

탄소중립의 정책/기술 현황과 전망



이시훈

한국에너지기후변화학회 회장

- 서강대학교 화학공학 학사, 석사, 박사
- 한국에너지기술연구원 책임연구원
- 한국에너지기후변화학회 회장

1. 서론

2050년까지 이산화탄소 순배출을 제로로 만들겠다고 130개국이 선언을 했다. 중국은 조금의 유예기간을 두고 2060년까지 하겠다고 한다. 탄소중립 이야기다.

2050년이면 지금부터 30년 후인데 궁금하다. 실제로 탄소중립 시대가 와서 전기가 모두 무탄소 전기로 만들어지고, 무탄소 전기로 배를 채운 전기자동차와 잉여전력으로 만들어진 수소를 넣고 다니는 수소연료전지 자동차가 저소음으로 도시를 돌아다니는 것을 볼 수 있을지 상상해 본다.

반대로 안 된다면, 지구촌 곳곳에서 얼마나 많은 자연재해를 겪고 기후변화로 허덕이는 모습을 봐야 하는지가 두렵고, 또 얼마나 많은 비용을 탄소세라는 명목으로 지출해야 하는지도 걱정이다.

탄소중립은 선택이 아니라 필수인데, 안타까워하면서 어쨌든 해야 하는 것이 아니냐고 팔을 걷어붙이는 사람들이 있는가 하면, 일부 부정적인 시각이 있는 것도 사실이다. 잉여전력에 대한 냉소적인 반응, 우리나라에 재생에너지가 충분하지 않다고 걱정하는 모습이 보인다.

하지만 해야 하는 일이고, 하려면 정리가 필요하다. 그래서 지금까지 공개된 국내외 탄소중립 정책 현황과 이 정책을 구현해 줄 핵심기술을 정리하고자 한다.

2. 이산화탄소 다배출국가의 탄소중립 시나리오

탄소중립을 선언한 국가 중 이산화탄소를 가장 많이 배출하는 국가는 EU, 미국, 일본, 중국(인도와 러시아는 고려 중이다)이다. 현재 배출되는 32Gt 중 56%가 이들 국가에서 배출된다. 여기에 한국을 포함한 G20 국가들로 확대하면

81%가 된다. 이산화탄소·배출량의 80%를 탄소 중립을 선언한 130개국 중 20개국이 배출하는 것이다. 당연히 이들 국가가 이산화탄소를 줄이는 데 앞장서야 한다.

탄소 배출량을 이야기할 때는 총배출량과 순배출량을 구별해야 한다. 산림이나 농촌지역 작목들이 성장하면서 흡수하는 탄소를 총배출량에서 뺀 것을 순배출량이라고 한다. 탄소중립에서 말하는 중립의 의미는 순배출 제로를 의미한다. 예를 들어 산림을 잘 가꿔서 탄소를 많이 흡수하면 그만큼 줄여야 하는 탄소량도 준다는 의미다.

IEA(International Energy Agency)가 전하는 시나리오 중 가장 설득력 있는 지속가능발전 시나리오(Sustainable Development Scenario)에서는 지금의 32Gt을 2070년 3GT으로 줄이고 carbon negative 개념을 도입하여 순배출량 제로에 도달하자고 한다, 이게 가능하려면 석탄을 포함한 모든 화석에너지를 줄여야 한다. 탄소 배출이 많은 4개 지역의 시나리오를 들여다보자¹⁾.

2.1. EU의 시나리오

얼마 전 영국이 탈퇴하면서 회원국이 28개국에서 27개국으로 줄어든 EU는 2018년 기준 42억 톤의 이산화탄소를 배출하였다. 이는 전 세계 배출량의 약 13%에 해당한다. 그나마 유럽은 프랑스와 폴란드를 제외하면 신재생에너지가 많

이 보급된 지역이어서 아마도 무난히 2050년까지 탄소중립을 구현할 것으로 예상된다.

특히 그 어느 지역보다도 적극적으로 탄소중립을 주장하는 지역이니만큼 시나리오도 매우 공격적이다. 2018년에 European Commission을 통해 2050년 탄소중립 시나리오를 검토하고 2019년에 비전을 수립하였다. 전기화, 수소, P2X(Power to X, X는 가스, 화학제품, 열 등을 의미함), 에너지 효율화, 자원순환을 기반으로 하고 BECCS(바이오에너지에 CCS를 포함, BioEnergy+Carbon Capture and Storage)를 강화해서 2050년에 온실가스 순배출량 제로를 달성하고 이를 위해 13,660~14,800억 유로(한화 연간 평균 약 1,900조 원, 개별 국가 기준 70조 원)를 투자한다는 시나리오이다.

