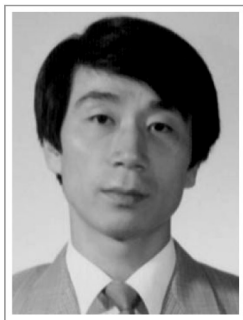


원자력 르네상스와 원전 장기 전망

김현준 | 한국원자력연구원 기술혁신연구팀장



원자력산업의 침체와 부활

보통 원자력산업 침체의 시작으로 TMI 원전 사고를 들고 있다. 1979년 3월에 발생한 TMI 원전 사고는 상업 운전을 개시한 지 3개월 밖에 되지 않은 원전에서 발생한 것이었다.

이로 인해 원전 안전에 대한 관심이 크게 야기되었고, 안전한 원전에 대한 믿음이 붕괴되는 현상을 초래하였다.

이것은 미국 내에 새로운 원전 발주가 중단되는 사태로 발전하였고, 안전 규제의 강화로 원자력 발전의 경제성이 나빠지는 현상을 유발하였다.

이것이 통상 우리가 말하는 원자력산업 침체의 시작이라 할 것이다.

2006년 12월 국제원자력기구(IAEA)는 원전 도입에 따른 현안이 무엇인가를 주제로 워크숍을 개최하였다.¹⁾

이 워크숍에서 H. Holger Rogner²⁾씨가 TMI 사고 이후 원자력산업의 침체를 유발하고 가속시킨 요인들을 발표하였는데 여러 가지 면에서 그 원인을 찾고 있으며, 다음과 같다.

○ 1980년대에는 세계적으로 전력 수요가 기대한 만큼 증가하지 못하였다. 여기에는 에너지이용 효율 향상 기술의 발전도 기여하였다.

이로서 전력 생산 설비가 과잉되는 현상이 나타나게 되었고 신규 원전 건설 수요가 필요하지 않게 된 것이었다.

1) IAEA, Technical Meeting and Workshop on Issues for the Introduction of Nuclear Power, 4 to 6 December 2006, Vienna, Austria

2) IAEA 원자력국(Department of Nuclear Energy) 기획 및 경제성 연구과(Planning & Economics Studies Section) 과장

○ 1980년대에는 석유 가격이 낮은 수준에서 지속적으로 안정됨에 따라 원자력 발전이 경쟁력있는 옵션일 수 없었다. 그리고 낮은 석유 가격과 안정적인 공급은 국가 에너지 안보의 중요성을 심각하게 고려하지 않도록 만들었다.

이는 원자력 발전이 연료 공급의 우수성과 안정성에 따라 에너지 안보에 기여한다는 역할을 크게 축소시켜 버렸다.

○ 전력 시장 자유화의 진행이다. 당시까지 전력은 공공재로서 정부 차원에서 독점 관리되어야 하는 재화로 인식되고 있었는데, 이를 시장에 내놓아 자유 경쟁에 따라 구매자가 전력을 살 수 있도록 한 것이었다.

이것은 큰 초기 투자비를 필요로 하는 신규 원전을 도입하려는 투자자를 찾기 어렵게 되었다. 전력 시장 자유화는 전력 수요의 변화에 단기적으로 대응하는 것이 중요하였기 때문에 건설에 장기간이 소요되고 많은 투자비가 필요한 원자력 발전은 투자 고려 대상에서 제외될 수밖에 없었다.

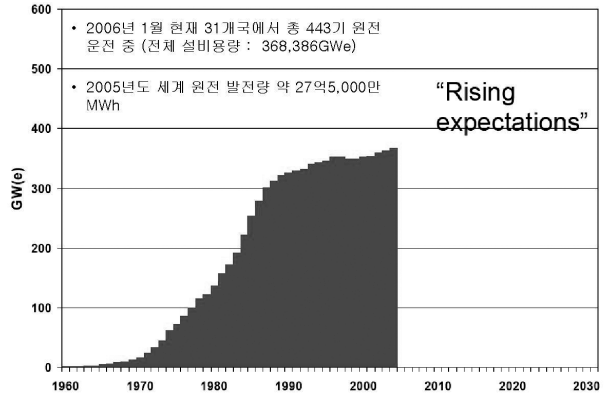
이에 더하여 당시는 이자율이 상대적으로 높게 유지되었는데 이는 원전의 신규 건설 투자에 따르는 이자 비용을 크게 증대시킴으로써 원전에 대한 투자를 더욱 어렵게 만들었다.

