

기술 패권 시대의 대한민국 탄소중립 기술 개발 전략:

– 녹색 및 디지털 두 전환을 이끄는 산업 정책과 이를 추동할 새로운 과학기술 R&D
가능성 –

Strategy for Carbon Neutrality Technologies in the Era of Technological Sovereignty in Korea:

Leading the Green & Digital Transition in Industrial Policy and Exploring the
Potential of New Science and Technology R&D to Drive it

연구책임자

윤제용 교수 (서울대학교 공과대학)

공동연구원

윤신영 연구원 (얼룩소)

연구 요약

연구과제명	국문	기술 패권 시대의 대한민국 탄소중립 기술 개발 전략: 녹색-디지털 두 전환을 이끌 산업 정책과 이를 추동할 새로운 과학 기술 R&D의 가능성				
	영문	Strategy for Carbon Neutrality Technologies in the Era of Technological Sovereignty in Korea: Leading the Green-Digital Transition in Industrial Policy and Exploring the Potential of New Science and Technology R&D to Drive it				
연구책임자	소속	공과대학	직급	교수	성명	윤제용
연구기간	2023. 05. 00. ~ 2024. 05. 00.					

요약

1. 머리말

탄소중립은 전 세계가 공통적으로 처음 겪는 전 지구적 문제인 기후변화를 극복하기 위한 방안으로, 과학과 기술의 도움이 적극 필요한 분야라는 특징이 있다. 이런 특징은 탄소중립 실현을 어려운 과업으로 만들기도 한다. 하지만, 탄소중립 기술 가운데 상당수는 세계 시장을 창출하고 국가의 성장 동력으로까지 이어질 수 있는 잠재적 산업 기술이다. 탄소중립 기술 개발을 위한 시도와 투자는 국제 사회에서 한국이 강점을 가질 역설적 기회를 제공할 수 있다. 급변하는 세계 정세 속 기술 패권 주의와 보호주의(신냉전주의) 시대에 반드시 달성해야 할 과제이기도 하다.

이런 기회를 잡을 수 있도록 탄소중립 정책을 설계하고 추진하여 기술의 성공 사례를 최대한 확보하기 위해 노력할 필요가 있다. 탄소중립 과학기술 정책의 주요 목표를 기후변화 해결에만 두지 않고 산업의 활성화로도 확대해야 할 이유다.

이 보고서는 급변하는 시대적 상황에서 탄소중립을 연구하는 과학기술계가 어떤 전략을 세워야 할지를 살펴보았다. 학계와 산업계, 정부와 국제협력 전문가의 시선에서 시급히 결정하고 시행해야 할 탄소중립 과학기술 분야와 정책을 추리고, 한정된 시간과 자원을 최대한 활용해 기후와 산업의 지속가능한 발전 방향을 가늠하고자 한다.

2. 배경

2022년 말 기준, 세계 133개국이 탄소중립을 선언했다. 이들은 전 세계 국내총생산(GDP)의 91%, 온실가스 배출량의 83%를 차지한다. 유럽연합(EU)은 배출이 정점을

기록했던 1990년 대비 55%를 감축하는 목표를 세웠다. 정점인 1991년 대비 68%를 감축하겠다는 계획이다. 미국은 2007년 대비 51% 감축, 일본은 2013년 대비 46% 감축이 목표다.

주요국은 이 같은 감축을 성공적으로 이행하고 탄소중립을 달성하기 위해 자국의 실정을 고려한 정책과 지원책을 마련 중이다. 특히 미국은 인플레이션 감축법(IRA), 유럽연합은 탄소국경조정제도(CBAM)와 탄소중립산업법을 시행 중이며 이들 제도는 한국의 산업에도 직/간접적인 영향을 미칠 예정이다. 한국은 탄소중립녹색성장 기본법 하 여러 전략과 과제, 핵심기술을 선정해 추진 중이다.

3. 논의

한국 탄소중립 기술의 개발 과정에서는 여러 가지 약점이 드러나고 있다. 산업적으로도 성공한 새로운 탄소중립 기술 개발 사례가 적다는 점은 가장 뼈 아픈 지점이다. 전기차와 배터리 같이 국제 사회에서도 통하는 글로벌 성공 사례가 이 분야에서 충분하지 않다. 즉 탄소중립 달성은 물론, 산업적 성공 기회를 확보하기 위해서도 만족스러운 결과를 낳지 못하고 있다. 여기에는 선택과 집중을 고려하지 않은 나열식 연구 주제, 스케일업을 위한 정책의 부재 등이 중장기 난제인 탄소중립 기술 개발과 적용의 가장 큰 문제점으로 꼽힌다.

일관성과 지속성이 부족하다는 약점도 한국의 탄소중립 기술 개발을 가로막고 있다. 퍼스트 무버로 새롭게 개척해야 할 분야다. 긴 안목에서 지속성과 일관성으로 연구 개발에 임해야 하지만, 정부 교체에 따른 잦은 정책 변화, 전략의 부재, 연구비의 불안정성, 그에 따른 민간의 연구개발 참여 감소, 부처간 경쟁과 독주 등 문제점을 노출하고 있다.

여기에 세계는 녹색 전환과 디지털 전환이라는 거대한 두 전환의 시대에 돌입했다. 또, 국제적 보호주의의 득세와 기술 패권 주의의 등장은 한국을 안팎에서 조여오고 있다. 세계는 새로운 정부의 산업 정책을 통해 자국이 새 시대에 적합한 경쟁력을 갖도록 지원하는 한편, 수십 년간 지속할 긴 안목의 전략을 세우느라 분주하다. 한국은 이런 상황에서 단순히 탄소중립에 수동적으로 적응하는 게 아니라, 적극적으로 시장을 선도할 방안을 찾을 필요가 있다.

4. 제언 및 결론

두 전환 시대에 탄소중립 달성과 기후변화 극복이라는 커다란 과제를 해결하고, 동시에 국내 산업의 새로운 전환기를 맞이해야 한다. 탄소중립은 비단 기후변화 분야만이 아니라 국내 산업과 에너지 안보, 국토 균형 발전, 일자리 창출, 나아가 인구 감소 등 한국 사회가 마주하고 있는 다양하고 큰 문제점들과 직/간접적으로 연결돼 있는 주제다. 국민의 삶과 행복, 공공의 안보와도 직접적으로 연관을 가질 수 있다. 이를 성공적으로 혁신할 방안이 중요하다.

이 보고서에서는 탄소중립 기술을 다양하게 세분화(공공기술, 성장 산업기술, 기초연구)하여 각각에 걸맞는 방식으로 지원하는 방안을 논의하고, 정부의 일관성과 지속성, 부처간 협력을 도모하기 위한 방안을 다양하게 살펴보았다. 여기에는 스케일업 활성화를 통한 성공 사례 창출, 거버넌스의 설계, 부처별 분업, 국제협력, 민간의 참여 확대와 대학의 역할 재고가 포함된다.

특히, 성공적인 퍼스트 무버 기술 육성하고, 이를 새로운 산업정책으로 키워 나가기 위해서는 흔들림없는 중장기 전략을 수립하고 이끌 역량이 중요하다. 과거 냉전시대에는 국가(정부)가 그 역할을 주도했고, 글로벌 기업이 기술과 시장 장악력을 바탕으로 이 역할을 일부 구현한 시대도 있다.

하지만 디지털 전환과 녹색 전환이 동시에 일어나는 새로운 시대에, 일관성을 갖기 어려운 정부나 기업만으로는 중장기 전략과 지속성을 담보하기 어렵다. 다양한 역량을 보유하고 적절한 독립성을 확보하고 있어 싱크탱크 역할을 수행할 수 있으며, 인력을 동시에 양성하며 미래를 설계할 수 있는 대학을 이 역할을 수행할 잠재적 역량을 지닌 기관으로 고려할 필요도 있다는 사실도 새롭게 제기한다.

세계화 시대가 끝을 향해 가고 새로운 보호주의와 기술 패권 주의 시대가 다가오고 있다. 산업 다방면에서 도전이 끊이지 않고 있고 앞으로 도전은 더욱 많아질 것이다. 하지만 그 중심에는 기후위기 극복과 에너지 안보 확보를 위한 탄소중립을 주요 축으로 하는 녹색 전환과, 반도체와 인공지능(AI), 양자 기술을 중심으로 한 디지털 전환이 자리하고 있다. 두 전환의 성공적 기틀을 마련하는 데 보고서가 활용되길 기대한다.

문제		제언
성공 사례의 부재: 성공률 낮은 기술 현실화	→	스케일업과 집중화를 통한 기술 현실화 성공 사례 창출
일관성과 지속성이 부족한 과기R&D 정책 리스크	→	일관성과 지속성을 회복하는 탄소중립 거버넌스 구축
신냉전: 기술 패권 시대의 도래	→	국제협력 통한 차별화된 민간 선도기술 육성
부족한 리더십		종합적 리더십: 민간 참여 확대와 대학 역할 재고

목차

1. 머리말	9
1.1. 2024년, 가속화하는 기후변화	9
1.2. 가보지 않은 길, 탄소중립	10
1.3. 과학기술 특수성과 한국의 상황 고려한 전개 필요성	11
1.4. 기술 패권 시대의 도래와 민간 주도 산업 활성화	12
1.5. 전환의 시대, 한국 과학기술과 산업의 새로운 모색	12
2. 배경	15
2.1. 글로벌 탄소중립 정책 트렌드: 새로운 시대가 오고 있다	15
2.1.1 서울대학교 기후변화 탄소중립 분야 전분과 연구주제 분석	15
(a) 유럽연합(EU)	15
(b) 미국	16
(c) 영국	16
(d) 일본	16
(e) 중국	17
2.1.2 국제 규제 강화: 탄소중립 뒤처지면 산업도, 무역도 없다	17
2.1.3 글로벌 공급망 전환: 세계는 이미 변화하고 있다	17
2.2. 대한민국의 탄소중립 전략	18
2.2.1 탄소중립 선언과 NDC	18
2.2.2 기술 혁신을 위한 정책 전략의 필요성	18
2.2.3 탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략	19
2.2.4 국가 탄소중립 녹색성장 전략 및 기본계획	19
2.3. 대한민국 탄소중립 과학기술 전략	20
2.3.1 한국형 탄소중립 100대 핵심기술과 전략 로드맵	20
(a) 기간별, 수준별 맞춤형 R&D	20
(b) 범부처 탄소중립 R&D 투자 전략성도 강화	20

(c) 탄소중립 기술혁신 기반 강화	20
(d) 핵심 기술에 대한 임무 중심 R&D 관리 강화	20
2.3.2 새 정부 출범과 탄소중립 기술혁신 전략 로드맵	20
3. 논의: 내우외환의 대한민국 탄소중립 기술	22
3.1. 내우: 한국의 탄소중립 기술 정책의 문제점 1 - 성공한 기술의 부재	22
3.1.1 낮은 기술 현실화: 선택과 집중 고려치 않은 나열식 연구 주제	22
(a) 스케일업 실패	22
(b) 기술 시장 진입 취약	23
3.2. 내우: 한국의 탄소중립 기술정책의 문제점 2 - 일관성과 지속성의 부족	23
3.2.1 정부 따라 변화하는 정책: 부족한 일관성	23
3.2.2 R&D 예산의 불확실성과 중장기 전략의 부재	23
3.2.3 민간 참여 막는 정책 불안정성	24
3.2.4 통합 방해하는 정부 부처간 독주	25
3.3. 외환: 기술 패권 시대의 도래와 산업 정책의 귀환	25
3.3.1 보호주의 시대의 그늘	25
3.3.2 세계 현실과 동떨어진 정책과 중장기 전략의 부재	26
3.3.3 민간 및 대학 역할에 대한 고려 부족	26
4. 제언: '두 전환' 시대의 성공 사례 창출 전략	27
4.1. 성공을 향한 한국 탄소중립 R&D 현실화 전략	27
4.1.1 기술의 목적 세분화: 공공기술, 성장 산업기술, 기초연구로서의 탄소중립	27
4.1.2 주요 탄소중립 기술 로드맵 분석	29
4.1.3 기술 현실화를 위한 노력: 스케일업과 집중화	31
4.2. 일관성과 지속성 회복, 그리고 탄소중립 거버넌스	31
4.2.1 정책 일관성 확보를 위한 새로운 거버넌스 구축	31
4.2.2 정부 부처별 기후기술 R&D 특성을 살린 분업	32
4.3. 국제협력을 통한 차별화된 민·관 선도 기술 육성	33
4.3.1 분야 별 산업 발전 고려한 전략	34
4.3.2 개도국 기술 수용성 높일 플랫폼과 민·관 협력 모델	34

4.3.3 R&D 예산 활용한 협력	35
4.4. 종합적 리더십: 민간 참여 확대와 대학의 역할	35
5. 결론	38
6. 첨부자료	39
참고문헌	53

그림 목차

그림 1. 출처: 안세진 외, '기후 기술 국가연구개발사업 투자현황분석(2018~2022), NGIT BRIEF, 국가녹색기술연구소, 2023	24
그림 2. 출처: 기지훈 외, "공공기술개발" 유형 국가연구개발사업 성과평가 방법 및 성과지표 개선 연구: 중간평가와 표준성과지표를 중심으로, 2021, KISTEP	28
그림 3. 출처: 기지훈 외, "공공기술개발" 유형 국가연구개발사업 성과평가 방법 및 성과지표 개선 연구: 중간평가와 표준성과지표를 중심으로, 2021, KISTEP	29
그림 4. 출처: 안세진 외, '기후 기술 국가연구개발사업 투자현황분석(2018~2022), NGIT BRIEF, 국가녹색기술연구소, 2023	33

"정신의 새로운 개척지가 우리 앞에 있으며, 만약 우리가 이 전쟁을 수행했던 것과 동일한 비전, 대담함, 추진력으로 개척한다면 우리는 더 충만하고 더 생산적인 고용과, 더 충만하고 더 풍요로운 삶을 창출할 수 있을 것입니다."

- 미국 대통령 프랭클린D. 루즈벨트가 과학연구개발국(OSRD) 국장 버니바 부시에게 보낸 요청 편지에서(1944년11월17일)

"정부가 새로운 프런티어의 개방을 이끌어야 한다는 것은 미국의 기본 정책이었습니다. 미국은 쾌속선에게 바다의 문호를 열었고, 개척자들에게 땅을 제공했습니다. 이런 프런티어는 이제 상당 부분 사라졌지만, 과학의 프런티어는 여전히 남아 있습니다. 모든 미국 시민이 새로운 프런티어에 접근해 개발할 수 있게 하는 것은, 미국을 위대하게 만든 미국의 전통을 유지하는 것입니다.

더욱이, 건강, 복지, 안보는 정부의 당연한 관심사이므로 과학의 진보는 정부의 중요한 관심사이며, 또 그래야만 합니다. 과학의 진보가 없다면 국민 건강은 악화될 것입니다. 과학의 진보 없이는 생활 수준의 향상이나 시민의 일자리 증가를 기대할 수 없습니다. 과학의 진보가 없었다면 우리는 폭정에 맞서 자유를 지킬 수 없었을 것입니다.

- 미국 과학연구개발국(OSRD) 국장 버니바 부시가 루스벨트 대통령의 요청에 대해 발간한 보고서'과학 끝없는 프런티어'에서(1945년 7월25일)¹

¹ Vannevar Bush, Science The Endless Frontier - A Report to the President by Director of the Office of Scientific Research and Development, OSRD, 1945 <https://www.nsf.gov/about/history/vbush1945.htm>

머리말:

늦출 수 없는 과제, 탄소중립

1.1. 가속화하는 기후변화

지구의 평균 기온은 산업화 시대 이전에 비해 약 1.2도 상승한 상태다. 2023년은 특히 더 뜨거운 해로 기록됐다. 유럽의 기후 관측, 분석 기관 코페르니쿠스 기후변화센터가 2024년 1월 10일 공개한 보고서에 따르면, 2023년 전 지구 평균 기온은 산업화 이전에 비해 1.48도 높았다.² 미국 기후 연구기구 버클리어스는 같은 달 12일 공개한 보고서는 같은 해 지구 평균 기온이 산업화 이전 대비 1.54도 높았다고 보고했다.³ 오차를 고려하면 대략 1.5도 내외로 상승한 것으로 보인다. 역대 최고 기록이다. 일시적으로나마, 파리협정에서 인류가 가급적 넘지 말자고 합의한 온도 상승 상한선인 1.5도를 위협한 첫 해가 됐다. 기온 외에 해수면 온도도 기존과 큰 격차를 보이며 역대 최고 수온을 기록했다. 2023년 시작된 북태평양 및 동태평양 수온의 이상 증가 현상(엘니뇨)의 영향까지 더해지면서, 2024년은 더욱 뜨거운 해가 될 전망이다.

지구 평균 기온 상승은 인류와 자연에 직접적인 영향을 미친다. 지난 20년간 기후변화에 따른 자연재해 수는 1.7배 증가했다.⁴ 인적, 경제적 손실도 크게 증가했다. 2022년 파키스탄 대홍수로 1700명이 사망했고 경제적 손실액은 3조 원에 이르렀다. 같은 해 미국 한파와 폭설로 64명이 사망했고, 유럽은 500년 만의 최악의 가뭄으로 25조 원의 경제 손실을 입은 것으로 추정된다. 미국은 플로리다에 허리케인 이안이 강타해 127조 원의 경제 피해를 입었다.

기온 및 수온이 상승한 이유는 인류가 내뿜는 온실가스다. 기후변화를 완화하기 위해서는 인위적 온실가스 배출량을 줄여야 한다. 문제는 배출량이 오히려 급격히 증가하고 있다는 사실이다. 최근 30~40년 사이에 배출량은 그 기율이 급격히 증가했다.

2015년 12월 체결된 파리협정은 지구평균온도상승폭을 산업화이전대비 2도보다 훨씬 아래로 유지하고, 나아가 1.5도 이내로 억제하기 위해 노력할 것을 명시하고 있다. 이에 따라 기후변화협약 당사국은 2050년경 탄소중립이라는 중간 경로를 달성하고, 다시 이를 위한 중간 경로로 2030년 목표로 국가온실가스감축목표(NDC)를 자체적으로 정하고 실천하도록 하고 있다.

탄소중립에 이르는 길은 매우 다양하다. 정책을 통해 달성할 부분도 있고 국가간 협력을 통해

2 GLOBAL CLIMATE HIGHLIGHTS 2023: Copernicus: 2023 is the hottest year on record, with global temperatures close to the 1.5°C limit, Press Release, 2024.1.9.

3 Robert Rohde, Global Temperature Report for 2023, Berkeley Earth, 2024
<https://berkeleyearth.org/global-temperature-report-for-2023/>

4 CRED, Human cost of disasters: An overview of the last 20 years 2000-2019, UNDRR, 2020

이뤄야 할 부분도 있다. 여기에서 빠질 수 없는 부분은 과학기술이다. 특히, 파리협정에도 불구하고 인류의 탄소배출량이 줄지 않고 있고, 단기간 내에 배출량이 극적으로 줄 것을 기대할 합리적 근거가 없다는 점, 기후변화가 가속화할 가능성이 제기되고 있다는 점에서 과학기술을 활용해 기존의 고배출 섹터에서 배출되는 탄소를 줄이고, 이미 배출됐거나 배출되고 있는 탄소를 흡수, 저감할 필요성이 제기된다. 이를 위해서는 기존의 에너지, 수송, 산업, 건축 등 사회 전 분야의 변화가 필요하며, 기존의 탄소를 추가로 제거하기 위한 기술의 적극적 활용도 고려돼야 한다.

한국의 경우 경제를 뒷받침하고 있는 산업 부문에서 배출되는 탄소량이 2021년 기준 전체 배출량의 51.2%로 절반이 넘는 실정이다. 산업 공정 전반을 단기간에 무탄소 또는 저탄소 공정으로 바꾸는 일은 무엇보다 과학기술의 발전을 필요로 한다. 세계가 한국의 향후 탄소중립 과정에 크게 주목하고 있는 이유다.

1.2. 가보지 않은 길, 탄소중립

탄소중립에는 다른 분야와 다른 독특한 특성이 있다. 전 세계가 공통적으로 처음 겪는 전 지구적 문제라는 사실이다. 과학기술의 도움이 적극 필요한 분야라는 점도 특징이다. 이 말은, 한국 뿐만 아니라 모든 국가가 탄소중립 관련 기술에는 ‘퍼스트 무버’일 수밖에 없다는 뜻이다. 기존 과학기술을 빠르게 배우고 응용해 따라잡는 ‘패스트 팔로워’ 전략으로 달성할 수 없다. 한국이 기존에 따라왔던 과학기술 연구개발(R&D) 전략이 통하지 않는다. 완전히 새로운 전략과 기술 프레임워크가 필요하다.

정부와 과학기술계도 이 사실을 인지하고 있다. 정부는 탄소중립을 위해 2020년 10월 탄소중립을 선언하고, 같은 해 12월 탄소중립 추진전략을 발표하고 국가온실가스감축목표(NDC)를 공개하며 본격적으로 탄소중립에 대응하기 시작했다. 했다. 이듬해 탄소중립위원회를 출범했으며 NDC 목표를 상향했다. 탄소중립녹색성장기본법을 제정했다.

동시에 과학기술정보통신부는 탄소중립 달성을 위한 39개 중점기술과 10대 핵심기술 개발 동향을 발표하며 과학기술을 활용한 대응에 시동을 걸었다. 이 10대 핵심기술은 과학기술 기반 탄소중립의 뼈대가 됐다. 2022년 3월에는 탄소중립기술특별위원회가 중점기술 가운데 중요도가 높은 9개 기술(철강, 석유화학 정유, 시멘트, 탄소포집 이용 저장(CCUS), 태양광, 풍력, 그린 수소, 전력저장, 전력망)의 기술 개발 목표와 시점, 투자 방향, 개발 전략 등을 담은 기술혁신 전략이행안(로드맵)을 심의, 의결했다.

2022년 5월 새 정부가 출범하면서 탄소중립 대응은 새로운 양상을 맞이했다. 같은 해 10월 탄소중립녹색성장위원회가 출범했다. 기존의 탄소중립 추진전략은 탄소중립 녹색성장 추진 전략으로 개편됐다. 이 때 100대 핵심기술과 17대 중점기술이 선정됐다. 2023년 3월 탄소중립 녹색성장 기본계획 정부안이 발표됐다. 이어 탄소중립 17대 중점기술 전략 로드맵이 발표됐다. 탄소중립기술 특별위원회가 구체적 전략 로드맵을 수립하기 시작했고, 현재 수소, 탄소포집 이용 저장(CCUS), 무탄소 전력 공급, 친환경 자동차, 석유화학, 철강, 시멘트, 탄소중립 선박, 제로에너지 건물, 태양광 등 10개 분야의 로드맵이 발표됐다.

