

12-03 (통권 제 504호)

2012. 3. 19.

지속가능 성장을 위한

# VIP REPORT

■ 한국 원전산업 위상에 걸맞은 한미원자력협정  
개정이 필요하다

발행인 : 김 주 현  
편집주간 : 한 상 완  
편집위원 : 주원, 장후석, 백흥기  
발행처 : 현대경제연구원  
서울시 종로구 연지동 1-7  
Tel (02)2072-6237 Fax (02)2072-6249  
Homepage. <http://www.hri.co.kr>  
인쇄 : 서울컴퓨터인쇄사 Tel (02)2636-0555

- 본 자료는 기업의 최고 경영진 및 실무진을 위한 업무 참고 자료입니다.
- 본 자료에 나타난 견해는 현대경제연구원의 공식 견해가 아니며 작성자 개인의 견해를 밝혀 둡니다.
- 본 자료의 내용에 관한 문의 또는 인용이 필요한 경우, 현대경제연구원 산업연구본부(02-2072-6237)로 연락해 주시기 바랍니다.

# 목 차

---

## ■ 한국 원전산업 위상에 걸맞은 한미원자력협정 개정이 필요하다

Executive Summary ..... i

1. 개요 ..... 1

2. 세계 원자력 산업 현황 ..... 2

3. 한국 원자력 산업 현황 및 발전 제약 요인 ..... 7

4. 시사점 ..... 12

■ HRI 경제 지표 ..... 15

개요	
연구의 배경 및 목적	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 최근 원전 수요 증가로 '원전 르네상스'가 도래했다는 전망이 제기됨</li> <li>- 한편 후쿠시마 원전사고 이후 세계적인 '탈(脫)원전' 흐름도 존재</li> <li>- 세계 원전 시장의 현황을 점검하고 우리나라 원자력 산업의 현안과 과제를 분석하여 정책적 시사점을 도출</li> </ul>

세계 원자력 산업 현황	
원전 건설 추이	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 원전은 1973년 오일쇼크 이후 급성장하다가 대형 원전사고로 침체기 진입</li> <li>- 2000년대 후반 재성장기를 맞고 있으나 후쿠시마 원전사고 후 회의론 대두</li> </ul>
원전 시장 규모	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2012년 1월말 기준, 원자력발전소는 세계 31개국에서 총 436기가 운전 중</li> <li>- 2020년까지 연간 원전건설 시장은 152억달러(최소)~577억달러(최대) 규모</li> </ul>

한국 원자력 산업 현황 및 발전 제약 요인	
현황	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 한국은 총 21기의 원전을 운영 중이며 시설용량 기준 세계 5위</li> <li>- 전력 생산량은 147,677GWh로 우리나라 전체 전력 생산량의 34.6%를 담당</li> </ul>
제약 요인	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 높은 기술수준에도 불구하고 국제정치적 제약으로 독자적인 수출에 한계             <ul style="list-style-type: none"> <li>· 미국 등 선진국 중심의 인허가 시스템, 한-미 원자력 협정 등의 제약</li> </ul> </li> <li>2. 원료 수급을 전량 해외에 의존하고 있어 부가가치 창출능력 제한             <ul style="list-style-type: none"> <li>· 우라늄 수요 증가 및 신규 광산개발 지연으로 수급불안 요인 상존</li> </ul> </li> <li>3. 핵 비확산과 관련된 우려로 사용후핵연료에 대한 처분 제약             <ul style="list-style-type: none"> <li>· 사용후핵연료를 안전하게 처분하는 기술에 대한 연구 필요</li> </ul> </li> <li>4. 대규모 해외플랜트사업에 대한 재원조달·투자위험관리 역량 제고 필요             <ul style="list-style-type: none"> <li>· 원전 건설비 상승, 저가 입찰, 금융비용 증가 등은 수익성 악화 요인</li> </ul> </li> </ol>

시사점	
첫째, 원전(源泉)기술 확보를 통한 기술 자립을 꾸준히 추진하는 한편 한국의 위상 변화에 걸맞은 새로운 국제정치적 관계 정립에 주력할 필요가 있다.	
둘째, 한국 원자력 산업의 발전을 제약하는 한-미 원자력 협정의 불평등조항 개정 및 현행 40년의 기간 단축에 적극 나설 필요가 있다.	
셋째, 사용후핵연료를 안전하게 처리하기 위한 연구는 국제적인 협력 수준을 높여 불안감을 해소하는 방식으로 진행하는 것이 바람직하다.	
넷째, 대규모 해외플랜트사업에 대한 안정적 재원조달 능력을 제고하는 한편 투명하고 중립적인 경제성 평가를 통해 투자위험관리 역량을 향상시킬 필요가 있다.	
다섯째, 국가 에너지 정책은 국민생활 전반에 커다란 영향을 미치는 문제이므로 안전성·청정성·경제성에 대한 논의를 더욱 활발히 진행하는 것이 바람직하다.	

