테스트베드 실증 추진전략

□ 미국 DOE HGCC 실증 SITE를 대상으로 한국-미국 간 협력 과제로 공동 실증함으로써 실증 비용 절감 및 실증적용 시장 확대

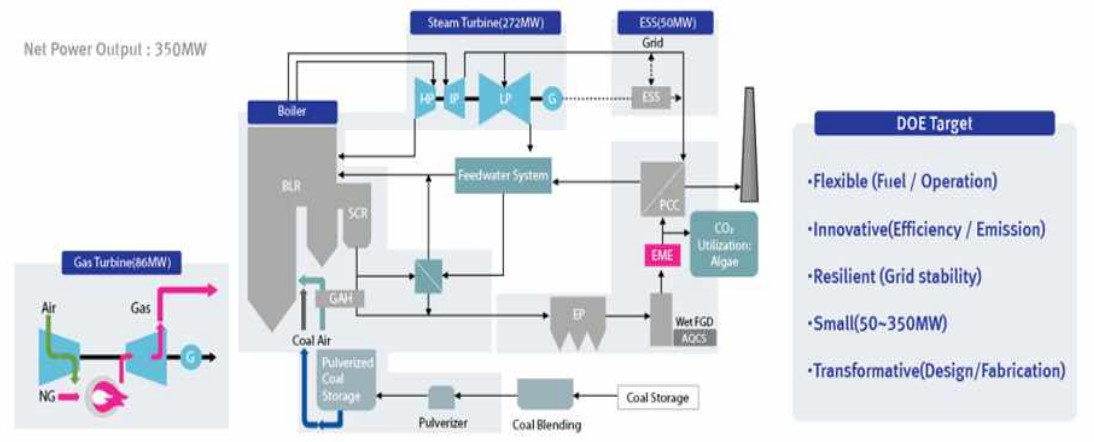
□ 한국의 기존 화력발전 자산을 활용하여 2050년 탄소중립 목표를 달성하는데 기여할 수 있도록, 석탄과 천연가스로 HGCC 기술을 실증 후, 무탄소 발전 연료인 수소 및 암모니아로 전환 실증도 동일한 테스트베드에서 실시할 예정임



[그림 187] HGCC 실증 및 HGCC 기반 무탄소 연료 전환기술 실증계획

나. 테스트베드 제원 및 특성

□ HGCC 실증 테스트는 미국 DOE 과제를 FULL SCALE 검증을 목표로 270MW급 고효율(초임계 이상) 보일러·증기터빈, 86MW급 가스터빈, 50MW급 ESS 및 이산화탄소를 90% 이상 포집할 수 있는 순 발전용량 350MW를 대상으로 함



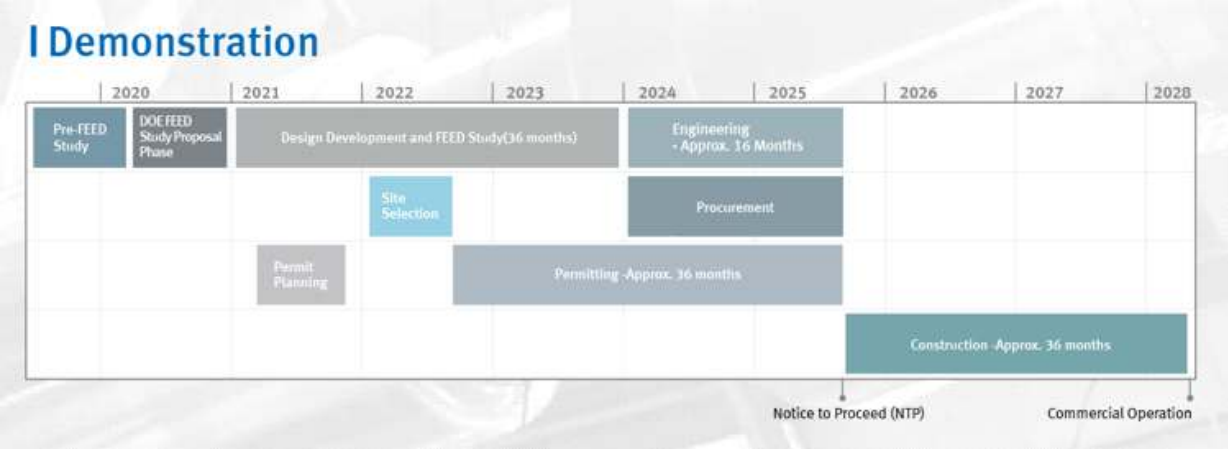
137)

[그림 188] 미국 DOE HGCC DEMO PLANT 구성 및 특성

137) 두산중공업 내부자료

다. 테스트베드 실증내용

□ 2023년 DOE HGCC FEED 과제가 종료되면 HGCC 플랜트가 탄소중립에 기여 목표를 실현할 수 있는지 실증 플랜트 건설을 통해 확인할 예정임



[그림 189] DOE HGCC 실증 플랜트 건설 계획

라. 테스트베드 실증목표 및 평가방법

□ HGCC 의 다음 주요 성능 목표를 달성할 수 있는지 실제 발전소 건설 및 성능시험을 통해 목표 달성 여부를 검증

- 플랜트 목표 출력 350MW 달성 여부
- 90% 이산화탄소 포집 후 플랜트 순 효율 37% 달성 여부
- 신재생 간헐성 해소를 위한 플랜트 최저부하 20% 및 부하변동 4% 이상 달성 여부

마. 테스트베드 실증 대상 부지

□ HGCC 실증 테스트베드 부지는 미국 일리노이주의 주도인 스프링필시 CWLP 발전소로 기존 노후 석탄화력발전소 폐쇄 후 이용 가능 부지에 HGCC 플랜트 신규 건설 예정

- 기존 인프라 설비를 최대한 활용(COAL YARD, SUBSTATION, 수처리 설비 등)하여 플랜트 경제성 확보 추진



[그림 190] DOE HGCC 실증사이트 전경

바. 테스트베드 사후 활용방안

□ DOE HGCC 테스트베드는 FULL SCALE COMMERCIAL 데모 플랜트 실증 후 전기를 생산하여 스프링필시에 공급할 예정임

3장. 초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증

1. 개요

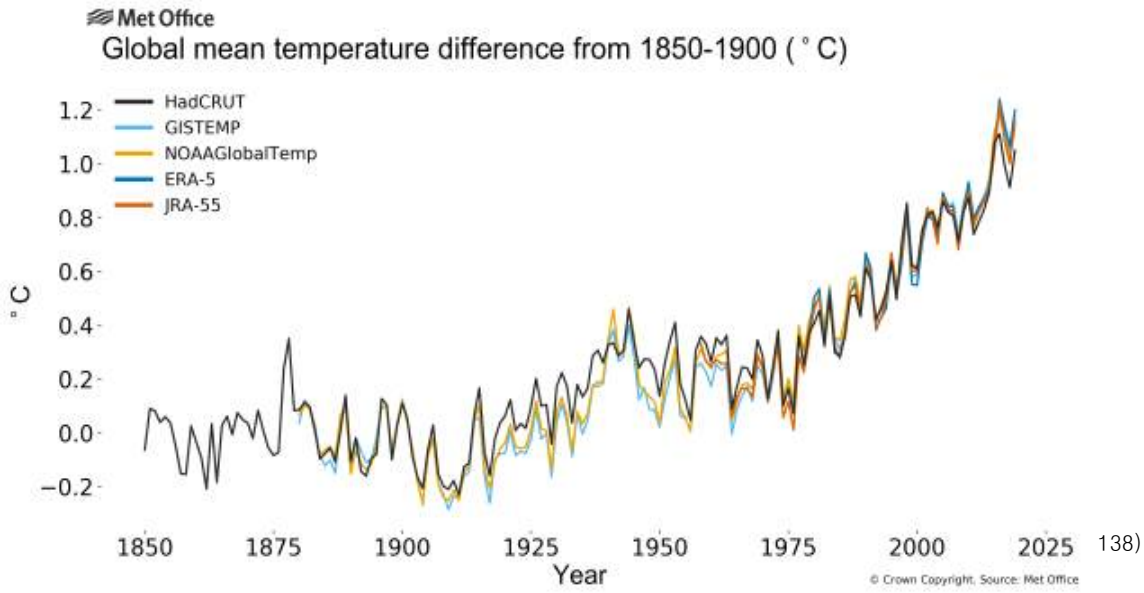
가. 배경 및 필요성

(1) 기획 배경

□ **지구온난화 가속화로 인한 기후위기**

○ 현재 추세로는 지구 온도 3℃ 이상 상승이 전망되며, 현재와 같은 온실가스 배출 상태 지속 시 2100년에는 3.2℃ 상승할 것으로 전망됨

- 긴급한 기후위기 비상조치 필요성에 대한 인식 확산
- 전 세계 153개국 11,258명의 과학자들은 현재 지구가 파멸적 위기에 직면하고 있다며 '기후 비상사태(CLIMATE EMERGENCY)'를 선언함(2019. 11)
- 세계경제포럼(WORLD ECONOMIC FORUM)은 '2020 지구위험 보고서'에서 인류에게 가장 큰 영향을 미치는 위험요인으로 '기후 행동 실패'를 선정함(2020. 1)
- UN 사무총장은 지구의 날 50주년 기념 메시지에서 COVID-19 위기보다 더욱 심각한 환경비상사태를 경고하며 지구 보호를 위한 결정적 행동을 촉구함(2020. 4)



138)

[그림 191] 산업화 이전(1850 - 1900년) 대비 지구 평균 기온 변화

□ **2050 탄소중립이 글로벌 新패러다임으로 대두됨에 따른 국제적 가속화**

- 최근 코로나19 사태는 기후변화 심각성을 인식하는 촉매 역할을 하며, 장기저탄소 발전전략(LEDS*)의 UN 제출시한('20.12) 도래 등에 따라 주요국의 탄소중립 선언이

138) UNEP 2019

가속화됨

* LONG-TERM LOW GREENHOUSE GAS EMISSION DEVELOPMENT STRATEGIES

- EU('19.12월)·中('20.9.22)·日('20.10.26)·韓('20.10.28) 등 주요국 탄소중립 선언

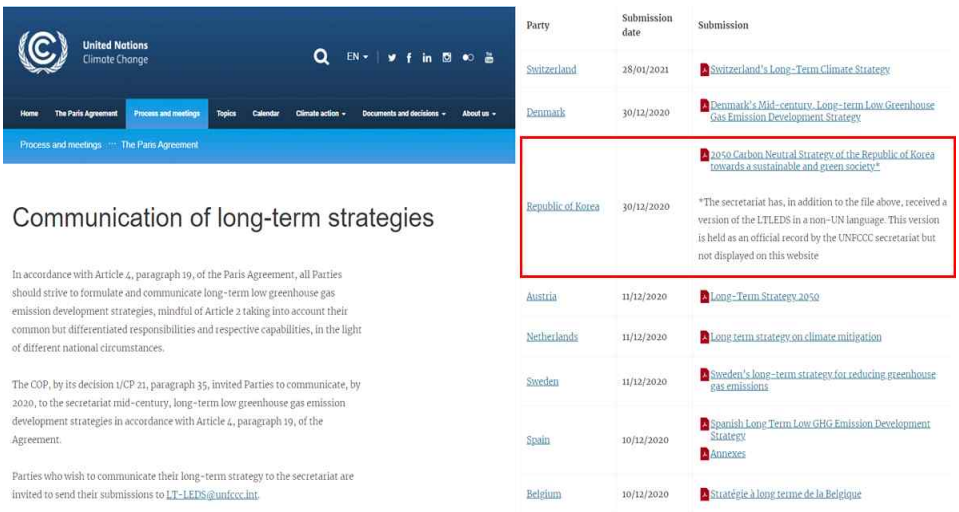
- 121개 국가가 2050 탄소중립 목표 기후동맹에 가입하며 탄소중립의 글로벌 의제화가 이루어짐

- 유럽연합(EU)은 '19년 11월 '기후 비상사태'를 선언하고 2050년까지 유럽연합 회원국들에 온실가스 배출 '0'을 약속할 것을 촉구하는 결의안을 채택함

- '50년까지 탄소중립 달성 목표를 법제화한 기후법안(EUROPEAN CLIMATE LAW)을 유럽의회에 제출함(2020. 3)

- 미국, EU, 일본 등 29개국이 장기저탄소 발전전략(LEDS)을 유엔기후변화협약(UNFCCC)에 제출했으며(2021.01.28 기준), 우리나라는 2020년 12월 30일에 제출했음[139)]

- 캐나다, 독일, 멕시코, 미국, 베냉, 체코, 영국, 우크라이나, 마샬제도 공화국, 피지, 일본, 포르투갈, 코스타리카, EU, 슬로바키아, 싱가포르, 남아프리카 공화국, 핀란드, 노르웨이, 라트비아, 벨기에, 스페인, 스웨덴, 네덜란드, 오스트리아, 한국, 덴마크, 스위스, 프랑스



[그림 192] 유엔기후변화협약(UNFCCC)의 장기저탄소 발전전략(LEDS)

□ **우리나라는 '제22차 비상경제 중앙대책본부회의'에서 '2050 탄소중립 추진전략'을 확정·발표함('20.12)**

❍ 국무회의에서 '2050 장기저탄소발전전략(LEDS)', '2030 국가온실가스감축목표(NDC)'를 정부안으로 확정함(2020.12)

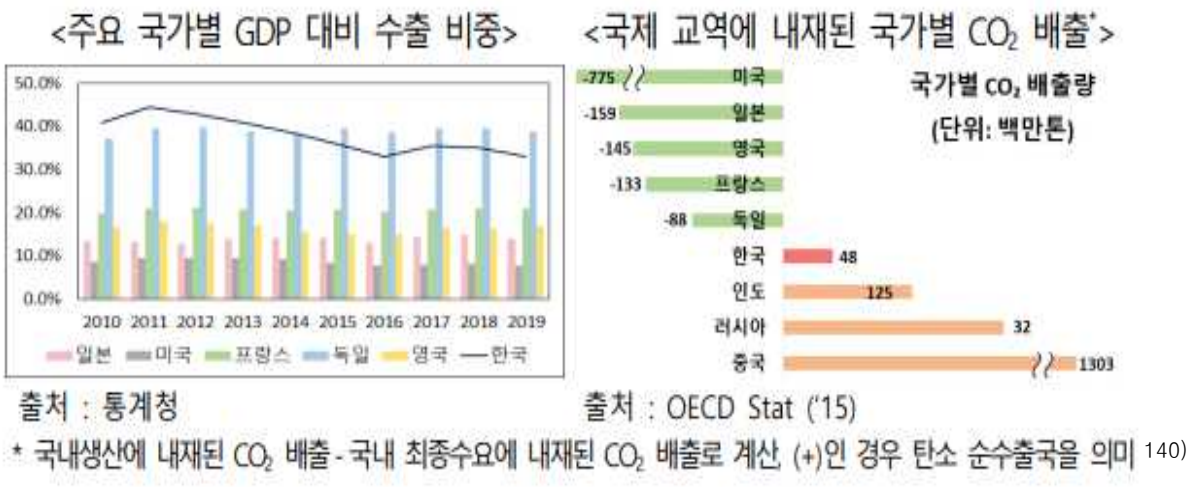
- 대한민국은 세계 10위권의 경제 대국이자 기술 강국인 한편 에너지 다소비 국가이자 온실가스 다 배출 국가임

- 온실가스 배출량은 2018년 약 7억 2,700만 톤으로 미국, 일본, 독일, 캐나다에 이어 OECD

139) 대한민국 2050 탄소중립 전략(대한민국정부), 유엔기후변화협약 홈페이지

국가 중 5위이며, 이 중 에너지 공급 부문이 36%, 산업부문이 37%를 차지함

- OECD 국가 중 에너지 전환에 가장 뒤쳐진 국가 중 하나로 2021년 기준 석탄발전량 비중이 38.5%로 배출량은 여전히 높은 추세임
- 산업구조와 에너지원 구성의 측면에서 우리나라는 탄소 집약적 제조업 비중이 높아 심각한 타격이 예상됨
- 무역의존도가 높은 국내 경제·산업구조의 특성상 새로운 국제질서에 대한 적극적 변화 및 선제 대응이 필수적임
- 미온적인 대응 시 주력산업의 투자 및 글로벌 SOURCING 기회 제한 등에 따른 수출, 해외 자금조달, 기업 신용등급 등에 부정적 영향이 초래될 우려가 있음
- 산업구조의 저 탄소화 및 신산업 육성 등을 통해 선제적으로 대응 시 '탄소중립 + 경제성장 + 삶의 질 향상'을 동시에 실현 가능함
- COVID-19를 계기로 하여, 기후변화의 심각성에 대한 국민의 높은 관심을 행동으로 연결하여 사회적 합의도출이 긴급히 요구됨



140)

[그림 193] 주요 국가별 GDP 대비 수출 비중 및 국가별 이산화탄소 배출

❍ UN의 1.5℃ 경로에 맞는 강화된 NDC 및 LEDS 요구에도 불구하고 우리 정부의 NDC와 LEDS는 1.5℃ 경로에 부합하기에는 미흡한 것이 현실임

- 우리나라는 온실가스감축계획, 배출권거래제 등 실시에도 불구하고 에너지 부문의 온실가스 배출이 지속적 상승 추세임
- 2020년 기준 우리나라는 석탄발전 비중이 35.6%이고 LNG 발전 비중이 26.4%로, 석탄 및 LNG 발전 등 화석연료 기반의 발전 비중이 높음

140) 통계청, OECD Stat('15)

[표 88] 현행 전력시장제도와 '17년 발전용 연료비 기준 발전량 비중 전망

연도	원자력	석탄	LNG	신재생	석유	양수	계
2017	30.3%	45.4%	16.9%	6.2%	0.6%	0.7%	100%
2030	23.9%	40.5%	14.5%	20.0%	0.3%	0.8%	100%

141)

○ 정부의 2050 탄소중립 정책에 의하면, 가스발전 전환, 화력발전 CCUS*기술지원 등 탄소중립 국가 전략을 정의하였고, 더 나아가 탄소중립은 전 세계적 아젠다로 부상함

* CARBON CAPTURE, UTILIZATION AND STORAGE

- 국내에서는 2020년 신재생 발전설비용량 20.1GW(15.8%)를 2034년까지 78GW(40%)까지 확대하는 계획을 수립하고 있으며, 세계적으로는 2017년 25%의 전기를 생산하고 있는 신재생이 2050년까지 86%까지 확대될 것으로 예상

- 에너지 부문 탄소중립을 통해 전력체계를 친환경·청정에너지 중심으로 전환하고 친환경 에너지 생산국이 됨으로써 에너지 자립도가 향상될 것으로 기대

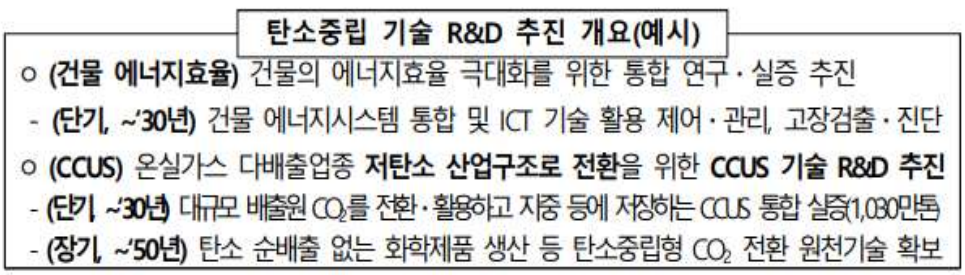
□ **국회에서 기후위기 대응과 그 목표를 '2050년 탄소 배출 중립'으로 분명히 제시한 만큼 보다 구체적이고 실질적인 로드맵과 정책수단이 필요함**

○ 화석연료 발전 중심의 전력공급 체계를 재생에너지와 그린 수소 중심으로 전환하고 이산화탄소 포집 기술 등을 활용하여 탈 탄소 미래기술 개발 및 상용화 촉진 필요

- CCUS 실증 및 저장기지 구축을 통해 CCUS 기술 조기 상용화를 추진하고, 포집 탄소를 원료 또는 연료로 재합성하는 탄소순환사업 육성

- 신재생에너지, CCUS, ICT 활용 융합·혁신 등 분야별 핵심기술 확보를 위한 전략으로 '탄소중립 R&D 전략' 수립

- 핵심기후 유망기술의 개발 난이도와 목적을 고려하여 단기 집중투자(범부처 프로젝트) 및 장기적 혁신기술 개발연구 병행



142)

[그림 194] 2050 탄소중립' 추진전략에서 제시한 탄소중립 기술 R&D 추진 개요

141) 산업통상자원부, 제8차 전력수급기본계획
142) 2050 탄소중립」 추진전략(대한민국 정책브리핑(www.korea.kr)(기획재정부))



143)

[그림 195] 2050 탄소중립 미래상

□ **과학기술정보통신부 '탄소중립 기술혁신 추진전략' 확정**

○ 석탄발전, 제조업 비중이 높은 우리나라의 경우 '2050 탄소중립'실현은 도전적 과제로, 이를 실현하기 위해서는 기술혁신이 무엇보다 중요하고 시급하다고 판단

○ 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술 개발 전략 제시

- 탄소중립에 핵심적 기여가 가능한 10대 핵심기술 전략적 개발
- ①태양광 및 풍력 ②수소 ③바이오에너지 ④철강·시멘트 ⑤석유화학 ⑥산업공정 고도화 ⑦수송 효율 ⑧건물 효율 ⑨디지털화 ⑩CCUS

○ 범부처 탄소중립 기술혁신 R&D사업 기획·착수

- 시급한 산업 수요기반 '현장특화 R&D'와 미래 대비 '중장기 혁신 원천 R&D'의 2-TRACK으로 '全주기 함께 달리기' R&D 추진
- 다 배출 업종의 저탄소 신공정 개발·적용을 지원하는 대형 R&D 및 도전적 원천기술 개발을 위한 10대 기술혁신 프로젝트 예타 추진

○ 新산업 창출로 이어지는 집중지원 체계 마련

- 출연(연) 100대 사업화 유망기술 지원 및 특구를 통한 신기술 실증 가속화
- 창업 지원 → 공공수요 구매연계 → 녹색 벤처·보증 등 탄소중립 기술기업 全주기 성장지원 강화

○ 민간이 주체가 되는 저탄소화 기술혁신 촉진

143) 10대 핵심기술이 적용된 2050 탄소중립 사회(과학기술정보통신부)

- 상용화 촉진 인센티브 발굴 및 표준·인증, 기술규제 적기 마련

- 탄소중립 R&D 세액공제 확대 검토 및 기업참여 부담 완화방안 강구

❍ 기술혁신이 지속되는 연구역량·기반 강화

- 탄소중립 전문 인력 양성 강화 및 교육·전시 등을 통한 문화 확산

- 기후기술개발촉진법, 기후대응기금 신설 등 안정적 추진기반 마련



144)

[그림 196] 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술별 기술목표 요약

144) 10대 핵심기술이 적용된 2050 탄소중립 사회(과학기술정보통신부)



[그림 197] 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술 개발

□ **전 세계 탄소중립 기조가 가속화되고 있으며 에너지믹스를 위해 이용되는 화석연료들의 탄소중립에 대한 요구가 핵심 과제로 떠오르고 있음**

❍ 탄소중립 달성을 위한 에너지 패러다임 변화로 미래형 발전시스템 적용 필요

- 산업발달에 의한 지구온난화가 가속화되어 탄소중립을 위한 신재생에너지 사용 확대 및 친환경성에 부응하는 차세대 친환경·고효율 화력발전 플랜트 기술개발 필요

- 친환경·고효율 화력발전 플랜트로 전환을 통해 신재생에너지 단점* 극복, 이산화탄소 발생량 저감* 및 기존 화력발전 플랜트 장점* 활용 필요

  * 과잉 전력생산, 높은 출력변동 극복 등

  * 초초임계 기술적용을 통한 플랜트 효율증가, 이산화탄소 포집 설비 구축 등

  * 낮은 연료비, 기존 인프라 활용 가능, 높은 기술성숙도, 에너지안보 확보 등

❍ 가스발전은 신재생에너지 시대로 가기 위한 징검다리 기술이며, 전력피크 등 전력공급 사태 대비 및 에너지 안보 강화를 위해 지속 유지해야 함[145]

- 국제에너지기구(IEA)에서 2017년에 발간한 에너지기술전망(ENERGY TECHNOLOGIES PERSPECTIVES)에 따르면, 이산화탄소 감축 목표를 달성하기 위해 CCS가 목표량의 약 14%를 담당해야 하는 감축 분야는 에너지효율 분야임

- 국제 CCS 기구(GLOBAL CCS INSTITUTE)에서 2017년에 발간한 'CCS 국제 현황'에서 국가별 CCS 정책 파악을 위한 지표를 제시하였고, 호주, 캐나다, 덴마크, 영국, 미국과 같이

145) * KATS기술보고서, 국가기술표준원, 2018

CCS가 이미 활성화되어 세부 규정을 갖추고 있는 A 집단, CCS를 일정 부분에 적용하는 특정 법률 또는 규정이 있는 B 집단(27개국), CCS가 일정 부분에 특정 법률 또는 규정이 거의 없는 C 집단(21개국)으로 분류함

- 우리나라는 '저탄소 녹생성장 기본법', '제1차 국가 CCS 종합 추진계획(2010년)', 'KOREA CCS 2020사업(2011년)', '기후변화대응 핵심기술개발 전략(2014년)' 등의 CCS 관련 정책·법·프로그램을 추진 중임

□ **환경부는 2017년부터 해마다 환경 연구개발, 정책자금 및 수주지원, 환경 컨설팅, 마케팅·홍보, 전문인력 양성 등 단계별 지원 사업과 환경사업 발주 계획을 한눈에 볼 수 있도록 '정부지원 환경사업 종합안내서'를 발간해 옴**

- 2020년 기준 1) 환경 R&D 부문 27개 사업, 2) 정책자금 및 수주지원 부문 19개 사업, 3) 환경컨설팅 부문 16개 사업, 4) 마케팅·홍보 부문 13개 사업, 5) 전문 인력 양성 부문 6개 사업, 6) 환경사업 발주계획 16개 사업을 소개함[146)]

□ **아시아·태평양 지역 개도국의 급격한 경제 성장으로 인해 미세먼지, 질소산화물, 황산화물 등 대기오염 물질 농도가 증가하고 있고, 세계적으로 대기 오염에 대한 관심도가 높아지고 있음**

- 미세먼지는 대기 중에 머물러 호흡기를 거쳐 폐, 기관지 등에 침투하거나 혈관을 따라 체내로 이동하여 건강에 나쁜 영향을 미칠 수 있음[147)]

- 서울의 대기 중 PM10* 연평균 오염도는 2012년까지 개선 추세였으나 이후 악화 또는 정체로 전환되어 2016년 평균 48μg/m^3에 이름

- 최근 국내 주요 도시의 미세먼지 및 초미세먼지 연평균 농도 현황은 국제보건기구의 가이드라인을 초과하고 있으며, 경기, 충북, 전북, 강원 지역 등에서 환경부 기준 또한 초과하여 대기오염 문제가 심각함

- 인체 잔류 특성으로 유해성이 더 큰 PM2.5*의 경우, 최근 고농도 발생이 빈번하여 2017년 주의보가 93회 발령됨

- 2016년 전국 및 서울의 대기 중 PM2.5 평균 농도는 26μg/m^3으로 WHO 권고기준(10μg/m^3) 및 선진국 주요 도시(도쿄 13.8μg/m^3, 런던 11μg/m^3) 대비 2배 이상 높은 수준

  * PM 10·2.5 : PARTICULATE MATTER 10·2.5, 직경 10·2.5 마이크로 이하 먼지

- 2016년 세계보건기구에 따르면, 전 세계 도시지역 인구의 약 80%가 오염된 공기에 노출되어 있으며, 대기 오염에 의한 조기 사망자 수는 약 730만 명으로 추정됨

- 미세먼지는 '사회재난'으로 정의되어 범정부 차원에서 미세먼지 저감 노력을 진행 중임

□ **정부의 미세먼지 종합대책(2017년 9월, 2019년 11월)에 의해, 단기 및 중장기 미세먼지 배출 제어를 위한 정책이 수립됨**

---

146) 2020년 정부 지원 환경사업 종합안내서, 환경부, 2020
147) '13년 1군 발암물질 지정, 국제암연구소

- 향후 5년간 미세먼지 저감 및 관리 정책 방향과 추진과제를 제시하는 법정계획으로 인해 기존 정책 대비 강력한 국가·행정기관 구속력이 발생함

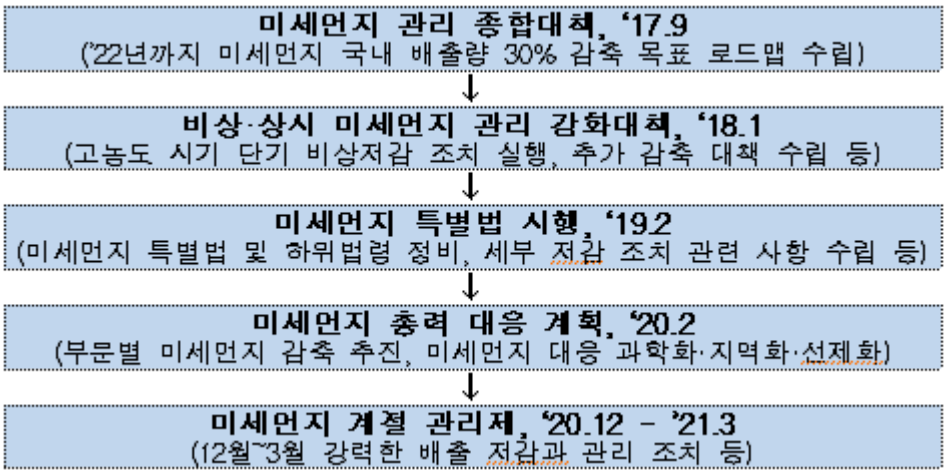
- 기본적으로 전국을 대상으로 하나 계획에 포함된 주요 사업은 지역별 오염수준, 배출량 및 배출원 구성 등을 고려하여 추진되며, 관리물질은 초미세먼지(PM2.5), 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx), 휘발성 유기화합물(VOCs), 암모니아(NH_3)임

- 초미세먼지 직접 배출 감축 목표와 함께 2차 미세먼지 생성에 기여하는 물질별 감축 목표도 병행하여 제시됨*

  * 초미세먼지 2차 생성은 대기 중 성분비, 기상 여건 등에 따라 다르므로 기존 대책에서 활용한 전환계수는 사용하지 않고, 2차 생성기여 물질별 감축 목표 제시로 전환

- 정부는 미세먼지 문제 해결을 위한 대책들을 연이어 발표하고 재정투입을 확대함*

  * 2016년 0.9조원 → 2019년 본예산 2.0조원 → 2019년 추경 3.4조원



148)

[그림 198] 미세먼지 대응 정책 계획

149)

□ **'제9차 전력수급기본계획(2020 – 2034)'내 가스 및 신재생에너지 발전비율 확대 실현으로 안정적 전력 공급망 확보 및 에너지 안보를 강화함**

- 에너지 전환 정책 추진, 온실가스 추가 감축을 위한 전환부문 이행방안 마련, 저탄소 경제·사회로의 이행을 위한 신재생에너지 투자 가속화 방안 등을 포함

- 석탄(35.8 → 29.0GW) 및 원자력(23.3 → 19.4GW) 축소, LNG(41.3 → 59.1GW) 및 신재생에너지(20.1 → 77.8GW) 확대

- 미세먼지 저감 등 대기 질 개선을 위한 국제협력 주도150)

148) 환경부 제출자료 재구성
149) 2018년 하계 전력수급 컨퍼런스, 한국환경공단 에어코리아 홈페이지
150) 외교부, 2020년

- 한·중 정상회담 등 고위급 교류 계기 협력기반 강화 및 실질 협력 사업 이행·확대 지원
- 동북아 6개국(한·중·일·러·몽·북한) 협의체를 통한 과학적 정보 공유 및 기술·정책 대응방안 도출, 각종 국제회의 계기 대기환경 개선 의제화 등 대기오염 대응 공조 지속

□ **선진국 주요 도시 대비 서울의 미세먼지 농도는 약 1.5 – 2배 높으며, 초미세먼지 오염도는 OECD 회원국 중 칠레 다음으로 두 번째로 높음**

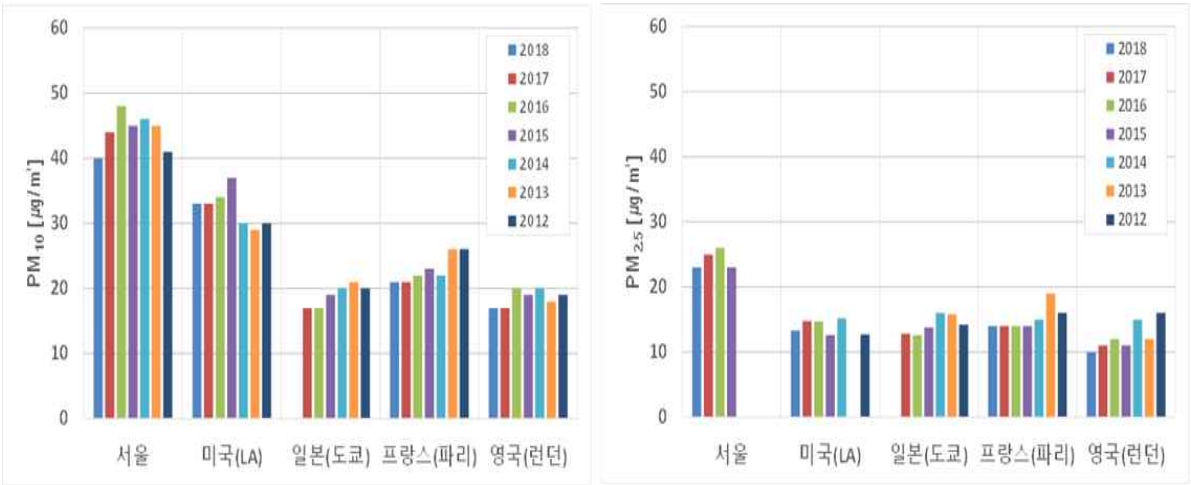
– 전력수급기본계획 최초로 온실가스감축 로드맵('16년 12월), 미세먼지 종합대책('17년 9월)에 따라 중장기 온실가스·미세먼지 감축 목표 제시

- 30년 발전부문 온실가스 배출 BAU* 3.22억톤 대비 26.4% 감축한 2.37억톤 전망

* BAU : BUSINESS AS USUAL, 통상경영추계방식

– 온실가스감축 방안으로 2030 NDC(국가온실가스감축목표)와 연계하여 전환부문 이행방안 구체화하여, 석탄발전 설비 폐지, 잔여 석탄발전 설비의 연간 발전량 제약을 수립함

- '30년 기준 가동 후 30년 도래 석탄발전 설비 24기 폐지, 석탄발전 설비의 연간 발전량 상한 제약, 온실가스 비용을 원가에 반영하는 방안도 병행하여 시행
- 미세먼지 개선 효과로 '19년 2.1만톤 대비 '30년 57% 감축을 전망하였고, 오염물질(황산화물, 질소산화물 및 먼지 총량) 약 64% 감축을 기대함



[그림 199] 해외 주요 도시 및 서울의 미세먼지·초미세먼지 농도 비교

(2) 기획 필요성

① 추진 필요성

□ **정부의 2050 탄소중립 및 재생에너지 전환정책 추진으로 탄소중립 달성을 위한 핵심기술(CCUS, 에너지효율 등) 개발이 집중지원되고 있음**

❍ 2050 탄소중립이 글로벌 패러다임으로 대두됨으로 인해 능동적이고 적극적인 대응이 필요하며, 온실가스 다 배출업종 저탄소 산업구조로의 전환을 위한 R&D 추진이 필요함[151)]

- 산업발달에 의한 온실가스 증가로 인해 지구온난화가 가속화되어, OECD 국가를 중심으로 탄소중립을 위한 신재생에너지 사용 확대, 미래형 발전시스템 기술개발이 추진됨

- 온실가스 감축을 위한 화석연료 발전비율을 줄이려는 지속적인 노력으로 인해 신재생에너지 발전비율이 급격히 증가하여 2050년 기준 전체 에너지 소비의 50% 이상으로 예상됨

- 경제성장과 온실가스 배출이 분리되는 탈동조화가 시작되었으며 신재생에너지 발전 증가가 탈동조화에 가장 큰 기여를 한 것으로 나타남

❍ 신재생에너지 확대 및 기후변화 대응 발전 플랜트 해외 수출 TRACK RECORD 확보를 위한 핵심 상용화 단위 기술개발이 시급함

- (탄소중립 목표 달성) '2050 탄소중립' 준수를 위한 LNG발전 전환, 화력발전 CCUS 기술지원 등 탄소중립 국가 전략이 중요하고, 30년 온실가스감축목표 달성을 위한 석탄·가스발전 CCUS 분야 등의 연구개발에 대한 정부 지원이 필요함

- (미세먼지 규제강화) 정부는 미세먼지 국내배출량 감축 목표 관련하여 발전·산업·수송·생활 등 4개 부문으로 구분하여 부문별 감축 목표를 수립하였고, 이 중 발전부문은 1.2톤 감축하는 것으로 국가 미세먼지 종합대책과 강화대책에 부합함

  • 미세먼지 종합대책에 근거한 단기 및 중장기 미세먼지 배출 제어를 위한 정책 수립 차원에서 발전·산업 부문 환경설비 고도화를 통한 미세먼지 최소화 달성이 요구됨

□ **대기오염 규제강화에 따른 친환경 新기저발전 상용화 기술개발이 요구됨**

❍ 국내·외 황산화물, 질소산화물, 미세먼지에 대한 규제강화로 인해 차세대 환경설비 수요의 급격한 증가가 전망되고, 개발기술의 산업부문 확대적용을 통해 국가 대기질 개선에 기여 가능함

- 제9차 전력수급기본계획 방향인 안전하고 깨끗한 전원믹스로의 에너지 정책 전환 필요성 증대로 미세먼지·온실가스 문제 대응을 위한 환경설비의 빠른 상업 적용 필요

❍ 대기오염물질 저감형 新기저발전 기술개발이 필요함

- 국내 석탄화력발전소에서 측정되는 총 먼지 중 78 - 88%가 미세먼지 형태로 대기 중에 배출되어 대기오염을 가속화 하므로 집진의 고효율화가 필요함

- 국내에서 운영 중인 석탄화력발전소는 53기로, 충남에서 절반에 해당하는 26기가 운영 중이며 이곳에서 나오는 대기오염물질이 연간 11만 톤을 넘는 것으로 추정됨[152)]

  • 국립환경과학원의 조사결과, 충남지역의 2차 미세먼지 농도는 수도권의 최대 2배 이상 높았으며, 발전시설에서 배출되는 대기오염물질로 인한 사회적 비용이 국가 전체 사회적 비용의 37.5%에 이르는 것으로 추정됨[153)]

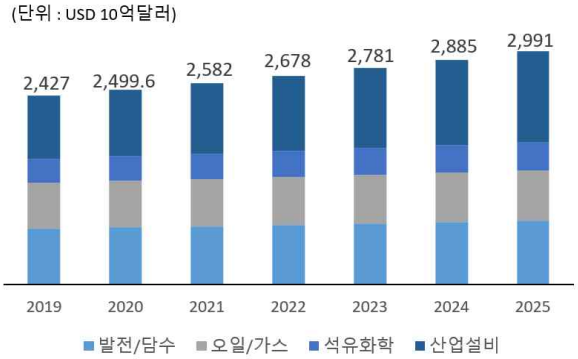
151) 2050 탄소중립 추진전략, 2020년
152) 충남연구원, 대기오염 저감과 새로운 전력수급체제 모색, 2016
153) 한국전력기술(주), 삼천포 5,6호기 환경설비 개선타당성 조사용역 최종보고서, 2016

□ **(해외 플랜트 수주액 감소) 해외 발전부문 플랜트 수출 급감에 따른 대책이 필요함**

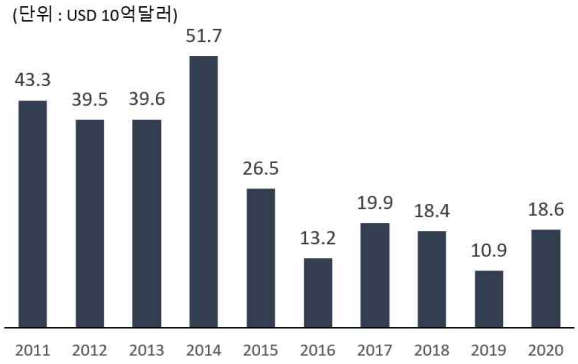
❍ 세계 정책 변화로 발전자금 조달 문제, 국내기술 열위의 신재생에너지 발전 플랜트 수주 저조, 차세대 발전기술 부재 등으로 해외 플랜트 수출 급감

❍ 발전부문 기술 다변화 및 기술경쟁력 강화로 수주 지속성 확보 필요[154)]

– 발전부문 수주 추이 : ('11년) 64,984,162천불 → ('20년) 26,604,325천불



['20년 글로벌 플랜트 시장 전망보고서]



[국내 기업 해외 플랜트 수주 추이]

[그림 200] 플랜트 시장 전망 및 수주 추이

❍ (해외시장 진출) 新기저발전 시장 선점을 위한 조기 투자 및 기술확보가 필수적임

– 대기오염 방지설비 시장은 2015년에는 13,260백만 달러, 2018년에는 14,310백만 달러, 2021년에는 20,870백만 달러로 추정되며, 아시아·태평양 지역의 잠재적 시장규모는 7,590백만 달러로 추정됨[155)]

– 국제에너지기구(IEA)에 의하면, 2014년 세계 경제는 전년 대비 3.4% 성장했음에도 불구하고 연료 연소에 의한 이산화탄소 배출량은 거의 변화가 없는 것으로 나타나서 OECD 국가를 중심으로 온실가스 감축 정책에 따른 탈동조화가 본격적으로 시작되었는데, 에너지효율 개선과 신재생에너지 발전의 빠른 확대가 큰 기여를 한 것으로 나타남

– 개도국에서는 온실가스 배출량이 증가하고 있는 등 여전히 온실가스 배출량이 높은 상황이며 파리협정의 2℃ 이내 온도상승 목표를 달성하기는 어려운 상황으로 차세대 기술개발이 요구됨

– 초청정 환경기술개발을 통해 아시아 개도국을 비롯한 해외시장 진출을 위한 경쟁력 확보가 필요함

□ **정책 기조에 따라 탄소중립 및 대기오염 저감형 발전 목표를 동시에 달성하는 친환경 발전시스템 개발 필요**

154) 한국플랜트산업협회
155) BCC RESEARCH(2017), TRANSPARENT MARKET RESEARCH(2016) 재구성

❍ 대기오염물질 저감을 위한 개선된 성능의 AQCS(AIR QUALITY CONTROL SYSTEM)와 이산화탄소 포집 설비를 연계할 수 있는 초청정 환경플랜트 기술개발이 필요함

- 연소 후 이산화탄소 포집 기술*이 적용된 新기저발전 플랜트 적용이 요구됨

  * PCC, POST COMBUSTION CARBON CAPTURE

- 배연탈황설비(FGD, FLUE GAS DESULFURIZATION) 후단에 이산화탄소 포집 설비를 배치하여 포집 공정에 필요한 오염물질의 사전 제어 필요

- 증기 조건이 고도화된 석탄화력발전에 이산화탄소 포집 설비 추가 적용 시, 약 92%의 이산화탄소 저감 효과가 기대됨

② 시급성

□ **미세먼지 저감 정책 및 온실가스감축 목표 실현**

❍ 국내에서 운영 중인 화력발전소의 환경설비 성능개선 등을 통해 국내 미세먼지 저감 대책 등의 목표 조기달성이 필요함

- 세계시장의 친환경으로의 기조 변화에 따른 해외시장 진출 대응을 위해 오염물질 저감을 위한 환경기술 실증사업 추진이 시급함

❍ 국제사회와 약속한 온실가스감축 목표를 달성해야 함

- 국제사회는 기후변화 문제의 심각성을 인식하고 이를 해결하기 위해 선진국에 의무를 부여하는 '교토의정서(1997년)' 채택에 이어, 선진국과 개도국이 모두 참여하는 '파리협정(2015년)'을 채택했고, 국제사회의 적극적인 노력으로 인해 2016년 11월 4일 협정이 발효됨(우리나라는 2016년 11월 3일 파리협정 비준)

- 대통령은 2020년 10월 28일, 국회 시정연설에서 2050 탄소중립 계획을 처음 천명했으며, 같은 해 11월 3일 국무회의 모두발언을 통해 "우리도 국제사회의 책임 있는 일원으로서 세계적 흐름에 적극 동참해야 한다"며 "기후위기 대응은 선택이 아닌 필수"라고 강조함

- 정부는 2020년 12월 7일 '제22차 비상경제 중앙대책본부회의'를 개최하여 '2050 탄소중립 추진전략'을 확정·발표했고, 같은 해 15일 국무회의에서 '2050 장기저탄소발전전략(LEDS)'과 '2030 국가온실가스감축목표(NDC)' 정부안을 확정함

❍ 미래시장 개척 및 글로벌 시장 선도

- 고효율·초청정 발전플랜트 분야에서 해외 선진사의 시장 카르텔 형성을 견제하기 위해서는, 기 개발된 핵심기술의 실증 및 향후 사업화 기반을 마련하는 것이 필요함

- 아시아 개발도상국 중심으로 고효율·초청정 발전시장이 형성되고 있으며, 개발 완료된 국산 핵심기술의 조기 실증을 통해 시장진입에 유리한 위치를 선점하는 등 경쟁력 확보가 시급함

- (전후방 효과) 초청정 환경플랜트 상용화 기술은 전후방 경제적, 산업적 파급 효과가 큰

국가기간산업임

- (전방산업) 고효율·초청정 및 저렴한 전력생산은 미래 반도체, 자동차 등 국가 핵심 산업에서 경쟁력 우위를 가능케 함
- (후방산업) 국내 보일러-터빈-환경설비 소재·장비·부품 밸류체인 유지 가능함

❍ (에너지 안보) 에너지 연료 다변화로 에너지 안보에 기여

- 유연한 에너지믹스 유지로 대외 환경변화에 무관하게 안정적인 전력 단가 유지
- 국산화 기술을 활용하여 국내 복합발전플랜트 건설 및 해외 선진社의 독점 견제

❍ 국산화 기술개발·상용화 속도 가속화

- (차세대 환경설비) 남부발전은 하동 7,8호기 환경설비를 개선하기 위한 연구과제를 수행 중이며, 2021년 5월 중 도출된 연구용역 결과물을 근거로 추진하고 있음
- 개발 완료된 환경설비 개선사업이 추진될 예정이나, 발전사에서는 운전 실적이 없는 연구결과물(EME, ADVANCED FGD 등)의 적용을 검토하지 않고 있어서 국가 지원을 통한 조기 실증이 절실히 필요한 상황임

③ 국고지원 타당성

□ **(제도 부합) 정부 추진 정책 실현**

❍ 미세먼지 관리 종합계획 정책 실현

- 정부 관계부처 합동 '미세먼지 관리 종합계획(2020 - 2024년)'을 준수하기 위해 국산 환경설비의 상용화를 지원해야 함
- 발전부문 미세먼지 배출량의 획기적 감축 및 산업 분야 확대적용이 가능함

□ **(발전 산업 생태계 유지) 국내 화력발전 산업 유지**

- 소재·부품·장비 국산화 및 밸류체인 유지
- 제작사·발전사 고용 유지 및 전문인력 유출 방지
- 기존 화력발전 전문인력의 신재생에너지 전문인력으로 전환 시간 확보
- 최고 수준 설계·건설·운영 기술확보 및 해외 발전사업 진출 교두보 마련
- 2050 탄소중립 목표 및 신재생 확대 정책 실현
  - '2050 탄소중립' 준수를 위한 LNG발전 전환, 화력발전 CCUS 기술지원 등 탄소중립국가 전략 및 2030년 온실가스감축목표 달성을 위한 석탄·가스발전 CCUS 등 분야 연구개발 정부 지원 필요

④ 미시행시 문제점

❍ 정부는 2023년까지 사업장 초미세먼지 배출량을 절반으로 감축하고 미세먼지 대응 新시장(국내

17조원, 해외 30조원)을 창출하는 것을 목표로 수립함

- 국가 R&D 역량을 집중하여 미세먼지의 1) 발생·유입, 2) 측정·예보, 3) 집진·저감, 4) 보호·대응 등 4대 분야의 근본적·과학적 해결책을 마련하고자 함
- 정부는 최근 3년간 미세먼지 분야에 2,116억원*을 투자하였으나, 국민 불안감은 증가하는 추세임

  * 2018년 기준 942억 원, 환경부 48.9% 461억 원

- 그간의 정부 노력 등으로 최근 우리나라의 미세먼지 연평균 오염도 수준은 낮아지거나 유지되고 있으나, 고농도 미세먼지 발생 일수 증가, 미세먼지 농도 최고치 갱신 등 국민들이 체감하는 미세먼지 상황은 악화됨
- 2018년 환경부에서 실시한 설문조사에 따르면, 국민들은 우리나라 미세먼지 오염도를 심각하다고 인식하고 있으며, 정부의 미세먼지 대책에 대해서 고농도 미세먼지 해소와 중국발 미세먼지 해결이 미흡하다고 생각하는 것으로 나타남

나. 기획추진 개요

(1) 기획 범위

① 기술의 정의

□ **초청정 환경설비 실증**

○ 미세먼지 집진설비

- 500MW급 SCALE-UP 기본설계 및 상세설계* 기술개발

  * P&ID, MASS BALANCE, PROCESS 등

- RETROFIT FGD 연계 EME 상세설계 기술개발
- EME 시스템 엔지니어링 및 설치 기술개발
- 시운전을 통한 운전 절차 수립
- 성능 검증 및 장기운전을 통한 개선방안 도출
- 성능 개선방안 검증

○ 탈황설비

- 저압 SPRAY 노즐 개선 등 개선안 검토
- NL-GGH 설계 개선 및 운전데이터 확보를 위한 계측기 추가 검토
- FGD 시스템 개선 기본 및 상세설계 기술개발
- 탈황설비 운영 및 데이터 분석을 통한 성능 검증

❍ 탈질설비

- 성능개선을 위한 탈질시스템 엔지니어링 기술개발
- 유동 개선을 위한 CFD 해석
- 암모니아 주입 그리드(AIG), GAS FLOW 등 개선안 도출

❍ 연소 후 이산화탄소 포집설비

- 공정사 별 기술 검토 및 최적 기술 선정
- DESIGN CRITERIA 및 PHILOSOPHY 개발
- PCC 성능 및 PROCESS DATA 획득
- 공종 별 DESIGN DATA 및 SPECIFICATION 수립
- 제어 및 안전 설계 PHILOSOPHY 수립

② 기술분류체계

□ **청정 환경설비 실증 기술은 친환경 공정, 대기질 관리, 온실가스 처리기술로 분류할 수 있고, 환경설비 플랜트 건설 및 운용기술은 플랜트 설계·건설 기술, 플랜트 운용기술, 플랜트 안전기술, 사업화 기술로 분류됨**

[표 89] 기술분류체계

대분류	중분류	소분류
초청정 환경설비 실증	친환경 공정	배출량 저감 최적화기술
	대기질 관리	미세먼지오염 개선기술
		대기오염 방지기술
	온실가스 처리	이산화탄소 포집기술
		이산화탄소 전환기술
		이산화탄소 저장기술
		NON-이산화탄소 처리기술
플랜트 건설·운영	플랜트 설계·건설	플랜트 설계
		건설/시운전
	O&M	디지털 HANDOVER 체계
		전력계통 연계
		자동제어/자율운전
	안전	통합공정안전
		위험도평가
		안전기준
	사업화	정책/경제적 타당성
		사업화모델
		규제 및 제도 보완

(2) 기획 추진체계

□ **총괄기획위원회**

○ 총괄기획위원회는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원 담당자 및 주관·위탁연구기관 연구책임자로 구성

○ 총괄기획위원회 역할

- 과제기획 총괄
- 연구과제 목표 및 범위 검토
- 기술개발 및 실용화 전략 검토
- 최종 기획보고서 검토·확정

□ **자문위원회**

○ 효율적인 국내외 기술동향조사 및 기술개발과제 도출 등을 위하여 세부 기술별로 관련 기업, 연구기관, 대학 및 수요기관의 전문가로 구성

- 순환유동층 보일러, 환경설비, 하이브리드발전 플랜트 연구·설계·시공·운영 경험이 있는 기관

○ 자문위원회에는 주관·위탁연구기관의 기획 주도성을 위해 주관·위탁연구기관 연구책임자 및 참여연구원 포함

○ 자문위원회 역할

- 관련 분야 메가트렌드 조사·전망
- 민간 참여분야 도출 및 사업성 검토
- 연구과제 도출
- 연구과제 추진체계 설정
- 연구과제 목표 및 범위 설정
- 연구과제 기술개발 전략 수립
- 사전 타당성 검토 및 최종기획보고서 검토

○ 기획추진체계



[그림 201] 기획연구 추진체계

[표 90] 기획 추진체계 구성 및 역할

구분	소속·구성	역할
주관연구기관	두산중공업	기획주관 자문위원회
위탁연구기관	전북대학교	순환유동층 공동기획 자문위원회
용역기관	전력연구원	순환유동층 기획지원
용역기관	부산대학교	하이브리드발전 기획지원
용역기관	한양대학교	환경설비 기획지원

[표 91] 자문위원회 구성

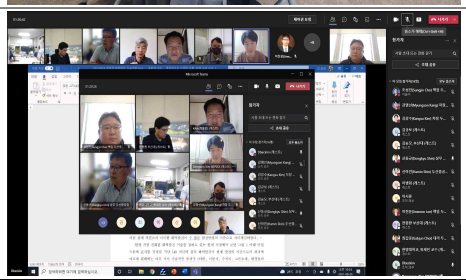
소속	성명	분야
현대중공업	김정래 이사	순환유동층
남부발전	안영현 차장	순환유동층
에너지기술연구원	선도원 박사	순환유동층
에너지기술연구원	류호정 박사	하이브리드발전
생산기술연구원	이은도 박사	하이브리드발전
기계연구원	길상인 박사	환경설비
부산대학교	전충환 교수	하이브리드발전
연세대학교	황정호 교수	순환유동층
연세대학교	서용칠 교수	환경설비
교통대학교	김성원 교수	순환유동층
호서대학교	송금주 교수	환경설비

(3) 기획 추진경과

[표 92] 기획 추진경과

일자	기획 활동	활동 내용
‘20.06.23	착수회의	추진계획 보고, 기획내용 추가·보완
‘20.07.08	내부 착수회의(전북대)	위탁연구 추진계획 협의
‘20.10.15	내부 착수회의(전력연)	용역 연구 추진계획 협의
‘20.10.22	1차 산·학·연 자문회의	기획연구 결과 산·학·연 전문가 자문
‘20.11.26	KAIA 보고	기획연구 결과 KAIA 보고, 중간보고서 목차 협의
‘20.12.10	국토부 보고	기획연구 결과 국토부 보고
‘21.04.23	2차 산·학·연 자문회의	기획연구 결과 산·학·연 전문가 자문
‘21.04.23	공청회	기획연구 결과 산·학·연 전문가 대상 공청회(화학공학회) 개최 및 의견 수렴
‘21.06.08	3차 산·학·연 자문회의	기획연구 결과 산·학·연 전문가 자문
‘21.07.09	KAIA 보고	기획연구 결과 KAIA 보고
‘21.08.26	용역 중간보고	기획연구 결과 KAIA 보고 환경설비·하이브리드발전 용역 중간보고

[표 93] 기획활동 사진 자료

일자	기획 활동	사진 자료
‘20.10.22	1차 산·학·연 자문회의	
‘21.04.23	2차 산·학·연 자문회의	
‘21.04.23	공청회	
‘21.06.08	3차 산·학·연 자문회의	
‘21.08.26	용역 중간보고	

2. 동향 및 환경분석

가. 정책동향 분석

(1) 국외 정책동향 분석

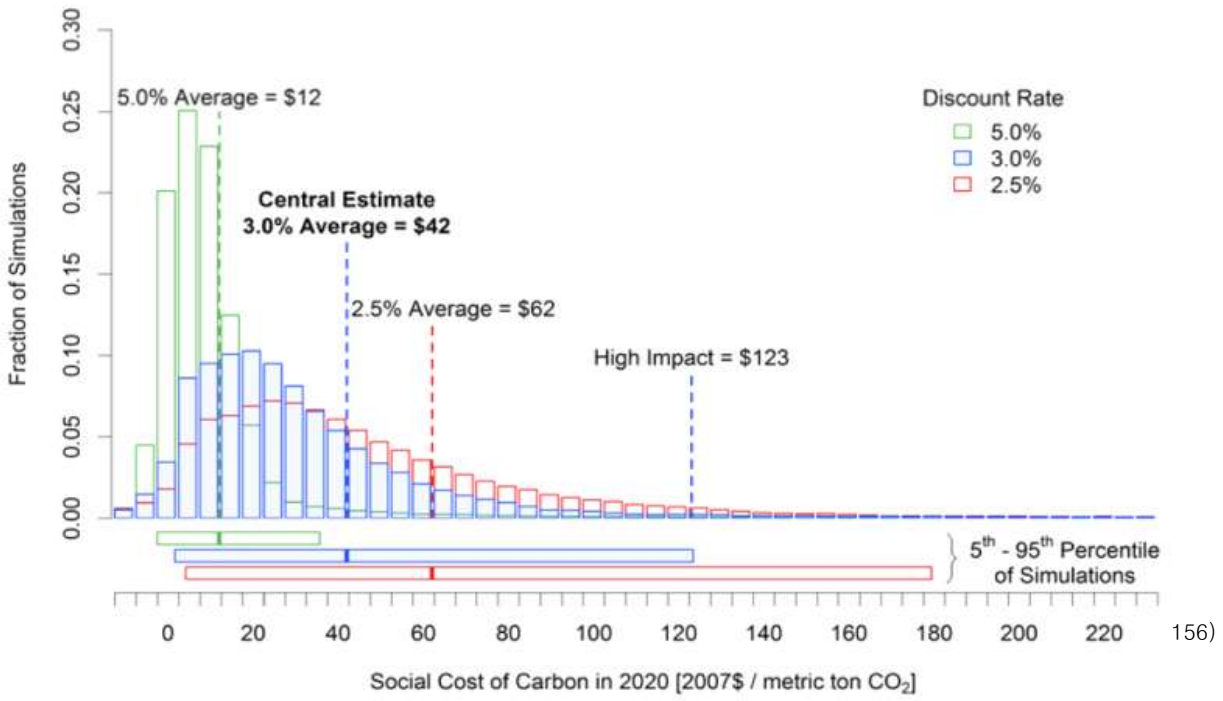
① 미국

□ **4년 주기로 국회와 행정부에 '국가 기후평가 보고서(NATIONAL CLIMATE ASSESSMENT)'를 제출하는 US GLOBAL CHANGE RESEARCH PROGRAM(USGCRP)을 운영 중임**

- USGCRP는 13개의 연방정부 기관과 협력하여 연구하는 범정부적 연구 협의체로 기후변화를 포함한 범지구적 환경의 변화와 사회적 영향 등을 연구하는 연방정부 연구 프로그램임

□ **2000년부터 2018년까지 네 차례의 '국가 기후평가 보고서'를 의회와 행정부에 제출했으며, 다음 보고서는 2023년에 제출될 예정임**

- 미국 바이든 행정부는 재생에너지 확대 및 에너지효율 개선을 강조한 오바마 정부의 정책 계승을 약속하며 그린뉴딜 정책을 발표하고 탄소세 및 탄소국경세 시행 등을 예고함



156)

[그림 202] 미국의 2020년 탄소 배출의 사회적 비용

- 바이든 신행정부의 주요 기후·에너지 정책은 파리협정 재가입 및 2050 탄소중립 선언, 기후 및 청정에너지 RDD&D(RESEARCH DEVELOPMENT DEMONSTRATION AND DEPLOYMENT) TF가 구성됨

- 유럽과 유사하게 모든 탄소 배출 활동에 가격을 매겨, 탄소 감축 활동을 독려, 타국

156) Technical Update Of The Social Cost Of Carbon For Regulatory Impact Analysis, Technical Support Document, 2016

수입품에도 탄소 조정세를 적용하여, 미국으로 수출하는 국가들의 탄소 감축 의무 이행을 유도함

□ **'청정에너지·인프라 계획' 추진을 통해 2050년까지 경제 전반에 걸쳐 탄소 배출 '넷-제로(NET-ZERO)'를 달성할 계획임**

- 기후변화 대응을 위한 5대 투자 부문으로 구성된 계획은 바이든의 핵심 대선공약으로, 임기 4년간 2조 달러 규모의 예산 투입을 통해 일자리 100만 개를 창출한다는 목표를 제시함*

  * 인프라, 자동차, 전력, 건축, 청정에너지 혁신

- 이에 따라 캘리포니아는 재생에너지 전력 목표 50% 달성 시기가 '30년에서 '26년으로 앞당겨졌고, '30년은 목표는 10% 인상되었으며, '45년에는 100%를 목표로 함

- 전력 부문에서 '35년까지 전기발전 부문의 탄소 배출량 제로 달성과 이산화탄소 포집 기술개발을 위한 투자 및 조세 인센티브 2배 확대, 추가로 10년 이내에 '그린 수소'를 기존 수소와 동등한 비용으로 제공할 것을 제시함

□ **과학기술혁신**

- 국가기후 TF 내부에 국가기후혁신워킹그룹(CLIMATE INNOVATION WORKING GROUP)을 신설하고, ARPA-C(ADVANCED RESEARCH PROJECTS AGENCY-CLIMATE)를 통해 탄소중립 관련 연구개발을 촉진할 예정임

- 미국 에너지부는 ARPA-E(ADVANCED RESEARCH PROJECTS AGENCY-ENERGY)를 통하여 혁신적인 저탄소 에너지기술에 대해 1억 달러를 지원할 예정임

□ **대기오염물질 저감 대책**

- 자국의 환경을 반영한 대기 초미세먼지의 유기성분 생성 수율 및 전구물질의 물질별 기여도 등을 파악하여 저감 대책 수립에 활용함

- 집중관측소 연구를 통하여 주요 오염원을 파악하고, 오염원별 저감 정책을 수립함

- 2015년부터 개정된 PM2.5 기준으로 기준 초과 지역 설정, 기준을 초과한 지역에 한하여 SIP(STATE IMPLEMENTATION PLAN)을 제출하도록 요구하고 있음

② EU

□ **EU 집행위원회는 2019년 12월 발표한 유럽 그린딜(EUROPEAN GREEN DEAL)을 통해 '2050년까지 탄소중립' 목표를 제시함**

❍ 2030년까지 탄소배출을 1990년 수준 대비 최소 55% 감축하는 것을 목표로 제시함

❍ 법적 구속력을 부여하기 위해 '유럽 기후법(EUROPEAN CLIMATE LAW)' 법안을 발의하여 채택 절차를 진행하고 있음

- 유럽의회에서는 목표를 1990년 대비 60% 감축하는 것으로 강화하였으나, 현재까지 유럽연합

각료이사회의 동의를 얻지 못한 상태임

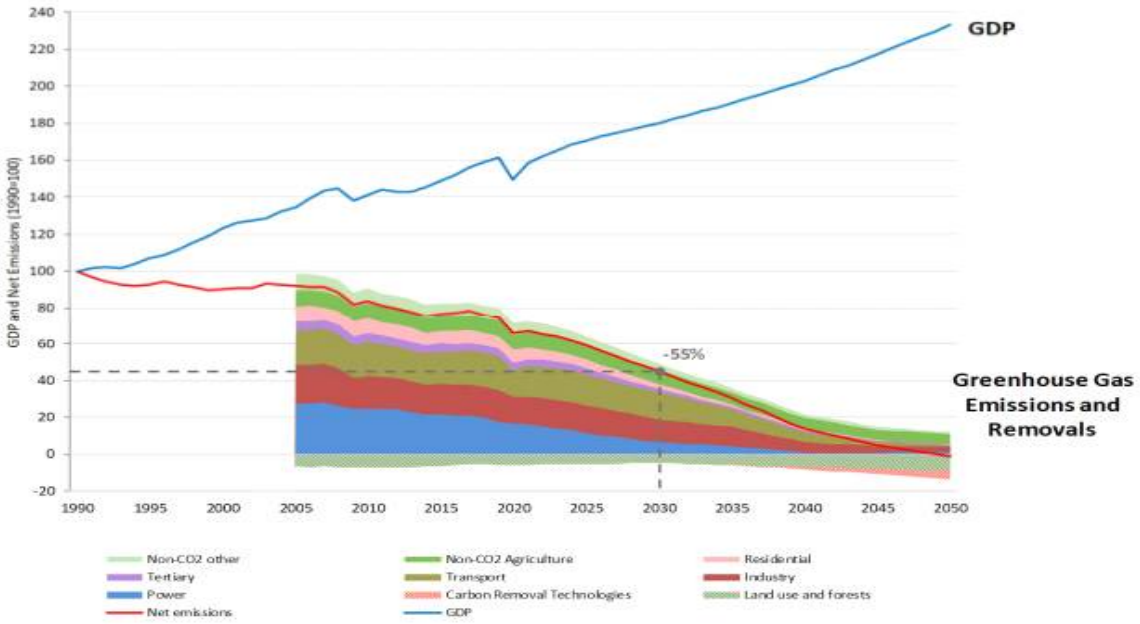
❍ 2050년 탄소중립 목표 달성을 위해 유럽 그린딜은 청정에너지, 순환경제, 에너지 효율적 건축, 지속가능한 수송 등의 분야에서 정책 패키지와 실행 로드맵을 제안함[157]

- [청정에너지] △해상풍력을 활용한 재생에너지 전략(2020년 11월 발표) △에너지 효율 제고를 위한 「에너지법」 개정(2021년 6월까지) △회원국별 에너지 및 기후변화 계획 개선(2023년까지)
- [순환경제] △지속가능한 산업으로 전환 △재활용 가능 물질 및 제품 개발을 통한 관련 시장규모 확대 △디지털기술을 활용하여 제품의 탄소 배출 관련 정보를 소비자에게 제공
- [자원 효율적 건축] △건물의 에너지 사용 효율성을 제고를 위한 회원국별 중장기 전략 평가 △에너지 혁신을 가로막는 장애 요인 식별 및 철폐를 위한 논의 실시
- [지속가능한 수송] △지속가능한 스마트 수송전략(2020년 12월 발표) △해양 및 항공 부문의 배출권거래제(ETS: EMISSIONS TRADING SYSTEM) 편입 △자율자동차, 커넥티드카 등 다양한 운송수단 개발, 스마트 도로관리 시스템 연계

❍ (EU) 탄소중립 달성을 위한 구체적인 실행계획은 2020년 9월 발표한 '2030 기후목표 계획'에 제시되어 있음[158]

- 2020년 20% 감축 목표를 달성하였고, 2030년 목표였던 1990년 수준 대비 40% 감축을 50% 감축으로 강화함

157) 유럽 그린딜이 한국 그린뉴딜에 주는 정책 시사점, KIEP 오늘의 세계경제, 대외경제정책연구원, 2020
158) HTTPS://EC.EUROPA.EU/CLIMA/POLICIES/EU-CLIMATE-ACTION/2030_CTP_EN



[그림 203] EU의 탄소중립 달성 계획(1990 – 2050)

- 2030 및 2050 목표 달성을 위해 산업, 교통, 건축 분야에서 친환경 재생에너지 비중 증대, 이산화탄소 외 온실가스감축을 위한 폐기물 처리 및 농축산업 분야 기술 개선, 배출권거래제 강화 등을 제시함
- 이에 더하여 탄소 포집 기술개발, 삼림 조성 및 토지의 효율적 사용을 통해 대기 중 탄소 흡수량도 점차 늘려갈 예정임

❍ (EU) 회원국 별 탄소감축 목표 시한 및 진행 수준이 다르며 「유럽 기후법」이 채택된 이후 회원국에서 새로운 감축 목표를 제시할 예정

- 폴란드를 제외한 EU 회원국은 늦어도 '50년까지 탄소중립을 달성하겠다는 목표를 내세움
- EU 회원국의 경우 탄소중립 목표와 별도로 '30년까지 1990년 수준 대비 40% 감축을 목표로 정책을 실행하고 있으며, EU 의회는 '20년 10월에 1990년 수준 대비 60% 감축으로 목표를 상향 조정한 바 있음

□ **대기오염물질 저감 정책**

- 대기오염물질의 기존 법령을 현대화하고 주요 오염물질에 대한 집중적인 해결전략을 마련 중임
- 오염물질을 높게 배출하는 차량의 통행을 제한하는 LEZ(LOW EMISSION ZONE)를 설정해 운영하고 있으며, 영국, 스웨덴, 노르웨이 등 유럽 각국에서 대도시 위주로 시행 중임

③ 일본

□ **2050년까지 온실가스 배출량 80% 저감을 골자로 하는, '파리협정에 근거한 성장전략으로서의**

장기전략(2050년 장기 저탄소 발전전략)'을 발표함(2019년 6월)

❍ 일본 정부가 제시한 발전전략은 2050년까지 온실가스 배출량을 현재의 80% 수준으로 감축하여 최종적으로는 탄소중립을 금세기 후반까지 가능한 한 빨리 실현하는 것임

- 현재 온실가스 배출량 중 이산화탄소가 차지하는 비중이 약 90%이고 이산화탄소 배출량은 연간 0.3억 톤 정도의 속도로 감축이 진행되고 있으며, 일본 정부는 이산화탄소 배출 저감을 위해 에너지 공급 저 탄소화, 에너지 소비효율 개선 등을 추진하고 있음
- 에너지 공급 저 탄소화를 위한 비 화석연료 전력발전 비율을 19%→44%까지 높임
- 일본 에너지 기본계획의 목표는 안정적, 지속적, 자립적인 에너지 공급을 통해 일본 경제사회의 발전과 국민 생활 편의 향상과 지속 가능한 발전에 기여임

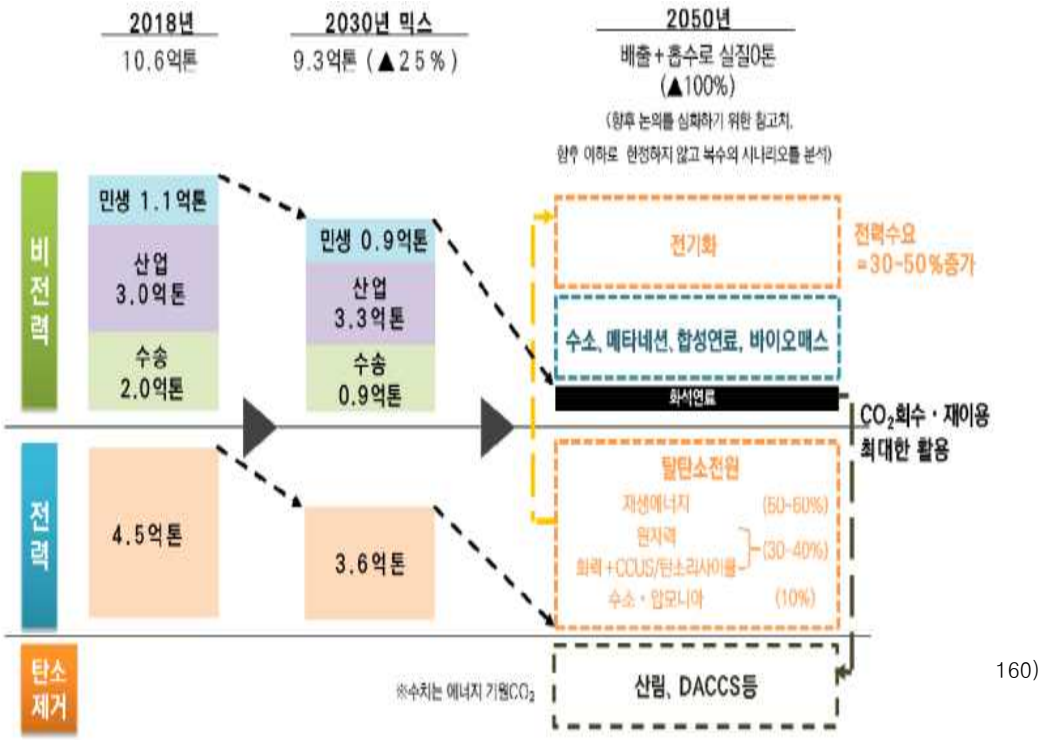
❍ [배출 저감 대책] 일본 정부는 목표 달성을 위해 에너지, 산업, 수송, 지역·삶 등 총 4개 부문에서의 배출 저감 대책과 정부 차원의 횡단정책을 제시함

- [에너지] ①재생에너지 주 전력화 ②원자력·화력에 대한 의존도 축소 ③에너지 소비효율 향상 등을 통한 이산화탄소 배출 절감 추진
- [산업] ①산업계의 자주적인 절감 노력 ②CCS·CCU(탄소 포집) 기술의 활용을 통한 원료 전환 ③에너지 소비효율 향상 등을 통해 탄소중립 추구
- [수송] ①2050년까지 일본산 자동차에 세계 최고 수준의 친환경적 성능 실현 ②자율주행 자동차, 커넥티드카 등의 보급 ③친환경 드라이브 지원 시스템의 보급 등
- [지역·삶] ①가능한 지역·기업부터 2050년 이전에 탄소중립 실현 ②탄소중립적 삶 : 주택·사무실의 건축 구조가 ZEH(ZERO ENERGY HOUSE)·ZEB(ZERO ENERGY BUILDING)에 준하도록 하는 기술개발 및 보급, 라이프스타일 전환 등

❍ [횡단정책] 기술혁신, 금융기관이 탄소중립을 뒷받침하는 녹색 금융, 정책·제도 구축 및 국제공조 등을 추진함

- 스가 총리는 탄소중립의 핵심으로 차세대 태양전지, 탄소 순환(CARBON RECYCLE) 등의 이노베이션을 언급하면서, 이를 위해 ①실용화를 고려한 연구개발 가속화 ②환경 관련 규제개혁 ③에너지 소비효율 향상 ④재생에너지 도입 등을 통해 기존 석탄화력발전에 의존한 정책을 근본적으로 전환하겠다고 선언함
- 일본 경제산업성은 2050년 탄소중립을 실현하기 위해 중점적으로 육성할 14개 산업 분야와 이를 뒷받침할 정책수단이 포함된 '2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략 실행계획'을 발표함(2020년 12월 25일)[159]
- [실행계획] 일본 정부는 에너지, 수송·제조, 가정·사무실 등 크게 세 분야에서 탄소중립과 관련하여 총 14개 산업을 선정하고, 산업별 현황 및 목표·주요 실행계획을 제시함

159) 経済産業省(2020. 12. 25), 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」.



