

UNINOMIC REVIEW

Vol.4 No. 4

탄소중립 & 한국의 미래

기후위기 대응을 위한 탄소중립의 필요성과 우리의 생존전략	이덕환
탄소중립과 지속가능한 발전	박진호
원자력 에너지정치와 탄소중립 : 역사와 논점	이태동
탄소중립 실현의 필수 에너지 원자력	주한규
탄소중립 이행과 미세먼지의 효과적 감축을 위한 정책 방향	신동원
신재생만으로는 불가능한 탄소중립	정용훈
EU 탄소국경조정 메커니즘 논의와 경제적 영향	문진영
미국과 한국의 탄소중립 정책 추진현황과 한미동맹 합의	손병권

세 종 연 구 원

UNINOMIC REVIEW

Vol.4 No.4

세 종 연 구 원

UNINOMIC REVIEW

Vol.4 No.4

목 차

기후 위기 대응을 위한 탄소중립의 필요성과 우리의 생존 전략 | 이덕환

탄소중립과 지속가능한 발전 | 박진호

원자력 에너지 정치와 탄소중립: 역사와 논점 | 이태동

탄소중립 실현의 필수 에너지 원자력 | 주한규

탄소중립 이행과 미세먼지의 효과적 감축을 위한 정책 방향 | 신동원

신재생만으로는 불가능한 탄소중립 : 원자력이 필수 | 정용훈

EU 탄소국경조정메커니즘 논의와 경제적 영향 | 문진영

미국과 한국의 탄소중립 정책 추진현황과 한미동맹 함의 | 손병권

기후 위기 대응을 위한 탄소중립의 필요성과 우리의 생존 전략

이덕환*

1. 들어가며

정부가 갑자기 ‘탄소중립’(Carbon Neutral)을 핵심적인 국정과제로 들고나왔다. 2030년까지 온실가스 배출량을 2018년 대비 40% 이상 감축하고, 2050년까지는 순(純) 배출량을 0으로 만드는 ‘넷 제로’(net-zero)를 달성하겠다는 것이다. 기후 위기 극복을 위한 국제 사회의 노력에 적극적으로 동참하겠다는 2020년 10월 28일 대통령의 국회 시정연설이 그 시작이었다. 탄소중립 비전 선포식(12월)을 개최하고, 탄소중립위원회가 준비한 ‘2050 탄소중립 시나리오 초안’(6월)도 내놓았다. 지난 8월 31일 국회 본회의를 통과한 ‘기후 위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법’에는 녹색 기술로 경제와 환경을 모두 살리겠다는 ‘녹색성장’(Green Growth)도 추가되었다.

세계 10위의 경제 대국으로 무역 의존도가 매우 높은 우리도 국제 사회가 심각하게 추진하고 있는 탄소중립을 위한 노력을 끝까지 외면할 수는 없다. 우리의 현실에서는 텅 빈 거름지게라도 짊어지고 따라나서야 할 형편이다. 그렇다고 탄소중립을 질퍽한 잔치판으로 착각해서는 안 된다. 남보다 앞서서 현란한 막춤을 춰야 할 이유는 없다. 돌다리도 두드려보고 건너는 신중함이 절실하게 필요하다.

2. 탄소중립과 녹색성장의 꿈

1) 탄소의 지나친 악마화는 경계 해야

탄소중립을 추구한다고 우주에 존재하는 118종의 원소 중에서 6번째로 가벼운 원소인 ‘탄소’를 악마화시킬 이유는 없다. 탄소는 지구상에 존재하는 동물·식물·미생물을

* 現 서강대학교 화학커뮤니케이션 명예교수
미국 Cornell University 이학박사

비롯한 모든 생명의 근원이기 때문이다. 우리의 생존에 꼭 필요한 탄수화물·지방·단백질과 같은 영양물질이나 DNA 또는 RNA와 같은 유전물질도 모두 탄소의 화합물이다. 우주의 어딘가에 존재하는 것으로 추정되는 외계생명체(ET)도 탄소를 기반으로 할 수밖에 없다는 것이 거부할 수 없는 현대 과학의 결론이다.

탄소는 인류 문명을 가능하게 만들어준 핵심 원소이기도 하다. 목재·종이·섬유가 모두 탄소의 화합물이고, 20세기의 현대 문명을 가능하게 만들어준 플라스틱·합성섬유·합성고무도 모두 탄소 화합물이다. 심지어 산화철인 철광석에서 산소를 떼어내서 순수한 철로 된 쇳물을 만드는 데에도 탄소(코크스)가 필요하다. 앞으로는 그래핀이나 풀러렌과 같은 탄소 나노 물질을 적극적으로 이용하는 기술이 등장할 것으로 기대하고 있다.

‘탄소중립’에서 ‘탄소’는 원소 상태의 탄소가 아니다. 다양하고 유용하게 활용할 수 있는 탄소를 대기 중에 배출해버릴 이유도 없고, 화학적으로 결합력이 상당히 강한 탄소를 공기 중에 배출시킬 수 있는 현실적인 방법도 없다. 사실 탄소중립에서의 탄소는 장작·숯·낙엽·배설물과 같은 임산(林産) 연료나 석탄·석유·천연가스와 같은 화석 연료를 연소시키는 과정에서 배출되는 이산화탄소를 말한다.

대기 중에 배출되는 이산화탄소를 아무 쓸모 없는 쓰레기로 취급할 수도 없다. 오히려 이산화탄소는 지구 생태계를 지탱해주는 중요한 기둥이다. 이산화탄소는 녹색식물의 광합성에 꼭 필요한 영양분이기 때문이다. 광합성의 과정에서 이산화탄소와 물에서 떨어져 나오는 산소가 동물·식물·미생물의 산소 호흡에 활용되고, 녹색식물이 만들어내는 탄수화물은 다시 생태계의 영양물질로 활용되는 것이 자연 생태계의 실제 모습이다.

그럼에도 불구하고 오늘날 우리가 탄소중립을 위해 노력해야 하는 데는 여러 가지 이유가 있다. 물론 기후 위기가 가장 흔하게 지목되는 목적이다. 심각한 수준으로 잦아지고 있다는 태풍·허리케인·가뭄·폭염·한파·폭설 등의 극한적인 기상 이변과 북미·유럽·러시아·오스트레일리아를 초토화시키고 있는 대형 산불이 모두 인류의 온실가스 과다 배출에 의한 기후변화의 결과라고 알려지고 있다.

산업혁명이 일어났던 18세기 말 10억에도 미치지 못했던 세계 인구가 이제는 79억 명으로 늘어났을 뿐만 아니라 인류의 생활 수준도 놀라울 정도로 개선되었다. 인류의 문명 생활에 필요한 에너지의 수요도 폭발적으로 늘어났다. 그 결과가 언제나 긍정적인 것은 아니다. 석탄·석유·천연가스와 같은 화석연료가 고갈 위기에 놓이게 된 것도

인구의 가파른 증가와 삶의 질 향상 때문이었다. 그뿐이 아니다. 에너지와 자원의 낭비와 오염용도 심각한 수준이다.

2) 탄소중립을 위한 에너지 전환

탄소중립의 목표를 달성하기 위해서는 국가적 수준에서의 적극적인 대규모 에너지 전환(Energiewende)이 반드시 필요하다. 현재 사용하고 있는 석탄·석유·천연가스와의 화석(化石)연료의 사용을 최대한 포기해야만 한다. 장작·숯·낙엽·배설물과 같은 지속 가능한 임산(林産) 연료도 표기해야만 한다. 그 대신 이산화탄소를 배출하지 않으면서 임산 연료나 화석연료를 대체할 수 있는 소위 새로운 ‘무탄소’(無炭素) 에너지를 찾아내야 한다. 일상생활과 산업에서의 에너지 소비를 모두 전기·수소와 같은 2차 에너지로 전환하는 것도 대안이 될 수 있다. 물론 쉬운 일이 아니다. 기술적으로도 그렇고, 경제적으로도 그렇다.

인류가 경험했던 가장 획기적인 에너지 전환은 18세기 말의 산업혁명이었다. 흔히 알려져 있듯이 산업혁명은 단순히 증기기관의 개발에 의해서 일어난 것이 아니었다. 석탄을 증기기관의 연료로 사용할 수 있는 기술의 개발이 산업혁명의 진짜 원동력이었다. 석탄은 어디에서나 비교적 쉽게 채취할 수 있는 가연성 물질이었다. 지표면에서 쉽게 채취할 수 있는 노천 탄광도 상당히 많았다. 그런데 석탄을 연소시키는 일이 쉽지 않았다. 산소를 충분히 공급해주지 않으면 인체에 치명적인 독성을 나타내는 일산화탄소가 생성되었다. 석탄을 은밀한 암살의 수단으로 활용했던 것도 그런 이유 때문이었다.

인류가 본격적으로 에너지 전환을 경험하기 시작한 것은 19세기 말부터였다. 액체 상태의 석유가 등장하면서 내연기관 자동차가 일반화되었다. 기체 상태의 천연가스(LNG) 사용도 늘어났다. 무엇보다도 19세기 말부터 본격적으로 보급되기 시작한 ‘전기’가 인류의 에너지 소비 패턴을 완전히 바꿔놓았다. 일상생활에서 깨끗하고, 편리하고, 안전한 전기의 사용이 늘어났고, 전기를 사용하는 전동기와 전열기의 등장으로 다양한 산업 분야의 생산성이 획기적으로 향상되었다. 20세기 후반부터 본격적으로 시작된 ‘정보화’와 21세기를 이끌어갈 ‘4차 산업혁명’도 전기 덕분에 가능해진 일일이었다.

1956년 영국의 칼더 홀에 인류 최초의 상업용 원전이 건설되면서 혁명적인 에너지 전환이 일상화되는 것처럼 보였다. 1970년대의 오일 쇼크로 소위 대표적인 화석연료였던 석탄, 석유, 가스를 대체할 ‘대체 에너지’에 대한 관심이 부쩍 높아졌다. 20세기

말부터 태양광과 풍력을 비롯한 재생 에너지(renewable energy)의 개발도 본격적으로 시작되었다.

3) 에너지 전환을 위한 사회적 비용

에너지 전환은 우리나라에서 세계 최초로 시행한 쓰레기 종량제나 분리수거와 같은 ‘생활 속의 작은 실천’으로 구현할 수 있는 일이 절대 아니다. 획기적인 사회적 인식의 개선이 필요하고, 감당하기 어려울 정도의 사회적 비용도 감수해야만 한다. 에너지 전환이 국민 생활, 산업 생산, 환경보존 등을 위해서 ‘당연히 가야만 하는’ 당위적인 일이라고 하기 어려운 것도 그런 이유 때문이다. 적극적으로 새로운 에너지를 적극적으로 반기지 않거나 에너지 전환의 사회적 비용을 감당하지 못하는 경우에는 에너지 전환이 현실적으로 불가능하다. 당위적인 목적이 현실적인 어려움을 극복하는 명분이 되지 못할 수도 있다는 뜻이다.

여전히 18세기 이후의 에너지 전환을 수용하지 못하는 사회도 적지 않다. 전 지구적으로 실내에서 임산 연료를 사용하는 개방형 연소(아궁이·화로)에 의해 매년 수백만 명의 사람들이 조기 사망하고 있다. 북한처럼 임산 연료에 대한 지나친 의존으로 숲이 황폐화되는 경우도 있다. 그런 사회에서 탄소중립은 상상조차 할 수 없는 일이다.

탄소중립을 위해서는 국민 생활과 산업의 완전한 전기화가 우선되어야만 한다. 그런데 에너지 통계연감에 따르면, 2019년 총 에너지 소비량 2억 3,140만 톤(TOE) 중에서 전기가 차지하는 비중은 19.4%에 지나지 않는다. 나머지 80.6%에 해당하는 1억 8,660만 톤의 에너지는 여전히 석탄·석유·천연가스와의 같은 화석연료에 의존하고 있다. 화석연료의 사용은 산업용이 1억 1,880만 톤으로 가장 많고, 수송용 4,270만 톤이 그다음이다. 가정에서 사용하는 화석연료도 1,660만 톤이나 된다.

가정용으로 사용되는 화석연료의 전기화는 기술적으로 가능하지만, 경제적으로는 간단치 않다. 1950년대의 스모그로 몸살을 앓았던 런던에서는 모든 주민에게 갈탄 대신 매연이 적게 발생하는 코크스탄(炭)을 사용하도록 강제하는 법을 시행해야만 했다. 결국 코크스탄의 비싼 비용을 감당할 수 없는 저소득층은 런던 시내에서 밀려날 수밖에 없었다.

단순히 비용만 감당한다고 에너지 전환이 실현되는 것도 아니다. 기술적으로 화석연료를 포기할 수 없는 경우도 있다. 8,330만 톤에 이르는 코크스와 나프타(납사)는 근원적으로 전기로 대체할 수도 없다. 코크스(탄소)를 포기하려면 철광석(산화철)을 환원시키는 신(新)기술을 개발해야 한다. 화학산업의 원자재로 사용되는 나프타를 바이

오 원료로 대체하는 것도 불가능한 일이다.

탄소중립이라는 명분은 절대 외면할 수 없지만, 탄소중립의 길은 결코 만만치 않은 것이다. 에너지 전환을 위한 사회적 비용과 기술적 가능성에 대해 철저하고 정교한 검토가 반드시 필요하다. 지나친 과속은 금물이다. 아무리 좋은 떡이라도 지나치게 비싸면 함부로 입에 넣을 수 없는 법이다.

3. 탄소중립을 위한 대안: 재생 에너지, 수소, 원자력

기후 위기 대응을 위해서 국제 사회가 요구하고 있는 탄소중립은 절대 만만한 일이 아니다. 실질적으로 탄소중립은 18세기 후반 산업혁명을 가능하게 만들어주었던 화석 연료의 사용을 완전히 포기하겠다는 것이다. 그렇다고 인구 증가와 개선된 삶의 질을 포기할 수는 없는 일이다.

우리가 고려할 수 있는 대안이 지천으로 널려있는 것은 아니다. 현실적으로 1970년대 오일쇼크 이후부터 관심을 가지고 있었던 지속 가능한 ‘재생 에너지’(renewable energy), 2002년 미국의 미래학자 제레미 리프킨이 들고나온 설익은 ‘수소경제’(hydrogen economy), 그리고 1956년 영국의 칼더 홀에서 시작된 ‘원자력’(nuclear energy)이 고작이다. 물론 어느 것도 쉬운 선택일 수는 없다.

1) 재생 에너지

흔히 태양광·풍력·조력(潮力)·지열 등의 재생 에너지는 무한히 지속할 수 있고, 무공해·친환경적이라고 인식되고 있다. 그러나 환경에 부담을 주지 않고 자연을 무한히 활용할 수 있을 것이라는 기대는 우리의 이기적인 환상일 뿐이다. 재생 에너지도 지나치게 많은 양을 사용하거나, 부적절한 방법을 선택할 경우에는 환경에 심각한 부담을 주게 되고, 돌이킬 수 없는 피해가 발생하기도 한다. 세상에 공짜는 없는 법이다.

재생 에너지의 가장 심각한 문제는 낮은 에너지 밀도와 간헐성·변동성이다. 태양광·풍력 설비를 설치하는 데는 엄청나게 큰 면적의 부지가 필요하다. 1GW의 태양광 설비에는 축구장 2,000개의 면적이 필요하다. 특히 중위도 지역에 위치해서 태양광과 풍력 에너지의 품질이 만족스럽지 않고, 인구밀도가 높은 우리에게 재생 에너지는 매우 불리한 것이 사실이다. 우리나라의 일조량은 캘리포니아의 65% 수준이고, 안정적인 풍력 발전이 가능한 지형적 특성을 갖춘 곳을 찾기도 어려운 형편이다. 농지를 이용한 ‘영농형 태양광’도 식량 안보를 무시한 비현실적인 억지일 수밖에 없다.

햇빛이 강하거나 바람이 충분히 강할 때에만 전력 공급이 가능한 태양광·풍력의 계

절적 변동성과 시간적 간헐성의 문제는 생각보다 훨씬 심각하다. 재생 에너지는 우리가 필요로 할 때가 아니라 환경적 조건이 맞을 경우에만 전력을 공급해준다. 과거 하늘에서 내리는 비를 기다려야만 했던 천수답(天水畓)과 같은 형편이다.

리튬이온배터리를 이용한 에너지 저장장치(ESS, Energy Storage System)를 활용해서 재생 에너지의 변동성·간헐성을 극복할 수 있다는 주장도 사실은 비현실적이다. 2050년 탄소중립을 달성하기 위해서는 ESS에만 최대 1,248조 원의 투자와 여의도의 최대 76배에 해당하는 부지가 필요한 것으로 추정된다. 더욱이 리튬이온배터리를 이용한 ESS는 설비의 수명은 최대 10년에 지나지 않는다. 적어도 10년마다 GDP의 절반에 가까운 비용을 투입해서 설비를 완전히 교체해야 한다는 뜻이다.

태양광·풍력의 무분별한 활용이 지구의 열 순환을 어렵게 만드는 요인이 되어 더욱 심각한 환경 문제가 발생하게 될 가능성도 심각하게 경계해야 한다. 등산로에서 한 사람이 버린 쓰레기는 절대 문제가 되지 않는다. 나무를 베어내고 세운 태양광이나 풍력 설비의 규모가 늘어나면 그 자체가 환경에 심각한 부담을 주게 된다는 뜻이다. 거대한 태양광·풍력 단지는 결코 친환경 시설이라고 할 수 없다.

지열 에너지가 풍부한 일본이나 아이슬란드와 달리 우리나라에서는 자연적인 온천수를 이용한 지열 발전은 현실적으로 불가능하다. 더욱이 지상에서 인공적으로 주입한 물을 이용하는 지열 발전은 지진을 유발시킬 수 있다는 사실을 직접 경험하기도 했다. 2017년 11월 수능 시험 직전에 발생했던 포항 지진이 그런 경우였다.

조력발전도 쉽지 않다. 서해안의 조수간만의 차이가 큰 것은 사실이지만, 경사가 완만한 대륙붕 구조 때문이다. 인공적으로 조성한 시화호의 극심한 오염을 해결하기 위한 수단으로 2011년에 건설한 시화호 조력발전소의 현실은 절망적이다. 세계 최대라는 254GW의 조력발전 설비가 실제로 생산하는 전력은 고작 60MW 수준이다. 녹색성장을 위해서 인천만·강화만·가로림만에 설치하려던 조력발전소는 주민들의 적극적인 반대로 포기할 수밖에 없었다. 정부가 추진하고 있는 것으로 알려진 경기도 화성호와 충남의 부남호도 조력발전의 경제성을 기대하기 어려운 것으로 파악되고 있다.

2) 수소경제

정부와 일부 기업이 지나칠 정도로 강력하게 밀어붙이고 있는 ‘수소경제’도 만만치 않다. 수소의 생산·운반·저장·활용에 필요한 모든 기술이 여전히 초보적인 걸음마 단계를 벗어나지 못하고 있다. 수소는 석탄·석유·천연가스와 같은 1차 에너지가 아니다. 오히려 수소는 전기처럼 생산과 활용을 위해 감수해야 하는 비용이 몹시 부담스

러운 2차 에너지다. 수소는 ‘에너지원’이 아니라 ‘에너지 전달·저장 수단’이고, 그마저도 매우 불완전하고, 위험한 기술이라는 뜻이다.

수소를 생산하는 기술부터 미완성이다. 제철·정유 공장에서 부산물로 생산되는 ‘부생수소’는 이미 분명한 용도가 정해져 있기 때문에 활용이 불가능하다. 천연가스를 뜨거운 수증기로 개질(改質)하는 경우에는 수소 1kg당 적어도 8kg 이상의 온실가스가 배출된다. 천연가스를 직접 연료로 사용하는 것과 크게 다르지 않다는 뜻이다.

태양광·풍력으로 생산한 전기를 이용한 전기분해로 ‘그린 수소’를 생산할 수 있다는 주장도 어설픈 것이다. 더욱이 전기를 이용해서 생산한 수소로 다시 연료전지를 가동시키겠다는 발상은 어처구니없는 것이다. 전기분해와 연료전지에서의 에너지 손실과 환경적 부담도 무시할 수 없다. 전기분해에 사용할 전기를 소비자가 직접 이용하는 것이 훨씬 더 경제적이고 합리적이다.

그린 수소의 암모니아 전환도 말처럼 쉬운 일이 아니다. 재생 에너지로 생산한 전기의 절반 이상을 아무 쓸모 없이 낭비해야만 가능한 일이기 때문이다. 암모니아에서 다시 수소를 생산하는 일도 쉽지 않고, 암모니아를 연소시키기도 어렵다. 고약한 냄새와 심각한 인체·환경 독성을 극복하기도 어렵다.

수소의 안전성도 보장된 것이 아니다. 이미 강릉 수소폭발 사고를 직접 경험한 우리가 수소의 안전성을 외면하고 있는 현실은 매우 안타까운 것이다. 수소는 700기압의 초고압 상태로 운반·저장·활용할 수밖에 없다. 탄소점유를 사용해서 연료탱크 자체는 튼튼하게 만들 수 있지만, 파이프를 연결된 연료전지까지 폭발 위험을 제거하는 일은 쉽지 않다. 수소를 액화시키기 위해서는 섭씨 영하 240도의 초고성능 특수 냉각기가 필요하다. 그 비용도 만만치 않고, 안전성도 보장하기 어렵다.

수소를 활용하는 기술도 미완성이다. 독일의 폭스바겐은 ‘수소 연료전지 자동차를 포기하고 전기차를 만들겠다’고 선언했다. 일본 철강 연맹은 수소환원제철 기술의 상용화 시기를 2100년으로 잡았다. 화학산업의 원자재인 나프타는 대체할 수 있는 가능성을 기대할 수 없는 형편이다. 수소 터빈과 암모니아 발전이 ‘무탄소 신(新)전원’이라는 주장은 소가 들어도 웃을 일이다.

제레미 리프킨의 ‘수소경제’는 과학기술의 현주소와 경제의 본질을 무시한 허황한 환상일 수밖에 없다. 우리가 어떠한 기술이나 똑딱하고 만들어주는 ‘요술 방망이’를 가지고 있는 마술사일 수는 없다. 거칠고 위험한 자연에서 인류의 생존 가능성을 향상시켜주는 기술이 완벽하게 안전하고, 친환경적일 수 있다는 기대는 공허한 것이다.

기술을 이용해서 얻을 수 있는 ‘편익’에는 반드시 기술을 사용하기 위해서 감수해야 하는 ‘부담’이 따른다는 명백한 진실을 절대 외면하지 말아야 한다.

3) 원자력

원자력은 기술적으로는 가장 확실하고 현실적인 ‘무탄소 전원’이다. 지금까지 개발된 발전 기술 중에서 에너지 밀도가 가장 높다는 것이 핵심이다. 규모의 경제를 통해서 낮은 단가의 전기를 안정적으로 공급할 수 있다는 사실은 충분히 확인된 진실이다. 발전 과정에서는 환경에 발생시키는 오염과 부담이 거의 없는 것도 사실이다. 에너지 밀도가 높기 때문에 집중적인 안전 관리가 용이한 것도 장점이다. 물론 그런 장점은 체르노빌이나 후쿠시마처럼 사고가 발생하는 경우에는 단점으로 작용할 수도 있다는 사실을 경계해야 한다. 사용후 핵연료를 처리할 수 있는 기술이 여전히 부족하고, 사회적 설득 노력이 부족했던 것도 사실이다.

그럼에도 불구하고 탄소중립에서 원자력의 역할은 외면하기 어렵다. 우리나라의 경우 고리1호기가 가동되었던 1978년부터 2020년 말까지 42년 동안 원전이 생산한 전력은 3.9조 kWh로 전체 발전량의 32.6%를 차지했다. 물론 그동안 원전에서 발생한 사고는 단 한 건도 없었다. EU 공동연구소의 분석에 따르면, 원자력으로 1조 kWh의 전력을 생산하는 동안 발생하는 사망자는 평균 0.5명이다. 원전의 안전성에 대한 지나친 우려에 시작된 정부의 ‘탈원전’ 정책에 대한 심각한 고민이 필요하다.

4. 우리의 생존 전략

탄소중립과 함께 추진하는 ‘녹색성장’의 정체도 불확실하다. 2008년 이명박 정부가 4대강 사업과 함께 밀어붙였던 녹색성장의 핵심은 원자력과 조력발전이었다. ‘환경’과 ‘성장’을 함께 추구하겠다는 ‘녹색성장’은 말처럼 쉬운 일이 아니라는 것은 우리가 뼈아프게 경험했다. 녹색성장은 저개발국가에나 어울리는 것이라는 환경단체의 주장도 있다.

탄소중립과 녹색성장의 속도 조절이 필요하다. 환경주의자들의 강력한 요구를 외면할 수 없었던 정부는 중간 점검에 해당하는 2030년까지 탄소 배출량 감축 목표를 40%로 상향 조정해버렸다. 고작 8년 남은 기간 동안에 제철·정유·시멘트 등의 에너지 집약적 산업을 포기할 수는 없다. 탄소중립에 적극적으로 앞장서고 있는 선진국과 달리 제조업의 비중이 28.3%나 되는 우리에게는 지나치게 도전적인 목표라고 할 수 있다

‘탈원전’ 기조에 대한 전면적인 검토도 필요하다. 현재 가동 중인 원전을 조기 퇴출시키지는 않는다는 이유로 탈원전이 ‘60년에 걸친 장기적 과제’라고 우겨서는 안 된다. 지난 4년 동안 탈원전은 이미 과속 질주를 계속했고, 이제는 남아있는 원전의 안전 가동이 가능할 것인지를 심각하게 걱정해야 할 상황이다. 저개발 국가의 입장에서 세계 최고 수준의 기술력을 확보하고 있는 우리의 원전과 석탄발전 건설 기술을 폐기하겠다는 우리의 주장은 배부른 국가의 무모한 ‘갑질’이 될 수도 있다. 값비싼 고급 탄소중립 기술을 활용할 능력을 갖추지 못한 국가의 국민들도 인류 공동체의 구성원으로 문명의 산물인 전기의 혜택을 누릴 수 있는 권리를 가지고 있다.

기술적으로 실현 가능하고, 경제적으로 감당할 수 있고, 온실가스 배출을 포함해서 환경에 대한 부담이 최소화 되는 새로운 에너지 기술을 적극적으로 활용하는 기술 지향적인 자세가 절실하다. 지나친 환상은 과도한 공포만큼이나 경계해야 한다. 앞으로 개발될 가능성이 있는 ‘미래 기술’을 핑계로 이미 완성되어 유용하게 활용하고 있는 ‘현재 기술’을 폐기하는 것은 어리석은 일이다.

Abstract

Survival in the Era of Carbon Neutral for Climate Crisis

Duck Hwan Lee

Carbon neutral as well as green growth have become one of the most important national imperative tasks. The goal is to achieve “net-zero” by reducing greenhouse gas emissions by more than 40% compared to 2018 by 2030 and reducing net emissions to zero by 2050. ‘Green Growth’, which aims to save both the economy and the environment with green technology, was also added to the ‘Basic Act on Carbon Neutrality and Green Growth for Response to the Climate Crisis’, passed by the National Assembly on August 31st. that our society cannot easily ignore. We will not be able to turn away from the carbon-neutral efforts of the international community. We have no other choice but to follow even with empty manure. However, carbon neutral and green growth should not be mistaken for a squishy feast. There is no reason to perform a flashy dance ahead of others. It is urgently necessary to be cautious when crossing the stone bridge by tapping on it. It is foolish to discard the 'current technologies' that have already been completed and used usefully under the pretext of 'future technologies' that may be developed in the future.

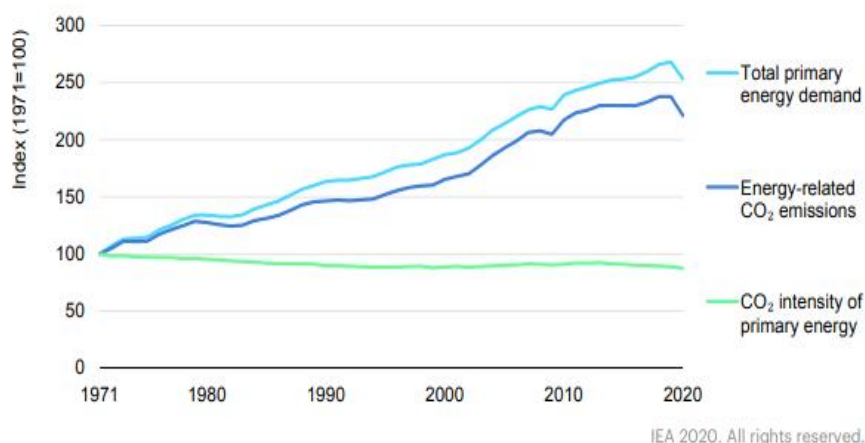
탄소중립과 지속 가능한 발전

박진호*

1. 들어가며

2020년에 출간된 국제에너지기구(International Energy Agency; IEA)의 ETP (Energy Technology Perspectives) 보고서에 의하면, COVID-19에 의한 경제위축으로 2020년도의 전년 대비 세계 온실가스 배출량은 8% 정도 감소할 전망이다(<그림 2-1> 참조). 세계적으로 감염병 확산 방지를 위한 이른바 록다운(Lock-down)이 한창 진행되고 있을 때 인도 편자브 지방에서는 30년 만에 처음으로 160km 떨어진 히말라야산이 보였다고 보고되는 등, COVID-19이라는 재앙 중에서도 참 아이러니하게 긍정적인 뉴스도 접하고 있다. 우리가 최근 새로이 경험하고 있는 이 모든 자연재해 중 많은 부분이 인류가 이를 초래한 측면이 크며, 아직 과학적으로 직접적인 증거는

<그림 2-1> Global Primary Energy Demand and Energy-related CO₂ Emissions, 1971-2020



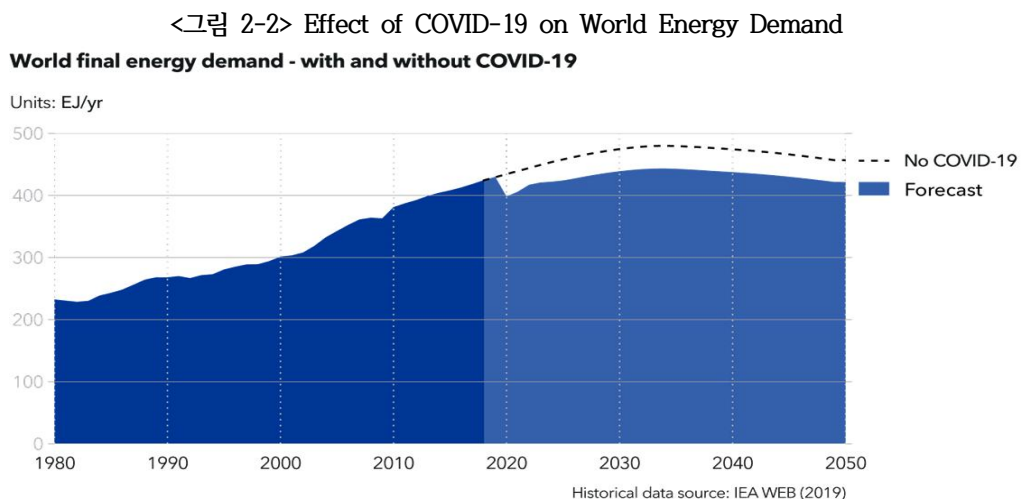
자료: Energy Technology Perspectives 2020, International Energy Agency (2021).

