

TePRI

REPORT

2021 Spring _vol.116

기술정책연구소

Technology Policy Research Institute

과학기술분야 출연(연)의 대표적인 정책 전문지인
TePRI Report가
2021년 새롭게 개편되었습니다.

컨텐츠의 기획성과 다양성을 강화하기 위해 각 호별로 전체 테마를 선정할 예정이고,
이에 따라 월간에서 계간으로 발간 주기가 변경되었습니다. 신설 · 변경된 코너들은 다음과 같습니다.

- <ROUND table>은 호별 테마와 관련된 이슈에 대해 다양한 관점을 가진 전문가들의 대담을 담았습니다.
- <Impact NOTE>에서는 KIST에서 진행되고 있는 원천기술 연구 현황을 소개하고, 연구가 갖는 사회경제적 의미, 파급효과 등을 소개합니다.
- <New's PAPER> 코너는 과학기술정책 분야의 주요 저널들에서 최근에 나온 논문들을 리뷰합니다.
- <POPscicle>은 도서나 영화 등 대중문화 속에서 다뤄지고 있는 과학기술의 모습에 대한 단상을 에세이 형태로 담고 있습니다.
- 기존의 <Guten Tag! EUROPE> 코너는 KIST의 다양한 해외 거점들(북미, 유럽, 아시아)로 대상을 확대하여 <Hello! WORLD>로 재탄생하였습니다.
- <POLICY focus>는 기존의 <TREND watch>에서 다루던 정책분야 동향 중심으로 재편되었습니다.

새해에도 다양하고 흥미로운 콘텐츠와 함께 찾아뵙겠습니다.
감사합니다.



2021 Spring _vol.116



Zoom IN

人sight



Atheneum

ROUND table



New's PAPER

Impact NOTE



POPscicle

Innopedia



LAW&science



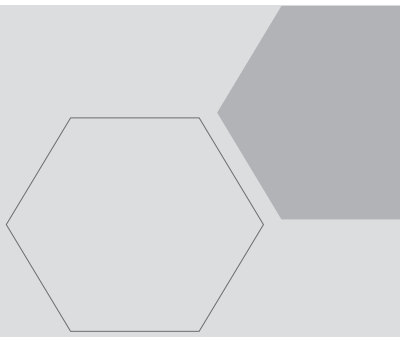
hiS&Tory



Hello! WORLD

POLICY focus

CONTENTS

- 
- 04 **Zoom IN**
포용적 성장과 격차 해소를 위한 과학기술의 역할
- 06 **人sight**
유영숙 기후변화센터 이사장
- 12 **Atheneum**
과학기술혁신의 양면성: 평등과 불평등의 갈림길에서
- 19 **ROUND table**
포용적 경제성장을 위한 그린뉴딜 정책의 방향
- 28 **Impact NOTE**
예측과 융합의 한계에 도전하는 인공지능 연구
- 33 **New's PAPER**
혁신을 위한 공공조달, 다양한 역할에 주목하자 외 2건
- 39 **Innopedia**
데이터·AI가 이끄는 과학기술계의 패러다임 전환
- 42 **POPscicle**
한 사람이 온다는 건 - 켄 리우의 <심신오행>과 마이크로바이옴
- 44 **LAW&science**
과학기술기본법 제정 20년의 의의와 미래의 준비: 일본 사례의 시사점을 참고하며
- 47 **hiS&Tory**
헤겔과 훔볼트: 인문학과 자연과학의 상호보완
- 50 **Hello! WORLD**
독일의 배출량 저감을 위한 새로운 시도 외 2건
- 59 **POLICY focus**
2050 탄소 중립 선언과 기후 위기 대응 전략 외 2건

포용적 성장과 격차 해소를 위한 과학기술의 역할

- ‘코로나 격차’와 ‘AI 격차’ 문제를 풀기위한 과학기술의 지향점

곽재원 가천대 미디어 커뮤니케이션학과 초빙교수, kjwon54@gmail.com



지난 1년여 동안 신종 코로나 바이러스(코로나19)가 세계를 휘저으면서 이른바 ‘코로나 격차’라는 말이 생겨났다. 일본경제신문과 파이낸셜타임즈 집계에 따르면 지난 3월 22일 현재 코로나19 백신 접종 횟수는 세계 141개국·지역에서 4억 4000만회를 넘었다. 미국 존스홉킨스대학은 3월 20일 전세계 코로나19 감염자가 1억 2210만명(누계치)을 넘었으며, 사망자는 269만명을 상회하고 있다고 발표했다. 이 통계의 이면에는 코로나19 격차가 어느 나라와 지역에서, 어느 계층(빈부, 연령, 성별)에서 발생하고 있는지 상세한 내용이 담겨있다. 코로나19 백신이 개발되어 접종이 시작되자 역시 똑같은 형태의 격차가 생겨나기 시작했다. 국가별 격차는 물론, 선진국 내에서도, 후진국 내에서도 격차는 뚜렷하게 나타나고 있다.

각국이 막대한 재정을 풀어 코로나19 방역에 나서며 제1의 타깃으로 삼은 게 이 코로나 격차의 해소다. 그래야 사회 안정을 도모할 수 있고 경제회생을 꾀하여 결국 정권을 안정적으로 유지할 수 있다는 인식에서다.

지난 5년여 연구에 회자되어온 제4차 산업혁명(코로나19 팬데믹으로 가속화되고 있다. AI(인공지능)로 대변되는 이 산업혁명은 2016년 초 이세돌과 알파고의 대결로 세인의 주목을 끈지 5년 동안 얼마나 큰 진보를 몰고 왔는지 상상을 하기 어려울 정도로 임팩트가 컸다. 이로 인해 AI와 관련된 기술과 서비스가 대거 출현하고 있지만 여기에서도 격차는 두드러지게 나타나고 있다. 1980~90년대의 IT(정보기술) 격차를 능가하는 이른바 ‘AI 격차’이다.

과학기술은 격차를 해소하는 데 큰 도움이 되지만 새로운 격차를 만들어 내기도 한다. 과학기술이 유토피아적인 면과 디스토피아적인 면의 두 개의 모습을 지녔음을 확연히 보여주는 실제 사례다. 각국의 정책은 당연히 과학기술의 밝은 쪽을 키우고, 그림자를 줄이는 방향으로 추진 된다. 그 공통된 캐치프레이즈는 ‘혁신, 기술과 구조변화를 통한 포용적 개발의 길’로 정리할 수 있을 것 같다. 기술과 혁신은 경제성장을 견인하고, 사회와 환경 문제를 해결하며, 빈곤을 줄일 수 있다. 모든 국가는 스스로 과학과 기술을 창조하고 사용할 수 있는 능력을 개발하고, 지식을 그들의 필요와 맥락에 적응시켜나고 있다. 산업 고도화는 구조적 변화를 이끌어 왔지만, 지역 혁신 역량의 개발에 미흡한 결과를 초래하는 경우가 많아 한계성을 드러내곤 한다. 뿐만 아니라 포괄적인 혁신을 강조하는 기술개발 사업도 대규모 변혁을 이끌어내지 못하는 경우가 많았다.

이런 점에서 기술혁신을 선도할 적절한 역량을 구축하고, 규모에 맞는 포용적 성장과 빈곤 감소를 창출하는 경로를 명확히 이해할 필요가 있다. 각국의 정책과 관련된 연구는 국가가 구조 변화와 경제적 포용을 동시에 이끄는 혁신을 어떻게 이루고, 어떻게 활용할 수 있는지를 담은 프레임 워크를 개발하는 데 초점을 두고 있다.

지금까지 우리는 전 세계에 걸쳐 산업화의 확립과 농업 경제에 대한 시장 경제의 지배를 이끄는 과학과 기술의 급속한 성장을 목격했다. 최근에는 지식경제라는 이름으로 과학기술 데이터베이스가 신흥 영역을 확대해 나가고 있다. 급속한 산업과 도시의 성장은 인간이 발생하는 오염물질과 기후변화, 지구온난화, 삼림파괴, 자원 부족, 에너지 위기, 그리고 건강 위협으로 인해 생태계가 퇴화되는 결과를 놓고 있다.

따라서 지속가능한 발전과 포용적 성장, 사회경제적 형평성을 위한 과학기술의 역할로서 학문 간 지혜와 기술을 활용한 기존 지식의 철저한 검토와 새로운 지식의 탐색이 절실하다.

여기서 우리는 ‘포용적 성장과 과학기술’을 생각하며 1999년에 나온 ‘부다페스트 선언’을 상기할 필요가 있다. ‘과학과 과학적 지식의 이용에 관한 세계 선언’으로 불리는 이 부다페스트 선언은 유엔이 ‘지속가능한 개발을 위한 2030 어젠다’를 내놓기 15년 전인 1999년 세계과학회의에서 채택된 것이다. 부다페스트 선언은 과학의 진보로 사회가 눈부시게

발전해 왔지만 환경악화와 격차 같은 부정적인 영향도 가져왔다고 지적 하면서 21세기를 향한 과학의 사회적 역할로서 지금까지의 ‘지식을 위한 과학: 진전을 위한 과학’뿐만 아니라 ‘평화를 위한 과학’, ‘개발을 위한 과학’, 그리고 ‘사회에서의 과학과 사회를 위한 과학’을 명확히 제시했다. 당시의 과학자들은 경제와 지속가능한 개발을 상반된 두 세계관의 교차점에서 고민했다. 이들은 과학이 한편으로는 세계 경제를 움직이는 이념, 즉 자유 시장 체제로서 지속적인 성장과 개인의 부(富)를 추구하는 이념의 주요 도구로 봤다. 이들은 이와 함께 과학은 환경적으로 지속가능하고, 사람 중심의 개발과 장기적인 자원 관리를 촉진하는 지식과 기술을 창출해야 한다는 니즈에 주목했다. 정책 입안자들도 에너지개발과 같은 특정 핵심 분야의 경우, 단기적인 경제적 이익의 전망과 일자리 창출과 같은 정치적 편의에만 의존해서는 안 된다는 점을 수용해야 한다는 인식을 갖기 시작했다. 미래지향적인 연구개발의 역할을 폄하하고 장기적인 사회발전을 저해하는 각종 요인을 제거해야 한다는 데 의견을 모았다. 이런 과정을 거쳐 부다페스트 선언은 “과학자들은 새로운 과학 비전을 개발해야 한다”는 결론을 유도했다.

이러한 부다페스트 정신은 ‘우리의 세계를 변혁하다: 지속가능한 개발을 위한 2030 어젠다’로 이어진다. 2015년 9월 150명이 넘는 세계 지도자들이 뉴욕의 유엔본부에서 열린 ‘유엔 지속가능한 개발 정상회의’에 참석해 야심에 찬 어젠다를 채택했다. 이 어젠다에 포함된 17개 지속가능개발목표(SDGs)는 ‘누구도 남겨두지 않겠다’는 슬로건으로 모든 형태의 빈곤에 종지부를 찍고, 불평등과 싸워 기후변화에 대처하면서 2030년까지 지속가능한 사회를 지향하는 세계적 마스터플랜이다.

미국의 바이든 정권은 출범 이후 코로나19 대책에서 과학기술의 역할을 강조하면서 포용적 성장과 격차 해소를 캐치프레이즈로 내걸고 있다. 한국판 뉴딜에도 포용적 성장과 격차 해소라는 정신이 담겨져 있다.

한국은 ‘부다페스트 선언’과 ‘유엔 2030 어젠다’ 정신에 맞춰 과학기술 발전과 혁신을 가속화하고, 국제 경쟁력을 강화해 포용적 성장과 격차 해소를 위한 튼튼한 기반을 마련해 나가야 한다. **kt**



‘저탄소 사회로의 전환을 꿈꾸다’
유영숙 기후변화센터 이사장

이번 TePRI Insight에서는 유영숙 이사장님을 모시고
기후변화를 넘어선 기후위기 상황에서
저탄소 사회로 나아가야 할 방향에 대해 이야기를 나누었습니다.

김종주 미래전략팀 책임연구원, jongjoo@kist.re.kr
함주영 미래전략팀 선임연구원, jyham@kist.re.kr

Q 기후변화센터 제5대 이사장으로 취임하신 지 1주년이 되었습니다. 그동안 어떻게 지내셨는지 궁금합니다.

작년 1월 13일에 취임 후 1년이 지났습니다. 취임하자마자 코로나 감염병이 발생해 처음에는 정말 막막했습니다. 그럼에도 불구하고 기후변화센터에서 계획했던 1년의 활동들을 온라인 또는 하이브리드 형태로 전환해서 모두 잘 추진했습니다. 저뿐만 아니라 서울 사무국과 해외 지사에서 근무하고 있는 직원 16명 모두 당황하고 놀라운 시간을 보냈을 텐데 건강하게 어려운 시기를 잘 적응하고 극복해 주어서 지금은 너무나 고맙게 생각하고 있습니다. 오히려 감염병으로 인해 온라인상으로 일을 많이 추진하다 보니 더 바쁘게 지냈던 것 같습니다. 특히 국제행사의 경우에는 외국과 한국의 시간 차이로 인해 한밤중에 할 수밖에 없는 상황이 일어났는데요. 작년 개최된 G20의 Science 20 정상회의에서는 ‘Women in Science’라는 프로그램에 한국 대표로 참여하게 되었습니다. 사우디아라비아 여성 총장과 Nature 저널의 영국 편집장을 비롯하여 브라질, 호주, 일본, 아프리카 등 전 세계 여성들이 모여 토론을 하였습니다. 그러자니 한국 시간으로 밤 9시부터 세미나를 진행했던 일들도 있었죠. 코로나로 인해 전 세계 사람들이 밤늦은 시간까지도 온라인상으로 만나다 보니 참 신기한 경험이었습니다.

Q 중점적으로 추진하셨던 일과 앞으로 계획하고 계신 일이 있으신지요?

저희 기후변화센터에서 중점적으로 추진했던 가장 대표적인 활동은 ‘기후변화 리더십 아카데미’라는 교육 프로그램입니다. 1년에 한 번씩 진행을 하는데 작년에는 코로나로 인해 어쩔 수 없이 한차례 연기를

했습니다. 다행스럽게도 기후변화센터 설립자이신 전 고건 전 국무총리께서 SARS 발병 때의 경험과 방역수칙에 관한 노하우를 가지고 계셔서 조언을 많이 해주셨습니다. 원래 계획했던 3월 시작을 약 2개월 정도 늦춰서 추진하면 좋겠다는 말씀을 해주셨는데, 정말 놀랍게도 5월에 코로나 감염병 확산이 잠깐 줄어들었습니다. 고건 총리님의 아주 정확한 판단력이셨죠. 교육 시작 후 모두가 안전하게 마무리될 수 있도록 정말 매일같이 기도했었습니다. 프로그램이 진행되는 8주 동안 감염병 확산 없이 무사히 잘 끝마칠 수 있었죠. 정말 감사했습니다.

또 한 가지 기억에 남는 매우 뿌듯했던 활동이 있습니다. 작년 9월 7일 제1회 세계 푸른 하늘의 날을 맞아 글로벌녹색성장기구(Global Green Growth Institute, 이하 GGGI)와 함께 ‘푸른 하늘과 2050 순배출 제로 캠페인 라운드 테이블’을 개최한 일입니다. 세계 푸른 하늘의 날은 우리나라 문재인 대통령께서 UN총회에서 대기질 개선을 위한 국제사회의 협력 의지를 집결하기 위해 기념일을 제안하여 지정한 것인데요. 국민들에게 세계 푸른 하늘의 날을 알리고 대기오염과 기후위기에 대한 인식을 제고하기 위해 캠페인을 열게 되었습니다. 페비닐로 화분을 제작하여 자원 재활용을 통한 탄소 줄이기에 적극 동참한 일도 굉장히 의미가 있었습니다. GGGI의 반기문 이사장님 환영사를 시작으로 저도 시민사회를 대표하여 기조연설을 했는데요. 기조연설에서 강조하였던 점은 이산화탄소 순배출 제로라는 목표를 달성하기 위해서는 무엇보다도 2050년도라는 타겟 연도 설정이 필요하다는 것이었습니다. 저뿐만이 아니라 GGGI, 그리고 함께 참여해주었던 시민사회도 목표연도 설정이 필요하다는 견해를 주장해주셨는데요. 이러한 노력들이, 힘이 합쳐져서 결국 10월 말 대통령께서 2050년 탄소중립을 선언하게 되었습니다. 이산화탄소 순배출 제로는 굉장히 달성하기 어려운 목표입니다. 그럼에도 불구하고 정부, 산업계, 그리고 국민 모두가 다같이 힘을 합친다면



불가능하지 않다라는 것을 보여주게 된 계기가 된 것 같습니다. 기후 변화센터가 주체가 되어서 정부 정책 방향을 결정하는 데 도움을 주고 힘을 실어줬다는 점에서 많은 자부심을 느끼고 있습니다. 올 한해에도 RE100과 배출권거래제, 자원순환 등을 중점으로 정책제언 활동을 활발히 할 계획입니다.

Q UN 기후변화총회에도 매년 참석하셨던 만큼 국제사회 동향에 깊은 조예가 있으신데요. 앞으로 발생할 세계적인 기후변화 대응 기조가 우리나라에는 어떠한 영향을 미칠지에 대해서 한 말씀 부탁드립니다.

전 세계적으로 기후변화를 가장 선제적으로 대응하고 있는 곳은 유럽입니다. 유럽은 2019년 12월 새로운 EU 집행위원회가 출범하면서 유럽 그린 딜(European Green Deal)을 발표했는데요. 집행위원장인 우르줄라 폰데어 라이엔(Ursula von der Leyen)이라는 분이 “2050년 EU 대륙이 탄소중립을 실현하는 첫 번째 대륙이 되겠다”고 말씀하실 만큼 기후변화에 대해 굉장한 추진력과 리더십으로 이끌어가고 있습니다. 유럽은 기존 2030년까지 40%의 탄소배출을 감축목표로 설정해 왔었

는데, 이와 같은 수준을 유지할 경우에는 2050년 탄소중립을 달성할 수 없는 시나리오였습니다. 여러 환경영향 평가와 분석을 통해 2030년 배출 감축목표를 기존 40%에서 55%까지 상향조정하는 안을 제출하였고, 이를 달성하기 위해 유럽연합은 탄소국경조정과 통상감찰관제도 도입을 적극 검토하고 있습니다.

탄소국경조정은 온실가스 배출에 대한 국가 간 감축 의욕 차이를 보정하는 무역 제한 조치입니다. 배출규제가 강한 국가의 배출량 감소가 규제가 없는 국가로의 배출량 증가를 초래하는 이른바 탄소누출을 방지하기 위한 방안인데요. 저희 기후변화센터에서는 벨기에 NPO단체인 ERCST(European Roundtable on Climate Change and Sustainable Transition), 한-EU 이해관계자와 탄소국경조정 제도의 설계 초기 단계부터 우리의 입장을 전달하기 위해 타운홀 미팅을 공동 개최하여 많은 토론을 하였습니다. 상대적으로 수출의존도가 높은 우리나라 산업구조의 경우 탄소국경조정의 영향에 크게 노출될 것으로 보여, 철강, 시멘트 협회 등 각 분야의 협회들과 지속적으로 조율하는 역할을 하고 있습니다.

통상감찰관제도 또한 유럽연합 내의 기업들이 온실가스 배출을 감축하면서도 생산에는 피해를 보지 않는 제도입니다. EU로 수입되는 제품에

“저탄소·친환경 중심으로의 에너지, 산업구조 전환은 소모비용이 아니라 미래를 향한 투자다”

대해 제3국의 불공정 무역행위를 집중 감시하여 유럽연합의 산업계와 일자리를 보호하는 데 목적이 있습니다. 보호주의 무역 기조가 보다 강화될 전망으로 우리나라의 수출 기업들 또한 이러한 세계적인 흐름 내에서 각별히 주시할 필요가 있습니다. 글로벌 시장에서의 경쟁력을 확보할 수 있도록 발 빠르게 대응하고 준비해야 합니다.

Q 얼마 전 우리나라에서도 그린뉴딜과 함께 2050년 탄소 중립 달성이라는 매우 도전적인 목표를 선언했습니다. 이에 대한 평가와 이사장님의 견해를 듣고 싶습니다.

그린뉴딜과 탄소중립이라는 용어가 새롭게 느껴질 수 있지만 사실 제가 환경부 재임 시절 정부에서 추진했던 저탄소 녹색성장과 일맥상통합니다. 탄소 배출량을 줄이고 녹색기술을 개발해서 녹색 산업으로 일자리를 창출하고 경제를 성장시키는 것인데요. 환경보호와 경제성장이라는 두 마리 토끼를 함께 잡는 것이 목표인 측면에서 당시 추진했던 많은 활동들이 지금의 밑거름이 되고 있다고 생각합니다. 그때 유치했던 국제기구인 녹색기후기금(Green Climate Fund)과 우리가 설립하여 국제기구로 전환한 글로벌녹색성장기구(GGGI), 녹색기술센터(Green Technology Center) 등이 기후환경 위기를 극복하기 위해 지금도 대내외적으로 많은 일을 추진하고 있습니다.

특히, 탄소중립으로 가는 성공적인 첫걸음을 위해서는 매년 국가에서 배출된 온실가스 통계를 작성하고 분석과 검증을 통해 국제 탄소시장 간에 연계 방안을 마련하는 과정이 굉장히 중요합니다. 2010년 설립된 환경부 산하의 온실가스종합정보센터에서는 탄소배출량을 계산하기 위해 MRV(Measurement, Reporting, and Verification) 기술을 개발하였고, 과학적 분석을 통해 온실가스 감축 목표를 수립하는 것이 가능해졌습니다. 탄소배출권 거래제도를 시행하고 국가 온실가스의 종합적인 관리체계를 그때부터 역량을 키워왔던 것이죠.

탄소배출권 거래제도는 온실가스의 배출 권리를 사고팔 수 있도록 한 제도로, 기업들이 할당된 탄소 배출량에 대해 좀 더 유연성 있게 달성할 수 있게 하는 제도입니다. 2015년 1월부터 시행되어 현재 6년차가 되었습니다. 기업별로 생산계획에 따른 탄소 배출 할당량을 정하고, 할당량보다 배출량이 많으면 거래소에서 배출권을 사오고, 반대로 적으면 거래소에 팔 수도 있습니다. 일명 총량 제한 배출권 거래제(cap and trade)이죠. 이는 기업으로 하여금 온실가스 감축 노력을 유도할 수 있는 현존하는 가장 합리적이고 시장 친화적인 제도라고 생각합니다.

국제사회에서 이러한 탄소배출권 거래제도가 효과적으로 안착이 되기 위해서는 온실가스 배출량의 정확한 산정을 기반으로 한 시장의 투명성이 중요합니다. 하지만, 위에서 언급한 MRV 기술을 통해 안정적으로 제도를 운영하는 곳은 유럽연합과 미국 캘리포니아주, 한국이 대표적이라고 생각합니다. 한국에서는 산림영역을 제외한 모든 영역에서 시행하고 있으며 일본보다도 제도가 우수하여 전 세계적으로 높은 신뢰도가 형성되어 있습니다. 반면, 중국의 경우 2017년부터 전국적으로 탄소배출권 거래제를 추진하기로 하였지만, 아직까지 전력 부문에서만 시행하고 있습니다. 제조업 중심의 산업구조를 가진 중국에서 기업의 투명성이 저조하다 보니 전 세계적으로 많은 학자들에게 신뢰성을 얻지 못하는 분위기입니다. 그러다 보니 더 높은 잣대를 기준으로 환경 지배구조의 투명성을 요구받고 있습니다.

아마도 국가의 탄소중립을 달성하기 위해서는 무엇보다도 기업의 배출권 거래제를 충분히 활용해야 한다고 생각합니다. 하지만 우리나라 배출권 거래제의 경우에는 정책 변화와 정부의 시장개입으로 온전히 시장 경제 원리로 운영되고 있다고 하기에는 솔직히 어려운 실정입니다. 기업의 온실가스 배출을 규제하되 글로벌 시장에서 경쟁력을 잃지 않고 비용 효과적으로 탄소중립을 실현할 수 있도록 정책적으로 지원하는 것 또한 우리에게 남겨진 숙제라고 생각합니다.



Q 탄소중립을 실현하기 위해서 가장 중요한 과제는 무엇 일까요?

탄소중립은 배출된 탄소의 양 만큼 산림·갯벌·해양물 등이 탄소를 흡수해 실질적인 탄소의 배출량을 '0, Net Zero'로 만드는 것입니다. 이를 달성하기 위해서는 흡수원을 늘리는 노력도 중요하지만 무엇보다도 탄소 배출이 큰 산업계를 비롯하여 석탄발전 또는 화력발전에서 발생하는 탄소 배출을 줄이는 것이 가장 중요합니다. 이는 우리나라가 장기간에 걸쳐 저탄소, 친환경 에너지 중심으로의 산업구조 개편이 필요하다는 것을 의미하는데요. 10년 전 제가 환경부에 있을 때에도 “산업계에서 온실가스를 줄이는 노력을 먼저 해야 한다, 환경보호 차원에서 기업에서 재원을 쓰는 것은 소모되는 비용이 아니라 미래를 향한 투자다”라고 이야기를 정말 많이 했습니다. 다만 그때 당시에는 정말 공허한 메아리였었습니다. 근데 지금은 정말 많이 달라졌어요. 작년 중순부터 우리나라의 각 기업에서도 ESG(Environmental, Social, Governance)에 관심이 폭발적으로 증가하고 있고요. 공학계에서도 이러한 산업구조 개편에 대해서 많은 연구와 토론을 진행하고 있습니다. 산업구조의 전환은 짧은 기간 내에 결코 이룰 수 없습니다. 그렇기 때문에 장기적으로 큰 방향성을 가지고 세밀하게 계획을 추진하고, 중단기적으로는 과학기술로써 문제점을 해결해야 한다고 생각합니다. 과학기술을 기반으로 탄소 배출을 줄이는 것 또한 치밀한 계획과 방법론을 찾아서 해야 하기 때문에 과학기술의 역할이 매우 크다고 생각합니다. 하지만 우리나라는 지난 반세기 역사를 되돌아보면 위기 극복에 굉장히 강한 유전

자를 지니고 있다고 생각합니다. 그렇기 때문에 우리의 의지만 확고하다면 충분히 잘 이겨낼 수 있다고 생각합니다.

Q 이러한 국가의 중장기적인 기후·에너지 정책을 이행하기 위해 앞으로 과학기술계, 특히 출연(연)이 어떠한 노력을 기울여야 할지 생각하시는 바가 있으시면 한 말씀 부탁드립니다.

저는 전 세계적인 흐름과 맞추어 시대가 요구하는 연구, 국가가 요구하는 연구를 하는 것이 중요하다고 생각합니다. 최근 일본이 우리나라를 상대로 수출규제를 했을 때에도 출연(연)이 힘을 합쳐 소재·부품·장비 기술개발에 우리의 자립 역량을 확장하여 잘 대응해주었다고 생각합니다. 사실상 소부장의 원천기술이나 기후변화 대응 관련 과학기술 연구는 시류를 타는 것은 아니라고 생각합니다. 중요성을 깨닫고 항상 해야 한다고는 생각하지만 막상 시급하게 느껴지지 않다 보니 그동안 많은 부분에 있어서 부족한 점이 많았던 것 같습니다. 하지만 지금 우리는 코로나19 팬데믹, 경기 침체, 기후위기 등의 다중위기를 겪으면서 지속 가능한 미래를 만들기 위해 해결책을 모색하고 있습니다. 팬데믹으로 인한 위기의식과 맞서게 되고 변화를 실감하게 되면서 패러다임이 바뀌고 있습니다.

Q 포스코 이사회 산하에 'ESG 위원회'가 출범되면서 사외이사로 선임되었습니다. 한 기업의 환경과 안전·보건, 지배구조 관련 주요 정책을 최종 결정하는 자리로서, 우리나라 기업들이 지속가능한 경영체제로 전환하기 위해 어떤 준비가 필요할까요?

