

# 원전수출 시장 전망 및 수출추진체계 강화방안

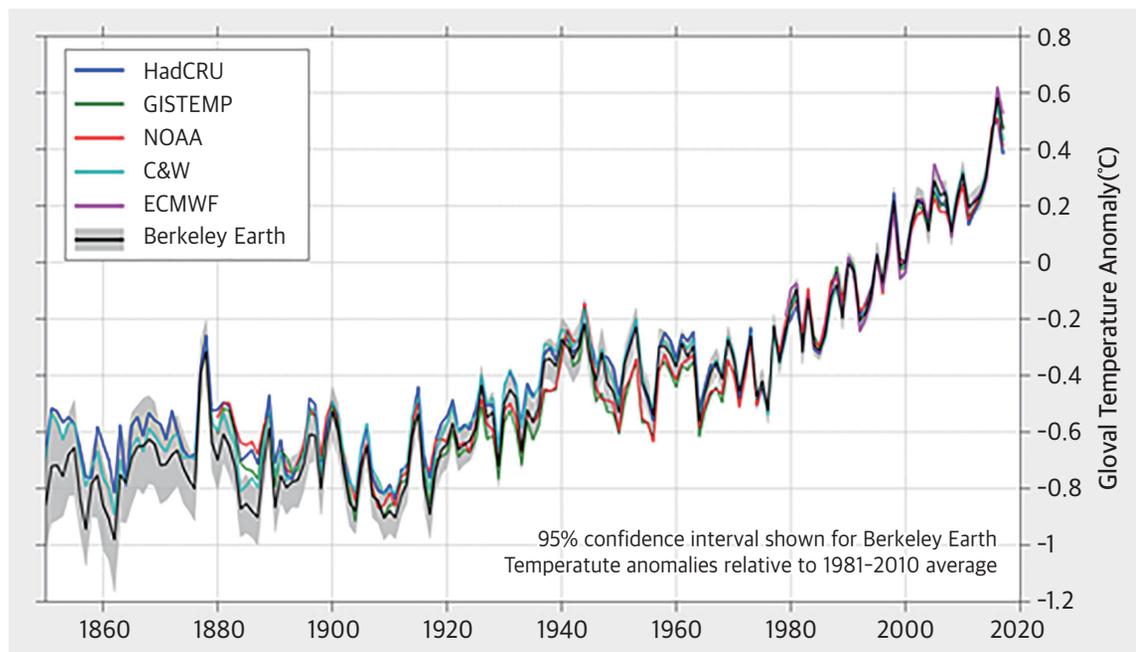
이종호 서울대학교 원자력미래기술정책연구소 책임연구원



## 원자력은 현실적이고 경제적인 탄소중립의 대안

산업혁명 이후 지속적인 지구 온도의 상승은 화석연료 사용증가가 지구 온난화의 원인이라는 것을 이제는 더 이상 부정하기 어렵게 되었다. 세계 다양한 기관에서 독립적으로 측정 또는 추정된 지구 온도 이력을 보면 일관되게 산업혁명 이후 지구 온도는 1°C이상 상승된 것으로 나타난다(그림1). 그러한 현상은 최근에 더욱 가속화되어 지난 40년간 지구온도 상승은 0.75°C나 증가하였고 대기 중 이산화탄소 농도는 400ppm을 훌쩍 넘었다. 이 이산화탄소의 증가 추이는 문명의 발전에 따른 인류의 에너지 사용 증가와 합치되는 것이다. 결국 2015년 12월 프랑스 파리에서 개최된 제21차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP21; Conference of the Parties 21)에서 197개 국가는 지구 온실가스 배출을 줄여 세기 내 지구 온도 상승을 2°C로 제한하면서 가능한 경우 증가율을 1.5°C로 감소하는 것을 주요 골자로 하는 ‘파리 협정(Accord de Paris)’을 채택하였다. 아울러 세계 각국은 파리협정 체결 이전 국가온실가스감축 목표를 유엔에 제출하였고 2021년 파리협정의 본격적 이행에 앞서 2020년까지 이를 갱신하길 합의한 바 있다.

