

ISSN 2983-4406(온라인)
ISSN 2983-2330(인쇄본)



2023
Vol. 1 No. 1

NIGT FOCUS

IPCC 제6차 평가보고서 종합보고서 기반,
기후기술 대응 시사점

: 탄소중립 10대 핵심기술을 중심으로

오채운, 송예원, 김태호

CONTENTS

Chapter	1	IPCC 제6차 평가보고서(AR6) 개괄	2
	1.1	IPCC 제6차 평가보고서 개요	2
	1.2	IPCC 보고서 대응을 위한 우리나라 IPCC 국내 대응 협의회	4
Chapter	2	IPCC AR6 종합보고서 주요 내용	6
	2.1	지구온난화 현황 및 추세	6
	2.2	장기 기후변화, 리스크 및 대응	7
	2.3	단기 대응	8
Chapter	3	IPCC AR6 종합보고서 중 탄소중립 10대 핵심기술 관련 내용	10
	3.1	탄소중립 10대 핵심기술 선정 및 추진	10
	3.2	IPCC 제6차 평가보고서 종합보고서 중 탄소중립 10대 기술 관련 내용	12
Chapter	4	우리나라 과학기술 분야에 대한 시사점	17

■ 저자 정보

오채운 글로벌사업화센터 책임연구원

송예원 글로벌사업화센터 연구원

김태호 글로벌사업화센터 학생연구원*

* 현 소속: 세계은행 디지털개발 컨설턴트

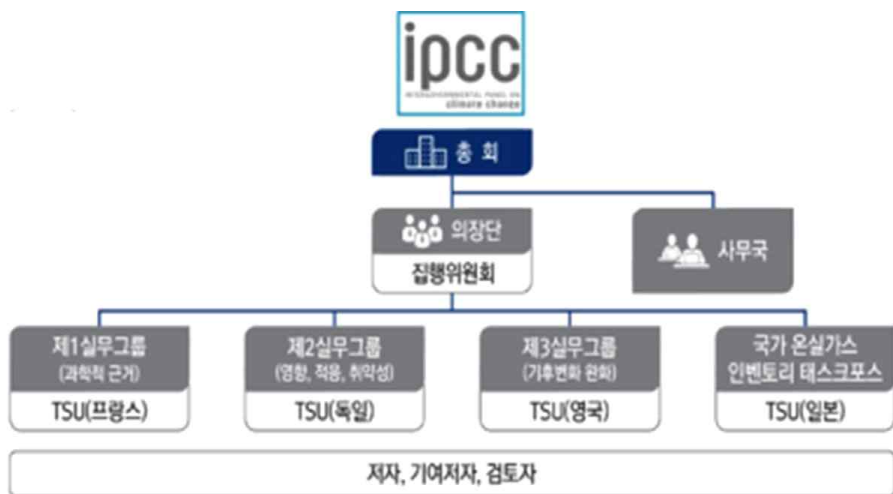
Chapter 1

IPCC 제6차 평가보고서(AR6) 개괄

1.1 IPCC 제6차 평가보고서 개요

• 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) 개요

- **(설립)** IPCC는 1988년 세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization)와 유엔환경계획(UNEP, United Nations Environment Programme)이 기후변화의 과학적 규명을 위해 공동으로 설립한 국제협의체이며, IPCC 사무국은 스위스 제네바에 위치함 (IPCC, 2021)
- **(기능)** IPCC는 약 6~8년 주기로 과학자들의 기후변화에 대한 연구 결과물을 토대로 정리한 평가보고서 (Assessment Report)를 발간함 (기상청, 2023)
- **(조직)** IPCC 평가주기 별로, 해당 평가주기에 지정 또는 선출된 의장이 평가보고서 및 종합보고서 작성을 리드함. 의장은 의장단을 꾸리며, 의장단 산하에 3개의 실무그룹(WG, working group)과 1개의 태스크포스(TF, task force)가 있음. 제6차 평가 주기 동안의 의장은 고려대학교 이회성 교수가 선출되어 보고서 작성을 리드함. 실무그룹은 제1실무그룹(WGI, 기후변화 과학), 제2실무그룹(WGII, 기후변화 영향·적응·취약성), 제3실무그룹(WGIII, 기후변화 완화)으로 구분되며, 추가적으로 국가온실가스인벤토리 태스크포스(TFI, Task Force on National Greenhouse Gas Inventories)가 있음 ([그림 1-1] 참조)



[그림 1-1] IPCC의 조직 구성

※ 출처: 기상청(2020)에서 발췌

- **(주요활동)** IPCC는 기후변화의 추세, 원인 규명, 영향 평가, 그리고 대응 전략에 대한 전 세계 연구 결과물을 검토하고 집대성하여 약 6~8년간의 평가주기로 평가보고서를 발간하며, 필요에 따라 시의적절한 주제로 특별보고서 및 방법론보고서를 발간하기도 함. 현재까지 6번의 평가주기가 있었으며, 각 평가주기의 최종 산출물인 평가보고서는 [표 1-1]과 같이 유엔기후변화협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change) 협상 시 주요한 과학적 근거로 활용됨 (IPCC, 2017). 또한, 전 세계 정부들이 기후변화 대응을 위한 정책 수립 및 적용에 필요한 과학적 정보로서 활용됨

[표 1-1] IPCC 평가보고서 발간 시기 및 주요 기여 내용

평가보고서	발간 시기	주요 기여 내용
제1차 평가보고서(FAR)	1990년	• 유엔기후변화협약(UNFCCC) 채택
제2차 평가보고서(SAR)	1995년	• 교토의정서 채택
제3차 평가보고서(TAR)	2001년	• 2°C 온도 목표에 대한 UNFCCC 차원의 논의 촉발
제4차 평가보고서(AR4)	2007년	• 교토의정서 후속체제에 대한 근거 제공
제5차 평가보고서(AR5)	2013~2014년	• 파리협정 채택
제6차 평가보고서(AR6)	2021~2023년	• 전 지구적 이행점검(GST, Global Stocktake)의 평가 근거 제공

※ 출처: 오채운 외(2022)의 <표 2-1>을 발췌한 것으로 원출처는 IPCC(2017)

• IPCC 제6차 평가보고서(AR6, the Sixth Assessment Report) 개요

- 제6차 평가주기(2015~2023년) 동안 발간된 보고서는 특별보고서 3권, 방법론보고서 1권, 그리고 평가보고서 4권임. 평가보고서에는 3개 실무그룹별로 각기 1권씩 발간된 실무그룹 보고서 3권과 종합보고서(SYR, synthesis report)가 있음. 이 중, 종합보고서는 평가 주기 내에 발간된 모든 특별보고서 및 평가보고서를 총망라하여 작성되며, 제6차 평가보고서의 종합보고서는 2023년 3월에 발간되었음. 한편, 각 보고서 내용이 방대하기 때문에 각 특별보고서 및 평가보고서는 보고서 핵심 내용이 담긴 '정책결정자를 위한 요약서(SPM, summary for policymakers)'가 함께 발간됨 ([표 1-2] 참조)

[표 1-2] IPCC 제6차 평가주기에 발간된 보고서

보고서 종류	발간 일시	관련 UNFCCC 회의
특별보고서	1.5°C(SR15)	2018.10.(제48차 총회)
	토지(SRCCL)	2019.08.(제50차 총회)
	해양 및 빙권(SROCC)	2019.09.(제51차 총회)
국가온실가스인벤토리 지침 2019 개선본	2019.05.(제49차 총회)	제25차 당사국총회(COP25)
평가보고서	제1실무그룹(WGI) 보고서	2021.08.(제54차 총회)
	제2실무그룹(WGII) 보고서	2022.02.(제55차 총회)
	제3실무그룹(WGIII) 보고서	2022.04.(제56차 총회)
	종합보고서(SYR)	2023.03.(제58차 총회)
		제26차 당사국총회(COP26)
		제27차 당사국총회(COP27)
		제1차 전지구적 이행점검

※ 출처: 저자 작성

- **(제6차 평가보고서 종합보고서)** IPCC 제6차 평가보고서 종합보고서(SYR)는 제6차 평가주기에 발간된 모든 보고서를 총망라하여 기후변화 과학·적응·완화의 현황 및 대응방안에 대한 종합적인 정보를 제공하고, 향후 각국 정부의 정책적 대응 방향에 대한 핵심적 시사점을 제공해 줌. 종합보고서는 본보고서(LR, Longer Report)와 정책결정자를 위한 요약서(SPM)로 구성되어 있으며, 보고서 모든 내용이 2023년 3월 13~19일 스위스 인터라켄에서 개최된 제58차 IPCC 총회에서 모든 정부의 만장일치로 승인되었음.¹⁾ 종합보고서의 구성은 [표 1-3]과 같음