최근 기후변화 시장은 ESG 경영에 대한 목소리가 커지면서 금융, 컨설팅 시장으로까지 확대되고 있습니다. 미국의 세계 최대 자산운용사인 블랙락(BlackRock)의 CEO인 래리 핑크(Larry Fink)는 몇 해 전 그들의 주요 투자기업 CEO에게 편지를 보내 기업지배구조 개선 노력을 강력하게 주문했던 적이 있습니다. 앞으로 ESG를 잘하는 기업에만 투자하겠다는 내용인데, 우리나라 기업 중에도 한국전력과 포스코 등이 포함되어

있었습니다. 실제로 ESG 관련해서 어떤 대응을 하고 있는지 요구서를 보내왔던 거죠. 이 의미는 앞으로 환경과 사회, 그리고 지배구조 요소들을 시스템화하지 않으면 더 이상 투자를 받지 못하는 상황이 되어가고 있다는 것입니다. 또 한 가지 중요한 트렌드는 소비자가 친환경을 중시하고 기업들에게 요구하는 그런 시대가 도래하였다는 것이지요. 대표적인 기업 중 하나가 미국 아웃도어 브랜드 파타고니아(Patagonia)입니다. 파타고니아는 제품이 원료에서 생산되고 폐기될 때까지 모든 탄소발자국을 공개하고 줄이고자 노력하는 제품인데요. 소비자들에게 굉장히 높게 평가받고 있다고 합니다. 특히 MZ세대에게는 제품이 없어서 못 팔 정도로 인기가 높습니다. 이렇듯 환경과 사회, 그리고 지배구조를 지속 가능한 경영체제로 마련하는 것이 글로벌 트렌드에 부합하는 기업으로 성장할 수 있는 중요한 요소로 자리 잡고 있습니다.

포스코는 KIST와도 인연이 깊습니다. 1969년 KIST는 국가 기반사업의 발전계획을 수립하는 과정에서 종합제철의 필요성과 추진계획을 수립하였습니다. 포항제철소(현 포스코)의 경제적 타당성 분석을 수행하며 결과적으로 포스코 설립의 투자를 이끌어내는 데 기여를 했었죠. 저 또한 포스코 산하에 있는 RIST 연구소에서 몇 년 동안 사외이사직을 맡았었습니다. 포스코 회장님이 의장으로 계시고 과기부 출신 혹은 출연(연) 기관장님들로 구성된 자리였는데, 지금 생각해보니 그 앞에서 제가 쓴소리를 참 많이 했었던 것 같습니다. “R&D 투자를 절대 줄여서는 안된다. 환경보호에 신경쓰셔야한다. 기후변화 대응은 비용이 아니라 투자다” 등등요(웃음). 포스코는 상당히 오래전부터 사회지배구조가 서양의 잣대 이상으로 투명하게 잘 되어있고 시스템화되어 있는 기업입니다. 저에게 맡겨주신 만큼 제게 주어진 다음 소명이 국가의 큰 기간 산업에 헌신하라는 의미로 받아들이고 열심히 한번 해보도록 하겠습니다.

Q 마지막으로 KIST 선배로서, 과학기술 발전을 위해 끊임 없이 노력하는 KIST 후배들에게 당부하고 싶은 말씀 있다면 부탁드립니다.

첫 번째로, 세종실록에 나오는 세종 어록 중 하나인 ‘생생지락(生生之樂)’을 마음속에 새기었으면 좋겠습니다. 생생지락은 자신이 좋아

하는 분야를 업으로 하고 즐겁게 일하는 것이 인생 최고의 행복이라는 뜻인데요. 바로 백성을 사랑하는 마음에서 온 세종대왕의 꿈이었습니다. 백성들이 많은 인내심을 필요로 하는 어려운 농사일을 하면서도 즐거움을 누리며 살았으면 좋겠다는 생각이셨는데, 저는 당대의 백성들 뿐만 아니라 후손들에게도 현업에서 즐거움을 느끼면서 사는 걸 바라셨을 것 같습니다. 우리가 휴양지에서 휴가를 보낼 때에만 느끼는 즐거움이 아니라, 연구자들이 과학기술을 연구하고 개발하는 일을 업으로 삼으면서도 즐겁게 신나게 연구를 했으면 좋겠습니다.

두 번째로는, “범사전치(凡事專治)면 즉무불성(則無不成)이라” 역시 세종실록에 나오는 말씀인데 제가 항상 본으로 삼고 좋아하는 말입니다. 모든 일에 온 마음을 기울여서 다스리면 이루지 못할 것이 없다는 이야기를 하고 싶었습니다. 세종대왕께서는 백성들이 평범한 일상을 살 수 있게 하기 위해 정작 본인은 비범하게 지독한 노력을 평생 하셨던 분입니다. 그럴 때마다 항상 이 신조를 마음속에 새기시면서 다짐하셨던 것 같아요. 저 또한 어려운 일이 있을 때마다 되새기는 말인데요. 후배 과학자들도 위와 같은 마음으로 좋은 성과를 이룩하고 KIST와 대한민국 과학발전에 기여했으면 좋겠습니다. 그리고 꼭 그 과정에서 즐거운 마음으로, 신바람이 나서 하면 참 좋겠습니다. **klg**

주요약력

유 영 숙 기후변화센터 이사장

- ▲ 現 제5대 기후변화센터 이사장
- ▲ 現 포스코 사외이사
- ▲ 現 KIST 분자인식연구센터 책임연구원
- ▲ 前 제14대 환경부 장관
- ▲ 이화여대 화학과 졸업, 오리건주립대 생화학 박사

과학기술혁신의 양면성: 평등과 불평등의 갈림길에서



1. 과학기술혁신은 어떻게 불평등을 야기하는가

박 규 홍 정책기획팀 선임연구원, kyuhong.park@kist.re.kr

네로 황제 이후 위기에 빠진 로마제국의 재건에 성공했다는 평을 받은 황제 베스파시아누스는 언덕 위로 돌기둥을 운반할 수 있는 장치를 발명한 남자에게 사용을 거부하며 말했다. “나보고 어떻게 백성을 먹여 살리라는 말이냐.” 광산에서 로마까지 큰 돌기둥을 운반하는 데는 수천명의 인부가 필요했고 이는 로마 정부에 큰 부담이었지만 기술의 혁신을 받아들이는 것보다는 로마 시민들에게 일자리를 유지하는 것이 황제에게 정치적으로 더 합리적인 선택이었다(Robinson, J. A., and Acemoglu, D., 2012). 이는 얼핏 보면 비이성적으로 보이기도 하나, 역사 속에서 이와 같은 선택은 생각보다 흔했고 지금도 크게 다르지 않다. 산업혁명은 새로운 형태의 일자리를 만들었고 생산성을 증대하였지만 영국의 노동자들은 러드 장군과 함께 기계들을 파괴했으며, 공공부문에서의 자동화기기 도입은 정치인들에게는 가장 마지막에서야 선택할 수 있는 대안이기도 하다.

*장기적인 관점에서 기술혁신은
사회경제구조의 평등을 불러왔다.*

역사 속에서 기술혁신은 수레바퀴부터 맥도날드의 키오스크까지 인류의

생산성을 증진시키는 방향으로 꾸준히 발전하였다. 일반적인 우려와는 다르게 장기적인 관점에서 기술혁신은 사회경제구조의 평등을 불러왔다. 런던의 수공업 장인들이 기계에 대체되며 거리에 술주정뱅이들을 배출하고 있는 동안에도 영국의 노동자의 생활수준은 높아지고 있었다. 1887년 영국의 통계전문가 기펜의 45년간의 영국의 소득세 데이터에 대한 분석결과에 따르면 부자들의 ‘총 소득’이 아닌 부자의 ‘수’가 2배로 늘었고, 전반적인 노동자의 총 소득 또한 해당기간 동안 꾸준히 상승하고 있었다(Phelps, E. S., 2013). 이는 기술 혁신이 노동력을 대체한 것이 아니라 점차 증진시켰으며 이를 통해 인적 자본이 물리적 자본을 성장 측면에서 대체한 것이라는 논리로 설명된다. 기계에 대체된 장인들은 점차 숙련된 기계를 다루는 직공으로 전환하였고, 높아진 생산성과 임금으로 근로시간을 규제하고 더 많은 일자리를 창출해냈다. 신산업의 성장으로 인한 유희 노동력의 흡수로 설명되는 기술의 산출 효과가 기술이 저숙련 노동자를 대체하는 대체효과를 앞질렀기 때문이다. 스펀셔는 자본주의의 업적을 소개할 때 군주들에게 더 많은 비단 양말을 공급한 것이 아니라 공장 소녀들에게 더 적은 노력을 통해서도 비단양말을 갖게 해준 것이라고 평가했다. 쌀밥에 고깃국이 더 이상 매력적인 구호가 아닌 이 시대에 부의 재분배는 기술의 진보 덕분에 꽤나 진행된 것이라 평가할 수 있을 것이다.

ICT의 발전은 기존의 기술진보보다 불평등에 미치는 영향이 더 크다.

다만 IMF, OECD의 보고서에 따르면 전 세계적으로 소득 상위집단과 하위집단의 격차가 굉장히 빠르게 증가하고 있다. 한국 또한 하위 10% 계층의 소득 대비 상위 10% 계층의 소득수준을 뜻하는 소득10분위 배율 지표에서 2020년 기준 OECD 하위권으로 골머리를 앓고 있다. 이러한 불평등의 심화요인으로 많은 이들은 정보통신기술(ICT)의 발전과 세계화에 주목하고 있다. ICT의 발전이 기존의 기술진보보다 불평등에 미치는 영향이 더 큰 이유는 이가 숙련편향적 기술변화(skill-biased technological change)이기 때문이다. 이를 쉽게 표현하면 기술변화가 쉽게 공급할 수 있는 저숙련 노동자에게 보다는 고숙련 노동자에 대한 보완재 역할을 해 고숙련 노동자의 수요를 늘리는 방향으로 사회 변화가 진행되는 것이다. 컴퓨터, 인공지능(AI)등의 발전은 이를 다룰 수 있는 고학력, 하이테크 사업 종사자에 대한 수요를 늘리고 그들의 생산성을 높여주기 때문에 고숙련 노동자에 대한 임금프리미엄을 확대 하였다. 또한 ICT의 발전은 전반적으로 정형화된 직무를 수행하는 노동자들에 대한 대체효과가 커지는 방향으로 진행되었다. 대표적으로 기존 중산층에서 큰 비중을 차지하는 단순 사무나 정형적 육체노동에 관련 직업들이 우선적으로 대체되고 있다. Frey and Osborne(2017)의 연구 결과에 따르면 ICT에 의해 대체될 우선순위가 높은 직종들은 상당수 중산층이 종사하는 직종에 위치하고 있다. 시급 20달러 미만의 일자리의 경우 83%가 대체될 위험이 높은 반면에 시급 40달러 이상의 직업에서는 겨우 4%만 대체될 것으로 예상된다. 결국 늘어난 생산성으로 인해 발생한 소득의 집중은 상위 집단으로 편중됨을 말하는데 이는 1990년대부터 더 이상 중위임금이 생산성과 함께 움직이지 않는 디커플링 현상에서도 확인할 수 있다(Brynjolfsson, E., & McAfee, A. 2014). 이는 영국의 산업혁명처럼 해외에서만 일어나는 일이 아니라 국내의 상황에서도 마찬가지이다. 여영준(2020)의 디지털전환으로 인한 한국경제사회 파급효과를 다룬 연구에서도 국내 디지털 전환으로 인한 부가 가치의 증대는 고숙련 노동자에 집중되며 중숙련 노동직군의 소득 비중의 감소를 예견한다.

기술혁신이 국가 내 불평등을 넘어 국가 간 불평등을 심화시키는 형태로 진행

또한 ICT를 비롯한 첨단기술의 발전으로 인하여 세계화 측면에서도 새로운 변화가 일어나고 있다. 전통적인 측면에서의 세계화로 인하여 기술선진국은 고숙련 노동자들을 활용해 숙련 노동집약적 제품을 수출하고 비숙련 집약적 노동의 경우 아웃소싱을 통해 해결해왔다. 이로 인하여 선진국 내에서 고숙련 노동자와 저숙련 노동자의 불평등이 커졌었다. 반면에 개도국 또한 선진국으로부터 받아온 아웃소싱 업무들이 기존의 업무보다 고숙련 노동이기에 개도국 내에서 또한 불평등이 심화되었다(김영준, 2016). 이렇게 국가 내에서 소득 불평등을 심화시켰던 세계화가 최근엔 국가 간 불평등을 강화하는 방향으로 진행되고 있다. 최신기술이 생산비용을 크게 절감하기 시작하자 기술의 이점을 살린 다국적 대기업들이 해외 생산시설을 본국으로 이전하거나 자국 내 생산기반 투자를 확대하기 시작했기 때문이다(강내영 외, 2021). 이와 같은 현상은 기술혁신이 국가 내에서의 불평등을 넘어 국가 간의 불평등을 심화시키는 형태로 진행되고 있음을 보여준다.

ICT의 발전은 지금까지의 기술진보 방향과는 사뭇 다른 모습

역사적으로 기술혁신은 당시에는 그로 인한 사회적 비용이 발생하긴 했지만 장기적으로 전반적인 부의 평등을 가져왔으며 소득의 상승과 고용의 창출로 연결되었다. 다만 현재 일어나고 있는 ICT의 발전은 지금까지의 발전방향과는 사뭇 다른 모습을 보이고 있다. 지금까지는 사람만 할 수 있다고 여겨졌던 분야에서마저 기계가 사람을 대체하고 있는데 현재 기술의 발전의 속도와 적용범위에 대한 인간의 적응과 학습 속도가 매우 느린 것으로 진단된다(정혁, 2014). 그렇기 때문에 이번에도 기술의 혁신이 좋은 방향으로만 흘러갈 것이라는 안이한 대응은 사회 내 불평등을 바로잡을 골든타임을 놓치는 결과를 초래할 수 있다. 이에 국가는 중장기 측면에서 노동자의 생산성을 향상시킬 수 있는 새로운 지식에 대한 교육과 투자를 강화하고 관련 제도를 정비해야 한다. Risso and

Carrera (2019)의 연구결과상에서도 R&D에 대한 투자가 GDP 대비 0.10% 이상인 국가에서 장기적인 소득 불평등이 완화되었다. Jones와 김지희 교수의 연구(2018)에서 미국 소득 데이터를 이론 모형에 적용하여 분석한 결과, 시장에 진입한 기업가들의 성장을 위한 노력은 불평등을 증가시키지만 창조적 파괴를 통한 새로운 기업가들의 진입은 불평등을 감소시킴을 확인할 수 있었다. 이는 새로운 기업가들의 진입을 유도하는 혁신정책이나 규제완화를 통해 사회 내 불평등을 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

주요 사업들의 생산 기반 시설을 자국 내 구축하며 압박하고 있는 실정이다. 이처럼 국가 내부·국가 간 불평등의 진화 속도가 빠르고 광범위하게 진행되고 있기에 과학기술정책 수립자의 역할이 어느 때보다 중요해지고 있다. 불평등에 대한 두려움으로 인한 기술혁신 거부, 국가 경쟁력을 대폭 약화시킬 것이며, 지나친 낙관에 기반한 기술만능주의는 자국 내 불평등에 대한 해결책이 될 수 없을 것이다. 혁신기술에 대한 사회적 공론화 절차를 통해 사회적 혼란을 줄이고 사업 분야에 따른 적절한 규제완화를 통해 시의성 있는 정책을 마련하는 것이 그 어느 때보다 중요한 시점이다. **KST**

시의성 있는 정책을 마련하는 것이 그 어느 때보다 중요한 시점

이세돌이 신의 한 수를 통해 알파고에게 1승을 거둔 그 순간, 언론들은 인간의 승리라 평하며 환호했다. 인공지능의 엄청난 발전 속도와 이로 인한 막연한 두려움에 대해 아직 인간이 지지 않았다는 희망이 담긴 메시지였다. 하지만 알파고의 승리아말로 진정한 ‘인간의 승리’라 할 수 있다. 인간이 개발한 기술혁신을 통해 바둑을 시작하는 이도 알파고와 함께 최강의 기사에 대적할 수 있게 된 것이다. 지금은 역사상 어느 때보다 기술의 혁신 속도가 빠른 시점이다. 국가 내부적으로는 중산층들을 구성해왔던 직업들에 대한 대체가 빠르게 이루어지고 있으며 국가 외부적으로는 기술패권주의에 기반한 선진국들은 자국의 기술을 무기화하고 있다. 더 나아가 자국 보호주의 명목상에 우리나라가 주력해온



참고문헌

- Robinson, J. A., & Acemoglu, D. (2012). Why nations fail: The origins of power, prosperity and poverty. London: Profile.
- Phelps, E. S. (2013). Mass flourishing: How grassroots innovation created jobs, challenge, and change. Princeton University Press.
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?. Technological forecasting and social change, 114, 254-280.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. WW Norton & Company.
- 여영준 (2020). 디지털 전환에 따른 한국 경제사회 파급효과 분석과 정책적 시사점. 국가미래전략, vol. 08
- 김영준 (2016). 세계화, 기술진보 그리고 소득불평등. KDI 나라경제 인사이트. 82-83.
- 강내영 et al. (2021). 4차 산업혁명 시대, 제조업 기술혁신과 리쇼어링
- 정혁 (2014). ICT 와 불평등. KISDI Premium Report, 정보통신정책연구원.
- Adrián Riso, W., & Sánchez Carrera, E. J. (2019). On the impact of innovation and inequality in economic growth. Economics of innovation and new technology, 28(1), 64-81.
- Jones, C. I., & Kim, J. (2018). A Schumpeterian model of top income inequality. Journal of Political Economy, 126(5), 1785-1826.

2. 과학기술혁신은 평등한 사회를 만드는가?

김 태 형 정책기획팀 선임연구원, kimth@kist.re.kr

2021년 1월 20일 미국에서 우여곡절 끝에 조 바이든 정부가 출범했다. 과학기술과 이를 통한 기술혁신의 중요성을 강조하며 새로이 출범한 이 정부의 내각에는 주목할 만한 의외의 인사가 있었다. 과학기술정책실 부실장에 사회학자 앨런드라 넬슨이 지명된 것이다. 과학사회학자인 앨런드라 넬슨은 그동안 민주당이 채택해 온 과학기술관과는 달리, 과학기술의 연구 개발과 그 활용에 있어 사회적 권력관계와 구조적 차별을 고려하지 못한다면 과학기술이 불평등을 확대하는 요인이 될 수 있음을 지속적으로 경고해 온 학자이다. 그녀는 취임사에서부터 과학기술이 사회적 평등이라는 가치에 부합할 수 있도록 노력해야 한다고 강조했다. (김상현, 2021)

과학기술의 발전이 우리 사회의 평등에 미치는 영향에 대해서는 지금까지 다양한 시각이 존재했으며, 이는 크게 두 가지로 구분된다. 먼저 과학기술의 발전이 사회적 불평등을 가속화시킨다는 주장이다. 이러한 주장을 하는 사람들이 드는 가장 대표적 예시는 의약분야이다. 대부분의 제약회사들은 아프리카 등 빈곤한 지역에서 유행하는 에볼라, AIDS, 말라리아와 같은 질병의 해결보다는, 상대적으로 부유한 선진국에서 판매함으로써 더 많은 경제적 이익을 취할 수 있는 비만, 심혈관질환 등의 선진국형 질병에 대한 치료제 개발에 주력하고 있다. (장영배,

2009) 더욱이 학자들은 민간 R&D의 비중이 갈수록 증가하는 현재의 추세를 고려해보았을 때 의약분야뿐만 아니라 정보통신, 로봇, 에너지 등 다양한 분야에서 기업들의 이와 같은 선택이 이어져 사회적 불평등의 확대에 큰 영향을 줄 것으로 예측하고 있다.

또한 머지않은 미래에는 인공지능과 로봇의 시대가 도래하면서 많은 수의 일자리가 사라질 것으로 예측되고 있다. 이렇게 사라질 일자리의 대부분은 높은 숙련도를 필요로 하지 않는 저소득층의 일자리가 될 확률이 매우 높다. 과학기술의 발전으로 인해 새로운 일자리들이 생겨나게 되는 것도 사실이지만, 이는 발전된 과학기술의 혜택을 충분히 누릴 수 있는 고소득층에게 돌아갈 가능성이 크고 결국 불평등의 확산에 기여하게 될 수 있다. 이와 같이 과학기술이 사회적 불평등을 야기한다는 주장을 펴는 학자들은 과학기술이 누구에게나 평등하게 적용되지 못한다는 점을 강조하고는 한다.

이와는 반대로 과학기술의 발전이 불평등의 완화에 기여한다는 의견 또한 존재한다. 대표적으로 과학기술의 혁신이 일어나면서 상품, 서비스의 가격이 낮아지고 이를 통해 부유한 계층만이 사용하던 제품을 대부분의 사람들이 사용하게 되는 현상을 꼽을 수 있다. 예를 들어 현대

사회의 필수품인 인터넷의 경우 초창기에는 소수의 인원만이 비싼 비용을 지불하고 사용해야 했지만, 현재는 기술이 크게 발전하면서 서비스의 질이 향상됨과 동시에 상대적 가격은 낮아지게 되어, 사회 구성원 대부분이 큰 부담 없이 사용할 수 있게 되었다. 이와 같은 논리에 의해 과학기술의 발전은 고소득층과 저소득층의 격차를 줄여줄 수 있는 가능성을 가지고 있다고 할 수 있다. (Woodhouse and Sarewitz, 2007).

과학기술의 발전은 고소득층과 저소득층의 격차를 줄여줄 수 있는 가능성을 가지고 있다.

이처럼 과학기술이 평등한 사회를 가져오는지 여부에 대해서는 두 가지 주장이 팽팽하게 대립하고 있다. 한편 과학기술과 평등 사이의 관계에 대한 논의와는 별개로 대부분의 국가는 막대한 예산과 인력을 과학기술 발전에 투입하고 있다. 이는 과학기술 혁신이 국가 전반의 경제적·사회적 가치를 높여주고 국민들의 삶의 질 개선에 기여한다는 생각에 기반한 것이다. 국가 전반의 산업 경쟁력과 기술력, 생산성 등이 증가하면 이것이 자연스럽게 국가와 국민 전체의 이익으로 퍼져나가게 될 것이라는 논리이다.

과학기술 혁신은 국가 발전의 원동력임과 동시에 국가의 경쟁 우위를 만들어주는 요소이다. 하지만 과학기술이 국민간의 빈부격차를 확대시키고 계층 간 갈등을 조장하게 된다면 과학기술에 무작정 투자를 진행하는 것이 최적의 전략이라고 할 수는 없을 것이다.

이러한 측면에서 기존의 많은 문헌들은 과학기술 혁신이 사회적 평등에 다양한 방식으로 기여할 수 있음을 증명하고 있다. 지난 2018년 EU에서 출간된 한 보고서는 과학기술 혁신과 소득 평등의 관계를 분석해냈다. 과학기술 혁신의 정도를 측정하는 데에는 2002~2014년 사이에 EU 28개 지역에서 출원된 인구 백만 명당 특허 수가 사용되었고, 소득 평등의 측정에는 상위 1% 및 10%의 소득분배율, 그리고 지니계수(Gini's coefficient)가 사용되었다. 여기서 지니계수란 계층 간 소득의 불균형 정도를 0과 1사이의 숫자로 나타내는 수치로 누적 가구비율 대비 누적 소득 비율을 나타내는 로렌츠 곡선에 기반을 두어 도출된다. 지니계수가

0에 가까워지면 평등한 소득 분배, 1에 가까워지면 불평등한 소득분배를 의미하게 된다. 분석 결과 첨단기술 분야의 혁신이 고소득층, 중산층, 저소득층 사이의 소득 불평등을 완화시키고, 고소득층의 비율을 확대시킨다는 결론이 도출되었다.

첨단기술 분야의 혁신이 고소득층, 중산층, 저소득층 사이의 소득 불평등을 완화시키고, 고소득층의 비율을 확대시킨다는 결론이 도출되었다.

더 나아가 Antonelli and Gehringer(2017)는 소득의 불평등은 기술 혁신으로부터 오는 것이 아니라 오히려 기술 혁신의 감소로 인해 발생한다는 것을 증명하였다. 총 39개국의 데이터를 바탕으로 분석한 결과는 기술혁신이 더 빈번하게 일어나는 국가일수록 소득이 더 평등하게 분배되어 있음을 보여주었다. 이는 스펀터가 정의한 소위 창조적 파괴(creative destruction)로 인한 것이다. 창조적 파괴는 부가 재분배되고 소득 불평등을 완화하는 효과를 불러왔다. 기술혁신으로 인한 창조적 파괴가 빈번하게 일어날 경우 시장 진입장벽이 낮아져 새로운 경쟁자가 지속적으로 유입되고, 이는 시장 경쟁을 활성화시켜 부의 재분배를 촉진하게 된다. 또한 기술혁신으로 인해 기존에 부유층이 보유하고 있던 자본은 그 가치가 낮아질 가능성이 높으며, 기술 혁신으로 인해 향상된 생산성은, 최종소비자의 이익으로 빠르게 이어져 그들의 소득 향상에 영향을 미치게 된다. 반대로 기술혁신이 제때 일어나지 못하면 시장에 새롭게 참여하는 경쟁자가 사라져 가격 경쟁과 같은 시장의 기능이 붕괴되고 이는 기존의 부를 소유하고 있는 기득권층의 부가 더욱 확대되는 결과로 이어지게 된다.

기술혁신으로 인한 창조적 파괴가 빈번하게 일어날 경우 시장 진입장벽이 낮아져 새로운 경쟁자가 지속적으로 유입되고, 이는 시장 경쟁을 활성화시켜 부의 재분배를 촉진하게 된다.

기존의 많은 문헌에서 과학기술 혁신과 국가 경제의 성장의 관계가

증명된 것처럼 기술 혁신은 국가의 발전에 있어 필수적 과정이다. 앞서 언급한 문헌들에서 증명한 것처럼 기술혁신이 우리 사회의 평등에도 기여할 수 있다면 국가 입장에서 기술혁신이 만능 하나 불러올 수 있는 혹시 모를 부작용에 대한 걱정을 덜 수 있게 된다. 이와 같은 측면에서 정부는 과학기술 혁신과 우리 사회의 평등 사이의 관계를 더욱 공고히 할 여러 가지 정책적 보조 수단을 사용할 수 있을 것이다.

이러한 정책들은 여러 논문과 보고서를 통해 꾸준히 제안되고 있다. 그 중 대표적인 정책은 사회적 약자 계층에 초점을 맞춘 R&D를 확대하는 것이다. 일례로 소외 계층은 누구에게나 동일하게 적용되는 자연 재해 같은 참사를 통해서도 더 큰 피해를 입기 마련이다. 이 문제를 과학 기술에 대한 투자와 기술 혁신을 통해 해결 할 수 있다면 평등한 사회가 한걸음 가까워 질 것이다. 공공재 창출을 위한 R&D를 수행하는 것 또한 방법이 될 수 있다. 공공재는 사용자가 지불하는 비용 없이 누구나 사용 가능하다는 특성을 가지고 있다. 예를 들어 환경 관련 R&D 같은 경우가 공공재의 특성을 가지고 있다고 할 수 있는데 공기, 물과 같은 환경의 개선은 사회 구성원 전반의 건강 증진에 기여할 수 있으며, 이는 사회적 평등의 확대로 이어지게 된다. 또 다른 방법은 기술 기반 사회적 기업을 활성화 하는 것이다. 사회적 기업은 사회적 서비스를 제공하고 혁신을 추진하는 것을 목적으로 하는 기업이다. 이들을 효과적으로 육성하고 활용한다면 기술혁신의 아이디어를 발굴하고 구현하는 효과적인 도구로 사용할 수 있을 것이고 이는 사회 전반의 불평등을 줄이는데 도움을 줄 수 있다. (장영배, 2009)

기술 혁신이 평등한 사회를 수립하는 데 미치는 영향에 대해서는 현재로서는 누구도 완벽한 결론을 내릴 수 없다. 그러나 필수적으로 일어나야만 하는 과학기술 혁신이 사회적 불평등의 개선에 기여할 수 있다면, 과학기술의 중요성이 한층 더 부각됨과 동시에 국민들의 과학기술에 대한 관심과 사회적 저변 확대에도 큰 도움이 될 것이다. 과학기술 정책 수립자는 이러한 사실을 잊지 말고 과학기술 혁신이 우리 사회의 평등으로 이어질 수 있도록 튼튼한 징검다리를 놓는 데 집중해야 할 필요가 있다. 



