



원자력발전의 탈탄소화를 통한 지속가능한 개발 추구 - Nuclear sector sustainability: designing to deliver through-life decarbonisation -

Rebecca Yates¹⁾

Frazer-Nash Consultancy 환경 분야 선임 엔지니어

영국을 포함한 전 세계 각국이 2050년 탄소배출 순제로(Net Zero) 등 온실가스를 감축하기 위한 필사적인 노력을 기울이고 있다. 이러한 상황에서 시간은 자꾸 흘러가고, 탄소배출 순제로 목표시점이 점점 더 가까이 다가옴에 따라 세계 각국은 소위 말하는 ‘그린 에너지’의 중요성을 점점 더 절실하게 깨닫고 있다.

원자력발전은 그것이 핵분열 에너지이든지 아니면 핵융합 에너지이든지 간에 현재 저탄소 전력생산 시스템을 추구하고 있는 모든 국가들에게 중요한 역할을 하고 있다. 왜냐하면 원자력발전은 최소한 운영과정에서만은 탄소배출을 하지 않는 에너지원이며 어떤 에너지원보다 신뢰성 있고, 탄력적이며, 아주 깨끗한 에너지원이기 때문이다.

이처럼 원자력발전이 다른 에너지원에 비해 저탄소 에너지원이라는 것은 분명하지만, 그렇다고 아주 완전한 청정에너지원이라고 할 수도 없다. 왜냐하면 원자력발전은 건설과정과 수

명종료 후의 해체과정, 그리고 해체 후 사후관리 과정에서는 여전히 많은 양의 탄소를 발생시키고 있는 등 아직까지 원자력산업계는 전 생애주기에 걸친 탈탄소화 최적화를 실현하지 못하고 있기 때문이다.

원자력발전이 진정한 그린에너지가 되기 위해서는 지금과 같이 단순히 발전소 운영과정에서만 저탄소 에너지원으로서의 역할을 하는 것으로 만족해서는 안 되며, 원자력산업계는 원자력발전 생애주기 전 과정에 걸쳐 어떻게 하면 탄소 발생을 최소화 할 수 있는지에 대하여 좀 더 진지한 고민을 할 필요가 있다.

원자력발전에 대한 수요는 최소한 향후 몇 년까지는 전 세계적으로 크게 증가할 것으로 전망되고 있다. 이 과정에서 탄소 발생량도 함께 늘어날 것이다. 예를 들어, 원자로에 들어가는 핵연료를 만들기 위해서는 우라늄 광석을 채굴하고 정제하여 연료로 가공하는 과정을 거치게 되는데, 이러한 일련의 과정에서는 많은 양의

¹⁾ Rebecca Yates는 Frazer-Nash Consultancy에서 환경 분야 선임 엔지니어로 활동하고 있다. 환경 분야(Environmental Change, Impacts and Adaptations) 석사학위를 갖고 있으며, 원자력 및 국방 분야에서 다양한 경력을 갖고 있다. 특히 그녀는 환경관리시스템과 환경평가, 그리고 지속가능성 분야와 관련하여 해박한 지식을 갖고 있는 것으로 평가되고 있다. 그녀는 미국환경과학협회(Institute of Environmental Sciences)의 회원으로 활동하고 있기도 하다.

에너지가 필요하며, 이 에너지를 얻기 위해서는 결국 탄소를 배출할 수밖에 없기 때문이다.

뿐만 아니라 원자력발전소를 건설하기 위해서는 상당한 양의 금속 및 콘크리트 자재를 사용할 수밖에 없는데, 이러한 건축 자재들을 사용하여 건설 부지로까지 운반하는 과정에서도 불가피하게 상당한 양의 탄소가 배출되어 나올 수밖에 없다. 예를 들어, 49,000톤[1]의 콘크리트 기초 타설 작업을 하는 데에는 대략 6,457톤에 이르는 CO₂e[2]가 발생되는 것으로 추정되고 있다.



건설 중에 있는 Hinkley Point C 1호기

탄소 배출은 비단 건설 과정에서만 나오는 것은 아니다. 발전소 운영 과정이 끝나서 발전소를 영구 정지한 후에는 발전소를 해체해야 하는데, 이 과정에서도 탄소를 배출하게 된다. 또한, 발전소를 해체하는 과정에서 발생하는 다양한 종류의 폐기물을 처리 및 저장하는 과정에서도 탄소가 배출된다.