* 現 영남대학교 화학공학부 교수
미국 University of Florida 공학 박사

없으나 COVID-19의 발현도 심각해진 기후변화가 그 원인이 될 수 있으며, 이른바 대자연(The Mother Nature)이 그간 여러 차례의 경고를 듣지 않는 인류에게 직접 행동으로 표현한 것은 아닌가? 라는 경외심을 갖게 됨을 부인할 수 없는 것 같다. 참고로 인류의 에너지 생산과 이동, 그리고 에너지 소비 활동으로 인해 발생하는 온실가스 배출량은 세계적으로 전체 배출량의 약 70%를 차지한다고 한다.

이렇듯 인간의 경제활동에 있어 없어서는 안 되는 마치 공기와 같은 존재가 에너지이다. 그리고 이러한 에너지의 사용이 온실가스를 방출하는 제일 주된 요인임도 기지의 사실이다. 이번 COVID-19 사태가 이른바 집에서 문을 걸어 잠그고 이동을 제한하는 Lock-down 형태로 전개됨에 따라, 또한 사람들의 오프라인 구매 활동이 크게 위축되는 바람에, 산업-수송-건물(상용) 부문에서의 에너지 소비가 일시적으로 급감했음은 굳이 정부 통계를 보지 않아도 자명한 일이라 하겠다. 오히려 뉴스로 크게 보도된 적이 있는 석유 가격의 폭락과 심지어 마이너스 석유 가격이 보고되면서 세계적인 석유 공룡기업들이 한때 심각한 재무 위협을 걱정하는 것만 보더라도 전 세계적인 이동 제한이 수송 분야에 얼마나 큰 영향을 미치고 있는지 잘 알 수 있겠다. 이러한 코로나 직격탄을 맞은 것이 단지 항공업계만의 일은 아닐 것이다.

세계 총 에너지소비는 <그림 2-1>에 나타났듯이 1차 에너지 기준으로 지난 50년간 약 7배 정도 증가하였고 이는 인구의 증가와 신흥경제국들의 등장, 그리고 이들의 경제활동에 따른 GDP의 증가에 따른 것으로 해석되고 있다. 또한, 이러한 에너지 수요의 증가는 그대로 에너지 관련 이산화탄소 배출량의 대폭 증가로 나타나고 있다. 그나마 탄소원단위(Carbon Intensity; 이산화탄소 배출량을 GDP (미화 1,000달러)로



자료: Energy Transition Outlook 2020, DNV (2021).

나는 값)가 완만하지만 감소 추세를 보이는 것은 다행스러운 점이라 하겠다. 이는 같은 가치를 생산하는 데 있어 온실가스 배출을 적게 하고 있다는 것을 의미하기 때문이다. 그러나 절대적인 배출량은 계속 증가하고 있어 지구생태계에 대한 위협은 가속되고 있으며, 안정적인 지구생태계 유지에 필요한 온실가스 농도인 350ppm은 1987년경에 이미 초과하기 시작했다는 것이 과학자들의 보고이다. 그럼 앞으로의 세계 에너지 소비 전망은 어떠한가? 2020년 국제에너지기구의 보고에 따르면 현재의 추세가 지속될 경우 2018년 대비 2050년까지 또다시 현재의 50% 이상 소비 증가가 예측된다는 것이다. 물론 이는 전대미문의 코로나 사태를 경험하기 이전의 데이터이긴 하다. 아마도 코로나 이전과 이후 모든 것이 바뀌고 있는 것을 감안 할 때 2021년 말쯤에는 다른 전망이 나올지도 하다. 가장 최근에 발표된 자료에 의하면, 위 <그림 2-2>에 나온 바와 같이, 최종에너지 기준으로 2030-35년 정도에 최고치를 기록하고 점차 감소가 될 것인데, 코로나 이후 그 증가 패턴이 현재보다는 무뎌질 전망이다.

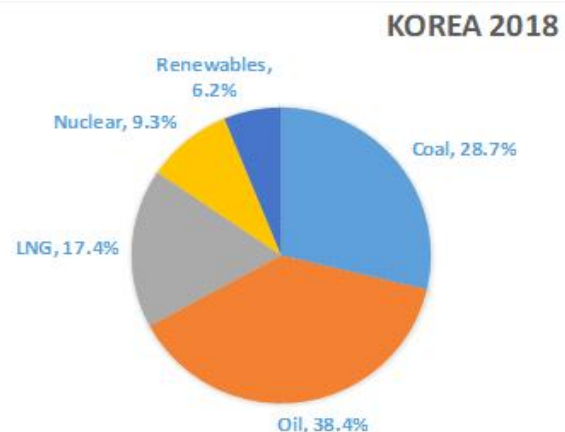
2. 에너지 소비와 온실가스 배출, 그리고 탄소중립

1) 국내 에너지 소비 동향 및 전망

국내 에너지 소비는 한국전쟁 이후 시작된 산업화와 이에 따른 GDP의 증가에 따라 지난 70여 년간 지속적으로 증가해 왔다. 이러한 급격한 산업 성장은 상대적으로 저렴한 에너지원의 확보가 있었기 때문에 가능했다고 할 수 있겠다. 그러나 이들은 대부분 화석연료로부터 얻어지는 에너지이기에 온실가스도 덩달아 증가하여 세계 7위의 온실가스 배출국가(혹자는 ‘4대 기후 악당’이라고도 부른다)가 된 것도 사실이다. <그림 2-3>은 2018년 말 기준 우리나라의 1차 에너지 구성비를 나타내고 있다.

오른쪽 그림에서도 나타났듯이 석유 38.4%, 석탄 28.7%, 액화천연가스(LNG) 17.4%로 이들을 모두 합하면 국내 1차 에너지의 무려 84.5%가 화석에너지임을 알 수 있다. 원자력과 재생에너지는 각각 9.3%와 6.2%로 상대적으로 적은 실정이다. 한편, 2018년 말 기준으로 우리나라에는 총 307.3백만TOE의 1차 에

<그림 2-3> Primary Energy Mix of Korea (2018F)

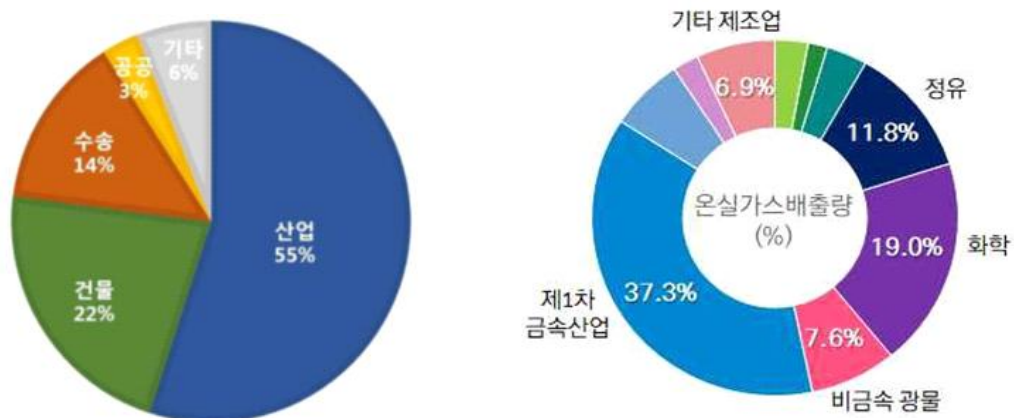


너지가 공급되었고 이중 전환손 자료: CAETS Energy Committee Report 2020, CAETS (2020).
실을 제외한 총 237.9 백만TOE
의 최종에너지가 소비되었다.

2) 국내 온실가스 배출 현황

국내 온실가스 배출 현황을 살펴보면, 2017년 말 기준으로 연간 약 709.1백만 톤의 온실가스가 배출되고 있고, 이는 누적 평균으로 1990년 이래 연간 약 3.3%의 증가추세를 보이고 있다. 특히 전체 배출량의 약 87%(2019년 말 기준)가 에너지의 생산 및 소비와 관련된 것으로서, 한국에서의 온실가스 저감은 곧 에너지 공급 및 수요 부문에서의 저감이라고 해도 과언은 아닐 것이다. 이러한 온실가스 총배출량은 세계 7위 수준에 해당하고 1인당 이산화탄소 배출량 기준 세계 18위, 온실가스 원 단위(0.45 kgCO₂/USD)로는 세계 60위에 달하는 수준이다.

<그림 2-4> Greenhouse Gas Emissions in Various End-use Sectors



자료: 제2차 기후변화 기본계획, 정부 부처 합동 (2019).

한편 온실가스 배출을 최종소비 부문으로 구분해 보면 위 <그림 2-4(좌측)>과 같다. 산업부문이 55%로 제일 높고, 건물부문이 22%, 그리고 수송부문이 14%를 차지하고 있음을 알 수 있다. 즉, 온실가스 저감과 탄소중립을 위해 가장 관심을 두어야 하는 부분이 산업, 건물, 수송의 순임을 잘 알 수 있다.

국내 온실가스 배출에서 가장 큰 부분을 차지하고 있는 산업에서의 세부 부문별 배출 현황을 좀 더 상세히 살펴보면 <그림 2-4(우측)>에 나타난 바와 같이 철강과 시멘트로 대표되는 1차 금속산업이 37.3%로 제일 크고, 이어서 석유화학과 정유를 합한 산업이 30.3%, 그리고 비금속광물(알루미늄 등) 산업이 7.6%, 기타제조업 6.9%의 순

임을 알 수 있다.

세계적으로는 매년 연간 약 350억 톤(2019년 말 기준)의 이산화탄소가 배출되고 있으며 누적량으로 향후 50년 안에 최대 7,500억 톤의 이산화탄소가 배출될 전망이다. 최종에너지 소비의 부문별로 살펴보면 석탄을 많이 사용하는 전력생산 부문이 약 55%, 중공업 부문 약 26%, 그리고 수송부문 11% 등으로 전망되고 있다. 이러한 일련의 데이터들은 2050년까지의 탄소중립이 얼마나 어려운 과제인지 또한 한국의 현실은 어떠한지를 잘 보여주는 것이라 하겠다.

3) 탄소중립의 정의와 국제사회의 기후변화 대응 노력

탄소중립(Carbon Neutral)이라 함은 대기 중으로 배출되는 온실가스의 양이 대기로부터 제거되는 온실가스의 양과 같아짐을 의미한다. 앞 절에서 이미 언급하였듯이, 안정적인 지구생태계를 위한 이산화탄소 농도인 350ppm은 1987년경에 이미 초월하였고 이후 계속 증가하고 있는 실정으로, 세계 곳곳에서는 이상기후와 기후재난이 빈번히 발생하고 있고 또한 그 강도도 점점 심해지고 있는 실정이다. 국제사회는 기후변화의 심각성을 인지하여 이를 저감하기 위한 공동의 노력을 경주해 왔다. 아래 <그림 2-5>에 기후변화 대응과 관련한 국제사회의 공동노력을 요약하였다. 그림에도 나타났듯이, 1992년 리우 환경개발회의(UNCED)에서 역사적인 ‘유엔기후변화협약’이 체결되었고 그 결과 UN 산하 국제기구인 UNFCCC가 창립되어 주기적으로 당사국 총회(Conference of the Parties: COP)가 개최되고 있다. 또한, 국제적인 기후변화 대응 노력에 있어 한 획을 그었던 COP3 회의에서는 교토협정이 체결되어 ‘감축 의무화’라는 개념과 청정개발체제(CDM)가 도입된 바 있다.

이후 온실가스 감축에 의한 기후변화 대응에 있어 가장 구체적인 방향의 제시와 거의 모든 회원국의 참여를 끌어낸 것은 COP21 회의(2015년)에서 체결된 파리협정으로, 국제사회는 이른바 ‘신기후체제’에 들어가게 된다. 신기후체제 하에서의 국제사회는 큰 틀에서 2050년까지의 탄소중립을 표방하고(지구 온도의 상승을 1.5 °C 이하로 관리) 회원국들에 적극적인 참여를 독려해 왔다. 그 결과, 초기에는 다소 미온적이던 국가들도 이어지는 자연재해와 날로 악화되는 지구생태계의 변화에 직면하여 최근 탄소중립에 동참하는 선언을 앞다투어 발표하고 있고, 현재까지 한국을 포함한 130여 개 국가가 탄소중립을 선언했거나 구체적인 준비를 하는 것으로 파악되고 있다.

탄소중립을 선언한 주요 국가의 현황을 살펴보면, 미국은 바이든 정부 출범 이래 파리협정의 재참여를 결정하였고 2035년까지 탈탄소발전을 달성하고 2050년까지

<그림 2-5> International Cooperation Confronting the Climate Change



자료: 교토의정서 이후 신기후체제 파리협정 길라잡이, 환경부 (2016).

탄소중립을 달성하겠다는 Clean Energy Revolution 계획을 확정하였으며, EU는 전 체적으로 2050년까지 탄소중립을 달성하겠다는 목표를 제시하고 있으며 EU 회원국별 로 별도의 목표를 선언하고 있는 실정이다. 한 예로서 독일은 목표연도를 2045년까지 로 5년 앞당긴 바 있다. EU의 탄소중립 계획 달성 과정에서 시행 중인 이른바 'EU's Green New Deal' 계획은 특히 EU 경제를 지속 가능하게 한다는 점의 표방과 기존 산업을 전환하는 데 있어 낙오되는 산업이나 사람들이 없게 하겠다는 의지를 담고 있 기도 하다. 미국과 EU는 모두 어떤 형태로든 탄소 국경세를 도입하는 방안을 검토하 고 있으며 빠르면 2023년에서 2025년 사이에 이러한 제도를 도입하여 시행할 전망이 다. 탄소중립은 이제 새로운 형태의 무역장벽으로 나타나게 될 전망으로 해외 무역에 크게 의존하고 있는 한국경제의 입장에서는 매우 심각한 상황이라 하겠다. 일본도 2050 탄소중립을 선언하였으며, 이산화탄소 배출 1위국인 중국마저도 2030년까지 배 출량 감축 전환과 2060년까지 탄소중립 달성을 선언한 바 있다. 이렇듯 탄소중립은 이제 선택적 이슈가 아닌 필연적 이슈로 부상하였으며 국제적 메가트렌드로 자리잡게 되었다고 할 수 있을 것이다.

4) 한국의 탄소중립 선언과 이슈 및 도전

우리 정부는 2020년 12월 7일에 '2050 탄소중립 추진 전략'을 발표하였다. 이는 2020년 9월 24일 대한민국 국회가 '압도적인 찬성표를 얻어 '기후 위기 비상 선언'을

<그림 2-6> Korea's Carbon Neutral 2050 Strategy



자료: 2050 탄소중립 추진 전략, 정부 부처 합동 (2020).

채택하였고 이어서 10월 28일 국회 시정연설에서 문재인 대통령이 2050 탄소중립을 선언한 것의 후속 조치이다. 이는 또한 2019년 9월에 있는 UN 기후행동정상회의에서 문 대통령의 기조연설과 2020년 7월 발표된 한국판 뉴딜 계획의 연장선이기도 하다. 위 <그림 2-6>에 나타났듯이, 우리나라의 탄소중립 달성 계획은 탄소중립과 함께 경제성장·삶의 질 향상을 동시에 달성하겠다는 것이 핵심이고, 적응적 감축에서 능동

적 대응으로 탄소중립을 달성하겠다는 의지도 분명히 밝히고 있다.

보다 구체적으로는 3대 정책 방향으로, 경제구조의 저탄소화와 신유망 저탄소 산업 생태계 조성, 그리고 탄소중립 사회로의 공정 전환 등을 표방하고 있다. 그렇다면 탄소중립을 지속 가능한 발전을 같이 도모하는 형태로 달성하는 데 있어서 과학 기술적 이슈 및 도전 요소는 무엇이며 또한 사회경제적 및 정책적 수단들은 어떠한 것들이 있는가? 이러한 질문에 대한 답을 구하는 것이 향후 우리가 해야 할 일이 될 것이다.

현재 제시되고 있는 다양한 탄소중립 방안들을 그룹핑 해보면 ‘OECD’로 요약할 수 있다. ‘O’는 ‘Optimize’의 약자로 에너지 사용의 최적화 및 수요관리 그리고 에너지 효율의 극대화에 의한 에너지소비 절감을 의미하는 것이고, ‘E’는 ‘Electrify’의 약자로 온실가스를 많이 배출하는 열이나 가스와 같은 전통 에너지를 전기에너지로 바꾸고 이에 필요한 전기는 청정 전력원(태양광, 풍력, 바이오, 원자력 등)으로부터 얻는 것을 의미하며, ‘C’는 ‘Capture’의 약자로서 배출되는 온실가스를 포집하여 저장하거나 재활용하는 것을 의미하고, 끝으로 ‘D’는 ‘Decarbonize’의 약자로 온실가스를 배출하는 공정과 장치들을 탈탄소 공정이나 장치로 완전히 교체하는 것을 의미한다. 이러한 ‘신OECD’는 최종에너지 소비의 주요 부문인 산업, 건물, 수송 그리고 발전(에너지 전환) 부문에 모두 적용되는 개념이다.

그렇다면 지금 우리는 어디에 있고 앞으로 무엇을 더 해야만 하는 것인가? 탄소중립을 달성하기 위한 경제성 있는 기술적 해결책은 ‘신 OECD’ 전 분야에서 모두 보유하고 있는가? 만약 없다면 무엇을 더 개발하고 혁신해야 하는가? 기술 기반의 탄소중립 구현이라는 대명제를 전제로 이제 우리가 이 질문에 대한 답을 내놓아야 할 때이다. 이제까지 국제사회는 주로 ‘에너지 전환’이라는 키워드 아래 소비 절감과 청정전기화의 구현에 집중해 왔고 그 결과 고효율 기기나 장치의 개발, 공정 최적화, 수요관리 솔루션 및 시장 메커니즘 도입에 의한 수요관리의 에너지 자원화 등의 성과와 함께 풍력, 태양광으로 대표되는 청정전력의 확대에 많은 투자를 집중하여 성과를 보고 있다. 이들을 에너지 신산업으로 부르기도 하며 이들을 통해 새로운 일자리도 만들어 내고 있는 것이다. 그러나, 아직 이산화탄소 포집 및 활용 기술은 대형 실증 연구도 추진하고 있지 못한 상태이고 특히 철강, 시멘트, 석유화학/정유로 대표되는 주력산업의 산업공정들을 탈탄소 공정으로 바꾸는 것은 이제 막 시작하는 단계로서 본격적인 개발은 매우 더딘 상황이라 하겠다. 탄소중립과 관련한 이러한 이슈들과 도전요인들을 철저히 분석하고 우리가 가지고 있는 역량과 산업구조 변환 등을 고려한 탄

소중립 전략의 수립이 필요할 때이다.

5) 지속 가능한 발전을 담보하는 탄소중립 구현 방안

먼저 공급측(supply side) 에너지원의 관점에서는 에너지 전환과 연계한 신성장동력 제조업의 육성에 보다 박차를 가해야 하고, 이에는 태양광, 풍력, ESS, 수소, 가스 터빈, 차세대원전 산업 등이 포함될 수 있다. 왜냐하면, 이들 신성장동력 제조업군들은 우리나라의 주력 산업군(반도체, 자동차, 조선 등)과의 시너지 창출이 가능하며 자체적으로도 공급사슬(supply chain)이 큰 제조업이기 때문이다. 수요측(demand side) 에너지 사용의 관점에서는 4차 산업혁명 연계 플랫폼형 신산업 육성을 서둘러야 한다. Big data, AI, IoT, Mobile, Cloud 등 4차 산업혁명 Enabler들을 활용한 수요관리, 프로슈머, VPP, 열-전기-가스 간 Sector Coupling, Microgrid를 포함하는 AC-DC 하이브리드 차세대전력망, 수소저장운송 등 에너지 흐름의 관점에서 무궁무진한 신산업 창출 기회를 제공할 수 있기 때문이고 또한 탄소 수출도 가능하기 때문이다. 한편, 미중 갈등, 국제적 가치사슬(Global Value Chain, GVC) 재편 및 환경중시의 국제무역환경 변화에 편승하는 탄소중립 관련 신산업의 육성도 필요하다고 하겠다. 앞 절에서도 설명하였듯이 2023-2025년경으로 전망되는 탄소 국경세의 도입, RE100 기업 얼라이언스의 확대, ESG 경영지표에 의한 금융 및 투자환경 변화에 대응하기 위한 주력산업군(철강, 석유화학, 시멘트, 조선, 자동차, 반도체 등)의 탈탄소화를 초격차 기술 확보에 의한 산업적 우위 점령의 기회로 활용하고 이른바 ‘중국제조 2025’에 대응하기 위한 수단으로도 활용하며, 차세대원전 공동개발 및 해외진출을 통해 국제적 에너지 안보 강화도 도모할 수 있기 때문이다.

제도적, 정책적 측면의 지원도 매우 중요한데, 이는 대부분 초기 개발 기술들이 시장에 적용되는 단계에서 이른바 초기 채택자(early adopters)들에게 인센티브를 제공하여 시장의 확대를 견인하는 방향으로 제도가 설계되어야 하기 때문이다. 이와 관련하여, 탄소세 및 재생에너지 지원제도들의 정비도 필요하며, 녹색금융의 확대, 공공조달 지원제도의 확대도 필요하며, 무엇보다도 탄소중립 신기술에 대한 주민수용성을 높이기 위한 국민과의 소통이 중요하다고 하겠다. 또한, 기존 산업의 탈탄소 방향으로의 전환을 돕기 위하여 기업들의 탈탄소 성과를 기업의 비즈니스 영역으로 끌어들이기 위한 제도도 필요하고 전통 산업 종사자들을 탄소중립 신산업 분야로 업종 전환하기 위한 재교육도 매우 중요하다고 하겠다. 끝으로 정부의 전략 방향에 맞춘 연구개발 지원과 실증 연구 지원, 그리고 전문인력 양성 등 새로운 탄소중립 산업 생태계를

만드는 작업도 꼭 필요하다고 하겠다.

3. 맺으며

본 논고에서는 세계적인 메가트렌드로 자리잡은 탄소중립이 산업적으로 경제적으로 또한 사회적으로 의미하는 것이 무엇이며, 탄소중립을 달성하는 것이 얼마나 어려운 과제이며, 또한 어떠한 이슈와 과제들을 해결해야 하는지에 대해 살펴보았고, 끝으로 탄소중립을 지속 가능한 발전을 담보하는 방향으로 달성하는 전략적 방향에 대해서도 살펴보았다. 물론 세부적으로 보면 다양한 요소들을 모두 고려해야 하고 이들이 또한 매우 조화롭게 실천되어야 하겠지만, 거시적 관점에서 우리 실정에 맞는 탄소중립 방안을 요약한다면 다음과 같다.

탄소중립과 함께 지속 가능한 발전을 도모하기 위해서는 재생에너지, 효율 증진, 에너지 저장, 수소, 차세대원전, 섹터 커플링, 탄소포집기술 등을 디지털 기술로 융합하여 기술 기반의 친환경 에너지를 보급함과 동시에 그로 인해 파생되는 신산업 및 혁신기업을 육성함으로써 탄소중립과 함께하는 제조업 르네상스와 프로슈머형 에너지 신산업 창출을 추진해야 하며, 정부는 이러한 새로운 산업이 초기에 잘 정착될 수 있도록 혁신조달, 녹색금융, 인력양성, R&D 등 생태계 조성과 인프라 구축에 필요한 제도적 지원을 제공해야 한다. 또한, 기술 소비자가 될 기업 및 국민과의 소통에 적극적으로 임하여 신기술들의 주민 수용성을 신속이 끌어 올려야 할 것이다.

이러한 전방위적인 노력이 정부와 민간 차원에서 조화롭게 전개되어 우리나라의 역량과 실정에 맞는 지속 가능한 탄소중립 2050이 달성될 수 있길 기대한다.

참고문헌

Energy Technology Perspectives 2020, International Energy Agency, (2021).

Energy Transition Outlook 2020, DNV, (2021).

CAETS Energy Committee Report 2020, International Council of Academies of Engineering and Technological Societies, (2020).

제2차 기후변화 기본계획, 정부 부처 합동, (2019).

교토의정서 이후 신기후체제 파리협정 길라잡이, 환경부 (2016).

2050 탄소중립 추진 전략, 정부 부처 합동, (2020).

Abstract

Carbon-neutral Strategies of Leading Countries in the Globe and Role of Korea

Chinho Park

Paradigm shift in the energy industry led by climate change and shale gas revolution has become increasingly dominant worldwide, and many countries including USA, EU, Japan and China are putting a great deal of effort on renewable energy and low-carbon society development. Over 130 countries in the globe have either declared “carbon-neutral target by 2050,” or are in the process of determining their greenhouse gas (GHG) emission reduction goals.

This paper will first review the status and prospect of greenhouse gas emissions in the globe, highlight the current strategies of major leading countries in reducing their GHG emissions, and then review the status and strategy of Korea’s effort in GHG emission reductions. Korea also declared the goal of “carbon-neutral” by 2050.

원자력 에너지 정치와 탄소중립: 역사와 논점

이태동*

1. 서론

전력생산을 위해 신뢰할 수 있는 충분한 에너지 공급을 확보하는 것은 현대사회가 작동하기 위한 필수 요건이다. 한 국가가 어떤 종류의 에너지 자원을 얼마나 많은 양을 사용하기로 선택하는가는 에너지의 시장 수급 조건과 정치적, 사회적 수용성을 고려해야 하는 국가 에너지 정책에 있어서 중요한 문제이다. 각 에너지 자원은 고유의 비용구조나 효율성의 정도 및 환경영향을 가지고 있다. 아울러, 에너지 선택은 관련 이해당사자들 사이에서 이익과 리스크의 불균등한 분배를 초래한다. 이러한 이유로 에너지 공급은 경제적인 문제일 뿐 아니라 본질적으로 정치적인 문제이기도 하다. 특히 원자력에 관한 의사결정은 정치적이다. 원자력 공급과 관련한 정치 공간에서 중앙 정부 및 지방정부, 에너지 산업, 정치인, 환경단체들이 모두 서로 경쟁하고 협상하며 때로는 정책 결정에 있어 그들의 이익을 반영하는 타협을 이루어 내기 때문이다.

원자력 에너지를 둘러싼 다양한 행위자들 사이의 관계는 다음과 같은 특성을 보인다. 첫째, 기존 철의 삼각관계 (iron triangle: 원자력 산업, 행정, 정치)의 힘은 한 나라의 에너지원에서 원자력 에너지의 팽창을 가져온다. 정치 과정이 원자력 산업과의 연동이 더 강해질 때, 한 나라가 원자력에 의존하는 시스템을 발전시킬 가능성이 높다(Jasanoff & Kim, 2009; Kim & Chung, 2018). 둘째, 원자력 산업에 의해 발생하는 상대적 인센티브와 이익은 기존 행위자들의 원자력 에너지 중심 시스템 고수 여부에 영향을 미친다. 발전소와 기술 수출과 같은 추가적인 이익을 창출하는 더 강력한 인센티브가 존재한다면, 원자력 의존도를 줄이기는 더 어렵다. 셋째, 시민운동의 수준과 정당과의 상호작용은 국가 에너지 다양화에서의 원자력의 확장 (또는 감소)에 영향을 미친다. 정당정치에 적극 참여하는 동원된 강성 반핵 시민 사회단체가 권력을

* 現 연세대학교 정치외교학 교수
미국 University of Washington 정치학 박사

갖는 경우 한 국가는 원자력 의존체제를 벗어나거나 단계적으로 폐지할 가능성이 높다 (Chung, 2018). 넷째, 정치적 인식론적 공동체, 환경단체, 노동조합, 지방정부 및 사법 기관과 같은 새롭게 부상하는 행위자들은 기존 철의 삼각지대와 반대될 수 있는 서로 다른 핵심 신념과 이익을 주창할 수 있다 (Lee, 2021; Kikuchi, 2021). 만약 이러한 행위자들이 정치적 리더십에 잘 접근할 수 있거나 대중의 지지를 얻을 수 있다면, 관련 국가(또는 지역)는 원자력에서 재생에너지로의 에너지 전환을 추구할 가능성이 더 높다.

이 글은 한국의 원자력 에너지 정책을 살펴보고, 탄소중립 시대의 원자력 에너지에 관련된 논쟁점들을 고찰하는 데 그 목적을 둔다. 다음 장은 이명박, 박근혜 정부 시기의 원자력 에너지 정책이 발전국가적 성격을 가지고 있음을 밝힌다. 다음으로 문재인 정부 시기에 급격한 에너지 전환(탈핵)을 추구했음을 서술한다. 마지막으로 탄소중립과 관련된 원자력 에너지의 논쟁점들을 정리하며 결론을 맺는다.

2. 원자력 에너지 발전국가

경제개발이 한창이던 동아시아 국가는 발전국가 (Developmental state)의 특성이 나타났다. 서양 선진국들과 비교하면 동아시아 국가들의 경제발전은 국가 경제 발전 목표를 달성하기 위해서 국가 기관으로 하여금 국내 산업을 전략적으로 이용할 수 있게끔 하였다 (Onis, 1991). 수출국가로 만들기 위하여 정부는 전략적인 산업정책과 투자를 통해서 국내 및 국제 시장에 개입하였다 (Chalmers, 1999). 유치산업을 발전시키고 수출을 장려하기 위해 시장이 아니라 국가는 고급 인력들을 고용하여 특정 산업에 방향과 자본을 제공하였다 (Amsden, 1989). 이러한 맥락에서 발전국가는 “국가 경제 변혁을 촉진하기 위해 전문가, 정부 기관, 민간 분야가 협력하는 조직적 복합체”로서 정의된다 (Doner, Ritchie, & Slater, 2005).

