Check for updates

Journal of Climate Change Research 2024, Vol. 15, No. 2, pp. 223~237
DOI: https://doi.org/10.15531/KSCCR.2024.15.2.223

기후변화대응 전문인력양성에 관한 교육 현황 분석: 정부출연연구소의 대학원 교육과정을 중심으로

이하영[*] · 박미숙[**] · 김지예[***†]

[*]국가녹색기술연구소 전략기획센터 학생연구원, 동국대학교 일반대학원 법학과 박사과정생
[**]국가녹색기술연구소 전략기획센터 박사후연구원, [***]국가녹색기술연구소 데이터정보센터 선임연구원

Current status of education for fostering climate change experts: Focusing on the graduate school curriculum of government-funded research institutes

Lee, Hayoung[*] · Park, Misook[**] and Kim, Jiye[***†]

[*]*Student Researcher, Center for Strategic Planning, National Institute of Green Technology, Seoul, Korea, Doctoral student, Dept. Law, Graduate school of Dongguk University, Seoul, Korea*
[**]*Post-Doc. Researcher, Center for Strategic Planning, National Institute of Green Technology, Seoul, Korea*
[***]*Senior Researcher, Center for Data and Information, National Institute of Green Technology, Seoul, Korea*

ABSTRACT

The importance of fostering climate change experts is emphasized in international agreements like UNFCCC and SDGs, as well as in domestic legislation such as Framework Act on Carbon Neutrality and Green Growth for Coping with Climate Crisis and Act on Promotion of Technology Development for Coping with Climate Change. Also, it is important for climate change experts who can immediately engage in research and industries to contribute to climate change response and cooperation. In this respect, this research analyzed the graduate school curriculum of government-funded research institutes (University of Science and Technology, "UST") based on the climate technology classification and the Keywords of Article 2 of Framework Act on Carbon Neutrality and Green Growth for Coping with Climate Crisis. The UST curriculum related to climate change was classified into three fields: technology, policy, and international cooperation. Most of the UST curriculum belonged to the technology field(90.4%), with climate change mitigation technologies being dominant(67.7% of the technology field), such as power storage, photovoltaic power, and fuel cells. Policy-related curricula mainly focused on studying policy trends, while curricula on designing policy for climate change response were insufficient. Additionally, the field of international cooperation comprised only 0.6%, or 1 out of 167, curricula. Furthermore, similar courses were offered at several institutions. Therefore, not only mitigation, but also adaptation and convergence technology should be considered together as the curriculum for climate change response technology. In addition, the curriculum in the fields of policy and international cooperation should be expanded, and it is important to foster experts with integrated knowledge in the fields of technology, policy, and international cooperation.

Key words: Climate Change Education, Climate Change Experts, Graduate School, Government-Funded Research Institutes

†Corresponding author : imkjy5@nigt.re.kr (07328, 14F, 60, Yeouinaru-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul, Korea. Tel. +82-2-3393-3904)

ORCID 이하영 0009-0005-0882-261X 김지예 0000-0002-2427-8176
박미숙 0000-0001-9471-4415

Received: November 17, 2023 / Revised: January 22, 2024 1st, February 21, 2024 2nd / Accepted: April 1, 2024

1. 서론

UN은 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, “UNFCCC”)과 지속가능발전목표(Sustainable Development Goals, “SDGs”) 등에서 기후변화의 영향에 맞서기 위한 대응을 촉구하고 있다. 이에 발맞추어 국내에서는 혁신적 탄소감축 달성을 뒷받침할 수 있는 신기술 개발·사용화 지원을 위한 탄소중립 기술혁신 추진전략 수립(’21.3) 및 탄소중립 10대 핵심기술 선정(’21.4), 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 발표(’23.5) 등 국가 탄소중립 기술혁신을 위한 노력을 기울이고 있다.

기후변화대응을 위한 국내 기술 수준은 선도국 대비 80% 수준이며 이러한 기술격차를 해소하기 위한 방안으로 1순위 재정, 2순위 교육으로 조사되어(Oh et al., 2020), 효과적인 기후변화대응을 위해 기술역량 축적과 전문인력양성이 함께 고려되어야 하는 상황이다. 이에 기후위기 대응을 위한 탄소중립 · 녹색성장기본법(이하 “탄소중립기본법”)(Act No. 19208) 및 기후변화대응 기술개발 촉진법(이하 “기후기술법”)(Act No. 18865) 등 관련 법령의 정비를 통해 적극적인 기후위기 대응과 기후기술 전문인력양성 의무를 규정하고, 탄소중립·녹색성장에 관한 최상위 법정계획인 국가탄소중립·녹색성장기본계획(’23.3)에서 탄소중립 인력양성을 명시함으로써 기후기술 인재양성의 기반을 마련한 바 있다. 또한, 기후기술분야에 대한 2030년의 인력수요전망은 약 19만 명이었으나(Chung et al., 2022), 기후기술 실태조사에 따르면(Han et al., 2022a), 2021년 기준 관련 종사자는 약 24만명을 상회하는 등 기후변화대응을 선도하는 인력 수요가 늘고 있다(Kim et al., 2023).

특히, 효과적인 온실가스 감축 목표(Nationally Determined Contribution, “NDC”) 달성 및 2050년 탄소중립 실현을 위해서는 국제적 이슈인 기후변화 분야의 국제정책에 대응하고 개발을 할 수 있는 고급 인력이 필요하나 기존의 국내 전문인력양성은 이론 및 학위 취득에 초점이 맞추어져 있다. 이에 변화하는 국제정세에 있어 국제 규제, 글로벌 산업동향 및 시장정보를 분석하여 기후변화대응 및 협력이 가능한 석·박사급의 인력양성이 특히 필요하며, 이를 위해 기술역량 뿐 아니라 정책, 기술, 국제협력에 대해 융합적 시각을 갖출 수 있도록 대학원 수준의 교육 기반 조성이 절실한 상황이며, 이를 위해 먼저 현재의 대학원 교육과정 분석을 통한 현황 진단이 필요하다.

그러나 기후변화대응 인력양성에 관한 기존의 연구들은 중장기적 과학기술인재양성방안, 국가정책 및 지원방향, 기후기술분야 인력수요전망 등(Chung et al., 2022; Kim et al., 2017; Kim, Jung et al., 2018; Kim, Kim et al., 2018) 교육 현장보다는 국가 차원의 거시적 측면을 제시하고 있으며, 기후변화대응 교육과정을 분석한 연구들은 초·중·고 교육과정의 분석을 제시하거나(Kim et al., 2022; Shin, 2023; Shin et al., 2020), 역량별 대학교육과정의 현황을 분석하여 제시하고 있지만(Kim, 2015), 석 · 박사급 전문인력양성에 관한 교육현황 또는 기술·정책·국제협력 분야별 교육현황 관련 연구는 미흡하다. 또한, 정부출연연구소(이하 “출연연”)을 활용한 연구인력양성에 관한 기존의 연구는 출연연 기반의 과학기술 인력양성체계를 비롯한 전공 등의 교육과정을 조사 · 분석하여 산업계의 핵심 연구인력양성을 위한 교육과정(안)을 제시하고 있지만(STSI, 2020), 전체 과학기술을 대상으로 하고 있어 기후변화대응에 초점을 맞춘 연구가 필요한 실정이다.