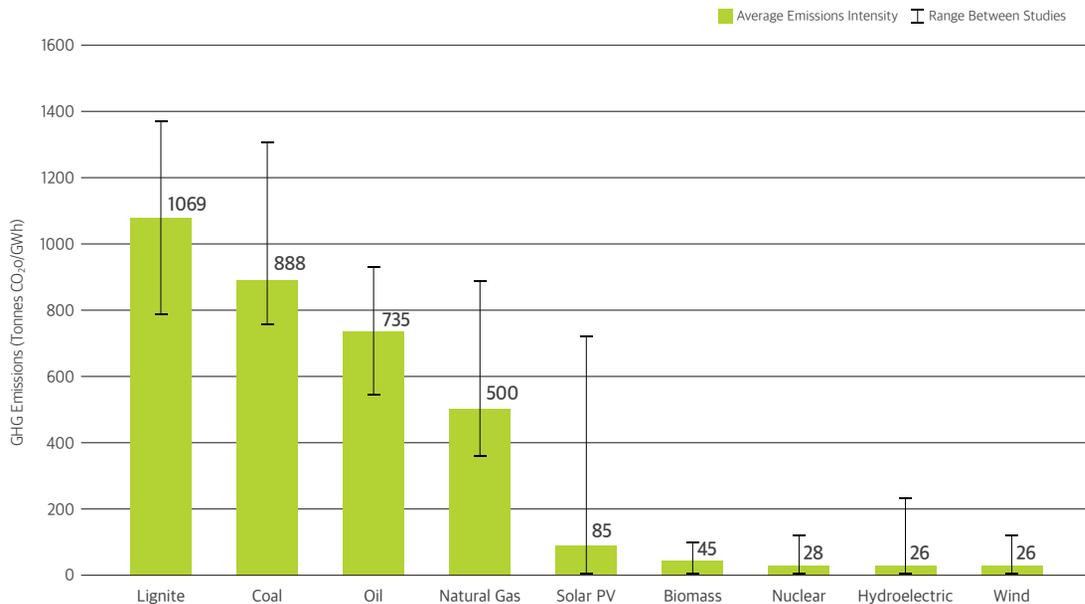
**그림 1** 산업혁명 이후 지구의 온도 변화



이에 우리나라는 2020년 10월, ‘2050년까지 탄소중립’을 선언하였고 2021.10월, 2030년까지 2018년 대비 40%를 감축하는 국가온실가스감축목표(NDC)를 결정하고 지난해 11월 제26차 유엔 기후변화협약 당사국 총회(COP26)에서 국제사회에 발표하였다. 그러나 우리나라는 당시 정부의 탈원전 정책의 영향으로 2050년 전체 발전량 중 재생에너지 비중을 60~70%로 하고 원전의 비중은 6~7%로 하는 2050년 탄소중립 방안을 제시하였다. 그러나 그림2에서 보듯이 대표적인 무탄소전원이 태양광, 풍력과 더불어 원자력임에도 불구하고 우리나라의 경우는 탈원전 정책을 기반으로 2050년 발전계획을 수립한 것이다. 이후 여러 전문가는 에너지섬처럼 독립된 전력계통인 우리나라에서 재생에너지를 60~70%로 유지하는 것은 국가의 재생에너지 부존자원과 안정적 전력계통 유지를 위해서 비현실적이며, 필요한 배터리 및 무탄소전원(예 수소터빈 발전) 등을 유지하기 위

해서 수 천조원의 투자비가 필요한 비경제적 계획이라고 지적하였다. 그러나 다행히 새롭게 탄생한 정부에서는 원전을 확대하고 원자력과 재생에너지의 조화로운 전원구성을 통해 탄소중립을 달성하기로 하고 원전10기 수출을 통해 원전 강국을 지향하는 정책을 추진하고 있다.

