

환경 분야
미래전략
Environment

KAIST Future Strategy 2022

- + 도시 문제를 해결할 도심 항공 모빌리티
- + 기술을 통한 기후변화 대응의 가능성과 위험
- + 인간적 가치 중심의 스마트시티
- + 생태환경의 변화와 감염병 관리 전략
- + 생물다양성을 복원하는 생태 전략

도시 문제를 해결할 도심 항공 모빌리티

□ □ □ ■ ■ ■ ■ ■ 전기화, 자율주행, 마스MaaS, Mobility as a Service로 촉발된 지상에서의 모빌리티 혁명이 이제는 하늘로 향하고 있다. 도심 항공 모빌리티UAM, Urban Air Mobility라는 3차원 공중 교통 시스템은 도시의 이동성 문제를 근본적으로 해결할 새로운 대안이다. UAM 생태계 확산을 위해서는 기술의 지속적인 개선과 융합, 제도와 법률의 정립, 새로운 인프라 구축, 사회적 수용성 증대가 균형 있게 발전해나가야 한다. UAM은 초융합 산업으로 다양한 산업에 신시장을 창출할 수 있는 파괴력을 갖고 있다. 따라서 정부와 기업은 UAM의 가치사슬을 분석해 신성장 기회를 모색해야 한다.

도심 항공 모빌리티의 출현

도시의 팽창과 모빌리티 생태계의 확장

전 세계적으로 도시화가 빠르게 진행되고 있다. UN에 따르면 이미 2010년을 기점으로 전 세계 도시 인구가 지방 인구를 추월하기 시작했다.⁶² 2018년 도시화율은 55.3%를 기록했으며, 2050년이면 68.4%에 이를 것으로 전망된다. 우리나라의 도시화율은 2020년 이미 80%를 넘어섰으며, 2050년 86.2%에 달할 것이 예측된다. UN의 조사 결과 전 세계에 1,000만 명 이상이 거주하는 메가시티는 1990년 10개에 불과했으나 2018년 33개로 증가했고, 2030년에는 43개에 이를 것으로 보인다.

그런데 도시 집중화 현상은 교통, 주거, 환경, 에너지 등 다양한 측면에서 문제를 유발하고 있다. 특히 도시의 도로를 가득 메운 자동차는 극심한 교통체증을 유발하고 있으며, 이로 인해 막대한 사회·경제적 손실이 발생한다. 교통량 분석 업체 인릭스INRIX에 따르면 2018년 미국 시민들은 교통체증으로 연간 평균 97시간을 낭비했으며, 이로 인해 전체 870억 달러, 1인당 1,348달러의 손실을 본 것으로 추정된다. 우리나라도 2016년 한국교통연구원에서 교통 혼잡 비용을 추산한 결과 2015년 기준 약 33조 원에 달하였다. 도시의 교통 문제는 교통 혼잡으로 끝나는 것이 아니라 주거, 환경, 에너지 분야에서 또 다른 도시 문제가 연쇄적으로 발생하는 원인이 된다. 즉 도시의 교통 문제 해결은 도시 전체의 거주 적합성을 위해서라도 반드시 해결해야 할 과제다.

하지만 도시의 지상과 지하 공간은 이미 심각한 포화 상태다. 지상에는 각종 건물과 시설이, 지하에는 지하철, 상하수도관, 가스관, 통신망

등이 가득 차 있다. 점점 가속하는 도시화 상황에서 막대한 비용을 쏟아 부어 지상과 지하에 신규 교통망을 확충해나가는 일은 머지않아 한계에 이를 것이다. 도시 내 2차원 공간의 활용만으로는 도시의 교통 문제를 해결하기가 점점 더 어려워질 것이다. 이러한 상황에서 첨단기술을 융합한 모빌리티 신사업을 향한 관심이 점점 더 커지고 있다. 이미 수년 전부터 제조, 디지털, 에너지 기술이 접목된 자동차의 전기화, 자율주행, 마스는 세계 최대 IT·가전 박람회인 CES에 단골손님으로 등장해왔다. 특히 2020년 개최된 CES에서는 미래 자동차의 혁신 요소를 모두 갖추고 있으면서도 도심 내 3차원 공간인 공중에서 이동이 가능한 도심 항공 모빌리티 UAM이 등장해 미래 신성장 동력으로서 시장의 기대를 한 몸에 받았다. UAM은 그 자체로 새로운 가치를 창출하는 신사업이자 동시에 초융합적 산업으로 관련 전후방 제조 및 서비스 가치사슬 전반에 걸쳐 연쇄적인 혁신을 가져올 것으로 기대된다.

새로운 이동 수단, 개인용 비행체

도시 하늘을 누빌 새로운 교통수단으로 대중에게 가장 친숙한 모델은 하늘을 나는 자동차, 플라잉 카(Flying Car)라 할 수 있다. 현대적 의미의 플라잉 카는 2010년을 전후해 본격적으로 공개되기 시작했다. 미국 MIT 졸업생들이 설립한 회사 테라퓨지아(Terrafugia)는 2009년 자동차에 접이식 날개를 갖춰 도로에서의 주행과 하늘에서의 비행이 모두 가능한 ‘트랜지션(Transition)’이라는 플라잉 카를 선보였다. 테라퓨지아 외에도 2012년 네덜란드의 팔브이(PAL-V)가 자동차와 자이로콥터를 결합한 ‘리버티(Liberty)’를 공개했으며, 슬로바키아의 에어로모빌(AeroMobil)도 2014년 자동차와 비행기를 결합한 ‘에어로모빌 3.0’을 내놓았다.

이러한 초기 플라잉 카 모델들은 도로 주행과 공중 비행이 모두 가능하다는 점에서 혁신적이었지만, 내연기관 엔진을 사용하기에 공해를 유발하고 소음이 크며 이륙하기 위해서는 활주로 같은 별도의 공간이 필요하다는 단점을 갖고 있었다. 기술적 가치는 인정받았으나 도시의 환경오염이나 교통체증, 한정된 공간 이용 같은 문제들을 해결하기에는 한계가 있었다.

이에 따라 최근에는 자동차와 항공기를 결합한 전통적인 플라잉 카의 단점을 극복하고, 도시 문제를 해결할 수 있는 새로운 대안으로 ‘드론과 항공기의 결합’ 모델이 떠오르고 있다. 현재 개발이 진행되고 있는 드론형 공중 이동 수단은 기술적으로 배터리와 모터를 추진 동력으로 해 친환경적이며 소음도 적다. 또 건물 옥상 등을 이용하면 도심 내에서의 수직 이착륙이 가능하다. 드론형은 활주로 같은 넓은 공간이 필요하지 않고 지점 간 point-to-point 운송이 가능해 초기 플라잉 카 모델보다 UAM 생태계에 더 적합한 운송 수단으로 인식되고 있다. 장애물이 거의 없는 공중에서만 이동하기 때문에 도로 주행을 겸하던 초기 플라잉 카 모델과 비교해 원격 조종이나 자율 비행도 수월하다.

드론형 공중 이동 수단의 경우 광의의 개념에서 플라잉 카의 범주로 볼 수 있지만, 도로 주행보다는 공중에서의 도시 내 이동에 초점이 맞춰져 있어 개인용 비행체 PAV(personal aerial vehicle)라는 표현이 더 빈번하게 사용되고 있다. PAV는 운용 방식에 따라 공중에서의 비행만 가능한 싱글 모드, 공중에서의 비행과 도로에서의 주행이 모두 가능한 듀얼 모드로 구분된다. 초기 플라잉 카들이 듀얼 모드에 해당한다. PAV는 이착륙 방식에 따라 STOL(short take-off and landing)과 VTOL(vertical take-off and landing)로도 구분할 수 있다. STOL형 PAV는 일반 여객기만큼 긴 거리는 아니

지만 이륙하기 위해서는 활주로가 필요하다. 반면 VTOL형 PAV는 활주로 없이도 수직 이착륙이 가능하다. 운행 방식에 따라서는 수동비행과 자율비행, 사용 에너지에 따라서는 내연기관과 전기 동력으로 구분할 수도 있다. 다양한 PAV의 유형 중 시장을 지배하는 제품은 아직 등장하지 않았다. 그러나 현재 개발되고 있는 개체들을 보면 싱글 모드-VTOL형 PAV가 다수를 차지한다. 그리고 최근 개발되고 있는 VTOL형 PAV는 배터리와 모터를 통해 동력을 얻는 eVTOL^{electric-powered vertical take-off and landing}이기도 하다.

UAM 생태계를 이끄는 기업들

eVTOL을 개발하고 있는 주요 기업들을 살펴보면 전문 기술 스타트업이 대다수다. 대표적으로 미국의 조비에비에이션 JobyAviation과 키티호크 Kitty Hawk, 독일의 볼로콥터 Volocopter와 릴리움 Lilium, 중국의 이항Ehang, 캐나다의 오프너 Opener, 영국의 버티컬 에어로스페이스 Vertical Aerospace 등을 꼽을 수 있다. 전문 기술 스타트업 외에도 글로벌 항공기 제조사인 에어버스Airbus가 실리콘밸리에 있는 미국 자회사 A-큐브드A³를 통해 eVTOL의 시험 비행을 진행 중인 것으로 알려졌다. 또 보잉Boeing은 2017년 자율주행 로봇 항공기 제조기업인 오로라 플라이트 사이언스Aurora Flight Sciences를 인수해 eVTOL의 시험 비행을 진행하고 있다.

몇몇 글로벌 항공기 제조사들이 자회사를 통해 간접적으로 시험 비행을 하고 있긴 하지만, eVTOL의 개발을 스타트업이 주도하게 된 것은 새로운 시장에 대한 스타트업 특유의 도전 정신과 함께 모험 자본의 적극적 투자가 뒷받침되었기에 가능했다. 특히 투자자들의 면면을 살펴보

면 자동차 업계와 IT업계의 참여가 두드러진다. 이는 항공기 제조사뿐만 아니라 자동차 업계와 IT업계도 UAM 생태계의 시장 잠재력과 성장 가능성에 주목하고 있음을 시사한다. 일례로 미국의 조비에비에이션의 경우 인텔 캐피탈과 토요타 AI 벤처스, 그리고 플랫폼 기업인 우버가 주요 투자자들이다.