[표 1-3] IPCC 제6차 평가보고서 종합보고서의 구성

구성	주요 내용
(A) 지구온난화 현황 및 추세	• 인간에 의한 기후변화의 관측된 증거 및 요인과 영향, 현재 시행된 적응 및 완화 반응에 대한 평가
(B) 장기 기후변화, 리스크 및 대응	• 미래 사회경제 발전상에 따른 2100년까지의 기후변화에 대한 평가 결과 제시
(C) 단기 대응	• 단기(2040년까지)에 적용가능한 적응과 완화 행동 옵션들에 대한 평가 및 확대 방안 제시

※ 출처: IPCC(2023)의 내용을 바탕으로, 저자 작성

1.2 IPCC 보고서 대응을 위한 우리나라 IPCC 국내 대응 협의회

• IPCC 국내대응 협의회 개요

- **(배경)** 우리나라 기상청은 IPCC 보고서에 대한 이해 확산과 정부 차원의 체계적 대응을 위해, 2016년 비상설 조직인 「IPCC 대응을 위한 국내 전문가 포럼」을 운영하였음. 그런데, 시범 운영 결과, 실무그룹 보고서 관련 현안에 대한 실질적인 대응이 필요한 바, 2017년 실무그룹 보고서별로 전문가로 구성된 ‘분과위원회*’를 설립하여, 기존의 국내 전문가 포럼을 확대 개편하였음

* 실무그룹 별로 간사기관이 설정되었는데, 제1실무그룹 전문가 분과위원회는 국립기상과학원(기후연구과), 제2실무그룹 전문가 분과위원회는 한국환경정책평가연구원(국가기후변화적응센터), 제3실무그룹 전문가 분과위원회는 에너지경제연구원(기후변화연구실)과 녹색기술센터(정책연구부)가 지정됨

- **(목적)** IPCC 제6차 평가보고서에 대한 우리나라 정부 차원의 보다 체계적인 검토와 대응의 필요성을 절감하고, 우리나라 기상청은 2020년 5월 「IPCC 국내 대응 협의회」를 구성하였음 (기상청, 2023). 이 협의회를 통해, 보고서 검토와 관련된 현안에 대해 전문가 및 관계부처 협의를 통해 신속하고 체계적으로 대응하고, IPCC 보고서 작성에 참여하는 한국인 저자 지원 등이 이루어짐

1) IPCC 총회에서 종합보고서 SPM의 경우 문장 단위(line-by-line)로, 본보고서(LR)의 경우 섹션 단위(section-by-section)으로 승인이 이루어짐. 모든 정부대표단이 각 내용에 대해 합의가 이루어져 만장일치 승인되어야 해당 내용이 보고서에 포함될 수 있음

- (구성)

- **(국내대응 협의회)** 등 협의회는 기상청 기후과학국장을 위원장으로 하고, 정부 14개 부처의 기후변화 업무를 담당하는 유관부서의 장을 위원*으로하여 구성됨. 과학기술정보통신부의 경우 원천기술과장이 위원으로 참여함 (기후업무규정, 2022, 제34조)
 - * 기상청(기후과학국장), 국무조정실(탄소중립녹색성장위원회 기획총괄국장), 기획재정부(녹색기후기획과장), 과학기술정보통신부 (원천기술과장), 외교부(기후변화외교과장), 행정안전부(재난영향분석과장), 농림축산식품부(농촌재생에너지팀장), 산업통상자원부(온실가스감축팀장), 보건복지부(질병관리청장 미래질병대비과장), 환경부(기후변화국제협력팀장 및 신기후체제대응팀장), 국토교통부(미래전략일자리담당관), 해양수산부(해양환경정책과장), 농촌진흥청(연구운영과장), 산림청(국제협력담당관), 기상청(기후정책과장 및 기후변화감시과장)
- **(전문위원회)** 정부 위원으로 구성된 협의회의 결정을 지원하기 위해, IPCC 보고서 세 개 실무그룹별로 각기 담당하는 전문가 그룹인 제1실무그룹 전문위원회, 제2실무그룹 전문위원회, 제3실무그룹 전문위원회가 구성되었음 ([표 1-4] 참조). 전문위원회는 총 약 70명의 전문가로 구성되며, IPCC 보고서의 검토, 보고서 수정요건 작성 및 제출, 한국 기후변화 평가보고서²⁾ 집필 및 검토 등을 담당하여, 정부 부처 관계자들로 구성된 협의회를 지원하는 것을 목적으로 함 (기후업무규정, 2022, 제37~39조)

[표 1-4] IPCC 국내대응협의회 전문위원회 주관기관 및 담당부서

전문위원회	주관기관	담당부서
제1실무그룹(WGI) 전문위원회	국립기상과학원	기후연구과
제2실무그룹(WGII) 전문위원회	한국환경연구원	국가기후변화적응센터
제3실무그룹(WGIII) 전문위원회	국가녹색기술연구소	글로벌사업화센터
	에너지경제연구원	기후변화정책연구팀

※ 출처:기후업무규정(2022) 제39조를 바탕으로, 저자 작성

- **(주요활동)** IPCC 국내대응협의회는 약 연 2회 이상 운영되며, IPCC 보고서 작성을 위한 전문가 추천, 보고서 초안에 대한 검토, 국내 정책적 대응 방향 논의, 보고서 내용에 대한 핵심 내용 홍보 등의 활동을 수행함
- **(주의사항)** IPCC 국내대응협의회는 IPCC 보고서 작성에 참여하는 저자들의 활동에 직접 관여하지 않음. IPCC 보고서의 공정성 및 투명성 등을 이유로, IPCC 보고서 저자들에게 정부가 작성 방향에 대한 조언을 제시하는 것을 IPCC가 엄격히 금지하고 있기 때문임

2) 우리나라는 매 5년마다 수립되고 있는 국가 기후변화 적응대책 등의 국가 정책을 지원하기 위해 IPCC 평가보고서 등을 바탕으로 한반도와 관련된 기후변화 연구결과를 집대성해 2010년부터 약 5년 간격으로 '한국 기후변화 평가보고서'를 발간하고 있음. 지금까지 2010, 2014, 2020년에 각각 발간되어 총 3번 발간되었음.

Chapter 2

IPCC AR6 종합보고서 주요 내용

- IPCC 제6차 평가보고서 종합보고서는 앞서 언급된 바와 같이 6차 평가주기에 발간된 특별보고서 및 기후변화의 과학적 근거를 다루는 제1실무그룹(WGI) 보고서, 기후변화 적응·영향·취약성을 다루는 제2실무그룹(WGII) 보고서, 기후변화 완화를 다루는 제3실무그룹(WGIII) 보고서의 내용을 총 망라하고 있음. 이를 통합적으로 접근한 이번 종합보고서는 크게 세 개 섹션으로 구성되어 있으며, 이는 1) 지구온난화 현황 및 추세, 2) 장기 기후변화, 리스크 및 대응, 3) 단기 대응임

2.1 지구온난화 현황 및 추세

- 전 지구 온실가스 배출 현황
 - **(지구온난화)** 인간 활동으로 인한 온실가스 배출로 전 지구 지표 온도는 1850~1900년 대비 현재(2011~2020년) 1.1°C 상승하였으며, 과거와 현재 모두 전 지구 온실가스 배출량의 지역·국가·개인에 따른 기여도는 균등하지 않음
 - **(누적 배출량)** 1850~2019년까지의 총 누적 탄소 배출량은 2400 ± 240 GtCO₂임
 - **(연간 배출량)** 2019년 기준 전체 온실가스의 연간 배출량은 59 ± 6.6 GtCO₂-eq로, 이는 2010년 대비 12% 증가한 수치임
 - **(온난화 기여도)** 현재의 전 지구 평균온도 상승량(약 1.1°C) 중 이산화탄소는 0.8°C, 메탄은 0.5°C, 질소산화물은 0.1°C, 불화가스는 0.1°C 정도 기여한 것으로 분석되며, 기타 인간 유발 물질(에어로졸 등) 및 자연적 인자로 인한 냉각 효과가 일부 있는 것으로 분석됨
- 기후변화 대응 노력의 한계
 - **(적응)** 오적응(maladaptation)*의 증거가 모든 부문 및 지역들에서 발현되고 있으며, 기후변화 적응을 위한 전지구 자원 흐름이 개도국 적응 행동 이행에 부족
 - * 오적응(maladaptation): 온실가스 증가를 포함하여, 기후변화에 대한 취약성 증가, 더 불평등한 결과 또는 복지 감소 등으로 이어질 수 있는, 주로 의도치 않은 결과
 - **(완화)** 파리협정 하의 당사국들은 국가감축목표를 담은 국가결정기여(NDC, nationally determined contribution)를 작성 및 제출해야 함. 당사국들이 2021년 기준 설정 및 갱신한 NDC를 모두 이행한다는 전제 하의 2030년 전지구 온실가스 배출량이 지구온난화를 1.5°C 또는 2°C로 제한하는 경로상의 2030년 전지구 온실가스 배출량보다 월등히 높은 것으로 나타났음. 이는 상당한 배출격차(emissions gap)가 존재하는 것으로 이해될 수 있음