○ TMI 사고로 가동중 및 신규 도입될 원전에 대한 안전 규제가 강화되었고, 이것이 높은 비용을 유발하여 원전의 경쟁력을 감소시켰다.

그리고 1986년에 발생한 체르노빌 사고는 원자력 안전에 대한 일반인들의 믿음을 파괴하다시피 하였고, 원자력 이용에 대한 국민 수용성 확보가 무엇보다도 우선되어야 한다는 큰 난제를 안겨주었다.

이로써 님비(NIMBY) 현상이 크게 확산되었고, 원전을 건설할 부지 확보를 너무나 어렵게 만들어 버렸다. 이러한 모든 현상들이 복합적으로 작용하여 원자력산업의 침체가 지속되었다고 지적하고 있다.

원자력 르네상스는 원자력의 침체를 전제로 하고 있다. 앞서 기술된 바대로 세계적으로는 여러 가지 원인에 의해 신규 원전 수요를 과거와 같이 창출하지



(출처) IAEA Workshop, 2006.12.4

<그림 1> 원자력 발전 규모 추이

못한 것은 사실이다.

그러나 1960년대와 1970년대와 같은 원전 수요 증대가 없었다고 하더라도 아시아를 중심으로 한 수요 증대는 지속적으로 있었고, 또한 전 세계 전력 생산에서 16%를 지속적으로 공급하였다는 사실로 인해 르네상스라고 부르는 것이 타당한가 하는 의견도 있다.

하지만 <그림 1>에서와 같이 1990년대 이후 원자력 발전 규모 증가가 정체되었고 이는 세계적으로 신규 수요가 미미하였다는 것으로서 원자력산업의 침체를 의미한다. 이 침체의 늪에서 벗어나 신규 수요가 증가한다면 르네상스라고 할 수 있는 것이다.

세계원자력협회(WNA; World Nuclear Association)에서는 최근 원자력 르네상스를 촉진하는 요인으로서 다음을 들고 있다.

○ 에너지 수요와 전력 소비 증가를 충족시키기 해서 원자력 발전이 필요하다. 개발 도상국을 중심으로 하는 산업화 촉진과 인구 증가로 인해 2030년까지 에너지 소비가 현재보다 2배로 증대될 것이라고 추정하고 있다.

유럽과 미국의 경우에도 점진적이기는 하나 이 기간 동안 발전 설비를 교체하거나 신규로 도입해야 할

것으로 전망되고 있다.

그리고 담수 부족과 수소 에너지 이용 증대가 전망됨에 따라 이를 대량 생산하여 공급하기 위해서 많은 에너지가 필요할 것이고, 원자력이 충분히 기여할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

○ 기후변화협약에 따른 이산화탄소 배출 규제는 언론과 일반 국민들로부터 화석 연료 사용을 줄여야 한다는 공감을 얻게 되었고, 이를 위해서 이산화탄소 저배출 에너지원으로서 화석 연료를 대체해야 한다는 인식이 확산되었다.

원자력은 이산화탄소를 거의 배출하지 않으면서 현실적으로 대량 에너지를 안정적으로 공급 가능한 에너지원이다.

○ 원자력 발전의 경제성이 점점 호전되어 투자자들이 가장 중요하게 고려하는 수익성 확보가 가능해지고 있다는 것이다. 원자력 발전의 경제성은 운전 성능의 지속적인 향상에 기인하는 바가 크다.

또한 화석 연료 가격의 급등과 화석 연료 발전소들의 이산화탄소 배출 감소를 위한 설비 투자 등도 원자력 발전의 경쟁력 향상에 일조할 것으로 기대된다.

○ 우라늄은 공급 안정성이 화석 연료에 비해 높다는 점이다.