이에, 본 연구에서는 기후변화대응 인재양성을 위한 대학원 교육과정 현황을 기후기술, 정책, 국제협력의 측면에서 분석하며, 특히 연구개발과 인력양성을 동시에 수행하며 현장에 바로 투입될 수 있는 인력양성을 목적으로 하는 출연연을 중심으로 대학원 교육과정을 분석하는 것을 목적으로 한다. 이를 통해, 탄소중립 이행에 효과적으로 대응할 수 있는 대학원 교육 및 전문인력양성을 위한 시사점을 제시하고자 한다.

2. 기후변화 관련 대학원 교육의 현황

2.1. 기후변화 관련 대학원 교육의 국내 현황

고등교육법(Act No. 19430)상 대학원은 교육 목적에 따라 학문의 기초이론 및 고도의 학술연구 중심의 일반대학원, 전문직업분야의 인력양성에 필요한 실천적 이론의 적용 및 연구개발 중심의 전문대학원, 직업인 또는 일반성인을 위한 계속 교육 중심의 특수대학원으로 구분된다(Article 29-2(1)). 특히, 기후변화대응 전문인력양성을 목표로 하는 대학원 학위과정은 다양하게 운영되고 있다.

대학이 자체적으로 기후기술 및 탄소중립에 관한 교육과정을 수립하고 학위과정을 운영하는 대표적인 예로는 서울대학교 환경대학원, KAIST 녹색성장지속가능대학원, UNIST 탄소중립대학원 등이 있다. 또한, 과학기술정보통신부(이하 과기부), 산림청, 환경부, 교육부 등 정부 부처에서도 일정 재원을 지원하고 기후변화대응에 관한 고등

인력양성사업을 추진하고 있다(Table 1). 과기부는 기후기술 인재양성 시범사업을 통한 기후변화대응 정책-기술 인재양성사업을 추진중이며, 산림청은 탄소흡수원 특성화대학원 지정 및 지원을 통한 탄소흡수원 전문인력양성사업을 추진중이다. 또한, 환경부는 기후변화(적응, 감축), 탄소중립, 폐자원에너지화, 녹색 융합기술, 미세먼지관리, 지식기반환경서비스, 통합환경관리분야의 특성화대학원을 운영하여 각 분야의 전문인력양성을 추진 중이며, 교육부는 BK21 (BrainKorea21)사업 내 미래인재사업, 혁신인재사업을 통한 기후기술 미래인재 양성사업을 추진 중이다.

또한, 대학-연구기관 간 연합하여 기후기술 및 탄소중립에 관한 학위과정을 운영하는 고려대-KIST 에너지 환경대학원, 연구기관 간 연합하여 학위과정을 운영하는 과학기술연합대학원대학교(University of Science and Technology, 이하 “UST”)도 있다.

2.2. 국내외 국가연구소대학의 역할 및 현황

국내외적으로 자국의 과학기술을 촉진하기 위해 출연연을 기반으로 한 국가연구소대학교가 운영되고 있으며 이를 정리하여 Table 2에 나타내었다. 이러한 국가연구소대학은 각 국가 및 대학별로 운영 방식과 구성이 상이하나, 기본적으로 석·박사급의 고급인재 양성을 목적으로 하며 대학 자체적으로는 구비하기 어려운 실험 장비와 실험실 및 실무진의 교수를 제공하고 있다는 것을 확인할 수 있다.

미국 Scripps Research Education & Training은 화학 및 생물학 분야 박사과정 뿐만 아니라, 150개 이상의 실험실 대상 박사후 연구원 기회도 제공하고 있다. 미국 Cold Spring Harbor Laboratory(CSHL)는 학사 후 연구 교육 프로그램으로, 암, 신경과학, 유전체학, 양적 생물학 및 식물생물학 분야 멘토링, 교과 과정 및 전문 기술 개발 워크숍을 제공하고 있다. 일본의 Sokendai는 특히 대학이 유지하기 어려운 대규모 시설, 장비 대량의 데이터 및 정보를 전국의 연구자들에게 제공하는 동시에 일본의 학문적 성과에 대한 견인차 역할을 하고 있다. 독일의 Helmholtz는 연간 50억 유로의 예산과 장기적 학제간 연구 프로그램을 갖춘 국제적 연구 기관 중 하나로, Helmholtz 과학자들은 지역사회 18개 연구 센터에서 일하며 독특한 글로벌 연구

Table 1. List of government projects for fostering climate change experts (Master and Ph.D.) by ministry (’23.8)

Ministry	Project		Details
Ministry of Science and ICT (MIST)	Human resources development pilot program to climate technology		Hydrogen technology, Energy · environment technology-policy
Korea Forest Service (KFS)	Graduate school specialized in carbon sinks		Management and improvement of carbon sinks
Ministry of Environment (ME)	Graduate school specialized in climate change		Adaptation to climate change, Greenhouse gas reduction
	Graduate school specialized in carbon neutrality		Assessing the effectiveness and implementation of carbon neutral technologies and policies
	Graduate school specialized in waste to energy		Waste (combustible, organic) to energy technology
	Graduate school specialized in green convergence technology		Green restoration, post-plastic, green finance, etc
	Graduate school specialized in management of fine dust		Measurement, analysis, interpretation, and reduction of air pollution, etc
	Graduate school specialized in knowledge-based environmental services		Environment strategic management, Environment technology management, ESG management, etc
	Graduate school specialized in integrated environmental management		Integrated environmental management system to minimize pollutant emissions
Ministry of Education (MOE)	BK 21	Future human resources project	Agricultural · fishery products, Eco-friendly energy resources
		Innovation human resources project	New energy industry, smart system for Climate-Marine Environment-Disaster

Source : web pages of MIST, KFS, ME and MOE (`23.8)

Table 2. Status of national universities of science and technology based on national research institutes (examples)

