영국의 원전 건설과 시사점

우리나라보다 상대적으로 우수한 에너지 수급 환경 속에서도 재생에너지와 원자력의 적정 비중을 위해 신규 원전 건설 재추진

이건희, 류재수, 김미진[1]
한국원자력연구원 원자력정책연구센터

영국은 1956년 세계 최초로 상용 원전인 콜더 홀(Calder Hall)을 가동한 원자력 선도 국가로, 1990년대 초반까지 원자력을 활발히 이용하였다. 그러나 1989년 영국 정부의 전력산업 민영화 이후 원전 사업의 경제성이 악화되어 1995년 건설 예정이었던 원전 계획이 취소되었고, 이후 영국에서는 20여 년간 원전 건설이 중단되었다. 당시 영국은 건설이 취소된 원전을 대체할 수 있는 발전원으로 북해산 석유 및 가스를 포함하여 충분한 에너지 부존자원을 보유하고 있었다.

그러다가 영국 정부는 2000년대 중반 이후 안정적인 전력 공급과 기후 변화 대응을 이유로 원자력의 역할을 재조명하기 시작했다. 특히, 영국 내 노후 석탄화력 발전소의 점진적 폐쇄와 함께 기존 원전의 설계수명이 다가옴에 따라, 영국의 전체 발전 설비용량은 향후 10~20년 내 급격히 감소될 것으로 예상된다.

이에 영국 정부는 △ 증가하는 에너지 수입 의존도 및 제한적인 유럽 전력망 연계로 인한 전력 거래 한계를 포함하는 에너지 안보 문제를 해결하고, △ 온실가스 배출 저감 목표를 달성하기 위해 원자력 이용을 확대하려는 의지를 보이고 있다.

영국 정부가 민간 기업의 신규 원전 건설을 장려하기 위한 정책들을 발표함에 따라 영국에는 향후 17GWe 규모의 원전 13기가 건설될 계획이며, 원자력 발전 비중이 2016년 22%에서 2035년 36%까지 확대될 것으로 전망된다.

그러나 그간의 원전 건설 중단으로 기술력이 약화된 영국에서는 프랑스, 일본, 중국 등 외국자본과 기술로 원전 건설이 추진되고 있는 상황으로, 현 시점에서 다른 발전원에 비해 원전 사업의 경쟁력 확보가 쉽지 않을 것으로 보인다.

한편 영국 정부는 보조금을 바탕으로 빠른 성장세를 보인 소규모 태양광, 육상풍력 발전 등 재생에너지 산업의 자생력을 강화하면서도, 정부의 긴축 재정 기조에 부담이 되는 무분별한 발전 설비 증설 방지를 위해 2015년 이후 일부 재생에너지 지원 제도를 축소하고 있다.

우리나라는 에너지 부존자원이 절대적으로 부족하

1) **이건희** 한국원자력연구원 원자력정책연구센터 국제전략연구실 연구원, **류재수** 한국원자력연구원 원자력정책연구센터 국제전략연구실 책임연구원, **김미진** 한국원자력연구원 핵연료주기기술연구소 고급전문인력

고 외국과의 전력망 연결이 어려운 에너지 안보 환경에 놓여있는 상황으로, '영국이 우리나라보다 상대적으로 우수한 에너지 수급 환경 속에서도 재생에너지와 원자력의 적정 비중을 위해 신규 원전 건설을 재추진한 이유'를 면밀히 검토하여 국가 에너지 정책에 반영해야 할 것이다. 이에 본고는 영국이 신규 원전 건설을 재추진하게 된 배경과 경과를 살펴보고 우리나라의 에너지 정책에 대한 시사점을 도출하고자 한다.

영국의 에너지 정책

영국은 1990년대에 접어들면서 다수의 발전소들이 노후화됨에 따라 정부의 재정 부담을 줄이고 전력산업의 효율성을 높이기 위해 1989년 제정된 전기법(Electricity Act)을 바탕으로 전력산업 민영화를 본격적으로 추진하였다.

이후 영국 정부는 온실가스 배출량을 2050년까지 1990년 수준 대비 최소 80% 감축하기 위한 기후 변화 대응 정책과 2020년대 중반까지 약 59GWe의 신규 발전 설비용량을 확보하기 위한 전력 수급 및 에너지 안보 정책을 다음과 같이 추진해 나가고 있다.

1. 기후 변화 대응 정책

먼저, 영국은 기후변화 대응 정책의 일환으로 1989년에 제정된 전기법에 따라 지역전력회사에 화석연료가 아닌 발전 전력을 일정 비율 구매하도록 하는 '비(非)화석연료 의무제도'(NFFO : Non-Fossil Fuel Obligations)와 '화석연료세'(Fossil Fuel Levy)를 도입하여 원자력과 재생에너지 등의 발전 분야를 지원하였다.

이후 영국 정부는 2003년 이산화탄소 배출 제한의 필요성을 제기하였고, 2008년 「기후변화법(Climate Change Act)」을 제정해 온실가스 배출량을 2050년까지 1990년 수준 대비 최소 80% 감축한다는 목표를 법제화하였다. 이로써 영국은 장기적인 탄소 감축 목표에 관해 법적 구속력이 있는 체제를 만든 첫 번째 국가가 되었다.[2]

2009년 영국 정부는 2020년까지 1990년 수준 대비 온실가스 배출량을 34% 감축하기 위한 저탄소 전환 계획[3]을 발표하면서, 저탄소 전환을 통해 120만 명의 일자리 창출, 700만 가정의 에너지효율 향상 및 150만 가정의 재생에너지 자가 발전, 저탄소 발전 비중 40% 달성 등이 가능하다고 밝혔다.

2011년 영국 정부는 원자력, 재생에너지, 청정 화력발전 등 저탄소 발전원에 대한 투자 유인과 전력 수급 안정을 위해 전력시장 개혁을 추진했다.