1.3. 과학기술 특수성과 한국의 상황 고려한 전개 필요성

이전 정부에서 현 정부에 이르기까지, 탄소중립에 대응하기 위한 과학기술적 노력은 이어지고 있다. 핵심 기술 또는 중점 기술을 선정하고 이들을 지원하기 위한 체계적이고 종합적인 대책을 마련했다는 점은 높이 평가할 만하다. 중점적으로 추진해야 할 핵심기술을 선정하고 이에 대한 로드맵을 순차적으로 만들어 나가고 있는 점도 고무적이다.

다만, 과학기술을 활용한 기후변화 대응의 궁극적 목표는 탄소중립 달성에만 한정해서는 안 된다. 주요 탄소중립 기술은 수송과 에너지, 기후 산업 부문 기술과 떼려야 뗄 수 없는 관계다. 더구나 한국 사회, 나아가 전 세계 주요 국가가 마주하고 있는 공통의 사회적 문제를 풀기 위한 해법이 기후 문제를 풀기 위한 해법과 관련이 있다. 전력망 측면에서 고립된 섬 취급을 받고 있는 한국은 에너지 안보에 취약하고, 사회는 인구의 급격한 감소와 지역의 불균형한 발전이라는 약점을 지속적으로 노출하고 있다. 양극화는 심해지고 있고 성장동력은 꺼져가고 있다. 탄소중립과 기후 기술이 이 모든 문제의 만능 해결책은 아니지만, 상당수 문제를 완화할 방안과 관련이 깊다. 에너지 안보는 직접적으로 전환 및 전기화 문제와 관련이 있으며, 분산 발전원의 배치와 전력망 구축의 문제는 지역 균형 발전과도 연관된다. 탄소중립기술 가운데 상당수는 세계시장을창출하고 국가의성장동력으로까지 이어질 수 있는 잠재적산업기술이다. 이런 기술의 성공 사례를 최대한 확보하는 것이 탄소중립 정책의 또 다른 주요 목표가 돼야 한다.

간혹 정 반대로 한국 산업이 위기에 봉착했는데 탄소중립을 추구하다 위기가 심화될 수 있다는 주장도 있다. 하지만 이는 탄소중립과 기후기술이 공공문제 해결을 위한 기술이라는 한 측면만 있다고 오해한 결과다. 탄소중립은 상당수 산업에 파괴적인 영향을 미칠 수 있는 혁신 기술의 탄생을 필요로 한다. 이는 그 자체로 산업군을 혁신할 수 있고 새로운 중장기 경제성장 동력이 될 수 있다. 이미 한국은 전기차와 배터리 등 일부 산업군에서 성공을 경험한 적 있다. 오히려 이들을 산업에 적극 수용하지 않았을 때 상대적으로 뒤처질 수 있다는 위기감을 가져야 옳다.

이런 측면에서, 관련 기술을 모두 망라하거나 국내에서 이뤄지는 모든 R&D에 투자를 분산하는 전략은 한계가 있다. 오히려 확실한 성장 동력으로 키울 수 있는 기술을 집중 지원하고 세계적 성공 사례를 만드는 전략이 필요하다는 지적이 나온다.

탄소중립 정책은 한국에서 본격적으로 추진된 지 5년이 채 되지 않은, 비교적 새로운 분야 정책이다. 그럼에도 불구하고 한 번의 정권 변화에 따라 정책의 이름이 바뀌고 세부 내용이 변동되는 진통을 겪었다. 탄소중립은 단기간에 성과를 낼 수 있는 분야가 아니다. 전 세계가 피해를 공유하는 거대한 문제이자, 해결에 수십 년이 걸릴 수 있는 난제 중 난제다. 이를 위한 정책은 매우 신중하면서 흔들림없이 추진돼야 한다. 정권의 변화에 따라 불과 2~3년만에 변화한다면 제대로 된 중장기 대책이 아니었다고 봐야 한다.

더구나 한국은 2024년 정부 연구개발(R&D) 예산을 예고없이 전년 대비14.7% 줄이는 대단히 불안정한 모습을 보였다. 과학기술 R&D 예산이 언제든지 극단적으로 줄어들 수 있다는 사실을 경험한 과학기술계는 바로 한 치 앞을 내다볼 수 없는 안개 속 같은 연구개발 환경 속에서 탄소중립과 같은 중장기 과학기술 개발을 할 수 있을지 불안감을 가질 수밖에 없게 됐다.

1.4. 기술 패권 시대의 도래와 민간 주도 산업 활성화

국이 탄소중립 기술을 비롯해 R&D 전반에서 추진 동력을 잃고 머뭇거리는 사이, 세계는 다시 한번 또 다른 변화의 시기를 맞이하고 있다. 탄소중립으로 대표되는 기후위기 완화 기술에는 새로운 미래 성장 동력으로 삼을 수 있는 산업기술의 맹아가 숨겨져 있다. 현재의 전기자동차와 배터리 기술이 대표적이다. 차세대 태양광과 무탄소 전원, 다양한 산업 전환 기술도 포함된다. 소위 '녹색 전환'이다. 다른 한편에서는 양자와 반도체, 인공지능(AI)으로 대표되는 새로운 '디지털 전환'이 벌어지고 있다.

전 세계가 새로운 전환의 국면에서, 주요 패권국가들은 과거와는 다른 경제, 산업 논리를 펴나가고 있다. 미국의 압도적 군사력에 의한 강력한 억제력이 세계 평화와 국제관계를 직조해 낸 20세기 후반 이후의 시대, 소위 '팍스 아메리카나'가 점차 끝을 향해 가고 있다. 미국의 위상이 과거와 같지 않고, 중국이 새로운 경제대국의 면모를 과시하며 부상하고 있다. 이에 두 국가는 자유무역을 중시하던 분위기에서 벗어나 보호주의를 중시하는 분위기로 나아가고 있다. 이는 기술 분야에서도 감지되고 있다. 미국은 보조금을 주면서 반도체와 배터리 등의 공장을 유치하고 있고 중국은 자원을 무기화하고 있다. 새로운 냉전이라고 불릴 만한 이 같은 시대에는 자유로운 기술의 공유와 협업보다 독점적 기술력 확보가 중요해진다. 각국은 다른 나라를 압도하는 기술을 확보하기 위해 혈안이 될 것이며, 이렇게 확보한 기술이 군사적, 경제적, 산업적 패권으로 연결될 가능성도 커진다. 새로운 기술을 얼마나 확보하느냐에 따라 국가의 미래가 바뀔 수도 있다.

탄소중립 기술은 이 같은 기술 패권 경쟁의 가장 대표적인 분야다. 에너지와 산업이라는, 안보에 결정적인 비중을 차지하는 두 분야와 관련이 있을 뿐만 아니라, 점차 심각해지는 기후위기 시대에 안전과 국민의 생명을 담보하기 위해서도 중요하다. 탄소중립 기술의 혁신적 R&D 생태계를 만들고 이를 확실한 경쟁력을 지닌 산업기술로 성공시키는 전략을 지금부터 고민하지 않으면 안 된다.

이 때 정부의 과감하면서도 세밀한 산업 정책과 민간의 자생적인 기술 개발이 조화를 이루며 발전해야 한다. 보호주의의 득세와 함께 각국의 자국의 산업을 보호하고 육성하기 위한 산업 전략을 세우고 있다. 무역 장벽으로 자국의 기술과 생산품을 보호하고, 해외의 생산거점을 자국 내로 옮기기 위해 보조금 지급을 불사하고 있다. 탄소중립 분야에서도 미국과 유럽연합, 일본 등에서 이 같은 움직임이 수년째 가시화하고 있다. 이런 분위기에서 한국 역시 뒤처지지 말아야 하며, 동시에 이를 잘 활용해 민간의 산업 경쟁력을 높이고 세계적 성공 사례를 만들어야 할 시기다.

1.5. 전환의 시대, 한국 과학기술과 산업의 새로운 모색

이 보고서는 2023년 12월 13일 서울대 국가미래전략원과 한국과학기술기획평가원(KISTEP)이 공동 주최한 '탄소중립을 위한 혁신기술 포럼'의 발표 및 논의 내용을 포함해 전 세계의 최근 탄소중립 현황을 정책 측면에서 정리하고, 그 과정에서 과학기술이 기여할 방안을 모색했다. 한국 과학기술 R&D 정책의 역사는 짧게 잡아도 수십 년에 이르고, 여기에는 환경이나 기후

외에 다양한 산업과 관련한 분야가 관여돼 있다. 이 보고서는 한국 과기 R&D 정책의 전반적인 발전 궤적을 바탕으로 기후 기술 및 탄소중립 분야 기술 정책을 되짚고 현 시대에 맞는 새로운 정책의 필요성을 제기한다.

현재, 대한민국 과학기술계에서는 탄소중립의 추진 과정에서 과학기술이 갖는 잠재력을 어떻게 효율적으로 끌어낼 것인가가 큰 관심을 모으고 있다. 이는 단지 탄소중립의 성패를 위해서만 중요한 게 아니다. 새로운 전환의 시대에 한국이 또 다른 성장 동력을 발굴해 내고 이를 주요 산업으로 발전시키기 위해서도 필요하다.

탄소중립은 전 세계가 직면한 공통의 문제를 해결한다는 공공기술의 측면을 지니고 있으면서, 동시에 미답의 영역으로 나아가야 하는 '퍼스트 무버'로서의 R&D 전략을 필요로 한다는 점에서 이제까지와 다른 접근이 필요하다. 더구나 상당수가 산업과 관련이 있거나 향후 세계의 새로운 산업을 열어줄 기술로 기능할 수 있다. 활용하기에 따라 기후위기 시대의 생존을 도모하게 해줄 뿐만 아니라, 새로운 미래 생존 동력이 되어줄 수 있다.

하지만 과연 한국에서 이런 위기 속 기회를 포착할 잠재력을 지니고 있는지는 미지수다. 과학기술R&D의 특수성을 고려하지 않은 정책적 문제와, 산업 기술을 육성하지 못하는 단기적 시야가 겹치면서 중요한 기로에 선 한국 탄소중립 과학기술의 혁신 적기를 놓칠 수 있다는 지적이 나온다. 이에 과학기술 R&D를 적시에 진행하며 동시에 산업 기술을 확보해 다음 세대의 주력 산업을 발굴할 방법을 모색했다.

이에 따라, 탄소중립 관련 기술을 1) 탄소중립 달성과 기후변화 완화를 위한 기여 측면(공공기술개발 성격)과 2) 기술을 통한 새로운 시장 창출 측면(중장기 산업기술개발 성격), 그리고 3) 미래를 위한 연구(기초연구 성격)로 분류하고 각각의 기술에 대해 무엇을 목표로 정부 R&D 전략을 마련해야 할지 살폈다.

특히 산업기술의 활성화 측면에서 정책을 펴는 것은, 시장을 창출한다는 측면에서도 중요하지만 그 자체가 민간의 참여를 이끌어 민간 주도의 탄소중립 기술 혁신이 가능한 생태계를 유도한다는 측면에서도 중요하다. 여기에 현재 한국 과기 R&D 전반을 위협하는 고질적 문제점을 지적하고, 이들을 해결하는 것이 중장기적 탄소중립 혁신기술 생태계를 조성하는 데 필수적임을 언급한다.

* * *

1944년 11월, 미국 루스벨트 대통령은 미국 과학연구개발국(OSRD)의 국장 버니바 부시에게 군사 안보를 위해 쌓아온 과학적 지식을 세상에 알리고 이를 일자리 제공 등 국가 복지 향상에 활용하며, 질병과의 전쟁을 수행하기 위해 축적한 연구를 미래에도 지속하기 위해 정부가 무엇을 해야 할지를 요청했다. 공공 및 민간 기관의 연구 활동을 지원하고 미래 세대의 과학 재능을 계발하기 위한 프로그램을 문의했다.

이 질문에 부시 박사는 "새로운 제품과 산업, 더 많은 일자리를 위해서는 자연법칙에 대한 지식이 지속적으로 추가돼야 하며 이 지식을 실제 목적에 적용해야 한다"며 "이 필수적이고 새로운 지식은 기초 과학 연구를 통해서만 얻을 수 있다. 과학적 진보 없이는 다른 방향의 어떠한 성취도, 현대 세계에서 국가로서 건강, 번영, 안보를 보장할 수 없다"고 못박았다.

이 보고서는 상세 내용에서 정부의 기초 연구 지원과 과학 인재 개발 지원이라는 방향을 제시했고, 이는 전후부터 냉전시대에 이르기까지 미국 사회, 나아가 전 세계에서 정부의 과학 연구 지원이 어떤 모습이어야 할지 큰 흐름을 결정했다. 80년이 지난 지금, 부시 보고서가 고민했던 군사적 긴장과 질병과의 전쟁, 공공 복지와 일자리 확충이라는 과제는 기후위기라는 전 사회

적, 전 세계적 위기 앞에서 더 큰 과제로 우리 앞에 와 있다. 더구나 보호주의로 회귀한 국제 관계는 신 냉전 시대를 방불케 한다. 이 역시 전후 냉전 시대로 돌입했던 부시 보고서 이후의 시대상과 비슷한 면이 있다. 전 지구적 문제를 풀기 위한 탄소중립 과학기술 R&D 전략 역시 단지 위기의 극복이나 전쟁에서의 승리뿐만 아니라, 공공 복지와 일자리 확충까지 종합적으로 고려한 새로운 전략이 돼야 하고, 여기에 정부의 정책이 중요한 마중물이 돼야 한다.

이 보고서는 이렇게 급변하는 시대적상황에서 탄소중립을 연구하는 과학기술계가 어떤전략을 세워야할지를 짚는다. 학계와 산업계, 정부와 국제협력 전문가의 시선에서 시급히 결정하고 시행해야 할 탄소중립 과학기술 분야와 정책을 추리고, 한정된 시간과 자원을 최대한 활용해 기후와 산업의 지속가능한 발전 방향을 가늠할 계기가 되길 바란다.

배경

2.1. 글로벌 탄소중립 정책 트렌드: 새로운 시대가 오고 있다

2022년 말 기준, 세계 133개국이 탄소중립을 선언했다. 이들은 전 세계 국내총생산(GDP)의 91%, 온실가스 배출량의 83%를 차지한다.

주요국의 탄소중립 선언 현황

주요국은 각국 상황 고려해 2030 NDC 마련하며 정책도 강화 중이다.

- 미국: (2021.4) 2050년 탄소중립 달성 선언
- 영국: (2019.6) 2050년 탄소중립 달성 선언
- 일본: (2021.4) 2050년 탄소중립 달성 선언
- EU: (2020.3) 2050년 탄소중립 달성 선언
- 한국: (2020.10) 2050년 탄소중립 달성 선언

2.1.1. 각국의 탄소중립 정책 프레임

유럽연합(EU)은 배출이 정점을 기록했던 1990년 대비 55%를 감축하는 목표를 세웠다. 정점인 1991년 대비 68%를 감축하겠다는 계획이다. 미국은 2007년 대비 51% 감축, 일본은 2013년 대비 46% 감축이 목표다. 주요국은 이 같은 감축을 성공적으로 이행하고 탄소중립을 달성하기 위해 자국의 실정을 고려한 정책과 지원책을 마련 중이다.

(a) 유럽연합(EU)

EU는 에너지 소비를 절감하고 공급망을 다변화하며 신재생에너지 보급을 확대한다는 내용을 골자로 하는 RePower EU를 2022년 5월 발표했다. 또 2023년 2월 그린딜 산업계획을 발표해 탄소중립 달성을 위해 규제 환경을 개선하고 자금 조달을 원활하게 하며 인력을 양성하고 국제협력 활성화를 추진하기로 했다. 그린딜 산업계획의 일환인 탄소중립산업법(NZIA)은 친환경 산업의 규제를 간소화하고, 기술개발을 지원해 탄소중립 기술의 EU 역내 생산, 제조 능력을 확

대한다는 전략을 포함하고 있다.⁵

2023년 3월에는 핵심원자재법(CRAM)을 발표해 EU의 특정국 대상 공급망 의존도를 줄이고 역내 투자를 늘려 원자재 공급 안정성을 확보하려는 계획을 세웠다. 코로나19나 미-중 무역 분쟁, 러시아의 우크라이나 침공 등에 의해 원자재 공급망이 불안정해진 데 불안감을 느낀 결과다. 특히 희토류와 리튬이 각각 90%와 60% 중국에서 가공되는 등, 핵심 원자재에 대해 중국에 크게 의존하는 상황이 공급망 안정성을 크게 해친다고 판단해 이를 전략적으로 접근할 필요성이 제기됐다. EU 역내에서 소비되는 원자재 가운데 채굴 10%, 가공 40%, 재활용 15%를 2030년까지 역내에서 담당할 것을 목표로 하고 있다.

여기에 탄소국경조정제도(CBAM)를 2023년10월부터 시행해 수입하는 제품의 탄소 배출량에 비용을 부과하고 있다. 현재는 철강과 알루미늄, 비료, 전력, 수소, 시멘트 등6대 품목을 대상으로 하고 있으며 향후 확대할 예정이다.

(b) 미국

미국은 2022년 인플레이션 감축법(IRA)을 제정했다. 물가 상승을 완화하는 것을 목표로 하는 법률로, 7370억 달러의 재정수입을 확보하고 4370억 달러의 재정지출을 해 3000억 달러의 재정적자를 감축할 것을 계획하고 있다. 재정지출의 절대 다수(84.4%, 3690억 달러(486조 원))가 에너지 안보 및 기후변화 대응을 위한 지출로, 2030년까지 탄소중립과 관련 기술 개발, 지원에 3690억 달러를 투자할 계획이다. 탄소포집이용저장(CCUS), 탄소직접포집(DAC) 등의 기술을 포함하고 있으며, 이들 기술의 비용을 감소시키고 효율성을 높일 것으로 기대된다. 이산화탄소 저장 기술은 1톤에 최대 85달러, DAC는 1톤에 180 달러의 세액을 공제한다. 수소는 1 kg에 최대 3달러의 세액을 공제한다.⁶

같은 해 미국은 청정경쟁법안(CCA)를 발의했다. 유럽의 CBAM에 대응하기 위한 법안으로, 석유 추출, 펄프, 종이, 시멘트, 철강, 알루미늄, 에탄올 등 21개 산업에서 생산되는 수입 원자재 및 완제품을 대상으로 한다. 미국 평균 탄소배출량을 기준으로 수입품의 탄소집약도를 계산해 초과분에 탄소세를 부과한다. 자국 기업의 탈탄소화를 촉구하고, 수입품에는 탄소세를 부과하는 내용을 담고 있다. 이를 통해 미국 탈탄소 제품의 시장 경쟁력을 강화하는 게 목표다. 2024년 시범 적용하고, 2026년부터 적용 대상 제품을 확대할 계획이다.

이에 앞서 2021년에는 일자리 창출 및 기후위기 대응을 위한 미국 혁신을 통해 탄소중립 건물 등 12개 핵심 기술을 선정해 350억 달러를 투자할 계획을 세웠다.

(c) 영국

영국은 2021년 넷제로 전략을 통해 7대 온실가스 배출 감축 대상을 설정하고, 이를 위한 7대 정부 지원 정책 영역을 제시했다. 2023년 3월에는 재생에너지 발전 촉진, 원자력 발전 확대, CCUS 신산업 구축 등을 담은 에너지 안보계획을 발표했다.

(d) 일본

일본은 2020년 그린성장전략을 발표해 해상풍력과 자동차, 배터리, 반도체, 정보통신 등 14개 성장 분야를 선정해 육성하기로 했다. 2조 엔 규모의 그린이노베이션 기금을 활용해 연구개발

5 정훈, 김동구, 기후위기 대응 및 산업경쟁력 강화를 위한 주요국의 입법 전략과 국내 대응방안 연구, 국회미래연구원, 2023

6 박철호, [이슈분석256호] 주요국의 탄소중립 주요 동향 및 R&D 추진전략, 한국과학기술기획평가원, 2024 https://www.kistep.re.kr/gpslssueView.es?mid=a30101000000&list_no=49118&nPage=1

및 실증 프로젝트를 추진 중이다.

(e) 중국

중국은 그린성장전략에 대한 공식 문건은 없다. 하지만 2021년 14차 5개년 계획에서 탄소중립을 강조하며 에너지 구조 전환 및 효율성 개선 기술 개발을 언급했다. 풍력과 태양광 등 재생에너지 비중을 늘리고 수소 기술, 차세대 원전 기술 등을 개발할 계획이다. 이를 위해 녹색 저탄소 발전 지원 자금 3500억 위안을 예산으로 배정할 계획이다.⁷

2.1.2. 국제사회의 규제 강화: 탄소중립 뒤흔치면 산업도, 무역도 없다

또 다른 흐름은 각국이 탄소중립 실현을 위해 탈탄소 경제체제를 구축하고 있으며, 이를 위한 다양한 글로벌 규제를 강화하고 무역 장벽화하고 있다는 사실이다. 이들은 한국 내 산업과 탄소중립 정책에도 직접적인 영향을 미칠 것으로 보인다. 대표적인 제도가 탄소국경조정제도(CBAM)다. 탄소국경조정제도는 EU 역외에서 생산된 제품이 EU 역내로 수입될 때 탄소 함유량에 따라 탄소 가격을 부과, 징수하는 제도다. 2026년부터는 본격적으로 철강 등 6개 품목의 탄소배출에 대해 규제가 적용된다.

이에 더해 EU는 제품 단위 전과정 탄소배출량(탄소발자국)을 요구하고 있다. 탄소발자국은 제품 원료 채취부터 생산, 유통, 사용, 폐기 등 전생애주기에서 발생하는 탄소배출량 총량을 나타내는 지표다. 또 플라스틱세를 통해 재활용이 불가능한 플라스틱 폐기물에 1 kg 당 0.8 유로의 세금이 부과된다. 자동차 배출 규제도 강화되고 있다. EU는 새로운 자동차의 이산화탄소 배출 기준을 강화하고 있다. 2020년에는 1 km 운항 시마다 95 g의 탄소를 배출할 수 있었지만, 2030년에는 59 g으로 강화된다.

미국은 2030년까지 신차 판매의 50%를 친환경차로 확대하기로 했다. 영국은 2030년까지 내연기관 자동차 신규 판매가 중단된다. 한국은 수출이 중요하므로 영향을 받을 수밖에 없고 대책 마련이 시급하다.

2.1.3. 기술 패권과 글로벌 공급망 전환: 게임의 룰이 바뀌고 있다

미국과 중국의 기술 패권 경쟁이 심화하며 글로벌 공급망의 변화가 가시화되고 있다는 점도 탄소중립과 관련해 짚어야 할 사항이다. 미국은 반도체와 인공지능(AI) 등 기술을 이용해 중국을 견제하고 있고, 중국은 희토류 등 자원의 무기화로 대립하고 있기 때문이다. 희토류 등 자원은 배터리 생산과 수소 생산, 전기화 등과 밀접한 관련이 있어 탄소중립 기술 개발과 정책 마련에 직접적인 영향을 미친다.