Country	Campus	Details
U.S.	Scripps Research Education & Training	The Graduate School of Chemical and Biological Sciences offers a top 10 Ph.D. program that supports graduate students in making influential discoveries at the interface of chemistry and biology. Young scientists with a Ph.D. can explore a wide range of opportunities to develop expertise as postdoctoral researchers in one of over 150 labs.
U.S	Cold Spring Harbor Laboratory (CSHL)	The newly developed Postbaccalaureate Research Education Program(PREP), funded by National Institute of General Medical Sciences (NIGMs), provides research experiences in the field of cancer, neuroscience, genomics, quantitative biology, and plant biology. It offers extensive mentoring, coursework, and specialized technical development workshops for students interested in academic pursuits.
Japan	Sokendai	Research institutions, including university shared facilities, provide nationwide researchers with large-scale faciliteis, equipment, massive data, and valuable information that individual universities cannot afford to maintain. At the same time, Sokendai plays a crucial roal as research hubs driving advanced academic achievements in Japan through diverse collaborative research with domestic and international researchers.
German	Helmholtz	With an annual budget of 5 billion euros and long-term, interdisciplinary research programs, Helmholts is one of the leading international research institutions. The scientists at Helmholtz work in 18 research centers in the local community, utilizing a unique global research infrastructure and benefiting from modern research management. They share strengths in six research fields: energy, earth and environment, health, information, aerospace, and transportation, as well as materials.
German	International Max Planck Research Schools (IMPRS)	Currently, there are 69 IMPRS.These research schools are established by one or more Max Planck Institues. However, these IMPRs closely collaborate with universities and other research institutions. This provides a special framework for graduate students and offers significant advantages in interdisplinary research projects or projects requiring specialized equipment. Currenly, approximately 80 Max Planck Institutes are associated with IMPRS.
Israel	Weizmann Institute of Science	The hallmark of research conducted at the Weizmann Institute of Science is its interdisplinary nature. Biologists, chemists, mathematicians, computer scientisits, and physicists from 250 research labs, led by principal investigators, spearhead thousands of studies that contribute to the ongoing expansion of understanding in practical applications and the broader world.
South Korea	University of Science and Technology (UST)	UST aims to foster practical and creative talent by leading the development of core and foundational technologies and driving innovation in industrial technology through field-centric education and research activities in interdisplinary convergence technology fields. UST is a national research institute graduate school that imparts educational functions to 32 national research institutes in the field of science and technology. It aims to nurture further talents who will lead South Korea's science and technology sector.

Source : web pages of Scripss research Education & Training, CSHL, Sokendai, Helmholtz, IMPRS, Weizmann Institute of Science, and UST (`24.2)

인프라를 활용한다. 연구분야는 에너지, 지구 및 환경, 건강, 정보, 항공우주, 운송, 그리고 소재 등 6개 부문이다. 독일 International Max Planck Research Schools (IMPRS)는 현재 69개로 이러한 대학원은 하나 이상의 막스 플랑크 연구소(Max Planck Institues)에 의해 설립된다. 현재 약 80개의 막스 플랑크 연구소가 IMPRS와 연계되어 있다. 이스라엘 Weizmann 과학 연구소에서 수행되는 연구의 특징은 학제적 성격에 있으며 250개의 연구실에서 수천 건의 연구를 주도하고 있다.

국내 UST는 32개 정부출연연구소에 석·박사 양성 교육 기능을 제공하여, 핵심 및 원천 기술 개발을 주도하고 학제적 융합 기술 분야에서 현장 중심의 교육 및 연구 활동을 통해 산업 기술 혁신을 촉진함으로써 실용적이고 창의적인 인재 육성을 꾀하고 있다.

이렇듯 국가별로 집중하는 기술 및 국가연구소대학 운영에는 차이가 있으나, 국가연구소 기반의 교육과정은 수월성에 입각해 양질의 교육을 제공하여 학위를 취득한 이후에도 학업과 업무가 연계되고 현장 기반 문제 해결형 기술 습득이 가능하다는 장점이 있다.

2.3. 국내 국가연구소대학(UST) 설립근거 및 운영 체제

UST는 과학기술분야 정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률(Act No. 18796) 제33조에 근거를 두고 있으며, 2003년 10월 교육인적자원부(현 “교육부”)의 승인을 얻어 과학기술분야 전문대학원대학으로 설립되었다. UST는 과학기술계 출연연들의 연구인력과 경험, 연구시설 · 장비를 활용한 신생 · 융합 기술분야의 현장 전문인력양성과 이들 인력을 통한 연구성과의 확산을 목적으로 한다(Jang and Lee, 2005). UST의 전공 체제는 단일전공과 관련 출연연이 복수로 참여하는 융합전공 등으로 구성되며, 연구기관별 연구현장에서 이루어지는 연구과제를 통해 국가의 전략적인 연구개발 및 산업계의 수요에 대응할 수 있는 전공 위주로 설치 · 운영된다(Jung, 2013). ’23년 8월 기준 IT, 생명공학, 나노 기술, 환경 기술, 우주항공 기술 등 32개 출연연이 UST 참여기관으로 참여 중이다.

UST는 과학기술계 출연연에서 학위과정을 운영하여 과학기술분야의 전문인력을 양성하며, UST 헌장 2조에 따르면 학제 간 신생 융합기술 분야의 현장중심 교육과 연구활동을 통하여 핵심·원천기술의 발전과 산업기술 혁신을 선도하는 실천적이고 창의적인 인력양성을 목표로 한다.

3. 연구범위 및 방법

3.1. 연구범위

기후변화대응은 탄소중립 이행이라는 국제적 공동목표 및 수요를 기반으로 국가적 차원의 적기 대응을 요한다. 출연연이 기술 · 산업 변화 관련 현장 연구를 주도적으로 수행하며, 관련 분야 고등인력양성의 목적으로 UST를 운영한다는 점에서, UST를 운영 중인 연구기관 총 32개의 전공교육과정을 중심으로 기후변화 관련 교육 현황을 분석하였다.

3.2. 연구방법

3.2.1. 교과목 선별 방법

교과목은 UST 교육과정 내 전공교과목 전체를 대상으로 하였다. 세부 선별 기준으로는 탄소중립기본법 제2조의 정의 규정 내 용어(부록 Table A1)를 키워드로 활용하여 온실가스 감축 및 기후위기 적응대책 강화, 정의로운 탄소중립 전환, 녹색기술 · 산업의 육성 · 촉진 및 활성화, 국제사회의 지속가능발전 등을 포함하는 교과목을 기술, 정책, 국제협력 분야로 선별하였으며,[1] 기술분야의 경우 국가승인통계인 기후기술산업통계(No. 442001)의 조사 · 분석의 기준이 되는 기후기술분류체계(Han et al., 2019)[2]에 따라 적응, 감축, 융복합의 3개 분야와 45개 기술로 분류하였다. UST 교과목에 탄소중립기본법 및 기후기술분류체계에 해당하는 키워드가 포함된 경우 기후변화대응 관련 교과과정으로 포함하여 분석 대상으로 선정하였다.

1) 탄소중립기본법은 기후위기의 심각한 영향을 예방하기 위하여 온실가스 감축 및 기후위기 적응대책을 강화하고 탄소중립 사회로의 이행 과정에서 발생할 수 있는 경제적 · 환경적 · 사회적 불평등을 해소하며 녹색기술과 녹색산업의 육성 · 촉진 · 활성화를 통하여 경제와 환경의 조화로운 발전을 도모함으로써, 현재 세대와 미래 세대의 삶의 질을 높이고 생태계와 기후체계를 보호하며 국제사회의 지속가능발전에 이바지하는 것을 목적(제1조)으로 하여 기후위기 대응을 위한 기술, 정책, 국제협력 분야의 노력을 모두 담고 있다.