160)

[그림 204] 2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략

□ **대기오염물질 저감 정책**

- 정부 차원에서 친환경 자동차 보급, 매연 저감 장치 설치, 자동차 배출가스 규제, 연료품질 규제 등 국내와 유사한 정책을 시행 중임
- 도쿄시는 2011년부터 배기가스와 미세먼지를 기존보다 75% 이상 줄이는 프로젝트에 돌입했으며, 수소차, 전기차, 하이브리드 차량을 확대 중임

④ 중국

□ **2030년을 기점으로 탄소배출량을 감축하고 2060년까지 탄소배출 중립을 달성할 것이라고 발표하여 정부 차원에서 처음으로 탄소중립에 대한 목표 연도를 제시함(2020년 9월)**[161]

❍ 유엔총회에서 탄소중립을 선언, '제14차 5개년 계획 및 2035 장기 목표 강요'를 발표하고 그간 중국의 미온적 이미지를 탈피하고 선도적 역할 수행을 위한 정책 추진

- 중국은 '21년 2월 전국 범위의 탄소배출권 거래시장 수립의 기반이 되는 법안을 도입함
- 중국 국무원은 2020년 12월 31일 「탄소배출권 거래시장 관리방법」을 발표하였으며, 생태환경부는 적법한 전국 탄소배출권 등록 및 거래 기관을 조직하고 관련 시스템을 구축할 계획임
- 경제성장, 산업구조 조정, 에너지구조 최적화, 대기오염물질 배출규제 등을 고려해 탄소

160) 일본 경제산업성 홈페이지, 20년 12월 25일
161) https://baijiahao.baidu.com/s?id=1682342923502148062&wfr=spider&for=pc

배출량 총량 확정 및 배분 방안도 마련할 예정임

- 2021년 3월 중국 전국인민대표대회에서 발표된 14차 경제·사회발전 5개년 계획(2021 - 2025년)에 구체적인 내용이 포함됨

- 탄소중립 선언 이후 칭화대학교의 기후변화 및 지속가능발전연구소에서 발표한 로드맵에 따르면, 2060년까지 탄소중립을 달성하기 위해서는 2020년 기준 온실가스 배출량을 90% 감축해야 한다고 밝히고 있음[162)]

❍ 2030년까지는 기존의 배출량을 줄이는 것보다 추가적인 배출량을 줄이는 것이 우선되어야 할 것이라고 언급함

❍ 중국 내에서는 시진핑 주석의 탄소중립 선언이 기후변화 대응에 있어 선도적인 역할을 수행하고자 하는 의지를 표명한 것이라 평가함

- 중국 내부에서는 그동안 시진핑 정부가 녹색전환, 저탄소, 지속가능한 발전을 강력히 추진하고 기후변화, 생물다양성, 화학품 등의 분야에서 국제 환경 관련 조약의 의무를 성실히 이행함으로써 그 효과를 거두었다고 평가하고 있음

[표 94] 중국의 단계별 탄소중립 추진 방향

구분	1단계(-2030년)	2단계(-2060년)
내용	• 환경보호를 위한 '제14차 5개년 (2021-2025) 계획'을 통해 2030년 이전에 탄소 배출 정점 도달을 목표로, 전국 탄소 시장 구축을 가속화 • 에너지구조를 개선하고, 신규 에너지 수요는 주로 비화석 에너지의 신규 공급으로 충족하고 있으며, 기본적으로 석탄, 석유 등의 화석에너지가 다시 증가하지 않도록 제한	• 에너지시스템을 '신에너지와 재생에너지로, 제로에 가까운 배출 에너지시스템 구축'으로 전환 • 석탄, 석유, 천연가스 등의 소비는 극도로 낮은 수준으로 유지되고, 이산화황, 질소산화물, PM2.5 등의 오염물질 배출 저감

163)

□ **대기오염물질 저감 정책**

- 대기오염 수준이 가장 심각한 중국은 '14년부터 미세먼지 저감을 위해 1조 7000억 위안을 투입하기로 하였으며 핵심 사업으로 '20년까지 500만대의 전기차를 보급함

- 난징시는 '14년 '대기오염 예방규정'을 발표, 오염물 배출 기업에 대한 강제적인 단전, 단수를 진행하고 있음

162) https://chinadialogue.net/en/climate/researchers-unveil-roadmap-for-a-carbon-neutral-china-by-2060/
163) 국가나노기술정책센터(2021.1), 탄소중립 정책동향과 나노기술

(2) 국내 정책동향 분석

① 국정운영 5개년 계획

□ **'제22차 비상경제 중앙대책본부회의'에서 '2050 탄소중립 추진전략'을 확정·발표함(2020년 12월)**

○ 정책 추진을 통해 탄소중립 경제성장 및 삶의 질 향상을 동시에 달성하기 위해 능동적으로 대응함

- 대통령 직속 민관합동 '2050 탄소중립위원회' 설치
- 산업통상자원부에 에너지 전담 차관 신설

○ 경제구조의 저탄소화, 新유망 저탄소산업 생태계조성, 탄소중립사회로의 공정전환, 탄소중립 제도적 기반 강화의 3+1 전략을 추진함

[표 95] 2050 탄소중립 추진전략

전략	내용
경제 구조의 저탄소화	• (에너지 전환 가속화) 에너지 주공급원을 화석연료에서 신·재생에너지로 적극 전환, 송배전망 확충, 지역생산·지역소비의 분산형 에너지시스템 확산 • (고탄소 산업구조 혁신) 철강, 석유화학 등 탄소 다배출 업종 기술개발지원, 고탄소 중소기업 대상 맞춤형 공정개선 지원 등 • (미래모빌리티로 전환) 친환경차 가격·충전·수요 혁신을 통해 수소·전기차 생산, 보급확대, 전국 2천만 세대 전기차 충전기 보급, 도시·거점별 수소 충전소 구축 • (도시·국토 저탄소화) 신규 건축물 제로에너지 건축 의무화, 국토 계획 수립 시 생태자원 활용한 탄소흡수기능 강화
신유망 저탄소 산업 생태계 조성	• (신유망 산업 육성) 차세대전지 관련 핵심기술 확보, 그린 수소 적극 활성화하여 2050년 수소에너지 전체의 80% 이상을 그린 수소로 전환, 이산화탄소 포집 기술 등 혁신기술 개발 • (혁신 생태계 저변 구축) 친환경·저탄소·에너지 산업 분야 유망기술 보유기업 발굴·지원, 그린 예비 유니콘으로 적극 육성, 탄소중립 규제 자유 특구 확대
탄소중립 사회로의 공정전환	• (취약 산업·계층 보호) 내연기관차 완성차 및 부품업체 등 축소산업에 대한 R&D, M&A 등을 통해 대체·유망분야로 사업전환 적극 지원, 맞춤형 재취업 지원 • (지역 중심의 탄소중립 실현) 지역 중심 탄소중립 실행 지원, 지역별 맞춤형 전략 이행을 위한 제도적 기반 정비 • 탄소중립 사회에 대한 국민 인식 제고
탄소중립 제도적 기반 강화	• (재정)'기후대응기금(가칭)' 신규조성, 세제·부담금·배출권거래제 등 탄소가격 체계 재구축, 탄소인지 예산제도 도입 검토 • (녹색금융) 정책금융기관의 녹색 분야 자금지원 비중 확대, 저탄소 산업구조로의 전환을 위한 기업지원, 기업의 환경 관련 공시의무 단계적 확대 등 금융시장 인프라 정비 • (R&D) CCUS, 에너지효율 극대화, 태양전지 등 탄소중립을 위한 핵심기술 개발 집중지원

164)

□ **정부의 2050 탄소중립 정책에 의하면, 가스발전 전환, 화력발전 CCUS 기술지원 등 탄소중립 국가 전략을 정의하였고, 탄소중립은 전 세계적 아젠다로 부상함**

- 국내에서는 2020년 현재의 신재생 발전설비용량 20.1GW(15.8%)를 2034년까지 78GW(40%)로 확대하는 계획을 수립하고 있으며, 세계적으로는 2017년 25%의 전기를 생산하고 있는 신재생이 2050년까지 86%로 확대될 것으로 전망됨

○ 국회에서 기후위기 대응과 그 목표를 '2050년 탄소 배출 중립'으로 분명히 제시한 만큼 보다 구체적이고 실질적인 로드맵과 정책수단이 필요함

164) 대한민국정책브리핑, 2050 탄소중립, 2020. 12. 21

- 화석연료 발전 중심의 전력공급 체계를 재생에너지와 그린 수소 중심으로 전환하고 이산화탄소 포집 기술 등을 활용하여 탈탄소 미래기술 개발 및 상용화를 촉진함

- CCUS 실증 및 저장기지 구축을 통해 CCUS 조기 상용화를 추진하고, 포집 탄소를 원료 또는 연료로 재합성하는 탄소 순환사업을 육성함

- 신재생에너지, CCUS, ICT 활용 융합·혁신 등 분야별 핵심기술 확보 전략으로 '탄소중립 R&D 전략'을 수립함

- 핵심기후 유망기술의 개발 난이도와 목적을 고려하여 단기 집중투자(범부처 프로젝트) 및 장기적 혁신기술 개발연구를 병행함

□ **환경부는 2021년 3월 탄소중립 실현의 선도적 역할 수행을 위해 "2050년 탄소중립 실현을 위한 2021년 환경부 탄소중립 이행계획"을 발표하고 추진함**

- 탄소중립 시나리오 마련, 부문별 핵심 추진전략을 수립하여 국가 온실가스 감축 목표를 상향하는 등 탄탄한 이행체계를 구축하여 추진함

- 재생에너지 확대(5개 댐에 수상 태양광 등), 미래차 보급(누적 30만대), 순환경제 등 각 분야별 탄소중립 과제를 촉진함

- P4G(녹색성장과 글로벌 목표 2030을 위한 연대)의 성공적 개최 등 국제사회에서 탄소중립 관련 국가 위상 제고

② 제4차 과학기술기본계획

□ **제4차 과학기술기본계획은 국가 과학기술 관련 정책 수립 및 추진 방향을 제시하는 최상위 계획임**

○ 2040년까지의 장기적 비전으로 과학기술이 지향해야 할 바람직한 미래사회의 모습을 구체적인 목표로 제시함

- '과학기술로 국민 삶의 질을 높이고 인류사회 발전에 기여'하는 비전을 설정하고, 4대전략과 19개 중점추진과제, 120대 중점과학기술을 제시함

③ 한국판 뉴딜 종합계획

□ **정부는 2020년 7월 대통령 주재 한국판 뉴딜 국민보고대회(제7차 비상경제회의)를 개최하여 「한국판 뉴딜 종합계획」을 확정 발표함**

○ 추격형 경제에서 선도형 경제로, 탄소 의존 경제에서 저탄소 경제로, 불평등 사회에서 포용 사회로의 도약을 위해 수립됨



165)

[그림 205] 한국판 뉴딜 종합계획 추진전략

④ 2050 탄소중립 추진전략

□ **탄소중립이라는 대전환 시대에 능동적으로 대응하기 위해 정부는 관계부처 합동으로 '2050 탄소중립 추진전략'을 마련하고 2020년 12월 '제22차 비상경제 중앙대책본부회의'에서 그 내용을 발표함**

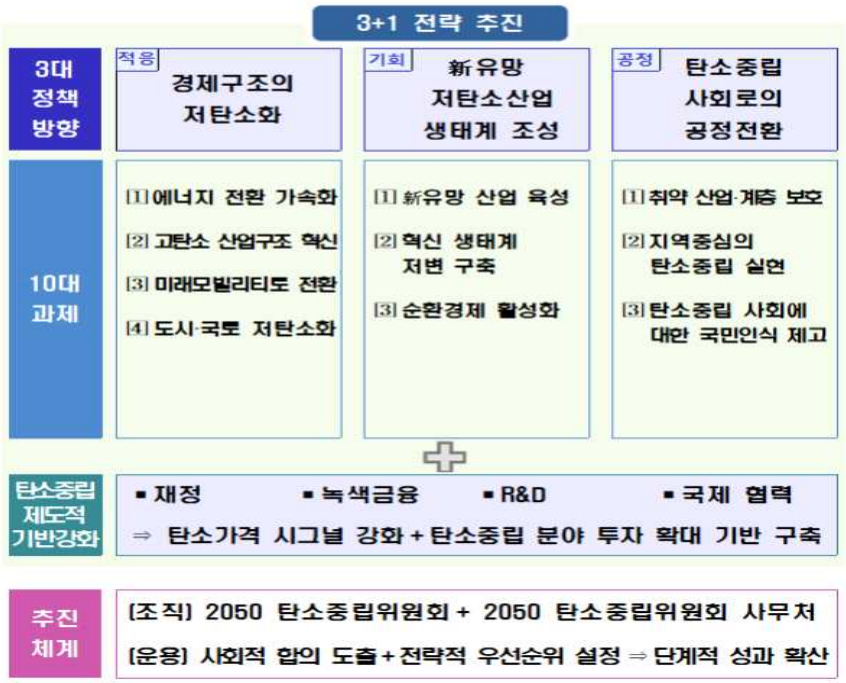
- "적응적(ADAPTIVE) 감축"에서 "능동적(PROACTIVE) 대응"으로 탄소중립·경제성장·삶의 질 향상을 동시에 달성하는 것을 목표로 함

⑤ 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획

□ **국토교통과학기술에 관한 장기적이고 종합적인 정책 방향을 설정하고 중장기 투자계획을 정하는 최상위 법정 종합계획임**

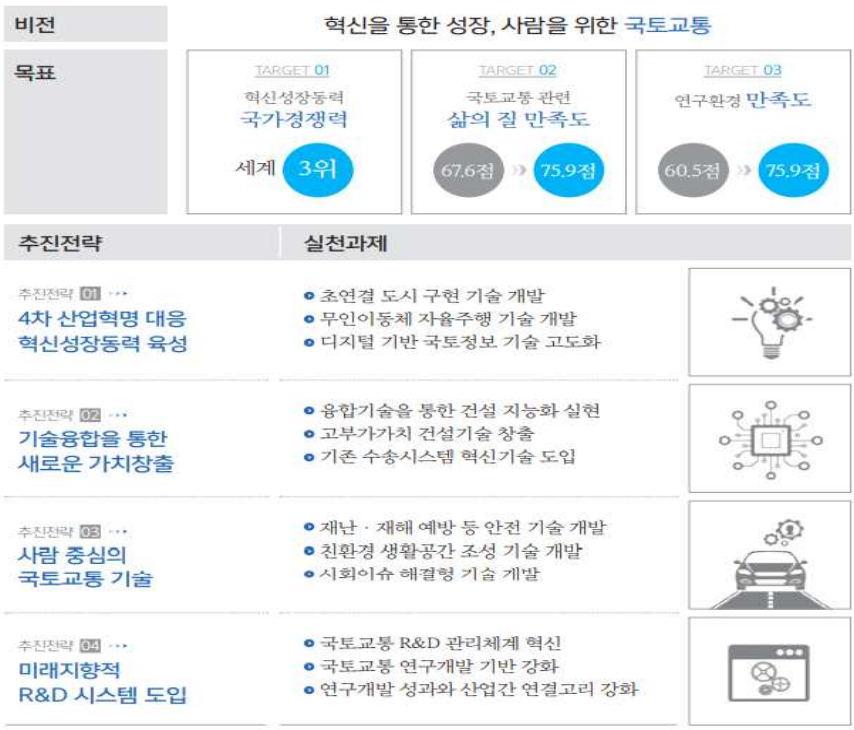
- 4차 산업혁명을 새로운 도약기회로 활용하고 삶의 질 향상 등 사회적 요구에 효과적으로 대응할 수 있는 기술개발 전략을 수립함

165) 한국판 뉴딜 종합계획 발표, 기획재정부, 2020.07.14



166)

[그림 206] 2050 탄소중립을 위한 추진전략 전략체계도



167)

[그림 207] 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 비전 및 목표

⑥ 대기오염 저감 정책

□ **2016년 미세먼지 발생이 잦아지고 국민의 미세먼지 해결에 대한 요구가 증가함에 따라 정부는**

166) 「2050 탄소중립」 추진전략(대한민국 정책브리핑(www.korea.kr),기획재정부)
167) 공기액화 기반 에너지 저장 및 활용 시스템 기술개발 기획, 국토교통부 국토교통과학기술진흥원

미세먼지 관리 특별대책(2016.06.03)을 발표

❍ 2017년 『미세먼지 관리 종합대책(2017.09.26)』, 2018년 이를 보완한 비상상시 『미세먼지 관리 강화대책(2018.11.08)』, 『미세먼지 고농도 시기(2019.12 - 2020.03) 대응 특별대책(2019.11.01)』, 『미세먼지 관리 종합계획(2020 - 2024)(2019.11.01)』 등 정책을 지속적 발표함

- 미세먼지 농도 개선 및 배출량 감축 목표는 '22년까지 서울기준 미세먼지 농도 17 - 18 $\mu g/m^3$, 미세먼지 배출량 11.6만 톤 감축('14년도 배출량의 35.8% 수준)임
- 정부는 국내 배출량 감축 목표를 발전·산업·수송·생활 등 4개 부문별 감축 목표를 수립하였고, 발전부문은 1.2만 톤으로 산업, 수송 부문에 이어 3번째 순임

[표 96] 미세먼지 관리대책

시기	대책
2013년	제2차 수도권 대기환경관리 기본계획 (2015-2024)
2015년	제2차 대기환경개선 종합계획 (2016-2025)
2016년	미세먼지 관리 특별대책 (2016.6.3)
2017년	미세먼지 관리 종합대책 (2017.9.26.)
2018년	비상·상시 미세먼지 관리 강화대책 (2018.11.8)
2019년	미세먼지 관리 종합계획(예정)

168)

[표 97] 미세먼지 관련 대책 목표 비교

대책	미세먼지 농도(오염도) 목표	국내배출량 감축
미세먼지 관리 특별대책(2016.06)	(서울) 2015년 23$\mu g/m^3$ → 2021년 20$\mu g/m^3$, 2026년 18$\mu g/m^3$	2014년 대비 2021년까지 14% 감축
미세먼지 관리 종합대책(2017.09)	(서울) 2016년 26$\mu g/m^3$ → 2022년 18$\mu g/m^3$	2014년 대비 2022년까지 30.5% 감축
비상·상시 미세먼지 관리 강화대책(2018.11)	(서울) 2016년 26$\mu g/m^3$ → 2022년 17-18$\mu g/m^3$	2014년 대비 2022년까지 35.8% 감축

❍ 미세먼지 저감 관련 법률 및 제·개정 현황

- 미세먼지 관리와 관련된 법률로는 『대기환경보전법』과 『수도권 대기환경개선에 관한 특별』, 『항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법』 등이 있음
- 미세먼지는 2018년 이전까지는 『대기환경보전법』에 따라 대기오염물질의 하나로 관리되었고, 『수도권 대기환경개선에 관한 특별법』에 따라 일부 대책 등이 수도권에 한하여 적용됨

168) 미세먼지 관리 특별대책(2016.6.3.), 미세먼지 관리 종합대책(2017.9.26.), 비상·상시 미세먼지 관리 강화대책(2018.11.8.)

- 2018년 미세먼지는 『미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법(2019.02.15 시행)』 제정으로 미세먼지 저감 및 관리 등의 근거가 되는 법적 기반이 마련됨

- 2019년 『대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법(2020.04.03 시행』 제정으로, 기존에 수도권에 한하여 적용되던 일부 제도들을 전국 단위로 시행할 수 있게 됨

- 2019년에는 각종 법률의 개정으로 미세먼지 대응을 위한 관리 범위와 지원 등이 확대됨

- 2019년 3월에는 『재난 및 안전관리 기본법』의 개정으로 미세먼지로 인한 피해가 사회재난으로 지정되었고, 동 법의 개정으로 대규모 재난 수준의 미세먼지 발생 시에는 중앙재난안전대책본부를 가동해 행·재정적 조치를 취할 수 있게 되었음

[표 98] 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법 주요 내용

구분	주요 내용
용어 정의	흡입성 먼지 중 입자의 지름이 10μm 이하인 먼지(PM10)와 입자의 지름이 2.5μm 이하인 먼지(PM2.5)로 구분
미세먼지관리 종합계획 수립	정부는 5년마다 종합계획을 수립하여 미세먼지특별대책위원회의 심의를 거쳐 확정하고, 시·도지사는 시행계획을 수립
미세먼지특별 대책위원회 설치	국무총리 및 민간위원장 2인을 위원장으로 하는 국무총리 소속 위원회로 설치(40명 이내)하여 종합계획, 시행계획 등을 심의
미세먼지 개선기획단 설치	미세먼지 저감·관리의 원활한 추진과 위원회의 사무 및 운영지원을 위해 국무총리 소속으로 기획단을 설치
국가미세먼지정보센터 설치	미세먼지 등의 발생원인, 정책영향 분석, 배출량 관련 정보의 수집·분석 및 체계적인 관리를 위해 환경부 소속으로 설치
비상저감조치	고농도 미세먼지 발생이 예측되는 경우 시·도지사는 자동차 운행제한, 배출시설 가동시간 변경, 가동률 조정 등을 시행

169)

□ **미세먼지 저감 관련 관계부처 사업**

❍ 미세먼지 대응 예산은 2019년도 추가경정예산 기준 19개 부처에 편성되었으며, 예산액은 3조 4,154억원임

- 미세먼지 대응 예산은 최근 4년 동안 매년 20% 이상씩 증가해 왔으며, 2019년 추가경정예산에서 대폭 증가함(2019년 본예산 2.0조원 → 2019년 추경예산 3.4조원)

- 부처별로는 환경부, 산업부, 과기부 등 19개 부처에 편성되었으며 환경부 비중이 가장 높음(62.3%)

❍ (환경부, 외교부) 국제협력 사업

- 정부는 미세먼지 발생원인 규명과 공동연구, 국내로 유입되는 미세먼지를 저감하기 위해 한중 대기질 공동연구단(청천 프로젝트), 동북아장거리이동 대기오염물질 공동조사 사업 동북아

169) 미세먼지 대응 사업 분석, 국회예산정책처, 2019

청정대기 파트너십, 한중 공동 미세먼지저감 환경기술 실증 협력사업 등 다양한 국제협력 사업을 실시하고 있음

- 미세먼지 저감 등 대기 질 개선을 위한 국제협력을 주도하고 있음*

❍ 외교부, '20년 외교부 주요업무 추진계획, 2020

- 한·중 정상회담 등 고위급 교류 계기 협력기반 강화 및 실질 협력 사업 이행·확대 지원함

- 동북아 6개국(한·중·일·러·몽·북한) 협의체를 통한 과학적 정보 공유 및 기술·정책 대응방안 도출, 각종 국제회의 계기 대기환경 개선 의제화 등 대기오염 대응 공조를 지속하고 있음

❍ (환경부) 환경사업 종합 안내

- 환경부는 2017년부터 해마다 환경 R&D, 정책자금 및 수주지원, 환경 컨설팅, 마케팅·홍보, 전문 인력양성 등 단계별 지원 사업과 환경사업 발주 계획을 한눈에 볼 수 있도록 『정부지원 환경사업 종합안내서』를 발간함

- 2020년 기준 1) 환경 R&D 부문 27개 사업, 2) 정책자금 및 수주지원 부문 19개 사업, 3) 환경 컨설팅 부문 16개 사업, 4) 마케팅·홍보 부문 13개 사업, 5) 전문인력 부문 6개 사업, 6) 환경사업 발주 계획 16개 사업을 소개함

나. 시장동향 분석

(1) 국외 시장 동향 분석

① CCUS 시장 동향

□ **해외 이산화탄소 포집·활용·저장(CCUS) 시장은 급속도로 성장할 것으로 전망됨**[170]

❍ 자원위기 심화와 환경보전 요구 증대 등으로 인해 CCUS는 이산화탄소 배출량을 줄이는 핵심기술로 주목받으며 시장이 확대되고 있음

- 2020년 CCUS 전체 시장규모는 1,608백만 달러로 연평균성장률 16.49%를 보이며 2027년에는 4,822백만 달러에 이를 것으로 추정됨

□ **해외 CCUS 지역별 시장 동향**

❍ 북미는 CCUS 기술의 최대 시장으로 성장률 또한 가장 높을 것으로 전망됨

- 북미의 2020년 시장규모는 621.4백만 달러로 전체 시장의 39%를 차지하였음

- 북미 CCUS 시장은 2027년까지 1,993백만 달러 시장규모로 성장하여 전체 시장의 41%를 차지할 것으로 전망됨

❍ 유럽, 아시아·태평양은 북미에 이은 CCUS 주요 시장으로 지속적으로 시장이 확대될 것으로 전망됨

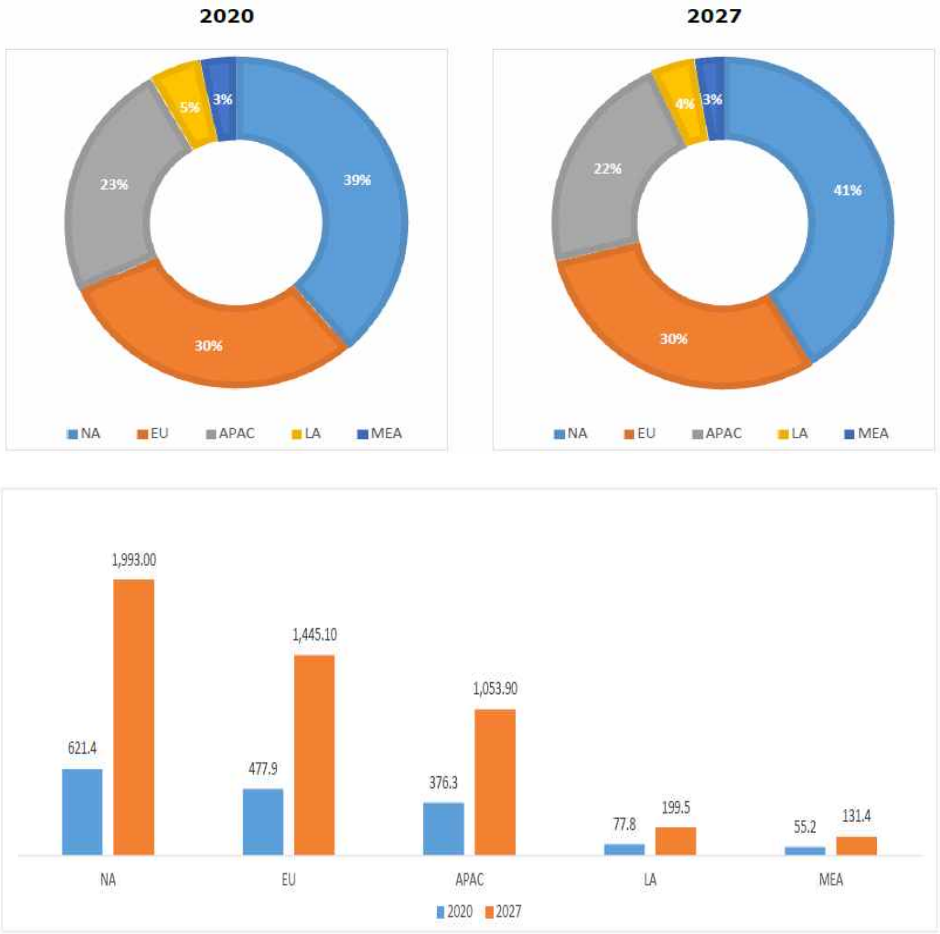
170) Value Market Research, 2021

- 유럽의 2020년 CCUS 시장규모는 477백만 달러로 전체 시장의 30%를 차지하였으며, 아시아·태평양은 시장규모 376백만 달러로 전체 시장의 23%를 차지함

- 2027년까지 규모가 약 3배 성장하여 유럽, 아시아·태평양 각각 시장규모가 1,445백만 달러와 1,053백만 달러로 시장점유율 30%와 22%를 차지할 것으로 전망됨

❍ 남미와 중동·아프리카는 각각 2020년 시장점유율 5%와 3%를 차지하여 주요국에 비해 시장규모는 작지만 시장규모가 점차 확대될 것으로 전망됨

- 경제성장과 온실가스 배출의 탈동조화 현상이 진행되고 있는 선진국과는 다르게 이산화탄소 배출량이 증가하는 현상이 나타나는 지역이므로 기술개발의 필요성이 높음



[그림 208] 지역별 CCUS 시장규모

* 단위 : 백만 달러

□ 해외 주요국의 CCUS 시장 동향

❍ 미국

- 세계 최대의 CCUS 시장인 미국은 세계적인 CCUS 선도 국가로 에너지부(DOE)와 글로벌 선도기업의 주도하에 전 세계에서 가장 높은 연평균성장률을 보이며 지속적으로 성장할

것으로 전망됨

- 최근 탄소 자원화 전략 관련 정책 등을 펼침에 따라 UTILIZATION 분야에서 연평균성장률 18.59%로 가파른 성장세를 보일 것으로 전망됨
- 2020년 시장규모 449백만 달러에서 연평균성장률 17.7%를 보이며 2027년 시장규모는 1,447백만 달러에 이를 것으로 전망됨

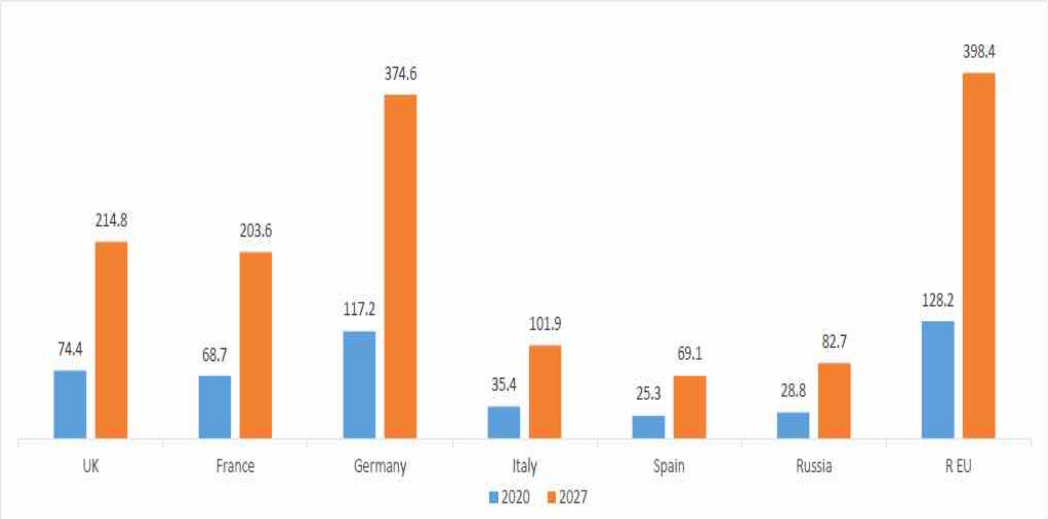
[표 99] 미국 CCUS 시장규모

SERVICE	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR
CAPTURE	146	170	198	232	215	261	313	372	439	514	596	685	17.5%
TRANSPORTATION	37	46	56	64	59	72	87	104	124	146	170	196	18.1%
UTILIZATION	70	80	91	108	101	123	149	180	214	253	296	343	18.6%
STORAGE	48	57	73	82	74	89	106	125	147	170	196	223	16.6%
TOTAL	300	352	417	485	449	545	655	781	923	1082	1257	1447	17.7%

* 단위 : 백만 달러

❍ 독일

- 유럽 최대의 CCUS 시장인 독일의 2020년 시장규모는 117백만 달러로 영국, 프랑스, 이탈리아, 스페인, 러시아 등 주요국을 제외한 유럽 전체의 시장규모와 비슷한 수준임
- 독일은 연방교육연구부와 민간기업간 협력 연구를 통한 CCUS 기술개발을 장려하여 유럽 전체에서 가장 높은 연평균성장률을 보이며 2027년 시장규모는 375백만 달러에 이를 것으로 전망됨



[그림 209] 유럽 CCUS 시장규모

* 단위 : 백만 달러

[표 100] 독일 CCUS 시장규모

SERVICE	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR
CAPTURE	37	43	49	58	54	65	78	93	110	128	149	171	17.4%
TRANSPORTATION	10	13	15	18	17	20	24	29	34	40	47	54	18.0%
UTILIZATION	18	21	23	28	26	31	38	46	54	64	75	87	18.5%
STORAGE	14	16	20	23	21	25	30	35	42	48	55	63	16.5%
TOTAL	79	92	108	127	117	142	171	203	240	281	326	375	17.6%

* 단위 : 백만 달러

❍ 중국

- 세계 최대의 이산화탄소 배출 국가인 중국은 2020년 중앙경제공작회의에서 탄소중립을 2021년 핵심 사업으로 선정하여 교역시장 및 인프라 투자를 확대함
- 중국 정부는 2030년을 기점으로 탄소 배출 감소세 전환, 2060년 탄소중립 달성을 위해 핵심기술로 CCUS에 대한 투자를 확대함
- 중국의 2020년 전체 CCUS 시장규모는 147백만 달러이며, 연평균성장률 15.8%를 보이며 2027년 시장규모는 424백만 달러에 이를 것으로 전망됨

[표 101] 중국 CCUS 시장규모

SERVICE	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR
CAPTURE	45	51	59	69	64	76	90	105	122	141	161	182	15.6%
TRANSPORTATION	15	18	22	25	23	27	33	38	45	52	59	67	16.2%
UTILIZATION	24	27	31	37	34	41	49	58	68	79	91	104	16.7%
STORAGE	17	20	26	29	26	31	37	42	49	56	63	71	14.8%
TOTAL	101	117	138	160	147	176	208	244	284	327	374	424	15.8%

* 단위 : 백만 달러

❍ 일본

- 일본은 2020년 스가 총리의 취임과 함께 2050년까지 탄소중립 달성을 목표로 미국, 호주, ASEAN 국가 등과 협력하여 CCUS 기술개발에 적극적임
- 미쓰비시중공업, JGC 홀딩스, 가와사키중공업, 도레이 등 선도기업의 기술 노하우와 다른 나라의 이산화탄소 지하 저장 프로젝트를 결합하는 연구를 진행함
- 일본의 2020년 전체 CCUS 시장규모는 101백만 달러이며, 연평균성장률 14.9%를 보이며 2027년 시장규모는 275백만 달러에 이를 것으로 전망됨

[표 102] 일본 CCUS 시장규모

SERVICE	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR
CAPTURE	31	36	41	48	44	52	61	70	81	93	105	118	14.7%
TRANSPORTATION	10	13	15	17	16	19	22	26	30	34	39	44	15.3%
UTILIZATION	17	19	22	26	23	28	33	39	45	52	60	67	15.8%
STORAGE	12	14	18	20	18	21	25	28	32	37	41	46	13.9%
TOTAL	71	82	96	110	101	119	140	163	188	215	244	275	14.9%

* 단위 : 백만 달러

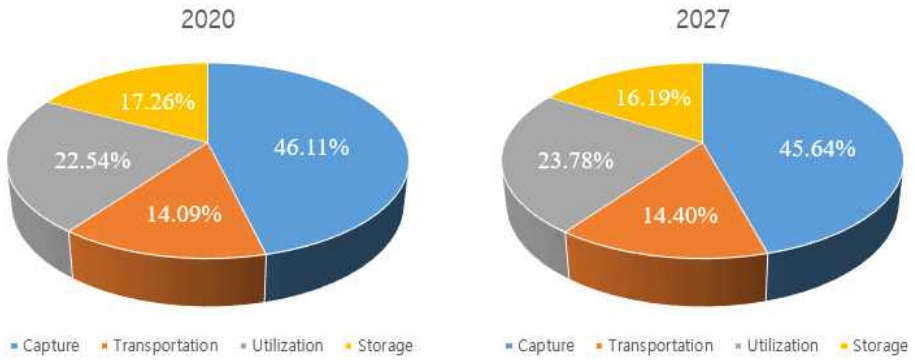
□ **해외 CCUS 기술별 시장 동향**

- 2020년 기준 CARBON CAPTURE 기술 시장규모는 742백만 달러로 전체 점유율의 46.1%를

차지하여 가장 큰 시장임

- 전 세계적인 탄소중립 추세에 맞추어 모든 기술이 연평균 15 - 17%의 성장률을 보이며 급속하게 성장할 것으로 전망됨

- 고른 성장률에 따라 2020년과 2027년에 기술별 시장점유율은 거의 비슷할 것으로 전망되나 전체 시장규모는 약 3배 성장하여 1,609백만 달러에서 4,823백만 달러에 이를 것으로 전망됨



[그림 210] 기술별 CCUS 시장점유율

[표 103] 기술별 CCUS 시장규모

SERVICE	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR
CAPTURE	518	597	689	805	742	889	1056	1244	1454	1684	1934	2201	16.3%
TRANSPORTATION	145	180	215	245	227	273	326	386	452	526	607	694	16.8%
UTILIZATION	258	294	333	392	363	439	526	625	737	862	998	1147	17.4%
STORAGE	184	218	275	311	278	330	389	455	528	607	691	781	15.4%
TOTAL	1103	1288	1512	1754	1609	1930	2297	2711	3171	3679	4231	4823	16.5%

* 단위 : 백만 달러

□ 세계 CCUS 부문별 시장 동향

❍ 2021년 VALUE MARKET RESEARCH는 CCUS의 적용 산업을 OIL & GAS, POWER GENERATION, IRON & STEEL, CHEMICAL & PETROCHEMICAL, CEMENT, 기타로 분류함

❍ 2020년 기준 OIL & GAS는 시장규모 563백만 달러로 전체의 35.0%를 차지하였으며 POWER GENERATION은 시장규모 434백만 달러로 전체의 27.0%를 차지함

- 화석연료의 사용량이 많은 산업의 특성상 CCUS 기술의 개발 및 보급이 시급하여 시장규모

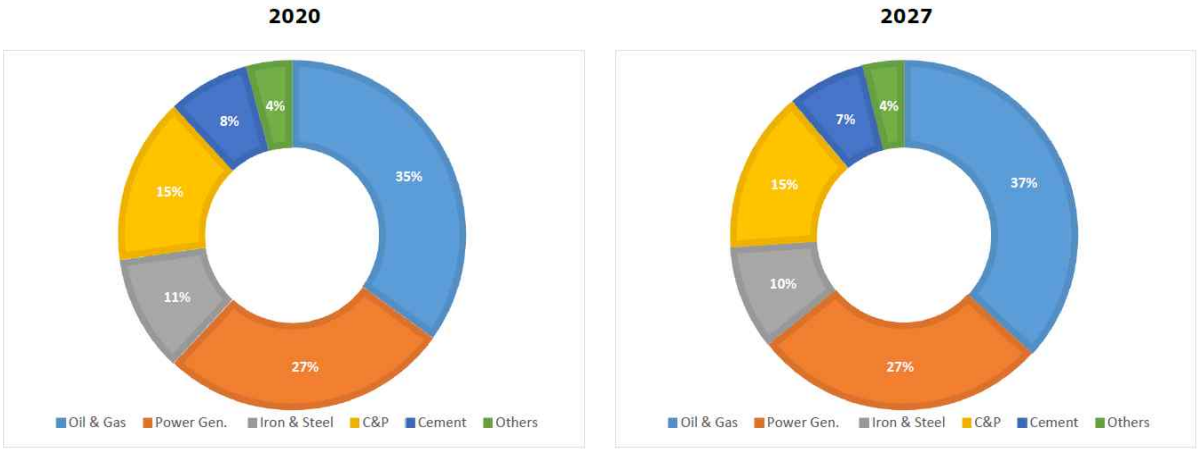
및 성장률이 높을 것으로 전망됨

- 연평균성장률이 약 17.3%로 2027년에 OIL & GAS 시장규모는 1,776백만 달러로 전체의 36.81%를, POWER GENERATION 시장규모는 1,322.6백만 달러로 전체의 27.4%를 차지할 것으로 전망됨

❍ POWER GENERATION 과정에서 탄소중립을 달성하기 위해 석탄화력발전에 가스터빈, CCUS, ESS, 초청정 환경기술 등 차세대 기술을 접목하여 신재생에너지 발전의 간헐성 등 단점을 보완하는 연구가 진행됨

- 미세먼지, 질소산화물, 황산화물 등의 대기오염물질과 이산화탄소의 배출량을 줄이는 초청정 환경설비를 갖춘 발전소에 대한 시장 수요가 확대됨

❍ 전 세계적인 탄소중립 추세에 맞추어 모든 기술이 14% 이상의 높은 연평균성장률을 보이며 급속하게 성장할 것으로 전망됨



[그림 211] 산업별 CCUS 시장점유율

[표 104] 세계 부문별 CCUS 시장규모

SERVICE	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR
OIL & GAS	395	454	521	611	563	681	816	970	1143	1335	1547	1776	17.3%
POWER GENERATION	286	345	409	471	434	522	622	736	863	1004	1157	1323	16.8%
IRON & STEEL	114	134	157	186	173	205	240	279	322	367	416	466	14.7%
C&P	164	194	229	268	248	296	351	413	481	556	637	723	16.0%
CEMENT	85	99	116	134	123	146	173	202	235	271	309	350	15.7%
OTHERS	60	62	80	85	68	81	95	110	127	146	165	186	14.9%
TOTAL	1103	1288	1512	1754	1609	1930	2297	2711	3171	3679	4231	4823	16.5%

* 단위 : 백만 달러

□ **해외 CCUS R&D 투자 동향**

❍ 주요국을 중심으로 CCUS 기술 연구·개발에 대한 투자가 확대되고 있으며 시장규모의 확대를 촉진시킴

- (미국) 2020년 2억 3천만 달러 규모 CCUS 기술개발·보급 신규 지원을 발표하였으며 XPRIZE와 테슬라는 기술개발 경연대회 「XPRIZE CARBON REMOVAL」를 통해 CCUS 기술개발을 장려하고 있음
- (EU) 제7차 연구개발 프레임워크 계획에서 CCUS 기술 상용화를 위한 대규모 실증사업에 2020년까지 60억 달러를 지원함
- (영국) 2020년 12억 달러 규모 발전·산업부문 CCUS 인프라 신규투자를 발표함
- (중국) 2019년 CCUS 기술발전 로드맵에서 저비용, 저에너지소모, 신빙성 있는 CCUS 기술체계와 산업클러스터 구축을 통한 지속가능한 발전전략을 제시하며 투자 확대 추세에 있음

② 초청정 환경플랜트 시장 동향

□ **초청정 환경기술은 미세먼지, 질소산화물, 황산화물 등의 대기오염물질을 제어·측정하는 장치를 의미함**

❍ 중국, 인도, 동남아 등 개도국의 급격한 경제성장으로 인해 생산 설비가 밀집되어있는 아시아·태평양 지역을 중심으로 시장이 확대되고 있음

- 2020년 아시아·태평양 지역의 대기질 관리시스템 시장규모는 42,127백만 달러로 가장 큰

시장인 것으로 나타남[171]

❍ COVID-19로 인해 각종 대기오염방지설비에 대한 수요가 감소하였음에도 불구하고 전 세계적인 환경보전 노력에 따라 대기질 관리시스템 시장은 확대 추세를 유지함

- 전염병 관련 규제가 해제되면 관련 시장에 대한 수요가 회복 및 증가할 것으로 전망됨

□ **초청정 환경플랜트 시장 변화**

❍ (기회 요인) 도시화 및 산업화, 환경규제의 증가, 건강문제 심화, 인식 증대, 경제 신흥국(중국, 인도)의 구매력 증대 및 기술혁신과 신제품 개발

- 신흥국의 대기오염물질 배출이 증가함에 따라 각국은 대기질 개선을 위한 배출기준을 설정하였고, 관련 제품에 대한 수요가 증가하는 추세임
- 인도 뉴델리에서는 5개 주요 교통 혼잡 지역에 바람을 활용한 정화장치, 안개분수, 가상 굴뚝으로 구성된 대기정화시스템을 시범적으로 설치하였음
- 중국 베이징에서 7미터짜리 공기정화탑을 설치하여 PM2.5와 PM10의 75%를 제거하고 있음
- 중국 허난성 정저우시 당국은 2017년 말까지 유치원과 학교에 공기정화기를 설치함

□ **대기오염물질 측정장치 시장 변화**

❍ (기회 요인) 엄격한 정부 규제, 대기오염 심화, 대기오염에 대한 대중의 문제의식 향상

- 대기환경 규제 수준이 높고 구매력이 충분한 선진국 정부의 대기질 관측소에서 요구하는 신규 관측 장비에 대한 수요가 시장의 성장을 견인하고 있음
- 데이터베이스, 데이터 링크 관리, 센서 교체 비용과 같은 부대비용과 위성탑재 기획, 개발, 배치와 관련된 비용 등 대규모 투자 여력이 있는 국가 정부를 중심으로 성장하고 있음

❍ (대기오염물질 측정장치 시장 경쟁 환경) 다양한 기업들이 목표 시장에 따라 차별화된 전략을 취하며 입지 강화를 위한 인수합병이 활발히 일어나고 있음


[172]

[그림 212] 세계 최대 규모 공기정화탑(중국)

171) 2020 BIZWIT RESEARCH & CONSULTING LLP


173)

[그림 213] 공기정화탑(톈진)

[표 105] DAIKIN INDUSTRY社 주요 M&A

인수기업	인수대상	사업영역	논리
AAF INTERNATIONAL	AIR FILTER PRODUCTS(AFP)	공기필터 서비스	2017년 1월 AAF는 자회사인 FLANDERS CORP.를 통하여 애리조나 지역의 AFP를 인수하였다고 발표. AFP는 HAVC 공기필터서비스 회사로, 공공기관·상업시설·교육기관을 대상으로 사업을 하는 회사
AAF EUROPE	DINAIR AB	공기필터 제조	2016년 11월 AAF EUROPE은 DINAIR를 인수한다는 의도를 발표. 인수는 AAF와 그 모회사인 DAIKIN이 북유럽으로 진출하려는 전략의 일환임
DAIKIN INDUSTRIES LTD	FLANDER HOLDINGS LLC	공기필터 제조	2016년 2월 DAIKIN은 자회사인 AAF를 통하여 4억 3천만 달러에 FLANDERS HOLDINGS LLC를 인수하겠다는 의도를 발표. 이 인수로 미국 산업부문 공기정화장비 시장에서 DAIKIN의 입지를 강화할 계획
AAF	AIR FILTER MAINTENANCE CO. INC. (AFM)	공기필터 서비스 및 관리	2015년 8월 AAF는 AFM을 인수하였다고 발표. 이번 인수로 AAF INTERNATIONAL은 사업영역을 확대하고 대서양 중부지역에 제공하는 서비스 수준을 높임

174)

□ **해외 대기 환경기술 지역별 시장 동향**

❍ (지역별 환경설비 시장 동향) 대기오염 제어장치 시장의 경우 중심이 아시아·태평양 시장으로 이동하였고, 대기오염 측정장치 시장의 경우 아시아·태평양 성장률이 우위지만 시장 중심은 북미 지역임

- 집진기 시장에 다양한 혁신적인 필터기술이 적용됨에 따라, 고효율 필터가 적용되는 시장을

172) 연합뉴스, https://www.yna.co.kr/view/AKR20161019072500083, 2016-10-19
173) 연합뉴스, https://www.yna.co.kr/view/AKR20170403091100083, 2017-04-03
174) 과학기술기반 미세먼지 대응 전략 점검: 산업기술 경쟁력 분석, 한국과학기술기획평가원, 2018

중심으로 높은 성장률을 나타내며 시장 변화를 주도할 것으로 전망됨

- 고효율 필터는 발전소에 적용 시 넓은 설치공간, 고가의 필터 교체 비용, 높은 운전압력 손실이 발생하기 때문에, 발전소에 적용되기에는 어려움이 있음
- 2020년 대기오염 제어장치 시장규모는 아시아·태평양이 42,127백만 달러 규모로 가장 큰 시장인 것으로 확인되었고, 북미와 유럽 또한 주요 시장인 것으로 나타남
- 대기오염 제어장치 시장규모가 확대되는 추세에 있으며 2027년 아시아·태평양 시장규모는 63,198백만 달러까지 확대될 것으로 전망됨
- 2027년 북미 시장규모는 21,890백만 달러, 유럽 시장규모는 15,459백만 달러까지 확대될 것으로 전망됨

[표 106] 대기오염 측정장치 지역별 시장규모

지역 (단위 : 백만 달러, %)		2015	2016	2021	CAGR (2016-2021)
대기오염 측정장치	아시아·태평양	930.2	995.8	1,582	9.7
	북미	1,670.2	1,747.2	2,489.8	7.3
	유럽	1,268.6	1,339.1	1,995.2	8.3
	기타	349.7	358.9	478.2	5.9
	전체	4,128.7	4,441.5	6,545.2	8.1

[175]

[표 107] 대기오염 측정장치 제품별 시장규모

지역 (단위 : 백만 달러, %)		2015	2016	2021	CAGR (2016-2021)
대기오염 측정장치	샘플러	651.9	675.8	914.6	6.2
	풍속계	613.5	636.9	876.6	6.6
	가스분석기 검출기	1,487.1	1,574.8	2,381.9	8.6
	입자 계수기	862.6	913.8	1,392.8	8.9
	기타	603.6	640.1	979.7	8.9
	전체	4,218.8	4,441.5	6,545.2	8.1

175) BCC Research(2017), Transparent Market Research(2016) 재구성



	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
NA	3084.89	3172.21	3265.56	3356.88	3454.16	3566.36	3696.81	3848.27	4024.73	4230.94	4472.15
EU	2532.51	2568.96	2608.41	2644.32	2682.99	2731.07	2790.61	2863.07	2950.71	3056.18	3182.25
APAC	8221.40	8531.24	8861.42	9190.28	9539.79	9935.24	10387.06	10904.34	11499.98	12189.39	12989.88
LA	1493.63	1498.96	1505.15	1508.39	1512.26	1520.39	1533.64	1552.51	1577.88	1610.71	1651.95
RoW	1013.12	1008.10	1003.20	995.85	988.40	983.15	980.52	980.66	983.90	990.59	1001.02

176)

[그림 214] 세계 대기 환경기술 지역별 시장규모

* 단위 : 백만 달러



[그림 215] 세계 대기 환경기술 시장

❍ (북미) 북미 대기 환경기술 시장은 미국과 캐나다를 포함하며 꾸준한 성장세를 보임

- 시장은 대기오염 수준을 낮추기 위한 엄격한 규제 프레임워크, 대기오염의 해로운 결과에 대한 인식 증가, 그리고 이 지역의 대기오염 수준 증가에 의해 변화하고 있음
- 세계보건기구(WHO)는 글로벌·지역·국가 대기질 감시 방식과 대기오염 노출 수준을 개선하는 동시에 전 세계 대기질 데이터에 대한 개방적 접근을 보장하기 위해 학계·정부 등 주요 산업 전문가와 함께 대기질 및 보건에 관한 글로벌 플랫폼을 수립함
- 대기오염으로 인한 부정적 영향에 대한 인식을 개선하기 위해 지역 정부들이 다양한

176) 2020 BIZWIT RESEARCH & CONSULTING LLP

활동을 펼치고 있음

- 유엔환경계획(UNEP) 북미 사무소는 지역의 자연환경을 보호하고 복원하는 것을 목표로 하는 「2030 지속가능 개발 아젠다」를 홍보하고 있음
  - 캐나다 정부는 산불, 화산폭발, 식물에서 나오는 휘발성 유기화합물 배출 등을 대기오염의 주요 요인으로 지정하였고, 이는 북미 지역 대기질 모니터링 장비 판매 증가의 원인이 됨
  - 미국흉부학회에 따르면, 천식 등의 호흡기 질병 발생 증가와 대기오염 증가 등의 요인으로 모니터링 장비 수요가 증가할 것으로 전망됨
  - 새롭고 혁신적인 대기질 관리시스템의 출시가 시장 성장을 촉진할 것으로 전망됨
  - 휘발성 유기화합물 연속배출감시시스템은 다양한 산업 용도에서 대기질 평가 및 분석에 사용됨

[표 108] 북미 환경플랜트 국가별 시장규모

REGION	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR
US	10021	10400	10806	11213	11647	12140	12706	13354	14103	14971	15982	5.4%
CANADA	3856	3986	4126	4264	4411	4580	4774	4997	5256	5557	5908	5.0%
TOTAL	13877	14386	14932	15477	16058	16720	17479	18351	19359	20529	21890	5.3%

177)

* 단위 : 백만 달러

❍ 2018년 1월 GE社와 ELECTROWNIA OSTROKA社가 폴란드 북동부에 1GW 초임계 석탄발전소인 OSTROKA C를 건설하기로 합의함

- GE社는 새로운 공장 설계 및 건설뿐만 아니라 초임계 기술 부품을 제공할 예정이며, GE POWER는 최근 EU의 지역 배출기준을 충족하는 대기 품질 관리 시스템을 제공할 계획임
- 허니웰社는 2019년 12월에 시각적 가스 모니터링 솔루션 개발사인 REBELLION PHOTONICS社를 인수함으로써 다양한 가스 감지 기술, 이동성 솔루션, 안전 장비 등을 개발하게 되어 작업자의 안전성과 생산성을 높일 수 있게 됨

❍ (유럽) 유럽 대기질 환경플랜트 시장은 영국, 프랑스, 독일, 스페인, 이탈리아 등 주요국가를 포함함

- 예상되는 성장 요인으로는, 엄격한 대기 품질 관리 규정 및 배출허용기준, 시스템 설치, 환경 저하에 대한 우려 증가 등이 있음
- 유럽의 대기오염으로 인한 사망자 수는 2017년 36만 2700명에서 2019년 37만 500명으로 증가 추세에 있음

177) Paid Data Sources, Company Annual Reports, Primary Interviews & Bizwit Research & Consulting LLP

- 특정 지역과의 협력을 통해 지역의 대기오염을 줄이기 위한 노력을 촉진시킴
- 유럽 환경청은 대기오염물질 한계 기준을 명시하고, 정부는 기준을 통해 대기오염물질 농도를 목표치 이하로 낮출 계획임

[표 109] 1990년 대비 EU 온실가스 배출 목표

	2020	2030	2050
GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN COMPARISON TO 1990	- 20%	- 40%	- 80 TO - 95%

178)

[표 110] EU 환경플랜트 국가별 시장규모

REGION	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR
UK	2575	2647	2723	2798	2876	2968	3073	3196	3338	3505	3699	4.3%
GERMANY	2966	3079	3199	3318	3444	3585	3746	3930	4141	4385	4667	5.2%
FRANCE	1903	1933	1965	1994	2025	2064	2111	2169	2238	2321	2419	3.0%
SPAIN	1077	1080	1084	1086	1088	1094	1103	1117	1135	1159	1189	1.5%
ITALY	1286	1295	1305	1313	1322	1334	1352	1376	1406	1443	1489	2.0%
REST OF EUROPE	1502	1532	1564	1594	1626	1664	1710	1765	1829	1905	1996	3.5%
TOTAL	11309	11566	11840	12102	12381	12709	13097	13552	14087	14717	15459	3.8%

179)

* 단위 : 백만 달러

[표 111] EU 대기질 표준

POLLUTANTS	AVERAGING PERIOD	OBJECTIVE AND LEGAL NATURE AND CONCENTRATION	COMMENTS
PM 2.5	DAILY	-	-
PM 2.5	ANNUAL	LIMIT VALUE, 25 mg/m^3	
PM 10	DAILY	LIMIT VALUE, 50 mg/m^3	NOT TO BE EXCEEDED ON MORE THAN 35 DAYS PER YEAR
PM 10	ANNUAL	LIMIT VALUE, 40 mg/m^3	
O_3	MAXIMUM DAILY 8-HOUR MEAN	TARGET VALUE, 120 mg/m^3	NOT TO BE EXCEEDED ON MORE THAN 25 DAY PER YEAR AVERAGED OVER THREE YEARS
NO_2	DAILY	LIMIT VALUE, 200 mg/m^3	NOT TO BE EXCEEDED MORE THAN 18 TIMES A CALENDAR YEAR
NO_2	ANNUAL	LIMIT VALUE, 40 mg/m^3	

178) Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety
179) Paid Data Sources, Company Annual Reports, Primary Interviews & Bizwit Research & Consulting LLP

❍ (아시아-태평양) 아시아-태평양 대기질 환경플랜트 시장은 세계 최대 규모이며, 중국, 인도, 일본 등을 중심으로 형성되어 있음

- 아시아-태평양 대기질 환경플랜트 시장은 중국, 인도, 일본 등을 포함하며 시장 수요는 산업 부문(시멘트제조, 화학물질, 금속가공 등)의 기하급수적인 성장에 영향을 받음
- 중앙오염관리위원회는 대기오염 관리 지침에서 증가하는 배출량을 통제하기 위해 모든 산업에서 대기질 환경플랜트를 갖추도록 요구함
- 2013년 9월, 중국 국무원은 대기오염방지 및 통제 조치를 발표하고 일정 기간 내에 대기질 개선을 위한 측정 가능한 목표를 수립하는 계획을 세움
- 중국은 법 기준에 부합하는 개선된 성능의 대기질 통제 시스템을 설치하고 있음

[표 112] 아시아-태평양 환경플랜트 국가별 시장규모

REGION	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR
CHINA	28026	29349	30767	32206	33744	35475	37442	39684	42256	45225	48669	6.3%
INDIA	2085	2185	2292	2401	2518	2649	2798	2967	3162	3386	3647	6.4%
JAPAN	2618	2735	2860	2987	3122	3274	3447	3644	3871	4133	4436	6.0%
AUSTRALIA	1416	1473	1535	1597	1662	1736	1821	1918	2029	2158	2307	5.6%
KOREA	1155	1196	1241	1285	1332	1385	1445	1515	1595	1687	1795	5.1%
REST OF APAC	1475	1531	1591	1651	1715	1787	1870	1964	2073	2199	2345	5.4%
TOTAL	36774	38470	40286	42127	44093	46306	48822	51692	54985	58788	63198	6.2%

180)

* 단위 : 백만 달러

□ **해외 주요국 환경플랜트 시장 동향**

❍ 미국

- 세계 최대의 환경플랜트 시장인 미국은 중국에 이어 세계에서 두 번째로 큰 시장규모를 보임
- 주정부 및 연방 정부 차원의 대기오염물질 제어 전략, 초미세먼지 규제 강화 등의 추세에 따라 지속적 시장 확대가 전망됨
- 2020년 전체 시장규모 11,213백만 달러에서 연평균 성장률 5.41%를 보이며 2027년 시장규모 15,982백만 달러에 이를 것으로 전망됨

180) Paid Data Sources, Company Annual Reports, Primary Interviews & Bizwit Research & Consulting LLP

[표 113] 미국 환경플랜트 기술별 시장규모

TECHNOLOGY	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CA GR
ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	3683	3817	3960	4103	4256	4429	4628	4857	5122	5429	5787	5.3%
FLUE GAS DESULFURIZATION	4353	4551	4763	4978	5208	5468	5763	6099	6486	6934	7453	6.2%
SCRUBBERS	920	945	971	996	1023	1055	1091	1134	1184	1242	1310	4.2%
OTHERS	1064	1087	1112	1135	1160	1189	1223	1263	1311	1366	1432	3.6%
TOTAL	10021	10400	10806	11213	11647	12140	12706	13354	14103	14971	15982	5.4%

181)

* 단위 : 백만 달러

❍ 독일

- 독일은 유럽 최대의 환경플랜트 시장으로 일찍부터 시장이 발달하여 독일 경제의 중요 요소 시장으로 발전함
- 2020년 전체 시장규모는 3,318백만 달러에서 연평균 성장률 5.20%를 보이며 2027년 시장규모 4,667백만 달러에 이를 것으로 전망됨

[표 114] 독일 환경플랜트 기술별 시장규모

TECHNOLOGY	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CA GR
ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	1090	1130	1172	1215	1259	1310	1367	1432	1508	1595	1695	5.1%
FLUE GAS DESULFURIZATION	1289	1344	1403	1461	1524	1593	1672	1762	1865	1984	2121	5.7%
SCRUBBERS	276	284	293	301	310	321	332	346	362	380	401	4.4%
OTHERS	313	322	332	341	351	362	375	390	407	427	450	4.3%
TOTAL	2966	3079	3199	3318	3444	3585	3746	3930	4141	4385	4667	5.2%

* 단위 : 백만 달러

❍ 중국

- 중국은 세계 최대의 환경플랜트 시장으로, 「제13차 국민경제, 사회 발전 5개년 계획(2016 - 2020)」에서 국가 주요 정책 과제로 선정하면서 대기질 관리 시장은 급격한 성장세를 보임
- 정부의 대기오염 제어 인프라에 대한 적극적인 투자로 전체 시장규모는 연평균 성장률 6.3%를 보이며 2027년 시장규모는 48,669백만 달러에 이를 것으로 전망됨

181) Paid Data Sources, Company Annual Reports, Primary Interviews & Bizwit Research & Consulting LLP

[표 115] 중국 환경플랜트 기술별 시장규모

TECHNOLOGY	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CA GR
ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	10324	10800	11309	11825	12376	12997	13703	14507	15431	16497	17733	6.2%
FLUE GAS DESULFURIZATION	12174	12808	13488	14184	14929	15765	16714	17794	19032	20460	22115	6.8%
SCRUBBERS	2604	2706	2815	2925	3041	3172	3321	3493	3689	3917	4181	5.5%
OTHERS	2924	3035	3154	3273	3399	3541	3704	3890	4104	4351	4639	5.3%
TOTAL	28026	29349	30767	32206	33744	35475	37442	39684	42256	45225	48669	6.3%

182)

* 단위 : 백만 달러

❍ 일본

- 환경오염 방지 분야, 지구 온난화 대책 등이 일본 환경플랜트 시장 확대를 견인하며 빠르게 확대되고 있음
- 2020년 전체 시장규모 2,987백만 달러에서 연평균 성장률 6.0%를 보이며 2027년 시장규모는 4,436백만 달러에 이를 것으로 전망됨

[표 116] 일본 환경플랜트 기술별 시장규모

TECHNOLOGY	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CA GR
ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	962	1003	1048	1093	1142	1196	1258	1328	1409	1503	1612	5.9%
FLUE GAS DESULFURIZATION	1134	1190	1250	1312	1377	1451	1534	1629	1738	1864	2010	6.5%
SCRUBBERS	250	259	269	278	289	301	314	329	347	368	392	5.2%
OTHERS	273	283	293	304	314	327	341	357	376	398	423	5.1%
TOTAL	2618	2735	2860	2987	3122	3274	3447	3644	3871	4133	4436	6.0%

* 단위 : 백만 달러

□ **세계 환경플랜트 기술별 시장 동향**

❍ 세계 환경플랜트 시장은 전기집진기(ESP), 탈황(FGD), 스크러버(SCRUBBER) 등으로 세분화할 수 있으며, 2020년 기준 탈황설비가 44.2%로 시장의 가장 큰 비중을 차지하고 있음

- 발전소의 황 배출량 저감 목표 및 기준의 이행, 탈황 시스템 설치 및 유지에 대한 협약 및 계약 등이 탈황 부문의 우위를 점하는 주요 요인 중 하나임

182) Paid Data Sources, Company Annual Reports, Primary Interviews & Bizwit Research & Consulting LLP

[표 117] 세계 환경플랜트 기술별 시장규모

TECHNOLOGY	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CA GR
ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	26892	27797	28766	29729	30756	31930	33282	34841	36647	38748	41197	5.0%
FLUE GAS DESULFURIZATION	31777	33065	34445	35832	37313	38990	40905	43098	45624	48548	51946	5.7%
SCRUBBERS	6799	6977	7167	7352	7549	7778	8046	8358	8723	9151	9653	4.2%
OTHERS	7686	7867	8061	8248	8448	8681	8956	9278	9656	10101	10625	3.9%
TOTAL	73153	75706	78439	81161	84067	87379	91189	95575	100650	106548	113420	5.1%

183)

* 단위 : 백만 달러

○ 세계 부문별 환경플랜트 시장 동향

- 발전·산업 부문별 중 발전부문 시장점유율(2020년 기준)이 41.3%로 가장 높음
  - 전력산업 유해배출량 통제를 위한 엄격한 규제, 에너지 발전 성장 등이 발전 산업 부문의 독주를 책임지는 주요 요인임
  - 천연가스-화재 및 석탄-화재 전기 발전기의 배출량 제어가 필요하여 시장점유율이 가장 높은 것으로 나타남

[표 118] 세계 환경플랜트 부문별 시장규모

END USER INDUSTRY	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CA GR
POWER GENERATION INDUSTRY	29406	30717	32121	33541	35058	36768	38715	40937	43489	46439	49861	6.1%
CEMENT INDUSTRY	16049	16573	17133	17689	18282	18960	19744	20647	21696	22916	24340	4.9%
IRON & STEEL INDUSTRY	11353	11638	11941	12235	12549	12914	13342	13842	14428	15115	15922	4.1%
OTHERS	16346	16780	17244	17696	18178	18736	19389	20149	21037	22078	23297	4.2%
TOTAL	73153	75706	78439	81161	84067	87379	91189	95575	100650	106548	113420	5.1%

* 단위 : 백만 달러

(2) 국내 시장 동향 분석

① CCUS 시장 동향

□ **우리나라는 「대한민국 2050 탄소중립전략」에서 발전·산업 부문의 핵심기술 수단으로 CCUS 기술을 제시하여 투자를 확대할 계획임**

- 2020년 우리나라의 CCUS 전체 시장규모는 60백만 달러이며 연평균 15.2%의 성장률을

183) Paid Data Sources, Company Annual Reports, Primary Interviews & Bizwit Research & Consulting LLP

보이며 2027년에는 166백만 달러에 이를 것으로 전망됨

- 우리나라는 이산화탄소 배출량의 대부분이 에너지 분야에서 나오므로 발전소의 이산화탄소 포집 기술의 중요성이 부각됨

- 우리나라는 탄소 저장소 확보가 어렵기 때문에 UTILIZATION 분야에서 대안을 찾을 수 있을 것으로 전망되어 연평균 성장률이 높은 것으로 판단됨

□ **우리나라 CCUS R&D 투자 규모는 지난 10년간 증가·감소를 반복하고 있으나 활용 분야에서는 2배 이상 확대 추세에 있음**

- 2021년 민관합동 K-CCUS 추진단을 발족하여 상용화 기술개발에 속도를 내기 위해 R&D 투자를 확대할 계획임

[표 119] 한국 CCUS 시장규모

SERVICE	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR
CAPTURE	19	21	24	28	26	31	36	42	49	56	63	71	15.0%
TRANSPORTATION	6	7	9	10	9	11	13	15	18	21	23	26	15.6%
UTILIZATION	10	11	13	15	14	17	20	23	27	31	36	41	16.1%
STORAGE	7	8	11	12	11	13	15	17	20	22	25	28	14.2%
TOTAL	42	48	57	66	60	71	84	98	113	130	148	166	15.2%

184)

* 단위 : 백만 달러

[표 120] 한국 CCUS R&D 투자 현황

연도/구분		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
포집		18,829	26,346	21,629	15,696	18,413	15,791	18,293	15,384	13,601	10,932
활용	화학전환	7,510	5,720	7,189	4,429	3,457	4,247	9,982	11,164	13,405	17,935
	생물전환	320	2,207	1,980	2,870	3,380	3,499	1,411	1,935	4,801	6,135
	광물탄산화	2,603	2,860	2,873	2,620	2,650	2,463	6,531	9,399	5,250	2,709
	소계	10,433	10,787	12,042	9,919	9,487	10,210	17,925	22,498	23,456	26,779
수송·저장		5,019	21,154	27,940	21,725	21,942	8,271	17,699	9,930	5,892	1,223
합계		34,282	58,286	61,611	47,340	49,842	34,272	53,916	47,812	42,949	38,933

185)

184) Value Market Research(2021)

* 단위 : 백만 원

② 초청정 환경플랜트 시장 동향

□ **2020년 국내 환경플랜트 전체 시장규모는 1,285백만 달러이며, 연평균 성장률 5.1% 수준이며. 2027년 시장규모는 1,795백만 달러에 이를 것으로 전망됨**

❍ 이미 과점 상태인 측정장치 시장보다 세계시장 규모가 3배 이상 크고, 아시아·태평양 시장이 세계시장의 중심이므로 시장 잠재성이 큼

- 우리나라는 미세먼지를 사회재난으로 정의하여 범정부 차원의 최우선 과제로 인식하고 경제적 손실을 최소화하기 위해 노력하고 있음

❍ 국내 환경플랜트 시장은 미세먼지 이슈 및 대기환경규제 강화에 따라 지속적 성장하고 있음

- 정부는 노후 및 신규 화력발전소에 대해 강화된 배출기준을 적용하여 대기오염물질 배출을 최소화할 것을 권고함

- 대기오염물질 배출의 저감을 위한 대기오염 저감 장치 시장이 확대될 것으로 전망됨

[표 121] 한국 환경플랜트 기술별 시장규모

TECHNOLOGY	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR
ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	421	436	451	467	483	501	523	547	575	607	645	4.9 %
FLUE GAS DESULFURIZATION	502	524	547	570	595	624	655	692	733	781	837	5.8 %
SCRUBBERS	109	112	115	118	121	124	128	133	138	145	152	3.9 %
OTHERS	123	125	128	130	133	136	139	143	148	154	161	3.3 %
TOTAL	1155	1196	1241	1285	1332	1385	1445	1515	1595	1687	1795	5.1 %

186)

* 단위 : 백만 달러

□ **국내 환경플랜트는 발전 산업 중심으로 시장이 형성되어 있으며, 시장규모는 2020년 기준 536백만 달러, 연평균 성장률 6.0% 수준에서 2027년까지 시장규모가 797백만 달러에 이를 것으로 전망됨**

- 정부가 노후 및 신규 화력발전소에 대해 배출기준을 강화함에 따라 오염물질 배출의 저감을 위한 대기오염 저감 장치 시장이 확대될 것으로 전망됨

□ **산업통상자원부는 20년 이상 된 발전기의 환경설비를 교체하고, 20년 미만 발전기는 저감시설을 확충하기로 발전회사들과 협의함**

185) 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵(안), 관계부처 합동, 2021
186) Paid Data Sources, Company Annual Reports, Primary Interviews & Bizwit Research & Consulting LLP

- 중부발전은 운영 중인 발전소의 환경설비를 교체하고, 신규 발전소는 초청정 환경제어 수준 이상으로 설계 변경을 진행 중임

- 2021년 6월 기준, 국내 석탄화력발전소는 56기가 운용되고 있으며 7기*가 추가로 건설 중에 있음[187]

  * *2021년 11월 현재, 신서천 1호기 및 고성하이 1·2호기 준공 완료·운영 중임

- 2020년까지 약 5,600억 원을 투자하여 대기오염물질 배출량을 2015년 대비 78% 감축하는 성과를 냄

- 2025년까지 약 1조 4,000억 원을 투자하여 최적의 환경설비를 구축하는 것을 목표로 하며 이에 따라 석탄화력발전소의 축소 추세에도 불구하고 발전 분야의 대기오염 저감 환경설비 시장이 성장할 것으로 기대됨

□ **미국, 유럽 등 선진국의 석탄화력발전소 폐지 추세에도 불구하고, 중국, 인도를 중심으로 아시아 지역에서 석탄화력발전소 시장은 여전히 성장하고 있음**

- 중국이 현재 건설 중인 석탄화력발전소 용량은 252.2GW로, 전 세계의 48.4%를 차지하여 핵심 시장으로 나타남

- 인도 12.4%, 인도네시아 6.0%, 베트남 5.7% 등 아시아 지역을 중심으로 여전히 석탄화력발전 시장이 확대되고 있는 것으로 나타남

- 해외 진출 경쟁력을 갖추기 위해 아시아 지역을 중심으로 고성능 환경설비 상용화 필요성이 증대됨

[표 122] 한국 환경플랜트 부문별 시장규모

END USER INDUSTRY	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR
POWER GENERATION INDUSTRY	468	490	513	536	560	588	619	654	695	742	796	6.0%
CEMENT INDUSTRY	248	257	266	275	284	295	307	321	337	356	377	4.9%
IRON & STEEL INDUSTRY	177	182	187	191	196	202	209	216	225	236	248	4.0%
OTHERS	261	268	276	283	291	300	311	323	337	354	373	4.2%
TOTAL	1155	1196	1241	1285	1332	1385	1445	1515	1595	1687	1795	5.1%

[188]

* 단위 : 백만 달러

□ **SCR 촉매 시장 동향**

187) 환경운동연합, http://kfem.or.kr/?p=217393

188) Paid Data Sources, Company Annual Reports, Primary Interviews & Bizwit Research & Consulting LLP

- 국내 SCR 촉매 설비 시장은 연평균 8.4%의 성장률을 보이며, 2021년 10,042억 원의 시장규모를 형성할 것으로 전망됨

- 2000년 후반 SCR 촉매 국산화로 석탄화력발전 분야는 국산 촉매와 외국산 촉매가 경쟁하고 있으나, LNG 발전시장에는 여전히 해외 선진社의 SCR 촉매가 주로 공급되고 있으며, 특히 저온, 고효율 등 고도화된 촉매는 외국산 시장 점유율이 높음

- 나노社는 텅스텐·타이타니아 담체 원료 국산화 및 허니컴 압출성형 기술, 허니컴 압출성형 상용화 기술을 확보하고 있음

  • 국내 다수의 소각장 및 발전소에 공급 및 인도 최대 발전설비 국경기업인 BHEL社에 미세먼지 저감용 평판 탈질촉매 기술을 공급하기로 계약함

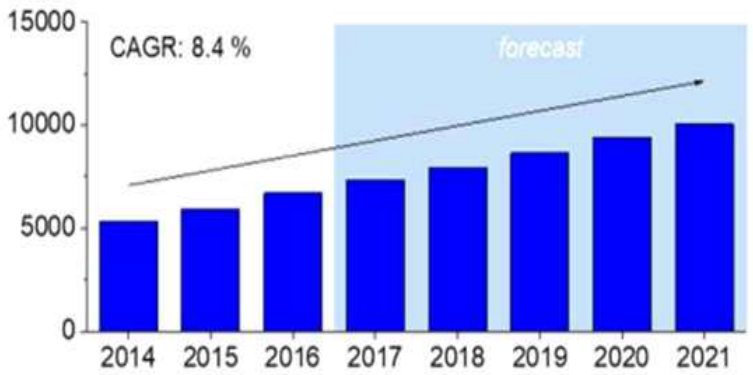
- 대영씨엔이社는 KIST가 개발한 비전이금속 촉매로 250℃급 저온 촉매 기술이전, 파형 촉매 성형기술, 석탄화력발전소 탈질 촉매사업 부문에서 세계 3 - 4위 기술력을 가지며, 6개국에 촉매 수출 실적을 보유함

- 환경부는 2020년 CO 배출 허용기준이 전년 대비 3% 강화된 대기환경보전법 시행 규칙 개정안을 발표함

  • CO 배출허용 기준을 만족시키기 위한 고성능 CO 산화 촉매 수요의 기하급수적 증가가 예상됨

- 귀금속계 활성점 기반 CO 산화 촉매를 일본 등으로부터 수입하여 사용 중임

  • 대일무역 적자의 원인 중 하나로 지목되어 기술경쟁력 강화 및 국내시장 선점을 위하여 비귀금속계 활성점 기반 CO 산화 신촉매 개발이 요구됨



189)

[그림 216] 국내 SCR 촉매 시장

* 단위 : 억 원

189) 두산중공업, 표준가스복합발전모델 및 테스트베드구축 기술개발 보고서, 2021

다. 기술동향 분석

(1) 국외 기술동향 분석

① CCUS

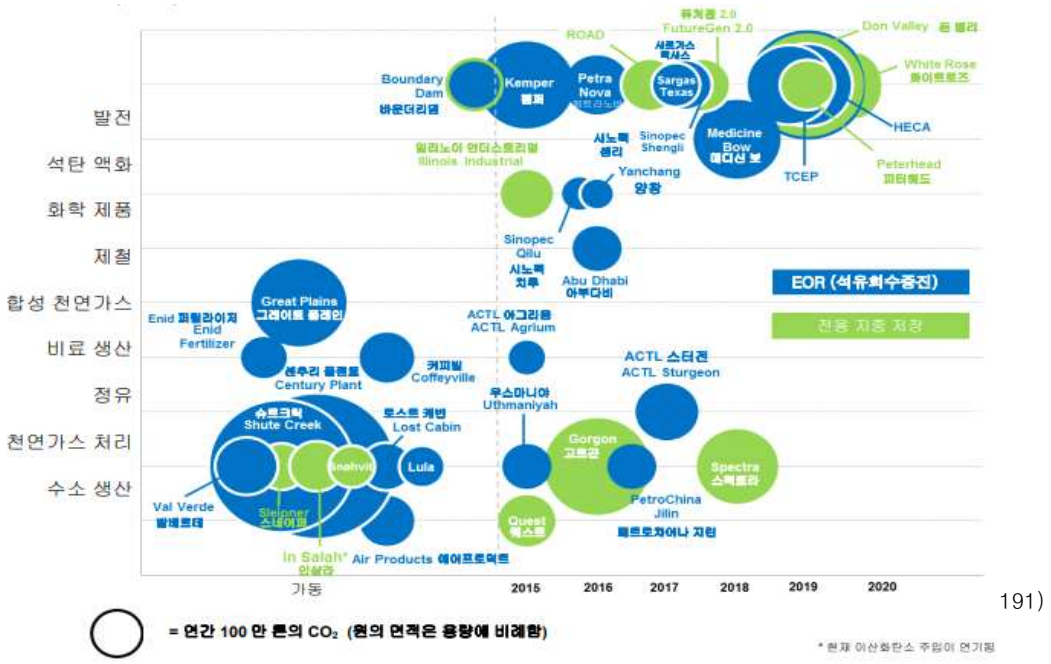
□ **국제에너지기구(IEA)는 2020년 「에너지기술 전망」 보고서에서 온실가스 배출량 제로는 CCUS 기술이 필수적이라 명시함**

- 산업·발전 부문 대규모 시설에서 발생하는 이산화탄소 배출을 해결할 수 있는 유일한 해결책으로 CCUS 기술을 제시함

- 석탄화력발전소는 연소 후 포집 기술을 이용하여, 배출되는 배기가스에서 이산화탄소를 포집하여 저장하는 기술이 실증 중임

□ **(대규모 CCS 프로젝트) 2016년 기준, 전 세계적으로 15개의 대규모 CCS 프로젝트가 운전 단계에 있으며 연간 이산화탄소 포집량은 28백만 톤 정도임**

- 2020년까지 11개의 추가 대규모 CCS 프로젝트가 계획 중에 있으며, 북미에 국한되어 주로 진행되었던 대규모 CCS 프로젝트가 유럽과 중국으로 확산되고 있음[190]



191)

[그림 217] 대규모 CCS 프로젝트 현황

□ **(미국) 동남 지역 탄소 격리 파트너십(SECARB : SOUTHEAST REGIONAL CARBON SEQUESTRATION PARTNERSHIP) 프로젝트에서 세계 최초로 석탄화력발전과 지중저장기술이**

190) 이산화탄소 포집기술 국외 기술개발 동향, 전력연구원, 2016
191) GLOBAL STATUS OF CCS REPORT, 2014

통합된 실증 연구를 추진함

- 2017년 세계 최대의 이산화탄소 포집·저장 시설인 페트라노바(PETRA NOVA)가 완공되어 근처 석탄화력발전소에서 배출되는 이산화탄소의 90%를 포집하고 포집된 이산화탄소를 원유회수증진(EOR : ENHANCED OIL RECOVERY)에 활용 중임

□ **(캐나다) 석탄화력발전과 연계한 세계 최대 규모의 CCS 프로젝트인 BOUNDARY DAM 프로젝트에서 석탄화력발전소에 이산화탄소 포집 설비를 구축함**

- 110MW급 석탄화력발전 플랜트에서 연간 약 백만 톤의 이산화탄소를 포집할 수 있음

□ **(유럽) 노르웨이는 CCS 기술을 국가전략기술로 지정하고 2012년 몽샤드기술센터(TECHNOLOGY CENTRE MONGSTAD, TCM)를 설립하여 12MW 규모의 이산화탄소 포집 테스트 설비를 구축함**

○ 영국 사우샘프턴대 연구팀은 카브픽스 프로젝트(CARBFIX PROJECT)에서 아이슬란드 레이캬비크의 자연 상태의 암반을 이용하여 이산화탄소를 격리시키는 기술을 개발함

○ 독일은 산업 현장에서 배출되는 이산화탄소를 포집하고 화학원료·연료물질로 전환·활용하는 공정기술을 개발함

- 바이엘(BAYER)社는 독일 정부의 지원 하에 2011년 이산화탄소 드림 프로덕션(CO_2 DREAM PRODUCTION)에서 이산화탄소에서 탄소를 추출하여 재활용하는 기술을 개발함

○ (독일) FLUOR社와 E.ON社는 석탄화력발전소 이산화탄소 포집 기술개발을 위한 협력관계를 맺고 독일 WIHELMSHAVEN에 있는 E.ON社의 석탄화력발전소에 CO_2 회수 파일럿 플랜트를 건설함

- 이산화탄소 포집률은 90%로, 하루 약 70톤의 이산화탄소를 포집할 수 있으며 실증설비에 적용되는 구조를 모두 가지고 있어 포집 기술개발에 이용되고 있음

□ **(일본) 경제산업성 산하 지구환경산업기술연구기구를 중심으로 1톤당 포집 비용 1,000엔을 목표로 고압 분리막 포집 기술을 개발 중이며 항구 인근 수소생산시설에서 배출된 이산화탄소를 포집하여 저장하는 기술 실증을 추진함**

□ **(중국) 페트로차이나社(PETROCHINA)는 페트로차이나 질린 유전 원유회수증진 프로젝트(PETROCHINA JILIN OIL FIELD EOR PROJECT)에서 중국 북동지역 천연가스 가공처리공장에서 이산화탄소를 포집하여 질린 지역 유전에 연간 50만톤의 이산화탄소를 주입하는 연구를 수행 중임**

② 초청정 환경플랜트

□ **세계적인 대기오염물질 규제강화 추세로 미세먼지 등의 대기오염방지 기술에 대한 투자 및 개발이 활발하게 진행되고 있음**

- WHO에 따르면 3대 대기오염물질 중 미세먼지의 약 85%와 질소산화물, 이산화황 대부분은 에너지 생산 및 소비 활동에 기인하는 것으로 분석됨