한편, 다수의 전문 기술 스타트업이 앞서가고 있지만, 기존의 항공 및 자동차 기업들도 기술력과 자본력을 앞세워 빠르게 추격하는 양상이다. 자회사 A-큐브드를 통해 eVTOL 모델 ‘바하나^{Vahana}’의 시험 비행을 진행 중인 에어버스는 2019년 자체적으로 개발 중인 항공택시 ‘시티에어버스’의 프로토타입을 공개했다. 항공기 OEM인 브라질의 엠브라에르^{Embraer}도 ‘드림메이커’라 불리는 eVTOL 콘셉트 디자인을 선보였다. 또 현대자동차는 UAM 개발에 가장 적극적인 완성차 업체로 평가받는데, 2020년 CES에서 PAV 컨셉 ‘S-A1’을 공개하면서 2028년 상용화 계획을 발표했다. ‘S-A1’은 조종사를 포함해 총 5명이 탑승할 수 있고, 최고속도 290km/h로 최대 약 100km를 비행할 수 있다. 이에 앞서 아우디, 애스턴마틴, 롤스로이스, 포르쉐와 보잉 등도 PAV의 디자인 콘셉트를 공개한 바 있다.

항공기나 자동차 제조사는 아니어도 한화 그룹의 방위 산업 계열사인 한화시스템도 UAM에 적극적으로 투자하고 있다. 한화시스템은 2021년 미국 PAV 개발 업체 오버에어^{Overair}를 인수했는데, 2024년까지 기체를 개발하고, 2025년 에어택시 시범 운행에 나선다는 계획이다.

이렇게 다수의 스타트업과 항공기·자동차 제조사, IT·소프트웨어 기업들이 직접 또는 간접적으로 PAV 개발에 열을 올리고 있지만, 코로나 19 팬데믹 이전까지 가장 적극적으로 UAM 생태계를 주도한 기업은 바

로 플랫폼 기업인 우버였다. 다만 우버의 경우 코로나19로 인해 차량 호출 사업에 큰 타격을 입으면서 2020년 12월 자사의 에어택시 사업부인 우버엘리베이트를 조비에비에이션에 매각했다. 그러나 우버는 조비에비에이션에 7,500만 달러를 새롭게 투자하면서 파트너십을 강화할 계획이라고 발표했다. 우버는 PAV와 기존 차량 호출 애플리케이션을 연계해 UAM 서비스를 운영하는 역할을 모색할 것으로 보인다.

UAM 시장의 성장 잠재력

모건스탠리에 따르면, UAM 생태계의 잠재적 시장 규모는 2040년 1조 5,000억 달러에 달할 것으로 전망된다.⁶³ 또 글로벌 회계·컨설팅 기업인 KPMG는 2030년에 접어들면 전 세계적으로 매년 1,200만 명의 승객이 UAM 서비스를 이용할 것으로 전망했으며, 2050년에 이르면 이용객이 4억 4,500만 명에 달할 것으로 추정했다.⁶⁴

다만 UAM의 활용 범위는 시기별로 다소 차이가 있을 것으로 보인다. 2030년대에는 우선 도심과 공항을 오가는 셔틀 노선으로 활용되고, 2040년에 접어들면 도심의 통근 노선이나 항공택시로까지 활용 범위가 확대될 전망이다. 이후 2050년에 이르면 광역권 도시 간 이동도 가능해질 것으로 예측된다.

특히 KPMG는 인구 밀집과 경제성장, 도로 혼잡도 등을 고려할 때 향후 UAM 시장의 성장 가능성이 가장 큰 지역으로 서울, 도쿄, 베이징, 상하이, 델리 등 아시아의 메가시티를 꼽았다. 새롭게 태동하는 거대한 시장이지만 아직 시장을 지배하는 강자가 없기에 기업들은 치열한 개발 경쟁을 벌이고 있다. 각국 정부도 UAM을 미래 신성장 동력으로 여기고 로드맵을 구축하고 있다. 우리 정부도 2020년 ‘한국형 도심항공교

통 K-UAM 로드맵'을 확정하면서 2024년 비행 실증, 2025년 최초 상용화, 2030년 본격 상용화의 단계적 목표를 제시한 바 있다.

UAM의 상용화 과제와 전략 방향

UAM이 그리는 미래가 현실이 되기 위해서는 기술, 제도, 인프라, 사회적 수용 측면에서 넘어야 할 산이 많다. 먼저 기술적 측면에서는 PAV의 배터리 밀집도 향상, 분산 전기 추진, 완전 자율비행, 소음공해 저감, 집단 PAV 관제 시스템, 사이버 보안 등에서 추가적인 기술 개발이 필요하다. 제도적 측면에서는 PAV의 제원에 대한 인증부터, 운행 규정 수립, 도시 내 공중 이동에 따른 재산권이나 사생활 침해에 대한 부분도 검토해야 한다. 완전 자율비행으로 가기 전까지 PAV 파일럿의 자격을 어느 수준으로 결정할 것인지도 중요하다. 이를 위해서 UAM 개발 기업과 규제 기관이 함께 관련 제도와 법률을 정비해나가야 한다.

UAM 생태계 확산을 위한 또 다른 필수적인 요소는 인프라 구축이다. 현재 대부분 PAV가 eVTOL로 개발되고 있는 만큼 활주로를 가진 공항처럼 거대한 인프라가 필요하지는 않을 것이다. 그러나 복잡한 도심에서 수많은 PAV를 어디에서 띄울 것인지, 또 전기동력으로 개발되는 PAV를 어디에서 충전하고 정비할 것인지 결정하는 것은 단순한 문제가 아니다.

기존 헬리콥터 이착륙장을 개조하는 방법도 있지만, 다수의 시민이 이용하게 될 UAM 개념에 비춰보면 그 수가 턱없이 부족하다. 일반 건물의 옥상을 개조하는 것도 안전 문제상 쉽지 않다. 이에 따라 PAV 전용 터미널을 새롭게 구축하는 것이 실질적인 방안으로 보인다. 새로운 인프라는 PAV의 이착륙·충전·정비가 가능한 것은 물론, 각종 휴게 및

편의시설도 갖추고, 승용차·버스·지하철 등 기존 지상의 모빌리티와 환승이 가능하도록 설계되어야 할 것이다.

한편 시민들이 UAM을 받아들이지 않으면 UAM 생태계는 조성될 수 없다. UAM 생태계 조성을 위한 마지막 과제이자 가장 중요한 부분은 바로 사회적 수용성을 높이는 것이다. 이를 위해서는 합리적인 비용으로 누구나 쉽게 이용할 수 있는 대중성을 전제해야 한다. 적정 가격 설계를 위해서는 제조·유지·보수 비용 및 에너지 비용 등에서 원가의 개선이 이뤄져야 한다. 또 지속적인 기술 테스트를 통해 대중 눈높이에 맞는 서비스 안전성을 검증받아야 하며, 아울러 도시 운용에 적합한 소음과 환경 관련 기준을 설정하고 이를 충족해 나가야 한다.

이렇게 다양하고 광범위한 과제들을 특정 민간 부문이나 일부 공공 부문이 개별적으로 해결하는 것은 사실상 불가능하다. 서로 다른 경쟁우위를 가진 기업, 도시, 정부 등 다양한 이해관계자가 전략적 파트너십 진영을 구축해 난제를 함께 해결해나가야 한다. 먼저 이해관계자들이 UAM 생태계에서 해결해야 할 과제들이 무엇인지를 명확하게 선별해야 한다. 그리고 문제해결을 위해 도출된 각계각층의 다양한 아이디어를 발전시켜 시제품을 제작하고 시스템을 설계해야 한다. 이를 기반으로 UAM 시범 서비스를 진행하고 사용자 피드백을 통해 완성도를 높여 나가야 한다.

한편 UAM 생태계 구축은 시민들의 삶의 질 향상과 도시의 지속 가능한 발전을 추구하는 ‘스마트시티’ 구상과도 연계해야 한다. 스마트시티는 교통, 행정, 에너지, 환경, 건물 등 도시의 각 분야에서 발생하는 데이터를 상호 연계해 통합 플랫폼을 구축하고, 이를 통해 다양한 혁신 서비스를 발굴해 도시의 자원을 최적의 상태로 배분하는 것이 핵심이다.

자율주행과 공유 플랫폼 등 지상 모빌리티 데이터와 함께 UAM에서 생산·수집되는 공중 모빌리티 데이터도 스마트시티의 통합 플랫폼 체계에서 운용되어야 그 효율성이 극대화될 수 있을 것이다.

기술을 통한 기후변화 대응의 가능성과 위험

□ □ □ ■ ■ ■ ■ ■ 환경 위기와 과학기술의 상호 관계에 대한 논쟁은 꽤 오래되었다. 예나 지금이나 환경 담론의 양극단에는 두 가지가 버티고 있다. 현대 과학기술이야말로 환경 위기의 근원이라는 ‘과학기술 비관주의’와 과학기술은 환경 위기를 해결할 수 있는 거의 유일한 수단이라는 ‘과학기술 만능주의’다. 최근에는 4차 산업혁명 관련 논의가 활발해지면서 비관론보다는 낙관론이 우세해졌다. 인류가 AI, 빅데이터, 사물인터넷, 지구공학 등을 활용하는 경우 기후변화의 해법을 찾을 수 있을 것이라는 주장이 그 낙관론을 대표한다.⁶⁵

기후 위기에 대한 기술적 대응

신기술이 기후변화에 대처하는 해결사가 될 수 있다는 희망은 두 갈래로 나뉜다. 하나는 AI 같은 4차 산업혁명 기술을 통해 생산과 소비의 효율을 높임으로써 온실가스 감축에 기대를 거는 것이다. 또 다른 하나는 기후 시스템에 인위적으로 개입해 지구온난화의 속도를 늦추려는 지구공학(geoengineering)이다.

4차 산업혁명 기술을 활용한 기후변화 대응

전 세계 온실가스 배출량의 약 75%를 차지하는 에너지 부문을 포함한 각종 사회·경제 시스템에 초연결·초지능·초융합의 특성을 가진 4차 산업혁명 기술을 접목하는 방법으로 온실가스 배출을 억제해 기후변화에 대응하는 방안이다. 전력, 산업, 수송, 건물, 여가, 토지 이용 및 생태계 변화 관측 등 폭넓은 부문에 스마트 기술들을 적용한다.