따라서 원자력산업계는 원자력발전의 전 생애주기를 통틀어 탄소 배출을 최소화할 수 있는 실효성 있는 조치를 취해야 할 필요가 있으며,

그래야만 원자력발전의 지속가능성을 담보할 수 있다는 사실을 분명히 알아야 한다.

영국의 과학기술과 기후변화, 그리고 에너지 분야 업무를 총괄하는 기업에너지산업전략부(BEIS)는 ‘원자력혁신프로그램(nuclear innovation programme)’을 통해 2016년부터 2021년까지 총 4억 6,000만 파운드를 원자력 연구개발 부문에 투자를 하고 있다. 이러한 프로그램을 추진하고 있는 목적 내지 목표 중의 하나는 기초산업 분야에서 탈탄소화를 이루어 내려는 것이다.

보리스 존슨 영국 수상은 2020년 11월 18일에 녹색산업혁명(Green Industrial Revolution)을 위한 ‘10대 중점 계획(Ten Point Plan)’이라는 야심찬 국가 정책을 발표했다. 이 10대 중점 계획 중의 하나는 저탄소 에너지원의 확보를 위해 원자력발전을 지금보다 좀 더 확대하고, 차세대 원자로 개발에 대한 투자를 지속적으로 늘리는 것이다.



영국의 Boris Johnson 총리 - 녹색산업혁명을 위한 ‘10대 중점 계획(Ten Point Plan)’의 일환으로 첨단 원자력발전 개발사업을 적극적으로 추진하고 있다.



구체적으로는 총 5억 2,500만 파운드의 예산을 대형 원자력발전과 차세대 소형 및 신형 원자로 개발에 투자함으로써 청정 에너지원으로서의 원자력발전의 역할을 확대하고, 그 과정에서 10,000개 이상의 일자리를 창출해 내겠다는 것이다.

이러한 정책의 핵심은 원자력발전의 혁신을 통해 영국이 추구하고 있는 2050년까지 탄소배출 순제로(UK Net Zero) 목표를 달성하는데 기여하는데 있는 것이기 때문에, 원자력산업계는 신형 원자로 개발 외에도 원자력발전 생애주기 전 과정에 걸쳐 탈탄소화를 이룰 수 있는 방안을 찾는 노력을 해야만 하는 입장에 처해 있다.

지속가능성을 위한 원자력산업계의 설계

앞에서도 언급했듯이, 원자력발전 전 생애주기의 관점에서 볼 때 원자력발전도 분명 어느 정도는 탄소를 배출하는 에너지원일 수밖에 없다. 그럼에도 불구하고 원자력발전은 청정에너지원으로서 영국의 안정적인 전력공급에 커다란 기여를 하고 있는 것도 사실이다.

현재 영국은 국내에서 생산되고 있는 청정 전력 에너지원의 40%를 원자력발전이 담당하고 있다. 문제는 앞으로 저탄소 수송과 같은 탄소발생이 최소화되는 수송체계를 굳건히 하면서도 석탄과 석유, 그리고 가스와 같은 화석연료에 대한 의존도는 더욱 줄여나가야 하는 상황이기 때문에 최소한 앞으로 10년 동안은 저탄소 청정

전력 에너지원의 비중을 계속적으로 높여 나갈 수밖에 없는 상황이라는 것이다.

청정 전력 에너지원과 녹색 수소에너지, 그리고 기타 청정 대체연료 에너지에 대한 수급 필요성이 급속도로 높아지는 상황이다. 현재 청정 에너지원으로서의 중요한 역할을 하고 있는 영국 내 대다수 원전이 조만간 수명 종료로 인해 폐쇄될 수밖에 없는 상황임을 고려할 때, 최소한 현재와 같이 원자력발전이 청정 전력 에너지원의 40% 비중을 유지해 나가기 위해서는 신규원전 건설을 추가적으로 할 수밖에 없는 상황인 것이 사실이다.

영국 내 250여개 원전 관련 기업들이 모여 만든 영국원자력산업협회(NIA)는 오는 2050년까지 원자력발전이 친환경 에너지의 40%를 공급하기 위한 로드맵(Forty by 2050: Nuclear Roadmap)을 수립하여 지난 2020년 6월에 발표한 바 있다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 지금부터 2050년 사이에 대형 원전의 신규건설과 더불어 소형모듈원전(SMR, Small Modular Reactors)과 신형모듈원전(AMR, Advanced Modular Reactor)을 지속적으로 건설해 나가야만 한다고 NIA는 말했다.