- 석탄화력발전소에서 발생하는 배기가스에서 오염물질 최소화를 위한 환경설비 기술개발이 해외 선진社를 중심으로 이루어지고 있음

□ **(미국) GE社, BABCOCK & WILCOX社 등 환경설비 분야의 선도기업을 중심으로 대기오염방지 설비 기술개발이 활발함**

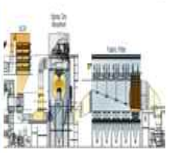
- GE社는 탈황설비 분야에서 시장의 21%를 차지하며, 질소산화물을 최대 95% 제거하는 설비 기술을 보유함

- BABCOCK & WILCOX社는 세계 최고 수준의 전기집진기술을 보유하고 있으며 SUB MICRON 영역에서 높은 집진 효율을 보이는 하이브리드 습식 전기집진기를 개발함

□ **(일본) MHPS社는 「ADVANCED AQCS TECHNOLOGY FOR FURTHER EMISSION CONTROL」 플랫폼을 개발하여 보일러에서부터 굴뚝까지 배기가스를 탈질, 탈황, 집진 처리하는 고효율 친환경 환경설비를 30년 이상 공급하여 세계시장을 선도함**

- MHPS社는 자체 개발한 탈질설비, 탈황설비, 집진설비 등 환경설비 관련 독자기술을 보유하고 있음

- MHPS社는 13개국에 탈질설비 1,027기를, 32개국에 집진설비 3,261기를, 24개국에 탈황설비 323기를 납품한 실적을 보유하고 있음[192)]

AQCS		[De-SOx]	[De-NOx]	[De-Dust]
B&W		-WFGD -Spray Dryer Absorber -Circulating Dry Scrubber -Dry Sorbent Injection	-SCR -Airejet Low NOx BNR -DRB-4Z Low NOx BNR	-Dry ESP -Horizontal Wet ESP -Jet Fabric Filter
MHPS		-Rectangle DCF WFGD -Sea Water FGD	-SCR -SCR with TRAC² -A-PM Low NOx BNR -M-PM Low NOx BNR	-Dry ESP -Wet ESP -Moving Electrode ESP -Low Low Temp ESP
GE-Alstom		-Open Spray WFGD -Flowpac WFGD -Sea Water FGD -NID Dry FGD -Spray Dryer Absorber	-SCR -RSFC Low NOx BNR	-Dry ESP -Wet ESP -Fabric Filter

193)

[그림 218] 주요 선진사의 대기오염 방지기술 현황

□ **(미국) FILTRETE TM 제품군을 개발하여 자동차 및 대풍량 에어컨 등 다양한 곳에 적용 중임**

- 초극세 MELTBLOWN 설비를 활용하여 고효율 마스크 및 승용차용 여재와 모듈을 개발하여 마스크 및 고급 승용차용 상용제품을 생산하고 있음

192) Introduction of MHPS & air quality control systems, mhps, 2017
193) 두산중공업 내부자료

- 나노 FIBER 필터섬유 및 정전필터에 관해 연구하여 3M社 등에서 적용 중임

□ **고정오염원 배출저감기술은 성숙기에 도달하여 전반적인 시장 감소 추세임**

- 중국은 국내와 마찬가지로 고효율화, 촉매 등 소재 개량을 위해 노력 중임
- 국내 동향과 유사한 연구 외에도 관련 기술 선진국에서는 자연 환기용 투명 창호형 필터 등의 미세먼지 처리와 관련된 신소재 개발을 진행하고 있음

□ **탈질 기술**

- GE社는 LNG 발전 플랜트의 기동 시 SCR INLET 온도 기준 180 - 200℃ 구간에서 탈질이 가능한 기술을 적용하여 기동 시 NOx 발생량의 70% 저감이 가능하다는 실증 사례를 확보하였고, 기동 시 NOx 최적 제어를 위한 OPLEX STARTUP SCR CONTROL 기술을 발표함
- GE社는 SCR 공정사양서 기준으로 LNG 발전 플랜트 SCR 작동 온도는 230 - 435℃ 구간이며, 정상 기동 시 NOx 제거효율은 최대 95%, NH_3 SLIP 2ppmvd(15% O_2) 이하 성능을 제시하고 있으며, 기동 시 NOx 제거효율에 대한 구체적인 언급은 없음
- 오스트리아 CERAM社는 유럽, 미국, 중동의 SCR 촉매 시장을 선도하는 기업으로, 허니컴 및 플레이트 SCR 촉매를 각 적용처에 따라 변형 가능하고, 저온에서 고온 영역대에 적용 가능한 촉매를 개발하고 있고, 기업 자체적으로 촉매의 모양 및 CELL의 형상을 조절하여 제작이 가능하며, 물리·화학적 특성에 맞추어 촉매를 제조할 수 있는 역량을 갖추고 있음
- 세계적인 SCR 촉매 제조사들은 저온에서 효율이 높고 내구성을 갖는 새로운 저온 탈질촉매를 개발하고 있음

(2) 국내 기술동향 분석

① CCUS

□ **이산화탄소 포집 및 처리기술은 이산화탄소를 인위적으로 감축하기 위한 기술을 통칭하며, 국제표준화기구(ISO)는 CCS를 '이산화탄소 포집, 수송 및 지중저장(CARBON DIOXIDE CAPTURE, TRANSPORTATION AND GEOLOGICAL STORAGE)'로 한정하고 있음[194)]**

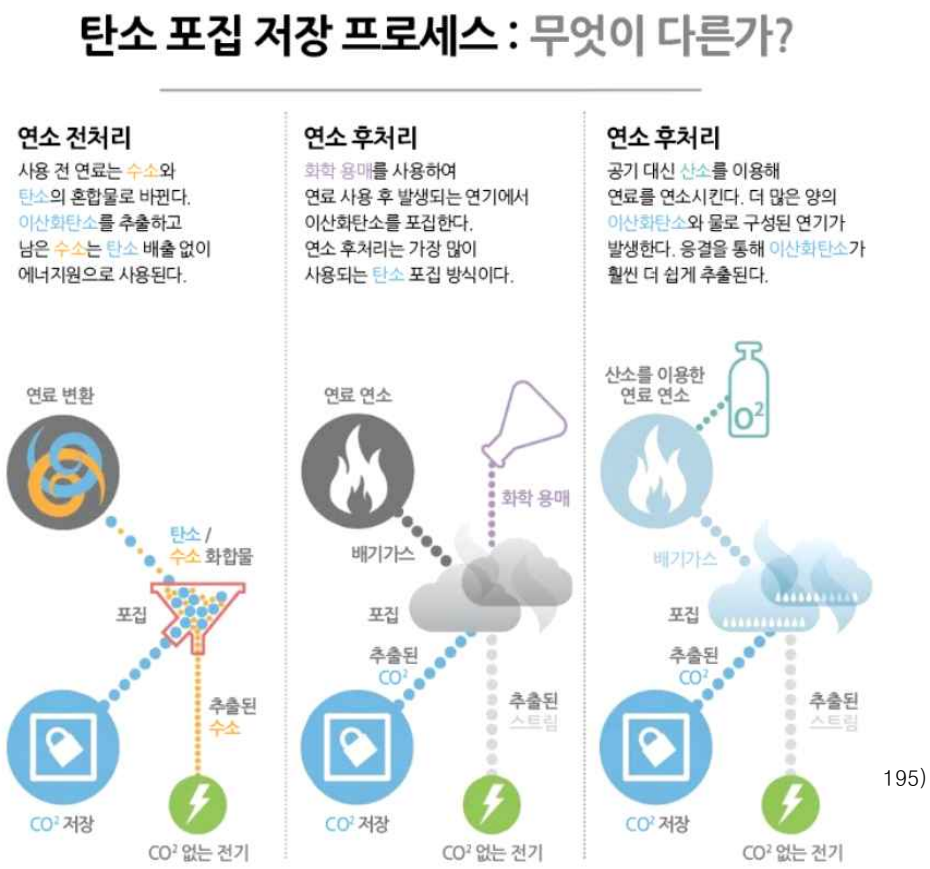
□ **CCUS 기술 선도국인 우리나라는 기후변화 대응 연구 개발계획 및 추진전략을 바탕으로 기초·원천 연구 및 다양한 실증 연구를 추진하고 있음**

- 기술 수준은 세계 최고 기술국인 미국 대비 80.1% 수준으로 평가되고 있으며 일부 원천기술은 세계적인 우위를 차지하고 있음

□ **전 세계 많은 연구기관에서 CCUS 연구를 진행하고 있으나, 경제성이 확보된 상용규모 기술은 제한적이나, 지속적 기술개발을 추진 중임**

194) KATS기술보고서, 국가기술표준원, 2018

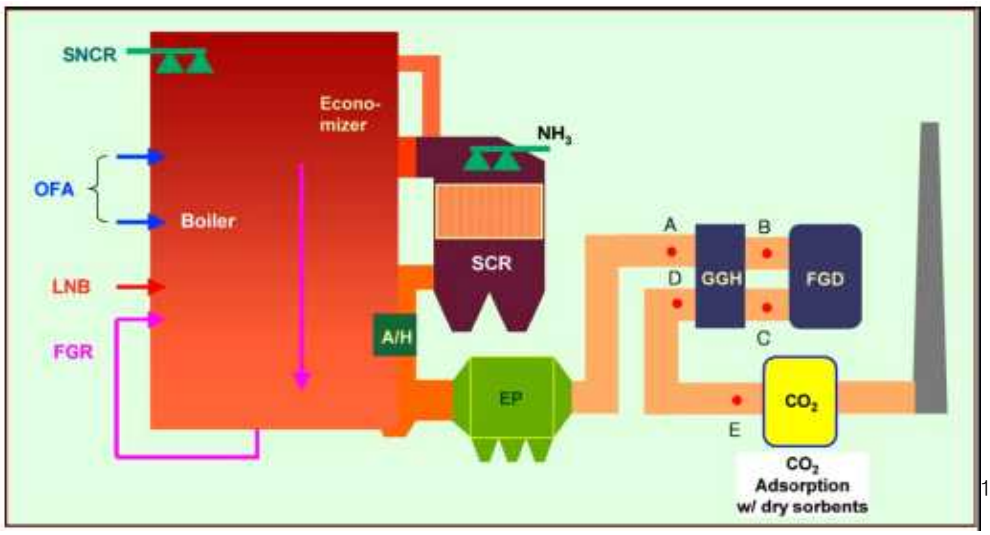
- 포집공정은 CCUS 전체 비용의 약 70 - 80%를 차지하는 핵심기술이며, 이산화탄소의 포집공정 위치 또는 분리대상 가스 혼합물의 종류에 따라 '연소 후 포집기술', '연소 전 포집기술' 및 '순산소 연소 기술' 등으로 구분됨
- '연소 후 포집기술'은 연소공정 후 배출되는 가스에서 이산화탄소를 포집하는 방법을 의미하고, '연소 전 포집기술'은 연소 전 연료의 가스화 또는 부분산화를 통해 이산화탄소를 포집하는 방법을 의미하며, '순산소 연소 기술'은 연소 시 고순도 산소를 공급하여 질소산화물의 배출을 방지하고 이산화탄소를 포집하는 기술을 의미함
- 압축 및 액화공정은 포집된 이산화탄소를 압축하여 액화시키는 공정을 말하며, 액체 상태의 이산화탄소를 '배관', '차량' 및 '선박'을 통해 저장소까지 운송함
- 저장은 포집된 이산화탄소를 영구 또는 반영구적으로 격리시키는 최종단계이고, '지중저장'은 단순히 지층 아래로 저장하는 방법을 의미하며, 최근 경제성을 향상시키기 위해 저장과 동시에 재이용하는 방법 등이 주로 사용되고 있음



195)

[그림 219] CCS 공정 개요

195) https://www.gereports.kr/carbon-capture-and-storage/



196)

[그림 220] CCS 적용 발전시스템 모식도

□ **연소 후 포집 공정은 배기가스의 주요 불순물이 대부분 제거된 발전소의 마지막 공정인 탈황공정 이후에 적용하여 이산화탄소가 제거된 가스를 배출하도록 함**

- 연소 후 포집 기술은 아민 또는 암모니아 계열 흡수제를 활용한 습식 흡수법, 고체 형태의 흡수제를 활용한 건식 흡수법, 분리막을 활용한 막분리법 등으로 분류함
- 아민계열 흡수제를 사용한 습식흡수법은 발전 배기가스와 같이 이산화탄소의 농도가 10 – 20% 수준의 저농도 가스처리에 적합하며, 기존 화력발전소에 적용하기 용이함

□ **미래창조과학부 산하 '한국 이산화탄소 포집 및 처리 연구개발센터(KCRC : KOREA CARBON CAPTURE & SEQUESTRATION R&D CENTER)'가 2011년에 설립되어 'KOREA CCS 2020 사업'을 수행 중임**

❍ KOREA CCS 2020 사업은 이산화탄소 포집, 저장, 전환의 3개 기술 분야별 목표를 수립하고 이를 실현하기 위해 산·학·연 42개 기관에서 연구원 600여 명이 참여하여 세부 기술 개발을 추진함(2011년 – 2020년)

❍ 에너지기술연구원, 전력연구원 등 국가출연연구원을 중심으로, 국책과제를 통해 10MW급 습식 포집 기술 실증을 완료하고 150MW급 기본설계를 수행 중임

❍ KCRC는 2016년에 기존 상용 단일 성분 흡수제 대비 이산화탄소 흡수용량 및 속도를 2배 이상 향상시킨 습식 포집기술(MAB : MODULATED AMINE BLEND)을 개발함

❍ 2016년 포항분지 인근에서는 해상지중 소규모 이산화탄소 주입실증이 완료됨

❍ 2017년 탄소자원화 국가전략 프로젝트를 통해 이산화탄소 활용기술의 유망 핵심 원천기술의 확보 및 확보 요소기술의 실증연구를 추진 중에 있음

- 탄소전환 플래그십 실증사업에서 이산화탄소, 메탄, 수소와 같은 산업 부생가스 간 촉매

196) 건식흡수제 이용 연소배가스 이산화탄소 포집기술, 이창근, 2009

반응을 통해 화학원료 및 연료를 생산하는 기술의 조기 실증을 수행 중에 있음

- 탄소광물화 플래그십 사업에서 그린 시멘트, 저농도 이산화탄소와 발전회를 활용한 세계최초 폐광산 채움재 생산기술 조기 실증 및 실증사업 엔지니어링 패키지 개발을 추진 중에 있음

□ **국내에서는 연소 배기가스 대상 습식·건식·분리막 기술 중규모 실증이 완료됨**

❍ 2014년 보령·하동 화력발전소에서 각각 습식포집 및 건식포집을 이용한 이산화탄소 연소 후 포집기술 10MW급 파일럿 실증연구가 추진됨

- 2017년 한국전력과 국내 중소기업 아스트로마社는 기술 협력을 통해 당진 화력발전소에 세계 최대 규모의 1MW급 이산화탄소 분리막 실증 플랜트를 준공함

- 산업공정에서는 시멘트, 제철, 석유화학 분야 벤치급 실증이 추진됨

- 한국에너지기술연구원은 시멘트 산업 10톤/일급 습식 포집 실증을 추진하였으며, RIST는 제철산업 10톤/일급 습식 포집 실증을 추진함

❍ 연소 중 원천분리 기술은 해외와 유사한 규모의 실증 연구가 수행됨

- 한국에너지연구원과 한국전력은 매체순환 가스 연소 0.5MWth급 실증을 완료하였으며 3MWth급을 개발 중에 있음

- 한국전력은 순산소 연소발전 10MW급 실증 연구를 수행 중에 있음



197)

[그림 221] 국내 이산화탄소 포집 기술개발 성과

② 초청정 환경플랜트

□ **미세먼지 집진기술**

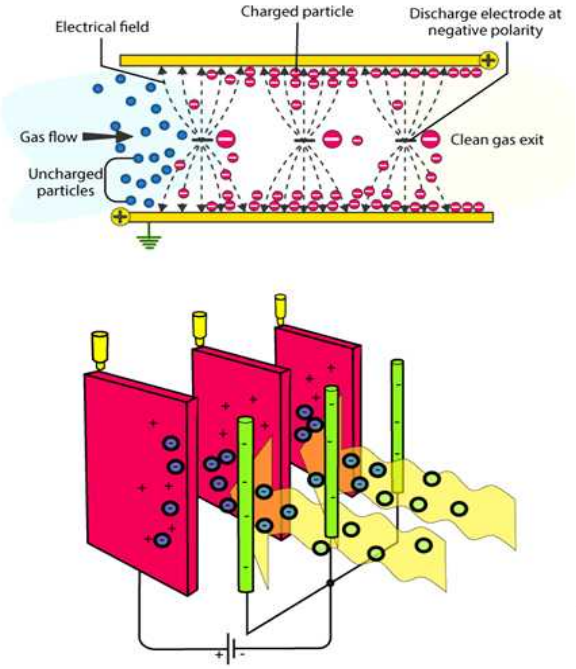
❍ 미세먼지를 저감할 수 있는 주요 후처리 기술로는 전기집진 기술, 여과집진 기술, 습식세정 기술, 하이브리드(전기+여과) 기술 등이 있음

- 가스상 오염물질과 입자상 오염물질을 전처리 과정을 거쳐 미세입자의 형태로 변환시킨 후 동시에 제거하는 기술이 개발되고 있음

- 고온·고압과 같은 특수 환경에서 집진을 위한 세라믹 여과재가 개발되고 있음

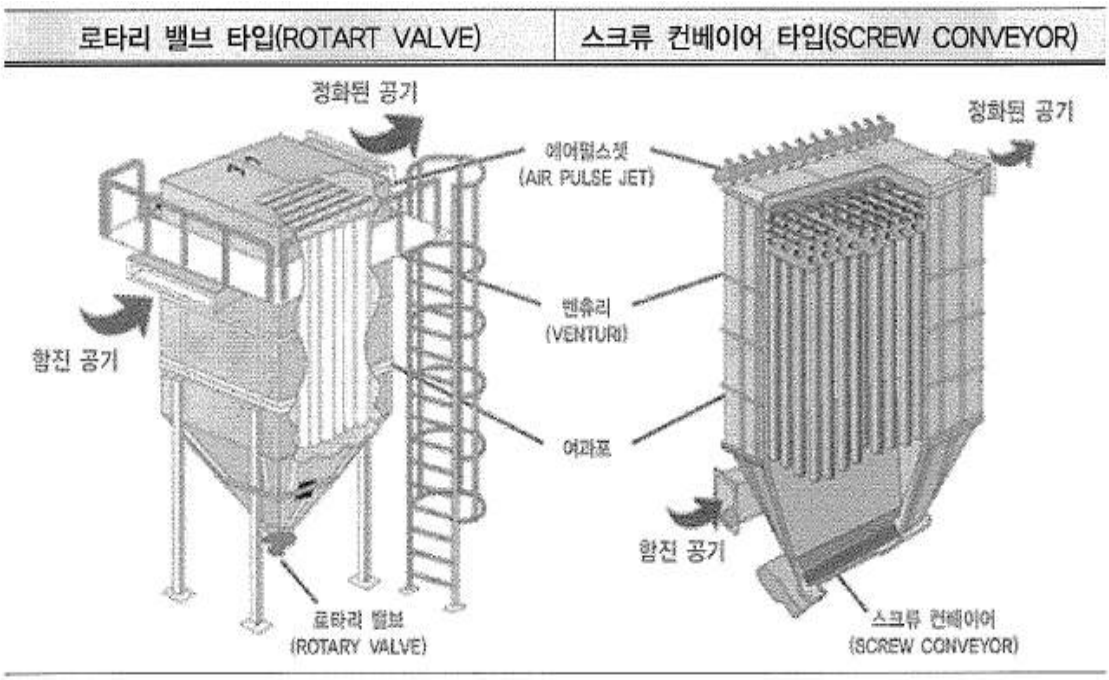
197) 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵, 과학기술정보통신부, 2021

- 세라믹 필터는 고온에서 가스 정제가 가능하여 IGCC 등 가스발전에 유효하며 SCR 전단에 설치 가능하여 에너지 소비량이 절감됨



198)

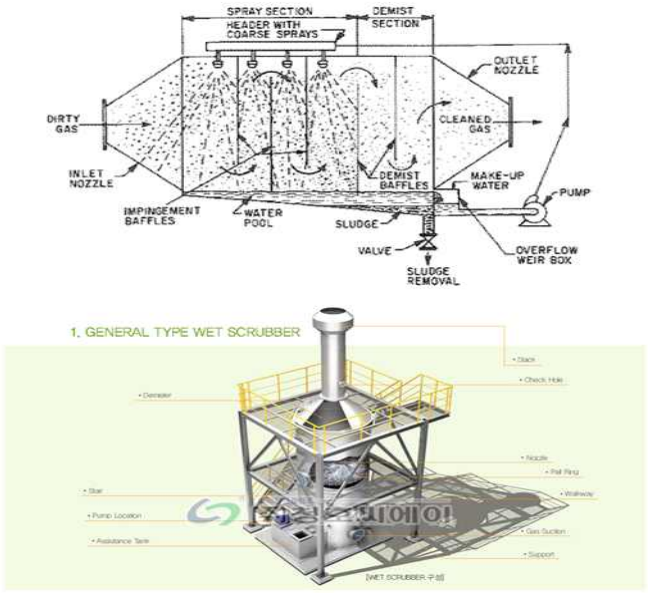
[그림 222] 전기집진기 원리·개략도



199)

[그림 223] 여과 집진설비 구성도

198) https://byjus.com/physics/electrostatic-precipitator/
199) Marin E&C、Aquacell 홈페이지



200)

[그림 224] 세정 집진설비 구조

[표 123] 미세먼지 집진기술 동향

구분	주요 내용
전기 집진기술	• 각 공정에서 배출되는 배기가스 중에 함유된 입자상 먼지에 코로나방전을 가해(-)전하를 부여하고, 집진극에는(+)전하를 부여하여 전기적인 인력에 의해 입자상 먼지가 집진극으로 이동, 부착 제거되는 방식을 이용하는 기술 : 화력발전소, 대형보일러 사용시설 등에 주요 대기오염방지시설로 채택하고 있으며, 미세먼지까지 집진 가능 : 특히 화력발전소 대기오염 대책과 관련하여 2006년과 발표된 미국의 미세먼지 저감 대책은 미국 대기환경 정책의 가장 중요한 이슈로서, 정부는 CLEAN AIR INTERSTATE RULE(미 동부지역 화력발전소 배출량 감소)에 따른 초고효율 집진기술 및 미량 오염 대책 추진
여과 집진기술	• 각 공정에서 배출되는 배기가스 중에 함유된 입자상 먼지를 여과재에 의해 포집, 제거하는 방식 : 입자상 먼지는 여과재를 구성하는 단일섬유와 관성 충돌, 직접차단, 확산 등의 원리에 의해 포집되고, 그 이후에는 여과재 표면층에 의해 형성된 입자상물질 층에 의해 포집이 이루어짐 : 일반 여과용 집진필터, HEPA 필터 등을 활용해 미세먼지는 물론 초미세먼지까지 집진이 가능하게 하고 있으며, 본체 외부와 함께 내부 주요 구성부품이 거의 전량 국산화 가능 : 생활폐기물 소각시설, 시멘트제조공정 및 석탄가스 화용 집진기술과 WESTINGHOUSE W-APF SYSTEM 기술, 영국의 BRITISH BOARD와 EPRI, GRIMETHORPE의 가압유동층 복합발전설비용 집진기술 등이 많이 알려져 있음 : 최근 국내에서는 초미세먼지 제거용 필터는 물론, 저밀도 세라믹 섬유필터의 개발, SIC RIGID CERAMIC CANDLE 필터 개발 등 고온·고압용 세라믹 필터의 개발 등도 꾸준히 진행되고 있음

201)

200) 상: pnline 블로그, 하: ㈜청호씨에이

❍ 전기집진기의 집진 성능을 향상시키기 위해 방전극 형상 개조, 펄스타입의 전원장치를 이용한 집진 성능개선, 역전리 방지기술의 개발, 새로운 추타 및 탈진 시스템개발 등이 수행되고 있음

□ **미세먼지 규제 강화로 인한 화력발전소에서 발생하는 미세먼지를 제거하는 기술이 개발되고 있음**

- 단순한 미세 입자의 제거 뿐 아니라 물리적, 화학적 특성에 따른 선택적 분리 및 입자의 특성 변환 등에 의한 응용기술을 개발 중임

□ **두산중공업, 현대중공업, 삼성중공업, 포스코 ICT, KC 코트렐 등의 대기업이 화력발전소 등 대규모 대기오염물질 처리설비 구축에 주도적으로 참여하며 집진기 분야의 기술개발이 활발히 이루어지고 있음**

❍ 포스코 ICT社는 마이크로펄스 방식의 전기집진기를 개발하여 석탄화력발전소와 제철소에 70기 이상을 설치함

- 마이크로펄스는 고전압으로 발생하는 정전기를 이용하여 미세먼지를 집진판에 부착 후 제거하는 방식으로 기존 설비보다 에너지는 80% 적게 소모되고 제거율은 50% 이상 높음

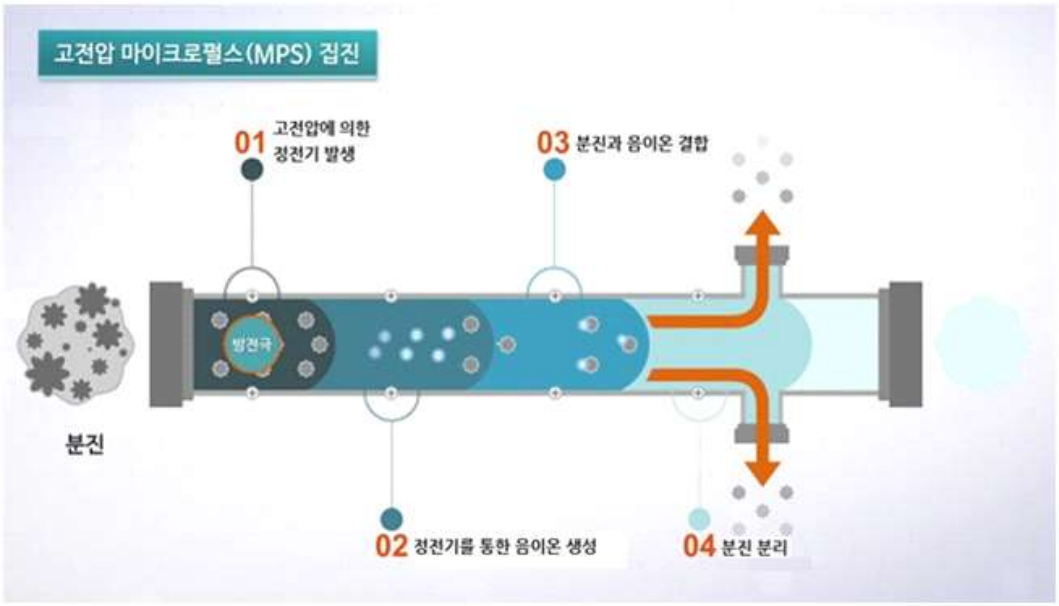
❍ 에어릭스社는 국내 최초로 부직포 사용 집진 방식을 개발하였으며 순리 흐름 집진 방식의 집진기를 개발하여 해외에 다수의 특허를 출원함

- 기존 백필터의 성능을 개선한 롱 백필터는 기존 공간에서 약 28%의 면적을 줄여 초기 설치시 투자 비용이 절감되고 양방향 탈진으로 집진 효율이 높음

❍ 제이텍社는 정전 여과 집진기술, 원심 여과 집진기술 등의 백필터 기술을 확보하여 발전소, 제철 및 비철금속 산업 분야에 300여기, 중국 석탄보일러 집진설비 70기 등 다수의 실적을 보유함

- 사이클론과 백필터로 구성된 일체형 원심 여과집진 시스템은 집진기의 손상 및 성능 저하를 야기하는 수분과 점착성 분진을 효과적으로 제거해 여과포의 수명을 확대하고 집진 효율과 가동율을 높인 기술임

201) 미세먼지 관련 국내외 시장정책현황과 분야별 사례분석 및 기술개발 동향, 좋은정보사, 2018



202)

[그림 225] 마이크로펄스 하전 방식 전기집진기(포스코 ICT社)

❍ ㈜글로벌스탠다드社는 반도체와 FPD(FLAT PANEL DISPLAY)공정 장비에서 배출되는 유해한 가스들을 정화하는 GST SCRUBBER를 개발함

❍ ㈜리트코社는 배출가스 감시 및 공정 제어용 가스 계측 시스템을 개발하여 환경오염물질 배출 농도 및 공정 효율의 상시측정이 가능한 기술을 산업용 플랜트 분야에 적용한 솔루션을 개발함

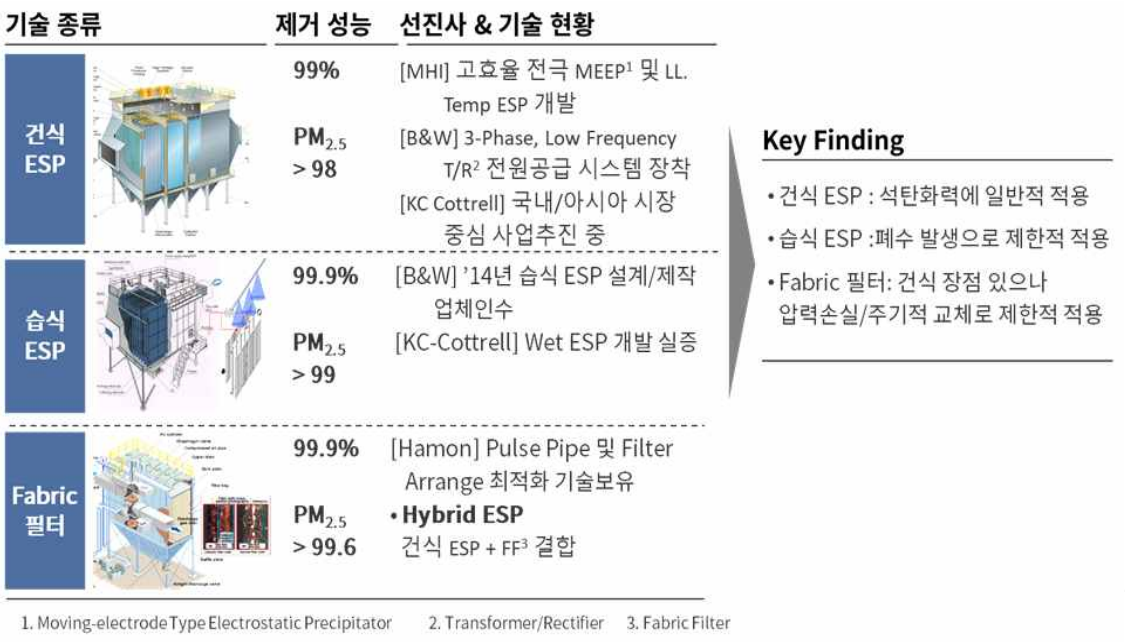
❍ ㈜이엔드디社는 자동차용 배기가스 정화용 촉매 및 시스템을 개발하여 디젤엔진 배출 미세먼지가 대기 중으로 방출되지 않도록 포집하고, 포집된 입자상물질을 이산화질소와의 산화반응을 통해 인체에 무해한 이산화탄소로 변환하는 장치를 개발함

❍ ㈜세아그린텍社는 고전압의 정전기 원리를 이용하여 미세먼지와 유해성 가스를 동시에 포집하는 SWEP SYSTEM과 반도체·화학 제조공정 등에서 활용 가능한 WET HORIZONTAL SCRUBBER를 개발함

❍ ㈜금호환경社는 고속 여과가 가능한 집진기와 각종 유기성 가스 및 악취를 흡수·흡착하여 제거하는 흡착탑 기술을 개발함

❍ ㈜에코솔루텍社는 하이브리드 정전 스크러버 시스템과 수막형 습식 전기집진기를 개발하였으며, 전기집진기용 관련 특허를 다수 보유함

202) 연합뉴스, https://www.yna.co.kr/view/AKR20160614049300017, 2016-06-14



203)

[그림 226] 미세먼지 집진기술 현황

□ **하이브리드 기술**

- 하이브리드 기술의 한 형태로 여과 집진장치의 성능을 높이기 위해 저전압 조건에서 먼지 입자에 정전기력을 부여한 후 포집하는 일체형 전기 여과 집진장치 개발이 이루어졌으며, 각각의 적용 환경에 맞추어 기존기술을 개선하는 형태로 기술개발이 진행됨

- 전기집진기술은 성숙단계에 이른 기술로 석탄화력발전소에 건식 전기집진기가 대부분 적용되고 있으며, 배출규제 강화로 인해 최근 국내에 습식 전기집진기 적용이 검토되어 설치 중임

□ **두산중공업社와 한국기계연구원은 정전식 미세먼지 집진기(EME, ELECTROSTATIC MIST ELIMINATOR)를 개발하여 별도의 습식 전기집진기 없이도 발전소에서 배출되는 미세먼지를 저감할 수 있게 됨**

- 2019년 미세먼지 저감을 위한 EME 기술개발 완료 및 2021년 신기술인증을 취득하였으며, 국내 하동발전소에서 10,000m^3/h(2.5MW급) PILOT 설비를 운영 완료함(2020.02 - 2021.10)

- 화력발전소 내 통풍계통에서 미세먼지를 집진하기 위해 해외 선진사의 습식 전기집진기를 적용하고 있으나, 기존 습식 탈황 흡수탑 내 습분제거기(MIST ELIMINATOR, ME)를 EME로 대체하여 습분제거기와 습식 전기집진기 기능을 수행함

- EME는 기존 ME에 WET ESP를 결합시켜 ME가 제거할 수 없는 미세먼지 및 응축수를 코로나 방전을 통해 낮은 차압으로 저감하고, 추가로 SOx를 저감하는 '통합형 미세먼지 저감 설비'로, 습식탈황 흡수탑 상단에 가스가 수직 방향으로 통과하도록 설치됨

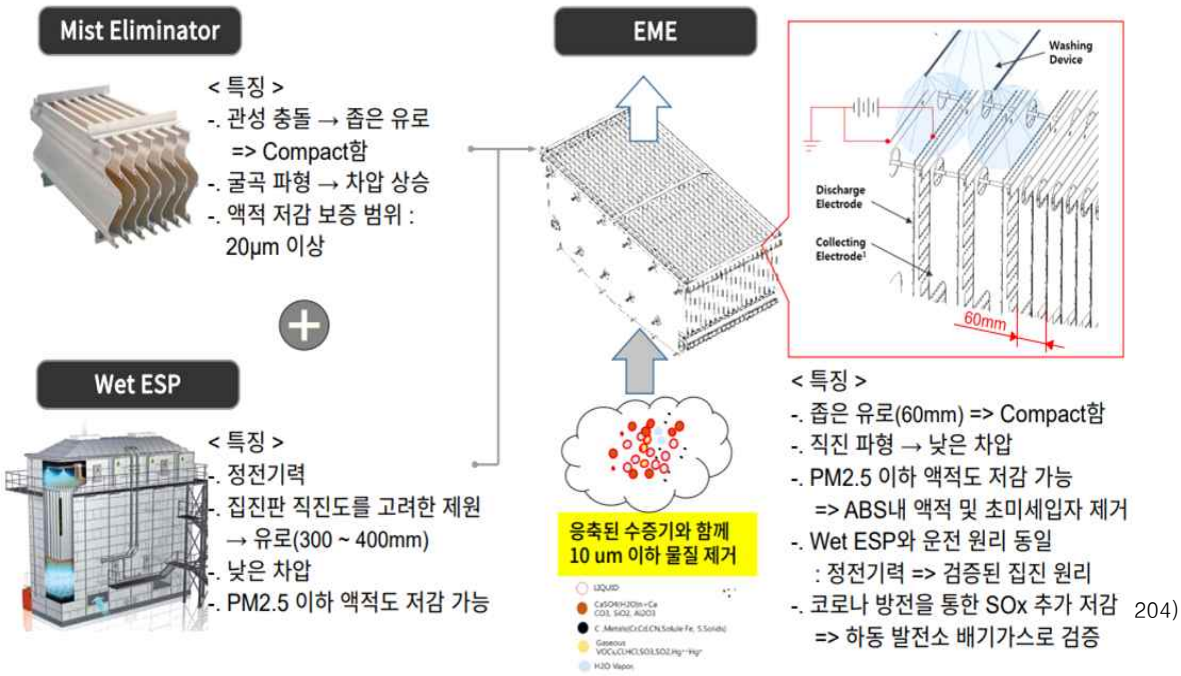
203) 세계의 전기집진기 시장 예측(2018 - 2023년) : 건식 전기집진기, 습식 전기집진기

- EME의 전기하전 집진장치는 기존 습식 전기집진기와는 다르게 전극 간극을 50 – 100mm까지 밀집도 있게 구성하고 하전 공간을 일정하게 유지하기 위해 상부와 하부에 고정할 수 있도록 구성하여 모듈 단위로 설치할 수 있도록 고안된 기술임

- EME는 해외 경쟁사의 WET ESP에 비해 집진판·방전극을 모두 판형으로 제작하여 구조적 형상 개선 및 모듈화를 통해 고효율 집진을 구현하였고, SOx 추가 저감, 설치면적 저감과 설치 기간을 단축 등의 장점이 있음

- 국내 대기질 개선을 위해 발전소의 미세먼지 배출기준이 강화됨에 따라 기존에 설치된 미세먼지 저감 장치의 성능개선이 필요함

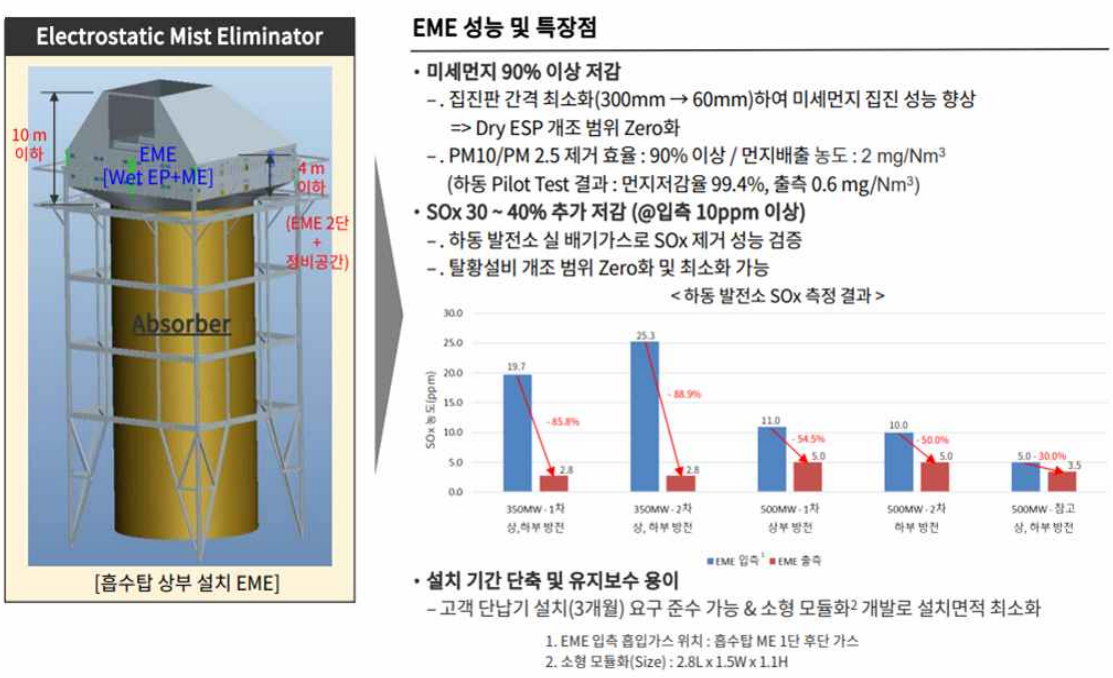
- 기존 발전소 적용되는 미세먼지 저감 장치로서의 습식 전기집진 기술은 100% 해외 기술에 의존하였으나, 본 기술의 개발로 수입 대체 및 기술 수출 파급 효과가 기대됨



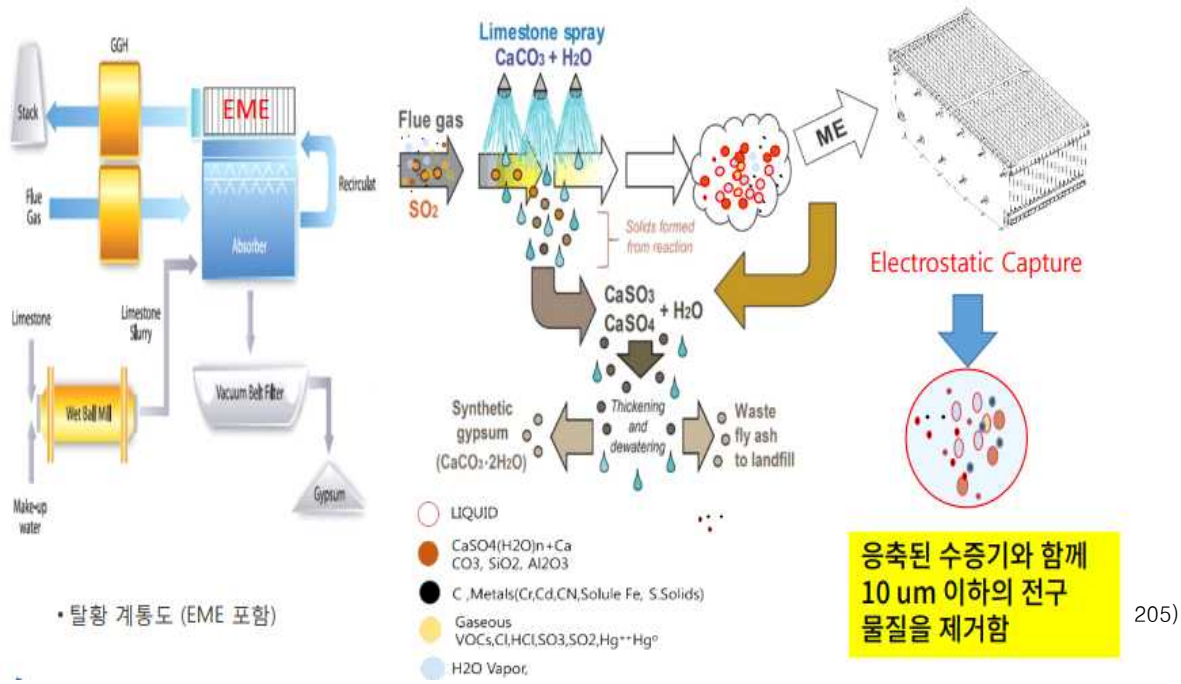
204)

[그림 227] EME 소개 및 특징

204) 두산중공업 내부자료



[그림 228] EME 성능 및 특장점

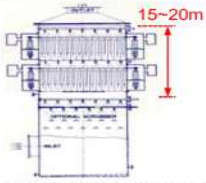
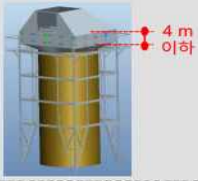
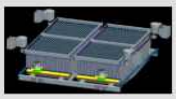


205)

[그림 229] 화력발전소 미세먼지 집진 통풍계통 설비 구성

– 미세먼지 국책과제(2016.12 – 2019.03, 산자부)를 통해 EME를 개발하였고, PILOT 설비 테스트를 통해 기술을 검증하였음

205) 한국기계연구원, 두산 석탄화력발전 미세먼지 저감기술

	Wet ESP (경쟁사)	VS.	EME (Doosan)
구조 / 크기	  집진판/방전극 : Spike or wire형		  집진판/방전극 : 평판형
먼지배출농도	• 3 mg/Nm³		• 2 mg/Nm³
SOx저감효율	• N/A		• 30 ~ 40%
압력손실	• 100%		• 경쟁사 대비 30% 수준
소비동력	• 100%		• 경쟁사 대비 60% 수준
물량	• 100%		• 경쟁사 대비 45% 수준
설치면적	• 100 %		• 경쟁사 대비 65% 수준
설치기간	• 6개월		• 3개월

206)

[그림 230] 습식 전기집진기 대비 EME 기술 차별성

Mist Carry-Over 저감

• **EME 적용시, Rotary Type GGH(or NL-GGH)로 유입되는 Mist Carry-Over가 저감 되며, 이를 통해 GGH 차압 상승 억제가 가능함**

–. 관성식 ME 후단 Mist : 30mg/Nm³ → EME 후단 : 3mg/Nm³ ⇒ GGH 차압 상승 억제 & GGH 전열 성능 유지



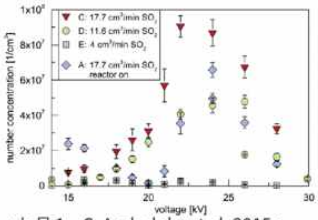
< Rotary Type GGH 열전소사 Scale >

SOx 추가 저감

• **EME는 코로나 방전으로 기체상의 SO_2를 황산 에어로졸로 전환시킨 후 포집함, 이를 통해 기체상의 SOx 농도가 저감됨.**

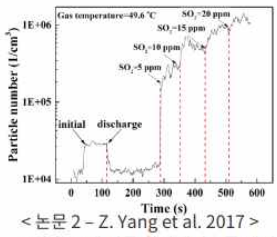
-. 과포화된 배기가스에 EME를 통한 코로나 방전 ⇒ Radical(O, OH등) 생성 ⇒ Radical과 SO_2 반응(SO_2 +O → SO_3)

⇒ 황산에어로졸 형성(SO_3 +H_2O → H_2SO_4) ⇒ EME 포집 제거(관성식 ME 제거 불가); SOx 추가 저감



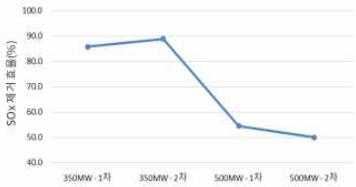
< 논문 1 – C. Anderlohr et al. 2015 >

-. 하전량, SO_2 농도에 따른 황산에어로졸 생성



< 논문 2 – Z. Yang et al. 2017 >

-. SO_2 농도에 따른 황산에어로졸 생성

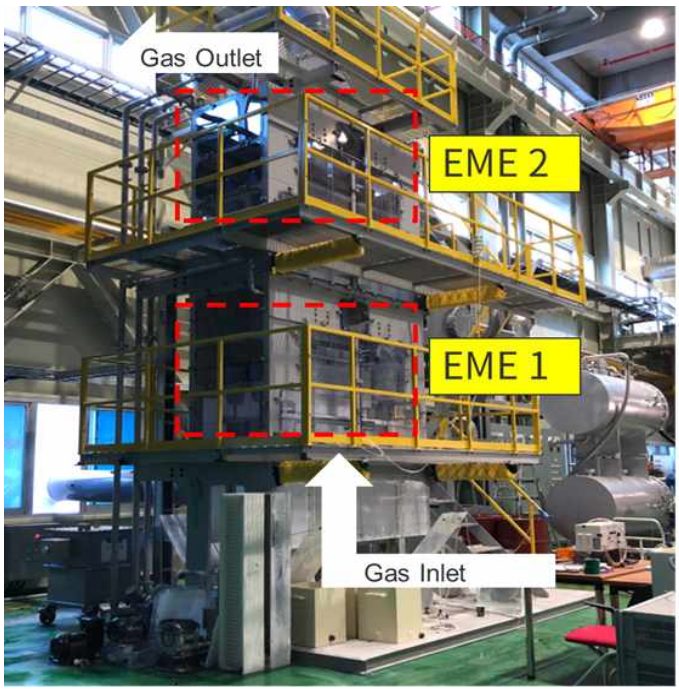


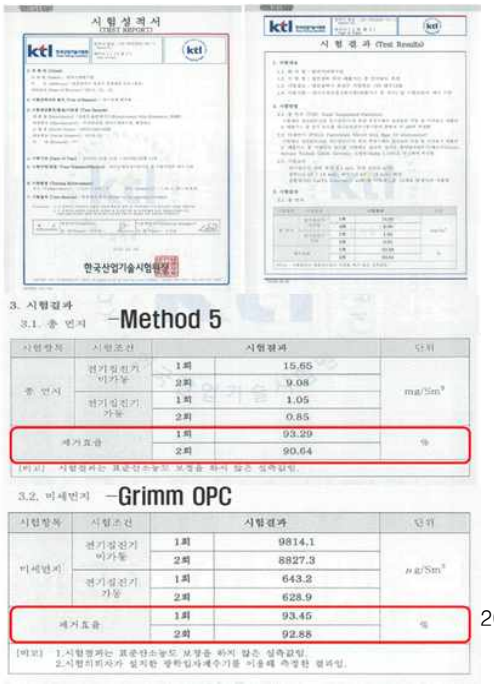
< 하동 EME Pilot 설비 SOx 제거율 측정치 >

-. 운전 조건(=SO_2 농도)에 따른 SOx 제거율 변화

[그림 231] EME 기술적 기대효과

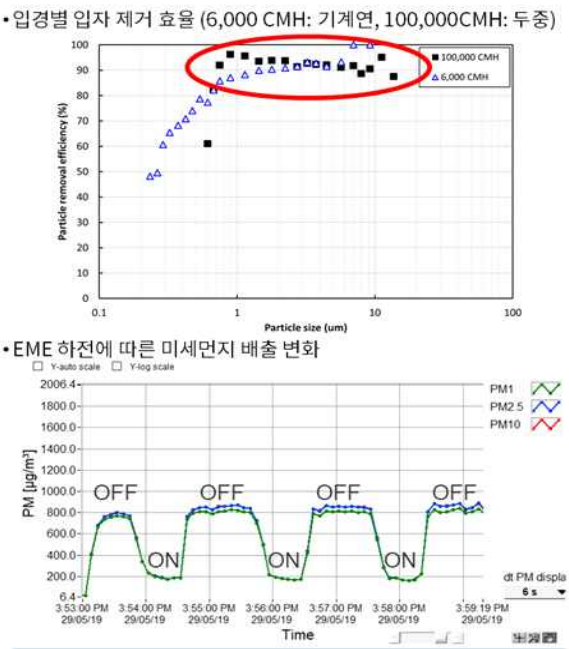
206) 두산중공업 내부자료





207)

[그림 232] 6,000 m^3/h급 PILOT EME 설비 및 시험성적서





208)

25MW급 PILOT 설비 (창원)

[그림 233] 100,000 m^3/h급 PILOT EME 설비 및 성능

207) 에너지데일리, KTL공인인증 기술적 문제점 및 주민 님비 현상 해결 대안
208) 대한전문건설신문, 화력발전소 배출 미세먼지 잡는 친환경 설비 개발



[그림 234] 100,000 m^3/h급 PILOT EME 설비 및 미세먼지 저감 성능

- 국책과제 결과물과 PILOT EME 설비의 공인인증 기관의 시험성적서를 근거로 EME에 대한 신기술인증이 승인됨(2020.12)
- 기재부 주관의 혁신제품으로 지정되었으나, 사업적 판단으로 혁신제품 지정 포기(2021.10)
- 한국남부발전과 업무협약을 통해 하동화력발전소에서 10,000 m^3/h PILOT EME 설비를 운영 완료함(2020.02 – 2021.10)
- 1,000시간 연속운전에 성공함(2021.01)
- EME 성능시험 인증을 완료함(항목 : 총먼지, 미스트, 황산화물)(2021.03)



209)

[그림 235] 하동 10,000 m^3/h급 PILOT EME 설비 및 성능

209) 두산중공업 내부자료

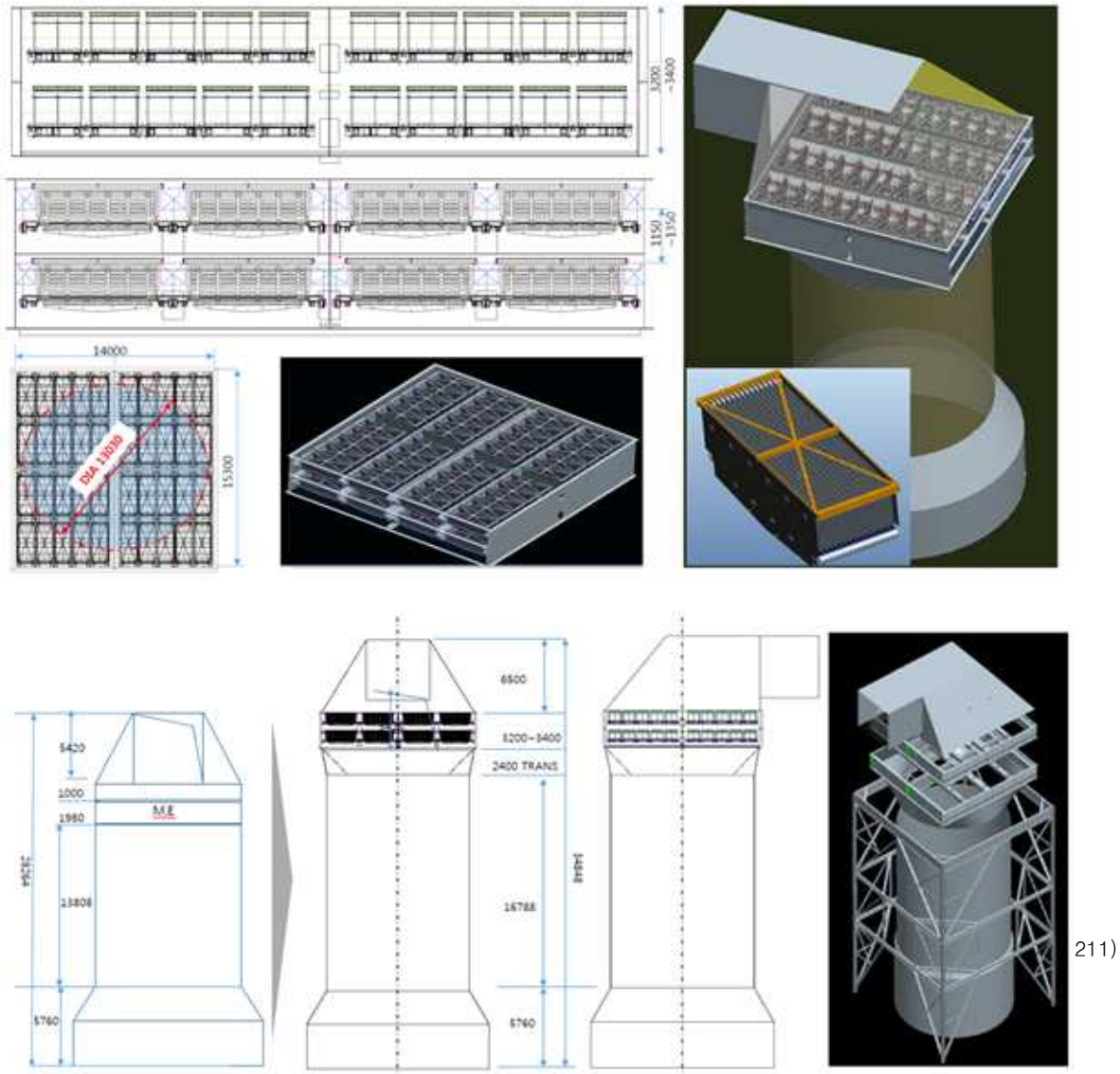


[그림 236] 하동 10,000 m^3/h급 PILOT EME 성능 인증 공문 및 성능 시험성적서

210)

- 발전소에 적용되기 위해서는 대부분 10MW급 이상 설비가 1년 이상 정상 운전된 실적을 요구하며, EME 기술을 해외시장으로 진출시키기 위해서는 반드시 국내 실증이 필요함

210) 두산중공업 내부자료



211)

[그림 237] 500MW 적용 시 EME 외형도

□ **탈질 기술**

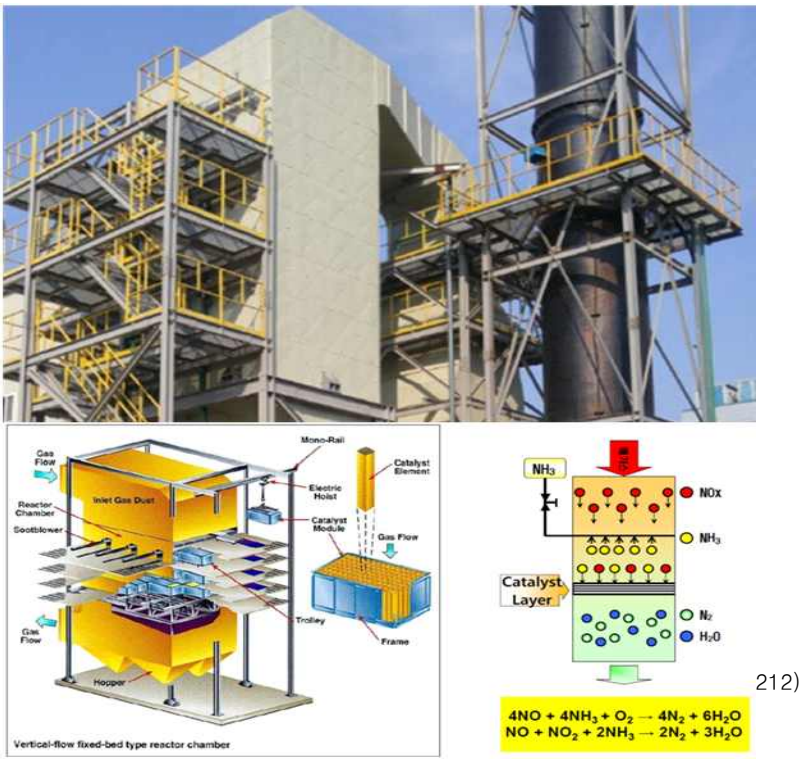
❍ SNCR*과 SCR*이 대표적인 질소산화물 저감기술이며, 대부분의 화력발전소에서는 높은 탈질 효율과 2차 공해의 발생 가능성이 적고 국내·외 발전소에 설치 및 운전 경험이 풍부하고 경제성이 있는 SCR을 적용하고 있음

* SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION(선택적 촉매환원 탈질설비), SELECTIVE NON-CATALYTIC REDUCTION(선택적 무촉매환원 탈질설비)

- SCR은 배기가스에 암모니아 등 환원제를 분사하여 촉매 층을 통과시켜 상대적으로 저온인 250 - 400℃에서 질소산화물의 환원 반응을 효과적으로 진행시키는 시스템이며, 주로 보일러, 발전시설, 폐수·폐기물·폐가스 소각처리 시설 등에 적용되고 현재까지 신뢰성 높고 정화효율이 높아 상업적 질소산화물 처리기술로 발전함

211) 두산중공업 내부자료

- 일반적으로 300 - 350℃ 촉매 반응온도에서 가장 높은 탈질효율 성능을 보이며, 최근 200℃ 저온에서도 높은 탈질효율을 보이는 촉매가 개발되어 적용되고 있음



212)

[그림 238] SCR 설치 모습 및 시스템 개략도

- SNCR은 배기가스에 암모니아 등 환원제를 분사하여 촉매 없이 연소실을 통과하여 850 - 1,100℃에서 질소산화물의 환원 반응을 통해 처리하는 시스템으로 SCR과 동일하게 보일러, 발전시설, 폐수·폐기물·폐가스 소각처리 시설 등에 적용됨

- 2015년 이전에 준공된 LNG 복합발전소의 NOx 배출허용기준은 정상 운전 시 50ppm 수준으로 대부분 SCR 탈질기술이 적용되지 않았으며, 2015년 이후에 준공된 LNG 발전소에 대한 NOx 배출허용 기준이 강화되면서 해외 탈질촉매 및 공정기술이 도입되고 있음(2015년 이후 준공기준 NOx 20ppm, 2020년 이후 준공기준 10ppm)

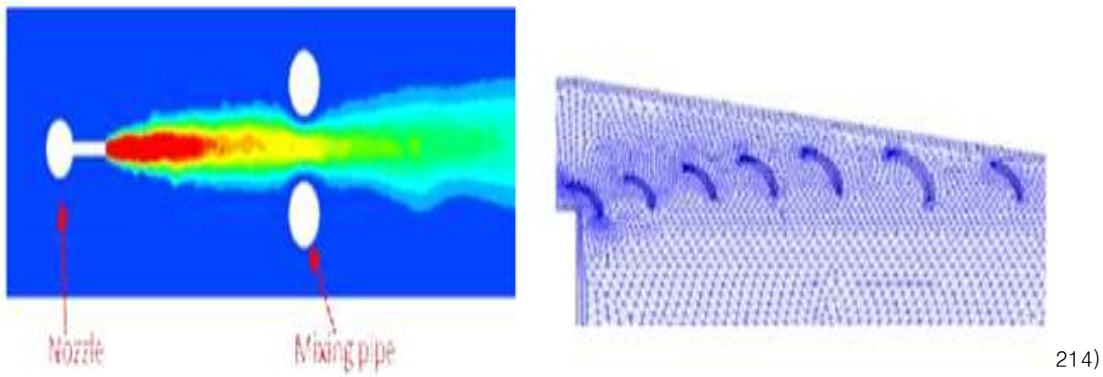
□ **국내 다수 연구기관 및 기업의 연구개발 참여로 SCR 촉매 제조 및 공정기술이 확보되어 제조 및 공급이 가능한 수준임**

- 석탄화력발전의 경우 2010년 이후로 탈질촉매 및 공정 국산화가 진행되어 국내社가 공급을 하고 있으나, LNG 발전의 경우 고유속, 압력손실 제한 등의 조건에 대한 탈질촉매 효율 및 내구성에 대한 실적 부족으로 해외사 촉매를 선호하는 상황이며 최근 LNG 발전소 탈질촉매 REPLACEMENT 시기에 국산 탈질촉매가 일부 도입되고 있음

212) https://ulsansafety.tistory.com/1535

- 반면, 기동·정지 시(NOx 배출량이 높고, 배가스 온도 및 유량의 FLUCTUATION이 심함) NOx 제거 공정에 관한 상용화 사례는 없으며, 해외 선진사의 경우 설계 시 기술 반영은 가능하나, 기동·정지 시 NOx 배출량에 대한 성능 보증은 하지 않음[213)]

- 기동·정지 시 NOx 저감 공정기술을 확보하기 위해서는 가스터빈 기동·정지 모드 및 부하 운전 모드별 연소 배가스 특성과 HRSG 내부 배가스 유량과 온도 등 동특성 해석기술과 다양한 조건에서 탈질공정의 최적화가 필요하며 플랜트 전반에 대한 해석기술과 탈질공정에 관한 기술 역량이 필요함



214)

[그림 239] 탈질공정 수치해석 기술개발

- 두산중공업社는 LNG 복합발전 플랜트 연소특성 및 동특성 해석기술 및 탈질공정 설계 기술들을 확보하고 있으며 다수의 공급실적이 있음

- AMMONIA 공급 기술(기화기 설계 및 주입 노즐 설계)

- 황연저감장치의 기화기 설계 및 주입 노즐 설계기술

- 촉매베드 및 AMMONIA INJECTION GRID 설계기술

- 황연저감장치의 기화기 설계 및 주입 노즐 설계기술

- 탈질공정 수치해석 기술

- HRSG 내부 유량, 온도 분포에 대한 동특성 해석기술

□ **탈황 기술**

❍ 배기가스 중에 포함되어 배출되는 황산화물을 제거하는 배기가스 처리방법을 배연탈황*이라 하며 흡착, 흡수 및 촉매전환의 원리를 이용함

* FGD, FLUE GAS DESULFURIZATION

❍ 1990년대 시작된 대형 국책연구사업인 G7 기술개발과제의 연구개발로 한국형 습식 배연탈황기술(KOREA ELECTRIC POWER ABSORPTION REACTOR, KEPAR) 관련 국내기술을

213) 과학기술기반 미세먼지 대응 전략 점검: 산업기술 경쟁력 분석, 한국과학기술기획평가원, 2018
214) 두산중공업 내부자료

확보함

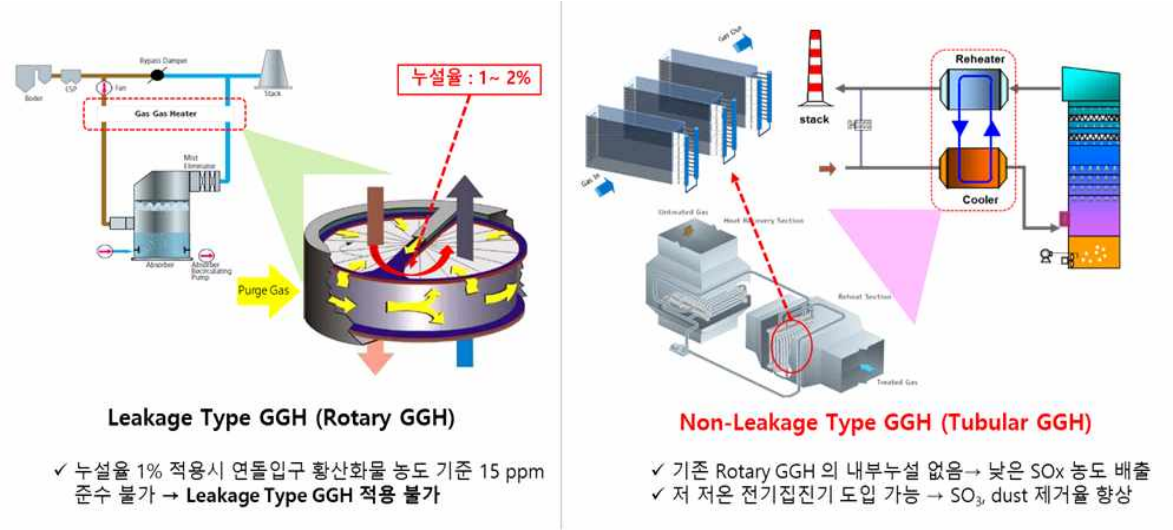
- 국내 탈황기술은 국제 경쟁력을 갖춘 완숙기 수준이며 독자적인 개발 및 사업화가 가능함
- 국내 배연탈황설비의 습식 석회석 공정은 선진사와 기술제휴에 의해 실증설비를 시공한 경험이 있어 국내 기술수준이 완성단계에 있음
- 두산중공업社는 2013년을 기준으로 집진 및 탈황기술 세계시장 점유율 4위를 기록하며 국제적인 경쟁력을 입증함
- ㈜비앤이테크社는 철산화 미생물을 이용한 REDOX CYCLE 탈황기술을 개발함

❍ 국내 화력발전소에 적용되고 있는 탈황설비는 모두 흡수제로서 석회석을 사용하고 부산물로 탈황석고를 생산하는 습식 석회석-석고 공정으로서 강제산화방식을 채택함

- 배연탈황 공정에서 처리된 가스를 대기로 방출하기 전에 백연저감을 위해 약 90℃까지 재열시키며 이때 사용되는 설비를 가스재열기(GAS-GAS HEATER, GGH)라 함
- 국내 화력발전소에 주로 설치된 가스재열기는 LEAKAGE TYPE GGH와 NON-LEAKAGE TYPE GGH로 구분되며, NON-LEAKAGE TYPE GGH는 연돌에서의 황산화물 및 먼지 배출허용기준이 매우 엄격한 지역에 주로 설치됨
- LEAKAGE TYPE GGH는 신뢰성 및 안정성이 높고, 초기투자비가 저렴하며 유지보수가 간단하고 운전원에 익숙하여 운전에 용이한 장점이 있으나, 가스누설로 인하여 탈황효율 저하를 초래할 수 있으며 덕트 구성이 복잡해지는 단점이 있음
- NON-LEAKAGE TYPE GGH는 미처리 가스가 처리가스로의 가스 누설이 발생하지 않으므로 총괄 탈황 및 먼지 제거효율이 저하되지 않음
- 또한, NON-LEAKAGE TYPE GGH는 대용량화가 가능하다는 큰 장점이 있으며, 가스재열기 출구 온도조절이 가능하고 덕트 구성에 신축성이 있음
- 그러나 NON-LEAKAGE TYPE GGH는 열매체 LEAK 발생 부위 확인 및 교체가 어려워 유지보수성이 떨어지고 전열면 오염 시 전열 성능이 저하되며 초기투자비가 높고 소요부지가 많이 소요되는 단점이 있음

❍ 국내 화력발전소에 설치된 배연탈황설비는 설치된 지 10년 이상 된 설비들이 많으며, 강화된 환경규제에 대응하기 위한 탈황효율 향상 기술에 대한 관심이 높아지고 있음

- 화석연료가격 상승에 따라 유황 함유량이 높은 저급연료 활용에 따른 이산화황 농도 증가로 인해 기존 장치 개조를 통한 탈황효율 향상 기술개발이 시급한 실정임

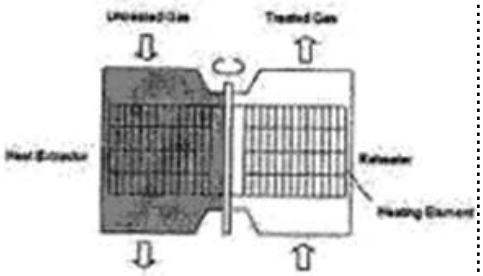
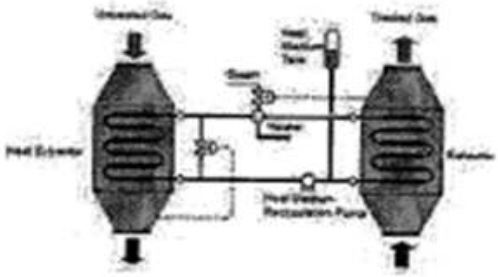


215)

[그림 240] 가스재열기 구분

215) 두산중공업 내부자료

[표 124] 가스재열기 형식별 특성 비교

	GAS GAS HEATER	
	LEAKAGE TYPE(LJUNGSTROM)	NON-LEAKAGE TYPE
원리		
	• ROTARY HEATING ELEMENT에 의해 흡수탑 입구(HOT)·출구(COLD) 가스 열교환방식	• FIN TUBE 형식의 열교환기(COOLER·REHEATER)를 별도로 설치하여 열매체를 순환시켜 HOT GAS로부터 열을 인출해서 COLD GAS를 재가열하는 방식
주요설비	• HEATING ELEMENT, ROTOR DRIVER AND HOUSING • CLEANING SYSTEM(WATER WASHING SYSTEM, SOOT BLOWING SYSTEM) • SCAVENGING SYSTEM	• COOLER(TUBE BUNDLES, CASING) • REHEATER(TUBE BUNDLES, CASING • MEDIUM CIRCULATION SYSTEM • CLEANING SYSTEM(WATER WASHING SYSTEM, SOOT BLOWING SYSTEM) • MEDIUM HEATING SYSTEM
장점	• 별도의 열원이 필요 없음 • 전열면의 세정이 용이함 • 세정 후 배수가 용이함 • 운전 비용이 매우 적음 • 다른 가스재열기에 비해 전열 면적이 작고, 초기 투자비가 적음 • 전열면 오염에 대한 열교환 성능 저하가 상대적으로 크지 않음	• SOx·PM 배출농도가 엄격한 경우 적합 • 별도의 열원이 필요 없음 • COOLER·REHEATER 분리형으로 가스의 누설이 없어 탈황 효율이 저하되지 않음 • 고온측과 저온측을 별도 설치하므로 DUCTWORK이 용이하여 운전조건에 따라 고온측은 저급재질 사용이 가능함 • 배기가스 온도조절이 가능함(열매체 순환량 조절)
단점	• SOx·PM 배출농도가 엄격한 경우 부적합 • 배기가스 온도조절이 불가 • HEAT ELEMENT 부식문제 및 ENAMEL COATING 필요하며 응축 및 저온 부식을 고려하여 고급재질을 선정해야 함 • 가스 누설을 피할 수 없어 탈황효율이 저하됨(LEAKGE : 1 - 2%) • 일체형 구조로 덕트를 한 곳(재열기)에 집중하기 때문에 DUCTWORK에 제약을 받음 • 시간이 경과할수록 LEAKAGE 상승(MAX. 5 - 6%)	• 전열면적이 크게 요구되고 초기투자비가 많음 • 전열면 오염, DUST 퇴적 시 전열 성능이 저하되고 FIN 표면의 세정이 용이하지 않음 • 열전달 유체의 LEAKAGE 발생 시 전열성능이 현저히 저하되며 보수가 용이하지 않음

라. 특허 및 논문 분석

(1) 특허 분석

□ 환경플랜트 관련 지식재산권, 표준화 및 인증기준 현황

❍ 본 기술/제품 관련 지식재산권, 표준화, 인증기준 현황

– 지식재산권

[표 125] 대기오염 방지기술 지식재산권 현황(국내)

권리 구분	발명의 명칭	주 발명자 (소속)	출원번호	출원일	등록번호	등록일
특허	백연저감장치, 백연저감냉각탑 및 백연저감방법	문상철 (두산중공업(주))	2020-0016496	2020.02.11	–	–
특허	냉각탑용 집진 장치	문상철 (두산중공업(주))	2019-0080219	2019.07.03	10-2162809	2020.09.28
특허	집진 모듈을 갖는 냉각탑	문상철 (두산중공업(주))	2019-0056573	2019.05.14		
특허	집진 모듈을 갖는 탈황 장치 및 집진 모듈의 설치 방법	문상철 (두산중공업(주))	2018-0117199	2018.10.02	10-2081898	2020.02.20
특허	집진 모듈 및 이를 포함하는 탈황장치	문상철 (두산중공업(주))	2018-0118517	2018.10.05	10-2079796	2020.02.14
특허	집진 모듈을 갖는 탈황 장치	문상철 (두산중공업(주))	2018-0121412	2018.10.12	10-2134460	2020.07.09
특허	홀 지그 및 이를 포함하는 집진 모듈	문상철 (두산중공업(주))	2018-0118516	2018.10.05	10-2140305	2020.07.27
특허	발전소 탈질 설비의 촉매 반응 상태 모니터링 시스템 및 그 방법	황재필 (두산중공업(주))	2018-0027556	2018.03.08	2025146	2019.09.19
특허	혼합기 및 이를 구비한 환원 시스템	이상린 (두산중공업(주))	2017-0064172	2017.05.24	–	–
특허	화력 발전소의 냉각탑 견적 산출 방법	김대중 (두산중공업(주))	2003-0033028	2003.05.23	–	–
특허	순환수 계통 최적화 설계방법	김대중 (두산중공업(주))	2003-0032684	2003.05.22	–	–
특허	필터 타입 인쇄기판형 열교환기와 이를 포함하는 라디에이터, 열회수 증기발생기 및 공기조화기의 실외기	양기훈 (두산중공업(주))	2019-0065972	2019.06.04	2151782	2020.08.28
특허	폐열회수보일러의 핀 튜브 방청설비	최형규 (두산중공업(주))	2005-0094276	2005.10.07	0667496	2007.01.04
특허	재열회수보일러의 핀튜브 외면 부식방지장치	김대중 (두산중공업(주))	2003-0022774	2003.10.20	0331559	2003.10.20

특허	복합화력발전소 배가스 처리장치	조한재 ((주)이엠코)	2020-0069863	2020.06.09	2159083	2020.09.17
특허	화력발전소의 질소산화물처리장치	조한재 ((주)이엠코)	2018-0046203	2018.04.20	1910874	2018.10.17
특허	성형성이 우수한 시트형 카트리지 및 이를 포함하는 대기오염 저감용 촉매담체	신동우 (주식회사 나노)	2016-0065449	2016.05.27	1724233	2017.03.31
특허	이산화질소 전환 촉매 및 그 제조방법	노세윤 (대영씨엔이)	2019-0084851	2019.07.15	2089258	2020.03.10
특허	화력발전소의 황연저감장치	조한재 ((주)이엠코)	2017-0155748	2017.11.21	1854168	2018.04.26
특허	황연 및 질소산화물 저감을 위하여 이종 환원제를 사용하는 복합탈질설비	김태인 (블루버드환경(주))	2017-0090306	2017.07.17	1807996	2017.12.05
특허	보조응축수단을 포함하는 응축기 타입 백연저감 냉각탑	문정수 ((주)케이에스엔)	2018-0062464	2018.05.31	1998089	2019.07.03
특허	백연저감 성능 평가에 기반한 자동제어가 가능한 백연저감형 냉각탑	이수형 ((주)와이엠테크)	2020-0069670	2020.06.09	2218024	2021.02.15
특허	광전식 백연 감지 장치	이병천 ((주)풍천엔지니어링)	2019-0148183	2019.11.19	2132672	2020.07.06
특허	백연 저감용 공기혼합기 및 이를 포함하는 냉각탑	이윤수 ((주)휴텍)	2018-0171015	2018.12.27	2162563	2020.09.28
특허	냉각탑의 백연 저감 방법과 장치, 및 냉각 설비	홍재훈 (삼성엔지니어링(주))	2016-0080172	2016.06.27	1825639	2018.01.30
특허	백연 저감 냉각탑	구태형 ((주)경인기계)	2019-0111514	2019.09.09	2217509	2021.02.15
특허	백연 제거 냉각탑	최준성 ((주)누리플랜)	2018-0108071	2018.09.11	1967891	2019.04.04
특허	백연 저감 냉각탑	박상순 ((주)GNBS엔지니어링)	2016-0119279	2016.09.19	2088373	2020.03.06
특허	냉각탑용 백연저감 응축기	문정수 ((주)오티티)	2016-0108932	2016.08.26	1732893	2017.04.27
특허	복합형 백연 저감장치	이주경 (현테크이엔지(주))	2018-0035578	2018.03.28	1892119	2018.11.23
특허	출력가변형 전기집진장치 및 그 제어방법	한병욱 (포스코 ICT)	2016-0184275	2016.12.30	1923784	2018.11.23
특허	순산소 연소용 전기 집진기	임창호 (KC 코트렐)	2012-0082791	2012.07.27	1329733	2013.11.08
특허	애자 오염 방지형 고유속용 전기집진기	김용민 (KC 코트렐)	2020-0099784	2020.08.10	2217626	2021.02.15
특허	전기집진기의 수막형성용 세정수의 재순환시스템	홍정희 (KC 코트렐)	2016-0010817	2016.01.28	1801949	2017.11.21

특허	유도전압을 이용한 전기집진장치	정종승 (RITCO)	2005-0036028	2005.12.22	0410985	2007.05.28
특허	내경면이 주름진 집진관을 갖는 양방향 고유속형 전기집진장치	정종승 (RITCO)	2007-0085870	2007.08.27	0817595	2008.03.21
특허	멀티크로스핀 이오나이저를 이용한 유도전압 전기집진장치	정종승 (RITCO)	2011-0114642	2011.11.04	1199554	2012.11.02
특허	허니컴대전부를 갖는 유도전압 전기집진장치	정종승 (RITCO)	2011-0114659	2011.11.04	1199552	2012.11.02
특허	양방향 집진 시스템	이승환 (RITCO)	2014-0157217	2014.11.12	1610240	2016.04.01
특허	일체형 집진장치	장두훈 (제이텍)	2007-0028111	2007.03.22	0817520	2008.03.21
특허	전기 집진기의 배기가스 재순환 장치	장두훈 (제이텍)	2011-0111354	2011.10.28	1168993	2012.07.20
특허	스래깅 방지수단이 구비되고 연소실이 일체로 구비된 습식탈황 집진설비를 구비하는 미분화한 석유코크스 정제분말 연소 시스템	이근우 (서울샤프중공업)	2013-0060274	2013.05.28	1434949	2014.08.21
특허	집진효율을 향상시킨 집진관 및 이를 사용하는 습식전기집진기	이아름드리 (서울샤프중공업)	2013-0125041	2013.10.21	14606630000	2014.11.05

[표 126] 대기오염 방지기술 지식재산권 현황(국외)

권리 구분	발명의 명칭	주 발명자 (소속)	출원번호	출원일	등록번호	등록일
특허 (US)	SCR CATALYST AND METHOD OF PREPARATION THEREOF	LEMUS-YEGRES (HALDOR TOPSOE)	US-0405851	2012.08.31	US-9527071	2016.12.27
특허	PT/PD DOC WITH ENHANCED CO OXIDATION, HYDROCARBON OXIDATION AND NO OXIDATION AND IMPROVED SULFATION/DESULFATION BEHAVIOR	BASF CORPORATION	16484874	2018.03.13	10724411	2020.07.28
특허 (US)	OXIDATION CATALYST WITH LOW CO AND HC LIGHT-OFF AND SYSTEMS AND METHODS	BASF CORPORATION	US-0643614	2009.12.21	US7947238	2011.05.09
특허 (IN)	MOVABLE ELECTRODE-TYPE ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	MOCHIZUKI YOSHIHIKO (MITSUBISHI HITACHI)	461/DEL/2011	2011.02.22	306812	2016.08.31
특허 (IN)	MULTI-STAGE MOVING ELECTRODE TYPE ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	ORITA KEIGO (MITSUBISHI HITACHI)	460/DEL/2011	2011.02.22	308139	2019.02.26
특허 (IN)	DUST COLLECTION PLATE OF MOVING ELECTRODE-TYPE ELECTROSTATIC PRECIPITATOR AND METHOD OF MANUFACTURING SAME	HIROIKI ANDO (MITSUBISHI HITACHI)	4664/CHE/2013	2013.10.17	325197	2019.11.18
특허	ELECTROSTATIC PRECIPITATOR, CHARGE	SHIGELD UMASE	15113652	2014.	10328437	2019.