지구공학을 통한 기후변화 대응

자연의 기후 순환 시스템을 인위적으로 조작하는 지구공학을 통해 지구온난화 속도를 늦추려는 시도도 이어지고 있다. 지구공학은 일각에서 ‘지구 해킹’이라 부를 정도로 아직 논란이 많은 신기술이다. 보통 ‘태양 복사 제어’와 ‘이산화탄소 제거’의 두 가지 유형으로 구분된다.

| 표 3 | 기술 적용 사례

구분	적용 분야 사례
3D 프린팅	3D 프린팅 태양광 및 소형 풍력, 식품의 지능형 포장 등
신소재	저탄소 콘크리트, 초강력 단열재, 탄소섬유, 그래핀 등
AI	토지 이용 변화 자동 관측, 지능형 교통·에너지 수요 예측 등
로봇	수송 및 물류 효율 개선을 위한 유지 관리와 수리 등
빅데이터	기후변화 관측 및 원격 감지, 소비자 행동 변화 분석 등
드론 & 자율주행 자동차	토지 이용 현황 파악, 전력망과 에너지 기반 시설 모니터링 등
바이오 기술	바이오 플라스틱, 합성 바이오 연료, 생체 모방 등
에너지 저장/차세대 전력망	차세대 배터리, 분산형 그리드 등
블록체인	P2P 분산형 에너지 시스템, 공급망 추적과 투명성 제고 등
사물인터넷	센서 기반 교통 및 에너지 관리, 폐기물 추적 관리 등
최신 컴퓨팅 기술	초정밀 건물 정보 모델링 BIM, 초물류 및 공급망 초고효율화 등
가상·증강·혼합 현실	증강현실 여행, 가상현실 모임, 시설 관리를 위한 가상 훈련 등

| 표 4 | 지구공학을 통한 기후변화 대응

태양복사 제어	• 지표면: 극지방 해빙 또는 빙하의 인위적 확장, 해양의 밝기 조절, 반사율이 높은 작물의 대규모 재배 등 • 대류권: 구름층을 백색으로 변화시켜 반사율을 높이기 위한 바닷물 분사 • 대기권 상층: 성층권 황산염 에어로졸과 자기부상 에어로졸처럼 태양복사를 반사하는 물질을 인위적으로 형성 • 우주: 거대한 거울을 우주 궤도 위에 쏘아 올려 햇빛을 반사하는 '우주 거울' 등
이산화탄소 제거	• 비옥한 흑토terra preta와 혼합할 수 있는 바이오 숯biochar 활용 • 바이오에너지 탄소 포집·저장 • 주변 대기 중 이산화탄소를 제거하는 탄소 공기 포집 • 이산화탄소 흡수를 위한 조림, 재조림 및 산림 복원 • 이산화탄소를 흡수하는 식물플랑크톤을 증식할 목적으로 바다에 철 성분 살포

국내에서 논의되는 기후변화 대응 신기술

정부는 2021년 3월 개최된 제16회 과학기술관계장관회의에서 ‘탄소중립 기술혁신 추진전략’을 확정했다. 여기 포함된 ‘탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술’과 전략은 다음과 같다.

표 5 | 탄소중립 기술혁신 추진전략

10대 핵심 기술	전략
① 태양광 초고효율화/풍력 대형화	태양광 초고효율화 및 육·해상 대형 풍력 국산화
② 수소 전주기 기술 확보	수소 생산 단계 저감, 안정적 공급 기술 확보
③ 바이오에너지 선도 기술 확보	다양한 연료기술 경제성 확보
④ 철강·시멘트 산업 저탄소 전환	저탄소 연료·원료 대체 기술과 수소 환원 제철 기술 확보
⑤ 저탄소 차세대 석유화학 구현	저탄소 원료, 공정 전기화 기술 확보
⑥ 산업 공정 효율 극대화	배출 제어 고도화, 대체 가스 확보
⑦ 무탄소 차세대 수송 기술 개발	고성능 전원 및 고속 충전 기술 확보
⑧ 탄소중립 건물 기반 기술 확보	단위 설비, 운영 최적화 기술 확보
⑨ 디지털화 기반 효율 최적화	ICT 고효율화, 차세대 전력망 확보
⑩ CCUS* 상용화 기술 확보	혁신 소재 및 대형화 개발 및 실증

이에 앞서 정부는 2019년에 ‘포용적 녹색 국가 구현’을 위한 ‘제3차 녹색성장 5개년 계획’을 확정해 발표했다.⁶⁶ 이 계획에 따르면, 저소비·

* carbon capture and storage, 이산화탄소를 배출 단계에서 포집, 저장, 활용하는 친환경 기술.

고효율 스마트 에너지 기술 등 4차 산업혁명 녹색기술, 온실가스 저감 기술 등 10대 기후 기술, 미세먼지 솔루션 기술 등 국민 생활 밀착형 녹색기술 개발이 추진된다. 이와 함께 태양광 발전 적용 입지 다변화, 대형 해상 풍력 발전 시스템, 재생에너지 계통 연계의 안정화, 분산 자원 통합 가상 발전소 시스템, 충전 인프라에 연결된 전기차의 충전 전력을 수요 자원으로 활용할 수 있는 전기차 V2G_{vehicle to grid} 운영 플랫폼 등 녹색기술의 실증과 상용화도 포함되어 있다.

신기술을 통한 탄소 중립 가능성과 편익

파리협정 제2조는 “기온 상승 폭을 산업화 이전 대비 2℃보다 ‘훨씬’ 아래로 억제하고, 1.5℃를 넘지 않도록 노력한다”라고 규정하고 있다. 1.5℃ 목표를 달성하려면 2050년 온실가스 순배출량이 제로_{net zero}에 도달해야 하며, 에너지, 토지, 도시 인프라(교통과 건물), 산업 시스템의 급속하고 광범위한 전환이 요구된다.⁶⁷ 1.5℃ 경로에서 재생에너지는 2050년에 필요한 전력의 70~85%를 공급하게 될 것이다. 2050년 산업 부문의 이산화탄소 배출은 2010년 대비 75~90% 감소해야 하는데, 이는 지속 가능한 바이오에너지와 대체 원료, 탄소 포집 이용 및 저장 등 새로운 기술이 상용화되어야 달성 가능한 목표다.

2021년 6월 기준 총 131개국이 21세기 중반까지 탄소 중립을 달성하겠다는 목표를 설정했거나 고려 중이며, 파리협정의 191개 당사국 중 80개국 이상이 신규 또는 갱신된 국가 행동계획 NDC를 제출했다.⁶⁸ 국제 에너지기구 IEA에 따르면 탄소 중립은 특히 에너지 부문에서 한계 돌파형 혁신 기술의 발전이 요구된다. 에너지 효율 향상과 재생에너지 확대는 기후변화 완화의 핵심축이지만 탄소 중립을 달성하려면 다양한 기

술의 도움이 꼭 필요하기 때문이다. 여기에는 차세대 배터리 등 최종 에너지 부문의 광범위한 전기화를 가능하게 하는 기술, CCUS 기술, 수소 관련 연료 기술, 바이오에너지 기술 등이 포함된다.⁶⁹

탄소 중립 목표의 달성 여부는 한계 돌파형 혁신 기술에 대한 강력하고 목표 지향적인 연구개발과 각 기업의 끊임없는 혁신 노력에 달려 있다. 현재 탄소 중립 기술의 약 40%는 시제품 또는 시연 단계에 머물러 있는 것으로 분석되고 있다. 탄소 중립은 이들 기술이 시장에서 상업성을 확보하는 단계까지 발전해야만 가능한 일이다.

신기술 적용의 위험과 한계

기후변화에 관한 정부 간 협의체 IPCC가 2018년 발간한 <지구온난화 1.5도 보고서>는 지구공학 중에서도 이산화탄소 제거 방식의 하나인 ‘바이오에너지 탄소 포집·저장 BECCS, bioenergy with carbon capture and storage’을 핵심 기술의 하나로 제시했다. 지구공학을 옹호하는 쪽에서는 그 근거로 사람들의 행동 방식은 쉽게 변화하지 않으며, 변화한다고 하더라도 지구온난화를 멈추는 데는 역부족이라는 점을 꼽는다. 반면에 지구공학을 활용한 해결 방식은 기후변화 협상처럼 많은 시간이 들지 않기 때문에 기후변화의 긴급성에 부합한다고 주장한다.

하지만 여기에도 많은 비판과 우려가 제기되고 있는 것이 사실이다. 지구공학은 기후변화의 근본적인 원인 제거에는 관심이 없고, 대부분 실험실 수준에서만 그 효과가 증명된 기술이라는 것이다. 실제로 식물 플랑크톤을 증식할 목적으로 바다에 철 성분을 살포하는 것이 어떤 부

작용을 가져올 것인지, 에어로졸을 성층권의 오존층에 유입시켰을 때 환경에 어떤 변화가 올 것인지 누구도 확실한 답을 내놓지 못하고 있다.

BECCS는 대기 중 이산화탄소 농도를 줄이는 데 활용될 수 있는 유망한 ‘역배출 기술(negative emission technology)’로 분류된다. 나무나 작물과 같은 바이오매스를 태워 에너지로 활용한 다음 이산화탄소가 대기 중으로 방출되기 전에 포집하는 기술이다. 일부 과학자들은 BECCS가 탄소 중립 달성에 도움이 될 것이라고 주장한다. 하지만 최근 BECCS가 야생동물, 산림 및 수자원에 큰 영향을 미칠 수 있다는 연구 결과가 나왔다.⁷⁰ 연구자들은 BECCS 사용이 생물다양성과 담수 자원을 포함해 총 9개의 ‘지구 위험 한계선(planetary boundaries)’에 어떻게 영향을 미칠 수 있는지 분석했다. ‘지구 위험 한계선’ 개념은 지구가 수용할 수 있는 한계 내에서 자원을 얼마나 많이 사용할 수 있는지 식별하는 것이다. 연구자들은 안전한 경계 내에서 BECCS를 구현하면 연간 최대 6,000만 톤의 탄소를 ‘역배출’할 수 있음을 발견했다. 이는 현재 전 세계 이산화탄소 배출량의 1% 미만에 해당한다. 하지만 정작 BECCS를 도입하면 전 세계 산림 면적 10%가 감소하고 생물다양성은 7% 감소하는 것으로 분석되었다. 광범위한 면적의 토지를 바이오 연료 농장으로 전환해야 하기 때문이다.

