세계 탄소중립 실현의 필수 동반자 원자력

주한규
서울대학교 원자핵공학과 교수

• 서울대 원자핵공학과 학사·석사
• 미국 Purdue University 원자핵공학 박사

• 한국원자력연구소 책임연구원
• 미국원자력학회 석학회원
• 서울대 원자력정책센터장
• 서울대 원자핵공학과 교수

바이든 신임 미국 대통령은 작년 대선 유세 기간 중 자국의 2050년 탄소중립을 선언했다. 이와 관련해 지난 1월 20일 취임 직후에는 파리기후협약 복귀를 지시했다. 시진핑 중국 주석도 작년 유엔 연설에서 2060년 탄소중립을 선언했다. 세계 양대 경제 체제가 기후변화 대처에 적극적으로 임하기로 한 것이다. 돌이켜 보면 매우 다행스러운 일이 아닐 수 없다.

지구온난화에 따른 기후변화를 더는 방치할 수 없다는 세계적 공감대가 2015년 파리 기후협약을 이끌었다. 이 협약은 중국의 소극적 참여와 미국의 탈퇴로 유명무실해질 뻔했다. 석탄이 가장 중요한 에너지원인 중국은 공격적인 온실가스 감축을 추진할 수가 없어 온실가스 증가를 선진국 탓으로 돌리며 개발도상국에 대한 온실가스 감축 의무 유예를 요구했다. 미국의 탈퇴는 트럼프 전 대통령이 화석연료에 의한 지구온난화를 부정하며 자신을 지지해 주던 미국 내 석탄과 가스 산업계를 보호하려 했기 때문이었다.

그러나 지구온난화가 화석에너지 사용 증가 때문이라는 사실이 지난 수년간 대기 내 탄소동위원소 비율의 감소 추이 같은 명백한 과학적인 증거로 좀 더 확실해졌기 때문에 화석연료 사용 저감과 같은 이산화탄소 증가 억제 조치 이행은 거부할 수 없는 세계적 당위가 되었다. 그리하여 2050년 내 탄소중립 실현이라는 구체적인 목표가 주요국에서 제시되었다. 탄소중립이란 화석연료 사용으로 발생하는 이산화탄소를 식물체 흡수, 탄소 포집 등을 통해 상쇄하면서 전 지구적 이산화탄소 순 배출량을 0으로 만들겠다는 것이다. 다른 말로 탄소 순 무배출(Zero Net Emission)이다.

2050년을 목표로 탄소중립을 달성하겠다는 선언은 독일, 프랑스, 영국 등 EU 주요 국가들을 필두로 하여 일본과 우리나라의 동참으로 이어졌다. 바이든의 미국도 합류했다. 세계 온실가

스의 28%를 배출하는 세계 최대 온실가스 배출 국가인 중국은 과도한 석탄 의존성 탈피에 걸리는 시간을 고려하여 10년 더 길게 목표를 잡았다. 각국은 탄소중립 실현 방안으로 재생에너지 확대를 공통으로 내세웠다.

문재인 대통령은 11월 초 국회 시정연설을 통해 우리나라 2050년 탄소중립을 선언했다. 그 실현 방안으로 석탄을 재생에너지로 대체하겠다고 밝혔다. 그러나 탄소중립은 비단 전기생산에서 화력발전을 재생에너지로 대체함으로써 달성할 수 있는 게 아니다. 온실가스의 주요 발생원인 수송과 난방 및 제조용 화석에너지 사용을 대폭 줄여야 하는 것이다. 이를 위해서는 전기 자동차, 히트 펌프 등 전기를 활용하는 수송수단과 난방장치 활용을 획기적으로 늘리고, 여기에 사용되는 전력은 무탄소 발전원으로 공급하여야 한다. 대표적인 무탄소 발전원인 태양광과 풍력같은 재생에너지 확대의 당위가 여기에 있다. 그러나 재생에너지의 간헐성과 부지 여건 등에 의한 확대 한계성 때문에 세계 주요국은 전통적인 무탄소 기저 발전원인 원자력에도 주목하고 있다. 대표적인 나라가 영국, 미국, 중국, 일본이다.