2.2 장기 기후변화, 리스크 및 대응

• 지구온난화 진행 현황

- (1.5°C 도달) 지속되어온 온실가스 배출로 인해 온난화가 심화되어 거의 모든 미래 배출 시나리오에서 가까운 미래(2021~2040년)에 1.5°C에 도달할 것으로 분석됨
- (현상) 지구온난화를 제한하더라도 이미 발생한 비가역적 변화(해수면 상승, 남극 빙상 붕괴, 생물다양성 손실 등)는 돌이킬 수 없으며, 지구온난화가 진행될 수록 이러한 급격하고 비가역적인 변화가 일어날 가능성이 높아지고, 손실과 피해는 증가하며, 적응 한계에 도달하게 됨

• 탄소배출허용총량(carbon budget)

- (탄소배출허용총량) 지구온난화를 1.5°C로 제한하기 위한 목표 상의 2020년 초 이후의 잔여 탄소배출허용량 (remaining carbon budget)은 500 GtCO₂(50% 확률)이고, 2°C 미만으로 제한하기 위한 목표 상의 잔여 탄소배출허용량은 1,150 GtCO₂(67% 확률)로 분석됨
- (화석연료 인프라) 현재 이미 계획되어 있는 화석연료 인프라에서 발생할 것으로 추산되는 CO₂ 잠재 배출량만으로도 1.5°C 목표 달성을 위한 잔여 탄소배출허용량을 초과함

• 지구 온난화를 제한하기 위한 우리의 행동 방향성 제시

- (넷제로(net zero) 필요성) 인간이 유발한 온난화를 제한하려면 CO₂를 포함한 전체 온실가스의 배출량이 넷제로*가 되어야 함
 - * 전체 온실가스의 배출 및 제거량을 이산화탄소 환산량으로 계산했을 때, 배출량과 제거량의 상쇄되어 순 배출량이 0이 되는 것
- (CO₂ 감축 전략) ①공급 부문 관리*, ②수요 관리** 및 효율 향상, ③이산화탄소 제거 접근법***을 활용하여 넷제로 배출을 달성할 수 있음
 - * 에너지, 산업, 도시, 건물, 수송, 농업·임업·기타토지이용(AFOLU) 부문의 온실가스 감축 증대(예: 탄소배출저감기술을 활용하지 않은(unabated) 화석연료를 재생에너지 보급 또는 탄소 포집 및 저장(CCS) 기술 활용 등을 통해 저탄소·무탄소 전원으로 전환)
 - ** 사회문화 및 행태적 변화, 인프라 활용, 최종소비자 기술 채택에 대한 관리 및 소비자 변화 유도를 통해 배출량 저감
 - *** 이산화탄소 제거(CDR, carbon dioxide removal): 대기 중에서 온실가스를 직접적으로 제거(포집)하여 토지·지중·해양 저장소 또는 상품에 저장하는 감축 활동
- (1.5°C 또는 2°C로 제한을 위한 감축 노력 수준) 2019년 배출량을 기준으로 지구온난화를 1.5°C 또는 2°C로 제한하기 위한 전지구 온실가스 감축량 수준은 [표 2-1]과 같이 분석됨

[표 2-1] 지구온난화를 1.5°C 또는 2°C로 제한하기 위한 온실가스 감축량 수준(2019년 배출량 대비)

구분		2030	2035	2040	2050
1.5°C 제한	GHG	43%	60%	69%	84%
	CO ₂	48%	65%	80%	99%
2°C 제한	GHG	21%	35%	46%	64%
	CO ₂	22%	37%	51%	74%

※ 출처: IPCC(2023)의 Table SPM.1을 바탕으로 저자 작성

2.3 단기 대응

- **지속가능발전을 위한 탄력적 개발 경로의 선택이 중요하며, 이를 위한 전부문의 시스템 전환이 필요**
 - **(기후탄력적 개발 경로)** 전 지구적으로 추구해야 할 경로 차원에서 지속가능발전을 향한 적응 및 완화 행동을 통합한 기후탄력적 개발(CRD, climate resilient development) 경로를 강조함. 지속가능한 미래를 확보하기 위해 행동할 수 있는 시간은 빠르게 줄고 있으며, 기후탄력적 개발 경로로의 전환을 위해 정부(시민사회 및 민간 부문과 함께)의 역할이 중요함
 - **(심층적이고 지속적인 배출량 감축)** 지속가능한 미래를 확보하기 위해서는 모든 부문 및 시스템에 걸친 신속한 전환이 필수적임. 에너지, 산업 및 교통, 도시·정주지·인프라, 토지·해양·식품·물, 건강 및 영양, 사회·생계·경제 부문 등에서 다양한 완화 및 적응 옵션을 크게 확대해야 하며, 적합하고 효과적인 저비용 옵션이 이미 존재함
 - **(형평성)** 의욕적인 감축은 경제구조의 대규모·급격한 전환을 수반하기에, 분배 문제 해결을 위해 재분배 정책, 사회 안전망, 형평성(equity), 포용성(inclusion), 공정전환(just transition)에 대한 고려 및 적용이 필요함
- **거버넌스 및 정책**
 - **(거버넌스)** 법·제도 등을 활용한 효과적인 기후 거버넌스는 국가 상황에 기반하여 전반적인 방향 제공, 목표 및 우선순위 설정, 기후 행동의 주류화, 모니터링·평가와 규제 확실성의 강화, 포용성·투명성·형평성 있는 의사결정의 우선화, 재정과 기술에 대한 접근성 증진을 통해 완화와 적응을 가능하게 함
 - **(정책)** 규제적 및 경제적 정책수단*의 확대 적용이 필요함
 - * 보조금, 세제 혜택, 탄소가격제(탄소세, 배출권 거래제 등) 등. 특히 탄소가격제는 저비용 온실가스 배출량 감축 조치를 장려해 왔으며, 이로 인한 형평성 및 분배 문제는 탄소가격제 수익을 저소득 가구를 지원함으로써 대응할 수 있음
- **재정, 기술, 국제협력**
 - **(금융)** 지구온난화를 1.5°C 또는 2°C로 제한하기 위한 시나리오 상에서 2020~2030년 기간 중 완화를 위한 연간 평균 투자비는 현재 수준보다 3~6배 증가해야 함. 특히 공공재원은 완화 및 적응의 중요한 가능여건이며 민간자원 조달에도 영향을 줌
 - **(기술)** 기술혁신시스템*의 강화가 중요함. 또한, 국가적 상황 및 기술적 특성에 맞는 정책 패키지가 저배출 혁신 및 기술확산 지원에 효과적임 ([표 2-2] 참조)
 - * 특정 목표(새로운 지식 생산, 신제품 개발 등)를 달성하기 위해 상호 작용하는 다양한 행위자(산·학·연, 정부기관, 시민사회단체 등) 및 관련 제도를 포괄하는 집합(시스템)을 의미함
 - **(국제협력)** 재정·기술·역량배양에 관한 국제협력을 통해 더 높은 감축의욕을 설정·달성할 수 있으며, 이를 위해 다양한 국제협력 채널을 활용하는 것이 중요함