“원자력 에너지 발전국가” 개념은 발전국가 이론에 기반한다. 신자유주의의 영향으로 국가가 경제 정책을 세우고 기업과 산업이 수출 주도형 산업으로 육성하는 발전국가 성격이 없어졌다. 그러나, 원자력 에너지 분야에서는 여전히 발전국가적 성격이 존재한다. 원자력 에너지 발전국가는 에너지 믹스에 더 많은 원자력 에너지를 도입하고 더 나아가서 정치 경제적 행위자들 (정치인, 관료, 전문가, 산업) 사이의 강한 유대감을 이용하여 원자력 에너지 기술을 수출하는 에너지 정책을 수립하는 국가로 개념화할 수 있다. 비슷한 맥락으로 자사노프와 김(Jasanoff and Kim, 2009)은 원자력 에

너지 발전국가는 원자력 에너지의 과학적, 기술적, 정치적인 실행을 위해 “개발을 위한 원자력”을 목표로 정책을 수립하고 시행할 용의가 있다고 주장하였다. 원자력 에너지 발전국가는 원자력 에너지를 경제 성장을 가속화 할 뿐만 아니라 해외 석유와 기술 의존성을 피하기 위한 효과적인 개발 수단이라고 여긴다. 동아시아에서 발전국의 특성은 냉전의 종식, 신자유주의의 확대, 그리고 시민사회의 발전으로 인해 약화되어 왔다 (Stubbs, 2009). 하지만 예외적으로 원자력 에너지 산업에서는 여전히 발전국가적 특성을 바탕으로 원자력 에너지 기술과 산업의 시장경쟁력, 기술 발전, 수출을 뒷받침해 주는 국가 에너지 정책을 펼쳤다.

원자력 에너지 발전국가에는 공통의 특징들이 있다. 첫째, 국가 에너지 정책은 에너지 믹스의 원자력 에너지 부문을 확장하는 것을 목표로 한다. 둘째, 정치적 리더십은 원자력 에너지 정책을 우호적으로 만든다. 셋째, 정치적 리더와 관련 정부 기관들 그리고 핵 사업들은 원자력 에너지를 촉진시키기 위하여 정치적 동맹을 형성하려는 경향이 있다. 넷째, 이 연합은 핵 기술과 산업을 수출하는 것을 추구한다.

한국의 경우, 1970년 산업화 된 원자력 에너지 발전을 시작하였고, 2000년대 들어서 30%가량의 전력을 원자력으로부터 충당한 원전 의존국이 되었다. 원자력 에너지는 한국전력 공급의 주요 에너지원이고, 원전 밀도 또한 가장 높은 편에 속한다. 그러나 1980년대와 90년대 민주화를 경험하면서 시민사회 운동단체, 특히 환경과 탈핵 단체들은 기존 원전 철의 삼각관계와 긴장 관계를 형성하기도 한다 (Kim, 2000).

이명박 정부와 박근혜 정부의 집권 기간에는 원자력 에너지 발전국가의 특성이 지속적으로 나타나고 확대되었다. 이명박 대통령의 경우, 2008년 100대 국정과제 중 신규로 원전을 도입하여 에너지 자급률을 높이는 것을 목표로 삼았다. 또한 원자력 에너지 수입국에게 원전 기술을 수출하자는 제안도 포함되었다 (청와대, 2011). 이를 바탕으로 제1차 에너지 기본 계획에서는 원자력 및 신재생에너지 생산을 증가시킬 것을 제안하였다. 기본계획을 바탕으로 제4차 장기전력 수급 계획에서 전력원 중 원자력 에너지의 비율을 2008년 25% (17,716MW)에서 2022년 33% (32,916MW)로 확대하는 것을 목표로 하여 12기의 새로운 원자력 발전소를 제안하였다 (BPLESD 2008). 녹색성장의 일환으로 원자력 에너지를 현실적인 저탄소 에너지 대안으로 주장한 것이다.

2011년 일본 후쿠시마 원전 사고는 원전 확대 일변도의 정책에 변화를 가져왔다. 박근혜 행정부는 원자력 에너지 확대를 주장하기보다, 안전한 관리 시스템을 강조하

였으며, 원전의 해외 수출 계약을 확대하며 노력을 기울였다 (청와대 2013). 제4차 국가 에너지기본계획에서는 석탄의 비중을 늘리고 (29%) 원자력 에너지의 비중(18%)을 다소 감소시키는 방향을 제시하였다. 그러나 제7차 전력계획에서는 화석연료에서 배출되는 온실가스를 줄이기 위해, 발전용으로 원자력 에너지의 비중을 높게 책정하였다 (KPX, 2014).

원자력 에너지 발전국가 질서는 민주적 전환뿐만 아니라 후쿠시마 원전 사고와 핵 원전 안전에 관한 국내의 우려와 같은 외부적인 영향을 받는다. 따라서, 원자력 에너지 발전국가들은 중앙 원자력 에너지 집중 시스템에서 분산되고 재생 가능한 에너지 체계로 전환해야 한다는 요구에 맞닥뜨리게 되었다.

3. 재생에너지 중심의 에너지 전환

에너지 정책에서 원자력의 역할을 강조하는 원자력 에너지 개발 국가와 비교했을 때, 에너지 전환은 지역, 레짐, 경관 수준의 정책을 통해서 에너지원과 체계의 전환을 촉진시킨다(Lee, Lee & Lee, 2014; Verbong & Geels, 2007). 첫째, 에너지 전환은 일차 에너지를 원자력 에너지와 화석연료에서 재생 가능한 에너지원으로 전환하는 것을 목표로 한다(Verbruggen & Lauber, 2009). 대기 오염과 기후변화를 포함한 심각한 환경 문제들은 정책 입안자들과 학자들로 하여금 재생 에너지원과 체계를 사용하여 에너지 전환을 시행하도록 장려한다 (Verbong & Geels, 2007). 화석 연료원과 비교했을 때 원자력 에너지는 에너지 전환 논의에서 복잡하고 논쟁이 많다. 몇몇은 원자력 발전소에서 오는 전기가 온실가스 배출을 줄일 수 있다고 주장하기도 하며 반면에 몇몇은 원자력 발전소는 안전과 방사능 폐기물 처리 때문에 지속 가능한 에너지 전환에 좋은 방안이 아니라며 주장하기도 한다 (Kern & Smith, 2008; Solomon & Krishna, 2011).

둘째, 에너지 전환은 에너지 공급의 다층적인 전환 특히 분산된 에너지 공급 체계에서 지역 및 도시 공동체의 역할을 강조한다 (Lee et al., 2014; Moloney, Horne, & Fien, 2010). 국가 혹은 지방 정책과 지원은 여전히 중요하지만 지역 에너지 전환은 대규모 전환 실험과 실행에 있어서 중요한 요소이다 (Emelianoff, 2013). 지역사회에서의 저탄소 노력은 레짐과 경관 수준에서 에너지 전환을 용이하게 하는 사회 기술적 혁신의 니치를 활용한다 (Loorbach & Rotmans, 2010).

2017년 문재인 대통령이 취임하면서, 원자력 에너지 관련 정책은 큰 변화를 맞는다. 에너지 전환이 전면에 등장했다. 대통령 5개년 의제에 “탈원전 및 원자력의 단계

적 폐지”가 포함되었고, ‘원자력 제로’ 시대를 위한 탈원전 에너지 로드맵 수립과 원전 건설의 취소와 기존 원전의 연장 금지가 의제로 제시되었다 (청와대 2017). 이는 에너지 전환 로드맵과 제8차 전력계획으로 구체화 되었다. 3020 에너지 전환 계획은 2030년까지 신재생에너지의 비율을 20%로 확대하는 것을 목표로 하고 있다. 동시에 2017년까지 원전 24기, 2031년 18기, 2038년 14기로 노후 원전의 수명을 연장하지 않는 방식으로 단계적으로 폐지하는 계획을 제시했다.

살펴본 바와 같이 원자력 에너지 발전국가와 에너지 전환의 개념과 구체적인 정책은 상당한 차이가 있다. 현존하는 이해관계, 인프라, 원자력 에너지 개발을 강조하는 정치적 연합을 고려해보면 국가 에너지 정책의 방향이 어떻게 변화할 것인지 예측할 수 있다. 원전 중심의 철의 삼각 연합이 권력의 자리에 있으면, 원자력 에너지 발전 국가의 성향을 띤다. 반면에 탈핵 시민사회와 전문가들이 리더십을 가진 경우는 탈원전과 재생에너지 정책이 주를 이룬다 (Lee, 2021).

4. 탄소중립과 원자력 에너지 쟁점

탄소중립(carbon neutrality)이란 탄소의 배출에서 감축 (흡수 포함)을 뺀 것이 영이 되는 net zero(실질적 순배출 0)를 만드는 것을 의미한다. 이를 통해 대기 중 온실가스 농도가 더 증가시키지 않아 지구 기온 상승이 1.5°C를 넘지 않는 기후 상태를 만들려는 노력이다.

온실가스가 배출되는 분야는 크게 전환 (전력생산), 수송, 산업, 가정 (건물, 폐기물) 부분이 있다. 그중에서도 탄소배출에 가장 큰 영향을 끼치는 분야가 에너지, 특히 전력생산 분야이다. 파리기후협약 하에서 장기적 비전 제시의 방안으로 수립된 장기 저탄소 발전전략 (LEDS, Long-term Low greenhouse gas Emission Development Strategy)에 따르면, 한국 온실가스의 약 36%가 에너지 공급 부분에서 배출된다 (대한민국정부 2020), 어떤 에너지를 사용해야 에너지 분야에서 탄소중립을 달성할 수 있을지가 향후 미래 전략을 세우는데 중요한 요소이다.

원자력 에너지를 탄소중립을 달성하는 에너지원으로 활용할 것인가는 몇 가지 논쟁점이 있다. 첫 번째, 탄소중립을 달성할 주요 에너지원은 태양광, 풍력과 같은 재생에너지로 제시되고 있다. 원자력은 탄소중립을 위한 에너지원으로 포함되지 않았다. LEDS 나 탄소중립위원회에서도 원자력을 기후변화 대응의 주된 에너지원으로 명시하고 있지는 않다. 2021년 탄소중립위원회의 에너지 전환 부문의 시나리오에 따르면, 전환 부문의 탄소중립을 달성하기 위해, 재생에너지의 공급 비중을 늘리고 석탄 및

LNG 발전을 전량 중단하는 것을 가정하고 있다. 이를 위해, “재생에너지 이용 확대, 재생에너지 중립 전력 공급 체계의 안정성 확보, 전력수요 감축을 위한 첨단 디지털 기술 활용 및 전 국민 참여 등”이 정책적 제언으로 제시되었다 (탄소중립위원회, 2021). 원자력 에너지가 전력을 생산하는 과정에서 온실가스가 배출되지 않으며, 재생에너지의 간헐성을 극복할 수 있는 기저 에너지원으로 주장되고 있지만 현 상황에서는 탄소중립의 방편으로 논의되고 있지는 않다.

두 번째 논쟁점은 전기요금 문제이다. 다른 국가에 비해, 한국 가정용 전기요금은 다른 OECD 국가에 비해 낮은 편이다 (IEA 2019). 한국은 110 (USD/MWh/capita)로 미국 128.9, 스웨덴 196, 영국 231, 일본 239, 독일 353에 비해 낮은 요금을 부과하고 있다. 이로 인해 산업과 가계에 부담은 줄일 수 있지만, 전력 과잉소비 등의 문제점을 안고 있다. 또한 재생에너지 활성화를 위한 부과금도 낮은 수준이어서 재생에너지 이용은 5%를 채 넘고 있지 못한 상황이다. 원자력 에너지를 확대를 지지하는 진영에서는 초기 투자 비용과 사회적 수용성 비용이 크지만, 운영되는 과정에서는 비용이 적게 든다는 주장을 하고 있다. 아울러 재생에너지 발전기 (풍력, 태양광 등), 스마트 그리드, 에너지 저장장치 등의 설치에 막대한 투자가 필요하다는 것을 비판하기도 한다. 그 결과 전기요금의 상승을 가져올 수 밖에 없다는 주장이다.

5. 나옴

탄소중립 과정에서 원자력 에너지의 역할에 대한 논쟁은 앞으로도 계속될 것이다. 환경운동단체와 탈핵을 주장하는 진영에서는 재생에너지의 확대를 통해 탄소중립을 달성할 것을 주장하고 있다. 원전의 안전성 논란과 핵폐기물 처리의 문제는 쉽게 해결되지 않기 때문에, 원전을 통한 탄소중립을 주장하지 않을 것이다. 게다가, 원전의 중앙집중형 발전과 장거리 편도 송배전 시스템은, 분산형 발전과 송배전 시스템을 특성으로 하는 재생에너지 시스템과 상충하는 면도 존재한다.

이에 반해, 원전의 안전성, 경제성을 주장하는 진영에서는 기술 진보가 원전의 안전성을 높여 줄 것이고, 직접적인 온실가스 배출이 없는 원자력 에너지를 기후변화에 대응하고 탄소중립에 기여할 수 있는 방안임을 강조하고 있다. 특히, 소형모듈원자로 (SMR: Small Module Reactor)는 작은 출력의 원자로를 묶어서 필요한 만큼의 전력을 생산하는 기술로 석탄발전 등 화석연료 발전을 대체할 것으로 기대하고 있다. 그러나 SMR과 같은 새로운 기술도 원전의 특성상 안전성과 (고준위) 핵폐기물 처리, 지역 수용성 문제는 여전히 풀어야 할 숙제이다.

원자력 에너지의 활용은 정치적이다. 원자력 에너지와 산업, 기술을 지지하는 진영은 재생에너지의 문제점 (간헐성, 비용, 수용성)을 지적하며, 원자력 에너지 확대에 힘쓴다. 원전 진영이 권력을 잡게 되면, 대통령 공약, 에너지기본계획, 장기 전력수급 계획을 통해 원전 확대와 수출을 추진한다는 것을 알 수 있다 (Lee, 2021). 반면에 탈핵을 주장하는 진영은 원자력 에너지의 문제점 (핵폐기물, 안정성, 수용성)을 지적하며 재생에너지의 확대를 주장한다. 탈핵 진영이 선출되면, 공약과 에너지기본계획, 장기 전력수급 계획을 통해 재생에너지 확대와 탈원전을 추구한다.

기후변화에 대응하고 탄소중립을 달성하기 위해서 네트워크된 분산형 재생에너지 시스템으로의 전환은 세계적인 추세이다 (Lee et al. 2020). 또한 에너지 수요 관리와 온실가스 흡수를 위한 노력도 반드시 필요하다. 이 과정에서 탄소중립을 달성하기 위한 원자력 에너지의 역할에 대해서는 폭넓고 깊은 숙의가 필요하다. 원전의 찬반 논쟁만큼 쉽게 풀리지 않을 문제이기 때문이다.

참고문헌

- 대한민국정부. 2020. 지속 가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국2050 탄소중립전략.
대한민국정부
- 청와대. (2011). The hundred presidential agenda of Lee MyungBak administration.
Seoul: BlueHouse.
- 청와대. (2013). The presidential agenda of park Geun-hye administration. BlueHouse,
Seoul: BlueHouse.
- 청와대. (2017). The presidential agenda of Moon Jaein administration. BlueHouse,
Seoul: BlueHouse.
- Amsden, A. (1989). Asia's next giant. New York, NY: Oxford University Press.
- Chalmers, J. (1999). The development state: Odyssey of a concept. In
M.Woo-Cummings (Ed.), The developmental state. Ithaca: Cornell University Press.
- BPLESD. (2008). The 4th Basic Plan for Long-term Electricity Supply and Demand.
Seoul: Ministry of Industry and Resource.
- Chung, Y. (2021). Party politics and civil society: The role of policy entrepreneurs in nuclear power politics in Taiwan. *Environmental Policy and Governance*, 31(2), 94-103.
- Doner, R. F., Ritchie, B. K., & Slater, D. (2005). Systemic vulnerability and the origins

- of developmental states: Northeast and Southeast Asia in comparative perspective. *International Organization*, 59, 327-361.
- Emelianoff, C. (2013). Local Energy Transition and Multilevel Climate Governance: The Contrasted Experiences of Two Pioneer Cities. *Urban Studies*.
- IEA. 2019. Nuclear Power in a Clean Energy System
- Jasanoff, S., & Kim, S.-H. (2009). Containing the atom: Sociotechnical imaginaries and nuclear power in the United States and South Korea. *Minerva*, 47(2), 119-146.
- Kikuchi, M. (2021). Changing dynamics of the nuclear energy policy-making process in Japan. *Environmental Policy and Governance*, 31(2), 116-124.
- Kim, S. C., & Chung, Y. (2018). Dynamics of nuclear power policy in the post-Fukushima era: Interest structure and politicization in Japan, Taiwan and Korea. *Asian Studies Review*, 42(1), 107-124.
- KPX. (2014). The 7th Power Supply and Demand Basic Plan 2015-2019 Korea Power Exchange.
- Lee, T. (2021). From nuclear energy developmental state to energy transition in South Korea: The role of the political epistemic community. *Environmental Policy and Governance*, 31(2), 82-93.
- Lee, T., Lee, T., & Lee, Y. (2014). An experiment for urban energy autonomy in Seoul: The one less nuclear power plant policy. *Energy Policy*, 74, 311-318.
- Loorbach, D., & Rotmans, J. (2010). The practice of transition management: Examples and lessons from four distinct cases. *Futures*, 42, 237-246.
- Moloney, S., Horne, R., & Fien, J. (2010). Transitioning to low carbon communities-from behaviour change to systemic change: Lessons from Australia. *Energy Policy*, 38, 7614-7623.
- Önis, Z. (1991). The logic of the developmental state. *Comparative Politics*, 24, 109-126.
- Stubbs, R. (2009). What ever happened to the east Asian developmental state? The Unfolding Debate. *The Pacific Review*, 22, 1-22.

Abstract

Nuclear Energy and Carbon Neutrality: History and Issues

Tae Dong Lee

Nuclear energy is controversial in economic, social, political aspects. In addition, whether and to which extent using nuclear energy is proper for climate change mitigation begets heated debates. This essay aims to describe the history of nuclear energy politics in different presidential administrations in Korea and to identify the issue of nuclear energy and carbon neutrality. Nuclear energy policies are inherently political. Conventional iron triangle of nuclear industry, bureaucrats and politician tended to support more nuclear energy adoption and export. In contrast, renewable energy oriented energy transition supporters tend to increase renewable energy adoption and decrease nuclear energy use. In the current policy for carbon neutrality in Korea, nuclear energy usage is not proposed for the option. To achieve carbon neutrality, it is imperative to have solutions for relatively high price and intermitancy of renewable energy sources and nuclear waste and safety issue.

탄소중립 실현의 필수에너지 원자력

주한규*

탄소중립은 전 지구적인 기후위기를 세계가 공동으로 대처하기 위해 각국이 2050년경까지 달성해야 할 당위이다. 이에 부응하여 2021년 10월 현재 미국과 우리나라를 비롯한 132개국이 2050년 탄소중립을 선언하였다. 중국을 비롯한 5개국은 2060년 혹은 그 이후로 그 시기를 늦춰 다소 잡을 뿐이므로 세계 주요국 모두가 탄소중립 실현 의지를 표명한 것이다.

우리나라는 세계 이산화탄소 배출순위 세계 8위로서 연 약 7억 톤에 달하는 이산화탄소 순 배출량을 2050년까지 0으로 줄여야 한다. 정부는 최근 그 이행방안으로서 탄소중립 2050 시나리오 2개 안을 공개했다. 그러나 이 두 안 모두 현재 강고하게 추진되고 있는 탈원전 정책을 기반으로 했기에 실현이 현실적으로 불가능하다. 탈원전 기조하에서 태양광 위주로 갈 수밖에 없는 무탄소 전력 생산 계획은 전기료 대폭 인상 문제뿐만 아니라 발전시설 설치면적과 대규모 에너지 저장장치(ESS) 구축에 필요한 물질 자원의 비현실적인 증대를 수반하기 때문이다. 이는 에너지 밀도가 낮고 간헐적 발전원인 태양광의 대규모 확충에는 방대한 면적과 아울러 반드시 그에 수반하는 대용량 ESS가 필요함에 기인한다.

태양광 발전은 그 자체로는 변동성이 심한 불완전한 발전 방식이라 그 비중이 일정 수준 보다 커지는 경우에는 꼭 ESS와 짝을 이루어 운용되어야 한다. 매우 고가인 ESS의 운용 비용은 차후 태양광 발전 비용보다 월등히 비싸질 수 있고 이는 2배 이상의 전기요금 인상을 초래할 수도 있다. 지대한 전기요금 상승은 국민 생활과 경제에 엄청난 부담을 초래할 것이다. 고가의 전기요금 때문에 국민은 전기를 풍족하게 쓰지 못해 불편을 겪고 국가 산업과 경제는 퇴행할 것이다. 따라서 재생에너지 위주의 탄소중립 시도는 국민적 저항에 부딪혀 실패할 것이다.

* 現 서울대학교 원자핵공학과 교수
미국 Purdue University 공학 박사

비용을 고려할 수밖에 없는 현실에서 탄소중립을 실현하기 위해서는 저비용 무탄소 에너지원인 원자력의 이용 확대가 필수적이다. 원전은 일반에 잘못 알려진 것과는 다르게 오랜 가동 이력으로써 높은 생명 안전성을 입증해 왔다. 이런 원전을 전력의 대량 생산뿐만 아니라 수소 생산에 사용함으로써 전력 분야뿐만 아니라 비전력 에너지 분야에서 탄소 감축을 이룰 수 있다. 아래에서는 우리나라에서 재생에너지의 가능성과 한계에 대한 설명을 시작으로 세계가 다시 주목하는 원전의 이점과 원자력을 사용한 수소 생산 방식을 소개한 후, 안전성이 획기적으로 높아져 수요지 인근에 설치하여 다양한 용도로 활용할 수 있는 소형모듈원자로(SMR) 개발 현황을 알아보고, 우리나라에 가장 적합한 탄소중립 실현 방안으로서 원자력과 태양광 동반 육성 정책을 제안한다.

1. 재생에너지의 가능성과 한계

태양광과 풍력 중심의 재생에너지는 탄소중립 실현의 주요 수단으로서 전 세계적으로 대폭적인 확대가 추진되고 있다. 우리나라의 현 2050 탄소중립 시나리오 A안(탄중 A안)에서도 재생에너지 발전량을 연간 102GWy로 설정해 전체 144GWy의 약 71%를 차지할 정도로 엄청나게 잡아 댔다. 이는 재생에너지만으로 현재 전체 발전량 65GWy의 1.6배 정도를 발전하겠다는 정도로 무모한 목표이다. 이 목표는 아래 설명하는 이유로 달성이 불가능하다.

1) 과다 면적이 필요한 태양광 위주로 갈 수밖에 없는 우리나라 재생에너지 환경

에너지기술연구원(에너지연)이 분석한 우리나라 태양광 발전 잠재량*에 따르면 2050년 우리나라에 설치 가능한 토지형, 수상형, 건물형 태양광 발전시설의 총 용량은 480GW, 발전량은 71.2GWy이다. 이는 현재 20% 수준인 태양전지 효율(입사 태양에너지 대비 발전량 비율)이 34%로 향상될 것이라는 낙관적인 전망에 근거한 것인데도 그렇다. 현재 태양광 시설 설치면적이 GW당 12.5km²정도이고 발전효율이 1.7배 향상될 것을 가정하면 480GW 태양광 설치에 필요한 면적은 약 3,500km²로서 서울시 면적의 약 6배에 해당하는 어마어마한 면적이다. 만약 태양전지 효율이 예상대로 1.7배 향상되지 못한다면 그 소요 면적은 서울시 면적의 10배에 가까울 수도 있다. 이렇게 드넓은 면적에 태양광 시설을 과연 설치할 수 있을지가 의문이지만 설사 설치가능하다고 하더라도 총 가용 태양광 발전량은 탄중A안의 목표 재생에너지 발전량의

* 김현구 외, 제9회 탄소중립 테크포럼: <https://youtu.be/qlzcb7H1bWQ> 2021.7.5. 자 유튜브 영상

70%밖에 안 되므로 나머지는 다른 재생에너지로 충당하여야 한다.

예기연이 분석한 풍력발전 시설 잠재량은 육상 15.7GW, 해상 25.9GW로 육상풍력 이용률을 26%, 해상풍력 이용률을 40%라고 아주 낙관적으로 잡아도 연간 풍력발전량은 총 14.7GWy에 불과하다. 풍력 발전량은 태양광의 약 1/5에 불과한 것이다. 이렇게 우리나라 풍력발전량이 태양광에 비해 현저히 낮을 수밖에 없는 것은 우리나라 해상의 풍속은 초속 7m에도 미달할 정도로 아주 낮기 때문이다(조선일보, 2021). 풍력발전의 특성상 발전량은 풍속의 세제곱에 비례(운동에너지가 풍속의 제곱에 비례하고 풍량이 속도에 비례하기 때문)하기 때문에 풍속이 기준치에 비해 20%만 낮아져도 발전량은 절반 수준으로 떨어지기 때문이다. 그러면 발전단가는 두 배로 높아진다.

해상 구조물과 송전 시설 설치에 비용이 많이 드는 해상풍력은 육상풍력에 비해 건설비가 높을 수밖에 없어 <표 4-1>에 보이는 바와 같이 2020년 기준 발전단가가 육상풍력의 1.7배인 282원/kWh이다. 이는 원전 발전단가 약 60원/kWh의 4.8배 수준으로 매우 비싸다. 더구나 태양광 발전단가는 향후 기술발전에 따라 10년 뒤에는 30% 정도 하락하여 94원/kWh로 하락할 것이 예상되지만 기술발전에 따른 단가 하락의 여지가 별로 없는 해상풍력 발전의 경우 2030년대가 되더라도 200원/kWh을 훨씬 넘을 것으로 예상된다. 이상과 같은 풍력발전의 고비용성과 설치용량의 제약 때문에 우리나라 재생에너지 발전은 태양광 위주로 진행될 수밖에 없다.

<표 4-1> 주요 재생에너지 균등화 발전단가(원/kWh) 전망*

연도	태양광	육상풍력	해상풍력
2020	136.1	166.8	281.8
2025	113.2	158.3	267.5
2030	94.2	150.3	253.9

자료: 이근대 외, 재생에너지 공급확대를 위한 중장기 발전단가(LCOE) 시스템 구축 및 운영

2) 태양광의 변동성에 따른 대용량 ESS의 필요성

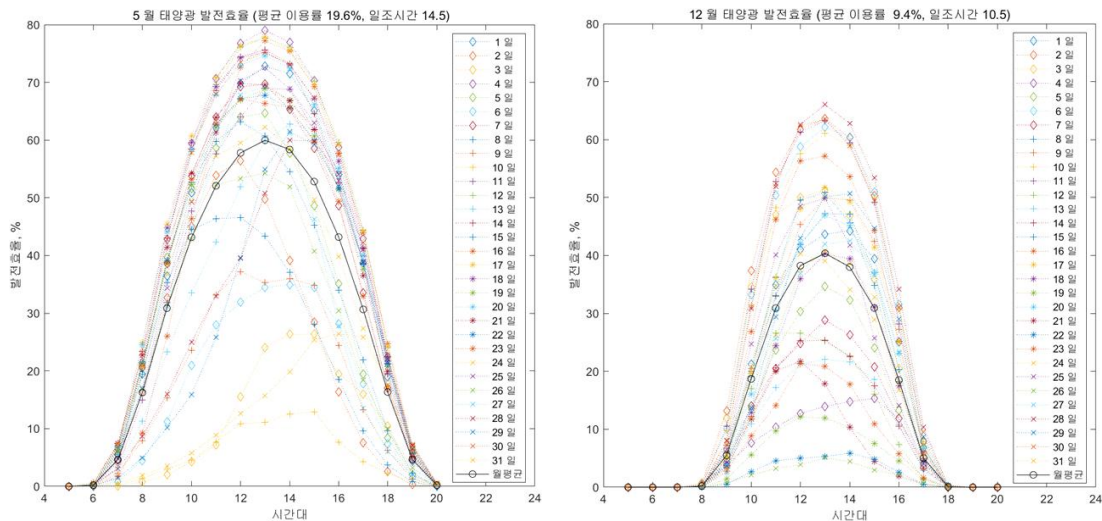
예기연의 잠재 태양광 발전량 모두가 공급 가능하다면 이는 탄중A안 총발전량의 약 50%가 된다. 즉 총 전력수요의 50%를 태양광으로 충당해야 된다는 것이다. 이러한 경우 막대한 용량의 ESS 설치가 불가피해진다. 이는 우리나라 태양광 발전의 일별, 시간대별 변화를 나타낸 다음 두 그림을 보면 분명해진다.

<그림 4-1>은 2016년 실측 자료를 바탕으로 우리나라에서 태양광 발전이 제일 잘

* (에너지경제연구원 기본연구보고서 20-21, 2020); 실적자료가 부족해 원 보고서에는 전망이 안 되어 있는 해상풍력 전망자료는 육상풍력 전망치를 바탕으로 산정

되는 5월과 제일 덜 되는 12월의 발전효율(정격발전용량 대비 실제 발전 전력) 변화를 보여준다. 이 그래프에서 원 표식의 검은색 곡선은 한 달 평균 시간대별 발전효율 자료이다. 이 검은색 곡선을 보면 정오 인근에서 태양광 발전효율이 제일 높고 오전 일찍과 오후 늦게는 매우 낮아짐이 분명하다. 이같이 태양광은 하루 중 시간대별 발전량 변화가 클뿐더러 일간 변화도 매우 심하다. 그래프의 양태를 보면 하루 종일 비나 눈이 오거나 오전에만 맑거나 오후에만 맑은 날은 날도 많음을 알 수 있다. 월간 변화도 심하다. 조금이라도 발전이 되는 일조시간은 5월의 경우 14.5시간이지만 12월에는 10.5시간에 불과하고 12월 평균 거동을 보면 정오 시간대의 최대 발전효율도 40%도 채 안 돼 60%가 넘는 5월의 2/3 수준에도 미달한다.