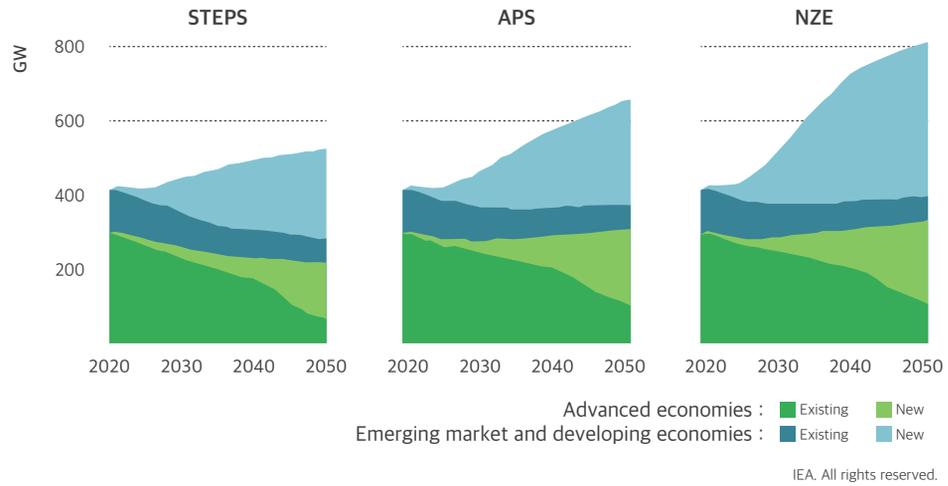
그림 2 발전원별 이산화탄소 배출량



### 다시 활발해지는 세계 원전 시장

기후변화대응을 위한 탄소중립 정책과 최근 우크라이나 사태를 계기로 한 에너지 안보는 세계에너지 업계에 다시 원전의 중요성을 부각하는 계기가 되었다. 국제에너지기구(International Energy Agency; IEA)에 따르면 2050년 탄소중립(Net Zero Emission; NZE)을 달성하는 경우 세계 원전 시장은 현재 400GW 규모에서 800GW 규모로 증가할 예정으로 신규원전 기준으로는 약 600GW의 신규원전 건설이 필요한 것으로 전망하고 있다(그림3). 이는 우리나라가 운영 중에 있는 1,000MW OPR1000 원전 60기 규모가 필요한 것이다. EU는 작년 환경적으로 지속가능한 경제 활동의 범위를 정하는 그린 택소노미를 초안을 마련하였고 많은 논의를 거쳐 2022년 2월에 원전과 천연가스를 포함시키는 최종 그린 택소노미 규정을 확정·발의하였다. 우리나라 경우도 2021년 12월 ‘한국형 녹색분류체계’를 발표하였으나 그 당시는 원전이 포함되지 않았다. 그러나, 새 정부 출범 이후 원전 중시 분위기를 반영하여 고준위방사성폐기물 처분을 위한 세부계획과 관련 법률 제정 등을 조건으로 원전도 ‘한국형 녹색분류체계’에 포함시켰다. 결국 세계적으로 활발한 신규원전 건설을 위한 정책적 여건이 갖추어졌다고 할 수 있다.

그림 3 2050 세계원전설비 확대 전망



*Nuclear power can help clean energy transitions through lifetime extensions for existing reactors where safe, and the acceleration of new construction where acceptable*