참고문헌

- 안두현, & 송위진. (2010). 소외계층 삶의 질 향상을 위한 과학기술. STEPI Insight, (40), 1-22.
- 오세홍. (2018). 포용적 성장 정책 틀에서의 과학기술혁신 추진방향. KISTEP Inl, 6-7.
- 장영배. (2009). 과학기술정책과 사회적 불평등. STEPI 정책자료, 1-42.
- 채재우. (2017). 사람 중심의 과학기술. KISTEP Inl, 6-7.
- Antonelli, C., & Gehringer, A. (2017). Technological change, rent and income inequalities: A Schumpeterian approach. Technological Forecasting and Social Change, 115, 85-98.
- Claudia, D. P., Karagiannis, S., & Raab, R. (2018). Innovation and inequality in the EU: for better or for worse?. Joint Research Centre, European Union, Luxembourg.
- Woodhouse, E., & Sarewitz, D. (2007). Science policies for reducing societal inequities. Science and Public Policy, 34(2), 139-150.

포용적 경제성장을 위한 그린뉴딜 정책의 방향

송 창 현 미래전략팀 연구원, ch.song@kist.re.kr



과학기술정보통신부의 이번 2021년도 업무계획에서는 ‘회복’, ‘도약’과 함께 ‘포용’을 3대 키워드로 제시하고 있다. 이미 2017년부터 정부가 지속가능한 경제성장과 사회적 포용성을 동시에 추구하기 위해 ‘포용적 혁신성장’을 강조해왔기 때문에 그다지 새로운 소식은 아닐 수 있다. 하지만 다른 분야도 아닌 과학기술 정책 분야에서 ‘포용’이라는 가치가 어떻게 구현될 수 있을지는 많은 이들이 궁금해할 것이다. 정부는 지난해 ‘한국판 뉴딜 종합계획’을 발표하며 ‘그린뉴딜’, ‘디지털 뉴딜’, 그리고 ‘사회안전망 확충’ 등을 포함한 국가발전전략을 제시한 바 있다. 특히 그린뉴딜은 전 세계적인 추세에 맞춰 기후변화에 대한 대응 전략을 담고 있을 뿐 아니라, 일자리 창출이나 신성장 동력 확보 등 친환경·탄소중립 경제로의 전환을 가속화하는 정책적 목표들을 포함하고 있다. 이번 호에서는 그린뉴딜 정책이 혁신과 포용의 두 마리 토끼를 잡기 위해서 고민해볼 점들은 무엇일지 다각도로 조명해보고자 한다.

1. 그린뉴딜과 일자리

여영준 국회미래연구원 부연구위원, yjyeo@nafi.re.kr



그린뉴딜의 중장기 지향점은 친환경·저탄소 분야에 관찮은 일자리(decent job)를 지속적으로 창출함으로써, 탄소의존형 경제체제로부터 구조적 전환을 도모하는 방향으로 맞춰야 한다. 이에, 단순히 재정지출 확대에 그치지 않고, 국가 전략선택의 기회비용에 대한 심도 있는 고민을 이뤄낼 필요가 있다. Alvarez et al.(2009)와 Morriss et al. (2009) 연구는 정부의 녹색 정책이 일자리 규모 확대에만 관심을 기울이는 경향이 있어, 근로 조건이 나쁜 저임금 일자리가 양산될 수 있음을 언급한 바 있다.¹⁾ 특히, 정부 정책으로 창출된 그린 잡은 위축된 산업 부문의 일자리를 파괴하고, 막대한 정부 재원을 대가로 창출된 것이기 때문에, 순 고용 창출 효과는 음(-)의 효과일 수 있으며, 잠재적으로 산업 전반의 거품(bubble)을 초래할 수 있음을 지적하였다.

이 같은 주요 연구들은 그린뉴딜 추진으로 인한 일자리 창출 규모를 이해하는 데 있어, 정부의 계획적 투자에 의한 직접적 고용 창출 규모, 산업구조 재편에 따라 사라진 기회고용에 대한 규모, 그리고 산업연관관계와 제도 부문 간 관계를 바탕으로 파생된 간접적 고용유발 효과 등을 복합적으로 고려할 필요가 있음을 시사한다(표 1 참고). 또한, 그린뉴딜을 바탕으로 생산성 도모를 이룩하기 위해, 친환경·저탄소 부문에서 근로 조건이 관찮은(decent) 양질의 일자리가 지속적으로 창출될 필요가 있음을 시사한다. 이에, ILO(2019)와 Altenburg and Assmann(2017) 등이 강조한 바와 같이, 그린뉴딜 추진으로 인해 관찮은(decent) 그린잡(green job)이 저절로 창출되는 것이 아니라(not by default), 노동재배치(이동)을 촉진하는 노동환경 개선, 교육 및 학습체계 개선 등 정책

| 표 1. 저탄소 및 탄소중립 경제체제 이행에 따른 노동시장 영향 |

노동시장 영향	요인	관련 직업
새로운 직업의 생성 (new jobs will be created)	그린뉴딜 추진에 따라 저탄소·친환경 발전을 위한 새로운 직업과 업무가 창출	태양광 패널 기술자, 신재생에너지 인프라 기술자, 전기자동차 엔지니어, 생태 관광 종사자, 탄소배출권 중개인 등
기존 직업이 그린잡(green job)으로 전환(jobs will be transformed)	그린뉴딜 추진에 따라 기존 직업이 직무의 변화 없이, 친환경·저탄소 부문으로 이동하거나 기존 직업 내 직무에 녹색 기술을 접목함으로써, 친환경·저탄소 부문으로 이동	전기 자동차 및 공유 차량 운송업 종사자, 음식물 및 폐기물 재사용 처리 직종, 그린빌딩 및 개조 건축가, 풍력터빈 기계공 등
기존 직업의 소멸 및 감소 (jobs may be eliminated or substituted)	탄소 중립 가치 실현을 위해 퇴출되는 직업으로서, 탄소 배출 및 환경피해 주범으로 지목받는 산업 활동이나 제품이 시장에서 경쟁력을 상실함에 따라 발생	석탄 광부, 구식 또는 금지 포장 재료 생산직, 시멘트 작업원, 디젤 자동차 기술자, 석탄화력발전소 기술자, 화학비료 제조원 등

1) 예로, Alvarez et al.(2009) 연구는 스페인을 분석 대상으로 삼아, 실증분석한 결과 1개의 '그린 잡'창출을 위해, 2.2개의 일자리가 대체될 수 있음을 규명한 바 있다.

설계를 바탕으로(but by design) 이뤄질 수 있음을 이해할 수 있다.

기후변화 대응과 탄소중립을 위한 에너지 및 산업구조 전환은 화석 연료의 퇴출, 화석연료 기반 산업의 상대적 위축 등을 필연적으로 동반한다. 이는 그간 우리 산업의 중추적 역할을 하며 많은 일자리를 제공해 온 제조업 부문에 위기를 가져옴과 동시에 부문 간, 계층 간 새로운 갈등을 일으킬 수 있다. 혹자는 뉴딜에 따른 위축 기업의 시장 퇴출과 일자리 대체에 따른 사회적 비용이 더욱 확대될 수 있음을 경고하기도 한다. 이에, 그린뉴딜 추진에 따른 사회적 비용을 최소화하고 경제의 성공적 전환을 도모하기 위해서는 일반균형적 시각에서, 그린뉴딜 추진에 따른 일자리 및 직무 수요 예측과 함께, 이에 따라 요구되는 핵심역량과 인력 공급 전망을 파악하는 등 예견적 정책 인텔리전스를 강화할 필요가 있다. 이를 토대로, 산업구조 재편에 따라 차별적 영향을 받게 되는 직무 및 일자리 규모를 산정하고, 부정적 영향을 받게 되는 근로자들의 업스킬링(up-skilling)과 리스킬링(re-skilling)을 지원하도록 교육 및 학습 체제를 정비할 필요가 있다.

특히, 근로자들의 학습권이 보장될 수 있는 조직 및 작업환경 개선이 이뤄질 필요가 있다. 이에, 산업 및 기업 부문은 학습을 중시하는 조직으로의 일터혁신을 강조하며, 재직자들의 학습 수요를 적절히 반영할 수 있는 직무 및 역량 중심 교육체계 구축을 이뤄낼 필요가 있다. 또한, 그린뉴딜 추진에 따라 새롭게 요구되는 기업 내 직무역량을 명확히 식별 및 공유하고, 기업 수요에 부합하는 기업주도 재직자 교육·학습체계를 설계할 필요가 있다. 그리고, 재직자의 직무역량 개발 환경 조성을 위해 유급휴가 훈련제도나 학습휴가 제도 등 유인체계를 활성화함으로써, 재직자들의 학습역량 강화를 위한 고용 및 근로조건을 개선해나갈 필요가 있다. 이를 바탕으로, 일터혁신과 지역밀착형 그린뉴딜을 도모하기 위한 전략적 파트너십에 기반한 노사관계를 새롭게 정립할 필요가 있다.

그리고, 정부 역시 그린뉴딜 추진에 따른 산업, 에너지 및 노동시장 변화에 대응하기 위한 혁신 주체 간 다양한 협업모델 모색을 지원할 필요가 있다. 특히, 탄소중립 경제체제로의 이행과정에서 퇴출당하는

주요 기업(산업)과 일자리의 축적된 경험이 친환경·저탄소 부문에서 더욱 효과적으로 활용될 수 있도록 구조조정과 직무전환을 지원할 필요가 있다. 또한, 직무전환과 이직 및 전직 등 노동이동이 원활하게 이뤄지도록 노동시장의 유연성을 확대함으로써, 그린 잡의 편재성(ubiquity)을 확대할 필요가 있다. 이와 함께, 그린뉴딜 추진에 따른 긍정적·부정적 영향과 관련한 주요 데이터 및 증거를 축적하고 공유함으로써, 에너지/자원 효율화와 친환경 에너지 기반 산업구조로의 재편이 일자리와 사회적 측면에서 편익이 크다는 신호를 지속적으로 제공할 필요가 있다.

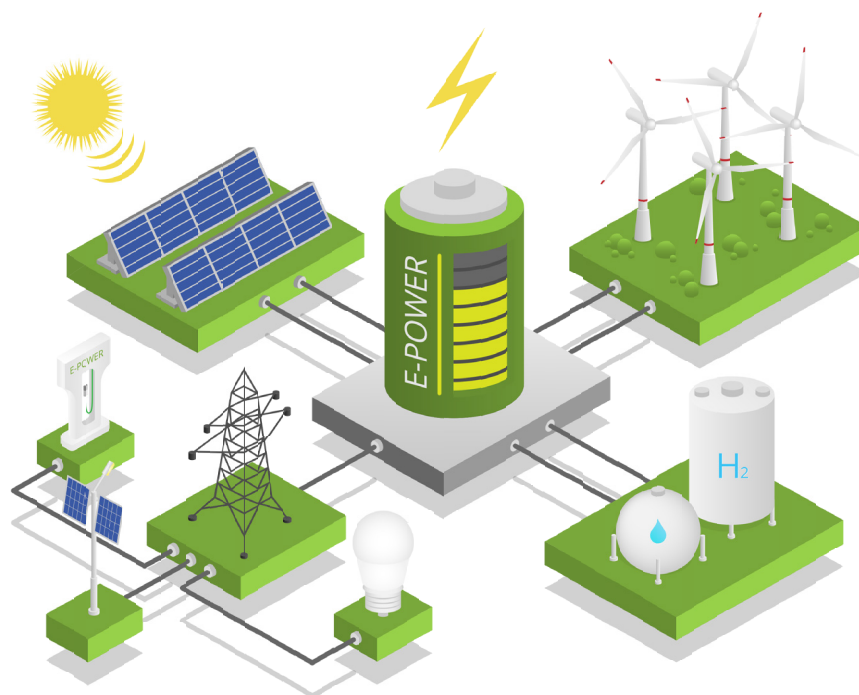
이상 언급한 주요 정책적 노력을 바탕으로, 그린뉴딜 추진에 따른 ‘포용적 구조전환(inclusive transition)’을 도모할 필요가 있다. 하지만, 정부가 발표한 그린뉴딜 정책 내 일자리 창출 목표치 설정에는, 산업 및 에너지 구조 재편에 따른 손실과 기회비용에 대한 세심한 고민이 포함되어 있지 않은 듯하다. 그린뉴딜을 통해 실업 문제 자체가 저절로 해결되는 듯한 인상을 주고 있어, 정책 추진에 대한 집합적 노력 결집에 잠재적 한계가 있어 보인다. 이는, 그린뉴딜이 특정 집단을 중심으로 이루어지는 것이 아니라, 기업, 산업, 국민, 그리고 정부 모두가 뉴딜 추진에 따른 긍정적·부정적 영향에 대한 공감대를 형성하고, 공통된 목표와 가치를 결집할 필요가 있음을 시사한다. 특히, 그린뉴딜로 인해 새롭게 창출될 일자리, 사라지거나 대체될 일자리, 그리고 직무 프로파일(occupational profile)이 변화하는 일자리 전망을 바탕으로, 경제체제 내 새로운 사회적 계약을 형성하고 제도적 정비를 이뤄낼 필요가 있다.

참고문헌

- Altenburg, T., & Assmann, C. (2017). Green industrial policy. Concept, Policies, Country Experiences. Geneva, Bonn: UN Environment.
- Alvarez, G. C., Jara, R. M., Julian, J. R. R., & Bielsa, J. I. G. (2009). Study of the effects on employment of public aid to renewable energy sources. Universidad Rey Juan Carlos.
- ILO. (2019). Promoting Green Jobs: Decent Work in the Transition to Low-carbon, Green Economies. The ILO@ 100, 248-272.
- Morris, A. P., Bogart, W. T., Dorchak, A., & Meiners, R. E. (2009). Green jobs myths. Missouri Environmental Law & Policy Review 16(2), 326-473.

2. 그린뉴딜과 산업생태계

이슬기 산업연구원 부연구위원, sulkilee@kiet.re.kr



그린뉴딜은 기존의 탄소 기반 경제에서 저탄소 녹색 경제로 전환하는 과정에서 일자리 창출 등 경제성장을 동시에 추구하는 개념이다. 2020년 하반기 포스트코로나 3대 정책 기조 중 하나로 추진되었으며, 2025년까지 총 73조5천억 원을 투자해 일자리 65만9천 개를 창출하는 것을 목표로 한다.

그린뉴딜의 목표처럼 온실가스 배출량을 줄이며 동시에 양질의 일자리를 만들어내는 것은 매우 어려운 일인데, 그 까닭은 다음과 같다. 산업 부문은 국가 온실가스 배출량의 절반 이상을 담당하는 주요 배출원으로

온실가스 감축을 위해서는 제조업의 녹색화가 필수적이다. 하지만, 우리나라는 온실가스가 많이 배출되는 철강, 석유화학 등의 소재산업이 발달해 저탄소화는 필연적으로 해당 산업의 비용증가로 이어져 고용에 악영향을 미칠 수 있다. 따라서, 경제활동의 위축을 최대한 피하며 온실가스 배출량을 줄이기 위해서는 주력산업의 녹색화와 더불어 녹색산업의 성장이 필요하다. 신재생에너지산업은 녹색산업의 대표적인 사례로, 산업의 육성이 사회의 저탄소화로 곧바로 이어진다는 특징을 지닌다.

정부도 이러한 인식하에 신재생에너지 보급 확대를 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 그린뉴딜의 핵심내용 중 '저탄소·분산형 에너지 확산'은 신재생에너지 보급의 확산을 주요 내용으로 하며, 이 분야에만 2025년 까지 35조8천억 원을 투자해 일자리 20만9천 개를 창출하겠다고 밝혔다. 「재생에너지 3020 이행계획(17.12)」에서는 2030년 신재생에너지 발전량 비중 20%라는 목표를 설정했고, 최근 발표된 「제9차 전력수급 기본계획(20.12)」에서도 2030년 신재생에너지 발전량 비중 목표 20.8%를 달성하여 전환부문 온실가스 배출량을 2017년 대비 23.6% 감축하겠다고 밝혔다.

이렇듯 발전원으로서 신재생에너지의 비중을 확대하기 위한 적극적인 노력이 이어진 반면, 신재생에너지 산업의 부가가치 및 고용 창출에 대한 정책적 고민은 상대적으로 부족했다. 신재생에너지 발전용량이 확대된다 하더라도 국내 산업이 발달하지 못해 주요 부품이나 건설기술 등을 수입에 의존한다면 신산업 성장으로 인한 부가가치, 고용, 수출 증가와 같은 경제적 파급효과를 기대할 수 없다. 녹색산업 육성을 통한 고용창출이라는 그린뉴딜 목표 달성을 위해서는 결국 신재생에너지 산업 활성화가 필요하다는 점에서 이는 반드시 극복해야 할 지점이다.

그간 신재생에너지 산업화 및 신성장동력화 성과를 추정하고 나아가 육성 전략을 마련하기 위한 시도들이 미흡했던 근본적인 원인은 산업의 경제적 현황을 파악할 방법이 제한적이었기 때문이다. 이에 이슬기·길은선(2021)²⁾은 빅데이터 텍스트분석을 통해 태양광과 풍력산업의 산업밸류체인을 추정하는 새로운 방법론을 개발했다. 태양광과 풍력은 정부 계획상 2018~2030 신규 설치 신재생에너지 중 97%를 차지하는 주요 신재생에너지원으로 그 중요성이 점차 증대될 전망이다. 이 점에서 분석 대상으로 선정되었다. 산업밸류체인은 연구개발, 제조(소재, 부품·장비), 유통, 건설, 발전, 기타서비스로 구성되어 각 단계별 사업체 수, 고용, 매출액 등을 분석했다.

태양광 산업은 사업체 수의 측면에서는 건설과 발전업이 다수이지만, 매출액 비중은 건설, 발전업과 더불어 제조업이 우세하다. 반면 대부분의 고용은 건설과 제조업에서 발생하고 있다. 2018년 기준으로 제조업과 건설업의 고용 비중은 전체 밸류체인의 약 80% 수준이었다. 고용이 사업체의 수 보다는 매출액의 규모와 더욱 긴밀히 연동하여 변하고 있으므로, 일자리 창출을 위해서는 태양광 발전의 후방산업에 해당하는 제조업과 건설업의 매출 증가를 위해 노력해야 한다.

풍력 산업은 태양광 산업과 비교해 사업체 수가 1/10 규모이지만, 업체들이 밸류체인 전반에 걸쳐 비교적 고르게 분포하고 있다. 매출액은 유통의 비중이 가장 큰데, 이는 핵심 소재 및 부품의 국산화율이 낮은 상황을 방증한다. 고용은 태양광과 마찬가지로 제조업과 건설업에서 크게 나타났다.

그린뉴딜이 진정한 의미에서 포용성장으로 이어지기 위해서는 국내 신재생에너지산업의 발달이 반드시 동반되어야 한다. 그리고 주요 신재생에너지원인 태양광과 풍력 산업에서 양질의 일자리를 만들어내기 위해서는 다음과 같은 사항들을 고려해야 한다. 첫째, 태양광 산업의 고용 창출을 위해서는 제조업과 건설업의 성장이 필요한데, 최근 태양광 산업 밸류체인 내 부품제조업의 성장세가 매우 둔화되어 이를 해결하기 위한 전략 마련이 시급하다. 둘째, 풍력 산업은 유통업의 매출 비중이 비대하므로 국산화율을 높이고 제조-건설-발전에 이르는 에너지밸류체인의 코어를 집중적으로 육성해야 한다.

2) 이슬기·길은선(2021) 「빅데이터 분석을 이용한 신재생에너지산업의 규모 추정」, 산업연구원 연구보고서

3. 그린뉴딜과 R&D

김 선 재 한국과학기술기획평가원 연구위원, sjkim@kistep.re.kr



그린 뉴딜의 실현은 본질적으로 기후변화 대응과 에너지 전환을 전제로 하고 있으므로 과학기술적 해결방안이 유효하다. 특히 에너지·모빌리티 인프라 운영 시스템의 본질적 변화에는 신재생 에너지, 스마트 그리드, 탄소 저감을 비롯한 다양한 기술적 수요가 요청된다. 그러므로 연구개발 투자는 이러한 과학기술적 해결 요청에 효과적으로 대응 가능해야 한다.

이러한 과학기술적 대응에는 산업생태계의 포괄적 참여가 요청된다. 그린 뉴딜의 취지는 단지 탄소중립과 그린에너지 확대를 위한 기술적 난제 극복에 국한되지 않는다. OECD와 한국판 뉴딜 전략 등은 저탄소 경제로의 전환에 다양한 이해관계자의 참여가 중요한 요소임을 명확히 인지하고 있으며, 이는 산업구조 변화와 삶의 질 향상이 연관된 기업과

노동자에게 새로운 기회를 제공해야 함을 시사한다. 따라서 그린 뉴딜이 지향하는 혁신은 녹색 기술에 연관된 연구자와 산업계뿐 아니라 신규 참여나 전환이 가능한 다수를 포용하는 형태로 이루어져야 한다.

이러한 측면에서 그린 뉴딜의 과학기술적 방안은 ‘포용적 성장’과 매우 밀접한 연관이 있다고 할 수 있다. 에너지 분야의 장기적 미래사회 플랜이 기술과 인력을 공급하는 과학기술 생태계의 준비 수준과 무관하게 진행될 수 없다. 정부 차원에서의 연구개발 투자는 기술적 수월성 확보와 더불어 다수의 참여를 통한 형평성과 일자리 창출까지 목적에 두어야 할 것이다. 그렇다면 이러한 포용적 가치 구현은 구체적으로 어떠한 요소를 고려함으로 이루어질 것인가?

크게 세 가지 접근 방안이 유효할 것이다. 우선 기술 혁신에 흔들림 없는 투자가 이루어져야 한다. 이것은 제로 에너지화, 녹색 생태계 구현, 물 관리 체계 등 정책에 명시되어있는 주요 내용들이 선언적 가치에 그치지 않고, 산업과 생활 인프라 전반의 혁신을 표방하기 위해 매우 중요하다. 과감한 기후변화 대응의 필요성에 다수가 공감하더라도 이를 위해서는 기술적 불확실성과 경제성에 대한 의문 해소가 수반되어야 하며, 특히 원천기술 확보를 위한 중장기적 연구개발은 정책 변화에 무관하게 지속적으로 투자되어야 한다. 대표적으로 공급기술 혁신, 차세대 전력계통, 그린 수소, 에너지 잠재량 확충 및 저장·안정성 확보 등은 반드시 해결해야 할 기술적 난제라 할 수 있다. 수준높은 원천기술을 확보 가능한 연구자는 일부 선두그룹으로 제한될 수 있으나, 기술적 난제 해결과 산업적 가능성 확보는 정책 구현 가능성을 높일 뿐 아니라 유관 산업의 참여가능성을 제고하는 등 보다 높은 파급효과를 불러올 수 있다.

둘째, 다수의 산업생태계 참여를 유도하기 위한 기술적 방안이다. 이는 그린뉴딜 정책적 투자의 편익에 대한 다수 분배 원칙이라 할 수 있다. 우선 기술 포트폴리오 전환을 통해 그린 뉴딜 참여에 참여하고자 하는 기업에 대한 기술 공급이 필요하다. 자금지원 중심의 연구개발을 통해 일시적 성장을 도모하는 것이 아니라, 인력-기술-성과-재투자의 인과 관계가 지속되도록 혁신 포트폴리오를 구성해야 한다. 동시에 기존 기반 기술을 확장·응용하여 참여하고자 하는 기업을 위한 기술 지원도 고려되어야 한다. 경량 소재, 뿌리기술, 제어부 등 범용성이 높은 소재·부품 분야가 이에 해당된다. 이를 위해서는 산학연 기술보유 주체와 이를 수요로 하는 기업의 공동 참여 연구개발이나, 최종 수요처(기업, 공공)와 연계된 형태의 연구개발 형태가 유효할 것이다. 기술적 지원에는 원천 기술 공급, 핵심인력 교육 뿐 아니라 시설과 인프라에 대한 투자가 연계됨으로써 향후 가속화될 탄소중립 사회의 혁신역량을 내재화할 수 있을 것이다. 중요한 것은 기후변화 대응을 위한 수요기술 마련을 위한 면밀한 기술적 플랜과 더불어 이를 확보하고자 하는 기업의 자체적인 연구개발과 혁신 의지이다.

셋째, 실증과 공공수요를 통한 기술-산업 선순환 구조의 혁신이다. 녹색 기술이 산업적 성과로 이어지는 경로를 단축시키기 위해서는 효과적인

실증을 통해 수용성을 제고함으로써 사업화에 다가가야 한다. 개발 단계의 기술은 최종 수요처 또는 유사 환경에서의 실증 방안을 고려해야 하며 필요시 공공 수요와 연계된 기술개발과 실증도 고려할 수 있다.

결언하자면, 그린 뉴딜은 기후변화와 환경오염 등에 영향 받는 국민 생활 전반의 개선을 이룰 수 있으므로 본질적으로 포용적 성장의 가치에 맞닿아있다. 연구개발 측면에서의 구현은 지속가능한 기술혁신이 포용적 성장 하에서 가능하다는 인식과 더불어 변화에 대응 가능한 기술적·인적 자원을 신속히 내재화하고자 하는 참여주체의 의지가 함께 요구된다.

Q&A



(송창현) 여영준 부연구위원님, 친환경·저탄소 중심의 정책 추진은 화석 연료 기반 산업에서의 일자리 위축을 가져올 수 있다고 하셨는데, 그중에서도 고속련 일자리보다는 저속련 일자리의 대체 가능성이 더 높을 것으로 예상됩니다. 이러한 저속련 근로자를 대상으로 한 업스킬링 및 리스킬링에서 특히 주의를 기울여야 할 점이 있을까요?

(여영준) 주목할 점은 ILO(2019)가 지적한 바와 같이 탄소집약적 산업에 종사하는 저속련 노동자들의 근로환경과 임금수준이 친환경 산업에 비해 상대적으로 열악하다는 점입니다. 따라서 ‘그린 잡’을 창출하기 위한 정책을 추진하기에 앞서, 고용안정 성과 임금(소득) 수준 등 측면에서 현재 수준보다 더욱 향상될 수 있다는 경제사회적 신호를 지속적으로 제공할 필요가 있다고 생각합니다. 그리고, 교육 및 훈련기관은 저임금 근로자들의 직종 전환 경로(green pathway)를 체계화하고, 직업교육 훈련 프로그램 내 반영함으로써 숙련향상을 뒷받침할 필요가 있다고 생각합니다.

(송창현) 친환경 저탄소 산업으로의 이행이 가속화됨에 따라 기존 산업에서의 고용 수요가 이전과 달라질 것이고, 이는 필연적으로 기존 산업 근로자들의 저항을 야기할 것 같습니다. 이러한 사회적 비용을 최소화 하기 위해서는, 그린뉴딜의 일자리 정책이 보다 장기적인 관점에서 사회적 합의를 거쳐 수립되어야 하지 않을까 싶습니다. 이와 관련하여 덧붙이고 싶은 의견이 있으신가요?

(여영준) 정부의 역할이 중요하다고 생각합니다. 정부는 그린뉴딜 추진에 따라 위축 또는 대체될 산업과 직종의 영향에 대한 중장기적 전망을 이행 하고, ‘탈탄소 직종 전환 로드맵’ 마련을 위한 협의의 장을 제공할 필요가 있겠습니다. 로드맵 수립 과정에서는 정부, 산업계, 노동계, 교육기관 등 다양한 주체들이 참여하여, 객관적 전망치와 축적된 데이터를 바탕으로 합의형성을 도모할 필요가 있다고 생각합니다. 전략적 파트너십에 기반한 로드맵 도출을 바탕으로, 산업구조 재편과 그린잡 창출 간 선순환 체계를 형성해야 할 것입니다.

(송창현) 이슬기 부연구위원님께서도 질문을 드리고자 합니다. 신재생에너지를 비롯하여 친환경 저탄소 산업은 성장 잠재력이 높고 정책적으로도 추진의 당위성이 존재했음에도 불구하고, 언제나 시장실패의 가능성이 큰 산업군이었습니다. 지금까지의 신재생에너지 산업 육성이 더땠던 근본적인 이유는 무엇일까요? 또 지금은 어떤 점에서 좋은 기회가 될 수 있을까요?