<그림 4-1> 우리나라 5월과 12월의 일별, 시간별 태양광 발전 양태

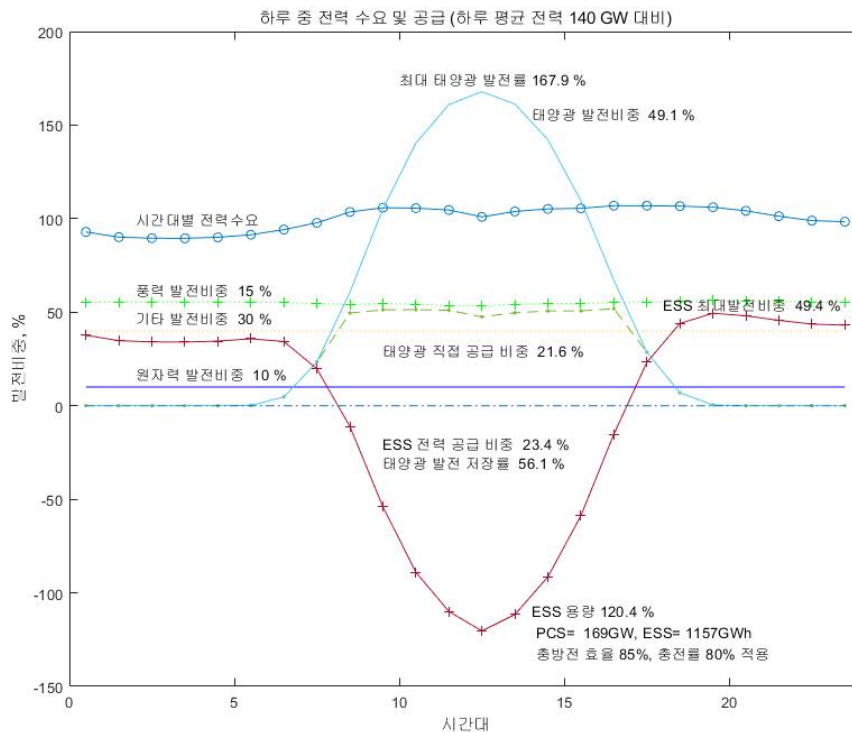


자료: 2016년 전국 태양광 발전 실적 평균 자료 (전력거래소)

이렇게 심하게 변하는 태양광으로 총 전력수요의 약 50%를 담당하게 한다면 하루 중 발전 양태가 <그림 4-2>와 같이 나타난다. 이 그림은 1년 365일에 대해 평균한 시간대별 전력수요와 태양광 발전 양태를 바탕으로 2050년 예상 평균 전력 수요인 140GW를 기반으로 작성한 것이다. 여기서는 원자력, 풍력 및 기타 발전 비중의 합이 55%라고 전제하고 나머지를 태양광 발전량으로 충당하기에 필요한 발전 소요량과 ESS를 통한 저장 및 방전량 계산하여 도시하였다. 계산에 따르면 태양광 총발전량은 수요전력량의 49.1%가 된다. 이 값이 45%보다 큰 이유는 ESS에 저장과 방전할 때 15% 정도의 전력 손실이 불가피하기 때문이다. 이 그림에서 더하기 표식의 빨간 색 곡선은 ESS에 의한 충전과 방전량을 나타낸다. 수치가 음인 부분은 충전, 양인 부분은 방전을 의미한다. 낮 시간대에 수요보다 초과되게 발전되는 태양광 전력은 저장했

다가 야간과 새벽 시간대에 방전해 써야 한다. 그래야 여타 발전원만으로는 부족한 전력을 충당할 수 있다. 이 계산 결과에 따르면 태양광 발전량 중 56.1%는 저장했다가 써야 한다. 그렇게 되면 저장하지 않고 바로 전력망에 공급되는 태양광 전력은 전체 전력 수요의 21.6%이고 ESS를 통해 저장 후 공급되는 비중은 23.4%로서 그 합이 45%가 된다.

<그림 4-2> 140GW 전력수요 중 50%를 태양광으로 충당 시 시간대별 발전 및 저장 양태

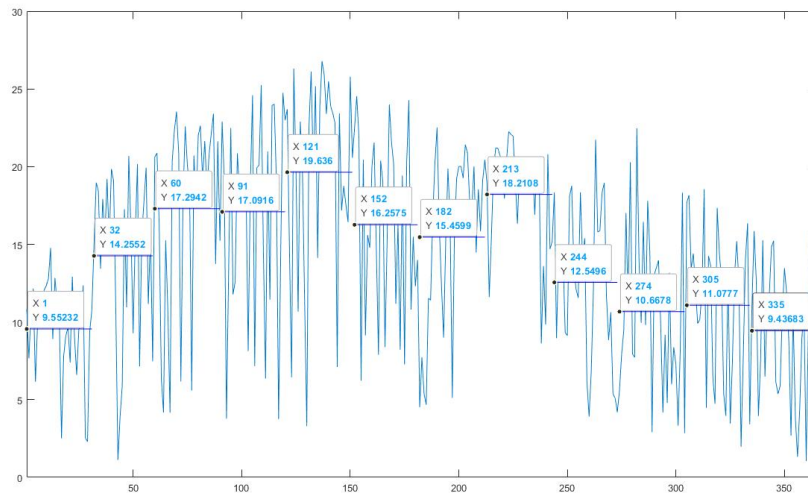


자료: 2016년 전국 태양광 발전 실적 평균 자료 (전력거래소)

이 그림에서 보인 바와 같이 태양광 발전 비중이 50%에 육박하게 되면 낮 시간대 수요 초과 전력을 저장해 야간에 사용할 수 있게 하는 ESS의 사용이 불가피하다. 즉 태양광과 ESS는 꼭 짝을 이루어 운용되어야 한다. 위 그림의 140GW 전력수요의 경우 하루 전력 시스템을 운용하는데 필요한 ESS 용량은 약 1,160GWh로 계산된다. 1GWh ESS 구축에 4,000억 원이 든다고 보면 이 시설 구축에 460조 원이 든다. 그런데 이러한 ESS는 태양광 반 일치 발전량 저장 용량으로는 불충분하다. 만약 다음 날 하루 종일 비가 와서 태양광 발전을 못 할 경우를 생각한다면 태양광 발전량 1.5일 치를 저장해 두어야 한다. 그런 경우 460조 원의 3배인 1,392조 원이 필요하다. 그러나 장마 기간에는 며칠씩 날씨가 흐릴 수도 있으니 1.5일 치 태양광 발전량 저장

으로도 부족하다. 수일 치 저장 필요성은 일별 태양광 발전량 혹은 이용률의 연중 변화를 그린 다음 그래프를 보면 자명하다.

<그림 4-3> 연중 태양광 이용률 변화 (%)



자료: 2016년 전국 태양광 발전 실적 평균 자료 (전력거래소). 네모 속 숫자는 월별 평균 이용률.

3) ESS의 고비용과 막대한 물질 소요량

구축에 막대한 비용이 드는 ESS는 수명은 약 10년 정도로 유한하다. 2025년 ESS 예상 비용이 1kWh당 375달러라고 예상한 미국 DOE 보고서 (Energy Storage Technology and Cost Characterization Report)* 자료를 바탕으로 충·방전 효율 85%, 충전도 80%, 3,500회 충·방전을 적용하면 1kWh ESS 운용비용이 175원으로 계산된다. <그림 4-2>의 경우와 같이 태양광 발전량 매 1kWh당 0.56kWh만 저장한다면 쳐도 저장비용으로만 98원/kWh가 소요된다. 2030년 태양광 예상 발전 비용 94원/kWh보다 비싸다. 배보다 배꼽이 더 크게 되는 것이다. 수일 치 저장을 위해 ESS 용량을 두 배 늘리면 배꼽이 배의 두 배 이상이 되는 기형이 발생하는 것이다. 전기 요금의 3배 수준 인상이 불가피한 것이다.

ESS는 고비용도 문제지만 막대한 물질 소요량도 문제가 된다. 현재 세계 최대 용량인 1.6GWh 규모로 캘리포니아에 구축된 ESS에 사용된 LG의 최신 ESS 모델인 TR1300의 제원(LG 에너지솔루션, 2021)에 따르면 328kWh 규모의 ESS 무게가 2.3톤이다. 1,160GWh 용량이면 8백만 톤이 된다. 10년마다 소요될 엄청난 물질의 양이다. 이 물질의 주성분은 희귀 광물인 리튬이다. 향후 전 세계적인 재생에너지 확대에

* 미국 PNNL 보고서 <https://energystorage.pnnl.gov/pdf/PNNL-28866.pdf>

따라 ESS 수요가 폭발적으로 증가한다면 희귀 물질의 수요가 공급을 초과하여 가격 상승이 초래될 수 있기에 ESS 가격은 태양광 모듈처럼 크게 하락할 수 없을 것이다. 따라서 ESS와 동반 운용이 필수적인 태양광 발전시스템 운용은 앞으로도 엄청난 고 비용을 초래할 수밖에 없다.

2. 탄소중립 실현의 가장 유효한 에너지 원자력

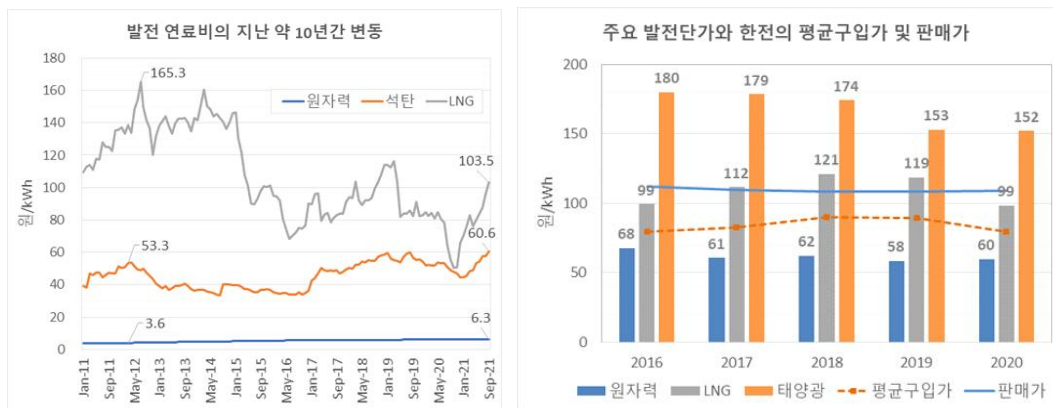
원자력은 발전단가가 재생에너지나 LNG 발전에 비해 월등히 낮은 저비용 발전원이며서 미세먼지나 온실가스 발생이 없는 청정전력원이다. 지난 50여 년간 전 세계 630여 원전의 오랜 가동 이력으로써 높은 생명 안전성을 입증해왔다. 이는 최근 EU가 원자력을 탄소노미 즉 세제와 금융지원의 혜택을 받은 지속 가능한 에너지원으로서 편입시키기 위한 근거자료로서 발간한 공동연구소 보고서에 원전 치명률이 0.5명/조 kWh로 매우 낮다고 적시(European Commission, 2021)함으로써 객관적으로도 인정됐다. 우리나라의 지난 42년간 원자력 발전 총량이 3.9조kWh이므로 이 치명률을 적용하면 그간 원자력 발전으로 인해 2명의 사망자가 있을 수 있었겠으나 실제로는 단 한 명의 사망자도 없이 원전은 안전하게 가동되어 왔다. 원전의 이러한 높은 생명 안전성과 더불어 날씨나 국제정세나 경제 상황에 무관하게 안정적으로 청정 전력을 공급할 수 있는 원전의 장점은 전 세계적으로 인정되어 미국, 중국, 러시아, 인도 등 대국과 프랑스, 영국을 비롯한 10개 유럽국가 및 UAE와 사우디아라비아 등 중동 국가와 또 그 외 여러 나라에서 원자력 진흥 정책을 추진하고 있다. 원자력은 대형원전을 통한 무탄소 전력뿐만 아니라 SMR을 통한 전기 및 고온열 공급 및 수소 생산 수단으로 활용될 수 있기에 세계 주요국이 원자력을 탄소중립 실현의 주요 수단으로 인정하고 진흥하는 것이다.

1) 저비용 청정에너지 원자력

원자력은 화학반응 에너지보다 100만 배 이상 높은 핵반응 에너지를 이용하기에 에너지밀도가 매우 높고 연료 사용량이 적다. 이에 따라 발전단가에서 연료비가 차지하는 비중이 15% 이하로 매우 낮고 발전단가 자체도 다른 발전원에 비해 현저하게 낮다. <그림 4-4>에 보이듯이 LNG 발전 연료비는 지난 10년간 급등락한 반면 원전 연료비는 안정적이다. 이렇게 연료 소요량이 적은 원자력은 저비용 발전원이라는 장점뿐만 아니라 높은 에너지 안보성을 제공한다. 장기간 사용할 수 있는 연료의 확보와 저장이 용이하기 때문이다. 100m²의 면적 (33평 아파트 면적)만 있으면 1GW 원전 25

년 치 연료를 저장할 수 있으므로 오래 쓸 연료를 저장해 두는 게 전혀 문제가 안 된다. 이에 따라 원자력은 국제 정세나 경제 상황 변화에 따른 연료비 등락에 별 영향을 받지 않아 에너지 안보 확보에 유리한 것이다. 최근 코로나19 진정에 따라 세계 경기 회복과 풍력 발전량 감소가 초래한 LNG 가격 급등과 대비하면 원전의 저비용성과 안정성이 돋보인다.

<그림 4-4> 발전원별 연료비와 발전단가 변화



자료: 전력거래소

위 그림에서 확인할 수 있듯이 한전은 발전단가가 다른 여러 발전원에서 전력을 구입해 일정한 가격에 판매한다. 2020년의 경우 kWh당 평균 구입가는 약 80원, 판매가는 110원 선이었다. 2020년 경우에는 LNG 발전단가가 판매단가보다 낮았지만, 예년의 경우 대개 높다. 한전은 LNG 전력 공급을 늘릴수록 손해를 본다. 그 손해는 태양광 전력 공급을 늘리면 더욱 늘어난다. 태양광의 비싼 발전단가 때문에 발생하는 보조금은 썩 원전 발전단가 덕택으로 충당이 가능하다. 태양광 확대를 위한 보조금 조달에도 원자력의 확대가 꼭 필요한 것이다.

원전은 가동하는 시간에는 온실가스를 전혀 배출하지 않는다. 그러나 원전의 건설 과정과 핵연료를 제조하는 과정에서는 이산화탄소가 배출되기 때문에 생애 온실가스 발생량은 kWh당 12g이다. 이는 석탄의 820g, LNG의 490g에 비해 월등히 작은 양이고 태양광의 48g에 비해서도 적다. 물론 미세먼지 발생도 없다. 그래서 원자력을 저비용 청정에너지라 하는 것이다.

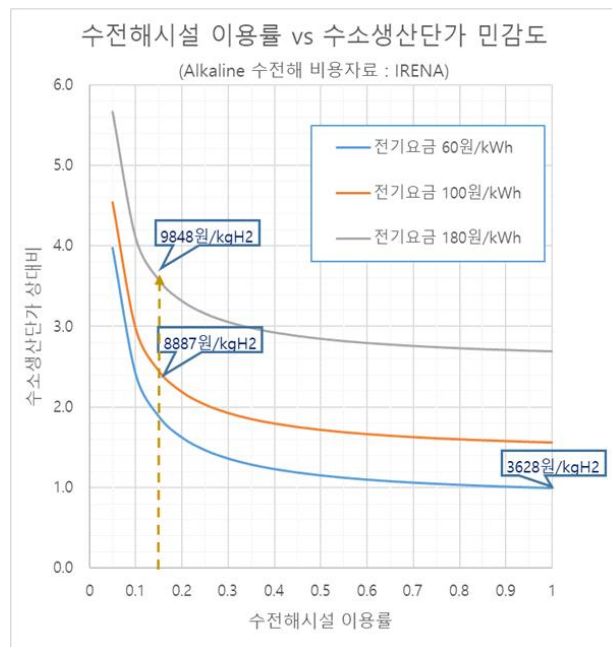
2) 원자력 수소

2018년 우리나라 온실가스 배출통계에 따르면 연간 약 7억 톤에 달하는 온실가스 중 약 40% 즉 2억 7천만 톤 정도만 발전 부문에서 배출된다. 나머지 60% 중 수송부문과 철강 부문이 각각 14%, 즉 약 1억 톤을 차지할 정도로 많이 배출된다. 따라서

탄소중립을 달성하기 위해 비전력 부문에서도 온실가스 발생을 상당히 줄여야 한다. 이에 사용할 수 있는 수단이 수소이다. 수소 연료전지 자동차를 비롯한 수소 기반 운송 수단 확충과 수소 환원 제철 구현이 필요한 것이다. 이에 사용할 수소를 이산화탄소 발생 없이 생산하려면 물 전기분해를 해야 한다. 발전단가가 낮고 상시 전력 공급이 가능한 원전은 전기분해 수소 생산에 매우 유효하다. <그림 4-5> 보인 바와 같이 원전을 사용한 수소 생산은 현재 기술을 적용하더라도 kg당 약 3,600원에 가능하다. 반면 이용률이 15%에 불과한 태양광의 경우 고가인 전기분해 설비의 이용도가 떨어지고 발전단가도 높기 때문에 100원/kWh 단가를 가정하더라도 수소 생산단가는 8,900원에 달해 원전의 2.5배가 된다. 원자력이 태양광보다 훨씬 경제적인 수소 생산 수단인 것이다.

물 분자에서 수소 원자를 분리해 수소를 생성시키려면 에너지를 투입해 분자 결합을 끊어 주어야 한다. 이 에너지 공급을 보통 전기형태로 하지만 일부 에너지를 열로 줄 수도 있다. 고온 증기 전기분해는 소요 에너지 약 1/3을 750도 정도 되는 고온의 열로 제공하는 방식이다. 원전에서 발생하는 증기열을 이용하면 고온 증기 생성에 필요한 대부분의 에너지를 공급할 수 있다. 원전에서 열을 전기로 전환할 때는 2/3가량의 열 손실이 있다는 점을 고려하면 열의 직접 이용은 수소 생산에서 에너지 이용 효율을 높일 수 있는 방식이 된다. 현재 고온 수증기 전기분해 방식은 고체 산화물 전기분해 설비 개발을 통해 추진되고 있다. 이 방식이 상용화되면 원자력을 통한 수소 생산 단가는 공급 목표 단가인 3,000원/kg보다 상당히 낮아질 수 있어 수소 이용 확대에 있어 원전이 주요 생산 수단이 될 수 있다.

<그림 4-5> 물전기분해 시설 이용률과 전력 단가에 따른 수소 생산단가 변화



자료: 세계 재생에너지 협회(IRENA) 물 전기분해 비용 자료 기반

2) 소형모듈원자로(SMR)

소형모듈원자로(Small Modular Reactor, SMR)은 원자로를 소형화함으로써 여러

혁신적인 안전 개념 구현이 용이하게 되어 안전도를 높이고, 공장에서 모듈 형식으로 제작하여 이송 설치를 가능하게 함으로써 큰 비용 부담 없이 건설이 가능한 혁신형 원자로이다. 기존 대형원전은 능동 수냉각 방식인데 비해 SMR은 피동형 수냉각, 액체금속 냉각, 기체 냉각 방식 등의 다양한 형태로 개발되고 있다.

피동형 수냉각 방식은 물이 데워지면 위로 올라가고 식으면 내려오는 자연대류 현상을 이용하기에 전기로 구동되는 펌프 없이도 원자로 가동이 가능하게 하는 방식이다. 이런 방식에서는 외부 전원이 상실되는 비상 상황에서도 원자로 냉각이 가능하므로 안전도를 훨씬 높일 수 있다. 미국의 NuScale이라는 회사는 이러한 피동형 수냉각 원자로를 개발하여 인허가를 받고 2029년에 가동을 목표로 건설을 추진 중이다.

액체 나트륨을 냉각재로 이용하는 Natrium이라는 SMR은 고온 나트륨을 이용해 용융염을 가열하여 열을 저장할 수 있는 특성을 갖고 있다. 이 특성은 낮 시간대 태양광 발전이 활발할 때는 원자력 출력을 발전이 아닌 용융염 가열에만 쓰고 야간 시간대에는 고온의 용융염에서 열을 추출해 증기를 만들어 발전하는 방식으로 태양광 발전 설비와 조화롭게 운용할 수 있는 장점을 제공한다. 미국 에너지성은 테라파워 주도로 개발하는 Natrium 원자로를 유망한 SMR로 선정하여 연 8천만 달러씩 지원하고 있다. Natrium 원자로는 현재 와이오밍주 화력발전소 부지에 기존 화력발전소를 대체하는 목표로 2027년까지 실증이 추진 중이다.

700도 이상 고온열 생산이 가능한 고온 기체 냉각형 SMR은 삼중피복입자 연료를 사용한다. 이는 핵연료 알갱이를 매우 견고한 물질인 실리콘 카바이드를 사용해 세 겹으로 코팅하되 크기가 1mm 이하가 되도록 작게 만들어 연료의 손상을 원천적으로 배제해 안전성을 획기적으로 높인 것이다. 이 유형의 SMR은 X-Energy사와 USNC사에 의해 각각 독립적으로 개발되고 있다. X-Energy사가 개발하는 XE-100도 역시 미국 에너지성의 연 8천만 달러 지원 대상으로 선정되어 2027년까지 워싱턴주나 캐나다에 실증을 목표로 사업이 진행 중이다. 이 SMR은 750도 고온열을 사용한 수소 생산 활용도 염두에 두고 있다. USNC사도 Chalk River 캐나다 원자력 연구소 부지에 실증을 추진 중인데 이 사업에는 한국원자력연구원 연구진과 현대엔지니어링 참여하고 있다. 최근 일리노이 주립대가 USNC의 초소형 원자로인 MMR을 캠퍼스 내에 짓겠다는 의향을 NRC에 밝힌 것이 SMR이 수요지 인근에 설치되는 효시가 될 수 있다.

이상과 같이 안전성이 대폭 향상된 혁신적 개념의 SMR은 수요지 인근에 설치하여

전기뿐만 아니라 열을 이용한 수소 혹은 담수 생산의 다양한 용도로 활용할 수 있다. 또한 SMR은 변동성이 높은 재생에너지 발전원과도 조화롭게 사용될 수 있기에 탄소 중립 실현 매우 유효한 수단으로 인정을 받아 미국뿐만 아니라 영국, 프랑스 등에서 활발히 개발되고 있다.

그런데 사실상 SMR 개발은 우리나라가 선도한 적이 있었다. 1997년에 개발이 시작되어 2012년에 표준설계 인허가를 획득한 SMART SMR이 그 선도적 위치에 있었다. SMART는 사우디아라비아에 실증로 건설을 추진하다가 정부의 탈원전 기조 때문에 지지부진해졌다. 하지만 탈원전 정책이 폐기되기만 하면 우리나라는 곧 SMART 건설을 재추진하여 선도적 위치를 회복하고 세계 SMR 시장 선점할 수 있다.

3. 원자력과 재생에너지 동반 육성 정책 제언

원자력이 탄소중립에 가장 유효한 에너지원임은 분명하나 우리나라에서 그 용량 확충에는 제한이 있을 수밖에 없다. 가용한 원전 부지가 유한한 탓이다. 향후 탈원전 정책이 폐기되어 가동 원전의 계속 운전이 추진되고 신한울 1~4호기, 신고리 5~6호기의 건설이 완료되어 8.4GW의 용량이 추가되면 10년 후 우리나라 원전 용량은 약 31GW가 된다. 만약 원전 예정 부지 지정고시가 취소됐던 영덕의 천지 원전 부지와 삼척의 대진 원전 부지를 다시 확보해 1.5GW의 원전을 각 4기씩 총 8기를 건설한다고 하면 향후 20년 뒤에 12GW가 추가되어 총 43GW가 될 수 있다. 그런데 비전력 분야 탄소중립 실현을 위해서 총발전량이 증가하게 된다면 늘어난 원전 설비 용량을 가지고도 원자력 발전 비중은 별로 증가하지 않는다. 전력수요가 매 10년마다 25GW 증가하여 현재 65GW인 전력의 10년 뒤 90GW, 20년 뒤 115GW가 된다면 원자력 발전 비중은 그때까지 약 30% 선에 계속 머무르게 된다. 따라서 나머지 발전량을 재생에너지와 신에너지 또 일부 화석에너지로 충당할 수밖에 없다.

앞서 설명한 바와 같이 우리나라에 적합한 재생에너지는 태양광이다. 태양광의 적정 비중을 얼마로 할지는 전력망 안정성과 ESS 소요량 등을 면밀히 평가하여 결정해야 할 것이다. 그러나 우리나라의 실제 전력 증가가 10년에 25GW에 달할 정도로 급격하게 증가하지 않을 가능성도 높다. 그 경우 원자력 발전 비중은 30%를 상회하게 된다. 적정 원자력 비중은 40% 정도 되어야 한다. 이는 기저 발전인 석탄 발전이 대폭 줄어야 하는 상황에서 원자력 발전이 그 감소량을 충당하지 못하면 태양광 발전 비중이 30% 이상이 되어야 하고 그럴 경우 ESS 비용이 과도하게 늘어나기 때문이다.

다. 원자력 비중은 최소 30%를 목표로 하되 향후 필요에 따라 신규 원전 부지를 더 확보하거나 더욱 안전해질 SMR을 추가하는 방안을 통해 40% 내외까지 달성하도록 하는 것이 바람직하다. 부지 여건 등을 고려해 현실적으로 공급할 수 있는 원자력은 가급적 늘린 연후에 태양광을 합당한 수준(30% 이하)까지 늘리고 나머지는 풍력, 신 에너지 발전 순으로 충당하도록 하되 전력망 속응성 확보를 위해 일부 LNG 발전도 잔존시켜 요구되는 발전량에 따라 달라지는 적정 에너지 믹스를 구성해야 할 것이다. 이에 대한 선결 조건으로 현 탈원전 정책은 응당 조속히 폐기되어야 한다.

참고문헌

- 조선일보. (2021.10.17) 서남해 해상풍력 실증단지 평균 풍속 초속 6.03m, retrived from <https://www.chosun.com/economy/industry-company/2021/10/17/3REESBXMYJGBPGU-LDJQH6XLKDM/>
- European Commission (2021). https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/210329-jrc-report-nuclear-energy-assessment_en.pdf
- LG에너지솔루션 (2021). <https://www.lgessbattery.com/eu/grid/product-info.lg>

Abstract

Nuclear Power - Essential Energy to Achieve Carbon Neutrality

Han Gyu Joo

In most countries including Korea, renewables are considered as the primary energy sources to achieve carbon neutrality. However, a renewables-oriented energy mix excluding nuclear power would hardly be realized because of the tremendously high expense resulting from the need for the use of high capacity energy storage systems (ESSs). Particularly in Korea where the wind power is weak, an extensive use of ESSs is inevitable in the high renewables scenarios because solar power is intermittent and largely varying all year long. A solar power system must be paired with an ESS. Under this circumstance, the cost for operating ESSs can be higher than the solar power generation cost itself. People and the national economy can not bare the resulting high electricity price.

On the contrary, nuclear power is low cost because it consumes very little fuel and its high life safety has been proven to be quite high by the long operation history. It is known that the fatality rate of nuclear power extremely low - 0.5 death/trillion kWh. Note that the total nuclear power generation of Korea for the past 42 year is about 3.9 trillion kWh with which only about 2 fatalities would have occurred in Korea, but in reality no one was dead due to nuclear power so far. Nuclear power is a clean energy source because it does not emit fine particulate nor carbon dioxide. It can be used diversely to generate heat and hydrogen as well as electricity. Specifically, the generation of hydrogen would play an important role in carbon neutrality because it can be used in fuel cell cars and in hydrogen reduction based steel production. In addition, the small modular reactors which would have enhanced safety can be deployed for various uses near the demand locations. In this regard, the diverse use of nuclear power is essential to achieve carbon neutrality practically.

탄소중립 이행과 미세먼지의 효과적 감축을 위한 정책 방향

신동원*

탄소중립 정책은 미세먼지 관리 정책과 다양한 방면에서 연관되어 있다. 온실가스로 인한 기후변화와 미세먼지 농도 사이의 상호연계성, 온실가스와 미세먼지를 구성하는 물질 구성, 그리고 배출원을 공유하고 있는 점 등 다양하게 연계되어 있어 온실가스와 미세먼지 감축하기 위한 정책적 연계가 필수적이다. 특히, 2050년 탄소중립 이행을 위한 정책 등 국내외에서 온실가스 감축을 위한 요구가 높은 상황에서 기후와 대기환경 문제해결을 동시에 해결하기 위해 효과적이면서도 효율적인 정책을 설계하는 것이 중요한 시점이다.

1. 온실가스와 미세먼지 연관성

과거에서부터 기후변화가 대기 오염에도 영향을 미칠 가능성이 크다는 주장은 지속적으로 제기되어왔다. 기후변화에 따른 북극 빙하 감소로 인해 시베리아 대륙 고기압 및 북태평양 고기압의 변화가 있었으며, 동북아 지역의 계절풍 약화를 초래하였고, 이로 인해 대규모 고농도 미세먼지 현상이 발생하였다고 추정하기도 하였다. 또한 미세먼지 농도는 강수량이 많은 7~9월 사이 여름철에는 감소하는 반면, 12~5월 사이의 건조한 시기에는 증가한다. 이는 강수에 의해 공기 중의 미세먼지가 희석되어 지표에 흡수되고 있기 때문이다. 이처럼 미세먼지 농도는 기상이나 기후 요인에 따라 큰 영향을 받고 있다.