이 같은 기술 패권 경쟁과 자원의 무기화는 최근 국제사회에 가장 큰 전환 요인으로 등장하고 있다. 국회미래연구원이 2023년12월31일 발간한 보고서 '미중 기술혁신 경쟁과 국제질서 변화'에 따르면, 기술은 글로벌 패권 변동 역사의 중요한 요인이다. 2,3차 산업혁명을 거치며 기술혁신과 산업화에 두각을 나타낸 미국이 한 세기 이상 패권 지위를 유지하는 원동력도 바로 기술이었다.⁸ 하지만 최근 두 가지 분야에서 전환이 일어나며 미국의 지위가 흔들리고 있다. 녹색 전환과 디지털 전환이다. 오늘날 세계는 이 두 전환을 함께 추진하는 '트윈트랜지션(이중전

7 김규판 외, 주요국의 탄소중립과 그린성장전략에 관한 연구: EU, 미국, 중국, 일본을 중심으로, KIEP 정책연구 브리핑, 대외경제정책연구소, 2023

8 차정미, 미중 기술혁신 경쟁과 국제질서 변화, 국회공동연구보고서, 국회미래연구원, 2023

<https://www.nafi.re.kr/new/research.do?mode=view&articleNo=6785&article.offset=0&articleLimit=10>

환)’을 핵심 국가전략으로 제시하고 있다고 보고서는 분석하고 있다. 이 가운데 녹색 전환을 둘러싼 패권 경쟁이 바로 현재 눈앞에서 펼쳐지는 중이다.

중국의 부상은 이 두 전환을 사이에 둔 미-중 경쟁을 심화하고 있다. 두 분야에서 중국의 역량이 급격히 높아지면서다. 특히 출원 건수를 바탕으로 두 나라의 경쟁을 분석한 결과, 녹색 기술과 디지털 기술 양쪽 모두 중국의 특허 수가 급증해 점유율이 80%에 이른다는 사실을 밝혔다. 특히 새로 시장을 창출할 가능성이 높은 신형 기술 분야의 중국 특허 수 증가가 빨랐다. 다만 아직 특허의 질적 수준은 떨어진다는 분석이다.

아직은 두 국가 사이의 진영화는 뚜렷하지 않다고 보고서는 분석하고 있다. 하지만 경쟁이 이어지면 기술 네트워크의 그룹화가 부상할 가능성이 있다고 밝히고 있다.

2.2. 대한민국 탄소중립 전략

2.2.1. 탄소중립 선언과 NDC

정부는 2050년 탄소중립을 달성하기 위해 2030년 NDC를 수립하고, 탄소중립 시나리오 및 법적 근거를 마련했다. 본격적인 시작은 2020년 12월 2050 탄소중립 달성을 선언하면서부터 이뤄졌다. 이듬해인 2021년 9월 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법이 제정됐다. 여기에서 2030 NDC와 2050 탄소중립 실현을 위한 법정 절차 및 정책 수단이 규정됐다.

같은 해 10월에는 2050 탄소중립 시나리오(안)이 발표됐다. 국내 순 배출량을 0으로 하는 2개 시나리오로 구성돼 있었다. A안은 화력발전을 전면 중단하는 등 탄소 배출을 최대한 줄이는 안이었고, B안은 석탄발전은 중단하되 액화천연가스(LNG)는 유지하고, CCUS 등 탄소 제거기술을 적극 활용하는 방향으로 구성됐다.

비슷한 시기에 2030 NDC 상향안이 발표됐다. 2018년 대비 탄소배출량을 26.3%에서 40% 감축으로 목표를 높였다. 국제적인 요구 수준에 맞추기 위해 필요했다는 주장과 여전히 세계의 흐름에는 미치지 못하는 미진한 계획이라는 비판, 그리고 산업 배출량이 많은 한국의 특수성을 고려하지 않은 비현실적인 안이라는 비판이 각각 쏟아졌다. 2023년 3월, 2030 NDC는 다시 한번 수정됐다. 전체적인 감축 목표는 유지하되 부문별 감축 목표량은 국내 여건을 반영해 수정됐다.

2.2.2. 기술 혁신을 위한 정책 전략의 필요성

한국의 탄소중립 여건은 3중고에 둘러싸여 있다. 먼저 산업 구조 자체가 탄소배출이 높을 수밖에 없는 구조를 보이고 있다. 제조업 가운데 철강 등 에너지 다소비 산업 비중이 81.8%로 높다. 일본(78.3%), 미국(70.3%), OECD 평균(72.0%) 등보다 높은 수준이다.

반면 재생에너지 여건은 뒤떨어져 있다. 재생에너지 발전 비중이 2021년 기준으로 8.3%로 미국(21.1%), 일본(21.8%)은 물론 독일(41.7%), 영국(41.9%) 등에 비해 뒤떨어져 있다. 탄소중립 기한도 주요 선진국에 비해 촉박하다(짧다). 탄소중립에 대해 관심을 기울인 기간이 짧아서인데, 32년 안에 탄소중립을 달성해야 한다. 이는 EU 60년, 일본 37년 등 다른 주요 국가에 비해 수 년~수십 년 짧은 수준이다. 이에 따라 성공적으로 탄소중립을 달성하고, 탄소중립 대전환을 새로운 성장의 기회로 활용하기 위해서는 과학기술 기반의 탄소중립 기술혁신을 추진해야 한

다.

2.2.3. 탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략

이 같은 기술 혁신 전략은 전 정부에서도 추진됐다. 과학기술정보통신부는 탄소중립 10대 핵심 기술 개발 동향을 발표하며 탄소중립 기술 개발을 위한 전략을 마련했다. 하지만 기술 정책의 본격적인 추진은 2022년 5월, 새 정부가 출범 이후에 이뤄졌다. 2022년 10월 탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략이 공개됐다. 기술혁신을 통해 2030 NDC와 2050 탄소중립을 실현하기 위해 세 가지 기본 방향을 제시했다.

1) 먼저 민간 주도의 임무 중심 탄소중립 기술 혁신이다. 한국형 탄소중립 100대 기술 핵심 기술을 선정하고 임무 중심 기술 혁신 로드맵을 수립했다. 민간 수요 반영을 위한 산학연 협업 시스템도 구축했다.

2) 신속하고 유연한 탄소중립 R&D 투자를 강화한다는 방침도 공개했다. 범부처 통합형 R&D 예산배분 조정 체계를 도입하고 신속 유연한 예타 지원 및 맞춤형 프로젝트를 추진할 예정이다. 선도국 중심의 전략적 국제협력도 강화할 계획이다.

3) 마지막으로 혁신적 기술 개발과 신속한 사업화·창업을 위한 선제적 기반을 조성할 방침이다. 혁신기술의 신속한 사업화와 창업을 촉진하고, 신뢰성 있는 탄소배출 측정, 검증 모델을 개발한다는 것이다. 탄소중립 R&D와 연계한 선제적 제도를 만들고 규제를 개선하며, 산학연 공동 탄소중립 전문인력을 양성하고 범부처 탄소중립 R&D 컨트롤타워를 강화할 계획이다.

2.2.4. 국가 탄소중립 녹색성장 전략 및 기본계획

정부는 2023년 3월, 국가 탄소중립·녹색성장 전략 및 기본계획을 발표했다. 국가 탄소중립·녹색성장 전략은 국내 탄소중립 최상위 정책이다. 이를 통해 2050 탄소중립 사회로 이행하고, 환경과 경제의 조화로운 발전을 도모한다는 국가 비전을 세웠다.

관련해 4대 전략 12대 과제를 발표했다. 4대 전략에는 (1) 무탄소 전원을 활용하는 등 효율적 방식으로 온실가스를 감축하는 책임감 있는 탄소중립, (2) 민간이 이끄는 혁신적 탄소중립 및 녹색성장, (3) 국민과 지자체 등 모든 사회 구성원의 공감과 협력을 통해 함께 하는 탄소중립, (4) 기후위기 적응과 국제사회를 주도하는 능동적 탄소중립이 포함돼 있다. 탄소중립녹색성장 위원회와 중앙부처, 지자체의 상설 협의체를 설립해 매년 이행 상황을 점검하도록 하고 있다.

NDC 달성을 위한 부문별 목표를 제시했다. 여기에는 2023~2027년 5년간 총 약 90조 원 이상이 소요될 것으로 추정된다. 부문별 감축(54조 6000억 원), 기후변화 적응(19조 4000억 원), 녹색산업 성장(6조 5000억 원) 등이 포함된다. 연 평균 투자 증가율은 11.5%다.

국가 감축 목표는 2018년 7억 2760만 톤에서 2030년 4억 3660만 톤으로 줄이는 것이다. 전환이 45.9%, 산업이 11.4%, 건물 32.8%, 수송 37.8%, 농축수산 27.1% 등이다. 흡수원을 통한 감축은 2670만 톤, CCUS는 1120만 톤, 국제감축은 3750만 톤을 감축한다.

2.3. 대한민국 탄소중립 과학기술 전략

2.3.1. 한국형 탄소중립 100대 핵심기술과 전략 로드맵

KISTEP은 2023년 5월, 한국 여건을 고려한 한국형 탄소중립 100대 핵심 기술을 선정했다. 연구와 산업 현장의 의견을 반영했고 R&D 투자 현황과 기술 동향도 고려했다. 탄소감축 기여도와 비용 대비 효과를 기준으로 탄소중립과 관련한 기술 체계를 먼저 작성했다. 이후 산업구조와 지리 등 여건을 반영해 한국형 100대 기술을 선정했다.

에너지 전환 부문에서는 초대형 풍력 터빈 기술과 고온 초저온 히트펌프 기술을 포함해 풍력과 수소 공급, 전력망 등 8개 분야에서 35개 기술이 선정됐다. 산업에서는 수소환원제철기술, 탄소포집활용을 포함해 철강과 석유화학, 시멘트 등 5개 분야에서 44개 기술이 선정됐다. 수송과 교통 부문에서는 차량용 이차전지시스템, 선박용 전기추진 시스템 등 13개 기술이, 건물 환경에서는 제로에너지 기술 등 8개 기술이 포함돼 있다.

(a) 기간별, 수준별 맞춤형 R&D

2030년까지 조기 상용화가 가능한 단기형 37개 기술 분야는 민간이 주도하고, 2050년까지 중장기 추진이 필요한 63개 분야는 2030년까지 정부 주도로 하며 이후 민간 중심으로 추진하는 방향을 제시했다. 기술 수준 별로는 세계 최고 기술로 평가받는 소형모듈형 원전(SMR)과 연료전지 등 기술력을 바탕으로 선두를 유지하고 격차를 확대하는 초격차 기술 9개와, 전 세계적으로 개발 초기에 있어 신시장 창출 및 격차 선점을 노리는 신격차 기술 39개, 그리고 선도국과 격차가 존재해 기술 확보와 격차 해소를 목표로 하는 감격차 기술 52개로 구성됐다.

(b) 범부처 탄소중립 R&D 투자의 전략성도 강화

100대 핵심 기술과 관련한 정부 R&D 투자를 5년간 연평균 5% 이상 증가시키면서 2028년 정부 R&D 투자 규모가 3조 원 규모로 투자를 강화할 계획이다. 아울러 탄소 배출량이 많은 주요 분야를 중심으로 '분야별 기술혁신 전략 로드맵'을 수립할 것도 제안했다.

(c) 탄소중립 기술혁신 기반 강화

100대 핵심 기술과 관련한 정부 R&D 신규 사업을 기획했을 경우 총사업비 규모가 3000억 원 이내이고 총 연구기간이 5년 이내일 경우, 부처가 희망하면 예비타당성조사를 할 때 패스트트랙으로 추진할 수 있도록 하는 제도를 도입했다. 이 경우 평균 예타 기간 8개월보다 훨씬 빠른 4.5개월 만에 신속하게 예타 조사 결론을 도출할 수 있다.

(d) 핵심 기술에 대한 임무 중심 R&D 관리 강화

범부처 '탄소중립기술특별위원회'를 중심으로 핵심 기술에 대한 임무 중심 R&D 관리를 강화하는 방향을 추진 중이다.

2.3.2. 새 정부 출범과 탄소중립 기술혁신 전략 로드맵

2022년부터 KISTEP은 탄소중립 기술혁신 전략 로드맵을 수립 중이다. 임무지향⁹ 전략 로드맵

9 임무지향형 혁신정책론은 정부가 경제 성장과 안보, 사회문제 해결 등 '큰 사회적 과제'를 해결하기 위한 임무를 가져야 한다는 이론이다. Kattel, Mazzucato, Mission-oriented innovation policy and dynamic capabilities in the

추진 경과와 내용을 살펴보면, 먼저 17대 분야 별로 2030 NDC, 2050 탄소중립 달성을 목표로 국가 차원에서 반드시 달성해야 할 임무와 기술 개발 목표를 구체적으로 제시하고, 이런 임무와 목표를 달성하기 위해 핵심 기술 분야를 도출해 세부 로드맵을 제시했다. 이렇게 수립된 전략 로드맵을 기반으로 각 부처가 범부처 협업으로 통해 기획과 사업을 추진해서 대형 R&D 프로젝트로 연계될 수 있기를 기대하고 있다.

17대 기술 별 전략 로드맵을 마련 중이며 2022년 11월 수소 공급, CCUS 등 4개 분야 전략 로드맵을, 2023년 5월 석유화학, 철강 등 3개 분야 로드맵을, 같은 해 12월 탄소중립 선박 등 3개 분야 로드맵을 수립했다.

논의:

내우외환의 한국 탄소중립 기술

3.1. 내우: 한국의 탄소중립 기술정책의 문제점1 - 성공한 기술의 부재

3.1.1. 낮은 기술 현실화: 선택과 집중을 고려치 않은 나열식 연구 주제

첫 번째 문제는 기술 간의 위계나 가중치가 고려되지 않았고, 전략의 구조화가 부족하다는 점이다. 정부에서는 탄소중립을 포함해 과학기술계의 기술 패권을 강조하고 있다. 이 말은 전 세계 시장을 석권할 수 있는 경쟁력 있는 중요 핵심 기술이 몇 도출돼야 한다는 뜻이다. 하지만 현재는 100대 기술, 17대 기술 등 백화점식 나열만 있을 뿐 연구개발 추진 우선순위를 설정하거나 위계를 부여하려는 노력이 보이지 않는다. 더구나 부처 간 연계도 없다. 이는 연구 현장의 효율성을 낮출 뿐만 아니라, 자칫 이를 접하는 국민에게도 탄소중립 정책을 이해시키는 데 한계를 노출한다. 여기에는 몇 가지 원인이 꼽힌다.

(a) 스케일업 실패

현재 한국은 연구개발(R&D)이 늘고 논문 편수나 수준 등에서 뛰어난 수준으로 성장했다. 배터리 및 수소 등에서 원천 기술을 포함한 좋은 논문이 나오는 상황이다. 하지만 원천 기술이 실제 기술 개발로 이어지지 못하는 '끊어진 다리'가 존재한다. 바로 '스케일업' 기술이다. 스케일업은 원천 기술을 실제 기술로 실현하기 위한 기술이다. 다음 절에서 논의할 틀로 본다면, '공공 기술개발로 확보한 원천 기술을 중장기산업기술개발로 연결시키는' 과정이다.

한국에서는 공공기술개발 경험을 바탕으로 여러 혁신 기술을 등장시키고 있다. 하지만 핵심 기술의 스케일업은 매우 어려우며, 특히 혁신 기술을 스케일업 해본 경험이 부족하다. 그간 한국은 기술 선진국에서 개발한, 스케일업에 성공한 기술을 가져와 효율성을 개선하고 가격을 낮추는 방식으로 발전해왔고 성공적이었다. 이는 패스트 팔로워에 적합한 방식이나, 현재는 기술 혁신을 멈추게 하는 한계선으로 작용하는 게 현실이다. 특히 탄소중립처럼 새로운 기술 분야에서 퍼스트 무버가 되기에는 적절치 않다. 대학 연구 상당수는 국가과제의 위탁과제 형태로, 논문 실적으로 인정받을 수 있는 연구에 머무르는 경우가 많다. 스케일업까지 이르지 못하는 한계를 노출하고 있다.

(b) 기술 시장 진입 취약

가격 역시 현실화를 위해 극복해야 할 대상이다. 예를 들어 수소와 CCUS를 보면, 수소를 만드는 것도 비싸고, 탄소포집도 비싸다. 먼저 투입 에너지 및 자원이 비싸다. 현재 수소는 1 kg 만드는 데 50 kWh의 전력이 소모되고 있다. 탄소 포집 비용은 1톤에 200달러다. 여기에 이리듐과 루테튬, 코발트 등 광물 수급 이슈도 굉장히 클 것이다.

기존 기술과의 가격 차이 이슈도 있다. 기존 석유화학 방식으로 만든 제품의 가격이 매우 저렴하다. 반면 이산화탄소를 포집하고 전환하는 기술은 비용이 많이 든다. '그냥 배출권을 사고 말지'라는 반응이 나올 수 있다. 결국 이렇게 가격 차이가 큰 제품을 타깃으로 하면 수억 톤의 이산화탄소에 그 스케일을 맞출 수가 없다는 문제가 있다.

3.2. 내우: 한국의 탄소중립 기술정책의 문제점2 - 일관성과 지속성의 부족

한국의 탄소중립 정책은 사실상 2020년 탄소중립 선언 이후 4년이 채 안 되는 시간 동안 수립되고 추진됐다. 이 안에서 진행된 과학기술 정책 역시 4년간 만들어지고 발표된 내용이다. 탄소중립 정책이 반드시 가져야 하는 장기성과 일관성을 획득하기에는 짧은 시간이었으며, 실제적 성과를 보기에조차 부족한 시간이었다.

하지만 이런 상황을 고려하더라도 한국의 탄소중립 과기정책 추진에는 아쉬운 점이 많다. 4년이라는 시간 내에서도 잦은 변경과 단절, 일관성의 상실을 경험했기 때문이다. 정책 방향과 내용의 우수성과 별개로, R&D의 방향성이 한국의 주요 산업을 발전으로 이끌 수 있는지에 대한 관점도 미흡하다.

3.2.1. 정부 따라 변화하는 정책: 부족한 일관성

한나는 일관성의 부족이다. 지금과는 다른 새로운 R&D 생태계가 탄소중립에서 반드시 필요하다. 탄소중립 이슈는 장기적이고 일관성 있는 정책들이 필요하다. 정부가 바뀌면 이전 정부의 계획을 백지화하고 다시 엇비슷한 정책을 다시 세우는 일은 지양해야 한다. 하지만 현실은 반대였다. 정부가 바뀌면서 이전 정부의 결정 사항을 번복하고 도출된 기술의 우선순위를 바꾸는 일이 발생했다. 핵심 기술 선정의 일관성이 없다. 환경 변화에 따른 적응이라고 볼 여지도 있지만, 글로벌 환경이 크게 바뀌지 않은 상황에서 설득력이 없다.

다만 2024년 1월 대통령실 과학기술수석비서관을 임명하는 등 범부처 전략을 수행하고자 하는 의지를 보이고 있다는 점은 평가할 만하다.

3.2.2. R&D 예산의 불확실성과 중장기 전략의 부재

더구나 2023년 R&D 예산 삭감 사태가 겹치면서 연구 현장의 연구 지속성도 심각하게 훼손됐다. R&D는 중장기 계획을 통해 성과를 낸다. 하지만 갑작스럽게 2023년 감축된 2024년 정부 R&D 예산안은 이런 중장기 계획의 수립을 방해했다. 전 해에 비해 14.7% 줄어든 가운데, 기후 대응기금 예산 등 탄소중립과 관련한 정부 R&D 예산도 큰 폭으로 줄어들었다. 특히 기후 기술 개발과 관련한 기초연구와 국제협력 사업 예산의 삭감 폭이 컸다.

이는 최근 5년 사이의 기후 분야 정부 R&D 투자 경향과 상반된다. 이전 5년은, 적어도 어느 정도는 예측 가능한 행보를 보여줬다(그림 1). 2022년의 경우 정부 R&D 투자 총액(28조 6801억

원) 가운데 12.9%인 3조 9073억 원을 차지했다.¹⁰ 2018~2022년 기후기술 감축 분야 예산은 4.8~21.9%로 꾸준히 증가했고, 적응 분야 예산 역시 꾸준히 증가했으나 2021~2022년 탄소중립 대두에 따라 약간 감소한 경향을 보였다. 기후기술에 대한 중요성 증대, 그 중에서도 탄소중립과 감축 분야에 대한 집중 투자가 어느 정도 예측 가능한 행보를 보였다.

하지만 이 같은 꾸준함과 예측 가능성은 2024년 정부 R&D 예산이 축소되며 한 순간에 깨졌다. 탄소중립과 기후변화 해결은 짧게는 10여 년에서 길게는 수십 년 지속해야 하는 전 지구적 문제다. 이런 문제를 일관성 없이 추진하는 것은 장기적 성과를 저해할 뿐만 아니라, 전에 없던 기술을 개발해 퍼스트 무버로 도약해야 할 한국의 입지를 약화시킨다.

<그림 1> 출처: 안세진 외, '기후 기술 국가연구개발사업 투자현황분석(2018~2022)', NGIT BRIEF, 국가녹색기술연구소, 2023



3.2.3. 민간 참여 막는 정책 불안정성

정책의 일관성은 민간의 참여를 위해서도 중요하다. 하지만 아직까지는 이 부분의 불확실성이 크다. 기술의 역사는 수천 년이지만 기술 정책의 역사는 수십 년에 불과하다. 기술 정책 개념이 존재하기 전에 과학기술이 발전한 동인은 경제적 이윤이었다. 하지만 지금까지는 사적 이익만을 고려했다. 환경적 외부성을 간과했고, 온실가스에 의한 기후변화 역시 이 때문에 발생하게 됐다. 세계가 배출권거래제나 탄소세 등 환경적 외부성을 내재화하기 위한 메커니즘을 국가 차원에서 시도하게 된 이유다.

하지만 정책적 일관성이 약하면 기업이 탄소 배출을 줄이고 청정 기술을 개발할 동인이 약해진다. 여기에 국민의 수용성 측면에서도, 국민이 불편을 감내하고 비용을 더 낼 의지가 없다면 민주적 방식으로 선출된 정부가 국민에게 부담을 강요할 방법이 사라진다. 결국 제도가 성공을 거두기 위해 줄 수 있는 가장 명확한 신호는 이윤을 가질 수 있다는 신호가 될 것으로 보인다.

10 안세진 외, '기후기술 국가연구개발사업 투자현황분석(2018~2022)', NGIT BRIEF, 국가녹색기술연구소, 2023
<https://www.nigt.re.kr/gtck/annualall.do?mode=download&articleNo=3611&attachNo=4417>

3.2.4. 통합 방해하는 정부 부처간 독주

현재 한국 정부의 탄소중립 정책과 과학기술 R&D 정책은 부처 별 독립적인 진행으로 상당히 혼란스러운 양상을 보인다. 현재 정부의 최상위 탄소중립정책과 범부처, 그리고 개별 부처 정책 사이에는 일관성이나 정합성이 부족하다. 탄소중립 관련 기술 R&D가 환경부, 과기정통부, 산업부, 기상청 등 여러 부처로 나뉘어 진행되고 있는데, '사일로'에 갇혀 있다는 비판을 벗어나기 힘들다.