태양복사 제어(SRM, solar radiation management) 방식이 생물다양성에 부정적인 영향을 미친다는 연구 결과도 나왔다.⁷¹ 성층권 에어로졸 주입과 같은 유형의 SRM은 에어로졸이 대기에 유입되면 지구 주변에 보호막을 형성해 햇빛을 반사해내고, 그 결과 지구의 온도를 낮출 수 있다는 가설에 기초해 제안되었다. 그런데 성층권에서 에어로졸의 수명엔 한계가 있어 효과를 지속하려면 에어로졸을 일정한 간격으로 계속 방출

해야 한다. 문제는 에어로졸 방출이 갑자기 중단되면 지구 기온이 다시 빠르게 상승할 수 있다는 점이다. 연구진은 SRM 종료 시 생길 기온 변화율이 기후변화에 의한 것보다 2~4배나 더 클 수 있다고 경고했다. 이 경우 양서·파충류 등 많은 생물 종이 적응하지 못하고 멸종 위험에 처할 수 있다.

4차 산업혁명 기술 역시 기후변화 대응과 지속 가능한 발전에 엄청난 잠재력을 지니고 있지만 여러 위험을 동반하는 것이 사실이다. 예컨대 AI를 적용했을 경우 예상되는 위험은 다음과 같이 성과, 안전, 제어, 윤리, 경제, 사회의 6개 분야로 구분해 살펴볼 수 있다.⁷²

| 표 6 | AI 적용 시 예상되는 위험

위험 유형	내용
성과 리스크	‘블랙박스’와 유사한 특성을 가진 AI 알고리즘은 성과의 정확도와 적절성을 확신하기 어려움
안전 리스크	해킹을 통해 이루어지는 AI의 오용은 자동화 무기 개발 등 지구공동체의 안전을 심각하게 위협하는 결과를 초래
제어 리스크	자율적으로 일하거나 상호작용하는 AI 시스템은 기계 중심의 피드백 장치를 새롭게 만들어내면서 예기치 않은 결과를 초래
경제 리스크	AI 활용으로 시장의 생태계가 변화하면서 경쟁에서 앞서가는 기업과 뒤처지는 기업으로 이분화
사회 리스크	광범위한 자동화는 수송, 제조, 농업, 서비스 부문에서 고용 감소를 초래할 수 있음
윤리 리스크	의사결정에서 알고리즘 의존도 증가 및 인간 역할의 점진적 감소로 인한 인권 및 사생활 침해의 가능성

신기술 활용을 위한 과제

지구공학이 초래할 수도 있는 부작용이나 위험은 결코 돌이킬 수 없다. 그런 점에서 실현 가능성, 효과, 환경 영향 등에 대해 엄격한 기준을 적용해야 한다. 4차 산업혁명은 앞선 산업혁명들과 달리 생태적인 산업혁명이 될 것이라고 낙관적으로 전망하는 시각이 많다. 자율주행차는 이산화탄소를 비롯해 대기오염물질 배출량을 획기적으로 줄일 잠재력이 있고, AI 시스템은 재활용에 필요한 쓰레기 선별을 눈 깜짝할 사이에 해치우고, 전력 송전과 배전을 한 치의 오차도 없이 정확하고 효율적으로 해낼 것이니 말이다.⁷³

하지만 기술의 진보가 자동으로 기후 위기 탈출의 보증수표가 된다는 생각은 위험하다. 최근에는 기술이 기후변화를 막을 수 있다는 인류의 낙관적 믿음이 오히려 더 강력한 대응과 실천을 미루는 효과를 낳고 있다는 지적이 나오고 있다.⁷⁴ 신기술이 탄소 중립 시대의 해법이 실제로 될 수 있을지는 다음 과제의 해결 여부에 달려 있다.

과학기술의 사회적 책임 강화

신기술에는 현대 문명이 맞닥뜨린 위험을 낮춰줄 잠재력이 있지만 반대로 위험을 증폭시킬 가능성도 있다. 앞에서 AI 적용 시 예상되는 위험에 대해 살펴본 것처럼 오작동과 시스템 붕괴, 자동화와 효율 개선에 따른 리바운드 효과(rebound effects), 자원과 에너지 이용의 효율을 높이는 신기술의 개발과 적용이 자원과 에너지 소비 심리를 부추겨 그 효과가 상쇄되는 현상, 고용 감소와 불평등 심화, 사생활 침해 등의 문제를 일으킬 수 있다. 따라서 기술 적용 과정에서 투명성을 강화하고 신기술의 편

익을 소수가 독점하지 않도록 공정한 규칙을 마련해야 한다. 특히 사회 안전망 확충, 직업 훈련과 전환의 기회 확대, 신산업 육성, 시민참여 등을 통해 고용 감소와 사생활 등 인권침해 가능성에 대비해야 한다.

사회 혁신과 경제 혁신의 병행

과거 수백 년간 다양한 분야에서 기술은 비약적으로 발전했지만 온실가스 배출량의 증가 같은 지구생태계에 가해지는 환경 부하^{負荷}는 전혀 줄지 않았다. 기술의 쓰임새, 더 나아가 기술 발전의 방향과 속도는 사회경제적 제도의 영향 아래 놓여 있다. 신기술이 등장했을 때 기술 그 자체보다 중요한 것은 그것을 받아들여 생산 및 생활 영역에 활용할 수 있는 사회적 시스템이다. 따라서 과학기술의 문제해결 능력을 과신하기 보다는 자원 및 에너지 이용 시스템의 전환과 사회와 경제의 구조적 혁신을 통해 신기술의 효용성과 사회적 수용성을 높여야 한다.

동반 편익과 상충성에 대한 고려

기후변화 대응 신기술은 보건, 고용, 복지, 경제, 생태계 등에도 긍정적인 영향을 미쳐 동반 편익^{co-benefit}을 가져올 수 있다. 대기오염물질 저감에 따른 조기 사망자의 감소, 일자리 확대, 지역 경제 활성화, 생태계 서비스 확대 등이 이에 속한다. 하지만 상충성^{trade-offs} 여부도 면밀하게 살펴야 한다. 신기술 적용은 사회적 불평등을 심화시킬 수 있으며, 보건 환경을 악화하고 자연 생태계를 잠식할 수도 있다. 바이오에너지는 토지 이용과 경쟁하며 농업과 식량 시스템, 생물다양성과 생태계 서비스에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 신기술 관련 정책들은 동반 편익을 극대화하고 상충성을 최소화하는 방향으로 설계하고 추진해야 한다.

인간적 가치 중심의 스마트시티

□ □ □■ ■■■■ 캐나다에서 한창 추진되던 한 스마트시티에 갑자기 제동이 걸렸다. 반면 핀란드에서 조성 중인 또 다른 스마트시티는 모범 모델로서 여기저기서 많은 관심을 끌고 있다. 둘 사이에 어떤 차이가 있었을까? 두 스마트시티 청사진의 공통점은 AI, 사물인터넷, 자율주행 등 첨단기술의 경연장이라는 점이다. 여기엔 화석연료 시대를 마감하고 태양광 등 친환경 에너지 시대로의 전환도 포함돼 있다. 그렇지만 캐나다의 스마트시티는 데이터 주권과 사생활 침해 이슈로 시민의 반대에 부딪혀온 반면, 핀란드의 스마트시티는 시민의 의견이 반영되는 상시적 의사결정 시스템을 갖춘은 물론 시민 모두의 참여로 도시 전체가 ‘서비스 실험실’이 되고 있다는 것이 성과를 갈랐다. 두 사례가 시사하는 점은 스마트시티가 여러 도시 문제를 해결하기 위해 편의를 극대화한 지능형 시스템을 목표로 하더라도 그 가치의 중심에는 항상 사람

이 있어야 하고, 시민의 적극적인 참여 없이는 그 시스템을 제대로 실행할 수 없다는 사실이다.

스마트시티는 이제 세계가 주목하는 미래형 도시 패러다임이다. 기존의 도시에는 급격한 도시화로 인해 기반 시설 부족, 교통체증, 에너지 소비 증가 같은 다양한 문제가 첩첩이 쌓여 있기 때문이다. 여기에 4차 산업혁명으로 상징되는 첨단기술이 속속 등장하면서 스마트시티는 첨단 서비스를 자유롭게 구현할 수 있는 4차 산업혁명의 공간적 배경으로 떠오르고 있다. 그러나 지속 가능한 미래형 도시를 조성하기 위해서는 겉으로 보이는 물리적 시설뿐 아니라 여기에 담길 눈에 보이지 않는 가치를 놓쳐서는 안 된다.

스마트시티의 등장 배경

스마트시티의 역사를 거슬러 올라가 보면 ‘디지털 시티’라는 이름이 등장한다. 이는 1990년대 초 유럽의 암스테르담, 헬싱키, 일본의 교토 등에서 디지털 시티를 표방하며 추진했던, 도시 전반을 연결하는 네트워크 구축 사업에서 출발한다. IBM, 시스코CISCO 등 글로벌 정보통신기업들이 여기에 관심을 보이기 시작하면서 스마트시티 전략과 관련 프로그램이 개발되기 시작했다. IBM은 2008년 ‘스마트 지구 Smart Planet’라는 비전과 함께 첨단기술을 도시의 여러 서비스와 연결하는 ‘스마트시티’ 개념을 제시했고, 미래의 도시 모델로 세계적 관심을 모았다. 2011년 IBM이 기후, 교통, 치안 등 신속한 예측과 통제를 위해 브라질의 리우 데자네이루에 건립했던 지능형 운영센터, 시스코가 스페인 바르셀로나

에서 추진했던 스마트 조명(가로등), 스마트 에너지(스마트 그리드), 스마트 워터(수자원 관리 플랫폼, 스마트 미터 등), 스마트 교통(대중교통 효율성), 오픈 정부(오픈데이터 포털) 프로젝트 등이 이에 속한다.

스마트시티 초기 프로젝트들은 초고속 통신망 구축 등 기반 시설 구축 사업과 새로운 ICT 검증에 위한 소규모 테스트베드 사업의 중심이었다. 최근에는 여기에 국가나 지방정부 주도의 대규모 투자를 동반하는 것이 특징이다. 유럽과 미국 등 선진국들은 ICT 기술을 활용해 도시의 재생과 에너지 효율화를 주로 추진하고 있다. 아시아 지역은 대규모 자본 투입을 통한 신도시 개발 위주로 스마트시티를 구현하고 있다.