(이슬기) 신재생에너지 산업 중에서도 풍력산업이 그간 성장이 더땠던 주된 원인은 크게 다음과 같은 내용들이 지적됩니다. 첫째, 주민 수용성 문제입니다. 소음, 경관 훼손, 어업 영향 등에 대한 우려로 인해 그간 많은 해상풍력 프로젝트들이 사업 추진이 지연되거나 좌초되어왔습니다. 주민 수용성 부족은 사업 기간 연장을 넘어, 사업의 불확실성과 비용을 증가시켜 투자환경을 악화시킴으로써 산업화 및 정책 수립 지연으로가

지 이어질 수 있습니다. 둘째, 산업생태계가 형성되지 못했다는 점입니다. 주민 수용성 문제로 시장 형성이 늦어지면서 참여 주체의 역량과 경험에 쌓이지 못했으며, 많은 개선이 이루어졌음에도 불구하고 여전히 증속기, 발전기, 블레이드 등의 핵심부품은 국산화율이 낮은 수준에 머물러 있습니다. 셋째, 발전단가 및 초기 투자비용이 많이 들어 투자유인이 부족했습니다. 해상풍력은 1MW당 수십억 원의 자금이 소요되며, 개별 단지가 100~1,000MW급으로 구성된 대형 사업입니다. 이러한 문제점을 인식하고 정부는 “육상풍력 발전 활성화 방안(2019)”, “해상풍력 발전 방안(2020)” 등의 정책을 펴며 적극적인 보급 의지를 피력하고 있습니다. 탄소중립 등 저탄소 친환경 기조로 신재생에너지, 그 중에서도 태양광과 풍력의 중요성이 그 어느 때보다도 커져가는 지금 이 보급 확대의 기회라고 생각합니다.

(송창현) 김선재 연구위원님, 다수의 산업 생태계 참여자들을 유인하는 것도 포용적 관점에서 중요하다고 말씀하셨습니다. 그린뉴딜에 있어 ‘특정 선두집단’으로의 자원 집중을 통한 R&D와 ‘다양한 집단이 협업하는 R&D’를 비교하면 어떤 특징이 있을까요?

(김선재) 정책 구현이 선언적으로 그치지 않기 위해서는 기술적 한계 극복을 통해 산업으로 효과적으로 파급되어야 합니다. 창의적 접근을 통한 기술 한계 극복은 연구개발의 본질적 특징이기도 합니다. 여기에는 달성 시기와 투입요소, 구체적 목표가 우선 도출되어야 하며, 이를 수행하기 위해서는 선도적 기술과 선행 연구 등을 통해 검증된 선두집단 위주의 연구개발이 유효할 것입니다.

한편 협업 연구개발은 통한 공동 목표 달성은 도전적 과제 해결이라는 측면에서는 유사하겠으나 복수 집단의 참여를 유도 해나간다는 측면에서, 조정자 역할이 강조될 것입니다. 그린 뉴딜은 특정 산업에 한정된 개념이 아니므로 다양한 연구 참여자의 기술 준비 상황이 면밀히 파악되어야 하며, 이를 기반으로 구현 가능한 목표로 조정해나가는 과정이 요구될 것입니다. 특히 기획·추진체계의 물리적 연계가 아닌 화학적 결합을 이루고 조정하는 소통·협업의 프로세스와 롤링 플랜도 요청됩니다.

(송창현) 포용적 가치 구현을 위한 접근방법의 하나로 ‘공공수요를 통한 기술-산업 선순환 구조의 혁신’을 언급하셨습니다. 공공수요 중에는 공공조달(public procurement)의 비중도 상당히 클 것으로 예상되는데, 그린뉴딜을 위한 R&D 관점에서 공공조달을 활용하는 방법은 어떨지 박사님의 의견이 궁금합니다.

(김선재) 공공 조달은 정부가 직접 수요자가 되어 시장을 견인하는 개념으로 효율적인 성과 확산과 기업 성장 기여라는 장점이 있습니다. 시장 형성이 불완전한 녹색 기술의 참여기업의 입장에서 긍정적인 측면이 있을 것이며, 특히 효과적인 트랙레코드 확보 방안이 될 수 있습니다. 실행적 측면에서 여러 부작용이 있을 수 있으므로 단지 구매라는 결과로만 접근할 것이 아니라, 시장 안착을 위한 효율성 제고와 신뢰성 확보라는 중간 단계로 바라봐야 한다고 생각합니다. 우선 시장 수용성 확보가 완전히 이루어지기 전단계일 가능성이 있으므로, 안전성과 인증 등의 완결성 타진이 요구되며, 무역 분쟁, 기존 공급 산업 위협 등을 고려한 제도적 장치가 마련되어야 합니다. **kt**



예측과 융합의 한계에 도전하는 인공지능 연구

김 찬 수 안전증강융합연구단 선임연구원, eau@kist.re.kr

구 병 석 미래전략팀 연구원, koobs@kist.re.kr



코로나로부터 1년, 사회적 거리두기를 포함한 국가 방역 정책은 국민 삶 속에 깊숙이 자리 잡았다. 오르락 내리락하는 일일 확진자 수를 지켜보며, 의료진과 방역 당국은 오늘도 최선의 대응책에 고심하고 있을 것이다. 바이러스에 대한 최신 정보와 함께 시민들의 건강, 나이, 이동 경로에 이르기까지 정책 수립에 필요한 각종 정보는 날마다 생성, 갱신된다. 그 누구보다 이를 바쁘게 지켜보고 있는 사람, 아니 사물이 있다. IST (KIST's Individual Simulation for Transfer phenomena) Toolkit이라 명명된 시뮬레이션 모델은 지난 1년 넘게 이 모든 정보를 흡수, 코로나 확진 추세를 분석하며 방역 정책의 효과를 계산해왔다. 마치 날씨를 알려주는 일기예보와 같다. 다만 국민의 생명이

걸려있다는 점에서 최고의 정확성을 추구해야 하고, 무엇보다도 무거운 중압감을 떨쳐내야 한다. 인간에게는 어렵지만, 컴퓨터와 인공지능이 수월하게 해낼 수 있는 영역일 것이다.

지난 1년간, 김찬수 박사를 중심으로 KIST 연구진은 Toolkit 시뮬레이션을 통해 코로나 확산의 중요한 패턴, 위기 해결의 통찰력을 얻을 수 있었다. 무증상 감염자나 감염경로를 알 수 없는 '조용한' 전파 현상이 대규모 유행의 핵심 원인임을 밝혀낸 것이다. 이 결과는 마스크 쓰기, 5인 이상 모임 금지 등 각종 방역 정책에 힘을 실어줄과 동시에 시민들에게는 그 불편을 감내할 과학적 근거로 작용했다. 이러한 성과는 연구

| 그림 1. KIST 계산과학연구센터의 슈퍼컴퓨터 |



진이 과거 신종플루, 구제역 등 다양한 질병 확산에 대한 시뮬레이션 연구를 축적해왔기에 가능한 것이었다. 특히, 이번 위기에서는 사회적 거리두기 등 강력한 정책 효과를 예측하는데 더욱 정확한 분석이 필요했고, 오랜 시간 쌓인 연구 노하우가 마침내 빛을 발한 것이다.

KIST Toolkit은 질병을 옮길 수 있는 각 개체의 특징과 상호작용 방식 등 미시적 데이터를 합산하여 질병 확산이라는 거시적 현상을 예측해 낸다. 즉, 하나의 복잡한 현상을 단순한 부분으로 잘게 쪼개서 이해한다는 것이 기본 아이디어다. 단순한 개념이지만, 엄청난 양의 데이터와 계산을 처리하기 위해 인공지능의 사용은 필수적이다. 언젠가 새로운 전염병이 또 발생하더라도, 인공지능과 계산과학의 발전 덕분에 시뮬레이션 전략은 여전히 유효하며 더욱 정교해질 것이다. 그렇다면 더 정확한 예측을 위한 연구자의 고민은 무엇일까? 이 질문의 바탕에는 ‘계산’이라는 활동에 대한 다소 철학적이고 근원적인 문제가 깔려있다.

인간의 안내로 데이터를 학습하는 인공지능

컴퓨터를 이용한 시뮬레이션 모델은 기본적으로 데이터에 대한 적절한 ‘가정’과 ‘계산’이 맞물려 작동한다. 가정과 계산 과정을 설명하는 알고

리즘이 존재하면, 컴퓨터는 엄청난 속도로 이를 실행에 옮기게 된다. KIST Toolkit의 경우, 인구 이동과 같은 데이터가 주기적으로 업데이트되어 알고리즘에 입력된다. 어제의 데이터로 계산한 확진자 예상치는 오늘의 실제 숫자와 차이가 날 수 있지만, 이 오차를 반영하여 계산을 다시 수정할 수 있다. 따라서 내일의 예측값은 오늘의 데이터까지 반영되어 더욱 정확해질 것이다. ‘데이터 수집 → 계산 → 오차 확인 → 수정’ 과정을 반복하는 알고리즘 학습, 즉 머신러닝은 4차 산업혁명을 대표하는 필수 기술로 부상했다. 그렇다면 인간의 개입이 필요한 순간은 언제인가? 알고리즘이 학습하는 ‘방식’과 데이터를 해석하는 ‘관점’을 부여하는 것이 바로 연구자의 몫으로 남아있다.

알고리즘이 데이터를 통해 학습하려면, 먼저 데이터를 해석하는 방식에 대해 연구자의 ‘안내’를 받아야 한다. 예를 들어, 40대 서울 시민이 하루 평균 돌아다니는 이동 거리를 생각해 보자. 이 데이터가 확률적으로 어떤 성질을 갖는지, 인공지능의 학습 과정에서 어떤 의미로 해석되고 반영될지는 궁극적으로 사람의 판단이 필요하다. 간단하게 이 데이터가 정규분포를 따르는 (예를 들어, 평균 10km에 표준편차 $\pm 2\text{km}$ 가 존재하는) 변수라고 가정한다면, 정규분포가 갖는 통계적 성질 덕분에 인공지능의 학습 과정을 상당히 단순화할 수 있다. 그러나 지금까지 네트워크 과학 및 복잡계 물리학의 발견에 따르면, 질병 전파와 같이

‘복잡한’ 네트워크 상에서는 많은 변수가 정규분포처럼 단순한 특징을 보이지 않는다.

질병 확산 외에도 전력망과 금융망의 연결구조, 지각판의 움직임까지 현실 세계에 존재하는 대다수 네트워크는 복잡계의 특성을 가지고 있다. 이들의 공통점은 대규모 정전, 지진, 팬데믹, 금융위기와 같이 발생 가능성은 희박하지만 한 번 발생하면 엄청난 충격을 가져오는 극단적인 사건, 즉 ‘X-이벤트’가 종종 나타난다는 것이다. X-이벤트가 만약 정규분포의 세계에서 발생한다고 가정하면, 그 확률은 현실에서 목격되는 수준보다 훨씬 더 작아야 한다. 그러나 실제로 발생하는 X-이벤트의 빈도와 충격은 정규분포로 이해하기에 너무나 크다. 확률 분포의 특징을 가늠할 ‘척도’(즉, 평균이나 표준편차)가 없다는 의미에서, 물리학에서는 이를 가리켜 척도 없음(scale-free)이라고 부른다. 이러한 네트워크에서는 인공지능이 척도 없는 확률을 이해할 수 있도록 알고리즘의 수정이 필요하다. 즉, 데이터가 내포하는 확률적 속성(또는 그것을 해석하는 연구자의 판단)에 따라 인공지능의 학습 방식도 달라지게 되는 것이다.

블랙스완을 설명하는 인공지능은 가능한가?

반면, 어떤 변수가 특정 확률 분포를 따르지 않는다고 판단할 수도 있다. 확률이라는 개념을 통해 도저히 설명되지 않는 사건이 간혹 발생하기도 한다. 역사상 최악의 정전사태 중 하나인 2003년 미국 북동부 대정전은 예상치 못한 사건에서 시작됐다. 송전 시스템의 미세한 버그 때문에 과부하를 일으킨 전선 하나가 바람에 흔들리는 나무와 접촉했던 것이다. 네트워크와 무관해 보이는 임의의 외부 요소가 때로는 엄청난 파급효과를 몰고 오게 되는데, 과거의 경험이나 데이터를 통해 그 확률적 의미를 추론하기 어려운 사건은 불확실성(uncertainty)의 베일에 가려져 있다. 완전한 미지의 영역, 불확실성의 존재는 데이터를 통해 학습하는 알고리즘의 근원적인 한계를 암시한다. 데이터란 본질적으로 우리가 이미 경험한 세계, 과거에 발생한 사건의 흔적이며, 확률적 의미를 갖는 정보와 단순한 불확실성이 서로 뒤섞여 있기 마련이다. 불확실성에 대한 연구자의 적절한 ‘안내’가 없다면, 알고리즘은 그것을 무시하거나 엉뚱한 방식으로 해석하여 잘못된 계산과 학습만 반복하게 될 뿐이다.

과거의 반복된 경험은 인간이 세상을 이해하는 중요한 방식이다. 이러한 귀납적 추론 능력을 자동화한 것이 인공지능의 핵심이다. 18세기, 호주 대륙에서 흑고니(블랙스완)가 발견되기 전까지 사람들은 고니를 모두 하얀 ‘백조’로 인식했다. 아주 뾰얏든 약간 떼가 묻었든 정도의 차이는 있지만 ‘통계적으로’ 하얗다고 결론 내리기엔 충분했다. 당시에 고니의 생김새를 보고 그 형태를 학습하는 인공지능이 있었다면, 연구자는 고니가 흰색을 중심으로 정규분포를 따른다고 무리 없이 가정했을 것이다. 이러한 판단과 과거의 데이터를 결합해 학습을 거듭한 인공지능은 훗날 발견될 흑고니(블랙스완)를 예견할 수 있었을까? 흑고니의 출현은 사람에게조차 확률적, 통계적 의미를 벗어나는 사건이었다.

이러한 불확실성에 대한 추론(reasoning) 능력을 높이는 것이 과연 가능할까? 과거의 데이터에 의지하는 인공지능에게 불확실성을 가르친다는 것은 상당히 모순적으로 들린다. 바로 이 모순을 돌파하는 것이 인공지능 연구자에게는 미래의 궁극적인 도전이 될 것이다. 현재 김찬수 박사 연구팀의 중요한 목표 중 하나는 이러한 불확실성을 고려할 수 있는 알고리즘 학습 전략을 수학적으로 탐구하는 것이다. 블랙스완을 예측하지 못한 인공지능처럼 데이터에 기반한 학습은 ‘편향되고 제한된’ 답을 제시할 수 있다. 불확실성의 완전한 극복은 먼 미래의 일이겠지만, 현재는 불확실성을 고려하여 답을 ‘보정하고 확장’할 수 있는 기준을 제시하기 위해 관련 연구가 진행 중이다. 연구자의 안내에 따라 인공지능이 수용할 수 있는 불확실성의 영역이 넓어지면, 언젠가 복잡계를 바라보는 우리의 관점도 완전히 달라질 수 있다. 또한, X-이벤트를 예측하고 대응책을 마련하는 데에도 한 걸음 가까워질지 모른다.





계산과학이 탄생시킨 새로운 연구, 새로운 융합

KIST의 연구진들은 인공지능과 계산과학에 대한 근원적인 이해를 추구하면서 동시에 연구의 실용적 가치에 대해서도 깊이 고민해왔다. KIST Toolkit이 수행한 정책 시뮬레이션 분석이 대표적인 응용 분야다. 시뮬레이션은 어떠한 정책적 수단에 대해 가상의 실험을 가능케 하는 테스트베드로서 활용 가치가 있다. 예를 들어 사회적 거리두기 강도를 높이면 시민들은 어떻게 대응하고 확진자는 얼마나 줄어드는가, 금융 규제가 완화되면 경제 주체는 어떤 의사결정을 내리고 리스크는 어떻게 퍼져나가는가, 하는 질문에 통찰력을 제공한다. 데이터를 확보하고 인공지능을 학습시킬 수 있다면, 질병 확산이나 금융 시장 외에도 다양한 네트워크에 대한 정책 실험이 가능해진다. 시뮬레이션은 물리적 형태를 갖는 하드(hard) 테크놀로지가 아니라 의사결정 또는 전략수립 과정에서 정교한 분석틀을 제공하는 소프트(soft) 테크놀로지라고 할 수 있다. 소프트 테크놀로지로서 갖는 장점 중 하나는 다양한 변수를 삽입하여 분석을 유연하게 확장할 수 있다는 것이다.

현재는 감염병 추세 예측과 더불어 국민 경제의 편익까지 동시에 고려할 수 있는 ‘종합적’ 방역 정책 시뮬레이션 연구가 진행 중이다. 질병 확산과 경제 활동이라는 두 가지 복잡한 네트워크를 이중으로 분석할 수 있을 정도로 모형을 확장하는 것이다. 경제적 손실에 대한 데이터 수집과 해석 등 여러 난관이 존재하지만, 이를 극복한다면 경제적 타격을 최소화할 수 있는 초정밀 방역 정책이 가능해질 것이다. 나아가, 확장된 시뮬레이션은 다양한 변수 간의 예상치 못한 관계를 찾아낼 수도 있다. 예를 들어 전염병 확산으로 경제적 불평등이 심화되고 있다는 우려에 대해 그 정확한 메커니즘을 규명할 수 있다. 또는 고용 형태나 산업 구조에 따라 방역 정책이 촉발하는 불평등 요소가 무엇인지 새로운 사실관계를 밝혀낼 수도 있다. 전 세계적으로 다양한 코로나 시뮬레이션이 개발되었지만, 경제와 방역의 이중 분석 모형은 여전히 도전적인 숙제로 남아 있다.

한편, 계산과학은 소재, 바이오, 의료기술 등 KIST에 존재하는 여러 하드 테크놀로지와 폭넓게 결합할 수 있다. 거시적 현상을 미시적 수준에서

잘게 쪼개어 분석한다는 전략은 다양한 분야에서 기술적 돌파구를 마련할 수 있다. 대규모의 실험/계산 데이터가 축적됨에 따라, 인공지능은 인간의 사고를 보조하는 역할을 넘어 새로운 규칙이나 법칙을 찾는 데에도 활용되고 있다. 즉, 실험 → 이론 → 시뮬레이션 순서의 전통적인 과정을 따르지 않고, 미시적 데이터와 계산에 기반한 귀납적 모형(Data-driven modelling) 설계가 가능해진다. 분자의 배열 구조에 따른 소재의 물성, 아미노산의 결합 위치나 순서에 따른 단백질의 기능, 세포의 감염과 면역 체계에 이르기까지 적용 가능한 분야는 계속 확대 중이다. 새로운 R&D 패러다임을 향한 전 세계 경쟁도 매우 치열하다. 계산과학을 통한 새로운 연구 방법론은 소프트-하드 테크놀로지의 경계를 무너뜨리며, 융합연구의 강력한 촉매제로 자리 잡았다. 융합연구는 인공지능이 고려해야 할 데이터의 한계를 새롭게 밝혀내고, 계산과학의 새로운 방법론을 유도하고 있다. 즉, 계산과학은 타 분야에 일반적으로 적용되는 게 아니라 서로 상호보완적인 관계로 발전하는 중이다.

최근에 수행된 몇 가지 융합연구 사례를 들여다보면, 패러다임의 변화를 쉽게 감지할 수 있다. 먼저 데이터 기반 광촉매 설계 연구가 있다. 태양광을 통한 수전해 수소생산, 인공 광합성 등 광촉매 연구가 추구하는 미래 기술은 그야말로 막대한 파급력을 창출할 것으로 예상된다. 하지만 촉매 주변에서 발생하는 복잡한 광화학 반응을 분석하고 예측하는 것은 상당히 어려운 난제로 남아있다. 여기서 계산과학적 방법론은 전자의 이동과 전달, 표면 흡착 구조 등 복잡한 다중 척도(multi-scale) 현상을 이해하는 데 매우 유용하다. 기존에 알려진 화학 반응의 각종 데이터를 수치화하여 원하는 물성을 도출할 수 있는 촉매 최적화 알고리즘도 특히 중요하다. 이를 통해 원자-나노 수준에서 해석한 촉매 반응을 소자-시스템 수준에 적용하는 데 드는 비용과 시간을 크게 절감할 수 있다. 실험을 통한 시행착오(trial and error) 방식에서 벗어나, 계산에 기반한 촉매 설계가 가능하기 때문이다. 앞으로 계산 결과를 지속적으로 축적하여 광촉매 데이터베이스가 구축되면, 국제적 기준에 맞게 규격화하고 공개함으로써 막대한 파급효과를 창출할 수 있을 것이다. 데이터라는 새로운 형태의 원천기술이 새로운 연구 패러다임을 통해 탄생하고 있다.

인공지능을 활용한 암 재발 가능성 예측 연구 역시 흥미로운 사례다. 암 진단과 치료를 받은 환자가 장기적으로 건강을 유지하고 생존율을 높일 수 있도록 암 재발/전이에 대한 효율적인 관리가 매우 중요하다.

이를 위해 환자의 생활 요인, 건강 지표, 유전 정보, 임상 기록 등 수많은 변수를 습득하여 암 재발 현상을 학습하는 인공지능을 개발할 수 있다. 계산과학의 핵심 역할은 알고리즘 설계에 있지만, 데이터 입력과 결과 검증에 이르는 학습의 전 과정에서 다각적인 협력이 반드시 필요하다. 예를 들어, 국민건강보험공단, 국립암센터 등 공공영역에서 일괄적으로 축적되는 자료와 개별 민간 병원에서 수집되는 영상자료, 유전정보 등 임상 데이터를 모아 하나의 플랫폼에서 결합하고 처리해야 한다. 수많은 정보 중 의학적으로 의미 있는 변수와 인과관계를 왜곡할 수 있는 교란 변수를 구분하기 위해서는 임상 의학의 지식도 요구된다. 마지막으로, 인공지능의 수리적 계산 성능을 평가하기 위해 전통적인 통계적 예측 모형과 비교분석도 필요하다. 이처럼 새로운 패러다임의 등장은 새로운 차원의 협력을 유도하고 있다.

이해와 응용의 경계를 허물며 나아가다

오늘날 기초연구와 응용연구의 구분은 익숙한 것이지만, 과학의 역사를 돌이켜보면 종종 자연에 대한 근본적인 이해와 실용적인 가치 창출이 동시에 달성된 사례가 등장한다. 미래에는 이해와 응용의 경계를 허무는 데 계산과학이 중요한 축을 담당할 것으로 기대된다. 데이터를 이해하는 렌즈이자 예측과 융합을 위한 도구로서 계산과학은 본격적인 발전 궤도에 올랐다. 다양한 분야에 걸친 계산과학적 목표, 융합과 협력의 가능성이 산적한 KIST는 그 무궁무진한 잠재력을 발휘하는 데 최적의 환경이다. 축적의 시간이 지나면, 그 끝에는 완전히 새로운 형태의 원천기술이 기다리고 있을 것이다. 앞으로 KIST 연구진의 도전이 기대되는 이유다. 



혁신을 위한 공공조달, 다양한 역할에 주목하자

Dai, X., Li, Y. & Chen, K. (2021). Direct demand-pull and indirect certification effects of public procurement for innovation. *Technovation*, 101, 102198.

송창현 미래전략팀 연구원, ch.song@kist.re.kr

연구의 배경

공공조달(public procurement)은 가장 큰 소비자인 정부 및 공공기관 등이 민간의 재화와 서비스를 구매하는 활동으로, 기존에는 중소기업 중심의 내수시장 활성화를 위한 정책 수단으로 활용되었으나 최근 들어 혁신을 촉진할 수 있는 방법으로 그 활용도와 중요성이 강조되고 있다. 주요 OECD 국가들에서 공공조달은 GDP의 약 10%를 차지하며, 우리나라의 경우 국내 공공조달 시장의 규모가 연간 120조 원으로 정부 예산의 약 30%에 달할 정도로 거대하다. 이런 큰 시장의 구매력을 활용함으로써 초기 혁신 제품(혹은 서비스)의 수요를 창출할 수 있으며, 이는 혁신기업이 성장할 수 있는 마중물 역할을 한다.

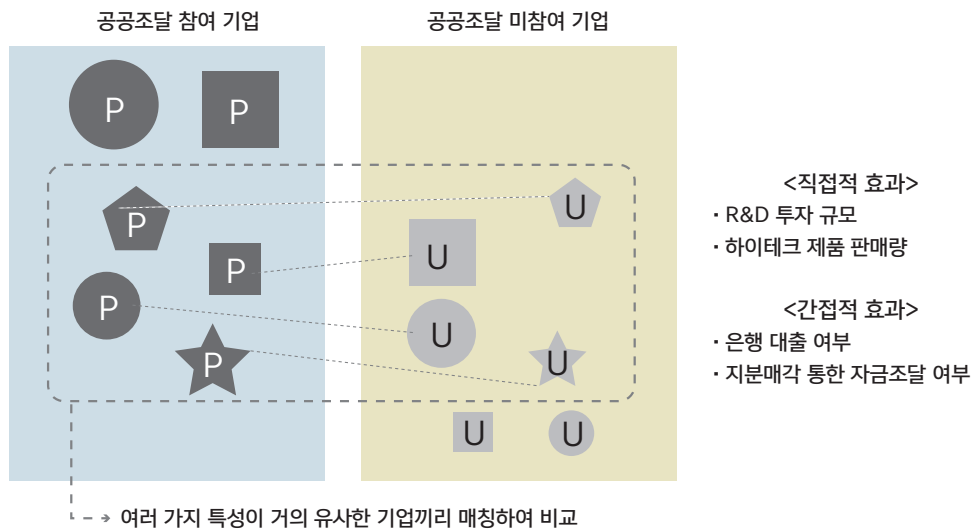
이처럼 공공조달과 관련한 학술적 논의는 주로 '수요 견인(demand-pull)' 관점에서 이루어져 왔다. 혁신기업들의 수요를 공공조달을 통해 충족시킴으로써 초기시장의 형성을 돕고 기업들의 추가적인 R&D 투자를 가능하게 한다는 논리다. 그런데 이러한 직접적인 효과 외에, 혁신 기술에 대한 일차적인 검증 역할을 함으로써 외부 자금 조달을 용이하게 하는 간접적인 효과도 존재할 수 있다. 본 연구는 공공조달이 기업 혁신에 영향을 미치는 메커니즘을 이처럼 두 가지로 구분 하였으며, 간접적 효과인 '인증효과(certification effect)'를 검증함으로써 공공조달의 다양한 역할을 재조명하고 있다.

분석과정과 결과

본 연구는 중국 베이징 사이언스파크에 입주해 있는 하이테크 기업을 대상으로 한 설문조사 데이터를 기반으로, 공공조달이 기업의 혁신성과에 미치는 영향을 실증분석하였다. 기업의 역량과 환경에 따라 공공조달에 참여할 수 있는 가능성이 다를 것으로 예상되기 때문에, 선택편의(selection bias)에 의한 결과 왜곡을 보정하기 위해 성향점수매칭(PSM: propensity score matching) 방법을 사용하였다.

2005년부터 2015년까지 26,932개 기업의 불균형 패널데이터를 표본으로 분석한 결과, 공공조달 참여는 기업의 R&D 투자와 하이테크 제품의 판매를 향상시키는 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 은행 대출(bank loan) 및 지분 매각을 통한 자금 조달(equity financing) 등의 가능성도 크게 높이는 것으로 나타나, 외부 자금으로의 접근 가능성도 향상시키는 것으로 확인되었다. 특히, 외부 자금 조달에 어려움을 겪는 작은 규모의 신생 기업일수록 공공조달 참여를 통한 '인증'이 더욱 효과적인 것으로 나타났다.

| 그림 1. 본 연구에서 사용된 성향점수매칭(PSM) 방법의 모식도 |



연구의 시사점

우리 산업의 대부분을 구성하고 있는 중소벤처기업들의 혁신 역량은 대기업이나 대학, 출연(연)에 비해 상대적으로 낮은 것으로 알려져 있다. 특히, 기업 투자를 위한 금융 시장이 잘 발달하지 못해 혁신적인 중소벤처기업들이 외부 투자를 유치하기가 매우 어려운 편이다. 따라서 공공조달의 간접적인 자금 유치 역할을 강화할 수 있다면, 중소벤처기업들의 경쟁력 강화에 큰 도움이 될 것이다. 정부는 지난 2019년 7월, 혁신 기술이 적용된 제품과 서비스의 공공구매를 촉진하기 위해 ‘혁신지향 공공조달 방안’을 발표한 바 있다. 해당 안에는 공공조달의 혁신성을 강화하기 위한 다양한 세부 방안이 포함되었으나, 기업들의 장기적인 경쟁력 강화를 위한 고려는 미흡한 편이었다. 공공조달 시장으로의 참여를 까다롭게 제한하되, 참여에 따른 부가적인 혜택을 적절하게 설계함으로써 혁신적인 중소벤처기업들의 든든한 디딤돌이 되어야 한다. 뿐만 아니라 출연(연)을 포함한 공공기관에서는 민간의 자발적인 노력만으로는 불가능한 시장실패 영역에서, 적극적으로 공공조달 제도를 활용하여 혁신을 유도해야 한다. 혁신성과 성장 잠재력을 가진 작은 기업들의 제품을 우선적으로 검토하고 도입함으로써 건강한 혁신 생태계를 위한 초석을 다질 수 있다. ^{KLST}

정책의 근거로 활용도를 넓혀가고 있는 과학연구의 진화

Yin, Y., Gao, J., Jones, B. F., & Wang, D. (2021).
Coevolution of policy and science during the pandemic. *Science*, 371(6525), 128-130.