먼저 영국 정부는 저탄소 발전원 투자 유인을 위해 저탄소 발전사업자가 생산하는 전력에 대해 계약 가격을 보장하는 발전 차액 정산(Feed-in Tariff) 및 장기 차액 계약(Contract for Difference) 방식을 도입했다. 간헐성을 갖는 재생에너지 발전량 증가에 대비할 수 있는 발전원, 저장 설비 등을 지원하는 예비 전력 공급 시장(Capacity Market)도 도입하였다.

2013년 에너지법에는 △ 탈탄소화 목표 범위 및 의무, △ 저탄소 발전 장려와 전력 공급 안정을 위한 전력 시장 개혁, △ 원자력규제청(ONR : Office for Nuclear Regulation) 설립과 기능 등에 관한 조항이 신설되었다.

2] 영국 기후변화위원회, https://www.theccc.org.uk/tackling-climate-change/the-legal-landscape/ (검색일: 2017. 9. 4.)
3] "The UK Low Carbon Transition Plan", Her Majesty's Government, July 2009.
4] A White Paper on Energy, "Meeting the Energy Challenge", Department of Trade and Industry, May 2007.

〈표 1〉 영국의 2016년 전원별 설비용량 및 발전량

구분	가스	원자력	석탄 · 석유	재생에너지			합계
				수력	풍력 · 태양광	기타*	
설비용량 [MWe] (비중,%)	33,183 (34)	9,497 (10)	16,725 (17)	4,403 (4)	28,116 (29)	5,527 (6)	97,451 (100)
				38,046 (39)			
발전량 [GWh] (비중,%)	143,362 (43)	71,726 (22)	32,550 (10)	5,395 (2)	47,788 (14)	30,043 (9)	330,864 (100)
				83,226 (25)			

* 기타 재생에너지 : 매립가스, 식물성 바이오매스, 생분해성 폐기물 에너지 등 바이오에너지

출처 : Digest of United Kingdom Energy Statistics 2017, Department of Business, Energy & Industrial Strategy(BEIS)

2. 전력 수급 및 에너지 안보 정책

영국 정부는 전력 수급 및 에너지 안보 정책으로, 2007년 에너지백서[4]를 통해 에너지 수요 증대와 기존 발전소 폐쇄에 따른 전력 수급 문제 해소를 위해 20년 이내에 30~35GWe의 신규 발전 설비용량이 확보되어야 한다고 발표했다.

이후 2011년 국가 에너지정책 성명[5]에서는 2025년까지 약 59GWe의 신규 발전 설비용량이 필요하다고 전망했다. 덧붙여 영국 정부는 59GWe 중 33GWe가 2009년 유럽연합(EU) 신재생에너지 정책에 따라 재생에너지로 배정될 것이고, 나머지 26GWe 중 18GWe는 원자력으로 충당되어야 할 것이라고 밝혔다.

2015년 11월 영국 에너지 · 기후변화부(DECC)는 기후 및 에너지 정책의 새로운 방향으로 에너지 안보를 정책적 우선순위에 두고, 전력 공급 안정성, 경제성, 친환경성이 우수한 셰일가스, 원자력, 해상풍력 등에 주력할 것을 발표했다.

영국의 에너지 구성 및 전망

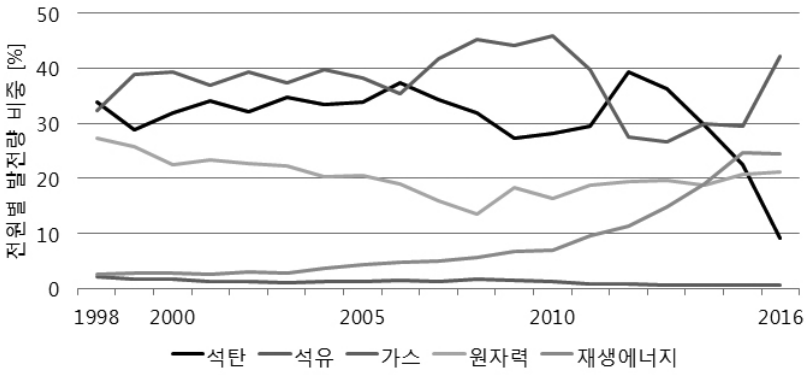
2016년 영국의 주요 전원별 발전량 비중은 가스 43%, 원자력 22%, 재생에너지 25%, 석탄 및 석유 10%이며(〈표 1〉), 주요 전원별 발전량 비중은 〈그림 1〉과 같은 변화 양상을 나타낸다.

석탄 및 가스의 경우, 영국의 탈석탄 정책 하에 노후 석탄 화력발전소가 신규 가스 화력발전소로 대체되면서, 석탄 의존도는 2012년 이후 급격한 하락세를 이어가고 있다. 2015~2016년 동안 석탄 발전량 비중은 22%에서 9%로 급감했으며, 이 기간에 가스 발전량 비중은 29%에서 43%로 급증했다.

원자력의 경우, 현재 설비용량 9GWe 규모의 원전 15기를 가동 중이며, 총 전력생산의 20% 내외를 안정적으로 담당해왔다.

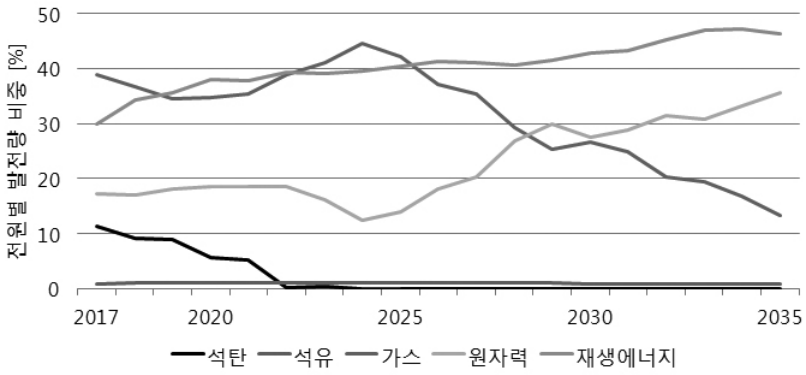
재생에너지의 경우, 발전량 비중은 20여 년에 걸쳐 꾸준히 증가했다. 2016년 연간 평균 풍속, 강수량의

4) A White Paper on Energy, "Meeting the Energy Challenge", Department of Trade and Industry, May 2007.
5) "Overarching National Policy Statement for Energy(EN-1)", Department of Energy and Climate Change, July 2011.