국가별로 살펴보면 먼저 유럽의 경우, 최근 폴란드는 미국과 6기 AP1000 건설을 위한 정부간협약을 맺었으며 한국과도 2~4기의 원전 건설의향서를 체결하는 등 탄소중립을 위해 유럽에서 가장 높은 비율의 석탄화력 비중을 낮추려 노력하고 있으며, 스웨덴 경우도 논란 끝에 전기화로 인한 에너지 수요 증가와 국민의 원전 선호도 개선으로 국영기업인 바텐폴이 다시 원전건설을 재개할 계획이며 네덜란드, 벨기에 등의 유럽 국가도 신규원전 건설을 추진하거나 탈원전을 폐기로 전환하였다. 영국은 탄소중립을 위해 사이즈웰-C 원전을 프랑스의 EDF가 건설하고 있으며 앞으로도 신규원전을 지속 건설하여 장기적으로 일정 비율의 원전을 유지할 계획이다. 이외에 우리나라가 계속 공을 들이고 있는 체코, 헝가리, 루마니아, 현재 전쟁 중인 우크라이나 등 많은 유럽국가가 신규원전을 추진하고 있다. 특히 유럽지역은 한국이 2010년경부터 유럽형 원전으로 EU-APR1400, EU-APR1000 등을 개발하며 유럽의 발전사업자와 접촉해와 우리 원전의 강점을 잘 알고 있다. 더욱이 이번 우크라이나 사태로 인하여 러시아에 대한 거부감과 중국에 대한 국가 신뢰 부족 등은 에너지 안보 차원에서 우리 원전의 진출에 호의적인 상황이 되었다.

중동지역은 추가 건설을 계획하고 있는 UAE, 사우디아라비아, 이집트, 카자흐스탄 등 성공적인 UAE 원전 사업을 경험을 바탕으로 우리의 매력적인 원전시장이며 필리핀, 베트남 등 아시아 국가와 일부 아프리카 국가도 우리에게 원전건설을 타진하는 실정이다. 마지막으로 관심을 가져야 하는 시장은 미국의 신규원전 건설 시장이다. 미국은 60년, 80년 계속운전을 포함하여 100기에 가까운 원전을 운영하고 있으나 현재 운영 중인 원전은 결국 폐로할 수밖에 없다. 그러나, 자국의 원전공급사는 긴 건설 공기와 비싼 건설비로 인하여 전력회사의 요구를 만족시키지 못하는 실정으로 건설을 착수한 지 10년이 지나 이제 겨우 완공 예정인 Vogtle 3,4호기는 건설비가 무려 300억\$(2기 2200MW 기준)을 훨씬 초과하는 것으로 알려져 있다. 현재 미국은 SMR 건설로 기존 원전 대체 한다고 하고 있으나 중소도시의 분산형 전원 목적으로는 가능해도 도시지역의 대량의 전력 공급을 위해서는 100MW급 SMR로는 한계가 있다고 생각된다. 따라서, 앞으로 예상되는 대규모 미국의 기존 원전 대체 수요는 우리에게 큰 신규원전 시장이 될 것이다.

### 경쟁력 있는 우리나라 원전산업

지구온난화 방지를 위한 탄소중립 실현과 에너지안보 차원에서 확대되는 세계 신규 원전건설 시장을 향한 우리의 경쟁력은 어떠한가? 기술적 측면과 산업경쟁력 측면에서 살펴보면 한마디로 세계 최고의 경쟁력을 가지고 있다고 할 수 있다. 미국에서는 1979년 TMI(Three Mile Island)원전 2호기 사고 이후 신규원전 건설이 중지되었고 미국 정부는 원전산업 재개를 위하여 1990년대 초에 걸쳐 안전성이 획기적으로 개선된 AP1000, ABWR 등 신형원전(Advanced Reactor)을 개발하였다. 그러나 미국은 강화된 규제요건과 지역주민의 반대 등으로 30여년간 신규원전을 건설하지 못하였다. 반면 한국은 2000년대 초반까지 기술자립한 OPR1000(한국형 원전)을 반복 건설하였고 곧이어 신형원전인APR1400을 자체 개발하여 신고리 3,4호기부터 건설하기 시작하였다. 이후 EU-APR1400, EU-APR1000 개발 및 미국 규제기관 NRC 설계인증을 통하여 계속 기술을 개선하여 미국과 유럽의 규제요건을 동시에 만족하는 원전을 보유하게 되어 기술경쟁력 면에서도 세계적 수준에 이르렀다.