박 규 홍 정책기획팀 선임연구원, kyuhong.park@kist.re.kr

연구의 배경

지금까지 과학은 정책입안자들의 이해부족과 적용의 어려움 등으로 인하여 정책수립시 상당부분 소외되어 왔다. 심지어 과학자와 정책입안자는 두 별개의 공동체(two-communities)로 묘사되기도 하는 등 언어적·문화적 차이로 인하여 지식의 교류가 막혀있었다. 하지만 이번 COVID-19 팬데믹으로 인하여 과학적 사실에 근거한 정책의 중요도가 높아졌으며 과학기술에 대한 정책입안자들의 관심 또한 크게 늘어났다. 특히 과거엔 나라별로 공통된 분야에 관한 정책이 수립되기 어려운 환경이었지만 COVID-19의 경우 전 세계적인 어려움이자 화두였기 때문에 각국의 정책입안과 과학연구와의 연결을 확인할 수 있는 환경이었다. 특히 본 연구에서는 어떠한 종류의 과학 연구들이 정책보고서에서 다방면으로 활용되었는지를 데이터 분석을 통해 확인하고 있다.

분석과정과 결과

본 연구는 COVID-19가 모습을 드러낸 2020년 1월부터 5월까지의 기간 동안 출간된 각국의 정부기관 및 싱크탱크의 정책보고서에 대한 데이터를 활용하였다. 회귀분석 모형을 사용하였으며 정책보고서의 출처와 출간일, 인용 수 등을 통제한 모형을 활용해 과학연구가 정책보고서에 어떻게 인용되었는지에 대한 분석을 실시하였다. 결과적으로 다음과 같은 흥미로운 결과가 나타났다. 먼저 2020년 출간된 논문을 인용한 COVID-19 관련 정책보고서가 20%에 달했다. 일반적으로 출간된 지 1년 미만의 최신 논문을 인용하는 것은 이례적이며 타 분야에서의 사례에 비해 10배가량 높은 수치이다. 또한 초기에는 과학과 건강 분야에 한정된 인용이 대부분이었지만 WHO가 팬데믹을 선언한 3월을 기점으로 경제·노동과 사회전반에 대한 정책보고서에서의 연구 인용비중이 상승하여 5월에는 40%에 달하였다.

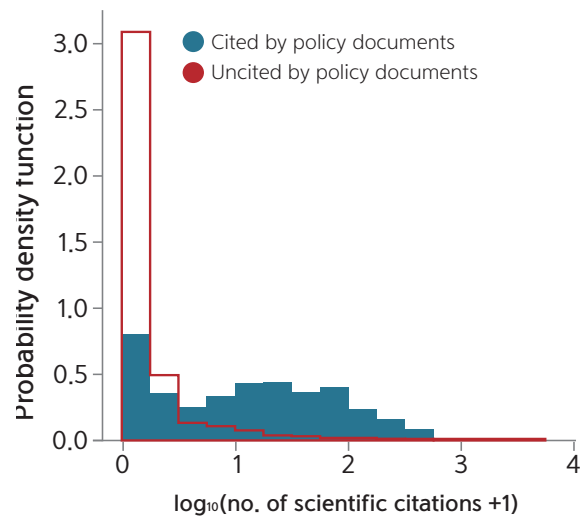
또한 정책보고서에 인용된 COVID-19 관련 논문의 경우 정책보고서에서 인용되지 않은 동일 분야의 논문보다 40배 정도 높은 인용수를 보였다. 이는 정책보고서에 인용된 논문들은 과학 분야에서 또한 더 많이 인정받은 연구였음을 확인할 수 있다. 추가적으로 인용된 논문들을 동료평가(peer-reviewed) 저널과 아닌 저널에 출간된 논문을 구분하여 본 결과 우수저널을 중심으로 동료평가저널에 출간된 논문의 비중이 압도적으로 높았다. 이는 최근 연구 트렌드 중 하나인 빠른 트렌드와 토론을 위하여 오픈저널을 활용하는 것보다는 정책입안과 같은 보수적 접근이 필요한 상황에서 동료평가 저널의 중요성을 보여준다.

마지막으로 과학적 연구를 인용한 정책보고서의 경우 그렇지 않은 경우보다 2배 이상 더 많이 인용되는 결과가 나왔으며 이는 과학적 연구의 인용이 정책보고서의 신뢰성을 높여줌을 보여주는 지표이다.

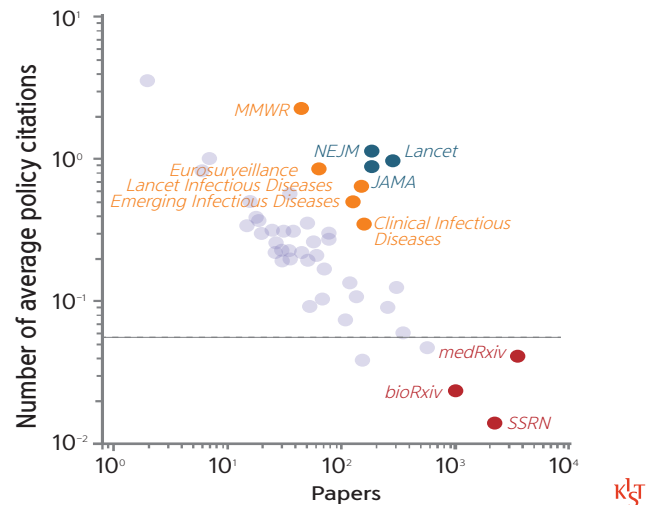
연구의 시사점

연구결과를 종합해 본 결과 COVID-19 시대의 정책보고서들은 더 최신의, 동료평가된, 높은 인용 수의 연구들을 적극적으로 인용하였음을 확인할 수 있었다. 이는 과학에 기반한 연구결과가 최근 정책에 빠르게 녹여지고 있음을 보여준다. 세계적으로 창궐한 COVID-19도 어느덧 1년이 넘는 시점에서 세계 각국은 팬데믹 대응 정책에 대한 성적표를 받아들이고 있다. 각국의 접근법에 따라 팬데믹을 효과적으로 통제하기도 하였으며 적절하지 못한 대응으로 인하여 많은 인명·경제적 피해를 마주하기도 하였다. 이 중 상당수는 정책 입안자들이 과학적 접근방법과 조언을 무시한 결과이기도 하다. 전 세계를 집어삼킨 COVID-19의 사례에서 보건·의료 관련 정책뿐만이 아니라 경제 등 사회전반에 대한 정책 수립 시 과학적 접근의 중요성이 커져가고 있다. 정책입안자들은 더 과학적 근거에 대한 관심을 높여야 할 것이며 과학자들은 연구결과와 사회경제적 가치로의 환원을 위한 소통을 위해 더 노력해야 할 것이다.

| 그림 1. 정책보고서에 인용된 논문들의 상대적으로 더 높은 인용률 |



| 그림 2. 정책보고서에서 더 높은 빈도로 활용되는 동료평가 논문 |



과학기술 학술 논문의 경제적 가치를 측정할 수 있는가?

Rousseau, S., Catalano, G., & Daraio, C. (2021).
Can we estimate a monetary value of scientific publications?. *Research Policy*, 50(1), 104116.

김 태 형 정책기획팀 선임연구원, kimth@kist.re.kr

연구의 배경

전 세계적으로 한 해 동안 출간되는 논문은 총 200만 건 이상이다. 그렇다면 이렇게 어마어마한 숫자의 논문들의 경제적 가치는 어떻게 측정 될까? 세상에는 Nature, Science, Cell처럼 누구나 한 번쯤은 들어본 저널에 출간되는 논문이 있는가 하면, 상대적으로 많은 주목을 받지 못한 채 발표되는 논문 또한 존재한다. 우수한 저널에 실리는 논문일수록 뛰어난 연구의 결과물이라는 것은 자명한 사실이지만, 그러지 못한 다른 논문에 비해서 상대적으로 얼마나 더 큰 가치를 가졌는지 측정하는 것은 매우 어려운 일이다.

연구소, 대학 등에서 수행되는 많은 학술 연구는 정부, 공공기관, 기업 등의 지원에 기반 하여 진행된다. 이 연구의 결과물은 눈에 보이는 새로운 제품, 기술, 특허가 될 수도 있지만, 학술 논문의 형태가 될 수도 있다. 이 경우 생산된 논문의 가치를 측정하는 것은 연구자금을 지원한 기관의 비용편익 관점에서 매우 중요하다고 할 수 있다.

이와 같은 이유로 인해 예로부터 학술 논문의 경제적 가치를 측정하는 것은 흥미로운 주제로 여겨져 왔다. 하지만 방법론적 난해함과 모호한 활용 가능성으로 인해 이와 관련된 적절한 연구가 다수 진행되지는 못한 상황이다. 본 논문은 이에 대한 해결책을 제시하려 하고 있다.

분석과정과 결과

본 논문에서는 총 세 가지로 논문의 경제적 가치를 측정하는 방법을 제시하고 있다.

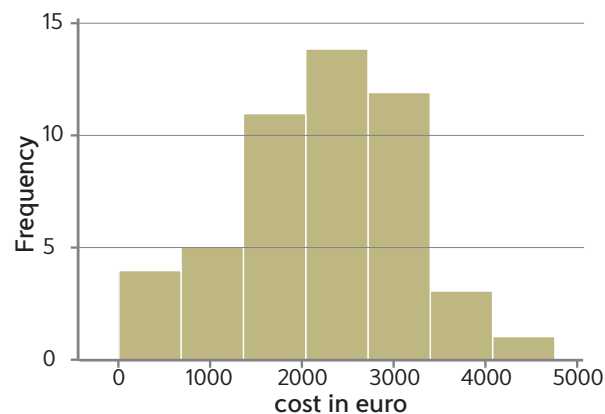


Fig. 2. Open-access fees for 50 journals (data collected May 2020).

첫 번째는 이미 존재하는 논문 시장을 활용하는 것이다. 위 그림처럼 기관이나 개인들은 저널에 실린 논문을 읽기 위해 다양한 비용을 지불한다. 시장 논리에 의해 우수한 논문일수록 비싼 비용을 지불하고 읽을 가능성이 높으므로 이를 통해 해당 논문의 가치를 추정할 수 있는 것이다.

다음은, 논문 저자의 가치를 통해, 논문의 가치를 우회적으로 측정하는 방법이다. 예를 들어 1억 원의 연봉을 받는 저자가 6개월에 걸쳐 작성한 논문이 있다면 그 가치를 직관적으로 5천만 원으로 측정하는 것이다. 논문을 작성한 저자의 능력이 연봉에 반영되고 이 능력은 논문의 질과 직결된다는 논리이다.

기존에 존재하고 있는 시장을 활용했던 앞의 두 방법과는 달리 마지막 방법은 이산선택실험(discrete choice experiment)이라는 방법론을 활용한다. 이 방법론에서는 참가자들에게 가상의 논문 조건을 제시하고, 몇 단계의 실험을 거쳐 논문 조건별 경제적 가치를 도출해낸다. 예를 들어 위의 표에 따르면 본 논문에서 단독저자 논문의 가치는 약 339유로로 측정되었으며, 영문으로 작성된 논문의 가치는 3,945유로, 컨퍼런스에 참석이 확정된 논문의 가치는 3,591유로로 측정되었다. 이러한 조건별 가치를 기존에 존재하는 논문에 대입시켜 보면 해당 논문의 경제적 가치 추정이 가능하다.

연구의 시사점

우수한 연구를 완성하는 데는 아무런 중간 결과물 없이 수십 년이 걸리기도 하고, 때로는 별 볼 일 없어 보였던 연구가 지나긴 세월이 지난 이후에 빛을 보기도 한다. 이러한 관점에서 보면 학술 논문의 당장의 경제적 가치를 측정하는 것은 불가능에 가까우며, 의미 없는 행동으로 보일 수도 있다.

그러나 좋은 연구를 수행하고 양질의 연구 결과물을 만들어 내기 위해서는 풍부한 연구자금이 필요한 것도 부인할 수 없는 사실이다. 이러한 측면에서 본 연구는 개인의 입장에서 자신들의 연구 가치를 증명하고, 이를 통해 더 좋은 후속 연구를 위한 지원을 확보하는 방안으로, 그리고 연구 자금의 지원 주체와 정책입안자의 입장에서 좋은 연구를 판별하여 한정된 자금을 효율적으로 지원하는 기반으로 유용하게 사용될 수 있을 것이다. **KST**

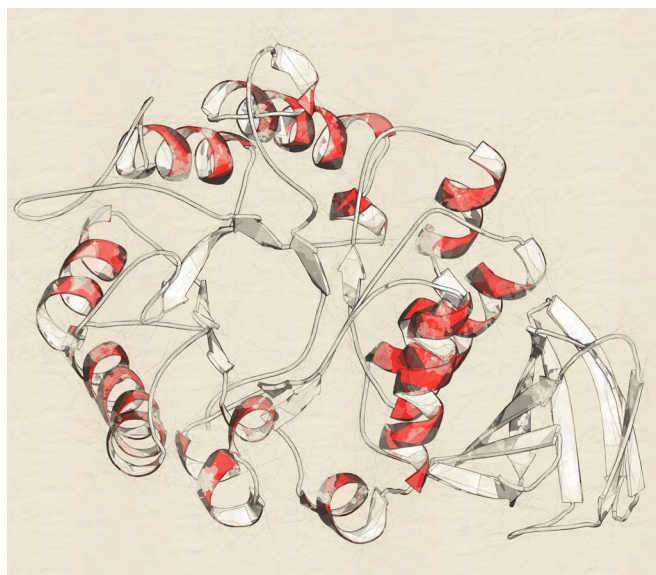
데이터·AI가 이끄는 과학기술계의 패러다임 전환

함 주 영 미래전략팀 선임연구원 jyham@kist.re.kr

단백질 구조를 밝힌 알파폴드2

작년 12월, 생명과학 분야의 최대 단백질 구조 예측 대회인 CASP (Critical Assessment of protein Structure Prediction) 에서 구글 딥마인드가 개발한 알파폴드2가 100여개의 연구팀을 능가하는 높은 정확도로 단백질 구조를 예측하는 데 성공했다. CASP는 1994년 미국 메릴랜드대 존 몰트(John Moulton) 교수가 만든 학술대회로, 단백질 구조 연구의 최적화된 예측 방법을 고안하기 위해 2년마다 개최되고 있다. 참가자들이 컴퓨터 시뮬레이션과 모델링을 기반으로 예측한 구조를 모범 답안의 단백질 구조와 비교하여 점수를 매기게 되는데, 100점에 가까울수록 서로 일치함을 의미한다. 고난이도 단백질 예측 문제에서 알파폴드2가 약 90점을 기록, 연구팀 최고 점수인 75점을 크게 상회한 점을 미루어 볼 때, 데이터를 기반으로 한 딥러닝 기술이 이미 과학자 수준 또는 그 이상의 정확도를 보여주었다고 평가되고 있다.

위 결과는 분자생물학계를 큰 충격에 빠트렸다. 단백질은 아미노산(amino acid)의 집합체로 이의 구조를 정확하게 예측하고 분석하는 것은 생명과학과 의·약학 분야에서 매우 중요한 일이다. 하지만, 단백질 구조는 아미노산 서열이 상호작용하여 3차원으로 구부러지거나 비틀어져 있는, 소위 '단백질 접힘' 형태를 지니고 있어 이를 예측하는 것은



생물학계의 최대 난제 중 하나로 알려져 있었다. 지난 수십 년 동안 연구자들은 실험적으로 X선 결정학(X-ray crystallography)이나, 핵자기 공명 분광학(NMR), 또는 초저온-전자현미경(cryo-EM) 등의 방법을 활용하여 단백질의 입체구조를 해석해왔다. 현재까지 알려진 단백질 서열 2억개 중 구조까지 밝혀진 것은 약 17만개로, 이는 많은 연구진들이 고가의 실험장비 앞에서 짧게는 몇 달, 길게는 몇 년이라는 시간을 땀과 노력으로 함께 이루어낸 최종 산물이다.

과학기술 패러다임의 변화

그렇다면 연구진이 10년 동안 예측하지 못한 단백질의 구조를 알파폴드2는 어떻게 단 30분 만에 밝혀낼 수 있었던 것일까? 불가능해 보이는 이를 실현한 것은 바로 인공지능의 핵심기술인 딥러닝(Deep learning) 알고리즘이다. 1997년 IBM의 인공지능 컴퓨터 ‘딥블루’가 세계 체스 챔피언 가리 카스파로프(Garry Kimovich Kasparov)에게 승리하면서, 이른바 인공지능과 인간 대결이라는 첫 신호탄이 커졌다. 하지만 딥블루는 체스의 모든 경우의 수를 계산하여 최적의 수를 선택하는 그저 뛰어난 계산 속도를 가진 컴퓨터에 불과했다. 그로부터 수십 년 동안 인공지능은 머신러닝이라는 기계학습법을 통해 스스로 학습하고 예측하는 능력을 키워왔고, 드디어 2016년에 이르러서 딥러닝으로 무장한 ‘알파고’는 전 세계 8천 만명 이상이 시청하는 앞에서 세계 최정상 프로 바둑기사 이세돌 9단을 압도적으로 승리하며 모두의 예상을 뒤엎었다. 바야흐로 인공지능의 새로운 역사를 맞이하게 된 것이다.

딥러닝의 기본적 모델인 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN)은 인간의 뇌 신경세포(뉴런) 개념을 수학적으로 설계한 것이다. 뉴런이 정보를 전달하는 것처럼, 인공신경망 내에도 시냅스 결합을 통해 네트워크를 형성한 인공 뉴런이 지도학습 또는 비지도학습 등으로 문제 해결 능력을 키운다. 이러한 기계학습법은 복잡하고 거대한 양의 연산을 필요로 하기 때문에 개발 초기부터 여러 난관에 부딪혔다. 하지만 알고리즘이 점차적으로 개선되고, 강력한 성능의 하드웨어 GPU(Graphics Processing Unit) 발전과, 다양한 분야에서 수집된 풍부한 빅데이터를 통해 한계를 극복할 수 있었다. 알파폴드2 개발자들은 이러한 딥러닝 기술을 활용하여 현존하는 단백질 서열과 3차원 구조를 신경망에 학습시켰고, 새로운 단백질 구조의 아미노산 쌍의 거리와 화학결합 각도를 스스로 예측할 수 있게 발전시켰다. 이 과정에서 새로운 알고리즘 접목은 예측 시간을 단축시켰고, 오픈소스 DB인 단백질 데이터 뱅크(Protein Data Bank)의 17만개의 단백질 빅데이터는 예측 정확도를 높일 수 있었다.

물론 알파폴드2가 개발되었다고 해서 그동안 실험적으로 분석하지 못한 모든 단백질의 3차원 구조를 단순히 해결할 수 있는 것은 아니다.

여전히 복잡한 단백질 구조 예측에서는 기술적인 한계를 드러내고 있다. 하지만 우리가 주목해야 할 점은 미국을 비롯한 유럽, 일본 등 주요 선진국에서 이미 무수히 많은 과학기술 데이터를 확보하고 저장소를 구축, 운영하고 있다는 것이다. 여기에 그치지 않고 빅데이터 분석 도구와 인공지능 알고리즘을 접목하여 연구개발의 디지털화를 추진하고 있다. 국가 차원의 인프라와 정부 정책을 기반으로 데이터 기반 신소재 설계에 가시적인 성과를 창출하고 있으며, 산업계 제조기업 중심으로 시간과 비용을 획기적으로 절감하는 사례들이 나타나고 있다. 연구환경에서도 참신한 아이디어들이 구현되고 있는데, 실험과 장비 그리고 분석에 이르기까지 데이터·인공지능·로봇이 결합된 실험실의 디지털화를 통해 실험가운과 연구 노트 없이 연구할 수 있는 미래의 스마트랩이 소개되고 있다. 과거 실험과 검증 기반의 전통적인 연구 방법에서 데이터와 인공지능 기반의 예측·가상 연구로 R&D 패러다임이 전환되고 있는 것이다.

우리의 도전과 남겨진 과제

우리나라에서도 디지털 뉴딜의 핵심이 되는 데이터 댐 구축 사업을 시작으로 산업, 교육 등 모든 분야에서 인공지능 도입을 가속화 하기 위한 인프라 조성과 인력양성에 총력을 다하고 있다. 데이터 3법과 지능정보화 기본법 개정을 통해 제도 기반을 정비하고 있으며, 대용량 데이터의 안정적 관리를 위해 초고성능 컴퓨팅 환경을 구축하고 있다. 또한, 연구기관별 또는 연구자별로 흩어져 있던 바이오·소재 분야 연구데이터를 ‘국가 바이오 연구 데이터 스테이션’, ‘국가 소재 연구데이터 센터’ 구축을 통해 확보하고 있다. 교육 분야에서도 KAIST, 포항공대 등 8개의 인공지능 대학원을 설립하여, 우수한 교수진을 확보하고 AI 인재 양성을 위한 전문 기관으로의 도약을 준비하고 있다.

민간 분야에서의 기업들의 노력도 주목할만하다. 삼성전자는 뉴욕, 토론토 등 전 세계 7개 지역에 AI 센터를 설립하여 글로벌 인재 유치에 힘쓰고 있으며, 현대차그룹은 미래 자동차 개발에서부터 생산 효율화까지 인공지능을 접목, LG, 네이버를 비롯한 산업계에서도 AI 전담 조직을 운영하며 기술개발에 힘쓰고 있다. 그러나 위와 같은 활발한 움직임에도 불구하고

하고 산업 분야의 각종 규제와 전문 인재 부족으로 우리나라의 인공지능 생태계 수준이 세계 8위권에 머무르고 있다. 대한민국이 진정한 인공지능 강국으로 도약하기 위해서는 국가적 경쟁력을 더욱 갖추며 동시에 새로운 기술의 확산과 보급으로 지속 가능한 발전을 모색해야 한다.

비전 ‘2030년까지 디지털경쟁력 세계 3위, 삶의 질 세계 10위의 AI 강국’이라는 목표를 달성하기 위해서는 우리 모두가 경각심을 갖고 패러다임의 변화를 촉구해야 할 때이다. **KST**

2013년 맷데이먼이 주연으로 출연한 『엘리시움』이라는 영화가 있었다. 영화 속 2154년 미래의 지구는 인간이 더이상 건강한 삶을 영위할 수 없을 정도로 황폐해지는데, 극소수의 부유층 상위 1%만이 우주정거장 ‘엘리시움’에서 호화스러운 삶을 살아간다. 엘리시움에는 빅데이터와 인공지능을 활용한 의료 진단·치료 캡슐이 집집마다 보급되어 있는데, 캡슐에 누우면 스캐닝과 동시에 백혈병, 암 등과 같은 질병을 진단하고 수 분 이내로 치료 혜택을 받을 수 있다. 이와는 달리 지구에 남겨진 사람들은 로봇의 통제하에 상류층에게 필요한 물자를 생산하며 양극화된 삶을 살아가는데, 엘리시움의 최첨단 치료를 받기 위해 사활을 건 우주 비행의 시도를 멈추지 않는다. 현실은 어떠할까? 2021년 세계경제포럼에서 발표한 Global Risk에 따르면 코로나 이후 디지털 불평등이 더 심화되었다. 급속도로 진화하고 있는 데이터, 네트워크, 인공지능 기술 등의 발전으로 활용 역량이 낮은 사람들은 앞으로 경제, 사회, 문화 등 전반적인 혜택으로부터 점차 소외될 수 있다는 의미이다. 이제는 범 정부 차원의 적극적인 지원뿐만 아니라 모두가 관련 역량을 확보하고 새로운 국면에 능동적으로 대처하는 변화가 필요하다. 민·관의 협력이 무엇보다 필요한 이유이다. 데이터와 인공지능을 보다 편리하게 활용할 수 있도록 해야하며, 장기적인 안목으로 개방과 공유, 그리고 상호 협력을 통해 연구환경을 조성해 나가야 할 것이다. AI 국가전략에 담긴

참고문헌

- Senior et al. (2020). Improved protein structure prediction using potentials from deep learning. Nature 577, 706–710
- Callaway (2020). ‘It will change everything’ : DeepMind’s AI makes gigantic leap in solving protein structures. Nature 588, 203–204
- 생명공학정책연구센터 (2020). 구글 AI 알파폴드, 단백질 3D 구조 예측력을 획기적으로 개선. BiOINwatch 20–90
- 관계부처합동 (2019). 인공지능 국가전략
- 관계부처합동 (2020). 데이터 기반 소재연구 혁신허브 구축·활용방안



한 사람이 온다는 건 - 켄 리우의 <심신오행>과 마이크로바이옴

이 유 미 일상기술연구소 대표, thehazelle@gmail.com

대밀하게 규명되거나 철저하게 논증된 게 아니더라도, 혹은 그 논리를 명확히 이해하고 있는 게 아니더라도, 인간지사 지혜의 지름길로 친숙하게 통용되는 몇 가지 공식들이 있다. ‘머피의 법칙’, 일이 풀리지 않고 갈수록 꼬이기만 해서 되는 일이 하나도 없는 상황을 나타내는 경험칙이다. ‘샐리의 법칙’, 머피의 법칙과 반대로 만사가 우연히도 자기가 바라는 대로 진행되는 경우를 말한다. ‘케빈 베이컨의 6단계 법칙’, 지구상의 모든 사람이 여섯 단계 안에서 아는 사람과 연결된다는 사회이론이다.

그리고 이른바 ‘3초의 법칙’이 있다. 바닥에 떨어진 음식을 3초 이내에 주워 먹는다면 벌 탈이 나지 않는다는 사이비 위생 이론이다. 표면으로 군이 묻어 작용하기에 3초라는 시간은 너무 짧은다는 가정을 바탕으로 한다. 사실 여부는 차치하고, 이 법칙들에 나란히 인기투표를 붙인다면 압도적인 득표 수로 우승하는 건 3초의 법칙일 것이다. 세상 모든 먹성 좋은 어린이들과 무던털털한 어른들뿐 아니라, 수억조의 미생물들에게도 투표권이 주어진다면 말이다.

이제는 코로나 이전이나 유효했을 과거의 이야기가 되어버렸지만, 위생에 크게 예민하지 않으면서 음식을 곧잘 흘리는 찔찰맞음까지 겸비한 사람으로서 3초의 법칙을 평생 꽤나 쓸쓸하게 잘 써먹었었다. 축축한 진흙탕이나 2호선 환승통로 바닥이라면 물론 언감생심 꿈도 꾸지 않지만, 종업원이 방금 알코올로 닦고 간 테이블 위나 사흘이 멀다 하고 청소하는 집안 마룻바닥, 아침마다 정갈히 갈아입는 옷자락 위라면, 사뿐히 내려앉은 음식 조각을 날래게 집어 입으로 옮긴 뒤 능청스럽게 3초의 법칙을 읊조리곤 했다. 그러면 누군가는 동조해주고, 누군가는 가볍게 혀를 차며 눈을 흘긴다. 그게 다다. 그 어떤 사람도 새파랗게 질려 벌떡 일어나 히스테릭하게 울부짖으며 억지로 내 입을 벌리고 목구멍으로 손가락을 마구잡이로 찔러넣으며 이미 삼킨 음식을 끄집어내려 애쓰거나 하지는 않더라는 얘기다.