출처 : UK Energy Statistics – 2016 provisional data, Statistical Press Release, BEIS

〈그림 1〉 영국의 주요 전원별 발전량 비중 변화



출처 : 2016 Updated Energy & Emissions Projections, Annex G: Major power producers' generation by source, BEIS

〈그림 2〉 영국의 주요 전원별 발전량 전망

감소로 풍력, 수력 발전량은 일부 낮아졌으나, 태양광과 바이오에너지 발전량 증가로 총 재생에너지 발전량 비중은 전년도와 유사한 25% 수준이다. 특히, 영국의 해상풍력 설비용량은 2016년 기준 5.3GWe로 세계 1위[6]이며, 발전량 비중이 5%에 달한다.

2017년 3월 영국 정부는 주요 전원별 발전량을 〈그림 2〉와 같이 전망했다. 영국 정부는 현재 가스가 석탄을 대체하고 있으나, 장기적으로 석탄, 가스 등 화력 발전을 모두 줄이고 재생에너지와 원자력을 확대하여, 2035년 재생에너지 발전량 비중이 46%, 원자력이 36%로 증가될 것으로 전망하고 있다.

6] 2016년 기준 총 해상풍력 설비용량은 약 14GWe로, 이중 영국의 점유율은 36.5% 수준임.
(https://www.offshorewind.biz/wp-content/uploads/2017/03/owcap.png)

원자력 이용 환경 변화

영국 정부는 민간 원자력 이용의 첫 단계로, 1956년 세계 최초 상용 원전인 콜더홀(Calder Hall) 등 가스 냉각 방식의 마그녹스(MAGNOX) 원자로를 가동하기 시작했다. 1965년에는 열효율이 향상된 개량형 가스 냉각로(AGR: Advanced Gas-cooled Reactor)가 영국 표준노형으로 선정되어 다수 호기가 건설 및 운영되었다.

그러나 영국은 일부 AGR의 상이한 설계로 인한 표준화 문제, 냉각재의 방사화 등 운영상 어려움을 겪게 되었으며, 이러한 문제 해결의 일환으로 1987년 새로운 노형인 웨스팅하우스의 가압경수로(PWR: Pressurized Water-cooled Reactor) 건설이 승인되었다.

1. 1995년 원전 건설 계획 취소

영국 정부는 1995년 5월 원자력 검토 보고서[7]를 통해 △ 원자력 발전의 민영화가 산업체, 소비자에 이득이 되며, △ 신규 원전에 대한 정부 지원은 부적절하다고 판단하여 신규 원전에 대한 보조금을 중단했다.

영국 정부는 전력 시장이 민영화되면 자연히 적정 수준의 에너지 믹스가 이뤄질 것으로 예상했다. 당시 영국 원자력 산업체는 Sizewell B 원전 외 다수의 PWR 건설이 계획되어 있는 상황에서 정부 보조금 없이 신규 원전에 투자하지 않을 것이라는 입장을 표명한 바 있다.[8]

원자력 발전 민영화에 따라 영국의 원자력 발전 분야는 중앙전력청으로부터 1990년 정부 소유의 Nuclear Electric(NE) 등으로 분리되었다가 1996년 7월 British Energy로 민영화되었다.

당시 화석연료세의 상당 부분(약 12억 파운드)은 원자력 발전의 민영화 과정에서 일부 MAGNOX와 AGR을 운영한 NE에게 방사성폐기물 처리 등 사후 관리를 위한 지원금으로 지급되었다. 이후 MAGNOX는 정부 소유(Magnox Electric)로 남고 AGR, PWR 등 15기의 원전만 민영화되었다.

영국에서는 Sizewell B 원전에 대한 건설 경험의 축적으로 PWR 건설 비용이 낮아짐에도 불구하고, 영국 정부의 신규 원전에 대한 보조금 중단 이후 원전 건설 사업의 불확실성으로 인해 할인율이 5%에서 11%까지 오르게 될 것으로 예상되면서, 원전 사업의 경제성은 낮게 평가되었다.

이에 따라 1995년 Hinkley Point C 등 PWR 건설이 취소되었고, 2006년 영국 정부의 에너지정책 검토에 따라 원자력 역할이 재조명되기 전까지 영국에서의 신규 원전 건설 사업은 사실상 중단된 상태였다.

영국은 이 당시 북해산 석유 및 가스, 석탄 등 풍부한 에너지 부존 자원을 보유하고 있어 원자력을 대체할 발전원 확보에 대한 부담감이 상대적으로 적었다. 특히, 영국 정부는 2003년 에너지백서[9]를 통해 '현재 원자력 발전의 경제성은 새로운 저탄소 발전원에 비해 매력적이지 않은 옵션'이라고 밝히기도 했다.

---

7) "The Prospects for Nuclear Power in the UK: Conclusions of the government's nuclear review", Department of Trade and Industry, May 1995.
8) "UK Energy Policy 1980-2010: A history and lessons to be learnt", The Institution of Engineering and Technology, Parliamentary Group for Energy Studies, 2012.
9) Energy White Paper, "Our energy future-creating a low carbon economy", Department of Trade and Industry, February 2003.