[표 2-2] IPCC 제6차 평가보고서의 '기술'에 대한 중요성 강조

구분	내용
근거 및 의의	<ul style="list-style-type: none"> • (근거) IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹(완화) 보고서 중 제16장이 '혁신, 기술개발 및 이전'을 다루고 있음 • (의의) IPCC 평가보고서에 '기술'이 별도 챕터(제3실무그룹 보고서 제16장)로 최초로 포함되었으며, 이는 기후변화 대응행동에서 '기술'의 중요성이 강조됨을 시사
기술비용 하락 추세	<ul style="list-style-type: none"> • 저배출 기술의 단가가 2010년 이래 꾸준히 하락하고 보급량이 증대되고 있음 (예: 태양광 단가 85% 하락 및 보급량 10배 증가, 배터리 단가 85% 하락 및 보급량 100배 증가)
기술혁신시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 기술혁신시스템이 기술비용 하락을 가능하게 하며, 이를 통해 저배출 성장, 사회 및 환경적 공평의, 지속가능발전목표(SDGs)에 대한 달성 기회를 제공함
기술혁신 정책 강조	<ul style="list-style-type: none"> • (기술주도 정책) 교육·훈련, 공공 R&D 투자, 실증 및 시범 사업 비용 지원 • (수요견인 정책) 보조금 지원, 세제 혜택(세금 환급 등), 에너지 효율 가전제품에 대한 표준 및 라벨링 프로그램 등
기술혁신의 지속가능발전과의 상충효과(trade-off)	<ul style="list-style-type: none"> • 기술혁신의 부정적 측면*들이 있으므로, 이를 해결하기 위한 거버넌스와 정책이 필요함 * 부정적 외부효과(환경오염과 사회적 불평등), 분배의 영향, 리바운드 효과(기술혁신으로 효율성이 높아져 더 많이 소비하는 행태), 해외 지식 및 제공자에 대한 의존 증대 등
개도국 협력	<ul style="list-style-type: none"> • 개도국들은 저배출 기술 혁신 및 채택에서 다소 늦은 바, 이는 개도국의 약한 가능여건(enabling environment)*에 기인하는 바, 기술혁신 협력 필요 * 투명성, 중앙은행 역할(통화 및 거시경제정책), 효율적인 금융 시장 및 금융규제, 자원 부족, 기술적 시스템 및 인프라 부족, 계획 및 이행 역량 부족, 인적 자원 활용 제약, 기타 개발 우선순위, 환경 영향, 저부가가치 일자리 및 대외의존도 등

※ 출처: IPCC(2022)의 제16장 및 IPCC(2023) SPM을 바탕으로 저자 작성

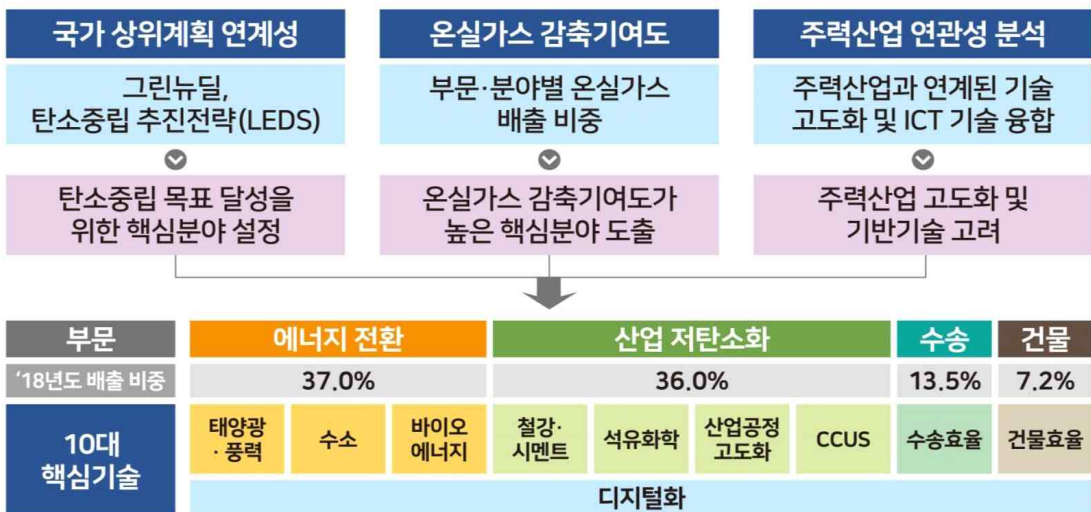
Chapter 3

IPCC AR6 종합보고서 중 탄소중립 10대 핵심기술 관련 내용

3.1 탄소중립 10대 핵심기술 선정 및 추진

• 우리나라 탄소중립 기술혁신 추진전략(‘21.3)

- (배경) 석탄발전·제조업 비중이 높은 우리나라의 특성상 도전적인 탄소중립 목표의 실현을 위해 기술혁신이 무엇보다 중요하다는 판단에 기술혁신 추진전략을 마련하였음 (과기정통부, 2021)
- (고려사항) 장기저탄소 발전전략(LEDS, long-term low greenhouse gas emission development strategies)을 기반으로 기술 부문별 현황과 감축 기여도, 주력산업 연관성, 정책환경을 고려하여 탄소중립에 핵심적 기여가 가능한 핵심기술을 도출하였음 ([그림 3-1] 참조). 이때, 각 핵심기술에 대한 현장 수요를 최대한 반영하기 위하여 산·학·연 전문가 88명이 동 전략 수립에 참여하였음
- (탄소중립 10대 핵심기술) 핵심기술로 ①태양광·풍력, ②수소, ③바이오에너지, ④철강·시멘트, ⑤석유화학, ⑥산업공정 고도화, ⑦수송 효율, ⑧건물 효율, ⑨디지털화, ⑩탄소포집·활용·저장(CCUS, carbon capture, utilization & storage) 기술이 선정됨



[그림 3-1] 탄소중립 10대 핵심기술 도출 방향

※ 출처: 과기정통부(2021) p. 3에서 발췌

• 우리나라 탄소중립 기술혁신 추진전략의 진전

- (2021년 9월, 10대 핵심기술 개발 방향) 과기정통부는 한국에너지기술연구원과 연구하여 「탄소중립 기술혁신 추진전략 - 10대 핵심기술 개발방향」 보고서를 도출하였으며, 이 10대 기술 개발 전략은 다음의 [표 3-1]에 정리되어 있음 (한국에너지기술연구원, 2021)

[표 3-1] 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술의 기술별 목표 및 개발방향

구분	10대 기술	개발 전략
에너지 전환	태양광·풍력	<ul style="list-style-type: none"> 태양전지 효율: (現) 27%(상용 '23) →('30) 35% →('50) 40% 풍력발전기 용량: (現) 5.5MW →('30) 15MW →('40) 20MW
	수소	<ul style="list-style-type: none"> 수소총전소 공급가(원/kg): (現) 7,000 →('30) 4,000 →('40) 3,000 수소 발전단가(원/kWh): (現) 250 →('30) 141 →('40) 131
	바이오 에너지	<ul style="list-style-type: none"> 바이오연료 가격경쟁력 (동종 화석연료 대비): (現) 120~150% →('30) 100% →('40) 85%
산업 저탄소화	철강·시멘트	<ul style="list-style-type: none"> 수소환원제철 기술 연·원료 대체율(수소): (現) 0% →('40) 100% 시멘트 석회석 대체 가능성: (現) 0% →('40) 8% 시멘트 순환연료 대체가능율: (現) 24% →('40) 65%
	석유화학	<ul style="list-style-type: none"> 탄소중립원료 제품 가격경쟁력(동종 석유화학제품 대비): (現) 150% →('40) 100%
	산업공정 고도화	<ul style="list-style-type: none"> 반도체·디스플레이 공정가스 배출저감 기술 효율: (現) 80% →('40) 95% 산업공정 에너지효율 설계 오차: (現) 30% →('30) 5%
에너지 효율	수송효율	<ul style="list-style-type: none"> 차세대전지 배터리 밀도: (現) 250Wh/kg →('45) 600Wh/kg(상용화) 수소 고속충전 기술: (現) 1.6kg/분 →('30) 7.2kg/분
	건물효율	<ul style="list-style-type: none"> 건물 에너지 효율: ('30) 30% 향상 기술 확보 제로 에너지 건축비(리모델링 대비): (現) 130% →('45) 105%
	디지털화	<ul style="list-style-type: none"> 데이터 센터 전력 소모: ('30) 20% 이상 저감 계통 운영시스템 적용: ('40) AI 기반 차세대 계통 운영 시스템 적용
CCUS	CCUS	<ul style="list-style-type: none"> CO₂ 상용급 포집 가격 경쟁력: (現) \$60/톤 →('30) \$30/톤 →('50) \$20/톤 CO₂ 전환제품 가격 경쟁력: (現) 연구중 →('40) 100%

※ 출처:한국에너지기술연구원(2021) p. 44의 내용을 저자 정리

- (2023년 5월, 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 제시) 우리나라는 기존 단일 부처 중심의 기술개발 추진 체계를 탈피하여 기술 실현(실증·사업화)까지 고려한 범부처 협업 지원 체계를 강화하고자 함. 이를 위해, 범부처 차원의 탄소중립 기술개발 방향성을 제시한 「탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략」을 2022년 10월 발표하였음 (관계부처합동, 2022). 동 전략에는 17개 중점 분야에서 총 100개의 핵심기술(안)이 포함되어 있으며, 이는 2023년 5월 19일 국가과학기술자문회의 산하 '탄소중립 기술특별위원회' 회의에서 최종 확정되었음. 여기에는 에너지 전환 부문의 8개 분야(태양광, 풍력, 수소 공급, 무탄소전력공급, 전력저장, 전력망, 에너지통합시스템, 원자력)의 35개 기술, 산업 5개 분야(철강, 시멘트, 석유화학, CCUS, 산업일반)에서 44개 기술, 수송·교통 2개 분야(친환경 자동차, 탄소중립 선박)에서 13개 기술, 건물·환경 2개 분야(제로에너지건물(ZEB), 환경)에서 8개 기술이 선정되었음 (과기정통부 2023). 동 100대 핵심기술은, 먼저 선정된 10대 핵심기술이 이전 정부의 정책기조 하에서 과기부 중심으로 선정된 점과 달리, 2022년 들어선 새 정부의 기조에 따라 관계부처 합동으로 선정되었기에 부문 및 기술 선정에 있어 차이가 있음. 특히, 에너지 생산원 다변화, 에너지 공급 인프라, 에너지 시스템 통합 등을 고려한 에너지 전환 부문의 변화가 뚜렷함