화석 연료 발전소들은 연료비 비중이 높아 연료 가격 상승의 영향이 매우 크다. 그러나 원자력 발전은 연료비 비중이 매우 낮아 우라늄 가격의 급속한 변동이 발생하여도 원자력 발전 생산 단가가 크게 영향받지 않는다. 이것은 화석 연료에 비해 원자력 발전의 전력 가격 안정성을 크게 높여 경쟁력을 제고시키고 있다.

그리고 우라늄은 화석 연료에 비해 국제 정치적 환경 변화에 민감하게 반응하지 않는 등 공급의 안정성이 높다는 점도 원자력 발전의 경쟁력 제고에 큰 도움이 되고 있다.

○ 최근 원자력 이용의 필요성에 대한 일반 대중의

이해도가 점점 높아지고 있다는 것이다. 2006년 1월 개최된 다보스의 세계경제포럼(WEF)에서 「원자력의 역할 증대에 대한 논의」가 이루어지는 등 원자력에 대한 제도권의 논의가 활성화되기 시작하였고, 미국에서 자국민을 상대로 조사한 결과 원자력에 대한 수용성이 꾸준히 향상되어 2006년도에는 68% 정도가 절대적인 찬성을 기록하고 있다.³⁾

그리고 스위스, 스페인, 독일, 이탈리아 등 원자력 이용을 중단 또는 축소하겠다고 한 국가들도 원자력 이용 재개를 검토하고 있다는 것은 매우 고무적인 일이다.

○ 최근 제4세대 원자력 시스템 개발 등 원자력 연구 개발이 국제 협력을 통한 개발로 추진되어, 연구 개발 투자 위험을 감소시키면서 최고의 기술을 접목할 기회를 증대시키는 것도 원자력의 미래 경쟁력을 향상시킬 수 있을 것으로 기대되고 있다.

이러한 징후들은 분명 원자력의 부활을 예견하는 것이라고 할 것이다. 그러나 이러한 부활은 단순히 기다리는 것으로 이루어지지 않는다. 항상 주의를 요하는 것이 원전의 안전한 운영이 바탕이 되어야 한다는 것이다.

TMI나 체르노빌 같은 대형 사고가 흑시라도 발생한다는 것은 부활하려는 원자력의 날개를 바로 꺾어버리게 될 것이기 때문이다.

원전 장기 전망에 나타나는 원자력 르네상스

어떤 나라들이 원자력 발전을 도입하고 싶다고 할까? 국산 에너지원이 부족한 나라, 수입 화석 연료 의존도를 줄이고 싶은 나라, 화석 연료를 대체할 수 있는 재생에너지원이 풍부하지 않은 나라, 전력 생산원을 다양화하여 공급 안정성을 높이고 싶은 나라, 환경 보호와 기후변화협약에 대응하면서 에너지 공급 안정성을 높이고 싶은 나라들이 아닐까 싶다.

3) 정환삼, 원자력르네상스 도래 환경 분석과 우리나라 원자력연구개발에의 시사점, 기술정책 Brief Report 제3호, 한국원자력연구소, 2006년 7월 21일

이러한 나라들이 세계에 얼마나 있을까? 현재 원자력발전을 하고 있는 나라가 31개국이다. 최소한 이들 국가 중 많은 나라들이 상기한 기준에 들어갈 것이다.

2006년에 세계원자력협회(WNA), 국제원자력기구(IAEA) 등이 공동으로 조사한 바에 따르면, 원전을 건설하고 있거나, 건설 계획을 가지고 있으며, 또는 건설할 분명한 의사를 제안하고 있는 나라의 수가 26개국이고, 이들 나라들이 건설/계획 및 제안한 원자력 발전의 규모는 169기 135,699 MWe에 이른다.

원자력 르네상스라고 하기에 충분한 것으로 생각된다.

여러 국제 기구에서 향후 원전 도입에 대해 전망(〈그림 2〉)한 바에 의하면 2030년이 되면 원자력 발전 규모는 최대한 현재보다 90%가 증가되고 최소한으로도 현재보다 7%가 증가될 것으로 보고 있다.

이 전망에서 2030년까지의 원전 규모 증가분보다 2030년까지의 신규 원전 건설 규모는 훨씬 더 크다. 이 이유는 〈그림 3〉에 잘 나타나 있다.