(US)	CONTROL PROGRAM FOR ELECTROSTATIC PRECIPITATOR, AND CHARGE CONTROL METHOD FOR ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	(MITSUBISHI HITACHI)		01.29		06.25
특허 (IN)	DISCHARGE ELECTRODE OF WET ELECTROSTATIC PRECIPITATOR AND DISCHARGE ELECTRODE ASSEMBLING STAND	YOSHIHIKO MOCHIZUKI (MITSUBISHI HITACHI)	6408/CHE/2014	2014. 12.19		
특허 (EP)	ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	TOMMATSU KAZUTAKA (MITSUBISHI HITACHI)	18899145	2018. 12.28		
특허 (EP)	METHOD FOR OPTIMIZING A MULTI-ZONE ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	GRAS NONBERT (SIEMENS)	07111016	2007. 06.26		
특허 (EP)	AN IMPROVED WET ELECTROSTATIC PRECIPITATOR FOR CLEANING FUEL GAS	SINGH PARIHAR AMIT KUMAR (SIEMENS)	12160246	2012. 03.20		
특허 (US)	METHOD AND SYSTEMS TO FACILITATE IMPROVING ELECTROSTATIC PRECIPITATOR PERFORMANCE	JOHNSTON DAVID (GE)	11763195	2007. 06.14	7655068	2010. 02.02
특허 (EP)	POWER SUPPLY FOR ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	RANSTAD PER ANDERS GUSTAV (GE)	07730263	2007. 06.20		
특허 (JP)	METHOD AND SYSTEM FOR EASILY IMPROVING ELECTROSTATIC PRECIPITATOR PERFORMANCE	JOHNSTON DAVID (GE)	2008152355	2008. 06.11	5377892	2013. 10.04
특허 (EP)	A METHOD AND A DEVICE FOR CONTROLLING THE POWER SUPPLIED TO AN ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	KARLSSON ANDERS (GE)	08165629	2008 10.01		
특허 (US)	DISCHARGE ELECTRODE AND METHOD FOR ENHANCEMENT OF AN ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	TAYLOR ROBERT WARREN (GE)	12339332	2008. 12.19.		
특허 (IN)	SYSTEM AND METHOD FOR LOCATING SPARKS IN EQ	RAI SUDHANSHU (GE)	2622/CHE/2009	2009. 10.28.		
특허 (EP)	SYSTEM AND METHOD FOR GAS DISTRIBUTION MEASUREMENT FOR ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	GUPTA PANKU|	10707264	2010. 03.02		
특허 (AU)	ELECTRICAL SCREENING DEVICE FOR STRUCTURES NEAR HIGH VOLTAGE PARS OF ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	BACK ANDREAS OLOF (GE)	2011350943	2011. 12.13		
특허 (IN)	METHOD FOR THE OPERATION OF ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	RANSTAD PER (GE)	358/DELNP/2013	2013. 01.11	326064	2019. 11.27
특허 (IN)	METHOD TO CONTROL THE LINE DISTORTION OF A SYSTEM OF POWER SUPPLIES OF ELECTROSTATIC	RANSTAD PER (GE)	356/DELNP/2013	2013. 01.11	324695	2019. 1107

	PRECIPITATORS					
특허 (US)	DUST CONDITIONING OF SINTER BAND GASES FOR AN ELECTROSTATIC PRECIPIATOR	JESPER ANDREAS OLOF BACK (GE)	15751987	2016. 09.13		
특허 (US)	PULSE FIRING PATTERN FOR A TRANSFORMER OF AN ELECTROSTATIC PRECIPITATOR AND ELECTROSTATIC PRECIPITATOR	CARL MARCUS WILLIAMSSON (GE)	16418275	2019. 05.21		
특허 (US)	METHOD OF EXTENDING THE USEFUL LIFE OF AN AGED SCR CATALYST BED IN AN EXHAUST SYSTEM OF A STATIONARY SOURCE OF NOX	PAUL ANDERSEN (JOHNSON MATTHEY PUBLIC LIMITED COMPANY)	16-465600	2017. 11.29		
특허 (US)	SYSTEMS, METHODS, AND APPARATUS FOR REGENERATING A CATALYTIC MATERIAL	GILBERT OTTO KRAEMER	12-915241	2010. 10.29	9062569	2015. 06.23
특허 (US)	SYSTEM USING SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION FOR IMPROVING LOW-TEMPERATURE DE-NOX EFFICIENCY AND REDUCING YELLOW PLUME	DAE WOO KIM (GEESCO CO. LTD.)	13-884554	2011. 10.20	8916119	2014. 12.23
특허 (US)	METHOD OF YELLOW PLUME ELIMINATION IN GAS TURBINE EXHAUST	ANATOLY SOBOLEVSKLY (SIEMENS ENERGY. INC.)	13-928461	2013. 06.27	8790609	2014. 07.29
특허 (US)	SYSTEMS FOR REDUCING STARTUP EMISSIONS IN POWER PLANT INCLUDING GAS TURBINE	PARAG PRAKASH KULKARNI (GE)	15-437794	2017. 02.21	10662841	2020. 05.26

- 표준화

  • 해당 사항 없음

- 인증기준 현황

  • 두산중공업 & 한국기계연구원, NET 신기술인증서(NET-1302, 습식탈황 흡수탑 상단의 전기하전 미스트 제거 기술, 한국 산업통상자원부, 2020)

  • ㈜나노, 성능인증서(제25-034호, 중소기업청, 2006), NEP 신제품인증서(NEP-1692(KT), 한국 지식경제부, 2008)

  • NEP 신제품인증서(NEP-MOTIE-2016-003, 한국 산업통상자원부, 2016), 성능인증서(19-AAM0347,중소벤처기업부, 2019)

❍ 20년간('99-'18) 한국, 미국, 유럽, 중국, 일본에서 공개된 미세먼지 대응 기술 특허 9만여 건을 조사한 결과, 미세먼지 배출저감 관련 특허가 전체의 약 45%를 차지함[216)]

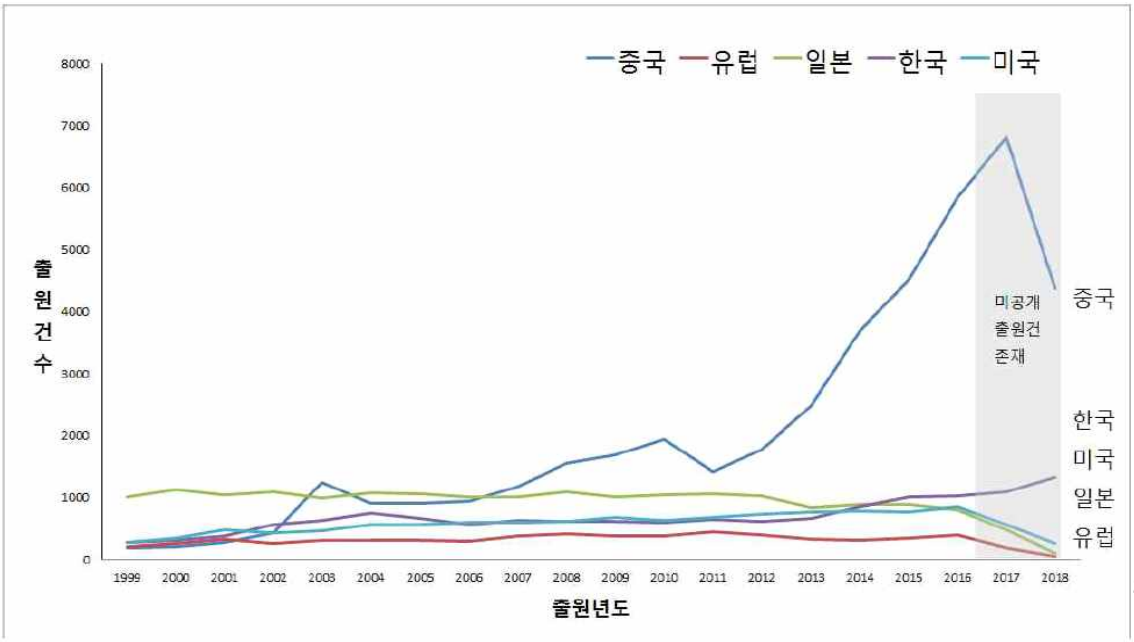
❍ 한국과 중국은 미세먼지 농도가 크게 상승한 2013년 이후 특허 출원량이 급증하고 있음

- 미국, 유럽, 일본 등의 선진국은 이전부터 꾸준한 기술개발을 통하여 미세먼지 농도가

216) 특허청(2019.8)

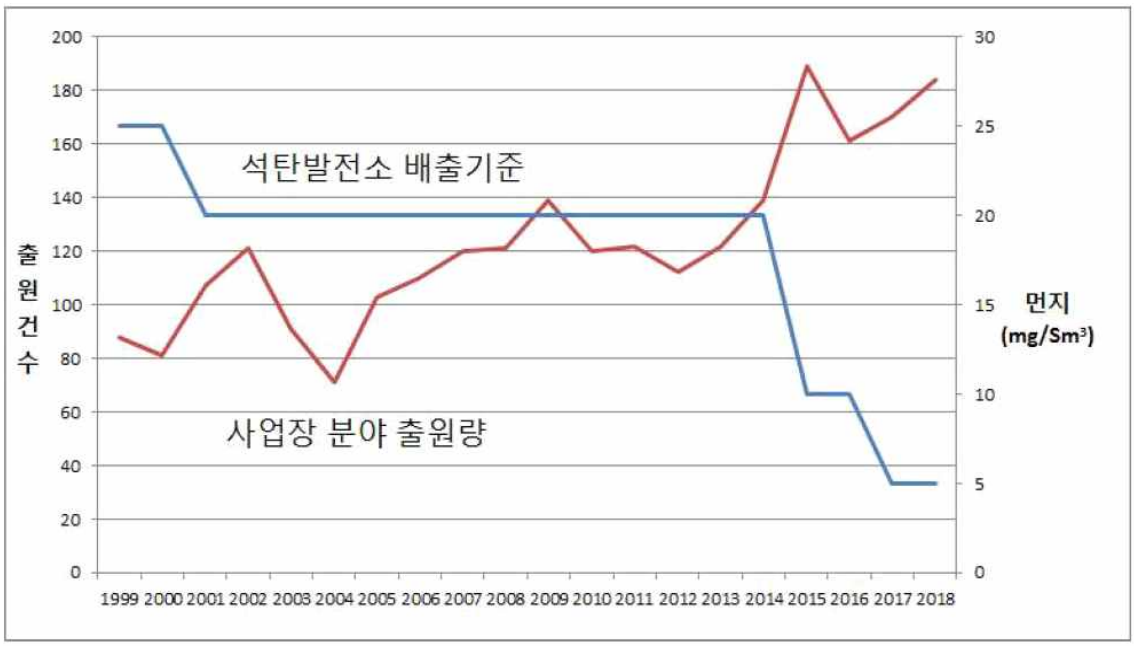
감소하였고 이에 따라 출원량이 감소 또는 정체 현상을 보임

- 국내 미세먼지 저감기술 특허보다는 해외 수출용 미세먼지 배출 저감, 측정 및 분석 기술 특허 출원 비중이 높은 경향을 보임
- 국내에서는 석탄화력발전소 미세먼지 배출기준이 선진국 수준으로 크게 강화됨에 따라 관련 특허 출원량이 꾸준히 증가하고 있음



217)

[그림 241] 최근 20년간 국가별 미세먼지 대응기술 특허 출원량 변화



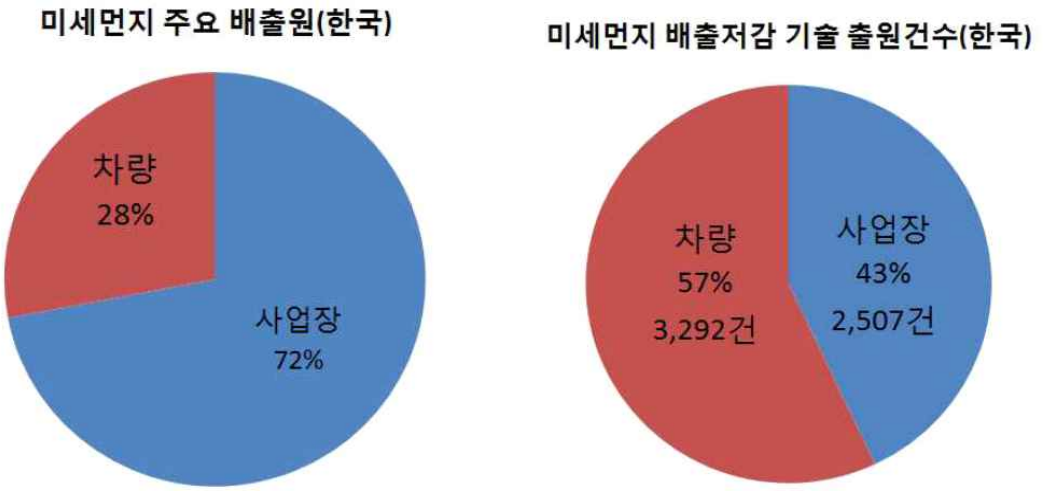
[그림 242] 석탄화력발전소 배출기준과 사업장용 배출 저감기술 특허 출원량 변화

217) 특허청(2019.8)

❍ 선진국의 미세먼지 배출 저감 기술 특허 출원 비중이 47 - 58%로 매우 높은 반면, 한국과 중국은 각각 42%, 38%로 출원 비중이 낮은 것으로 나타남

❍ 국내 미세먼지의 72%는 발전소, 산업시설 등의 사업장에서 발생하는데 반해, 배출 저감기술 특허는 사업장용 출원(43%)보다 차량용 출원(57%)이 더 많은 것으로 나타남

- 전체 출원 건수 대비 발전소에 적용되는 미세먼지 저감기술 특허출원 비중은 선진국에 비해 현저히 낮은 편임
- 국내 미세먼지 발생원을 고려할 때, 사업장용 미세먼지 저감기술 개발에 집중할 필요가 있음



[그림 243] 국내 미세먼지 발생원인 관련 특허출원 분포

(2) 논문 분석

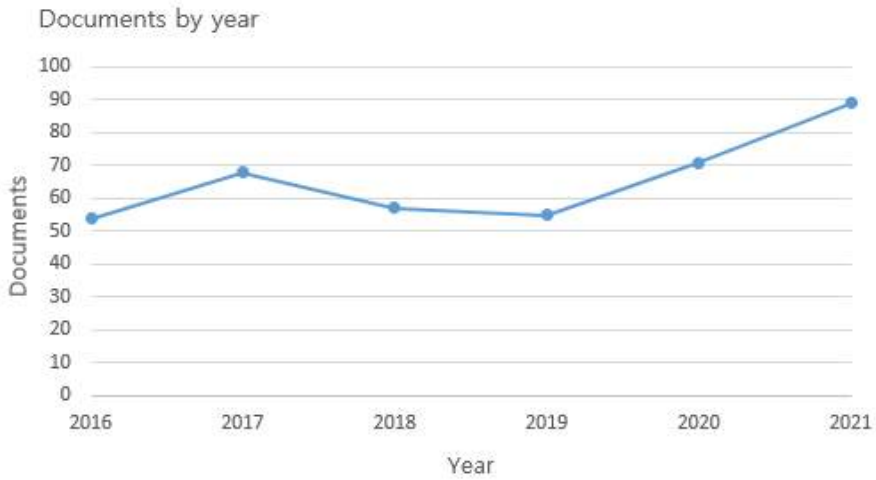
□ **키워드 분석**

❍ 배연 탈황 설비 연구 관련 논문을 검색하기 위해 사용한 키워드는 'FLUE GAS DESULPHURIZATION', 'FGD' 등임

- 논문 분석은 최근 6년간 논문을 중점적으로 다루었으며 국제학술지(SCI, SCI-E)를 중점적으로 분석하였음
- 논문 내용 확인이 어려운 국가 저널은 제외하여 수행함

□ **연도별 논문 추이 분석**

- 배연탈황 설비 관련 논문은 2016년부터 2021년까지 총 394편이 게재되거나 발표되었으며 미세먼지 등의 대기오염물질 규제 강화로 인해 석탄화력발전소 배출가스 처리를 위한 배연탈황 설비 성능 최적화가 요구됨에 따라 관련 논문의 게재·발표가 지속적으로 증가하는 양상을 보임

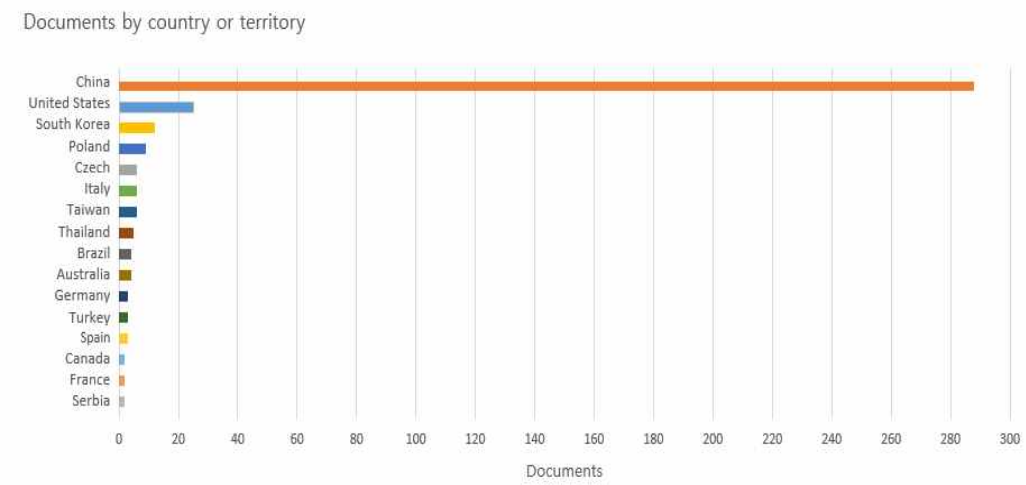


[그림 244] 연도별 논문 추이

- 발표된 논문들의 국가별 분석결과 배연탈황 설비 관련 연구가 활발하게 진행되고 있는 중국이 전체의 73%, 즉 288편의 논문을 차지하고 있어 세계 기술개발을 선도하고 있음을 확인함

- 미국은 25편(6.35%)의 논문을 발표, 한국 또한 12편(3%)의 논문을 발표하며 관련 연구를 활발히 수행하고 있음(2016년 : 1편, 2017년 : 2편, 2018년 : 2편, 2019년 : 2편, 2020년 : 1편, 2021년 : 4편)

- 중국, 미국, 한국이 전체 논문 발표의 82.35%를 차지하여 최근 배연탈황 설비 연구가 중국과 미국, 한국을 중심으로 진행되고 있다고 결론 내릴 수 있음



[그림 245] 논문 저자 국적 분포

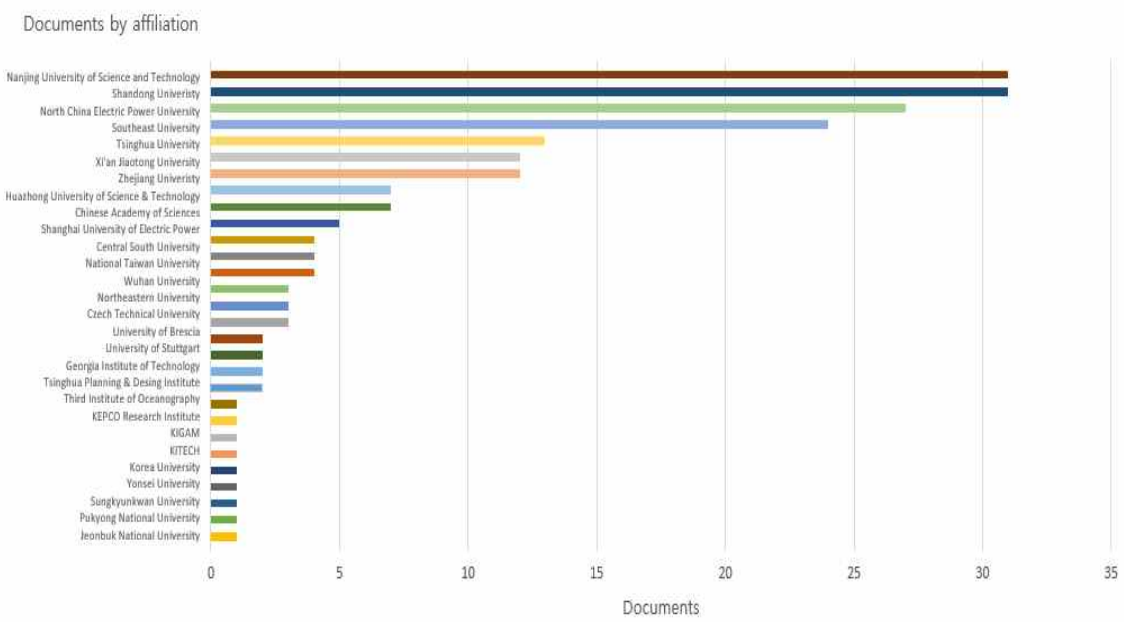
□ **논문 저자 국적 분포**

- 관련 논문을 발표하는 주요 연구기관을 살펴보면, 중국의 SHANDONG UNIVERSITY, TSINGHUA UNIVERSITY, SOUTHEAST UNIVERSITY, NORTH CHINA ELECTRIC POWER

UNIVERSITY가 20편 이상의 연구 성과를 게재·발표함

- 대학기관 외에도 중국의 CHINA ACADEMY OF SCIENCES(7편), TSINGHUA PLANNING AND DESIGN INSTITUTE(2편), THIRD INSTITUTE OF OCEANOGRAPHY(2편), 미국의 GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY(2편), 대만의 NATIONAL METAL AND MATERIALS TECHNOLOGY CENTER(1편), 터키의 ENVIRONMENT AND CLEANER PRODUCTION INSTITUTE가 연구성과를 게재·발표함

- 한국에서는 한국전력공사 전력연구원, 한국지질자원연구원, 한국생산기술연구원, 고려대학교, 연세대학교, 성균관대학교, 부경대학교, 전북대학교에서 관련 연구를 수행 중이며 논문을 게재함



[그림 246] 주요 논문 발표 기관

□ **논문별 피인용도 분석**

❍ 배연 탈황 설비에 관한 논문 중 최다 피인용도를 보인 논문은 중국 SOUTHEAST UNIVERSITY에서 2019년에 발표한 'A REVIEW ON MERCURY IN COAL COMBUSTION PROCESS: CONTENT AND OCCURRENCE FORMS IN COAL, TRANSFORMATION, SAMPLING METHODS, EMISSION AND CONTROL TECHNOLOGIES' 논문으로 총 145회 피인용 되었음

- SOUTHEAST UNIVERSITY에서 발표한 이 논문은 UNIVERSITY OF ALBERTA와 공동으로 수행한 연구로 석탄 연소 공정에서의 수은에 대한 포괄적인 이해와 향후 수은 연구 방향을 분석하였고 오염물질에 대한 제한이 엄격해짐에 따라 높은 수은 제거 성능을 가진 WFGD 장치 설치의 당위성을 제시하며 수은 제거 효과 및 제거 메커니즘에 대한 영향 요인을 시사하였음

- 두 번째로 높은 피인용도를 보인 논문은 NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY가 2016년에 발표한 'AN ADVANCED WET METHOD FOR SIMULTANEOUS REMOVAL OF SO2 AND NO FROM COAL-FIRED FLUE GAS BY UTILIZING A COMPLEX ABSORBENT'로서 총 112회 피 인용되었음

- 이 논문은 SO_2와 NO를 동시에 제거하기 위한 통합적이고 효과적인 습식 방법을 제안하며 복합흡수제를 제조하였고 SCR과 WFGD가 연계된 통합 모델을 제안하였기에 지속적으로 인용되고 있음

- 3번째로 높은 피인용도를 보인 논문으로는 NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY 연구팀이 발표한 'FINE PARTICULATE MATTER EMISSION AND SIZE DISTRIBUTION CHARACTERISTICS IN AN ULTRA-LOW EMISSION POWER PLANT '(108회), 'SIMULTANEOUS REMOVAL OF SO2, NO AND HG0 THROUGH AN INTEGRATIVE PROCESS UTILIZING A COST-EFFECTIVE COMPLEX OXIDANT'(101회), NANJING UNIVERSITY 연구팀이 발표한'BENEFITS OF CHINA'S EFFORTS IN GASEOUS POLLUTANT CONTROL INDICATED BY THE BOTTOM-UP EMISSIONS AND SATELLITE OBSERVATIONS 2000-2014'(96회) 임

[표 127] 주요 논문의 피인용도

순서	논문제목	저자	소속기관	피인용도
1	A REVIEW ON MERCURY IN COAL COMBUSTION PROCESS: CONTENT AND OCCURRENCE FORMS IN COAL, TRANSFORMATION, SAMPLING METHODS, EMISSION AND CONTROL TECHNOLOGIES	S. ZHAO, ET AL.	SOUTHEAST UNIVERSITY (중국)	145
2	AN ADVANCED WET METHOD FOR SIMULTANEOUS REMOVAL OF SO2 AND NO FROM COAL-FIRED FLUE GAS BY UTILIZING A COMPLEX ABSORBENT	R. HAO, ET AL.	NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY (중국)	112
3	FINE PARTICULATE MATTER EMISSION AND SIZE DISTRIBUTION CHARACTERISTICS IN AN ULTRA-LOW EMISSION POWER PLANT	Z. SUI, ET AL.	NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY (중국)	108
4	SIMULTANEOUS REMOVAL OF SO2, NO AND HGO THROUGH AN INTEGRATIVE PROCESS UTILIZING A COST-EFFECTIVE COMPLEX OXIDANT	Y. ZHAO, ET AL.	NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY (중국)	101
5	BENEFITS OF CHINA'S EFFORTS IN GASEOUS POLLUTANT CONTROL INDICATED BY THE BOTTOM-UP EMISSIONS AND SATELLITE OBSERVATIONS 2000-2014	Y. XIA, ET AL.	NANJING UNIVERSITY (중국)	96

□ **키워드 분석**

❍ 초청정 환경설비 연구 관련 논문을 검색하기 위해 사용한 키워드는 'GAS GAS HEATER', 'GGH' 등임

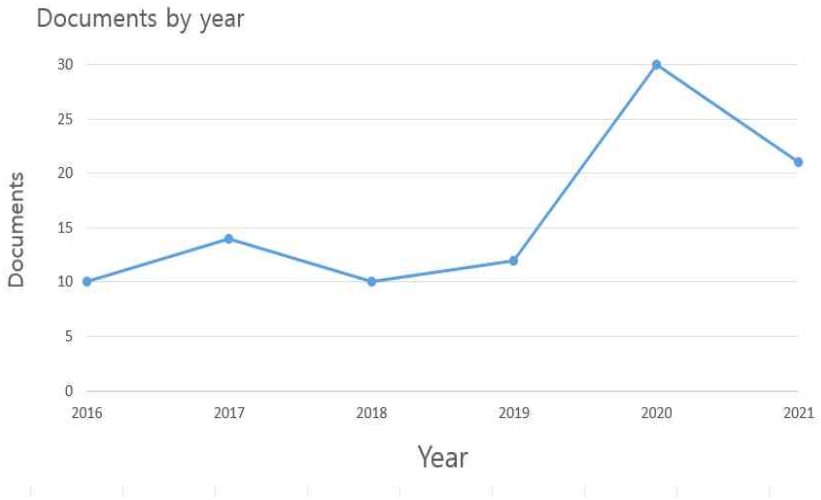
- 논문 분석은 최근 6년간 논문을 중점적으로 다루었으며 국제학술지(SCI, SCI-E)를 중점적으로 분석하였음

- 논문 내용 확인이 어려운 국가 저널은 제외하여 수행함

□ **연도별 논문 추이 분석**

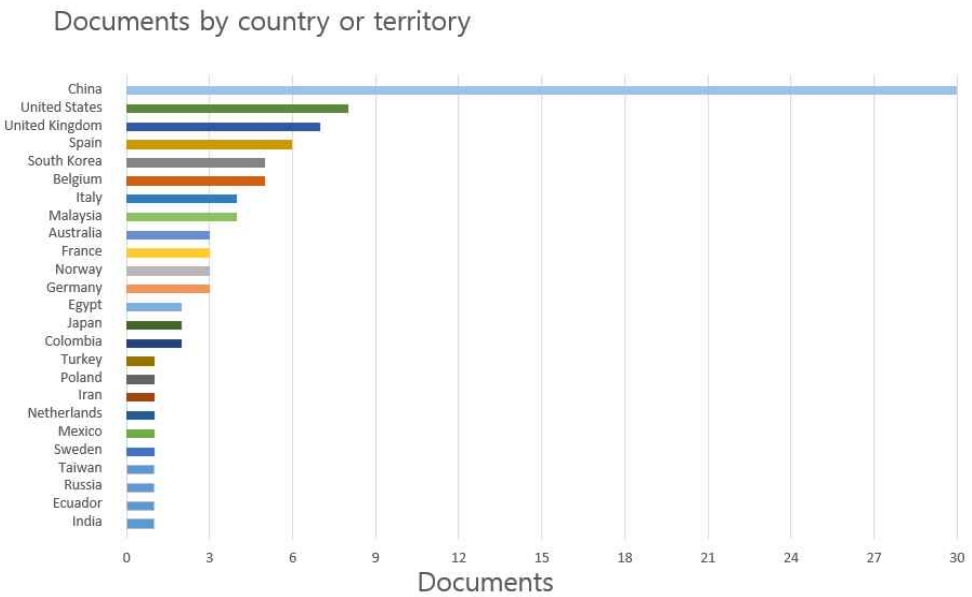
- 배연탈황 설비 GAS-GAS-HEATER(GGH) 연구 관련 논문은 2016년부터 2021년까지 총

97편이 게재되거나 발표되었으며 대기오염물질 배출허용 규제를 준수하기 위해 환경 및 통풍설비 개선 도모로 인하여 관련 논문의 게재·발표가 점진적으로 증가하였고, 2020년에 폭발적으로 증가하는 양상을 보임



[그림 247] 연도별 논문 추이

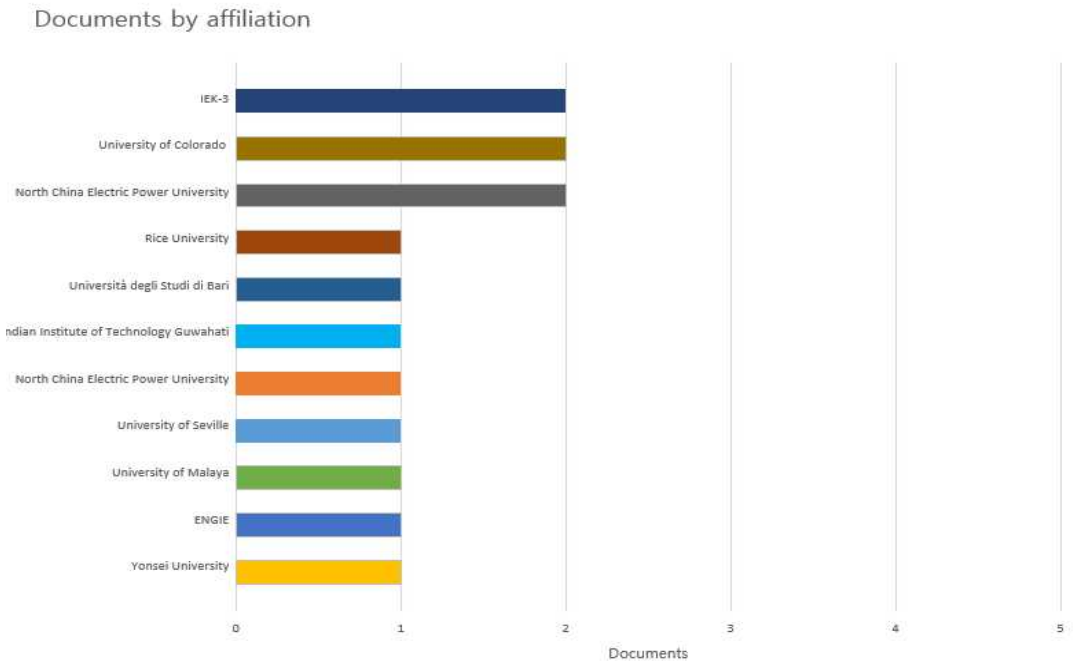
- 발표된 논문들을 국가별로 분석하니 GGH 관련 탈황설비 연구가 활발하게 진행되고 있는 중국이 전체의 31%, 즉 30편의 논문을 차지하고 있음을 확인함
- 한국도 5편(5%)의 논문을 발표하며 관련 연구를 활발히 수행하고 있음(2017년 : 3편, 2018년 : 1편, 2020년 : 1편)
- 중국과 미국, 이탈리아, 스페인이 전체 논문 발표의 39%를 차지하여 GGH 관련 탈황설비 연구가 해당 국가들을 중심으로 진행되고 있다는 결론을 내릴 수 있음



[그림 248] 논문 저자 국적 분포

□ **논문 저자 국적 분포**

- 관련 논문을 발표하는 주요 연구기관을 살펴보면, 한국의 연세대학교, 미국의 UNIVERSITY OF COLORADO, 벨기에의 ENGIE가 2편의 연구성과를 게재·발표함
- 이 외에도 독일의 IEK-3, 중국의 NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY, 스페인의 UNIVERSITY OF SEVILLE이 1편의 연구성과를 게재·발표함
- 한국에서는 한국남동발전, 포스코, 연세대학교, 성균관대학교에서 관련 연구를 수행 중이며 논문을 게재함



[그림 249] 주요 논문 발표 기관

□ **논문별 피인용도 분석**

❍ GGH 관련 탈황설비 연구 논문 중 최다 피인용도를 보인 논문은 스페인 UNIVERSITY OF SEVILLE에서 2016년에 발표한 'THERMOCHEMICAL ENERGY STORAGE OF CONCENTRATED SOLAR POWER BY INTEGRATION OF THE CALCIUM LOOPING PROCESS AND A CO2 POWER CYCLE' 논문으로 총 200회 피 인용되었음

- 초청정 환경설비 기술 분야를 선도하고 있는 UNIVERSITY OF SEVILLE의 혁신기술 연구센터에서 발표한 이 논문은 안달루시아 및 스페인 지방 정부 기관과 협력하여 공동으로 수행한 연구로 집중 태양열 발전(CSP)을 저장하기 위한 CAL PROCESS를 분석하였고 환경친화적이고 경제적인 원료를 통해 CSP의 경쟁력을 제시함으로써 청정 환경설비 연구에 기술-경제적인 당위성을 부여하였음

- 두 번째로 높은 피인용도를 보인 논문은 UNIVERSITY OF MALAYA가 2017년에 발표한 'A REVIEW ON BOILERS ENERGY USE, ENERGY SAVINGS, AND EMISSIONS REDUCTIONS'로서 총 132회 피 인용되었음
- 이 논문은 보일러의 에너지 절약 대책에 대해 검토하며 보일러 시스템에서 사용되는 에너지의 중요성과 보일러 작동 중 행동의 영향을 이해하는 리뷰 논문으로서 화력 발전 분야에서 지속적으로 인용도를 보임
- 다음으로 높은 인용도를 보인 논문으로는 INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY GUWAHATI 연구팀이 발표한 'A CRITICAL REVIEW OF HIGH-TEMPERATURE REVERSIBLE THERMOCHEMICAL ENERGY STORAGE SYSTEMS'(109회), POLITECNICO DI TORINO 연구팀이 발표한'OPTIMIZING THE CSP-CALCIUM LOOPING INTEGRATION FOR THERMOCHEMICAL ENERGY STORAGE '(101회), NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY 연구팀이 발표한'RESEARCH ON DESULFURIZATION WASTEWATER EVAPORATION: PRESENT AND FUTURE PERSPECTIVES'(96회), UNIVERSITâ DEGLI STUDI DI BARI 연구팀이 발표한'NOVEL HYBRID CSP-BIOMASS CHP FOR FLEXIBLE GENERATION: THERMO-ECONOMIC ANALYSIS AND PROFITABILITY ASSESSMENT'(92회) 임

[표 128] 주요 논문의 피인용도

순서	논문제목	저자	소속기관	피인용도
1	THERMOCHEMICAL ENERGY STORAGE OF CONCENTRATED SOLAR POWER BY INTEGRATION OF THE CALCIUM LOOPING PROCESS AND A CO2 POWER CYCLE	R. CHACARTEGUI, ET AL.	UNIVERSITY OF SEVILLE (스페인)	200
2	A REVIEW ON BOILERS ENERGY USE, ENERGY SAVINGS, AND EMISSIONS REDUCTIONS	M.C. BARMA, ET AL.	UNIVERSITY OF MALAYA (말레이시아)	132
3	A CRITICAL REVIEW OF HIGH-TEMPERATURE REVERSIBLE THERMOCHEMICAL ENERGY STORAGE SYSTEMS	J. SUNKU PRASAD, ET AL.	INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY GUWAHATI (인도)	109
4	OPTIMIZING THE CSP-CALCIUM LOOPING INTEGRATION FOR THERMOCHEMICAL ENERGY STORAGE	A. ALOVISIO, ET AL.	POLITECNICO DI TORINO (이탈리아)	101
5	RESEARCH ON DESULFURIZATION WASTEWATER EVAPORATION: PRESENT AND FUTURE PERSPECTIVES	MA SHUANGCHEN, ET AL.	NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY (중국)	96
6	NOVEL HYBRID CSP-BIOMASS CHP FOR FLEXIBLE GENERATION: THERMO-ECONOMIC ANALYSIS AND PROFITABILITY ASSESSMENT	ANTONIO M. PANTALEO, ET AL.	UNIVERSITâ DEGLI STUDI DI BARI (이탈리아)	92

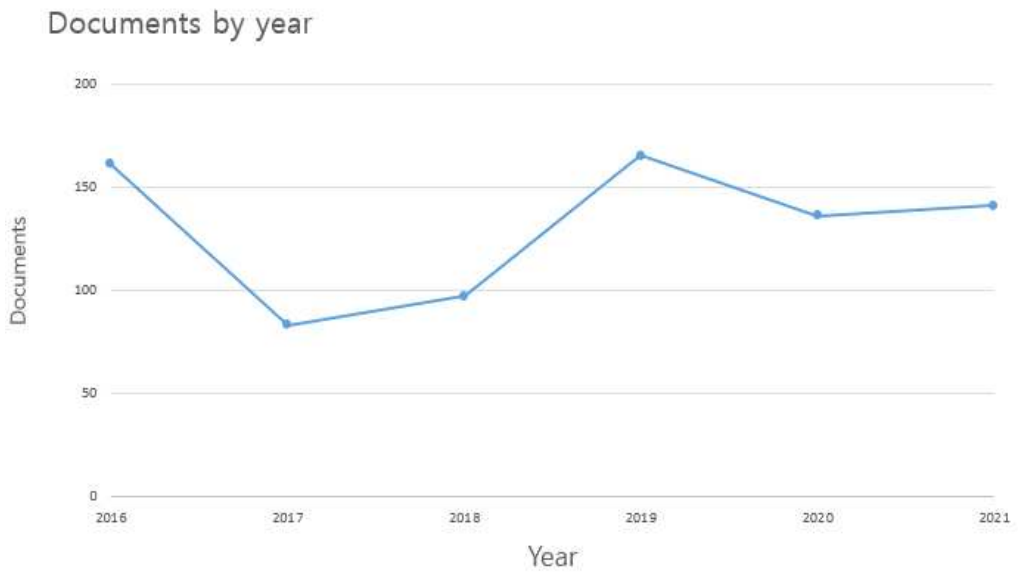
□ **키워드 분석**

❍ 청정 환경 설비 관련 선택적 촉매 환원 기술 연구 논문을 검색하기 위해 사용한 키워드는 'SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION', 'SCR' 등임

- 논문 분석은 최근 6년간 논문을 중점적으로 다루었으며 국제학술지(SCI, SCI-E)를 중점적으로 분석하였음
- 논문 내용 확인이 어려운 국가 저널은 제외하여 수행함

□ **연도별 논문 추이 분석**

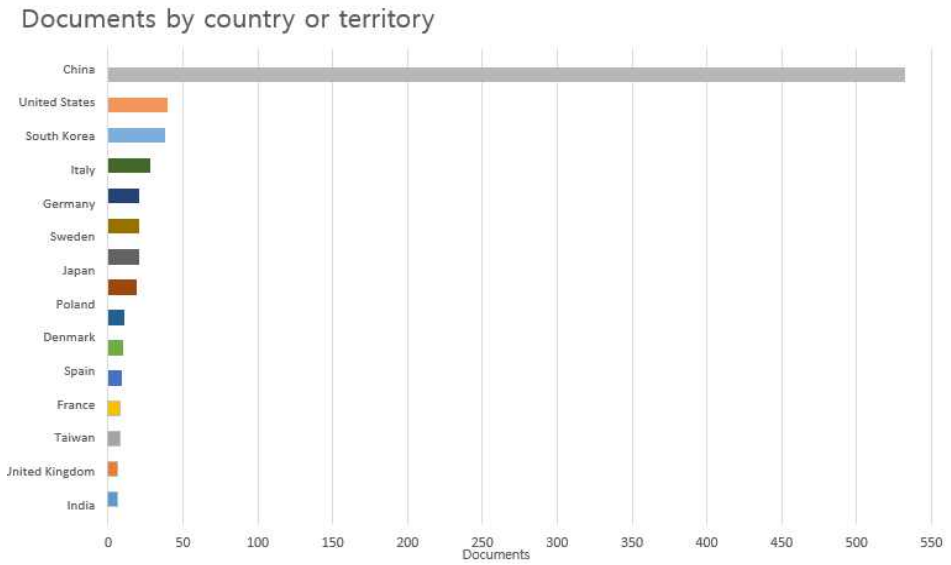
- 선택적 촉매 환원 기술 관련 논문은 2016년부터 2021년까지 총 783편이 게재되거나 발표되었으며 환경 규제 강화 추세에 따른 질소산화물(NOx) 저감 개발 기술 가속화로 인하여 관련 논문의 게재/발표가 꾸준히 진행되어 오고 있는 양상을 보임



[그림 250] 연도별 논문 추이

- 발표된 논문들을 국가별로 분석하니 선택적 촉매 환원 기술 연구가 활발하게 진행되고 있는 중국이 전체의 68%, 즉 532편의 논문을 차지하고 있어 세계 기술개발을 압도적으로 선도하고 있음을 확인함
- 한국 또한 38편(5%)의 논문을 발표하며 관련 연구를 활발히 수행하고 있음을 확인(2016년 : 11편, 2017년 : 4편, 2018년 : 1편, 2019년 : 13편, 2020년 : 5편, 2021년 : 4편)할 수 있으며 미국과 한국 그리고 유럽권 국가들을 포함한 10개국이 전체 논문 발표의 93%를 차지하여 최근 대부분의 선택적 촉매 환원 기술 연구가 해당 국가들을 중심으로 진행되고

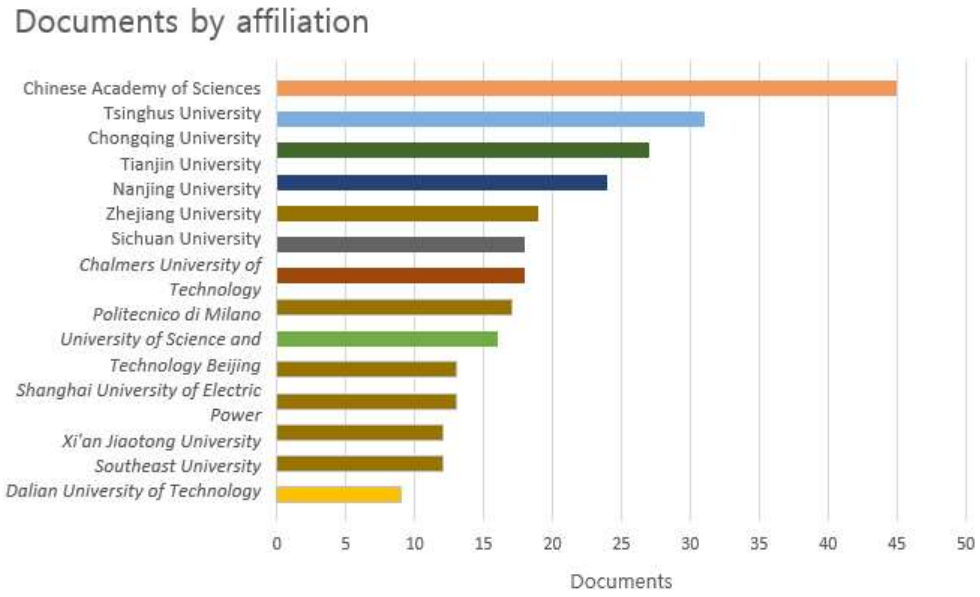
있다는 결론을 내릴 수 있음



[그림 251] 논문 저자 국적 분포

□ **논문 저자 국적 분포**

- 관련 논문을 발표하는 주요 연구기관을 살펴보면, 중국의 CHINESE ACADEMY OF SCIENCES(45편), TSINGHUA UNIVERSITY(31편), CHONGQING UNIVERSITY(27편), TIANJIN UNIVERSIT Y(24편)가 20편 이상의 연구성과를 게재·발표함
- 한국에서는 대학기관의 경우 서울대학교, 충남대학교, 전남대학교, 울산대학교, 포항공과대학교, 연구소의 경우 한국에너지기술연구원, 한국과학기술연구원, 국립환경과학원, 기업의 경우 현대자동차, 포스텍에서 관련 연구를 수행 중이며 논문을 게재함



[그림 252] 주요 논문 발표 기관

□ **논문별 피인용도 분석**

○ 선택적 촉매 환원 기술 관련 논문 중 최다 피인용도를 보인 논문은 중국의 NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY에서 2017년에 발표한 'MECHANISTIC INVESTIGATION OF THE ENHANCED NH3-SCR ON COBALT-DECORATED CE-TI MIXED OXIDE: IN SITU FTIR ANALYSIS FOR STRUCTURE-ACTIVITY CORRELATION' 논문으로 총 266회 피인용되었음

- NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY에서 발표한 이 논문은 중국의 STATE KEY LABORATORY OF FINE CHEMICALS와 오스트레일리아의 CURTIN UNIVERSITY와 협력하여 공동 수행한 연구로 촉매의 구조와 다양한 중간체의 표면 흡착 변이를 조사하고 촉매의 저온 활성을 향상시키는 메커니즘을 제안함으로써 선택적 촉매 환원 기술 연구에 기술적인 필연성을 시사함

- 두 번째로 높은 피인용도를 보인 논문은 UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY BEIJING에서 2017년에 발표한 'PROMOTIONAL MECHANISMS OF ACTIVITY AND SO2 TOLERANCE OF CO- OR NI-DOPED MNOX-CEO2 CATALYSTS FOR SCR OF NOX WITH NH3 AT LOW TEMPERATURE'로서 총 225회 피 인용되었음

- 이 논문은 공침법을 통한 촉매 제조 및 저온 NH3-SCR에 대한 활성화 SO2의 영향을 분석하여 반응·저항 메커니즘의 명확한 정립에 발전적인 방향성을 제시하여 연도별 인용이 점진적으로 늘어나는 추세임

- 다음으로 높은 인용도를 보인 논문으로는 UNIVERSITY OF CINCINNATI 연구팀이 발표한'NOVEL MANGANESE OXIDE CONFINED INTERWEAVED TITANIA NANOTUBES FOR THE LOW-TEMPERATURE SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION(SCR) OF NOX BY NH3'(206회), SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 연구팀이 발표한 'CERIA MODIFIED FEMNOX—ENHANCED PERFORMANCE AND SULPHUR RESISTANCE FOR LOW-TEMPERATURE SCR OF NOX'(186회), LEHIGH UNIVERSITY 연구팀이 발표한 'A PERSPECTIVE ON THE SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION(SCR) OF NO WITH NH3 BY SUPPORTED V2O5-WO3/TIO2 CATALYSTS'(184회), NANKAI UNIVERSITY 연구팀이 발표한'EFFICIENT NH3-SCR REMOVAL OF NOX WITH HIGHLY ORDERED MESOPOROUS WO3(X)-CEO2 AT LOW TEMPERATURES'(179회) 임

[표 129] 주요 논문의 피인용도

순서	논문제목	저자	소속기관	피인용도
1	MECHANISTIC INVESTIGATION OF THE ENHANCED NH3-SCR ON COBALT-DECORATED CE-TI MIXED OXIDE: IN SITU FTIR ANALYSIS FOR STRUCTURE-ACTIVITY CORRELATION	JIE LIU, ET AL.	NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY (중국)	266
2	PROMOTIONAL MECHANISMS OF ACTIVITY AND SO2 TOLERANCE OF CO- OR NI-DOPED MNOX-CEO2 CATALYSTS FOR SCR OF NOX WITH NH3 AT LOW TEMPERATURE	FENGYU GAO, ET AL.	UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY BEIJING (중국)	225
3	NOVEL MANGANESE OXIDE CONFINED INTERWEAVED TITANIA NANOTUBES FOR THE LOW-TEMPERATURE SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION (SCR) OF NOX BY NH3	DIMITRIOS K.PAPPAS, ET AL.	UNIVERSITY OF CINCINNATI (미국)	206
4	CERIA MODIFIED FEMNOX-ENHANCED PERFORMANCE AND SULPHUR RESISTANCE FOR LOW-TEMPERATURE SCR OF NOX	LIAM JOHN FRANCE, ET AL.	SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (중국)	186
5	A PERSPECTIVE ON THE SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION (SCR) OF NO WITH NH3 BY SUPPORTED V205-WO3/TIO2 CATALYSTS	J.K. LAI, ET AL.	LEHIGH UNIVERSITY (미국)	184

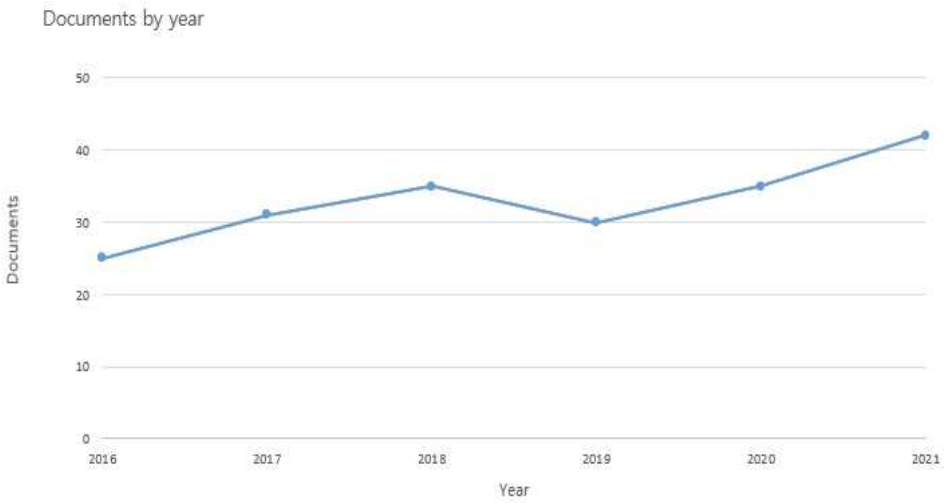
□ **키워드 분석**

❍ 청정 환경 설비 중 전기집진기술 관련 논문을 검색하기 위해 사용한 키워드는 'ELECTROSTATIC PRECIPITATOR','ESP' 등임

- 논문 분석은 최근 6년간 논문을 중점적으로 다루었으며 국제학술지(SCI, SCI-E)를 중점적으로 분석하였음
- 논문 내용 확인이 어려운 국가 저널은 제외하여 수행함

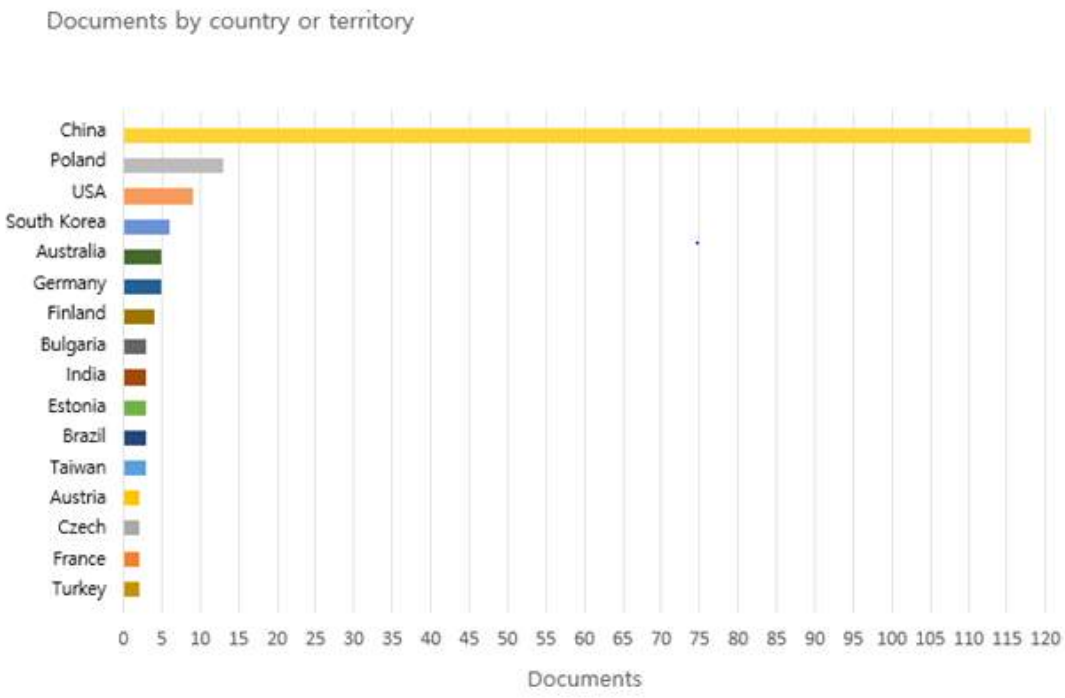
□ **연도별 논문 추이 분석**

- 전기 집진 기술 관련 논문은 2016년부터 2021년까지 총 198편이 게재되거나 발표되었으며 대기오염물질을 집진 제거하기 위해 고성능 집진이 중요해짐에 따라 관련 논문의 게재 · 발표가 2016년 대비 점진적으로 증가하는 양상을 보임



[그림 253] 연도별 논문 추이

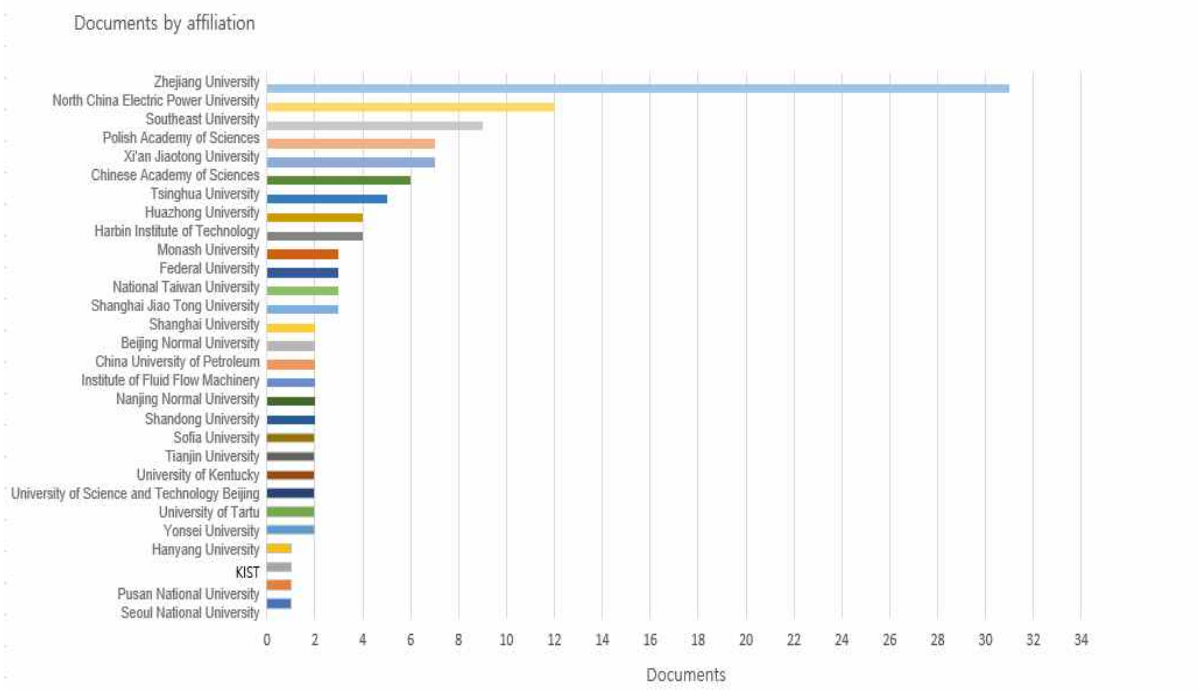
- 발표된 논문들을 국가별로 분석하니 전기 집진기술 연구가 활발하게 진행되고 있는 중국이 전체의 60%, 즉 118편의 논문을 차지하고 있어 세계 기술개발을 선도하고 있음을 확인함
- 한국도 6편(0.03%)의 논문을 발표하며 관련 연구를 지속적으로 수행하고 있음을 확인(2016년 : 1편, 2017년 : 1편, 2019년 : 1편, 2020년 : 1편, 2021년 : 2편)
- 중국과 폴란드가 전체 논문 발표의 66%를 차지하여 최근 전기 집진 기술 관련 연구가 중국과 폴란드를 중심으로 진행되고 있다고 결론을 내릴 수 있음



[그림 254] 논문 저자 국적 분포

□ **논문 저자 국적 분포**

- 관련 논문을 발표하는 주요 연구기관을 살펴보면, 중국의 ZHEJIANG UNIVERSITY, NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY, SOUTHEAST UNIVERSITY가 총 52편의 연구성과를 게재·발표함
- 이외에도 중국의 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY, TSINGHUA UNIVERSITY가 있으며 폴란드의 POLISH ACADEMY OF SCIENCES가 각 6편 이상의 연구성과를 발표함
- 대학기관 외에도 미국의 DTE ENERGY, 폴란드의 INSTITUTE OF NUCLEAR CHEMISTRY AND TECHNOLOGY, 독일의 RWE GENERATION SE, 미국의 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES AMERICA, INC, 중국의 XI'AN THERMAL POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD 등의 기관에서 1편 이상의 연구성과를 게재·발표함
- 한국에서는 한국과학기술원, 서울대학교, 연세대학교, 한양대학교, 부산대학교에서 관련 연구를 수행 중이며 논문을 게재함



[그림 255] 주요 논문 발표 기관

□ **논문별 피인용도 분석**

- 초청정 환경설비 전기집진장치 기술에 관한 논문 중 최다 피인용도를 보인 논문은 중국 NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY에서 2016년에 발표한 'FINE PARTICULATE MATTER EMISSION AND SIZE DISTRIBUTION CHARACTERISTICS IN AN ULTRA-LOW EMISSION POWER PLANT' 논문으로 총 108회 피 인용되었음

- NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY에서 발표한 이 논문은 WESTERN KENTUCKY UNIVERSITY와 공동으로 수행한 연구로 미세먼지 배출량을 5mg/Nm^3 수준으로 저감시켜 초저배출기준을 달성시켰고 개선된 전기집진장치를 활용해 높은 효율로 미세먼지를 저감시킬 수 있는 최적화 방안을 제시함

- 두 번째로 높은 피인용도를 보인 논문은 INSTITUTE OF FLUID FLOW MACHINERY가 2018년에 발표한 'TWO-STAGE ELECTROSTATIC PRECIPITATORS FOR THE REDUCTION OF PM2.5 PARTICLE EMISSION'로서 총 106회 피 인용되었음

- 이 논문은 2단식 전기집진장치를 개발하여 기존 전기집진장치의 한계점을 보완하여 95% 이상의 고효율 집진율을 입증하였기에 지속적인 인용이 이루어지고 있음

- 3번째로 높은 피인용도를 보인 논문으로는 BEIJING NORMAL UNIVERSITY 연구팀이 발표한 'POTENTIALS OF WHOLE PROCESS CONTROL OF HEAVY METALS EMISSIONS FROM COAL-FIRED POWER PLANTS IN CHINA'(87회), CENTRAL SOUTH UNIVERSITY 연구팀이 발표한 'SULFUR ABUNDANT S/FES2 FOR EFFICIENT REMOVAL OF MERCURY FROM COAL-FIRED POWER PLANTS'(83회), ZHEJIANG UNIVERSITY 연구팀이 발표한

'FORMATION, TRANSFORMATION, MEASUREMENT, AND CONTROL OF SO3 IN COAL-FIRED POWER PLANTS'(77회)임

[표 130] 주요 논문의 피인용도

순서	논문제목	저자	소속기관	피인용도
1	FINE PARTICULATE MATTER EMISSION AND SIZE DISTRIBUTION CHARACTERISTICS IN AN ULTRA-LOW EMISSION POWER PLANT	Z. SUI, ET AL.	NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY (중국)	108
2	TWO-STAGE ELECTROSTATIC PRECIPITATORS FOR THE REDUCTION OF PM2.5 PARTICLE EMISSION	A.JAWOREK, ET AL.	POLISH ACADEMY OF SCIENCES (폴란드)	106
3	POTENTIALS OF WHOLE PROCESS CONTROL OF HEAVY METALS EMISSIONS FROM COAL-FIRED POWER PLANTS IN CHINA	C. ZHU, ET AL.	BEIJING NORMAL UNIVERSITY (중국)	87
4	SULFUR ABUNDANT S/FES2 FOR EFFICIENT REMOVAL OF MERCURY FROM COAL-FIRED POWER PLANTS	H. LI, ET AL.	CENTRAL SOUTH UNIVERSITY (중국)	83
5	FORMATION, TRANSFORMATION, MEASUREMENT, AND CONTROL OF SO3 IN COAL-FIRED POWER PLANTS	C. ZHENG, ET AL.	ZHEJIANG UNIVERSITY (중국)	77

3. 기술개발 내용

가. 기술개요

□ **초청정 환경설비 기술개요**



[그림 256] 초청정 환경설비 구성 및 공정흐름도

○ 기후대응을 위한 친환경·저탄소 전환 가속화를 위한 초청정 환경설비 상용화 설계·운영기술 개발 및 실증으로 국내외 시장 개척

- 강화된 규제 대응을 위한 미세먼지 집진설비(EME) 실증을 통한 국내외 시장 개척
- 세계 최고 수준의 탈황·탈질설비 설계기술 개발을 통한 환경플랜트 시장 선도
- 탄소중립 기반의 연소 후 이산화탄소 포집설비 설계기술 확보 및 CCUS-READY를 위한 설비 구성

나. 사업목표

□ **비전 : 2050 탄소중립 실현을 위한 초청정 환경설비 실증기술 확보**

□ **목표: 미세먼지를 포함한 대기오염물질 제거를 위한 EME, ADVANCED FGD, SCR, ESP와 CO2 활용 설비 갖춘 미래형 탄소중립형으로 국내·외에 건설하여 실증하고 구성기기 설계·제작·운영 기술확보**

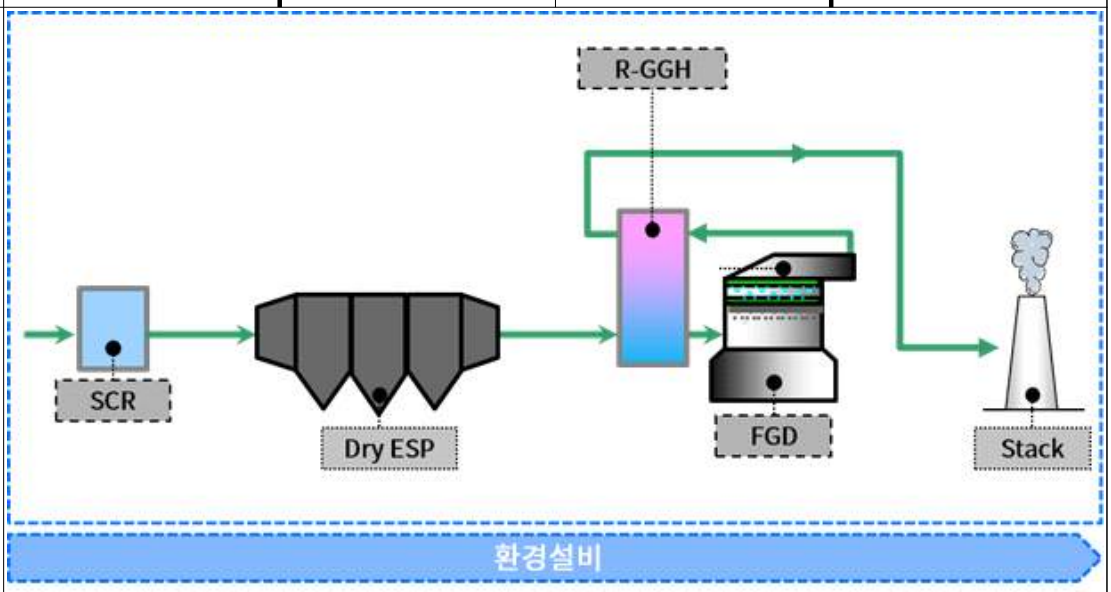
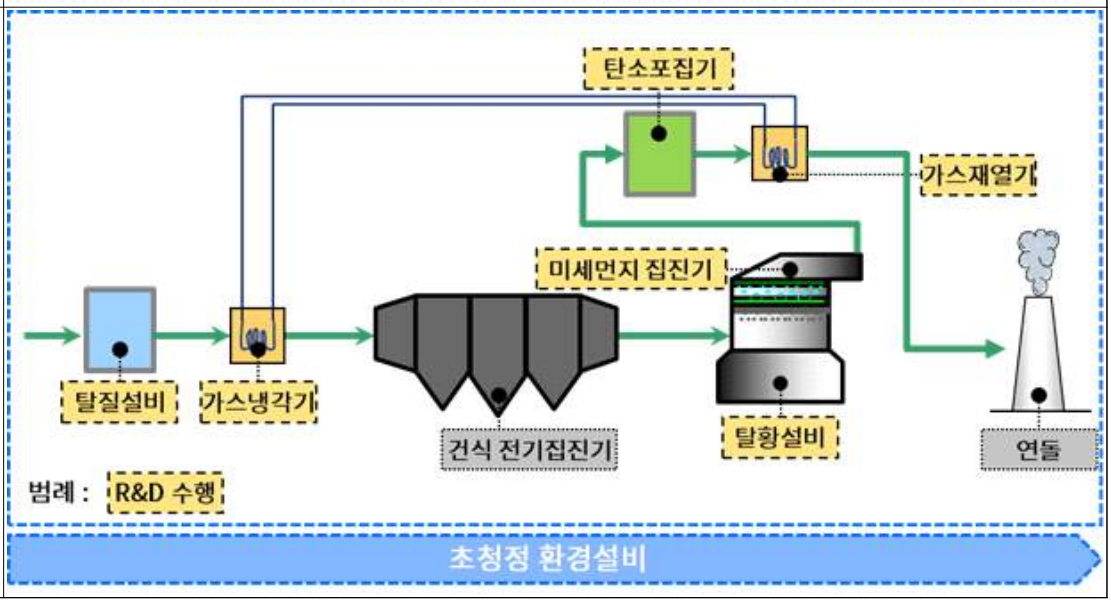
□ **정성목표**

- 해외시장 진출 TRACK RECORD 확보를 위한 EME, ADVANCED FGD 등 핵심 환경설비 국내 실증

□ **정량목표**

- 총먼지 배출농도 12 mg/Nm^3 → 2 mg/Nm^3 이하
- 황산화물 배출농도 50 ppm → 10 ppm이하
- 질소산화물 배출농도 50 ppm → 9 ppm이하
- 이산화탄소 900 g/kWh → 100 g/kWh이하
  - 실증플랜트의 총먼지 배출농도는 2 - 3mg/Nm^3 범위에서 최대 2mg/Nm^3, 황산화물 배출농도는 10 - 15ppm 범위에서 최대 10ppm, 질소산화물 배출농도는 9 - 20ppm 범위에서 최대 9ppm을 목표로 하고, 이산화탄소 저감 목표를 달성 가능한 개념설계 및 PROVISION을 제공
  - 실증 플랜트는 TRACK RECORD 확보를 통한 해외시장 진출이 주목적임을 고려하여 실증 플랜트의 세부범위 및 상세내용은 추후 확정 예정

[표 131] 초청정 환경설비 기술 개선수준 및 향후모습

핵심항목	현재 수준(모습)	R&D 수행 시 개선수준(모습)		향후 수준(모습)
		'23년 수준	최종 목표수준	
	~'21	'23	'27(종료년도)	'27~(종료이후)
초청정 환경설비 실증	■ 환경설비 기본설계기술	■ 환경설비 실증사이트 기본·상세설계 착수	■ 초청정 환경설비 설계 및 운영 실적 확보	■ 세계 최고수준 환경설비 해외시장 진출
이산화탄소	■ ≈900g/kWh	■ ≈900g/kWh	■ <100g/kWh	■ <100g/kWh
황산화물	■ ≈50ppm	■ ≈50ppm	■ <10ppm	■ <10ppm
질소산화물	■ ≈50ppm	■ ≈50ppm	■ <9ppm	■ <9ppm
총먼지	■ ≈12mg/Nm^3	■ ≈12mg/Nm^3	■ <2mg/Nm^3	■ <2mg/Nm^3
미세먼지	■ -	■ -	■ <2mg/Nm^3	■ <2mg/Nm^3
AS-IS				
TO-BE				

다. 핵심 개발내용

❍ (1세부) 미세먼지 집진설비 실증

- 500MW급 SCALE-UP 기본설계 및 상세설계* 기술개발

  * P&ID, MASS BALANCE, PROCESS 등

- RETROFIT FGD 연계 EME 상세설계 기술개발
- EME 시스템 엔지니어링 및 설치 기술개발
- 시운전을 통한 운전 절차 수립
- 성능 검증 및 장기운전을 통한 개선방안 도출
- 성능 개선방안 검증

❍ (2세부) 고효율 탈황설비 설계기술 개발

- 저압 SPRAY 노즐 개선 등 개선안 검토
- NL-GGH 설계 개선 및 운전데이터 확보를 위한 계측기 추가 검토
- FGD 시스템 개선 기본 및 상세설계 기술개발

❍ (3세부) 고효율 탈질설비 설계기술 개발

- 성능개선을 위한 탈질시스템 엔지니어링 기술개발
- 유동 개선을 위한 CFD 해석
- 암모니아 주입 그리드(AIG), GAS FLOW 등 개선안 도출

❍ (4세부) 연소 후 이산화탄소 포집설비 설계기술 개발

- 공정사별 기술 검토 및 최적 기술 선정
- DESIGN CRITERIA 및 PHILOSOPHY 개발
- PCC 성능 및 PROCESS DATA 획득
- 공종 별 DESIGN DATA 및 SPECIFICATION 수립
- 제어 및 안전 설계 PHILOSOPHY 수립

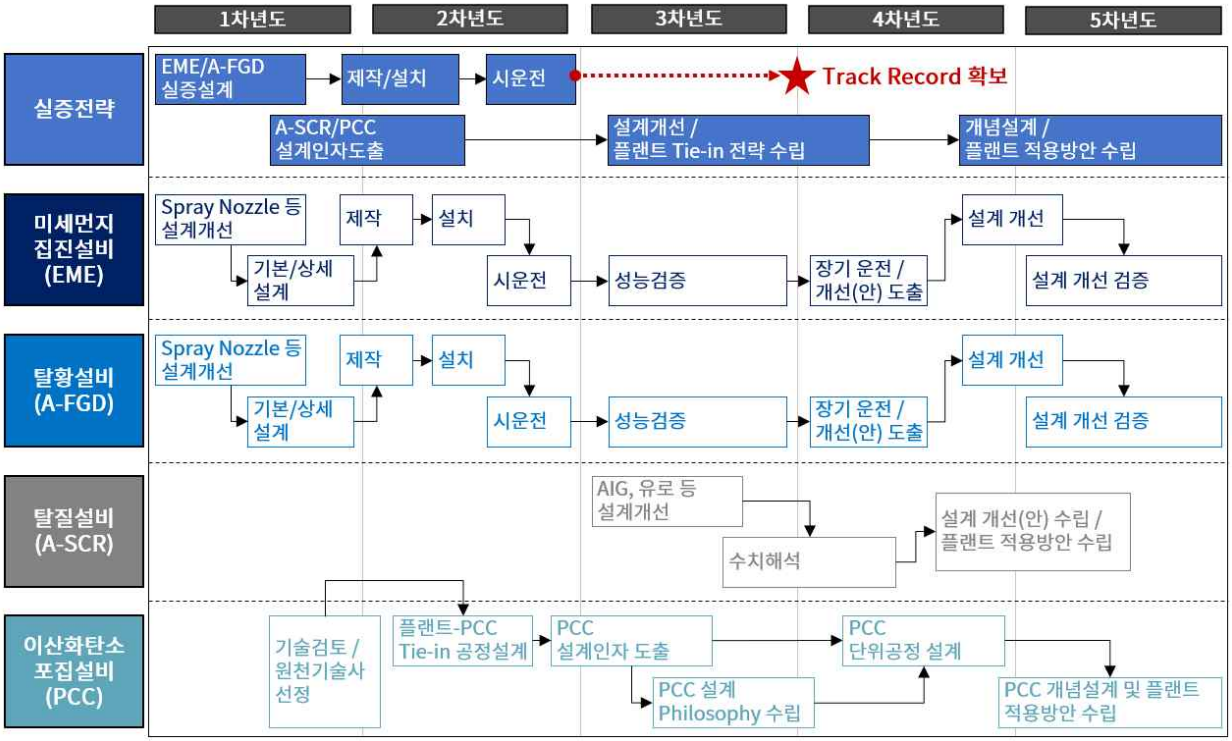
라. 연차별 연구개발 내용

(1) 연차별 연구내용

[표 132] 기술개발 연차별 추진계획

	초청정 환경설비 기술개발 및 실증				
	연차별 추진계획				
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
목표	• 단위기술별 기본설계 및 상세설계 • 국내 실증사이트 적용 실증방안 수립	• 국내실증설비 구축 및 시운전	• 국내실증설비 성능시험 및 운전최적화	• 청정발전 프로세스 운영기술 개발	• 국내 상업 운전 실적 확보를 통한 해외 장 TRACK RECORD 확보
1세부	• (EME) 500MW급 SCALE-UP 설계 및 상세설계	• (EME) 실증설비 제작, 설치 및 시운전	• (EME) 성능검증 및 운전최적화	• (EME) 장기운전을 통한 개선방안 도출	• (EME) 성능 개선방안 검증
2세부	• (FGD) 저압 SPRAY 노즐 등 개선안 검토 • (NL-GGH) 설계 개선 및 운전데이터 확보를 위한 계측기 추가 검토	• (FGD) 실증설비제작, 설치 및 시운전	• (FGD) 성능검증 및 운전최적화	• (FGD, NL-GGH) 탈황설비 운영 및 개선방안 도출	• (FGD) 성능 개선 방안 검증
3세부			• (SCR) AIG, 유로 등 개선안 도출	• (SCR) 탈질성능 개선을 위한 CFD 해석	• (SCR) 탈질설비 개선 설계안 수립 및 기술적용 방안 도출
4세부	• (PCC) 공정 기술 검토 및 선정	• (PCC) 플랜트-PCC TIE-IN 공정설계	• (PCC) PCC 설계인자 도출 • (PCC) PCC 설계 PHILOSOPHY 수립	• (PCC) 단위공정 설계	• (PCC) 개념설계 및 플랜트 적용방안 수립