국내외 스마트시티 동향

미국은 2015년 발표한 ‘뉴 스마트시티 이니셔티브 New Smart City Initiative’를 토대로 테스트베드 지역을 선정하고 추진 전략을 세웠으며 공공 와이파이, 도시 데이터 개방, 공유 자전거, 자동 원격 점검 시스템 구축 등으로 데이터 중심 스마트시티를 구현해가고 있다. 네덜란드 암스테르담은 EU 최초로 스마트시티를 추진했는데, 이는 2006년에 수립된 ‘지속 가능한 발전을 위한 환경도시 계획’에 기초하고 있다. 암스테르담이 본격적으로 스마트시티를 추진한 것은 2009년부터이며, 시민과 정부와 기업이 공동으로 프로젝트를 진행하고 있다. 민간이 처음부터 주도하고 정부가 이를 도와주는 방식이라는 점이 특징이다.

중국은 아시아뿐 아니라 전 세계에서 가장 빠른 속도로 스마트시티 건설에 몰두하고 있는데, 국가 차원의 신형도시화 정책의 하나로 2012년부터 다양한 부처에서 스마트시티 정책을 추진하고 있다. 정부의 강력한 주도 아래 신형도시화 사업, 정보화, 농업현대화 등이 결합해

있다. 일본은 ‘그린 이노베이션 환경·에너지 대국 전략’ 등을 통해 스마트시티를 추진하고 있다. 요코하마 등 4개 지자체를 시범 지역으로 지정해 가변 전기 요금제, 교통 데이터 관리 시스템, 고령자 돌봄 등 생활 지원 시스템을 도입했다. 또 일본의 자동차 기업 도요타가 추진하고 있는 스마트시티 ‘우븐 시티 Woven City’는 그물망 도시라는 뜻의 이름처럼 후지산 기슭의 옛 자동차 공장 터에 자율주행, 로봇, 스마트홈, AI 등의 혁신 기술을 촘촘하게 실증하는 환경으로 조성될 예정이다.

서울과 행정 구역 면적이 유사한 싱가포르도 2014년에 국가 차원의 ‘스마트 네이션 Smart Nation’ 프로젝트를 출범시켰다. 싱가포르 국립대학뿐만 아니라 MIT의 기술을 지원받고 있으며, 정부 투자 기업인 싱텔 Singtel과 IBM 등 다국적 기업들도 참여하고 있다.

또 세계 최초로 사막 한가운데에 탄소 제로 도시를 만들겠다는 선언과 함께 2000년대 중반 시작된 아랍에미리트의 마스다르시티 Masdarcity 건설은 중동 최대 규모의 스마트시티 계획이다. 내연기관 자동차는 아예 진입할 수 없고, 모든 에너지원은 석유가 아닌 태양에너지 중심의 신 재생에너지이며, 전기차와 자율주행차 중심의 교통, 폐기물 재활용(에너지화 및 퇴비화 시스템), 선진화된 상하수도 관리 체계와 재활용 용수 시스템 구축 등이 설계되었다. 그러나 완공까지는 아직 요원하고 탄소 제로 도시를 백 퍼센트 구현하고 있는 것도 아니어서 일각에서는 처음의 기대와 달라지고 있는 이 도시의 청사진을 비관적으로 전망하기도 한다.

한편 우리나라는 2000년대 초반부터 세계적 수준의 ICT를 기반으로 스마트시티의 전신인 유시티 U-City를 추진해왔다. 언제 어디서나 시민들이 편리하게 행정·교통·복지·환경·방재 등의 도시 정보를 얻고 활용할 수 있는 여건을 제공한다는 차원에서, 가상과 현실 공간이 융합된 도

시환경을 강조한 개념이다. 스마트시티의 디지털 트윈(digital twin)도 이와 맥락은 같다. 국내 지자체 가운데서는 서울과 부산, 대전이 스마트시티 사업을 비교적 활발하게 진행해왔다. 가령 서울은 휴대전화 기지국 통화량, 택시요금 결제 결과 등의 빅데이터 분석을 토대로 심야버스 노선을 신설했고, 불법주차와 쓰레기 문제를 사물인터넷 기술로 해결하기도 했다. 정부는 또 스마트시티 국가 시범도시 사업을 추진하고 있다. 입지로 선정된 세종과 부산에서 조성될 스마트시티는 기반 생활 혁신, 도시 행정·관리 지능화, 스마트 교육·리빙, 스마트 헬스, 스마트 모빌리티 등 다양한 부문의 융·복합 서비스 구현을 목표로 한다.

실제 사례로 보는 스마트시티의 시사점

이처럼 많은 국가에서 스마트시티를 조성하려는 노력이 이어지고 있다. 그러나 저마다 다른 환경에서 다른 문제를 가지고 있기에, 도시별로 나아가는 방향성과 추진 체계 역시 다를 수밖에 없다.

통상적으로 우리는 스마트시티를 첨단 정보 통신 기술을 접목한 미래형 도시로 생각한다. 첨단기술 적용으로 도시를 ‘스마트’하게 만들어서 시민들의 삶을 안락하게 해줄 것이라고 기대한다. 그러나 스마트시티가 기본적으로 첨단기술들을 바탕으로 하고 있지만, 성공 사례를 보면 첨단기술 자체에만 초점을 두었던 것은 아니다.

성공 사례: 핀란드 칼라사타마

핀란드의 수도 헬싱키 인근에 자리한 칼라사타마(Kalasatama)는 성공적

인 스마트시티로 꼽힌다. 핀란드어로 ‘고깃배 항구’라는 이름의 이 도시는 2010년 스마트시티 개발이 시작되기 전까지는 버려진 항구도시에 불과했다. 그러나 지금은 미래로 가는 꿈의 도시로 환골탈태하며 관심을 끌고 있다. 다른 스마트시티처럼 이곳도 AI, 사물인터넷, 자율주행, 스마트 에너지 시스템 등 최첨단기술의 경연장이다. 하지만 이곳이 눈길을 끄는 이유는 첨단기술보다는 모두가 더 안전하고 행복하게 어울려 살아가는 공간이 될 수 있도록 만들어가는 사람 중심의 진행 과정에 있다. 시민들은 ‘리빙랩(Living Lab)’ 시스템을 통해 기업들이 개발한 기술과 서비스를 직접 시험해보고, 기업들은 시민들의 피드백을 토대로 그것을 보완해간다. 또 다양한 이해관계자들의 소통 채널도 항시 열려 있다. 기술 개발과 적용도 중요하지만, 시민의 참여와 동의는 더 중요하다는 얘기다.

실패 사례: 캐나다 퀘이사이드

하지만 이와 반대되는 사례도 있다. 코로나19로 경제 사정이 최악으로 치달으며 스마트시티 조성 계획이 아예 좌초된 캐나다 퀘이사이드(Quayside)의 경우다. 캐나다 토론토 온타리오 호수 주변에 자리한 이곳은 구글의 모회사 알파벳이 만든 기업 사이드워크랩스(Side Walk Labs)가 2017년 캐나다 정부로부터 위탁을 받아 스마트시티로 탈바꿈시키기로 예정되었던 곳이다. 이 사업은 민간의 혁신 기술과 공공성이 결합한 사례로 주목과 기대를 받았으나, 구글은 2020년 5월 결국 이 사업을 포기한다고 밝혔다. 표면적으로는 코로나19에 따른 사업 환경 악화를 명분으로 내세웠지만, 실질적 이유는 데이터 주권과 사생활 침해 문제를 놓고 시민들의 강한 반대와 법적 소송이 이어졌기 때문이다.

스마트시티의 각종 맞춤형 서비스는 사실 개인정보를 기반으로 하는 서비스들이다. 첨단기술과 방대한 데이터를 바탕으로 하는 AI 알고리즘이 스마트시티 안에 사는 시민의 삶을 추적하고 관리함으로써 시스템이 돌아간다. 그런데 개인정보의 주체인 시민들이 이에 능동적으로 참여하거나 적극적으로 동의하지 않으면 스마트시티 시스템은 제대로 작동할 수 없다. 물리적 첨단 시설만으로는 스마트시티가 완성될 수 없는 이유다.

케이스اید의 사례도 스마트시티의 불안 요소라고 할 수 있는 사생활 침해와 사이버 보안 문제를 해결하지 못한 운영 체계에서 좌초의 원인을 찾을 수 있다. 이런 사례를 볼 때, 지금 우리나라에서 추진되고 있는 스마트시티 계획에도 첨단기술의 도입 문제만큼 개인정보 유출이나 사생활 침해와 같은 문제에 대한 대처가 함께 고민되고 있는지 생각해볼 필요가 있다.

스마트시티의 미래

유시티든 스마트시티든 여기에서 ‘시티_{city}’는 단지 행정 구역으로서의 도시만을 뜻하지는 않는다. 우리가 살아가는 공간 또는 사회로 폭넓게 바라봐야 한다. 만약 도시라는 행정 구역에 한정된 관점으로 접근하면 기존 도시나 다른 도시와의 차별성이 중요해지고, 그 대안으로 첨단기술을 도입하는 것에만 목적을 두게 된다. 즉 도시에서 살아가는 사람들이 핵심 논의에서 밀려나 오히려 주변부에 자리할 수 있다는 얘기다. 시민은 단순한 수혜자가 아니라 스마트시티의 기획 단계에서부터 능동적

주체여야 한다.

스마트시티가 여러 도시 문제를 해결할 수 있는 개념적 솔루션으로 제시된 것은 사실이지만, 중앙통제센터 구축이나 관제 도시 성격만 강조되어서는 안 된다. 스마트시티는 공간적으로 구획된 특정 도시로서 교통, 방법, 에너지 측면의 여러 문제를 해결하고 관리의 효율성을 높이기 위해 통합적 관제센터 구축 등이 꼭 필요하지만, 사람을 중심으로 안락한 삶을 위한 적절한 서비스를 맞춤형으로 지원한다는 부분에 방점이 찍혀야 한다. 따라서 특정 도시에서 살아가는 사람들과 그 지역 환경을 철저히 파악해야 하고 해당 시민들에게 필요한 서비스가 무엇인지 확인하는 작업을 우선해야 한다.

또 이런 맥락에서 공공 위주 개발과 민간 위주 개발의 차이점을 이해할 필요가 있다. 공공은 도시 관리 등 행정적인 목적을 중심으로 스마트 시티를 기획한다. 도시 주민에 대한 서비스도 공공성을 중심으로 기획한다. 반면 민간의 개발은 다르다. 개인의 니즈를 세밀하게 파악하는 측면에서는 더 경쟁력이 있다. 사업 생태계에서 기업은 생존을 걸고 서비스 경쟁을 펼치기 때문이다. 스마트폰의 앱 생태계에서 선순환 메커니즘이 작동하는 것에 비유해볼 수 있다. 안드로이드나 IOS 같은 스마트폰 운영 체제가 다양한 서비스의 개발을 유도했듯이, 스마트시티가 플랫폼이 되어 새롭고 다양한 서비스가 쏟아져 나오게 해야 한다.