미세먼지 구성하는 물질이 지구온난화현상과 연계되어 있어 대기 오염이 기후변화에 영향을 미치기도 한다. 태양의 복사열은 대기 중에서 일부 반사되고, 대부분은 대기에 남아 있는 먼지 등에 의해 대기 중에 흡수되거나 지표면에 도달한다. 이때 대기

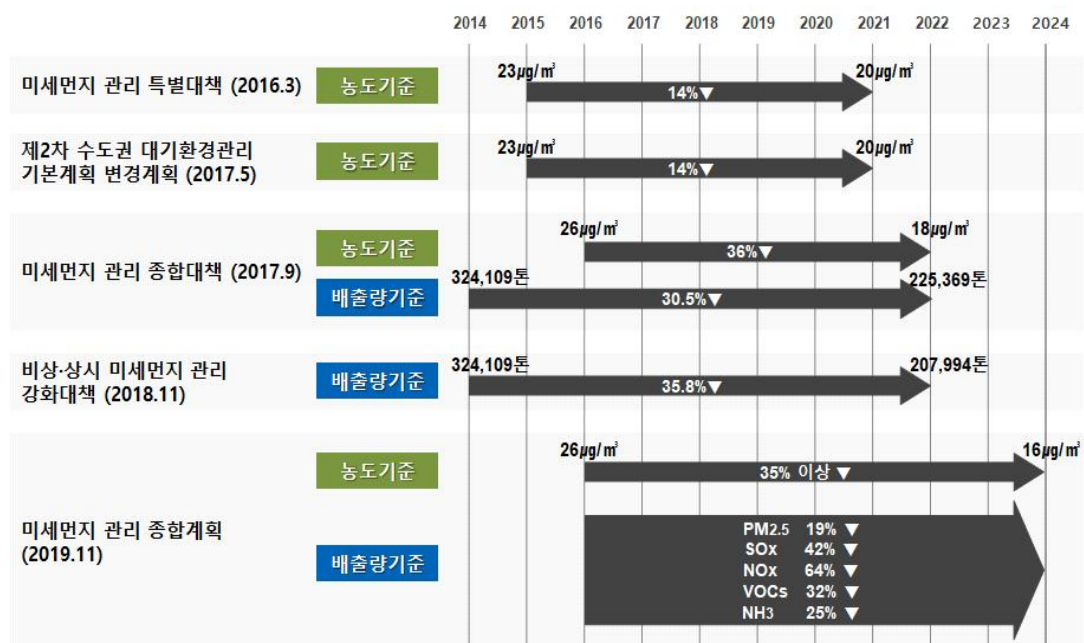
* 現 한국환경연구원 탄소중립연구실 실장
미국 University of Missouri 응용경제학 박사

중에 흡수되는 과정에서 미세먼지를 구성하는 황산염, 질산염 등 다양한 전구물질이 생성되는데, 이러한 물질들은 주요 온실가스와 함께 지구온난화를 유발한다. 따라서 미세먼지를 줄이는 노력은 기후변화를 완화하며 온실가스 감축으로 미세먼지 농도가 개선될 수 있다.

미세먼지와 온실가스는 발생원에서도 밀접하게 연관되어 있는데, 이는 미세먼지와 온실가스 배출원이 많은 부분에서 유사하기 때문이다. 특히 도시 내 인위적인 배출원에서는 대부분 온실가스와 함께 대기 오염의 전구물질인 탄소와 질소산화물 등이 동시에 배출이 되고 있다(Park et al., 2020). 도로를 주행하는 내연 자동차, 건물의 냉난방, 주변의 소규모 공장 및 연소시설 등이 밀집되어 배출원을 공유하고 있다.

배출 특성의 공통점에도 불구하고 온실가스와 미세먼지를 관리하는 방안은 일부 상이하다. 미세먼지를 감축하기 위해서는 크게 미세먼지 생성에 관여하는 물질에 대한 배출원을 직접 관리하는 것과 일정한 농도 이하로 낮추기 위한 관리로 나눌 수 있다. 배출원은 부문별(산업, 발전, 수송, 농업 등) 관리를 통해 이루어지며, 연평균 배출량 저감을 목표로 하고 있다. 반면, 농도를 낮추기 위해서는 배출량 관리와 함께 기상변화와 해외유입에 따른 영향을 줄이는 노력이 필요하며, 이는 국제협력이 필수적이다. 또한, 미세먼지는 지역별로 농도의 차이가 발생하여 공간기반의 측정을 통해 모니터링이 중요하고, 위해성이 농도에 따라 달라질 수 있다. 이에 특정 지역을 중점적으로

<그림 5-1> 미세먼지 주요 대책의 목표



출처: 심창섭 외(2019), 한국환경정책평가연구원

관리하는 것이 중요하며, 건강 위해성을 기준으로 어떤 정책이 우선순위에 있어야 할지 판단하는 기준이 되기도 한다. 따라서 미세먼지 관리에서는 건강 피해를 최소화하기 위한 정책들이 우선되어야 한다.

온실가스는 일반적으로 적외선 복사열 에너지를 흡수하여 열을 저장하고 다시 지구로 방출하는 이산화탄소, 아산화질소, 메탄, 오존 등 기체를 말한다. 온실가스는 자연적으로 발생하는 온실가스와 인위적으로 발생하는 온실가스로 구성되어있으며, 산업화로 비롯된 화석연료의 사용으로 발생한 이산화탄소와 같이 인위적으로 발생한 온실가스가 온난화의 주요 원인이 되고 있다. 수증기를 제외한 전체 온실가스의 88.6% 차지하고 있다. 일단 배출된 온실가스는 길게는 100년 이상 대기 중에 머물 수 있고, 지표에 흡수되었다가 다시 방출될 수 있어 농도를 관리하는 것이 실질적으로 불가능하다. 또한 지역적 차이가 크지 않고, 온실가스로 인한 피해는 지구 전체에서 발생하기 때문에 관리가 어렵다. 따라서 온실가스 관리를 위해서는 배출원의 온실가스 물질의 배출량을 관리하는 것이 중요하다.

2. 미세먼지와 온실가스 감축 정책의 연계성

앞서 살펴보았듯이 각각 대상 오염물질이 다르고 중점관리 하는 방안이 상이할 수 있지만, 온실가스와 미세먼지는 상호 간의 영향을 받는 부분이 크다. 특히, 감축 수단을 공유하고 있다는 점에서 온실가스와 미세먼지는 감축 정책에 연관성이 높다. 하나의 감축 정책이 하는 두 물질을 동시에 저감할 수 있는 특징을 가지고 있어 온실가스 혹은 미세먼지 감축 정책 시행에 따라 공편익(Co-benefit)발생이 가능하다는 것이다(채여라 외, 2018).

기후변화와 미세먼지 문제에 대한 주요 원인은 화석에너지의 사용이 공통 요인이며, 이와 연관된 에너지 공급과 이용 관련 정부 정책은 두 문제를 동시에 해결이 가능하다. 예를 들면, 노후 석탄 화력 조기 폐지, 석탄발전소의 환경관리 강화, 재생에너지 보급 확대 등 발전부문의 정부 환경 정책은 온실가스 감축과 미세먼지 감축을 동시에 달성한다. 또한 친환경 자동차 보급, 자동차 배출허용기준 강화, 평균 에너지 소비효율 강화 제도 등 수송부문에서도 공편익 효과가 존재할 것으로 예상된다.

반면, 미세먼지 감축 정책이 항상 온실가스 감축을 동시에 발생시키는 것은 아니다. 예를 들면, 미세먼지 감축을 위한 LPG 승용차 보급은 온실가스 증가 논란을 일으키기도 한다. 편익의 상충 효과(Trade-off)가 있는 정책에 대한 검토가 필요하기도 하다.

미세먼지 저감 대책과 탄소중립 정책(온실가스 저감 정책)과의 연관성을 고려하여 배출원 관리를 통해 배출량 감축을 목표로 하는 주요 정책은 다음과 같이 4가지 유형으로 구분할 수 있다. 첫 번째 유형은 온실가스 감축과 미세먼지 감축을 동시에 목표로 하고 있으며, 공편익 가능성이 매우 높을 것으로 예상되는 정책 유형이다. 두 번째 유형은 미세먼지 저감 정책이나 온실가스 감축이 정책의 부산물로서 나타날 수 있는 정책 혹은 탄소중립 정책이나 미세먼지 저감이 정책의 부산물로서 나타날 수 있는 정책으로 공편익 발생이 예상되는 정책 유형이다. 세 번째 유형은 상호 연관성이 낮거나 거의 없을 것으로 예상되는 정책이며, 마지막으로 미세먼지(혹은 탄소중립) 정책이 온실가스(혹은 미세먼지) 배출을 증가할 것으로 예상되는 상충 효과가 있을 수 있는 정책으로 유형을 구분해 볼 수 있다.

세부적으로 에너지 공급과 연관된 감축 수단은 석탄발전 감축 및 폐지와 환경 급전 도입에 따른 효과는 온실가스 감축과 연관성이 매우 높고, 공편익이 발생할 것으로 예상된다. 산업부문에서는 사업장 배출허용기준 강화와 소규모 사업장 방지시설 지원을 통해 온실가스 감축과 높은 연관성을 가지고, 공편익이 발생할 것으로 예상된다. 수송부문에서는 도로이동오염원의 경우 노후 경유차 운행 제한, 배출허용기준 강화, 저공해차 보급과 충전인프라 조성, 대중교통 편의 증진, 비도로이동오염원의 경우 저속운행 해역 지정, 친환경 선박도 입, 친환경 연료 전환, 항만 인프라 개선, 공사장 노후 건설기계 사용 제한, 공항 미세먼지 저감 정책 등이 온실가스 감축과 연관성이 높고, 공편익 발생할 것으로 보인다. 다만, 노후 경유차의 저공해 조치는 온실가스 배출이 많은 차량 운행기한이 연장되고, 신규 차량과 무배출 차량의 구입을 연기할 가능성이 있으며, 경유세 인상은 차량 운행 거리를 단축하고 신차 구입을 유도하나 내연기관 차량의 구매가 증가할 경우 온실가스 저감과 증가가 동시에 일어날 수 있다고 보여진다. 생활 및 농축산업 부문에서는 축산분야 암모니아 관리와 목재 연료 관리 등이 연관성이 높을 것으로 예상된다.

반면, 주요 온실가스 감축 전략을 미세먼지 배출원 관리와의 관련성을 고려하여 연관성을 살펴보면, 수소경제 활성화, 수송부문의 바이오 연료 전환, 철도, 항공, 해운

<표 5-1> 미세먼지 관리종합계획의 온실가스 감축과의 관련성*

부 문	감축 수단	연료 제한/전환	활동도 조정	방지기 기술 도입	온실가스 연관성			
					동시 편익	온실가스 일부저감	온실가스 증가	관계 없음
에 너 지 공 급	석탄발전 감축 및 폐지	○			○			
	석탄 화력 설비개선 및 저탄장 옥내화			○		○		
	환경 급전 도입	○			○			
	소규모발전시설 관리			○		○		
	고농도 계절 집중 감축 조치		○	○		○		
산 업	총량제 시행					○		
	사업장 배출허용기준 강화	○			○			
	통합 환경 허가제 및 측정값 조작 방지			○		○		○
	사업장감시·단속			○		○		
	소규모사업장방지지설지원			○	○			
수 송	노후 경유차 퇴출					○		
	노후 경유차 저공해 조치			○		○	△	
	노후 차량 운행 제한		○		○			
	운행차 검사			○		○		○
	경유세 인상	○				○	△	
	신규 경유차 배출허용기준 강화				○			
	저공해차 보급 확대 및 충전 인프라 조성	○			○			
	대중교통 편의 증진		○		○			
	교통수요관리 강화		○			○		
	선박 연료 황 함량 기준 강화		○			○		
	배출규제해역 지정		○					○
	저속운행해역 지정		○		○			
	친환경 선박 도입	○			○			
	하역 장비 친환경 연료 전환		○		○			
	친환경 항만 인프라			○	○			
	비상저감조치 발령 시 항만 미세먼지 대응		○			○		○
	건설·농업기계 관리 강화			○		○		○
	공사장 노후 건설기계 사용 제한		○		○			
	공항 미세먼지 저감			○	○			
생 활	영농폐기물 불법 소각 방지		○			○		
	축산·경종분야 암모니아 관리			○	○			
	도심 난방시설 미세먼지 저감			○		○		○
	도로 및 건설공사장 비산먼지저감			○				○
	생활 속 휘발성유기화합물 관리			○				○
	도심 내 Eco-인프라 확충 및 숲 조성·관리			○		○		○
	목재 연료 관리		○		○			

자료: 저자작성

* △는 정책의이행에 따라 발생 가능성이 있으나 불확실성이 커서 추가 검토가 필요한 사안임

부문의 선진화 등이 중장기적으로 미세먼지 감축과 연관성이 높을 것으로 예상된다. 에너지 전환과 관련한 수상 태양광, 수 열에너지, 해상풍력 등 신재생에너지 보급과 무공해차의 보급 부문이 밀접한 연관성을 가질 것으로 보인다.

미세먼지와 온실가스 감축(탄소중립 정책)은 에너지의 공급과 수요에 있어 밀접한 관계를 가지며, 특히 연료를 연소하거나 화학적 반응이 공정 중에 있거나, 에너지를 원료로 사용하는 경우에 발생하는 오염물질의 배출량을 저감하는 상황에서 연관성이 높다. 이에 따라 관련 감축 정책들이 좀 더 높은 공편익을 가져다줄 수 있을 것으로 예상된다. 다만, 일부 정책은 온실가스 저감과 추가 발생이 동시에 일어날 수 있어 추가적인 검토와 연구가 필요할 것으로 보인다.

3. 탄소중립 이행과 미세먼지 감축을 위한 정책 방향 제언

미세먼지 정책과 온실가스 감축 정책은 몇 가지 사항에 대해서 차이점이 존재하기 때문에 정책 결정을 할 때는 면밀한 검토가 필요할 것으로 보인다. 우선 미세먼지는 농도가 지역별 영향을 크지만, 온실가스는 국내에서는 거의 차이가 없다. 따라서 이는 건강피해와 영향이 배출원과의 물리적 거리에 영향을 받는 미세먼지와 다르게 온실가스는 장기적이고 특정 지역 영향이 없다. 반면, 온실가스 배출로 비롯된 지구온난화로 인한 기후변화 영향은 지역별로 상이할 수 있다. 특히, 폭염이나 폭설 등은 지역 인프라 수준에 따라 그 피해 규모가 크게 차이가 난다. 또한 미세먼지 농도는 대기와 기상 상황에 따라 계절성을 가지고 있으며, 해외유입에 따라 영향이 크게 좌우될 수 있다. 따라서 미세먼지는 정책의 우선순위가 배출원 관리를 통해 배출량을 줄이고, 유입되는 물질 관리를 통해 지역 농도를 관리하여 건강 영향을 최소화하는 것이다. 반면에 온실가스 감축 정책은 국내에서 농도관리보다는 지구온난화의 속도를 늦추기 위한 국가적 관점에서의 온실가스 배출량을 줄이는 것이 최우선 목표이다. 지구온난화 등 기후변화로 인한 피해를 줄이기 위한 노력도 함께 고려되어야 하지만, 탄소중립과 온실가스 감축을 위해서는 시기, 지역, 해외유입 등 농도에서 비롯된 영향보다는 배출원에서 배출되는 온실가스의 양을 줄이는 것이 매우 중요하다. 또한 이를 위해서는 연소와 화학적 반응을 통한 배출이 많은 발전과 산업, 수송부문에서 발생하는 온실가스를 관리하는 것이 우선되어야 한다. 다만, 이 부문은 모두 향후 국가경쟁력이나 기간산업과 연관되어 있어 장기적인 관점에서 진행되고 있다.

다음으로 정책적 중복 가능성이 커 투입되는 인적 혹은 물적 자원이 중복으로 배분될 가능성이 높은 현황이므로, 정책과 계획 간 연계성에 대해 면밀한 검토가 필요한

시점이다. 특히, 기후-대기-에너지 정책 간 연계방안 마련이 필요한 시점이며, 단기 처방을 통해 해결되기 어려워 장기적 국가목표를 가지고 일관성 있게 지속할 필요가 있다. 또한 온실가스와 미세먼지를 연계하여 정책을 최적화할 경우에는 다양한 방안을 고려해볼 수 있다. 어떤 접근법을 통해 최적의 정책을 마련할 것인지 환경, 사회, 경제 분야를 포함한 정책결정자의 합의가 필요하며 이를 사전에 단계적으로 검토하는 것이 중요하다. 대표적인 접근법으로는 우선 배출량 최소 목표량 제약 조건에서 비용 최소화를 우선하는 방안, 예산 제약 조건 내에서 온실가스 및 대기오염물질 삭감량 최대화하는 방안, 온실가스와 대기오염물질을 감축한 총편익에서 총비용을 뺀 값인 순편익을 극대화하는 방안 등이다(채여라 외, 2018). 이상적으로 우리 사회가 달성해야 하는 목표에 가장 가까우면서도 비용 효과적인 정책의 조합을 찾는 것이 우선되어야 하나, 정책적 조합에 대한 정량적인 값을 산출하는 과정은 방법론 개발 등 연구개발과 함께 산출에 시간이 상당히 소요될 것으로 보인다. 특히, 화석연료의 사용을 단기적으로 없애는 것은 실제로 불가능하고, 사회적으로도 비효율적인 방법이다. 또한 온실가스 배출에 따른 영향은 장기적이며 간접적으로 나타나며, 정책적으로도 인센티브가 다른 정책들에 비해 작은 경향을 보이며, 경제성 분석 등에서 우선순위를 가지기 어렵다는 단점이 있다.

끝으로 향후 온실가스 감축과 연계하여 미세먼지 배출 저감의 중점 분야는 에너지 공급(발전)과 수송, 산업, 농축산 분야 순으로 온실가스 감축과 높은 연관성을 가지고, 공편익이 발생할 것으로 예상되는 정책이 우선되어야 한다. 이를 위해 석탄발전 감축 및 폐지와 환경 급전 도입을 우선하고, 노후경유차 운행 제한, 배출허용기준 강화, 저공해차 보급과 충전 인프라 조성, 대중교통 편의 증진, 비도로이동오염원의 경우 저속 운항해역 지정, 친환경 선박 도입, 친환경 연료 전환, 항만 인프라 개선, 공사장 노후 건설기계 사용 제한, 공항 미세먼지 저감 정책 등이 수송부문 정책으로 우선 도입되어야 할 것이다. 산업부문에서는 사업장 배출허용기준 강화와 소규모 사업장 방지시설 지원을, 생활 및 농축산업 부문에서는 축산분야 암모니아 관리와 목재연료 관리 등을 추진하는 것이 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

- 심창섭 외(2019), 「미세먼지 통합관리 전략 수립 연구」, 한국환경정책·평가연구원
 채여라 외(2018), 「미세먼지와 온실가스의 효과적 감축을 위한 기후, 대기, 에너지 정책
 연계방안: 발전, 수송 부문을 중심으로」, 한국환경정책·평가연구원

Park et al.(2020), An assessment of emission characteristics of Northern Hemisphere cities using spaceborne observations of CO₂, CO, and NO₂, Remote Sensing of Environment (254).

Policy Review for Achieving Carbon Neutrality and Reduction of Particulate Matter

Dong Won Shin

Carbon neutrality policies are interrelated with particulate matter management policies in various aspects. Considering the relation between climate change due to greenhouse gases and concentrations of particulate matter, the correlations between the components of greenhouse gases and those of particulate matter, and the fact that they share sources of emission, it is essential to build a linkage between the policies of each sector in order to reduce both carbon emissions and particulate matter. In particular, in a situation where there is a growing demand for greenhouse gas reduction both at home and abroad (e.g. policies for achieving carbon neutrality by 2050), it is now crucial to design effective and efficient policy measures to address various atmospheric environmental problems simultaneously. To achieve this, the management of the power generation, industry, and transport sectors should be considered a priority, where emissions from fuel combustion and chemical reactions occur in large volumes. Secondly, as there is a great possibility of overlap in the distribution of human and material resources due to overlapping policies, a thorough review of the linkage between the policies and action plans is required. Lastly, the priority areas for particulate matter reduction in connection with greenhouse gas reduction will be energy supply (power generation), transport, industry, and agriculture and dairy, and the policies that are expected to be closely associated with greenhouse gas reduction and to contribute to generating co-benefits should be implemented as a priority.

신재생만으로 불가능한 탄소중립: 원자력이 필수

정용훈*

1. 기후위기 대응은 해야하는데 화석연료를 버리기가 너무나 어려움

기후변화는 이미 위기로 표현되고 있다. 매년 이산화탄소 농도는 2ppm (백만분의 일)씩 증가하고 있어 이 속도를 유지한다면 10만 년 후면 산소가 모두 고갈되는 급격한 변화를 겪고 있다. 급격하다 표현한 이유는 운석 충돌과 화산폭발 등의 다양한 원인으로 지구상에 대멸종이 올 당시 산소농도의 변화 속도보다 수백 배 빠르기 때문이다. 적어도 수천만 년에 걸쳐 십 수 퍼센트의 변화가 발생해서 대멸종에 이르렀는데 지금은 십만 년에 20%의 산소가 모두 없어지는 무척 빠른 속도다. 물론 화석연료의 물리적 존재량은 산소를 모두 고갈시킬 만큼 충분하나 채굴의 한계가 있으므로 산소가 고갈될 때까지 화석연료를 태울 수는 없겠지만 급격한 대기 변화로 생태계는 위기에 처할 것이 분명하다. 화석연료에서 벗어나야겠는데 그게 쉽지 않다. 화석연료는 에너지 밀도와 가격 측면에서 너무나 매력적이기 때문이다.

연탄 1장 분량의 석탄을 태워 발생하는 연소열을 통해 얻을 수 있는 기계적 에너지는 100kg의 물체를 1m 높은 곳으로 올리는 일을 적어도 2만 번 이상 할 수 있다. 효율이 100%라면 6만 번 가능하겠다. 석탄 가격은 500원 수준이고 무게는 3kg 남짓 된다. 사람이 100kg짜리 물건을 1m 위로 올려놓는 일을 2만 번 해야 한다면 도대체 얼마를 받아야 적정 수준의 대가가 될까? 500원과는 비교가 될 수 없을 것이고, 500원의 1만 배나 10만 배를 생각해야 할 것이다. 이런 에너지 밀도와 경제성이 인력과 마력에서 화석연료로 전환된 산업혁명의 비결이다. 산업혁명 당시 국가가 석탄의 사용을 금지했더라도 어떤 수를 써서라도 사용하려고 했을 것이고 산업혁명은 일어나고 말았을 것이다. 반대로 석탄처럼 매력적인 에너지원이 아닌 밀도도 낮고, 가격도 비싼 에너지원을 정부가 보조금을 줘가면서 쓰도록 유도했더라면 산업혁명은 일어나지 않

* 現 한국과학기술원(KAIST) 원자력 및 양자공학과 교수
한국과학기술원 원자력 및 양자공학 박사

았을 것이다. 게다가 화석연료를 사용하기 시작한 초기에는 장작이나 말뚝보다 훨씬 친환경 연료였다. 우리나라 숲이 가꾸어질 수 있었던 비결도 1970년대 이후 사용이 늘어난 석탄 때문이었다. 석탄이 없었다면 4월 5일 식목일에 나무를 심고 그날 저녁 밥을 하기 위해 나무를 베어왔을 것이다.

오염물질이 아닌 것으로 생각했던 이산화탄소가 지금은 오염물질 수준의 농도로 올라왔다. 따라서 이제 화석연료가 아닌 다른 무엇인가로 전환이 일어나야 할 시기가 되었다. 그러나 여전히 화석연료는 에너지 밀도와 경제성에서 다른 대안보다 우위를 점하고 있다. 화석연료 대비 매력적인 대안이 없다면 전환이나 혁명은 일어나지 않을 것이다. 산업혁명 당시에는 그 누구도 산업혁명이라는 단어를 써가면서 혁명의 당위성을 내세우고, 보조금을 주면서 산업혁명을 추진하지 않았다. 화석연료에서 기계적인 일을 뽑아내는 기계가 만들어지고, 공장이 돌아가기 시작하면서 기업이 일어나고 결국 산업혁명이라 부르는 현상이 발생한 것이다. 산업혁명 당시에는 그 시기를 산업혁명이라 규정하고 안될 일을 억지로 드라이브하지 않았다. 일어날 일은 일어나게 된다. 마치 발열반응과 같이 초기에 활성화에너지만 조금 부여해주면 반응은 저절로 일어나고 에너지가 발생한다. 현재의 정책이 발열반응의 활성화에너지를 부여해주는 것인지 냉철하게 들여다봐야 한다. 만약 반응이 흡열반응이라면 막대한 활성화에너지를 넣어 반응을 일으키더라도 나오는 에너지는 내가 넣어 준 것보다 더 작다. 손해다. 결국 에너지를 계속 넣어주지 않는 한 반응을 지속할 수 없다.

2. 화석연료 대체의 주력 에너지원은 수력과 원자력

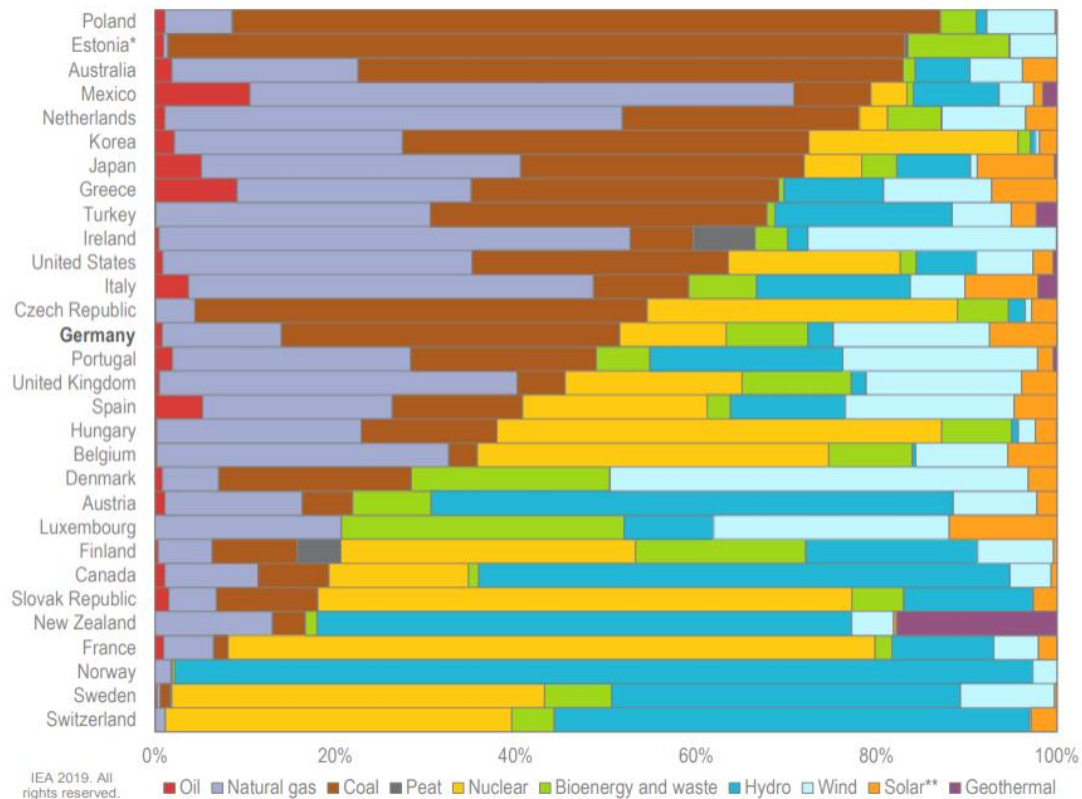
현재 대기 중 이산화탄소 농도는 410ppm을 넘었다. 지난 60년간 수력과 원자력이 석탄 대비 각각 16ppm과 12ppm을 줄여줬기 때문에 410ppm인 것이지만 만약 수력과 원자력이 없었다면 438ppm이 되었을 것이다. 반면 수력 이외의 재생에너지 기여는 2ppm에 그쳤다.

아래 그림에 주요 선진국의 전력생산원이 비중으로 표시되어 있다. 화석연료를 많이 사용하는 순서로 위부터 아래로 표시되어 있다. 폴란드, 호주, 멕시코, 네덜란드, 대한민국, 일본이 상위에 있고, 스위스, 스웨덴, 노르웨이, 프랑스 등이 하위에 있다. 화석연료 사용 비율 하위에 있는 나라들의 공통점은 수력과 원자력 중심의 에너지 믹스를 가지고 있다는 것이다. 스위스는 절반 이상을 수력에 의존하면서 40% 정도의 원자력을 사용하고 있다. 탈원전을 하겠다는 결정은 했지만 운영 중인 원전은 안전성이 확인되는 한 계속 사용한다는 입장이다. 스웨덴도 수력과 원자력 중심으로 구성하

고 있고, 프랑스는 원자력 중심으로 구성하고 있다. 노르웨이는 수력만으로 모든 전력을 공급한다. 이와 같이 자연환경에 따라 수력이 풍부하면 수력을 중심으로, 수력이 여의치 않다면 원자력을 사용하는 나라가 화석연료를 가장 적게 사용하는 나라들의 공통점이다.

덴마크가 예외적으로 풍력으로 절반의 전력을 생산하고 있다. 그러나 덴마크 전체 풍력 연간 전력 생산량이 APR1400 원전 1기가 1년간 생산하는 전력량보다 조금 많은 수준에 그치고 있어 규모가 너무 작아 대륙 단위 혹은 세계단위의 에너지 정책 방향에 참고하기에는 적절한 규모가 못 된다.

<그림 6-1> OECD 주요국의 전력생산원 비교(2018)



3. 에너지 믹스는 자연환경과 기술에 따라 나라마다 다름

노르웨이는 인구가 오백만 내외고, 수력자원이 매우 풍부하기 때문에 거의 모든 전력을 수력으로 생산하고 있다. 인구가 더 많았다면 불가능한 선택이었다. 그리고 수력자원이 대부분 눈으로 존재하고 있기에 유리하다. 수력자원이 눈으로 존재하기 때문에 1년 간 매우 고르게 수력자원을 사용할 수 있다. 산에 쌓인 눈이 차츰 녹으면서 지속적인 물 공급을 하기 때문에 작은 댐을 만들어도 충분하다. 반면 우리나라는 수

력자원이 여름 한 철 폭우의 형태로 공급되기 때문에 아무리 댐을 최대한 크게 지어도 저장의 한계가 있어 대부분 흘려보내야 한다. 인구가 적고 수력자원이 풍부하면 수력 외에는 다른 옵션은 생각하지 않아도 무방하다.

스웨덴은 비슷한 수력 자원을 가지고 있지만, 노르웨이보다 인구가 2배라 수력에만 전적으로 의존할 수 없다. 그래서 원자력을 활용하고 있다. 핀란드의 경우에는 수자원은 풍부하나 대부분 평지에 존재하고 있어 수력발전에는 무용지물이다. 그래서 핀란드는 원자력, 바이오, 수력을 총동원하여 쓰고 있다.