먼저 한국의 탄소중립 정책은 최상위 정책으로 기본법에 근거한 탄소중립 녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획(2023년)이 있고, 부처 별로 범부처 전략과 기본계획이 있다. 또 부처 차원의 기본계획이 있다. 예를 들어 과기정통부는 탄소중립 기술혁신 추진전략(2021년), 탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략(2022년), 기후변화대응기술 기본계획(2023년), 한국형 탄소중립100대 핵심기술(2023년), 임무중심 기술혁신 전략 로드맵(2022~2023년)을 세웠다.

산업부에는 최상위 정책과 반드시 연계해야 하는 제10차 전력수급기본계획(2023년), 제3차 에너지 기본계획(2019년. 현재는 종료), 제5차 신재생에너지 기본계획(2020년) 등 3대 기본계획이 있다. 환경부 역시 제2차 기후변화대응 기본계획(2019년), 제3차 국가 기후변화 적응대책(2021년), 환경기술 개발 추진전략(2021년)이 있다.

이렇게 부처 별로 만들어진 이들 정책은 국가의 탄소중립 최상위 정책과 범부처별, 개별 부처별 정책 사이에 뚜렷한 정합성이 보이지 않는다. 역할도 기초 및 원천연구와 산업화, 응용 연구 등 연구의 단계나 목적을 기반으로 구분되지 않고, 세부 분야 별로 나뉘는 모습도 보인다. 예를 들어 CCUS의 경우 과기정통부와 산업부의 과제는 CCU와CCS 여부에 따라 나뉘기도 한다.

이 같은 부처간 칸막이는 비단 탄소중립에서만 문제가 되는 게 아니다. 현대 사회는 탄소중립과 함께 인공지능과 반도체, 양자 등으로 대표되는 새로운 기술의 대전환을 맞이하고 있다. 한국은 2023년 과학기술정보통신부 주도로 기술 패권 경쟁을 주도할 12대 국가전략기술을 선택한 상태다. 이를 봐도 반도체-디스플레이, 사이버보안, 인공지능, 차세대 통신, 첨단로봇제조, 양자(이상 디지털-IT 전환)과 이차전지, 첨단 모빌리티, 수소, 차세대 원자력(이상 탄소중립)이 중요한 전략기술로 언급돼 있음을 알 수 있다. 이 전환에서 승기를 잡는 나라가 새로운 패권을 가져갈 가능성이 있다. 부처간 나뉜 현재의 상황은 이런 엄중한 상황에서 기술 패권국으로 도약할 기회를 놓치게 할 수 있다.

3.3. 외환: 기술 패권 시대의 도래와 산업 정책의 귀환

3.3.1. 보호주의 시대의 그늘

기술 패권이 강조되는 시대에 주요국은 정부 R&D 투자의 경제사회 목적 중 경제개발 투자 비중을 늘리고 있다. 특히 코로나19 팬데믹 직후인 2020년 이후 대대적으로 증가하고 있다. 미국, EU는 물론 일본도 이런 흐름에 동참하고 있다. 여기에는 반도체, 생명공학, 청정수소 등 디지털 전환과 의료, 탄소중립 기술이 포함돼 있으며, 첨단 전략 산업과 기술을 보호하기 위해 기술 개발부터 제조, 생산까지 확장된 산업 정책을 장려하고 있다.

미국은 IRA 입법을 통해 3690억 달러의 예산을 에너지 안보와 관련 산업 투자에 사용하고 있다. 세액공제와 보조금 등의 재정 지원을 확대하는 추세다. EU 역시 그린딜 산업계획과 탄소중

립산업법을 통해 기술 연간수요의 40%를 자체 조달할 목표로 보조금과 규제 개선을 지원한다. 일본의 녹색 전환 추진전략, 프랑스의 녹색산업법 모두 중장기 전략을 포함해 대규모 투자를 통해 산업을 지원하고 있다.¹¹ 뿐만 아니라 이종 산업과 기업 사이의 융합R&D를 초기부터 적극 장려해 신산업과 비즈니스 모델 창출을 시도하고 있다.¹²

3.3.2. 세계 현실과 동떨어진 정책과 중장기 전략의 부재

세계의 정세 역시 한국에 호의적이지 않지만, 이를 타개할 국제적 감각의 노력이 부족하다. 세계 시장이 요구하는 정책(RE100)과 한국이 강조하고 싶은 정책(CF100) 사이에 괴리가 존재하지만, 이를 해소할 노력이 부족한 현실이다. 이는 연구 현장은 물론 민간 기업의 입지를 약화시킬 것이다.

새로 탄생하는 산업 기술군에 반드시 필요한 기술 표준화에 대한 전략도 부재하다. 또, 탄소중립의 공공성을 위한 크로스 라이선싱(Cross-Licensing) 전략이 필요하다. 현재 전기나 통신망은 공공성이 인정돼 국가가, 또는 국가 주도적으로 먼저 설치가 이뤄졌다. 탄소중립 이슈도 비슷하다. 그 자체의 공공성을 인정하고, 그 공공성 하에서 개발된 기술에 대해서는 그 이익과 기술이 공유돼야 한다.

3.3.3. 민간 및 대학 역할에 대한 고려 부족

R&D 투자 및 민관 협업이 더욱 고려돼야 하지만 아직은 부족하다. 한국의 탄소중립 관련 R&D 투자 규모는 2020년 기준으로 정부 1조 6000억 원(18%), 민간 7조 2000억 원(82%)이다. 국가 전체로는 8조 8000억 원 규모다. 기술의 경우, 개발도 중요하지만 실증과 현장 적용이 매우 중요하며 이를 위한 민관 역할 분담과 협업도 중요하다. 이는 국가 대형 R&D 사업 추진 시 개별 부처 별로는 협업 등을 고려하지 않고 파편적으로 기획하고 추진해 부실화하는 경향을 개선하는 것과 함께 반드시 고쳐야 할 문제다.

이런 상황에서는 새로운 성장 동력이 될 잠재적 산업기술을 육성하고 여기에 민간의 참여를 확대하기 위한 적극적인 투자와 정책 개발이 필요하다. 신동원 등은 이를 위해 장기적 전략에 바탕을 두고, 탄소중립 정책과 산업 정책을 포괄하는 적극적인 상위 정책을 통해 디지털 전환과 탄소중립 전환을 이끌어야 한다고 주장한다.¹³ 탄소중립 기본법 하에 세액공제와 산업 투자 등을 포함한 재정 지원 방안을 마련하고 탄소시장 활성화, 기술개발 사업 확대 등을 종합적으로 지원할 필요가 있다는 주장이다. 산업계와 이해당사자가 참여하는 거버넌스 체계를 구축해야 한다. 이 과정에 필요한 인력을 적극 양성하고 공정한 전환을 위한 구체적 교육 프로그램도 구축해야 한다. 대학 역시 이 과정에서 연구개발 및 전략 개발, 인력 양성에서 중요한 축을 담당할 수 있다.

탄소중립 기본법 하에 세액공제와 산업 투자 등을 포함한 재정 지원 방안을 마련하고 탄소시장 활성화, 기술개발 사업 확대 등을 종합적으로 지원할 필요가 있다는 주장이다. 산업계와 이해당사자가 참여하는 거버넌스 체계를 구축해야 한다. 이 과정에 필요한 인력을 적극 양성하고 공정한 전환을 위한 구체적 교육 프로그램도 구축해야 한다. 대학 역시 이 과정에서 연구개발 및 전략 개발, 인력 양성에서 중요한 축을 담당할 수 있다.

11 신동원 외, '미국 인플레이션 감축법과EU 그린딜산업계획에 대응하는 기후정책 방안', 2023, 한국환경연구원

12 이병현, '선도형 혁신 생태계 육성을 위한 산업·기업R&D 지원 방향', 산업·기업R&D 지원방향 특별포럼, 2024, 한국공학한림원

13 신동원 외, '미국 인플레이션 감축법과EU 그린딜산업계획에 대응하는 기후정책 방안', 2023, 한국환경연구원

제언: '두 전환' 시대의 성공 사례 창출 전략

이상의 상황을 고려하면 한국은 탄소중립 과학기술 R&D와 산업기술 전략을 바라보는 시각을 바꿔야 한다. 국가간 기술 패권 경쟁이 격화하고 보호주의가 부상했으며, 디지털 및 탄소중립이라는 커다란 전환을 시기를 맞이하고 있다(외환). 반면 한국은 인구 감소와 R&D 정책의 장기적 비전과 일관성이 약화하면서 잠재적 기술 개발 역량과 산업 경쟁력 약화를 우려해야 할 상황이다. 부처간 칸막이도 공고하며 유력한 기술을 산업기술로 키워낼 전략이나 정책도 부재한 상황이다(내우). 이를 타개할 손쉬운 해결책은 없지만 과학기술 R&D의 특성을 살리면서 이를 산업 정책과 연계하는 방안을 마련할 수 있다.

4.1. 성공을 향한 한국 탄소중립 R&D 현실화 전략

4.1.1. 기술의 목적 세분화: 공공기술, 성장 산업기술, 기초연구로서 탄소중립

이 절에서는 위 세 가지 문제점 중 b. 선택과 집중을 고려하지 않은 나열식 연구주제 문제를 실제 한국에서 진행되고 있는 탄소중립 R&D 추진 로드맵을 바탕으로 짚는다.

<그림 2> 출처: 기지훈 외, “공공기술개발” 유형 국가연구개발사업 성과평가 방법 및 성과지표 개선 연구: 중간평가와 표준성과지표를 중심으로, 2021, KISTEP

사업 유형 / 기간	초기	중기	장기
기초연구	과학적 성과, 기술적 성과	과학적 성과, 기술적 성과	과학적, 기술적, 경제적, 사회적 성과
중장기산업 기술개발	과학적 성과, 기술적 성과	과학적, 기술적, 경제적 성과	경제적 성과
공공기술개발	과학적 성과, 기술적 성과	과학적, 기술적, 사회적 성과	경제적 성과, 사회적 성과

탄소중립 R&D는 인류 공통의 위기인 기후변화에 대처한다는 측면에서, 국가 R&D 사업 중에서도 공공기술개발의 특성을 일부 지닌다고 볼 수 있다. 2018~2021년 사이에 수행된 국가 R&D 사업 세부사업을 유형 별로 분석한 기지훈 등의 보고서¹⁴에 따르면, 국가 R&D사업 가운데 가장 많은 수를 차지하는 유형은 공공기술개발과 중장기산업기술개발, 기초연구다. 이 세 연구는 국가 R&D 사업 분석 대상의 각각 36.6%, 23.0%, 14.0%를 차지했다(그림2).

비록 전체 R&D 분야를 대상으로 분석한 결과지만, 가장 많은 비중을 차지하는 보편적 기술군이라는 점에서, 현재의 탄소중립 관련 R&D 기술을 평가할 틀로도 사용할 수 있다.

그에 앞서, 이 세 가지 구분이 각각 어떤 뚜렷한 특징으로 구분되는지 살펴보자. 국가 R&D 사업 성과 평가에서는 성과 유형을 1) 사회적 성과 2) 과학적 성과 3) 기술적 성과 4)경제적 성과 5) 인프라 성과 등 다섯 가지로 분류한다(그림3). 각각의 사업 유형은 기간에 따라 각기 다른 성과를 핵심 성과로 보는데, 기초연구의 경우 과학적 성과 비중이 52%로 높은 반면, 경제적 성과의 비중은 7%로 가장 낮다. 중장기산업기술개발은 경제적 성과 비중이 64% 가장 높은 반면 과학적 성과나 사회적 성과의 비중은 가장 낮다. 흥미로운 것은 공공기술개발사업이다. 기술 성과가 46%를 차지하고 있고, 사회적 성과가 25%로 뒤를 잇고 있는 가운데, 경제적 성과의 비중도 14%로 기초연구에 비해 높은 비중을 차지하고 있다. 기술적 성과는 특허나 시제품 제작 등 기초와 산업기술(경제적 성과)의 가교 단계에 해당하는 원천기술을 얼마나 확보할 수 있는지를 의미한다. 공공기술이라고 해서 공공의 문제를 해결하는 데에만 그치지 않고, 그것이 산업기술의 축적과 발전으로 연결될 잠재력이 있는지도 함께 파악해야 한다는 뜻이다.

14 기지훈 외, “공공기술개발” 유형 국가연구개발사업 성과평가 방법 및 성과지표 개선 연구: 중간평가와 표준성과지표를 중심으로, 2021, KISTEP
https://www.kistep.re.kr/reportDownload.es?rpt_no=RES0220220072&seq=res_0026P@2

<그림 3> 출처: 기지훈 외, “공공기술개발” 유형 국가연구개발사업 성과평가 방법 및 성과지표 개선 연구: 중간평가와 표준성과지표를 중심으로, 2021, KISTEP

사업 유형	과학적	기술적	경제적	사회적	인프라	합계
공공기술개발	13%	46%	14%	25%	2%	100%
중장기 산업기술개발	4%	26%	64%	6%	1%	100%
기초연구	52%	24%	7%	11%	6%	100%

국가 R&D사업의 가장 주요한 세 가지 유형은 정부의 탄소중립 R&D에도 똑같이 적용될 수 있다. 주요 탄소중립 기술을(1) 경제적 가치가 큰 산업기술과 기초연구를 잇는 기술적 성과와 사회적 성과(탄소중립 달성)를 달성할 수 있는 공공기술개발 성격이 강한 기술과, (2) 과학적 발견을 중시하고 향후 공공기술 또는 산업기술로 개발될 잠재력을 지닌 기초연구, 그리고 (3) 산업 분야의 혁신을 이끌어 경제적 성과를 거두는 데 기여할 중장기산업기술개발 성격으로 분류할 수 있다.

다음 절에서는 정부가 발표한 탄소중립 17대 기술 별 전략 로드맵 가운데 로드맵이 존재하는 10개 기술을 세 가지 유형으로 분류하고, 각각의 유형 별로 어떤 R&D 추진 전략을 세우는 게 좋을지 논의한다.

4.1.2. 주요 탄소중립 기술 로드맵 분석

2024년 5월 현재까지 공개된 탄소중립 기술별 전략 로드맵은 모두 10종이다. 총 17대 기술 가운데 10대 기술에 대한 대략적인 계획이 서있는 셈이다. 하나 하나 중요하지 않은 기술은 없다. 하지만 한정된 자원으로 최적의 성과를 얻으려면 모든 기술에 대해 동일한 전략으로 접근하기보다, 기술이나 분야의 특성에 맞는 지원 전략을 세워야 한다.

이를 위해 10개 기술을 공공기술과 중장기 산업기술, 기초기술이라는 정부 R&D의 가장 많은 기술 유형으로 분류해보는 작업이 필요하다. 아래는 하나의 사례이며, 탄소중립 정책을 다룰 새로운 거버넌스 하에서 전략적으로 고민할 필요가 있다. (각 기술의 a. 현황과 b. 한국 정부의 계획, c. 논의점은 보고서 후반부의 첨부자료에서 자세히 다뤘다.)

① 수소

한국 정부는 수소가 에너지 전환은 물론 탄소중립 달성을 위해 매우 중요한 수단이 될 것이라고 보고 있다. 수전해 기술 및 소재, 부품 개발, 수소 액화기술 국산화 등을 추진할 예정이다. 다만 원가 경쟁력에서 재생에너지 생산비용이 낮거나 천연가스 비용이 낮은 국가 등에 비해 불리할 수밖에 없다. 경쟁력이 높지는 않다. 원천기술 확보에 집중하고, 대신 수소연료전지 등 한국이 두각을 보이는 분야에 집중 투자해 산업적 기회를 창출하는 전략을 검토해볼 수 있다.

② CCUS

탄소포집이용저장(CCUS)은 산업 의존도가 높은 한국에서 특히 기대가 큰 기술이다. 수소 생산에도 영향을 미치기에 중요성은 더욱 높아지고 있다. 다만 전 세계적으로도 개발 진척이 느리며 한국 역시 뚜렷이 나온 성과를 내지는 못하고 있다. 국제에너지기구(IEA) 역시 이대로라면 CCUS는 2050년 기대보다 낮은 수준의 성과를 낼 것이라고 예측하고 있다. 성공한다면 산업적으로도 한국에 큰 기회를 주겠지만, 아직은 한국에서 두드러진 성과를 내는 분야는 아니다. 다

만 산업 구조상 반드시 달성해야 할 기술이므로 원천기술 확보 또는 산업기술 발전을 목표로 투자할 필요가 있다.

③ 태양광

실리콘 태양전지는 중국의 시장 선점이 두드러진 상황이다. 다만 실리콘 태양전지의 효율 개선은 한계에 근접한 상황이며 따라서 차세대 태양전지를 통한 돌파가 필요하다. 한국은 페로브스카이트와, 이를 실리콘 태양전지에 적층한 탠덤 전지 연구에서 두각을 나타내고 있다. 이를 상용화하는 전략은 향후 더욱 확대될 태양광 시장 선점에 중요한 기회를 줄 수 있다. 산업기술 개발을 노려볼 수 있을 것으로 기대된다.

④ 무탄소 전력 공급

수소 및 암모니아 전소, 혼소 발전 기술을 다룬다. 전 세계적으로 아직 많은 발전이 이뤄지지 않았다. 자원이 부족한 한국에 중요한 기술이지만, 이 기술의 실현은 R&D에만 달려 있지 않다. 수소 수급 가능성과 경제성 측면에서 불리한 면이 있다는 분석도 있다. 기초연구 또는 공공기술(원천기술) 연구로 진행하는 게 합리적일 수 있다. 다만 이 분야는 전 세계적으로 산업체가 기술 개발의 선두에 있기에, 국내에서도 산업기술로 지원하는 것도 고려할 수 있다.

⑤ 친환경자동차

한국은 주요 자동차 제조국의 하나로 친환경자동차 개발과 보급에 큰 관심을 기울이고 있다. 전기차의 경우 경쟁력 있는 초급속 충전 핵심기술을 국산화하고, 내구성 있는 연료전지 기술을 확보해 수소차에 응용하는 등 산업적 경쟁력을 확보할 수 있는 전략을 고려할 수 있다. 배터리 역시 현재 한국이 주력하고 있는 분야이며 한국 기업이 시장을 개척한 사례가 있다. 역시 산업적 경쟁력을 높일 장기적 전략이 필요하다.

⑥ 석유화학

한국의 주요 고배출 산업의 하나로 탈탄소화가 시급하다. 전기 가열로, 연료 대체 바이오매스를 활용한 개발 등 다양한 대안이 연구되고 있다. 폐기물 처리도 연구하고 있다. 다만 현재의 산업을 탈탄소화하기 위한 선택이지만, 향후 한국의 새로운 산업 경쟁력을 창출할 것인지는 불분명하다. 원천기술 또는 기초연구 확보를 중심으로 연구하는 방안을 고려할 수 있다.

⑦ 철강

한국에서 전력 부문을 제외하고 가장 많은 탄소를 배출하는 분야다. 조강 생산량 6위 국가로, 글로벌 경쟁력을 갖췄지만 탄소 배출의 주범이기도 하다. 유럽연합의 탄소국경제도 도입 예정에 따라 대책 마련이 시급한 분야다. 중국 유럽 일본 등 모두 공격적인 감축 목표를 정한 상태로, 한국 역시 격차없이 따라야 하는 상황이다. 고로 효율 개선 외에 전기로 개발, 수소환원제철 등 새로운 혁신 기술을 단기, 중장기 로드맵에 따라 개발해야 한다. 새로운 시장을 창출하는 기술은 아닐 수 있지만 주요 산업을 보호하고 많은 양의 탄소 배출을 줄이기 위해 필요하다.

⑧ 시멘트

철강과 석유화학 다음으로 탄소 배출이 많은 분야지만 탈탄소 기술 수준은 뒤처져 있다. 원료 대체 등의 방법이 연구 중이다. 산업 탈탄소화를 위한 원천기술 개발이 필요하다.

⑨ 탄소중립 선박

선박의 연료를 대체해 탈탄소화하는 게 핵심이다. 저탄소 연료인 LNG나 메탄올, 무탄소 연료인 암모니아와 수소로 대체할 계획이며 이에 따라 추진기 등이 전환돼야 한다. 이미 전환이 시작됐고 신속한 전환이 필요한 상황이다. 기술도 급하지만, 대체연료의 수급이 전환 성공에 영향을 미칠 상황이다. 해운계와 석유화학산업계의 파트너십도 필요하다.

⑩ 제로에너지건물

국내 건물 부문 배출량은 2018년 기준 거의 4분의1에 해당할 만큼 규모가 크다. 히트펌프 등 저탄소 난방, 조명, 단열 등이 연구되고 있다. IT 기술을 활용한 효율화도 연구 중이다. 다만 대표적인 난방 신기술인 히트펌프만 해도 기대보다는 보급화가 덜 되는 상황이다. 중국과 유럽이 시장 확대를 주도하고 있다.

4.1.3. 기술의 현실화를 위한 노력: 스케일업과 집중화

탄소중립 주요 연구 주제를 기초연구, 산업기술개발, 원천기술로 분류한 뒤 서로 다른 목표와 전략을 수립할 필요가 있다. 현재 로드맵이 만들어진 R&D분야 10개를 분류한 위 절은 하나의 사례다. 이들에 대해 R&D의 목적을 달리 설정하고 집중할 지원의 성격을 달리해야 한다.

우리에게는 이미 2차전지와 같이 지속성과 일관성을 바탕으로 세계 시장을 주도하는 성공 사례를 만들어낸 경험이 있다. 집중을 통해 탄소중립과 기후문제 해결의 중요한 수단을 제공하고, 동시에 커다란 잠재시장을 만들어냈고 한국이 그 중요한 플레이어로 활약할 수 있게 했다. 기업이 주도했던 이런 사례를 다시 만들어내도록 정부의 R&D 투자와 정책도 도움을 줘야 한다. 또 기초연구나 원천기술 개발과 구분되는, 스케일업을 통한 산업기술화를 성공시킬 기술을 선별하고 일관성 있게 키워야 한다. 현재 세계적 추세도 이와 다르지 않다. 미국이 IRA와 CHIPS 법을 통해 추진하는 게 결국 탄소중립과 디지털 전환을 위한 일관성 있고 집중적인 투자다.

예를 들어 산업기술개발을 목표로 하도록 분류된 기술에 대해서는 스케일업까지 고려한 과감한 지원과 집중적인 투자가 보장돼야 한다. 모든 기술에 대해 이런 전략을 사용할 수는 없다. 한국의 미래 발전을 가능할 역점 사업을 대상으로 집중적으로 초격차 기술을 개발할 수 있게 지원할 필요가 있다. 이 때 단순히 기초연구나 원천기술 개발에만 투자할 것이 아니라, 스케일업을 위한 지원이 반드시 함께 해야 한다. 원천기술의 경우 당장 산업화에 투입되거나 한국의 미래 산업으로 발전시키지는 않더라도, 선진국 대비 충분한 경쟁력을 지니는 기술로 발전시킬 가능성이 있는 분야를 대상으로 한다. 이 두 기술 가운데에는 현재 주요 산업군의 경쟁력을 지속시키기 위한 기술도 포함된다. 마지막으로 기초연구를 지원해 선도국과의 격차를 너무 벌리지 않고, 미래 혁신 산업으로 성장시킬 수 있는 기술의 맹아를 지원해야 한다.