2) 기후기술분류체계는 과학기술정보통신부 · 녹색기술센터(現국가녹색기술연구소)가 수립하여 국가과학기술자문회의 기후기술협력 중장기 추진 계획을 바탕으로 45개의 기후기술을 분류하였으며, 개도국 기후기술 협력사업 추진 도구, 기후기술 · 국제협력 통계조사분석, 기후변화대응 국가전략 수립의 참고자료 등으로 활용되고 있다(Han, 2022b).

3.2.2. 정책 / 국제협력 분야별 교과과정 현황 분석 방법

정책분야의 교과과정은 UST 교과목 해설을 토대로 정책 동향을 학습하는 유형과 정책 결정 · 집행 · 평가 등의 정책설계를 학습하는 유형으로 구분하였다. '스마트도시와 교통(KICT 스쿨)', '수소 · 연료에너지 안전 · 인증 및 표준화(KIER 스쿨)' 등과 같이 정책, 제도, 계획의 배경, 역할, 고찰, 현황, 상황고려 등의 내용이 해설에 포함된 경우에는 동향(Trend) 유형으로 분류하였으며, '과학기술정책론(ETRI 스쿨)', '기술혁신 · 전략 · 예측론(ETRI 스쿨)' 등과 같이 정책 기법, 수립, 과정, 실무능력 등의 내용이 교과목 해설에 포함된 경우 '설계(Design)' 유형으로 분류하였다.

국제협력분야의 교과과정은 UST 전체 교과과정에서 1건으로 확인되어 해당 교과목을 분석하였다. 분석 시, 교과목 내에서 정책, 국제협력, 기술분야를 함께 다루는 경우 해당 분야의 교과목 수에 중복 적용하였다.

3.2.3. 기후기술 분야별 교과과정 현황 분석 방법

기후기술 분야별 교과과정 현황은 기후기술 분류체계를 기준으로 하여 대분류(감축, 적응, 융복합), 중분류(14개: 감축 7개, 적응 6개, 융복합 1개), 세부분류(45개: 감축 22개, 적응 18개, 융복합 5개)별 교과과정 수를 분석하였다. 분석 시, 한 교과목이 여러 세부분류에 해당할 경우 교과목 수에 중복 적용하였다. 또한, 교과목 수 기준으로 상위 10%에 해당되는 세부분류를 대상으로 해당 교과목을 개설한 연구기관을 분석하였다.

4. 연구결과

4.1. 구분(기술 / 정책 / 국제)별 교과과정 분석

기후변화 관련 교과목은 기술분야가 90.4%(151개), 정책분야가 9.0%(15개), 국제협력분야가 0.6%(1개)로 나타났다(Fig. 1 참고). 이를 통해, 기후변화와 관련한 교과목은 기술분야 위주로 구성되어 있으며, 정책분야 및 국제협력분야의 교과목 개설 수가 상당히 부족함을 알 수 있다.

4.2. 정책 / 국제협력 분야별 교과과정 현황

기후변화와 관련된 정책분야 교과목은 5개 캠퍼스(한국건설기술연구원(KICT), 한국에너지기술연구원(KIER), 한국전자통신연구원(ETRI), 한국철도기술연구원(KRRI), 한국해양과학기술원(KIOST)에서 개설하고 있는 것으로 나타났다. 정책동향(Trend) 관련 교과목은 정책분야 교과목의 60%(9개)가 해당되며, 수소 · 연료전지, ICT 기술 등 각 캠퍼스에서 운영 중인 전공과 관련하여 해당 기술의 활용 측면에서의 정책 동향을 주된 내용으로 한다. 정책설계(Design) 관련 교과목은 정책분야 교과목의 40%(6개)가 해당된다. 그 중 3개는 건설 · 교통환경분야의 도시계획을 주된 내용으로 하며, 그 외 교과목은 모두 ETRI의 과학기술경영정책 전공교과목으로 기술경영 · 경제 · 혁신 · 전략 등 과학기술 전반에 관한 정책 설계가 주된 내용이다(Table 3 참고).

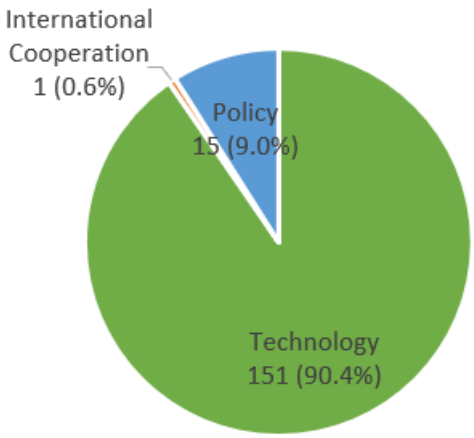

Fig. 1. Number of UST curricula according to the categories ('23.8)

기후변화와 관련된 국제협력분야 교과과정은 KIOST에서 개설한 '런던의정서이해' 1개로 확인된다. 해당 과정은 폐기물의 해양투기 및 환경복원과 관련하여 런던의정서[3]를 중심으로 국제협약 준수능력, 해양투기 신청 폐기물별 평가체계, 기초적 해양환경평가 등 행정수단을 동원하여 해양환경 보호의 역량 배양을 목적으로 하면서 월경성 환경오염에 대한 국제협력과 정책동향을 기반으로 하고 있다.

4.3. 기후기술 분야별 현황 분석

기후변화대응 기술개발 관련 교과목 151개에 대해 세부 기술 분야에 따라 분류하였으며, 그중 일부 교과목은

3) 런던의정서의 공식 명칭은 '폐기물 및 기타 물질의 투기에 의한 해양오염 방지에 관한 협약(Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matters : London Convention)이다.