군이 우리에게 들어오는 과정은 공격과 수비를 정해 3초라는 시간 말미를 주고, 그전까지만 보루로 들어오면 세이프를 외치는 식으로 전개되는 게임이 아니지만(어차피 군들은 손목시계를 차고 있지도 않고,

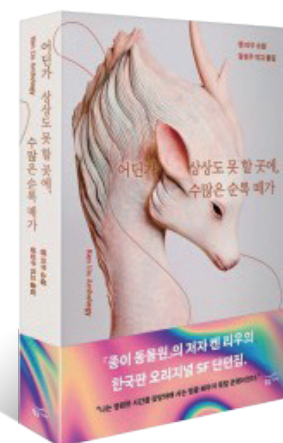
호루라기를 불어주는 심판도 없다), 아깝다는 감정과 위험을 기피하는 심리 사이에서 3초의 법칙은 편리한 기준이 되어준다. 사실, 바닥에 잠깐 떨어졌다 뿐이지 썩거나 상하지 않은 멀쩡한 음식을 흘랑 집어먹다가 토사곽란을 일으키거나 죽음에까지 이르는 극단적인 경우가 많지는 않다는 걸, 사람들은 반려동물이나 나같은 3초의 법칙 신봉자들을 보면서 꾸준히 확인해왔다. 게다가 굵은 바닥에만 있는 것도 아니다. 아니, 바깥에만 있는 것도 아니지 않나? 잘 모를 때에는 신체 장기가 깨끗이 소독된 진공의 무균실같은 건줄 알았지만, 이제 인류는 우리의 따끈하고 예쁘장한 장에 대략 1.5킬로그램 정도의 박테리아들이 주인 행세를 하며 바글바글 들어앉아 있다는 사실을 안다. 들어앉아 있기만 한 것이 아니라 적극적으로 영향을 미쳐, 우리의 기억력에, 기분에, 체중에, 그들이 모종의 역할을 한다는 사실을 안다. 제6의 본능적인 감각이라고 막연히 인지하고 있던 우리의 '육감'과 '뱃심'에 이 작은 친구들이 어떤 식으로든 관여하고 있다는 태고의 비밀 또한 눈치챈 지 좀 됐다. 어쩌면 심지어, 사랑마저도.

미국의 SF소설가 켄 리우의 단편집 《어딘가 상상도 못할 곳에, 수많은 순록 떼가》에 수록된 사랑스러운 작품 <심신오행>의 주인공 타이라는 본디 살균된 플라스틱 장기모형처럼 깨끗한 장을 가진 여자였다. 사실은 타이라뿐 아니라 그 시대 그 문명권의 사람들은 다 그랬다. 인체가 박테리아의 온상이었던 시절을 까마득한 고대로 기억하는 이 미래인류에게 멸균되지 않은 음식의 섭취는 상상만 해도 끔찍한 악몽 같은 일이다. 그러나 난파 우주선의 유일한 생존자로서 원시적인 미개척행성으로 추락한 이후, 타이라는 1,000년 이상 문명이 퇴보되어 있는 원주민들의 보살핌 속에, 살기 위해 어쩔 수 없이 그 땅의 물을 마시고 그 땅의 음식을 섭취하며 무수한 박테리아를 몸속으로 받아들이게 된다. 고열과 고통의 시간이 지나간다. 유익균들이 장내에 자리를 잡는 과정이었을 것이다. 그녀의 몸이 균들에게 하나의 거주환경, 자연스러운 순환이 일어나는 거대한 생태계로 균형을 이루었을 때, 타이라는 유대감(그리고 체내 미생물도!)을 함께 나눴은 원주민 청년과 달콤한 사랑을 시작한다. 이전 그 어느 때보다 두둑해진 '뱃심'을 안고, 차갑고 무감했던 이전과는 은연 중 달라진 불같은 태도로.

미생물로 인해 달라진 성격을 '진짜' 나의 성격이라고 할 수 있을까? 미생물이 촉발시킨 사랑이라면, 그 사랑을 '진짜' 사랑이라고 할 수 있을까? 열게 스치는 의문을 타이라는 명쾌하게 정리한다.

“아직은 내 의식이 나 자신의 세포들 뿐 아니라 내 몸에 사는 미세 유기체 수조 개의 세포에도 구현된다는 사상

에 적응하려고 애쓰는 중이에요... 난 내가 누군지 잘 모르겠어요. 그런데도 이곳으로 돌아올 마음을 먹은 건 지금의 내가 더 마음에 들기 때문이에요.” - p 104



정현중 시인은 시 <방문객>에서 ‘한 사람이 온다는 것은 실은 어마어마한 일’이라고 탄탄했다. 그 사람의 과거, 미래, 현재가 아울러 오는 것이기 때문이다. 이제 우리는 거기에 덧붙여 고유의 생태계를 이룬 수백조 마리의 미생물들도 각자의 역사를 거느리고 함께 온다는 사실을 안다. 그러므로 새삼스레, 사람과 사람이 만난다는 건 얼마나 어마어마한 일인가. 그것은 미생물로 인해 더 차분하거나, 더 명랑하거나, 더 열렬한 색조로 ‘자기’ 다워진 온전한 두 소유주, 은하수의 별보다 많은 현재와 과거와 미래를 담지한 두 세계가 서로 조우하는 대사건인 것이다.

켄 리우가 영감을 얻었을 인간 마이크로바이옴에 대한 과학기술계의 관심이 뜨겁다. 차세대 염기서열 분석 기술이 발달하고 마이크로바이옴과 질병과의 연관성이 속속 밝혀짐에 따라 이를 다양한 영역에서 활용하려는 시도도 한참이다. 특히 식품, 화장품, 제약 및 바이오기업들이 마이크로바이옴 시장을 선점하려는 행보를 진행 중이기도 하다. SF 소설 속의 세상과 현실 간의 간극이 좁혀지는 걸 지켜보는 건 SF 문학을 즐기는 또다른 재미일지도. **klg**



과학기술기본법 제정 20년의 의의와 미래의 준비: 일본 사례의 시사점을 참고하며¹⁾

최 지 선 Law & Science 대표변호사, lawnsience.jschoi@gmail.com

오번 호는 본 저널의 개편 첫 호로서 우리나라 과학기술법제의 핵심인 「과학기술기본법」의 발전방안에 대하여 생각해 보고자 한다.

2021년은 과학기술 법제 체계 전반에 걸쳐 큰 의미를 지니는 해이다. 구체적으로 보면, 첫째, 우리나라 과학기술 관련 법률의 분포는 분류하는 기준에 따라 달라질 수 있겠으나 적어도 200여개 이상의 법률이 과학기술 관련 법률인 것으로 평가되는 상황에서, 이들 과학기술과 관련된 제반 규범의 모법(母法)으로서 우리나라 과학기술 발전의 이념·철학, 과학기술정책의 방향, 국가연구개발사업 추진의 원칙에 관한 범부처 총괄 규범 역할을 하고 있는 「과학기술기본법」 제정 20주년이 되는 해이다.

거슬러 올라가면, 「과학기술기본법」이 제정되기 전에는 1967년에 제정된 「(舊)과학기술진흥법」과 1997년에 제정된 「(舊)과학기술혁신을위한 특별법」이 시행되고 있었는데, 2001년 「과학기술기본법」 제정과 동시에 위 두 법률은 폐지되었다. 「과학기술기본법」은 과학기술관련 법률이 각 개별부처에 산재해 있어 법률 간의 체계적인 연계성이 미흡하고, 그 동안 기본 정책 성격의 법으로 기능을 해 온 「과학기술진흥법」은 제정된 지 30여년이 지나 그 실효성에 한계가 있으며, 「과학기술혁신을위한특별법」도 한시적 법률이어서 대체입법이 불가피한 시점에 있고, 이들 법률로는 21세기 급변하는 과학기술환경에 대처하는데 한계가 있다는 점을 감안하여 제정되었다²⁾.

1) 본고는 ① 최지선 외, 2019, 「과학기술법제 체계정비안 및 과학기술기본법 개정안 마련 연구」, 과학기술정보통신부. ② 최지선 외, 2021(예정), 「공공연구성과 육성·확산 관련 법령 정비 방안 연구용역과학기술법제 체계정비안 및 과학기술기본법 개정안 마련 연구」, 과학기술정보통신부. ③ 양승우·최지선 외, 2017, 「혁신정책의 변인 수용과 과학기술 법제 간 정합성 제고방안」, 과학기술정책연구원. ④ 권성훈·경선주, 2020, 「일본의 과학기술혁신 관련 법률 개정 동향과 시사점」, 외국입법 동향과 분석 제61호, 국회입법조사처. ⑤ 일본, 제 6기 과학기술혁신기본 계획(안) 기본 방향 공개, 글로벌과학기술정책정보서비스(S&T GPS) 제181호, <https://now.k2base.re.kr/portal/trend/mainTrend/view.do?poliTrndId=TRND000000000000041052&menuNo=200004&pageUnit=10&pageIndex=1>, 방문일자 2021.03.13. 및 이하 각주에 게재된 자료를 토대로 작성된 것임을 밝혀둔다.

2) 양승우 외, 2017, 「혁신정책의 변인 수용과 과학기술 법제 간 정합성 제고방안」, 과학기술정책연구원, 65면.

| 표 1. 주요 부처의 과학기술 분야 법률 운영 현황(2017년 기준)³⁾ |

소관 부처	법률		시행령		계	
	과학기술	전체	과학기술	전체	과학기술	전체
과기정부	54(4)[1]	67	46	73	100	140
교육부	6	72	4	106	10	178
국방부	7	61	5	146	12	207
국조실	1	9	1	11	2	20
국토부	13(2)	121	11	131	24	252
농식품부	27(3)[1]	70	27	70	54	140
문체부	9(1)	64	9	72	18	136
복지부	17(1)[1]	93	16	96	33	189
산업부	41[1]	85	37	87	81	172
식약처	7(1)[1]	17	5	19	12	36
원안위	7	7	7	9	14	16
중기부	4	21	4	23	8	45
해수부	22(5)[1]	105	12	106	34	211
행안부	12	148	7	257	21	405
환경부	17[1]	60	17	61	34	121
합계	243	1,000	207	1,267	457	2,267

* ()안의 숫자는 두 개의, []안의 숫자는 세 개의 소관부처가 공동으로 운영하는 법률의 개수 의미

그런데 「과학기술기본법」은 제정 이후 우리나라의 과학기술분야 모법으로서의 역할을 수행해 왔지만, 부처별·분야별로 과학기술과 관련된 법령이 계속해서 확대되고 과학기술과 혁신을 둘러싼 국내외적 환경이 변화하면서, 현 상황에 부합하며 미래변화를 대비할 수 있는 방향으로 이 법을 발전시킬 필요성이 커졌다.

둘째, 오랜 기간 과학기술계의 숙원 중의 하나였던 국가연구개발사업 관리에 관한 범부처 총괄규범인 「국가연구개발혁신법」이 2020년 제정되어 2021. 1. 1. 본격적으로 시행되기 시작하였다. 「국가연구개발혁신법」은 「과학기술기본법」 및 동 법 시행령인 「국가연구개발사업의

관리 등에 관한 규정」을 근거로 범부처에 포괄적으로 적용되는 관리 규정을 제정하는 것을 주요 입법 목적으로 한다. 하지만, 단지 연구개발 사업의 관리에만 중점을 둔 것은 아니며, 국가연구개발사업을 수행하는 기관, 단체, 기업을 지원하고 연구자의 자율성을 확대하고 책임성을 강화하는 다양한 조문을 신설하였다.

「국가연구개발혁신법」의 제정은 「과학기술기본법」에도 상당한 영향을 미친 바, 「과학기술기본법」에 산재된 국가연구개발사업의 관리와 관련된 상당수의 조문은 삭제되거나 개정되었고(예: 제11조의2 국가연구개발사업에 대한 참여제한 등; 제11조의3 국가연구개발사업성과의 소유

3) 당시 국회 상임위원회 검토보고서 중에서 일부 발췌.2) 양승우 외, 2017, 「혁신정책의 변인 수용과 과학기술 법제 간 정합성 제고방안」, 과학기술정책연구원, 65면.

·관리 및 활용촉진; 제11조의4 기술료의 징수 및 사용 등), 이로 인하여 「과학기술기본법」을 전면적으로 검토하고 개정하고자 하는 수요 역시 커졌다.

위 두 가지 상황은 「과학기술기본법」의 개정을 요구한다는 공통점이 있다. 특히 지난 해부터 우리 삶을 지배해 온 코로나 19 팬데믹 이외에도 4차 산업혁명, 디지털 대전환, 기술 패권 경쟁, 저출산 고령화 등 글로벌 과학기술혁신 환경에 중대한 변화가 발생한 바, 이에 대하여 중장기적으로 대응하는 전략 역시 「과학기술기본법」의 개정 필요성을 높이고 있다.

이러한 시점에 일본의 2020년 「과학기술기본법」의 개정은 시사하는 바 크다. 일본은 「과학기술기본법」을 1995년 제정하였는데, 2020년 개정을 통해 법명을 「과학기술·이노베이션기본법(科学技術・イノベーション基本法)」⁴⁾으로 하는 등의 일부개정을 하였다. 동 법은 2021. 04. 01.에 시행될 예정이다. 일본은 「과학기술기본법」에 이노베이션(혁신)의 개념을 도입하고 인문과학도 포함하여 과학기술의 외연을 분야와 성과창출이라는 점까지 광범위하게 포섭함을 선언하였다. 당초의 일본 「과학기술기본법」은 진흥 대상인 과학기술의 범위에서 '인문과학에만 관계되는 과학기술'은 제외하였으나, 「과학기술·이노베이션기본법」은 그 범위를 '인문과학에만 관계되는 과학기술'까지 확장하였다. 또한 과학기술혁신 창출의 진흥 정책으로서 과학기술의 진흥을 통한 연구개발성과가 혁신 창출과 최대한 유기적으로 연계되도록 하고, 과학기술의 진흥은 혁신의 창출뿐만 아니라 학술적 가치 창출에도 기여하는 등의 다양한 의의를 갖는다는 점을 명심해야 한다는 규정을 신설하였다. 또한 동 개정은 과학기술기본계획을 과학기술혁신기본계획으로 변경하는 등 진흥 대상을 과학기술에서 과학기술혁신으로 확대하였다. 「과학기술·이노베이션기본법」은 '이노베이션(혁신, innovation)의 창출'을 '과학적인 발견, 발명, 새로운 제품·프로세스 개발 또는 기타 창작 활동을 통해 새로운 가치를 창출하고 이를 보급함으로써 경제·사회적인 큰 변화를 창출하는 것'으로 정의하고, '과학기술혁신 창출의 진흥'은 '과학기술의 진흥 및 연구개발성과의 실용화에 의한 혁신 창출의 진흥'을

말한다고 규정하였다.

일본이 「과학기술기본법」 제정 25년 만에 과학기술 혁신정책의 개념을 본격적으로 도입한 것은 일본이 과학기술혁신정책을 인문·사회과학을 포함한 '종합적 지식'에 의하여 사회적 가치관을 형성하고 사회를 변혁하는 종합적 정책으로 변화하고자 한 것으로 평가된다. 개정된 일본 「과학기술·이노베이션기본법」에 따라 준비된 제6기 과학기술기본계획은 개정 입법의 취지를 반영하여 과학기술 혁신정책은 인문·사회과학을 포함한 '종합적 지식'에 의하여 사회적 가치관을 형성하고 사회를 변혁하는 종합적 정책으로 변화하고 '사회적 재디자인(Society 5.0)'을 통하여 지향해야 하는 사회상을 구체화하고 이를 위한 정책을 입안·실행하고자 하였다. 여기에는 혁신 역량 강화를 통한 사회 변혁 단행, 지식 프론티어를 개척하여 차기 혁신의 원천이 되는 연구 강화, 미래를 내다보는 교육·인재 육성시스템과 자금순환 환경 정비 등이 포함된다.

일본의 「과학기술기본법」 개정은 과학기술 실용화를 전면에 내세워 혁신의 개념을 본격적으로 도입하였고 인문·사회과학을 통괄하는 과학기술발전을 추진하고자 한다는 점에서 의의가 있다고 판단되며, 국가 과학기술 발전의 이념, 철학, 정책추진의 주요 원칙 등의 프로그래밍 규정을 중심으로 재편함으로써 기본법으로서의 위상을 강화하고 명실상부한 우리나라 과학기술 관련 법제의 최상위 법제로서의 기능을 확대하는 방향으로의 개편이 필요한 우리나라 「과학기술기본법」의 개정에도 있어서도 시사하는 바가 크다고 할 것이다. KST

4) https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=407AC1000000130_20210401_502AC0000000063

헤겔과 흄볼트: 인문학과 자연과학의 상호보완

전 대 호 유미과학문화재단 이사, daehojohn@hanmail.net



2005년에 장대의 교수와 최재천 교수가 함께 번역하여 출판한 에드워드 윌슨의 저서 <통섭>이 우리 사회에 미친 긍정적 영향이 있다면, 마치 견고한 성과도 같은 각자의 영역 안에서 소수의 후계자와 학생만 상대하는 것에 익숙한 이 땅의 대다수 학자에게 시야를 더 넓힐 필요성을 일깨웠다는 점일 것이다.

그러나 저자와 번역자들의 본의와는 필시 거리가 있겠지만, 그 책의 부정적 영향도 지적할 필요가 있다. 특히 최재천 교수는 학계 안팎에서의 다양한 활동으로 “통섭”을 그야말로 한 시대의 화두이자 당위로 격상시켰는데, 문제는 그 당위가 암묵적으로 전제하는 현실 파악이 과연

옳은가 하는 것이다. 대체로 융합을 의미하는 “통섭”이 우리의 과제라는 견해는, 현실에서 학문의 다양한 분야들이 각각 따로 놀면서 서로를 외면하거나 심지어 배척한다는 진단을 기초로 삼는다. 그런데 이것은 과연 옳은 진단일까?

당장 눈에 띄는 고등학교 교과과정과 대학교 조직에서 이를테면 역사학과 물리학 사이에 뚜렷한 경계선이 그어져 있다는 것은 틀림없는 사실이다. 하지만 그것은 제도와 형식의 차원에 속한 경계선일 뿐, 역사학과 물리학의 본질과 실행에 원리적으로 새겨진 경계선은 아니다. 물론 제도는 중요하며, 특히 입시제도를 정점으로 한 교육제도는 우리 사회에서 막강한 힘을 발휘한다. 사람들이 “통섭”의 필요성을 이야기할 때

흔히 고등학교 문과, 이과 구분의 폐해를 들먹이는 것은 우연이 아니다. 최재천 교수도 “통섭”을 촉구하면서 주로 자연과학과 인문학 사이의 간극을 지적하곤 했는데, 어쩌면 이것도 우리 사회에서 교육제도가 발휘하는 힘이 얼마나 큰지 보여주는 사례일 수 있다.

행정가라면 마땅히 제도에 공을 들여야 하고, 이를테면 2018년에 고등학교 교과과정에서 문과, 이과의 구분이 폐지된 것과 같은 개선과 개혁을 늘 도모해야 할 것이다. 그러나 학자와 지식인의 길은 다르다. 진지한 학자는 제도적 경계선보다 학문 분야들의 본성과 실제 학자들의 활동을 더 먼저 살펴봐야 마땅하다. 그리고 그 근본적인 숙고와 충실한 관찰에서 예컨대 역사학과 물리학 사이에 심각한 간극과 대립이 있다는 진단이 내려졌을 때 비로소 “통섭”을 당위로서 외쳐야 옳다.

혹시 역사학 연구와 물리학 연구가 본디 서로 얹혀있고 우리의 현실에서도 활발히 상호작용하고 있다면, “통섭”은 비로소 이뤄내야 할 당위가 아니라 늘 작동하는 원리이자 이미 우리 곁에 있는 현실일 것이다. 그러니 제도에만 매달리지 말고 진지하게 따져보자. 첫째, 인문학과 자연과학은 원리적으로 아무 관련이 없을까? 만약에 그렇다면, 이 칼럼의 주제가 기도 한 과학사는 어엿한 학문 분야로 인정받기 어려울 텐데, 알다시피 실상은 전혀 다르다. 과학사는 과학의 진면목을 보여주는 중요한 학문 분야로 자리매김한 지 오래다. 둘째, 이 땅의 인문학자와 자연과학자는 서로 아무런 영향도 주고받지 않을까? 과학사학자들을 제쳐두더라도, 예컨대 역사에 몰두하는 물리학자와 물리에 깊은 관심을 기울이는 역사학자를 얼마든지 찾아낼 수 있다고 필자는 확신한다.

요컨대 한 시대를 풍미한 화두 “통섭”이 우리에게 미친 부정적 영향이 있다면, 그 당위의 구호가 당장 눈에 띄는 제도와 상관없이 항상 작동하는 학문 분야들 사이의 상호작용을 본의 아니게 가려버린 것이 아닐까 싶다. 지식의 다양한 분야들은 상호작용하기 마련이다. 이는 지구의 생명권에 속한 모든 생물이 다른 모든 생물에게 의존하는 것과 마찬가지로, 초원의 토끼와 풀과 여우에게 “통섭”을 촉구하는 것이 얼토당토 않은 것처럼, 학문 분야들의 “통섭”을 당위로서 외치는 것 역시 부적절할 수 있다.

그럼에도 여전히 많은 이들은 인문학과 자연과학의 원리적인 차이를 강조하곤 하는데, 한 예로 <과학을 배반하는 과학>의 저자 에른스트 페터 피셔는 훔볼트 형제를 거론하면서 인문학과 자연과학을 차별화한다. 형인 빌헬름 폰 훔볼트는 베를린 훔볼트 대학교의 교명에 자신의 이름을 남긴 인문학자고, 동생인 알렉산더 폰 훔볼트는 세계의 숲한 지형과 해류와 동식물과 심지어 달의 크레이터에까지 자신의 이름을 남긴 훨씬 더 유명한 자연과학자다.

피셔는 이 유명한 학자 형제가 도덕적 계몽 수준에서 차이가 있었다고 평가한다. 형은 “책들과 더불어 정신의 세계를 더 많이 탐험한” 인문학자로서 인종들 사이에 타고난 우열이 있을 가능성을 열어둔 반면, 동생은 “세계를 경험하며 많은 세계인들을 본” 자연과학자로서 인종의 우열은 없다고 확신했다는 것이다. 피셔의 취지는, 직접 세상으로 나가서 감각을 통해 얻은 지식(“직관을 통한 앎”)을 옹호하고 책과 글에서 얻은 지식(“개념을 통한 앎”)의 한계를 지적하는 것이다.

그의 견해를 충분히 납득할 만하다. 책상 앞에 앉아 글을 읽어서 얻은 지식과 현장에 직접 나가 모든 감각을 동원하여 얻은 지식은 차원이 다르다. 그러나 전자를 인문학 지식으로, 후자를 자연과학 지식으로 규정한다면, 그것은 부당하다. 오늘날에는 인문학과 자연과학을 막론하고 대부분의 교육이 현장이 아닌 학교에서 책을 통해 이루어지지 않는가! 알렉산더 폰 훔볼트처럼 몇 년 동안 낯선 대륙을 탐험하는 자연과학자는 오늘날 극히 드물다. 인문학자나 자연과학자나 거의 다를 바 없이 현장과 감각으로부터 멀어져 있다. 이를 안타깝게 여기는 피셔에게 공감한다.

알렉산더 폰 훔볼트가 주로 찬사를 받는다면, 같은 시기에 역시 독일에서 태어난 철학자 헤겔은 대체로 악명이 높다. 훔볼트는 1769년생, 헤겔은 1770년생이다. 피셔의 말마따나 훔볼트는 대서양 건너 아메리카 대륙으로 직접 가서 낯선 지역과 생태계를 탐험했다. 반면에 헤겔은 말년에 베를린 대학교의 교수로서 명성을 누리긴 했지만 평생 독일을 벗어난 적이 없으며 가장 중요한 젊은 시절에는 독일 중남부와 스위스의 소도시들만을 전전했다.

훔볼트는 엄청나게 부유한 귀족으로 태어난 반면, 헤겔은 넉넉지 않은 평민의 아들이었다는 점도 두 사람의 인생 행로에 큰 영향을 미쳤겠지만, 어쨌든 훔볼트는 낯선 세상을 탐험하며 선구적인 자연과학자의 길을 갔고, 헤겔은 책 속에 파묻혀 청춘을 보내며 전형적인 인문학자의 길을 갔다. 그래서 두 사람은 서로 단판인 지식에 도달했을까?

얼핏 보면 그렇게 보인다. 헤겔은 자연과학을 주로 깎아내린다. 드물게 칭찬할 때도 그는 자연과학이 “기특하다”고 평가함으로써 자신의 철학이 더 우월하다는 견해를 거만하게 드러낸다. 훔볼트는 기본적으로 탐험가다. 닳고 닳은 아리스토텔레스와 플라톤의 저서를 들추며 시시콜콜한 자구의 의미를 따지는 일은 훔볼트에게 전혀 어울리지 않는다. 오히려 그는 처음 오른 침보라소산에서 만난 이름 없는 들풀에 매혹되어 그것의 세밀화를 그리는 일에 몰두한다. 여러모로 헤겔보다 더 매력적인 인물이다.

그러나 진실은 첫인상과 다를 때가 많다. 때때로 진실은 더 깊은 곳에서 드러난다. 헤겔은 자연보다 정신(곧 문화)이 더 우월하다고 주장했지만, 이는 오직 정신만이 진리라거나 오직 정신에서만 진리가 드러난다는 뜻이 아니다. 진리는 모든 곳에서 드러난다. 다만, 자연에서보다 인간들이 일구는 문화에서 진리가 더 뚜렷하고 풍부하게 드러난다는 것이 헤겔의 참뜻이다. 헤겔은 자연과학을 배척할 이유가 없다. 오히려 그는 훔볼트 같은 탐험가들의 참신한 발견을 반갑게 주목했을 사람이다. 그는 자연과학적 발견을 비롯한 모든 것에서 보편적 진리가 다양한 모습으로 드러난다고 확신한 철학자다.

물론 모든 철학자가 그렇듯이 헤겔도 학문의 궁극적 목표는 우리 자신을 이해하는 것이라고 보았다는 점을 분명히 해둘 필요가 있다. 바로 그 점이 그를 전형적인 인문학자로 만든다. 인문학자는 무엇보다도 자기 자신을 이해하고자 하는 사람, 자기에게로 돌아오고자 하는 사람이다. 그러므로 만약에 훔볼트를 비롯한 자연과학자가 추구하는 바가 낯선 세계를 탐험하는 것까지이고 그들 자신을 이해하는 것은 그들의 관심사가 아니라면, 자연과학자는 인문학자와 사뭇 다른 유형의 학자라고 해야 할 것이다. 그러나 과연 그럴까? 자연과학자는 “너 자신을 알라!”

라는 델포이 신전의 유명한 문구에 정녕 관심이 없을까?

훔볼트가 아메리카를 탐험하던 때로부터 200년이 흐른 지금, 인류는 우주를 탐험하는 중이다. 1974년 11월 16일, 푸에르토리코 아레스ибо 천문대의 과학자들은 약 2만5000광년 떨어진 구상성단 M13을 향해 전파 신호를 송출했다. 총 1679비트로 이루어진 그 “아레스ибо 메시지”에는 인류와 태양계와 아레스ибо 천문대에 관한 정보가 담겨 있었다. 과학자들은 외계인이 그 메시지를 수신하고 해독하여 답신을 보내오기를 바랐다.

그 프로젝트를 얼마든지 비판할 수 있을 것이다. 어떤 즉각적 효용도 없고 성공 가망도 희박한데다가, 순전히 우리의 관점에서 작성한 메시지로 외계인과 교신하겠다는 발상 자체가 철없는 어린아이의 꿈 같지 않은가! 그러나 그 프로젝트를 비롯한 “외계 지적 생명체 탐사(SETI)” 활동은 지금도 다양한 방식으로 계속되고 있다.

이 대목에서 결정적인 질문을 던져보자. 자연과학자들은 왜 외계인에 그토록 큰 관심을 기울일까? 대체 왜 외계인을 발견하고 싶을까? 상당한 비약을 무릅쓰고 대뜸 대답하면, 실은 우리 자신을 발견하고 싶기 때문이다. 우리는 우리와 소통할 수 있는 외계인을 기대한다. 이것은 또 다른 우리를 기대하는 것과 다르지 않다. “외계 지적 생명체 탐사”는 우리 자신에 대한 탐사이기도 하다. 인문학과 자연과학은 늘 서로를 보완한다는 믿음을 품고 보면, 확실히 그렇게 보인다. 이 믿음은 틀림없이 옳다. 왜냐하면 인문학이나 자연과학이나 다 사람이 하는 활동이고, 사람은 “너 자신을 알라!”라는 명령을 결코 외면할 수 없는 동물이기 때문이다.