원전 건설을 완료하고도 핵무기 반대운동의 여파로 운영을 못 해본 오스트리아는 수력에 주로 의존하고 있다. 오스트리아 역시 규모가 작아 약간의 화석연료와 주변국에서 수입하는 전기로 공급이 가능하다.

우리나라와 일본은 수력자원이 충분치 않다. 특히 우리는 일본보다 더 열악한 환경이다. 따라서 두 나라는 원자력 외에는 뚜렷한 무탄소 전력원이 없다.

이처럼 나라마다 처한 환경이 다르므로 서로 다른 에너지 믹스를 구성하는 것이다. 다른 나라가 해서 우리도 한다는 것은 너무나 비약적 에너지 정책이다.

4. 간헐성 재생에너지로는 분명한 한계

지금까지 수력과 원자력이 무탄소 전력공급의 쌍두마차였다면, 앞으로는 여기에 태양광과 풍력이 가세해야 한다. 그러나 태양광과 풍력은 해가 있고 바람이 불어야 이용할 수 있는 간헐성을 띠고 있어 24시간 전력공급이 불가능하다. 우리나라 태양광의 경우 이용률이 15% 정도에 불과하다. 하루 24시간 중 4시간을 감당할 수 있다. 나머지 20시간은 다른 무언가에 의존해야 한다.

원자력이 아니라면 가스발전뿐이다. 그러나 가스도 화석연료로서 이산화탄소를 배출한다. 연소에 의해 나오는 것은 석탄의 약 절반 정도다. 그러나 채굴과 운송과정에서 강력한 온실가스인 메탄(천연가스의 주성분, 이산화탄소의 30배 온실효과)이 누설되므로 석탄과의 차이는 줄어든다. 게다가 태양광과 풍력의 간헐성에 장단을 맞추기 위해 출력을 내렸다 올렸다 하면서 효율이 떨어지게 되어 결국 석탄과 별 다를 바 없게 된다.

낮에 생산된 태양광 전력을 배터리에 저장해두었다가 사용하는 방법이 있긴 하지만 규모나 비용 측면에서 현실성이 없다. ‘탄소중립위원회 에너지 분과 전문위 의견 검토’ 자료에 따르면, 재생에너지 발전 비율을 61.9%로 늘릴 경우 전력저장장치(ESS) 구축에 최소 787조 원에서 최대 1,248조 원이 소요된다. 1,000조 원을 들여서 ESS를

구축해도 하루살이에 불과하다. 낮 동안의 잉여 전력을 저장해서 그날 밤에 사용하는 수준의 저장에 불과한 것이다. 2020년 여름 장마는 51일간 지속되었다. 7월 한 달간 비가 오지 않은 날이 거의 없을 정도였다. 앞으로 이런 장마가 더 자주 오고 더 길어질 것으로 예상된다. 만약 비 오는 10일 정도를 대비하기 위해 ESS를 만든다면 10,000조 원(1경 원)의 ESS가 구축되어야 한다. 수명이 10년 정도에 불과하니 매 10년마다 반복 투자되어야 한다. 우리나라 국가부채가 1,000조 원이고, 1년 예산이 600조 원인 것을 감안하면 불가능한 경제성을 가지고 있다.

5. 대안은 원자력을 포함한 에너지 믹스

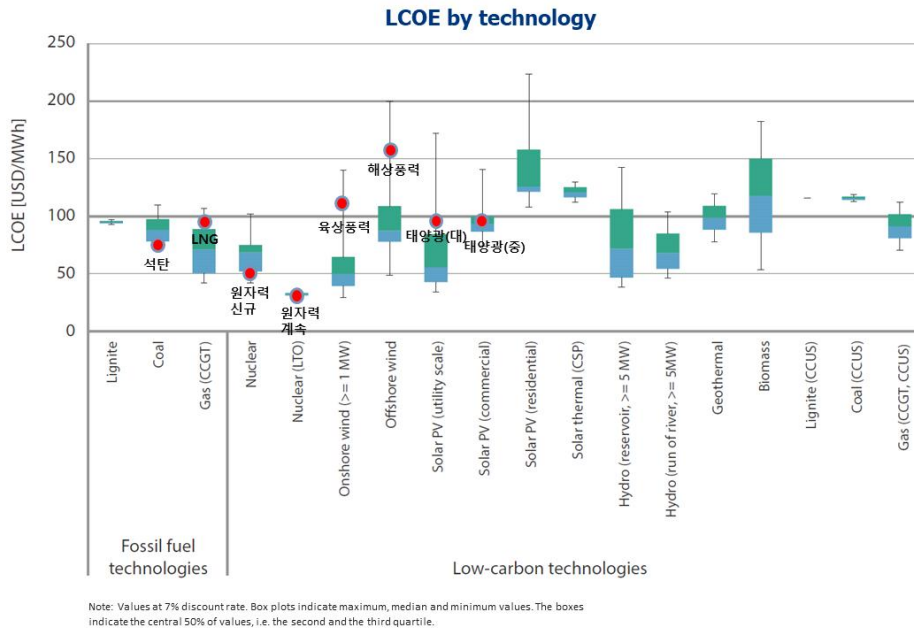
원자력은 20시간의 대안이 될 수 있다. 천연가스나 석탄 대비 충분한 경제성을 가지고 있으면서 온실가스를 배출하지 않는다. ESS보다는 훨씬 저렴하다. 앞서 이야기한 100kg 물건을 1m 올려놓는 일을 2만 번 하는데 필요한 에너지를 공급하는데 필요한 천연우라늄 가격은 15원 남짓이다.

국회 예산정책처가 2021년 9월 20일 발간한 '발전원가 기준 에너지 효율성 분석' 자료에 따르면 2020년 발전원가는 1kWh 기준 신재생에너지가 264.6원, 원자력 54원, 유연탄 83.3원, 무연탄 118.3원, LNG 126원 등으로 나타났다. 원자력이 가장 싼 화석연료인 유연탄보다도 훨씬 저렴한 것이다. 물론 흔한 오해와 반대로 원자력 원가에는 사용후핵연료를 관리 처분하고, 발전소를 해체하고 폐기물을 처분하는 모든 비용이 포함되어 있다.

앞으로도 우리나라에서는 원자력의 경제성은 지속적 우위를 보일 것으로 예상된다. 2025년에 새로 지어질 발전소의 균등화발전원가를 국제에너지기구(IEA)가 예측한 자료를 보더라도 원자력의 상대적 경제성은 재생에너지와 화석에너지 대비 월등히 우수하다. 세계평균으로 보면 원자력이 육상풍력이나 태양광과 비슷한 수준이나 우리나라의 경우 재생에너지 여건이 좋지 않고(풍질과 일조량이 좋지 않음) 원자력 발전소 자체 건설로 원전 경제성이 좋은 것으로 판단된다. 원자력 계속운전(Nuclear LTO (Long Term Operation))의 경우에는 세계평균으로도 재생에너지나 화석에너지 발전원가 대비 훨씬 저렴한 것으로 나타났다. 초기 건설비용이 회수된 이후의 40년 이상 80년 정도 운영되는 원전의 경제성이 태양광이나 풍력 대비 우수한 것은 자명하다.

경제성은 충분하나 태양광 풍력의 출력변동과 수요의 변동을 따라가면서 유연한 운전을 해야 한다. 최초의 상용원전의 모형은 잠수함에 사용되는 원자로였고, 현재도 수

<그림 6-2> 2025년 기준 신규발전소의 균등화발전원가*



백 개가 운영되고 있다. 잠수함이나 항공모함의 소요 출력변동을 유연하게 대응하고 있으므로 원자력발전은 태생적으로 유연 운전을 할 수 있다. 다만 우리나라는 기저부하의 역할만으로도 충분했으므로 유연 운전을 시행하고 있지는 않다. 최근에 태양광이 급증하면서 하루 정도 일부 원전의 출력을 줄인 적은 있다. 앞으로는 유연 운전을 시행해야 할 필요성이 있겠다.

프랑스, 독일, 캐나다 등은 지금도 원자력발전의 출력을 조절하면서 전력수요 변화를 맞춰간다. 프랑스는 원전 비중이 75% 정도로 높아 기저부하로 일정한 출력으로 24시간 운영할 수 없어 일부 원전을 부하추종을 위한 원전으로 지정하여 운영하고 있다. 우리나라도 원전 비중을 절반 정도 유지하면서 유연 운전을 통해 태양광 풍력의 간헐성을 보완해줄 필요성이 있다. 이 경우 필요한 ESS의 용량은 대폭 줄어들 수 있다. 배터리 대신 우라늄을 사용하는 것이므로 에너지 밀도만 봤을 때 원전이 배터리 대비 1백만 배 정도 밀도가 높다.

6. RE100은 현실이 아닌 장부상의 숫자일 뿐

RE100은 '재생에너지(Renewable Energy) 100%'의 약자로, 기업이 사용하는 전력량의 100%를 2050년까지 풍력·태양광 등 재생에너지 전력으로 충당하겠다는 목표의 국제 캠페인이다. 2014년 영국의 비영리단체인 기후 그룹(The Climate Group)과 탄

* 적색은 우리나라 수치

소공개프로젝트(Carbon Disclosure Project)가 처음 제시했다. RE100 가입 기업은 2021년 1월 말 기준으로 미국(51개), 유럽(77개)에 이어, 아시아 기업(24개) 등 총 284곳에 이른다고 한다. 2018년 기준으로 애플, 구글 등 30개 기업이 이미 100% 목표를 달성했다고 알려져 있다. 원청업체가 하청업체에 RE100을 맞출 것을 요구하는 등 환경 캠페인으로 시작한 RE100이 지금은 국가 간, 기업 간 새로운 무역장벽이 되고 있다.

그러나 RE100이 운영되는 방식을 보면 물리적으로 재생에너지만 100%를 사용하는 것과는 다른 의미다. 1) 자체 생산한 재생에너지 전력, 2) 그리드(전력망)에서 구매한 재생에너지 전력, 3) 재생에너지 크레딧을 구매한 양, 4) 타지의 재생에너지 사업에 참여한 지분, 5) 녹색 프리미엄 요금제로 사용한 양 등을 모두 합해서 기업이 사용한 전력량을 모두 채우면 100%라고 인정하는 방식이다. 즉 실제 물리적으로 재생에너지만 100% 사용한 것이 아닌 것이다. 1번을 제외한 2, 3, 4, 5번은 실제 사용한 전력의 출처와 무관한 것이다. 예를 들어 공장에서 사용한 전력이 100인데 전력시장에서 재생에너지 100을 구매하면 100% 재생에너지 전력 사용이라고 보는 것인데, 실제 그리드에서 끌어다 쓴 전력은 석탄, 천연가스, 원자력, 수력, 태양광, 풍력 등이 모두 섞여 있는 것이다. 전체 그리드를 재생에너지로 바꾸지 않는 한 물리적으로 100%는 달성할 수 없다.

RE100은 일부가 장부상 하겠다면 가능하지만, 모두가 하겠다고 하는 순간 바로 불가능한 것이 된다. 모두가 하겠다고 하는 순간 실제 전력생산을 100% 재생에너지로 하는 것 외에는 방법이 없는데 이것이 불가능하기 때문이다.

독일이 탈원전하면서 풍력의 비중을 높이면서 태양광도 추가하고 있다. 바람이 불지 않거나 밤에는 태양광과 풍력 대신 가스발전, 석탄 화력, 원전이 전력을 공급하고, 이마저 모자라서 수입을 하고 있다. 물론 낮에 많이 남을 때는 수출을 한다. 즉 수출입이 없이 독일 독자적으로 간헐성 재생에너지 비중을 높일 방법은 없다. 독일이 전력이 부족할 때 프랑스의 원전, 폴란드의 석탄 화력, 체코의 석탄 화력과 원전, 스위스와 스웨덴의 등의 수력의 도움을 받는다. 만약 프랑스, 폴란드, 체코 등 주변국이 모두 간헐성 태양광과 풍력 위주로 간다면? 전력이 남는 시간대에 같이 남고, 모자라는 시간대에 같이 모자라게 된다. 전력망이 성립하지 못하게 된다.

7. 원자력의 안전성과 친환경성은 재생에너지와 다르지 않음

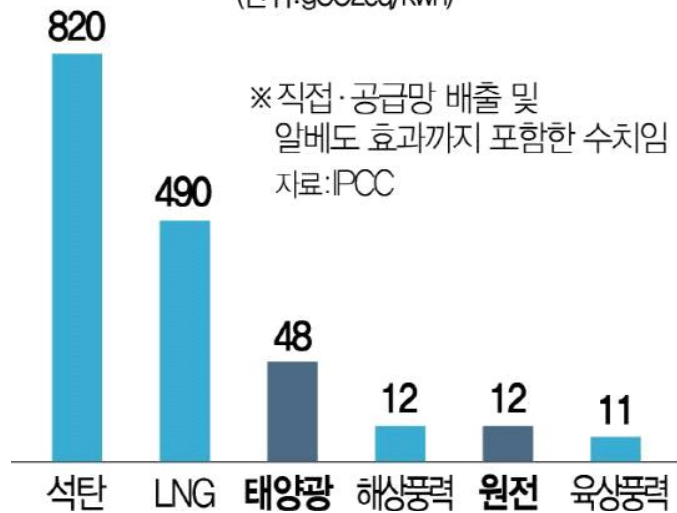
원자력발전은 발전과정에서 이산화탄소를 배출하지 않는다. 그러나 건설과 연료생

산에 에너지 사용이 수반되므로 작은 양이지만 간접 배출이 있으며, 재생에너지인 수력, 태양광, 풍력 모두 간접 배출을 수반한다. 원자력은 태양광 대비 1/4의 이산화탄소를 배출하며, 풍력과 비슷한 수준이다. 따라서 원자력의 친환경성은 재생에너지와 동등한 수준 혹은 그 이상이다.

<그림 6-3> 발전원별 생애주기 탄소 배출량(IPCC)

발전원별 생애주기 탄소배출량

(단위: gCO₂eq/kWh)



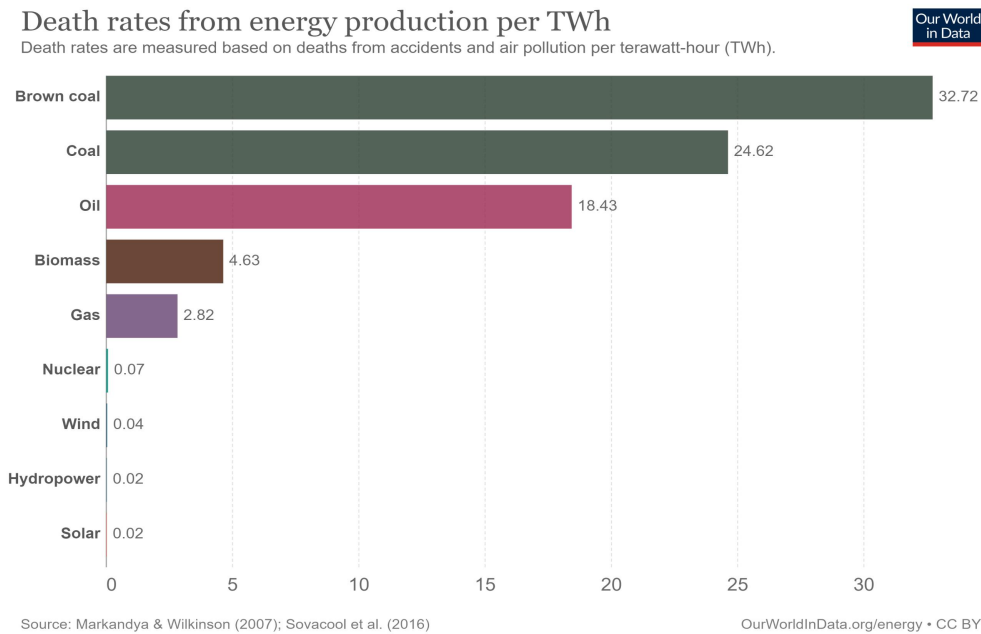
원자력 이용과정에서 배출되는 사용후핵연료는 재활용 후 처분하거나 바로 처분해야 한다. 지하에 처분하는 기술은 사용 가능한 방안이 있고, 스웨덴과 핀란드는 이미 건설단계에 적용하고 있으며, 프랑스 등은 처분장 선정 단계에 있다. 지하 처분 시 주된 방사성 물질인 핵분열생성물은 주로 반감기가 30년 이내라 300년 이상이 지나면 대부분 소멸된다. 나머지

반감기가 긴 것들은 물에 녹지 않고, 이동이 자유롭지 않아 처분 용기가 파손되는 상황이라도 지상의 환경에 미치는 영향은 무시할 수준이다. 30만 년 정도 지나면 이들은 지하에서 안정한 우라늄 등으로 바뀌어 처분장은 우라늄 광산과 같이 된다. 처분장 폐쇄 이후에는 관리가 필요하지 않고, 이동이 가능한 방사성 물질은 300년 정도면 소멸하므로 안전성과 환경성 측면에서 충분히 관리 가능하다.

사용후핵연료 처분 비용은 이미 전력 요금에 계상되어 적립되고 있다. 흔히 원자력은 사후처리 비용(사용후핵연료 처분, 발전소 해체, 폐기물 처분)이 포함되지 않아 경제성이 있는 것처럼 보인다고 오해하고 있으나 이는 사실과 다르다.

사고나 오염으로 인한 사망자 측면에서도 원자력은 재생에너지와 동등 수준이다. EU의 정책 결정에 필요한 정량적 평가를 담당하는 공동연구소(EU-JRC)가 친환경 기술을 분류하기 위해 내놓은 보고서에는 원자력의 생명 안전성이 해상풍력과 같은 수준이라고 기술하고 있다.

<그림 4-4> 발전원별 단위 전력생산당 사망률(TWh 당 사망자 수)



현재까지 방사선 피폭 사망자가 발생한 원전 사고는 체르노빌이 유일하다. 우리나라 원전은 격납 건물이 없는 체르노빌과는 근원적으로 달라 유사 사고가 발생할 가능성이 없다. 후쿠시마 사고에서는 외부누출은 있었으나 피폭량(사고 직후부터 생애 기간 총 피폭량)이 미미하여 암환자 증가나 사망자를 기대할 수 없다는 것이 UN 방사선 과학위원회와 WHO의 결론이다. 우리나라 원전은 후쿠시마 대비 격납 건물의 체적이 5배 정도 되어 후쿠시마와 같은 누출 사고가 발생할 가능성조차 현저히 낮다. 또한 우리 발전소는 침수 대비, 수소가스 발생 대비가 되어 있어 후쿠시마와 같은 사고 전개가 일어날 수 없다. 한 가지 짚고 넘어가야 할 사실은 지진으로 인해 원전에 사고가 발생한 적이 없다는 것이다. 동일본 대지진으로 일반건물이나 관공서 및 병원 등 다른 시설은 심각한 피해를 입었지만 내진 설계가 된 원전은 정상적으로 정지하고 냉각하고 있었다. 침수피해에 대비하지 못한 후쿠시마 원전 특성 때문에 이후의 사고가 전개된 것이다. 우리나라에서도 지진은 원전 안전에 타격을 줄 요인이 못되며, 침수 또한 사고로 이어질 원인이 되지 못한다. 사고가 나더라도 방사성 물질의 외부누출은 기대할 수 없다. 우리 원전과 설계가 같은 미국의 TMI-2 원전의 사고 예를 보

* 사고직후부터 평생 피폭량이 10~20mSv 수준으로서 우리나라 지역별 자연방사선 피폭량 차이 90mSv 에도 못 미치는 양임. 즉 우리나라 어느 지역에 거주하느냐에 따라 달라지는 방사선 피폭량 차이가 평생 90mSv인데 비해 후쿠시마 사고로 지역주민이 받을 평생 피폭량이 10~20mSv에 불과하므로 영향을 기대할 수 없음.

더라도, 노심이 녹는 심각한 사고가 발생했지만 방사성 물질의 외부누출은 없었다. 발전소도 오염되지 않았기 때문에 당시 카터 대통령이 사고 4일째 되는 날 마스크도 없이 발전소 내부 주제어실을 방문할 정도였다. 이 정도가 우리나라에서 일어날 수 있는 최악의 사고 결말이라고 할 수 있다. 이처럼 원전의 안전성과 환경성은 친환경 에너지 믹스에 원전을 포함하기에 충분한 수준이다.

8. 원자력과 재생에너지 모두 함께 가야 성공한다.

위에서 살펴본 바와 같이 재생에너지 100%는 얼핏 가능한 것처럼 보이지만 실현 불가능한 목표다. 현실적이면서 유익한 목표는 원자력을 포함하여 무탄소 100%로 가는 것이다. 구글은 RE100에서 한 걸음 더 현실적으로 나아가서 무탄소 100%를 추구하고 있다. 데이터센터는 24시간 365일 돌아가야 하는데 간헐성 재생에너지로는 운영할 수 없기 때문이다. 실제 실적을 보면 원자력과 재생에너지를 함께 추구하는 핀란드와 노스캐롤라이나의 데이터센터가 대만 대비 월등히 청정하다는 것을 알 수 있다. 핀란드는 원자력, 수력, 바이오 중심이고, 노스캐롤라이나는 석탄을 사용하고 있으나 원자력과 태양광을 같이 사용하고 있어 각각 97%와 67% 무탄소 전력을 사용하고 있다. 탈원전 정책을 유지하면서, 태양광을 늘리려 하고 있지만, 실질적으로 석탄과 가스에 의존하고 있는 대만은 16% 무탄소 전력을 사용하는 데 그치고 있다.

미래사회는 화석연료를 쓸 수 없는 사회가 될 것이다. 그러면 우리가, 특히 우리나라가 택할 수단은 원자력과 간헐성 재생에너지 둘 뿐이다. 수력이나 지열이 풍부하다면 큰 도움이 되겠지만 그런 환경이 아니기 때문이다.

우리나라는 원재료와 에너지를 수입해서 제품을 수출하는 수출 의존국이다. 화석연료를 쓰지 못할 미래에도 우리나라 에너지 비용은 수출품의 경쟁력과 결부된다. 수력이 풍부한 나라, 원자력을 중심으로 하는 나라와 경쟁할 때 우리 재생에너지만으로는 경쟁이 될 수 없다. 태양광 풍력도 다른 나라보다 비싼데다 ESS 하루치 정도가 1,000조 원인데 수출 경쟁이 될 수 없다. 재생에너지로 수소를 생산한다는 이야기도 하지만 여건 좋은 나라의 재생에너지 대비 풍량과 일조량이 절반에 불과하다는 것을 고려하면 재생에너지 기인 수소도 2배 비쌀 수밖에 없다. 이런 상황에 우리가 수소를 쓰게 된다면 우리는 수소 수입국으로 전락할 것이다. 화석연료 수입국에서 수소 수입국으로 종류만 바꿀 뿐 에너지 자립을 할 기회는 영영 잃어버리게 될 것이다.

우리가 잘하는 원자력을 지키면서, 앞으로 해야 할 재생에너지를 확충하는 것이 길이다.

참고문헌

IEA, Germany 2020 Energy Policy Review, 2020

IEA, Projected Cost of Generating Electricity, 2020

EU-JRC, Technical assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation (EU), 2021

Abstract

Renewables alone cannot be carbon-neutral: Nuclear power is essential

Yong Hoon Jeong

The climate crisis is a problem that must be addressed in this century. Unfortunately, there is no possibility of breaking through the climate crisis with renewable energy, especially intermittent renewable energy. Solar and wind are inherently intermittent, so there are times of the day that are usable and times that are not. In Korea, solar energy can only be used for 4 hours a day. Measures are needed for the remaining 20 hours. If nuclear power is excluded, only fossil fuels such as coal or LNG are left. 4 hours of sunlight and 20 hours of fossil fuel is the wrong combination from the beginning. Therefore, if nuclear power is excluded, the renewable electricity must be stored in batteries when it is left over, or stored as hydrogen and taken out when it is not available. The economic feasibility of the required battery or hydrogen production scale is at a level that is impossible to realize.

Nuclear power is on par with renewable energy in terms of the number of deaths and greenhouse gas emissions from accidents and pollution. And thus, it is reasonable to include nuclear energy in the eco-friendly energy mix.

Korea is an export-dependent country that exports products by importing raw materials and energy. Korea's energy costs are tied to the competitiveness of exports. When competing with countries with abundant hydropower and nuclear power, we cannot compete with renewable energy alone.

The way is to protect nuclear power, which we are good at, and to expand the renewable energy that we need to do in the future.

EU탄소국경조정메커니즘 논의와 경제적 영향

문진영*

1. 들어가며

국제 사회는 2015년 파리기후변화 협정을 도출했지만, 기후변화 대응에 대한 시급성과 이로 인한 위험이 커지고 있다. 2018년 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC)의 제48차 총회에서 발표된 ‘지구온난화 1.5°C’ 특별보고서는 파리기후협정 목표대로 지구 평균온도 상승 폭을 1.5°C 내로 제한하기 위해 2010년 대비 이산화탄소 배출량을 2030년까지 최소 45% 감축하고, 2050년까지 이산화탄소 배출만큼 이산화탄소를 저장하는 흡수를 통해 배출을 완전히 상쇄되는 순배출 제로가 필요하다고 제시하였다.

최근 국제 사회의 추세를 가장 단적으로 보여주는 사례는 2019년 12월 발표된 EU의 유럽 그린딜(European Green Deal)이다(European Commission, 2019). 2019년 12월 1일에 취임한 폰데어라이엔(Ursula Gertrud von der Leyen) 신임 EU 집행위원회 위원장은 새로운 성장전략으로서 유럽 그린딜을 통해 2050년까지 ‘최초의 탄소중립 대륙’을 표방하고 있다. EU는 그린딜 이행을 위한 세부 분야별 정책 대응 계획을 모색하고 있을 뿐만 아니라 탄소국경조정 논의를 본격화한다는 점에서 주목을 받고 있다. 즉 EU는 탄소 집약적인 상품의 수입에 더 많은 비용이 들도록 하는 메커니즘**을 통해서 EU뿐만 아니라 EU 이외의 다른 국가들도 탄소배출에 적정한 비용을 책정하여 지속 가능한 생산으로의 전환을 가속하겠다는 입장이다.

2021년 7월 14일 EU 집행위는 2030년까지 탄소배출량을 1990년 수준 대비 55% 감축하기 위한 입법안 패키지, ‘Fit for 55’를 발표하였다(European Commission, 2021b). ‘Fit for 55’는 12개 입법안 제·개정과 1개 기금 신설을 포함하고 있으며, 그

* 現 대외경제정책연구원(KIEP) 글로벌전략팀 연구위원

미국 University of Minnesota 응용경제학 박사

** 유럽 그린딜에서 Carbon border adjustment mechanism으로 지칭되고 있음.

중에서 탄소국경조정 메커니즘(Carbon Border Adjustment Mechanism, 이하 CBAM)의 도입을 위한 입법안(European Commission, 2021c)이 포함되어 전 세계적인 주목을 받고 있다.

2. CBAM 논의 경과

2019년 유럽 그린딜 발표 당시 CBAM에 적용될 산업을 2021년에 제안하겠다는 후속 조치를 포함한 바 있고, 이번 7월 EU집행위원회가 발표한 내용이 바로 그 후속조치 사항이다. 즉 EU가 2050년 최초의 탄소중립 대륙이라는 원대한 목표 하에서 여러 정책 및 프로그램 등을 중장기적으로 추진하고 있고, CBAM은 이를 뒷받침하는 수단으로서 고려되고 있는 것이다.

유럽 그린딜이 발표될 당시만 하더라도 파리기후협정을 탈퇴한 미국 트럼프 행정부는 기후변화에 대해 냉소적인 시각을 가지고 있었다. EU 단독으로 온실가스 감축 목표를 높일 경우 역내 기업 부담이 증가하는 반면, 상대적으로 환경 규제가 낮은 EU 역외에서 생산된 제품은 상대적으로 가격경쟁력을 확보할 수 있다. 경제학적으로 탄소누출의 위험으로 인해 EU 내부적으로 온실가스 감축을 하더라도 역외에서 오히려 탄소배출이 증가하게 되면 글로벌 전체적으로는 온실가스 감축이 이루어지지 않고, EU내부의 경제력 저하가 우려될 수 있다. 그래서 EU집행위원회는 수입 제품에 탄소배출 비용을 부과하여 EU 역내·외간 배출 부담의 차이를 좁히고, 공정한 경쟁 환경을 조성하겠다는 것이다.

여기에 지난해부터 전 세계를 휩쓸고 있는 코로나19의 영향에서 벗어나기 위해 각국이 대규모 경기 부양자금이 필요한 상황에서 EU 역시 향후 CBAM을 재원 마련의 한 수단으로도 고려하고 있다. 지난해 7월 EU 정상회의에서 각국 정상은 1조 740억 유로 규모의 향후 7년간 지출 예산과 7,500억 유로의 경제회복기금을 조성하기로 합의하였고, 예산 마련을 위해 기존의 전통적인 재원 이외에도 단계적으로 플라스틱세, 탄소국경세 등을 도입할 계획임을 표명하였다.

EU 집행위원회는 탄소국경조정제도 도입과 관련하여 이해관계자의 의견을 청취하는 절차(public consultation)를 2020년 7월 22일부터 10월 28일까지 진행한 바 있다. 청취 절차는 온라인 설문지 작성 형태로 진행되었으며, 설문 내용은 탄소국경조정제도의 실행방안, 제도의 잠재적인 효과, 우선적으로 적용되어야 할 분야 등을 포함하였다. 탄소국경조정 청취에 609개 응답이 제출되었고, 이중 EU 내 응답이 507개도 대부분의 비중을 차지하고 있다. CBAM의 도입 취지는 이해하고 있었으나 제도의 도

입방식에서는 이견이 확인되었다. EU는 세계무역기구(WTO) 규정 및 주요 국제협약을 준수하면서 제도를 도입하겠다고 밝혔으나 주요 개도국은 1992년에 채택된 UN기후변화협약 원칙(제3조)을 인용하며 국제 무역에서 차별적인 수단으로 CBAM이 적용될 경우를 우려하고 있다.