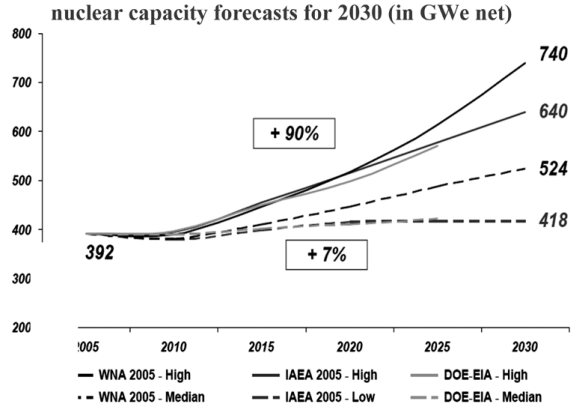
〈그림 3〉에서와 같이 신규 원전 건설 수요는 2030년까지의 총원전 수요에 기존 원전들의 폐지 규모를 더하고 여기에 수명 연장과 출력 증강을 통한 규모의 증대분을 뺀 것이다.

이러한 전망에 의거하여 국제원자력기구(IAEA)는 전 세계 전력 생산에서 차지하는

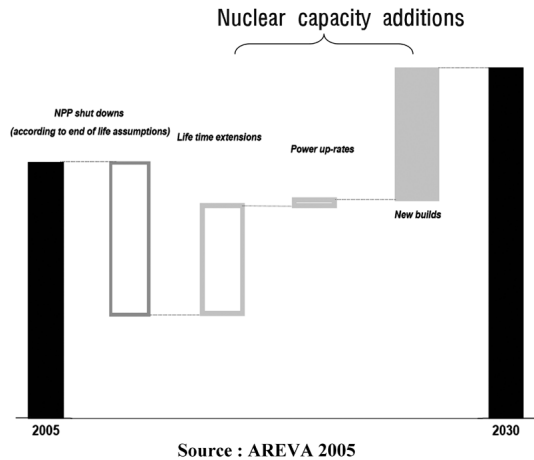
원자력 발전 비율이 현재의 16% 수준에서 2030년이 되면 27%가 될 것으로 보고 있다.

그러면 장기 전망에 따른 신규 원전 건설은 어떠한 노형들로 채워질 수 있을 것인가에 관심을 가질 필요가 있다. 세계원자력협회(WNA)에서 조사한 바에 따르면 2013년까지 신규로 운전에 들어갈 예정인 48기 원전 중 대부분이 경수로형인 것으로 나타나고 있다.