영국의 원자력 확대 정책

영국은 작년에 녹색 산업혁명 10대 중점계획을 발표했다. 그중 1번은 해상풍력, 2번은 저탄소 수소이다. 3번에는 신규 및 혁신(advanced) 원전을 포함했다. 해상풍력은 영국 북해의 우수한 풍력자원을 활용하자는 것으로, 2030년까지 40GW의 해상풍력 설비를 확보하는 것을 목표로 한다. 저탄소 수소는 기본적으로 재생에너지 전기분해를 통해 청정에너지원 수소를 생산해 활용하자는 것이다. 신규 원전은 우리나라의 APR1400와 같은 대형 원전을, 혁신 원전은 소형모듈화 원전을 말한다.

영국은 2017년 당시 6개 부지에 13기의 신규 원전을 건설하는 계획을 세웠다. 그중에는 한국전력(이하 한전)이 지분을 인수하려던 도시바의 자회사 뉴젠이 추진한 무어사이드 원전도 포함되어 있었다.

우리나라의 탈원전 기조로 인해 한전이 영국 원전 수주에 소극적일 수밖에 없었기 때문에 뉴젠 지분 인수 건은 불발되었고, 이 3기의 원전 건설계획은 중단되었다. 또 히타치의 자회사 호라이즌이 추진하던 윌파 원전 2기도 코로나19로 인한 투자환경 악화를 이유로 작년 9일 사업 철수가 결정되었다. 그러나 이 두 부지에 대해서 각각 프랑스 EDF와 미국 벡텔 컨소시엄이 EPR과 AP1000형 원전을 건설하겠다는 의향을 밝혀 영국의 대형 원전 건설 계획은 꾸준히 추진되고 있다. 특히 현재 건설 중인 힝클리 포인트(Hinkley Point)의 EPR 원전과 동일 유형으로 건설하게 되어 있는 200억 파운드 규모의 시즈웰 C(Sizewell C) 원전 2기 건설에 대한 영국 정부와 EDF 社 간 협상이 현재 진행 중이다. EPR 원전 공급사인 EDF가 그간의 EPR 원전 건설

경험을 바탕으로 힝클리 포인트의 발전단가인 MWh 당 92.5파운드보다 훨씬 낮은 40~60파운드 선으로 가격을 제시할 것이라는 관측이 있다.

영국 정부는 10대 중점계획 발표 시 혁신 원전 개발과 관련하여 5억 2,500만 파운드(약 8천억 원) 규모의 소형모듈화원자로(SMR, Small Modular Reactor) 개발 지원계획을 발표했다. 이 SMR 개발은 롤스로이스 社가 담당하여 SMR 16기를 짓는 것이다. 이처럼 영국은 2050년 탄소 순 무배출을 달성하기 위해 해상풍력과 원자력의 동반 육성이라는 합리적인 정책을 추진하고 있다.

미국의 원자력 육성

미국 민주당은 전통적으로 반원자력 입장을 고수해 왔으나, 지난 대선에는 원자력을 청정에너지의 하나로 인정하고, 혁신 원자로 개발을 적극적으로 지원하겠다는 공약을 제시하였다. 민주당의 신임 바이든 대통령은 2050년 탄소중립 실현을 추진할 책임자로 전 미국 국무장관이었던 케리 상원의원을 기후변화 특사로 임명하였다. 케리 상원의원 역시 클린턴 정부에서는 고속중성자 원자로 연구개발 중단에 앞장섰을 만큼 적극적인 반핵론자였으나, 그동안 원자력 기술 진보에 따라 훨씬 안전한 제4세대 원전이 출현할 수 있음을 알고서는 원자력 지지자로 돌아선 사람이다.

SMR 개발의 대표주자인 미국 뉴스케일 파워(NuScale Power) 社는 가늘고 긴 형상으로 공장 제작 후 트레일러 운반이 가능한 소형원자로를 개발하여 지난 8월 미국 원자력규제위원회의 인가를 받았다. 이 SMR은 자연대류 순환을 통해 펌프 없이도 열 전달이 가능하고, 공장 제작 후 수송 설치가 가능한 원자로이다. 이 원자로에 대해서는 미국 에너지성의 14억 달러 지원이 확정되어 2029년까지 미국 아이다호 국립연구소 부지에 12기가 건설될 예정이다. 미국 에너지성은 빌 게이츠가 투자하고 있는 SMR 벤처기업인 테라파워(TerraPower) 社의 나트륨(Natrium) 원자로와 엑스-에너지(X-Energy) 社의 Xe-100 원자로를 유망한 제4세대 원자로로 선정하여 예산을 연간 1억 6천만 달러씩 지원하기로 하였다.