집권당	1990~1996 보수당 (존 메이저)	1997~2006 노동당 (토니 블레어)	2007~2009 노동당 (고든 브라운)	2010~2015 보수당+자유민주당 (데이비드 캐머런)	2016~현재 보수당 (테레사 메이)
	1995년 원전 건설 계획 취소		**2006년 원자력 역할 재조명**		**2015년 원자력 확대 의지 표명**
에너지정책 변화	(1989) 전기법 제정 - 전력산업 민영화 - 非화석연료 의무제도 도입		(2008) 기후변화법 제정 - 탄소배출량 2050년까지 1990년 대비 80% 감축 목표 설정		(2013) 에너지법 개정 - 전력시장 개혁 - 원자력규제청 설립 및 신규 원전 인허가 촉진
	(1995) 원자력 검토 보고서 - 신규 원전에 대한 정부 지원 중단 결정 (1996) 원자력 발전 민영화 (2003) 에너지백서 - 원자력 발전 경제성 낮은 것으로 평가		(2006) 에너지 검토 보고서 - **탄소배출저감·전력 공급안정성 측면에서 원자력 재평가** (2007-08) 에너지 및 원자력백서 - 민간기업의 신규 원전 투자 필요성 및 정부의 원전 건설 장려책 제시		(2009) 저탄소 전환계획 - 2020년 저탄소(원자력 포함) 발전 비중 40% 목표 (2011) 국가 에너지정책 성명 - 2025년 신규 설비용량의 원자력 비중 30% 구상 (2015) 에너지·기후변화부 발표 - **2030년대 원자력 발전 비중 30% 전망**
요인	신규 원전 건설 사업의 경제성 악화 에너지 부존자원 매장·생산량 증가		**(에너지안보)** △기존 설비용량 급감 △주변국과의 한정된 전력 연결·거래망 △화석연료 부존량 감소에 따른 에너지 수입 의존도 증가 **(기후변화 대응)** △온실가스 배출저감 목표 달성 불투명		

〈그림 3〉 영국의 원자력 이용 환경 변화 및 요인

2. 2006년 원자력 역할 재조명

그러나 영국 정부는 석탄 화력발전소와 원전 폐쇄 시 이를 가스로만 대체하게 될 상황을 에너지 믹스의 다양화 측면에서 우려하며, 원자력을 연료 가격에 따른 발전단가 변동이 적고, 단위 전력 생산 당 이산화탄소 배출량이 가장 낮은 발전원으로 평가했다.

그 결과로써, 영국 정부는 2006년 에너지 검토 보고서[10]를 통해 '신규 원전이 탄소 배출 저감 및 전력 공급 안정성 측면에서 경쟁력이 있고, 국가 에너지정책 목표 달성에 중요한 기여를 할 것'이라며 원자력 역할을 재조명했다.

이후 영국 정부는 2007년 에너지백서를 통해 민간 에너지기업의 신규 원전 투자가 공공이익이 될 것이라는 사전 검토 결과를 밝히고, 여론 조사를 위한 협의문건[11]을 작성했다.

동 문건을 이용해 총 20주 간 18개 문항에 대한 서면 조사, 온라인 조사를 실시하여 개인(1784명), 기관 등으로부터 총 2,728개의 답변을 받았다.[12] 이중 민간기업의 신규 원전 투자를 장려하는 영국 정부 입장에 대한 동의 여부를 묻는 문항에 대한 총 1,338개 답변

10) Energy Review, "The Energy Challenge", Department of Trade and Industry, July 2006.
11) Consultation Document, "The Future of Nuclear Power, The Role of Nuclear Power in a Low Carbon UK Economy", URN 07/970, Department of Trade and Industry, May 2007.
12) "The Prospects for Nuclear Power in the UK: Conclusions of the government's nuclear review", Department of Trade and Industry, May 1995.

중 동의 734, 조건부 동의 74, 반대 424로 과반수 이상의 동의(55%)를 얻었다.

2007년 여론 조사 결과를 바탕으로, 영국 정부는 2008년 원자력백서[13]에서 원자력에 대한 정부의 기본 입장과 신규 원전 건설을 장려하기 위한 조치를 발표했다. 특히, 신규 원전 착공까지의 불확실성을 줄이기 위해 전략적 부지 · 환경 평가, 사전 인허가를 통한 국가 · 전략 · 규제 측면의 동의 확보, 정당화 절차 운영 등 계획 및 규제 단계의 개선 조치를 제시했다.

3. 2015년 원자력 확대 의지 표명

이후 원자력은 2009년 저탄소 전환계획, 2011년 국가 에너지정책 성명 중 재생에너지, 탄소포집저장 등과 함께 저탄소발전원에 포함되어 이용 확대가 전망되었다.

2013년 영국 에너지법에 따라 설립된 원자력규제청(ONR)은 신규 원전에 대한 신속한 인허가를 위해 제도를 정비했다. ONR은 신규 원전의 안전성, 보안 및 환경영향 평가가 신속히 진행될 수 있도록 설계 단계에서 추진하는 사전 인허가 과정인 일반설계승인(GDA: Generic Design Assessment) 등의 업무를 담당하고 있다.

영국 에너지 · 기후변화부(DECC)는 2015년 11월 원자력을 가스와 함께 미래 에너지안보를 위한 중요 에너지원으로 발표했고, 원자력 발전을 통해 2030 년대까지 30%의 저탄소 전력을 공급하고, 일자리 3만개를 창출할 수 있을 것이라고 전망했다.

영국 정부와 주요 정당(노동당, 보수당, 자유민주당)은 정권 교체에도 신규 원전 건설을 지지하는 입장을 이어왔으며, 원자력에 대한 국민 여론도 2011년 일본 후쿠시마 원전 사고에도 불구하고 긍정적인 편이다.

2016년 3월 DECC 설문조사(2,105명 대상)에 따르면 38%가 원자력을 지지하며, 23%가 반대, 36%가 중립인 것으로 나타났으며, 원자력이 신뢰 가능한 에너지원이라는 것에 49%가 동의하고 14%가 동의하지 않았다.[14]

재생에너지 이용 환경 변화

영국은 1990년 전력산업의 구조 개편과 재생에너지 확대를 위해 비(非)화석연료 의무제도(NFFO)를 도입하였으며, 해당 제도는 2002년 재생에너지 의무비율 할당제(RO: Renewable Obligation)로 대체되었다. 이후 재생에너지 지원 제도가 다양하게 마련되었다.(〈표 2〉)

영국 정부는 2008년 유럽연합(EU) 재생에너지 지침(RED: Renewable Energy Directive)[15]을 통해 2020년까지 1차 에너지의 15%를 재생에너지로 공급하겠다는 목표를 설정했고, 2013~14년 RED 중간목표인 재생에너지 비중 5.4%를 초과한 6.3%를 달성했다.