총48기 중 경수로가 39기(이중 PWR 33기, BWR 1기, ABWR 3기)이고, 중수로가 9기, 그리고 나머지



〈그림 2〉 장기 원전 도입 전망

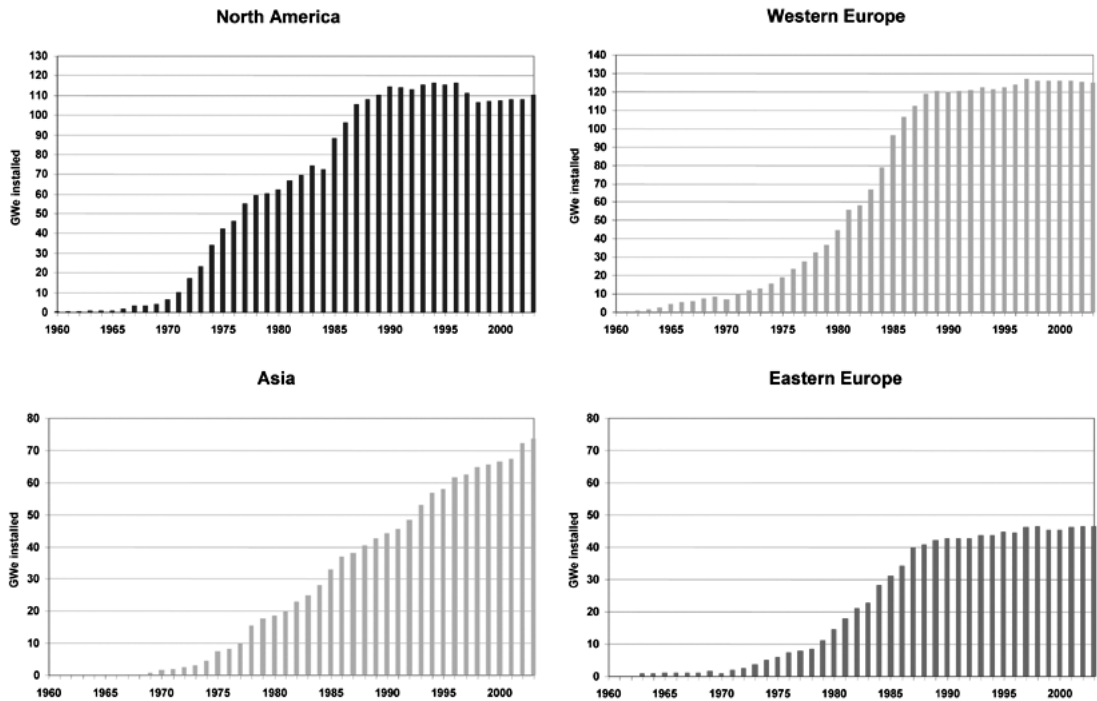


〈그림 3〉 신규 원전의 도입 규모 추정

2기는 고속로이다.

경수로로는 중국, 인도, 이란, 러시아, 일본, 핀란드, 한국, 파키스탄 등 많은 나라에서 건설되고 있고, 중수로는 인도, 루마니아, 캐나다, 아르헨티나에서, 고속로는 인도와 러시아에서 건설되고 있다.

그리고 2012년부터 2017년 사이에 운전에 들어갈 예정인 원전 12기는 모두 경수로형이다.(이중 PWR



<그림 4> 지역별 원전 도입 추이

이 5기, ABWR이 3기, APWR이 2기 그리고 우리나라의 APR1400이 2기이다)

이러한 조사 결과는 최소 2020년까지는 개량형 경수로가 주력 원전으로서 계속 역할할 것임을 말해주고 있는데, 2030년까지도 경수로가 주력 원전으로서 역할을 지속할 것으로 보인다.

물론 경수로의 역할은 2030년 이후에도 지속될 것으로 전망되는데, 원전의 노형 구성 변화에 영향을 줄 것으로 보이는 것이 사용후핵연료를 어떻게 관리할 것인가라는 것으로 생각된다.

그리고 현재 국제 공동 연구 개발을 통해 추진중인 제4세대 원자력 시스템의 개발 성공 여부도 중요하게 고려될 수 있을 것이다.

현재 제4세대 원자력 시스템 개발에서 활발하게 진

행되고 있는 것이 소듐냉각고속로와 초고온가스로, 그리고 가스냉각고속로와 초임계압수냉각로이다.

제4세대 원자력 시스템에는 기존의 경수로의 개량 개념은 없고 고속로 개념과 고온로 개념이 주요 대상이다.

고속로는 사용후핵연료관리 정책과 연계되어 있고 고온가스로는 수소 에너지 생산 정책과 연계되어 있다고 보여진다.

그리고 해수 담수화와 전력 생산을 동시에 하는 중소형 원자로의 수요도 상당한 정도로 전망되고 있다.

결국 2030년 이후의 원전 노형은 개량형 경수로, 고속로, 고온가스로, 중소형로가 주력이 되어 구성될 가능성이 커 보인다. 이에 2030년 이후의 신규 원전 건설 수요에는 제4세대 원자력 시스템이 중요한 역할

을 할 것으로 기대된다.

아시아 지역이 르네상스를 견인

과거 원전 도입 추이를 지역별로 나타낸 <그림 4>를 살펴보면, 북미와 유럽 지역은 1970년대와 1980년대에 가파른 도입 추세를 보인 후 1990년대부터는 약 110에서 120GWe 수준에서 정체되어 거의 신규 도입이 없는 양상을 보이고 있는 반면, 아시아 지역은 2000년대까지 지속적으로 신규 원전이 도입되는 추세를 보이고 있다.