미국은 SMR 실현 노력과는 별개로 세계 원전 시장에서 점차 위력을 발휘해가는 중국과 러시아를 견제하기 위해 미국 대형 원전 수출에도 적극적이다. 작년 중반에 미국이 원전 수출에 대한 수출입은행의 금융 지원제한조치를 해제한 지 4개월 만에 루마니아, 폴란드, 불가리아 등 동유럽 국가들과 원전 건설 재정지원을 위한 양해각서를 체결했다. 루마니아와는 지난 10월 초 80억 달러 규모로 2기의 신규 원전 건설에 합의했다. 당초 중국 원전을 도입할 계획이었던 루마니아가 미국의 적극적인 원전 수주 지원책으로 인해 도입선을 변경한 것은 상당히 의미심장하다.

미국이 적극적으로 SMR을 개발하고 자국 원

전의 해외 진출을 추진하는 데는 원자력이 무탄소 청정에너지로 이미 국내에서 중요한 역할을 하고 있고, 세계적으로도 원자력이 확대될 것으로 전망하고 있기 때문이다. 미국의 가동 원전은 현재 94기로 총 전력의 약 20%를 생산하고 있다. 이 94기 중 약 50기가 40년이 넘은 원전이지만, 지난 5년 동안 미국 원전의 평균 이용률이 연속 92%를 상회하는 경이적인 기록을 달성했다. 이로써 미국 원전은 미국 무탄소 전력의 55%를 생산했다. 이는 수력(19%), 풍력(20%), 태양광(5%)을 합친 것보다 많은 양이다. 이러한 무탄소 전원으로서의 기여도를 고려하여 미국은 88기 원전의 가동 기간을 1차로 60년까지 연장했고, 일부 원전에 대해서는 80년 가동까지도 추진 중이다.

미국 전력회사들이 대형 신규원전 건설계획을 적극적으로 세우지 않는 것은 미국 내 대형 원전 건설비가 지나치게 비싸 가스나 재생에너지 발전과 비교하면 경쟁력이 떨어지기 때문이다. 그래서 계통 단순화와 공장 제작 모듈화 등으로 건설비를 낮출 수 있는 SMR 개발에 치중하며 원자력 선도 국가로서 지위를 유지하려고 하고 있다. 그렇지만 건설 노임과 노동 환경 등을 고려할 때 해외 원전 건설 비용이 미국 내 건설보다 낮을 수 있으므로 자국 회사의 해외 원전 건설을 지원하는 것이다. 미국 상무부는 작년 초에 발간된 미국 원자력 경쟁력 회복 전략 보고서에서 2030년까지 세계 원전 건설 시장 규모를 5,000~7,400억 달러 규모로 추정하고, 이런 시장에서 러시아와 중국의 독주를 막기 위해 자국 원자력 회사의 해외 진출을 위한 지원책 강화를 주문한 바 있다. 그 지원책의 일환이 수출입은행을 통한 원전 건설 재정지원책인 것이다.

중국의 원전 굴기

현재 세계적으로 53기의 원전이 건설 중이며, 이 중 14기는 중국 원전이다. 원전 49기를 가동 중인 중국은 이 14기 외에 41기에 대한 구체적인 원전 건설 계획을 세웠다. 현재 단계에서 고려 중인 90기까지 합하면 총 194기에 이른다. 중국은 원전 굴기를 내세우며 이렇게 많은 자국 내 원전 건설 촉진은 물론 세계 진출까지 도모하고 있다. 최근 중국 고유의 원전인 화룽 1호가 최초로 출력운전에 성공했고, 같은 유형의 원전을 파키스탄과 아르헨티나에 수출했다. 케냐와 이집트 등 아프리카 국가 진출도 모색 중이다. 중국이 원전 건설과 수출에 적극적인 것은 무엇보다도 자국 내 미세먼지와 온실가스 저감을 위해서는 원자력이 필요하다고 판단하고, 세계적인 원자력 확대를 전망하기 때문이다.