3.2 IPCC 제6차 평가보고서 종합보고서 중 탄소중립 10대 기술 관련 내용

○ 개괄

- IPCC 제6차평가보고서 종합보고서 중 탄소중립 10대 핵심기술과 관련된 내용이 서술된 부분은 [표 3-2]와 같이 정리하였음. 추가적으로, 2022년 4월에 먼저 발간되었던 IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서는 개별 기술에 대해 훨씬 상세히 다루고 있으므로 제3실무그룹 보고서에서 해당 기술을 주요하게 다루는 부분 역시 표에 함께 기술하였음. 10대 기술에 대한 IPCC 보고서 내용을 기술별로 하단에 차례로 추출하여 정리하였음

[표 3-2] IPCC 제6차평가보고서 중 탄소중립 10대 핵심기술에 관한 부분

부문	10대 핵심기술	IPCC 제6차평가보고서 종합보고서		제3실무그룹 보고서
		SPM	Longer Report	
에너지 전환	태양광·풍력	A.4.2, C.3.2	Sec. 2.2.2, Sec. 4.5.1	Ch. 6, Ch. 12 등
	수소	C.3.3	4.5.2	Ch.6, Ch.10, Ch.11
	바이오에너지	B.6.4, C.3.3	3.4.1, 4.5.1, 4.5.3, 4.6	Ch.6, Ch.10, Ch.11
산업 저탄소화	철강·시멘트	B.6.3	4.5.2	Ch.11
	석유화학	B.6.3	2.2.2	Ch.6, Ch.7, Ch.11
	산업공정 고도화	C.3.3	4.5.2	Ch.11
에너지 효율	수송효율	C.3.3	4.5.3	Ch.10 등
	건물효율	C.3.4	4.5.3	Ch.9
	디지털화	-	2.2.2, 4.5.3, 4.8.3	Ch.9, Ch.12 등
CCUS	탄소포집·저장·활용(CCUS)	B.6.3	3.3.3	Ch.6, Ch.11 등

※ 출처: 탄소중립 10대 핵심기술에 따라 IPCC(2023), IPCC(2022) 내용을 저자 정리

○ ① 태양광·풍력

- **(기술적 활용성 및 단가하락)** 태양광·풍력 등의 완화 옵션이 기술적으로 활용 가능하고 비용효과성 및 수용성이 높아지고 있음. 특히 2010~2019년 동안 태양광은 85%, 풍력은 55%의 단가 하락이 있었으며, 보급량 또한 태양광은 10배 이상 증가하였음. 단가 하락 및 보급 증대를 위한 정책 믹스에는 공공 R&D, 실증 자금 조달, 보조금 등의 수요 견인 조치들이 포함됨 (IPCC, 2023, SPM A.4.2; LR Sec. 2.2.2)
- **(저비용 옵션으로써, 적응 옵션과의 연계 필요. 공급 및 수요관리 필요)** 태양광·풍력, 에너지 효율 개선, 메탄 감축(석탄 채굴, 석유 및 가스, 폐기물)은 저비용 기술(20 USD/tCO₂-eq)의 주요 요소임. 기존 및 신규 발전 시스템을 위해 인프라 탄력성, 신뢰 가능한 전력 시스템, 효과적인 수자원 사용 등의 적절한 적응 옵션도 필요함. 발전원 다변화(예: 풍력, 태양광, 소수력 등을 통해) 및 수요 측면 관리(예: 저장, 에너지 효율 개선)는 에너지 신뢰도를 증대시키면서 기후변화 취약성을 경감시킬 수 있음 (IPCC, 2023, SPM C.3.2; LR, Sec. 4.5.1)

② 수소

- **(연료 생산·전환 차원에서 수소 언급)** 교통부문에서, 지속가능한 바이오 연료, 저배출 수소 및 파생품(암모니아, 합성연료 등)은 해운, 항공, 중량(heavy-duty) 육상교통의 CO₂ 배출 완화에 도움을 줄 수 있으나, 공정 과정의 개선과 비용 저감이 필요함 (IPCC, 2023, SPM C.3.3; LR, Sec. 4.5.2)
- 산업에서의 연료전환이란 기존의 연료를 전기, 수소, 바이오 에너지, 천연가스로 전환하는 것을 의미함 (IPCC, 2023, Figure SPM.7)

③ 바이오에너지

- **(바이오에너지는 교통부문에서 수소와 함께 연료전환 차원에서 언급)** 지속가능한 바이오연료는 단기 및 중기에 육상교통에서 추가적인 완화 이익을 제공함 (IPCC, 2023, SPM C.3.3; LR, Sec. 4.5.3)
- **(바이오에너지 생산의 부정적 영향)** 신규조림이나 바이오에너지용 작물생산은, 특히 대규모로 진행되고 임차권이 불안정할 경우, 부정적인 사회경제 및 환경적 영향(생물다양성, 식량 및 수자원 안보, 지역 생계, 토착민 권리 등)을 불러올 수 있음. 대규모 신규조림 및 바이오에너지 옵션의 활용이 식량, 생물다양성 및 생태계, 생계에 위험을 가하게 되는 상쇄효과를 제한하기 위해 효과적인 거버넌스가 필요함 (IPCC, 2023, SPM B.6.4; LR, Sec. 3.4.1, 4.6)
- **(적응과의 통합적 접근)** 기후변화 및 관련 극한 현상은 미래 에너지 시스템(수력 발전, 바이오에너지 생산, 열발전 효율, 냉난방 수요 등)에 영향을 미침. 가장 적절한 에너지 시스템 적응 옵션은 기존 및 신규 발전 시스템에 대하여 인프라 탄력성, 신뢰가능한 전력 시스템, 효율적인 수자원 사용을 지원함 (IPCC, 2023, LR Sec. 4.5.1)

④ 철강·시멘트

- **(CCS 기술의 철강·시멘트 분야 기술적 미성숙도)** CCS는 가스 공정 및 원유회수증진(EOR, enhanced oil recovery)에 대해서는 성숙한 기술이나, CCS가 핵심적인 완화 옵션이 되는 발전·시멘트·화학물질 생산 분야에 대해서는 덜 성숙함 (IPCC, 2023, SPM B.6.3)
- **(CCS 기술의 철강·시멘트 분야 감축 기여도)** 시멘트 공정 배출량의 심층적 감축은 시멘트계 원료의 대체와 새로운 화학 기술이 개발 및 보급되기 전까지는 CCS 가용성에 달려 있음 (IPCC, 2023, LR Sec. 4.5.2)

⑤ 석유화학

- 종합보고서에서 석유화학은 많은 경우 다른 산업 부문과 함께 다루어지므로 상기 “④ 철강·시멘트” 부분 참고
- **(소재부문 저배출 옵션 상용화 수준)** 거의 모든 기초소재(금속, 건설재, 화학제품 등)의 경우, 온실가스 배출이 적거나 없는 다양한 생산공정이 파일럿~준상용화 수준에 있으며, 일부는 상용화 단계에 있기도 하지만, 아직 이들이 산업표준으로 확립되지 않았음 (IPCC, 2023, LR Sec. 2.2.2)

⑥ 산업공정 고도화

- **(가치사슬 전반에 걸친 일관된 완화 행동)** 산업 온실가스 배출 감축에는 수요 관리, 에너지 및 소재 효율성, 순환 소재 흐름, 감축(abatement) 기술, 생산공정의 변혁적 전환(transformational change) 등, 모든 완화 옵션을 촉진할 수 있도록 가치사슬 전반에 걸친 일관된 행동이 필요함 (IPCC, 2023, SPM C.3.3; LR, Sec. 4.5.2)

⑦ 수송효율

- **(전기차의 감축잠재력 및 배터리 기술의 고도화)** 온실가스 배출이 낮은 전기로 구동되는 전기차는 육상교통 온실가스 배출량 감축 잠재력이 큼. 배터리 기술 고도화는 중량 트럭의 전기화를 촉진할 수 있으며, 기존의 전기 철도 시스템을 보완할 수 있음. 배터리 생산의 환경 발자국 및 핵심광물에 대한 우려의 증가는 소재 및 공급 다각화 전략, 에너지 및 소재 효율성 개선, 순환 소재 흐름을 통해 대응할 수 있음 (IPCC, 2023, SPM C.3.3; LR, Sec. 4.5.3)