Table 3. Number of UST curricula according to the policy and international cooperation categories ('23.8)

Campus	Major	Number of courses			Total
		Policy		International cooperation	
		Trend	Design		
KICT	Civil and environmental engineering	2	1	-	3
KIER	Energy engineering	1	-	-	1
ETRI	Science and technology management policy	3	5	-	8
KRRI	Transportation system engineering	1	-	-	1
KIOST	Marine technology and convergence engineering	2	-	1	3
Total		9	6	1	16
		15			

Table 4. Number of curricula according to climate technology section (Han et al., 2019)

Category	Division				Section	Number of courses
Mitigation	Green house gas mitigation	Energy production & supply	Power generation & conversion	(1) Non-renewable energy	1. Nuclear power	6
					2. Nuclear fusion power	7
					3. Clean thermal power & efficiency	8
				(2) Renewable energy	4. Hydropower	3
					5. Photovoltaic power	15
					6. Solar heat	5
					7. Geothermal power	5
					8. Wind power	5
					9. Ocean energy	4
					10. Bio energy	11
					11. Waste	9
				(3) New energy	12. Hydrogen manufacturing	6
					13. Fuel cell	15
		Energy storage & transport		(4) Energy storage	14. Power storage	20
					15. Hydrogen storage	1
				(5) Transmission & distribution & power IT	16. Transmission & distribution system	2
					17. Intelligent electric device	4
		(6) Energy demand			18. Transport efficiency	9
					19. Industrial efficiency	11
					20. Building efficiency	0

Category	Division	Section	Number of courses
	(7) Greenhouse gas sequestration	21. CCUS	5
		22. Non-CO_2 mitigation	0
Adaptation	(8) Agriculture & livestock	23. Gereric Resources & genetic improvement	2
		24. Crop cultivation & production	3
		25. Livestock disease control	0
		26. Processing, storage & distribution	2
	(9) Water management	27. Water system & aquatic ecosystem	4
		28. Water resource security & supply	11
		29. Water treatment	11
		30. Water disaster control	0
	(10) Climate change forecast & monitoring	31. Climate change forecast & modeling	3
		32. Climate information & warning system	5
	(11) Ocean, marine & offshore management	33. Ocean ecosystem	9
		34. Marine resources	1
		35. Offshore disaster control	4
	(12) Health care	36. Contagious disease control	11
		37. Food safety & prevention	3
	(13) Forest & land management	38. Productive forest improvement	0
		39. Forest damage mitigation	0
		40. Ecosystem monitoring & recovery	0
Mitigation/ adaptation convergence	(14) Mixture of multiple areas	41. New and renewable energy hybrid	1
		42. Low power consumption equipment	0
		43. Energy harvesting	2
		44. Artificial photosynthesis	0
		45. Other technologies related to climate change	0

여러 개의 기후기술 분야가 중복되는 것으로 나타났다. 분야가 중복되는 교과목의 경우 교과목 수에 중복으로 적용하였으며, 그에 따라 기술개발 분야 교과목 총 223개에 대해 분석을 수행하였다.

세부분류별 교과과정 수는 Table 4에 나타난 바와 같으며, 세부분류별로 살펴보면 전력저장, 태양광, 연료전지 등의 교과목이 가장 많은 수를 차지한다. 또한, 세부분류 중 건축효율화, Non-CO_2 저감, 가축질병관리, 수재해 관리, 산림생산증진, 산림피해저감, 생태 모니터링&복원, 저전력 소모 장비, 인공광합성은 개설된 교과목이 없는 것으로 나타났다.

4.3.1. 기후기술 대분류별 교과과정 수 분포

기후기술 대분류에 따른 교과목 수는 감축 분야가 67.7%(151개)를 차지하며, 적응 분야 30.9%(69개), 감축/적응 융복합 분야는 1.3%(3개)로 나타났다(Fig. 2 참고).

이와 같이 UST의 기후기술 인력양성은 감축분야 위주로 진행되고 있으며, 융복합 기술 보다는 단일 기술 위주로 구성되어 있음을 알 수 있다.

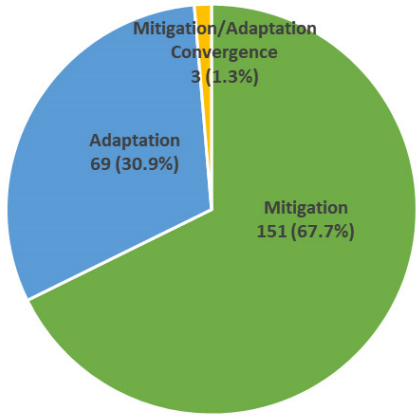

Fig. 2. Number of UST curricula according to the climate technology categories ('23.8)

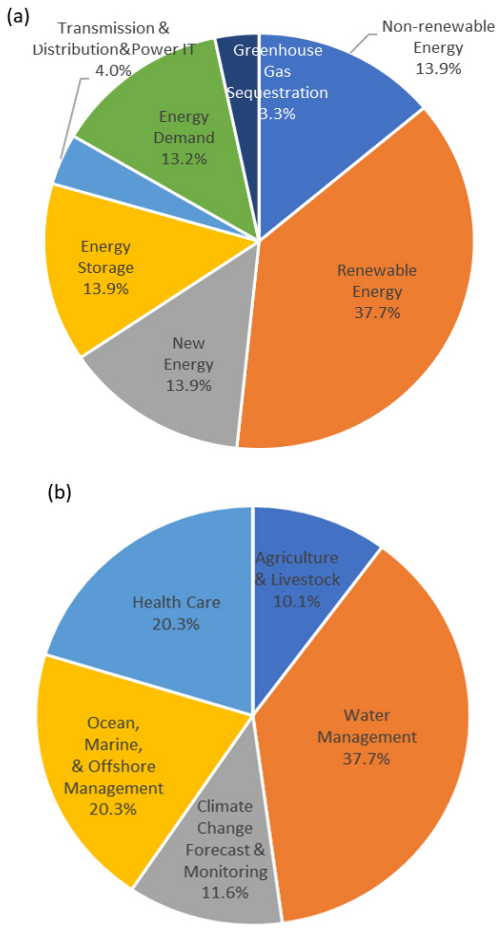

Fig. 3. (a) Status of UST curricula in mitigation, (b) Status of UST curricula in adaptation

4.3.2. 기후기술 중분류별 교과과정 수 분포

감축분야 중분류별 교과과정 현황은 Fig. 3(a)에 나타난 바와 같이 재생에너지가 37.7%, 신에너지와 비재생에너지, 에너지 저장 분야가 13.9%, 에너지 수요 13.2%, 송배전 · 전력 IT 4.0%, 온실가스 고정이 3.3% 순으로 나타났다.

Fig. 3(b)의 적응분야 중분류별 교과과정 현황을 보면 물관리 분야가 37.7%로 가장 많은 비율을 차지하며, 해양, 수산 · 연안(20.3%), 건강(20.3%), 기후변화 예측 및 모니터링(11.6%), 농업 · 축산(10.1%) 순으로 나타났다.

적응분야 중분류 중 산림 · 육상 분야는 해당 교과목이 없는 것으로 나타났는데, 이는 산림 · 육상 분야의 경우 산림청에서 탄소흡수원 특성화대학원을 통해 중점적으로 육성하고 있으며, UST에 참여하는 대부분은 과학기술정보통신부 소관 출연연구소로, 산림 · 육상 분야를 다루지 않아 해당 분야 교과목이 없는 것으로 생각된다.