그러나 EU 집행위원회는 2015년 RED 보고서를 통해 영국이 난방과 교통 부문에서 재생에너지 사용 비율이 목표치보다 크게 떨어져 2020년 목표를 달성하지 못할 것으로 전망하였다.

---

13) "Meeting the Energy Challenge. A White Paper on Nuclear Power", URN 08/525, Department of Business Enterprise & Regulatory Reform, January 2008.

14) "Nuclear Power in the United Kingdom", World Nuclear Association (Updated 31 July 2017)

15) 2008년 EU 27개 회원국은 2020년까지 EU 전체 에너지의 20%를 바이오연료 등 재생에너지로 대체하는 것에 합의하였다.

〈표 2〉 영국의 재생에너지 지원 제도

제도	발효년도	내용	상태
기후변화세 (CCL, Climate Change Levy)	2001 (2015 개정)	탄소 배출 감소와 에너지 효율 증가를 위해 에너지를 소비하는 산업계에 부과되는 세금 (초기 재생에너지는 면제 대상)	시행중
재생에너지 의무비율 할당제 (RO, Renewable Obligation)	2002 (2015 개정)	대규모 재생에너지 전력을 지원하는 제도로, 전력 공급업체는 매해 정해지는 비율의 재생에너지를 의무적으로 구매	종료 (2017)
수송용 재생연료 혼합 의무 제도 (RTFO, Renewable Transport Fuel Obligation)	2008 (2015 갱신)	수송용 화석연료 공급자에게 의무적으로 재생연료(바이오디젤 등)를 혼합하도록 하는 온실가스 저감을 위한 제도	시행중
발전 차액 정산 제도 (FIT, Feed-In Tariff)	2010 (2016 개정)	재생에너지 발전 사업체의 전원 발전량 전체를 고정 가격에 매입하여 차액을 지원하는 제도	시행중
재생 열에너지 인센티브 제도 (RHI, Renewable Heat Incentive)	2011 (2014 개정, 2015 갱신)	태양열, 지열, 바이오가스, 미활용열 등의 재생열 보급 확대를 위해 인센티브를 제공하는 제도로 세계 최초로 도입	시행중
장기 차액 계약 제도 (CfD, Contract for Difference)	2014	원전 및 재생에너지 등 저탄소 발전 사업을 펼치는 사업자를 위해 원금 및 합리적인 이윤을 획득할 수 있도록 장기간 전력 구입 가격을 보장해주는 제도	시행중

출처 : United Kingdom Renewable Energy Policy Framework Summary, International Energy Agency(IEA) (검색일: 2017. 8. 29.)

원전 건설 취소 요인 – 경제성 악화와 풍부한 에너지 부존 자원

영국은 초기 가스냉각로인 마그녹스(MAGNOX) 가동 후 AGR을 영국 표준노형으로 선정해 14기를 건설 및 운영하였으나, AGR의 설계가 서로 상이함에 따른 표준화 문제, 냉각재(이산화탄소) 방사화, 감속재(흑연)의 에너지 축적 문제[16] 등이 발생해 1987년 PWR로 노형 선택을 번복했다.

상기 가스냉각로의 운영상 문제와 노형 선택 번복은 1995년 영국 정부의 원자력 검토 당시 원자력 이용 확대에 대한 근거를 약화시키는 요인으로 작용했다고 볼 수 있다.

또한 영국 정부는 전력산업 민영화와 함께 신규 원전에 대한 보조금을 중단한 바, 원자력산업체는 원전 사업의 불확실성 증가로 할인율 상승 등 경제성이 저조하게 될 것으로 평가하였다.

또, 1992년에 산정된 원자력 발전 단가 추정치는 천

16) AGR의 냉각재로 쓰이는 이산화탄소는 노심에서 방사화되어 방사능 준위가 높고, 감속재인 흑연은 저온에서 중성자에 장시간 조사될 경우 결정격자가 바뀌면서 에너지가 축적되어 흑연의 균열 또는 폭발적 에너지 방출을 야기할 수 있음.

연가스, 석탄보다 높게 평가되었고, 할인율 상승 시 발전 단가 변동 폭이 가장 커서 경제성이 떨어질 것으로 예측되었다.(〈표 3〉) 이는 민영화 이후 원전 건설 사업의 이윤 창출에 큰 부담으로 작용했고, 결국 영국에서는 1995년 Hinkley Point C 등 모든 원전 건설 계획이 취소되었다.

영국은 1990년대 초반 당시 영국의 북해산 석유 및 가스 생산량이 상승세였고, 가용한 매장량도 풍부하여 원전 건설 계획 취소에 따른 대체 발전원 확보에 부담감이 적었다. 특히, 영국에서는 가스 생산량이 급증하면서 1990년부터 2000년 사이 가스 발전량 비중이 2%에서 39%로 급등한 바 있다.[17]

영국이 원전 건설 계획을 취소한 것은 전력산업의 민영화 이후 원전 사업의 경제성 하락이 주된 원인이었으며, 풍부하고 상대적으로 값싼 자국산 에너지 부존 자원으로 원자력을 대체할 발전원 확보에 대한 부담감이 적었기 때문에 가능했다고 평가된다.

신규 원전 건설 재추진 요인 – 에너지 안보와 기후 변화 대응

영국이 민간 에너지기업의 신규 원전 투자를 장려하고 원전 건설을 재추진하게 된 주요 이유는 △ 에너지 안보와 △ 기후 변화 대응 수단으로 원자력이 필요하였기 때문인 것으로 평가된다.

1. 에너지 안보

먼저, 에너지 안보 측면에서 영국 정부는 노후 석탄화력 발전소의 점진적 폐쇄와 가동 중 원전의 설계 수명이 다해감에 따라 기존 발전 설비용량의 급감을 예상했다.