시진핑 주석의 중국 2060년 탄소중립 선언은 매우 야심차다. 탄소중립을 위해서는 중국 에너지 공급의 60% 이상을 차지하는 석탄 사용을 대폭 줄여야 하기 때문이다. 중국의 기후변화 대책을 이끌었던 시에 젠화(Xie Zhenhua)가 책임자로 있는 칭화대 기후정책연구소는 〈표 1〉의 2060년 탄소중립 에너지믹스 안을 제

〈표 1〉 중국 2060년 탄소중립 에너지믹스 안

에너지원	2025			2060			증가율, %	2025년 대비 상대비
	Mtoe	GWy	비중 %	Mtoe	GWy	비중 %		
석탄	2860	3798	51.9	110	146	2.5	-96	0.04
가스	560	744	10.2	140	186	3.2	-75	0.25
석유	980	1301	17.8	340	452	7.7	-65	0.35
수력	440	584	8.0	660	876	15.0	50	1.50
바이오	110	146	2.0	220	292	5.0	100	2.00
풍력	240	319	4.4	1070	1421	24.4	346	4.46
원자력	170	226	3.1	820	1089	18.7	382	4.82
태양광	150	199	2.7	1030	1368	23.5	587	6.87
합	5510	7317		4390	5830			

*(원유 백만 톤) Mtoe = 1.328 GWy (기가와트·년)

출처:https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-09-28/china-s-top-climate-scientists-lay-out-road-map-to-hit-2060-goal?fbclid=IwAR1H-xmmRJ4eedlhOCoRUZ0iBqa2-90U09_5M_9mHUwu7zDi5ptDambcOOM

시했다. 이에 따르면 석탄은 2025년 대비 96% 감소하고, 풍력과 태양광은 각각 4.5배와 6.9배가 늘어 2060년 중국 1차 에너지 공급에서 재생에너지가 차지하는 비중이 68%에 이를 것으로 나타난다. 이 가운데 원자력도 2025년의 4.8배가 되어 1차 에너지 공급의 19%를 차지하는 것으로 전망했다. 원전의 열효율이 약 35%, 이용률이 85%인 점을 생각하면 1089GWy에 이르는 1차 원자력 에너지 공급량은 약 450GW의 발전설비에 해당한다. 중국의 현재 원전 발전용량 47GW의 약 10배에 달하는 양이다. 향후 30년간 중국에서 엄청난 규모의 원전 건설이 있을 것이라는 전망인 것이다.

일본의 원자력 회복

기존 원전 운영국 중 원자력 확대에 가장 적극적인 나라는 일본이다. 일본은 후쿠시마 사고 이후 '원전 제로'를 선언했지만, 원자력을 대체한 가스발전용 가스 수입 증가로 발생한 대규모 무역수지 적자와 전기요금 인상에 따른 국가 경제에 대한 부담을 감당할 수 없었다. 그래서 제5차 에너지기본계획에서 2030년 원자력 발전 비중 20~22% 달성을 확정했다.

이에 따라 후쿠시마 사고 이후 폐기되지 않고 남은 원전 33기 중 9기는 이미 재가동 중이고, 강화된 안전규제 요건을 충족시켜 재가동 허가를 신청한 18기는 현재 심사 중이다. 11월에는 다카하마 1, 2호기 원전 재가동이 승인됐는데, 각각 46년과 45년이 된 원전이다. 일본은 이렇게 안전 기준을 충족하는 원전에 대해서는 엄격한 심사를 거쳐 재가동을 허용함으로써 2050년 탄소중립을 실현해 나갈 계획인 것이다.

특히 이번 겨울에 일본에서는 혹한 상황에서

폭설로 인해 태양광이 제구실을 못하게 되는 상황을 경험했다. 또 해상풍력은 일본 해안의 급경사 특성에 따라 부적당하다는 사실이 분명해지고, 에너지의 해외 의존도를 낮출 당위가 드러남에 따라 최근 일본의 경제산업상은 2050년 탄소중립 실현을 위해 원자력이 필수 불가결함을 인정하였다.