⑧ 건물효율

- **(건물 효율개선의 감축 잠재력)** 건물 효율 개선이 저비용 범주(100 USD/tCO₂-eq)에서도 완화 잠재력을 일부 가짐 (IPCC, 2023, Figure SPM.7)
- **(수요관리 노력의 필요성)** 수요 측면 완화 및 최종 서비스 제공에 대한 새로운 방법들은 최종 사용 부문(건물, 육상교통, 식품)의 전지구 온실가스 배출량을 2050년까지 베이스라인 시나리오 대비 40~70% 저감할 수 있음. 다른 부문의 전기화로 인해 전력 수요가 증가할 것으로 전망되는데, 인프라 활용, 사회문화적 요소 부문의 수요 측면 완화 조치로 전력 수요 증가를 회피할 수 있음 (IPCC, 2023, Figure SPM.7)
- **(완화 옵션과 적응 옵션의 통합적 접근)** 도시의 핵심 적응 및 완화 요소에는, 주거지를 설계할 때 정부 및 민간기관에서 제공하는 기후서비스 등을 통해 기후변화 영향 및 위험을 고려하는 것, 콤팩트 도시 및 직주근접(co-location of jobs and housing)을 위한 토지사용 계획, 대중교통 및 능동 모빌리티(걷기, 자전거 등) 지원, 건물의 효율적인 설계·건축·개조·활용, 에너지 및 소재 사용 저감 및 전환, 전기화 등이 있음 (IPCC, 2023, SPM C.3.4; LR, Sec. 4.5.3)

⑨ 디지털화

- **(디지털 기술의 감축 기여도 및 상세)** 디지털 기술의 활용과 결합된 설계 및 공정 혁신은 건물, 교통, 산업 부문에서 많은 저·무배출 옵션의 가용성을 준상용화 수준까지 이끌었음. 센서, 사물인터넷(IoT, internet of things), 로봇, 인공지능 등의 디지털 기술은 모든 부문의 에너지 관리를 개선할 수 있어, 에너지 효율을 개선하고 저배출 기술(분산 재생에너지 등)의 도입을 촉진하면서 경제적 기회를 창출할 수 있음. 반면, 완화 잠재력 일부는 디지털 장비의 활용으로 인한 상품 및 서비스 수요 증대로 인해 경감되거나 상쇄될 수 있음 (IPCC, 2023, LR Sec. 2.2.2)
- **(수요관리 접근)** 도시 형태의 변화, 자전거 및 도보를 위한 거리 공간 확보, 디지털화(예: 원격근무), 소비자 행태 변화 촉진 프로그램은 교통 서비스 수요를 저감하고 더 에너지 효율적인 교통 방법으로서의 전환을 도모함 (IPCC, 2023, LR Sec. 4.5.3)
- **(부정적인 사회적 영향)** 디지털 기술은 서비스 간의 조화 및 경제적 전환을 통해 에너지 효율을 크게 향상시킬 수 있지만, 사회적 디지털화는 상품 및 에너지의 소비, 전자제품 폐기물의 증대를 야기하고 노동시장에의 부정적인 영향, 국가내 및 국가간 비형평성 악화로 불러올 수 있음. 이에, 디지털화는 적절한 거버넌스와 정책이 필요함 (IPCC, 2023, LR Sec. 4.8.3)
- **(디지털 기술의 토지부문 기여도)** 토지사용 모니터링, 지속가능한 토지 관리, 농업 생산성 향상을 위한 디지털 기술의 기술이전은 산림전용 및 토지사용 변화로 인한 배출량 저감을 도우면서 온실가스 산정 및 표준화도 개선시킴 (IPCC, 2023, LR Sec. 4.8.3)

⑩ 탄소포집·저장·활용(CCUS)

- **(온실가스 감축 경로에 CCS가 중요한 감축 옵션으로 포함)** CO₂ 및 온실가스 넷제로에 도달하는 모델링된 전지구 완화 경로에는 CCS를 미적용한 화석연료를 극저·저탄소 에너지원(재생에너지, CCS를 적용한 화석연료 등)으로 전환, 수요 측면 조치 및 효율 개선, 非CO₂ 온실가스의 감축, 이산화탄소제거(CDR, carbon dioxide removal)의 활용이 포함됨 (IPCC, 2023, SPM B.6.3; LR, Sec. 3.3.3)
- **(CCS 기술의 감축 잠재력)** 지중저장소의 기술적 용량은 1,000 GtCO₂ 수준으로 예상되며, 이는 지구온난화를 1.5°C로 제한하기 위해 필요한 CO₂ 저장량보다 많은 양임. 지중저장 공간이 적절하게 선정되고 관리된다면 CO₂를 대기로부터 영구적으로 고립시킬 수 있을 것으로 예상됨 (IPCC, 2023, SPM B.6.3; LR, Sec. 3.3.3)
- **(CCS 기술 성숙도의 분야별 차이 및 장애요소)** CCS는 가스 공정 및 원유회수증진(EOR, enhanced oil recovery)에 대해서는 성숙한 기술이나, CCS가 핵심적인 완화 옵션이 되는 발전·시멘트·화학물질 생산 분야에 대해서는 덜 성숙함. CCS의 활용은 현재 기술적, 경제적, 제도적, 생태환경적, 사회문화적 장애요소에 직면해 있음. 정책도구, 더 높은 수용성, 기술혁신과 같은 가능여건이 이러한 장애요소를 경감시킬 수 있음 (IPCC, 2023, SPM B.6.3; LR, Sec. 3.3.3)

참고로, IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서(완화) 보고서에서, 탄소중립 10대 핵심기술에 대한 사항은 다음의 [표 3-3]과 같이 정리됨

[표 3-3] IPCC 제3실무그룹 보고서 중 탄소중립 10대 핵심기술 내용

구분	기술	내용
에너지 전환	태양광	<ul style="list-style-type: none"> • 태양광 발전은 국가별 저배출 전략 및 감축목표, 감축 시나리오의 핵심 구성요소로 포함되고 있음 (챗터 4, 챗터 16) • 범분야적으로 활용이 가능한 저탄소 에너지 기술로 (챗터 12), 기술력 수준과 가격 경쟁력 측면에서 선두주자로, 현 세기 내 요구되는 에너지량을 능가하는 잠재력을 지님 (챗터 6, 챗터 15) • 물 부족에 대한 영향이 적어 물-에너지-식량 넥서스 차원에서 장기적으로 물 사용량을 감축할 수 있는 기술로 기대가 됨 (챗터 17) • 건물에 설치하여 건물의 에너지 소비 및 온실가스 배출 감축이 가능함 (챗터 9) • 국제협력 이니셔티브로 다양한 국가들이 감축역량을 증대하기 위하여 태양광 발전을 활용하고 있음(예: ETIP PV) (챗터 16)
	풍력	<ul style="list-style-type: none"> • 범분야적으로 활용이 가능한 저탄소 에너지 기술로 (챗터 12), 가격 경쟁력이 확보되었으나 (Ch. 6, Ch. 장), 환경 및 사회적 영향에서의 심각성이 높을 수 있음 (챗터 6, 챗터 17) • 풍력 발전은 대용량 터빈을 사용하고, 회전 날개(rotor)의 직경과 허브의 높이를 키워 발전량을 증대하고 비용을 절감할 수 있음 (챗터 6) • 물 부족에 대한 영향이 적어 물-에너지-식량 넥서스(nexus) 차원에서 장기적으로 물 사용량을 감축할 수 있는 기술로 기대가 됨 (챗터 17)
	수소	<ul style="list-style-type: none"> • 저탄소 전력망을 위한 에너지 저장기술로 수소의 잠재력이 높을 것으로 분석되나, 생산 및 저장·운반에 대한 장애요인을 극복해야 함 (챗터 6) • 생산 측면에서 배출량 감축을 위해서는 그린수소와 블루수소를 활용하여야 함 (챗터 6) • 저장·운반 측면에서, 합성 탄화수소(SHC), 액상 유기물 수소 저장체(LOHC), 암모니아 등 다양한 기술들이 연구되고 있으며, 특히 암모니아가 강조되고 있음 (챗터 6) • 수송 부문에서 트럭 및 철도에서 발생하는 배출량은 저탄소 전력 및 저탄소 수소로 구동할 시 현저히 저감될 수 있음 (챗터 10)