영국 정부는 2015년 11월 이산화탄소 포집 및 저장(CCS) 기술이 적용되지 않은 전체 19GWe 규모의 노후 석탄화력 발전소를 2025년까지 전면 폐쇄하기로 발표했고, 가동 중인 9GWe 규모의 원전 15기는 2030년까지 Sizewell B 1기를 제외한 모든 원전의 설계수명이 종료되어 폐쇄될 예정이다.(〈표 4〉)

이를 대체하기 위한 신규 설비용량이 필요함에 따라, 영국 정부는 신규 가스화력 발전소를 건설하여 발전량 부족분을 충당하고, 원자력 이용을 유지 및 확대하고자 현재 17GWe 규모의 원전 13기 건설을 계획·이행 중이다.(〈표 5〉)

또한, 영국 내 북해산 석유 및 가스가 점진적으로 고갈됨에 따라 영국의 에너지 수입 의존도는 높아지고 있다.(〈그림 5〉) 이를 반영하듯, 영국은 에너지 순수출입량 기준으로 1998년 에너지 수출(−16%) 국가에서 2015년 에너지 수입(37%) 국가로 그 위상이 바뀌었다.(〈표 6〉)

가스의 경우 2016년 총공급에 대한 자체 생산 비중은 약 46%로, 2015년 대비 순수입량이 22% 증가했다. 대부분의 가스 수입은 노르웨이, 네덜란드, 벨기에 등으로부터 가스 파이프라인(PNG)을 통해 이뤄지며, 일부 해상 운송으로 액화천연가스(LNG)가 수입된다.

특히, 후쿠시마 원전 사고 이후 일본 등의 LNG 수요 증대로 가스 가격이 상승해 영국을 포함한 유럽 내

17) "Electricity Information – United Kingdom", International Energy Agency (2016년)
1990년 : 석탄 65%, 석유 11%, 가스 2%, 원자력 21% (총발전량 319.74 TWh)
2000년 : 석탄 32%, 석유 2%, 가스 39%, 원자력 23% (총발전량 377.07 TWh)

〈표 4〉 영국의 원전 운영 현황

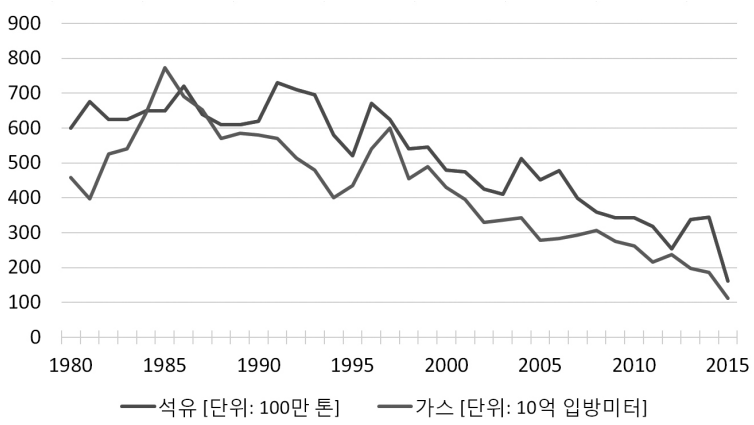
구분	노형	용량 (MWe)	가동 연도	폐쇄 예정 연도
Dungeness B 1&2	AGR	2×520	1983,1985	2028
Hartlepool 1&2	AGR	595, 585	1983,1984	2024
Heysham I 1&2	AGR	580, 575	1983,1984	2024
Heysham II 1&2	AGR	2×610	1988	2030
Hinkley Point B 1&2	AGR	475, 470	1976	2023
Hunterston B 1&2	AGR	475, 485	1976,1977	2023
Torness 1&2	AGR	590, 595	1988,1989	2030
Sizewell B	PWR	1198	1995	2035
총 15기		8883		

출처 : IAEA Power Reactor Information System(PRIS), World Nuclear Association(WNA)

〈표 5〉 영국의 신규 원전 건설 계획

사업 주체	부지	노형 및 호기 수	용량 [MWe]
프랑스전력공사(EDF) 중국광동핵전집단공사(CGN)	Hinkley Point	EPR 2기	3,340
	Sizewell	EPR 2기	3,340
	Bradwell	Hualong One 2기	2,300
뉴제너레이션사 (NuGen, 일본 도시바 소유)	Moorside	AP1000 3기	3,405
호라이즌사 (Horizon, 일본 히타치 소유)	Wylfa	ABWR 2기	2,760
	Oldbury	ABWR 2기	2,760
합계	6개 부지	13기	17,905

출처 : WNA, Nuclear Power in the United Kingdom (Updated 31 July 2017)



출처 : Oil & Gas Authority(OGA), Appendix 2: Historic UK Oil and Gas Reserves / Resources and Production Used in Reserves Charts v Time for Website 2015

〈그림 5〉 영국의 석유 · 가스 가용 매장량 변화

〈표 6〉 유럽 3개국의 에너지 수입 의존도

단위 : %

국가별 의존도	1998	2002	2006	2010	2015
영국	−16.4	−11.9	21.2	28.2	37.4
독일	61	60.1	60.9	60.3	61.9
프랑스	51.3	51.1	51.5	49	46
EU 평균	46	47.5	53.6	52.6	54

출처 : Eurostat, Energy dependence (http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab= table&init=1&language=en&pcode=tsdcc310&plugin=1) (Updated 31 August 2017)

〈표 7〉 유럽 3개국의 전력 수출입 현황

2016년 기준	전력 수출량 [GWh]	전력 수입량 [GWh]	전력망 연결 개수	전력망 연결 국가 수
영국	2,275	21,187	3	3
프랑스	60,939	19,959	14	7*
독일	80,767	27,023	17	9

* 안도라 제외

출처 : ENTSO-E, Statistical Factsheet 2016

가스 공급에 영향을 주게 된 바, 안정적 공급이 가능한 발전원 확보에 대한 필요성이 증대되고 있다.

영국의 경우 프랑스, 독일 등에 비해 전력망이 연결된 국가가 적어 전력 수출입이 제한적으로 이루어지고 있다.(〈표 7〉) 영국의 2016년 전력 순수입량[18]은 18.9TWh로, 영국은 프랑스(10.8TWh), 네덜란드(7.4TWh), 아일랜드(0.7TWh)로부터 수입했다. 주요 전력망은 프랑스(2000MW), 네덜란드(1000MW)와 연결되어 있으며, 2016년 이용률은 각각 70.5%, 86.4%이다.