그렇다면 어떻게 이런 투자 대상을 선별하고 지원할 것인가 질문이 나올 수 있다. 다음에 언급할 거버넌스가 이 문제를 해결해야 한다.

4.2. 일관성과 지속성 회복, 그리고 탄소중립 거버넌스

4.2.1. 정책 일관성 확보를 위한 새로운 거버넌스 구축

정책 일관성 확보를 위한 첫 단계는 거버넌스 회복이다. 부처별 탄소중립 정책과 전략을 수립하고 범부처 협력을 가능하게 할 방안을 확보해야 한다.

먼저 국가 탄소중립 최상위 정책과 범부처별 또는 개별 부처별 유관 정책 사이의 정합성 제고가 반드시 필요하다. 이를 위해 범부처 탄소중립 국가 전략이나 정책을 수립하고 이행과 감독, 향후 대책까지 포함된 정책 컨트롤타워로 탄소중립녹색성장위원회의 역할 강화가 필요하다. 현

재는 녹색성장위원회와 과기자문회의의 중요한 두 축이 있지만, 탄소중립이라는 중장기적인 목표를 수행하지 못하는 약점을 노출하고 있다.

거버넌스 측면에서 탄소중립 장기 정책을 주도할 수 있도록 대통령실‘탄소중립 비서관’을 고려할 수 있다. 이 때, 탄소중립은 환경문제에 국한된 게 아니라 경제와 산업 등 국가 경쟁력과도 직결되는 문제인 만큼 경제수석실 산하에 탄소중립 비서관을 두는 것이 바람직하다. 또는 지금처럼 부처에 산재한 R&D를 통합해 추진할 수 있도록 ‘기후에너지부’와 같은 새로운 통합 부처를 고려할 수도 있다.

이 같은 거버넌스를 바탕으로, 탄소중립 기술의 현황과 확장 가능성을 두루 고려해 중요한 추진 주제를 도출하는 역할을 해야 한다. 예를 들어 KISTEP과 혁신본부에서 발표한 100대 중요 기술에 대해 가중치를 계산해 현실성 있거나 한국의 미래에 도움이 될 기술을 도출하고 이들을 서로 묶거나 재분류하는 역할도 이런 거버넌스 하에서 가능할 수 있다.

4.2.2. 정부 부처별 기후기술 R&D 특성을 살린 분업

정책 일관성 확보를 위한 첫 단계는 거버넌스 회복이다. 부처별 탄소중립 정책과 전략을 수립하고 범부처 협력을 가능하게 할 방안을 확보해야 한다. 개별 부처의 탄소중립 정책이 정부의 최상위 정책이나 범정부 정책과 정합성이 부족하다는 문제를 해결하기 위해서는 정합성을 높이는 일 외에 정부 내 각 부처가 고유역할을 수행하되, 부처 간의 횡적 연결(cross-cutting) 기능을 강화하거나, 각 부처의 강점을 살려 분야를 ‘배분’하는 방안도 중요하다. 그림 4는 정부 부처에 따라 어떤 기후기술 R&D에 투자하고 있는지를 나타낸 도표다. 다양한 부처에서 기후기술에 투자하고 있는 가운데 부처 별 특징이 보인다. 예를 들어 산업부는 산업 효율이나 발전 효율, 건물 효율, 수송 효율 등 에너지 효율화 연구에 많은 투자를 한다. 수소 암모니아 발전과 태양광, 풍력, 전력통합, 수도 등 에너지 분야도 주 관심사다. CCUS 같은 탄소 저감 기술에도 투자를 하고 있다.

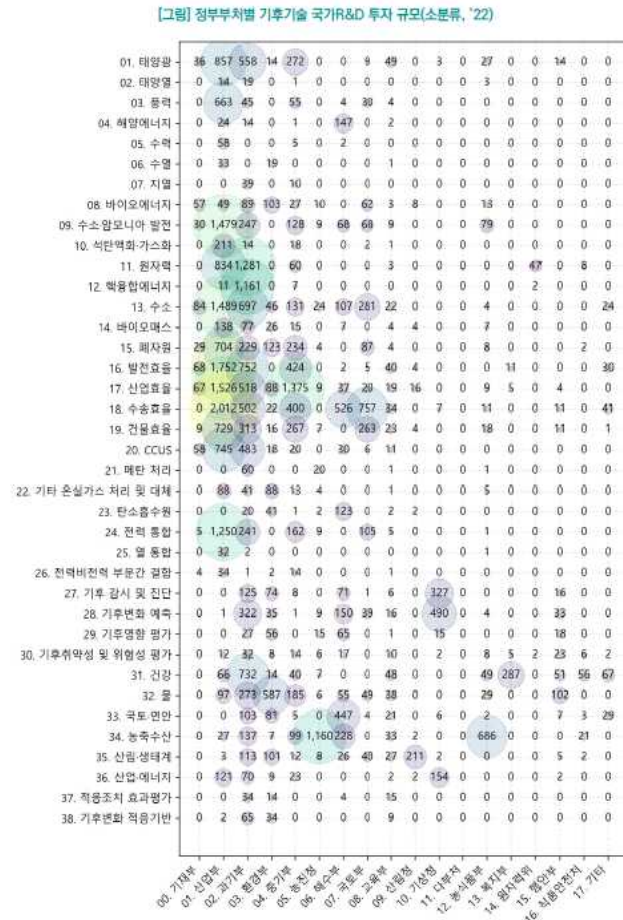
반면 과학기술정보통신부는 핵융합과 원자력, 태양광 등 차세대 에너지원에 대한 기술 투자에 가장 많은 자원을 투자하고 있다. 건강이나 기후변화 예측, 수자원 분야도 연구 중이다. 그 외에 산업부와 비슷하게 수소나 CCUS, 수소, 발전-산업-건물-수송 효율, 전력통합 연구도 큰 비중으로 진행하고 있다. 환경부는 수자원이나 폐자원, 바이오에너지 투자가 상대적으로 많으며, 중소기업벤처부는 산업 효율과 발전 효율 수송 효율, 건물 효율, 태양광, 수소, 수소 암모니아 발전 등의 연구에 치중하고 있다. 농촌진흥청은 농축수산에, 해양수산부는 국토연안과 수송 효율, 수소에 집중하고 국토교통부는 수송 효율과 건물 효율, 수소가 주 관심사다. 기상청은 기후변화 예측과 기상 관측, 산업에너지에 집중한다. 농식품부는 농축수산에, 복지부는 건강에 연구자원을 집중한다.

현재 부처 별 투자는 분야에 따라 이뤄지고 있지만, 부처 별 특색이 드러나는 일부 분야를 제외하면 주요 기후 기술에 대한 투자는 겹치는 면이 많다. 특히 원자력과 수소 암모니아 발전, 발전 산업 수송 건물 효율 부문은 산업부, 과기정통부, 중기부, 해수부, 국토교통부 등 여러 부처가 참여하고 있다. 이 분야에 대한 국가적 강조가 큼을 반영한다. CCUS의 경우, 활용에 초점을 맞춘 CCU는 과기정통부, 저장에 초점을 맞춘 CCS는 산업부에서 연구를 주도하고 있다. 세부 주제에 따라 R&D가 나뉜 상황이지만, 부처의 성격을 생각하면 어색한 측면이 있다. 비록 세부 주제는 다를지라도, 한 분야에 대한 지원이 여러 부처로 나뉜 상황은 효율성 측면에서 불리하다. 오히려, 기초-원천기술에 집중하는 부처(과기정통부)와 상용기술 개발에 초점을 맞추는 부처(산업부)로 역할을 나누고, 이들을 긴 안목에서 하나의 일관된 정책(기초-원천-산업 정책이

통합된 새로운 정책) 하에서 진행하는 게 바람직할 수 있다.

중소기업 등 국내 산업계 현황을 지원하는 한국산업기술진흥협회는 R&D 역량을 기반으로 정부 R&D 지원 사업 체계를 개편할 것을 제안했다.¹⁵부처별, 산업별로 등장하는 지원사업이 현재 지나치게 복잡하고 중복 우려가 있으니 체계를 단순화, 표준화할 필요가 있다는 뜻이다.

<그림 4> 출처: 안세진 외, '기후 기술 국가연구개발사업 투자현황분석(2018~2022)', NGIT BRIEF, 국가녹색기술연구소, 2023



4.3. 국제협력을 통한 차별화된 민·관 선도 기술 육성

탄소중립은 글로벌 문제로 한 나라의 힘만으로 해결하기 어렵다. 상생의 전략이 필요하다. 한국은 한국의 역할이 있을 수 있고 기술이 있겠지만, 그것이 한국의 문제만 해결해서는 안 된다. 기후위기 해결을 위해서도 그렇고, 새로운 산업 시장 개척이 필요한 실정에도 어긋난다. 같은 비용으로 해외에서 더 많은 탄소를 줄일 수 있다면 마다할 이유가 없다.

기술 선도국과의 교류는 또 다른 문제다. 첨단기술과 원천기술 상당수는 독자적으로 개발할 수만은 없다. 협력이 필요하다. 인력 양성과 국제협력이 필요한 이유다.

15 한국산업기술진흥협회, 22대 국회에 바란다- 산업기술혁신을 위한 정책제언, 2024

4.3.1. 분야 별 산업 발전 고려한 전략

국내 기술 수준과 글로벌 협력 이슈를 인지하고 적절한 국제협력 전략을 세워야 한다. 탄소중립과 관련된 분야 별로 선도국 대비 기술 수준을 비교해 보면, 65~82% 정도로 평가된다. 평균적인 기술 격차는 3년 이상 나는 것으로 조사된다. 다만 분야에 따라 차이가 크다. 예를 들어 태양광은 90% 수준, 격차는 1년이고 이차전지는 선도국 대비 96%, 기술 격차는 반년에 불과하다. 반면 가스터빈은 65%, 7년 격차가 존재하며 풍력도 75%, 3년의 격차가 존재한다. 친환경선박, CCUS, 수소 연료전지, 폐자원 재활용 등도 3~5년의 격차를 보이고 있다.

선도국과의 격차를 통해 한국이 우위를 보이는 분야와 그렇지 않은 분야, 개도국과 상생할 수 있는 분야 등을 구체적으로 도출해 각각의 장점을 최대한 살릴 수 있는 전략을 수립해야 한다.

향후 기술 경쟁 우위 분석을 통해 전략적 기술 협력국을 먼저 발굴하고, 기술 유형 별로 기술 도입형인지, 세계 선도형인지, 상호보완형인지 판단할 필요가 있다. 예를 들어 국내 기술이 열위에 있는 수전해 등 분야는 기술 도입형으로 추진해 독일과 협력을 도모할 수 있다. 국내 기술이 우위에 있는 태양광 등은 세계선도형으로 분류해 독일, 스위스, 미국 등과 협력할 수 있다. 국내 자원이 빈약한 CCUS는 상호보완형으로 동남아, 중동 등과 협력하길 고려할 수 있다. 전략적 기술 제휴와 개도국에 대한 실증을 포함한 선도국 중심의 전략적 국제협력 강화가 반드시 필요한 시점이다.

4.3.2. 개도국 기술 수용성 높일 플랫폼과 민·관 협력 모델

한국을 비롯한 선진국에서 개발도상국에 과학기술 분야 정책이나 제도를 적용할 경우에는 현지화가 반드시 필요하다. 또 개발도상국의 낮은 기술 수용성을 개선할 수 있는 플랫폼도 필요하다. 또한 개발도상국에서는 일시적인 지원보다 지속 가능하고 포괄적인 기술혁신 협력이 필요하다. 이에 대한 가장 좋은 도구는 실증 테스트를 더 활성화하는 것이다.

자원을 투입하고 리스크를 관리하면서 창출된 부가가치를 서로 공유할 수 있는 민·관 협력 모델이 필요하다. 이 때 민·관 협력에서 흔히 빠지는 오류가 있다. 기술 실증을 하며 기술과 혁신, 특허에만 초점을 맞추는 오류다. 새로운 기술이 도입됐을 때는 한국이든 개발도상국이든 기술 수용성을 높이는 동시에 정책을 개선하고 표준을 마련하는 게 매우 중요하다. 동시에, 실증 사업에서는 통합적으로 혁신을 일으킬 수 있는 사업이 필요하다. 기업 외에 대학과 정부출연연구기관, 때로는 GGGI 같은 국제기구가 함께 전주기적으로 협력하는 체계가 필요하다.

국제개발 협력 분야에서는 단순히 기술 개발의 차원을 넘어서, 공급망을 안정화하고 녹색화하는 국제협력 개념이 부각되고 있다. 이를 위해서는 해외를 테스트베드로 삼을 필요가 있다. 하지만 기업 입장에서는 정책 개선이나 개발도상국 기술 수용성 향상에 투자하기가 매우 어렵다. 대학과 정부출연연구기관이 함께하는 사업이 늘 필요가 있다. 기업 대신에 학·연이 과감하게 기술 혁신의 협력 리스크를 감당하고 허용해줄 수 있는 분위기, 못하면 야단치는 분위기가 아니라 앞장서도록 장려해주는 평가 체계와 허용적인 문화가 필요하다.

정부출연연구기관의 해외 거점이 많다. 많은 출연연이 잘 운영되고 있지만 간혹 지나치게 폐쇄적으로 운영되는 경우가 있다. 출연연의 자체적인 기술에만 초점을 맞춰서 R&D를 하는 경우도 많다. 좀 더 개방적이면서 기업과 다른 대학과도 함께 협력하는 생태계 조성이 필요하다.

한국이 개도국의 기후 과학기술 로드맵 마련에 조금 더 적극적으로 기여할 필요도 있다. 단순

히 끝단 부분만 할 것이 아니라 약간 상위 레벨에서도 로드맵을 마련하고, 그 부분에서 한국의 기술과 정책을 소개해 주고 국내의 좋은 표준을 소개함으로써 자연스럽게 우호적인 파트너십을 형성할 필요가 있다.

4.3.3. R&D 예산 활용한 협력

마지막으로, 한국이 20억~50억 원 정도의 규모 있는 사업을 할 때, 일반적인 R&D 예산으로 하는 경우가 거의 없고 대부분 ODA로 하려 한다. ODA도 좋지만, 두 가지 한계점이 있다. 먼저 ODA로 마련되는 실증 장비는 개도국이 소유권을 가져간다. 한국에 소유권이 없어서 주도권이 제한되는 경우가 많다. 두 번째로, 지적재산권이라는 숨겨진 분쟁 소지가 있다. ODA에서 발생한 지적재산권을 누가 가져갈 것이냐는 문제다. ODA는 기본적으로 공여한 금액이다. 공여된 금액으로 만들어진 지적재산권, 새로운 특허, 신기술의 소유권과 관련해 국제법상 표준화가 이뤄져 있지 않다. 따라서 분쟁이 발생할 경우 그때그때 대응해야 하는 경우가 많다. 이를 일반적인 R&D 예산으로 진행할 필요가 있다. 과학기술정보통신부의 R&D 예산에 출연연 외에 기업이 함께 참여하는 민·관 협력 형태의 실증 테스트와 사업이 있다면 국내 기술이 현지화되고 선진화하며 시장에 진출하는 데 도움이 될 것이다.

4.4. 종합적 리더십: 민간 참여 확대와 대학의 역할

한국이 마주한 다수의 문제는 매우 중장기적인 해결책을 필요로 한다. 하지만 우리 사회가 이 같은 문제를 풀 장기적 역량을 지녔는지 회의적인 시선을 보내는 사람이 많다. 그 이유를 전략적 사고의 부재와 리더십의 부재에서 찾을 수 있다. 전략을 세우고 자원을 배분하는 일이 보다 원활히, 장기적으로 이뤄져야 하며 관련 인력 역시 꾸준히 양성해야 승산이 있다. 이를 위해서는 크게 두 가지 방향에서 리더십을 고민할 필요가 있다.

먼저 민간의 역할 확대를 고민해야 한다. 정부가 모든 것을 할 수 있는 시대가 아니다. 기술 개발과 실증, 현장 적용을 모두 원활히 진행하기 위한 민관의 역할 분담과 협업이 필요하다. 국가 R&D 추진 시 단일 부처 중심으로 추진하는 방식 대신, 실증과 사업화까지 함께 고려한 범부처 협력체계를 강화해야 한다. 대규모 사업을 기획할 때 민관이 함께 참여해서 기획하고 임무 중심으로 기술을 개발하고 현장에 적용하는 전 주기 체계를 마련해야 한다. 이를 위해 범부처 탄소중립 R&D 컨트롤타워로서 국가과학기술자문회의의 역할이 강화돼야 한다. 또 탄소중립녹색성장위원회와 서로 연계 협력이 중요하다.

민관 협업 체계를 만들 필요도 있다. 산기협은 민간 R&D 수요를 정부에 제안하는 '산업별 민간 R&D 협의체'를 2021년 출범시켜 민관 R&D 협력 모델을 제시하기도 했다. 각 분야 산업계 선도기업이 민간 R&D 수요를 기반으로 핵심 기술 과제를 도출해 정부에 제안하는 협력모델이다.¹⁶ 2023년에는 11개 분과에서 173개 선도기업이 참여해 222개 R&D 과제를 과기혁신본부에 제안했다. 2024년에도 11개 분과를 구성했으며, 여기에는 산업공정혁신과 SMR, 신재생에너지, CCUS 등 탄소중립과 관련된 주제가 다수 포함돼 있다. 대부분의 주제는 디지털 전환과 탄소중립이라는 두 축의 전환과 관련이 있어 탄소중립 기술 혁신에 매우 중요한 현장의 목소리를 전

16 민간R&D협의체, R&D 혁신의 방향을 제시하다(브로셔), 과학기술정보통신부, 한국산업기술진흥협회, 민간R&D협의체, 2024

한다.

민간 기업의 자발적인 시장 참여를 독려할 방안도 마련해야 한다. 장기적으로는 제도를 마련하는 것이 필요하지만, 시간이 걸린다. 단기적 기술 개발이 필요해지면 이를 위한 민간 투자도 유인할 수 있어야 한다. 하지만 현재는 두 가지 불확실성이 존재한다. 개발 비용의 불확실성과, 이익의 불확실성이다.

이익의 불확실성은 정책적 일관성을 확보하고, 변동성이 심한 탄소가격 문제를 해결할 수 있도록 탄소차액계약제도를 시행해 절감할 수 있다. CCS 기술이나 수소환원제철 등을 통해 최소한의 이윤을 보장해 주는 방법, 혁신제품을 공동구매해 초기 시장을 확대하는 방법, 민간 R&D에 대한 세제 혜택을 주는 방법 등을 통해 달성이 가능하다. 한국산업기술진흥협회는 2024년 4월 발표한 '22대 국회에 바란다- 산업기술혁신을 위한 정책제언' 보고서에서 급변하는 외부 환경에 대응하고 기업의 R&D 활성화를 막는 제약을 극복하기 위해 산업기술혁신 10대 정책을 건의했다. 다양한 범주의 R&D를 다루고 있지만, '혁신 체제 및 혁신투자'를 장려하기 위한 대표적 분야로 탄소중립을 꼽고, 중소기업의 탄소중립 전환지원에 대한 법적 근거를 마련해 달라고 제안했다. 자본과 자원이 부족한 중소기업은 탄소감축 기술을 개발하거나 프로그램을 시행하는데 어려움이 많다. 또 다양한 기후테크 기업이 탄생하고 양성하기 위해서는 지원이 필요하다. 이에 대한 법률 제정을 제안한 것이다.¹⁷

탄소중립 혁신 기술의 상용화도 필요하며 이는 혁신기술의 상용화를 장려해 해결할 수 있다. 2050 탄소중립 달성을 위해서는 현재 개발된 혁신 기술만으로는 불가능하다. 현재 상용화된 기술만으로 감축할 수 있는 탄소 배출량은 2050년 글로벌 총 예상 배출량 가운데 일부인 260억 톤에 불과하다. 자연기반 탄소 흡수량과 인간의 행동 변화에 의한 감축량을 제외해도 250억 톤을 더 감축해야 한다. 많은 혁신 기술이 개발돼야 하며 개발된 혁신 기술이 상용화될 필요도 있다. 현재까지 개발된 혁신 기술 가운데 75% 정도의 혁신 기술이 상용화가 되지 못하는 실정이다. 뿐만 아니라, 향후 탄소 저감에 기여할 수 있는 파괴적 혁신 역량을 갖추고 신속한 시장 대응 능력을 가진 스타트업이 활성화돼야 한다. 현재 한국은 기후테크 스타트업 비중이 다른 국가에 비해 매우 적다. 이들 기업에 대한 투자도 어려운 상황이다. 이를 완화할 정책이 필요하다. 정부는 개발된 혁신 기술에 대한 실증을 확대하고 제도 규제 개선을 선제적으로 시행하며 개발 제품이나 서비스를 대상으로 공공 조달을 확대하는 정책이 수반돼야 한다. 기술 실증의 경우, 공기업과 연계된 기술 실증을 하면 테스트베드로서 역할을 하면서 그 실적을 바탕으로 해외 수출에서도 유리한 입지를 차지할 수 있을 것으로 기대된다.

민간의 안정적인 참여를 확대하고 혁신적인 기술 개발로 연결시키기 위해서는 블록 펀딩을 만들어서 공공성 기반의 R&D 시스템을 만들 방안도 고려할 수 있다. 특정 기업이나 연구실, 연구소의 소유가 아니라 공공성 개발의 R&D 시스템을 만드는 방안이다. 산·학·연의 새로운 모델이 블록펀딩과 연계돼 만들어져야 한다. 산학연 모델의 경우, 반도체에서 대표적인 예를 찾을 수 있다. 벨기에의 IMEC가 반도체 생태계에서 중요한 역할을 하는 산·학·연 협력 연구소다. 미국이 만들고 있는 NSTC도 비슷하다. 정부가 직접 또는 국제협력을 통해 탄소중립과 관련된 혁신기술을 개발하기 위한 산·학·연 모델을 만들어야 한다. 산·학·연의 새로운 협력 모델을 만드는 것이 탄소중립이 살 길이이고, 혁신기술이 빠르게 적용될 수 있는 길이다.

대학의 역할을 확대하는 방안도 고려할 필요가 있다. 정부는 교체에 따른 리스크가 존재한다는 측면에서, 민간 가운데 기업은 생존과 번영을 최우선으로 추구한다는 점에서 기후변화 문제 해결과 탄소중립이라는 공공의 이익을 추구하면서 동시에 장기적 전략을 수립하는 최적의 주체

17 한국산업기술진흥협회, 22대 국회에 바란다- 산업기술혁신을 위한 정책제언, 2024

는 아니다. 시류에 휩쓸리지 않으면서 전략적으로 미래를 그리고 관련 인재를 양성하는 기관이 필요하다. 대학은 그 역할을 수행할 집단지성과 잠재 역량을 보유하고 있다.