민간의 경쟁력 있는 플랫폼 서비스에 공공의 탄탄한 제도적 뒷받침이 함께해서 선순환적 발전을 이어가야 다수의 행복을 담보하는 스마트 시티 건설이 가능해진다. 첨단기술의 선도적 역할뿐 아니라 스마트시티에 대한 올바른 방향성을 정립하고 정부와 산업의 유기적인 호흡이 이뤄질 때 스마트시티의 미래와 새로운 시장의 지평이 열릴 것이다.

생태환경의 변화와 감염병 관리 전략

□ □ □■ ■■■■ 2019년 12월 코로나19 바이러스 감염증이 처음 나타났을 때만 해도 전 세계가 이토록 오랜 기간 이 바이러스에 장악될 줄은 아무도 몰랐다. 2021년 9월 기준으로 2억 2,000만 명 이상의 확진자가 발생했고, 450만 명 이상이 코로나19로 사망했다. 백신 접종이 시작되면서 국가들은 점차 정상 생활로의 복귀를 기대했지만, 변이 바이러스로 인한 재확산의 우려가 남아 있으며, 전문가들은 코로나19가 주기적으로 발생하는 엔데믹^{endemic}이 될 가능성이 크다는 의견을 내놓고 있다. 게다가 사스(2003), 신종 인플루엔자(신종플루, 2009), 메르스(2015), 코로나19(2019)의 예처럼 약 5년 단위로 발생해오던 감염병의 주기가 점차 짧아져 3년 이내 다른 감염병이 다시 유행할 수 있다고 경고한다. 세계보건기구^{WHO} 사무총장은 제74차 보건총회에서 “이번보다 더욱 전파력이 강하고 더욱 치명적일 가능성이 있는 또 다른 바이

러스가 나타날 것이 진화론적으로 분명하다”며 국제사회의 공유와 연대 협력을 강조했다.⁷⁵

코로나19의 발생과 장기 유행, 그리고 앞으로도 지속적으로 발생할 수 있는 신종 감염병의 위협은 질병 관리 체계의 변화뿐만 아니라 위기 관리 체계, 사회안전망 등 국가의 역할과 국민의 참여와 같은 근본적인 사회 시스템에 대해서도 돌아보게 한다. 또 근본적으로는 생태환경의 변화로 인한 기후 위기가 먼 미래의 문제가 아닌 당면 과제를 감하게 한다.

신종 감염병의 출현과 사람-동물-환경의 상호 의존성

코로나19의 확산을 경험하며 우리를 둘러싸고 있는 상호 의존성에 대해 다시 생각해보지 않을 수 없다. 세계화에 따른 국가 간 연계와 교통 발달에 따른 이동의 확대는 감염병의 확산을 용이하게 만들었고, 그 결과 서로 의존하게 된 글로벌 공동체는 위협에 함께 당면하고 있다. 코로나19 확산을 막기 위해 많은 국가가 국경을 닫기도 했고, 국가 간 이동을 제한하기도 했다. 호주의 한 학자는 코로나19를 계기로 ‘축소scale-down’를 통해 지속 가능한 역성장sustainable de-growth으로 전환할 필요가 있다고 주장했다. GDP보다는 웰빙well-being에 가치를 둔 ‘느린go slow’, 또 생활 방식을 한정하는 ‘지역 중심go local’ 전략을 의미한다.⁷⁶

우리가 생각해야 할 또 다른 상호 의존성은 우리가 살아가는 생태계를 함께 구성하고 있는 동물과 환경이 상호 의존적으로 연계되어 있다

는 점이다. 최근 발생한 감염병을 살펴보면 감염원이 박쥐, 낙타, 조류 등 동물에게서 나타나고 있음을 알 수 있다. WHO에 따르면 최근 20년간 발생한 감염병의 약 75%가 야생동물에게서 유래했다.

환경 전문가들은 동물에게서 사람으로 옮겨온 감염병의 원인을 난개발로 동물들의 서식지가 축소되었기 때문이라고 설명한다. 서식지를 잃고 야생 환경을 위협받은 동물들이 인간의 거주지로 이동하면서 동물들로부터 감염 가능성이 커졌다는 얘기다. 환경의 변화와 생태계 내 상호 의존성은 감염병 관리에서 좀 더 총체적 관점의 전략이 필요함을 시사한다.

총체적 대응의 ‘원헬스’ 패러다임

이러한 관점에서 WHO는 ‘원헬스One Health’ 패러다임을 감염병 관리의 키워드로 제시했다. 원헬스는 공공보건의료에서 최적의 성과를 내려면 사람-동물-환경의 상호 의존성에 근거해 여러 영역 간에 소통과 협업이 이뤄져야 한다는 접근법이다.⁷⁷ 코로나19 이전부터 원헬스는 공공보건의료 정책의 핵심적인 전략이었고, 우리나라도 메르스 이후 2017년부터 원헬스 체계를 도입했으며, 코로나19를 통해 그 중요성이 더욱 강조되고 있다.

2004년 야생동물보호협회Wildlife Conservation Society는 사람, 동물, 생태환경 간 연계성으로 인한 보건 위협에 대해 논하며 원헬스 관점의 학제적·협력적 접근이 중요함을 강조했다(맨해튼 원칙 the Manhattan Principle), 2019년 더욱 근본적인 변화와 실천을 위한 ‘베를린 원칙 the Berlin

Principle'을 제시했다. 베를린 원칙에서는 사람과 동식물을 비롯한 모든 자연과의 필수적인 연계성을 고려하고 생태 다양성을 보호하는 것이 사람과 전 지구의 건강을 지키는 일임을 명확히 하고 있다. 또 이를 위한 제도, 기관, 분야 간 연계와 상호 협력을 강조한다. 특히 베를린 원칙은 총체적이고 선제적 관점에서의 대응을 제안하고 있다.⁷⁸

원헬스 패러다임의 핵심 전략은 소통, 조직화, 협력이다. 사람의 건강, 동물, 환경 분야가 그동안 개별적으로 다뤄져온 것과 달리 연구, 의료 현장, 그리고 정책 결정 및 집행 전 과정에 전문가들이 참여해 이슈를 함께 논의하고 해결하는 것이다. 의사와 수의사는 지금까지 교류가 많지 않았지만, 새로운 바이러스에 대한 통합적이고 총체적인 감시를 위해 서로 소통하고 협력할 필요성이 커지고 있다. 《원헬스: 사람·동물·환경》(범문예듀케이션, 2020)이라는 책에서는 이러한 원헬스 패러다임과 기존의 질병 관리 패러다임을 비교하고 있다. 기존의 패러다임이 인간의 질병 관리에 국한해 집단 발병 이후의 조사와 치료에 집중하는 방식이라면, 원헬스 패러다임에서는 미리 환경을 감시해 발생 가능성을 예측하고 예방 활동을 추진하는 체계를 강조한다.⁷⁹ 이는 사후 대응 중심에서 사전 예방 전략 중심으로 변해온 재난 관리 패러다임과도 일맥상통하며, 다양한 사회 위험을 다루는 전략으로 활용되는 접근법이다.

나아가 원헬스 패러다임은 전문가뿐 아니라 반려동물을 키우는 사람들도 역시 생활 속 다양한 주체로서 함께 참여할 것을 강조한다. 소통과 협력의 대상이 전문가에 국한되는 것이 아니라 다양한 사회구성원을 포함한다는 점에서 더 보편적이고 현장 중심적 전략이라고 할 수 있다.

캐나다의 스타트업 블루닷BlueDot은 AI 기술을 활용해 뉴스, 항공 데이터, 동식물 질병 데이터 등을 분석하는 방법으로 미국의 질병통제에

방센터^{CDC}나 WHO에 앞서 코로나19 바이러스의 확산을 예측했다. 블루닷에서는 원헬스 접근법이 강조한 것처럼 의사와 엔지니어 외에도 생태학자, 수의사, 수학자, 데이터분석가, 통계학자 등이 함께 일한다.⁸⁰

우리나라도 이처럼 감염병 통합 정보 시스템, 야생동물 질병 정보 시스템 등의 정보 시스템을 연계·통합해야 한다. 정보의 연계, 관련된 영역의 조화, 다양한 주체의 참여를 이끄는 노력 등을 통해 현장에서 작동하는 원헬스 시스템을 구축해야 한다. 무엇보다 관련 부처 간 정책의 융합이 전제되어야 다양한 영역의 연계가 가능할 것이다.

코로나19가 우리에게 남긴 것들

생활 방역의 일상화

코로나19가 가져온 가장 기본적인 생활의 변화는 개인 방역 수칙의 생활화다. 손 자주 씻기와 옷소매 기침, 환기와 소독, 마스크 착용 등 그동안 제대로 지키지 않았던 개인 방역 수칙들이 수개월 간의 코로나19 대응 상황 속에서 일상화되었다. 감염병의 위험을 최소화하기 위한 생활 방역의 일상화는 바람직한 변화로 볼 수 있다. 생태학자 최재천 교수는 감염병 위기에 대응하기 위해서는 ‘생태 백신’과 ‘행동 백신’이 중요하다고 강조했다. 짧아진 감염병 발생 주기를 고려할 때 화학 백신에만 의존하는 것에는 한계가 있으며, 자연을 보호하는 삶의 방식을 통해 감염병을 예방하는 ‘생태 백신’과 사회적 거리두기 등 생활 방역 수칙을 준수하는 ‘행동 백신’의 실천이 더 근본적인 감염병 예방의 해법이다.⁸¹

실제로 코로나19의 1차 유행이 있었던 2020년 1~4월 수인성·식품

매개 감염병 중 제2급 감염병으로 신고된 환자는 총 1,181명으로 전년 동기 대비 71%, 동기간 3년 평균 대비 51% 감소했다. 호흡기 감염병 환자도 전년 및 3년 평균 대비 40% 감소했다.⁸² 외출 자제, 온라인 개학, 해외여행 감소 같은 이동 패턴의 변화, 접촉 빈도의 감소, 그리고 각종 방역 지침의 준수가 코로나19 및 다른 감염병의 발생 건수도 함께 낮추었다고 추정할 수 있다. 이처럼 개인 방역 수칙을 지키는 일은 이제 선택이 아닌 생존을 위한 필수 사항이다.