이

KIST EUROPE

독일의 배출량 저감을 위한 새로운 시도

- 이산화탄소 세금 제도 도입

서정호 KIST 유럽연구소 대외협력실 실장, j.seo@kist.re.kr

독 일은 2050년 에너지 부문에서의 온실가스 배출량 제로(표 1 참조)를 목표로, 배출량 저감을 위한 새로운 정책을 도입하는 한편 관련 연구 개발도 활발히 진행 중이다. 2050년까지 1990년 온실가스 배출량(12.5억 tCO₂eq) 대비 95% 수준(0.6억 tCO₂eq)의 감축을 근간으로 하는 “2050년 온실가스 중립 계획(Green House Gas Neutral Germany 2050)”을 수립하고 이를 이행하고 있다.

표 1. 2050년 온실가스 배출원별 감축 시나리오

배출원	배출량 (단위: MtCO ₂ eq)
에너지(수송 포함)	0
산업공정	14
농업	35
토지이용, 토지이용 변화 및 임업	8
폐기물	3
합계	60

자료: 2050년 독일 온실가스중립계획, 2014/07, 독일연방환경청

현재 독일은 다양한 수단을 동원하여 6대 배출원(에너지, 수송, 에너지 집약산업 공정, 농업, 토지이용 및 토지이용 변화, 폐기물)에서 온실가스 배출량을 직접적으로 감축하고 있다. 특히 에너지 및 에너지 집약산업 공정 분야에서의 초과-부족 배출량에 대해서는 유럽 배출권 거래제(EU-Emissions Trading System, 이하 EU-ETS)를 통하여 할당(유상/무상) 후, 상호 거래하게 하는 간접적 저감 정책을 도입하여 운영 중이다. EU-ETS는 할당배출권(EUA) 및 외부감축실적(CER)을 시장 메커니즘에 따라 결정된 가격에 거래하는 제도로, 최근 유럽의 脫석탄, 脫원전 정책도입 및 석탄발전소 폐쇄에 따른 배출권 소각 등에 따라 배출권 가격도 동반하여 급등하고 있는 추세(2021년 3월 기준, EUA 약 38유로/tCO₂eq)이다.

이와 함께, 독일에서는 자국 내 배출권 거래 제도를 개선하여 EU-ETS 적용 배출원 외 수송 및 건축물 분야에 대해서도 온실가스 배출 단위(tCO₂eq)단위 당 고정 비용을 선제적으로 납부하도록 하는 이산화탄소 세금 제도(CO₂-Tax, 일명 탄소세)를 2021년 1월부터 도입하였다. 이 제도는 수송 및 건축물 부문에 에너지원(난방유, 액화가스, 천연가스,

석탄, 휘발유 및 경유 등)을 공급하는 업체가 에너지원 거래 전 배출권 (Credit 또는 Certification)을 선행 구매하는 방식으로, 이러한 고정 가격 부과 방식은 독일 내에서 온실가스 배출량을 저감하고 절감 목표를 달성하는 경제적으로 가장 효율적인 방법으로 평가받고 있다. 해당 배출권 구입가격은 우선 25유로/tCO₂eq로 책정되었다. 이 가격은 2025년까지 55유로로 단계적으로 인상될 예정이며, 2026년부터는 55유로에서 65유로 사이에서 가격이 결정될 것으로 예상된다.

이전까지는 독일 내 에너지생산업체, 에너지 집약 산업체 및 독일 국내선 항공사들에게만 배출권 거래제 기반의 온실가스 배출 비용이 부과되었다. 그러나 2021년부터는 이산화탄소 세금 제도가 시행됨에 따라 에너지원의 생산자, 공급자 및 관련 서비스 제공 업체들도 배출권 구입비용을 지불해야 한다. 또 이 비용이 에너지원 공급 가격에 반영되기 때문에, 실질적으로는 에너지원을 구입하여 사용하는 업체 및 일반 소비자들에게 추가 비용이 부과될 것으로 예상된다.

배출권 구입비용 납부를 위해 각 연료원별 리터당 추가되는 비용은, 연료의 이산화탄소 배출량에 따라 결정된다. 휘발유의 경우, 1리터당 이산화탄소 배출량은 0.00237tCO₂eq(독일 기준)으로, 2021년 기준 톤당 고정가격 25유로를 적용하면 1리터당 추가되는 비용은 0.059유로 (5.9센트)이며, 부가세(19%)적용 후 최종 추가 비용은 0.07유로(7센트)/리터로 예상된다. 이러한 방식을 통하여 산정 가능한 연료별 추가되는 비용은 표 2와 같으며, 2025년 이후의 고정가격 변동에 따른 추가 비용은 약 두 배 이상 증가할 것으로 예상된다.

표 2. 연료별 이산화탄소가격제도 도입에 따른 추가 부담 예상비용

연료원	휘발유	경유	난방유	천연가스
추가비용	0.07유로 /리터	0.079유로 /리터	0.079유로 /리터	0.006유로 /kWh

배출권 거래제도 및 이산화탄소 세금 제도는 배출을 유발하는 주체에게 비용을 부과하여, 간접적으로 온실가스 배출의 감축을 유도하는 보조적인 수단이다.

배출권 거래제는 감축 목표(Cap)를 설정하여 이산화탄소 배출을 절감하는 것을 목적으로 한다. 감축 목표를 초과 달성한 경우에는 이를 외부에

판매(Trade)하여 절감 비용을 보전할 수 있는 반면, 내부 감축 비용이 너무 높은 경우에는 외부의 저렴한 배출권을 구입(Trade)하게 하여 목표를 달성하게 할 수 있다. 배출업체가 주도적으로 절감 방식을 선택할 수 있게 한 제도이다.

반면 이산화탄소 세금 제도는 배출을 유발하는 에너지원 거래 시, 단위 배출량 기준 고정 가격을 선행 납부하게 하고, 납부된 세수를 국가 에너지 전환, 에너지 효율 장비 개발 지원 및 도입 보조금 지급 등 국가 단위 절감 이행에 재투자하는 정부 주도의 절감 방안이다. 앞서 언급한 바와 같이, 배출량에 대한 비용을 부과하는 배출권 거래제와 이산화탄소 세금 제도는 배출량 감축을 위하여 경제적으로 매우 효과적인 방안으로 평가된 바 있다. 그러나 이러한 수단들은 감축 목표의 설정, 목표 달성을 위한 배출원별 절감 수단 검토 및 도입, 절감 수단 도입 후 정기적인 모니터링 및 효과 평가를 통한 목표의 정비 등의 자체 배출 절감이 선행되어야 하며, 이를 유도하기 위한 부가적인 수단으로 활용되어야 그 효과가 클 것으로 예상된다. 아울러, 배출량 비용부과제도는 배출원의 특성, 배출 주체에 따라 배출권 거래제 또는 이산화탄소 세금 제도가 적절하게 시행되는 것이 보다 효율적이라는 의견이 지배적이다.

현재 UN 기후변화협약(UNFCCC)의 큰 틀은 에너지원의 전환뿐 아니라 에너지 생태계의 변화, 더 나아가 생활 습관의 변화까지 주문하고 있다. 독일에서의 온실가스 배출량 감축은, 이미 생활 속 하나의 습관으로 각인되어 생활 방식의 전환이 단계적으로 실행되고 있다. 시장에서 구입할 수 있는 제품 하나하나에도 생산과정에서의 온실가스 배출량이 표기되어 있으며, 어떤 제품은 생산과정에서 사용된 전력의 100%가 신재생에너지에서 생산되었음을 표기하고 있다. 독일뿐 아니라 전 세계적으로 2050년까지 신재생에너지 100% 전환(RE100)이라는 불가능해 보이는 도전에 참여하는 업체들의 수도 점차 증가하는 추세이다. 기후변화협약에서 채택된 파리기후협정에 참여하고 있는 우리나라 역시 이러한 변화에 적응하고 향후 에너지 생태계 변화를 주도하기 위해 노력을 다해야 할 것이다. 

KIST EUROPE

유럽 폐기물 기본지침 (WFD) 개정에 따른 SCIP 신고 제도 도입에 관하여

채 자 영 KIST 유럽연구소 대외협력실 연구원, jayoung.chae@kist-europe.de

폐기물 처리문제가 전 세계적으로 점차 심각해지고 있다. EU의 경우 폐기물의 절대량을 줄이기 위한 방안을 오래 전부터 검토해왔으며, 특히 순환경제(circular economy) 시대에 들어서면서부터는 자원 순환을 위한 폐기물 재활용에 초점을 맞추고 있다. 하지만 EU 내 발생 폐기물의 상당량을 처리하던 중국이 2018년부터 폐기물 수입을 전면 금지함에 따라 폐기물 처리 문제가 보다 시급한 사안으로 다가오게 되었다.

폐기물은 적절한 방식의 재활용을 통해 자원으로써 가치를 지니게 된다. 그러나 재활용 과정에서 폐기물에 포함된 유해한 화학물질이 발생할 수 있으며, 이는 인간의 건강과 환경에 위험요인으로 작용한다. 때문에 유럽화학물질청(이하 ECHA)은 REACH(Registration, Evaluation, Authorisation and Chemical) 시행을 통해 EU 시장에 공급되는 완제품(Article)에 포함된 고위험우려물질(Substance of Very High Concern, 이하 SVHC) 정보의 신고를 의무화했다. 그러나 현재 유럽 내 폐기물 처리 업자가 활용할 수 있는 정보는 제한적이며, 폐기물 내에 존재하는 유해화학물질에 대한 정보는 파악조차 어려운 실정이다.

이에 유럽연합은 폐기물 기본 지침(Waste Framework Directive, 이하 WFD) 4차 개정(Directive (EU)2018/851)을 통하여 2021년 1월 5일부터, SVHC가 포함된 모든 완제품 정보를 ECHA 데이터베이스에 신고하도록 하는 SCIP 신고 제도(Substances of Concern In Products)를 도입하였다. ECHA는 새롭게 시작된 이 제도를 통하여 효과적인 폐기물 처리를 기대하고 있다. SCIP신고 제도의 주요 목표는 EU 시장 내에 유통되는 제품에 대한 유해화학물질 정보의 투명성을 향상시키고 폐기물 처리 프로세스를 개선하여 궁극적으로 SVHC 물질이 포함된 폐기물 발생량을 줄이는 것이다. 관련 당국은 SCIP데이터베이스 정보를 지속적으로 모니터링 하여 EU 시장에 유통되는 제품 내 유해화학물질에 대한 관리·감독을 강화해 나갈 계획이다.

ECHA는 현재 웹사이트를 통해 EU 시장에 유통되고 있는 SVHC 물질을 중량 대비 0.1% 이상 포함한 완제품에 대한 신고를 접수하고 있다. 1월 말 기준으로 600만건 이상의 신고가 접수되었으며, 아직은 시행 초기이므로 앞으로 더 많은 신고가 접수될 것으로 기대하고 있다. ECHA는 일상생활에 존재하는 유해화학물질의 위험성을 확인하고 평가·관리

하는 업무를 2021년도 최우선 목표로 하고 있으며, 주요 과제인 SCIP 데이터베이스를 계속 발전시킬 예정이다. 신고된 데이터는 폐기물 처리업자와 소비자에게 올해 상반기부터 ECHA 웹사이트를 통해 공개되므로 기업에게 올바른 정보 제공 책임이 요구된다.

SCIP 신고 제도는 REACH 에서의 완제품 의무와 무엇이 다른가?

SCIP 신고 대상은 SVHC 물질을 0.1중량 % 이상 포함하는 완제품으로 기존 REACH 제7조에서 규정하고 있는 완제품 신고의무 기준과 동일하다. 그러나 REACH 완제품 신고의무는 SVHC 물질의 총량이 기업당 연간 1톤 이상인 경우에 해당하는 ‘물질 중심’ 의무인 반면, SCIP 신고는 연간 총량 톤수에 상관 없이 SVHC 물질을 0.1 중량 % 이상 포함한 모든 완제품에 대해 신고의무를 부과하고 있는 ‘완제품 중심’의 의무이다. 따라서 데이터 수집을 위한 기업의 추가적인 노력이 필수적이다.

REACH 제33조 정보전달의무에서도 완제품 공급자는 ‘SVHC 물질의 정보 및 안전 사용 정보’를 완제품 수령인에게 제공하도록 하고 있다. REACH에서 ‘산업계, 전문가, 유통업자’ 대상으로 특별한 양식 없이 정보전달의무를 부여 하고 있다면, SCIP 신고 제도는 직접 ‘폐기물 처리업자, 소비자’에게 SCIP 데이터베이스를 통해 정보를 전달함으로써 REACH에서의 정보전달의무 및 소비자 알 권리를 보완한다.

SCIP 신고 내용 및 기업 대응 방안

SCIP 신고 대상인 완제품(Article)은 ‘완제품/부품(Article as such)’ 과 ‘복합제품’(Complex object)으로 나뉜다. 복합제품은 여러 개의 완제품이 결합 또는 연결된 완제품이며, 유럽으로 수출되는 대부분의 완제품은 복합제품의 형태에 해당될 것이다. 유럽사법재판소(European Court of Justice)는 2015년 판결을 통해 REACH 신고 대상 완제품의 범위를 개별 완제품/부품(Article as such)부터 적용됨을 명확히 하였다. 따라서 복합제품(Complex object)의 중량기준으로 SVHC물질이 0.1% 이상 해당되지 않을지라도 완제품/부품(Article as such)을 기준으로 하였을 때 중량 기준이 초과된다면 신고대상이 되므로, 최소 부품단위

까지 중량 기준 확인이 필요하다.

이행 주체는 EU 역내 완제품 생산자 및 조립업자(Producer and Assembler), 수입자 및 유통업자(Importer and Distributor)이다. 즉, SCIP 신고 의무는 EU 역내 업체에 한하여 적용되므로 한국 업체와 같은 EU 역외 공급자는 직접적인 SCIP 신고 의무가 없다. 그러나 EU 역내 기업들은 EU 역외 공급자로부터 제공받은 정보를 바탕으로 신고 서류를 작성하여야 하므로, 실질적으로 신고 서류에 필요한 완제품 정보는 EU 역외 공급자가 제공하여야 한다. 유럽에 제품을 수출하는 한국 기업들은 SCIP 신고에 필요한 완제품 정보를 요청 받을 것이 예상되므로, 신고 양식에 부합하는 정보의 수집과 대비가 필요하다. SCIP 신고의 경우 REACH 에서와 같은 대리인(Representative) 개념이 없으므로 유럽 내 업체의 계정으로 신고 서류를 제출해야 하므로 유럽 내 지사나 수입자가 이행해야 한다.

SCIP 신고 서류는 REACH에서 기술 서류 작성 시 사용되고 있는 IUCLID 6(International Uniform Chemical Information Database) 양식으로 제출해야 하며, ECHA는 간소화된 신고(Simplified SCIP Notification, SSN) 및 참조(Reference) 기능을 제공하여 한 번 등록된 완제품 정보에 대해 SCIP 신고 번호 공유만으로 신고를 간소화할 수 있게 하였다. 따라서 EU 내 하위사용자들이 간소화된 신고를 진행하기 위하여 생산자 및 수입자에게 SCIP 신고 번호를 요청할 것이 예상된다.

기업으로서는 REACH에서의 의무사항보다 더 복잡한 정보 제출이 요구되므로 새로운 의무사항에 대한 인식 제고와 인벤토리의 전반적인 검토가 필요하다. 구체적으로 완제품을 구성하는 모든 구성요소에 대한 자재 명세서(Bill of Material)를 작성하고, 사용된 원재료의 성분 및 중량을 확인할 수 있는 관리 체계를 갖추어야 할 것이다. 원료 및 부품의 공급사로부터 성분 테스트 보고서, 성분 명세서, 규제 준수 자가선언서 등을 통해 제품 내 구성요소에 대한 물질정보를 수집하고 SVHC물질의 포함 여부를 확인해야 한다. EU 역외 업체의 경우 서류 점검의 대상이 될 가능성이 있으므로, 완제품 정보를 보다 명확히 구비하여 신고 서류를 준비하는 것이 필요하며, 향후 생산자 책임 확대 및 관리가 강화될 것이 예상되므로, 장기적으로 SVHC 물질을 안전한 물질로 대체하는 SVHC-Free 제품 개발의 검토가 필요할 것으로 사료된다. **ktg**

VKIST

VKIST 사례로 살펴보는 한국 과학기술 ODA의 현황과 방향

금 동 화 VKIST 원장, dwkum@kist.re.kr

한국의 ODA 일반 현황

현황

한국은 2009년 DAC¹⁾ 회원국으로 가입함에 따라 제2차세계대전 이전에 식민지였던 나라에서 원조해주는 나라가 되었다. 2010년부터 DAC 회원으로 활동을 시작했는데, 우리 경제 규모에 걸맞게 개발원조 활동을 지속해서 확대해 오고 있다. 한국의 2019년 등가 지원액은 약 25억 달러이다. 전년 대비 13.9%, 그리고 2010년에 비해 두 배 증가한 숫자이다. GNI 대비 비율 또한 0.15%인데, 지난 10년 동안 연평균 증가율이 11.9%로 DAC 회원국 중에서 (연평균이 2.4%) 가장 빠르다. 그리고 2011년 부산세계개발원조총회를 주최하는 등 새로운 글로벌 컨센서스 형성에 적극적으로 이바지하고 있다. 이러한 우리나라의 대외 원조 활동은 현 정부의 신남방정책 추진으로 더욱 활력을 받고 있다.

주요 ODA 대상 국가

한국의 ODA 대상 국가는 주로 아시아, 아프리카, 중남미에 분포되어 있다. 2018년에 130개 국가를 지원했는데, 아시아가 891만 달러(47%)이고 아프리카가 515만 달러(27%)를 이었다. 지원 금액 순위로 상위 10개국에 29.4%가 쓰였다. 지난 10년 동안 베트남, 라오스, 캄보디아, 미얀마, 필리핀, 인도네시아 등 6개 아세안 국가 비중이 높다. 그만큼 아세안이 한국 개발원조에서 중요한 지역이다. 상위 20개국 데이터를 살펴보면(총 개발원조 금액의 43.7%에 해당), 한국의 ODA 대상 지역이 아프리카와 중남미 지역으로 확대되는 추세이다. 2019년의 경우, 20위에 아프리카 5개국과 중남미 2개국이 포함되기 시작한다.

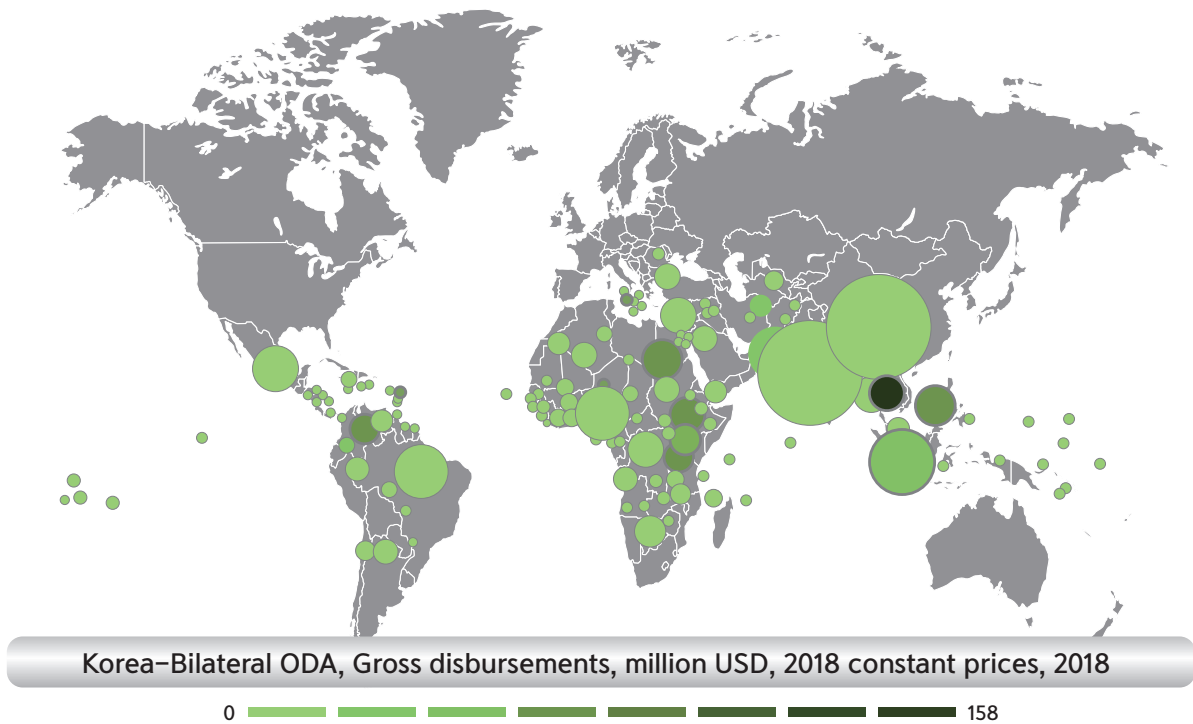
1) OECD 산하 개발원조위원회(Development Assistance Committee, DAC)

| 표 1. 2019년 ODA 규모 상위 20개국 |

(단위 : 백만달러)

순위	수원국	금액	순위	수원국	금액
1	방글라데시	98.98	11	몽골	45.93
2	베트남	96.98	12	탄자니아	42.78
3	미얀마	84.78	13	인도네시아	39.95
4	캄보디아	73.24	14	콩고	38.87
5	에티오피아	71.46	15	스리랑카	37.57
6	필리핀	65.68	16	니카라과	35.77
7	라오스	61.41	17	세네갈	34.21
8	우즈베키스탄	59.73	18	우간다	27.37
9	이집트	57.25	19	콜롬비아	24.29
10	파키스탄	55.65	20	케냐	23.87
10위 합계		725.15(29.4%)	20위 합계		1,075.76(43.7%)

| 그림 1. 원조 규모에 따른 양자 ODA 체결 국가들의 분포 |



자료 : OECD, Development co-operation profiles 2020

ODA 공여국으로서 한국의 특징

양자 간 ODA 활동 국가

우리나라는 개발도상국의 교통, 에너지, 환경 등 사회간접자원 분야에 지원하는 비율이 높다. 대체로 양자 간 협의 형태 (Bilateral ODA)가 주를 이룬다. 2018년의 경우, 최저 개발국 (least developed countries, LDCs)에 총액 6억7천만 불(전체 ODA 대비 35.2%)을 지원하였다 (DAC 회원국 평균 23.8%). 하위 중소득국가 (lower middle-income countries LMICs)에 38%, 그리고 상위 중소득국가 (upper middle-income countries, UMICs)에 10.2%를 할당하였다. OECD 등 국제 기구 보고서에서는 이러한 특징이 한국의 경제개발 과정에 있어서 인프라 투자의 중요성을 깨달았기 때문인 것으로 분석하며, 이것을 매우 긍정적으로 평가하고 있다.

과학기술에 강점을 가진 ODA 활동

글로벌개발센터(CGD)는 원조 국가들의 개발원조 품질 (CDI²⁾)을 평가해 발표하고 있다. 한국은 2020년 CDI 순위에서 DAC 회원국을 포함한 40개 국가 중 26위를 차지했다. 참고로 30K-50M 클럽³⁾ 회원국만을 보면, 프랑스 2위, 영국 4위, 독일 5위, 이태리 17위, 미국 18위 그리고 일본 21위이다. 이제 겨우 10년 차 DAC 회원임을 고려하면, 좋은 성적

이다. CDI에 7개 평가항목이 있는데, 한국은 기술 (technology) 성적이 가장 높다.⁴⁾ 이를 통해 살펴봤을 때, 한국은 과학기술 부문을 통한 ODA 지원에 강점이 있음을 알 수 있다.

우리나라가 CDI 평가에서 기술항목에서 높은 평가를 받은 이유를 살펴보면, 연구개발 투자, 기술개발에 유리한 세금 제도, 인력양성 및 국제 협력 부문에서 비교 우위를 갖기 때문이다. 이렇게 개발된 지식과 기술은 국경을 넘어 퍼져나가는 속성을 갖는데, 한국의 과학기술 발전 경험이 수원국에게 이식할 수 있는 가능성이 높아진다. 따라서 현재 베트남에서 추진 중인 한국의 ODA사업(“VKIST설립지원사업”)이 이러한 특징을 보여 주는 대표적인 사례이며, 또 이웃 나라에서 후속 사업으로 자국에 유치를 희망하는 이유이기도 하다.

한국 → 베트남 ODA 사업 현황

베트남은 지난 10년 동안 한국 ODA의 1위 수혜국이다. 2위 국가와도 지원 금액이 2배 가까이 차이가 날 정도로 크다. 2019년에만 51개 정부 부처와 지방자치 단체가 베트남에서만 357개의 사업(총액 9천 7백만 달러)을 ODA사업으로 수행했다. 지원 내용을 따져보면, 가장 높게 프로젝트 원조(8천만 달러, 전체의 65%), 이어서 전문가와 봉사단원 파견(9백만 달러, 전체의 9.2%)에 투자하였다.

| 표 2. 2020년 주요 국가 CDI 순위 (30K-50M 클럽 국가) |

국가	순위	FINANCE	EXCHANGE			GLOBAL PUBLIC GOODS			Income adjusted rank
			투자	이주	무역	환경	안보	기술	
프랑스	2	15	3	18	14	2	7	4	2
영국	4	5	2	24	10	10	1	21	3
독일	5	10	5	5	4	14	14	25	5
이탈리아	17	16	4	17	16	8	21	30	7
미국	18	20	9	19	8	35	3	27	17
일본	21	18	10	35	7	22	25	13	22
한국	26	34	30	23	34	29	28	3	26

출처: cgdev.org 자료

2) CDI(Commitment to Development Index): 글로벌개발센터(CGD)에서 매년 개발원조국가들의 ODA 품질을 7개의 항목을 통해 평가하고, 종합 점수를 통해 순위를 내는 지표

3) 1인당 GDP가 3만 달러 이상, 인구가 5천만 이상인 국가 그룹

4) CDI 내 기술항목 부문 평가에 있어, 1위는 호주, 2위는 룩셈부르크가 차지했다.

| 표 3. 한국 → 베트남 ODA 사업 지원내용 |

구분	사업 개수	약정액(백만달러)	증여 등가액(백만달러)
개도국 유학생 및 연수생 지원	78	3.2	3.2
국내·국제 NGO 및 PPP 지원	1	0.1	0.1
다자간 국제기구 특정 목적 프로그램 및 기금 지원	2	1.1	1.2
기타 기술협력	65	3.2	3.2
연수생 교육기관 지원 등	1	0.02	0.2
전문가 및 봉사단 파견	65	9.2	9.2
프로젝트 원조	145	35.6	80.1
합계	357	52.4	97.2

출처: 대한민국 ODA 종합 포털

VKIST 프로젝트

VKIST설립지원사업 주요 내용

VKIST는 베트남 과학기술부 산하에 새로 설립한 국립연구소이다. 법적 근거로 총리령을 가지고 있는데, 명칭에 베트남과 한국의 협력 사업이라는 뜻이 담겨있다. 베트남에 KIST와 닮은 과학기술연구소를 설립해서

운영방법까지 전수해주는 ODA 사업이다. 건물 등 하드웨어와 운영시스템 등 소프트웨어를 아우르는 일괄수주 방식이며, 전자는 주관기관인 KOICA가 후자는 KIST가 담당하고 있다. 한국의 ODA 예산은 총 3,500만 불 그리고 베트남이 토지, 건설 인프라 및 10년간 운영예산을 분담하여 총 7,000만 불 프로젝트이다. 양국은 공동으로 수립한 장기종합계획에 따라서 1단계 사업을 2014년부터 추진해오고 있다.

| 표 4. VKIST 프로젝트 개요 |

단계	Phase 1	Phase 1+α	Phase 2	Phase 3
목표	기초 R&D 건물 및 시설	기업 R&D 센터	확장 및 개발	프로젝트 완료
기간	2014 ~ 2017	2016 ~2020	2020 ~ 2027	2030 ~ 2034
토지면적(㎡)	79,512	-	86,288	31,113
건축부지 (㎡)	10,468	5,045	17,610	9,147
바닥면적 (㎡)	17,680	0	56,320	30,830
주요 건물 및 시설	본관(1), 실험실(3), 중앙 기계실, 수처리, 정문	기업 R&D 센터(2)	실험실(6), 기숙사(3), 중앙기계실(확장), 역사관 등	기업 R&D 센터(4), 체육시설
기타	용지개발 및 조경	-	용지개발 및 조경	용지개발 및 조경
예산 (USD)	28,671,088	21,074,775	66,931,202	14,792,120



KIST가 참여하는 배경은 “KIST를 벤치마킹해서 베트남 산업발전에 실효적으로 이바지하는 국가연구소 설립한다”라는 수원국의 요청에 있다. 핵심은 사회주의 환경에서 계약연구소를 설립하고 성공적으로 운영되는 모델(VKIST 모델)을 만드는 일이다. 베트남은 개발도상국으로서 국가혁신체제(National Innovation System, NIS)를 잘 갖추고 있으나, 새로운 도약을 위해서 극복해야 과제 역시 만만치 않다. KIST가 맡은 내용은 연구 분야 선정, 연구소 기본설비와 연구 장비의 구입 및 설치, 직원 채용과 교육훈련, 연구실 구축과 연구 착수, 그리고 연구소 운영과 연구과제 관리 제도를 전수하는 종합적인 내용을 담고 있다. 과거 미국의 무상원조를 통해 BMI (Battelle Memorial Institute)가 KIST를 설립해 준 역할과 같다.