원전산업 측면에서도 서방 경쟁국인 미국과 프랑스는 오랫동안 신규원전을 건설하지 않아 원전산업 인프라가 무너져 있는 반면, 한국은 탈원전 이전까지는 지속적으로 원전을 건설하여 반복 건설에 의해 원전산업의 경쟁력을 유지하여 왔고 특히, 한국기업 특유의 근면성과 효율성은 원전산업의 경쟁력에도 적용되었다. 이러한 경쟁력 차이는 미국 경우 V.C. Summer 원전 건설을 포기하고 곧 완공 목표인 Vogtle 2,3호기 원전건설에서의 공기 지연과 과도한 건설비 증가를 가져왔고 프랑스의 경우는 2007년 자국에서 건설을 시작한 프라망빌 원전과 핀란드에서 2003년 건설을 시작한 오킬루우트 원전을 아직도 완공하지 못하고 있는 실정과는 대비된다. 이에 비해 한국의 경우는 열악한 환경에 최초로 원전을 건설하는 UAE에서 지난 2021년 4월과 올해 3월 바라카 1,2호기를 준공하였고 3,4호기도 순차적으로 준공할 예정이다. 이러한 경쟁력 차이는 표1에서와 같이 여러 건설단계 추정에서 한국이 미국과 프랑스의 건설비용의 1/2 정도임을 보여주고 있다.

표 2 국가별 원전 건설비 비교

국가	Bloomberg		WNA		IEA, Investment Cost(7%DR)	
	\$/kW	상대비	\$/kW	상대비	\$/kW	상대비
프랑스	7,809	2.1	7,931	2.22	5,132	1.86
미국	11,638	3.13	5,833	1.63	5,435	1.97
러시아	5,271	1.42	6,250	1.75	2,904	1.05
중국	4,364	1.17	4,174	1.17	3,197	1.16
한국	3,717	1	3,571	1	2,759	1

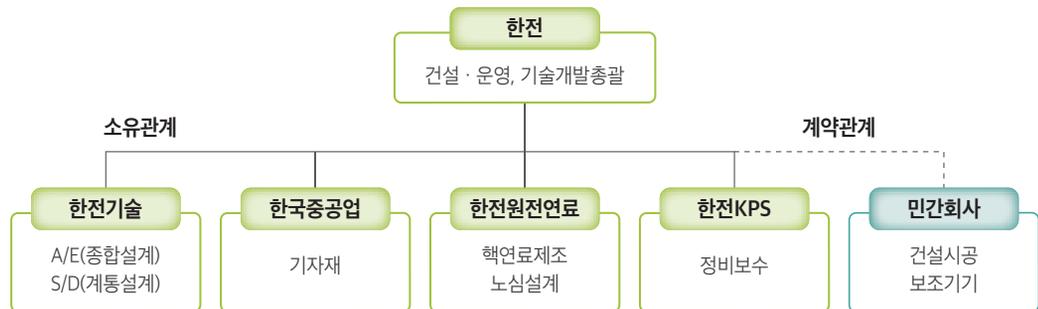
### 탈원전의 폐해에서 하루 빨리 벗어나야

그러나, 우리나라의 원전산업의 경쟁력은 지난 탈원전 정책 등으로 심각한 위협을 받게 되었다. 산업의 경쟁력의 기본 요소인 일거리, 즉 원전건설 사업 현황을 살펴보면 지난 10년 동안 새롭게 수립된 원전건설계획은 한 기도 없게 되었다. 오히려 결과적으로 2010년 수립된 제5차 전력수급기본계획 중 신고리 7,8호기 건설계획