4.4. 교과목 수 상위 10% 분야 교과목 개설 연구기관 현황

기후기술 세부 분류 45개 중 교과목 수가 많은 순으로 상위 10%인 분야는 Table 5와 같다. 교과목 수가 많은 분야는 전력저장(20개), 태양광 및 연료전지(각 15개), 바이오에너지, 산업효율화, 수자원 확보 및 공급, 수처리, 감염질병관리(각 11개) 순으로 나타났다. 교과목 수 상위 10%인 8개 분야에 해당하는 교과목이 총 115개로, 총 교과목 수의 약 51.6%에 해당한다. 이를 통해 교과목이 특정 분야에 편중되어 있음을 알 수 있다.

UST를 운영 중인 연구기관 총 32개 중 기후변화 관련 교과목을 개설한 연구기관은 21개이며, 교과목 수 기준 상위 10%에 해당하는 분야의 교과목을 개설한 연구기관은 16개로, 각 기관별 개설 교과목 수는 Fig. 4와 같다. 교과목 수가 가장 많은 전력저장 분야의 경우, 9개 연구기관에서 교과목을 개설하였으며, 한국전기연구원(KERI) 5개, 한국과학기술연구원(KIST) 4개, ETRI 3개 순으로 나타났다. 태양광은 KIER(6개), KIST(4개) 등 6개 연구기관에서 교과목을 개설하였으며, 연료전지는 6개 연구기관 중 KIER(7개)에서 가장 많은 교과목을 개설하였다. 바이오에너지는 KIER(3개), 한국생산기술연구원(KITECH, 2개) 등 총 8개 기관에서 관련 교과목을 운영 중이며, 산업효율화는 KIER(4개), KITECH(3개), 한국화학연구원(KRICT, 2개) 등 5개 기관에서 교과목을 운영 중이다. 수자원 확보

Table 5. List of top 10% climate technology sections by number of courses ('23.8)

Rank	Categories	Division	Section	Number of courses
1	Mitigation	Energy storage	Power storage	20
2	Mitigation	Renewable energy	Photovoltaic power	15
2	Mitigation	New energy	Fuel cell	15
4	Mitigation	Renewable energy	Bio energy	11
4	Mitigation	Energy demand	Industrial efficiency	11
4	Adaptation	Water management	Water resource security & supply	11
4	Adaptation	Water management	Water treatment	11
4	Adaptation	Health care	Contagious disease control	11

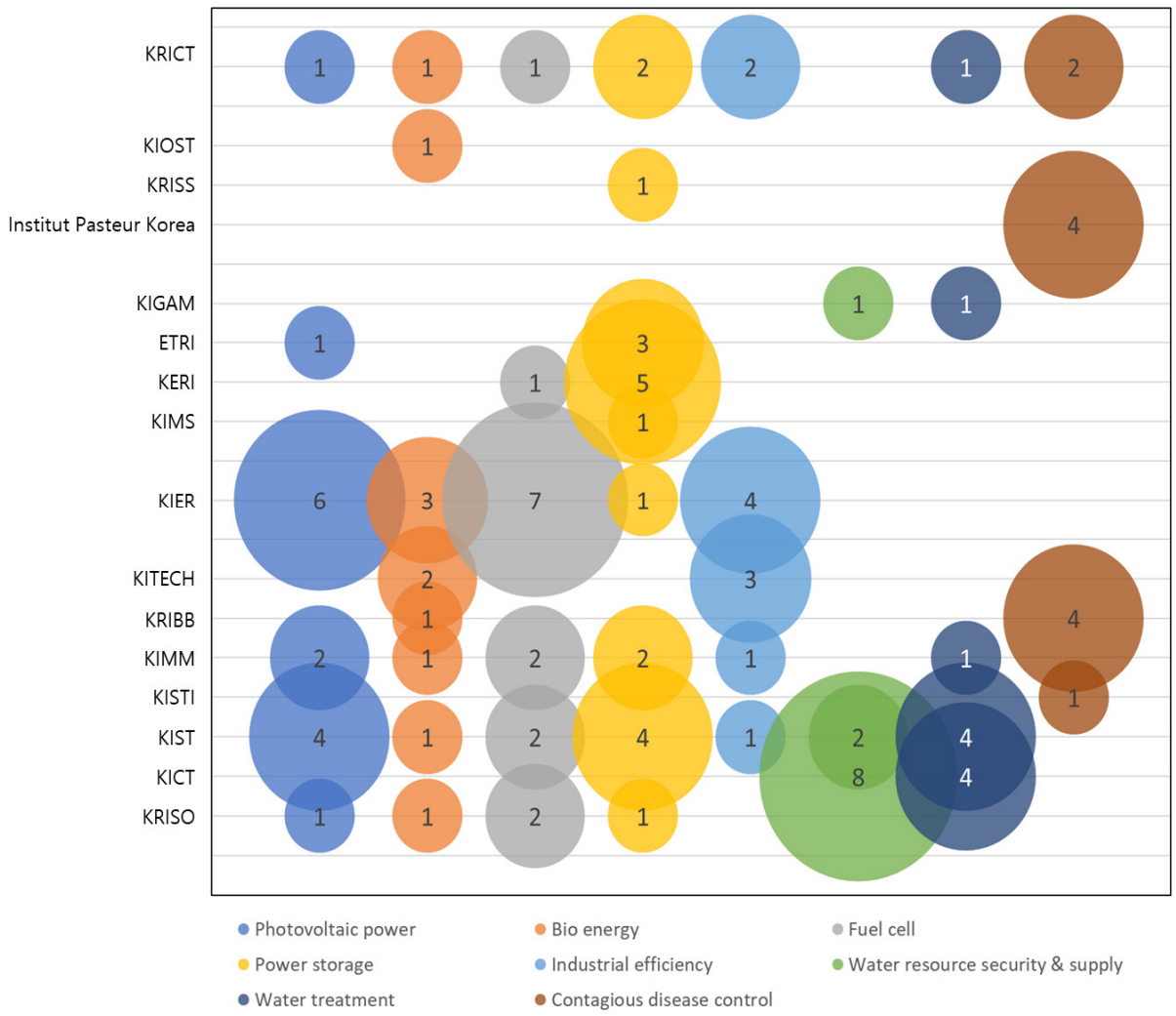

Fig. 4. Status of operating curricula about top 10% climate technology section by research institution ('23.8)

및 공급은 3개 기관에서 교과목을 개설하였으며 KICT(8개) 위주로 강의를 진행하는 것으로 나타났다. 수처리는 5개 기관 중 KICT(4개)와 KIST(4개)에서 주로 교과목을 운영하고 있다. 감염질병관리는 파스퇴르연구소(IPK, 4개)와 한국생명공학연구원(KRIBB, 4개) 등 4개 기관에서 교과목을 개설하고 있다.