이는 원자력 르네상스를 아시아 지역이 견인하고 있음을 말해주는 것이다.

아시아 지역의 대표적인 원전 도입 국가는 극동 3국과 인도를 들 수 있다. 특히 중국과 인도는 BRICs의 대표적인 국가들로서 많은 인구에 높은 경제 성장률을 보이고 있어 에너지 블랙홀로서 불리고 있고, 이를 해결하는 한 방안으로서 원자력 발전의 도입에 역점을 두고 있다.

중국은 2020년까지 원전 규모를 40GWe로 증설할 계획이고, 인도도 2020년까지 20~30기의 신규 원전을 건설할 계획을 가지고 있다.

일본은 기존 경수로의 수명 연장과 개량 경수로의 건설과 함께 제4세대 원자력 시스템인 소듐냉각고속로를 2050년경에 상용화하여 원전 노형 구성에 참여 시킴으로써 사용후핵연료관리는 물론 방사성폐기물 저장 및 우라늄 자원 이용 효율 향상을 도모하겠다는 장기 계획을 가지고 있다.

특히 한국과 일본은 ‘제4세대원자력시스템 국제공동 연구개발을 위한 국제포럼 (GIF; Gen IV International Forum)’의 창설 회원국이고, 중국은 2006년 11월 신규 회원국으로 참여하였으며, 인도는 현재 참여를 고려하고 있는 등 이들 국가 모두 제4세대 원자력 시스템의 개발에 큰 관심을 보이고 있다.

이러한 면에서 아시아는 개량형 경수로만이 아니라 제4세대 원자력 시스템을 도입할 시장으로서도 충분히 매력적인 곳이라 할 것이다.

이외에 파키스탄은 2030년까지 8GW의 원전을 신규로 건설할 계획을 가지고 있고, 인도네시아는 2011년까지 신규 원전 도입을 가속화시키겠다는 의향을, 베트남은 2011년까지 원자료를 건설할 의향을 보이고 있으며, 카자흐스탄은 러시아와 협력하여 중소형로를 개발할 계획을 추진하고 있다.

미주 지역에서 원자력 르네상스를 주도하고 있는 국가는 단연 미국이라 할 것이다. 미국은 20여기의 신규 원전에 대한 건설·운전 통합 인허가를 신청할 계획을 진행하고 있다.

이는 제3세대 플러스형 원전 (Gen III+)인 AP1000, ESBWR, ABWR, APWR, EPR 등을 2010년경에 건설 착수하여 2014년경에 운전 개시에 들어가도록 하겠다는 NP2010 프로그램에 따른 것이다.

한편 미국 전력연구원인 EPRI(Electric Power research Institute)의 연구에 의하면, 2030년까지 미국에서 신규 원전 건설 수요가 64GWe에 이를 것이라고 하고 있으며, 이중에서 2020년까지는 24GWe의 수요가 있을 것으로 전망하고 있다.

또한 EPRI는 이러한 원전 건설에 따라 2030년에는 총전력 수요의 25.5%를 원자력 발전으로 공급할 것으로 보고 있다.

미국은 제4세대 원자력 시스템 개발에서도 리더십을 발휘하고 있으며, 최근에는 ‘세계원자력파트너십 (GNEP; Global Nuclear Energy Partnership)’을 주창하고 2020년경 자국의 사용후핵연료 관리 정책의 한 방안으로 2020년경 상용 연소로(Advanced Bumer Reactor)를 도입하려고 계획하고 있으며, 그 노형으로서 소듐냉각고속로가 유력하게 거론되고 있다.

그리고 캐나다는 4기의 중수로형 원전을 수명 연장할 계획을 결정하였고, 아르헨티나, 브라질, 칠레 등은 신규 원전 도입 의향을 보이고 있다.

유럽지역에서 원자력 르네상스를 선도하고 있는 국가는 러시아와 프랑스라고 할 수 있다. 러시아는 2025년까지 40GWe의 신규 원전을 건설할 계획을 가지고 있고, 프랑스는 향후 최소 40기의 노후 원전

대체 수요가 있다.