시민참여형 방역의 힘

이번 코로나19 대응 과정을 통해 우리가 배울 수 있는 중요한 사실은 감염병의 유행은 단순히 보건의료적 현상이 아니며, 사회적이고 집단적인 대응력이 요구된다는 점이다. 감염병에 대한 대응은 단 하나의 백신과 치료제보다는 분리와 검역, 면역의 향상, 행동의 통제, 공공보건 시스템 등에 의존해야 하며, 차별과 불평등 같은 인식은 감염병 유행 상황에서 문제를 심화하는 결과를 가져왔다.⁸³

과학기술과 민주성의 상호작용을 연구하며 ‘오만의 기술’에서 ‘겸허의 기술’로의 변화를 주장해온 미국 하버드대학교 실라 재서너프(Sheila Jasanoff) 교수는 이번 코로나19 상황에 대해서도 과학기술이 모든 문제를 해결해줄 것이라는 믿음은 환상이라고 경고했다. 공공 보건 의학이나 생물학이 인류 건강과 번영을 위한 유일한 해결책이 아니며 사회과학과 행동과학이 함께 결합해야 하고, 감염병 대응 과정에서 정부나 전문가들이 각자의 영역에 한정되어 있을 게 아니라 국민이 이해하고 받아들이고 수 있도록 투명하게 소통해야 한다고 역설했다.⁸⁴

위험관리를 위한 사회적 책임

코로나19 대응 상황을 경험하며 우리가 생각해볼 또 다른 문제는 위험관리에서 공공의 기능이 더욱 중요해졌다는 점이다. 감염병뿐만 아니라 우리 사회가 당면한 위험 요인이 다양화·복잡화·대형화되면서 이를 관리하기 위한 사회적 책임이 더욱 커졌다. ‘위험’이라는 공유재를 관리하기 위해 사회가 함께 부담하고 책임져야 할 영역이 확대되고 있으며, 이에 따라 공공의 기능과 역할이 더욱 중요해진 것이다.

코로나19 확진자와 사망자가 많이 발생한 미국은 한국보다 보건의료 기술이 앞서 있다고 알려졌지만, 코로나19 초기 대응에는 성공적이지 못했다. 그 원인의 하나로 고가의 진단 비용을 들 수 있다. 공적 의료보험 제도가 있는 한국은 누구나 조기 진단과 치료가 가능했다. 반면 민간 의료보험 제도에 의존하고 있는 미국에서는 치료비가 평균 4,300만 원 수준이며 민간 의료보험에 가입하지 않은 경우 모두 개인이 부담해야 한다.⁸⁵

감염병은 언제 발생할지, 어떠한 양상으로 나타날지 예측하기 어렵다. 수요와 공급에 의한 시장 메커니즘으로 관리하는 데에는 한계가 있기에 공공 의료에 의존하는 관리 전략이 무엇보다 중요하다. 그러나 코로나19 대응 상황에서 나타난 병실 부족 문제는 우리나라 공공 보건 의료의 한계를 보여주기도 했다. 우리나라는 2017년 기준 인구 1,000명당 병상 수가 12.3개로 OECD 평균 4.7개를 크게 넘어서고 있으나, 공공 의료기관만 보면 1.3개로 OECD 평균 3개에 못 미치며 OECD 국가 중 최하위권에 머물고 있다.⁸⁶ 우리나라 공공 의료기관의 적자와 공공 의료 서비스의 수익성 문제는 계속 제기되어왔다. 국립중앙의료원은 2018년 기준 누적 적자가 2,100억 원이며 시설 노후화율도 30%에 달

한다.⁸⁷ 이번 코로나19 상황에서 여실히 증명된 것처럼 감염병의 진단과 추적, 그리고 조기 치료는 공공 보건 의료 체계가 뒷받침하고 있다. 그러니 더 늦지 않게 이러한 문제에 대한 개선책과 보완책이 갖춰져야 할 것이다.

위기와 재난으로부터 배우는 예방 시스템

감염병이라는 사회재난에 대응하기 위해서는 회복력(resilience)을 고려한 전략을 생각해볼 필요가 있다. 재난회복력은 재난의 충격으로부터 새로운 일상으로 돌아오는 힘이다. 회복력은 1) 강점과 약점을 알고, 2) 다양한 분야의 역량을 갖추며, 3) 시스템 내 기능과 역할을 조직화하고, 4) 비정상적 상황에 대응할 수 있는 자율적 규칙과 5) 변화한 환경에 적응할 수 있는 역량을 포함한다.⁸⁸

코로나19는 이런 측면에서 우리 사회가 지닌 강점과 약점을 되돌아보는 계기가 되었다. 또 이를 통해 사회시스템 속 다양한 분야의 기능이 재정비되는 기회가 되었다. 아직도 이러한 변화와 변화에 대응하기 위한 새로운 규칙들이 만들어지고 있는 상황에 놓여 있긴 하지만, 지속해서 위기 상황에 대한 빠른 인지와 판단, 대처 역량을 키우는 회복력의 선순환 체계를 구축해갈 필요가 있다.

위기관리 전문가 미셸 부커(Michele Wucker)가 경고한 ‘회색 코뿔소(Grey Rhino)’의 의미도 우리는 되새겨봐야 한다. 예측이 어려워 대응도 쉽지 않은 ‘블랙 스완(Black Swan)’과 달리 회색 코뿔소는 개연성과 파급력이 모두 큰 충격을 뜻한다. 다만 사람들은 멀리서도 감지할 수 있는 코뿔소의 진

동과 같은 작은 위험 신호를 부정하거나 과소평가하고, 또는 두려움 때문에 회피하는 태도를 보이다가 코뿔소가 눈앞에 닥쳐왔을 때야 비로소 대응에 나선다.⁸⁹ 신종 감염병의 위험도 우리 사회에 큰 충격을 줄 수 있고, 반복적으로 발생할 가능성이 큰 회색 코뿔소다.

하지만 위기를 겪은 직후야말로 예방 시스템을 구축하기에 가장 적절한 시기일 수 있다. 우리는 장기적이고 새로운 관점에서 언제 올지 모르는 다음의 위기를 대비해야 한다. 위기에 대한 사회적 기억은 재난을 예방하기 위한 학습의 기회이므로, 이를 잘 활용하면 어떠한 난관도 극복할 수 있게 될 것이다.

생물다양성을 복원하는 생태 전략

□ □ □ ■ ■■■■ 코로나19의 등장은 사실 전혀 뜻밖의 사건이 아니다. 지구온난화의 영향으로 생물 서식지가 이동·확대됨에 따라 전염병 발생의 위험은 어느 정도 예측되었다. 영국 케임브리지대학교와 미국 하와이대학교 등 국제 공동 연구진은 2021년 초에 지구온난화가 박쥐 서식지를 넓혀 중국 남부를 박쥐 기원 코로나바이러스의 온상으로 만들었다는 논문을 발표하기도 했다.⁹⁰ 생태계의 파괴 또는 무분별한 사용에 따른 부작용이 결국 부메랑이 되어 인간에게 되돌아온 것이다.

이처럼 환경과 생태의 절대적 중요성이 드러나고 있는 가운데 첨단기술을 활용한 보존 전략에도 관심이 커지고 있다. 센서와 로봇 기술로 미세먼지 및 수질 변화 같은 환경 정보를 측정·예측해 대기 환경을 쾌적하게 유지한다거나, 드론을 연계해 실시간으로 단속하는 것이다. 이는

예방적 환경 관리가 될 수 있다. 그 밖에도 태양광 등 재생에너지의 생산 단가 하락 및 초고효율 전기차 배터리, 수소 연료 전지차 등 에너지·교통 분야의 혁신적 신기술도 환경 문제를 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

한편 녹색 한반도를 염두에 둔 장기적 전략에는 남북 협력의 문제가 빠져서는 안 된다. 국제기구 보고서에 따르면 북한의 산림 황폐화가 계속되고 있으며 실제로 1990년부터 2015년까지 산림 면적이 39% 감소한 것으로 나타났다.⁹¹ 이에 우리 정부는 2050년 탄소 중립을 위한 방안에 포함된 ‘30억 그루 나무 심기’ 중 3억 그루를 북한의 산림 훼손 지역에 심는다는 계획을 세우고 있다. 남북 산림 협력 효과에 대한 면밀한 분석 등을 토대로 녹색 한반도를 만들어가는 전략을 모색해야 할 것이다.

생태계 현황

환경 문제는 오염 물질 배출에 따른 환경오염과 생태자원의 무분별한 사용에 따른 생태 파괴, 두 가지로 나타난다. 또 기후환경의 변화와 생태계 변화는 서로 밀접하게 연관되어 있다.

생물다양성 감소 위기

생물다양성의 효용을 연구한 생태학자들에 따르면 생물다양성과 생태계의 생산성 간에 높은 상관관계가 나타났다. 한 종류의 식물만 자라는 환경보다 다양한 식물들이 함께 자라는 환경에서 전체적으로 많은

양의 식물이 크게 자랐고, 이를 토대로 자원의 배분도 효율적으로 이뤄지는 것으로 분석됐다.⁹²

그런데 지구상에 생명이 탄생한 이래 약 500억 종의 생물종이 존재했음에도 현재 지구에는 170여만 종만이 남아 있다.⁹³ 이 때문에 많은 기후학자와 과학자들이 6번째 대멸종을 우려한다. 세계자연기금^{WWF}과 런던동물원은 2020년 발간한 <지구생명보고서>에서 인간의 무분별한 동물 서식지 파괴와 남획, 기후변화, 환경오염 등으로 약 50년 동안 지구상의 척추동물 개체 수가 70% 가까이 급감했다는 충격적인 내용을 알렸다.⁹⁴

이 보고서에 따르면 4,000여 종의 척추동물 개체 수를 추적한 결과 1970년부터 2016년까지 포유류·조류·어류·파충류·양서류 등 지구상의 척추동물 수의 68%가 급감했다. 중남미 열대 지역에서는 척추동물의 94%가 감소하는 등 큰 피해가 발생했다. 이 같은 동물 개체 수 감소의 가장 큰 원인은 삼림, 초지 등을 파괴해 농경지로 전환한 것으로, 이로 인해 수많은 동물이 서식지를 잃었다고 보고서는 지적했다. 또 모든 토양의 3분의 1, 담수의 4분의 3이 식량 생산에 쓰이고 있으며, 해양 어류자원의 75%가 남획되고 있는 것으로 나타났다. 생물의 이동 경로인 생태 축이 단절되거나 훼손된 곳도 많은데, 생물의 이동이 원활하지 못하면 생물 중 보존은 어려워진다.