문제는 청정 에너지원으로서의 원자력발전을 지속적으로 확대해 나가기 위해서는 원자력발전 전 생애주기에 걸쳐 탈탄소화를 실현할 수 있도록 보다 최적화된 설계를 지속적이고 체계적으로 해 나가야만 한다는 것이다.

예를 들어, 원전건설 공급망(supply chains)



영국원자력산업협회(NIA)는 소형모듈원전(SMR)과 같은 신형 원자로 개발을 통해 영국의 안정적인 전력공급과 함께 영국 정부가 추진하고 있는 탄소배출 순제로 목표에 원자력발전이 상당한 기여를 할 수 있을 것이라고 말하고 있다.

을 탈탄소화 시스템으로 구축하는 방안을 고려할 필요가 있다. 운반 차량을 포함한 각종 인프라를 그린 수소에너지로 구동하는 방안을 검토해야 하고, 우라늄의 채굴 및 정련 작업에 필요한 에너지를 신재생에너지로 대체하는 방안을 적극적으로 검토해 볼 필요가 있는 것이다.

다른 산업과 연계 및 공생을 하는 것도 최적화를 위한 좋은 방안 중의 하나가 될 수가 있다. 예를 들면, 하나의 부지에 여러 종류의 산업시설을 함께 운영하는 것이다. 이미 영국에서 추진되고 있는 ‘무어사이드 청정에너지 허브(Moorside Clean Energy Hub)’가 좋은 사례라고도 할 수 있다.

도로와 철도 등 사회 인프라를 제대로 잘 설계하여 구축하는 것도 탈탄소화를 위해서 뿐만 아니라 사회적으로 여러 가지 많은 도움과 혜택을 줄 수 있는 방안 중의 하나이다. 예를 들어, 이러한 사회적 인프라를 잘 구축하게 되면 원전의

안전 운영을 책임지고 있는 발전소 직원들이 출퇴근을 포함한 효율적인 이동을 가능하게 해 줄 수 있다.

현재 영국 내에서 원자력발전과 관련된 업무에 직접적으로 종사하는 사람의 숫자는 모두 59,419명이 넘는 것으로 조사되고 있고, 그 외에 간접적인 종사자만 해도 10만 명이 넘는 것으로 조사되고 있다. 이를 총 부가가치(GVA, Gross Value Added)로 따져보면 60억 파운드 가 넘는 정도로 원자력발전은 영국 경제에 상당한 기여를 하고 있는 것이 사실이다.

이런 상황에서 만일 원자력발전 전 생애주기를 통틀어 저탄소 전략을 구사할 수만 있다면 이는 탄소배출 순제로를 목표로 하고 있는 영국을 포함한 세계 전체에 커다란 기여를 할 수 있게 된다. 뿐만 아니라, 영국 내 산업 전 분야에 걸쳐 지속가능한 일자리 창출에도 커다란 기여를 할 수 있을 것이라고 생각된다.

전 세계적인 목표

세계 각국은 탈탄소화와 함께 지속가능한 성장을 위하여 끊임없는 노력을 하고 있다. 이러한 노력들 중에서 본받을만한 좋은 사례(best practice)가 있을 경우 이를 각국이 서로 공유할 수 있다면 세계가 탈탄소화를 이루어 나가는데 있어서, 그리고 유엔(UN)이 추구하고 있는 ‘지속가능발전목표(SDGs, Sustainable Development Goals)’를 달성하는데 있어서 커



다란 도움이 될 것이다. 여기서 원자력발전과 직간접적으로 관련이 있는 유엔의 지속가능발전목표를 간추려서 살펴보면 다음과 같다.