	바이오에너지	<ul style="list-style-type: none"> • 성장 추세에 있는 기술로, 화석연료 대체 옵션이 제한적인 부문 등에서 유용함. 다만 규모 확대를 위해서는 고급기술이 필요함 (챕터 6) • CO₂ 제로/네거티브를 위한 급전(dispatchable) 에너지원으로 활용가능함 • CCS 설비와 함께 BECCS로 전력생산 및 네거티브 배출 달성 가능함 (챕터 6) • 수송 부문의 탈탄소화 차원에서 대체연료로 바이오연료를 활용 가능함 (챕터 10) • 산업 부문의 탈탄소화를 위해 액체연료 및 고온의 열을 바이오매스로부터 공급받는 것으로 전환 가능함 (챕터 6, 챕터 11)
산업 저탄소화	철강·시멘트	<ul style="list-style-type: none"> • 생산 공정에서의 탄소 집약도는 최적가용기술(BAT)이 발전됨에 따라 개선되고 있으나, 추가적인 감축을 위해 혁신적인 신기술이 필요함 (챕터 11) • 활용 가능한 감축 기술은 CCS, 수소환원제철, 합성연료 등이 있으며, 특히 시멘트 산업에서 CCS 기술이 중요함 (챕터 11) • 전기화와 CCUS의 경우, 아직 기술 수준이 초기단계에 머물러 있음 (챕터 11)
	석유화학	<ul style="list-style-type: none"> • 석유화학 부문은 CCS를 활용하여야 함 (챕터 6) • 기존 원료를 대체하기 위해 바이오 기반 화학합성 기술, 미생물 활용 기술, 단백질 생명공학 기술 등이 중요해짐 (챕터 7)
	산업공정 고도화	<ul style="list-style-type: none"> • 철강, 화학, 시멘트 등 에너지 집약 산업에서의 기술(특히 BAT) 적용을 통해 에너지 효율성을 향상시키는 것이 중요함 (챕터 11) • 산업공정의 에너지 효율성 개선을 위하여 디지털화와 폐열 활용 기술(waste heat to power (WHP) 기술 등)의 역할이 중요함 (챕터 11)
에너지 효율	수송효율	<ul style="list-style-type: none"> • 완화 수단으로 전기 모빌리티(EV)의 역할이 중요하며 (챕터 6, 챕터 8, 챕터 10), 관련 인프라(충전 설비 등) 구축이 중요함 (챕터 10) • 내연기관의 효율 개선 및 대체연료(천연가스, 바이오 연료 등) 기술을 통해 기존 기술이 EV 등의 신기술과 양립 가능함
	건물효율	<ul style="list-style-type: none"> • 냉난방 및 건물 외피 열효율 향상, 정보통신기술 등을 활용해 에너지 고효율 건물 신축 및 기존 건물의 심층 개조를 통해 효율 향상 및 비용 절감 가능 (챕터 9) • 탄소중립 건물 기술은 Sufficiency(에너지를 필요로 하지 않음)-Efficiency(에너지 효율 향상)-Renewables(재생에너지로 기후 영향에 대한 회복탄력성 증대)를 의미하는 SER 프레임워크로 표현할 수 있음 (챕터 9) • 3D 프린팅과 같은 기술로 더 빠르고 저렴하며 지속가능한 건축을 가능하게 할 수 있음 (챕터 9)
	디지털화	<ul style="list-style-type: none"> • AI, IoT, 빅데이터 등 정보통신기술(ICT)이 범분야적 에너지 효율 개선에 활용되나, 디지털화로 에너지 수요가 증가할 수 있어 적절한 관리가 필요함 (챕터 9, 챕터 11, 챕터 17) • 온실가스 감축에 다양한 이해관계자들의 정보 공유 및 소통이 중요하며, 디지털화는 이를 가능하게 해줌 (챕터 11)
CCUS	탄소포집·저장·활용(CCUS)	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 화석연료·수소 설비에 CCS를 부착하여 저탄소 에너지 생산 가능함 (챕터 6) • 화석연료 발전소의 폐쇄 추세를 고려할 시 화석연료 발전 설비에 CCS를 활용하는 것보다 BECCS가 매력적일 수 있음 (챕터 6) • 시멘트 산업에서 CCS 기술이 특히 중요함 (챕터 11) • CO₂ 제거(CDR) 기술로(BECCS, DACCS) 잔여 배출량 상쇄 가능함 (챕터 6, 챕터 12) • 저배출 기술에 대한 공공 RD&D로 CCUS 기술개발 필요함 (챕터 16) • 대규모 공급 중심 기술로, 기술적 위험성과 사회환경 영향에 대한 우려가 있음 (챕터 5). 물 사용이 많을 수 있어 물 관리 기술이 중요함 (챕터 3, 챕터 6, 챕터 17)

※ 출처: 탄소중립 10대 핵심기술에 따라 IPCC(2022) 내용을 저자 정리

Chapter 4

우리나라 과학기술 분야에 대한 시사점

○ 개괄

- 우리나라 탄소중립 10대 핵심기술에 대한 사항들이 이번 IPCC 제6차 평가보고서 종합보고서에서 모두 중요하게 다루어지고 있으며, 탄소중립 목표의 달성을 위하여 동 기술들에 대한 연구·개발·실증(RD&D, research, development & demonstration)과 적용을 강조하고 있음. 따라서, 동 기술들이 보유하고 있는 감축 잠재력의 실현과 동 기술들이 실제 적용될 수 있도록 기술단가를 하락시키기 위한 정책적 접근의 역할이 중요해짐
- 탄소중립 기술에는 상당한 감축 잠재력이 존재하지만, 동시에 이 기술들을 보급(diffusion)하는 데에 장애요소(기술, 경제, 제도, 생태환경, 사회문화적 측면)가 함께 존재함. 이러한 장애요소를 극복하기 위해 각 기술의 RD&D를 활성화하는 가능여건 조성 정책이 강조되고 있음
- 같은 기술이라도 각 기술이 활용(deployment)되는 부문별로 기술성숙도가 다른바, 각 기술에 대한 R&D 투자 및 보급 촉진을 위해서는 부문별 특성을 고려한 접근 및 정책 설계가 필요함
- 상기 사항들을 고려하여 이번 IPCC 제6차 평가보고서 종합보고서를 통해 우리나라 ‘과학기술’ 분야에 대해 ①탄소중립 기술 R&D 방향성, ②감축기술과 적응기술의 통합적 접근, ③선-개도국 대상 기후기술 국제협력 측면에서 시사점을 다음과 같이 도출하였음

○ ① 탄소중립 기술 R&D 방향성

- **(R&D 방향성)** 먼저, ‘신규’ 탄소중립 기술에 대한 공공 R&D 투자는 향후 민간 섹터의 ‘실증 및 활용’까지 연계한 설계가 필요함. 한편, ‘기존’ 탄소중립 기술에 대해서는 ‘단가 하락’을 고려한 R&D 투자가 필요함. 또한, 해당 기술들의 실증·활용 증대를 위한 정책연구를 함께 설계하는 것이 필요함. 우리나라 과기정통부는 2021년 3월 ‘탄소중립 기술혁신 추진전략’을 통해 탄소중립 10대 핵심기술을 선정하고 이에 대한 2050년까지의 목표와 확보전략을 제시하였으며 또한 관계부처합동으로 2022년 10월 탄소중립 100대 기술을 선정하 바, 이 기술들에 대한 과기부 차원의 R&D 정책을 고려 시, 신규 기술에 대한 R&D 뿐만 아니라, 기존 기술의 단가 하락을 위한 R&D 역시 고려할 필요가 있음

- **(기술과 기술혁신시스템 정책의 중요성)** 이번 IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹(완화) 보고서에 ‘기술’이 별도 챕터(제16장)로 최초로 포함되나, 기후변화 대응 행동 차원에서 ‘기술’의 중요성이 강조되고 있음. 특히, 저배출(low emission) 기술의 활용이 매우 중요한데, 활용을 위해서는 이 기술들의 단가 하락이 중요함. 단가하락을 가능하게 하는 국가 및 기술 혁신시스템(national or technological innovation system)의 중요성이 강조되고 있음. 이를 위해 시스템 차원에서 기술주도(technology-push)와 수요견인(demand-pull) 정책*을 활용하고, 국가 상황 및 기술적 특성에 맞는 정책 패키지 구성 및 활용 필요함