영국 정부는 안정적인 전력 공급을 위해 충분한 설비용량 확보와 더불어 벨기에(1000MW, 2018년 예정), 북방 스코틀랜드-노르웨이(1400MW, 2022년 예정), 프랑스 노르망디(2000MW, 2022년 예정)와 전력망 연계 확대를 계획 중이다.

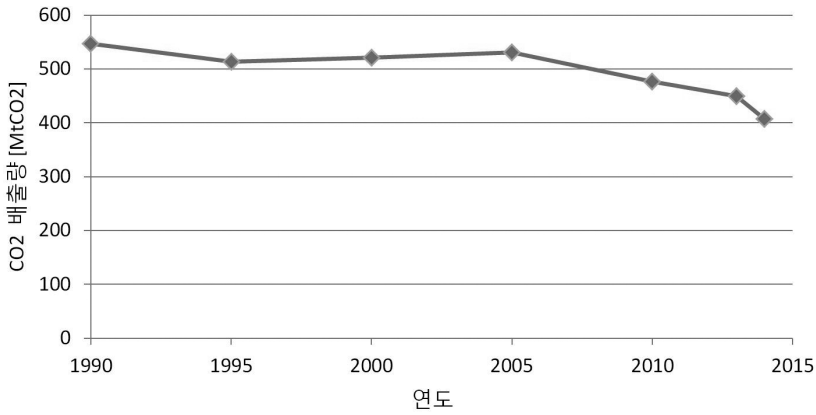
2. 기후 변화 대응

기후 변화 대응 측면에서 살펴보면, 영국의 2008년 기후변화법은 1990년 대비 온실가스 배출량을 2020년까지 34%, 2050년까지 80% 저감할 것을 목표로 하고 있다.

이에 영국 정부는 2013년 4월 중장기 탄소 가격에 대해 예측 가능한 최소 가격을 설정하는 탄소 가격 하한 제도(CPF: Carbon Price Floor)를 도입해 기존 방식의 화석연료 발전 비용을 증가시켜 저탄소 기술 개발을 위한 유인책을 제공하고 있다. 또한, 영국 정부는 신규 발전소가 발전 단위 당 배출할 수 있는 온실가스 양을 규제하기 위해 온실가스 배출 기준(EPS: Emissions Performance Standard)을 강화했다.

영국은 전력생산 내 화석연료의 사용 비중을 줄여나가고 있다. 이에 따라 2014년 이산화탄소(CO_2) 배출량

18) EU 송전사업자 협회인 유럽송전시스템운영업체연합(ENTSO-E)의 전력 수출입량 통계는 국가 간 물리적 전력 흐름을 바탕으로 하여, 실제 국가 간 상업적 에너지 거래량과는 다를 수 있음.



출처 : IEA, CO_2 Emissions from Fuel Combustion 2016

〈그림 6〉 영국의 CO2 배출량 변화

은 1990년 대비 26% 감소되었고(〈그림 6〉), 2014년 1kWh 전력 생산 시 배출되는 평균 CO_2 양은 1990년 대비 40% 감소되었다.

그러나 2020년 배출 저감 목표(34%)를 달성하기 위해서는 원자력, 재생에너지, 청정 화력 발전 등 저탄소 발전원이 보다 확대되어야 하는 상황이다.

이러한 의미에서 영국은 에너지 안보 측면에서 설계 수명이 종료되는 원전을 대체할 수 있는 안정적인 전력 공급원을 확보하고, 에너지 수입 의존도를 완화하면서 온실가스 배출 저감 목표를 달성하기 위한 방안으로 신규 원전 건설을 추진 중인 것으로 보인다.

신규 원전 건설 계획

영국은 17GWe 규모의 원전 13기 건설을 계획 중이며, Hinkley Point C, Wylfa 원전은 2019년 건설을 시작해 2020년대 중반까지 가동하는 것을 목표로 하고 있다.(〈표 5〉)

그러나 영국은 20여 년 간의 원전 건설 중단으로 기술력이 약화되어 프랑스, 일본, 중국 등 외국 자본과 기술로 원전 건설을 추진하고 있어, 사업의 경제성 확보가 어려운 상황이다.

영국 정부는 2016년 9월 프랑스, 중국 국영기업과의 Hinkley Point C 건설 계약을 체결하면서, 원전 가동 시작부터 35년간 £92.50(USD 122)[19]/MWh의 판매가격을 보장하는 보조금 지급을 약속했다. 이는 2016 년 9월 영국 전기요금 £42(USD 55)/MWh의 두 배가 넘는 수준이다.[20] 이러한 상황에서 최근 영국 정부는 2025년 원자력 발전 단가가 재생에너지보다 높아질 것이라고 전망한 바 있다.[21]

19) 2016년 9월 매매 기준율 기준 (미국 USD 1= 1,107.79원, 영국 £1= 1,456.50원)
20) 파이낸셜뉴스, "英 '힝클리포인트 원전' 시공사엔 147 兆이상 수익, 英정부엔 손해 커" (2016.09.05.)(http://www.fnnews.com/news/201609051750278119)
21) "Electricity Generation Costs", Department of Business, Energy & Industrial Strategy (2016년 11월)

영국이 자국 내 건설 가능한 노형으로 고려중인 우리나라의 APR1400은 2017년 10월 유럽 사업자요건(EUR) 인증을 위한 본 심사에서 최단 기간인 24개월만에 최종 인증을 받았다.[22] 또한 APR1400은 현재 미국 원자력규제위원회(NRC) 설계인증의 6단계 중 3단계를 통과한 상태이며, 2018년 9월경 설계인증이 완료될 것으로 알려졌다.[23]

최근 일본 도시바는 웨스팅하우스의 7조원 규모의 손실을 이유로 영국 Moorside 사업 철수를 결정하였고, 일본 히타치가 원전 건설에 따른 재정적 위험을 줄이고자 호라이즌 지분 매각을 추진하고 있는 상황으로, 우리나라는 영국 원전 건설 사업에의 진출 방안을 모색 중이다.