현재는 정부와 부처, 산업계와 연구계 등이 주요 주체가 돼 R&D 및 산업 정책을 추진되고 있다. 정부의 일관성과 지속성을 확보하기 위한 노력과 별개로, 별도의 독립적인 R&D 및 중장기 정책 연구 싱크탱크의 역할을 학계에서 맡아 흔들림없는 탄소중립 기술 확보를 향해 나아갈 필요성도 있다. 이 때 이 역할을 맡을 가장 좋은 주체가 대학이다. 대학에는 다양한 분야의 연구자와 전문가가 있다. 탄소중립과 공공의 문제 해결을 위한 지혜를 모을 집단지성의 풀이다. 더구나 교육기관으로서 이런 인재를 지속적으로 양성하고 가치관을 확산, 공론화시킬 수 있다. 현재까지는 각각의 연구자와 전문가가 개별 과제에 집중하는 형태로 연구해 큰 성과나 중장기 정책에 영향을 미칠 여지가 부족했다. 대학이 정부의 변화나 산업계의 부침과 별도로 국가의 먼 미래를 그리며 정책을 연구하고 중장기적으로 이를 지원할 방안을 마련하면 변화하는 세계 정세 속에서 흔들림없이 정책을 지속하면서도 세태 변화에 맞춰 신속히 대응할 여력이 생긴다. 특히 산업에 활약할 인재를 공급하고 교육하며, 관련 기초연구를 계속 지원할 수 있다는 점, 다양한 분야의 경험 많은 시니어 연구자를 활용해 폭넓은 정책 연구와 설계를 지원할 수 있다는 점에서 싱크탱크 역할을 수행하기에 부족함이 없다.

과거, 대학은 학문의 독립성과 자유를 수호하는 기관의 상징이었다. 권력에 꺾이지 않고 이윤에 흔들리지 않는 강직하고 일관성 있는 학문을 유지하는 기관으로서 자부심을 가져왔지만, 국제화와 신자유주의 시대가 되면서 역할이 크게 축소됐다. 기업의 발전에 비해 상대적으로 발전이 뒤처지며, 글로벌 기업과 산업에 당장 필요한 인력을 양성하는 기관이라는 잘못된 인식도 커졌다. 하지만 새로운 전환의 시대와, 글로벌 기술 패권 및 보호주의가 득세한 시대가 동시에 찾아오면서, 정부와 기업이 추진하기 어려운 지속적이고 장기적인 시야와 정책 기획력을 갖춘 기관으로 대학이 새로운 역할을 찾을 가능성이 커졌다.

결론

탄소중립은 전 세계가 마주한 가장 큰 위기인 기후위기를 극복하기 위해서 반드시 달성해야 할 과제다. 기후위기는 미치는 범위가 전 지구로 전례없이 크고, 해결까지 주어진 시간을 매우 짧은 독특한 특성을 지닌 위기다. 하지만 일반인의 시각에서는 매우 느린 시간 스케일로 진행되는 것처럼 보이는, 체감하기 어려운 ‘느린 재난’이기도 하다. 이 때문에 단기간의 정책이나 대책으로는 해결이 난망하다.

과학기술은 장기적 호흡으로 기후위기 완화를 위한 기회를 제공할 중요한 수단이다. 이를 위해서는 중장기 R&D가 중요하며, 특히 공공의 문제 해결을 위한 특성을 지니고 있어 정부 R&D 정책을 통한 지원이 중요한 역할을 한다. 하지만 탄소중립은 일상과 함께 전 세계 산업의 지평을 바꿀 사건이기도 하다. 사회의 근간이 되는 산업을 근본부터 뒤흔들 수 있다. 산업은 사용하는 에너지원과 원자재부터 제작 과정, 유통, 폐기물 처리까지 모든 과정에서 탄소중립을 달성해야 하고, 그렇지 않으면 전 세계 시장에서 도태될 위험에 직면하고 있다.

이런 상황에서 정부의 탄소중립 R&D는 공공기술 개발의 성격 외에 강력한 산업 정책의 면모를 함께 지닐 필요가 있다. 기초연구부터 원천기술 개발, 중장기 산업기술까지 한눈에 조망하며 동시에 진행하는 정책이 필요하다. 특히, 전 세계가 보호주의와 기술 패권 경쟁으로 빠져든 상황에서는 시장에서 확실한 성공을 거둔 산업기술 사례를 발굴하고 집중 지원해 확실한 기술로 확립하는 경험이 중요하다. 이는 한정된 자원으로 최대의 효과를 내고자 한 기존의 ‘선택과 집중’ 전략과는 다르다. 기술과 분야의 특성을 확실히 인지하고, 그와 관련한 세계의 시장 상황, 한국의 기술개발 역량을 객관적으로 파악해 각각의 특색에 맞는 전략을 수립해야 한다.

이 보고서에서는 탄소중립 기술을 기초연구에 집중해야 할 기술과 공공 문제 해결을 위한 원천기술 개발에 집중해야 할 기술, 중장기적으로 기술 패권 시대에 대비할 수 있는 산업기술 개발 측면에서 집중 육성해야 할 기술로 구분하고 각기 다른 R&D 지원 전략을 펴야 함을 주장했다. 또 글로벌한 문제 해결을 위해 민간의 기술 개발 참여를 장려하고 국제 협력을 통해 효율적이면서 한국의 국익에도 도움이 되는 R&D 전략이 필요함을 역설했다. 과학기술 개발 전략의 일관성과 지속성을 확보하기 위해 정책을 설계하고, 민간의 리더십 특히 대학의 리더십을 활용해 정부의 변화나 시장 변화에 흔들리지 않는 새로운 국가 리더십을 구축할 방안을 역설했다.

세계화 시대가 끝을 향해 가고 새로운 보호주의와 기술 패권 주의 시대가 다가오고 있다. 산업 다방면에서 도전이 끊이지 않고 있고, 앞으로 도전은 더욱 많아질 것이다. 하지만 그 중심에는 기후위기 극복과 에너지 안보 확보를 위한 탄소중립을 주요 축으로 하는 녹색 전환과, 반도체와 인공지능(AI), 양자 기술을 중심으로 한 디지털 전환이 자리하고 있다. 두 전환의 성공적 기틀을 마련하기 위해 정교한 전략을 설계하고 이를 꾸준히 달성하고자 노력을 기울일 필요가 있다.

첨부자료

탄소중립 기술별 전략 로드맵 분석

2024년 5월 현재, 17대 기술 별 전략 로드맵 가운데 10개 기술의 로드맵이 나온 상태다. 이들 기술 가운데엔 국내 산업 탈탄소화와 함께 한국의 미래 성장 동력으로 삼을 시장을 창출할 잠재력을 지닌 것도 있지만, 시장 창출 잠재력이 불확실하거나 불충분한 것도 있다. 시장 상황과 한국의 필요를 냉정히 가려 집중할 대상과 기초연구에 전념할 대상을 구분할 필요가 있다. 한국 정부의 정책은 2022~2023년 개최된 과학기술정보통신부 제 5, 7, 8회 탄소중립기술특별위원회에서 심의 의결됐다. 정부 발표 내용을 중심으로 정리했고, 다양한 기관의 조사와 연구 내용, 그리고 '탄소중립을 위한 혁신기술 포럼' 논의 내용을 중심으로 정리했다.

(1) 수소

(a) 전망

2024년 1월 컨설팅 기업 맥킨지 보고서 '2023년 글로벌 에너지 전망: 수소'에 따르면, 2050년 총 수소 생산량은 최대 5억8500만 톤에 이를 것으로 추정된다.¹⁸ 이들 대부분(73~100%)은 재생에너지로 생산한 전기로 만드는 청정 수소일 것으로 예상된다. 특히 유럽연합과 영국 등에서는 거의 모든 시나리오에서 2050년까지 회색수소를 단계적으로 폐지할 예정이다. 현재 수소 생산의 주력인 회색 수소는 100만~500만 톤 미만으로 크게 줄어든 것으로 보인다(현재는 연간 9000만 톤 수준이다).

시장은 아시아 지역에서 크게 열릴 것으로 예측됐다. 중국의 운송, 철강 부문을 대체하고 한국과 일본, 인도의 석탄 화력발전소와 가스화력발전소를 대체할 필요성이 있어서다. 아시아의 수요는 매우 급격히 증가할 예정으로, 맥킨지는 이 지역의 수요를 충족할 만큼 충분한 수소를 생산하지 못할 가능성이 높으며, 오세아니아나 중동에서 수입할 가능성이 높다고 보고 있다. 그 외에 유럽과 미국에서는 화학 부문의 수소 수요가 높을 것으로 예측됐다.

청정수소 가운데 녹색수소 다음으로 블루수소의 수요가 높을 것으로 예측됐다. 블루수소는 수소 생산 과정에서 발생한 이산화탄소를 탄소포집활용저장(CCUS) 기술을 이용해 처리한 수소다. 2050년 공급의 50~65%는 그린수소가, 20~35%는 블루수소가 차지할 것으로 예상된다.

18 Chiara Gulli, et al., Global Energy Perspective 2023: Hydrogen outlook, McKinsey&Company, 2024

<https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2023-hydrogen-outlook>

공급 측면에서는 최근 수년 사이에 중국의 부상이 두드러진다. 국제에너지기구(IEA)의 지난해9월 보고서에 따르면, 수소 생산을 위한 전해조 설치 규모에서 중국은 2020년 전 세계의 10% 미만을 차지했지만, 2022년 이 비율을 30%까지 끌어올렸다. 2023년에는 전 세계 용량의 50%에 도달한 것으로 추정된다.¹⁹

정부는 수소를 에너지 전환부터 산업까지 탄소중립을 달성하는 데 중요한 수단이 될 것으로 기대하고 있다. 이에 따라 2030년 수소 생산·공급 목표는 연간 194만 톤, 2050년 목표는 연간 2790만 톤으로 정해 생산, 유통 전주기의 기술 혁신과 핵심 기술 확보를 추진한다는 계획이다. 정부의 연구개발 투자 규모는 2020~2023년 4년간 3345억 원이었다.

(c) 현황과 문제

탄소중립에서 가장 중요한 중심 기술은 탈탄소화와 전기화 기술이다. 국제에너지기구(IEA)에 따르면, 전 세계 전력 생산량은 2만 9000 테라와트시(TWh)에 이른다. 이는 2050년 2배 이상 늘어 5만4000~7만 7000 테라와트시에 이를 것으로 예상된다.

2) 중국이 선도 시장, 한국은 가능성이 있나

수소 인프라는 급격히 확장 중이다. 이와 관련해 청정 수소를 생산하기 위한 수전해 생산 및 운송 비용 급격하게 떨어질 것으로 예상된다. 수소 거래의 수익성은 점차 낮아질 것이다.

이런 상황에서는 기술 리더십이 중요하다. 청정 수소 생산 기술 확보와 실증에 유럽과 미국,

<https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023/executive-summary>

<https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156537632&pageIndex=1&repCodeType=%EB%B6%80%EC%>

B2%98&repCode=&startDate=2021-11-22&endDate=2022-11-22&srchWord=%ED%83%84%EC%86%8C&period=year

중국 등이 진력 중이다. 이미 알칼라인 수전해 시장은 중국이 소부장을 주도하며 대규모 보급과 실증을 추진 중이다. 전 세계 수전해 시장의 절반은 중국이 차지하고 있는 것으로 평가된다. 중국 기업이 설비도 공급 중이다. 중국의 수전해 R&D는 매우 체계적이다. 3대 기업의 규격화와 표준화도 잘 돼 있고 정부와 학연의 부품, 소재 개발도 원활하다.

3) 기술 리더십

이런 상황에서 한국의 기술 확보를 위해서는 장비 제조, 원자재 공급망 확보 등 분야에서 확고한 기술 리더십, 거버넌스가 필요하다. 투자 대비 탈탄소화에 가장 큰 가치를 제공하는 기술과 해결방안을 효율적으로 순차 배치하고 추진해야 한다. 구체적이고 체계적인 국가 R&D에 산학연의 결집된 역량이 집중될 필요도 있다.

예를 들어 현재 수년 안에 10 메가와트급 수전해 기술을 확보하는 게 목표인데, 이보다 구체적인, 연도별 목표를 제시하고 상세화시켜 실현시킬 구체적 기술을 도출해야 한다. 이후 정부가 체계적 실증과 보급에 나서야 한다. 기업 투자와 R&D 결집도 이 축 위에서 발생할 수 있다. 여기에 국제적 표준과 규격 거버넌스도 한국이 가져올 수 있어야 한다. 이는 미래 시장 지배 기술을 결정하는 데 큰 영향을 미칠 것이다.

(2) CCUS

(a) 전망

탄소 포집·활용·저장(CCUS)은 탄소가 생산된 곳에서 외부로 배출되기 전에 잡아내는 기술이다. 포집한 이산화탄소는 다른 유용한 물질로 전환된다. 기존에 화석연료를 이용해 만들어지던 물질을 이산화탄소를 저감하면서 얻게 되는 셈이다. 제대로 되면 탄소중립과 관련해 '게임을 끝낼 수 있는' 기술로 여겨진다.

산업 공정과 연료 전환, 발전 등 부문에 적용할 수 있을 것으로 기대된다. IEA에 따르면, 전 세계적으로 약 40개의 시설이 운영되고 있으며 연간 약 4500만 톤의 이산화탄소를 포집하고 있다.²¹ CCUS 밸류체인과 관련한 개발 프로젝트가 500개 이상 진행되고 있으나, 아직 본격적인 궤도에는 오르지 못한 상태다. IEA는 현재 공개된 전 세계 프로젝트의 계획을 고려해도 2050년 탄소중립 시나리오가 요구하는 CCUS 처리량(연간 12억 톤)의 약 3분의 1 정도만 만족할 것으로 보고 있다.

국가 별로는 미국이 인플레이션 감축법을 통한 세공 공제 혜택을 부여하는 등 개발을 촉진할 계획을 발표했다. 유럽연합은 탄소중립산업법(Net Zero Industry Act)을 통해 CCUS 허가 절차를 개선했다. 영국은 CCUS 조기 배치를 위한 예산을 2023년 발표했다. 중국과 일본 역시 새로운 프로젝트를 시작하거나 지원하고 있다.

2023년 2분기 기준으로, 전체 용량의 52%는 북미 대륙의 프로젝트가 차지하고 있다. 이어 중남미가 19%, 호주와 뉴질랜드가 9%, 중동이 8%, 아시아태평양이 7%, 유럽이 5%다. 2030년에는 북미의 비중이 48%로 약간 줄어드는 대신, 유럽의 비중이 25%로 크게 늘 것으로 전망된다.

(b) 한국 정부의 계획²²

21 IEA, Carbon Capture, Utilisation and Storage: Overview

<https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage>

22 제5회 탄소중립기술특별위원회 개최, 과학기술정보통신부 보도자료, 2022.11.22.

<https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156537632&pageIndex=1&repCodeType=%EB%B6%80%EC%B2%98&repCode=&startDate=2021-11-22&endDate=2022-11-22&srchWord=%ED%83%84%EC%86%8C&per>

정부는 탄소 포집·활용·저장 분야가 이산화탄소 배출량이 높은 한국 산업구조 특성 상 탈탄소를 위해 반드시 필요한 핵심 전략수단이라고 보고 있다. CCUS를 활용한 온실가스 감축량 목표는 2030년 연간 1030만 톤, 2050년 연간 최대 8520만 톤이다. 정부는 전 세계적으로도 이산화탄소 포집·저장·활용 시장이 활성화되기 시작하는 단계인 만큼, 혁신적인 기술 개발을 통해 핵심기술을 조기에 확보하고 세계 시장을 선점한다는 목표를 세웠다. 최근4년간(202년~2023년) 투자한 연구개발 예산은 약 3637억 원 규모다.

포집 역량은 2025년 연 7만 톤, 2030년 연 400만 톤, 2030년 이후 연 1000만 톤 수준으로 높이고, 세계 세 번째로 이산화탄소를 해상 주입에 성공한 경험을 바탕으로 세계 최대 규모의 저장소를 운영한다는 계획이다. 저장소 규모는 2030년 연 400만 톤, 2050년 연 1500만 톤이다. 또, 탄소 전환·활용 기술을 고도화하고, 2040년까지 이산화탄소 전환·활용 제품에 대한 가격 경쟁력을 기존 시장가와 경쟁할 수 있는 수준으로 높인다는 목표다.

(c) 현황과 문제

탄소포집이용(CCU)은 구현이 어려운 기술로 꼽힌다. CO₂는 가장 산화된 형태의 물질로 매우 안정적이기 때문이다. 이를 환원시켜 다른 물질로 바꿔야 하는데, 이 과정에는 에너지가 투입될 수밖에 없다. 에너지를 투입하는 과정에서 다시 CO₂가 발생한다.

환원에는 두 가지 방법을 쓸 수 있다. 수소를 이용하는 방법과 전자를 이용하는 방법이다. 이 가운데 수소를 쓰려면 재생에너지를 이용해 생산한 전기로 물을 분해한 그린 수소를 써야 의미가 있다. 대규모 실증 기술로는 미국에서 CO₂로 메탄올을 합성하는 데 성공한 사례가 상용화에 가깝다. 하지만 수소는 저장과 운송에 어려움이 있다. 따라서 전기를 사용하는 전자 환원 방식이 각광받을 것으로 예상된다. 다만 아직 실험실 수준에 머무르고 있는 실정이다.

관건은 '청정 전기'다. 한국의 2050년 탄소중립 시나리오를 보면 B안만 보아도 재생 전기 비율이 60%에 이를 수 있다. 태양광 산정 시 464 기가와트가 필요한 상황이다. 이런 전기를 확보하기 위해서는 많은 노력이 필요하다. 만약 CCU 기술이 가능해진다면 확보한 재생에너지로 CCU를 구현하고 이를 통해 탄소중립에 기여할 수 있을 것이다. 이 경우 굳이 화력발전을 없애지 않아도 가능할 것으로 예상된다.

CCU 상용화를 위해서는 기업 참여도 필요하다. 하지만 아직 기술 수준이 낮다 보니 참여를 주저하는 경우가 많다. CO₂ 확보도 지금은 어려운 실정이다. 정부가 기업의 CO₂를 확보할 수 있도록 정책적으로 이끌면 기업의 실증 연구 참여에도 도움이 될 것으로 기대된다.

(3) 태양광

(a) 전망

태양광 발전은 광기전력 효과(Photovoltaic effect)를 이용하여 태양의 빛 에너지를 변환시켜 전기를 생산하는 기술이다. 이미 전 세계적으로 빠른 성장이 관찰되고 있으며 한국의 시장 진입은 늦은 상태다. 재생에너지의 균등화발전비용(LCOE)은 이미 세계 다수 국가에서 재생에너지가 가장 저렴해진 상태다,²³ 실제 설비용량 및 발전량도 급격히 증가해 2년 뒤에는 재생에너지 발전량이 석탄화력 발전량을 넘어 가장 큰 전력원이 될 것으로 예측된다.²⁴

iod=year

²³ Nijse, F.J.M.M., Mercure, J.F., Ameli, N. *et al.* The momentum of the solar energy transition. *Nat*

²⁴ IEA, Renewables 2023: Electricity, 2023 <https://www.iea.org/reports/renewables-2023/electricity#abstract>

이 흐름은 더 빨라져서, 보수적인 국제에너지기구(IEA)조차 1월 발표한 보고서에서 현재 정책 및 추세만으로도 2030년 재생에너지 생산량이 2022년의 2.5배 이상으로 올라갈 것으로 예상하고 있다.²⁵ 이는 지난해 말 개최된 유엔기후변화협약 28차 당사국총회(COP28)에서 달성을 위해 협력하기로 합의한 3배 증가에는 미치지 못하지만 근접하는 수준이며, 약간의 추가 노력으로 극복할 수 있는 정도다.

(b) 한국 정부의 계획²⁶

친환경 에너지 전환을 위해 태양광 보급이 크게 확대되었지만, 앞으로는 발전 효율을 높여 경제성을 확보함으로써 차세대 시장을 선점하기 위한 선도적 기술 개발이 필요한 시점이다. 정부는 석탄, LNG 등 화력발전을 감축하고 태양광 등 재생에너지를 확대하는 기조 하에 2023년 재생에너지 보급 전망을 실현가능한 수준으로 재정립했다. 비용효율적이고 주민 수용성을 높이며 국내 산업발전과 함께하는 재생에너지 보급이 이루어질 수 있도록 합리적인 재생에너지 정책방향을 설정하고, 이에 필요한 기술 개발을 추진한다는 계획이다.

현재 태양광은 실리콘 태양전지가 대부분을 차지하고 있으며, 중국이 가격경쟁력을 앞세워 세계 시장을 선점하고 있다. 다만, 실리콘 태양전지(효율 약 25% 내외)는 효율 개선 한계에 근접한 상태기 때문에, 그간의 추적형 연구에서 벗어나 새로운 돌파구가 필요한 상황이다. 이에 따라, 차세대 소재인 페로브스카이트를 실리콘 태양전지에 적층해 다양한 파장을 흡수함으로써 효율을 극대화하는 탠덤(tandem) 기술을 활용해 초고효율 태양전지(효율 약 36% 이상)를 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 페로브스카이트/실리콘 탠덤 태양전지는 2027년 요소기술을 개발하고 대면적화하며, 2030년까지 모듈 효율을 28%로 높인다. 2050년에는 기술을 고도화해 효율 36%를 달성하며 이를 양산화한다는 목표다.

그 외에 경량화 및 대면적화에 장점을 가진 박막 기반 태양전지의 탠덤화로 다양한 사용처에 적용 가능하면서도 효율을 높일 수 있는 태양전지를 동시에 개발할 계획이다. 건물, 영농, 수상, 수송 등으로 태양광 사용처를 다변화하기 위한 시스템 기술을 개발하고, 시스템 적용에 기초가 되는 경량형, 투광형 등 다기능 태양광 기술도 개발할 예정이다. 건물형 태양광의 경우, 2025년까지 설비이용률 및 수용성을 개선하고 2030년까지 설비이용률을 극대화하며, 100 kW급 소규모 실증을 거쳐 2050년 MW급 대규모 실증과 상용화를 달성한다는 계획이다.

마지막으로 태양광 보급 확대에 따라 기대수명이 도래한 태양광 폐모듈을 소각·매립하지 않고 재사용·재활용하는 기술을 개발한다. 2026년까지 폐모듈 전파쇄 공정 및 장비를 개발하고, 2030년까지 폐모듈 실리콘 분말화 기술을 완성한다. 이후 2050년 대용량 처리기술을 개발하고 순환이용률을 95% 이상으로 높일 계획이다.