3. CBAM 입법안 주요 내용과 쟁점

금번 CBAM 적용 대상 상품은 5개 품목(철강, 알루미늄, 비료, 시멘트, 전기)로서 부속서 I에 포함된 해당 품목들은 현재 EU ETS에서 2021년에서 2030년 사이 탄소누출 위험이 있다고 판명한 63개 리스트(Official Journal of the European Union, 2019)에 비하면 매우 일부 대상만 포함되었다. 따라서 탄소누출 위험이 가장 많이 노출된 부문을 우선 적용하며, 생산공정에서 발생한 직접 배출만 적용하였다. 생산에 필요한 전기나 열 등에서 발생하는 간접배출은 포함되지 않았고, 적용 대상 산업부문에 해당하는 재료를 사용하여 생산된 하류제품에도 적용되지 않았다. 그러나 EU 집행위는 적용상품 범위를 확대하거나 축소할 권한을 가지고 있다. 입법안 30조 2항에 명시된 것처럼 집행위는 향후 간접배출과 적용대상 상품의 확대 가능성을 평가하는 보고서를 EU 의회와 이사회와 제출할 예정이며, 제도를 시행하면서 향후 적용 대상 및 배출 범위가 확대될 가능성이 잠재되어 있다.

EU 회원국이 지정한 권한 당국에 의해 승인된 수입업자, 즉 ‘승인된 신고인(authorised declarant)’만이 CBAM 적용 대상 상품을 EU로 수입할 수 있다. 신고인은 매입·제출 의무가 적용되는 CBAM 인증서의 수량이 결정될 수 있도록, 매년 5월 31일까지 신고서를 권한 당국에 제출해야 하며, 신고서에는 △ 상품 유형별 수입 총량 △ 수입상품에 내재된 탄소배출량 △내재된 탄소배출량에 상응하는 CBAM 인증서 수량 등에 대한 정보가 포함되어야 한다. 내재된 탄소배출량은 부속서 III에 명시된 산정방식에 기초하며 제품 생산에서 발생한 직접 배출을 의미한다.

실제 배출량 자료가 가용하지 않을 경우, 각 수출국의 해당 상품 배출집약도 평균치를 기본값(default)으로 설정하지만 수출국에서 믿을 만한 데이터가 없다면 EU 내 최하위 시설 10%의 배출집약도 평균치에 기초하여 산정(부속서 III, 4.1항)하도록 되어있다. 따라서 수출국의 자료 가용여부 및 수출국의 신뢰받을 수 있는 자료 확보가 우선시되고 있다. EU내 하위시설 10% 자료를 적용한다는 부분도 향후 수출국에서 문제를 제기할 수 있는 쟁점이다.

<표 7-1> EU 집행위 CBAM 입법안 조문구성

장	조	제목	장	조	제목
제1장 적용 대상, 범위 및 정의	제1조	적용대상	제5장 상품의 국경관리	제25조	상품수입 시 국경에서의 절차
	제2조	범위			
	제3조	정의	제6장 집행	제26조	과태료
제2장 상품에 대한 '승인된 신고인'의 관리·의무	제4조	상품의 수입		제27조	우회
	제5조	승인을 위한 신청	제7장 위임권한의 행사 및 이사회 절차	제28조	위임권한의 행사
	제6조	CBAM 신고		제29조	위원회의 이행권한 행사
	제7조	내재 탄소배출량의 산정			
	제8조	내재 탄소배출량의 검증	제8장 보고 및 재검토	제30조	위원회에 의한 보고 및 재검토
	제9조	원산지국에서 지불된 탄소가격			
	제10조	제3국 운영자 및 시설 등록			
제3장 권한당국	제11조	권한당국	제9장 EU ETS하 배출권 무상할당과의 조정	제31조	EU ETS 내 무상할당과 CBAM 인증서 제출 의무
	제12조	위원회			
	제13조	직무상 비밀 및 정보공개			
	제14조	국가등록부와 중앙 데이터베이스			
	제15조	중앙 행정청	제10장 경과조항	제32조	범위
	제16조	국가등록부예의 계정		제33조	상품의 수입
	제17조	신고인에 대한 승인		제34조	특정 관세절차를 위한 보고 의무
	제18조	검증인의 공인		제35조	보고 의무
	제19조	CBAM 신고의 검토			
제4장 CBAM 인증서	제20조	CBAM 인증서의 판매	제11장 최종조항	제36조	발효
	제21조	CBAM 인증서의 가격	부속서 I	상품 및 온실가스 목록	
	제22조	CBAM 인증서의 제출	부속서 II	이 규정의 범위 밖에 속하는 국가 및 영역	
	제23조	CBAM 인증서의 재구매	부속서 III	내재 탄소배출량의 산정방법	
	제24조	CBAM 인증서의 소각	부속서 IV	내재 탄소배출량 산정을 위한 자료 기록보관 요건	
			부속서 V	검증원칙 및 검증 보고서의 내용	

자료: 이천기 외(2021).

신고인은 수입하는 CBAM 대상품목의 이전 연도 내재배출량에 상응하는 인증서를 매년 구매하고 제출해야 한다. CBAM 인증서는 각 EU 회원국이 권한 당국이 신고인

에게 판매하며, EU 집행위는 매주 EU ETS 종가(closing price) 평균치를 인증서 가격으로 산정한다. 또한 신고인은 매분기말 최소 80%의 내재 배출량에 상응하는 CBAM 인증서를 신고인의 국가 등록부 계정에 보유해야 한다. 신고인은 인증서 연례 제출 후에 남아있는 초과분의 인증서를 권한당국이 구매하도록 요청할 수 있지만, 이전 연도에 신고인이 구매한 총 인증서의 1/3까지만 권한당국의 재구매하며 수입업자가 구매시 지불한 가격이 적용한다. 그 외 신고인의 국가 등록부에 남아있는 인증서는 매년 6월 30일까지 소각된다.

결국 EU ETS에 연계하여 CBAM 인증서 가격이 결정되나, 시장의 수급요인에 따라 결정되는 배출권 가격 중에서도 주간 평균가격에 기초한다는 점에서 신고인으로서의 잠재된 인증서 가격의 변동성 위험에 노출되어 있다. 매 분기 계정에 80%에 이르는 인증서를 보유하는 부담에 비해, 추후 권한당국이 재구매 수량도 한정되어 있다는 문제도 있다. 수출국에서 이미 지불한 탄소가격만큼 인증서 수를 감면해줄 여지가 있고, EU는 제3국의 탄소가격제도를 고려하기 위해 해당국과의 협정을 체결할 수도 있다는 점에서 향후 여러 수입국에서 자신들의 탄소가격제를 인정받기 위한 대응방안을 모색하면서 EU와 협의에 나설 가능성이 크다.

CBAM은 2023년부터 3년간의 과도기를 설정하고, 2026년 1월 1일부터 전면 시행을 계획하고 있다. 과도기간 동안 수입업자는 2026년 1월 1일 이전에는 CBAM으로 인한 직접적인 경제적 부담 없이 자신이 수입하는 상품의 실제 내재 배출량을 모니터링하고 분기마다 보고할 의무만을 부담해야 한다. 수입상품에 대한 CBAM 인증서 매입, 제출 의무는 2026년부터 적용된다. 인증서 매입 의무가 과도기간에는 적용되지 않는다고 하더라도 당장 2023년부터 배출량 등 관련 정보를 어떻게 보고할 것인지에 대한 부담이 상존하고 있는 것이다.

4. CBAM 도입의 영향

CBAM 입법안의 영향을 아직은 직접적으로 분석하기에는 제한된 자료와 분석의 한계가 있다. 지난해 저자는 탄소국경조정메커니즘의 도입의 영향을 관세형식으로 추정하여 분석한 바 있다. EU의 수입에 내재된 이산화탄소 배출량 1톤당 일정 금액을 부과한다면 탄소국경조치를 인한 추가적인 관세율의 상승 폭을 분석하였다.

먼저 수입에 내제된 이산화탄소 1톤에 대해 수출국이 지불해야 되는 과세액으로서 OECD가 주요국별 유효탄소가격(ECR)*을 비교하기 위해 사용하고 있는 기준 가격(benchmark rates)을 활용하였고, 배출에 따른 피해의 최저 추정치로 언급된 30유

로/톤CO₂(약 36달러/톤CO₂)를 고려하였다. 탄소국경조정이 적용될 주요 부문으로는 EU의 역외 수입 의존도가 높아 무역수지 적자를 기록하고 교역에 내재된 이산화탄소 배출량이 많은 △기계 및 장비류, △화학 및 비금속, △금속, △석탄 채굴, 원유·천연가스 추출 등을 포함하였다.

〈표 7-2〉 EU의 부문별 수입에서 내재된 이산화탄소 관세를 추정치*

(단위: 10억 달러, CO₂ 백만 톤, %)

국가	기계 및 장비류				화학 및 비금속			
	(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(d)
중국	232.39	131.89	4.748	2.0	44.19	51.94	1.870	4.2
러시아	1.16	1.13	0.041	3.5	42.77	52.54	1.891	4.4
미국	74.42	6.23	0.224	0.3	95.50	22.77	0.820	0.9
인도	6.02	7.01	0.252	4.2	13.52	12.27	0.442	3.3
터키	11.14	4.54	0.163	1.5	8.90	4.92	0.177	2.0
한국	22.35	5.17	0.186	0.8	11.37	4.24	0.153	1.3
일본	41.59	5.32	0.191	0.5	14.83	3.73	0.134	0.9
노르웨이	3.31	0.31	0.011	0.3	9.17	1.14	0.041	0.4
스위스	31.65	4.64	0.167	0.5	49.62	4.36	0.157	0.3

국가	금속				석탄 채굴, 원유·천연가스 추출			
	(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(d)
중국	29.94	42.03	1.513	5.1	0.03	0.03	0.001	2.6
러시아	15.27	22.97	0.827	5.4	87.46	52.91	1.905	2.2
미국	16.45	5.96	0.215	1.3	7.12	1.43	0.052	0.7
인도	5.21	12.22	0.440	8.4	0.00	0.00	0.000	0.0
터키	9.45	10.25	0.369	3.9	0.42	0.48	0.017	4.1
한국	4.94	3.76	0.135	2.7	0.00	0.00	0.000	0.0
일본	4.38	1.47	0.053	1.2	0.01	0.00	0.000	0.0
노르웨이	6.82	1.75	0.063	0.9	44.12	9.11	0.328	0.7
스위스	19.77	0.90	0.032	0.2	0.07	0.00	0.000	0.0

자료: OECD Stat., “BTDIxE Bilateral Trade in Goods by Industry and End-use, ISIC Rev.4,”
 OECD. Stat., “Carbon dioxide (CO₂) emissions embodied in international trade (TECO₂),”

- * Effective Carbon Rate. ‘에너지 사용으로 인해 발생한 이산화탄소 배출량에 대해 시장 기반의 정책 수단으로서 적용한 가격의 합계’를 의미함.
- * 표에 기재된 (a)~(d)는 각각 (a) 2014~18년 연평균 수입액(십억 달러), (b) 2015년 수입에 내재된 이산화탄소 배출량(백만 톤), (c) 과세 금액(십억 달러), (d) 관세를 추정치(%)를 의미함.

위의 <표 7-2>은 EU가 역외 국가로부터의 수입에 내재된 이산화탄소 1톤당 '30유로를 부과했을 경우에 각 부문별 추가적인 관세율 추정치를 도출한 결과이다. 관세율 추정치란 EU와 역외 국가 간 연평균 수입액(2014~18년)과 수입에 내재된 이산화탄소 배출량(2015년)을 토대로 과세로 인해 발생하는 추가 비용을 살펴봄으로써 간접적으로 산출한 관세율을 의미한다.

중국이나 인도, 러시아 등이 부문별로 부담할 관세율이 상대적으로 높은 것으로 분석되었다. 우리나라의 경우 관세율 추정치가 높은 분야는 금속(2.7%), 화학 및 비금속(1.3%), 기계 및 장비류(0.8%) 등의 순이었다. 분야별 관세율 추정치는 대체로 중국, 인도보다는 낮고 미국, 일본, 노르웨이, 스위스 등보다는 높은 수준이었다.

4. 결론

2050년 최초의 탄소중립 대륙을 목표로 한 EU 청사진에 변화가 없는 한 일부 품목을 중심으로 시행가능한 품목 및 집계 가능한 데이터에 기초하여 CBAM이 도입될 가능성이 매우 높다. WTO 위반 여부에 대해 EU 집행위는 WTO 협정에 완전히 합치한다는 입장이다(European Commission, 2021a). EU 집행위의 입법안은 모든 EU 회원국의 승인을 받아야하고, 개도국을 중심으로 한 반발로 일부 내용 등에 있어서 수정될 가능성이 있지만, 탄소중립 대륙을 추구하는 EU 청사진에 변화가 없는 한 CBAM은 어떠한 모양으로든 출범을 앞두고 있다고 볼 수 있다. 특히 금번 제도를 도입을 계기로 향후 다른 부문으로의 확대 등을 염두해 둘 수 있기 때문에 제도의 초기 설계 및 대응은 비단 금번 CBAM이 적용되는 5대 분야에 한정되지 않는다.

EU 등 주요국이 우리나라와의 교역에 내재된 이산화탄소 배출량에 대한 수입 규제를 도입한다면, 그 영향은 국내외에 걸쳐 다양한 방식으로 나타날 것이다. 그러나 한 가지 분명한 점은 이러한 규제가 우리나라의 수출기업에 상당한 비용 부담을 전가할 것이며, 우리 기업의 경쟁력 약화로 이어질 수 있다는 점이다. 따라서 탄소국경조정제도와 같이 교역에 내재된 탄소 배출을 규제하려는 주요국의 동향을 꾸준히 모니터링할 필요가 있다. 이미 탄소국경세 도입을 선언한 EU에 대해서는 EU 차원 및 개별 회원국 차원으로도 긴밀히 소통함으로써 사전에 효과적인 대응 방안을 마련할 수 있도록 대비해야 한다. EU가 이러한 제도에 대해 외부 의견을 수렴하는 절차에도 적극 참여하고, 우리나라의 기후변화 대응 노력을 홍보함으로써 우리에게 좀 더 우호적인 제도가 도입될 수 있도록 유도해야 할 것이다.

기업 역시 정부의 대응만을 기다리며 소극적으로 임하기에는 당장 인증서 보고 부

담이 눈 앞에 다가와 있다. 민간 사업장의 탄소배출량 측정과 배출량 자료 관리 능력을 강화하고, CBAM 관련 수출 행정 및 인증 절차를 숙지하는 한편 장기적으로는 탄소배출을 감축할 수 있는 공정 개선과 저탄소 고부가가치 제품으로의 수출 품목 전환도 필요하다.

정부는 국내에서 시행중인 제도 등이 EU의 환경 기준과 동등성을 인정받을 수 있도록 노력하고 제도를 보완할 필요가 있다. CBAM 감면을 위해 제3국과 협정을 맺을 수도 있다는 EU의 입법안 대로 우리의 온실가스 감축 노력이 EU와 공유될 수 있도록 노력하면서 민간의 CBAM 대응에 필요한 시스템 구축 및 제도적 지원 방안을 적극 모색할 시점이다.

참고문헌

이천기 외(2021), EU 탄소국경조정 메커니즘에 대한 통상법적 분석 및 우리산업에의 시사점.

KIEP 오늘의 세계경제. Vol. 21. No. 15

European Commission. (2019).The European Green Deal. COM(2019) 640 final.

European Commission. (2021a). Carbon Border Adjustment Mechanism: Questions and Answers. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_21_3661.

European Commission. (2021b). Fit for 55': delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality. COM(2021) 550 final.

European Commission. (2021c). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a carbon border adjustment mechanism. COM(2021) 564 final.

OECD Stat. "BTDIxE Bilateral Trade in Goods by Industry and End-use, ISIC Rev.4,"

OECD Stat. "Carbon dioxide (CO₂) emissions embodied in international trade (TECO₂),"

Official Journal of the European Union. 2019. Commission Delegated Decision (EU) 2019/708 of 15 February 2019 supplementing Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council concerning the determination of sectors and subsectors deemed at risk of carbon leakage for the period 2021 to 2030

Abstract

Carbon Border Adjustment Mechanisms: Overviews and Economic Impacts on Korea

Jin Young Moon

In order to promote the European Green Deal to achieve carbon neutrality in the region by 2050, the EU has established action plans for most sectors and carbon border adjustment mechanism. The Commission have intended to propose a CBAM for selected sectors, to reduce the risk of carbon leakage. European Commision announced Fit for 55 last July, 2021. The proposal contain the details of CBAM. The proposal of CBAM contains provisions on obligations and rights of declarants of goods, competent national authority, CBAM certificates. Thought the proposal consider applying limited good with high risk of carbon leakage, there is high possibility the CBAM will be applied to other major industries. Therefore, the government and private sector need to continuously monitor the progress of CBAM and prepare to full implementation of the CBAM.

미국과 한국의 탄소중립 정책 추진현황과 한미동맹에 대한 함의

손병권*

1. 들어가면서: 2050 탄소중립의 등장

코로나 팬데믹이 기승을 부리는 가운데 2020을 전후하여 ‘탄소중립’(carbon neutrality) 선언이 세계적 추세 가운데 하나가 되었다. 특히 금년 독일, 벨기에, 네덜란드 등 유럽의 폭우, 미국과 캐나다 등 북미주와 호주의 폭염과 산불 등이 언론에 크게 보도되면서 기후변화의 폐해가 더욱 주목을 받기도 하였는데, 이와 발맞추어 세계 각국이 탄소중립을 선언하면서 지구온난화 현상에 대한 경각심이 높아지고 있다. 이 글은 이러한 세계적 추세 속에서 미국과 한국의 탄소중립 정책의 추진현황을 먼저 살펴보고, 이어서 이러한 탄소중립이 한미동맹에 던져주는 함의에 대해서 생각해 보고자 한다.

최근 각국이 탄소중립을 선언하는 세계적 추세는 온실가스 배출량을 감축하고자 하는 과거의 통상적 시도와는 성격이 다르다. 탄소중립은 단순한 온실가스 감축을 넘어서서 2050년까지는 이산화탄소 순배출량이 ‘0’이 되도록 하자는 매우 도전적인 프로젝트이다. 소위 ‘넷제로’(net zero)로도 불리는 탄소중립은 온실가스를 점진적으로 줄여 가는 것을 넘어서서 2050년까지 온실가스의 배출량과 온실가스의 감축분이 합쳐서 0이 되도록 하자는 매우 과감한 구상이라고 할 수 있다.

그렇다면 2050년까지 이산화탄소 순배출량의 소멸을 추진하는 탄소중립 논의는 어떻게 등장한 것인가? 이 점을 살펴보기 위해서는 유엔 기후변화협약(UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change)과 관련된 두 가지 사항에 주목해야 한다. 첫 번째는 2015년 파리기후회의(제21차 유엔 기후변화협약 당

* 現 중앙대학교 정치국제학과 교수
미국 University of Michigan 정치학 박사

사국회의)에서 채택된 기후협정(Paris Agreement)의 협정문 규정과 당사국 총회 결정문에 따라 ‘장기 저탄소 발전전략’(LEDS: Long-term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategies)를 2020년까지 유엔에 제출하는 것이고, 두 번째는 2018년 발표된 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)의 ‘지구온난화 섭씨 1.5도 특별보고서’(Special Report: Global Warming of 1.5°C)의 내용이다.

파리 기후협정 체결 당시 협정문과 총회 결정문은 2020년 말까지 장기 저탄소 발전전략을 유엔에 제출하도록 규정하고 있는데, 이에 따라 각국이 자국의 장기 온실가스 감축전략을 유엔 기후변화협약 사무국에 제출하면서 이에 발맞추어 2050년 탄소중립을 선언하기에 이르렀다. 이와 함께 2018년의 특별보고서에서 기후변화에 관한 정부간 협의체는 현재의 지구온도 상승 추세가 지속되면 위험 임계치인 1.5°C의 상승이 2030년과 2052년 사이에 도달될 가능성이 있다고 발표하였다. 또한 협의체는 이를 방지하기 위해서는 2030년까지 세계적으로 온실가스 배출량을 2010년 기준으로 적어도 45% 감축하고 2050년까지는 순배출량은 0의 수준으로 만들어야 한다고 권고하였다. 이처럼 파리 기후협정의 규정에 따라, 그리고 기후변화에 관한 정부간 협의체의 특별보고서가 발간되면서 세계 각국은 ‘기후변화’(climate change)를 ‘기후위기’(climate crisis)로 보기 시작했는데, 이것이 각국이 2050 탄소중립의 서둘러 선언하는 배경이 되었다.

2. 미국의 탄소중립 정책의 추진현황

1) 트럼프 퇴진 이후 기후변화 정책의 부활

2017년 트럼프(Donald Trump) 행정부가 등장하여 파리 기후협정에서 탈퇴하고 전임 오바마(Barack Obama) 행정부 당시에 추진되었던 청정전력계획(Clean Power Plan) 등 기후변화 정책을 폐기하면서 기후변화 문제에 대한 미국의 노력은 4년간 암흑기를 겪을 수밖에 없었다. ‘미국을 더욱 위대하게 만들자’(MAGA: Make America Great Again)라는 구호 하에 백인 민족주의와 반세계화 정서에 편승한 트럼프 대통령은 오바마 대통령이 중국과 인도 등과의 협상을 통해서 어렵게 구축한 2015년의 파리 기후협정에서 탈퇴함으로써 지구온난화에 대응하려는 세계적 노력에 찬물을 끼얹었다.

그러나 2020년 대선에서 민주당의 바이든(Joe Biden) 후보가 승리하면서 미국이 다

시 국내외적으로 기후변화 문제에 대해 적극적으로 대처할 것이라는 기대감이 생겨나기 시작했다. 바이든은 민주당 대통령 후보 시절 선거운동에서 2035년까지 발전(發電)분야에서 온실가스 배출을 없애고 2050년까지 탄소중립을 달성하겠다고 공언한 바 있었다. 또한 그는 자신이 당선되면 취임 첫해에 세계 각국의 지도자들과 기후정상회의를 개최한다고 천명하여 미국이 기후변화 대처에 있어서 다시 한번 국제적 리더십을 발휘할 것이라는 의지를 표명하기도 했다(“The Biden Plan for Clean Energy Revolution and Environmental Justice”; “The Biden Plan to Secure Environmental Justice and Equitable Economic Opportunity”).

이러한 공약을 실현하기 위해 2021년 1월 20일 취임 직후 바이든 대통령은 파리 기후협정에 즉각적으로 재가입했는가 하면, 4월 22일에는 화상으로 기후정상회의를 개최하여 기후변화에 대해 대처하겠다는 미국의 결의를 확인하고 각국의 동참을 호소하기도 하였다. 이와 함께 2005년 대비 50% 정도 수준으로 온실가스를 감축하는 2030년 국가 온실가스 감축안을 유엔에 제출하겠다고 발표하기도 했다(“Remarks by President Biden at the Virtual Leaders Summit on Climate Opening Session”). 이와 함께 청정에너지 경제로의 전환, 청정일자리 창출, 정의로운 전환 등을 추구하는 미국 일자리 법안(American Jobs Act)을 상원에서 8월 10일에 통과시켰고, 향후 사회안전망과 기후문제를 동시에 다루는 더 나은 재건 법안(Build Back Better Act) 등도 하원을 통해서 추진하고 있다.

2) 시민운동과 선거정치를 통한 공론화

미국의 탄소중립은 ‘그린 뉴딜’(Green New Deal)이라는 넓은 틀 안에서 먼저 시민단체와 시민사회의 활동을 통해서 확산되기 시작했다. 원래 ‘뉴딜’(New Deal)은 1930년대 루스벨트(Franklin D. Roosevelt) 대통령이 대공황(Great Depression)을 극복하기 위해 과감한 재정정책을 통해 실업, 복지 등의 문제를 해결하기 위한 연방정부의 정책이었는데, 기후위기에 대한 적극적 대처를 촉구한 미국의 시민사회는 기후위기의 극복과 청정 일자리 창출, 그리고 기후변화의 충격에 취약한 계층의 보호와 정의로운 전환을 위해 그린 뉴딜이라는 새로운 국가적 동원노력이 필요하다고 주장하였다. 트럼프 행정부 당시 지구온난화 대처문제가 뒷전으로 밀려난 가운데 기후위기를 강조한 시민사회가 탄소중립을 포함한 그린 뉴딜을 촉구했다는 점에서, 미국의 탄소중립 논의는 바텀업(bottom-up) 방식을 취했다고 볼 수 있다. 또한 탄소중립 프로젝트는 그린 뉴딜의 넓은 틀 안에서 구상되어 추진되었다고 볼 수 있다.

기후위기 대처를 적극적으로 촉구한 시민단체 가운데 우리는 무엇보다도 선라이즈 운동(Sunrise Movement)라는 청년단체의 활동에 주목할 필요가 있다. 선라이즈 운동은 트럼프 행정부 이후 기후변화 문제가 미국사회의 주요 담론에서 급속히 퇴조되고 있다고 판단하고 선거정치에 대한 적극적 개입을 통해 기후위기의 문제를 본격적으로 제기하기 위해서 활동한 집단이었다(Sunrise Movement, “What We Believe: Sunrise’s Principles”). 이 운동은 트럼프 대통령 임기 중반에 치러진 2018년 의회 중간선거에서 화석연료와 관련된 기업으로부터 선거자금 지원을 받은 후보에 대한 낙선운동을 전개하는 한편, 민주당의 진보적 정치인과 후보들에 대한 적극적 지원에 나섰다. 이때 이들의 이러한 노력에 발맞추어 기후위기 대처를 포함하여 진보적 어젠다의 해결을 내걸고 당선된 하원의원 가운데 한 사람이 오케이시오-코르테스(Alexandria Ocasio-Cortez)였다.

2018년 의회 중간선거를 통해 초선의원으로 의회에 입성한 오케이시오-코르테스와 그를 적극적으로 지지한 선라이즈 운동은 제116대 의회가 개원하자 하원 다수당인 민주당의 펠로시(Nancy Pelosi) 의장에게 기후위기에 대처하기 위한 의회 차원의 강력한 조치를 요구하는 한편, 이러한 노력의 하나로서 그린 뉴딜 결의안(Green New Deal Resolution)의 의회 통과를 위해 노력하였다. 그린 뉴딜 결의안은 제116대 의회 초반 오케이시오-코르테스 하원의원과 매사추세츠주 상원의원인 마키(Edward Markey)가 각각 하원과 상원에 제출한 결의안이었다. 이 결의안은 양원에서 표결 절차에 들어가는 데에는 실패하였지만, 탄소중립 등을 ‘그린 뉴딜의 목표’ 안에 담고 있어서 미국 정계에서 탄소중립이 논의되는 출발점을 제시한 것으로 평가된다.

이러한 그린 뉴딜 결의안은 과거 루스벨트 대통령이 대공황을 극복하기 위해서 연방정부의 재정정책을 활용하여 일자리를 창출하고 실업자를 구제하며 사회적 안전망을 구축한 1930년대의 뉴딜과 마찬가지로, 미국이 기후위기를 극복하고 탄소중립을 실현하기 위해 조속히 화석연료에서 벗어나 신재생에너지 중심의 청정경제로 이전할 것을 촉구했다. 또한 이 결의안은 이러한 이행과정에서 청정일자리를 창출하며, 또한 기후변화로 인해 극심한 고통을 겪는 취약계층을 위해 사회안전망을 확보하고, 과거 화석연료 개발로 피해를 입은 지역에 대한 정의로운 전환 등을 촉구하는 내용을 담고 있었다(“H. RES. 109. Recognizing the Duty of the Federal Government to Create a Green New Deal”).

3) 바이든 행정부의 탄소중립 정책과 현황

2020년 대통령 선거 당시 바이든은 민주당 내에서 온건성향의 후보로 분류되었고 그와 치열하게 경합한 샌더스(Bernie Sanders) 버몬트주 상원의원은 진보성향의 후보로 분류되었다. 그런데 당시 기후위기의 문제와 이에 대처하기 위한 탄소중립을 강하게 주장한 세력은 민주당 내의 진보진영이었다. 진보진영은 특히 젊은 유권자들의 지지를 확보하고 있었는데, 민주당의 유력 대선주자로서 본선거에서 트럼프 대통령과 경쟁해야 하는 바이든 후보는 젊은 민주당 유권자의 지지를 얻기 위해 경선 중단을 선언한 샌더스 진영과 기후변화 관련 선거공약 등에서 절충을 벌여야 했다. 바이든 후보 역시 기후위기의 문제를 누구보다도 강하게 인식하고 있었고 이러한 문제에 대해 적극적으로 대처할 후보임에는 재론의 여지가 없었다. 그러나 그의 이러한 입장은 민주당 내 진보진영의 그린 뉴딜 어젠다를 사실상 전적으로 수용함으로써 더욱 강화된 측면이 분명히 있었다. 그 결과 바이든 후보 역시 선거운동 기간 중 기후위기 대처 및 청정인프라와 관련된 다수의 공약을 제시하였는데, 이 가운데에는 청정에너지 프로젝트에 2조 달러를 투입하며, 가운데 40%는 취약지구를 위해 사용하고, 2035년까지 발전시설의 탄소배출을 없애며, 2050년까지는 탄소중립을 달성한다는 내용이 포함되어 있었다.

2020년 대선에서 2016년 트럼프 후보에게 빼앗겼던 블루월(Blue Wall: 미시간, 펜실베이니아, 위스콘신주 등 전통적으로 민주당을 지지해 온 3개 주) 지역을 다시 장악하면서 대통령으로 당선된 바이든 후보는 취임 이후 기후위기에 대처하는 정책을 추진하기 위해 노력하기 시작했다. 먼저 바이든 대통령은 선거운동 당시 공약에 따라 2021년 4월 22일에 기후정상회의를 개최하기도 했으며, 그 자리에서 2050년 탄소중립을 선언하고 또한 2030년까지 2005년 대비 온실가스 배출량을 절반으로 줄이겠다고 공약하기도 하였다. 이를 통해 그는 세계적인 기후위기 대처노력에 적극적으로 동참할 것을 선언하고, 다른 국가에 대해서도 과감한 감축 공약 촉구하였다.

한편 바이든 행정부는 의회 다수당인 민주당을 통해서 2021년 8월 10일 상원에서 1조 2천억 달러 규모의 미국 일자리 법안(일명 ‘인프라 법안’)을 통과시켰는데, 이 법안은 기본적으로 도로, 교량, 항만 등 미국 국내의 낙후된 기본 인프라를 개선하는 내용을 담고 있다. 그런데 법안 안에 기후변화의 충격에 대한 지역사회의 회복력을 증진하고 미국 전역의 전력망을 업그레이드하는 한편, 전기차의 생산과 소비를 지원하고 및 폐기된 유정과 탄광 등에 대한 재개발을 지원하는 프로그램 등이 포함되어

있어서, 이 법안은 기후위기에 대처하려는 바이든 행정부의 의지를 엿볼 수 있게 해주었다. 미국 일자리 법안과 함께 바이든 행정부는 하원에서 논의 중인 더 나은 재건 법안이나 상원의 예산조정법안 등을 통해서 청정에너지와 청정전력에 대한 대규모 지원과 운송분야에서 전기차 등에 대한 추가적 지원안을 마련해 두고 있다.