다른 국가들의 원자력 정책

우리나라를 제외하고 탈원전을 선언한 국가는 현재 독일, 스위스, 벨기에, 대만뿐이다. 이들 4개국의 총 원전 기수는 24기로, 31개 원전 운영국 전체 원전의 5.4%에 불과하다. 반면 UAE, 터키, 벨라루스, 방글라데시 4개국은 현재 원전을 건설 중으로, 곧 신생 원자력 운영국으로 편입될 것이다.

또한, 사우디아라비아, 이집트, 폴란드 등은 확실한 원전 도입 계획이 있어 머지않아 건설에 착수할 것이다. 인도와 체코, 불가리아, 루마니아도 원전을 확대하려고 하고 있다. 탈원전 국가는 극히 일부이고, 오히려 원자력을 새롭게 시작하는 나라가 더 많고, 기존 운영국도 원전 이용을 더 확대하려는 것이 세계적 추세이다. 전통적인 세계 최고 원자력 강국인 프랑스는 현재 75%인 원전 비중을 2025년까지 50%로 줄이려던 마크롱 대통령의 공약을 변경해 2035년으로 연기하였다.

작년 말 마크롱 대통령은 자국 프라마톰(Framatome) 社를 방문해 원자력의 중요성을 새삼 언급하고, 원자력이 프랑스의 핵심기술 원천으로 오래 그 위상을 유지해야 함을 강조하였다. 프랑스는 세계가 인정하는 원자력 기반 기후변화 대처 모범국이다.

회복해야 할 우리나라 원자력

우리나라에서는 아직도 탈원전 정책이 굳건하게 유지되고 있지만, 국가기후환경회의를 중심으로 탄소중립 실현을 위한 탈원전 탈피론이 서서히 주목받고 있다. 지난해 11월 23일 기후변화와 미세먼지 문제 대처를 위한 중장기 국민정책제안을 발표할 때 나온 발언 중 “탈원전을 고정불변으로 하고 2050년 탄소중립을 얘기하긴 어렵다”는 말이 이를 방증한다. 이 발언은 반핵 환경단체 출신으로 환경부 차관을 역임한 안병옥 국가기후환경회의 운영위원장이 한 것이라 더 의미가 있다.

한편 발전원가가 특히 싼 우리나라 원전은 물 전기분해를 통한 수소 생산에 활용할 수 있다. 정부에서는 야심찬 수소 활성화 로드맵을 통해 수송 분야에서 수소 사용을 늘리는 것을 탄소중립 실현의 주요 수단으로 추진하고 있다. 문제는 무탄소 수소 생산 방식이다.

태양광 위주인 우리나라 재생에너지는 이용률이 15% 선에 머무를 수밖에 없다. 이 경우 고가의 수전해 설비 이용이 하루 4시간도 안 돼 설비 투자비가 원가에 높을 비중을 차지하게 된다. 거

기에 원자력보다 최소 60% 이상 높은 재생에너지 발전원가를 적용하면 재생에너지 기반 수소 생산비가 kg당 7,000원을 상회하지만 원자력 전기 이용 수소는 3,500원 이하로도 생산할 수 있다. 이는 정부 수소활성화 로드맵 장기 목표인 3,000원 수준에 근접한다. 원자력 수소는 경제적이고 대량 생산이 쉬운 방식이다. 우리나라가 탄소중립 실현을 위해 꼭 추구해야 할 길이다.

결어

세계 주요국이 원자력의 이용 확대를 추진하는 것은 온실가스 없이 고품질 전력을 저비용으로 안정적이며, 대규모로 공급하는 원자력이 기후변화 대처의 가장 유력한 수단으로 인정되기 때문이다. 원자력 없는 탄소중립 실현은 공허한 구호뿐이다. 국가 기후환경회의에서 암묵적으로 한 탈원전 정책 시정 제안이 받아들여져서 원전이 저비용 청정 전력원으로서 풍부한 전력을 공급하고, 나아가 온당한 가격에 수소를 생산하여 전기화율이 높아질 미래 시대에 무탄소 전원으로 대거 활용됨으로써 우리나라 탄소중립 실현에 필수적인 동반자로 자리매김하길 고대한다. KAIF