(c) 현황과 문제

(a) 태양광 동향과 한국의 문제

현재 한국 정부는 부족한 재생에너지 전력을 확보하기보다는 원전을 '브릿지' 전력을 활용할 방침을 밝힌 상태다. 하지만 세계는 재생에너지가 매우 빨리 주류가 되고 있고 이 흐름은 거스를 수 없을 것으로 보인다. 원전 등 다른 대안을 언급하기에는 재생에너지의 확장세가 너무 압도적이라서, 사실 거의 거론조차 되지 않는 실정이다. 비록 재생에너지에는 말씀하신 불안정성

25 IEA, Renewables 2023: Executive summary, 2023
<https://www.iea.org/reports/renewables-2023/executive-summary>

26 제8회 탄소중립기술특별위원회 개최, 과학기술정보통신부 보도자료, 2023.12.19.
<https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156606334>

문제가 있고, 저장장치 및 그리드의 미비, 자금 조달의 문제 등 어려움이 있지만, 이는 전 세계가 공통적으로 겪는 문제이고, 어떻게든 해결해가면서 재생에너지 비율을 높이고 있다.

(b) 기업의 대응

국가별 신재생발전의 2010~2021년 점유율을 보면 미국, 영국, 독일, 프랑스, 중국 등은 양적으로 1.5~5.5배 성장했다. 한국은 지난 정부에서 5년간 재생에너지 투자를 많이 했음에도 전력 중 재생에너지 비율은 7%대에 머무르는 실정이다. 탄소중립 실현이 미흡한 상태다.

문제는 기업이다. 현재기업 입장에서는 발등에 불이 떨어진 상태다. 비용이 문제다. 탄소중립 시스템으로 바꿀 경우 제조 공정 등에서 많은 설비 교체가 불가피하다.

전력 차단기의 사례를 보면, 기술 분야에서 철저한 사전 준비가 얼마나 큰 사업 기회 낚는지 확인할 수 있다. 전력 차단기는 절연 매질을 이용해 회로의 전기를 끊어준다. 이 때 사용하는 절연 매질은 주로 육불화황(SF6)이었다. SF6는 6대 온실가스 중 하나다. 누출량은 전체의 1%지만 온실가스 효과(GWP)는 2만3900배로 매우 강력하다. 이에 따라 2028년부터 유럽에서는 SF6를 사용한 전력 차단기는 판매가 불가능해질 예정이다. 이에 따라 대체 매질 개발이 필요한데, 이미 해외 기업이 개발해 독점적 지식재산을 형성한 상태다. 즉, 나머지 국가와 기업은 기술을 내고 사용해야 한다. 비슷한 사례가 여럿 있을 것으로 추정된다. 탄소중립과 관련해 유럽과 미국 기업은 미리 준비해 사업화하고 있다.

중소기업의 대응도 고민해야 한다. 대기업을 받치고 있는 공급망(supply chain)에 중소기업이 많으나, 대기업과 달리 탄소중립에 대해 제대로 모르는 경우가 많다. 산학연이 중소기업에 뒷받침하는 역할을 수행할 필요가 있다.

(4) 무탄소 전력 공급

(a) 전망

무탄소 전력공급은 에너지 분야에서 탄소중립 실현과 안정적인 기저 발전을 확보하는 수단이다. 한국에서는 수소 및 암모니아 혼소(또는 전소) 발전 및 이를 위한 무탄소 가스터빈 확대를 포함하는 개념이다. 수소연료전지를 발전에 응용하는 개념도 포함한다.

이 가운데 수소 및 암모니아 혼소(전소) 발전은 수소와 암모니아를 기존 액화천연가스 발전기 및 석탄 발전기에서 연소하는 기술이다. 발전 설비는 물론 송배전선로 등 기존 전력 인프라를 활용하면서 온실가스를 줄일 수 있다. 일본은 석탄과 LNG, 연료전지 모든 분야에서 암모니아 연소 기술에 대한 기초 실증을 마치고 2024년 1 GW급 석탄발전소 혼소 실증을 완료할 계획이다.²⁷ 미쓰비시는 30% 수소 혼소가 가능한 연소기를 개발했다는 보고도 있다(이종민, '수소·암모니아 가스터빈 발전의 기술 동향 및 전망', 에너지포커스, 한국에너지경제연구원, 2022)²⁸. 미국 및 유럽도 GE와 지멘스, Baker Hughes사 등을 중심으로 기술 개발 및 실증을 추진 중이다. 암모니아 가스터빈 역시 미쓰비시와 IHI가 연구개발을 진행 중이다.

국내 기업 가운데에는 두산에너지빌리티가 자체 개발한 대형 가스터빈을 대상으로 수소 혼소 50% 기술을 개발 중이며 2027년 실증을 추진하고 있다. 한전 전력연구원에서도 기존 가스 터빈에 대해 개조 없이 수소 및 암모니아 혼소 운영이 가능한 기술을 개발 중이다.

27 암모니아 발전2030년·수소 발전2035년 상용화 추진, 산업통상자원부 보도자료, 2021.11.16.

<https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148895640>

28 이종민, '수소·암모니아 가스터빈 발전의 기술 동향 및 전망', 에너지포커스, 한국에너지경제연구원, 2022

https://www.keei.re.kr/keei/download/focus/ef2203/ef2203_50.pdf

(b) 한국 정부의 계획²⁹

2030년까지는 암모니아 혼소 발전을 전체 발전의 3.6% 수준으로 확대하고, 2050년에는 수소를 활용한 무탄소 가스터빈을 전체의 21.5%까지 확대해 나갈 계획이다. 석탄발전에서 석탄 일부를 암모니아로 대체하는 비율을 단계적으로 확대하기 위해 기술을 개발한다는 계획도 세웠다(2027년 20%에서 2030년 50%로 확대). 액화천연가스 발전에서 액화천연가스를 수소로 대체(수소혼소, 수소전소)하는 기술을 확보해 2028년에는 실증으로 연계할 계획이다. 수소연료전지는 2028년까지 복합발전 혹은 열병합 발전 시스템으로 활용할 수 있는 기술을 개발해 고효율 발전 시스템을 구현할 예정이다.

(c) 현황과 문제

한국에너지경제연구원은 위 보고서에서 이 기술이 “자원이 부족하고 전력망이 고립된 한국에서 필요한 기술이지만, 국내 실현 및 상업화 시기에 있어 다시 한번 점검해야 한다”고 지적한다. 이 기술의 실현성에 가장 큰 영향을 미치는 게 연료, 특히 수소의 수급 가능성 및 경제성이기 때문이다. 매우 높은 가격과 이송 및 저장 기술의 낮은 성숙도는 당장 상업화할 유인을 낮춘다. 경우에 따라 온실가스 저감이라는 이익보다, 발전 원가 상승이라는 부담을 줄 가능성도 있으며, 선진국 역시 기술 수준에 비해 낮은 수준에서 상업화가 막 추진되는 상황이다. 또 암모니아의 유독성과 수소의 폭발성은 주민 수용성이 낮아 이에 대한 대책도 필요하다.

(5) 친환경자동차

(a) 전망

친환경자동차에는 전기자동차와 수소자동차가 있다. 전기자동차는 휘발유나 디젤 자동차에 비해 탄소배출량이 낮은 경향이 있다. 제조 단계에서는 탄소배출량이 더 많지만, 이동 과정에서 상쇄된다.³⁰전력망이 탈탄소화된 국가일수록 탄소배출량의 절감 수준은 더 높아진다.

국제에너지기구(IEA)가 2023년 4월 발표한 ‘2023 국제 전기자동차 전망’에 따르면 2022년 전기자동차 판매량은 1000만 대를 넘었다. 판매된 신차의 14%가 전기자동차였다.³¹ 2020년의 5%, 2021년 9%를 넘어선 수치다. 판매량의 60%는 중국이 차지했다. 이어 유럽과 미국에서 많은 전기 자동차가 판매됐다. 인도, 태국, 인도네시아 등 아시아의 성장도 두드러졌다. 2023년 전기자동차 판매 예상 대수는 1400만 대였다.

미국과 유럽연합은 법안을 통해 전기자동차 시장 점유율을 더욱 끌어올리기 위해 노력 중이다. 2023년 3월 유럽연합이 제안한 탄소중립산업법에 따르면 2030년까지 유럽연합 배터리 수요의 90%를 EU의 배터리 제조업체가 담당할 것을 목표로 하고 있다. 미국은 인플레이션 감축법을 이용해 전기 자동차 및 배터리의 미국내 공급 강화를 촉진하고 있다. 또, 전기자동차 보급에 가장 중요한 변수인 배터리 제조 용량은 2050 탄소중립 시나리오에서 요청되는 전기자동차 수

29 제5회 탄소중립기술특별위원회 개최, 과학기술정보통신부 보도자료, 2022.11.22.

<https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156537632&pageIndex=1&repCodeType=%EB%B6%80%>

[EC%B2%98&repCode=&startDate=2021-11-22&endDate=2022-11-22&srchWord=%ED%83%84%EC%86%8C&period=year](https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156537632&pageIndex=1&repCodeType=%EB%B6%80%EC%B2%98&repCode=&startDate=2021-11-22&endDate=2022-11-22&srchWord=%ED%83%84%EC%86%8C&period=year)

30 <https://ourworldindata.org/electric-car-sales>

31 IEA, Global EV Outlook 2023: Executive summary, 2023

<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/executive-summary>

요를 감당할 수 있을 것이라고 IEA는 예상하고 있다. 특히 현재 배터리의 주류인 리튬 이온 배터리를 대체할 배터리가 제안되고 있으며, 점유율도 올라가고 있다.

수소차의 경우 시장 규모는 2022년 28억 달러로 평가됐다. 2023년 7월 '글로벌 마켓 인사이트'는 이 수치가 2032년 332억 달러로 증가할 것으로 예상했다.³²

(b) 한국 정부의 계획³³

친환경자동차는 자동차 분야 탄소중립을 위한 핵심 수단이다. 2030년까지 총 450만 대를 보급한다는 목표다. 특히 전기차의 경우 내연기관 차량에 견주어 불편함이 없는 주행거리, 배터리 안정성 등이 요구된다. 2030년 이전에 리튬-황, 리튬금속 전지 등 차세대 전지 차량 실증을 완료하고, 2026년까지 배터리 화재 억제 기술 개발을 병행해 나간다는 계획이다. 충전 시간 역시 현재의 3분의 1 수준까지 줄이도록 400 kW급 초급속 충전 핵심 기술(전력변환장치 등)을 2025년까지 국산화할 계획이다. 수소차 역시 2025년까지 내연기관 차량 수준의 수명을 가지는 내구성 높은 연료전지 기술을 확보해 나갈 예정이다.

(c) 현황과 문제

글로벌 회계법인 딜로이트는 '전기차 시장 전망- 2030년을 대비하기 위한 전략' 보고서에서 2030년 이후 전기자동차의 판매량 성장세가 둔화될 수 있을 것으로 내다봤다.³⁴ 주요 원인은 충전 인프라 도입이다. 수십억 달러의 자본 투자가 필요할 것으로 전망됐다. 전기차와 수소차는, 한국의 현대자동차가 주요 글로벌 플레이어로 개발과 판매에 적극 개입하고 있다.

(6) 석유화학

(a) 전망

석유 및 화학 산업은 세계 최대 산업 중 하나다. 스태티스타에 따르면, 전 세계 화학 산업의 연간 매출액은 4조 7000억 달러에 이른다.³⁵ 또 화학산업이 만드는 제품은 제조업과 건설업 등과 깊이 연관돼 있다. 하지만 화학산업은 고배출산업이기도 하다. 2021년 전 세계 화학 산업이 배출한 이산화탄소량은 전체 배출량의 2%에 해당하는 9억 2500만 톤에 이른다.³⁶

(b) 한국 정부의 계획³⁷

석유화학은 플라스틱, 섬유, 고무, 접착제 등 각종 화학제품을 생산하는 산업 분야로서 우리나라가 세계 4위 수준의 에틸렌 생산능력을 보유하고 있는 대표 주력 산업이다. 하지만, 탄소 배

³² <https://www.gminsights.com/industry-analysis/hydrogen-vehicle-market>

³³

<https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156537632&pageIndex=1&repCodeType=%EB%B6%80%EC%B2%98&repCode=&startDate=2021-11-22&endDate=2022-11-22&srchWord=%ED%83%84%EC%86%8C&period=year>

³⁴ Jamie Hamilton, et al., 전기차 시장 전망: 2030년을 대비하기 위한 전략, Deloitte Insights, 2021 https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-korea-review/16/kr_insights_deloitte-korea-review-SP_04.pdf

³⁵ Chemical industry worldwide – statistics and facts, Statista, Feb 9, 2023

³⁶ Wenke Bengtsson, et al., Decarbonizing the chemical industry, McKinsey&Company Article, 2023 <https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/decarbonizing-the-chemical-industry>

³⁷ 제7회 탄소중립기술특별위원회 개최, 과학기술정보통신부 보도자료, 2023.5.19. <https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156570496>

출은 국내 산업 가운데 2위다(2018년 기준 4690만 톤). 탄소 배출 감축을 위한 과감한 공정 혁신이 필요한 대표적 분야로 꼽힌다.

정부는 석유화학 전 주기(연료 대체, 원료 대체, 자원순환, 신 공정)에 걸쳐 친환경 공정혁신기술이 2030년 전후를 기점으로 상용기술로 정착되도록 기술 개발 전략을 수립했다.

연료 대체 분야에서는 기존의 고탄소 연료를 전기 혹은 무탄소 연료(수소혼소, 수소전소 등)로 전환하는 기술을 단계적으로 확대해 전기 가열로의 수율을 기존 석유기반의 공정 이상으로 높이고(2030년 기준 에틸렌 생산 수율 30% 이상), 무탄소 연료도 기존 공정에 실제 적용하는 것을 목표로 개발한다.

전기 가열로는 2028년까지 원천기술(직접가열, 플라즈마)을 확보하고, 2단계로 2030년까지 단일 튜브 규모 실증을 한다. 3단계로 2030년 이후에는 NCC 1기 이상 상용규모로 확대한다는 계획이다.

원료 대체 분야에 있어서는 친환경 바이오매스를 활용한 기초 및 고부가 화학원료 생산기술(바이오나프타·올레핀, 바이오PEF, 바이오 폴리올)을 개발하고 향후 대규모 생산시스템으로 연계해 생산 수율을 획기적으로 높여 나갈 계획이다. 예를 들어 바이오 나프타와 올레핀은 2027년 원천기술을 확보하고 2030년까지 중규모 바이오 매스 전환 설비를 실증하며(연간 1만 톤 규모), 2030년 이후로는 수십만 톤 급 설비를 구축할 계획이다.

자원 순환 분야에 있어서는 폐플라스틱 재활용을 높이기 위해 폐플라스틱 공정 유형별(해중합, 열분해, 가스화)로 연속식 생산 공정 기술을 적용해 고부가 화학원료 생산 수율을 높인다. 예를 들어 폐플라스틱 해중합은 2026년 원천기술을 확보하고 2030년까지 중규모 실증을 마치며(연간 300~3000톤규모), 2030년 이후 수십만 톤 급 설비를 구축한다.

신 공정 분야에서는 저급 연료유 및 부산물을 기초 화학원료로 전환하고, 나프타 분해 공정 및 정제 과정에서 발생하는 에너지를 획기적으로 절감할 수 있는 신 공정 기술을 개발한다. 이를 통해 기존 석유화학 공정에 사용되는 에너지를 낮추는 기술을 개발해 확산한다는 계획이다.

대표적으로 저급 연료유와 부산물의 전환을 보면, 2026년까지 원천기술을 확보하고 2028년까지 중소규모의 실증을 마치며(연간 100톤 규모), 2028년 이후 1만 톤 급 실증을 추진한다. 저에너지 반응 공정도 2025년까지 유동층 촉매 반응기술을 확보하고 2030년에는 중소규모 실증을 마치며(연간 100톤) 2030년 이후 100만 톤 급 상용공정으로 확대할 계획이다.

(c) 현황과 문제

석유화학 기업의 탈탄소화 목표는 현재는 공정 부문(스코프 1 & 2) 중심이다. 하지만 점차 다운스트림, 업스트림을 포함하는 스코프 3까지 확장할 것으로 예상된다. 최근 투자자와 주주 등의 탈탄소화 압력으로 이 같은 변화는 지속될 것으로 보이지만, 석유화학기업의 투자는 상대적으로 부족한 수준으로 평가된다.³⁸

(7) 철강

(a) 전망

한국의 철강 산업은 2019년 기준 조강 생산량 세계 6위를 차지하고 수출은 세계 3위를 차지하고 있다. 글로벌 경쟁력을 갖춘 대표적 산업으로 꼽힌다. 하지만 동시에 국내 산업 분야 중 가장 많은 탄소를 배출하는 산업이기도 하다. 2018년 기준 1억 120만 톤을 배출해 국내 산업 부

38 석유화학산업의 탈탄소(net-zero) 전략, 2022 이슈보고서, 한국수출입은행, 2022
<https://keri.koreaexim.go.kr/HPHFOE064M01/102160>

문 배출의 약 40%를 차지하고 있다. 국가 전체 배출에서는 15%를 차지한다. 유럽연합에서 철강 등 고탄소 수입품에 추가 세금을 부과하는 탄소국경조정제도를 도입할 예정임에 따라 철강 산업의 경쟁력을 지속적으로 확보하기 위해서도 탄소 배출량 감축이 시급하게 요구되고 있다.

(b) 한국 정부의 계획³⁹

정부는 2030년 전후로 철강을 생산하는 기존 공정에서 탄소 배출을 줄일 수 있는 상용기술을 확보하고, 장기적으로 탄소를 배출하지 않는 혁신적인 철강 생산 기술을 개발하는 것을 목표로 전략을 수립했다.

먼저, 고로-전로 공정에서 사용하는 코크스, 철광석 등의 연료와 원료를 수소가 함유된 가스, 대체 철원 등 저탄소 연·원료로 대체하는 기술을 개발해 적용한다(2030년 기준 대체 철원 사용률 12% 이상 달성). 전기로 공정의 경우, 에너지 효율을 높이고(2030년 기준 전기 사용량 40% 감축) 바이오매스, 폐합성수지 등 저탄소 연료 대체 기술을 확보해 확산해 나간다는 계획이다. 장기적으로 탄소를 다량 배출하는 기존 고로-전로(철강 생산 시 발생하는 탄소의 약 85%를 배출함)를 수소 및 신재생에너지 전력을 사용함으로써 탄소를 배출하지 않는 혁신적인 공정인 수소환원제철로 전환하기 위해 공정 및 설비 설계 등의 핵심기술을 개발한다. 수소환원제철은 2025년까지 신 공정을 설계하고 2029년 준상용급(100만 톤 규모) 실증을 마치며, 2040년까지 상용급 실증을 마치고(300만 톤 규모), 2040년 이후 단계적으로 전환할 계획이다.

그밖에, 철강 최종제품을 생산하는 공정에서 사용하는 석탄계 연료를 수소, 암모니아로 전환하는 기술을 개발해 적용해 나가고, 철강 생산 과정에서 발생하는 부산물을 철강 원료, 저탄소 건설자재 등으로 재활용하는 유망기술도 확보해 나갈 계획이다.

(c) 현황과 문제

철강산업에서는 철을 추출하는 환원 과정 중 코크스가 환원제로 사용된다. 이 때 고로를 사용하는데 여기에서 석탄을 비롯한 많은 양의 화석 연료가 소모된다. 현재 한국 철강 산업 상공정의 67%는 석탄을 환원제로 사용하는 고로에 기반을 두고 있다. 국내 철강 산업의 에너지 소비 구조를 보면 석탄이 83%를 차지하는데, 이 부분을 줄여야 한다.⁴⁰

철강의 탈탄소화는 고로-전로를 개선해 탄소 배출을 줄이거나, 아예 혁신 기술을 사용해 전면적으로 탄소를 줄이는 두 가지 선택지를 고려해야 한다. 고로-전로 개선은 철스크랩 기반 전기로 등이 있으나 효과가 제한적으로 평가된다. 결국 혁신 기술이 필요한데, 환원제를 코크스에서 수소로 전환하고 철광석을 전기분해하는 기술이 꼽힌다. 또 CCUS를 접목할 필요성도 제기된다. 철 스크랩 공급 안정화, CCUS 등 주변 기술의 동반 성장이 중요하다.

철강산업은 설비 수명이 길기에 기존 설비 교체 시기에 맞춰 새로운 탄소중립 기반을 만들어야 한다. 대부분 국가는 중기적으로 천연가스를 이용하다 장기적으로 수소환원제철 중심으로 산업을 재편할 예정이다. 철강 강국인 유럽과 일본 등도 모두 혁신기술 조기 개발을 위한 R&D 지원을 강화하고 있다. 중국 역시 감축 목표를 공격적으로 설정한 상태이며 미국은 재생에너지 인프라를 활용할 계획을 하고 있다.

(8) 시멘트

39 제7회 탄소중립기술특별위원회 개최, 과학기술정보통신부 보도자료, 2023.5.19.

<https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156570496>

40 이재윤, 양진혁, 철강 산업의 추진 전략과 정책과제, 산업연구원 이슈페이퍼, 2022

https://www.kiet.re.kr/research/paperView?paper_no=774&skey=&sval=

(a) 전망

시멘트 산업은 한국에서 철강, 석유화학 다음으로 많은 탄소를 배출하는 산업이다(2018년 기준 3410만 톤). 하지만 순환연료(폐합성수지 등)를 적극 사용하고 있는 유럽연합 등 주요국에 비해 탄소 배출을 줄이기 위한 기술 수준은 뒤쳐져 있어 적극적인 기술 개발이 필요한 상황이다.

(b) 한국 정부의 계획⁴¹

시멘트 생산에 사용되는 연료·원료를 저탄소 연료·원료로 전환하기 위해 필요한 핵심기술을 2030년 전후로 상용화가 가능한 수준까지 신속하게 확보하는 것을 목표로 한다.

원료 대체의 경우, 시멘트 반제품인 클링커 제조 시 탄소를 다량 배출하는 석회석을 저탄소 원료(비탄산염 원료)로 대체하는 기술을 개발해 2030년 석회석을 2% 이상 대체할 수 있게 한다는 계획이다. 클링커 사용을 줄이기 위해 시멘트에 혼합재 함량을 증대시키는 기술과 기존 3종의 혼합재 외에 새로운 혼합재(석회석 미분말, 소성점토 등)를 제조하는 기술도 확보해 확산할 계획이다.

유연탄 등의 연료를 순환연료 및 무탄소 연료(바이오매스, 수소 등)로 대체할 수 있도록 전처리, 오염물질 제어 등 순환연료 사용을 위한 주요기술을 확보해 실증하고(2030년 기준 순환연료 대체율 80% 이상 실증), 바이오매스·수소 연소에 필요한 균일 열원 공급 등의 기술도 개발해 나간다.

(c) 현황과 문제

(9) 탄소중립 선박

(a) 전망

탄소중립 선박은 무탄소 연료(암모니아, 수소 등)를 사용하거나 저탄소 연료(LNG 등) 사용에 따른 CO₂를 처리하여 순 탄소배출이 0인 선박을 말한다. 2015년 파리협정 및 2018년 국제해사기구(IMO) 제72차 해양환경보호위원회(MEPC) 회의에서 '선박 온실가스 감축 초기전략'을 채택하면서 친환경 선박 도입이 가시화됐다(황대중, '친환경선박 발주현황 분석 및 전망')⁴² 2020년에는 선박 배출 황산화물이 제한됐다.