매킨지(McKinsey)에서 유럽 정책결정자들에게 권고한 비용 최적 시나리오(Net-Zero Europe)에서는 전력부분은 2040년대 중반, 수송부분은 2045년, 건물부분은 2040년대 하반기에 탄소중립을 달성하고 산업부분은 2050년에 95% 저감, 농업부분은 40%를 저감하고, 잔존 배출량은 재조림이나 CCS로 상쇄하는 것으로 되어 있다.

발전량 중 재생에너지 비중은 2030년 62%(태양광 14%, 육해상 풍력 33%), 2050년 91%(태양광 32%, 육해상 풍력 53%)이며 투자 대상 기술은 15개 기술분야의 55개 기술인데, 15개 기

1) 박년배, "EU, 미국, 일본, 중국의 탄소중립 시나리오와 주요 감축기술", 한국에너지기술연구원 PD 이슈리포트(2021)에 수록된 내용을 발췌 및 일부 인용하였음

술균을 저감이 많은 순으로 소개하면 육상풍력, 태양광, 전기차, 히트펌프, 전기트럭, 해상풍력, 수소환원제철, CCS, 수소연료전지 트럭, 항공 및 선박용 바이오연료, 산업용 전기보일러, 태양 열 난방, 지역난방, 전기로, 혐기성 소화조 순이다. 다른 지역과 달리 육상 풍력이 태양광보다 기여도가 높게 설정되어 있다는 것이 특이하다.

2.2. 미국의 시나리오

바이든 대통령은 대선 공약으로 전력부문 탄소중립은 2030년에 달성하고 2050년에는 완전한 탄소중립을 달성하겠다고 선언하였다. 프린스턴 대학교에서 2년간의 연구 끝에 제안한 Net-Zero America에서는 탄소중립 시나리오를 E+, E-, E-B+, E+RE-, E+RE+(E: Electricity, B: Bioenergy, RE: Renewable Energy, +, -는 해당 에너지의 증가와 감소를 의미함)의 5개로 나누어 제시하였고, 아직 어느 것을 택할지는 결정되지 않았다.

목표는 1차 에너지 구성 중 2020년 현재 85%인 화석에너지 비중을 2050년 30% 이하로 줄이고, 발전량 중 무탄소 전원의 비중을 2020년 37%에서 2050년 98~100%로 상승시키는 것을 골자로 하고 있다.

이를 위해 먼저 탄소중립 달성을 위한 6대 중점 수단으로 1) 수요 부문 에너지 효율화 및 전기화(전기로, 전기차, 히트펌프 등), 2) 청정 전력(풍력·태양, 원자력, CCS, 유연성 자원), 3) 바이오에너지 및 기타 무탄소 연료·원료(수소, 합성

연료), 4) CO₂ 포집, 이용 및 저장, 5) 비CO₂ 배출량 감축(CH₄, N₂O, F-가스), 6) 토지 흡수원 향상(농업, 산림 관리) 등을 선정했으며, 투자비는 E+의 경우만 보면 2021~2030 기간에 2.5조 달러가 추가로 필요하다고 추산하였다.

2.3. 일본의 시나리오

경제산업성(METI)에서 2050 녹색성장전략을 위한 예산, 세제, 규제개혁, 금융, 국제협력 등 14대 분야별 실행계획을 발표하였다.

2050년에 전력부문 탈탄소화와 재생에너지 비중 50~60%, 원자력과 석탄화력+CCS, 여기에 탄소재활용을 합쳐서 30~40%, 수소/암모니아 10%를 목표로 하고 있다.

전기수요는 30~50% 증가할 것으로 전망하고, 조림 및 대기 중 CO₂ 포집 저장으로 CO₂ 배출을 상쇄한다고 되어 있는데 대기 중 CO₂ 포집 저장이 포함된 것이 이례적이다. 이 기술은 미국 Carbon Engineering에서 개발하고 있는 기술인데, 물론 미국에서도 2020년 주목받는 기술로 선정되기는 했으나, IEA에서 평가하기로는 아직 갈 길이 먼 기술이어서 이 기술을 계획에 포함하였다는 것이 의외이다.