한전은 2017년 3월 도시바의 뉴제너레이션 지분 인수에 대한 의지를 표명한 바 있으며, 한수원은 히타치로부터 호라이즌 지분 인수를 제안 받아 이를 검토 중이다.[24] 그러나 영국 현지 언론은 우리나라의 탈원전 선언에 따라 한전의 Moorside 사업 진출 의지에 일부 의문을 제기하기도 했다.[25]

정책적 시사점

과거 원자력 선도 국가였던 영국은 북부 지역의 풍부한 에너지 부존 자원과 전력산업 민영화 이후 원전 사업의 경제성 악화로 1995년 원전 건설 계획을 취소했다가 현재 신규 원전 건설을 적극 추진 중인 바, 에너지 안보 및 기후 변화 대응 수단으로 원자력의 역할을 재조명한 것으로 판단된다.

영국의 원전 건설 재조명은 △ 2020년대 중반 노후 석탄 화력발전소 폐쇄 및 기존 원전의 설계수명 기한이 집중적으로 도래함에 따른 발전 설비용량 확충, △ 북해산 석유 및 가스의 점진적 고갈에 대비한 에너지 안보 확보, △온실가스 배출 저감 목표 달성을 위한 현실적 대안을 확보하기 위한 전략으로 이해할 수 있다.

영국은 향후 석탄 발전 비중을 축소하면서 장기적으로 저탄소 발전원인 원자력과 재생에너지를 동시에 확대하여, 온실가스 배출을 최소화하면서도 안정적인 전력 공급을 도모하려는 것으로 보인다. 이에 원자력 발전 비중은 2016년 22%에서 2035년 36%까지, 재생에너지 발전 비중은 25%에서 46%로 확대될 것으로 전망되고 있다.

그러나 영국은 20여 년 간의 원전 건설 중단으로 기술력이 약화되어 외국 자본과 기술로 원전 건설을 추진하고 있으며, 이는 원전 사업 중단 후 이를 재추진할 경우에 사업의 경쟁력을 확보하기가 쉽지 않다는 것을 보여주는 사례라 할 수 있다.

또한, 영국은 재생에너지 산업의 자생력을 강화하면서도 무분별한 재생에너지의 발전 설비 증설을 방지하기 위해 2015년부터 일부 재생에너지 지원 제도를 축소하고 있다. 특히, 영국은 재생에너지 확대에 따른 전력 공급의 불안정성을 극복하기 위해 주변국들과의 전력망 연결을 확대할 예정이다.

---

22) 연합뉴스, "한국형 원전 유럽수출길 열렸다…신형 모델, 현지 인증심사 통과" (2017.10.09.)(http://www.yonhapnews.co.kr/bulletin/2017/10/09/0200000000AKR20171009019500003.HTML?input=1195m)

23) 에너지경제, "한국형 원전 APR1400, 영국 신규 원전 건설 참여 가능성↑" (2017.08.11.)(http://www.ekn.kr/news/article.html?no=305626)

24) 건설경제, "국내 원전 사업 힘들다…영국으로 방향트는 한전 · 한수원" (2017.07.31.)(http://www.cnews.co.kr/uhtml/read.jsp?idxno=2017073111360955206 82)

25) 영국 Financial Times, "Kepco confirms talks on joining Moorside nuclear project" (2017.6.29.)

우리나라는 에너지의 95% 이상을 해외에서 수입하는 불리한 에너지 안보 환경 속에서 지구적 기후변화 대응에 적극 기여하고자 2030년까지 온실가스 배출량을 배출전망치(BAU: Business As Usual) 대비 37% 감축한다는 목표를 세운 상황으로, 영국의 신규 원전 건설을 통한 에너지 안보 및 기후변화 대응 노력은 우리나라에 의미하는 바가 크다고 할 것이다.

현 시점에서 재생에너지를 포함한 대체 에너지원이 충분치 않은 우리나라의 상황을 고려할 때 에너지 안보 및 기후 변화 대응에 있어 원자력의 역할과 기여도가 면밀히 평가될 필요가 있을 것이다.

〈참고 문헌〉

1. Energy White Paper, "Our energy future–creating a low carbon economy", Department of Trade and Industry (2003)
2. Energy Review Report, "The Energy Challenge", Department of Trade and Industry (2006)
3. A White Paper on Energy, "Meeting the Energy Challenge", Department of Trade and Industry (2007)
4. "The Future of Nuclear Power, The Role of Nuclear Power in a Low Carbon UK Economy", Consultation Document, URN 07/970 (2007)
5. "The Future of Nuclear Power, Analysis of consultation responses", URN 08/534, Department of Business Enterprise & Regulatory Reform (2008)
6. "Meeting the Energy Challenge. A White Paper on Nuclear Power", URN 08/525, Department of Business Enterprise & Regulatory Reform (2008)
7. PostNote, "The Nuclear Energy Option in the UK", Parliamentary Office of Science and Technology (2003)
8. "The UK Low Carbon Transition Plan", HM Government (2009)
9. "Overarching National Policy Statement for Energy (EN-1)", Department of Energy and Climate Change (2011)
10. "Updated Energy & Emissions Projections", Department of Business, Energy & Industrial Strategy (2017)
11. ENTSO-E, Statistical Factsheet (2016)
12. "Nuclear Power in the United Kingdom", World Nuclear Association (Updated 31 July 2017)
13. "Electricity Information 2016 – United Kingdom", International Energy Agency
14. "Appendix 2: Historic UK Oil and Gas Reserves / Resources and Production Used in Reserves Charts v Time for Website 2015", Oil & Gas Authority (2015)
15. "Projected Costs of Generating Electricity – 2015 Edition", IEA-OECD/NEA (2015)
16. 윤영주(2016), "2016년 EU 및 주요 회원국의 에너지 정책 전망", 세계 에너지시장 인사이트 제16-3호, p.22-25.
17. "Digest of United Kingdom Energy Statistics 2017", Department of Business, Energy & Industrial Strategy (2017)
18. United Kingdom renewable energy policy framework summary, IEA, https://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy/?country=United%20Kingdom