* 기술주도 정책: 교육·훈련, 공공 R&D 투자, 실증 및 시범사업 비용 지원

수요견인 정책: 보조금 지원, 세제 혜택, 에너지 효율 제품 표준·라벨링 프로그램 등

- **(감축옵션 비용과 감축 잠재력)** 1tCO₂를 감축하는 데에 \$100 이하만 소요되는 옵션들을 활용하는 것만으로도, 2030년까지 2019년 배출량 대비 절반 이상을 감축하는 것이 가능하다고 분석됨. 이에, 우리나라에서 활용 가능한 저비용 옵션들이 무엇인지 도출하고 기술별 감축 잠재력을 실현시키기 위한 방안에 대한 연구가 필요함
- **(기술혁신 부정적 측면)** 기후변화 대응을 위한 기술 활용시, 부정적 측면들* 역시 존재하며, 우리나라 10대 탄소중립 기술별로 기술 활용시 나타나는 부정적인 측면들을 파악하고 이를 해결하기 위한 거버넌스와 정책이 필요함
 - * 환경적 영향, 사회적 불평등, 해외 지식 및 제공자에 대한 과도한 의존, 분배의 영향, 리바운드 효과(기술혁신으로 효율성이 높아져 더 많이 소비하는 형태) 등

② 감축기술과 적응기술의 통합적 접근

- **(우리나라 R&D 현황)** 탄소중립 기술의 R&D 투자 시, 지금까지는 대부분 감축기술과 적응기술에 대한 별도의 R&D가 진행되었음. 그러나, 이번 IPCC 제6차 평가보고서는 지속가능발전을 향한 적응 및 완화 행동을 통합한 '기후탄력적 개발(climate resilient development)' 경로의 중요성을 강조하고 있음. 즉, 감축행동과 적응행동이 유리되어 진행되기보다는 통합적으로 접근해야 함을 강조함. 따라서, 기후 위기를 상정하고, 별개로 개발된 감축기술과 적응기술을 통합적으로 활용한 모범 사례 구축 및 확산이 필요함. 또한, 감축과 적응에 동시에 필요한 융복합 기술의 R&D 투자와 이의 결과에 대한 적극적인 활용이 필요함
- **(감축기술과 적응기술의 통합적 접근 예시)** 감축기술과 적응기술을 통합적으로 적용해야 할 예시들이 IPCC 보고서에서 중요하게 다루어짐
 - * 온실가스 저배출 '에너지 시스템' 분야 예시: (수력발전) 수력발전소 건설 시, 기후변화로 홍수, 가뭄이 심해지며 발전에 차질, (바이오에너지) 원료가 되는 작물생산에 차질이 있거나, 또는 원료가 되는 작물생산에 너무 많은 물과 토지가 소요되어 해당 지역주민들의 물과 식량공급에 차질, (열발전 효율) 기후변화로 인해 기온이 상승하면 발전효율 하락 등
- **(기후기술 구분 현황)** 과기정통부와 국가녹색기술연구소가 수립한 기후기술 분류체계는 감축 기술, 적응 기술, 감축·적응 융·복합(mitigation/adaptation convergence) 기술*의 세 가지로 구분하여 활용함. 융복합 기술에는 현재 신재생에너지 하이브리드, 저전력 소모 장비, 에너지 하베스팅, 인공광합성, 기타 기술이 포함됨 (염성찬 외, 2017)
 - * 융복합 기술의 정의: 온실가스 감축에 기여하거나, 기후변화로 인한 피해를 예방하기 위한 활동으로 감축 및 적응 부문 기술이 병용되거나 다기술이 융·복합된 분야의 기술
- **(탄소중립 100대 핵심기술 중 융복합 기술)** 관계부처 합동으로 발표한 「탄소중립 녹색성장 기술 혁신 전략('22.10)」의 100대 핵심기술 상에 '융복합 기술'이 명시되어 있지는 않으나 감축과 적응을 함께 고려하는 것이 필요한 기술로 연료전지, 열에너지 네트워크, 그린 리모델링, 국토복원 등이 포함됨

③ 선-개도국 대상 기후기술 국제협력

- **(기후기술 국제협력 방향성)** 이번 제6차 평가보고서는 재정·기술·역량배양 국제협력과 다양한 국제협력 채널 활용을 강조하고 있음. 특히, 개도국과의 기술혁신 협력의 필요성이 강조되었는데, 이는 개도국들의 약한 가능여건들로 인해 저배출 기술혁신 및 채택이 다소 느리기 때문임. 따라서, 향후 우리나라가 개도국과의 기후기술 협력 방향 설정 시, 협력 대상인 개도국의 약한 가능여건을 파악하고, 이후 다양한 다자협력 채널들의 효율성·효과성 및 채널별 특성을 고려하여 협력 전략을 수립하여야 함. 개도국과의 양자협력은 우리나라가 원천 보유하고 있는 기술의 해외실증 및 현지화를 도모하고, 동 기술의 적용에 수반되어야 하는 정책 수립을 목적으로 한 개도국 기술혁신시스템 구축 지원 방향의 협력 필요함

* 재원 부족, 기술적 시스템 및 인프라 부족, 계획 및 이행 역량 부족, 인적 자원 활용 제약, 기타 개발 우선순위, 환경 영향, 저부가가치 일자리 및 대외의존도 등

- **(우리나라 현황)** 우리나라는 다양한 협력 채널을 통해 기후기술협력을 추진하고 있음. 대표적으로, 다자 차원에서는 UNFCCC 하의 기후기술센터네트워크(CTCN) 기술지원 사업, 녹색기후기금(GCF) 역량배양 및 사업준비기금 사업, 그리고 탄소시장메커니즘 사업들을 진행 중임. 또한 CTCN 협력연락사무소를 인천 송도에 유치하여 GCF와 CTCN 간 협력을 도모하고, 동시에 기후기술 연구·개발·실증에 대한 개도국 지원의 확대 및 활성화를 도모하고 있음. UNFCCC 바깥에서 형성된 P4G, GGGI, 다자개발은행 등의 기후대응사업에도 참여하고 있으며, ASEAN, EU 등의 지역기구를 활용한 사업에도 참여하고, 또한 양자간 과기공동위를 통해 사업을 개발하고 참여하고 있음. 따라서 향후 우리나라가 개도국과의 기술협력 사업을 추진할 때, 이번 제6차 평가보고서를 통해 강조된 기후기술 국제협력의 중요성을 고려하여, 기후변화 대응에 효과적인 사업을 우선적으로 고려할 필요가 있음

참고문헌

- IPCC (2017). The IPCC and the Sixth Assessment Cycle.
https://archive.ipcc.ch/pdf/ar6_material/AC6_brochure_en.pdf (2023.8.14. 검색)
- IPCC (2021). IPCC Factsheet: What is the IPCC?
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/07/AR6_FS_What_is_IPCC.pdf (2023.8.14. 검색)
- IPCC (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change.
<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/> (2023.8.14. 검색)
- IPCC (2023). AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023.
<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/> (2023.8.14. 검색)
- 관계부처합동 (2022). 탄소중립 녹색성장 기술 혁신 전략.
<https://www.korea.kr/common/download.do?fileId=197055126&tblKey=GMN> (2023.8.14. 검색)
- 과기정통부 (2021). 『탄소중립 기술혁신 추진전략』 수립(보도자료 2021.4.1. 조건).
- 과기정통부 (2023). 한국형 탄소중립 기술개발 청사진 공개... 100대 핵심기술 확정.
<https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148915321> (2023.8.14. 검색)
- 기상청 (2020). 제52차 IPCC 총회의 열기 속으로! https://blog.naver.com/kma_131/221846304813
(2023.8.14. 검색)
- 기상청 (2023). IPCC. <http://www.climate.go.kr/home/cooperation/ipcc.php> (2023.8.14. 검색)
- 기후업무규정 (2022). 기후업무규정(기상청훈령 제1046호, 2022.6.16., 일부개정).
<https://www.law.go.kr/LSW/admRulLsInfoP.do?chrClsCd=&admRulSeq=2100000212260>
(2023.8.14. 검색)
- 염성찬, 신지원, 오상진, 이민아, 박지수, 노원진, 김형주 (2017). 기후기술 분류체계 마련 연구. 녹색기술센터.
<https://www.nigt.re.kr/gtck/gtcPublication.do?mode=view&articleNo=1757&article.offset=120&articleLimit=10> (2023.8.14. 검색)
- 오채운, 손범석, 송예원, 김한이 (2022). IPCC 제6차 평가보고서를 기반으로 한 기후기술 정책 대응 연구. 녹색기술센터.
- 한국에너지기술연구원 (2021). 탄소중립 기술혁신 추진전략 - 10대 핵심기술 개발 방향(총괄).
http://www.ctpp.re.kr/home/d1_view.php?startPage=1&find_key=user_cat&sort_key=user_signdate&sort_value=desc&idx=1&s=51 (2023.8.14. 검색)



07328 서울특별시 영등포구 여의나루로 60 여의도포스트타워 14층

TEL. 02-3393-3900 FAX. 02-3393-3919~20 www.nigt.re.kr

*본 NIGT FOCUS의 내용은 필자의 개인적 견해이며, 연구소의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.