(2) 실행 로드맵



[그림 257] 초청정 환경설비 실행 로드맵

마. 차별성 및 연계성

□ 선행연구 및 차별성

[표 133] 초청정 환경설비 실증사업의 기존 유사과제 분석

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
표준·신표준 발전소 대상 미세먼지 저감 통합 환경설비 솔루션 개발	두산중공업, 기계연, 포항공대, 연세대, 중부발전, 남동발전	2016. 12. ~ 2019. 03.	기 수행된 국책과제는 환경설비의 요소 기술별 개발이 개발목표이며, 본 사업을 통해선 발전소 실증이 차별화임

□ 기존 사업과의 차별성

[표 134] 초청정 환경설비 실증 기존 사업과의 차별성

구분	초청정 환경설비 실증	표준·신표준 발전소 대상 미세먼지 저감 통합 환경설비 솔루션 개발	비고
부처	대한민국 국토교통부	대한민국 산업통산부	
총사업비	27,000백만 원	5,575백만 원	
사업기간	2022.04.01~2026.12.31	2016.12.01~2019.03.31	
목표	• 해외시장 진출 TRACK RECORD 확보를 위한 초청정 환경설비 국내 실증	• 표준·신표준 발전소 대상 미세먼지 저감 통합 환경설비(NL-GGH, 고효율 정전 MIST ELIMINATOR, SCR)에 대한 설비 진단을 포함한 개선방안 도출	-
목적	• 기후변화 대응을 위한 탄소중립 및 미세먼지·오염물질 저감형 하이브리드발전 플랜트 상용화 기술개발 및 해외시장 진출 TRACK RECORD 확보	• 석탄화력발전소 미세먼지 저감 설비 기술확보	-
적용 분야	• 한국 및 동남아 발전 플랜트	• 국내 석탄화력발전 플랜트	-
연구수행 방식	• ENGINEERING 기술개발 및 실증	• 설계 기술개발 및 핵심 요소기술 확보	
기술 성숙도	• 연구개발단계: 개발연구(실증) • 기술성숙도(TRL): 6 - 7단계 • 실제 환경에서의 모델개발 및 실증	• 연구개발단계: 개발연구 • 기술성숙도(TRL): 4 - 7단계 • 실제 환경에서의 모델 개발 및 ENGINEERING	-
주요 연구내용	• 정전식 미세먼지 집진기술 실증 • 배기가스 처리설비 기술 개선 및 실증	• 미세먼지 저감을 위한 대상 발전소 설비 진단 • 고효율 EME 기술 개발 • NL-GGH 기술개발 • 고효율 DE-NOx 기술개발	-
성과 활용	• 초청정 환경설비기술 실증 후 한국 및 동남아시아 설비 개선시장 창출	• 고효율 EME 설계 기술확보 • NL-GGH 설계 개선	-

□ **연계방안**

[표 135] 초정정 환경설비 실증 사업의 기존 사업과의 중복성 및 연계성

<table>
<tr><th colspan="2">사전 확보기술</th><th></th><th>본 핵심 R&D 필요 기술명</th><th></th><th colspan="2">후속/연계 활용기술 (본 사업 핵심/구성기술에서)</th></tr>
<tr><td>선행 기술명</td><td>• 500MW급 정전식 습식 미세먼지 집진기(EME) 기술
• ADVANCED FGD 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td rowspan="3">해외시장 진출 TRACK RECORD 확보를 위한 EME, ADVANCED FGD 등 핵심 환경설비 국내 실증 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td>기술명</td><td>• 한국형 하이브리드발전 시스템의 환경설비개선 사업</td></tr>
<tr><td>연계 대상물</td><td>• 탈황설비, 습식 전기집진기</td><td>대상 성과물</td><td>• HELE(HIGH EFFICIENCY LOW EMISSION) 달성기술 확보</td></tr>
<tr><td>활용 방안</td><td>• SCALE-UP 시 BASE 기술로 활용</td><td>활용 방안</td><td>• 한국 및 동남아 환경설비 개선사업 적용</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>⇧</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술 연계</td><td colspan="2">과제 개요</td><td colspan="2">연계대상 성과물</td><td colspan="2">중복성/연계성</td></tr>
<tr><td colspan="2">• 과제명: 표준 가스복합 발전플랜트 친환경 설비 기술개발
• 기간: 2021. 05.~2027. 10.
• 내용: 광역 온도 대응 탈질 시스템개발 및 성능 검증, 냉각탑 MIST 저감 시스템개발 및 성능 검증, 등</td><td colspan="2">• 탈질 시스템, 냉각탑 시공 및 운전 경험</td><td colspan="2">• (중복성) 원료가 다르고 규모가 적으나 MIST 저감기술의 측면에서 유사
• (연계성) 복합플랜트에서 확보한 시스템 설계, 시공 및 운전 경험 활용 실증 플랜트 운영기술 확보</td></tr>
</table>

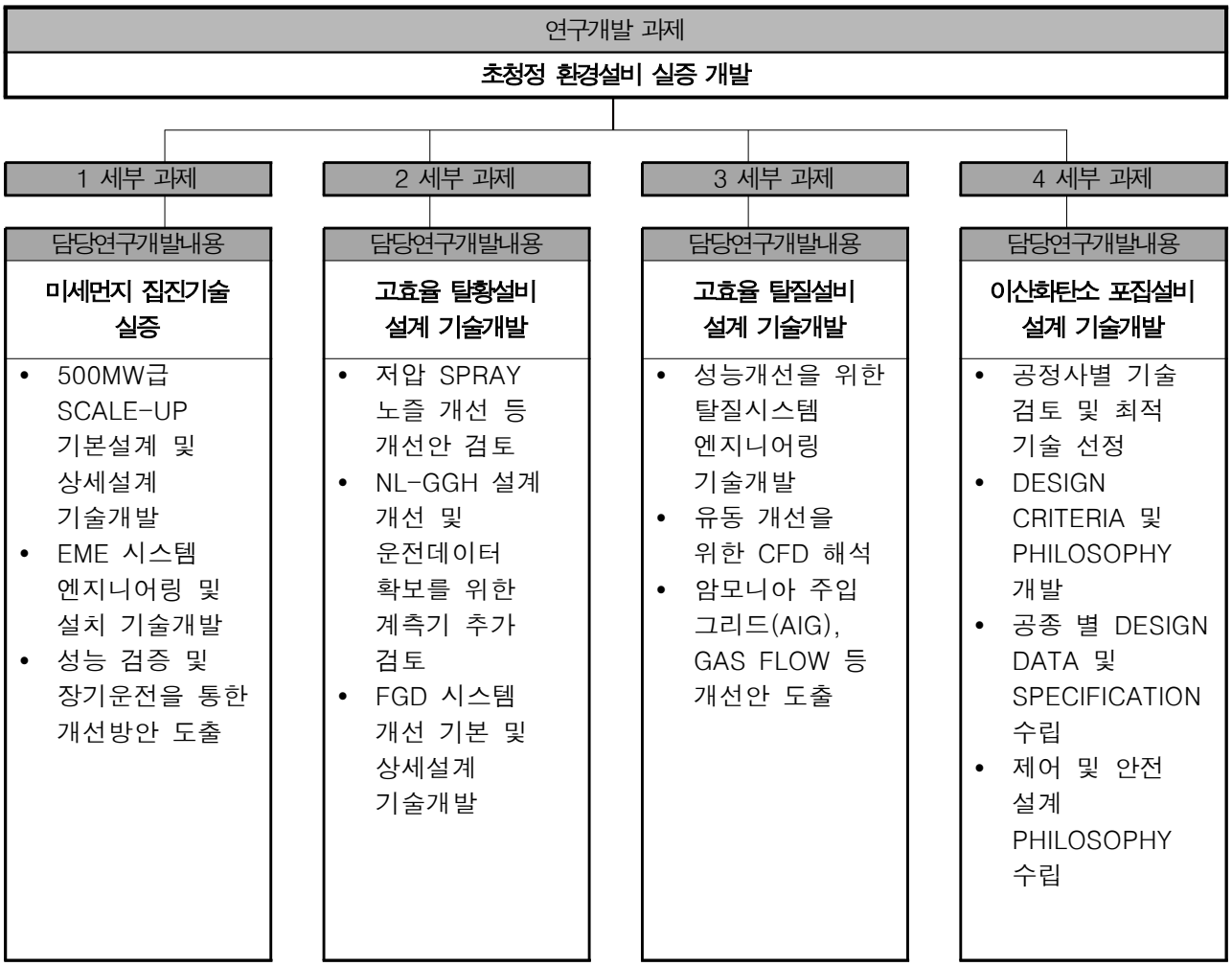
4. 과제추진전략

가. 과제추진체계

□ **추진체계**

○ 초청정 환경설비 실증은 연구단급(산·학·연 협동 연구체계)으로 사업추진

[표 136] 과제 추진체계



❍ 사업추진 주체별 역할 분담

[표 137] 고효율 순환유동층 상용화 기술개발 주체별 역할 분담

주체	역할 및 기능
주관부처 (국토교통부)	• 사업총괄 부처(최상위 의사결정기관) • 사업의 추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정 • 사업 시행계획 수립 • 사업 투자우선순위 결정 등
전문기관 (국토교통과학기술진흥원)	• 연구단 기획·평가·운영위원회 구성·운영 • 연구단 진도 및 실적 점검 • 연구단 및 중점, 세부과제 선정·단계·최종평가 • 사업진도 및 연구개발 성과에 대한 검증 및 평가 수행 • 각 기술 분야 산학연 전문가들로 구성된 평가위원 풀을 이용하여 관계법령에 따라 선정평가, 연차 단계평가, 최종평가 등을 시행(연차평가, 현장실태 점검, 중간실적 및 계획 평가, 최종성과 평가) • 기술 확산 및 정책 활용성 검토 등
연구단	• 연구단장 – 사업추진을 위한 컨소시엄 구성 – 세부과제 진도관리·자체평가·참여기관 간 역할배분 등 – 연구성과 관리 및 사업화 지원 – 연구성과 보급·확산 및 홍보 • 대학: 시스템 공정 시뮬레이션 및 개념설계, 수치해석, 데이터 분석, 경제성 평가 해석, 가스 분석 등 • 출연연: 라이선스 확보, 기본설계, 최적화 등 • 민간기업: 상세설계, 건설, 운영 등
연구개발사업 협의체 (사업협력기관)	• 통합과제와 세부과제 간 사업추진 방향과 운영에 대한 실무 협의 • 세부과제 간 과제, 예산 조정 협의 • 후속과제 기획 협의

나. 추진전략

□ **부처협업**

○ (R&D 이어달리기) 기 개발된 기초·원천 및 설계기술을 연계하여 플랫폼을 구축하고 실증플랜트 운영을 통한 최종 실·검증 추진

- 과기부(기초·원천기술) → 산업부(엔지니어링) → 국토부(통합 실증 및 해외시장 진출)
- (산업부, '16년-'19년) EME, SCR, NL-GGH, FGD 등 통합환경설비솔루션 개발 →(산업부, '20년) "습식 탈황 흡수탑 상단의 전기하전 미스트 제거 기술(EME)" 신기술(NET) 인증 승인→(기재부·조달청, '21년) 혁신제품 지정 신청 → (국토부, '22년 -) 단위기술 통합·실증 및 해외 진출 기반 마련

다. 위험요인 및 극복방안

□ **기술개발의 한계 및 극복방안**

○ 석탄화력발전소에 대한 국내 부정적 시각

- 석탄화력발전소는 미세먼지와 온실가스 발생의 원인으로 인식되고 있어 정부는 기존 노후 석탄발전소를 폐지하고 신규 석탄화력의 전력시장 진입을 제한하고 있음
- CCS READY 기술을 통해 부지확보 및 CCS 기술융합 가능성을 사전 파악하여, 중장기적인 이산화탄소 저감에 대한 전략적 대응 가능

□ **국산화 기술개발품에 대한 높은 해외시장 진입장벽**

- 연구개발의 대상이 되는 발전시설은 성공적으로 개발되어도 실용화를 위하여 실증시험을 거치고, 실제 발전을 하는 TRACK RECORD를 확보해야함
- 본 초청정 환경설비는 동남아시아, 남아공 등의 신규 해외발전시장의 경쟁우위 선점을 위해 반드시 국내 TRACK RECORD 확보가 필요하며, 이를 위해 정부가 정책적으로 국산화 신기술 발전설비에 대한 INCENTIVE를 부여할 필요성이 있음
- 본 기술개발 성공을 통해 종합 설계(A&E) - 기자재 공급(EPC) -건설 - 연료 조달(E&P) - 운영&유지(O&M)의 VALUE CHAIN을 구성하여 수출형 PACKAGE 개발을 통한 해외시장 개척이 가능하고 수익을 극대화시킬 수 있음

□ **신발전 기술의 실증 계획 수립 및 SITE 마련시 정부 협조 필요**

- 본 초청정 환경설비의 국산화개발을 위해서는 반드시 국내 실증이 필요함
- 하지만 신규 발전소 건설을 위해서는 차기 전력수급계획에 반영이 선행되어야 하므로 국가 에너지 안보 및 친환경 에너지기술의 육성적 차원에서 정부 지원이 반드시 필요함
- 상기의 기술항목을 개발하기 위해서는 기획범주에서 언급한 바와 같이, 초청정 환경설비

연구를 통한 기술개발 및 검증이 종합적으로 이루어져야 함

라. 성과관리 및 활용방안

(1) 성과목표 및 지표체계

[표 138] 초청정 환경설비 주요 성능지표

핵심기술·제품 성능지표		단위	달성목표		국내 최고 수준	세계 최고 수준	
			개발 전	개발 후		현재	과제종료 시점
1	총먼지 배출농도	mg/Nm^3	12	2	3	3	2
2	황산화물 배출농도	ppm	50	10	15	15	10
3	질소산화물 배출농도	ppm	50	9	10	10	9
4	이산화탄소 배출농도	g/kWh	900	100	-	-	100

□ **특성화지표**

❍ 수입 대체율(10%)

- 측정산식 : (전체연구비 - 해외 지출 연구비) ÷ 전체연구비 × 100
- 측정방법 : 연구결과물(설계, 제작, 시공, 운영 등) 국산화율에 비례한 비용 절감효과 등을 통해 수입 대체율(국산화율) 목표 달성

❍ 기술료(8백만원/정부 출연금 10억)

- 측정산식 : ∑ (기술실시·이전을 통해 발생하는 기술료 징수액) ÷ 정부 출연금
- 측정방법 : 기술료 증빙

❍ 특허등급지수(SMART)(4.0)

- 측정산식 : ∑ (특허 등급 × 배점) ÷ (등록 특허 건수)
- 측정방법 : 한국발명진흥회의 특허 분석 평가시스템 SMART 활용

- 논문지수(50.0)
- 측정산식 : ∑ (게재 논문 순위보정 영향력 지수(mrnIF) ÷ 논문게재 건수
- 측정방법 : 당해연도에 게재된 논문을 대상으로 JCR 분류에 따라 해당 저널 Impact Factor 순위를 확인 후 표준화된 순위보정 영향력 지수(mrnIF)를 계산

* 최근 5년간(2015-2019) 플랜트연구사업의 학술지 게재 논문지수의 평균값(59.06)을 목표치로 설정

(2) 성과관리방안

□ **과제 선정방식**

- 사전기획 내용 및 기술수요 조사 등을 반영한 TOP-DOWN(지정 공모) 방식을 통해 평가 기준에 따른 선정

□ **과제 관리방식**

- 초청정 환경플랜트 기술개발 사업은 세부과제 수행 기관 선정에서부터 종료 후 추적 평가에 이르기까지 전주기를 모니터링 관리

□ **과제 평가 방안**

○ 실증 플랜트 설계·건설·운전 자료를 통한 정량·정성 평가

- 총먼지 배출농도, 황산화물 배출농도, 질소산화물 배출농도, 이산화탄소 배출농도 만족 여부 평가
- 플랜트 건설 시 계획에 따라 공기 준수 여부, 감리 진행 여부 등을 평가
- 플랜트 시운전 시 보일러·플랜트 성능 만족 여부, 대기오염 배출물질 목표치 달성 여부 등 평가
- 특허·소프트웨어 등록·논문 등의 지식재산권 확보 및 실제 플랜트 시운전을 통해 운영 S/W 활용성 등 평가

(3) 성과활용방안

□ **테스트베드에서 안정적 운영완료 후, 사업시행 주체가 될 발전사업자 대상 홍보활동 추진**

□ **테스트베드의 성과홍보를 위해 테스트베드에서 지역별 발전사업자 및 지역난방공사 등 기술 활용 대상기관을 초청하여 설명회, 견학 프로그램 마련**

5. 소요예산

가. 예산총괄 및 재원조달계획

□ **총괄표**

○ 연차별 투자계획

[표 139] 연차별 투자계획

구분 (사업기간)	총사업비 (백만원)	연차별 투자계획				
		‘23년	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년
사업기간 : ‘23–’27년	21,429	3,343	5,086	5,143	5,143	2,714
합계	21,429	3,343	5,086	5,143	5,143	2,714
국고	15,000	2,340	3,560	3,600	3,600	1,900
민간매칭 등	6,429	1,003	1,526	1,543	1,543	814

* 민간매칭은 향후 정부투자에 따라 변경가능

□ **재원조달계획**

○ (재원 분담률) 국고(회계) : 지방비 : 민자 = 70 : 0 : 30

- 대기업, 중견, 중소기업 공동참여 구성이 예상되므로, 민자 30% 수준으로 민간 분담비율을 설정
- 공모 시, 대기업과 중소기업 참여 수에 따라 민간 분담비율 변경 가능

○ 기존 재원 범위 내에서의 수용 가능성

- 계획된 소요 예산은 국토교통부 기술개발 예산 규모에서 수용 가능
- 민간부담금의 경우 전체 연구개발비의 30% 수준이며 본 사업의 경우 지원대상이 대기업·중소기업으로 중점분야별 참여기업 규모를 고려하여 민간부담금 적용 비율을 차등 적용
- 재원조달 문제로 인한 본 사업의 지연 가능성은 매우 적은 것으로 판단

나. 세부과제 예산

□ 세부과제 예산

* 세부과제 상세 예산은 추후 변경될 수 있음

[표 140] 세부과제 예산

세부과제	예산 (백만원)		'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	계
미세먼지 집진설비 실증	정부		1,474	2,243	2,268	2,268	1,197	9,450
	민간	현금	53	80	81	81	43	338
		현물	579	881	891	891	470	3,713
		계	632	961	972	972	513	4,050
	소계		2,106	3,204	3,240	3,240	1,710	13,500
고효율 탈황설계 기술개발	정부		398	605	612	612	323	2,550
	민간	현금	14	22	22	22	12	91
		현물	156	238	240	240	127	1,002
		계	170	259	262	262	138	1,093
	소계		568	865	874	874	461	3,643
고효율 탈질설계 기술개발	정부		281	427	432	432	228	1,800
	민간	현금	10	15	15	15	8	64
		현물	110	168	170	170	90	707
		계	120	183	185	185	98	771
	소계		401	610	617	617	326	2,571
CO_2 포집설비 설계 기술개발	정부		187	285	288	288	152	1,200
	민간	현금	7	10	10	10	5	43
		현물	74	112	113	113	60	471
		계	80	122	123	123	65	514
	소계		267	407	411	411	217	1,714
총계	정부		2,340	3,560	3,600	3,600	1,900	15,000
	민간	현금	84	127	129	129	68	536
		현물	919	1,399	1,414	1,414	746	5,893
		계	1,003	1,526	1,543	1,543	814	6,429
	소계		3,343	5,086	5,143	5,143	2,714	21,429

[표 141] 세부과제 비목별 예산

세부과제	예산 (백만원)		'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	계
미세먼지 집진설비 실증	직접비	재료비	1,369	2,083	2,106	2,106	1,112	8,775
		노무비	316	481	486	486	257	2,025
		경비	316	481	486	486	257	2,025
	간접비		105	160	162	162	86	675
	소계		2,106	3,204	3,240	3,240	1,710	13,500
고효율 탈황설계 기술개발	직접비	재료비	170	259	262	262	138	1,093
		노무비	284	432	437	437	231	1,821
		경비	85	130	131	131	69	546
	간접비		28	43	44	44	23	182
	소계		568	865	874	874	461	3,643
고효율 탈질설계 기술개발	직접비	재료비	120	183	185	185	98	771
		노무비	201	305	309	309	163	1,286
		경비	60	92	93	93	49	386
	간접비		20	31	31	31	16	129
	소계		401	610	617	617	326	2,571
CO_2 포집설비 설계 기술개발	직접비	재료비	–	–	–	–	–	–
		노무비	214	325	329	329	174	1,371
		경비	40	61	62	62	33	257
	간접비		13	20	21	21	11	86
	소계		267	407	411	411	217	1,714
총계	직접비	재료비	1,660	2,525	2,553	2,553	1,348	10,639
		노무비	1,015	1,544	1,561	1,561	824	6,504
		경비	501	763	771	771	407	3,214
	간접비		167	254	257	257	136	1,071
	소계		3,343	5,086	5,143	5,143	2,714	21,429

□ **세부과제 소요예산 산출내역**

○ 재료비

– 미세먼지 집진설비 실증

- 미세먼지 집진설비(EME) 시제품 제작 : 8,000백만원
- 테스트 시약 등 소모품 : 775백만원

– 고효율 탈황설계 기술개발

- 고효율 탈황설비 상용 노즐 제작 : 800백만원
- 테스트 시약 등 소모품 : 293백만원

– 고효율 탈질설계 기술개발

- LAB규모 고효율 탈질 테스트 설비 구축 : 600백만원
- 테스트 시약 등 소모품 : 171백만원

❍ 노무비

– 미세먼지 집진설비 실증

투입인력(인)	‘23년	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년	계
책임급*	4.4	6.7	6.8	6.8	3.6	28.1

* 노무비 72백만원 기준

– 고효율 탈황설계 기술개발

투입인력(인)	‘23년	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년	계
책임급*	3.9	6.0	6.1	6.1	3.2	25.3

* 노무비 72백만원 기준

– 고효율 탈질설계 기술개발

투입인력(인)	‘23년	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년	계
책임급*	2.8	4.2	4.3	4.3	2.3	17.9

* 노무비 72백만원 기준

– 이산화탄소 포집설비 설계 기술개발

투입인력(인)	‘23년	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년	계
책임급*	3.0	4.5	4.6	4.6	2.4	19.0

* 노무비 72백만원 기준

❍ 경비

– 미세먼지 집진설비 실증

- 미세먼지 집진설비(EME) 시제품 건설 외주용역 : 1,900백만원
- 기타 회의비, 출장비 등 : 125백만원

– 고효율 탈황설계 기술개발

- 탈활 노즐 수치해석 외주용역 : 400백만원
- 기타 회의비, 출장비 등 : 146백만원

- 고효율 탈질설계 기술개발
  - SCR AIG 수치해석 외주용역 : 350백만원
  - 기타 회의비, 출장비 등 : 36백만원

- 이산화탄소 포집설비 설계 기술개발
  - 포집 원천기술 개념설계 라이선스 : 200백만원
  - 기타 회의비, 출장비 등 : 57백만원

6. 실증계획 수립

가. 테스트베드 실증 추진전략

- 미세먼지 집진설비(EME) 실증 및 핵심기기 설계기술 개발을 통한 국내 독자기술 확보
- 핵심기기 및 구성품의 제작 및 설치를 통한 테스트베드 안전 건설 경험 확보
- 전주기 공정 및 핵심기기 설계와 테스트베드 건설 및 운영(시운전, 긴급비상운전, O&M) 데이터베이스 확보
- 대·중·소기업의 참여 및 산학연 협력을 통한 테스트베드 실증으로 국내산업 및 기술 생태계 구축
- 미세먼지 집진설비(EME) 실증이력(TRACK RECORD)을 확보하여 국내 독자기술 기반의 환경설비 시장진입 교두보 확보

나. 테스트베드 제원 및 특성

□ **실증 플랜트 제원**

- 정격출력(NORMAL RATING, NR) : 500MW
- 배기가스 조건(NR, 공기예열기 출구 기준) : 2,000,000Kg/h(WET)
- 배기가스 온도(NR, 공기예열기 출구 기준) : 131℃
- 황산화물 배출 설계 기준 :15ppm 이하
- 질소산화물 배출 설계 기준 : 10ppm 이하
- 먼지 배출 설계 기준 : 20mg/Nm^3 이하
- 이산화탄소 배출 설계 기준 : 900g/kWh

다. 테스트베드 실증내용

□ **미세먼지 집진설비(EME) 실증**

- 500MW급 SCALE-UP 기본설계 및 상세설계 기술
- RETROFIT FGD 연계 EME 상세설계 기술
- EME 시스템 엔지니어링 및 설치 기술
- 시운전을 통한 O&M 운전 절차
- 성능 검증 및 장기운전을 통한 개선방안

□ **고효율 탈황설비 설계기술 개발**

- 저압 SPRAY 노즐 개선

- NL-GGH 설계 개선 및 운전데이터 절차
- 고효율 FGD 시스템 개선 기본 및 상세설계 기술

□ **고효율 탈질설비 설계기술 개발**

- 성능개선을 위한 탈질시스템 엔지니어링 기술
- 유동 개선을 위한 CFD 해석
- 암모니아 주입 그리드(AIG), GAS FLOW 등 개선안

□ **연소 후 이산화탄소 포집설비 설계기술 개발**

- 공정사별 기술 검토 및 최적 기술
- DESIGN CRITERIA 및 PHILOSOPHY 확보
- PCC 성능 및 PROCESS DATA 확보
- 공종 별 DESIGN DATA 및 SPECIFICATION 확보
- 제어 및 안전 설계 PHILOSOPHY 확보

라. 테스트베드 실증목표 및 평가방법

□ **테스트베드 실증목표**

- 500MW급 미세먼지 집진설비 공정 설계 및 운전 기술 실증
- 핵심모듈 설계·제작기술 실증

□ **평가항목 및 평가방법**

- 테스트베드 실증목표 및 평가방법

[표 142] 초청정 환경설비 테스트베드 실증 및 평가방법

실증목표	평가항목	점검기준	점검방법
초청정 환경설비 실증	총먼지	2mg/Nm^3 이하	설비 후단에 설치된 테스트 포터에서 대기오염공정시험 기준에 준하여 측정 및 분석함
	황산화물	10ppm 이하	설비 후단에 설치된 테스트 포터에서 대기오염공정시험 기준에 준하여 측정 및 분석함
	질소산화물	9ppm 이하	설비 후단에 설치된 테스트 포터에서 대기오염공정시험 기준에 준하여 측정 및 분석함
	이산화탄소	100g/kWh 이하	설비 후단 이산화탄소 농도와 정격용량 기준 계산

마. 테스트베드 실증부지

□ 실증부지 필수 요건

- 부지 제공 기관의 개발계획이 테스트베드 구축 및 운영일정과 부합하여 테스트베드 실증 성과물을 성공적으로 실험·검증할 수 있는 환경 제공이 가능할 것
- 환경설비를 충분히 수용할 수 있는 면적 부지를 테스트베드 실증지역으로 제공 가능할 것
- 테스트베드 구축과 관련한 민원 수용성 확보를 위한 주민 동의 계획 및 민원 발생 방지 및 처리 계획이 명확할 것

□ 실증부지 부가 요건

- 기술개발 결과 실증에 필요한 전력, 공업용수, 도시시설물(상수·하수·오수, 도로 등) 등의 인프라가 구축되어 있고 이를 제공 가능할 것
- 테스트베드를 효율적으로 건설하고 실증시험 수행이 원활하도록 행정적 지원(인허가, 민원처리 등)이 가능할 것
- 테스트베드 실증 목적에 부합하도록 청정 공기 활용을 위한 연계가 용이한 시설물이 인접해 있을 것

□ 실증후보지 정보

- 국내 발전사가 운용 중인 500MW급 발전소는 실증 후보지에 적합함



[그림 258] 초청정 환경설비 실증후보지 1(당진화력발전소)



[그림 259] 초청정 환경설비 실증후보지 2(태안화력발전소)



[그림 260] 초청정 환경설비 실증후보지 3(하동화력발전소)



[그림 261] 초청정 환경설비 실증후보지 4(보령화력발전소)

바. 테스트베드 사후 활용방안

□ **발전사 중심의 운영**

- 테스트베드의 안정적 실증 운영 완료 후, 테스트베드 부지 소유 발전사 중심으로 운영하면서 친환경 발전소 운영 홍보로 테스트베드 운영 동기부여
- 테스트베드 부지 소유 발전사 및 인근 지역에 구축되어 있는 산업 인프라를 활용하여 운영함으로써 산업 생태계 활성화 기여

□ **산업용 환경설비 확대 적용**

- 대기오염배출물질 저감 범용 기술 실증을 통해 산업계 확대 적용함으로써 다양한 플랫폼에 적용을 통해 미세먼지 대응을 위한 혁신기술 확보
- 국내 실증 이후에 해외수출 제품으로 사업화 가능

□ **국내 대기환경질 개선·국민 건강 증진에 기여**

- 최근 이슈화된 질소·황산화물 이외 일산화탄소 배출량 저감을 통한 국내 대기질 개선에 기여
- 국내외 국민건강 증진 및 대기환경개선을 통한 지속가능한 발전설비 확보·홍보에 기여

4장. 부록

1. 과제 제안요구서

가. 고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술 개발

과제명	고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술 개발
1. 연구개발 목표	• 탄소저감형 고효율 순환유동층 설계·건설·운영기술 실증을 통한 Track Record 확보로 차세대 新기저발전 해외시장 개척 – 300MW급 바이오매스 혼합 연소 고효율 순환유동층 보일러 개념·기본·상세설계 – 고효율 순환유동층 실증 플랜트 건설 및 보일러 신뢰성 검증 – 고효율 순환유동층 운영 S/W 개발 및 신뢰성 검증
2. 연구개발 필요성	• 탄소저감형 고효율 순환유동층 Track Record 확보를 통한 친환경 新기저발전 시장 대응 필요 – 전 세계적인 기후변화에 대한 환경 문제 인식 변화 및 관련 규제 강화에 따라 기본 석탄화력발전 대비 고효율발전이 가능한 新기저발전 기술 시장 수요가 증가하고 있음 – 新기저발전 해외시장 진출을 위해 한전–제작사–발전사는 세계 최고 수준의 고효율 순환유동층 국산화 설계기술 반영 및 국가 차원 실증을 통한 검증 필요 – 고효율 순환유동층 보일러에 바이오매스 20% 이상 혼합 연소, 초청정 환경설비, CCUS Ready 등 핵심 기술을 접목하여, 미래형 新기저발전 기술 선점 필요 – 고효율(초초임계압, 100–400g/kWh) 석탄화력발전 시 저효율(아임계압, 900–1100g/kWh) 석탄화력발전 대비 약 25% 이산화탄소 저감 가능 • 고효율 순환유동층 시장의 선진사 기술 독점 견제를 위한 기술 국산화 필요 – 아시아 개도국 중심 고효율 순환유동층 발전시장의 급격한 성장에 대응하기 위한 국외 선진사 시장 독점 필요 – 고효율 순환유동층 조기 국산화를 통한 한전–제작사–발전사 설계·건설·운영 기술조합 시너지로 해외시장 진출 가속화 가능 • 국내 폐지·개조 석탄화력발전 대상 고효율·초청정발전 대안 필요 – 국내 폐지·개조 석탄화력발전소 기존 인프라 활용을 극대화하고 인구 유출, 고용 불안정 등 야기될 수 있는 사회적 문제를 최소화하기 위해서는 기존 노후 발전소 대비 미세먼지 및 CO_2 배출이 적고 경제적 전력생산이 가능한 고효율·초청정 기술로의 기술개발 적용 필요 – 폐지·개조 예정 석탄화력발전소의 고효율·초청정 석탄화력 기술의 연구개발

	실증 거점화를 통해 관련 기술의 해외시장진출 기반 마련, 지역 경제 활성화, 일자리 창출 등의 시너지 구현 가능 • 정부 중장기 정책 계획 연계 준수 – (2014, 산업부) 에너지기술 이노베이션 로드맵 및 제3차 에너지기술개발 계획 : 기후변화와 에너지 안보 대응형 고효율 청정발전기술로 수출산업화 기반확보를 위해 “대용량 초초임계 순환유동층” 기술 선정 – (2014, 산업부) 제2차 에너지기본계획 : 화석 연료 기반의 전통에너지 청정화를 위한 고효율·친환경 화력 발전기술 개발 및 국산화 기술개발 확대 필요 – (2014, 산업부) 산업기술진흥원 발전 부분 미래유망 품목으로 선정 – (2015, 관계부처 합동) 2030 에너지 신산업 확산 전략 : 新기후변화 대응을 위한 ‘저탄소발전’, ‘에너지 신산업의 수출 산업화 추진’ 등과 연관됨 – (2016, 정부) 제1차 기후변화대응 기본계획 및 2030 국가온실가스 감축 기본로드맵 : 발전부문 CO_2 감축량(6,450만톤) 달성을 위한 신재생발전 확대 필요 – (2020, 정부) 2050 탄소중립 및 신재생에너지 전환정책 : 신재생에너지 간헐성 대응이 가능한 미래형 기저발전 시스템 확보 필요 – (2021, 과학기술정보통신부) 탄소중립 기술혁신 추진전략 : 탄소중립 기여 10대 핵심기술로 바이오에너지가 제시되어, 이에 대한 국가적 지원이 필요 • 정부 전력공급정책과 발전시스템의 정합성 확보 – 정부의 전력공급정책을 확정하고 있는 전력수급기본계획은 발전설비의 고효율성과 친환경성을 고도화하는 방향으로 설정하고 있음 – 석탄화력발전 분야는 전체 발전량의 40%가량을 차지하고 있는 국가 기반산업으로서 매우 중요한 역할을 차지하고 있음 – 장기적 연료 수급 안정성을 확보할 수 있으며, 기존 발전기술보다 고효율 석탄발전 기술 구현에 대한 정부 정책 지원확대를 통해 경제적·친환경 전력생산이라는 국가 경쟁력 강화가 지속적 요구 • 新기저발전 국산화 개발의 정부 차원 Risk Share 필요 – 우리나라는 대부분 에너지를 해외 수입에 의존하고 있고 증가하고 있는 에너지 비용은 국가적인 문제로 대두되고 있으므로, 기존 석탄화력발전 대비 탄소 저감이 가능하고 기존 화력발전 국산화 기술·인프라 활용이 가능한 차세대 화력발전 도입 필요 – 新기저발전 연구·실증 비용 규모가 크며, 중장기 연구를 통한 높은 Risk Share가 요구되어 정부 차원 지원 필요 – 新기저발전 국산화 개발로 국가 온실가스·미세먼지 저감, Industry 4.0 육성 정책목표에 부합하여 국가 에너지 안보 차원에서 정부 지원 필요 • 국내 기업의 수출형 패키지 개발을 통한 해외시장 진출 증대 – 국내 탈석탄 정책으로 인한 해외 발전 플랜트 Financing 문제,

	신재생에너지 발전 플랜트 해외 수주 저조, 차세대 발전 기술력 열위 등으로 해외 플랜트 수출 급감 - 국내 기업 육성 및 일자리 창출 측면에서 비교적 Risk가 큰 플랜트 설계 및 제작, 건설 등의 국산화 부분은 정부의 지원을 통한 기술성 및 경제성 Risk Share 필요 - 국내 기업의 플랜트기술 실증을 통한 해외시장 진출 기반 구축은 해외 新시장 개척 및 해외수익 극대화, 국내 경제 활성화, 기초기반 기술의 건실화에 큰 일익을 담당할 것으로 판단됨 • 고효율 순환유동층 플랜트기술은 전·후방 경제적·산업적 파급효과가 큰 국가산업으로 조기 기술 육성이 필요 - (전방산업) 고효율·경제적 전력공급은 반도체, 자동차 등 국가 핵심산업 경쟁력 우위에 기여 - (후방산업) 국가 발전 부문(보일러-터빈-환경설비-보조기기) 소재·장비·부품 Value Chain 유지에 기여
3. 연구개발 동향	• 국외 동향 - 미국은 신재생에너지 간헐성(전력망 안정화 목적) 등 단점을 보완하고 비교적 가격이 안정적인 석탄을 활용하여 기존 석탄화력발전의 탄소중립을 실현할 수 있는 新기저발전 시스템 조기 상용화를 위해 COAL FIRST(Flexible, Innovative, Resilient, Small & Transformative) 과제(석탄화력발전 분야 80백만불 정부 지원)를 추진 중임 - 인도, 중국, 동남아시아 중심 개도국은 경제발전을 위한 안정적 저비용 에너지 공급이 필요하므로 자국 생산 석탄을 활용한 고효율·초청정 화력발전 수요 유지가 전망되며, 전 세계 석탄의 개도국 중심 편중된 소비가 전망됨 - '00년대 중반 이후, 스미토모 포스터휠러社, 중국 3社(동방, 하얼빈, 상하이 보일러) 주도로 고효율·초청정 발전이 가능한 중대형 순환유동층 보일러 공급이 증가하여, 기존 미분탄 보일러 대체 기술로 부상 중임 - 포스터휠러社 : EU산하 RFCS(Research Fund for Coal and Steel) 지원으로 800MW 초초임계압 순환유동층 '08년 타당성평가 완료, '00년 개발 착수하여 '08년 이후 Novocherkasskaya(러시아, 330MW), Lagisza(폴란드, 460MW) 등 초임계압 순환유동층 용량 격상 실증 완료, , '15년 Samcheok(한국, 550MW) 상업 운전 중 - 중국 3社: '06년 이후 600MW급 초초임계압 순환유동층 타당성 평가 시작, Sichuan Baima(동방보일러, 600MW) 시운전 중, '12년 Shanxi Guojin(동방보일러, 2x350MW) 건설, 800MW급 초초임계압 순환유동층 기술개발 중 - 알스톰社 : '04년 EDF(Electricite De France)와 600MW 초초임계압 순환유동층 개념설계 완료 CFB(275bar/600℃) 개념설계 완료 - 중국, 인도, 베트남, 인도네시아, 방글라데쉬, 터키, 필리핀 석탄화력발전

	플랜트 건설 계획은 100GW 규모를 초과 – 스미토모 포스터휠러社, 알스톰社, 동방보일러社 등 선진보일러 메이커는 고효율 석탄화력발전 시장 대응을 위한 고효율 순환유동층 플랜트 실증을 완료함 • 국내 동향 – 국내 유동층 관련 연구는 1990년대 기포·순환유동층 열분해·연소, 열전달 기초연구 및 순환·가압유동층 연소·가스화 및 요소기술 개발, '00년대 아임계압 상용 순환유동층 연소·설계·운영기술, 유동층 소각 기술 및 가압유동층 핵심 기술개발 중심으로 이루어졌으며, 최근 순환유동층 보일러의 요소기술, 운영기술, 바이오매스 등 연료 다변화 국산화·상용화 관련 기술개발이 진행되고 있음 – 이와 같은 순환유동층 기술개발 연구에도 동해화력, 여수화력, 삼척그린파워 등 국내 발전용 순환유동층 보일러는 국외 기술로 설계되어, 국내기술로 설계되고 공급된 사례는 없는 실정임 – 국내 순환유동층 보일러 제작사인 두산중공업 및 현대중공업은 원천기술社 기술 제휴·흡수를 통해 사업화하고 있음 – 현대중공업은 150MW급 이하 중소형 순환유동층 보일러 주요 요소기술에 대해 기술 자립을 이룬 것으로 평가되며, 두산중공업은 '12년 Lentjes(구 Lugri)를 인수하여 순환유동층 원천기술社 기술 제휴를 통해 동해화력, 여수화력 등 국내 순환유동층 보일러 설계·시공 경험이 있으며, 순환유동층 보일러 설계 능력을 보유하고 있음 – 최근 대용량·고효율 순환유동층 보일러 국산화 모델 확보 및 수출형 패키지 도출을 통한 국내외 사업 진출을 위해 한전–두산중공업–발전사(남동, 남부, 동서)가 참여하는 민간 협동과제를 추진하여 초초임계압 순환유동층 설계 능력을 확보함 – 탈석탄 정부 정책으로 실증 기회 미확보로 기술 수출이 어려운 실정이며, 산자부는 '16년 기후변화 및 미세먼지 대응을 위한 노후 발전소 10기 폐지, 신규 석탄발전 진입 제한 등의 석탄발전 비중 축소 계획을 발표하여, 전반적인 국내 석탄화력발전 시장 및 관련 산업 위축을 야기 – '21년 폐지 계획인 호남화력발전소의 경우, 대용량·고효율·저공해 순환유동층 실증 의지가 정부 정책으로 무산됨 – 한전–두산중공업이 남아공에 추진 중인 Thabametsi 350MW 초초임계압 순환유동층 사업의 경우 환경단체 반발 및 Financing 이슈로 프로젝트 사업화가 힘든 실정임
4. 연구개발 목표	• 300MW급 바이오매스 혼합 연소 고효율 순환유동층 보일러 개념·기본·상세설계 • 고효율 순환유동층 실증 플랜트 건설 및 보일러 신뢰성 검증 • 고효율 순환유동층 운영 S/W 개발 및 신뢰성 검증

성능지표	단위	성능 수준		기술개발 목표
		세계 최고 수준	개발 전 국내수준	
보일러 정격 출력	MW	500	150	300
보일러 증기 성능	℃/bar	600/250	545/175	600/250
플랜트 효율	%	43	38	> 43
플랜트 가동률	%	70	-	> 90
바이오매스 혼소율	%	10	10	> 20
대기오염물질 (SOx / NOx / 먼지)	ppm/ppm/ mg/m^3	15/10/3	15/10/3	10/9/2
CO_2 배출량	g/kWh	< 700	900	< 700
보일러 운영 S/W	-	상용화	-	상용화

5. 연구개발 내용

- 고효율 순환유동층 보일러 설계
  - 고효율 순환유동층 개념설계
    - → 연료 등 Boundary Condition 정의 및 터빈 사양, 연소로 등 설계 개념 확정
    - → 바이오매스 20% 이상 혼합연소 설계 반영
    - → 보일러 설계조건 확정
    - → 보일러 구조·재질 확정
    - → 보일러 Heat Balance 검토
  - 고효율 순환유동층 보일러 단위 구성기기 설계
    - → 연소로 모듈화·대용량화 Concept 결정
    - → 주요기기(연소로, 사이클론, 재 순환부) 설계 Concept 결정
    - → 보조기기(백패스, 공기·배기가스 공급설비, 환경설비 등) 설계 Concept 결정
    - → 공기·입자계통 및 물·증기계통 설계 Concept 결정
  - 고효율 순환유동층 보일러 기본·상세설계
    - → Process Engineering
    - → Mechanical Engineering
    - → Arrangement Planning & Steel Structure Engineering
    - → Control Logic Engineering
    - → 운전·유지보수 매뉴얼
    - → 외부열교환기 소재 적용성 검토
    - → 보일러 동특성 해석
  - 고효율 순환유동층 보일러 단위 구성기기 설계 검증·최적화
    - → 3D 모델링 수치해석 활용 연소로·사이클론·외부열교환기 설계 검증
    - → 용량 격하 시험장치 활용 설계 검증·최적화

	• 고효율 순환유동층 플랜트 건설·시운전 – 고효율 순환유동층 플랜트 건설·시운전 → 고효율 순환유동층 보일러 건설·시운전 매뉴얼 개발 → 플랜트 시운전 계획수립 및 보일러 성능 테스트 – 미세먼지 등 대기오염물질 저감 통합 환경설비 및 솔루션 설치 → AQCS(Air Quality Control System) 진단시스템 구축 → Leakage GGH, EME(Electrosatic Mist Eleminator) 및 고효율 De-NOx 시스템 설치 → 이산화탄소 포집·저장·활용 부지계획 및 설비 구성 반영 • 고효율 순환유동층 운영기술 개발 – 보일러 운전 장애 방지 및 환경 문제 대응 기술개발 → 연료별 보일러 성능예측 및 효율 향상 기술개발 → 환경오염물질 계측 스마트 센서 적용 및 환경 부하 최소화 기술개발 → Low Inventory 운전기법 개발 및 최적 튜브 코팅기법 선정 – 최적 운영기술 개발 및 패키지화 → 디지털 솔루션 개발·적용을 통한 최적 운영기술 구현 → 빅데이터 기반 고효율 순환유동층 보일러 모니터링 시스템 구축 – Virtual Simulator 국산화 S/W 개발 – 동특성 모델 국산화 S/W 개발 – 연소로 해석기술 국산화 S/W 개발 – 보일러 설계 국산화 S/W 개발 – 고효율 순환유동층 플랜트 기술성·경제성 평가방법 표준화
6. 연구개발 추진방법	• '18년 종료된 한전-두산중공업-발전사 참여 민간 협동과제(대용량 초초임계 순환유동층 기술개발) 결과 활용 • 국내·외 순환유동층 보일러 연구 산·학·연 기관과 기술교류 및 자문 활용 – 산업체 : 두산중공업, 현대중공업 등 – 대학교 : KAIST, 연세대, 부산대, 전북대, 한국교통대 등 – 연구소 : 전력연구원, 에너지기술연구원, 생산기술연구원, 기계연구원 등 – 국외 : 칭화대학(중국) 등 • 국내 순환유동층 보유 발전사와 해외 실증사이트 발굴 및 사업협력 – 남동발전, 남부발전, 동서발전 • 대정부 대상 고효율 순환유동층 실증 필요성 설득
7. 최종성과물	• 고효율 순환유동층 보일러 설계

	– 개념설계 Data Sheet – 단위구성 기기 Specification, Drawing – PFD : Process Flow Diagram – P&ID : Piping & Instrumentation Diagram – BOM : Bill of Material – Control Logic, Functional Description – Boiler·Plant 3D Model – 운전·유지보수 매뉴얼 – 동특성 분석 보고서 – 시험장치 테스트 보고서 • 고효율 순환유동층 플랜트 건설·시운전 – 고효율 순환유동층 보일러 건설·시운전 매뉴얼 – 플랜트 시운전 계획서 – 보일러 성능 테스트 보고서 – AQCS 설계·시공 도면 – 이산화탄소 포집·저장·활용 부지계획 및 설비 구성 계획서 • 고효율 순환유동층 운영기술 개발 – 보일러 운전 장애 방지 및 환경 문제 대응기술 보고서 – Virtual Simulator 국산화 S/W – 동특성 모델 국산화 S/W – 연소로 해석기술 국산화 S/W – 보일러 설계 국산화 S/W – 운영 S/W 신뢰성 테스트 보고서 – 고효율 순환유동층 플랜트 기술성·경제성 평가 Excel Sheet

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
SCI(E) (건)		1	1	1	2	5
특허출원 (건)		1	1	2	2	6
특허등록 (건)			1	1	2	4
기술료 (억원)					3	3
시제품 (건)				1	3	4

8. 연구기간 및 지원예산	• 총 연구기간 : 2023년 4월 – 2027년 12월 • 연구비 예산 : 414.3억 원(정부출연금 : 290.0억 원 이내)

9. 기타	• 본 과제 보안등급은 「일반과제」 임 • 연구개발 계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참조하여 작성하되, 과제목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유과 근거를 명확히 제시하여야 함 • 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발 계획서를 작성하여야 함 ※www.kaia.re.kr 열린정보, http://mdgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조 – 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발 결과물과의 구체적인 연계통합 및 활용방안을 연구계획에 포함 – 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함되어도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함 ※연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구 개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음 • 연구개발 계획서에 세부과제별 연구내용 및 성과의 연계·활용을 위한 전략 제시 – 기획보고서에서 제시된 기술개발로드맵을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시 – 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시 • 제안서 작성 시 연구비가 공유되는 국제공동연구가 있다면 구체적인 국제공동연구 방안을 제시하여야 함 • 연구신청자는 본 연구개발 사업이 종료된 후에도 사업의 최종 성과물인 '고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술' 개발의 유지·운영방안 및 구체적 활용방안을 제시하여야 함 • 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표, 달성목표, 가중치) 및 사업수행 계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발 계획서에 제시하여야 함 – 제시된 성과지표는 사전검토 및 선정평가를 통해 조정(추가)될 수 있음 – 연구신청자는 1단계 3년 시점에서의 일부 세부과제의 목표 미달성 등의 불확실성을 고려한 전체 사업목표 달성방안을 제시하여야 함

나. 한국형 하이브리드발전 플랜트 상용화 기술개발

과제명	고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술 개발
1. 연구개발 목표	• 천연가스 연소 가스터빈과 초초임계압 보일러를 결합한 한국형 하이브리드발전 시스템 설계기술 확보 – 한국형 하이브리드발전 개념설계 기술개발 – 한국형 하이브리드발전 주요기기 기술개발 – 한국형 하이브리드발전 플랜트 건설 및 운영기술 개발
2. 연구개발 필요성	• 탄소중립형 하이브리드발전 Track Record 확보를 통한 친환경 新기저발전 시장 대응 필요 – 전 세계적인 기후변화에 대한 환경 문제 인식 변화 및 관련 규제 강화에 따라 기본 석탄화력발전 대비 고효율발전이 가능한 新기저발전 기술 시장 수요가 증가하고 있음 – 산업발달에 의한 지구온난화가 가속화되어 탄소중립을 위한 신재생에너지 사용 확대 및 친환경성에 부응하는 차세대 친환경·고효율 화력발전 플랜트 기술개발 필요 – 친환경·고효율 화력발전 플랜트로 전환을 통해 신재생에너지 단점(과잉 전력생산, 높은 출력변동 등) 극복, 이산화탄소 발생량 저감(초초임계압 기술적용을 통한 플랜트 효율증가, 이산화탄소 포집 설비 구축 등) 및 기존 화력발전 플랜트 장점(낮은 연료비, 기존 인프라 활용, 높은 기술성숙도, 에너지 안보 확보 등) 활용 필요 – 국내 폐지·개조 석탄화력발전 대상 고효율·초청정발전 대안 필요 : 폐지·개조 예정 석탄화력발전소의 고효율·초청정 석탄화력 기술의 연구개발 실증 거점화를 통해 관련 기술의 해외시장진출 기반 마련, 지역 경제 활성화, 일자리 창출 등의 시너지 구현 가능 • 하이브리드발전 적용으로 신재생에너지 확대에 따른 전력 수급상 문제 대응 필요 – 미국 캘리포니아주 정전사태의 원인은 신재생에너지 간헐성(전력생산이 기상 및 외부요인에 좌우되는 특성) 등 단점을 극복할 충분한 예비 전력시스템 부재로 대규모 정전사태 방지를 위한 조치 – 미국 캘리포니아주 '19년 산불로 대규모 정전사태 및 '18년 라스베가스 IT 전시행사 CES 정전사태 경험 • 차세대 화력발전 플랜트는 신재생에너지 비율 확대에 따른 안정적 전력 수급 문제를 해소하고 기저부하를 담당하는 석탄-가스발전 Net-Zero에 부합 – '2050 탄소중립' 및 '제9차 전력수급기본계획' 정책에 정의된 ① 신재생·천연가스 발전 확대, ② 화력발전 CCUS 기술지원 내용 부합 – 신재생에너지 간헐성 등 단점 해소로 신재생에너지 확대정책에 부합

	– 천연가스 100% 연소 가능하여 천연가스 확대정책에 부합 – 연소 후 포집 설비 설치로 배기가스 이산화탄소 90% 이상 저감 가능하여 Net-Zero 정책에 부합 – 신재생에너지 단점 보완을 통한 안정적 확대로 간접적 이산화탄소 발생량 감축이 가능하여 기존 석탄화력발전소 대비 최대 95% 이산화탄소 저감 가능 • 정부 중장기 정책 계획 연계 준수 – (2014, 산업부) 제2차 에너지기본계획 : 화석 연료 기반의 전통에너지 청정화를 위한 고효율·친환경 화력 발전기술 개발 및 국산화 기술개발 확대 필요 – (2015, 관계부처 합동) 2030 에너지 신산업 확산 전략 : 新기후변화 대응을 위한 '저탄소발전', '에너지 신산업의 수출 산업화 추진' 등과 연관됨 – (2016, 정부) 제1차 기후변화대응 기본계획 및 2030 국가온실가스 감축 기본로드맵 : 발전부문 CO_2 감축량(6,450만톤) 달성을 위한 신재생발전 확대 필요 – (2020, 정부) 2050 탄소중립 및 신재생에너지 전환정책 : 신재생에너지 간헐성 대응이 가능한 미래형 기저발전 시스템 확보 필요 – (2021, 과학기술정보통신부) 탄소중립 기술혁신 추진전략 : 탄소중립 기여 10대 핵심기술로 바이오에너지가 제시되어, 이에 대한 국가적 지원이 필요 • 정부 전력공급정책과 발전시스템의 정합성 확보 – 정부의 전력공급정책을 확정하고 있는 전력수급기본계획은 발전설비의 고효율성과 친환경성을 고도화하는 방향으로 설정하고 있음 – 석탄화력발전 분야는 전체 발전량의 40%가량을 차지하고 있는 국가 기반산업으로서 매우 중요한 역할을 차지하고 있음 – 장기적 연료 수급 안정성을 확보할 수 있으며, 기존 발전기술보다 고효율 석탄발전 기술 구현에 대한 정부 정책 지원확대를 통해 경제적·친환경 전력생산이라는 국가 경쟁력 강화가 지속적 요구 • 新기저발전 국산화 개발의 정부 차원 Risk Share 필요 – 우리나라는 대부분 에너지를 해외 수입에 의존하고 있고 증가하고 있는 에너지 비용은 국가적인 문제로 대두되고 있으므로, 기존 석탄화력발전 대비 탄소 저감이 가능하고 기존 화력발전 국산화 기술·인프라 활용이 가능한 차세대 화력발전 도입 필요 – 新기저발전 연구·실증 비용 규모가 크며, 중장기 연구를 통한 높은 Risk Share가 요구되어 정부 차원 지원 필요 – 新기저발전 국산화 개발로 국가 온실가스·미세먼지 저감, Industry 4.0 육성 정책목표에 부합하여 국가 에너지 안보 차원에서 정부 지원 필요 • 국내 기업의 수출형 패키지 개발을 통한 해외시장 진출 증대 – 국내 탈석탄 정책으로 인한 해외 발전 플랜트 Financing 문제, 신재생에너지 발전 플랜트 해외 수주 저조, 차세대 발전 기술력 열위

	등으로 해외 플랜트 수출 급감 – 국내 기업 육성 및 일자리 창출 측면에서 비교적 Risk가 큰 플랜트 설계 및 제작, 건설 등의 국산화 부분은 정부의 지원을 통한 기술성 및 경제성 Risk Share 필요 – 국내 기업의 플랜트기술 실증을 통한 해외시장 진출 기반 구축은 해외 新시장 개척 및 해외수익 극대화, 국내 경제 활성화, 기초기반 기술의 건실화에 큰 일익을 담당할 것으로 판단됨 • 하이브리드발전 기술은 전·후방 경제적·산업적 파급효과가 큰 국가산업으로 조기 기술 육성이 필요 – (전방산업) 고효율·경제적 전력공급은 반도체, 자동차 등 국가 핵심산업 경쟁력 우위에 기여 – (후방산업) 국가 발전 부문(보일러-터빈-환경설비-보조기기) 소재·장비·부품 Value Chain 유지에 기여
3. 연구개발 동향	• 국내·외 동향 – 미국은 신재생에너지 간헐성(전력망 안정화 목적) 등 단점을 보완하고 비교적 가격이 안정적인 석탄을 활용하여 기존 석탄화력발전의 탄소중립을 실현할 수 있는 新기저발전 시스템 조기 상용화를 위해 Coal FIRST(Flexible, Innovative, Resilient, Small & Transformative) 과제(석탄화력발전 분야 80백만불 정부지원)를 추진 중임 – 미국 내 기존 석탄화력발전소(252GW 규모)가 Coal FIRST 과제 적용대상 – Coal FIRST 과제 필요성은 (1) 석탄화력발전소 노후화에 따른 미래형 화력발전 플랜트로의 전환 필요, (2) 신재생에너지 발전설비 확대에 따른 발전 간헐성 이슈 대응 필요, (3) 미국 내 노후 석탄화력발전소 폐지 후 녹지화 시 매몰 비용 과다 소요, (4) 셰일가스 대비 석탄 가격 안정성에 기반한 에너지 안보 유지 등임 – FIRST의 의미는 (1) Flexible : 최저부하·급속변동 운전 및 천연가스 혼합연소로 운전·운전 유연성 확보, (2) Innovative : 40% 이상 효율 발전 및 이산화탄소 포집·활용으로 고효율·친환경 발전 가능, (3) Resilient : 신재생에너지 간헐성 등 단점 보완으로 전력망 안정화, (4) Small : 50-350MW 규모 건설비·납기 단축이 가능한 소규모 발전, (5) Transformative : 설계·제작 혁신을 통한 모듈형 표준화 발전소 확보를 각각 의미함 – 미국 에너지부는 Coal FIRST 과제로 발굴된 미래 발전시스템을 탄소중립 실현을 위한 방안으로 활용하고, 실증 플랜트 건설을 위한 FEED 대상 기술을 선정하여 발표 – 두산중공업은 석탄화력발전 분야 실증대상 과제에 선정되어 DOE 과제를 수행 중임
4. 연구개발 목표	

	• 한국형 하이브리드발전 개념설계 기술개발 • 한국형 하이브리드발전 주요기기 기술개발 • 한국형 하이브리드발전 플랜트 건설 및 운영기술 개발

성능지표	단위	성능 수준		기술개발 목표
		세계 최고 수준	개발 전 국내수준	
플랜트 정격 출력	MW	-	-	350
플랜트 효율	%	38	38	45
플랜트 최저부하	%	20	30	20
플랜트 부하변동율	%/min	3	3	> 4
이산화탄소 배출량	g/kWh	900	935	59-589
대기오염물질	ppm/ppm/ mg/m^3	15/10/3	50/50/12	10/5/2
플랜트 가동률	%	-	-	90

5. 연구개발 내용

• 한국형 하이브리드발전 개념설계 기술개발
- 한국형 하이브리드발전 모델개발
  → 한국형 하이브리드 발전소 최적 구성, 용량 검토 기술
  → 한국형 하이브리드 성능 설계 및 최적화 기술
  → 500MW 급 석탄발전소 대상 최적 가스터빈 모델 검토 기술
  → 가스터빈 배기가스 에너지 활용 공정 기술
  → 가스터빈 배기가스를 통한 환경오염 물질 배출 최소화 기술
  → 한국형 하이브리드 발전소 모듈화 설계기술
  → 한국형 하이브리드 발전소 운전 및 성능평가 기술
- 한국형 하이브리드발전 시스템 엔지니어링
  → 한국형 하이브리드발전 시스템 엔지니어링 기술
  → 한국형 하이브리드 Water Balance 검토
  → 한국형 하이브리드발전 BOP 최적화 기술
  → 한국형 하이브리드발전 시스템 제어 및 실증 기술
  → 한국형 하이브리드발전 운전제어 절차서

• 한국형 하이브리드발전 주요기기 기술개발
- 한국형 하이브리드발전 가스터빈-보일러 연계기술 개발
  → 가스터빈-보일러 Tie-in 기술개발(유동 안정성, 구조 안정성, 배치 등)
  → 가스터빈 배기가스 활용 석탄 버너 기술
  → 가스터빈 배기가스, 연소 공기 혼합기 최적화 기술
  → 가스터빈-보일러 연계 환경오염물질 배출량 예측 기술

	→ 가스터빈-보일러 연계 배기가스 폐열 활용 최적화 기술 – 한국형 하이브리드발전 가스터빈 기술개발 → 한국형 하이브리드발전 가스터빈 용량·효율 최적화 → 한국형 하이브리드발전 가스터빈 로터 진동·동특성 해석기술 → 한국형 하이브리드발전 가스터빈 수명 최적화 운전기술 – 한국형 하이브리드발전 보일러 기술개발 → 한국형 하이브리드발전 보일러 용량·효율 최적화 → 한국형 하이브리드발전 보일러 수명 증대 기술 → 한국형 하이브리드발전 보일러 운전 및 성능평가 기술 – 한국형 하이브리드발전 증기터빈 기술개발 → 한국형 하이브리드발전 증기터빈 용량·효율 최적화 → 한국형 하이브리드발전 증기터빈 로터 진동·동특성 해석기술 → 한국형 하이브리드발전 증기터빈 최적 활용방안 개발 – 한국형 하이브리드발전 BOP·환경설비 기술개발 → 한국형 하이브리드발전 BOP 최적 활용방안 검토 → 한국형 하이브리드발전 신규 설비용량, 설치, 운영방안 검토 → 한국형 하이브리드발전 환경설비 용량, 설치, 운영방안 검토 – 한국형 하이브리드발전 ESS 기술개발 → 한국형 하이브리드발전 ESS 최적 활용방안 검토 → 한국형 하이브리드발전 ESS 활용 급속 기동 기술개발 → 한국형 하이브리드발전 ESS 활용 부하 추종성 향상 기술개발 → 한국형 하이브리드발전 ESS 용량 및 모델 선정 • 한국형 하이브리드발전 플랜트 건설 및 운영기술 개발 – 한국형 하이브리드발전 발전소 엔지니어링 및 운영기술 개발 → 한국형 하이브리드발전 플랜트 공정 효율 향상 기술개발 → 한국형 하이브리드발전 플랜트 주기기 배치 및 시공 기술개발 → 한국형 하이브리드발전 플랜트 정상운전 요구조건 개발 → 한국형 하이브리드발전 플랜트 비정상운전 요구조건 및 시나리오 개발 → 한국형 하이브리드발전 플랜트 운전모드 별 운전 절차 개발 → 한국형 하이브리드발전 플랜트 유지보수 방안 검토 → 한국형 하이브리드발전 플랜트 시운전 절차서 개발 → 시운전 : 단위기기 무부하·부하 운전, 단위 공정, 전주기 공정 – 한국형 하이브리드발전 플랜트 건설 기술개발 → 대상 플랜트 부지 지반 조사 및 부지 측량 → 대상 플랜트 토지, 건축, 전기, 소방 등 기본·상세설계 및 위험성 평가 수행 → 대상 플랜트 전기·건설 안전 신고 방안 검토 → 대상 플랜트 토목·건축·고압가스·소방 인허가 방안 검토 → 환경 영향 평가 진행 방안 검토

6. 연구개발 추진방법	• 현재 진행 중인 DOE Coal FIRST 과제와 연계하여 한국형 하이브리드발전 기술개발 추진 • 국내·외 보일러·터빈 연구 산·학·연 기관과 기술교류 및 자문 활용 – 산업체 : 두산중공업, 현대중공업 등 – 대학교 : KAIST, 연세대, 부산대, 전북대, 한국교통대 등 – 연구소 : 전력연구원, 에너지기술연구원, 생산기술연구원, 기계연구원 등 – 국외 : 일리노이대 등 • 국내 하이브리드발전 적용 의향 발전사와 해외 실증사이트 발굴 및 사업협력 – 남동발전, 남부발전, 동서발전, 서부발전, 중부발전 • 대정부 대상 한국형 하이브리드발전 실증 필요성 설득
7. 최종성과물	• 한국형 하이브리드발전 개념설계 기술개발 – 개념설계 Data Sheet – 단위구성 기기 Specification, Drawing – PFD : Process Flow Diagram – P&ID : Piping & Instrumentation Diagram – BOM : Bill of Material – Control Logic, Functional Description – 플랜트 운전· 매뉴얼 • 한국형 하이브리드발전 주요기기 기술개발 – 가스터빈-보일러 Tie-in 개념설계 보고서 – 보일러 버너 도면 – 가스터빈-보일러 연소 공정도 – 가스터빈·보일러·증기터빈 동특성 보고서 – 가스터빈·보일러·증기터빈 운전 매뉴얼 – BOP 개념설계 도서 – ESS 신뢰성 검토 보고서 • 한국형 하이브리드발전 플랜트 건설 및 운영기술 개발 – 플랜트 운전·유지보수 매뉴얼 – 플랜트 주기기 배치도 – 플랜트 시공 매뉴얼 – 플랜트 시운전 절차서 – 플랜트 사업타당성 조사서

<table>
<tr><td></td><td>– 플랜트 환경 영향 평가 보고서

<table><tr><th>구분</th><th>1차년도</th><th>2차년도</th><th>3차년도</th><th>4차년도</th><th>5차년도</th><th>계</th></tr><tr><td>SCI(E) (건)</td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>6</td></tr><tr><td>특허출원 (건)</td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>7</td></tr><tr><td>특허등록 (건)</td><td></td><td></td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>6</td></tr><tr><td>기술료 (억원)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td>시제품 (건)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>8. 연구기간 및 지원예산</td><td>• 총 연구기간 : 2023년 4월 – 2027년 12월
• 연구비 예산 : 200.0억 원(정부출연금 : 140.0억 원 이내)</td></tr>
<tr><td>9. 기타</td><td>• 본 과제 보안등급은 「일반과제」 임

• 연구개발 계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참조하여 작성하되, 과제목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유과 근거를 명확히 제시하여야 함

• 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발 계획서를 작성하여야 함
※www.kaia.re.kr 열린정보, http://mdgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조
– 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발 결과물과의 구체적인 연계통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
– 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함되어도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
※연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구 개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

• 연구개발 계획서에 세부과제별 연구내용 및 성과의 연계·활용을 위한 전략 제시
– 기획보고서에서 제시된 기술개발로드맵을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
– 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

• 제안서 작성 시 연구비가 공유되는 국제공동연구가 있다면 구체적인 국제공동연구</td></tr>
</table>

	방안을 제시하여야 함 • 연구신청자는 본 연구개발 사업이 종료된 후에도 사업의 최종 성과물인 '고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술' 개발의 유지·운영방안 및 구체적 활용방안을 제시하여야 함 • 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표, 달성목표, 가중치) 및 사업수행 계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발 계획서에 제시하여야 함 – 제시된 성과지표는 사전검토 및 선정평가를 통해 조정(추가)될 수 있음 – 연구신청자는 1단계 3년 시점에서의 일부 세부과제의 목표 미달성 등의 불확실성을 고려한 전체 사업목표 달성방안을 제시하여야 함

다. 초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증

과제명	고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술 개발
1. 연구개발 목표	• 해외시장 진출 Track Record 확보를 위한 미세먼지 집진설비(EME), 고효율 탈황·탈질 설비, 등 핵심환경 설비 국내 실증 – 미세먼지 집진설비(EME) 설계·건설·운영기술 실증을 통한 Track Record 확보 – 고효율 탈황설비(FGD, NL-GGH) 개념·기본·상세설계 기술개발 – 고효율 탈질설비(SCR) 개념·기본·상세설계 기술개발 – 연소 후 이산화탄소 포집 설비 개념·기본·상세설계 기술개발
2. 연구개발 필요성	• 지구온난화 가속화로 인한 기후위기 – 현재 추세로는 지구 온도 3℃이상 상승이 전망되며, 현재와 같은 온실가스 배출 상태가 지속되면 2100년에는 3.2℃ 상승할 것으로 전망됨 (UNEP. 2019) – 긴급한 기후위기 비상조치 필요성에 대한 인식 확산 • 2050 탄소중립이 글로벌 新패러다임으로 대두됨에 따른 국제적 가속화 – 최근 코로나19 사태는 기후변화 심각성을 인식하는 촉매 역할을 하며, 장기 저탄소 발전전략의 UN 제출시한('20.12) 도래 등에 따라 주요국의 탄소중립 선언이 가속화됨 – 121개 국가가 2050 탄소중립 목표 기후 동맹에 가입하며 탄소중립의 글로벌 의제화가 이루어진 비용은 국가적인 문제로 대두되고 있으므로, 기존 석탄화력발전 대비 탄소 저감이 가능하고 기존 화력발전 국산화 기술·인프라 활용이 가능한 차세대 화력발전 도입 필요 • 우리나라는 '제22차 비상경제 중앙대책본부회의'에서 '2050 탄소중립 추진전략'을 확정·발표함('20.12) – 국무회의에서 '2050 장기저탄소발전전략(LEDS)','2030 국가온실 가스 감축목표(NDC)'를 정부안으로 확정함(2020.12) • 국회에서 기후위기 대응과 그 목표를 '2050년 탄소 배출 중립'으로 분명히 제시한 만큼 보다 구체적이고 실질적인 로드맵과 정책수단이 필요함 – 화석연료 발전 중심의 전력공급 체계를 재생에너지와 그린수소 중심으로 전환하고 이산화탄소포집(CCUS) 기술 등을 적극 활용하여 탈탄소 미래기술 개발 및 상용화를 촉진해야함 – CCUS 실증 및 저장기지 구축을 통해 CCUS 조기 상용화를 추진하고, 포집 탄소를 원료 또는 연료로 재합성하는 탄소순환사업 육성 • 과학기술정보통신부 '탄소중립 기술혁신 추진전략' 확정

	– 석탄발전, 제조업 비중이 높은 우리나라의 경우 '2050 탄소중립'실현은 도전적 과제로, 이를 실현하기 위해서는 기술혁신이 무엇보다 중요하고 시급함 • 아시아·태평양 지역 개도국의 급격한 경제 성장으로 인해 미세먼지, 질소산화물, 황산화물 등 대기오염물질 농도가 증가하고 있고, 세계적으로 대기오염에 대한 관심도가 높아지고 있음 – 미세먼지는 대기 중에 머물러 호흡기를 거쳐 폐, 기관지 등에 침투하거나 혈관을 따라 체내로 이동하여 건강에 나쁜 영향을 미칠 수 있음 • 정부의 미세먼지 종합대책(2017년 9월, 2019년 11월)에 의해, 단기 및 중장기 미세먼지 배출 제어를 위한 정책이 수립됨 – 향후 5년간 미세먼지 저감 및 관리 정책 방향과 추진과제를 제시하는 법정계획으로 인해 기존 정책 대비 강력한 국가·행정기관 구속력이 발생함 • '제9차 전력수급기본계획(2020-2034)'내 가스 및 신재생에너지 발전 비율 확대 실현으로 안정적 전력 공급망 확보 및 에너지 안보를 강화함 – 에너지 전환 정책 추진, 온실가스 추가 감축을 위한 전환부문 이행방안 마련, 저탄소 경제·사회로의 이행을 위한 신재생에너지 투자 가속화 방안 등을 포함
3. 연구개발 동향	• 국외 동향 – '16년 기준, 전 세계적으로 15개의 대규모 CCS 프로젝트가 운전 단계에 있으며 연간 이산화탄소 포집량은 28백만 톤 정도임 – '20년까지 11개의 추가 대규모 CCS 프로젝트가 계획 중에 있으며, 북미에 국한되어 주로 진행되었던 대규모 CCS 프로젝트가 유럽과 중국으로 확산 중임 – 일본 경제산업성 산하 지구환경산업기술연구기구(RITE)를 중심으로 1톤당 포집 비용 1,000엔을 목표로 고압 분리막 포집 기술을 개발 중이며 항구 인근 수소생산시설에서 배출된 이산화탄소를 포집하여 저장하는 기술 실증을 추진함 – 중국 페트로차이나(PetroChina)社는 페트로차이나 질린 유전 원유회수증진 프로젝트(PetroChina Jilin Oil Field EOR Project)에서 중국 북동지역 천연가스 가공처리공장에서 이산화탄소를 포집하여 질린 지역 유전에 연간 50만톤의 이산화탄소를 주입하는 연구를 수행 중임 – 미국 GE社, Babcock & Wilcox社 등 환경설비 분야의 선도 기업을 중심으로 대기오염방지 설비에 대한 기술개발이 활발함 – GE社는 탈황설비 분야에서 시장의 21%를 차지하며 시장을 독점하고 있으며, 질소산화물을 최대 95% 제거하는 설비 기술을 보유함 – Babcock & Wilcox社는 세계 최고 수준의 전기집진 기술을 보유하고 있으며

	Sub-micron 영역에서 높은 집진 효율을 보이는 하이브리드 습식 전기집진기를 개발함 - 일본 MHPS社는 'Advanced AQCS Technology for Further Emission Control' 플랫폼을 개발하여 보일러에서부터 굴뚝까지 배기가스를 탈질, 탈황, 집진 처리하는 고효율 친환경 환경설비를 30년 이상 공급하여 세계 시장을 선도함 - MHPS社는 자체 개발한 탈질설비(SCR), 탈황설비(FGD, GGH), 집진설비(Dry ESP, Wet ESP) 등 환경설비 관련 독자기술을 보유하고 있음 - MHPS社는 13개국에 탈질설비 1,027기를, 32개국에 집진설비 3,261기를, 24개국에 탈황설비 323기를 납품한 실적을 보유하고 있음 • 국내 동향 - CCUS 기술 선도국인 우리나라는 기후변화 대응 연구개발 계획 및 추진전략을 바탕으로 기초·원천 연구 및 다양한 실증 연구를 추진하고 있음 - 기술 수준은 세계 최고 기술국인 미국 대비 80.1% 수준으로 평가되고 있으며 일부 원천기술은 세계적인 우위를 차지하고 있음 - 현재 CCS와 관련하여 전 세계 많은 연구기관에서 연구를 진행하고 있으나, 경제성 확보 등을 위해 상용급 실증 가능한 기술은 제한적이나 많은 기술개발 특허들이 존재하고 있음 - 미래창조과학부 산하 '한국 이산화탄소 포집 및 처리 연구개발센터(KCRC : Korea Carbon Capture & Sequestration R&D Center)'가 2011년에 설립되어 'Korea CCS 2020 사업'을 수행 중임 - Korea CCS 2020 사업은 이산화탄소 포집, 저장, 전환의 3개 기술 분야별 목표를 수립하고 이를 실현하기 위해 산·학·연 42개 기관에서 연구원 600여 명이 참여하여 세부 기술개발을 추진함(2011년-2020년) - 에너지기술연구원, 전력연구원 등 국가출연연구원을 중심으로, 국책과제를 통해 10MW급 습식 포집 기술 실증을 완료하고 150MW급 기본설계를 수행 중임 - 미세먼지 규제 강화로 인한 화력발전소에서 발생하는 미세먼지를 제거하는 기술이 개발되고 있음 - 단순한 미세입자 제거 외 물리적, 화학적 특성에 따른 선택적 분리 및 입자의 특성 변환 등에 의한 응용기술을 개발 중임 - 두산중공업, 현대중공업, 삼성중공업, 포스코 ICT, KC 코트렐 등의 대기업이 화력발전소 등 대규모 대기오염물질 처리설비 구축에 주도적으로 참여하며 집진기 분야의 기술개발이 활발히 이루어지고 있음 - 포스코 ICT社는 마이크로 펄스 방식(MPS)의 전기집진기를 개발하여 석탄 화력발전소와 제철소에 70기 이상을 설치함 - 두산중공업社와 한국기계연구원은 정전식 미세먼지 집진기(EME, Electrostatic Mist Eliminator)를 개발하여 별도의 습식전기집진기 없이도 발전소에서 배출되는 미세먼지를 저감할 수 있게 됨 - 2019년 미세먼지 저감을 위한 EME 기술개발 완료 및 2021년 신기술인증을

	취득하였으며, 국내 하동발전소에서 10,000m3/h(2.5MW급) pilot 설비를 운영 완료함('20.02-'21.10) - 화력발전소 내 통풍계통에서 미세먼지를 집진하기 위해 해외 선진사의 습식 전기집진기를 적용하고 있으나, 기존 습식탈황 흡수탑 내 습분제거기(Mist Eliminator, ME)를 EME로 대체하여 습분제거기와 습식 전기집진기 기능을 수행함 - EME는 기존 ME에 Wet ESP를 결합시켜 ME가 제거할 수 없는 미세먼지 및 응축수를 코로나 방전을 통해 낮은 차압으로 저감하고, 추가로 SOx를 저감하는 '통합형 미세먼지 저감 설비'로, 습식 탈황 흡수탑 상단에 가스가 수직 방향으로 통과하도록 설치됨 - 국내 다수 연구기관 및 기업의 연구개발 참여로 SCR 촉매 제조 및 공정 기술이 확보되어 제조 및 공급 가능한 수준임 - 석탄화력발전의 경우 2010년 이후로 탈질촉매 및 공정 국산화가 진행되어 국내社가 공급을 하고 있으나, LNG 발전의 경우 고유속, 압력손실 제한 등의 조건에 대한 탈질촉매 효율 및 내구성에 대한 실적 부족으로 해외社 촉매를 선호하는 상황이며 최근 LNG발전소 탈질촉매 Replacement 시기에 국산 탈질촉매가 일부 도입되고 있음 - 두산중공업社는 LNG 복합발전 플랜트 연소특성 및 동특성 해석기술 및 탈질공정 설계기술들을 확보하고 있으며 다수의 공급실적이 있음 - 1990년대 시작된 대형 국책연구사업인 G7 기술개발과제의 연구개발로 한국형 습식 배연탈황기술(Korea Electric Power Absorption Reactor, KEPAR) 관련 국내기술을 확보함 - 국내 탈황기술은 국제 경쟁력을 갖춘 완숙기 수준이며 독자적인 개발 및 사업화가 가능함 - 국내 배연 탈황설비의 습식 석회석 공정은 선진사와 기술제휴에 의해 실증설비를 시공한 경험이 있어 국내기술 수준이 완성단계에 있음 - 두산중공업社는 2013년을 기준으로 집진 및 탈황기술 세계시장 점유율 4위를 기록하며 국제적인 경쟁력을 입증함 - 국내 화력발전소에 적용되고 있는 탈황설비는 모두 흡수제로서 석회석을 사용하고 부산물로 탈황석고를 생산하는 습식 석회석-석고 공정으로서 강제산화방식을 채택함 - 국내 화력발전소에 주로 설치된 가스재열기는 Leakage type GGH와 Non-leakage type GGH로 구분되며, Non-leakage type GGH는 연돌에서의 황산화물 및 먼지 배출허용기준이 매우 엄격한 지역에 주로 설치됨
4. 연구개발 목표	• 해외시장 진출 Track Record 확보를 위한 미세먼지 집진설비(EME), 고효율 탈황·탈질 설비, 등 핵심환경 설비 국내 실증 - 미세먼지 집진설비(EME) 설계·건설·운영기술 실증을 통한 Track Record 확보 - 고효율 탈황설비(FGD, NL-GGH) 개념·기본·상세설계 기술개발