- 목표 7 - 세계 각국의 모든 사람들이 경제적 이고, 신뢰성 있으며, 지속가능한 현대식 에너지를 사용할 수 있도록 하는 것
- 목표 8 - 지속가능한 경제성장과 완전하고도 생산적인 고용, 그리고 모두를 위한 양질의 일자리를 적극 장려하는 것
- 목표 9 - 탄력적인 사회시설 기반을 구축하고, 지속가능한 산업화를 장려하며, 혁신을 촉진하는 것
- 목표 13 - 기후변화의 방지 및 그 영향을 최소화하기 위하여 필요한 조치를 긴급하게 취하는 것

영국은 G7과 G20, 그리고 청정에너지장관회의(Clean Energy Ministerial)와 같은 다수의 양자 또는 다자간 회의를 통해 세계의 여러 나라들과 유엔의 이러한 지속가능발전목표를 달성하기 위해 함께 노력하고 협력해 나가고 있다.

예를 들면 영국과 캐나다는 저탄소 에너지 분야와 기술혁신, 그리고 환경보전 분야에서의 긴밀한 협력을 통하여 세계가 보다 지속가능한 글로벌 경제체제로 전환할 수 있도록 함께 노력하고 있다.

2020년 3월에 영국의 BEIS와 캐나다의 천연

자원부(NRCAN)는 ‘영국-캐나다 원자력 협력 실행계획(UK-Canada Nuclear Cooperation Action Plan)’을 위한 협력협정에 서명했다. 이러한 양자 간의 협력 프레임을 통해 두 나라는 정부 차원의 협력 또는 산업계 차원의 협력을 긴밀하게 추진해 나갈 수가 있을 것이다. 이를 바탕으로 현재 두 나라는 방사성폐기물의 발생 최소화, 핵연료 공급망 구축, 첨단 제조기법, 효율적 규제, 그리고 소형모듈원전(SMR) 개발을 위한 자금조달 문제 등을 포함한 첨단 원자력 개발과 관련된 여러 분야에서의 협력방안을 적극적으로 모색하고 있다.

탄소배출 순제로 목표 마감시간이 점점 더 가까이 다가옴에 따라 영국의 원자력 규제기관인 원자력규제국(ONR, Office of Nuclear Regulation)도 법적 구속력을 갖고 있는 이러한 목표 시점에 맞게 여러 가지 조치들을 취하고 있다.

ONR이 원자력발전의 전 생애주기에 걸쳐 탄소배출을 줄이기 위한 여러 가지 조치들을 강구함에 따라 영국의 원자력산업계도 이러한 정부의 규제정책 변화에 따른 대응책을 미리 준비하고 있다. 원자력산업계로서는 정부의 정책 변화를 사전에 파악하여 미리 대비할 수 있기 때문에 그만큼 정부의 정책 변화에 따른 리스크를 크게 줄일 수가 있다.

이러한 탄소배출 최소화를 위한 혁신적인 노력에 대하여 원자력산업계가 ‘Clean Growth 펀드’ 등과 같은 정부 지원정책을 통해 영국 정

부로부터 경제적인 보상을 받을 수 있다면, 또한 그렇게 함으로써 정부의 탄소배출 순제로 목표를 달성하는데 원자력산업계가 기여할 수 있고, 아울러 COVID-19 이전 시대보다 ‘더 나은 재건(Build Back Better)’을 하는데 어떤 식으로든 지 도움이 될 수 있다면, 원자력산업계로서는 더 이상 머뭇거릴 이유가 전혀 없다. 말하자면 지금이 바로 원자력산업계가 탄소배출 최소화를 위한 혁신적 노력을 시작해야 할 최적의 시간인 것이다.

2021년 11월 영국 Glasgow에서 개최될 예정인 제26차 유엔기후변화협약 당사국총회

(COP26)에서는 대규모 국제포럼을 통해 원자력발전 생애주기에 걸친 탄소배출 최소화 of 중요성과 원자력산업계의 기회에 대하여 논의하는 자리가 마련될 것으로 보인다.

따라서 지금 이 시점에서 영국의 원자력산업계가 다른 나라들보다 한 발 먼저 앞서 탄소배출 최소화를 위한 여러 가지 혁신적인 조치들을 적극적으로 취하게 될 경우, 영국은 원자력발전 분야에서 세계를 리딩하면서, 나아가 투자 활성화와 지속가능한 일자리 창출, 그리고 수출 증대라는 다시없는 기회를 한 번에 모두 잡을 수 있게 될 것이라고 확신한다. **KMIF**

[참고문헌]

[1] This example is based on the Hinkley Point C nuclear reactor concrete base in Somerset, South West England.

[2] Based upon the Defra conversion factor (2020) for concrete of 1 tonne = 131.77kg CO_{2e}.