대체로 바이든 행정부가 추진하는 탄소중립은 청정에너지 경제로의 이행, 청정일자리 창출, 정의로운 전환을 추구하는 그린 뉴딜의 넓은 틀 속에서 연방정부의 적극적인 재정정책을 통해서 추진되고 있다. 그러나 현재 미국 일자리 법안은 하원에서 더욱 과감한 지출을 요구하는 민주당 진보파의 반대로 계류 중이며, 하원의 더 나은 재건 법안이나 상원이 논의 중인 예산조정법안 등은 공화당의 격렬한 반대 속에서 상원의 필리버스터 장벽을 넘을 수 없을 것으로 보여 향후 최종적인 법안의 향배가 주목된다.

3. 한국의 탄소중립 정책의 추진현황

1) 정부주도, 전진과 중단, 그리고 한미동맹에의 연동

한국의 기후변화 대처노력의 주요한 특징은 정부주도형 정책추진, 정권마다 ‘가다 서다’를 반복하는 정책의 비연속성, 그리고 한국의 온실가스 감축에 대한 미국의 강력한 촉구 등으로 정리된다. 무엇보다도 앞에서 설명한 미국의 사례와 달리 한국의 경우 주요한 기후변화 정책은 정부 주도로 추진된 탑다운(top-down)적 측면이 강하다. 물론 미국의 경우를 보아도 미국을 세계적 기후변화 대처의 대열에 다시 동참시키고 국내적으로 온실가스 감축을 강하게 추진한 것은 2008년 대통령으로 당선된 오바마 자신이었다. 그러나 미국의 경우 적어도 민주당 지지자, 청년층, 고학력자, 진보적 성향의 유권자 사이에서 기후변화 대처에 대한 지지가 매우 높았던 것은 부정할 수 없다. 이에 비해 한국의 경우 일반적인 수준에서 온실가스 감축에 대한 여론의 지지가 있었고 시민단체의 활동과 정부에 대한 압력도 적지 않았지만, 기후변화 정책은 단순히 정부 및 여당의 정책제안으로 추동된 측면이 강했다. 그리고 정부가 추진하는 기후변화 정책은 시민단체와의 호선(互選)적 협력관계를 통해 사회 전체로 홍보되고 확산되는 패턴이 일반적이었다.

또한 한국의 기후변화 정책은 2008년 출범한 이명박 정부 등장 이후 강력하게 추진되다가 2012년 박근혜 정부의 등장과 함께 퇴조기에 접어들었고, 이어서 그린 뉴딜과 탄소중립의 분위기 속에서 탈원전을 추진해 온 문재인 정부 후반기에 들어 다시

추진되는 등 전진과 중단이 교차하는 특징을 보여왔다. 이명박 정부 당시 대통령 직속으로 녹색성장위원회가 설립되고 녹색성장기본법과 탄소배출권법 등이 제정되었으며, 신재생에너지 분야의 일자리 창출을 통해 신성장 경제동력을 키워가기 위한 노력이 있었음은 잘 알려져 있다. 그러나 박근혜 정부가 출범하면서 ‘창조경제’의 국정목표에 묻혀 이명박 정부의 ‘녹색성장’은 폐기될 운명에 처할 수밖에 없었다. 그나마 2015년 말의 파리기후회의를 앞두고 국가 온실가스 감축목표(NDC: nationally determined contribution)의 제출을 둘러싼 기후변화의 문제가 다시 부각되기도 했지만, 박근혜 정부 당시 기후변화 이슈는 국정의 중요 어젠다가 아니었다. 한편 2017년 문재인 정부 등장 이후를 보면 미세먼지나 원전 폐쇄 등 환경 및 에너지 문제가 국민적 관심의 대상이 된 것은 사실이었다. 그러나 2020년에 접어들면서 코로나19 상황 속에서 한국판 뉴딜과 탄소중립의 논의가 본격적으로 부상하기 전까지 문재인 정부의 국정 핵심과제는 적폐청산, 소득주도성장, 한반도 비핵화와 이를 위한 남북 및 북미 정상회담, 검찰개혁 등에 초점이 맞추어져 있었지 기후위기 대처는 아니었다. 이처럼 한국의 경우 기후변화 정책은 정권이 바뀔 때마다 상당한 편차를 보이면서 전진과 중단을 반복하여 정책의 지속성과 일관성이 떨어진다는 문제점을 노출해 왔다.

마지막으로 한국의 기후변화 정책은 동맹관계에 있는 미국의 요청에 대응하면서 일정 수준 보조를 맞추는 경향을 보이면서 전개되어 왔다. 예컨대 오바마 행정부 당시 이명박 대통령은 온실가스 배출에 대한 감축의무가 없음에도 불구하고 2009년 코펜하겐 기후회의에서 2020년까지 배출전망치 대비 30%의 온실가스를 감축하겠다는 공약을 언명하고 이후 미국의 오바마 행정부의 국제적인 기후변화 대처 노력에 적극적으로 협력하였다. 이러한 이명박 대통령의 공약은 어디까지나 자신의 정책적 소신과 국가의 미래에 대한 청사진에서 나온 것이지만, 한미동맹의 파트너인 미국의 정책에 보조를 맞추어 필요한 분야에서 실익을 챙기면서 동시에 한국의 글로벌 위상을 높이려는 고려에 따른 것이기도 했다. 또한 파리기후회의를 앞두고 박근혜 정부가 2015년 6월 30일 최종적으로 채택한 국가 온실가스 감축목표(2030년 대비 온실가스 37% 감축)는 원래 6월 11일에 공개된 네 가지 감축안보다 높은 수준의 감축 목표였는데, 이 역시 국내외 시민단체의 압력과 함께 오바마 행정부의 강력한 감축촉구에 따른 결과로도 볼 수 있다.

2) 그린 뉴딜과 2050 탄소중립 선언

이명박 정부 시기에 적극적으로 추진되었던 녹색성장 정책이 박근혜 정부에 이르러

사실상 중단되면서 기후변화에 대한 정부 차원의 노력은 상당한 침체기를 맞기에 이르렀다. 그러나 문재인 정부 후반기에 이르러 탄소중립이라는 세계적 추세와 이에 따른 산업구조 재조정과 신성장 동력의 창출 등의 필요성에 따라 온실가스 감축을 위한 새로운 노력이 시작되었다.

문재인 정부에 이르러 탄소중립에 관한 논의는 2020년 7월 문재인 대통령의 그린 뉴딜 선언을 기점으로 하여 2021년 9월 더불어민주당 주도의 탄소중립기본법 제정에 이르기까지 매우 짧은 기간 동안 숨 가쁘게 진행되었다. 2020년 7월 14일 문재인 대통령은 코로나19 사태가 심각해짐에 따라 한국경제가 매우 어려운 국면에 접어들자, 이를 위한 타개책의 하나로 국민보고회 형식을 빌려 ‘한국판 뉴딜’을 주창하였다. 그리고 한국판 뉴딜의 한 부분으로 디지털 뉴딜, 고용 및 사회안전망 구축과 함께 그린 뉴딜을 포함시켰다. 그린 뉴딜은 ‘탄소의존 경제’에서 ‘저탄소 경제’로의 이동을 추진 하면서 국민의 삶의 질을 개선함과 동시에 신재생산업을 통해서 새로운 자리를 창출 하는 것을 목적으로 하고 있었다(청와대, “한국판 뉴딜 국민보고대회 기조연설”).

한국판 뉴딜의 연장선상에서 2020년 10월 28일 문재인 대통령은 국회에서 행한 예산안 시정연설에서 2050년 탄소중립을 언급했다. 문재인 대통령은 한국판 뉴딜과 병행하여 2050 탄소중립을 거론함으로써 한국이 향후 탄소중립을 향한 국제사회의 노력에 동참할 의지를 표명한 것이다(청와대, “2021년도 예산안 시정연설”). 이날 문재인 대통령이 밝힌 2050 탄소중립 구상은 2020년 12월 7일 홍남기 경제부총리의 ‘탄소중립 추진전략’에 관한 대국민 브리핑에서 더 구체적으로 제시되었다. 홍남기 부총리는 탄소중립을 추진하는 이유를, 탄소중립이 새로운 성장의 패러다임이 되는 글로벌한 추세, 탄소중립을 위한 각국의 국내외 규제강화, 친환경 시장의 확대 등으로 요약하여 설명했다(기획재정부, “보도자료: 탄소중립 사회로의 전환을 위한 2050 탄소중립 추진전략 발표”).

10월 28일 국회 예산안 시정연설에서 탄소중립을 언급한 문재인 대통령은 12월 10일 청와대에서 공식적으로 2050년 탄소중립을 선언하였다. 이날 행해진 ‘2050년 대한민국 탄소중립 비전’ 선언에서 문재인 대통령은 2018년 기후변화에 관한 정부간 협의체의 특별보고서를 인용하면서 산업화 이전 대비 지구온도의 상승을 1.5도 이상 낮추기 위해서 2050년까지 탄소중립이 필요하다는 점을 다시 한번 강조했다. 그리고 탄소중립 추진, 저탄소 산업생태계 조성, 공정전환 등의 탄소중립 추진방향을 2050 대한민국 탄소중립 비전으로 설명하였다(청와대, “대한민국 탄소중립선언”). 이로써 한국

은 공식적으로 2050 탄소중립을 선언하면서 이를 위한 장기적 로드맵 마련을 위한 분주히 움직이기 시작하였다.

3) 탄소중립위원회의 설치와 탄소중립기본법의 제정

이처럼 정부 주도로 2050 탄소중립을 위한 노력이 진행되는 과정에서 이러한 목표의 추진을 전담할 핵심기구가 필요하다는 판단에 따라, 문재인 대통령은 민관합동의 대통령 직속 2050 탄소중립위원회를 설치하여 2021년 5월 29일 그 출범식을 거행했다. 2050 탄소중립위원회는 탄소중립 추진, 탄소중립 산업생태계 조성, 공정전환 등을 목표로 활동하게 되며, 탄소중립에 대한 국가비전 및 국가정책 수립, 탄소중립 사회로의 전환을 위한 이행계획 수립 등 다양한 분야의 과제를 다루게 된다(국가법령정보센터, “2050 탄소중립위원회의 설치 및 운영에 관한 규정”). 이러한 목적에 따라서 탄생한 2050 탄소중립위원회는 장기 탄소중립 로드맵의 수립이라는 과제를 안게 되었는데, 2021년 8월 5일 동위원회는 ‘책임성, 포용성, 공정성, 합리성, 혁신성’이라는 다섯 개의 원칙에 따라 2050 탄소중립 시나리오 3개 안을 발표하였고, 향후 계속해서 탄소중립을 위한 사회 각층의 의견수렴을 위해서 노력할 계획을 밝혔다(대한민국 정책 브리핑, “2050 탄소중립위원회, 민관 함께 탄소중립시대 첫 걸음 떼다”).

또한 2050 탄소배출 시나리오 3개 안이 발표된 뒤 얼마 되지 않아 정부와 더불어 민주당은 야당의 반대 속에서 8월 31일 탄소중립기본법을 국회에서 통과시켰다. 이 법률은 2050년 탄소중립 목표의 달성을 위하여 ‘환경과 경제의 조화로운 발전’이라는 국가비전을 제시하고 향후 대통령령에 따라 중장기 국가 온실가스 감축목표를 2018년 대비 35% 이상 줄일 수 있다는 규정을 두어, 이왕에 한국이 유엔에 제출한 2017년 대비 24.4%의 감축량 이상의 온실가스 감축이 추진될 수 있는 여지를 열어 두었다. 또한 녹색성장기본법 하에서 시행된 온실가스 및 에너지 목표관리제를 더욱 강화하여 2050 탄소중립을 향한 강력한 법적 기반을 구축하였다(국가정보법령센터, “기후 위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법”).

이처럼 문재인 정부 후반에 이르러 적극적으로 추진된 2050 탄소중립의 실현을 위한 노력은 세계적인 탄소중립의 추세에 맞추어 한국도 경제성장 전략을 변화시키고 국제사회에서 불이익을 받지 않으려는 방편임과 동시에, 저탄소 경제로의 이전을 통해 신성장 경제동력을 마련하고 새로운 일자리를 창출하며 기후 취약계층에 대한 지원을 마련하기 위한 과감한 기획이라고 볼 수 있다. 이는 또한 이명박 정부 이후 한국이 다시 한번 적극적으로 기후변화 문제에 대처하고 이를 통해 국가적 위상을 제고

하기 위한 시도의 하나로도 볼 수 있다.

그러나 단기간에 추진된 2050 탄소중립 계획의 수립과 정책추진 과정에서 야당이 나 산업계의 충분한 의견이 수립되지 못해 사회적 논란이 큰 여러 가지 핵심 쟁점이 아직 해결되지 못했다는 문제점 역시 존재하고 있다. 문재인 정부 등장 이후 꾸준히 추진되어 온 원전폐기정책을 수정하지 않은 채 신재생에너지에 의존하여 2050년에 탄소중립을 달성한다는 목표가 과연 기술이나 비용의 측면에서 현실적으로 가능한 것인지에 대한 사회적 공감대가 아직 형성된 것으로 보이지는 않는다. 향후 이러한 과제에 대한 국민적 공감대의 형성을 통해서 보다 현실성 있는 2050 탄소중립의 로드맵이 등장해야 한다는 요청도 강하게 제기되고 있다.

4. 탄소중립과 한미동맹의 진화

익히 알려져 있듯이 1953년 체결된 한미상호방위조약은 한미관계의 진전 및 국제정세의 변화와 함께 한반도에 국한된 군사동맹에서 벗어나 다차원적 글로벌 동맹으로 진화하고 있다. 한국의 입장에서 보자면 한미동맹은 북한의 유사시 공격에 대비하여 미국이 한국에 군대를 주둔시키고 각종 구누물자를 제공하게 하여 한미 양국의 대북 억제능력을 높이는 것이 주요 목적이었다. 그러나 체결 이후 지난 수십 년 동안 이슈의 영역과 지역적 범위에서 다차원적으로 확대 발전해 온 한미동맹은 군사 및 안보에 국한된 동맹에서 벗어나 글로벌 동맹으로 계속 변모해 왔다. 특히 2008년 미국발 글로벌 경제위기 이후 미국의 국내경제가 침체상태에서 벗어나지 못하고, 중국이 미국의 지위를 위협하는 신흥강대국으로 부상하며, 국제 테러나 팬데믹 등 새로운 이슈 등에서 미국이 동맹국에 대해 강화된 역할과 비용 분담이 촉구하면서, 한미동맹 역시 양국 간 군사동맹의 협소한 틀에서 벗어나 글로벌 동맹으로 부상하라는 압력에 더욱 강하게 직면하고 있다.

그런데 이러한 한미동맹의 다차원적 글로벌 동맹으로의 진화과정에서 기후변화 문제는 매우 중요한 요소로 작용했다. 미국은 한국처럼 민주화와 경제건설을 함께 이룩하여 세계적 모범국인 된 건실한 중견국가(middle power)가 미국이 추진하는 기후변화 대처에 대해서 적극적으로 협력해 주기를 요청하고 있다. 이는 미국이 세계 각국에 협력을 통해 추진하고자 하는 기후변화 대처가 한미동맹의 일원이자 중견국인 한국의 적극적 협력을 통해 국제무대에서 더욱 추진력을 확보할 수 있으리라고 생각하기 때문이다. 그리고 한국 정부 역시 한미동맹의 일원으로 미국의 이러한 요청에 대해 국익과 한국의 글로벌 위상을 고려하면서 협력의 자세를 유지해 왔다.

예컨대 이명박 정부는 오바마 행정부가 전력투구한 세계적인 기후변화 대처노력에 적극적으로 부응하여 2009년 코펜하겐 기후회의에서 2020년 배출전망치 대비 30%의 온실가스 감축공약을 발표하기도 했다. 또한 2010년 글로벌녹색성장기구(GGGI: Global Green Growth Institute)라는 국제기구를 설립하여 개발도상국에 대해 녹색 성장의 지원을 약속하기도 했다. 이명박 정부의 이러한 정책은 북한 핵실험과 미사일 발사 등 군사적 도발과 이에 따른 한미 대 북중의 대결구도에서 한미동맹이 더욱 견고해진 결과이기도 하지만, 한편으로는 이명박 정부가 한국의 국익 증진과 국제적 위상 제고라는 관점에서 미국이 역점을 두고 추진해 온 기후변화 문제 등의 글로벌 어젠다에 대해 적극적으로 협력한 결과이기도 했다.

기후변화 문제에서 한국이 한미동맹의 구성원으로 적극적 역할을 해달라는 오바마 행정부의 입장은 2013년 한미동맹 60주년을 기념하는 박근혜 대통령의 미국 국빈방문에서도 나타났다. 박근혜 정부는 이명박 정부의 녹색성장 정책을 국정과제에서 배제하면서 창조경제를 중심으로 새로운 경제발전전략을 모색하고 있었으나, 박근혜 대통령의 국빈 방문 당시 양국은 특별히 기후변화 및 온실가스 감축과 관련된 공동선언을 발표하고(한국의외교부, “한미 글로벌 기후변화 관련 공동성명서”), 미국의 에너지부와 한국의 (당시) 산업통산자원부 장관 간에는 에너지 및 온실가스 감축 관련 협력을 위한 공동성명문이 채택되기도 하였다. 또한 2015년 5월에 한국을 방문한 미국의 케리 국무부장은 한미동맹이 한반도 및 동아시아에 국한된 동맹에서 벗어나 글로벌 파트너십을 위한 동맹이 되어야 함을 반복적으로 강조하면서, 한국이 기후변화 대처에 있어서 ‘본질적인 기여’를 해줄 수 있다는 희망을 거듭 표명했다(“케리 국무부장과 윤병세 외교부장관의 합동기자회견문”). 또한 같은 해 메르스 사태로 인해서 방미 일정이 연기되면서 6월 12일 박근혜 대통령과 이루어진 전화통화에서 오바마 대통령은 기후변화 대처와 관련하여 한국이 보다 ‘야심에 찬’(ambitious) 온실가스 감축목표를 요청하기도 했다(“韓 온실가스 완화하자 야심찬 목표를 주문한 美,” 『서울경제』 2015년 6월 12일). 이는 일정 수준 2015년 말에 개최된 파리기후회의를 통해 포스트코토체제를 구축하려는 미국의 구상과 관련된 것이었다.

글로벌 동맹을 향한 한미동맹의 다차원적 변화 과정에서 양국간 기후변화 공조는 현재 탄소중립 이슈와 관련된 문재인 대통령과 바이든 대통령의 협력관계에서도 확인될 수 있다. 2021년 5월 문재인 대통령의 미국 방문과정에서 한미정상회담을 마친 후 양국 정상이 발표한 5월 21일의 공동성명문은 ‘성공으로 가는 길: 더 나은 미래를 위

한 포괄적 동반자관계'(the Way Forward: Comprehensive Partnership for a Better Future)이라는 두 번째 주제에서 양국 간 이산화탄소 배출 넷제로 달성과 기후변화 협력을 위한 청사진을 제시하였다. 한미정상은 기후변화, 글로벌 보건, 5G나 6G 그리고 반도체를 포함한 신기술, 공급망 유연성, 이주와 개발, 민간교류 등에 대해서 언급하면서 특히 양국 간 기후변화 관련 협력에 대해 제일 먼저 깊은 협력이 있었음을 시사하였다. 이 공동성명문에서 바이든 대통령은 문재인 대통령이 P4G 서울 정상회담을 통해서 국제적인 기후변화 노력과 넷제로 달성을 위해 애쓰는 것을 긍정적으로 평가하였다. 이와 함께 양국 정상은 2030 감축목표와 2050 탄소중립 목표 달성을 위해 함께 노력하여 세계의 모범이 될 것을 언급하기도 하였다(The White House, "U.S.-ROK Leaders' Joint Statement").

이처럼 한국의 이명박 정부와 미국의 오바마 정부 이후 기후변화 문제는 한미동맹의 글로벌화에서 매우 중요한 요소로 작용하였다. 이 과정에서 미국은 한국의 적극적 온실가스 감축을 요청했으며, 한국은 이에 대해 대체로 긍정적으로 대응했다. 그리고 한국이 미국의 기후변화 협력요청에 긍정적으로 대응할 수 있었던 것은 한국이 이러한 협력을 통해 북한 핵문제를 포함한 한반도 문제나 동북아 안보문제 등에서 미국의 지원을 얻을 수 있었고, 또한 미국이 군사나 안보의 영역뿐만 아니라 무역, 금융 등에서 한국의 매우 중요한 파트너이기 때문이었다. 또한 한국이 기후변화에 대처해야 한다는 세계적 추세를 거스를 수 없을 뿐만 아니라, 최근에는 탄소중립을 향한 세계적인 추세 속에서 한국의 산업구조 개편과 저탄소 청정경제로의 이행이 회피할 수 없는 현실이 되었기 때문이다. 이와 함께 이러한 청정경제로의 이행과정에서 한국이 보유한 전기차 배터리 분야 등에서의 경쟁력이 새로운 성장동력이 되어 일자리 창출에 기여한다고 판단했기 때문이기도 하다. 이러한 흐름 속에서 볼 때 향후 기후변화 및 탄소중립의 문제는 한미동맹을 글로벌 동맹으로 지속적으로 변화시키면서 한미관계의 다차원적 협력을 추동하는 중요한 요소로 작동할 것이다.

The Carbon Neutrality of the U.S. and Korea and Its Implication for the Korea-U.S. Alliance

Byung Kwon Son

The carbon neutrality policies, or so-called net-zero policies, of the U.S. and Korea have both commonalities and differences. Both countries share the Paris Agreement's request to prepare for the long-term low greenhouse gas emission development strategies(LEDs) and the 2018 IPCC's 'Special Report: Global Warming of 1.5°C' as a rationale for the goal of achieving carbon neutrality by 2050. Besides, both nations take the 2050 carbon neutrality drive as an opportunity to transform their economies to clean one and to create clean jobs. With respect to differences, the carbon neutrality in the U.S. was largely characterized by being driven bottom-up, which means the citizen groups like the Sunrise Movement were impactfully mobilized to put pressure on Washington politicians to move more quickly and actively in addressing climate crisis. In contrast, the government for the most part took the leading role in dealing with the carbon neutrality issue in Korea. Besides, the congressional and presidential electoral politics both in 2018 and 2020 was crucial in bringing the climate crisis and the carbon neutrality into public and political awareness in the U.S. Whereas in Korea, without electoral process weighing in, the Moon Jae-in government played a dominant role in configuring the global trend for addressing climate crisis, and in announcing a series of measures aiming at carbon neutrality. Finally, the climate crisis and carbon neutrality have now become an important factor in upgrading the traditional Korea-U.S. Alliance to an alliance working for global agenda across multiple issues. And it is because the U.S. wants to keep Korea as its pivotal partner in climate issue on the global stage, and because Korea, faced with the global trend toward carbon neutrality, considers it as inevitable to transform the national economic structure

into a clean one, and takes the climate issue as helpful in deepening alliance partnership with the U.S.

Vol. 4 No. 4

발행인 겸 편집인 | 김경원

편집위원(가나다순)

권세원

김경원

김대종

박종현

배기형

백승준

변재문

신원문

이덕로

이태환

이희수

이희찬

발행처 | 세종연구원

주소 | 서울특별시 광진구 천호대로

132길 15 세종연구원

전화 | 02-499-5765

인쇄일 | 2021년 09월

발행일 | 2021년 09월



“철저한 위생관리, 안전한 제품생산, 체계적인 품질관리와 더불어 국제적인 식품안전 기준인 HACCP을 통해 안전하고 믿을 수 있는 제품의 공급을 최우선 가치로 추구하고 있습니다.”

국내 육가공 선도적 기업

(주)코빅푸드는 최첨단 생산설비, 선진의 육가공 기술, 체계적인 품질관리, 효율적인 경영시스템 등을 통하여 한국의 축산물 수입, 생산, 유통시장에 있어서 선도적인 위치를 점유해 왔습니다.

국민의 안전한 식생활에 기여하는 기업

식생활 문화의 발달로 인하여 안전한 식품 및 고품질 위주로 재편되고 있는 한국시장에서 코빅푸드는 한국의 축산물 공급에 있어 중추적 역할을 하고 있습니다. 주요 고객사는 대형 유통업체, 패밀리 레스토랑, 호텔, 식자재 기업, 홈쇼핑, 온라인 쇼핑몰 등에 양질의 축산물을 공급 하고 있습니다.



KTS KTSC

(주)KTSC(구.한국관광용품센터)는 1972년 관광산업을 활성화 시키고, 무분별한 식자재의 개별 수입으로 인한 외화낭비를 방지하기 위해 정부주관으로 모든 관광호텔의 공동출자로 설립된 수입 식자재 유통 전문회사입니다.

KTSC가 직수입한 다양한 카테고리의 최고의 프리미엄 식자재를 온라인 쇼핑몰 ekts에서도 만나보실 수 있습니다.



전국의 호텔 및 외식업체 공급

육류, 수산물, 가공식품 및 신선 채소를 비롯한 3,000여 종의 다양한 식자재



전국 유통망 구축. 신속한 배송

4,000여평 규모의 KTSC 물류센터와 본사, 전국 지사, 종합물류센터 연결



Total Food System

한 곳에서 구매하여 일괄 배송을 실시하는 One Stop Shopping

세종대학교

세상 世 으뜸 宗



2021 QS 아시아 대학평가
TOP 1%

2021 Leiden 세계대학평가
4년 연속 국내 일반대학 1위

2022 Times 세계대학평가
국내 8위

세종대학교 2022학년도 수시 모집 면접·실기고사 일정

실기고사

구분			일시
실기우수자	영화예술학과 -연출제작	1단계	2021. 10. 9(토) 10시
		2단계	2021. 10. 26(화)
	영화예술학과 -연기예술	1단계(영상심사)	2021. 9. 30(목) ~ 10. 5(화)
		2단계(대면심사)	2021. 10. 27(수) ~ 10. 29(금)
	무용과	한국무용	2021. 10. 15(금)
		발레	2021. 10. 16(토)
현대무용		2021. 10. 17(일)	
예체능특기자	체육학과 - 골프, 태권도, 축구, 리듬체조, 에어로빅체조		2021. 10. 12(화)
	무용과	한국무용	2021. 10. 15(금)
		발레	2021. 10. 16(토)
		현대무용	2021. 10. 17(일)
	영화예술학과-연기예술		2021. 10. 29(금)

면접고사

구분		일시
예체능특기자	영화예술학과-연출제작	2021. 10. 16(토)
창의인재	컴퓨터공학과, 정보보호학과, 소프트웨어학과, 데이터사이언스학과, 지능기전공학부, 인공지능학과	2021. 12. 4(토)
	창의소프트학부 (디자인이노베이션전공, 만화애니메이션전공)	2021. 12. 5(일)
	인문계열 전체, 자연과학대학, 생명과학대학, 전자정보공학대학, 공과대학 ※비대면 면접(면접영상 업로드)	2021. 11. 26(금) ~ 11. 30(화) ※ 면접영상 업로드기간
고른기회	전자정보공학대학, 소프트웨어융합대학, 공과대학 ※비대면 면접(면접영상 업로드)	



Sejong Hotel Seoul...

세종대왕의 높은 성덕과 정신을 실현한다는 창업의지에 따라 명명된 세종호텔은 한국 최초의 순수 민자 호텔로서 1966년 개관 이후 53년의 역사와 전통을 가지고 있습니다.



현대적인 감각의 인테리어 객실

사계절 아름다운 남산과 명동의 다운타운을 전경으로 고풍스런 미와 모던함이 공존하는 333개의 객실은 아늑한 공간과 최신식 시설로 안락하고 편안한 휴식을 제공합니다.

■ 객실 문의 : 02. 3705. 9115

다양한 메뉴와 최고수준 요리의 레스토랑

계절별 식재료를 사용한 테마별 뷔페와 라이브 키친을 통해 신선한 맛을 즐길 수 있는 한식 뷔페 레스토랑〈은하수〉, 마늘과 조화롭게 어우러진 건강식 이태리안 요리와 커피, 와인을 즐길 수 있는 라운지&다이닝 〈베르디〉에서 맛의 진미를 느끼실 수 있습니다.

■ 레스토랑 문의 : 02. 3705. 9141 (은하수) / 02. 3705. 9146 (베르디)

53년간의 호텔 운영 노하우를 기반으로 한 컨세션

반세기 동안 호텔 및 식음료 운영 노하우를 바탕으로 백범기념관, 세종문화회관, 세종대학교 컨벤션센터를 위탁 운영하고 있습니다. 또한, 우리은행, 한전아트센터, 금감원 등 웨딩 케이터링을 통하여 호평을 받고 있습니다. 컨벤션 사업, 웨딩 케이터링, 단체 급식 등 식음료 운영 파트너가 필요하신 분들은 연락주시면 상담을 통하여 최고의 시너지 효과가 날 수 있도록 도와드리겠습니다.

■ 컨세션 문의 : 02. 3705. 9062

UNINOMIC REVIEW

VoL. 4 No. 4

Carbon Neutrality & Future of Korea

Survival in the Era of Carbon Neutral for Climate Crisis	Duck Hwan LEE
Carbon-neutral Strategies of Leading Countries in the Globe and Role of Korea	Chinho PARK
Nuclear Energy and Carbon Neutrality : History and Issues	Tae Dong LEE
Nuclear Power-Essential Energy to Achieve Carbon Neutrality	Han Gyu JOO
Policy Review for Achieving Carbon Neutrality and Reduction of Particulate Matter	Dong Won SHIN
Policy Review for Achieving Carbon Neutrality and Reduction of Particulate Matter	Dong Won SHIN
Renewable alone cannot be carbon-neutral: Nuclear power is essential	Yong Hoon JEONG
Carbon Border Adjustment Mechanism: Overviews and Economic Impacts on Korea	Jin Young MOON
The Carbon Neutrality of the U.S. and Korea and Its Implication for the Korea-U.S. Alliance	Byung Kwon SON



ISSN 2635-5833