그리고 침체로만 가고 있던 유럽의 원자력산업은 기후변화협약에 따른 이산화탄소 배출 감축 의무의 준수, 고유가에 따른 탈화석 연료의 필요성 등이 복합적으로 작용하여 원전 도입에 긍정적인 국가들이 다수 나타나게 되었다. 대표적인 국가들이 독일, 스페인, 스웨덴, 이탈리아 등이다.

이러한 분위기에 따라 핀란드는 프랑스에서 개발한 EPR을 건설하고 있고, 불가리아, 체코, 루마니아 등 동유럽 국가들과 터키는 원전 도입을 계획하고 있기도 하다.

아프리카 지역은 북부 지역에서 해수 담수화용 원자로의 도입을 고려하고 있는 것과, 남아공화국에서 PBMR 원전을 건설 추진하고 있는 것이 가장 대표적인 움직임이다.

아프리카 지역의 국가들은 단기적으로 에너지 수요가 크게 증대될 것으로 예상되고 있지 않는 점에 따라 원자력 발전의 도입 가능성이 크지 않아 보이는 하나, 투자 위험이 적은 중소형로와 핵연료 공급의 완전한 보장 등이 이루어지면 원전 도입에 관심을 충분히 가질 수 있을 것으로 예상된다.

원자력 르네상스가 우리에게 의미하는 것은

우리나라는 1978년 최초 원전 운전 개시 이후 20기의 원전이 운전중에 있고, 전력 공급의 약 40%를 원자력 발전으로 하고 있으며, 원전 기술 자립을 통해 한국표준형원전인 OPR1000을 개발한 경험과 이를 개량한 APR1400을 개발한 경험을 보유한 원자력 선진국이라고 할 수 있다.

그리고 우리나라는 제4세대 원자력 시스템 개발에 적극 참여하고 있는 등 미래 원자력 시장에 대비한 연구 개발에도 충실하고 있다.

미래 전망 측면에서 보면, 우리나라도 세계적인 추세와 다르지 않게 최소 2030년까지는 개량형 경수로를 중심으로 한 원전 신규 건설이 계속될 것이고, 사후핵연료 관리 정책의 설정 방향과 수소 에너지의

이용, 해수 담수화의 추진 등이 제4세대 원자력 시스템을 중심으로 하여 미래 노형 구성 변화를 유인할 것이다.

우리나라에서 원자력르네상스라는 바람이 어떤 의미를 가지는 것인가? 다음과 같이 세가지 측면에서 그 의미를 찾을 수 있다고 본다.

첫째는 축소되어 왔던 원전 건설 계획이 확장될 수 있는 가능성을 제공한다고 본다.

우리나라에서 전력수급기본계획 수립시, 원자력이 실제로 중요한 역할을 하고 있는 것에 반해 원전 건설 계획을 다소 지연시키거나 축소시키려는 움직임이 많았다.

원자력 르네상스는 이러한 움직임에서 탈피하여 실질 원전 건설 수요가 국가 계획에 반영되는데 도움이 될 것이다.

두 번째는 확장되어 가는 해외 원전 시장에서 우리가 역할할 수 있는 기회가 확대되는 것이라고 본다.

우리나라는 원전 설비, 기기 등의 분야에서는 상당한 기술 수준을 보유하고 있고, 해외에 수출할 수 있는 능력이 충분하다.

이러한 분야에서는 해외 시장의 확대는 바로 수출의 확대로 이어질 가능성이 많다. 우리나라가 지향하고 있는 플랜트 수출에서도 우리의 노력에 따라 그 기회가 증대될 것이다.

세 번째는 미래 시장을 겨냥한 혁신 원자력 기술 개발 투자가 활성화될 것이라는 것이다. 미래 시장은 경수로와 함께 제4세대 원자력 시스템이 차지할 것이 전망됨에 따라 이들 기술에 대한 투자를 통해 과거의 기술 개발 추종에서 벗어나 여타 원자력 기술 선진국들과 동반자적 입장에서 원전 기술을 확보할 수 있고, 이것은 미래 원전 시장 진출을 지금보다 더욱 용이하게 해 줄 것이다. 