5. 결론 및 시사점

2050 탄소중립을 실현하고 변화하는 국제정세에 대응하기 위해 기후기술 기반 정책 및 국제협력 전문가 육성이 절실한 시점이다. 탄소중립기본법과 기후기술법에서도 기후변화대응의 실천과제 중 하나로 기후변화대응 교육 역량강화를 제시하고 있는 상황에서 기후변화대응 인력에 대한 수요가 늘고 있다는 점을 고려하면 현장 중심 문제 해결형 인재 양성에 특화된 출연연 중심의 국가연구소대학이 수요 기반 인력 배출을 위한 창구가 되어줄 수 있다.

본 연구는 기후기술분류체계 및 탄소중립기본법 제2조의 키워드를 기반으로 출연연에서 개설한 대학원 교육과정을 대상으로 기후변화대응 유관 교과목을 도출하고, 기후기술, 정책, 국제협력분야로 세분화하여 분야별 교과목 분석을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, UST 내 개설된 기후변화대응 유관 교과목은 기술분야가 90% 이상 차지하며, 정책분야 및 국제협력분야 교과목 개설이 미흡하다. 특히, 정책분야 교과목은 기후기술활용 관련 정책 동향을 학습하는 유형이 주를 이루며, 기후변화 관련 정책설계 등의 특화 교과목은 없고, 국제협력분야 교과목은 일부 개설되어 있으나 국가 단위 기후기술 정책수립과 국내외 기술협력 지원을 아우를 수 있는 인력양성 기반은 여전히 미비한 상황이다. 이는 UST에 참여중인 대부분의 연구기관이 기술개발 중심 연구를 수행하고 있어 당연한 결과이나, 기후변화대응에 기여할 수 있는 기술-정책-국제협력의 융합형 인재 양성 또한 과학기술 분야의 중요한 역할이라는 점을 감안하면 기후변화대응 정책설계, 기술이전, 협정 등 정책 및 국제협력분야 교육과정의 제고가 필요하다고 생각된다.

둘째, 기술분야 교과목은 감축분야가 약 67.7% 차지하며, 적응분야와 감축/적응 융복합분야현황 교과목 개설이 미흡하다. 이에 대하여는 기후변화 적응대책수립(2050 CNC and ME, 2023; ME, 2023) 등 적응분야 기술개발의 중요성이 대두되고 있는 상황을 고려하여, 적응분야 인력양성의 측면도 적극적으로 고려되어야 할 것으로 생각된다. 또한, 국제적으로 융·복합기술을 육성하는 추세(Kim, Park et al., 2018; Sung et al., 2018)에 맞추어, 단일기술 위주로 구성되어 있는 교육과정에서 벗어나 감축/적응 융복합분야의 교육과정 제고를 통해 융복합 기술을 조화할 수 있는 기후 및 정책 융합 전문가 양성이 필요할 것으로 사료된다.

셋째, 유사한 교과목이 여러 기관에서 중복적으로 운영되고 있음을 확인할 수 있는데, 이에 대하여는 UST에 참여하는 기관 간 학점교류제 등을 활용하여 유사 교과목을 통폐합하는 동시에, 초격차 전략기술 및 기후변화대응 인력양성의 효과성을 극대화할 필요가 있다.

더 나아가, 기후변화대응 관련 정부정책과의 정합성을 고려할 필요가 있다. 한 예로, 과기부에서 발표한 탄소중립 10대 핵심기술(MICT, 2021)과 관련하여 태양광, 바이오에너지, 산업공정 고도화분야는 교과목 개설을 통해 인력양성 교육이 활발히 이루어지고 있으나, 건물효율분야는 교과목 운영이 되지 않고 있다. 따라서 기후변화대응이 체계적으로 실현되기 위해서는 정부정책에 부합하는 인력양성 추진으로정책에 대한 이해를 기반으로 한 교육과정의 제고가 필요하다.

다만, 본 연구는 출연연의 대학원교육과정을 중심으로 기후변화대응 전문인력양성 교육현황을 분석한 것으로서, 기후변화대응 인력양성 토양이 마련되기에 앞서 단기간에 필수 인력수급에 대비하고 수월성에 입각한 교육환경 마련의 필요성을 확인하였다. 향후 일반대학원 등 고등교육분야에서의 전문인력양성 교육현황에 관한 후속 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한, 기후변화대응교육과 정부정책과의 정합성을 모색한다면 효과적인 탄소중립 이행에 기여할 수 있을 것이다.

사사

본 연구는 국가녹색기술연구소 [R2310301] 녹색 · 기후기술 정책 · 정보 전략기획 연구, [C2420101] 녹색·기후기술 글로벌 네트워크 활성화 연구 사업의 지원을 받아 작성되었습니다.

References

2050 CNC (2050 Carbon Neutrality and Green Growth Commission), ME (Ministry of Environment). 2023. The first basic plan to national strategy for carbon neutrality and green growth. Sejong, Korea: CNC, ME.

Act No. 18865. ACT ON THE PROMOTION OF TECHNOLOGY DEVELOPMENT FOR COPING WITH CLIMATE CHANGE (Enforcement Date 11, Dec, 2022. Amendment of Other Laws, 10, June, 2022.)

Act No. 19208. FRAMEWORK ACT ON CARBON NEUTRALITY AND GREEN GROWTH FOR COPING WITH CLIMATE CRISIS (Enforcement Date 1, Jan, 2022. Amendment by Other Act, 31, Dec, 2022.)

Act No. 19430. HIGHER EDUCATION ACT (Enforcement Date 10. Jul, 2023. Amendment by Other Act, 9, Jun, 2023.)

Chung YW, Lee WS, Lee SC, Kim DE. 2022. Labor force demand forecast and policy implications in the korean climate technology industry (in Korean with English abstract). J Clim Chang Res 13(6): 741-753. doi: 10.15531/KSCCR.2022.13.6.741

Han SH, Ahn SJ, Choi WJ. 2022a. 2021 statistics on climate technology industry. Seoul: Green Technology Center.

Han SH, Ahn SJ, Choi WJ. 2022b. Climate technology national research and development programs survey and analysis report for 2021. Seoul: Green Technology Center.

Han SH, Lee JY, Sung MK, Ko DY, Yeom SC, Oh CW. 2019. White paper 2019 on green climate technology. Seoul: Green Technology Center.

Jang JJ, Lee BM. 2005. A case study on the united graduate school in government research institutes (in Korean with English abstract). J Korea Technol Innov Soc 8(S): 555-582.

Jung KH. 2013. A study on factors that influence education satisfaction in university: Research collaborative graduate schools of science and engineering [master's thesis] (in Korean with English abstract). Korea University.

Kim DW. 2015. Development of competency models and college curriculum to foster climate change experts (in Korean with English abstract). Mod Soc Public Adm 25(1): 221-247.

Kim HJ, Park CH, Park DW, Lee MA, Yoon SW. 2018. A study on activation plan to science technology convergence for climate change response. Seoul, Korea: Presidential Advisory Council on Science & Technology. Policy Research 2017-26.