생물다양성 감소는 결코 단순한 문제가 아니다. 국가적 측면에서는 생물자원의 손실을, 인류 문명의 측면에서는 생존 기반의 약화를 의미한다. 생물다양성이 훼손되면 생태계 서비스와 같은 복합적인 기능이 훼손된다.

기후변화에 따른 생태계 변화의 심각성

지금까지는 생물의 다양성 손실 원인으로 산림 훼손과 같은 환경 요인이 지목되었다. 그러나 앞으로 2050년까지 추가적인 생물다양성 손실의 40% 이상이 기후변화에서 기인할 것으로 예측된다. 기후변화에 관한 정부 간 협의체 IPCC의 보고서(2014)는 전 지구의 평균 기온이 1.5~2.5℃ 상승하면 동·식물 종의 약 20~30%가 멸종할 가능성이 있고, 4℃ 이상 상승하면 40% 이상의 종이 사라질 수 있다고 분석했다. 온실가스의 영향으로 21세기 말에는 현재보다 기온이 1.8~4℃ 증가할 것으로 예측되는데, 기온 상승은 기후 시스템을 구성하는 대기, 해양, 생물, 빙하, 육지 시스템 등 여러 경로에 영향을 준다. 이미 지구 생태계의 자원 60%가 악화 또는 고갈된 상태지만 이보다 더 나빠질 것으로 전망되고 있다.⁹⁵

지구온난화는 생물 서식지의 복상도 초래한다. 예를 들어, 현재 우리나라의 남해 지역이 아열대성으로 바뀌면서 어류와 해조류의 분포가 달라지고 있다. 지난 50여 년간 우리 바다의 수온은 약 1.23℃ 상승한 것으로 보고됐는데, 해양학자들은 해수 온도가 1℃ 상승하면 육지에서 기온 10℃가 상승하는 것과 같은 영향을 미칠 수 있다고 경고한다.⁹⁶

각국의 대응

생물다양성 감소에 대한 국제적 노력으로 ‘생물다양성협약’이 있다. 생물종의 보전, 지속 가능한 이용, 이익의 공정하고 공평한 공유가 생물다양성협약의 목표다. 세계 각국도 생물다양성 보호와 관리를 위해 적극적으로 전략을 추진하고 있다. EU의 경우 2011년에 생물다양성전략(2011~2020)을 통해 서식지 보전, 생태계 서비스 유지·복원, 수산자원

의 지속가능한 이용, 침입 외래종 대응 등의 목표를 추진해왔다. 또 중국은 국가생물다양성전략(2011~2030)을 수립하고 관련된 정책과 시스템 개선, 생물의 다양성 보전을 위한 역량 강화, 생물자원의 지속 가능한 개발·이용 촉진, 생물다양성의 새로운 위협과 도전에 대처하기 위한 역량 강화 등의 전략 과제를 추진하고 있다. 우리나라도 제4차 국가생물다양성전략(2019~2023년)을 발효하고⁹⁷ 생물다양성의 보전과 지속 가능한 이용을 위해 노력하고 있다.

한편 생물다양성 보존 대책으로서 생물다양성에 경제적 개념을 접목한 ‘생물다양성 상쇄 전략’과 ‘생태계 서비스 지불 제도’라는 프로그램이 있다. 생물다양성 상쇄 전략이란 어쩔 수 없이 생태계가 파괴되었을 경우 훼손 정도를 정량화해 이를 다른 곳에서 회복·창출·개선하는 방식으로 파괴를 상쇄시켜 생물다양성의 실제적인 감소가 없도록 만드는 것이다.

생태계 서비스 지불 제도는 자발적인 계약에 근거해 특정 생태계 서비스의 수혜자가 공급자에게 서비스 이용에 대해 일정액의 대가를 치르는 형태의 계약을 충칭한다. 이는 보이지 않는 자연의 가치를 시장경제하에서 가시화·수치화했다는 점에서 중요한 의미를 지닌다. 생태계 서비스 지불 제도가 이뤄지려면 서비스 수혜자와 공급자의 자발적인 매매, 서비스의 명확한 정의, 지속적 서비스의 보장이 필요하다. 이 제도는 1990년대 중반 도입되어 300개 이상의 프로그램이 전 세계에서 운영되고 있다. 우리나라 환경부도 생물다양성법 제16조에 근거한 생태계 서비스 지불제 계약이 2020년 도입됨에 따라 제도에 대한 참여자(지자체, 토지 소유자 등)들의 이해를 돕고 제도 활성화를 위해 활동 유형과 계약 추진 절차 등을 담은 가이드라인을 제시한 바 있다.

생태계 보전을 위한 미래 전략

이제는 환경변화가 기후변화에 영향을 주고, 다시 기후변화로 인해 환경에 변화가 일어난다는 양방향 상관관계에 대한 통찰이 절실하다. 이를 통해 국토의 생태적 기능 증진, 생활환경 관련 이슈 해결, 그리고 환경변화에 대응할 수 있는 회복력 등을 확보해가야 한다.

시민과의 소통

- 동식물과 더불어 사는 혜택에 대한 공감대 형성을 위해 강연, 방송 등을 적극 활용
- 공영방송과 교육부가 협업해 환경 관련 다양한 디지털 콘텐츠를 제작해 정규 교과 과정에 편입, 교육과 홍보 지속
- 첨단기술을 활용한 ‘동식물 도감’을 만들어 오감을 이용한 소통 방안 연구
- 온·오프라인 매체를 활용한 생물다양성 홍보 강화
- 국립생태원 등 지역에 산재한 환경 관련 테마파크, 연구소, 체험 장소의 분원을 대도시 인근에 설립해 접근성 강화

생물다양성 모니터링 및 사전 예방적 관리 시스템 구축

- 한반도의 자생 생물종 적극 발굴 및 DB 구축
- 시민의 자율 참여에 기반한 사진 자료 및 생태 현황 자료 확보 후 빅데이터 구축
- 생태계 교란종 침입 예방 및 통제 강화, 외래 생물 정밀 조사 및 정보 시스템 구축

- 친환경 제품 사용 시 개선되는 환경에 관한 다양한 지표를 게임 레벨처
림 활용해 소비자와 시민의 참여와 관심을 유도
- 한국생명공학연구원의 '국가생명연구자원통합정보시스템'과 국가적 차
원에서의 생물다양성 정보 공유 체계를 연계해 통합 시스템으로 확장
- 인간의 생산·소비·여가 활동이 생태계에 미치는 영향을 구체적인 수치
로 환산한 지표인 생태 발자국^{ecological footprint}을 작성해 생물의 다양성
훼손 모니터링

생물자원 보전과 다양성 활용 정책 강화

- 자연환경 보호지역 확대 및 규정 강화 등 적극적인 보호 정책 수립
- 멸종위기종 복원 사업뿐 아니라 생물다양성 증진을 위한 서식처 복원
사업 본격화
- 기후변화에 따라 유입되는 외래종에 대해 다양성 측면에서 활용 방안을
찾는 노력 병행
- 생물다양성과 국가 생명연구 자원 정보에 대한 통합 DB 구축과 해외
DB와의 연계를 통해 유전자원 접근 및 이익 공유 추진

생물자원 관련 4차 산업혁명 과학기술 접목

- ICT 및 재생에너지(지열 등)를 활용해 화석연료·비료·물의 사용을 최소
화할 수 있는 스마트팜 보급 및 확대
- 생물자원 이용에 대한 연구개발과 다양한 생산품의 부가가치를 높이기
위한 기술 개발
- 유전자 편집 작물 등 생명공학 기술의 안전성 검증을 통한 다각적 대처
방안 마련

- 생물다양성에 관한 AI와 빅데이터 기반의 과학적 관리 능력 제고
- 바이오칩 기술을 접목한 멸종위기종 관리 체계 구축

통합적 정책 추진과 규제의 적절한 활용

- 기후변화 대응을 위한 법·제도 기반 강화
- 부처별로 나뉘어 있는 생물자원 보전 관리와 활용 정책을 통합·조정하는 제도적 장치 필요
- 정부, NGO, 민간 기업, 대학교 등의 정보 공유 및 다양한 이해관계자와의 논의 확대
- 시민사회 조직과 협업하는 생물다양성 관련 사업 확대로 시민참여 유도

국제 협력 및 협약 대응체제 구축

- 인접 국가 간 협력을 강화하는 국제 생태 네트워크 개념 정립 및 활동 확대
- 국제적 차원에서 생물다양성 전략 수립과 집행에 필요한 과학기술 정보 공유
- 공적 개발 원조 사업 추진을 통해 개도국 자원의 공동 발굴 사업 참여

남북 협력을 통한 녹색 한반도 전략 마련

- 한반도 생태 네트워크 연결 및 복원 사업 이행
- 수자원, 기상과 기후, 환경과 생태계 변화에 관한 정보 교환과 공동 연구
- 미세먼지를 비롯해 백두산 화산 활동과 같은 재해에 대응하는 자연재해 공동 연구
- 임진강, 북한강 등 남북한이 공유하는 하천에서의 협력(수문 관측망 설치,

- 홍수 예보와 경보 시스템 구축, 농경지 정비 등) 증진
- 남북한, 나아가 동북아의 환경·경제공동체 논의 및 구상 구체화
- 비무장지대 자원 발굴과 지역 발전을 위한 연구개발

한국의 특성에 맞는 그린 뉴딜 전략 구상

- 2050년 탄소 제로 사회 실현을 위한 중장기 로드맵을 연 단위로 구체화
- 저탄소 수소경제 활성화를 위한 지원 정책 수립
- 에너지 제로 빌딩 건축 시 용적률 등의 인센티브 추가 방안 검토
- 도시화의 가속, 중국발 미세먼지 심화에 따른 대책 마련
- 친환경 재생에너지로 인해 발생할 수 있는 부작용에 대비하는 대책 마련
- 온실가스 감축 노력과 결과에 따른 상벌 제도 강화
- 저공해 자동차의 획기적 확대 등 탈내연기관 자동차로의 전환 가속화
- 비대면 소비로 인해 급증한 플라스틱 폐기물에 대한 규제 강화 및 재활용 기술 연구