<table>
<tr><td></td><td>
– 고효율 탈질설비(SCR) 개념·기본·상세설계 기술개발
– 연소 후 이산화탄소 포집 설비 개념·기본·상세설계 기술개발
<table>
<tr><th rowspan="2">성능지표</th><th rowspan="2">단위</th><th colspan="2">성능 수준</th><th rowspan="2">기술개발 목표</th></tr>
<tr><th>세계 최고 수준</th><th>개발 전 국내수준</th></tr>
<tr><td>총먼지 배출농도</td><td>mg/Nm^3</td><td>3</td><td>12</td><td>2</td></tr>
<tr><td>황산화물 배출농도</td><td>ppm</td><td>15</td><td>50</td><td>10</td></tr>
<tr><td>질소산화물 배출농도</td><td>ppm</td><td>10</td><td>50</td><td>9</td></tr>
<tr><td>이산화탄소 배출농도</td><td>g/kWh</td><td>–</td><td>900</td><td>100</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>5. 연구개발 내용</td><td>
• 미세먼지 집진설비 실증
– 500MW급 Scale-Up 기본설계 및 상세설계 기술개발
– Retrofit FGD 연계 EME 상세설계 기술개발
– EME 시스템 엔지니어링 및 설치 기술개발
– 시운전을 통한 운전 절차 수립
– 성능 검증 및 장기운전을 통한 개선방안 도출
– 성능 개선방안 검증
• 고효율 탈황설비 설계기술 개발
– 저압 Spray 노즐 개선 등 개선안 검토
– NL-GGH 설계 개선 및 운전데이터 확보를 위한 계측기 추가 검토
– FGD 시스템 개선 기본 및 상세설계 기술개발
• 고효율 탈질설비 설계기술 개발
– 성능개선을 위한 탈질시스템 엔지니어링 기술개발
– 유동 개선을 위한 CFD 해석
– 암모니아 주입 그리드(AIG), Gas flow 등 개선안 도출
• 연소 후 이산화탄소 포집설비 설계기술 개발
– 공정사별 기술 검토 및 최적 기술 선정
– Design Criteria 및 Philosophy 개발
– PCC 성능 및 Process Data 획득
– 공종 별 Design Data 및 Specification
</td></tr>
<tr><td>6. 연구개발 추진방법</td><td>
• 선행연구와의 연계개발
– 미세먼지저감 국책과제(표준·신표준 발전소 대상 미세먼지 저감 통합 환경설비 솔루션 개발, ‘16년–’19년)에서 개발된 시스템 및 운전제어 기술 활용
• 국내외 협력연구
– 국내외 환경설비 및 CCUS 관련 산학연 기관이 참여하는 공동연구를 통하여
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>개발기술의 완성도 제고 및 시너지 창출
- 수요기관 및 산학연 전문가 자문을 통하여 시장·기술 트렌드 반영</td></tr>
<tr><td>7. 최종성과물</td><td>• 미세먼지 집진설비를 포함한 초청정 환경설비 공정 및 핵심기자재 개발
- 100MW급 이상 미세먼지 집진설비 시제품
- 고효율 탈황·탈질 설비 설계기술
- 연소 후 이산화탄소 포집설비 개념 설계기술

<table><tr><th>구분</th><th>1차년도</th><th>2차년도</th><th>3차년도</th><th>4차년도</th><th>5차년도</th><th>계</th></tr><tr><td>SCI(E) (건)</td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td></td><td>3</td></tr><tr><td>특허출원 (건)</td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>6</td></tr><tr><td>특허등록 (건)</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>기술료 (억원)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td>시제품 (건)</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>2</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>8. 연구기간 및
지원예산</td><td>• 총 연구기간 : 2023년 4월 - 2027년 12월
• 연구비 예산 : 214.3억 원(정부출연금 : 150.0억 원 이내)</td></tr>
<tr><td>9. 기타</td><td>• 본 과제 보안등급은 「일반과제」 임

• 연구개발 계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참조하여 작성하되, 과제목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유과 근거를 명확히 제시하여야 함

• 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발 계획서를 작성하여야 함
※www.kaia.re.kr 열린정보, http://mdgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조
- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발 결과물과의 구체적인 연계통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함되어도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
※연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구 개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음</td></tr>
</table>

	• 연구개발 계획서에 세부과제별 연구내용 및 성과의 연계·활용을 위한 전략 제시 – 기획보고서에서 제시된 기술개발로드맵을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시 – 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시 • 제안서 작성 시 연구비가 공유되는 국제공동연구가 있다면 구체적인 국제공동연구 방안을 제시하여야 함 • 연구신청자는 본 연구개발 사업이 종료된 후에도 사업의 최종 성과물인 '고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술' 개발의 유지·운영방안 및 구체적 활용방안을 제시하여야 함 • 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표, 달성목표, 가중치) 및 사업수행 계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발 계획서에 제시하여야 함 – 제시된 성과지표는 사전검토 및 선정평가를 통해 조정(추가)될 수 있음 – 연구신청자는 1단계 3년 시점에서의 일부 세부과제의 목표 미달성 등의 불확실성을 고려한 전체 사업목표 달성방안을 제시하여야 함

2. 2022년도 국가개발사업 전략계획서

가. 고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술 개발

사업명 : 고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술 개발

작성자	작성 부서	기술안전 정책과 기술정책과	작성 실무자 및 연락처	기술정책과 최정규 주무관 / 044-201-4994 / choijk75@korea.kr
	작성 책임자	기술정책과장 방현하		국토교통과학기술진흥원 길아영 연구위원/ 031-389-6463 / aygil@kaia.re.kr

1. 사업개요

1 사업명

사업명	단위사업	플랜트연구
	세부사업	플랜트연구
	내역사업	고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술 개발

2 사업목적

사업목적	탄소저감형 고효율 순환유동층 설계·건설·운영기술 실증을 통한 Track Record 확보로 차세대 新기저발전 해외시장 개척

3 사업추진경위

추진 근거	법적 근거	• 국토교통과학기술 육성법 제8조 및 제9조 – 제8조: 연구개발사업의 추진 – 제9조: 융·복합 연구개발의 추진 • 건설기술진흥법 제7조 및 제9조 – 제7조: 건설기술 연구·개발사업 – 제9조: 공동 연구·개발 등 • 해외건설촉진법 제15조의4 – 제15조의4 : 해외건설 정책 및 연구개발 등 지원 • 기계설비법 제 8조 – 제8조 : 기계설비산업의 연구·개발 등 • 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정(국토교통부 훈령) • 「환경기술개발 및 지원에 관한 법률」 제5조 –「환경기술개발사업 운영규정」(환경부 훈령 1291호, '17.12) –「정부 조직법」 제39조 수자원의 보전·이용·개발기능 환경부 이관 –「물관리기본법」 제39조(조사연구와 기술개발에 관한 지원 등)
	상위 계획	• (2014, 산업부) 에너지기술 이노베이션 로드맵 및 제3차 에너지기술개발 계획 – 기후변화와 에너지 안보 대응형 고효율 청정발전기술로 수출산업화 기반확보를 위해 “대용량 초초임계 순환유동층” 기술 선정

		• (2014, 산업부) 제2차 에너지기본계획 – 화석 연료 기반의 전통에너지 청정화를 위한 고효율·친환경 화력 발전기술 개발 및 국산화 기술개발 확대 필요 • (2014, 산업부) 산업기술진흥원 발전 부분 미래유망 품목으로 선정 • (2015, 관계부처 합동) 2030 에너지 신산업 확산 전략 – 新기후변화 대응을 위한 '저탄소발전', '에너지 신산업의 수출산업화 추진' 등과 연관됨 • (2016, 정부) 제1차 기후변화대응 기본계획 및 2030 국가온실가스 감축 기본로드맵 – 발전부문 CO2 감축량(6,450만톤) 달성을 위한 신재생발전 확대 필요 • (2020, 정부) 2050 탄소중립 및 신재생에너지 전환정책 – 신재생에너지 간헐성 대응이 가능한 미래형 기저발전 시스템 확보 필요 • (2021, 과학기술정보통신부) 탄소중립 기술혁신 추진전략 – 탄소중립 기여 10대 핵심기술로 바이오에너지가 제시되어, 이에 대한 국가적 지원이 필요

4 사업 현황

사업구분	계속사업 □ 기한사업 ■		
사업추진방식	상향식 □ 혼합식 ■ 하향식 □		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	–	참여부처 (다부처사업)	–
사업기간	'23년–'27년	총사업비	–
사업규모	–	지원대상	대학, 출연연, 기업 등
지원형태	기업	지원조건	참여기업이 있는 경우 Matching
사업시행주체	국토교통부(국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	–		

5 사업추진체계 및 전략

사업수행주체	국토교통부 ▪시행계획 심의·확정 ▶ 예산 교부 국토교통과학기술진흥원 ▪시행계획 공고 ▪선정·단계·최종 평가 ▪연구비 정산 및 국고반납 ▶ 협약 체결·연구비 지급 연구기관 (연구자) ▪연구개발과제 신청 ▪연구개발과제 수행 ▪연구비 사용실적 보고
사업추진전략	추진전략 [플랜트연구사업 전략체계]

비전	탄소저감형 新기저발전 시장 선도

목표	장기 전략(2023~2027이후)
	▪ 독자기술 개발로 선진국 대비 기술수준 향상 ▪ 국내기술 자립화율 확대 ▪ 기술수준 향상에 따른 해외수출 증가 ▪ 에너지효율 향상

전략	중점 분야	세부기술 분야
	고효율 순환유동층 보일러 설계	▪ 고효율 순환유동층 개념·기본·상세설계 ▪ 고효율 순환유동층 단위 구성기기 설계·검증
	고효율 순환유동층 플랜트 건설시운전	▪ 고효율 순환유동층 플랜트 건설·시운전 매뉴얼 개발 ▪ 통합 환경설비 및 플랜트 성능 테스트
	고효율 순환유동층 운영기술 개발	▪ 보일러 운전 장애 및 환경 문제 대응 기술개발 ▪ 최적 운영 S/W 개발 및 운영기술 패키지화

- 본 사업은 고효율 순환유동층 설계·건설·운영 기술의 연구개발 및 실증을 효과적으로 수행할 수 있도록 산·학·연 협동 연구 체계를 갖춘 연구단급으로 사업추진
  - 18년 종료된 한전-두산중공업-발전사 참여 민간 협동과제(대용량 초초임계 순환유동층 기술개발) 결과 활용
  - 기술의 완성도 제고를 위해 연구기반 구축, 핵심 설계기술 국산화, 실증 플랜트 설계, 건설 및 운영 상용화 기술개발을 단계적으로 추진
  - 중장기 산업기술개발사업으로 연구개발사업의 성공적인 추진 및 상용화를 위한 국내·외 순환유동층 보일러 연구 산·학·연 기관과 기술교류 및 자문 활용
    → 산업체 : 두산중공업, 현대중공업 등
    → 대학교 : KAIST, 연세대, 부산대, 전북대, 한국교통대 등
    → 연구소 : 전력연구원, 에너지기술연구원, 생산기술연구원, 기계연구원 등
    → 국외 : 칭화대학(중국) 등
  - 실증사이트 발굴 및 상업화 연계를 위한 남동발전, 남부발전, 동서발전 등 국내 순환유동층 보유 발전사와 해외 실증사이트 발굴 및 사업협력
  - 新기저발전 기술의 정책적 지원 유도를 위한 대정부 대상 고효율 순환유동층 실증 필요성을 지속적 설득

R&D 전주기 사업관리 계획

- (추진절차) 과제 발굴·기획 → 과제 선정 → 과제 관리 → 과제종료 → 성과활용·확산
  ① (과제 발굴 및 기획) 기술수요조사*를 통해 연구과제를 발굴하고, 필요시 사전 단계로 기획연구 수행(총 연구비 50억원 이상 경우 등)
  * On-line을 통한 상시 수요조사 및 Off-line을 통한 반기별(매년 1월, 7월) 수요조사 병행 추진
  ※ 국가R&D사업 일몰제 도입에 따른 예타성 대형사업 기획연구 추진 중(KAIA 기획그룹)
  ② (신규과제 선정) 사업담당관(실·국)이 우선순위를 매겨 미래전략일자리담당에게 제출하면, 별도 선정회의를 통해 예산편성안에 반영
  * 과기부(4~7월), 기재부(8월), 국회 예산심의(~12월)를 거쳐 신규 추진여부 확정
  ③ (과제 확정 및 관리) 예산에 반영된 신규과제는 진흥원을 통해 차년도에 연구자 선정을 거쳐 평가·성과 관리 등 과제 관리 진행
  ※ 계속사업의 경우, 매년 차년도 투입 예산요구 및 결산, 성과평가 업무 추진
  ④ (과제 종료) 최종 평가를 통해 과제의 성공·실패를 결정
  ⑤ (성과활용·확산) 성과의 활용 및 확산을 위한 성과정보시스템 운영, 추적평가, 공모전, 전시회 등 활동을 정기적으로 추진

- 성과 및 사업화정보 시스템 운영 : 국토교통기술촉진연구사업을 포함한 국토교통 R&D 사업의 성과관리를 위하여 국토교통 R&D 사업관리시스템(http://rnd.kaia.re.kr) 운영
- 추적평가 수행 : 성과의 활용 및 확산을 위하여 종료된 R&D과제를 대상으로 과제 종료 후 5년간 발생성과에 대한 정기적 추적평가를 실시하여 성과의 사후관리를 수행
- 국토교통기술대전 개최 : 매년 국토교통 R&D 성과물에 대한 대국민 홍보와 기술교류 확산을 위해 국토교통 R&D 우수성과 전시 등을 추진
- 국토교통기술 아이디어 공모전 개최 : 국토교통 기술 분야에 대한 국민 관심 증대와 기술저변 확대를 위해 국토교통기술 아이디어를 발굴
- 국토교통 R&D 대표성과 사례집 발간 : 매년 대국민을 대상으로 국토교통 R&D 성과물에 대한 홍보추진을 위해 대표성과 사례집 발간

[사업 추진체계]



<table>
<tr><td>위험요인 및
극복방안</td><td>
<table>
<tr><th>위험요인</th><th>극복방안</th></tr>
<tr><td>• 석탄화력발전소에 대한 국내 부정적 시각</td><td>• 초임계압급 이상 고효율발전, 바이오매스 혼합연소, 초청정 환경기술, CCUS Ready 기술 접목을 통한, 탄소 저감이 가능한 新기저발전 기술임을 정부·민간에 홍보</td></tr>
<tr><td>• 국산화 기술개발품에 대한 높은 해외시장 진입장벽</td><td>• 중장기 해외시장 점유율 확대를 민간–정부간 기술 Risk Share를 위해 관련 규제 완화, Financing 이슈 재검토, 국산 新기술에 대한 인센티브 부여 등 정책적 지원 필요</td></tr>
<tr><td>• 실증사이트 부재</td><td>• 국내 발전사를 중심으로 산·학·연 공조체제를 구축하여, 해외 실증사이트 상시 모니터링 및 정부의 국제 플랜트 협력사업 적극 활용</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>수혜자</td><td>• 국내 보일러 제작社 및 제작社에 보일러 부품을 납품하는 중소기업
• 발전 플랜트 EPC社 : 국내 엔지니어링社 등
• 발전 플랜트 운영社 : 국내 발전社 등
• 발전 플랜트 건설社 : 국내 건설社 등</td></tr>
</table>

6 사업기대효과

과학기술적 기대효과	[과학기술적 기대효과] • 고효율 순환유동층 보일러 핵심기술 국산화를 통한 기술 자립 • 증기 고도화를 통한 기존 대비 5–8% 플랜트 효율증대 • 바이오매스 등 연료의 최적 순환유동층 혼합 연소기술 구현을 통한 親환경 발전에 기여 • 저급탄 청정 연소, 고효율 전력 생산 및 초청정 환경설비 적용을 위한 기반기술 확보
사회경제적 기대효과	[사회적 기대효과] • 이산화탄소 배출량 저감을 통한 발전설비 親환경성 제고 • 바이오매스 혼합연소를 통한 탄소중립 제도 대응 가능 • 저급탄 사용 및 연료 다변화를 통한 에너지 안보 확보 [경제적 기대효과] • 고효율 순환유동층 발전기술 국내 자립 및 수출 창출을 통한 수익 극대화 • 순환유동층 고효율·대용량화 기술확보 및 저급연료·바이오매스 활용 확대를 통한 발전원가 저감 • 국내외 플랜트 개선·개조 및 신규 발전 플랜트 시장개척 • 해외 순환유동층 신규시장 진출을 통한 일자리 창출 및 해외 플랜트 수출 극대화 • 고효율 순환유동층 보일러 고유모델 활용 국내 독자적 컨소시엄 구성을 통해 Team Korea Plant 위상 제고

7 사업 내용

예산규모

(백만원)

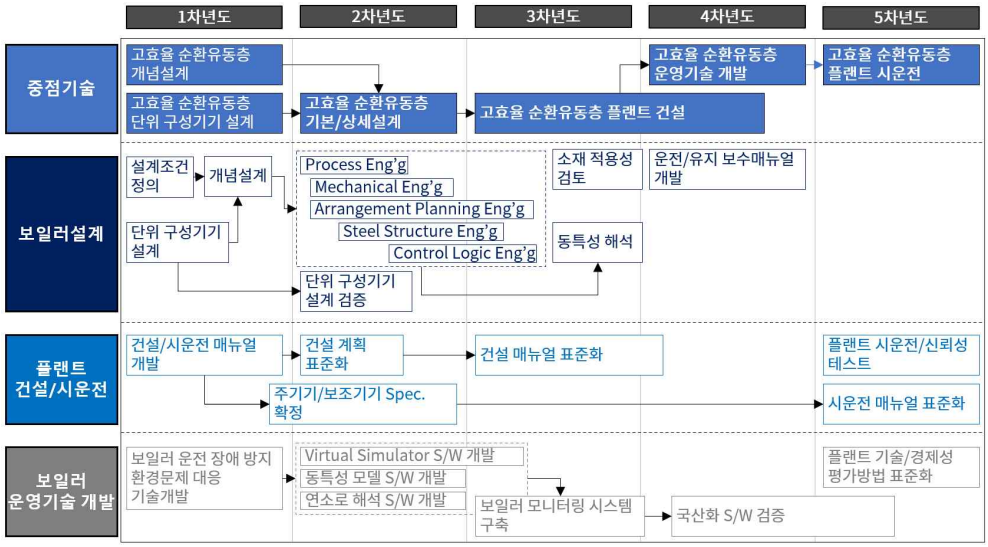
구분		2023년도	2024년도	2025년도	2026년도	2027년도
고효율 순환유동층 상용화 기술개발	총 예산	7,143	4,286	14,286	12,857	2,857
보일러 설계	총 예산	2,143	1,286	4,286	3,857	857
플랜트 건설·시운전	총 예산	4,286	2,571	8,571	7,714	1,714
보일러 운영기술 개발	총 예산	714	429	1,429	1,286	286

세부내용

연구개발내용

내역사업	주요 내용
보일러 설계	• 고효율 순환유동층 보일러 설계기술 실증 – 바이오매스 혼합연소 반영 고효율 순환유동층 개념·기본·상세설계 기술 – 보일러 운전·유지보수 기술 – 동특성 모델 신뢰성 기술
플랜트 건설·시운전	• 고효율 순환유동층 플랜트 건설·시운전 – 보일러 건설·시운전 표준화 기술 – 플랜트 신뢰성 평가기술
보일러 운영기술 개발	• 고효율 보일러 운영기술 개발·적용 – 보일러 장애 방지 및 환경문제 대응기술 – 보일러 모니터링 기술 – 보일러 운영 S/W 신뢰성 확보 기술 – 플랜트 기술·경제성 평가기술

연차별 추진내용(로드맵)



2. 단계별 성과목표 및 지표

1 전략목표

전략목표	해외시장 진출 Track Record 확보를 新기저발전 설계·건설·운영기술 실증

가. 1단계 성과목표 및 지표

1 단계별 성과목표

단계(평가주기)	-	기간	2023-2027

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표	고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영 기술 국산화 및 실적확보	가중치	1.0	설정 근거	• 고효율 순환유동층 설계·건설·운영기술 개발 완료 결과물 확인, 개발된 결과물의 실증 및 신뢰성 확보 여부가 성과목표로 설정 필요	고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술 개발

2 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분						지표 유형	질적 지표	성과지표 설정사유
					연도	2023	2024	2025	2026	2027			
성과 목표	고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술 개발	1.0	논문	-	목표	59.06	62.02	65.12	68.37	71.79	산출 (질)	√	연구개발로 달성한 핵심기술의 과학적 수준을 측정하기 위해 대표적 과학적 성과지표인 '학술지게재 논문지수' 선정
					실적	-	-	-	-	-			
			특허	-	목표	-	-	4.29	4.29	4.29	산출 (질)	√	연구개발로 달성한 핵심기술의 과학적 수준을 측정하기 위해 대표적 기술적 성과지표인 '특허등급 지수' 선정
					실적	-	-	-	-	-			
			기술료	백만원	목표	-	-	-	-	8.02	결과	√	연구성과의 사업화 및 제품화 가능성을 질적으로 측정할 수 있는 경제적 성과지표인 '정부출연금(10억) 당 기술료 징수' 선정
					실적	-	-	-	-	-			
			기술확보율	%	목표	20	40	60	80	100	산출 (질)	√	연구개발로 달성한 성과를 측정할 수 있는 '고효율 순환유동층 상용화 기술확보율'을 지표로 선정
					실적	-	-	-	-	-			
계													

3 성과지표의 목표치 및 측정방법

<table>
<tr><th>성과지표명</th><th>목표치 설정방법 및 근거</th><th>측정산식 및 방법, 시기</th><th>자료 출처</th></tr>
<tr><td>논문</td><td>• ('22년 목표치) 본 사업은 신규사업으로 최근 5년간('15년-'19년) 플랜트연구사업*의 학술지 게재 논문지수의 평균값(59.06)을 목표치로 설정
*단위사업이자 본 사업과의 유사 기술 분야를 포함하고 있는 세부사업
<table><tr><td>연도</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>평균</td></tr><tr><td>실적지수</td><td>38.21</td><td>53.69</td><td>78.04</td><td>57.01</td><td>68.36</td><td>59.06</td></tr></table>• '23년-'27년 목표치는 질적으로 우수한 논문 성과를 지속적으로 창출하기 위하여 매년 전년도 목표치보다 5% 증가한 값으로 목표치 설정
• 단, 실적치가 미달성될 경우 전년도 목표치를 적용·유지하여 합리적인 목표치 설정</td><td>[측정산식]
• 학술지 게재 논문 지수 = ∑(표준화된 순위보정영향력지수)/∑(SCI(E) 논문 건수)

[측정시기 및 방법]
• 당해연도 말 NTIS에서 검증 완료된 SCI(E) 논문을 대상으로 JCR 분류에 따라 해당 저널 Impact Factor 순위를 확인 후 표준화된 순위보정영향력 지수를 산출
• 동 저널이 여러 분야에 중복되는 경우 각 중복분야에서 학술지가 차지하는 표준화된 순위보정영향력 지수의 평균값을 사용</td><td>국토교통 R&D 사업관리시스템

국가과학기술 지식정보서비스(NTIS)</td></tr>
<tr><td>특허</td><td>• 본 지표는 '22년 신규사업의 성과지표 중 하나로 특허등록 평균기간* 등을 고려하여 '24년 목표치부터 산정
*특허등록 시까지 약 1.5년-2년 소요
• ('24년 목표치) 최근 5년간('15년-'19년) 플랜트연구(R&D)사업의 특허등급지수의 평균값(4.29)을 목표치로 설정
<table><tr><td>연도</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>평균</td></tr><tr><td>실적지수</td><td>5.54</td><td>4.5</td><td>4.35</td><td>3.38</td><td>3.67</td><td>4.29</td></tr></table></td><td>[측정산식]
• 특허 등급 지수 = $\sum_i (A_i \times B_i) / \sum A_i$
(Ai : 등급별 국내외 특허특록 건수, Bi : 특허등급별 가중치)
<table><tr><td>등급</td><td>AAA</td><td>AA</td><td>A</td><td>BBB</td><td>B</td><td>B</td><td>CCC</td><td>CC</td><td>C</td></tr><tr><td>가중치</td><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr></table>
[측정시기 및 방법]
• 당해연도 말 NTIS에 등록 완료된 특허등록 실적을 대상으로 한국발명진흥회의 SMART 등급 확인 후 특허등급 지수를 산출</td><td>국토교통 R&D 사업관리시스템

국가과학기술 지식정보서비스(NTIS)

특허정보원 DB</td></tr>
<tr><td>기술료</td><td>• ('27년 목표치) 최근 5년간('15년-'19년) 플랜트연구(R&D)사업의 실적 평균(22.97백만원)을 준용하여, 투입 예산의 비율(34.9%)을 감안하여 목표치(8.02백만원)</td><td>[측정산식]
• 정부출연금(10억)당 기술료 = (기술실시 및 기술이전을 통해 발생하는 기술료 징수액) / 정부출연금</td><td>국토교통 R&D 사업관리시스템

기술실시계약서 등 관련</td></tr>
</table>

<table>
<tr>
<td></td>
<td>설정
※ 플랜트연구사업의 경우, 사업단 및 연구단 규모의 과제가 대다수 포함된 사업으로 연구단 1개로 구성된 본 사업과의 형평성 고려 필요
※ 투입 예산 비율 : 본 사업 투입예산(29,000백만원)/5년간 플랜트연구사업 투입예산(83,086 백만원) X 100 = 34.9%
※ 기술료의 경우 상용화·사업화를 위해 기술확보가 이루어진(연구과제 종료) 이후 실적치 도출이 원활한 지표이며, 본 사업의 경우 연구과제 수행 중에 실적치를 달성하여야 하므로 이는 도전적인 지표임
(단위: 백만원)
<table>
<tr><th>연도</th><th>15</th><th>16</th><th>17</th><th>18</th><th>19</th><th>평균</th></tr>
<tr><td>기술료</td><td>69</td><td>53</td><td>250</td><td>993</td><td>895</td><td>452</td></tr>
<tr><td>예산</td><td>13,806</td><td>10,471</td><td>16,313</td><td>19,976</td><td>22,520</td><td>16,617</td></tr>
<tr><td>10억당 기술료</td><td>5.00</td><td>5.06</td><td>15.33</td><td>49.71</td><td>39.74</td><td>22.97</td></tr>
</table>
</td>
<td>※ (단위) 기술료 징수액 : 백만원, 정부출연금 10억

[측정시기 및 방법]
• 당해연도 말 국토교통 R&D 사업시스템에서 검증된 기술료 확인
• 정량적이고 객관적으로 성과를 검증할 수 있도록 기술실시 계약서 등 증빙자료를 확인한 성과만을 확인</td>
<td>문서</td>
</tr>
<tr>
<td>기술확보율</td>
<td>• ‘고효율 순환유동층 상용화 기술개발’을 위해 요구되는 핵심기술에 대한 기술개발 성과물*의 누적 확보율을 목표치로 산정
*연도별 핵심기술에 대한 기술개발 성과물은 첨부1 참조</td>
<td>[측정산식]
• 기술확보율 = ∑(누적 핵심기술 성과물 건수) / (1단계 핵심기술 성과물 목표 건수) X 100(%)
※ 해당지표에 대한 핵심기술 성과물 및 검증방법 등의 구체적인 내용은 첨부1 참조

[측정시기 및 방법]
• 당해연도 말 연차평가를 통해서 목표달성 검증 완료된 성과물을 대상으로 기술 확보율 산출</td>
<td>실적평가
성과증빙자료</td>
</tr>
</table>

3. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2027	2023년도 - 2027년도 (총 5년)	고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술 개발	과제 종료 시점

4. 핵심특허 등 지식재산권 창출 활동 : 해당 사항 없음

5. 성과활용·확산 계획서 제출 계획

사업 종료 연도	성과활용·확산 계획서 제출 연도
2027년	2027년

첨부 1. 고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술 개발 기술확보율

□ 연구별 연구내용 및 산출물

연도	연도별 연구내용	주요 산출물
2023	• 고효율 순환유동층 개념설계 • 고효율 순환유동층 단위 구성기기 설계 • Boundary Condition 정의 • 바이오매스 혼합연소 설계 반영 • 보일러 설계조건 정의 • 보일러 단위 구성기기 설계 • 보일러 건설·시운전 매뉴얼 개발 • 보일러 운전 장애 방지 및 환경문제 대응 기술개발	• 개념설계 Data Sheet • 단위구성 기기 Specification, Drawing
2024	• 고효율 순환유동층 기본·상세설계 • Process Engineering • Mechanical Engineering • Arrangement Planning & Steel Structure Engineering • Control Logic Engineering • 보일러 단위 구성기기 설계 검증·최적화 • 플랜트 건설 계획 표준화 • 터빈, 환경설비 등 주기기·보조기기 Specification 확정 • Virtual Simulator S/W 개발 • 동특성 모델 S/W 개발 • 연소로 해석 S/W 개발	• PFD : Process Flow Diagram • P&ID : Piping & Instrumentation Diagram • BOM : Bill of Material • Control Logic, Functional Description • Boiler·Plant 3D Model
2025	• 고효율 순환유동층 플랜트 건설 • 외부열교환기 소재 적용성 검토 • 보일러 동특성 해석 • 플랜트 건설 매뉴얼 표준화 • 보일러 모니터링 시스템 구축	• 운전·유지보수 매뉴얼 • 동특성 분석 보고서 • 시험장치 테스트 보고서
2026	• 고효율 순환유동층 플랜트 건설	• 고효율 순환유동층 보일러 건설·시운전 매뉴얼

	• 고효율 순환유동층 보일러 운영기술 개발 • 운전·유지보수 매뉴얼 개발 • 국산화 S/W 검증	• 플랜트 시운전 계획서AQCS 설계·시공 도면 • 이산화탄소 포집·저장·활용 부지계획 및 설비 구성 계획서 • 보일러 운전 장애 방지 및 환경 문제 대응기술 보고서 • Virtual Simulator 국산화 S/W • 동특성 모델 국산화 S/W • 연소로 해석기술 국산화 S/W • 보일러 설계 국산화 S/W
2027	• 고효율 순환유동층 플랜트 시운전 • 플랜트 시운전 • 플랜트 신뢰성 테스트 • 플랜트 시운전 매뉴얼 표준화 • 국산화 S/W 검증 • 플랜트 기술·경제성 평가 방법 표준화	• 보일러 성능 테스트 보고서 • 운영 S/W 신뢰성 테스트 보고서 • 고효율 순환유동층 플랜트 기술성·경제성 평가 Excel Sheet

□ 연도별 산출물 및 검증방법

구분	‘23년	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년	검증방법
고효율 순환유동층 플랜트 설계·건설·운영기술 개발 (누적 소계)	2 (9)	5 (14)	3 (17)	8 (25)	3 (28)	보고서, 시작품, 시제품 등

나. 한국형 하이브리드발전 플랜트 상용화 기술개발

사업명 : 한국형 하이브리드발전 플랜트 상용화 기술개발

작성자	작성 부서	기술안전 정책과 기술정책과	작성 실무자 및 연락처	기술정책과 최정규 주무관 / 044-201-4994 / choijk75@korea.kr
	작성 책임자	기술정책과장 방현하		국토교통과학기술진흥원 길아영 연구위원/ 031-389-6463 / aygil@kaia.re.kr

1. 사업개요

1 사업명

사업명	단위사업	플랜트연구
	세부사업	플랜트연구
	내역사업	한국형 하이브리드발전 플랜트 상용화 기술개발

2 사업목적

사업목적	탄소중립·기후대응을 위한 한국형 하이브리드발전 설계기술 확보

3 사업추진경위

추진 근거	법적 근거	• 국토교통과학기술 육성법 제8조 및 제9조 – 제8조: 연구개발사업의 추진 – 제9조: 융·복합 연구개발의 추진 • 건설기술진흥법 제7조 및 제9조 – 제7조: 건설기술 연구·개발사업 – 제9조: 공동 연구·개발 등 • 해외건설촉진법 제15조의4 – 제15조의4 : 해외건설 정책 및 연구개발 등 지원 • 기계설비법 제 8조 – 제8조 : 기계설비산업의 연구·개발 등 • 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정(국토교통부 훈령) • 「환경기술개발 및 지원에 관한 법률」제5조 –「환경기술개발사업 운영규정」(환경부 훈령 1291호, '17.12) –「정부 조직법」 제39조 수자원의 보전·이용·개발기능 환경부 이관 –「물관리기본법」 제39조(조사연구와 기술개발에 관한 지원 등)
	상위 계획	• (2014, 산업부) 제2차 에너지기본계획 – 화석 연료 기반의 전통에너지 청정화를 위한 고효율·친환경 화력 발전기술 개발 및 국산화 기술개발 확대 필요 • (2015, 관계부처 합동) 2030 에너지 신산업 확산 전략 – 新기후변화 대응을 위한 '저탄소발전', '에너지 신산업의 수출산업화 추진' 등과 연관됨

		• (2016, 정부) 제1차 기후변화대응 기본계획 및 2030 국가온실가스 감축 기본로드맵 – 발전부문 CO2 감축량(6,450만톤) 달성을 위한 신재생발전 확대 필요 • (2020, 정부) 2050 탄소중립 및 신재생에너지 전환정책 – 신재생에너지 간헐성 대응이 가능한 미래형 기저발전 시스템 확보 필요 • (2021, 과학기술정보통신부) 탄소중립 기술혁신 추진전략 – 탄소중립 기여 10대 핵심기술로 CCUS가 제시되어, 이에 대한 국가적 지원이 필요 • (2020, 산업통상자원부) 제9차 전력수급기본계획 – 석탄·원자력 축소, 천연가스·신재생에너지 확대가 제시되어, 하이브리드발전 시스템 상용화 필요

4 사업 현황

사업구분	계속사업 □ 기한사업 ■		
사업추진방식	상향식 □ 혼합식 ■ 하향식 □		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	–	참여부처 (다부처사업)	–
사업기간	′23년–‘27년	총사업비	–
사업규모	–	지원대상	대학, 출연연, 기업 등
지원형태	기업	지원조건	참여기업이 있는 경우 Matching
사업시행주체	국토교통부(국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	–		

5 사업추진체계 및 전략

사업수행주체	국토교통부 ▪시행계획 심의·확정 ▶ 예산 교부 국토교통과학기술진흥원 ▪시행계획 공고 ▪선정·단계·최종 평가 ▪연구비 정산 및 국고반납 ▶ 협약 체결·연구비 지급 연구기관 (연구자) ▪연구개발과제 신청 ▪연구개발과제 수행 ▪연구비 사용실적 보고
사업추진전략	추진전략 [플랜트연구사업 전략체계]

비전	탄소중립형 차세대 기저발전 시장 선도

목표	장기 전략(2023~2027이후)
	▪ 독자기술 개발로 선진국 대비 기술수준 향상 ▪ 국내기술 자립화율 확대 ▪ 기술수준 향상에 따른 해외수출 증가 ▪ 에너지효율 향상

전략	중점 분야	세부기술 분야
	플랜트 개념설계	▪ 한국형 하이브리드발전 모델개발 ▪ 한국형 하이브리드발전 시스템 엔지니어링
	주요기기 개발	▪ 한국형 하이브리드발전 가스터빈-보일러 연계 기술개발 ▪ 가스·증기터빈, 보일러, BOP, ESS 단위 핵심기술 개발
	운영기술 개발	▪ 한국형 하이브리드발전 플랜트 최적화 엔지니어링 ▪ 한국형 하이브리드발전 플랜트 건설 Ready

- 본 사업은 고효율 순환유동층 설계·건설·운영 기술의 연구개발 및 실증을 효과적으로 수행할 수 있도록 산·학·연 협동 연구 체계를 갖춘 연구단급으로 사업추진
  - 현재 진행 중인 DOE Coal FIRST 과제와 연계하여 과제 추진 및 DOE 실증사이트 활용 검토 추진
  - 기술의 완성도 제고를 위해 연구기반 구축, 핵심 설계기술 국산화, 실증 플랜트 설계 및 운영 상용화 기술개발을 단계적으로 추진
  - 중장기 산업기술개발사업으로 연구개발사업의 성공적인 추진 및 상용화를 위한 국내·외 순환유동층 보일러 연구 산·학·연 기관과 기술교류 및 자문 활용
    → 산업체 : 두산중공업, 현대중공업 등
    → 대학교 : KAIST, 연세대, 부산대, 전북대, 한국교통대 등
    → 연구소 : 전력연구원, 에너지기술연구원, 생산기술연구원, 기계연구원 등
    → 국외 : 일리노이대 등
  - 국내 실증사이트 발굴 및 상업화 연계를 위한 남동발전, 남부발전, 동서발전 등 국내 발전사와 해외 실증사이트 발굴 및 사업협력
  - 新기저발전 기술의 정책적 지원 유도를 위한 대정부 대상 하이브리드발전 실증 필요성을 지속적 설득

R&D 전주기 사업관리 계획

- (추진절차) 과제 발굴·기획 → 과제 선정 → 과제 관리 → 과제종료 → 성과활용·확산
  ① (과제 발굴 및 기획) 기술수요조사*를 통해 연구과제를 발굴하고, 필요시 사전 단계로 기획연구 수행(총 연구비 50억원 이상 경우 등)
  * On-line을 통한 상시 수요조사 및 Off-line을 통한 반기별(매년 1월, 7월) 수요조사 병행 추진
  ※ 국가R&D사업 일몰제 도입에 따른 예타성 대형사업 기획연구 추진 중(KAIA 기획그룹)
  ② (신규과제 선정) 사업담당관(실·국)이 우선순위를 매겨 미래전략일자리담당에게 제출하면, 별도 선정회의를 통해 예산편성안에 반영
  * 과기부(4~7월), 기재부(8월), 국회 예산심의(~12월)를 거쳐 신규 추진여부 확정
  ③ (과제 확정 및 관리) 예산에 반영된 신규과제는 진흥원을 통해 차년도에 연구자 선정을 거쳐 평가·성과 관리 등 과제 관리 진행
  ※ 계속사업의 경우, 매년 차년도 투입 예산요구 및 결산, 성과평가 업무 추진
  ④ (과제 종료) 최종 평가를 통해 과제의 성공·실패를 결정
  ⑤ (성과활용·확산) 성과의 활용 및 확산을 위한 성과정보시스템 운영, 추적평가, 공모전, 전시회 등 활동을 정기적으로 추진

- 성과 및 사업화정보 시스템 운영 : 국토교통기술촉진연구사업을 포함한 국토교통 R&D 사업의 성과관리를 위하여 국토교통 R&D 사업관리시스템(http://rnd.kaia.re.kr) 운영
- 추적평가 수행 : 성과의 활용 및 확산을 위하여 종료된 R&D과제를 대상으로 과제 종료 후 5년간 발생성과에 대한 정기적 추적평가를 실시하여 성과의 사후관리를 수행
- 국토교통기술대전 개최 : 매년 국토교통 R&D 성과물에 대한 대국민 홍보와 기술교류 확산을 위해 국토교통 R&D 우수성과 전시 등을 추진
- 국토교통기술 아이디어 공모전 개최 : 국토교통 기술 분야에 대한 국민 관심 증대와 기술저변 확대를 위해 국토교통기술 아이디어를 발굴
- 국토교통 R&D 대표성과 사례집 발간 : 매년 대국민을 대상으로 국토교통 R&D 성과물에 대한 홍보추진을 위해 대표성과 사례집 발간

[사업 추진체계]



<table>
<tr><td>위험요인 및
극복방안</td><td>
<table>
<tr><th>위험요인</th><th>극복방안</th></tr>
<tr><td>• 석탄화력발전소에 대한 국내 부정적 시각</td><td>• 초임계압급 이상 고효율발전, 천연가스 혼합연소, 초청정 환경기술, CCUS Ready 기술, ESS 기술 접목을 통한, 탄소중립이 가능한 新기저발전 기술임을 정부·민간에 홍보</td></tr>
<tr><td>• 국산화 기술개발품에 대한 높은 해외시장 진입장벽</td><td>• 중장기 해외시장 점유율 확대를 민간–정부간 기술 Risk Share를 위해 관련 규제 완화, Financing 이슈 재검토, 국산 新기술에 대한 인센티브 부여 등 정책적 지원 필요</td></tr>
<tr><td>• 실증사이트 확보</td><td>• 국내 발전사를 중심으로 산·학·연 공조체제를 구축하여, 해외 실증사이트 상시 모니터링 및 정부의 국제 플랜트 협력사업 적극 활용</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>수혜자</td><td>• 국내 보일러 제작社 및 제작社에 보일러 부품을 납품하는 중소기업
• 발전 플랜트 EPC社 : 국내 엔지니어링社 등
• 발전 플랜트 운영社 : 국내 발전社 등
• 발전 플랜트 건설社 : 국내 건설社 등</td></tr>
</table>

6 사업기대효과

과학기술적 기대효과	[과학기술적 기대효과] • 하이브리드발전 핵심기술 국산화를 통한 기술 자립 • 천연가스 혼합연소, ESS 적용 등을 통한 기존 대비 플랜트 효율증대 • 암모니아, 수소 등 미래형 연료의 혼합 연소기술 구현을 통한 親환경 발전에 기여 • 고효율·초청정 연소, 고효율 전력 생산 및 초청정 환경설비 적용을 위한 기반기술 확보
사회경제적 기대효과	[사회적 기대효과] • 이산화탄소 Net-Zero 달성을 통한 발전설비 親환경성 제고 • CCUS 기술 적용을 통한 탄소중립 제도 대응 가능 • 다양한 연료(석탄, 천연가스, 수소, 암모니아) 사용을 통한 에너지 안보 확보 [경제적 기대효과] • 미래형 고효율·초청정 기저 발전기술 국내 자립 및 수출 창출을 통한 수익 극대화 • 다양한 연료 적용으로 대외 변수 대응을 통한 발전원가 저감 • 국내외 플랜트 개선·개조 및 신규 발전 플랜트 시장개척 • 해외 하이브리드발전 신규시장 진출을 통한 일자리 창출 및 해외 플랜트 수출 극대화 • 한국형 하이브리드발전 고유모델 활용 국내 독자적 컨소시엄 구성을 통해 Team Korea Plant 위상 제고

7 사업 내용

예산규모

(백만원)

구분		2023년도	2024년도	2025년도	2026년도	2027년도
한국형 하이브리드 기술개발	총 예산	5,714	7,143	5,714	714	714
플랜트 개념설계	총 예산	2,286	2,857	2,286	286	286
주요기기 개발	총 예산	2,286	2,857	2,286	286	286
운영기술 개발	총 예산	1,143	1,429	1,143	143	143

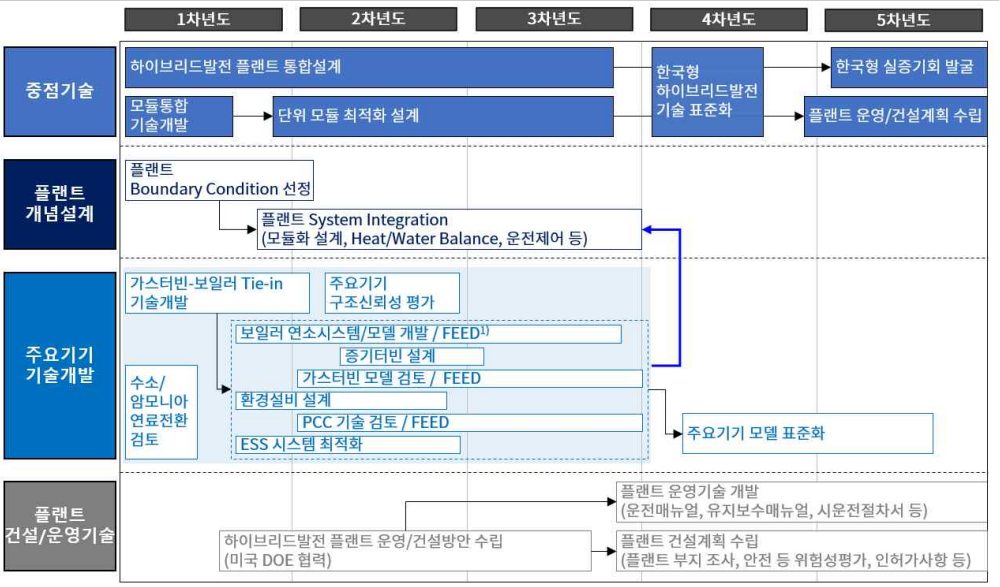
세부내용

연구개발내용

내역사업	주요 내용
개념설계 기술개발	• 한국형 하이브리드발전 모델개발 – 한국형 하이브리드 발전소 최적 구성, 용량 검토 기술 – 한국형 하이브리드 성능 설계 및 최적화 기술 – 500MW 급 석탄발전소 대상 최적 가스터빈 모델 검토 기술 – 가스터빈 배기가스 에너지 활용 공정 기술 – 가스터빈 배기가스를 통한 환경오염 물질 배출 최소화 기술 – 한국형 하이브리드 발전소 모듈화 설계기술 – 한국형 하이브리드 발전소 운전 및 성능평가 기술 • 한국형 하이브리드발전 시스템 엔지니어링 – 한국형 하이브리드발전 시스템 엔지니어링 기술 – 한국형 하이브리드 Water Balance 검토 – 한국형 하이브리드발전 BOP 최적화 기술 – 한국형 하이브리드발전 시스템 제어 및 실증 기술 – 한국형 하이브리드발전 운전제어 절차서
주요기기 기술개발	• 한국형 하이브리드발전 가스터빈-보일러 연계기술 개발 – 가스터빈-보일러 Tie-in 기술개발(유동 안정성, 구조 안정성, 배치 등) – 가스터빈 배기가스 활용 석탄 버너 기술 – 가스터빈 배기가스, 연소 공기 혼합기 최적화 기술 – 가스터빈-보일러 연계 환경오염물질 배출량 예측 기술 – 가스터빈-보일러 연계 배기가스 폐열 활용 최적화 기술 • 한국형 하이브리드발전 가스터빈 기술개발 – 한국형 하이브리드발전 가스터빈 용량·효율 최적화 – 한국형 하이브리드발전 가스터빈 로터 진동·동특성 해석기술 – 한국형 하이브리드발전 가스터빈 수명 최적화 운전기술 • 한국형 하이브리드발전 보일러 기술개발 – 한국형 하이브리드발전 보일러 용량·효율 최적화 – 한국형 하이브리드발전 보일러 수명 증대 기술 – 한국형 하이브리드발전 보일러 운전 및 성능평가 기술 • 한국형 하이브리드발전 증기터빈 기술개발 – 한국형 하이브리드발전 증기터빈 용량·효율 최적화 – 한국형 하이브리드발전 증기터빈 로터 진동·동특성 해석기술 – 한국형 하이브리드발전 증기터빈 최적 활용방안 개발 • 한국형 하이브리드발전 BOP·환경설비 기술개발

내역사업	주요 내용
	– 한국형 하이브리드발전 BOP 최적 활용방안 검토 – 한국형 하이브리드발전 신규 설비용량, 설치, 운영방안 검토 – 한국형 하이브리드발전 환경설비 용량, 설치, 운영방안 검토 • 한국형 하이브리드발전 ESS 기술개발 – 한국형 하이브리드발전 ESS 최적 활용방안 검토 – 한국형 하이브리드발전 ESS 활용 급속 기동 기술개발 – 한국형 하이브리드발전 ESS 활용 부하 추종성 향상 기술개발 – 한국형 하이브리드발전 ESS 용량 및 모델 선정
운영기술 개발	• 한국형 하이브리드발전 발전소 엔지니어링 및 운영기술 개발 – 한국형 하이브리드발전 플랜트 공정 효율 향상 기술개발 – 한국형 하이브리드발전 플랜트 주기기 배치 및 시공 기술개발 – 한국형 하이브리드발전 플랜트 정상운전 요구조건 개발 – 한국형 하이브리드발전 플랜트 비정상운전 요구조건 및 시나리오 개발 – 한국형 하이브리드발전 플랜트 운전모드 별 운전 절차 개발 – 한국형 하이브리드발전 플랜트 유지보수 방안 검토 – 한국형 하이브리드발전 플랜트 시운전 절차서 개발 – 시운전 : 단위기기 무부하·부하 운전, 단위 공정, 전주기 공정 • 한국형 하이브리드발전 플랜트 건설 기술개발 – 대상 플랜트 부지 지반 조사 및 부지 측량 – 대상 플랜트 토지, 건축, 전기, 소방 등 기본·상세설계 및 위험성 평가 수행 – 대상 플랜트 전기·건설 안전 신고 방안 검토 – 대상 플랜트 토목·건축·고압가스·소방 인허가 방안 검토 – 환경 영향 평가 진행 방안 검토

연차별 추진내용(로드맵)



2. 단계별 성과목표 및 지표

1 전략목표

전략목표	천연가스 연소 가스터빈과 초초임계압 보일러를 결합한 한국형 하이브리드발전 시스템 설계기술 확보

가. 1단계 성과목표 및 지표

1 단계별 성과목표

단계(평가주기)	-	기간	2023-2027

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표	한국형 하이브리드발전 설계기술 확보	가중치	1.0	설정 근거	• 한국형 하이브리드발전 설계기술 개발 완료 결과물 확인, 개발된 결과물의 실증 및 신뢰성 확보 여부가 성과목표로 설정 필요	한국형 하이브리드발전 플랜트 상용화 기술개발

2 성과지표

단계별 성과목표명		기중치	성과지표명	단위	구분						지표 유형	질적 지표	성과지표 설정사유
					연도	2023	2024	2025	2026	2027			
성과 목표	한국형 하이브리드발전 플랜트 상용화 기술개발	1.0	논문	-	목표	59.06	62.02	65.12	68.37	71.79	산출 (질)	√	연구개발로 달성한 핵심기술의 과학적 수준을 측정하기 위해 대표적 과학적 성과지표인 '학술지게재 논문지수' 선정
					실적	-	-	-	-	-			
			특허	-	목표	-	-	4.29	4.29	4.29	산출 (질)	√	연구개발로 달성한 핵심기술의 과학적 수준을 측정하기 위해 대표적 기술적 성과지표인 '특허등급 지수' 선정
					실적	-	-	-	-	-			
			기술료	백만원	목표	-	-	-	-	3.87	결과	√	연구성과의 사업화 및 제품화 가능성을 질적을로 측정할 수 있는 경제적 성과지표인 '정부출연금(10억) 당 기술료 징수' 선정
					실적	-	-	-	-	-			
			기술확보율	%	목표	20	40	60	80	100	산출 (질)	√	연구개발로 달성한 성과를 측정할 수 있는 '한국형 하이브리드발전 설계 기술확보율'을 지표로 선정
					실적	-	-	-	-	-			
계													

3 성과지표의 목표치 및 측정방법

<table>
<tr><th>성과지표명</th><th>목표치 설정방법 및 근거</th><th>측정산식 및 방법, 시기</th><th>자료 출처</th></tr>
<tr><td>논문</td><td>• ('22년 목표치) 본 사업은 신규사업으로 최근 5년간('15년-'19년) 플랜트연구사업*의 학술지 게재 논문지수의 평균값(59.06)을 목표치로 설정
*단위사업이자 본 사업과의 유사 기술 분야를 포함하고 있는 세부사업
<table><tr><td>연도</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>평균</td></tr><tr><td>실적지수</td><td>38.21</td><td>53.69</td><td>78.04</td><td>57.01</td><td>68.36</td><td>59.06</td></tr></table>• '23년-'27년 목표치는 질적으로 우수한 논문 성과를 지속적으로 창출하기 위하여 매년 전년도 목표치보다 5% 증가한 값으로 목표치 설정
• 단, 실적치가 미달성될 경우 전년도 목표치를 적용·유지하여 합리적인 목표치 설정</td><td>[측정산식]
• 학술지 게재 논문 지수 = ∑(표준화된 순위보정영향력지수)/∑(SCI(E) 논문 건수)

[측정시기 및 방법]
• 당해연도 말 NTIS에서 검증 완료된 SCI(E) 논문을 대상으로 JCR 분류에 따라 해당 저널 Impact Factor 순위를 확인 후 표준화된 순위보정영향력 지수를 산출
• 동 저널이 여러 분야에 중복되는 경우 각 중복분야에서 학술지가 차지하는 표준화된 순위보정영향력 지수의 평균값을 사용</td><td>국토교통 R&D 사업관리시스템

국가과학기술 지식정보서비스(NTIS)</td></tr>
<tr><td>특허</td><td>• 본 지표는 '22년 신규사업의 성과지표 중 하나로 특허등록 평균기간* 등을 고려하여 '24년 목표치부터 산정
*특허등록 시까지 약 1.5년-2년 소요
• ('24년 목표치) 최근 5년간('15년-'19년) 플랜트연구(R&D)사업의 특허등급지수의 평균값(4.29)을 목표치로 설정
<table><tr><td>연도</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>평균</td></tr><tr><td>실적지수</td><td>5.54</td><td>4.5</td><td>4.35</td><td>3.38</td><td>3.67</td><td>4.29</td></tr></table></td><td>[측정산식]
• 특허 등급 지수 = $\sum_i (A_i \times B_i) / \sum A_i$
(Ai : 등급별 국내외 특허특록 건수, Bi : 특허등급별 가중치)
<table><tr><td>등급</td><td>AAA</td><td>AA</td><td>A</td><td>BBB</td><td>B</td><td>B</td><td>CCC</td><td>CC</td><td>C</td></tr><tr><td>가중치</td><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr></table>[측정시기 및 방법]
• 당해연도 말 NTIS에 등록 완료된 특허등록 실적을 대상으로 한국발명진흥회의 SMART 등급 확인 후 특허등급 지수를 산출</td><td>국토교통 R&D 사업관리시스템

국가과학기술 지식정보서비스(NTIS)

특허정보원 DB</td></tr>
<tr><td>기술료</td><td>• ('27년 목표치) 최근 5년간('15년-'19년) 플랜트연구(R&D)사업의 실적 평균(22.97백만원)을 준용하여, 투입 예산의 비율(16.9%)을 감안하여 목표치(3.87백만원)</td><td>[측정산식]
• 정부출연금(10억)당 기술료 = (기술실시 및 기술이전을 통해 발생하는 기술료 징수액) / 정부출연금</td><td>국토교통 R&D 사업관리시스템

기술실시계약서 등 관련</td></tr>
</table>

<table>
<tr>
<td></td>
<td>설정
※ 플랜트연구사업의 경우, 사업단 및 연구단 규모의 과제가 대다수 포함된 사업으로 연구단 1개로 구성된 본 사업과의 형평성 고려 필요
※ 투입 예산 비율 : 본 사업 투입예산(14,000백만원)/5년간 플랜트연구사업 투입예산(83,086 백만원) X 100 = 16.9%
※ 기술료의 경우 상용화·사업화를 위해 기술확보가 이루어진(연구과제 종료) 이후 실적치 도출이 원활한 지표이며, 본 사업의 경우 연구과제 수행 중에 실적치를 달성하여야 하므로 이는 도전적인 지표임
(단위: 백만원)
<table>
<tr><th>연도</th><th>15</th><th>16</th><th>17</th><th>18</th><th>19</th><th>평균</th></tr>
<tr><td>기술료</td><td>69</td><td>53</td><td>250</td><td>993</td><td>895</td><td>452</td></tr>
<tr><td>예산</td><td>13,806</td><td>10,471</td><td>16,313</td><td>19,976</td><td>22,520</td><td>16,617</td></tr>
<tr><td>10억당 기술료</td><td>5.00</td><td>5.06</td><td>15.33</td><td>49.71</td><td>39.74</td><td>22.97</td></tr>
</table>
</td>
<td>※ (단위) 기술료 징수액 : 백만원, 정부출연금 10억

[측정시기 및 방법]
• 당해연도 말 국토교통 R&D 사업시스템에서 검증된 기술료 확인
• 정량적이고 객관적으로 성과를 검증할 수 있도록 기술실시 계약서 등 증빙자료를 확인한 성과만을 확인</td>
<td>문서</td>
</tr>
<tr>
<td>기술확보율</td>
<td>• ‘한국형 하이브리드발전 설계기술 확보’를 위해 요구되는 핵심기술에 대한 기술개발 성과물*의 누적 확보율을 목표치로 산정
*연도별 핵심기술에 대한 기술개발 성과물은 첨부1 참조</td>
<td>[측정산식]
• 기술확보율 = ∑(누적 핵심기술 성과물 건수) / (1단계 핵심기술 성과물 목표 건수) X 100(%)
※ 해당지표에 대한 핵심기술 성과물 및 검증방법 등의 구체적인 내용은 첨부1 참조

[측정시기 및 방법]
• 당해연도 말 연차평가를 통해서 목표달성 검증 완료된 성과물을 대상으로 기술 확보율 산출</td>
<td>실적평가
성과증빙자료</td>
</tr>
</table>

3. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2027	2023년도 - 2027년도 (총 5년)	한국형 하이브리드발전 플랜트 상용화 기술개발	과제 종료 시점

4. 핵심특허 등 지식재산권 창출 활동 : 해당 사항 없음

5. 성과활용·확산 계획서 제출 계획

사업 종료 연도	성과활용·확산 계획서 제출 연도
2027년	2027년

첨부 1. 한국형 하이브리드발전 플랜트 상용화 기술개발 기술확보율

□ 연구별 연구내용 및 산출물

연도	연도별 연구내용	주요 산출물
2023	• 플랜트 개념설계 기술개발 • 발전소 최적 구성, 용량 검토 • 대상 발전소, 모델 선정 • 플랜트 시스템 엔지니어링 • 한국형 하이브리드발전 플랜트 최적 Configuration 및 Integration 기술개발 • 가스터빈 – 보일러 Tie-in 기술 및 설비 개발 • 미국 DOE와 공동 테스트베드 건설 방안도출 • 수소·암모니아 연료전환 테스트 방안도출	• 개념설계 Data Sheet • 단위구성 기기 Specification, Drawing • 가스터빈-보일러 Tie-in 개념설계 보고서
2024	• 한국형 하이브리드 발전 요소 기술개발 • 가스터빈 – 보일러 연계 기술개발 • 주기기 구조 신뢰성 해석·검증 • BOP·환경설비 검토 • 한국형 하이브리드발전 플랜트 시스템 기술개발 • 한국형 하이브리드발전 플랜트 효율증대 기술 및 설비 개발 • 테스트베드 통합 운영기술 개발(미국 DOE와 공동실증)	• PFD : Process Flow Diagram • P&ID : Piping & Instrumentation Diagram • BOM : Bill of Material • Control Logic, Functional Description • 보일러 버너 도면 • 가스터빈-보일러 연소 공정도
2025	• 주기기 모델 개발 및 설계 • ESS 활용 기술개발 • 건설·운영 기술개발 • 한국형 하이브리드발전 플랜트 최적 운전 방안 개발 • 한국형 하이브리드발전 플랜트 보일러 모델개발 • 한국형 하이브리드발전 플랜트 공정 엔지니어링 및 운영기술 개발	• 가스터빈·보일러·증기터빈 동특성 보고서 • 가스터빈·보일러·증기터빈 운전 매뉴얼 • BOP 개념설계 도서 • ESS 신뢰성 검토 보고서
2026	• 한국형 초초임계압 하이브리드 적용 사업기회 발굴 • 한국형 하이브리드발전 플랜트 실증 수행 기술개발 • 최적운전 방안 개발 및 실증 적용	• 플랜트 운전· 매뉴얼 • 플랜트 운전·유지보수 매뉴얼 • 플랜트 주기기 배치도

	• 실증 플랜트 수행 설계기술 개발	• 플랜트 시공 매뉴얼
2027	• 한국형 초초임계압 하이브리드 적용 사업기회 발굴 • 한국형 하이브리드발전 플랜트 시장 확대 방안 표준화 • 조건별 최적화 표준모델 구축 • 주요기기 모듈화 기술개발	• 플랜트 시운전 절차서 • 플랜트 사업타당성 조사서 • 플랜트 환경 영향 평가 보고서

□ 연도별 산출물 및 검증방법

구분	‘23년	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년	검증방법
한국형 하이브리드발전 플랜트 상용화 기술개발 (누적 소계)	3 (3)	6 (9)	4 (13)	4 (17)	3 (20)	보고서, 시작품, 시제품 등

다. 초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증

사업명 : 초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증

작성자	작성 부서	기술안전 정책과 기술정책과	작성 실무자 및 연락처	기술정책과 최정규 주무관 / 044-201-4994 / choijk75@korea.kr
	작성 책임자	기술정책과장 방현하		국토교통과학기술진흥원 길아영 연구위원/ 031-389-6463 / aygil@kaia.re.kr

1. 사업개요

1 사업명

사업명	단위사업	플랜트연구
	세부사업	플랜트연구
	내역사업	초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증

2 사업목적

사업목적	미세먼지를 포함한 대기오염물질 제거를 위한 EME, Advanced FGD, SCR, ESP와 CO2 포집 설비로 조합된 초청정 환경설비의 설계·제작·운영 기술확보 및 실증

3 사업추진경위

추진 근거	법적 근거	• 국토교통과학기술 육성법 제8조 및 제9조 – 제8조: 연구개발사업의 추진 – 제9조: 융·복합 연구개발의 추진 • 건설기술진흥법 제7조 및 제9조 – 제7조: 건설기술 연구·개발사업 – 제9조: 공동 연구·개발 등 • 해외건설촉진법 제15조의4 – 제15조의4 : 해외건설 정책 및 연구개발 등 지원 • 기계설비법 제 8조 – 제8조 : 기계설비산업의 연구·개발 등 • 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정(국토교통부 훈령) • 「환경기술개발 및 지원에 관한 법률」제5조 –「환경기술개발사업 운영규정」(환경부 훈령 1291호, '17.12) –「정부 조직법」 제39조 수자원의 보전·이용·개발기능 환경부 이관 –「물관리기본법」제39조(조사연구와 기술개발에 관한 지원 등) • 미세먼지 관리대책

		시기 / 대책 2013년 제2차 수도권 대기환경관리 기본계획 (2015-2024) 2015년 제2차 대기환경개선 종합계획 (2016-2025) 2016년 미세먼지 관리 특별대책 (2016.6.3) 2017년 미세먼지 관리 종합대책 (2017.9.26.) 2018년 비상·상시 미세먼지 관리 강화대책 (2018.11.8) 2019년 미세먼지 관리 종합계획(예정)
	상위 계획	• (2014, 산업부) 제2차 에너지기본계획 – 화석 연료 기반의 전통에너지 청정화를 위한 고효율·친환경 화력 발전기술 개발 및 국산화 기술개발 확대 필요 • (2015, 관계부처 합동) 2030 에너지 신산업 확산 전략 – 新기후변화 대응을 위한 '저탄소발전', '에너지 신산업의 수출산업화 추진' 등과 연관됨 • (2016, 정부) 제1차 기후변화대응 기본계획 및 2030 국가온실가스 감축 기본로드맵 – 발전부문 CO2 감축량(6,450만톤) 달성을 위한 CCUS 설비 확대 필요 • (2020, 정부) 2050 탄소중립 및 신재생에너지 전환정책 – 발전·산업 부문 이산화탄소 포집을 위한 설비 설치 필요 • (2021, 과학기술정보통신부) 탄소중립 기술혁신 추진전략 – 탄소중립 기여 10대 핵심기술로 CCUS가 제시되어, 이에 대한 국가적 지원이 필요

4 사업 현황

사업구분	계속사업 □ 기한사업 ■		
사업추진방식	상향식 □ 혼합식 ■ 하향식 □		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	–	참여부처 (다부처사업)	–
사업기간	'23년–'27년	총사업비	–
사업규모	–	지원대상	대학, 출연연, 기업 등
지원형태	기업	지원조건	참여기업이 있는 경우 Matching
사업시행주체	국토교통부(국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	–		

5 사업추진체계 및 전략

사업수행주체	국토교통부 ▪시행계획 심의·확정 → 예산 교부 → 국토교통과학기술진흥원 ▪시행계획 공고 ▪선정·단계·최종 평가 ▪연구비 정산 및 국고반납 → 협약 체결·연구비 지급 → 연구기관 (연구자) ▪연구개발과제 신청 ▪연구개발과제 수행 ▪연구비 사용실적 보고
사업추진전략	추진전략 [플랜트연구사업 전략체계]

비전	2050 탄소중립 실현을 위한 초청정 환경설비 상용화 기술 확보

목표	장기 전략(2023~2027이후)
	▪ 독자기술 개발로 선진국 대비 기술수준 향상 ▪ 국내기술 자립화율 확대 ▪ 기술수준 향상에 따른 해외수출 증가

전략	중점 분야	세부기술 분야
	미세먼지 집진기술	▪ 차세대 미세먼지 집진설비 설계·건설·운전기술 개발
	고효율 탈황·탈질기술	▪ 고효율 황산화물·질소산화물 제어를 위한 Advanced SCR·FGD 기술개발
	이산화탄소 포집 개념설계	▪ 이산화탄소 포집을 위한 플랜트 System Integration ▪ 연소 후 이산화탄소 포집설비 개념설계

- 본 사업은 초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증의 연구개발 및 실증을 효과적으로 수행할 수 있도록 산·학·연 협동 연구 체계를 갖춘 연구단급으로 사업추진
  - 미세먼지저감 국책과제(표준·신표준 발전소 대상 미세먼지 저감 통합 환경설비 솔루션 개발, '16년-'19년)에서 개발된 시스템 및 운전제어 기술 활용
  - 기술의 완성도 제고를 위해 연구기반 구축, 핵심 설계기술 국산화, 실증 플랜트 설계, 건설 및 운영 상용화 기술개발을 단계적으로 추진
  - 국내외 환경설비 및 CCUS 관련 산학연 기관이 참여하는 공동연구를 통하여 개발기술의 완성도 제고 및 시너지 창출
  - 중장기 산업기술개발사업으로 연구개발사업의 성공적인 추진 및 상용화를 위한 국내·외 순환유동층 보일러 연구 산·학·연 기관과 기술교류 및 자문 활용
    → 산업체 : 두산중공업, 현대중공업, STX, KC코트렐 등
    → 대학교 : 연세대, 부산대, 전북대, 호서대, 강원대, 서울시립대 등
    → 연구소 : 전력연구원, 에너지기술연구원, 생산기술연구원, 기계연구원 등
    → 국외 : 미국 환경청 등
  - 실증사이트 발굴 및 상업화 연계를 위한 남동발전, 남부발전, 동서발전 등 국내 발전사와 해외 실증사이트 발굴 및 사업협력
  - 대상 제품의 정책적 지원 유도를 위한 대정부 대상 초청정 환경설비 필요성을 지속적 설득

R&D 전주기 사업관리 계획

- (추진절차) 과제 발굴·기획 → 과제 선정 → 과제 관리 → 과제종료 → 성과활용·확산
  ① (과제 발굴 및 기획) 기술수요조사*를 통해 연구과제를 발굴하고, 필요시 사전 단계로 기획연구 수행(총 연구비 50억원 이상 경우 등)
  * On-line을 통한 상시 수요조사 및 Off-line을 통한 반기별(매년 1월, 7월) 수요조사 병행 추진
  ※ 국가R&D사업 일몰제 도입에 따른 예타성 대형사업 기획연구 추진 중(KAIA 기획그룹)
  ② (신규과제 선정) 사업담당관(실·국)이 우선순위를 매겨 미래전략일자리담당에게 제출하면, 별도 선정회의를 통해 예산편성안에 반영
  * 과기부(4~7월), 기재부(8월), 국회 예산심의(~12월)를 거쳐 신규 추진여부 확정
  ③ (과제 확정 및 관리) 예산에 반영된 신규과제는 진흥원을 통해 차년도에 연구자 선정을 거쳐 평가·성과 관리 등 과제 관리 진행
  ※ 계속사업의 경우, 매년 차년도 투입 예산요구 및 결산, 성과평가 업무 추진
  ④ (과제 종료) 최종 평가를 통해 과제의 성공·실패를 결정
  ⑤ (성과활용·확산) 성과의 활용 및 확산을 위한 성과정보시스템 운영, 추적평가, 공모전, 전시회 등 활동을 정기적으로 추진

- 성과 및 사업화정보 시스템 운영 : 국토교통기술촉진연구사업을 포함한 국토교통 R&D 사업의 성과관리를 위하여 국토교통 R&D 사업관리시스템(http://rnd.kaia.re.kr) 운영
- 추적평가 수행 : 성과의 활용 및 확산을 위하여 종료된 R&D과제를 대상으로 과제 종료 후 5년간 발생성과에 대한 정기적 추적평가를 실시하여 성과의 사후관리를 수행
- 국토교통기술대전 개최 : 매년 국토교통 R&D 성과물에 대한 대국민 홍보와 기술교류 확산을 위해 국토교통 R&D 우수성과 전시 등을 추진
- 국토교통기술 아이디어 공모전 개최 : 국토교통 기술 분야에 대한 국민 관심 증대와 기술저변 확대를 위해 국토교통기술 아이디어를 발굴
- 국토교통 R&D 대표성과 사례집 발간 : 매년 대국민을 대상으로 국토교통 R&D 성과물에 대한 홍보추진을 위해 대표성과 사례집 발간

[사업 추진체계]



<table>
<tr><td>위험요인 및
극복방안</td><td>
<table>
<tr><th>위험요인</th><th>극복방안</th></tr>
<tr><td>• 석탄화력발전소에 대한 국내 부정적 시각</td><td>• 세계 최고 수준, 미세먼지, 이산화탄소, 황산화물, 질소산화물 등 제어기술 확보를 통한, 미세먼지 저감, 탄소중립이 가능한 초청정 환경설비 기술임을 정부·민간에 홍보</td></tr>
<tr><td>• 국산화 기술개발품에 대한 높은 해외시장 진입장벽</td><td>• 중장기 해외시장 점유율 확대를 민간–정부간 기술 Risk Share를 위해 관련 규제 완화, Financing 이슈 재검토, 국산 新기술에 대한 인센티브 부여 등 정책적 지원 필요</td></tr>
<tr><td>• 실증사이트 부재</td><td>• 국내 발전사를 중심으로 산·학·연 공조체제를 구축하여, 해외 실증사이트 상시 모니터링 및 정부의 국제 플랜트 협력사업 적극 활용</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>수혜자</td><td>• 국내 환경설비 제작社 및 제작社에 환경설비 부품을 납품하는 중소기업
• 발전 플랜트 EPC社 : 국내 엔지니어링社 등
• 발전 플랜트 운영社 : 국내 발전社 등
• 발전 플랜트 건설社 : 국내 건설社 등</td></tr>
</table>

6 사업기대효과

과학기술적 기대효과	[과학기술적 기대효과] • EME 등 환경설비 실증을 통한 미세먼지, 황산화물, 질소산화물 대응 혁신기술 확보 • 대기오염물질 초청정 제어를 통한 기존 대비 발전소 오염물질 배출량 제로화 • 초청정 환경설비 및 CCS Ready 기술 구현을 통한 親환경 발전에 기여
사회경제적 기대효과	[사회경제적 기대효과] • 국내 Track Record 조기 확보를 통한 발전플랜트 부문 해외수출 확대 • 기저발전 인프라 구축·적용을 통한, 광범위한 전후방 효과 기대 • 대기오염물질 및 이산화탄소 저감으로 국민 삶의 질 향상 • 균형적 에너지 포트폴리오 구성 달성으로 국가 에너지 안보 달성 • 안정적·경제적 전력공급을 통한 반도체, 자동차 등 국가 핵심산업 경쟁력 우위 달성 • 국내 독자 관련 기술확보로, 해외 선진사 독점견제 • 환경설비 소재·장비·부품 밸류체인 전반에 걸쳐 다양한 산업과 연계하여 경제효과·고용 창출 효과

7 사업 내용

예산규모

(백만원)

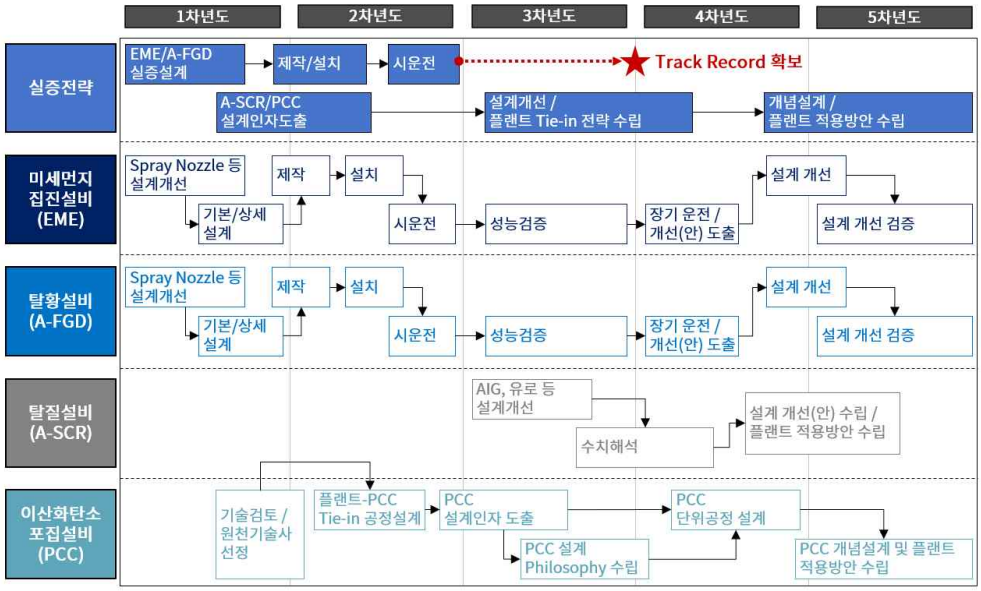
구분		2023년도	2024년도	2025년도	2026년도	2027년도
초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증	총 예산	3,343	5,086	5,143	5,143	2,714
미세먼지 집진설비 실증	총 예산	2,106	3,204	3,240	3,240	1,710
고효율 탈황설계 기술개발	총 예산	568	865	874	874	461
고효율 탈질설계 기술개발	총 예산	401	610	617	617	326
이산화탄소 포집설비 개념설계	총 예산	267	407	411	411	217

세부내용

연구개발내용

내역사업	주요 내용
미세먼지 집진설비 실증	• 고부가가치 시장 진출 및 국산화를 위한 미세먼지 집진설비 실증 - 500MW급 Scale-Up 기본설계 및 상세설계 기술개발 - Retrofit FGD 연계 EME 상세설계 기술개발 - EME 시스템 엔지니어링 및 설치 기술개발 - 시운전을 통한 운전 절차 수립 - 성능 검증 및 장기운전을 통한 개선방안 도출 - 성능 개선방안 검증
고효율 탈황설계 기술개발	• 고효율 탈황설비(FGD, NL-GGH) 위한 설계기술 개발 - 저압 Spray 노즐 개선 등 개선안 검토 - NL-GGH 설계 개선 및 운전데이터 확보를 위한 계측기 검토 - FGD 시스템 개선 기본 및 상세설계 기술개발
고효율 탈질설계 기술개발	• 고효율 탈황설비(SCR) 위한 설계기술 개발 - 성능개선을 위한 탈질시스템 엔지니어링 기술개발 - 유동 개선을 위한 CFD 해석 - 암모니아 주입 그리드(AIG), Gas Flow 등 개선안 도출
이산화탄소 포집설비 개념설계	• CCS ready를 위한 연소 후 이산화탄소 포집설비 설계기술 개발 - 공정사별 기술 검토 및 최적 기술 선정 - Design Criteria 및 Philosophy 개발 - PCC 성능 및 Process Data 획득 - 공종 별 Design Data 및 Specification 수립 - 제어 및 안전 설계 Philosophy 수립

연차별 추진내용(로드맵)


1차년도
2차년도
3차년도
4차년도
5차년도
실증전략
EME/A-FGD 실증설계
제작/설치
시운전
Track Record 확보
A-SCR/PCC 설계인자도출
설계개선 / 플랜트 Tie-in 전략 수립
개념설계 / 플랜트 적용방안 수립
미세먼지 집진설비 (EME)
Spray Nozzle 등 설계개선
제작
설치
기본/상세 설계
시운전
성능검증
장기 운전 / 개선(안) 도출
설계 개선
설계 개선 검증
탈황설비 (A-FGD)
Spray Nozzle 등 설계개선
제작
설치
기본/상세 설계
시운전
성능검증
장기 운전 / 개선(안) 도출
설계 개선
설계 개선 검증
탈질설비 (A-SCR)
AIG, 유로 등 설계개선
수치해석
설계 개선(안) 수립 / 플랜트 적용방안 수립
이산화탄소 포집설비 (PCC)
기술검토 / 원천기술사 선정
플랜트-PCC Tie-in 공정설계
PCC 설계인자 도출
PCC 설계 Philosophy 수립
PCC 단위공정 설계
PCC 개념설계 및 플랜트 적용방안 수립

2. 단계별 성과목표 및 지표

1 전략목표

전략목표	해외시장 진출 Track Record 확보를 위한 EME, Advanced FGD 등 핵심 환경설비 국내 실증

가. 1단계 성과목표 및 지표

1 단계별 성과목표

단계(평가주기)	-	기간	2023-2027

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표	초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증	가중치	1.0	설정 근거	• 초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증 완료 결과물 확인, 개발된 결과물의 실증 및 신뢰성 확보 여부가 성과목표로 설정 필요	초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증

2 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분						지표 유형	질적 지표	성과지표 설정사유
					연도	2023	2024	2025	2026	2027			
성과 목표	초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증	1.0	논문	-	목표	59.06	62.02	65.12	68.37	71.79	산출 (질)	√	연구개발로 달성한 핵심기술의 과학적 수준을 측정하기 위해 대표적 과학적 성과지표인 '학술지게재 논문지수' 선정
					실적	-	-	-	-	-			
			특허	-	목표	-	-	4.29	4.29	4.29	산출 (질)	√	연구개발로 달성한 핵심기술의 과학적 수준을 측정하기 위해 대표적 기술적 성과지표인 '특허등급 지수' 선정
					실적	-	-	-	-	-			
			기술료	백만원	목표	-	-	-	-	4.14	결과	√	연구성과의 사업화 및 제품화 가능성을 질적으로 측정할 수 있는 경제적 성과지표인 '정부출연금(10억) 당 기술료 장수' 선정
					실적	-	-	-	-	-			
			기술확보율	%	목표	20	40	60	80	100	산출 (질)	√	연구개발로 달성한 성과를 측정할 수 있는 '초청정 환경플랜트 상용화 기술확보율'을 지표로 선정
					실적	-	-	-	-	-			
계													

3 성과지표의 목표치 및 측정방법

<table>
<tr><th>성과지표명</th><th>목표치 설정방법 및 근거</th><th>측정산식 및 방법, 시기</th><th>자료 출처</th></tr>
<tr><td>논문</td><td>• ('22년 목표치) 본 사업은 신규사업으로 최근 5년간('15년-'19년) 플랜트연구사업*의 학술지 게재 논문지수의 평균값(59.06)을 목표치로 설정
*단위사업이자 본 사업과의 유사 기술 분야를 포함하고 있는 세부사업
<table><tr><td>연도</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>평균</td></tr><tr><td>실적지수</td><td>38.21</td><td>53.69</td><td>78.04</td><td>57.01</td><td>68.36</td><td>59.06</td></tr></table>• '23년-'27년 목표치는 질적으로 우수한 논문 성과를 지속적으로 창출하기 위하여 매년 전년도 목표치보다 5% 증가한 값으로 목표치 설정
• 단, 실적치가 미달성될 경우 전년도 목표치를 적용·유지하여 합리적인 목표치 설정</td><td>[측정산식]
• 학술지 게재 논문 지수 = ∑(표준화된 순위보정영향력지수)/∑(SCI(E) 논문 건수)