국제해사기구(IMO)가 신조선 환경규제(에너지효율설계지수(EEDI) 규제, 2015년 이후)에 더해 2023년부터 현존선 환경규제(탄소집약도지수(CII) 규제)를 본격 시행해 글로벌 해운시장 탄소중립 추세가 가속화되고 있는 상황에서 신속한 기술 개발이 요구되고 있다.

(b) 한국 정부의 계획⁴³

정부는 2030년 무탄소 선박을 상용화하고 친환경 선박 기자재 국산화율 90% 이상을 달성하는 것을 목표로 기술 개발 전략을 수립했다. 특히 조선업 전체의 경쟁력은 높지만 핵심 기자재 기술을 해외에 상당 부분 의존하고 있는 우리 여건을 고려하여, 탄소중립 선박의 핵심 기자재 기

41 제7회 탄소중립기술특별위원회 개최, 과학기술정보통신부 보도자료, 2023.5.19.

<https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156570496>

42 한국해사협력센터, 2023 탈탄소화 국제해사 동향 합본집Vol. 05~09, 해양수산부, 2023

[https://imokorea.org/upfiles/decarbonization/2023%20ED%83%88%ED%83%84%EC%86%8C%ED%99%94%20%EA%B5%AD%EC%A0%9C%ED%95%B4%EC%82%AC%20%EB%8F%99%ED%96%A5%20ED%95%A9%EB%B3%B8%EC%A7%91\(vol.05-09\).pdf](https://imokorea.org/upfiles/decarbonization/2023%20ED%83%88%ED%83%84%EC%86%8C%ED%99%94%20%EA%B5%AD%EC%A0%9C%ED%95%B4%EC%82%AC%20%EB%8F%99%ED%96%A5%20ED%95%A9%EB%B3%B8%EC%A7%91(vol.05-09).pdf)

43 제8회 탄소중립기술특별위원회 개최, 과학기술정보통신부 보도자료, 2023.12.19.

<https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156606334>

술 내재화와 함께 기술 개발 단계부터 해상 조건에서의 실증과 연계하여 선박 탑재를 위한 실적을 확보한다는 계획이다.

기존의 화석연료를 사용하던 선박용 내연기관을 대체하여 LNG나 메탄올 등의 저탄소 연료 또는 암모니아, 수소 등 무탄소 연료를 사용하는 내연기관 및 핵심 부품 기술을 내재화하기 위한 연구개발을 지원한다. 2025년까지 선박용 암모니아 내연기관 추진 기술을 개발하고, 2027년까지 시험·측정 기술을 개발하거나 성능을 평가하며 2031년까지 암모니아 추진선을 개발·실증한다는 계획이다.

수소나 암모니아 등 무탄소 연료를 사용하는 연료전지 또는 배터리를 전기추진 선박의 발전원으로 사용하기 위한 기술로서, 연료전지와 배터리를 선박에 적용하여 충분한 운항 거리를 확보하고 안전하게 활용하기 위한 대용량화 설계 및 최적화 기술을 개발할 예정이다.

무탄소 연료(암모니아, 수소 등)를 사용하는 발전기나 연료전지 또는 배터리로 생산한 전기 에너지를 통해 추진 전동기를 구동하는 전기추진 시스템은, 반도체 차단기, 전력변환장치, 추진 전동기 등 핵심 부품 기술 내재화를 추진한다.

그 외에 연료를 운송·저장하는 과정에서 발생하는 증발가스, 엔진에서 연료를 연소시키는 과정에서 발생하는 연료 슬립 및 배기가스를 후처리해 탄소 배출을 감축하는 연료 후처리 기술과 함께 선박의 최적 선형 설계 기술, 마찰 저감 기술 등 운항 시 필요한 에너지를 저감하기 위한 에너지 효율 향상 기술을 개발할 예정이다.

(c) 현황과 문제

친환경, 무탄소 선박은 연료의 대체를 전제로 한다. 저탄소 연료인 LNG나 메탄올, 무탄소 연료인 암모니아와 수소가 사용돼야 한다. 현재는 LNG 추진 선박이 발주되고 있는 상황이다. 클락슨 리서치에 따르면, 대체연료를 채택한 선박의 발주량은 2013년 5%에서 2023년 50% 수준으로 크게 증가한 상태다(단, 향후 연료 대체에 대응할 수 있도록 개조가 가능한 선박인 '레디 선박'을 포함한 수치다).⁴⁴

친환경, 무탄소 선박으로의 전환은 이미 진행 중이고 신속한 전환이 강조되는 상황이다. 이미 향후 연료 대체에 대응해 개조 가능한 선박의 발주도 늘고 있다. 이런 상황에서 중요한 것은 기술개발만이 아니다. 석유화학사가 대체연료를 얼마나 확보하고 공급하는지, 공급망 구축은 얼마나 잘 이뤄지는지에 달려있다. 특히 바이오에너지는 선박에 특화된 연료 개발과 GARP 공급 유통 인프라 발전이 더딘 상황으로 평가된다. 해운산업계와 석유화학산업계의 동반 파트너십이 중요하다.

(10) 제로에너지건물

(a) 전망

제로에너지건물 기술은 건물 에너지 요구량(단열 등)과 소요량(설비 등)을 최소화하고 에너지를 생산(신재생)하여 건물의 최종 에너지소요량을 최소화하는 기술이다. 국내 건물 부문 탄소 배출량은 2018년 기준 국가 전체 배출량의 24.6%(직·간접 배출 기준 1억 7900만 2000톤)을 차지

⁴⁴ <https://www.clarksons.net/WFR/>,

한국해사협력센터, 2023 탈탄소화 국제해사 동향 합본집 Vol. 05~09, 해양수산부, 2023 [https://imokorea.org/upfiles/decarbonization/2023%20ED%83%88%ED%83%84%EC%86%8C%ED%99%94%20EA%B5%AD%EC%A0%9C%ED%95%B4%EC%82%AC%20EB%8F%99%ED%96%A5%20ED%95%A9%EB%B3%B8%EC%A7%91\(vol.05-09\).pdf](https://imokorea.org/upfiles/decarbonization/2023%20ED%83%88%ED%83%84%EC%86%8C%ED%99%94%20EA%B5%AD%EC%A0%9C%ED%95%B4%EC%82%AC%20EB%8F%99%ED%96%A5%20ED%95%A9%EB%B3%B8%EC%A7%91(vol.05-09).pdf)

하고 있는 만큼 우리나라의 탄소중립 달성을 위해 중요하다.

건물 열에 의한 탄소 배출을 대규모로 줄일 수 있는 잠재 기술로는 저탄소 난방 기술이 있다. 히트펌프가 대표적이다.⁴⁵ 전기를 사용해 주변 공기나 물, 땅의 열을 건물 내부로 이동시키고 물을 가열한다. 효율이 높고, 전기 소모량도 낮다. 재생에너지를 이용하면 추가적인 탈탄소화도 가능하다.

(b) 한국 정부의 계획⁴⁶

2030년까지 건물 부문의 온실가스 배출량을 2018년 대비 30% 이상 감축하는 것을 목표로 건물 탄소배출 감축을 위해 건물 외피 및 설비, 신재생에너지 융합, 건물 데이터 기반 건물 에너지 관리 등 기술혁신 계획을 수립했다. 특히 국내 건물 중 기축 건물이 95%를 차지하는 여건을 고려해 적정비용으로 건물의 효율적인 에너지 관리가 가능하게 할 수 있는 기술에 집중했다.

건물 외피에 사용되는 자재 및 부품을 생산하여 시공·관리·폐기하는 전주기의 탄소 배출을 줄이기 위해, 건물 외피에서 손실되는 에너지를 최소화하기 위한 조명·차양·단열 기술과 함께 기존 건물에 활용할 수 있는 리트로핏(노후 건축물 부자재의 부분 또는 전체를 바꾸어 에너지 성능과 효율을 향상시키는 것) 기술을 개발한다.

화석연료 기반 냉방·난방 및 급탕 설비를 히트펌프 기반으로 전기화하고, 체계적인 관리를 통해 건물 내 열원 설비를 최적으로 운전하기 위한 제어 기술을 개발한다. 이를 위해 2027년까지 중앙·분산 히트펌프 및 열교환시스템을 개발하고 소규모 공동주택/건물에서 실증한다. 이후 2028년부터 300세대 이상 중·대규모 단지 실증하는 게 목표다.

건물 연계형 신재생에너지를 활용해 건물의 전기·열에너지 자립률을 높이고, 나아가 커뮤니티 단위에서 건물 간에 잉여 에너지를 공유할 수 있도록 하여 최적 운영이 가능하게 하는 기술을 개발한다. 또, 디지털 트윈 기반 건물 자율 운전 기술, 가상 센서 등 ICT 기술을 활용해 개별 건물에서 생산·운영·소비되는 에너지에 관한 데이터를 수집·분석·진단하여 에너지를 효율적으로 운영할 수 있도록 하는 기술을 개발한다. 도시 전반의 에너지 거래 및 공유를 가능하게 하는 플랫폼으로 확장하기 위한 기술도 개발할 계획이다.

(c) 현황과 문제

히트펌프의 경우, 기술의 성장은 특정 국가에 국한돼 있다. 유럽은 2015년 이후 두 자릿수 성장을 기록하며 히트펌프 대중화를 주도한 국가이며 중국도 최근 속도를 내고 있다. 전반적인 보급량은 중국과 미국이 주도하고 있다. IEA에 따르면, 히트펌프 보급 수는 2020년까지 1억7700만 대다. 중국에 33%가 설치됐고, 북미(23%), 유럽(12%)이 뒤를 잇고 있다. IEA는 이 속도를 바탕으로 2030년에는 2억5300만 개의 히트펌프가 설치될 것으로 예상했지만, 이는 IEA의 시나리오 상 요구치인 6억 개에 턱없이 모자라다.

45 Rosenow, J., Gibb, D., Nowak, T. et al. Heating up the global heat pump market. Nat Energy 7, 901–904 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41560-022-01104-8>

46 제8회 탄소중립기술특별위원회 개최, 과학기술정보통신부 보도자료, 2023.12.19.
<https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156606334>

참고문헌

1. 국회미래연구원, '미중 기술혁신 경쟁과 국제질서 변화', 2023
2. 기지훈 외, "공공기술개발" 유형 국가연구개발사업 성과평가 방법 및 성과지표 개선 연구: 중간평가와 표준성과지표를 중심으로, 2021, KISTEP
3. 김정호, '팍스아메리카나에서 신냉전으로', 얼룩소, 2024
4. 민간 R&D협의체, R&D 혁신의 방향을 제시하다(브로셔), 과학기술정보통신부, 한국산업기술진흥협회, 민간 R&D협의체, 2024
5. 박철호, [이슈분석 256호] 주요국의 탄소중립 주요 동향 및 R&D 추진전략, 한국과학기술기획평가원, 2024
https://www.kistep.re.kr/gpslssueView.es?mid=a30101000000&list_no=49118&nPage=1
6. 신동원 외, '미국 인플레이션 감축법과 EU 그린딜산업계획에 대응하는 기후정책 방안', 2023, 한국환경연구원
7. 안세진 외, '기후기술 국가연구개발사업 투자현황분석(2018~2022)', NGIT BRIEF, 국가녹색기술연구소, 2023
8. 이병헌, '선도형 혁신 생태계 육성을 위한 산업·기업 R&D 지원 방향', 산업·기업 R&D 지원방향 특별포럼, 2024, 한국공학한림원
9. 이종민, '수소·암모니아 가스터빈 발전의 기술 동향 및 전망', 에너지포커스, 한국에너지경제연구원, 2022
10. 이재윤, 양진혁, 철강 산업의 추진 전략과 정책과제, 산업연구원 이슈페이퍼, 2022
11. 정훈, 김동구, 기후위기 대응 및 산업경쟁력 강화를 위한 주요국의 입법 전략과 국내 대응 방안 연구, 국회미래연구원, 2023
12. 한국산업기술진흥협회, 22대 국회에 바란다- 산업기술혁신을 위한 정책제언, 2024
13. 한국수출입은행, 석유화학산업의 탈탄소(Net-Zero) 전략, 2022 이슈보고서, 2022
14. 한국해사협력센터, 2023 탈탄소화 국제해사 동향 합본집 Vol. 05~09, 해양수산부, 2023
15. 차정미, 미중 기술혁신 경쟁과 국제질서 변화, 국회공동연구보고서, 국회미래연구원, 2023
16. Chiara Gulli, et al., Global Energy Perspective 2023: Hydrogen Outlook, McKinsey & Company, 2024
17. CRED, Human cost of disasters: An overview of the last 20 years 2000-2019, UNDRR, 2020
18. IEA, Carbon Capture, Utilization and Storage: Overview
19. IEA, Global EV Outlook 2023: Executive Summary, 2023
20. IEA, Global Hydrogen Review 2023: Executive Summary, 2023
21. IEA, Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector, IEA, 2021
22. IEA, Renewables 2023: Electricity, 2023
23. IEA, Renewables 2023: Executive summary, 2023
24. Jamie Hamilton, et al., 전기차 시장 전망: 2030년을 대비하기 위한 전략, Deloitte Insights, 2021
25. Rainer Kattel, Mariana Mazzucato, Mission-oriented innovation policy and dynamic capabilities in the public sector Get access Arrow, Industrial and Corporate Change, Volume 27, Issue 5, October 2018, p.787-801, <https://doi.org/10.1093/icc/dty032>

26. Nijssse, F.J.M.M., Mercure, JF., Ameli, N. et al. The momentum of the solar energy transition. Nat Commun 14, 6542 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41971-7>
27. Robert Rohde, Global Temperature Report for 2023, Berkeley Earth, 2024
28. Rosenow, J., Gibb, D., Nowak, T. et al. Heating up the global heat pump market. Nat Energy 7, 901–904 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41560-022-01104-8>
29. Statista, Chemical industry worldwide – statistics and facts, Feb 9, 2023
30. Vannevar Bush, Science The Endless Frontier - A Report to the President by Director of the Office of Scientific Research and Development, OSRD, 1945 <https://www.nsf.gov/about/history/vbush1945.htm>
31. Wenke Bengtsson, et al., Decarbonizing the Chemical Industry, McKinsey&Company, 2023 (보도자료)
32. (2050 탄소중립 달성과 녹색성장 실현'을 위한 국가 전략 및 제1차 국가 기본계획 의결, 환경부 보도자료, 2023.4.10.
33. 암모니아 발전 2030년·수소 발전 2035년 상용화 추진, 산업통상자원부 보도자료, 2021.11.16.
34. 제5회 탄소중립기술특별위원회 개최, 과학기술정보통신부 보도자료, 2022.11.22.
35. 제7회 탄소중립기술특별위원회 개최, 과학기술정보통신부 보도자료, 2023.5.19.
36. 제8회 탄소중립기술특별위원회 개최, 과학기술정보통신부 보도자료, 2023.12.19.
37. GLOBAL CLIMATE HIGHLIGHTS 2023: Copernicus: 2023 is the hottest year on record, with global temperatures close to the 1.5°C limit, Press Release, 2024.1.9. (보도자료)

에필로그

한 번도 가지 않은 길을 갈 때 우리는 길을 잃기 쉽습니다. 옳은 길을 택했는지, 가고 있는 곳이 길이 맞긴 한지, 다른 사람이 제대로 길을 찾아갈 때 자신만 혼자 엉뚱한 곳을 헤매고 있는 것은 아닌지 끊임없이 고민하고 의심합니다.

2024년 한국의 상황이 그렇습니다. 이전까지는 다른 우등생 국가들이 걸은 잘 닦인 길을 걸으면 됐습니다. 발걸음을 바빠 하고, 주변 둘러볼 여유를 조금 포기하면 얼마든지 앞서사람과의 거리를 좁히며 따라갈 수 있었습니다. 다행히 한국은 이런 일에 꽤 능숙했고, 가끔은 자신도 모르는 사이에 가장 선두에 서는 일도 생겼습니다.

하지만 상황이 달라졌습니다. 두 가지 이유 때문입니다. 하나는 우리 걸음이 너무나 켜 나머지, 이제 젖힐 대상이 그리 많지 않아졌다는 사실입니다. 역량도 꽤 높아져서, 우리가 우리의 힘으로 길을 탐색하고 만들며 오히려 우리보다 늦게 출발한 다른 나라에 길을 열어 줘야 할 때가 됐습니다.

다른 하나는 지구와 세계가 중대한 변화를 맞이하고 있다는 사실입니다. 먼저 지구가 기후위기로 전례없는 위기를 맞이하고 있습니다. 인류가 만나보지 못한 새로운 기후가 현실화하고 있습니다. 인류가 추구해 온 개발이 대기의 성분을 바꿨고, 이는 전 지구의 기후를 바꾸는 상황까지 이어졌습니다. 그 결과 폭염과 폭우, 변덕스러운 극한기상현상이 점점 더 자주, 더 강하게 인류를 위협하고 있습니다. 이 위기는 이제 문턱을 넘어 눈앞에 펼쳐지기 시작했고, 앞으로 얼마나 더 큰 위기를 불러올지 아무도 모릅니다. 전 세계가 즉각 대응해야 할 필요가 있지만, 기존의 사고와 기술로는 한계가 큼니다. 더구나 인류가 누려온 삶의 편리함과 산업적 성장을 어느 정도 유지하면서 동시에 기후 문제를 해결해야 합니다. 언뜻 불가능해 보일 정도로 매우 까다로운 이 과제를 해결하려면 적극적인 과학기술의 도움이 필요합니다.

세계도 변화하고 있습니다. 지난 30여 년을 지배해 온 냉전 이후의 세계 질서는 세계화를 특징으로 한 개방적인 질서였습니다. 전 세계가 커다란 시장으로 기능하며 많은 나라에게 성장의 기회를 제공했습니다. 하지만 오늘날은 다릅니다. '신냉전'이라는 표현이 나올 정도로 보이지 않는 경쟁과 대립이 세계 지도를 재편하고 있습니다. 이 냉전의 첨단에 서 있는 것은 무기가 아닙니다. 기술, 특히 산업으로 연결될 수 있는 첨단 과학 기술입니다. 각국은 자국의 산업과 기술, 그리고 이를 가능케 할 자원 등 밸류체인을 보호하고 자국 내에 완비하기 위해 여러 겹의 정책을 내놓고 있습니다. 과거와 같은 자유로운 개방이 아닌, 보호주의와 기술 패권 주의가 노골적으로 득세하고 있는 이유입니다.

탄소중립은 이런 모든 상황의 핵심 주제입니다. 기후변화를 완화하기 위한 정책과 과학기술의 핵심이기도 하고, 에너지 안보와 재난, 재해 적응, 그리고 다양한 산업의 생존과 재편을 좌우할 핵심도 바로 탄소중립 기술입니다. 더구나 한국이 맞이하고 있는 저출생과 인구 감소, 지역 불균형 발전 등의 중장기 문제의 해법도 탄소중립과 일부 관련이 있습니다. 이렇게 탄소중립이 전 세계 사회와 산업, 경제의 판도를 바꿀 것이라는 예상이 나오며 '녹색 전환'이라는 말도 유행하고 있습니다. 인공지능(AI)과 반도체, 양자 기술 등으로 요약되는 '디지털 전환'과 함께 미래를 완전히 재편할 도도한 흐름임을 부정할 사람은 이제 없습니다.

하지만 이런 상황에 대처하는 한국의 대응은 아쉬움이 많습니다. 녹색 전환 또는 탄소중립을 위한 과학기술은 중장기적 국가 전략과 산업 정책과 어우러져 계획되고 추진돼야 하지만, 아직은 그런 일관성과 지속성이 부족합니다. 연구 여건도 취약하고, 획기적인 전기를 마련할 토대를 쌓을 저력과 전략도 아직은 눈에 덜 띵니다.

사실 국내에도 이 문제에 깊이 천착하고 해법을 모색하는 전문가가 없는 것은 아닙니다. 각자의 자리에서 에너지 안보와 산업 기술 개발, 정책 연구를 위해 노력하는 리더도 많습니다. 이들의 뜻을 모으고, 이를 국가와 산업의 미래를 바꿀 길을 찾고 만들도록 이끌 충분한 리더십이 아직 완성되지 않았을 뿐입니다.

탄소중립 클러스터는 이런 리더십을 발굴해 탄소중립 과학기술 연구개발과 정책이 기후 문제 해결은 물론, 한국의 미래 산업의 획기적 전기를 마련할 수 있도록 다양한 의견을 듣고 기록했습니다. 매달 전력과 에너지, 통상, 기후 경제, 기술 등 다양한 분야에서 활약하며 실질적인 정책과 기술을 선도하는 전문가와 리더를 초청해 한국의 녹색 전환과 탄소중립에 대해 심도 깊은 논의를 했습니다. 또 2023년 12월에는 한국과학기술기획평가원(KISTEP)과 함께 '탄소중립을 위한 혁신기술 포럼'을 개최해 혁신이 가능한 토양을 마련하기 위해 중지를 모았습니다. 세부적인 내용 하나하나를 해당 분야 전문가의 더 깊은 고민과 통찰을 따라갈 수 없겠지만, 각각의 내용을 모아보니 거대한 국제 사회의 변화에 대응할 새로운 방향과 길을 알 수 있었습니다. 보고서는 이 길에 대해 고민한 흔적입니다.

이 보고서는 탄소중립 클러스터에서 진행한 ~번의 월례 내부 세미나와 한 차례의 포럼에서 나온 내용을 뼈대로 하되, 최근 과학기술 및 산업 정책 분야에서 논의되는 다양한 논지를 추가로 반영해 제작됐습니다. 덕분에 최근 수년 사이에 대단히 빠르고 노골적으로 변화하는 국제 정세와 시장을 담을 수 있었습니다.

완성된 보고서 초안은 여러 전문가가 통독한 뒤 논평을 했습니다. 남기태 서울대 교수, 손정락 KAIST 교수, 안경현 서울대 교수, 전호일 한국생산기술연구원 연구원, 이덕희 대표 등이 소중한 논평을 주셨습니다. 덕분에 놓쳤던 논지와 근거를 보강할 수 있었습니다. 이 자리를 빌어 감사드립니다.

이 보고서의 논지를 한 마디로 요약한다면, 세계에 중차대한 두 전환(녹색, 디지털)이 일어나고 새로운 시대(보호주의, 기술 패권 주의)가 열렸으며 기후마저 전례없는 위기 상황(기후변화)을 맞이한 이 때에, 한국이 난제를 해결해 생존하는 것은 물론, 차세대 혁신 산업을 육성해 더 나은 미래를 만들기 위해 긴 호흡으로 전략을 마련해야 한다는 내용입니다. 이는 서울대 국가미래전략원가 추구하는 목표와 다르지 않습니다. 각계의 전문가는 물론 정부와 민간, 특히 대학이 각자의 장점을 발휘하면서 협력적 리더십을 강화하고, 이를 통해 목표를 달성하는 데 이 보고서가 도움이 되길 기원합니다.

2024년 5월 29일
서울대 국가미래전략원
탄소중립클러스터 팀장
윤제용