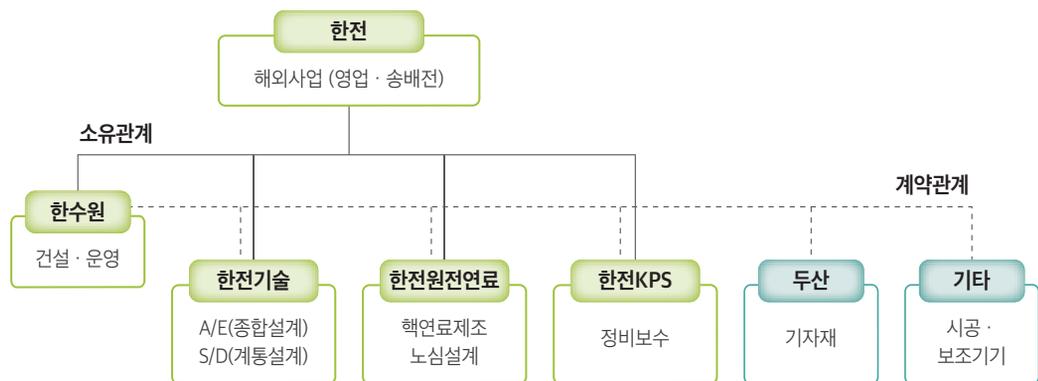
이 취소된 상황이다. 2015년 7차 전력수급기본계획에서 천지 1,2호기, 대진 1,2호기를 추가 건설계획을 수립하였으나 다시 탈원전을 표방하는 전 정부의 8차 전력수급기본계획에서 그 계획이 취소된 것이다. 결국 원전산업을 지탱하는 기본 일거리인 건설사업이 지난 10여년 동안 한 건도 추가되지 않은 것이다. 다행히 탈원전 정책을 폐기하고 원전을 중시하는 새 정부가 탄생하여 10차 전력수급기본계획을 수립 중이지만 중지된 신한울 3,4호기 건설을 재개하고 계속 운전을 추진하는 것 이외에 신규원전이 추가되지 않아 빠른 원전산업의 경쟁력 향상에는 한계가 있다.

원전산업의 경쟁력은 설계, 시공, 기기제작, 운영 등 전 분야에서 뒷받침되어야 한다. 우리나라 원전산업의 경쟁력 약화는 어쩌면 탈원전 이전부터 시작되었다고 할 수 있다. 전력산업구조개편에 의해 설립된 한국수력원자력은 이전에 한전이 수행하던 원전 운영과 건설 사업을 주관하는 기관으로 설립되었다. 그 과정에서 해외사업은 한전과 한수원으로 이원화되었고 원전 설계 및 엔지니어링을 담당하는 한전기술과 핵연료 설계 및 생산을 담당하는 한전연료(주) 등은 그대로 한전의 자회사로 남아있게 되었다. 상법상 한수원을 포함하여 모두 한전의 관할 아래 있게 된 것이다. 즉 과거와 같이 일사불란한 사업추진에 어려움이 있게 되었다(그림 4,5).

**그림 4** 원전산업체계(전력산업 구조개편 이전)



**그림 5** 원전산업체계(전력산업 구조개편 이후)



원전산업체계 상의 문제점을 지적하였지만 정책적으로도 2010년 이후에 큰 변화가 있었다. 2011년 후쿠시마 사고, 고리1호기 정전 은폐 사건과 부품 품질위조 문제 발생 등은 국민이 원전 산업을 불신하는 계기가