[측정시기 및 방법]
• 당해연도 말 NTIS에서 검증 완료된 SCI(E) 논문을 대상으로 JCR 분류에 따라 해당 저널 Impact Factor 순위를 확인 후 표준화된 순위보정영향력 지수를 산출
• 동 저널이 여러 분야에 중복되는 경우 각 중복분야에서 학술지가 차지하는 표준화된 순위보정영향력 지수의 평균값을 사용</td><td>국토교통 R&D 사업관리시스템

국가과학기술 지식정보서비스(NTIS)</td></tr>
<tr><td>특허</td><td>• 본 지표는 '22년 신규사업의 성과지표 중 하나로 특허등록 평균기간* 등을 고려하여 '24년 목표치부터 산정
*특허등록 시까지 약 1.5년-2년 소요
• ('24년 목표치) 최근 5년간('15년-'19년) 플랜트연구(R&D)사업의 특허등급지수의 평균값(4.29)을 목표치로 설정
<table><tr><td>연도</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>평균</td></tr><tr><td>실적지수</td><td>5.54</td><td>4.5</td><td>4.35</td><td>3.38</td><td>3.67</td><td>4.29</td></tr></table></td><td>[측정산식]
• 특허 등급 지수 = $\sum_i (A_i \times B_i) / \sum A_i$
(Ai : 등급별 국내외 특허특록 건수, Bi : 특허등급별 가중치)
<table><tr><td>등급</td><td>AAA</td><td>AA</td><td>A</td><td>BBB</td><td>B</td><td>B</td><td>CCC</td><td>CC</td><td>C</td></tr><tr><td>가중치</td><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr></table>
[측정시기 및 방법]
• 당해연도 말 NTIS에 등록 완료된 특허등록 실적을 대상으로 한국발명진흥회의 SMART 등급 확인 후 특허등급 지수를 산출</td><td>국토교통 R&D 사업관리시스템

국가과학기술 지식정보서비스(NTIS)

특허정보원 DB</td></tr>
<tr><td>기술료</td><td>• ('27년 목표치) 최근 5년간('15년-'19년) 플랜트연구(R&D)사업의 실적 평균(22.97백만원)을 준용하여, 투입 예산의 비율(18.1%)을 감안하여 목표치(4.15백만원)</td><td>[측정산식]
• 정부출연금(10억)당 기술료 = (기술실시 및 기술이전을 통해 발생하는 기술료 징수액) / 정부출연금</td><td>국토교통 R&D 사업관리시스템

기술실시계약서 등 관련</td></tr>
</table>

<table>
<tr>
<td></td>
<td>설정
※ 플랜트연구사업의 경우, 사업단 및 연구단 규모의 과제가 대다수 포함된 사업으로 연구단 1개로 구성된 본 사업과의 형평성 고려 필요
※ 투입 예산 비율 : 본 사업 투입예산(15,000백만원)/5년간 플랜트연구사업 투입예산(83,086 백만원) X 100 = 31.2%
※ 기술료의 경우 상용화·사업화를 위해 기술확보가 이루어진(연구과제 종료) 이후 실적치 도출이 원활한 지표이며, 본 사업의 경우 연구과제 수행 중에 실적치를 달성하여야 하므로 이는 도전적인 지표임
(단위: 백만원)
<table>
<tr><th>연도</th><th>15</th><th>16</th><th>17</th><th>18</th><th>19</th><th>평균</th></tr>
<tr><td>기술료</td><td>69</td><td>53</td><td>250</td><td>993</td><td>895</td><td>452</td></tr>
<tr><td>예산</td><td>13,806</td><td>10,471</td><td>16,313</td><td>19,976</td><td>22,520</td><td>16,617</td></tr>
<tr><td>10억당 기술료</td><td>5.00</td><td>5.06</td><td>15.33</td><td>49.71</td><td>39.74</td><td>22.97</td></tr>
</table>
</td>
<td>※ (단위) 기술료 징수액 : 백만원, 정부출연금 10억

[측정시기 및 방법]
• 당해연도 말 국토교통 R&D 사업시스템에서 검증된 기술료 확인
• 정량적이고 객관적으로 성과를 검증할 수 있도록 기술실시 계약서 등 증빙자료를 확인한 성과만을 확인</td>
<td>문서</td>
</tr>
<tr>
<td>기술확보율</td>
<td>• ‘초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증’을 위해 요구되는 핵심기술에 대한 기술개발 성과물*의 누적 확보율을 목표치로 산정
*연도별 핵심기술에 대한 기술개발 성과물은 첨부1 참조</td>
<td>[측정산식]
• 기술확보율 = ∑(누적 핵심기술 성과물 건수) / (1단계 핵심기술 성과물 목표 건수) X 100(%)
※ 해당지표에 대한 핵심기술 성과물 및 검증방법 등의 구체적인 내용은 첨부1 참조

[측정시기 및 방법]
• 당해연도 말 연차평가를 통해서 목표달성 검증 완료된 성과물을 대상으로 기술 확보율 산출</td>
<td>실적평가
성과증빙자료</td>
</tr>
</table>

3. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2027	2023년도 - 2027년도 (총 5년)	초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증	과제 종료 시점

4. 핵심특허 등 지식재산권 창출 활동 : 해당 사항 없음

5. 성과활용·확산 계획서 제출 계획

사업 종료 연도	성과활용·확산 계획서 제출 연도
2027년	2027년

첨부 1. 초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증 기술확보율

□ 연구별 연구내용 및 산출물

연도	연도별 연구내용	주요 산출물
2023	• (EME) 500MW급 Scale-up 설계 및 상세설계 • (FGD) 저압 Spray 노즐 등 개선안 검토 • (NL-GGH) 설계 개선 및 운전데이터 확보를 위한 계측기 추가 검토 • (PCC)공정 기술 검토 및 선정	
2024	• (EME) 실증설비 제작, 설치 및 시운전 • (FGD) 실증설비제작, 설치 및 시운전 • (PCC) 기본설계	
2025	• (EME) 성능검증 및 운전최적화 • (FGD) 성능검증 및 운전최적화 • (SCR) AIG, 유로 등 개선안 도출 • (PCC) 성능 및 공정설계 인자 도출 • (PCC) Design Criteria 및 Philosophy 개발	
2026	• (EME) 장기운전을 통한 개선방안 도출 • (FGD, NL-GGH) 탈황설비 운영 및 개선방안 도출 • (SCR) 탈질성능 개선을 위한 CFD 해석 • (PCC) 공정별 주요 Design Data 및 사양 수립	• 100MW급 이상 미세먼지 집진설비 시제품
2027	• (EME) 성능 개선방안 검증 • (FGD) 성능 개선 방안 검증 • (SCR) 탈질설비 개선 설계안 수립 및 기술적용 방안 도출 • (PCC) 개념설계안 수립 및 PCC 기술 적용 방안도출	• 고효율 탈황·탈질 설비 설계기술 • 연소 후 이산화탄소 포집설비 개념 설계기술

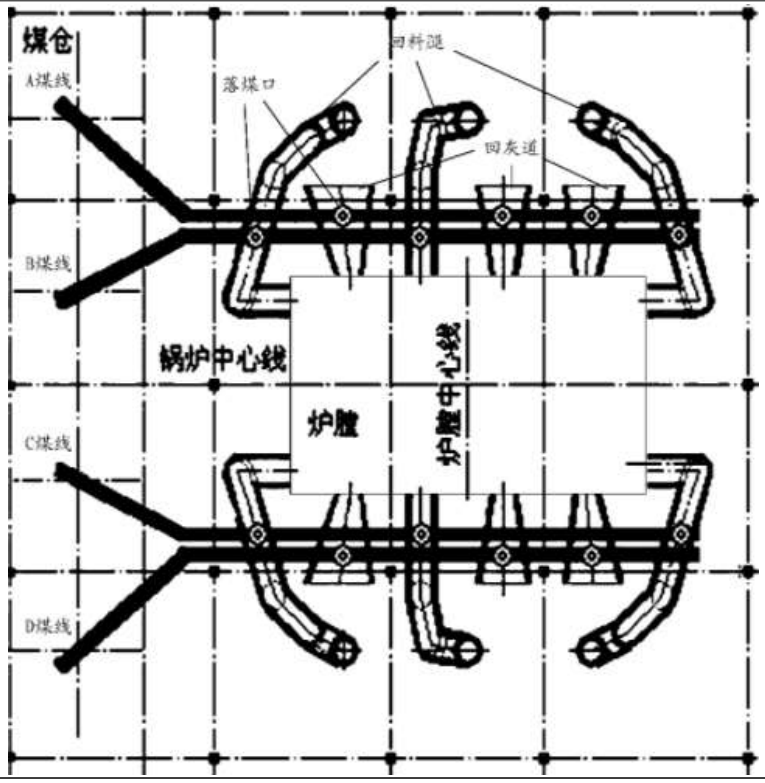
□ 연도별 산출물 및 검증방법

구분	‘23년	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년	검증방법
초청정 환경플랜트 기술개발 및 실증 (누적 소계)	- (-)	- (-)	- (-)	1 (1)	2 (3)	보고서, 시작품, 시제품 등

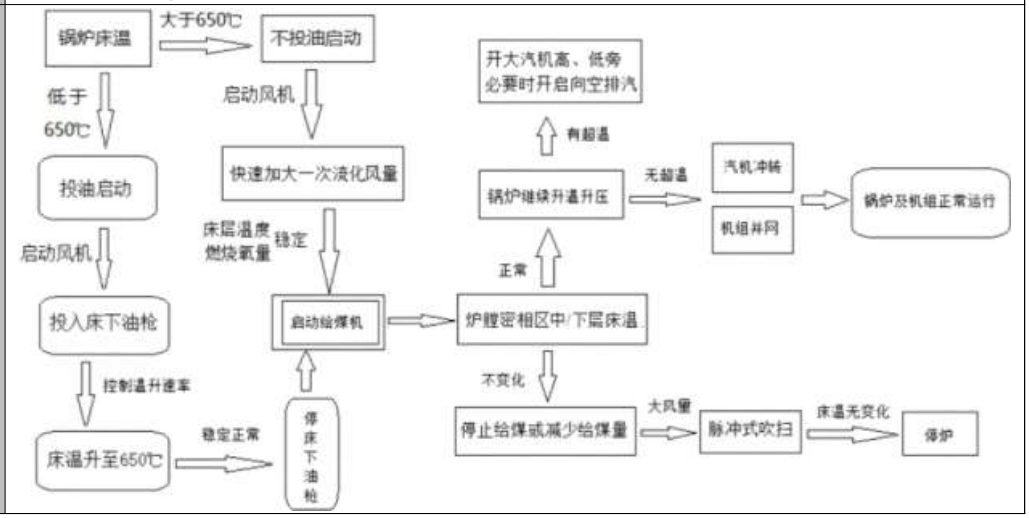
3. 핵심특허 분석 내용

가. 고효율 순환유동층 보일러

[표 143] 핵심특허(1)

발명의 명칭	Method of controlling combustion coal supply of supercritical circulating fluidized bed boiler
특허권자	CHN ENERGY INVEST GROUP CO LTD SHENHUA GUONENG ENERGY GROUP CORP LTD SICHUAN BAIMA CIRCULATING FLUIDIZED BED DEMONSTRATION POWER STATION CO LTD
요약	The invention discloses a method of controlling combustion coal supply of a supercritical circulating fluidized bed boiler. The method comprises the steps of acquiring total fuel energy required by the boiler according to an input instruction of the boiler, wherein a boiler load indicated by the input instruction is matched with the total fuel energy; acquiring actual fuel energy output by the boiler currently; determining coal volume demanded by the boiler according to an energy difference between the total fuel energy and actual total fuel energy, wherein energy generated by burning the coaldemanded by the boiler is matched with the energy difference; and controlling a coal supply system of the boiler to supply coal demanded by the boiler to the boiler. The method solves a technical problem of inaccuracy in coal supply control.
대표도	

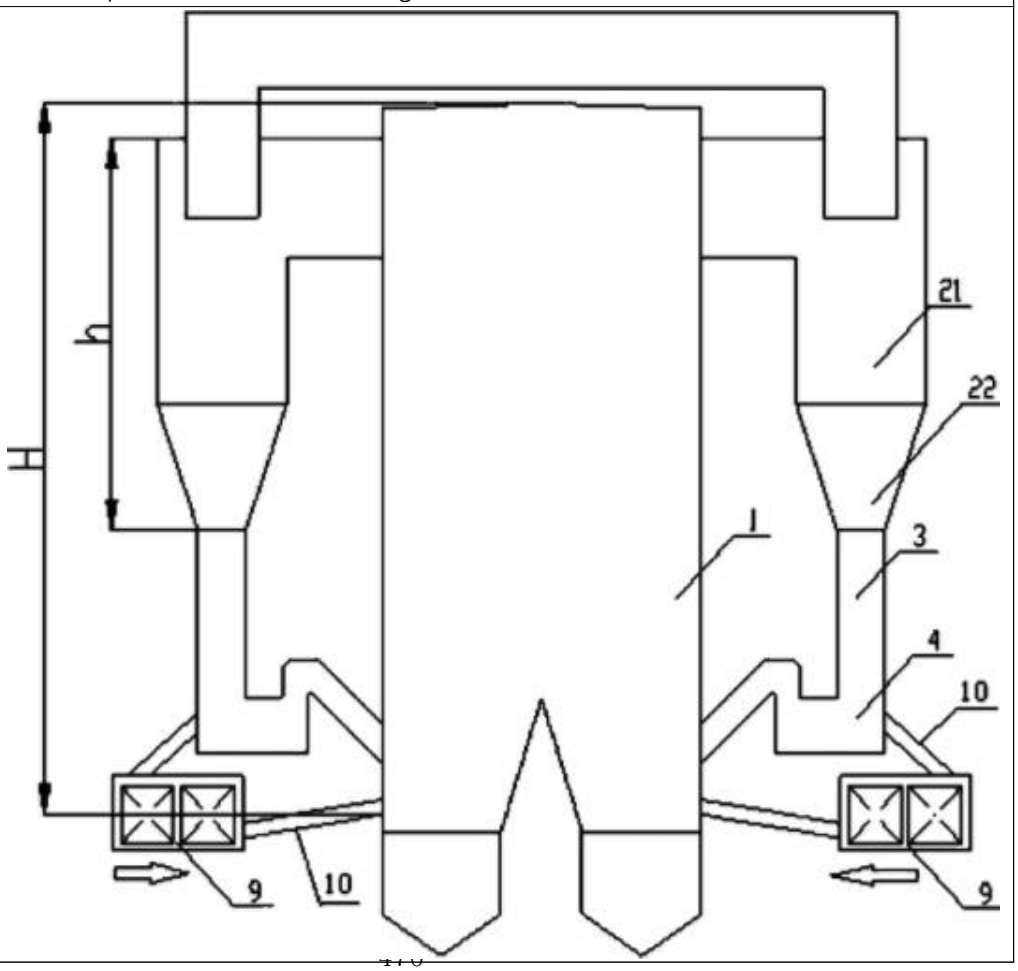
[표 144] 핵심특허(2)

발명의 명칭	Operation regulating method for preventing furnace coking after boiler trip (bt) of supercritical circulating fluidized bed boiler
특허권자	DONGFANG BOILER GROUP CO LTD OF DONGFANG ELECTRIC CORP(CN)
요약	The invention discloses an operation regulating method for preventing furnace coking after a boiler trip (BT) of a supercritical circulating fluidized bed boiler. The operation regulating method comprises the following steps: S1, bed temperature of the boiler is higher than 650 DEG C; S2, a fan is started; S3 primary fluidizing air flow is increased to make temperature rise of middle/lower layer bed temperature of a furnace stable; S4, the primary fluidizing air flow is gradually reduced; S5, a coal feeder is immediately started to perform coal feeding; S6, whether the change of the middle/lower bed temperature of a dense-phase zone of the furnace with the coal quantity and fluidizing air flow, and the differential pressure of the furnace are normal or not is judged, and if normal, S7 is executed, otherwise S10 is executed; S7, whether the boiler is overheated or not is judged, and if the boiler is overheated, S8 is executed, otherwise S9 is executed; S8, high-pressure and low-pressurebypasses of a steam turbine are opened wide; S9, the boiler and a unit operate normally; and S10, coal feeding is stopped or the coal feeding rate is reduced, then, pulse-type purging is performed, and the boiler is shut down if improvements fail. The operation regulating method can effectively avoid the problems that restarting failure of the boiler and the unit accident shutdown are caused by furnace coking caused by explosive burning of stacked fuel in the boiler in the restarting process after the BT of the supercritical circulating fluidized bed (CFB) boiler to cause rapid sharp rising of the bed temperature.
대표도	

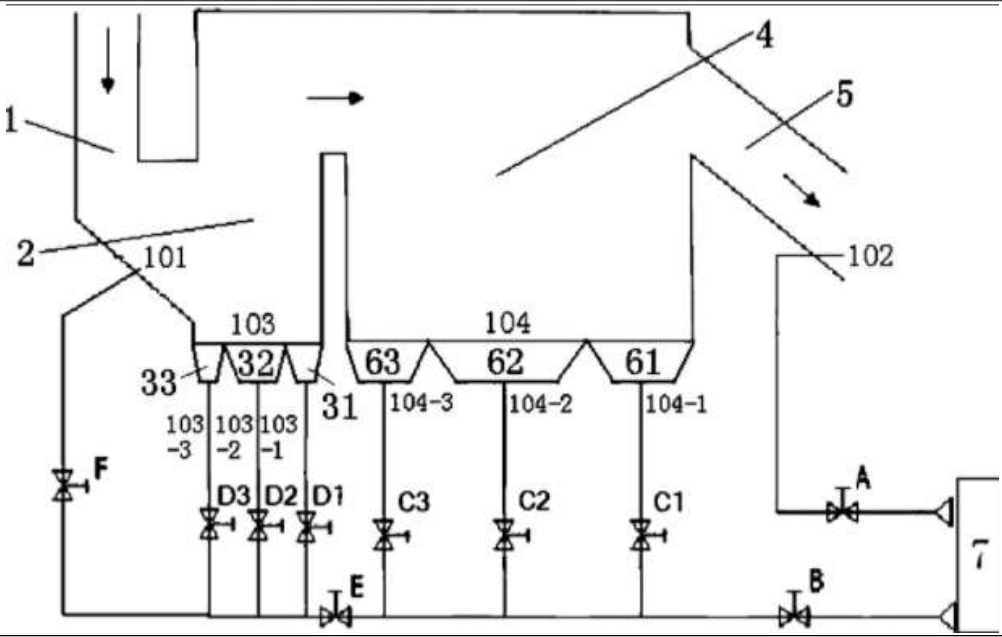
[표 145] 핵심특허(3)

발명의 명칭	A supercritical circulating fluidized bed boiler external heat exchanger of the commis method
특허권자	DONGFANG BOILER GROUP CO LTD OF DONGFANG ELECTRIC CORP
요약	The invention discloses a commissioning method of an external heat exchanger of a supercritical circulating fluidized bed boiler. To solve the existing problems in a conventional external heat exchanger commissioning process, by commissioning the external heat exchanger of the large (super) supercritical circulating fluidized bed boiler, adopting appropriate commissioning time and an appropriate commissioning mode, improving automatic control logic and preventing an ash control valve from vibrating, substantial fluctuation of a hearth bed temperature and an outlet steam temperature of the external heat exchanger is avoided effectively, smooth commissioning and safe operation of the external heat exchanger and the (super) supercritical circulating fluidized bed boiler are ensured, technicalsupport and an operation guide can be provided for subsequent reliable commissioning and running debugging of the external heat exchanger of the (super) supercritical circulating fluidized bed boiler, and the commissioning method has good social benefits.
대표도	-

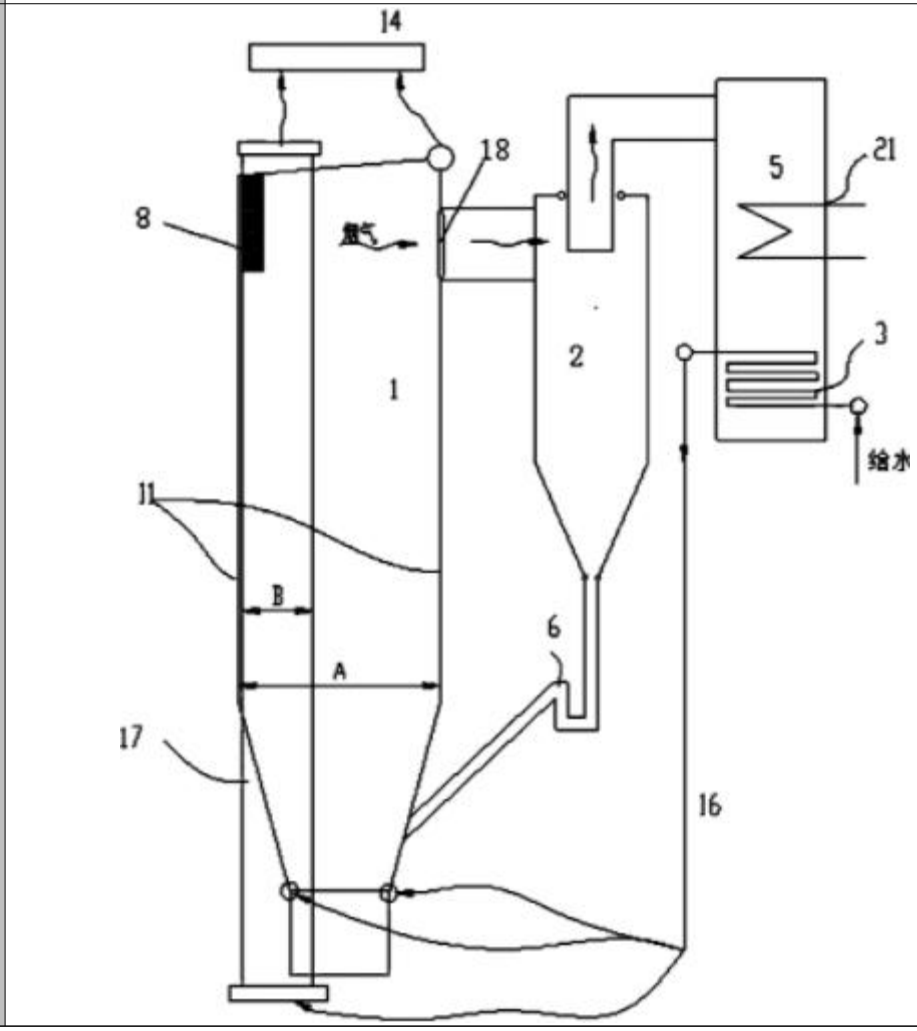
[표 146] 핵심특허(4)

발명의 명칭	1000 mw supercritical parameters of the circulating fluidized bed boiler
특허권자	DONGFANG BOILER GROUP CO LTD OF DONGFANG ELECTRIC CORP
요약	Provided is a 1000 MW ultra-supercritical parameter circulating fluidized-bed boiler, comprising a furnace chamber (1), a cyclone separator (2), and a standpipe (3) and material-feedback apparatus (4) connected to the cyclone separator solid-state outlet and the furnace chamber; the cyclone separator (2) consists of a columnar section (21) at its top and a conical section (22) at its bottom; the furnace chamber (1) is enclosed by four water walls, and comprises, in sequence along the direction of flow of smoke, a separator-outlet horizontal smoke channel (5), a separator-outlet smoke channel to a tail-part vertical-shaft connecting smoke channel (6), and a tail-part vertical shaft (7); the furnace chamber (1) employs a structure of a single furnace chamber and multiple air-distribution plates or a structure of a ring-shaped furnace chamber and a ring-shaped air-distribution plate, the quantity n of air-distribution plates of the single furnace chamber and multiple air-distribution plates being n≥2; the ratio of the height H of the material-feedback apparatus running along the material-return opening of the furnace chamber to the furnace roof to the total height h of the separator is H/h≥2; the quantity of cyclone separators is not less than 8, and are divided into two groups of center symmetrical arrangements arranged around the center of the furnace chamber or axially symmetric arrangements along the axis of symmetry of the furnace chamber. The invention implements a 1000 MW ultra-supercritical circulating fluidized-bed boiler having different steam parameters and using different fuels.
대표도	

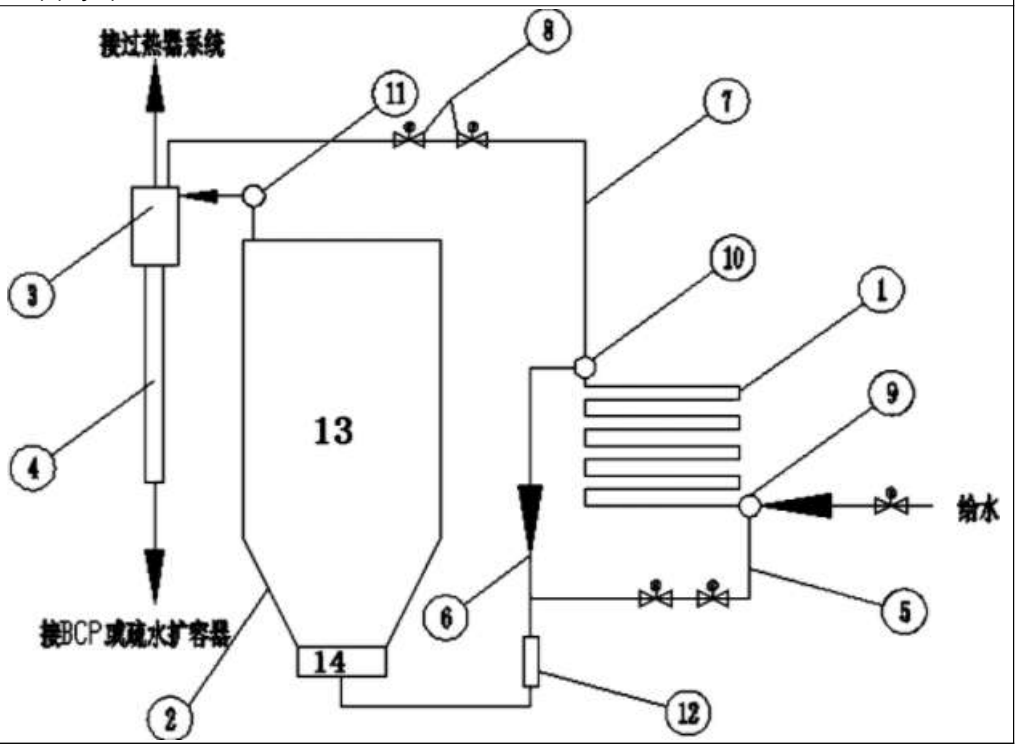
[표 147] 핵심특허(5)

발명의 명칭	A supercritical circulating fluidized bed boiler of the external heat exchanger for uniformly distributing system
특허권자	DONGFANG BOILER GROUP CO LTD OF DONGFANG ELECTRIC CORP
요약	The invention discloses an even air distributing system for an external heat exchanger of a supercritical circulating fluidized bed boiler. An air bin fluidized air chamber is arranged under an air bin and composed of a plurality of independent sub-air bin fluidized air chambers. A heat exchange bin fluidized air chamber is arranged under a heat exchange bin and composed of a plurality of independent sub-heat exchange bin fluidized air chambers. The even air distributing system comprises inlet ash channel purging air, outlet ash channel purging air, air bin fluidized air and heat exchange bin fluidized air, wherein the inlet ash channel purging air is arranged in an inlet ash channel; the outlet ash channel purging air is arranged in an outlet ash channel; the air bin fluidized air is composed of sub-air bin fluidized air arranged in all the sub-air bin fluidized air chambers; the heat exchange bin fluidized air is composed of sub-heat exchange bin fluidized air arranged in all the sub-heat exchange bin fluidized air chambers. Air-supply pipelines for the inlet ash channel purging air, the outlet ash channel purging air, the sub-air bin fluidized air and the sub-heat exchange bin fluidized air are each provided with a regulating valve.
대표도	

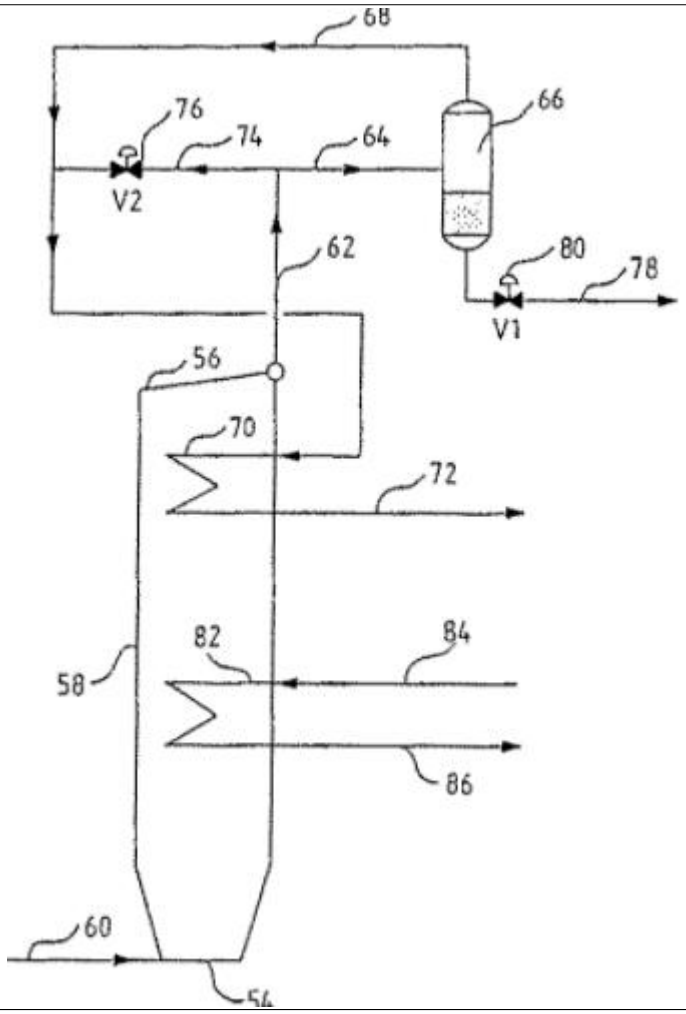
[표 148] 핵심특허(6)

발명의 명칭	In the low-load high flow stability under supercritical circulating fluidized bed boiler water
특허권자	DONGFANG BOILER GROUP CO LTD OF DONGFANG ELECTRIC CORP
요약	A water wall of a supercritical circulating fluidized bed boiler having high flow stability at a low load, and method of providing a low mass flow rate. The circulating fluidized bed boiler comprises a surrounding water wall (11) and a mid-partition water wall (17) of a furnace (1) having a low mass flow rate, and a working medium flows in the surrounding water wall (11) and the mid-partition water wall (17) connected in parallel. Tubes of the surrounding water wall (11) and the mid-partition water wall (17) have a greater inner diameter at locations having a steam content greater than 50% than locations having a steam content less than 50%, and the portion of the tubes having the greater inner diameter has a cross section area 1.05-3 times of a cross section area of the portion of the tubes having the smaller inner diameter. The water wall of the supercritical circulating fluidized bed boiler realizes a low mass flow rate, and addresses the problems of an increased water wall area and furnace height when the mass flow rate is low. In addition, the water wall of the supercritical circulating fluidized bed boiler addresses the problem of lower flow stability at a low load, thus preventing a negative feedback from happening in a water wall system.
대표도	

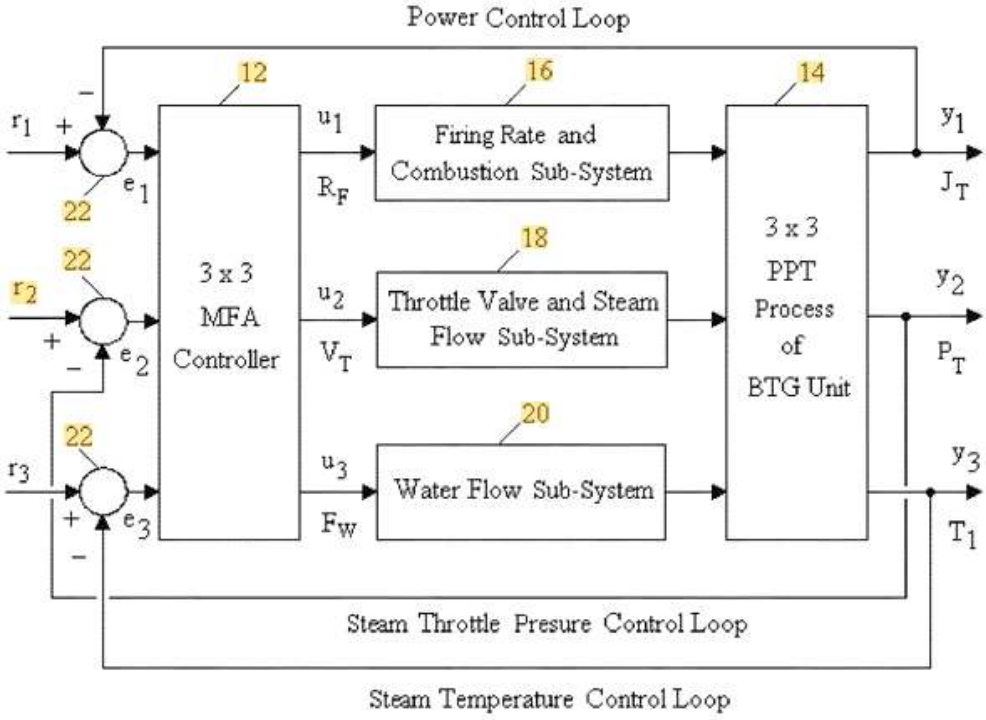
[표 149] 핵심특허(7)

발명의 명칭	A supercritical circulating fluidized bed boiler water circulation system
특허권자	DONGFANG BOILER GROUP CO LTD OF DONGFANG ELECTRIC CORP
요약	The invention relates to the field of boilers, and in particular, to a supercritical water-vapor circulation system of a circulating fluidized bed boiler. The supercritical water-vapor circulation system comprises: a water cooling wall (2); an economizer (1) configured to provide water to the water cooling wall (2); a pressure balance pipeline (7); and an economizer bypass pipe (5). The pressure balance pipeline (7) comprises one end connected via a valve to an outlet of the economizer (1) or to a pipeline or equipment communicated with the outlet of the economizer (1), and another end connected to a pipeline or equipment between an outlet of the water cooling wall (2) and a superheater system. The economizer bypass pipe (5) comprises one end connected via a valve to an inlet of the economizer (1) or to a pipeline or equipment communicated with the inlet of the economizer (1), and another end connected to an inlet of the water cooling wall (2), or to a pipeline or equipment communicated with the inlet of the water cooling wall (2). In addition, the economizer bypass pipe (5) has an inlet height exceeding an outlet height thereof. The system can effectively protect a heated surface of the water cooling wall (2) when a water supply provided to the boiler is disconnected.
대표도	

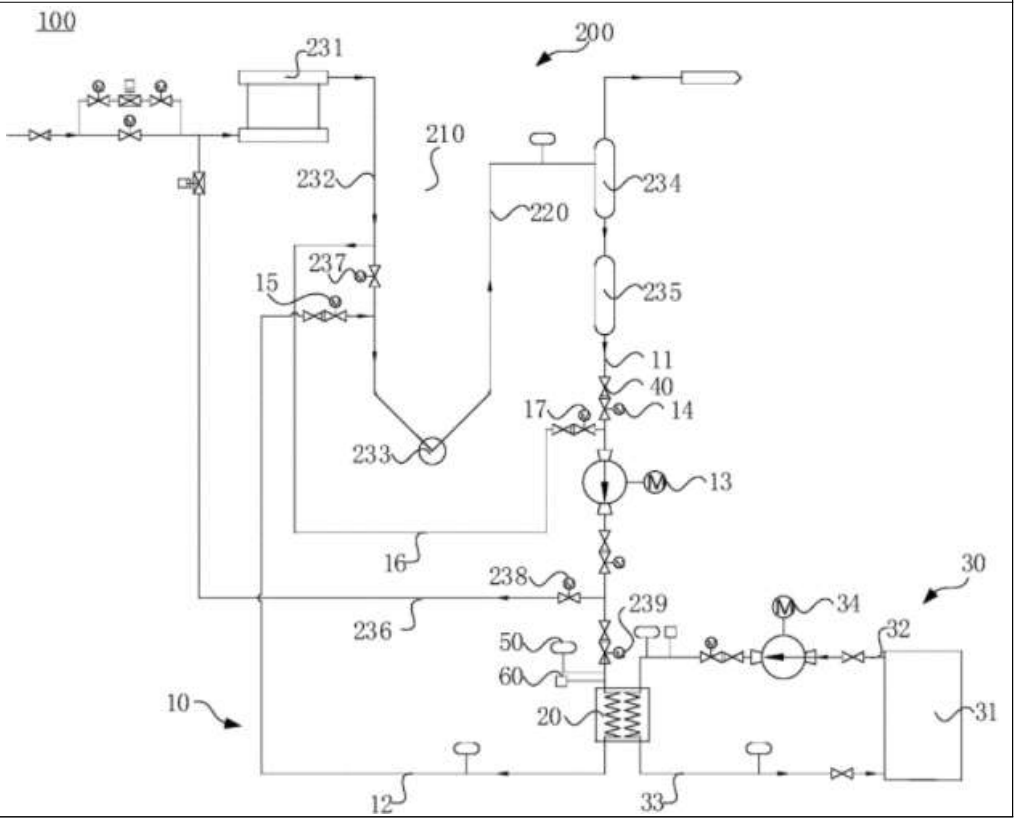
[표 150] 핵심특허(8)

발명의 명칭	Supercritical steam pressurized circulating fluidized bed boiler
특허권자	DONGFANG BOILER GROUP CO LTD OF DONGFANG ELECTRIC CORP
요약	The invention relates to the field of boilers, and in particular, to a supercritical water-vapor circulation system of a circulating fluidized bed boiler. The supercritical water-vapor circulation system comprises: a water cooling wall (2); an economizer (1) configured to provide water to the water cooling wall (2); a pressure balance pipeline (7); and an economizer bypass pipe (5). The pressure balance pipeline (7) comprises one end connected via a valve to an outlet of the economizer (1) or to a pipeline or equipment communicated with the outlet of the economizer (1), and another end connected to a pipeline or equipment between an outlet of the water cooling wall (2) and a superheater system. The economizer bypass pipe (5) comprises one end connected via a valve to an inlet of the economizer (1) or to a pipeline or equipment communicated with the inlet of the economizer (1), and another end connected to an inlet of the water cooling wall (2), or to a pipeline or equipment communicated with the inlet of the water cooling wall (2). In addition, the economizer bypass pipe (5) has an inlet height exceeding an outlet height thereof. The system can effectively protect a heated surface of the water cooling wall (2) when a water supply provided to the boiler is disconnected.
대표도	

[표 151] 핵심특허(9)

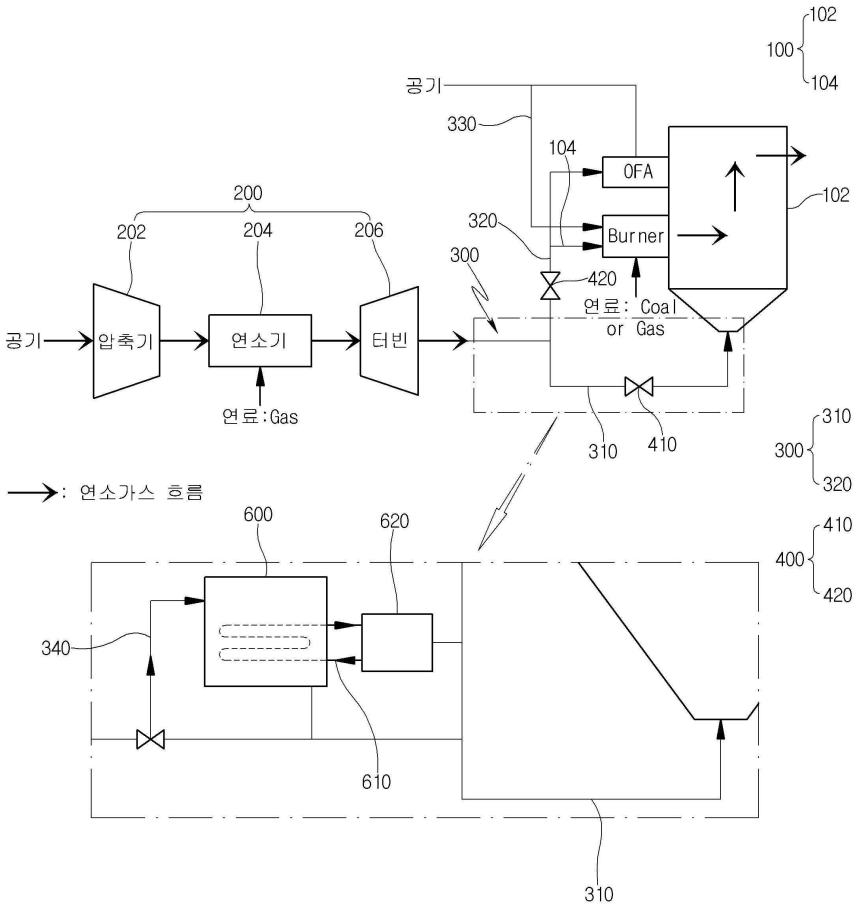
발명의 명칭	Model-free adaptive control of supercritical circulating fluidized-bed boiler
특허권자	General Cybernation Group, Inc.(US)
요약	A novel 3-Input-3-Output (3×3) Fuel-Air Ratio Model-Free Adaptive (MFA) controller is introduced, which can effectively control key process variables including Bed Temperature, Excess O2, and Furnace Negative Pressure of combustion processes of advanced boilers. A novel 7-input-7-output (7×7) MFA control system is also described for controlling a combined 3-Input-3-Output (3×3) process of Boiler-Turbine-Generator (BTG) units and a 5×5 CFB combustion process of advanced boilers. Those boilers include Circulating Fluidized-Bed (CFB) Boilers and Once-Through Supercritical Circulating Fluidized-Bed (OTSC CFB) Boilers.
대표도	

[표 152] 핵심특허(10)

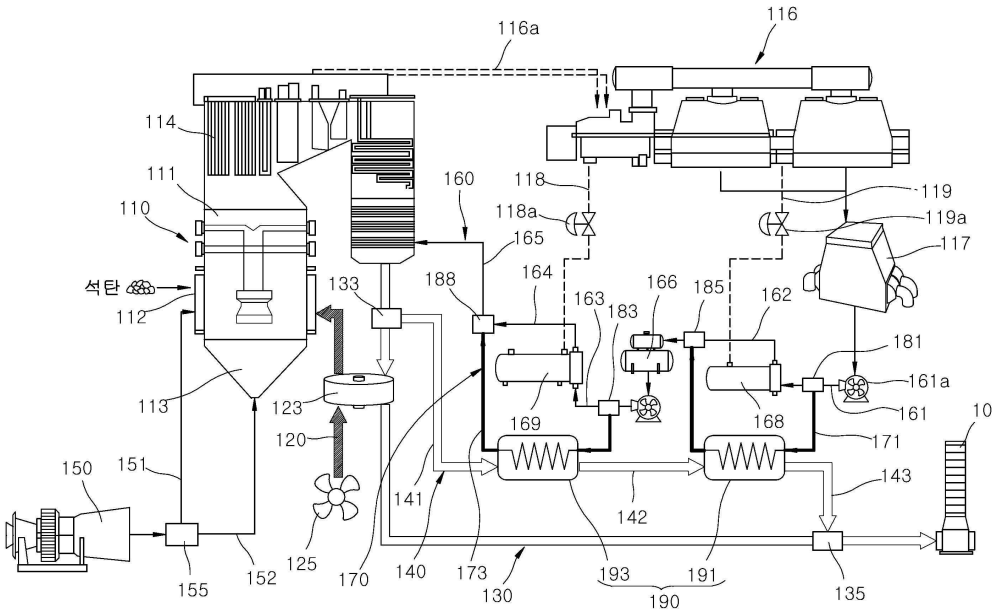
발명의 명칭	Emergency cooling system for supercritical circulating fluidized bed boiler and control method thereof
특허권자	GUANGDONG ELECTRIC POWER DESIGN INST OF CHINA ENERGY ENG GROUP CO LTD(CN)
요약	The invention relates to an emergency cooling system for a supercritical circulating fluidized bedboiler and a control method thereof. The emergency cooling system comprises a heat exchanger, a furnace water circulation cooling device and an external circulation cooling device, wherein the furnace water circulation cooling device and the external circulation cooling device are connected with the heat exchanger correspondingly; when a boiler water supply is interrupted, the heat storage capacity of a hearth and castable in the hearth are continuously transferred into an external circulation cooling device through water from a coal economizer collection box or a water storage tank and a cooling medium in a storage container which are fully exchanged in the heat exchanger, so that the purposeof the emergency cooling of the bedboiler is achieved. The emergency cooling system for the supercritical circulating fluidized bedboiler and the control method thereof are provided, wherein the liftof a furnace water circulation pump and the lift of an external circulation pump only overcome the resistance of the heat exchanger and the resistance of a pipeline, power is not high and a diesel engine driven is not needed, so that the initial investment of a system is low, the operation and maintenance workload of a later-stage equipment is low.
대표도	

나. 하이브리드발전

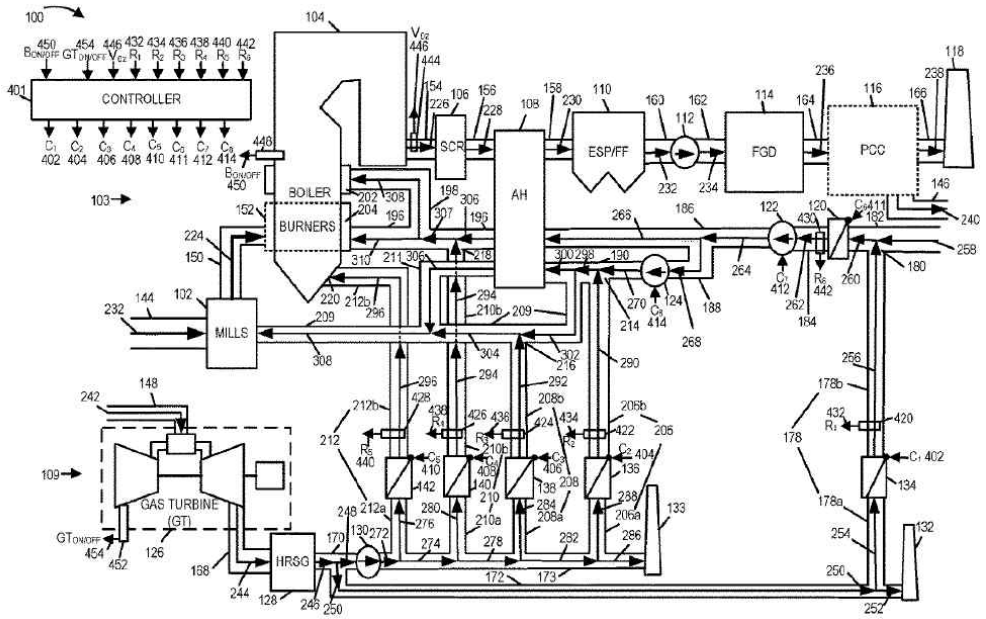
[표 153] 핵심특허(11)

발명의 명칭	하이브리드 발전 장치
특허권자	두산중공업 주식회사
요약	하이브리드 발전 장치가 개시된다. 본 발명의 일 실시 예에 의한 하이브리드 발전 장치는 퍼니스(Furnance)와, 상기 퍼니스를 향해 연장된 다수개의 분기 덕트를 통해 공급된 연소 공기를 연소기켜 상기 퍼니스로 화염을 공급하는 버너 유닛을 포함하는 퍼니스 유닛; 압축기와 연소기와 터빈을 포함하고 상기 터빈에서 연소 가스가 발생되는 가스 터빈 유닛; 상기 가스 터빈 유닛에 일단이 연결되고 타단이 상기 퍼니스 유닛과 연결되며 상기 가스 터빈 유닛에서 발생된 연소 가스를 상기 퍼니스 유닛으로 공급하기 위해 구비된 공급관; 상기 공급관에 설치된 조절 밸브 유닛; 및 상기 퍼니스 유닛이 구비된 화력 발전소에서 생성된 전력을 공급받는 수용처의 전력 수요에 따라 상기 가스 터빈 유닛과 상기 퍼니스 유닛의 작동 상태를 선택적으로 제어하는 제어부를 포함한다.
대표도	

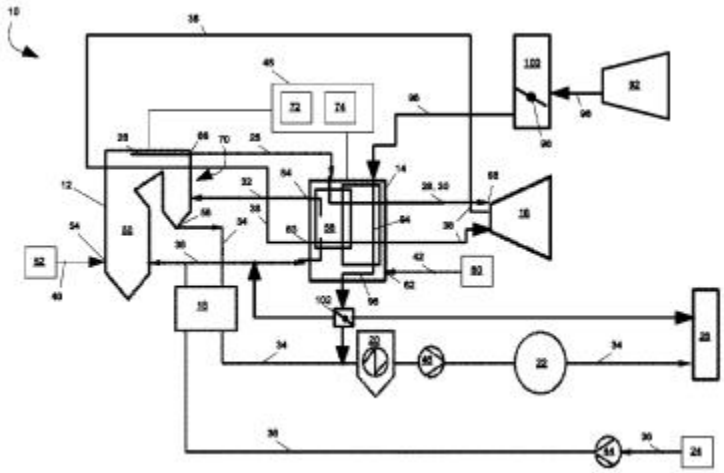
[표 154] 핵심특허(12)

발명의 명칭	하이브리드 발전 장치
특허권자	한국전력공사
요약	하이브리드 발전장치에 대한 발명이 개시된다. 하이브리드 발전장치는: 가스연료를 연소하여 구동되는 가스 터빈; 가스 터빈에서 배출되는 공급가스가 유동되고, 보일러의 버너부에 연결되는 보일러 버너측 핫가스 공급덕 트; 가스 터빈에서 배출되는 공급가스가 유동되고, 상기 보일러의 호퍼부에 연결되는 보일러 호퍼측 핫가스 공급 덕트; 및 보일러 버너측 핫가스 공급덕트와 보일러 호퍼측 핫가스 공급덕트에 연결되고, 보일러 버너측 핫가스 공급덕트와 보일러 호퍼측 핫가스 공급덕트에 유량분배를 조절하는 가스터빈 출구가스 유량분배기를 포함하고, 가스터빈 출구가스 유량분배기는 가스 터빈에서 배출되는 가스가 보일러 버너측 핫가스 공급덕트와 보일러 호퍼 측 핫가스 공급덕트에 분배되는 비율을 조정하는 것을 특징으로 한다.
대표도	

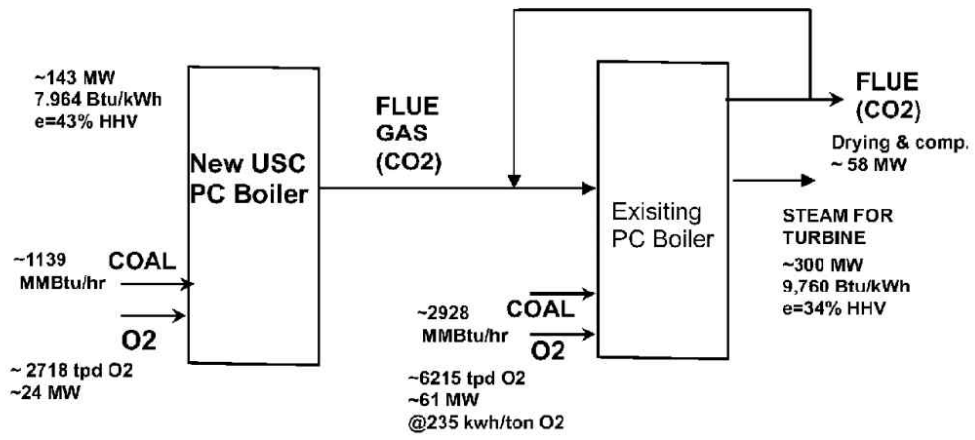
[표 155] 핵심특허(13)

발명의 명칭	Power Plant Methods and Appratus
특허권자	Mitsubishi Hitachi Power Systems America
요약	가스 터빈 시스템 및 석탄 연소 보일러 시스템을 포함하는 하이브리드 발전소 시스템은 고산소 함량 가스 터빈 연도 가스를 석탄 연소 보일러 시스템에 입력하며, 상기 가스 터빈 연도 가스는 또한 방출되기보다는 포집되기를 원하는 이산화탄소를 포함합니다. 분위기. 가스 터빈 연도 가스의 산소는 석탄 연소 보일러에서 소비되어 상대적으로 산소 함량이 낮은 보일러 연도 가스 흐름이 처리됩니다. 원래 가스터빈 연도 가스에 포함된 이산화탄소는 석탄 연소로 생성된 탄소 다이오드와 함께 석탄 연소 보일러 시스템의 연소 후 포집 장치에 의해 포집됩니다. 보일러 시스템에 입력되는 가스 터빈 연도 가스의 공급은 산소 센서 측정 및 하나 이상의 유량 측정을 기반으로 하는 컨트롤러에 의해 댐퍼 및/또는 팬을 사용하여 제어됩니다.
대표도	

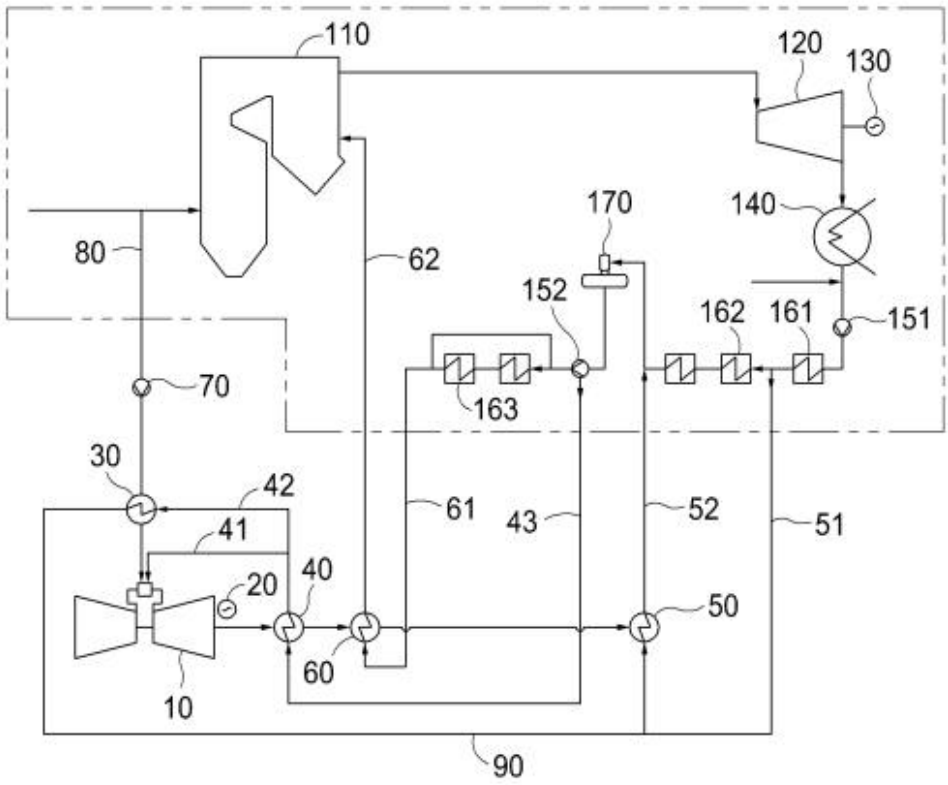
[표 156] 핵심특허(14)

발명의 명칭	System and method for providing supercritical steam
특허권자	GENERAL ELECTRIC TECHNOLOGY GMBH
요약	제1 연료를 연소시켜 증기를 발생시키는 제1 보일러, 및 제2 연료를 연소시켜 발생된 증기를 초임계 증기 온도로 가열하는 도관을 통해 제1 보일러에 유체적으로 연결된 제2 보일러를 포함하는 초임계 증기를 제공하기 위한 시스템. 도관의 제1 온도는 임계 부식 온도 미만일 수 있고 도관의 제2 온도는 임계 부식 온도 이상일 수 있다. 상기 제1 보일러 및 제2 보일러의 복합 탄소 배출량은 상기 제1 연료만을 연소시키는 보일러를 이용하여 증기를 초임계 증기 온도로 생성 및 가열하는 조합 탄소 배출량보다 작을 수 있다. 제1 보일러는 가스 터빈에 의해 생성된 연도 가스를 통해 생성된 증기를 초임계 증기 온도로 가열하는 열교환기에 유체 연결될 수 있다.
대표도	

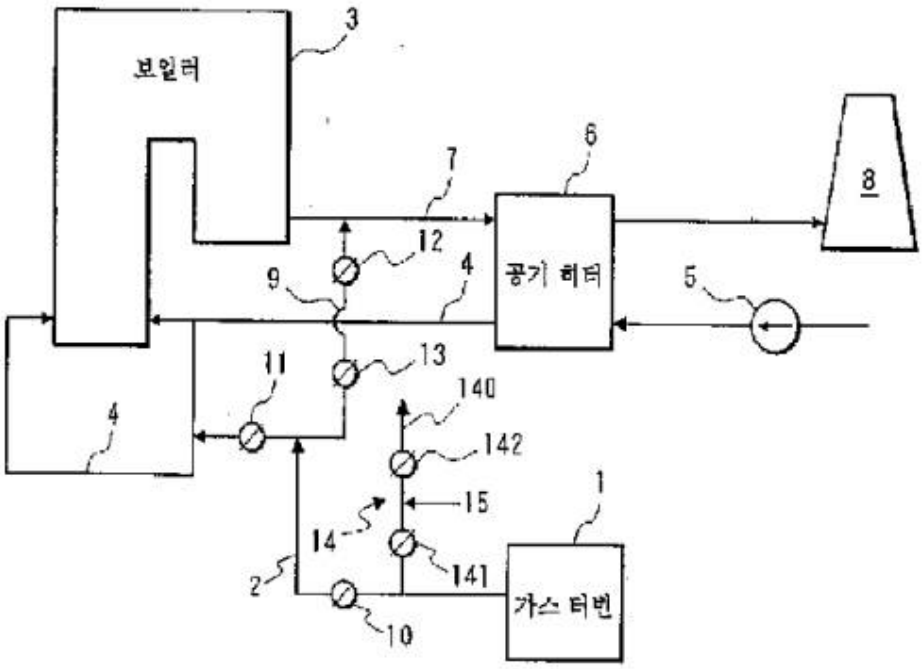
[표 157] 핵심특허 (15)

발명의 명칭	HYBRID OXY-FUEL BOILER SYSTEM
특허권자	Hisashi Kobayashi
요약	산소 연소 작동으로 전환된 유틸리티 보일러와 같은 공기 연소 연소 장치 및 두 번째 산소 연소 연소 장치는 상류에 작동 가능하게 연결되어 연도 가스가 첫 번째 장치의 연소실로 공급됩니다
대표도	

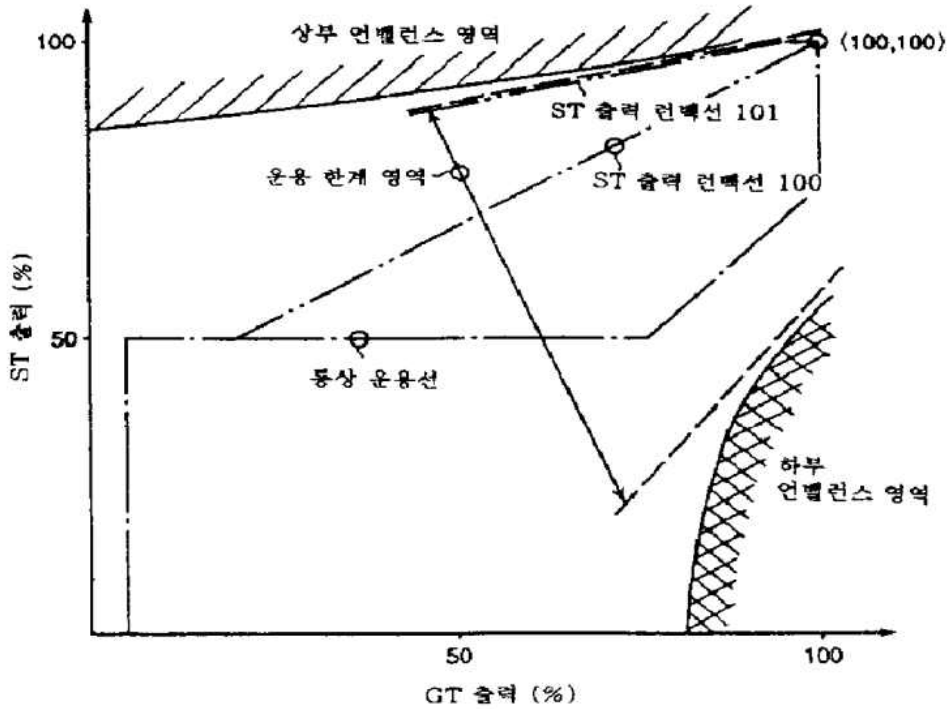
[표 158] 핵심특허(16)

발명의 명칭	가스터빈을 이용한 복합 발전설비
특허권자	주식회사 포스코건설
요약	본 발명은 가스터빈을 이용한 복합 발전설비에 관한 것으로서, 스팀을 이용하여 승온된 급수를 사용하고 가스의 연소에 의해 회전되는 가스 터빈부와, 회전에 의해 발전되는 가스 발전부와, 연료를 승온시키도록 열교환되는 연료용 열교환부와, 배출열을 회수하도록 열교환되는 제1 배열회수 열교환부와,배출수를 열교환시키는 배출수 열교 환부를 포함하는 것을 특징으로 한다. 따라서 본 발명은 스팀터빈의 발전설비에 가스 터빈부와 가스 발전부와 연료용 열교환부와 제1 배열회수 열교환부와 배출수 열교환부를 구비한 가스터빈 발전설비를 병합하여 복합적을 발전함으로써, 화력발전소의 전체 시스템을 재구성하여 발전출력 및 발전효율을 향상시킬 수 있는 효과를 제공한다.
대표도	

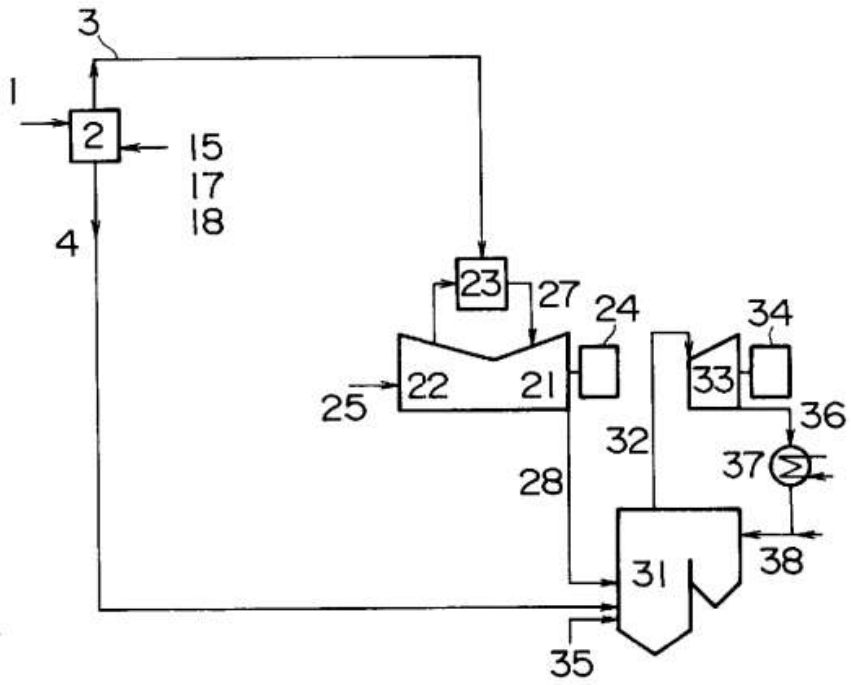
[표 159] 핵심특허(17)

발명의 명칭	완전 연소 조합식 플랜트
특허권자	히타치
요약	본 발명의 완전 연소 조합식 플랜트는 보일러와, 상기 보일러로 가열된 공기를 공급하기 위해 공기 히터가 제공된 보일러 공기 공급 라인과, 가스 터빈과, 상기 가스 터빈으로부터 상기 보일러 공기 공급 라인내로 배출 가스를 안내하기 위해 공기 히터의 하류측에서 상기 가스 터빈과 상기 보일러 공기 공급 라인에 연결된 가스터빈 배출가스 라인과, 상기 가스 터빈의 운전 정지 시에 상기 가스터빈 배출가스 라인을 차단하기 위해 상기 가스터빈 배출가스 라인상에 제공된 차단 수단과, 상기 차단 수단의 상류측 상에서 상기 가스터빈 배출가스 라인을 환기시키기 위해 가스 터빈 배출 가스 유동에 대해 상기 차단 수단의 상류측에서 상기 가스터빈 배출가스 라인에 제공된 환기 장치를 포함한다.
대표도	

[표 160] 핵심특허(18)

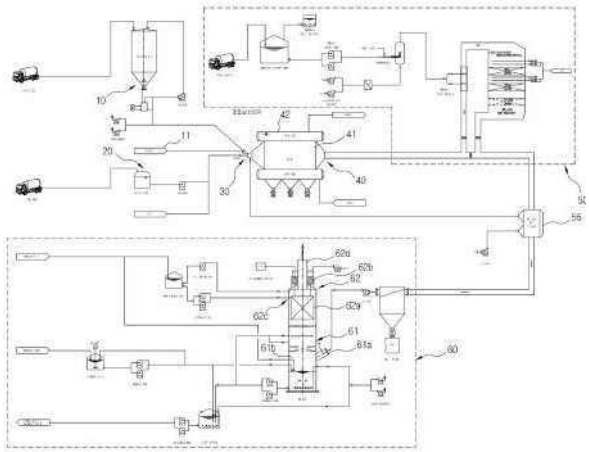
발명의 명칭	배기 재연소 플랜트
특허권자	히타치
요약	본 발명은 배기 재연소 플랜트에 있어서 GT 출력의 급격한 저하시에도 GT의 출력 언밸러스 영역에 돌입해버리는 일 없이 ST 출력을 저감하는 것을 목적으로 한다.GT 출력의 저하에 대하여 ST 출력의 운용 한계 영역을 설정하고, GT출력의 급격한 하시에는 그 영역내에서 ST출력을 저하시킨다. 또, 운전 한계 영역내의 임의의 선을 ST출력 런백선으로서 설정하고, 이 선상에서만 ST 출력을 저하시킨다. GT출력을 급격한 저하시에도 언밸런스 영역에 돌입하지 않고, ST출력을 저감할 수 있다.
대표도	

[표 161] 핵심특허(19)

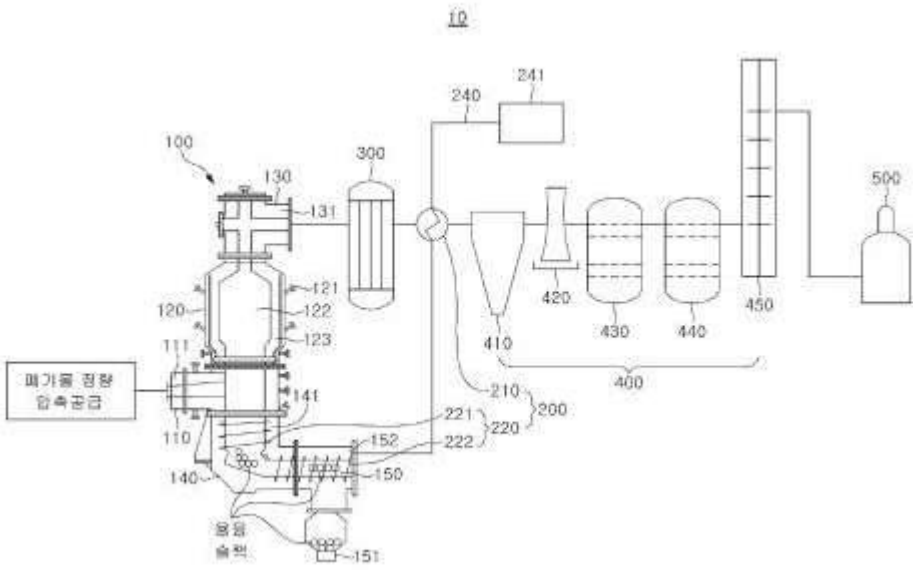
발명의 명칭	발전방법 및 발전장치
특허권자	MHI
요약	보일러 전용 연소연료를 부분처리하여 유출분과 잔여분으로 분리하여, 유출분을 경우에 따라 유출분에 가스터빈방향 연료를 가하여, 가스터빈에 공급하여 발전하고, 그 연소 배기가스를 보일러에 공급하여 잔여분을, 경우에 따라 잔여분에 보일러 전용 연소연료를 가하여 연소시켜, 얻어진 증기에 의하여 발전을 실시한다. 이것에 의하여, 가격이 싼 석탄, 중질유, 플라스틱 폐기물 등의 보일러 전용 연소연료나, 경우에 따라 가스터빈방향 연료를 이용하여, 고효율의 발전을 실시할 수 있고, 더욱이는, 환경으로의 악영향이 적고, 설비비용이 싼 발전을 실시할 수 있다.
대표도	

다. 초청정 환경플랜트

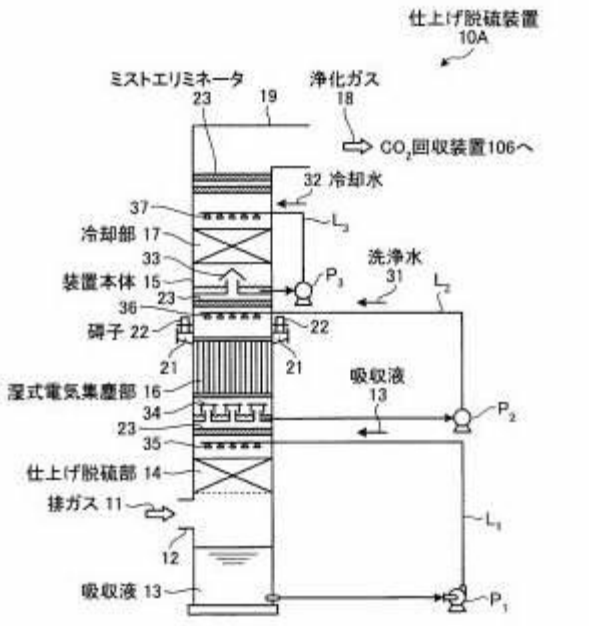
[표 162] 핵심특허(20)

발명의 명칭	습식탈황 집진설비를 구비한 석유코크스 정제분말연소보일러 시스템
특허권자	에스케이이노베이션(주), 서울샤프중공업(주), 에스케이에너지(주)
요약	석유코크스 정제분말을 공급하는 석유코크스 정제분말 공급부(10); 벙커-C유를 공급하는 벙커-C유 공급부(20); 상기 석유코크스 정제분말 공급부(10)로부터 공급된 석유코크스 정제분말과 상기 벙커-C유 공급부 (20)로부터 공급된 벙커-C유가 합류되어 혼합공급되며 점화연소되도록 하는 버너(30); 상기 버너(30)의 점화에 의해 석유코크스 정제분말과 벙커-C유가 연소되는 연소기(41)와, 상기 연소기(41)의 연소열로 물을 가열하여 증기를 발생시키는 증기발생부(42)가 구비된 보일러(40); 상기 연소기(41)로부터 배출된 배연가스 중에 함유된 질소산화물을 제거하는 탈질장치(50); 및 상기 탈질장치(50)로부터 질소산화물이 제거된 배연가스에 황산화물 제거제를 분사시켜 배연가스 중 에 함유된 황산화물을 제거하고 악취를 제거하는 분사부(61)와, 상기 분사부(61)로부터 제거되지 않 은 미세 황산화물과 미세먼지를 포집하는 습식집진부(62)가 일체로 구비된 습식탈황장치(60); 를 포함하며, 상기 분사부(61)는 질산화물이 제거된 배연가스를 인입하는 가스인입부(61a)와, 인입된 배연가스에 황산화물 제거제를 분사하는 분사 타워부(61b)가 구비되고, 상기 습식집진부(62)는 상기 분사 타워부(61b)에서 제거되지 않은 미세 황산화물과 미세먼지를 방전 에 의해 포집하는 전기집진부(62a)와, 상기 전기집진부(62a)에 방전전압을 인가하는 직류 고압 발생 부(62b)와, 상기 전기집진부 내부를 세척하는 분사장치(62c)와, 미세 황산화물과 미세먼지가 제거된 배출가스를 배출하는 가스배출부(62d)가 구비된 것을 특징으로 하는 습식탈황 집진설비를 구비한 석유코크스 정제분말 연소보일러 시스템. [효과] 본 발명은 습식 탈황설비와 방전을 이용한 습식집진기를 이용하여 습식탈황공정과 미세 황산화물 (SOx)과 분진(Dust)을 완벽하게 포집되도록 함으로써 연소시 발생되는 황산화물(SOx)의 제거효율을 향상시키게 되며 청연이 발생하지 않고, 악취 또한 완벽하게 처리할 수 있는 장점이 있다. 이에 따 라 고유황 저급연료인 석유코크스(Petro Coke) 정제분말을 보일러의 연료로 사용가능하게 된다.
대표도	

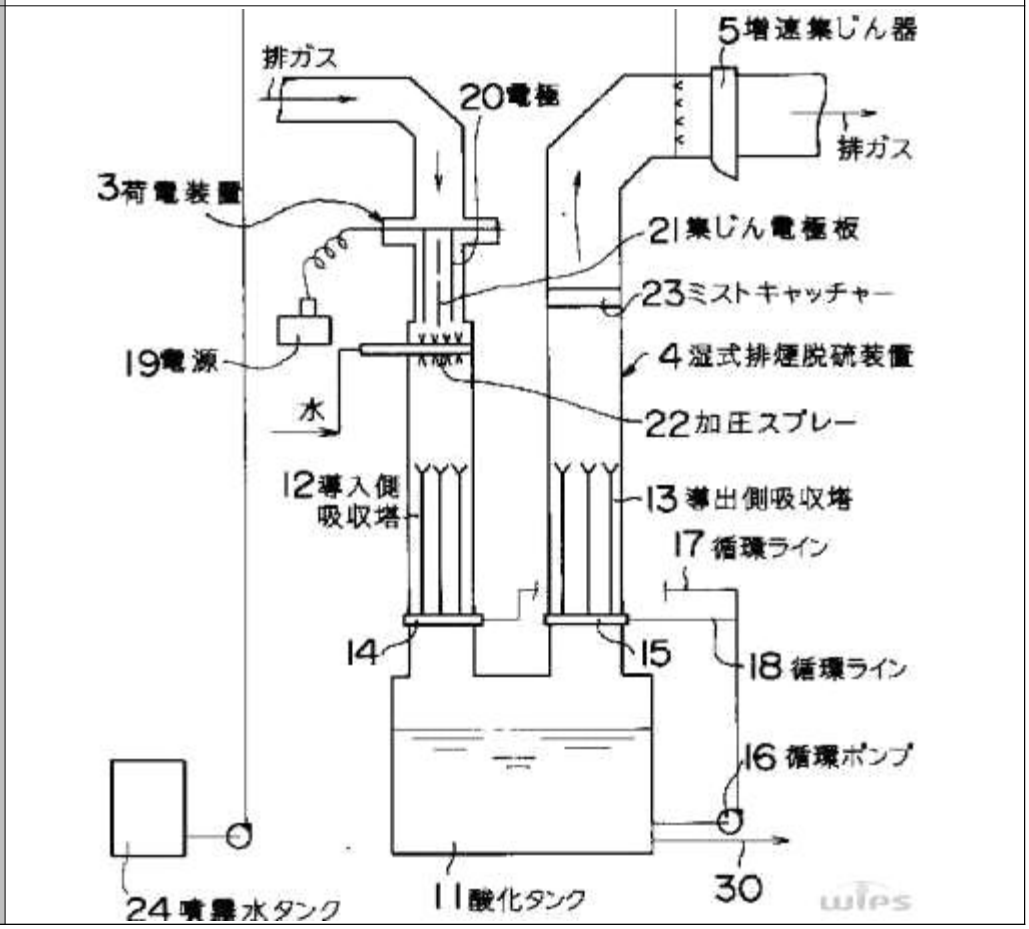
[표 163] 핵심특허(21)

발명의 명칭	폐기물을 이용한 연료 저감형 합성가스 생산 시스템
특허권자	고등기술연구원
요약	폐기물을 공급받아 가스화에 의해 합성가스와 슬랙을 생성하여 배출시키는 가스화 용융로; 상기 가스화 용융로에 공급되는 산화제; 상기 산화제를 예열하는 산화제 예열부; 상기 가스화 용융로로부터 배출되는 합성가스의 폐열을 회수하는 폐열회수 보일러; 및 상기 폐열회수 보일러로부터 배출되는 합성가스를 정제하는 정제설비;를 포함하며, 상기 정제 설비는, 상기 가스화 용융로에서 배출되는 합성가스를 급속 냉각하는 급속냉각탑; 상기 급속냉각탑에서 냉각된 합성가스의 입자상 오염물질을 제거하기 위한 분진세정탑; 상기 분진세정탑에서 배출되는 합성가스를 탈염하기 위한 중화세정탑; 상기 중화세정탑에서 배출되는 합성가스를 탈황하기 위한 탈황세정탑; 및 상기 탈황세정탑에서 배출되는 합성가스의 입자상 오염물질을 제거하기 위한 습식 전기 집진기를 포함하며, 상기 급속냉각탑에는 합성가스를 냉각하기 위해 세정수가 분사되며, 분사된 상기 세정수는 폐수처리 기를 통해 재순환되며, 상기 탈황세정탑에는 상기 탈황세정탑에서 배출되는 탈황액을 재생하여 재순환하기 위한 탈황액 재 생조를 더 포함하는, 폐기물을 이용한 연료 저감형 합성가스 생산 시스템. [효과] 본 발명에 따르면, 산화제를 가스화 용융로에서 발생하는 고온의 합성가스와 열교환하여 예열함으로 써 예열을 위한 추가 연료원이 필요없으며, 가스화 용융로에 투입되는 보조연료의 양을 줄이는 효과 가 있다. 또한, 본 발명에 따르면, 가스화 용융로 내화물 내부에 예열관을 마련함으로써 고온의 합 성가스가 예열관에 직접 접촉되지 않으므로 예열관의 내구성이 높이지는 효과가 있다.
대표도	