앞의 14대 분야를 산업별로 보면 해상풍력, 암모니아 연료, 수소, 원자력, 자동차·축전지, 반도체·정보통신, 선박, 물류·이동·토목인프라, 식품·농림수산업, 항공기, 탄소 재활용, 주택건축물/차세대 태양광, 자원순환 관련, 라이프스타일 등이고, 현재 민간이 보유한 예산 약 240조

엔을 투자로 유도해서 2030년에 연간 90조 엔, 2050년에 190조 엔의 경제효과를 기대하고 있다.

2.4. 중국의 시나리오

다른 국가와 달리 2060년까지 탄소중립을 달성하겠다고 선언했으며 칭화대와 BCG(Boston Consulting Group)가 분석해서 1) 2030년 NDC 유지, 2) 2030년 NDC 강화, 3) 2℃ 상승, 4) 1.5℃ 상승 등 4개의 저탄소 시나리오를 제안하였다. 2030년에 CO₂ 배출량이 정점에 도달한 후 2060년까지 탄소중립을 달성하겠다는 것이다.

온실가스 배출량을 2020년 대비 90% 감소시키고 비화석에너지를 85% 이상으로 증가시키며 발전 믹스에서는 석탄화력 5% 이하를 유지하고 전기비율은 현재 25%에서 2050년 68%로 증가시킨다는 계획이다.

유럽과 미국은 시기적으로 탄소 발생의 정점에서부터 탄소중립으로 전환하는 기간이 50~70년인 반면, 중국은 30년(2030~2060년)으로 짧고, 연간 감축률이 훨씬 높아야 하므로 장기적으로 탈탄소발전 경로로 전환하기 위해서는 좀 더 많은 노력이 필요하다. 이를 위해 1) 녹색·저탄소 순환 산업 체계 구축, 2) 청정·저탄소·안전한 에너지 공급 체계 구축, 3) 심층 탈탄소화 기술(예: 수소 에너지, 에너지 저장, 스마

트그리드, 무탄소 철강, 무탄소 화학산업, CCS, BECCS 등)에 대한 연구개발 및 산업화 촉진, 4) 탄소 가격 정책 및 탄소시장 등의 제도 개선이 필요한 것으로 분석된다.

3. 우리나라의 탄소중립 시나리오와 전망

2021년 6월 24일부터 27일 사이에 국내 몇몇 언론에서 우리나라 탄소중립 시나리오 초안을 소개하고 그 문제점을 지적했다. 두 가지 초안 중 첫 번째 초안은 2050년에 예상되는 전력 수요 1,235TWh의 60.9%를 태양광과 풍력으로 충당한다는 계획이다. 정부가 태양광과 풍력의 규모를 구체적으로 제시한 건 처음인데 이를 실현하기 위해서는 태양광은 464GW, 풍력은 약 44GW가 필요하다²⁾. 이는 2021년 현재 설치된 태양광과 풍력 설비 용량이 17GW 정도여서 매년 동일한 수준의 태양광과 풍력을 건설해야 한다는 이야기이므로 이를 두고 무리한 정책이라고 지적한 것이다.

실제로 우리나라 태양광의 시장 잠재량은 350GW로 분석되고, 발표된 초안에서 태양광의 기여도가 이 수준을 넘어서는 수치여서 이런 지적이 나오는데, 이에 대해 정부에서는 아직 초안이고 의견 수렴을 통해 수정해 나가겠다고 하였다.

태양광과 풍력이 주요 온실가스 감축 수단이

2) 조선일보 특별기획, 탄소 제로 30년 전쟁 (3), 2021년 6월 24일 자.

므로 이 부분을 증가시키는 것에는 이의가 없다. 다만, 변동성이 많은 재생전력을 확장할 때 발생할 수 있는 여러 가지 부작용을 고려해서 완충역을 할 수 있는 다양한 에너지를 검토할 필요가 있다고 본다.

예를 들어 최근 세계적으로 바이오에너지가 중요하게 부각되고 있다. 이와 관련해 IEA는 2070년에는 바이오에너지가 세계에서 두 번째로 중요한 에너지가 되면서 전체 primary 에너지의 20%를 차지할 것으로 예상하였다. 또한 지속가능발전 시나리오에서도 정책 시나리오 대비 연간 CO₂ 감축량의 약 20%를 바이오에너지가 감당할 것이며 주로 전력, 산업, 수송 부문에서 감축에 기여할 것으로 기대하였다.