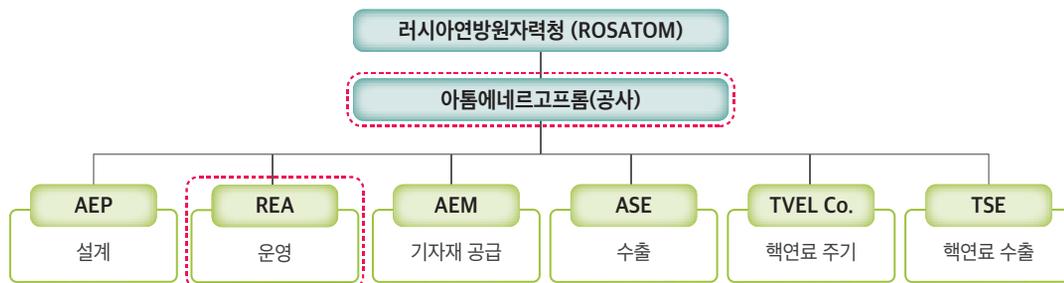
되어 외부에서 원전 산업계에 자성을 촉구하게 되었다. 그러나 이러한 변화는 원전 산업계의 투명성을 높이는 계기는 되었지만, 과도한 규제, 정책의 일관성 결여 등 산업경쟁력 유지에 큰 장애가 된 것도 사실이다. 2010년대 이후 SMR 개발, APR1400 개선 등 신형원전의 개발은 중지되었으며 글로벌 스탠다드에 맞춘 운영기술 개발도 등한히 한 결과, 2011년 이전 90%가 넘던 원전 평균이용률은 지난 10년간 76.5%로 떨어져 더 이상 운영기술 선진국이라는 말이 무색할 정도가 되었다. 반면 미국은 90년대 80% 내외였던 원전의 이용률을 지난 5년 평균으로 92.5%까지 대폭 향상시켰다. 원전 수출은 원전건설과 더불어 부품의 공급, 엔지니어링 및 운영기술 지원 등 건설 이후에도 우리에게 고급 일자리를 제공할 수 있다. UAE 원전건설사업이 거의 마무리에 이르는 상황에서 우리 원전 산업계가 후속 운영·정비 및 엔지니어링 지원사업의 많은 부분에서 외국의 참여를 허용했다는 점은 우리에게 많은 숙제를 던지는 것이다. 이제 원전 산업계는 탈원전 정책의 그늘과 과거 정책적 혼선에서 하루빨리 벗어나 원전수출 강국의 미래를 향한 변화가 절실한 시기이다.

### 원전 강국을 향한 원전산업 체계의 변화

우리나라의 원전산업 발전은 한강의 기적처럼 세계 원전 업계가 부러워하는 사례였다. 70년대 툰키베이스(자동차 키를 받아 운전하는 것과 같은 방식)로 원전을 도입하여 운영하던 나라가 10년도 채 지나지 않아 1986년 원전기술자립계획을 수립하여 OPR1000이라는 한국형 원전을 개발하여 스스로 원전을 건설하였고 곧바로 자체적으로 신형원전개발계획을 수립하여 개발에 착수하여('92) APR1400이라는 독자 원자로형을 개발하여(2002년) 건설하였으며 그것을 바탕으로 2009년 UAE에 최초로 수출하는 등 세계 원전 업계를 놀라게 했다. 이렇게 세계 원전산업을 선도하던 우리의 원전 산업계는 후쿠시마 사고 이후의 강력한 원전 반대 운동, 이전 정부의 탈원전 정책 등으로 인하여 급격히 성장동력을 잃게 되었다. 다행히 이번 정부는 원전 비중을 상향하고, 원전 생태계의 경쟁력 강화와 '30년까지 원전 10기 수출을 통한 원전의 수출산업화 등을 국정과제를 제시하고 있다.