추진 현황

본 ODA 사업은 VKIST설립 종합 계획 속 1단계에 해당되는데, 2014년 10월 착수되어 마무리 단계에 있다. 건물(행정동, 연구동 3개, 기계실 등 부대시설)과 정원 공사는 현재 93% 정도 진척되어 완공을 앞두고 있다. KIST가 맡은 과제도 일정표에 따라 진행되고 있고, 연구소의 안정적 연구수행과 이를 지원하는 행정 체계를 갖추어가고 있다. 특히 베트남 국립연구소를 계약연구소로 운영하는 VKIST 모델을 설계하여 재정 자율 운영제도(financial autonomy)를 시험하고 있다. 지난 해에 VKIST 내 4개 연구실에서 총 12개 연구과제를 수행하여, VKIST 모델의 성공 가능성을 보여 주었고, 올해는 이의 지속성을 검증하여 VKIST 모델을 완성하는 것을 핵심적으로 추진할 계획이다.

맺는말

VKIST 설립 지원 의미

VKIST 설립을 지원하는 개발원조 활동에는 다음과 같은 특별한 의미가 있다. 첫째로, VKIST가 KIST 시스템을 벤치마킹한 연구소라는 사실이다. 둘째는 과거에 개발원조 방식을 통해 BMI에서 배워 익힌 모델과 전문성을 후발 개도국과 공유한 것이다. 이러한 특징 덕분에, VKIST 모델의 핵심인 계약연구소 시스템은 베트남 환경에서 지속가능한 연구소 운영 모델로 잘 작동할 것으로 기대된다. KIST가 국제적으로 과학기술 발전과 확산에 이바지하는 책임성 있는 연구소로 평가받게 될 것이다.

그리고 무엇보다 본 사업을 통해, 한국의 개발원조 활동 품질을 크게 높이는 방향을 제시하는 의미가 있다. 본 사업에 담긴 발전적인 ODA 사업의 모습은 다음과 같다. 과학기술을 주제로 추진하는 i) 연구소 설립을 종합적으로 지원한다. ii) 수원국의 요청에서 착수한 수요 맞춤형형이다. iii) 지원국과 수원국 사이의 상생적 내용이 주를 이룬다. iv) 종합 계획에 따른 장기대형 ODA 사업이다. 따라서 향후 VKIST사업과 비슷한 형태의 과학기술 ODA 사업을 늘리는 정책변화는 한국의 CDI 수준을 높이는 분명한 지름길이 될 것이다. **KIST**

2050 탄소 중립 선언과 기후 위기 대응 전략

박연수 고려대학교 에너지환경대학원 박사과정, ysoo@kist.re.kr

2050 탄소중립선언, 기후변화 대응 목표 및 추진 전략은?

2020년 10월 28일, 문재인 대통령은 국회 시정연설에서 ‘2050 탄소중립 계획’을 천명했다. 탄소중립이란, 인간의 활동에 의한 온실가스 배출을 최대한 줄이고, 남은 온실가스는 흡수(산림 등), 제거(CCUS¹⁾)해서 실질적인 배출량이 0(Zero)가 되는 개념이다. 즉, 배출되는 탄소와 흡수되는 탄소량을 같게 해 탄소 ‘순배출이 0’이 되게 하는 것으로, 이에 탄소중립을 ‘넷-제로(Net-Zero)’라 부른다(정책위키, 2020). 이산화탄소 배출량 7위를 기록중인 우리나라가 탄소중립을 천명한 것은 무척 고무적인 선언으로 볼 수 있다. 하지만 그 약속은 실제 행동으로 옮겨져야 의미가 있다. 한국이 약속한 기한 내에 어떻게 탄소중립을 달성할 것인지, 산업계가 화석연료를 퇴출하고 100% 재생에너지 시스템으로 전환하기 위한 전략은 무엇인지 알아 보도록 한다.

[탄소중립의 필요성과 국내외 대응 현황]

- 지구의 온도가 2°C 이상 상승할 경우, 폭염 한파 등 보통의 인간이 감당할 수 없는 자연재해가 발생하며, 상승 온도를 1.5°C로 제한할 경우 생물다양성, 건강, 생계, 식량안보, 인간 안보 및 경제 성장에 대한 위험이 2°C보다 대폭 감소한다.
- 지구온도 상승을 1.5°C 이내로 억제하기 위해서는 2050년까지 탄소 순배출량이 0이 되는 탄소중립 사회로의 전환이 필요하다.
- 국제사회는 지구온도 상승을 1.5°C 이내로 억제하기 위해 위해 선진국과 개도국이 모두 참여하는 ‘파리협정’을 2015년 채택했고, 국제사회의 적극적인 노력으로 2016년 11월 4일 협정이 발효되었다.
- 스웨덴(2017), 영국, 프랑스, 덴마크, 뉴질랜드(2019), 헝가리(2020) 등 6개국이 ‘탄소중립’을 이미 법제화 하였으며, 유럽, 중국, 일본 등

주요국들이 탄소중립 목표를 선언하였고, 조 바이든 미국 대통령 당선인도 취임 직후 파리협정에 재가입하고 2050년까지 탄소중립을 이루겠다고 약속하였다.

- 국내에서는 12월 7일 홍남기 경제부총리 겸 기획재정부 장관 주재 ‘제22차 비상경제 중앙대책본부회의’를 개최하여 ‘2050 탄소중립 추진전략’을 확정·발표했고, 15일 국무회의에서 ‘2050 장기저탄소 발전전략(LEDs)’과 ‘2030 국가온실가스감축목표(NDC)’ 정부안이 확정되었다.

[탄소중립 추진전략 및 추진체계]

- 탄소중립·경제성장·삶의 질 향상 동시 달성을 목표로, △경제구조 저탄소화, △저탄소 산업생태계 조성, △탄소중립사회로의 공정전환의 3대 정책방향과 △탄소중립 제도기반 강화라는 3+1의 전략을 추진한다(관계부처 합동, 「2050 탄소중립 추진전략」, 2020).

① 경제구조의 저탄소화

- (에너지 전환 가속화) 에너지 주공급원을 화석연료에서 신·재생에너지로 적극 전환해나가기 위해 송배전망을 확충하고 지역생산·지역소비의 분산형 에너지시스템 확산을 추진한다.
- (고탄소 산업구조 혁신) 철강, 석유화학 등 탄소 다배출 업종 기술개발을 지원하고 고탄소 중소기업 대상 맞춤형 공정개선을 지원하는 등 고탄소 산업부문에서 혁신정책을 추진한다.
- (친환경차 및 수소차 확대) 친환경차 가격·충전·수요 혁신을 통해 수소·전기차 생산·보급을 확대하고 전국 2천만 세대 전기차 충전기 보급, 도심거점별 수소 충전소가 일상이 되는 미래상을 구현한다.
- (도시·국토 저탄소화) 신규 건축물에 대해 제로에너지 건축을 의무화하고, 국토 계획 수립 시 생태자원을 활용하여 탄소흡수능을 강화한다.

1) CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage) : 이산화탄소 포집, 저장, 활용 기술

② 신유망 저탄소산업 생태계 조성

- (신유망 산업 육성) 차세대전지 관련 핵심기술 확보와 그린수소를 적극 활성화해 2050년 수소에너지 전체의 80% 이상을 그린수소로 전환하고, 이산화탄소포집(CCUS)기술 등 혁신기술을 개발한다.
- (혁신 생태계 저변 구축) 친환경·저탄소·에너지산업 분야 유망기술 보유기업을 발굴·지원해 그린 예비유니콘으로 적극 육성하고 탄소 중립 규제자유특구를 확대하고자 한다(현재 11개).
- (순환경제 활성화) 지속가능한 생산·소비 체계를 구축하기 위해 철강 산업에서 현재 50% 수준인 철스크랩 이용목표를 상향 조정하는 등 산업별 재생자원 이용 목표율을 강화하고, 친환경 제품 정보제공을 확대할 예정이다.

③ 탄소중립 사회로의 공정전환

- (취약 산업·계층 보호) 내연기관차 완성차 및 부품업체와 같이 축소 산업에 대한 R&D, M&A 지원을 통해 대체·유망분야로의 사업전환을 적극적으로 지원하고, 근로자에게는 맞춤형 재취업을 지원한다.
- (지역중심의 탄소중립 실현) 현재 탄소중립을 선언한 81개 지자체의 탄소중립 실행 지원, 지역별 맞춤형 전략 이행을 위한 제도적 기반을 정비한다.

소중립 제도적 기반 강화

- (재정) 30년에 걸친 장기 목표 실현을 위해 '기후대응기금(가칭)'을 신규조성하고, 세제·부담금·배출권거래제 등 탄소가격 체계를 재 구축, 탄소인지예산제도 도입을 검토한다.
- (녹색금융) 정책금융기관의 녹색분야 자금지원 비중 확대, 저탄소 산업구조로의 전환을 위한 기업지원, 기업의 환경관련 공시의무 단계적 확대 등 금융시장 인프라를 정비한다.
- (R&D) CCUS, 에너지효율 극대화, 태양전지 등 탄소중립을 위한 핵심기술 개발을 집중 지원한다.

※ 추진체계

- 대통령 직속으로 민관합동 '2050 탄소중립위원회'를 설치하고 산업

부에 에너지 전담 차관 신설을 추진해 정부부처 탄소중립 실행역량도 강화할 예정이다.

['2050 장기저탄소발전전략(LED²⁾']과 새로운 온실가스 감축목표]

- 2015년 제21차 유엔기후변화협약(UNFCCC) 당사국 총회에서 파리 협정 채택으로 유럽연합(EU), 일본, 중국 등 세계 주요국에서 2020년까지 '장기저탄소발전전략(LED²)'과 상향된 국가온실가스 감축 목표(NDC³)제출해야 한다.
- 우리나라의 경우, ▲깨끗하게 생산된 전기·구소의 활용 확대 ▲디지털 기술과 연계한 혁신적인 에너지 효율 향상 ▲탈탄소 미래기술개발 및 상용화 추진 ▲순환경제로 지속가능한 산업 혁신 촉진 ▲산림, 갯벌, 습지 등 자연·생태의 탄소 흡수 기능 강화의 5대 기본 방향을 설정하였다.
- 갱신된 국가온실가스 감축목표는 경제성장 변동에 영향을 받는 배출 전망치(BAU) 방식의 기존 목표에서 이행과정의 투명한 관리가 가능하고 국제사회에서 신뢰가 높은 절대량 방식으로 전환하여 2017년 배출량 대비 24.4% 감축을 우리나라의 2030년 국가 온실가스 감축 목표로 확정하였다.

[탄소중립 추진을 위한 과제]

정부가 30년을 내다보고 결정한 탄소중립의 길은 국민 모두가 폭넓게 공감하고 꼼꼼하게 대비해야 하는 국가적 과제이다. 계획 수립 단계에서부터 시민들의 적극적으로 참여하여 지역의 저탄소 전환을 내실화하고, 전환 과정에서 발생하는 사회적 갈등을 해결하는 것과 기후 취약 계층을 위한 복지가 가장 중요하다. 이를 위해 국민 공감대를 확산할 수 있도록 정부 공유 시스템을 체계적으로 수립해야 한다. 또한, 주민들이 직접 참여할 수 있는 지역주도의 생태 마을 및 에너지 자립 마을, 제로 에너지 특화단지를 확대하는 등 도시와 농촌의 개발 패러다임을 전환하는 것이 중요할 것으로 보인다. 

*출처: 2020.12.21. 대한민국 정책브리핑 정책위키, 「2050 탄소중립」 2020. 11. 12., 대한민국 정책브리핑, 「2050 탄소중립선언 기후 위기 대응과 그린뉴딜 성공과제는?」.

2) LED² : Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies (장기저탄소발전전략)

3) NDC : Nationally Determined Contribution (국가 온실가스 감축 목표, 5년 주기 제출)

「국가연구개발혁신법」 시행

양 석 진 미래전략팀 인턴, sjyang24@kist.re.kr

국가 R&D 사업에 관한 범부처 공통규정으로 「국가연구개발혁신법」이 시행('21.1.1.) 되었다. 복잡한 연구개발 관리 규정을 체계화하여, 연구자가 행정 부담 없이 연구에만 전념할 수 있는 환경을 조성하기 위함이 목적이다. 부처별·사업별로 다른 연구개발 규정을 통합하여 불필요한 행정 부담을 제거하고, 연구개발 투자 효율성을 높이는 것이 해당 법안의 주요 골자이다. 올해 새롭게 「국가연구개발혁신법」이 시행됨에 따라, 제정안의 주요 내용과 변화에 대해 정리한다.

「국가연구개발혁신법령」 제정 경과

2000년대까지 과학기술은 선진국 추격 전략으로 경제성장을 주도하였지만, 질적 성장의 한계에 따른 선도형 시스템으로의 전환이 필요해졌다. 따라서 지속 가능한 혁신 성장을 위한 국가 R&D 체질 개선을

목표로 「국가 R&D 분야 규제 혁파 방안」이 발표되었다. 이를 시작으로 「국가연구개발혁신법」 법안이 발의되며, 약 2년간의 입법 과정을 거쳐 올해 1월 1일부터 시행되었다.

구성 및 주요 내용

「국가연구개발혁신법」은 5개 장, 41개 조(부칙제외)로 구성되어 있으며, 연구자의 자율성을 높이고 행정 부담을 줄이는 조치들을 담고 있다.

해당 내용은 부처별로 산재된 규정 일원화와 R&D 사업 프로세스 개선 등을 다룬다. 지속적 연구개발과 혁신 환경 조성을 위해 ① 부처별 상이한 규정 및 제도에 대한 일관적 운영 ② 연구자 중심의 R&D 혁신을 위한 관련 제도 개선 ③ 통합시스템 구축 등의 방안을 마련한다. 1장(총칙)에



구분	주요 내용
총칙	목적, 정의(연구개발과제, 연구개발기관, 연구개발성과), 적용 범위, 책임 및 역할 등 규정
국가연구개발사업의 추진	연구개발과제의 선정·협약·평가, 연구개발비의 지급 및 사용, 연구개발 성과의 소유·관리, 기술료의 징수 및 사용 등을 규정
국가연구개발 혁신 환경 조성	통합정보시스템, 보안, 전문기관, 연구지원, 제도 개선 등을 규정
국가연구개발사업 관련 연구윤리 확보 및 제재 처분	연구윤리, 제재 처분 및 재검토, 사후관리, 성실 수행 등을 규정
보칙	연구자에 대한 손해배상 청구 제한, 업무 위탁, 비밀유지의무 및 벌칙 등을 규정

| 「국가연구개발혁신법」을 통해 달라지는 점 |

분야	항목	기존 내용	변경 내용
연구 절차	공모	공모 일정불확실	(공모 일정 사전예고) 연구자의 예측 가능성 및 참여 기회 제고
	선정	10개 이상 평가 항목	(역량, 계획 중심 평가) 연구자의 역량과 계획을 중심으로 평가
	협약	협약 변경기준 불확실	(협약 변경기준·절차 확립) 협약 변경의 기준과 절차 명확
	평가·정산	연차별 평가 · 정산	(단계별 평가, 정산) 연차별이 아닌 단계별로 실시
	연구비	물량 X 단가중심 관리	(총액 위주 관리) 비목별 총액 수준 작성으로 사용 계획 간소화
연구 환경	정보시스템	부처마다 다른 시스템	(통합된 정보시스템) 국가연구개발사업 통합정보시스템을 구축
	연구지원	연구자에게 책임 집중	(기관의 연구지원 강화) 연구개발기관을 대상으로 연구자원체계의 구축 및 운영에 관한 평가 실시
	전문기관	전문기관 서비스 불만족	(전문기관 운영 효율화)전문기관 지정, 운영에 대한 실태조사 및 분석
	제도개선	불규칙한 의견 수렴	(누구나 수시로 제안 가능) 누구든지 제도 개선 제안이 가능하며, 이를 반영하여 매년 행정제도 개선안 마련
연구 윤리	성실 실패	성실 수행 시 제재 감면	(성실 수행 시 제재 제외) 수행 과정과 결과가 극히 불량한 경우만 규정
	제재 한도	참여 제한 최대 5년	(참여 제한 최대 10년) 부정행위 확정 시 제재 한도 상향
	이의신청	제제한 부처에서 검토	(제3의 기관에서 검토) ‘연구자권익보호위원회’에서 제재 처분의 적절성 등을 검토

서는 정의 신설을 통한 용어 일원화 및 타 법률과의 관계를 명시한다. 특히, 2장(국가연구개발사업의 추진), 3장(국가연구개발 혁신 환경 조성), 4장(국가연구개발사업 관련 연구윤리 확보 및 제재 처분)에서 각각 연구 절차, 연구환경, 연구윤리 분야에서의 변화 내용을 규정한다.

시사점

먼저 국가연구개발사업에 대한 20년 만의 법체계 통합과 혁신이라는 점에서 의미가 있다. 부처별로 상이했던 규정과 제도를 통합적·체계적으로 운영함에 따라 여러 규정의 난립을 방지할 범부처 연구개발 법령으로써의 역할을 지닌다. 또한, ‘기획-선정-수행-평가-보상-행정’의 국가 R&D 과제 수행 전(全) 단계에서 연구자 중심으로의 변화로 연구자의 몰입과 수행 과정의 효율을 높인다.

이와 더불어 법령 제 1조에 따라 국가연구개발사업 추진 체제의 혁신과 자율·책임의 연구환경 조성을 통해 국가연구개발혁신이 지속되는 기틀을

마련했다는 점에서 의미를 지닌다. 연구기관과 연구자들은 자율적이고 책임 있는 R&D 환경에서 분야별 발전과 혁신을 위해 각자의 책무를 다할 것으로 기대되며, 연구환경개선과 산·학·연·병 등 혁신 주체의 역량을 강화하는 기반을 마련할 수 있다.

국가연구개발의 지속 가능한 혁신을 위해 해당 법령이 유명무실하지 않도록 R&D 연구의 각 추진 체제 간 유기적 협업이 중요하다. 법령 내용이 연구 현장에서 뿌리를 내리고, 지속적인 현장 수요 반영의 운영 시스템을 확립하는 과정에서 다양한 관계자들의 긴밀한 연계가 필요하기 때문이다. 혁신은 한순간에 이뤄지지 않는다. 이번 제정안을 시작으로 우리나라 연구개발의 혁신 기반 토대를 마련하여 세계 선도적 시스템을 이룩하는 기회로 나아가야 할 것이다. **KIST**

*출처: 이재훈·유지은(2020.09). 국가연구개발혁신법 주요 내용과 시사점. KISTEP강지민(2020.08). 국가연구개발혁신법의 주요 내용과 경기도 시사점. GBSA

바이오 생태계 발전의 마중물, K-바이오 랩센트럴

손 소 연 정책기획팀 인턴, syson@kist.re.kr

<K-바이오 랩센트럴>이 한국 바이오 창업 생태계를 견인할 것으로 기대된다. 지금껏 바이오 분야의 투자는 신생보다 후기단계 스타트업에 집중돼 왔다. 하지만 분야 특성상 초기 개발비용이 막대하게 들기 때문에 신생 스타트업을 발굴하고 육성하는 정부의 지원이 절실했다. 이에 중소벤처기업부는 금년 상반기 광역지방자치단체 한 곳을 공모해 바이오 벤처·스타트업 지원기관인 K-바이오 랩센트럴 설립을 추진한다. 기존 창업보육기관과 차별되는 동 기관의 특징은 이렇하다.

- 바이오 창업에 특화된 시설이나 장비, 원스톱 행정서비스 등을 지원한다. 이곳에는 스타트업 입주 공간 외에도 공용 시험·분석실, 실험 폐기물 처리시설 등이 들어서고 실험분석 장비와 생물안전 3등급 시설이 마련된다.
- 입주기업이 생산한 의약품의 안전성과 유효성을 보장하고자 GMP(우수제조관리기준)를 인증받은 생산시설을 구축한다. 스마트공장 도입도 병행하며 생산성과 품질 향상을 꾀한다.
- 인공지능과 정보통신기술, 나노기술 등의 융복합 인프라를 구비해서 신약개발 기간 단축 및 RNA 치료제·백신 개발, 약물전달 기술개발 혁신을 도모한다.

그러나 K-바이오 랩센트럴 단일 요소만으로는 생태계 성숙을 기할 수 없다. 마치 단일 세포는 그렇지 않지만 세포의 총체인 인간이 고차원 의식 활동을 할 수 있는 것과 같다. 좋아하는 상대와 대화할 때 가슴이 두근거리는 까닭은 심장 세포가 상황을 인지해서 심장을 더 빨리 뛰게 한 것이 아니라 개체가 의식을 갖고 생각한 결과이다. 이처럼 개개의 요소가 모여 이전에는 없던 새로운 가치를 창출하는 성질을 창발성(emergent property)이라 한다. 창발성은 개체보다 넓은 개념인 바이오 생태계에도 적용된다.



▲ 그림 1. 보스턴 바이오클러스터 전경

따라서 중소벤처기업부는 기관의 육성뿐만 아니라 오픈이노베이션에도 집중한다. VC·연구소·병원·제약사와 같은 바이오 주체들을 인프라 중심으로 한데 엮어서 기존에 없었던 가치를 창발하려는 것이다. 이때 중심점이 되는 인프라가 K-바이오 랩센트럴이고 창발하려는 가치는 바이오 벤처·스타트업의 지속 가능한 혁신 성장이다.

바이오 맞춤형 지원 및 오픈이노베이션 거점화처럼 동 기관의 많은 부분은 미국의 비영리법인 인큐베이터 랩센트럴(LabCentral)을 벤치 마킹했다. 랩센트럴과 비교하면서 K-바이오 랩센트럴의 기대효과를 짐작할 수 있을 것이다.

[랩센트럴 : A launchpad for high-potential life-sciences startups]

- (개념) 랩센트럴은 자신들의 역할을 ‘도약대(launchpad)’로 정의한다. 처음 스타트업을 시작할 때 가장 기틀이 되는 실험·사무공간과 실험기구, 비품 등을 입주기업에게 저렴한 가격으로 임대하기 때문

이다. 연구에만 몰입하도록 각종 행정업무도 지원하므로 기업은 창업 비용을 크게 줄일 수 있다.

- **(지역적 강점)** 랩센트럴이 위치한 미국 매사추세츠주의 캔달스퀘어에는 대학교, 병원, 연구소 외에 전 세계 20위권 안에 드는 글로벌 제약사가 13개 위치한다(2019년 기준). 입주 스타트업은 탄탄한 지역 바이오 인프라를 활용해서 투자를 유치하고 네트워크를 형성하고 M&A를 촉진할 수 있다.
- **(경제적 성과)** 강점을 발판 삼아, 기관 설립연도인 2013년부터 2019년까지 랩센트럴이 유치한 누적 투자액은 59억 달러(약 6.6조 원)다. 2019년에는 입주기업과 졸업기업이 582만 달러(약 66.5억 원)의 시리즈 A 투자를 완료했다. 이는 미국 바이오파마 시리즈 A의 전체 지분을 20%에 상응한다. 또한 2018년까지 특허 출원 260건, 등록 45건을 달성했다.

[대덕열린포럼 : K-바이오 랩센트럴 필수 조건]

K-바이오 랩센트럴 사업을 성공적으로 유치 및 수행하기 위한 조건에 관심이 쏠리고 있다. 지난 2월 23일에 대덕열린포럼은 지자체, 병원, 산업계, 출연(연)의 대표급 인사를 초청해 질문에 답하는 시간을 가졌다. 산·학·연·병·관 중에서 학계를 제외한 인사들이 두루 자리했기에 각계의 입장을 대표하는 이야기가 오갔다. 논의된 K-바이오 랩센트럴의 핵심 조건을 발제 순서에 따라 정리했다.

- **[官]** 동 사업의 핵심은 장비나 시설 제공에 그치는 게 아닌, 바이오 기업의 발굴과 진흥이다. 이를 위해 지방자치단체는 전체적인 사업 흐름을 파악하고 필요한 행정적 자원을 적재적소에 공급해야 한다(김명수 대전광역시 과학부시장).
- **[病]** 바이오 벤처·스타트업이 지역의 임상 실시 병원과 끈끈히 협력하고 병원 자원을 사용할 수 있도록 도모해야 한다. 연구개발품의 최종 수요처이면서 우수한 연구 인프라와 고급인력, 방대한 영상 자료를 보유한 병원의 적극적인 참여가 중요하다(윤환중 충남대학 교병원장).
- **[産]** 선진과 국내 클러스터를 비교해서 우리에게 맞는 전략을 세워야

한다. 매사추세츠주 보스턴 랩센트럴은 바이오 생태계가 성숙한 단계에서 태동했으므로 출발점이 다른 우리나라에 그대로 적용하면 안 된다. 보스턴과 달리 한국에는 시장 흐름을 선도하는 앵커기업(선도기업)의 적극적인 멘토 역할, 전주기적 사업화 전문지원기관, 산·학·연·병의 꾸준한 협력 등이 부족하다(이승규 한국바이오협회 부회장).

- **[스타트업]** ① 예비 창업자를 창업시장으로 유인하기 위해 그들의 니즈를 고려한 체제를 마련한다. ② 기업의 글로벌 시장 진출을 위해 다양한 기술이 융합하는 환경을 구축한다. ③ 기업 설립부터 성숙까지, 전주기적이고 빠른 성장을 지원한다. 충분한 지원을 뒷받침하면 짧은 기간에도 체계적으로 성장하는 바이오 기업이 많아질 것이다(이성운 레보스케치 대표).
- **[출연연]** 보스턴의 성공 사례를 바탕으로 도출한, K-바이오 랩센트럴 유치지의 필수 조건은 이러하다. ① 바이오 창업 수요가 많고 실제로도 창업이 활성화돼 있어야 하며 ② 아이디어와 경험을 자유롭게 나누는 문화가 필요하다. ③ 바이오 외에 다양한 기술을 쓸 수 있는 다학제 연구지이면서 ④ 투자가 활기 띠는 지역일수록 좋다(권오석 한국생명공학연구원 중소벤처기업지원센터장).

정리하면, K-바이오 랩센트럴의 유치는 바이오 생태계 주체가 활발히 교류하는 지역이어야 한다. 협업으로 새롭게 탄생한 가치가 생태의 지속 가능한 발전을 이끌기 때문이다. 또, 그 밖의 필수 조건을 따르다면 K-바이오 랩센트럴은 마중물 되어 연구개발-임상-상용화-투자 확대-경제 성장-연구개발비 확대 선순환을 촉발할 수 있을 것이다. **K&G**

*출처: 중소벤처기업부 (2021.03.10). K-바이오 랩센트럴 구축 방안.

LabCentral (2020). Impact Report. <https://labcentral.org/about/mission/>
2021.02.23.(화) 대덕열린포럼.

Technology
Policy
Research
Institute



기술정책연구소

Technology Policy Research Institute

발행 한국과학기술연구원 기술정책연구소 연락처 TEL 02_958_6040