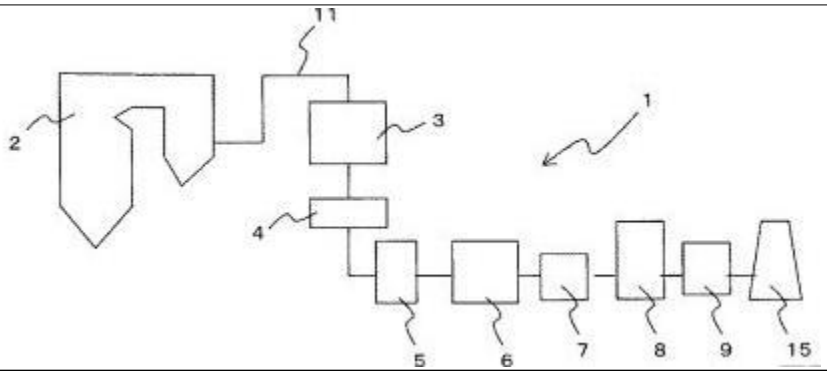
[표 164] 핵심특허(22)

발명의 명칭	마무리 배연탈황 장치 및 이것을 이용한 배가스 처리 시스템
특허권자	MITSUBISHI HEAVY IND LTD; MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES MACHINERY SYSTEMS LTD
요약	[청구항 1] 탈황 장치에 의해 유황 산화물이 제거된 연료 배가스 중에 잔존하는 유황 산화물을 극 저농도까지 추가로 제거하는 마무리 배연탈황 장치로서, 미량의 유황 산화물을 포함한 연소 배가스를 도입하는 가스 도입부를 가지며, 도입한 연소 배가스 중의 유황 산화물에 흡수액을 접촉시켜 탈황하는 마무리 탈황부를 구비한 마무리 탈황 장치 본체와 상기 마무리 탈황 장치 본체내의 마무리 탈황부 뒤 흐름 측에 상기 탈황소탑본체와 동일 단면 형상 되도록 일체에 설치되고, 마무리 탈황 후의 연소 배가스 중의 매진을 제거하는 습식 전기 집진부와 상기 습식 전기 집진부의 전후 중 어느 한쪽에 상기 습 식 전기 집진부와 동일 단면 형상 되도록 일체에 설치되고, 연소 배가스를 냉각하는 냉각부와 제진 및 냉각 후의 정화 연소 배가스를 외부로 배출하는 가스 배출부를 구비하는 것을 특징으로 하는 마 무리 배연탈황 장치. [효과] 본 발명에 의하면 유황 산화물의 농도가 매우 적어지므로, CO2 회수 장치로 이용하는 CO2 흡수액 중의 유황 산화물이나 매진의 축적이 적어져, 열화를 억제할 수 있다.
대표도	

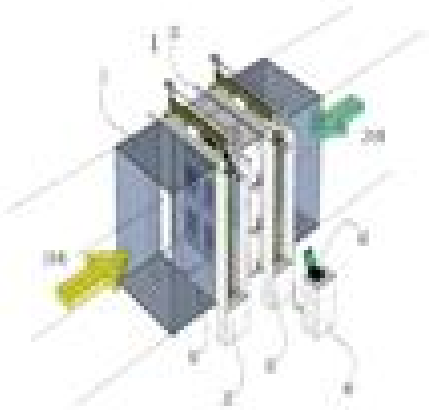
[표 165] 핵심특허(23)

발명의 명칭	중질유 보일러 배기 가스의 처리 장치
특허권자	MITSUBISHI HEAVY IND LTD;
요약	[청구항 1] 중질유 보일러 배가스의 처리 장치에 있어서 습식 배연탈유 장치의 흡수탑입구에 하전 장치를 구비 하고 연소 배가스 중에 중화제를 주입해 연소 배가스 중의 SO3를 중화시키기 위한 중화제 주입 수 단을 상기 하전 장치 전 흐름에 구비하는 것을 특징으로 하는 중질유 보일러 배가스의 처리 장치. [문단번호 0007] 도 1에 본 발명에 따른 중질유 보일러 배가스의 처리 장치의 일실시 형태에 대해서 그 개요를 나타 낸다. 이 실시 형태에서는 중질유 보일러 1의 배가스 중에 전기 집진기 2 전 흐름으로 중화제로서 암모니아를 라인 A보다 주입해 유안((NH4) 2SO4)를 생성시키고 매진과 함께 건식 전기 집진기 2에 서 포집한다. 그리고 하전 장치 3을 거쳐 후단의 습식 배연탈유 장치 4에 배가스를 보내는 것과 하 고 있다. 습식 배연탈유 장치 4를 거친 배가스는 증속집진기 5를 거쳐 굴뚝 6에서 배출된다.
대표도	

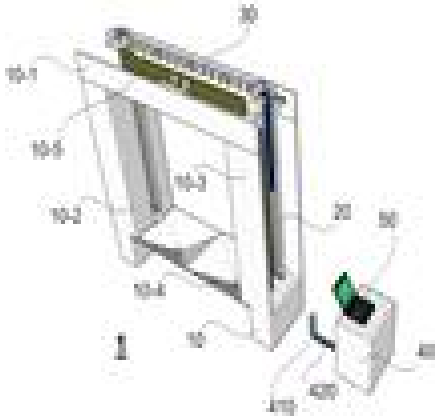
[표 166] 핵심특허(24)

발명의 명칭	배가스 처리 장치
특허권자	BABCOCKHITACHI CO LTD;HITACHI PLANT TECHNOLOGIES LTD
요약	[청구항 1] 보일러의 연소 배가스 중의 열을 회수하는 에어 히터 및 가스 쿨러와 상기 에어 히터 및 가스 쿨러 로 열이 회수된 배가스 중의 매진을 포집하는 집진 장치와 상기 집진 장치에서 배출되는 배가스 중 의 유황 산화물을 탈황제 슬러리를 이용하여 제거하는 습식 탈황 장치와 상기 습식 탈황 장치에서 배출되는 배가스 중의 미스트를 포집하는 습식 전기 집진기를 구비한 배가스 처리 장치에 있어서 상기 집진 장치와 상기 습식 탈황 장치 사이의 배가스 유로에 상기 배가스 중의 미스트를 하전시키는 하전 장치를 마련한 것을 특징으로 하는 배가스 처리 장치. [발명의 효과] 본 발명에 의하면 습식 전기 집진기를 대형화하지 않고 배가스 중에 포함되는 SO3를 한층 감소시킬 수 있다.
대표도	

[표 167] 핵심특허(25)

발명의 명칭	양방향 집진 시스템
특허권자	주식회사 리트코
요약	본 발명 양방향 집진 시스템은 접지된 집진전극과 유도된 전압에 의해 유도전압을 일으키는 유도전압판으로 이루어지는 유도전압 정전필터와 집진전극에 포집된 먼지 등을 제거하는 세정장치를 포함하는 양방향 집진 시스템에 관한 것으로, 양방향 유도전압 정전필터;를 평면상으로 다수 결합하여 이루어진 유도전압 정전필터부; 상기 유도전압 정전필터부의 전단 및 후단에 각각 설치되는 1/2차측 복합 세정 장치부; 상기 1/2차측 복합 세정 장치부의 복합 분사부의 에어관 및 세정수관과 연결되어 상기 에어관에는 고압의 에어를 공급하고, 상기 세정수관에는 고압의 세정수를 공급하는 공급부; 상기 유도전압 정전필터부 및 1/2차측 복합 세정 장치부의 하부에 위치하여 집진전극에 포집된 포집물 및 세정수 등을 외부로 배출하는 배수부; 및 상기 구성들의 전체 동작을 제어하는 구동 제어부;를 포함하는 것을 기술적 특징으로 하여 집진 시스템의 집진 효율을 99%이상으로 향상시키고 양방향으로 집진이 가능한 집진 시스템을 제공하는 효과 및 상대적으로 높은 세정효과를 발휘하고, 집진전극에 잔류물을 남기지 않음으로써 집진 시스템의 운전시 포집된 먼지 등의 재비산을 방지하고, 집진 시스템의 집진효율을 최상의 상태로 유지시킬 수 있는 효과가 있다.
대표도	

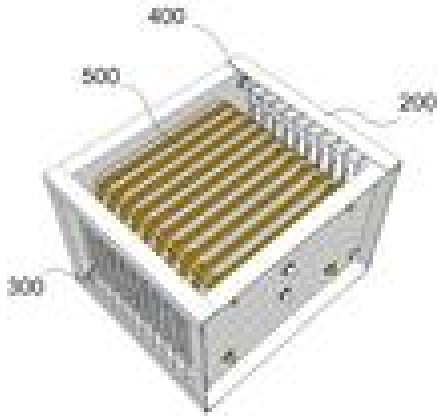
[표 168] 핵심특허(26)

발명의 명칭	전기집진장치를 세정하기 위한 복합 세정장치
특허권자	주식회사 리트코
요약	본 발명 전기집진장치를 세정하기 위한 복합 세정장치는 전기집진장치의 운전대기 시에 세정수를 이용하여 상기 전기집진장치의 집진전극에 포집된 먼지 등을 제거하고 공기를 이용하여 건조시키는 전기집진장치용 세정장치에 관한 것으로, 복합 분사부는 상기 상/하 구동부의 상기 복합 분사부 거치대와 이동이 가능하도록 결합하는 브라켓;과 복합 분사부를 좌우 방향(복합 분사부의 길이 방향)으로 반복하여 움직이도록 하는 좌우이동부;를 더 포함하여 상/하 구동부의 구동으로 상기 복합 분사부가 상/하로 이동시에 좌우 방향(복합 분사부의 길이 방향)으로 반복하여 움직이는 것을 기술적 특징으로 하여, 하나의 장치에서 건식 세정 및 습식 세정이 모두 가능하고, 수압이나 기압이 약하게 미쳐 집진전극에 포집된 먼지 등이 상대적으로 덜 제거되는 부분이 발생하지 않는 효과 및 상대적으로 높은 세정효과를 발휘하고, 집진전극에 잔류물을 남기지 않음으로써 전기집진장치의 운전시 포집된 먼지 등의 재비산을 방지하고, 전기집진장치의 집진효율을 최상의 상태로 유지시킬 수 있는 효과가 있다.
대표도	

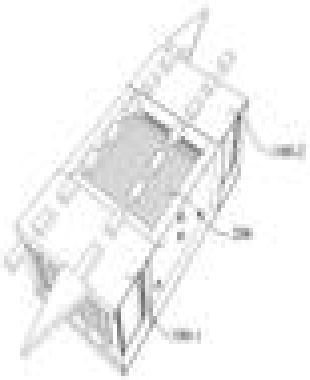
[표 169] 핵심특허(27)

발명의 명칭	유도전압과 상온 플라즈마와 촉매를 이용하여 유해 가스를 제거하는 유해 가스 제거 장치
특허권자	주식회사 리트코
요약	본 발명 유도전압과 상온 플라즈마와 촉매를 이용하여 유해 가스를 제거하는 유해 가스 제거 장치는 대기 중에 포함된 유해 가스를 제거하는 유해 가스 제거 장치에 관한 것으로 특히, 자동차 배기 가스에 포함된 일산화탄소, 탄화수소 및 휘발성유기화합물을 촉매를 이용하여 제거하는 유해 가스 제거 장치에 관한 것으로, 오염된 공기가 유통되는 방향으로 개방되고 내부에 설치공간을 제공하는 함체와 멀티크로스핀 이오나이저로 이루어진 1차 플라즈마 생성부와 유도된 전압을 일으키는 유도전압판으로 이루어진 유도전압 집진부와 멀티크로스핀 이오나이저로 이루어진 2차 플라즈마 생성부; 및 촉매부;를 포함하는 것을 특징으로 하여 본 발명 유도전압과 상온 플라즈마와 촉매를 이용하여 유해 가스를 제거하는 유해 가스 제거 장치는 오염된 공기 중에 미세먼지와 같은 입자들이 많은 환경에서도 유해 가스 특히 일산화탄소를 효과적으로 제거할 수 있고, 촉매의 성능 저하를 방지할 수 있는 효과가 있다. 또한, 25℃ 이하의 상온에서도 일산화탄소와 유기화합물을 제거할 수 있는 효과가 있으며, 터널 내지 지하 교통 시설과 같은 미세먼지와 같은 입자의 농도가 상대적으로 높은 곳에서도 유해 가스를 효과적으로 제거할 수 있는 효과가 있다.
대표도	

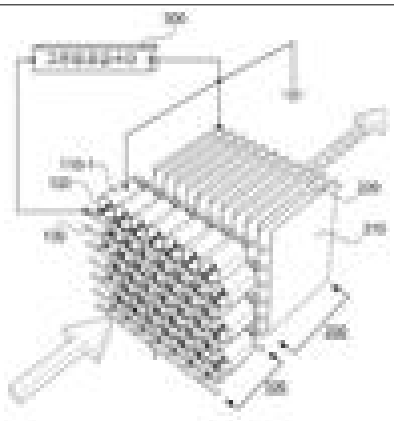
[표 170] 핵심특허(28)

발명의 명칭	멀티크로스핀 이오나이저를 이용한 양방향 유도전압 정전필터
특허권자	주식회사 리트코
요약	본 발명 멀티크로스핀 이오나이저를 이용한 양방향 유도전압 정전필터는 유도전압 정전필터에 관한 것으로 종래 유도전압 정전필터의 집진성능이 15,000볼트(V)에서 운전되는 경우 약 95-96%의 집진 효율을 발휘하나, 구조적으로 그 이상의 높은 집진 효율을 발휘하기 어려운 문제점을 돌기형 방전전극의 구조를 측면 돌기가 부가된 구조로 개선함으로써 코로나 방전이 일어나는 코로나영역과 집진대상에 대한 하전이 일어나는 하전영역을 기존 돌기형 방전전극에 비해 증가시킴으로써 집진 장치의 집진 효율을 상대적으로 증가시키고 이와 같은 방전전극으로 이루어진 방전부를 집진부의 양단에 설치함으로써 양방향으로 집진이 가능한 것을 기술적 특징으로 한다. 상기와 같은 기술적 특징을 통해 본 발명에 다른 유도전압 정전필터는 15,000볼트(V)의 인가 전압하에서 99%이상으로 향상시켜 상대적으로 작은 부피의 정전필터로 함진 농도가 비교적 높은 배기를 처리할 수 있고, 방전전극 자체의 기계적 강도를 높이고 구조를 단순화시켜 내구성을 향상시키고, 별도의 먼지 제거수단 없이도 중력에 의해 집진전극에 부착된 먼지의 제거가 가능하여 유지보수가 용이하고, 정전필터의 제조비용을 절감하는 효과가 있고, 양방향으로 집진이 가능한 효과가 있다.
대표도	

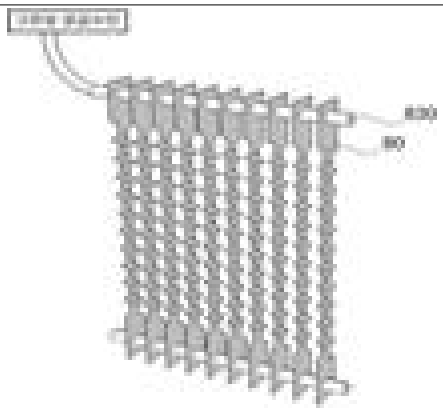
[표 171] 핵심특허(29)

발명의 명칭	허니컴대전부를 갖는 양방향 유도전압 정전필터
특허권자	주식회사 리트코
요약	본 발명 허니컴대전부를 갖는 양방향 유도전압 정전필터는 종래 유도전압을 이용한 정전필터에 비해 동일한 조건에서 상대적으로 집진 효율이 향상된 정전필터를 제공하는 것을 목적으로 하고, 특히 유속이 빠른 곳이나 유속의 변화가 심한 곳에서도 집진 효율이 떨어지지 않고, 양방향으로 집진이 가능한 정전필터를 제공하는 것을 목적으로 유도전압을 이용하는 정전필터에 있어서, 오염된 공기가 유통되는 방향으로 개방이 되고, 양쪽 측면이 폐쇄되어 내부공간을 제공하는 집진부 함체와 상기 내부공간에 위치하며 접지된 평행한 금속판을 연속으로 설치하여 하전된 미세입자를 포집하는 집진전극과 상기 집진전극의 금속판 사이에 설치되며 전기적인 연결없이 스핀이오나이저에 의해 유도된 전압을 일으키는 유도전압판으로 이루어진 집진부; 상기 집진부의 일측과 결합하는 1차측 허니컴대전부 및 상기 집진부의 타측과 결합하는 2차측 허니컴대전부를 포함하는 것을 특징으로 하여, 상대적으로 하전구간이 긴 허니컴대전부를 통해 유속이 빠른 곳이나, 유속의 변화가 심한 곳에서도 집진 효율이 떨어지지 않고 상대적으로 높은 집진 효율을 제공하는 효과가 있다. 또한, 허니컴대전부에서 1차로 포집을 하고 이후 집진부에서 2차로 포집을 하여 집진 효율을 상대적으로 증가시키는 효과가 있고, 양방향으로 포집이 가능한 효과가 있다.
대표도	

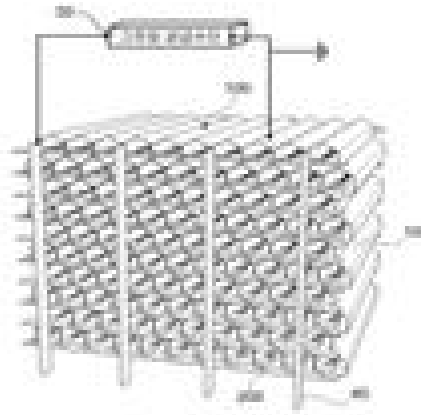
[표 172] 핵심특허(30)

발명의 명칭	허니컴대전부를 갖는 유도전압 전기집진장치
특허권자	주식회사 리트코
요약	본 발명 허니컴대전부를 갖는 유도전압 전기집진장치는 종래 유도전압 전기집진장치가 집진성능에 있어서 15,000볼트(V)에서 운전되는 경우 약 95-96%의 집진 효율을 발휘하나, 구조적으로 그 이상의 높은 집진 효율을 발휘하기 어려운 문제점과 유속이 빠른 곳 내지 유속의 변화가 심한 곳에서 일정한 집진 효율을 발휘하지 못하는 문제점을 공기의 흐름과 나란하게 위치하는 스핀이오나이저를 갖는 허니컴대전부를 통해 하전 영역을 공기의 흐름 방향으로 소정의 길이로 형성함에 따라 포집대상이 충분히 하전될 수 있도록 함으로써 집진 효율을 상대적으로 증가시키 것과 허니컴대전부에서 1차로 포집이 이루어지고 이후 집진부에서 2차로 포집이 되어 집진 효율을 상대적으로 증가시키는 것을 기술적 특징으로 한다. 상기와 같은 기술적 특징을 통해 상대적으로 하전구간이 긴 허니컴대전부를 통해 종래 유도전압을 이용한 전기집진장치에 비해 15,000볼트(V)의 인가 동일한 전압 조건에서 상대적으로 집진 효율을 99%이상 향상시키는 효과가 있다. 또한, 유속이 빠른 곳이나, 유속의 변화가 심한 곳에서도 집진 효율이 떨어지지 않고 상대적으로 높은 집진 효율을 제공하는 효과가 있으며, 허니컴대전부에서 1차로 포집을 하고 이후 집진부에서 2차로 포집을 하여 집진 효율을 상대적으로 증가시키는 효과가 있다.
대표도	

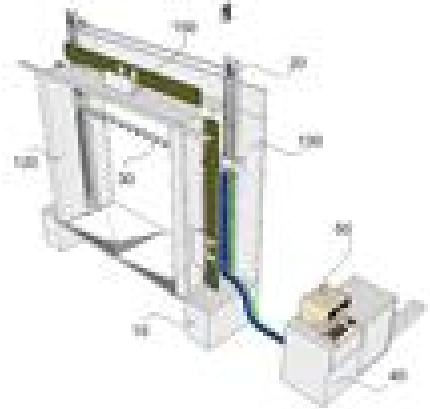
[표 173] 핵심특허(31)

발명의 명칭	멀티크로스핀 이오나이저를 이용한 유도전압 전기집진장치
특허권자	서울교통공사, 주식회사 리트코
요약	본 발명 멀티크로스핀 이오나이저를 이용한 유도전압 전기집진장치는 종래 유도전압 전기집진장치가 집진성능에 있어서 15,000볼트(V)에서 운전되는 경우 약 95-96%의 집진 효율을 발휘하나, 구조적으로 그 이상의 높은 집진 효율을 발휘하기 어려운 문제점을 돌기형 방전전극의 구조를 측면 돌기가 부가된 구조로 개선함으로써 코로나 방전이 일어나는 코로나영역과 집진대상에 대한 하전이 일어나는 하전영역을 기존 돌기형 방전전극에 비해 증가시킴으로써 집진 장치의 집진 효율을 상대적으로 증가시키는 것을 기술적 특징으로 한다. 상기와 같은 기술적 특징을 통해 유도전압 전기집진장치가 갖는 함진 농도가 비교적 높은 배기 처리가 가능한 효과, 방전전극 자체의 기계적 강도를 높이고, 구조를 단순화시키는 효과 및 별도의 먼지 제거수단 없이도 중력에 의해 집진전극에 부착된 먼지의 제거가 가능하여 유지보수가 용이한 효과 및 전기집진장치의 제조비용을 절감하는 효과와 더불어 집진장치의 집진 효율을 15,000볼트(V)의 인가 전압하에서 99%이상으로 향상시키는 효과가 있다.
대표도	

[표 174] 핵심특허(32)

발명의 명칭	멀티힐릭스핀 이오나이저를 갖는 허니컴 집진부를 포함한 전기집진장치
특허권자	서울교통공사, 주식회사 리트코
요약	본 발명 멀티힐릭스핀 이오나이저를 갖는 허니컴 집진부를 포함한 전기집진장치는 집진부가 다수의 집진관으로 이루어진 전기집진장치에 관한 것으로 특히, 종래 회전돌기판형 이오나이저를 갖는 전기집진장치에 관한 것으로 종래 회전돌기판형 이오나이저를 갖는 전기집진장치가 고유속에서는 상당한 집진효율을 발휘하나 저유속에서는 상대적으로 집진효율 저하 문제를 본 발명은 집진관보다 상대적으로 긴 금속판으로 길이방향의 양쪽 날에는 다수의 1차 돌기를 형성하고, 양쪽 면에는 다수의 2차 돌기를 형성하고, 양단에는 접속부위에 형성하며 포집대상에 원심력을 제공하기 위해 꼬임 구조로 된 멀티힐릭스핀 이오나이저를 통해 해결하는 것을 기술적 특징으로 하며, 이와 같은 기술적 특징을 통해 본 발명은 고유속은 물론 저유속에서도 유사한 집진효율을 발휘하는 효과가 있고, 상기와 같은 효과로 유속이 빠른 곳은 물론 유속이 느리거나 유속의 변화가 심한 곳에서도 집진효율의 변화 없이 일정한 집진효율을 발휘함으로써 상대적으로 높은 효율로 기체를 정화시킬 수 있는 효과가 있으며, 건물, 플랜트, 지하철 역사, 터널 등에서 공기정화를 위한 설비를 구축시에 유속에 따라 필요한 전기집진장치를 다수로 설치할 필요가 없어 공기정화 설비를 구축하는 비용을 절감할 수 있는 효과가 있고, 더 나아가 공기정화 설비를 운전하는 에너지 소모를 줄일 수 있는 에너지 절감 효과가 있다.
대표도	

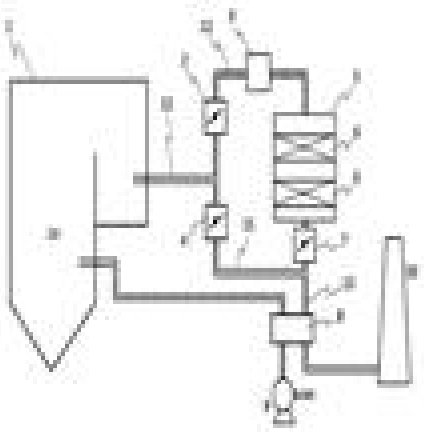
[표 175] 핵심특허(33)

발명의 명칭	전기집진장치를 세정하기 위한 복합 세정장치
특허권자	서울교통공사, 주식회사 리트코
요약	본 발명 전기집진장치를 세정하기 위한 복합 세정장치는 전기집진장치의 운전대기 시에 세정수 또는 공기를 이용하여 상기 전기집진장치에서 집진전극에 포집된 먼지 등을 제거하는 전기집진장치용 세정장치에 관한 것으로 상측 및 좌/우측 프레임과 하부에 형성되는 배수부로 이루어지며, 상기 각 프레임의 내측면은 폐쇄되거나 복합 분사부의 이동을 위해 개방되도록 개폐도어를 갖는 하우징과 상기 좌/우측 프레임에 결합되어 복합 분사부를 상하로 이동시키는 상하 구동부와 상기 상하 구동부에 결합되어 상하로 이동하며, 에어 분사노즐이 다수 형성된 에어관과 세정수 분사노즐이 다수 형성된 세정수관으로 이루어진 복합 분사부와 에어와 세정수를 공급하는 공급부 및 상기 구성들의 전체 동작을 제어하는 구동 제어부를 포함하는 기술적 특징으로 상대적으로 협소한 공간에 습식 세정 및 건식 세정이 모두 가능한 세정장치를 설치할 수 있는 효과가 있고, 건식 세정과 습식 세정을 통해 종래 건식 세정장치 및 습식 세정장치에 비해 전기집진장치의 운용에 영향을 미치지 않으면서도 효과적으로 전기집진장치를 세정할 수 있는 효과가 있으며, 이와 같은 효과를 통해 전기집진장치의 집진 성능이 온전히 발휘될 수 있도록 함으로써 전기집진장치의 집진 효율을 항시 유지시킬 수 있는 효과가 있고, 전기집진장치의 운전 초기시 이미 포집된 먼지 등이 재비산되는 것을 방지하는 효과가 있다.
대표도	

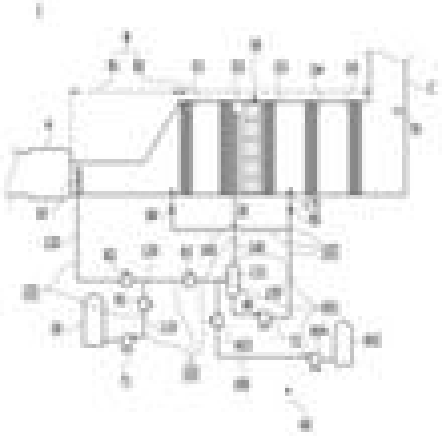
[표 176] 핵심특허(34)

발명의 명칭	화력발전소 배가스 처리방법(method for treating exhaust gas of thermal plant)
특허권자	주식회사 이엠코
요약	[청구항1] (A)탈질촉매의전단에서,탄화수소계환원제와암모니아계환원제를포함하는환원제를질소산화물함유배가스와300℃내지500℃에서접촉시켜접촉배가스를형성하는단계;및 (B)상기탈질촉매와상기접촉배가스를접촉시켜촉매접촉배가스를형성하는단계를포함하고, 상기(A)단계에서상기접촉은가스터빈과열교환모듈사이에서이루어지며,상기(A)단계에서상기접촉배가스는상기탄화수소계환원제와상기암모니아계환원제를상기질소산화물함유배가스이동통로내로주입하여형성하는화력발전소배가스처리방법.
대표도	

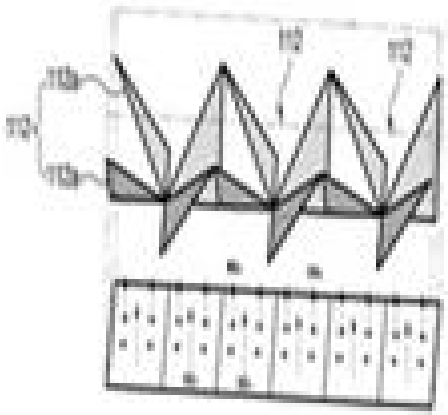
[표 177] 핵심특허(35)

발명의 명칭	연소 배기 가스 정화 시스템의 운용 방법(method for operating flue gas purification system)
특허권자	미츠비시 히타치 파워 시스템즈 가부시키가이샤
요약	[청구항1] 오일연료및석탄연료를동시에또는전환하여연소시킬수있는보일러,환원제주입기와촉매반응기를갖는탈질장치,보일러로부터배출되는연소배기가스를탈질장치로유도하는입구연도,탈질장치로부터연소배기가스를유도하는출구연도,입구연도로부터출구연도로탈질장치를우회하여연소배기가스를유도할수있는바이패스,및바이패스댐퍼를구비하는연소배기가스정화시스템에있어서, 바이패스댐퍼를열어,석탄연소에아직적합하지않은상태의보일러에서오일연료를연소시키고,보일러로부터배출되는연소배기가스가탈질장치와바이패스로나뉘어흐르도록하고, 보일러가석탄연소에적합한상태가되었을때에,오일연료로부터석탄연료로전환하여,보일러에서석탄연료를연소시키고, 오일연료로부터석탄연료로전환한후에바이패스댐퍼를닫고, 그리고,촉매반응기가탈질반응에적합한상태가되었을때에,환원제를주입하는것을포함하는,연소배기가스정화시스템의운용방법.
대표도	

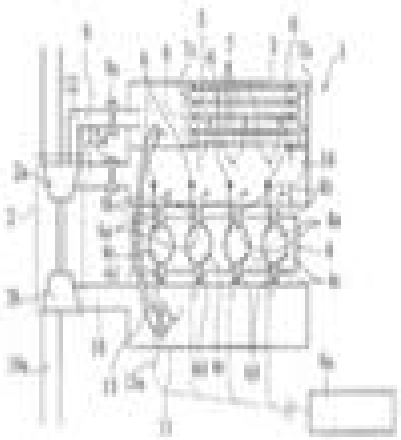
[표 178] 핵심특허(36)

발명의 명칭	화력발전소의 질소산화물처리장치(apparatus for controlling nitrogen oxide for thermal plant)
특허권자	주식회사 이엠코
요약	[청구항1] 가스터빈(gasturbine)과연돌(stack)사이의배가스이동통로내상기가스터빈후단에배치된제1노즐부; 상기제1노즐부와상기연돌의사이에배치된제2노즐부; 상기제1노즐부와상기연돌의사이에배치된적어도하나의탈질촉매모듈; 상기이동통로내배가스의질소산화물을환원시키기위한환원제가액상으로저장된환원제탱크; 상기환원제탱크와상기제1노즐부의사이에연결되어상기환원제를상기제1노즐부로공급하는제1배관라인; 상기환원제탱크와상기제2노즐부의사이에연결된제2배관라인;및 상기제2배관라인상에설치되어상기환원제를기화시키고상기제2노즐부로공급하는기화기를포함하고, 상기제1노즐부는, 상기환원제를유동시키는환원제유로와,단열유체를유동시키며상기환원제유로를둘러싸형성되는단열유로와,가압기체를유동시키는가압기체유로를포함하며말단에상기환원제유로와상기가압기체유로와연통되는유체토출구가배치된분사노즐을,적어도하나포함하는화력발전소의질소산화물처리장치. [청구항32] 가스터빈(gasturbine)과연돌(stack)사이의배가스이동통로내상기가스터빈후단에배치된제1노즐부; 상기제1노즐부와상기연돌의사이에배치된제2노즐부; 상기제1노즐부와상기연돌의사이에배치된적어도하나의탈질촉매모듈; 상기이동통로내배가스의질소산화물을환원시키기위한환원제가액상으로저장된환원제탱크; 상기환원제탱크와상기제1노즐부의사이에연결되어상기환원제를상기제1노즐부로공급하는제1배관라인; 상기환원제탱크와상기제2노즐부의사이에연결된제2배관라인;및 상기제2배관라인상에설치되어상기환원제를기화시키고상기제2노즐부로공급하는기화기를포함하고, 상기탈질촉매모듈은복수로이루어지며,상기복수의탈질촉매모듈중적어도어느하나에형성되고,적어도일부가상기탈질촉매모듈사이의공간에개재되어배가스의이동을차단하며,적어도일부가탄성적으로변형되어압축또는신장되며상기탈질촉매모듈사이의거리를조절하는탈질촉매간내측차폐판을더포함하며, 상기탈질촉매간내측차폐판은,상기탈질촉매모듈에고정된베이스부,및상기베이스부의외측으로연장되고서로절곡되어경사를이루며적어도일부가탄성적으로변형가능한적어도2개의경사판을포함하여,상기경사판사이의경사각이변하며압축또는신장되는화력발전소의질소산화물처리장치.
대표도	

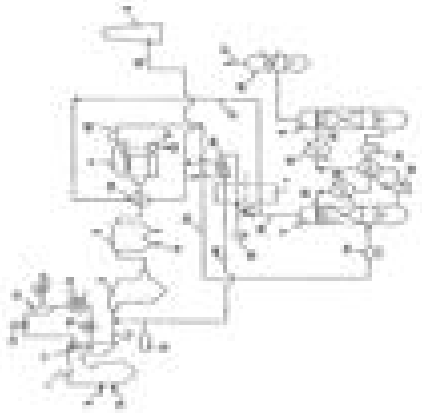
[표 179] 핵심특허(37)

발명의 명칭	혼합기 및 이를 구비한 환원 시스템(mixer and reduction system comprising it)
특허권자	두산중공업 주식회사
요약	[청구항1] 보일러로부터생성된연소가스를환원제와혼합시켜선택적촉매환원장치로공급하는혼합기에있어서, 상기보일러및선택적촉매환원장치와연통하며,상기연소가스와환원제가유동하는통로;및 상기통로의내부에서연소가스와환원제의유동방향에대해경사지도록서로인접배치되며,다각도형의플레이트형상으로형성되는복수개의혼합부재를포함하는것으로서,일측으로부터유입되는연소가스와환원제의흐름에와류가형성되도록하여,상기연소가스와환원제를균일하게혼합시키는혼합격자를포함하는혼합기. [청구항7] 보일러로부터생성된연소가스를환원제로환원시키는환원시스템에있어서, 상기보일러및선택적촉매환원장치와연통하며,상기연소가스와환원제가유동하는통로와, 상기통로의내부에서연소가스와환원제의유동방향에대해경사지도록서로인접배치되며,다각도형의플레이트형상으로형성되는복수개의혼합부재를포함하는것으로서,일측으로부터유입되는연소가스와환원제의흐름에와류가형성되도록하여,상기연소가스와환원제를균일하게혼합시키는혼합격자를포함하는혼합기; 상기보일러로부터생성된연소가스와외부로부터유입된환원제를상기혼합기에공급하는공급부;및 상기혼합기를통과한연소가스와환원제의혼합물을공급받으며,촉매를통해환원제의연소가스환원작용을촉진시키는선택적촉매환원장치를포함하는환원시스템.
대표도	

[표 180] 핵심특허(38)

발명의 명칭	배기가스 정화장치(exhaust gas emission purification device)
특허권자	히다치 조센 가부시키가이샤
요약	[청구항1] 터보차져(turbocharger)를구비한엔진의배기매니폴드(排氣manifold)내에, 엔진의배기포트(排氣port)로부터배출된배기가스를집합하는배기실과, 내부에탈초촉매(脫硝觸媒)가배치된촉매관(觸媒管)이복수설치되고,상기배기가스를상기촉매관의내부에서상기탈초촉매와접촉시켜서배기가스중의NOx을분해하는촉매반응부를 연속적으로배치함과아울러 상기촉매반응부에이르기전의배기가스중에,환원제(還元劑),환원제전구체(還元劑前驅體)의쌍방또는어느일방을포함하는수용액을분무(噴霧)가능한노즐을설치하고, 상기배기실내의배기가스가상기복수의촉매관의중앙부의외주면을돌아가도록,상기배기실과상기촉매반응부의일부가통하게하는특징으로하는배기가스정화장치. [청구항7] 터보차져(turbocharger)를구비한엔진의배기매니폴드(排氣manifold)내에, 엔진의배기포트(排氣port)로부터배출된배기가스를집합하는배기실과, 내부에탈초촉매(脫硝觸媒)가배치된촉매관(觸媒管)이복수설치되고,상기배기가스를상기촉매관의내부에서상기탈초촉매와접촉시켜서배기가스중의NOx을분해하는촉매반응부를 연속적으로배치함과아울러 상기촉매반응부에이르기전의배기가스중에,환원제(還元劑),환원제전구체(還元劑前驅體)의쌍방또는어느일방을포함하는수용액을분무(噴霧)가능한노즐을설치하고, 상기촉매관으로부터배출된배기가스를터보차져의터빈의상류측으로인도하는배기통로(排氣通路)에더하여,상기촉매관을바이패스(bypass)하여상기배기실과상기터빈의상류측사이를접속하는바이패스통로를더설치함과아울러 상기배기통로와상기바이패스통로를각각개폐(開閉)하는밸브를구비하여상기배기통로는폐쇄하고,상기바이패스통로를개방하며, 급기매니폴드(給氣manifold)와상기촉매관의출구측사이를접속하는공기유입통로(空氣流入通路)를설치함과아울러,상기공기유입통로를개폐하는밸브를구비하여상기공기유입통로를개방하는것을특징으로하는배기가스정화장치.
대표도	

[표 181] 핵심특허(38)

발명의 명칭	이산화탄소 흡수장치를 구비한 화력발전 플랜트
특허권자	BABCOCK HITACHI KK
요약	[청구항1] 화석연료분보일러와,상기보일러에서얻어진증기로구동되는증기터빈과,그동력에의해서발전하는발전기와,상기보일러로부터발생한연소배기가스중에환원제를주입해배기가스중의질소산화물을제거하는탈초장치와,배기가스중의더스트를제거하기위한집진기와,유황산화물을제거하기위한탈황장치와,이산화탄소를아민계흡수액으로흡수시켜회수하는흡수탑및재생탑으로이루어지는이산화탄소흡수장치를가지는화력발전플랜트에있어서,상기이산화탄소흡수탑에의해이산화탄소를흡수제거한후의,아민을포함한배기가스로부터아민을흡착하고,흡착된아민을아민농축가스로탈착농축하는아민농축장치와,상기아민농축장치로탈착농축된아민농축가스를상기탈초장치의환원제와함께배기가스중에주입하는수단을마련한것을특징으로하는화력발전플랜트. [청구항2] 화석연료분보일러와,상기보일러에서얻어진증기로구동되는증기터빈과,그동력에의해서발전하는발전기와,상기보일러로부터발생한연소배기가스중에환원제를주입해배기가스중의질소산화물을제거하는탈초장치와,배기가스중의더스트를제거하기위한집진기와,유황산화물을제거하기위한탈황장치와,이산화탄소를아민계흡수액으로흡수시켜회수하는흡수탑및재생탑으로이루어지는이산화탄소흡수장치를가지는화력발전플랜트에있어서,상기이산화탄소흡수탑에의해이산화탄소를흡수제거한후의,아민을포함한배기가스로부터아민을흡착하고,흡착된아민을아민농축가스로탈착농축하는아민농축장치와,상기아민농축장치로탈착농축된아민농축가스를상기보일러의화로로직접주입하고,화로안연소배기가스의탈초용환원제로서사용하는수단을마련한것을특징으로하는화력발전플랜트.
대표도	

4. 주요 회의록

“해외진출용 고효율 초청정 복합발전플랜트 상용화 기술개발” 산/학/연 1차 자문회의 보고

□ 회의 개요

○ (목적) 기획추진 내용에 대한 산/학/연 자문

○ (時/所) ’20.10.22.(목) 16:00~18:00 / 전력연구원

○ (참석자) [두산중공업] 신동규 상무, 조성진 책임, 장형윤 과장, [전북대학교] 이시훈 교수, [전력연구원] 이종민 실장, 김동원 부장, [에너지기술연구원] 선도원 박사, [기계연구원] 길상인 박사 [부산대학교] 전충환 교수, [남부발전] 안영헌 차장, [한국교통대학교] 김성원 교수 [생산기술연구원] 이은도 박사, [KAIA] 최용준 PD 등 총 13인

□ 주요 논의사항

○ (에너지기술연구원) 선도원 박사

- 본 기획과제는 “저발열량탄 대상”인데 국내의 경우 석탄세(10,000원/톤)를 부과하기로 했기 때문에 고발열량탄 대비 장점이 낮음
- 기술개발 장애요소로 대상 규모 보일러(300MW급)에 대응하는 터빈 모델 확보 여부가 관건임

- SC → USC → ASC 관건은 튜브 가격의 경쟁력 확보로, 고 사양 튜브 국산화 연구를 실증과제 아이템으로 제안함

- 20% 바이오매스 혼소에 대한 클링커 부식방지 해결책이 필요함

- SC 대응 튜브는 Sub. 튜브에 비해 열전도도가 현저히 떨어지고, 많은 양의 튜브가 필요하여 이에 대한 설계 확인이 필요함

- 해외 시장 진출 관건은 가격 경쟁력에 있으므로 이를 위한 시나리오 발굴이 필요함

- 해외 실증 시장으로, 우리나라와 우호적 관계가 있는 베트남에 대한 시장조사가 필요함(인도네시아는 신용등급이 낮고 부패국가라는 이미지로 실증 시장으로 적합지 않음)

○ **(기계연구원)** 길상인 박사

- 국내 기술/산업을 위해 필요한 실증사업이라고 판단됨

- 해외 시장 진출을 위해 국내외 진출을 위한 다양한 각도의 당위성을 강조해야 함

- 실증 사업의 실질적 구현을 위한 수행 계획/내용의 구체화 필요

- 두산중공업/한전의 해외 진출 경험을 본 실증사업의 위험 회피, 사업 기간 단축 등에 활용이 필요함

○ **(부산대학교)** 전충환 교수

- 중국 CFB 시장 : 약 5,500기, SC급 46기(약18GW, 이 중 43기는 350MW급)

- 중국을 제외한 SC급 시장은 한국, 폴란드, 러시아 정도임

- 중국 WeiHe에 660MW SC급 CFB 2021년(29.4MPa, 603/623도)

시운전 예상, 660MW급 2기 건설 예정

- 중국 Baima(SC급) 2020년 9월부터 상업운전 시작 예정
- 삼척에 비해 중국 CFB 가동율이 높으며, 이는 설계 차이(INTREX vs FBHE)로 판단됨
- 두산중공업의 Pant-leg, FBHE 등 기반 설계기술은 중국 CFB에 적용하고 있는 유사한 기술로 안정적 설계기술이라 판단됨
- 인도 등 아시아 시장, 아프리카 시장이 향후 가시화될 가능성이 높음
- WCA(World Coal Association)에 따르면, One Planet, Two World(OECE, Non-OECD)라고 표현, 즉 선진국은 신재생에너지, 후진국은 석탄 등 화석연료 중심의 에너지 포트폴리오를 추진하고 있으며, 각국의 특수성에 의해 향후 에너지 시장은 결정될 것임

○ **(남부발전) 안영헌 차장**

- 탈석탄 시장변화에서 고효율 유동층 보일러의 경쟁력 확보를 위해서는 저열량탄 뿐 아니라 저~고열량탄 넓은 범위의 연료 사용이 가능해야 하고, 바이오매스 혼소율도 광범위하게 수용 가능해야 함
- 고효율 로내 탈황 설계, 기동 및 정상운전 중 저 NOx 배출 설계를 통해 기존 미분탄 보일러 대비 친환경 석탄 보일러의 이미지를 강조할 필요가 있다고 판단됨

○ **(한국교통대)** 김성원 교수

- 해외 시장에 대한 국가별 Retrofit 예상 프로젝트 및 국산화 기술로 가능한 용량 등 모델의 우선 정의가 필요함
- 국가 기관 등 외부 지원(KOTRA, 대사관 등)이 필요한 부분의

구체적 정리가 필요

- 해외 대상 국가에 맞은 친환경 목표 설정이 필요하고, 기술을 통한 이미지 메이킹이 필요

○ (생산기술연구원) 이은도 박사

- 과제 추진에 있어 사업적인 부분과 기술적(+사외적) 부분에 대한 전략을 잘 구분하여 진행 할 필요가 있음

- 사업적 부분에서 실증 가능 사이트 후보 선정이 우선시 되어야 하며 PPA계약(허가)를 통한 해외 프로젝트를 중심으로 접근할 필요가 있음

- 전력 생산 전문기업 이외에 석유 화학 기업(Pet-coke 등), 산업용 에너지 시장을 타진할 필요 있음

- 인도네시아 등 소규모 가스전, 부생유, 바이오 중유 등 다양한 연료를 혼소/전소 할 수 있는 수요처를 공략하는 것도 고려 해야함

- 상기 연료 다변화는 유동층 이외의 기술적 접근이 어려운 부분으로 미분탄 보일러 등 타 기술대비 기술우위를 가질 수 있는 사업모델 수립이 필요함

- 국내 신규 석탄화력 사업이 불투명한 상황에서 정부 간 협력 형태로 정부에서 지원하여, 기술적/경제적 우위를 가지고 해외 사업에 진출하는 사례를 만드는 것이 중요하며, 두산중공업 외에 국내 협력사에 미치는 영향에 대한 상세한 제시가 필요함

- 기술적으로는 현지 사이트에 특화된 기술개발 목표와 이를 통한 해외시장 진출에 대한 파급효과를 제시할 필요가 있음

- 신 석탄화력 이미지 쇄신을 위해서는 연료다변화, CCUS 대응

기술에 대한 부분도 다루어져야 하며, 바이오매스 혼소율도 20%에서 크게 상향시킬 필요가 있음

- CCUS 관련 기술은 FEP-융합단과 협력할 부분이 많이 있을 것으로 보임

□ 향후 계획

○ 2차 산/학/연 자문회의 '21년 4월 중 실시

첨부1 자문회의 참석자 명단 및 회의 사진대지

연번	성명	소속	직위	분야	기관 구분
1	신동규	두산중공업	상무	복합발전플랜트 기획	산
2	조성진	두산중공업	책임	복합발전플랜트 기획	산
3	장형윤	두산중공업	과장	복합발전플랜트 기획	산
4	이시훈	전북대	교수	복합발전플랜트 기획 (위탁)	학
5	이종민	전력연구원	실장	복합발전플랜트 기획 (용역)	연
6	김동원	전력연구원	부장	복합발전플랜트 기획 (용역)	연
7	선도원	에너지기술연구원	박사	자문위원	연
8	길상인	기계연구원	박사	자문위원	연
9	전충환	부산대학교	교수	자문위원	학
10	안영헌	남부발전	차장	자문위원	산
11	김성원	교통대학교	교수	자문위원	학
12	이은도	생산기술연구원	박사	자문위원	연
13	최용준	KAIA	PD	-	-



<1차 산/학/연 자문회의>

“해외진출용 고효율 초청정 복합발전플랜트 상용화 기술개발” 산/학/연 2차 자문회의 보고

□ 회의 개요

○ (목적) 기획추진 내용에 대한 산/학/연 자문

○ (時/所) ’21.04.23.(금) 13:00~15:00 / 벡스코

○ (참석자) [두산중공업] 조성진 책임, [전북대학교] 이시훈 교수, [전력연구원] 이종민 실장, 김동원 부장, [에너지기술연구원] 선도원 박사, 류호정 박사, [현대중공업파워시스템] 김정래 이사, [연세대학교] 서용칠 교수, [생산기술연구원] 이은도 박사, [KAIA] 최용준 PD 등 총 10인

□ 주요 논의사항

○ (에너지기술연구원) 선도원 박사

- 환경변화가 석탄발전에 불리하게 조성되고 있으나, 중장기적으로 일정하게 시장에 유지될 것임. 바이오매스 기술적용 CDM 확보 방안, Oxy Ready 등으로 장점을 부각할 필요가 있음.
- 해외 진출 시 상대국 전원계획에 반영될 수 있도록 시장개척, 현지 실태조사, 현지 발전사와 협력이 필요함. 국토부 사업은 인허가 방안이 중요함.

- 우리가 개발한 CFB의 Reference 가능성은 낮음. 기술의 강점, 제작 기술 등을 부각할 필요가 있음. Reference 확보를 위한 시범사업 필요성 부각이 필요함.

○ **(에너지기술연구원)** 류호정 박사

- USC-CFB 해외실증 필요성에 대한 논리 개발이 필요함. 우리나라의 경우, 탄소중립과 관련하여 국가의 위상 때문에 국내외 석탄발전 신규 설치가 어려울 것으로 예상됨.

- 해외 실증 국가가 우리에 비해 저개발 국가이므로 해당국가의 경우 고효율 석탄발전이 아니면 더 많은 온실가스와 오염물질이 배출 될 수 밖에 없음을 널리 알려야 함.

- 해외 실증 대상을 USC-CFB + 바이오매스 + CCS로 확대 필요함. 국내의 경우 CCS-Ready 발전소가 없음 CCS-Ready 발전소를 해외에서 실증, 해외 사이트 확보 가능함.

- 국내 바이오매스 활용 가능량은 제안적임. 해외 실증 대상 국가 선정시 바이오매스 혼소, 전소를 예상하여 바이오매스 공급이 가능한 국가 신청 필요함.

○ **(생산기술연구원)** 이은도 박사

- CFB 보일러 해외실증을 위해서는 저탄소 화력발전 플랜트로써 CFB 보일러의 위상을 정립할 필요가 있음. CFB 보일러의 가장 큰 장점인 연료다변화 특징을 중심으로 하여 100% 재생연료 사용이 가능한 발전시스템이며 CCUS 기술 접목이 가능함.

- 궁극적으로 바이오매스를 연료로하여 CCUS를 접목하면 BECCS 구현을 통해 Negative CO2 발전 시스템 구현이 가능함.

- 화력발전 수요가 높은 개발도상국은 석탄, 바이오매스 등 부존자원이 풍부하여 이를 활용하고자하는 시장 수요가 크고 국가별 전력수급계획에 이들이 반영되어 있음.

- 따라서 각국의 전력생산 계획에 유연하게 대처할 수 있으며 탄소중립 목표 달성에 점진적인 기여를 할 수 있는 기술 사용화가 필요하며, CFB는 이에 가장 적합한 기술임. 개도국 진출 시 초기 석탄을 비중있게 사용하지만 단계적으로 바이오매스 등 재생연료 비율을 높여 궁극적으로 전소를 통해 저탄소 발전을 구현하고 Negative CO2 발전까지 달성할 수 있음.

- 해외 전력정책에 맞추어 태양광 풍력의 비중이 크게 늘어날 것은 자명하며, 이에따라 간헐성 문제 해결을 위한 저탄소 화력발전의 적용이 필요하며 일부국가는 가스터빈을 사용 할 수 있지만 그 이외의 국가는 고체연료 기반 화력발전소의 동반 진출이 필요하며 CFB 보일러는 이에 대응 가능함

- 해외 진출 시 이를 반영한 시나리오 수립전략이 필요하며 이를 적극적으로 검토할 필요가 있음.

○ **(현대중공업파워시스템)** 김정래 이사

- 석탄화력에 대한 CO2 발생 저감방안을 반영할 것 (예 : 바이오매스 25% 이상 혼소)

- 후단설비에 CO2 포집설비를 추가했을 때 경제성 비교 필요

- 동남아 기존 저효율 석탄 발전용 보일러를 고효율 USC급으로 변경하는 사업을 수행하여 CO2 저감 CDM 사업과 연계 여부를 검토해 볼 필요가 있음.

○ **(연세대학교)** 서용칠 교수

- USC-CFB 실증기획과제가 친환경-고에너지 전환에 집중하는 연구로서 매우 필요한 과제로 석탄 활용 사업에서 지속되어야 함.

- 최근 탄소중립으로의 온난화가스 배출저감을 위해서는 에너지 효율 제고를 통한 발전시스템의 개선이 중요한 역할을 하게 될 것임. 특히 오래되지 않은 플랜트에 적용 필요함.

- 동시에 CO2 저감 및 미세먼지과 같은 오염물질저감에도 친환경 및 저부하 시스템 사업의 추진이 지속되어야 함.

- 이런 관점에서 CFB 및 하이브리드 시스템 또는 바이오매스 혼소 등의 사업추진이 적함함.

- 신재생에너지 정책에 있어서 석탄발전이 위축 되지만 중장기적으로 또는 개발도상국가를 고려할 때에는 이의 유지와 고효율 친환경 석탄 발전을 지속적으로 개발 또는 확대가 필요함.

□ 향후 계획

ㅇ 3차 산/학/연 자문회의 ‘21년 6월 중 실시

첨부1 자문회의 참석자 명단 및 회의 사진대지

연번	성명	소속	직위	분야	기관 구분
1	조성진	두산중공업	책임	복합발전플랜트 기획	산
2	이시훈	전북대	교수	복합발전플랜트 기획 (위탁)	학
3	이종민	전력연구원	실장	복합발전플랜트 기획 (용역)	연
4	김동원	전력연구원	부장	복합발전플랜트 기획 (용역)	연
5	선도원	에너지기술연구원	박사	자문위원	연
6	이은도	생산기술연구원	박사	자문위원	연
7	류호정	에너지기술연구원	박사	자문위원	연
8	김정래	현대중파워시스템	이사	자문위원	산
9	서용칠	연세대학교	교수	자문위원	학
10	최용준	KAIA	PD	-	-



<2차 산/학/연 자문회의>

“고효율 친환경 순환유동층 플랜트 해외 실증 심포지엄” 공청회 보고

□ 회의 개요

○ (목적) 기획추진 내용에 대한 공청회 실시

○ (時/所) ’21.04.23.(금) 09:00~12:00 / 벡스코

○ (참석자) [두산중공업] 조성진 책임, 이병화 책임, [전북대학교] 이시훈 교수, [전력연구원] 이종민 실장, 김동원 부장, [에너지기술연구원] 선도원 박사 등 6인 공정회 발표·패널 참여 및 산/학/연 전문가 약 70인 참여

□ 주요 논의사항

○ (공청회 발표) 4개 주제에 대한 발표 진행

- (고효율·친환경 순환유동층 플랜트 해외 실증 기획, 두산중공업 조성진 책임) 순환유동층 시장·정책 동향, 실증 필요성 등 국토부 기획과제 결과 발표
- (고효율·친환경 순환유동층 시장 동향, 전북대학교 이시훈 교수) 전 세계 에너지 믹스 동향, 석탄발전시장 전망 등 초초임계압 순환유동층 시장 전망 발표

- **(해외 실증 맞춤형 초초임계압 순환유동층 보일러 개념설계, 전력연구원 김동원 부장)** 해외 실증 후보군에 대한 초초임계압 순환유동층 보일러 개념설계 결과 발표

- **(인공지능 기반 연료혼합 최적화 프로그램 개발, 두산중공업 이병화 책임)** 순환유동층 친환경적 운영을 위한 인공지능 활용 석탄 혼합 비율 최적화 프로그램 소개

ㅇ **(패널토크)** 산/학/연 관련 전문가와 패널 간 순환유동층 실증 방향 및 정책 제안에 대한 패널토크 진행

- (패널) 전력연구원 이종민 실장, 전력연구원 김동원 부장, 에너지기술연구원 선도원 박사

- 국내 석탄발전소 시장 전망은 흐리나, 해외 IEA 전망을 보면 가능성이 보이며, 활성화를 위한 이산화탄소 포집 기술 등 새로운 기술을 접목할 필요가 있음

- 해외 사례 비교 및 전기차 급증 등 국내 전기 사용량 고려 시 국내 석탄발전 정책이 지속 가능한 정책인지 의문임

- 해외 전력수급계획 모니터링 및 개도국 시장 진출을 위한 새로운 정책 패러다임 변화가 필요

- 바이오매스 연소 접목 등 저탄소 화력발전에 대한 기술적 접근이 필요

첨부1 공청회 참석자 명단 및 회의 사진대지

연번	성명	소속	직위	분야	기관 구분
1	조성진	두산중공업	책임	발표, 패널 좌장	산
2	이병화	두산중공업	책임	발표	산
3	이시훈	전북대	교수	발표	학
4	이종민	전력연구원	실장	패널	연
5	김동원	전력연구원	부장	발표, 패널	연
6	선도원	에너지기술연구원	박사	패널	연

고효율 · 친환경 순환유동층 플랜트 해외 실증 심포지엄

(Symposium on HELE(High Efficiency Low Emission) Circulating Fluidized Plant Overseas Demonstration)

주 관: 두산중공업

부산 BEXCO A발표장(101+102호) 2021년 4월 23일(금), 09:00~12:00

Chair: 이시훈, 전북대학교 (See Hoon Lee, Jeonbuk Nat'l University)

09:00	고효율 · 친환경 순환유동층 플랜트 해외 실증 기획 *(HELE USC-CFB plant overseas demonstration planning)*	조성진, 두산중공업 *(Sung Jin Cho, Doosan Heavy Industries & Construction)*
09:20	고효율 · 친환경 순환유동층 시장 동향 *(The trend of high efficiency low emission circulating fluidized bed boilers)*	이시훈, 전북대학교 *(See Hoon Lee, Jeonbuk Nat'l Univ.)*
09:40	해외 실증 맞춤형 초초임계 순환유동층 보일러 개념설계 *(USC-CFB boiler customized conceptual design for overseas demonstration)*	김동원, 전력연구원 *(Dong Won Kim, KEPCO Research Institute)*
10:00	인공지능 기반 연료혼합 최적화 프로그램 개발 *(Development of fuel blending optimizer based on AI technology)*	이병화, 두산중공업 *(Byoung Hwa Lee, Doosan Heavy Industries & Construction)*
10:20	Coffee break	
10:30	패널 토크 *(Open talks on audience questions)*	이종민, 전력연구원 *(Jong Min Lee, KEPCO Research Institute)* 선도원, 한국에너지기술연구원 *(Do-won Shun, KIER)* 전충환, 부산대학교 *(Chung-Hwan Jeon, Pusan Nat'l Univ.)*

Speaker



조성진
2012 연세대 환경공학 박사
현 재 두산중공업 기술연구원 책임연구원



김동원
2004 서울대 기계항공공학 석사
현 재 KEPCO 전력연구원 책임연구원



이병화
2011 부산대 기계공학 박사
2014 청정에너지연구소 연구원
현 재 두산중공업 기술연구원 책임연구원

Panel



이종민
1998 KAIST 생명화학공학 박사
2015 IEA-FBC TCP 부의장/의장
현 재 KEPCO 전력연구원 발전기술 연구소 수석연구원
IEA-FBC TCP 국내대표



선도원
1990 Utah 대학 연공공학 박사
현 재 KIER 책임연구원
폐자원 에너지기술협의회 이사



전충환
1994 부산대 기계공학 박사
현 재 POSCO 전임(4회)교수 및 PNU-KOSPO 유동층발전기술 지원센터장
부산대 기계공학부 교수(학부장)

Organizer/Chair/Speaker



이시훈
2003 KAIST 생명화학공학 박사
2011 KIER 선임연구원
현 재 전북대 자원에너지공학과 교수



<공청회>

“해외진출용 고효율 초청정 복합발전플랜트 상용화 기술개발” 산/학/연 3차 자문회의 보고

□ 회의 개요

○ (목적) 기획추진 내용에 대한 산/학/연 자문

○ (時/所) ’21.06.08.(화) 15:00~17:00 / 분당두산타워

○ (참석자) [두산중공업] 조성진 책임, 이진운 선임, 서대규 부장 [전북대학교] 이시훈 교수, [에너지기술연구원] 선도원 박사, 류호정 박사, [교통대학교] 김성원 교수 [현대중공업파워시스템] 김정래 이사, [호서대학교] 송금주 교수, [생산기술연구원] 이은도 박사, [KAIA] 최용준 PD 등 총 11인

□ 주요 논의사항

○ (에너지기술연구원) 선도원 박사

- 기저용 고효율 가스복합 초초임계 발전설비를 탄소중립과 매칭시키기 위해서 석탄화력에서 바이오매스 사용을 포함 필요
- 환경설비를 통해 미세먼지를 제거하려는 개념은 대상이 연소로에서 발생하는 1차 미세먼지인지 굴뚝이후 생성되는 2차 미세먼지인지 구분하여 설명 필요

- 해외 시장 진출을 위해서는 직접 해외와 접촉해서 시장 상황 파악 필요

- 해외 진출 기술, 초임계 보일러, 미세먼지 제어기술, 가스복합에 의한 부하 조절 기저부하대응기술 등 특징 강조 필요

○ **(에너지기술연구원)** 류호정 박사

- 최종적인 제품이 국내에 적용될 경우와 해외 진출의 경우가 다를 것으로 예상되어, 국내외 수요를 구분하여 설명 필요

- 본 기술의 경구 석탄보일러는 효율이 높으면서 CO2 발생량이 적은 기저부하 역할을 할 수 있으며, 가스터빈의 경우 신재생 발전량 변동에 빠르게 대응할 수 있는 기술임을, 즉 안정적인 전력공급이 가능하고 CO2 발생량이 적고, 환경문제가 적은 탄력적인 발전이 가능한 기술임을 부각 필요

- 신재생 발전량의 변동이 심한 경우 민자 가스발전으로 급하게 대응하는 경우가 많으나, 이 경우에는 환경오염물질, CO2에 대응은 불가능함

- CO2 포집 기술을 적용하는 경우 CCS-Ready 발전소임을 부각 필요

- 디지털솔루션 필요성을 명확히 할 필요 있음

- 본 기획 제목을 Net Zero CO2 배출리 가능한 신재생 발전 부하 대응형 화력발전 기술로 제안

○ **(생산기술연구원)** 이은도 박사

- 발전분야 미래에너지 믹스에서 필수적인 부분에 대한 정리를 통해 본 과제 진행을 위한 논리 개발 필요 : 현재 제시되고 있는 에너지 믹스로 발전분야 Net-Zero 달성이 가능한가? 재생발전원 증가에

따른 변동성(간헐성) 해소를 위해 GTCC 만으로 충분한가? 미래 석탄을 활용해야 하는 상황이라면 가장 적절한 방안은 무엇인가? GT도 환경적 이슈가 있음을 고려

- 제안 기술의 대상을 가스발전을 기본으로 하되 필요시 석탄을 사용할 수 있는 형태로 구성할 필요가 있음 : 가스를 주연료로 사용하다가 CO2 배출목표 달성 가스연료 가격제어 필요시 석탄을 사용하는 전략, 효율목표는 60% 이상으로 도전적으로 잡고 가스복합 단독 운영시 HRSG 제어문제 순간적인 NOx 배출 증가 문제를 해결할 수 있는 사양 제시, CO2 저감 목표 제시

○ **(현대중공업파워시스템)** 김정래 이사

- 환경오염물질 배출치 기준이 석탄화력과 가스터빈 발전기준이 상이하므로 이에 대한 기준정립 필요

- 부하 추종에 대한 가스터빈과 석탄화력에 대한 비율 조정이 발전효율에 따른 결과가 반영 필요

- 배가스 성상이 상이한 가스터빈 배가스 유량과 석탄화력 배가스 유량에 대하여 환경설비 크기와 운전비에 대한 최적화 연구가 필요

- 가스터빈 100% 부하 + 석탄 보일러 부하 추종 형태로 제안

○ **(교통대학교)** 김성원 교수

- 현재 기획자료에서 눈에 드러나지 않는 부분은, 한국형의 정의, 대상원료의 정이, 규모, 미세먼지 설득여부, 환경 특징 등임

- 최근 니즈에 따른 기술성이 아닌 결과물의 의미를 강조 필요

- Blue Electricity 개념, NO NOx 개념, Negative CO2 개념이 가능하도록 기획 필요

○ **(호서대학교)** 송금주 교수

- 하이브리드 발전시스템 적용 시 연료를 복합적으로 사용하는 발전시설이므로 현재 대기환경보전법에서의 대기오염물질 분류에서는 발전시설로 분류되어 신규시설로 들어가게 될것이므로 국내 적용 가능한/해야만 하는 환경환련법을 검토하고 기술개발 필요

- 현재 연료종류에 따른 시설로 분류하고 있으나, 환경부 방향은 한국표준 분류로 통일화 방향으로 가고 있으므로 발전시설에서의 하나로 기획/개념 정리 필요

- 환경오염물질 배출시설을 현재 통합관리제로 하고 있으므로 석탄 사용시, 가스 사용시, 환경부하가 달라지는 경우에 대한 대비 필요

- 환경방지설비 설계시 석탄과 가스의 혼합이 달라지는 경우 방지효율에 대한 변동이 없게 되어야 하는데 이부분에 대한 검토 필요

첨부1 자문회의 참석자 명단 및 회의 사진대지

연번	성명	소속	직위	분야	기관 구분
1	조성진	두산중공업	책임	복합발전플랜트 기획	산
2	이진운	두산중공업	선임	복합발전플랜트 기획	산
3	서대규	두산중공업	부장	복합발전플랜트 기획	산
4	이시훈	전북대	교수	복합발전플랜트 기획 (위탁)	학
5	선도원	에너지기술연구원	박사	자문위원	연
6	이은도	생산기술연구원	박사	자문위원	연
7	김성원	교통대학교	교수	자문위원	학
8	김정래	현대중파워시스템	이사	자문위원	산
9	류호정	에너지기술연구원	박사	자문위원	연
10	송금주	호서대학교	교수	자문위원	학
11	최용준	KAIA	PD	-	-



<3차 산/학/연 자문회의>

“해외진출용 고효율 초청정 복합발전플랜트 상용화 기술개발” 5차 중간진도회의(대면+화상) 결과 보고

< KAIA, ’21.08.26 >

□ 회의 개요

○ **(목적)** 기획추진 내용에 대한 중간진도 검토 및 사업방향 논의

○ **(時/所)** ’21.08.26.(목) 10:00~11:30 / 화상회의

○ **(참석자)** [두산중공업] 신동규 상무, 강명선 차장, 조성진 책임, 이진운 책임, [전북대] 이시훈 교수, [전력연구원] 김동원 부장, [부산대] 김용성 교수, 전충환 교수, [한양대] 육세진 교수, 황석주 연구원, [KAIA] 최용준 PD 등 총 11인

□ 주요 논의사항

○ **(공통)** 하이브리드 발전, 환경설비, 초초임계압 순환유동층 보일러 각 단위기술별 주요 추진경과, 기획보고서 가이드라인, ‘23년 예산요구 관련 일정 협의, 향후 기획과제 추진 방향 등 공유

- 올해 11월에 종료되는 기획보고서에는 ’23년 예산요구(~22.6)에 필요한 내용을 충분히 반영토록 상호 협조해야 함

- 전체 기획보고서의 목차는 일반적으로 정해져 있으므로 추후 조율하고 기획보고서 내 RFP가 포함되어야 함

○ **(하이브리드 발전 용역)** CO_2 중립 관점에서 암모니아 혼소 등 화력 발전 기술개발 필요성, 방향성 등에 대한 발표

- 화력발전 초청정 개념은 과거 대기오염물질 제어에서 CO_2 Free로 변경되었으며, 이를 위해 초초임계압 기술, 바이오매스 혼·전소, CCS 기술 접목, 암모니아 혼소 등의 적용 필요

- 국토부의 실증과제 대상은 TRL 7이상 상용화 기술이며, 이와 부합된 실증 전략 수립 필요

- 기획 결과물을 이용하여 한전, 발전사, 에기평 등과 진행 중인 암모니아 혼소, 고효율 복합발전 과제 등에 대해 향후 예산요구 전략 수립 필요

○ **(초청정 환경설비 용역 추진 경과)** 환경설비 실증 필요성, 탈황·탈질·CCUS 등 단위기술 기술성, 시장성 등에 대한 발표

- AQCS(Air Quality Control System)와 CCUS 기술에 대한 연관성 검토 후 기획보고서 내 반영 필요

○ **(USC-CFB 개념설계 결과)** 전력연구원 자체 설계프로그램 활용한 3개 초초임계압 순환유동층 프로젝트 개념설계 결과에 대한 발표

- 동남아 실증 지역 가능지역의 지속적 발굴이 중요하며 통합 설계 Tool의 시연회 추후 실시 필요

○ **(USC-CFB 경제성평가 결과)** 개념설계 기반 초초임계압 순환유동층 경제성 결과에 대한 발표

- 경제성 평가 기준과 시나리오별 분석 결과들에 대해 좀 더 구체적으로 기획 보고서에 반영 필요

□ 향후 계획

○ 외주용역 중간보고회의

- 부산대 (하이브리드발전, ‘21년 9월초)

- 한양대 (환경설비, ’21년 9월초)

○ 전체 기획보고서 초안 작성 및 검토 (‘21년 10월말)

○ 제4차 산/학/연 자문회의

- 기획보고서 초안 검토 (분당, ‘21년 10월말)

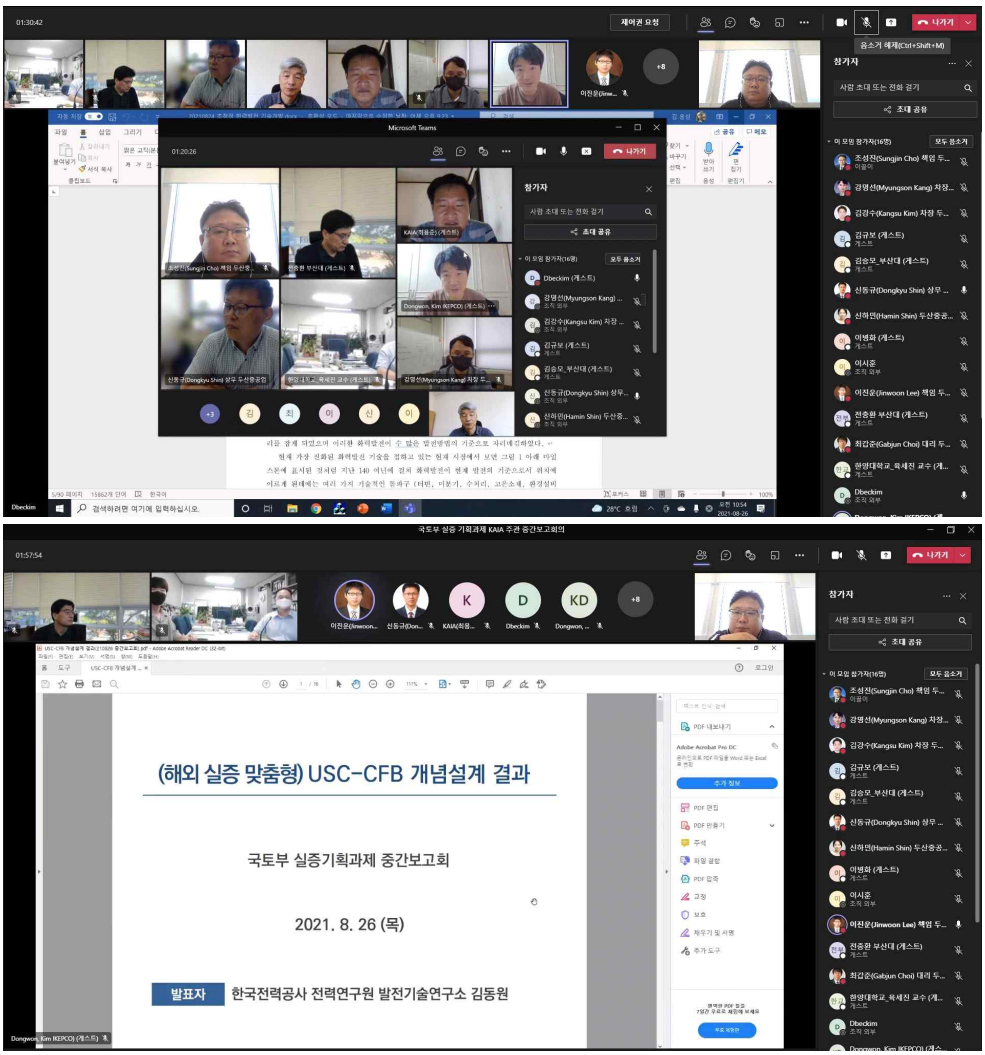
○ 기획 최종보고서(초안) 제출 (’21년 11월)

○ 기획 최종 평가회 실시 (’21년 12월 예정)

○ 기획 최종보고서 제출 (’21년 12월말)

첨부1 분과위원회 참석자 명단 및 회의 사진대지

연번	성명	소속	직위	분야	기관 구분
1	최용준	KAIA	PD	-	-
2	신동규	두산중공업	상무	하이브리드발전	산
3	강명선	두산중공업	차장	하이브리드발전	산
4	조성진	두산중공업	책임	과제총괄	산
5	이진운	두산중공업	책임	환경설비	산
6	이시훈	전북대	교수	초초임계압 순환유동층	학
7	김동원	전력연구원	부장	초초임계압 순환유동층	연
8	김용성	부산대학교	교수	하이브리드발전	산
9	전충환	부산대학교	교수	하이브리드발전	산
10	육세진	한양대학교	교수	환경설비	산
11	황석주	한양대학교	연구원	환경설비	산


(해외 실증 맞춤형) USC-CFB 개념설계 결과
국토부 실증기획과제 중간보고회
2021. 8. 26 (목)
발표자
한국전력공사 전력연구원 발전기술연구소 김동원

<5차 중간진도회의>

붙임. 참고 문헌

1) UNEP 2019
2) 대한민국 2050 탄소중립 전략(대한민국정부), 유엔기후변화협약 홈페이지
3) 통계청, OECD Stat('15)
4) 산업통상자원부, 제8차 전력수급기본계획
5) 10대 핵심기술이 적용된 2050 탄소중립 사회(과학기술정보통신부)
6) http://www.caiso.com/
7) Flexible capacity needs and availability assessment hours technical Study for 2021
8) https://www.yna.co.kr/view/AKR20180111011800003
9) http://www.keaj.kr/news/articleView.html?idxno=3925
10) IEA, Global Energy Review 2020
11) BP, Energy Outlook 2020 Edition
12) Toby Lockwood, IEA CCC 2020
13) 한국플랜트산업협회
14) 공기액화 기반 에너지 저장 및 활용 시스템 기술개발 기획, 국토교통부 국토교통과학기술진흥원
15) 산업통상자원부, ENCORED, INC 국가에너지계획 발표자료
16) 산업통상자원부, 제9차전력수급계획
17) EIA(Energy Information Administration), International Energy Outlook 2019
18) IRENA(International Renewable Energy Agency) Global, Renewables Outlook 2020
19) BP Energy Outlook 2020
20) 이시훈, 이종민, 초초임계 순환유동층 보일러 기술 소개 및 현황
21) 한국산업기술진흥원, Market leading products - 대용량 USC-순환유동층 보일러, 한국산업기술진흥원, 대한민국, 2014
22) Prabir Basu, Circulating fluidized bed boilers, Springer, New York, USA, 2015
23) NEWELL ET AL., GLOBAL ENERGY OUTLOOK 2019
24) Technical Update Of The Social Cost Of Carbon For Regulatory Impact Analysis, Technical Support Document, 2016
25) 유럽 그린딜이 한국 그린뉴딜에 주는 정책 시사점, KIEP 오늘의 세계경제, 대외경제정책연구원, 2020
26) https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/2030_ctp_en
27) Capgemini Invent(2020.10), Fit for NET-ZERO
28) 経済産業省(2020. 12. 25), 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」
29) 일본 경제산업성 홈페이지, 20년 12월 25일
30) https://baijiahao.baidu.com/s?id=1682342923502148062&wfr=spider&for=pc
31) https://chinadialogue.net/en/climate/researchers-unveil-roadmap-for-a-carbon-neutral-china-by-2060/

32) 국가나노기술정책센터(2021.1), 탄소중립 정책동향과 나노기술
33) McCoy Report 2021
34) Global Market Insights : Circulating Fluidized Bed Boiler Market, 2025
35) Seo et al., Energy, doi: 10.1016/j.energy.2021.121217
36) 미세먼지 관리 특별대책(2016.6.3.), 미세먼지 관리 종합대책(2017.9.26.), 비상·상시 미세먼지 관리 강화대책(2018.11.8.)
37) 미세먼지 대응 사업 분석, 국회예산정책처, 2019
38) Value Market Research, 2021
39) 2020 BIZWIT RESEARCH & CONSULTING LLP
40) 연합뉴스, https://www.yna.co.kr/view/AKR20161019072500083, 2016-10-19
41) 연합뉴스, https://www.yna.co.kr/view/AKR20170403091100083, 2017-04-03
42) 과학기술기반 미세먼지 대응 전략 점검: 산업기술 경쟁력 분석, 한국과학기술기획평가원, 2018
43) BCC Research(2017), Transparent Market Research(2016) 재구성
44) 2020 BIZWIT RESEARCH & CONSULTING LLP
45) Paid Data Sources, Company Annual Reports, Primary Interviews & Bizwit Research & Consulting LLP
46) Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety
47) 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵(안), 관계부처 합동, 2021
48) 환경운동연합, http://kfem.or.kr/?p=217393
49) 두산중공업, 표준가스복합발전모델 및 테스트베드구축 기술개발 보고서, 2021
50) 이산화탄소 포집기술 국외 기술개발 동향, 전력연구원, 2016
51) GLOBAL STATUS OF CCS REPORT, 2014
52) Introduction of MHPS & air quality control systems, mhps, 2017
53) KATS기술보고서, 국가기술표준원, 2018
54) https://www.gereports.kr/carbon-capture-and-storage/
55) 건식흡수제 이용 연소배가스 이산화탄소 포집기술, 이창근, 2009
56) 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵, 과학기술정보통신부, 2021
57) https://byjus.com/physics/electrostatic-precipitator/
58) Marin E&C、Aquacell 홈페이지
59) 미세먼지 관련 국내외 시장정책현황과 분야별 사례분석 및 기술개발 동향, 좋은정보사, 2018
60) 연합뉴스, https://www.yna.co.kr/view/AKR20160614049300017, 2016-06-14
61) 세계의 전기집진기 시장 예측(2018 - 2023년) : 건식 전기집진기, 습식 전기집진기
62) 한국기계연구원, 두산 석탄화력발전 미세먼지 저감기술
63) 에너지데일리, KTL공인인증 기술적 문제점 및 주민 님비 현상 해결 대안
64) 대한전문건설신문, 화력발전소 배출 미세먼지 잡는 친환경 설비 개발
65) https://ulsansafety.tistory.com/1535
66) 과학기술기반 미세먼지 대응 전략 점검: 산업기술 경쟁력 분석, 한국과학기술기획평가원, 2018

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.