앞에서 기술하였지만 2050년까지 세계 원전 시장은 600기의 원전, 적어도 3천조원 이상의 시장이 열려있다. 다행히 이집트와 폴란드로부터의 수주 소식이 원전 수출의 물꼬를 뜨는 계기가 되었지만 원전 시장을 선점하고 원전 강국이 되기 위해서는 우리의 원전산업체를 근본적으로 변화시켜 효율성과 경쟁력을 높여야 할 것이다. 원전 산업의 경쟁력이란 운영, 건설, 설계, 후행주기 등 전주기적 경쟁력이 필요하고 그 산업을 지원하는 정부의 정책, 인력, 교육체계 등이 뒷받침되어야 하겠지만 여기서는 그의 중심이 되는 산업체계의 변화방향에 대하여 제안할까 한다. 그림4에서 우리나라 원전 산업체계는 '80년대 기술자립을 위한 일사분란한 역할분담체제로 출발하였다. 프랑스, 러시아, 중국 등 경쟁국도 그림 6의 러시아 사례에서 보듯이 일사분란한 체계를 갖추고 있으며 그렇게 변화해왔다. 반면 우리나라는 2001년 전력산업구조개편으로 오히려 역할분담이 오히려 일관성이 떨어지는 구조로 변경되었다. 특히, 이원화된 해외사업은 이제까지 여러 차례 양 사간 혼선이 있어왔다. 해외사업 초기에 한수원은 신형원전인 APR1400을 건설하고 있는데 한전은 기존 원전인 OPR1000을 마케팅한다든지, 한수원은 유럽 진출을 위해 유럽형 원전을 개발하고 있는데 한전은 이를 반대한다든지 등 혼선이 있었다. 이제는 우리 원전 산업계가 '30년까지 10기 이상의 원전은 수출하고 이후도 수십 기의 원전을 수출할 것에 대비하여 이제는 원전수출체계에 근본적 변화가 필요하다.

그림 6 러시아 원전산업체계(프랑스, 중국도 비슷한 체계임)



원전수출체계 개편방안은 한전을 포함한 전력산업이 개편된 이후 여러 차례 논의되어왔다. 2000년대 중반에서 2011년 후쿠시마 사고 발생 이전까지 정부나 산업계, 학계에서 많이 논의되었다. 그러나 그 이후 원전산업은 침체되었고 산업체계 개편 논의는 중단되었다. 수출추진체계 개편은 여러 관련 기관의 이해가 얽혀 있어 여기서는 구체적인 방안보다는 개편 방향만을 제시하는 것으로 하겠다. 첫 째, 각 기관의 업무분담은 존중되는데 외국 경쟁사처럼 지배구조나 의사결정 구조는 일사불란한 체계가 되어야 할 것이다. 결국 해외사업은 지금과 같은 이원화 체계에서 반드시 일원화체제로 변화해야 할 것이다. 둘째, 공기업체계의 한계를 넘을 수 있도록 민간이 참여할 수 있는 체계로 변화해야 할 것이다. 최근 SMR에 국내의 많은 대기업이 참여하고 있는데 이들에게 미래 국내에서의 사업 기회는 아직 불확실하다. 해외사업을 성공시키기 위해서는 비즈니스마인드가 중요하다 공기업방식의 신뢰라는 장점을 제공할 수 있지만 적극성과 진취성이 떨어져 사업개발에 제약이 있을 수 있다. 해외사업에 민간방식을 도입하는 방안을 검토해야 할 것이다. 아울러 비대화된 운영조직의 전문화 방안도 검토하여 분야별 경쟁력을 향상시켜야 할 것이다.

### 맺음말

에너지가 얼마나 국민 경제에 중요한지는 최근 우크라이나 사태로 인해 절실히 느낄 수 있었다. 또한 에너지 정책이 국가 근간의 흔들 수 있다는 것도 최근 한전의 사태가 잘 보여주고 있다. 무탄소 원자력에너지는 지구 환경을 보존할 수 있는 아주 현실적인 에너지이다. 우리나라 원전산업계는 세계가 부러워할 정도로 성장하였고 최근 탈원전으로 인하여 주춤하기는 하였지만 여전히 원전산업의 경쟁력은 세계 최고 수준에 있다. 이번 기회에 원전산업체계를 시대에 부합하게 개편하고 분야별 원전산업 경쟁력을 높이도록 원전 정책을 바로 세워 글로벌경쟁력을 확보한다면 앞으로의 세계원전시장을 선점하여 국가 미래 성장동력으로서 역할 뿐만 아니라 전지구적 탄소중립 실현에도 우리의 원전 산업이 크게 기여할 수 있을 것이다.