우리나라의 경우 현재 바이오에너지 발전량은 1.3GW 정도로 태양광이나 풍력보다도 낮다. 바이오에너지에 대한 부정적인 시각은 주로 산림 훼손, 생산과정에서 발생하는 온실가스, 연료수입에 소요되는 비용의 국부유출 논란 등인데, 바이오매스를 가장 잘 활용하는 유럽에서는 에너지작목을 대상으로 계획조림을 통해 산림훼손을 줄이고, 생산과정에서 바이오연료를 사용하여 온실가스 발생을 최소화하며, 연료품질의 철저한 관리로 바이오에너지 사용을 확대하고 있다.

우리나라 산림은 경사가 급해서 수거 및 저장에 많은 비용이 소요된다고 하지만 이미 경제성 확보가 가능한 연료가 개발 완료 단계에 있는 것으로 보고되었고 정부기관뿐 아니라 기업

들도 해외조림사업에 투자하고 있어서 여기서 만들어진 연료를 구매하는 데 드는 비용이 과연 국부유출에 해당하는지는 따져볼 여지가 있다. 석탄발전소가 장기간 기저전력으로 활용되면서 규모가 커진 상태이므로 이를 폐기하기보다는 바이오매스 발전소로 전환하는 것도 고려해 볼 필요가 있다.

원자력은 장기적으로 비중이 줄어든 것으로 예상되나 탄소중립의 키워드가 전기화이고 원자력이 무탄소 전기라는 것을 고려하면 전기화에 일정 부분 이상 원자력이 기여할 수 있을 것으로 보인다. 또한 전기와 열, 전기와 가스, 물질을 연결하는 그린에너지 통합시스템(sector coupling)이 탄소중립의 핵심 키워드로 등장하는 시대 흐름에 맞추어 원자력을 적절하게 활용하는 것은 비용 대비 효과 면에서 검토가 필요한 부분이다.

바이오매스와 원자력 분야는 국민수용성을 확보하기 위한 노력을 지속적으로 기울일 필요가 있다. 바이오매스의 경우 사용 후 발생가스를 얼마나 깨끗하게 정화할 수 있는지를 실제로 구현해 보이고, 바이오매스에 CCS를 포함하면 carbon negative가 가능하며, 원자력의 경우 얼마나 안전하게 운전할 것인지를 장기간 국민을 상대로 홍보한다면 탄소중립에 상당 부분 기여할 수 있을 것이다.

IEA는 에너지 관련 기기의 효율화, 수요관리를 위한 DNA(Data, Network, AI) 도입을 통한 에너지 공급의 효율화 등이 전체 온실가스

저감 부분에서 약 37%를 차지할 것으로 전망하고 있다. 우리나라처럼 에너지 집약 산업이 많은 국가에서는 더더욱 필요한 부분이고 이를 위해 최근 건물, 공장, 가정에서의 EMS(Energy Management System) 도입이 활발하게 진행되고 있다. 이를 두고 에너지 백신이라고 말하는 전문가도 있다.

효율 분야는 기후상황이나 수입에 의존하는 에너지와 달리 사람에 의존하기 때문에 우수한 인력이 많고 IT가 발달한 우리나라에서 가장 잘 할 수 있는 분야이므로 다른 어느 분야보다도 더 집중적인 투자가 필요하다고 판단된다.

4. 결론

탄소중립은 거스를 수 없는 시대의 흐름이고 우리나라는 세계 10위 안에 드는 경제대국이기에 탄소배출 역시 10위 안에 있다는 것에 대해 책임감 있는 정책을 만들어야 하고 정책을 구현하기 위한 기술을 개발하여야 한다.

IEA는 에너지의 청정화를 위한 5대 핵심 원칙으로 1) 우선순위를 정해서 추적하고 조정할 것, 2) 공공 R&D와 시장 주도 민간부분의 혁신을 제고할 것, 3) 가치사슬상의 모든 링크를 다룰 것, 4) 활성화를 위한 인프라를 구축할 것, 5) 지역적 성공을 위해 국제적으로 일할 것 등을 정책결정자들에게 제안하고 있다.

지난 수백 년 동안의 화석에너지 시대를 앞으로 30년 이내에 전환시켜야 하는 막중한 책임이 기술개발자들에게 있는 것이다. **KMIF**

참고자료

- 박년배, "EU, 미국, 일본, 중국의 탄소중립 시나리오와 주요 감축기술"한국에너지기술연구원 PD 이슈 리포트 (2021.2)
- IEA Energy Technology Perspective 2020 - Special Report on Clean Energy Innovation