Kim JH, Jung JS, Kim MC, Kim HM. 2018. Study on capacity building of human resources for climate technology cooperation (in Korean with English abstract). Seoul: Green Technology Center. Research Report 2018-012.

Kim JH, Kim SH, Yoon SR. 2023. Trends in HR development policies and implications in meteorological and climate sectors. Seoul, Korea: Korea Meteorological Institute. Issue Paper 2023-03.

Kim MC, Kim JH, Kim HM. 2018. A case study on Korean capacity-building programs for climate-change exports (in Korean with English abstract). J Core Competency Educ Res 3(1): 67-85. doi: 10.52616/JCCER.2018.3.1.67

Kim SY, Lee SH, Shin DH. 2022. Development of programs to support climate change school education - Focusing on 3rd to 6th grades of elementary school - (in Korean with English abstract). J Energy Clim Chang Educ 12(2): 139-152. doi: 10.22368/ksecce.2022.12.2.139

Kim YS, Sang Bi, Kim YG, Shin HS, Lee GS, Ju SS, Kim SJ, Lee MS. 2017. Higher education program for fostring experts in climate change and climate technology. Proceedings of 2017 KEPAS Autumn Conference; 2017 Nov 13; COEX. Seoul, Korea: Korea Environmental Policy and Administration Society. p. 3-4.

ME (Ministry of Environment). 2023. The 3rd strengthen national plan for adaptation to climate crisis. Sejong, Korea: ME.

MICT (Ministry of Science and ICT). 2021. A promotion strategy to Carbon netrality technological innovation. Sejong, Korea: MICT.

Oh SJ, Lee KY, Sohn BS, Choi JH, Ha SJ, Kim JY, Sung MA, Hong MJ. 2020. 2020 climate technology assessment report. Seoul: Green Technology Center.

Shin WS, Jeon YR, Shin DH. 2020. Analysis of the contents of climate change education in the 2015 revised elementary and secondary curriculum (in Korean with English abstract). J Energy and Clim Chang Educ 10(2): 121-129. doi: 10.22368/ksecce.2020.10.2.121

Shin YJ. 2023. Contents analysis of the 2022 revised curriculum related to the climate change education (in Korean with English abstract). J Energy and Clim Chang Educ 13(1): 23-34. doi: 10.22368/ksecce.2023.13.1.23

STSI (Science & Technology Strategic Institute). 2020. Research on ways to foster industry-leading researchers using government-funded research institutes. Sejong, Korea: STSI. STSI Technical Report 2020.

Sung MK, Oh SJ, Kim HJ. 2018. Current status and implications in climate change response by technology convergence. Seoul: Green Technology Center.

부록

Appendix 1. 「FRAMEWORK ACT ON CARBON NEUTRALITY AND GREEN GROWTH FOR COPING WITH CLIMATE CRISIS (Act No. 19208)」 Article 2 (Definitions)

No	Terms	Defined
1	climate change	a change in the climate system caused by increased concentrations of greenhouse gases as a consequence of human activities, which occurs in addition to natural climate change that has been observed during a considerable period of time
2	climate crisis	a state in need of a radical reduction of greenhouse gases because climate change is posing an irreversible risk to human civilization, including water deficiency, food shortage, ocean oxidization, sea level rise, ecosystem collapse as well as extreme weather conditions
3	carbon neutrality	means a state where greenhouse gas emissions emitted, released, or leaked out into the atmosphere become net-zero as they are offset by greenhouse gas absorption elsewhere
4	carbon neutral society	a society in which people lower or eliminate dependence on fossil fuels and lay the foundation for finance, technology, system, etc. for adaptation to climate crisis and just transition to smoothly achieve carbon neutrality and prevent and minimize damage and adverse effects that may arise in the process
5	greenhouse gas	means any gaseous matter in the atmosphere which absorbs or re-emits radiant heat to cause greenhouse effects, including carbon dioxide (CO2), methane (CH4), nitrous oxide (N2O), hydrofluorocarbon (HFCs), perfluorocarbon (PFCs), sulfur hexafluoride (SF6), and other substances specified by Presidential Decree
6	greenhouse gas emission	direct emission of greenhouse gases, which are emitted, released, or leaked out in the course of human activities, as well as indirect emission of greenhouse gases, which are induced by using electricity or heat (limited to heat using fuels or electricity as a heat source) supplied from other persons
7	greenhouse gas reduction	all kinds of activities to reduce or absorb greenhouse gas emissions to alleviate or delay climate change
8	greenhouse gas absorption	greenhouse gases are removed from the atmosphere by means of land utilization, changes in land utilization, forestry activities, etc.
9	new and renewable energy	new and renewable energy defined in subparagraphs 1 and 2 of Article 2 of the Act on the Promotion of the Development, Use and Diffusion of New and Renewable Energy
10	energy conversion	converting the entire system of producing, transferring, and consuming energy to cope with climate crisis (referring to a series of activities to address climate crisis, such as reduction of greenhouse gases, adaptation to climate change, and establishment of related infrastructure; hereinafter the same shall apply) and to pursue environmental protection, safety, energy security, and sustainability
11	adaptation to climate crisis	all kinds of activities to reduce the vulnerability to climate crisis and enhance adaptability and resilience to health damage and natural disasters caused by climate crisis, to minimize the current or foreseeable ripple effects and impacts of the climate crisis or to turn them into opportunities to take advantage of the climate crisis
12	climate justice	to acknowledge that each social group has different share of responsibility for greenhouse gas emissions causing climate change, and to ensure that all interested parties equally and substantially participate in the decision-making process to overcome the climate crisis and fairly distribute the burden of transition to a carbon neutral society and benefits of green growth according to their disproportionate share of responsibility for climate change, thereby ensuring equality between different socio-economic groups and generations
13	just transition	a policy direction-setting for protecting workers, farmers, small and medium entrepreneurs, etc. in regions or industries that could suffer direct or indirect damage in the course of transition to a carbon neutral society, to make the society share the burden caused in the transition process and minimize damage to the vulnerable social groups

No	Terms	Defined
14	green growth	an economic growth in harmony with the environment, which can be achieved by saving and efficiently using energy and resources to mitigate climate change and environmental damage, and securing new growth engines and creating job opportunities through research and development of clean energy and green technology
15	green economy	an economy where the use of fossil fuels is phased out and green technology and green industry are fostered to strengthen the national competitiveness and pursue sustainable development
16	green technology	a technology to achieve carbon neutrality and promote green growth by replacing the use of fossil fuels and using energy and resources more efficiently throughout the entire process of social and economic activities, which includes a technology to cope with climate change, technology for efficient use of energy, clean production technology, technology for new and renewable energy, technology for resources circulation, and eco-friendly technology
17	green industry	all kinds of industries for realizing carbon neutrality and facilitating green growth by replacing the use of fossil fuels generating greenhouse gas emissions, enhancing the efficient use of energy and resources, and producing goods and providing services to improve the environment