■ 개요

(연구 배경) 2000년대 후반 원자력 발전소 신규 건설 수요가 증가하면서 이른바 '원전 르네상스'가 도래하고 있다는 전망이 제기되고 있다.

그러나 후쿠시마 원전사고 이후 원전의 안전성 및 경제성에 대한 우려가 확산되면서 세계적인 '탈(脫)원전'의 흐름이 존재하는 것도 현실이다.

(연구 목적) 본 연구에서는 세계 원전 시장의 현황을 점검하고 우리나라 원자력 산업의 현안과 과제를 분석하여 정책적 시사점을 도출하고자 한다.

■ 세계 원자력 산업 현황

(원전 건설 추이) 원자력 발전은 1973년 1차 오일쇼크 이후 석유를 대체할 에너지원으로 주목 받으며 빠르게 성장하였으나, 1979년 미국의 쓰리마일 섬(Three Mile Island), 1986년 舊소련의 체르노빌 원전사고 이후 원전 산업은 극심한 침체기를 겪게 되었다. 2000대 중반 이후 온실가스 규제 강화, 중국 경제의 급성장, 유가 급등으로 원자력 발전은 다시 주목을 받고 있으나, 2011년 후쿠시마 원전사고 이후 다시 원자력 발전에 대한 회의론이 대두되고 있는 실정이다.

(시장 규모) 2012년 1월말 기준, 원자력발전소는 세계 31개국에서 총 436기가 운전 중이며, 63기가 건설 중이다. IAEA는 후쿠시마 원전사고 이후 개최된 2011년 9월 총회에서 2030년까지 최소 90기에서 최대 350기의 원전이 신규 건설될 것으로 전망하였다. 향후 20년간 원전건설 시장규모는 3,038억달러(최소)~1조 1,532억달러(최대), 연간 152억달러(최소)~577억달러(최대)로 전망된다.

(주요 사업자) 세계 원전 시장은 웨스팅하우스(미), 아레바(프), GE(미), ASE(러), AECL(캐) 등 5개 사업자가 전체 시장의 87%를 점유하고 있다. 원전 공급업체들은 구조조정과 인수합병을 통해 원자력 침체기를 견뎌냈으며 2000년대 이후 원전 수요가 증가세로 돌아서자 대형 사업자간 합종연횡을 통해 경쟁체제를 구축하였다. 최근 세계 원전 시장은 웨스팅하우스-도시바 그룹과 아레바-미쓰비시 그룹이 주도하고 있다.

■ 한국 원자력 산업 현황 및 발전 제약 요인

(한국의 원자력 산업 현황) 한국은 총 21기의 원전을 운영 중으로 설비용량 기준 세계 5위이며, 연간 발전량은 147,677GWh로 우리나라 전체 발전량의 34.6%를 담당하고 있다. 국내 원자력 산업의 매출 규모는 15조 9,536억원이며, 이 중 발전사업체의 매출

이 75.1%, 공급사업체의 매출이 24.9%를 차지하고 있다.

**(제약 요인 ① 국제정치적 제약)** 한국은 지속적인 원전 확대 정책으로 높은 기술수준에 도달하였으나 국제정치적인 제약으로 독자적인 수출에는 한계가 존재한다. 미국 등 선진국 중심의 원전 인허가 시스템, 한-미 원자력 협정 등의 제약 등은 원전의 수출산업화를 제한하는 요인으로 작용한다.

**(제약 요인 ② 원료수급 해외의존)** 한국의 원자력 산업은 원료 수급을 전량 해외에 의존하고 있어서 부가가치 창출능력에 제한이 있다. 한국은 우라늄 정광의 구입, 변환 및 농축 역무를 해외에 의존하고 있으며 이에 따르는 비용은 연간 약 9,000억원 규모에 달한다.

**(제약 요인 ③ 사용후핵연료 처분)** 한국의 사용후핵연료는 원전 내 임시 저장시설에 보관하고 있으나 2016년 포화상태에 이르게 되어 이후의 대책이 시급한 상황이다. 원자력 발전이 지속가능한 에너지원으로 되기 위해서는 사용후핵연료를 안전하게 처분하는 방법이 확보되어야 한다. 이를 위해서는 파이로프로세싱 등 사용후핵연료를 감소시키는 기술에 대한 연구가 필요하다.

**(제약 요인 ④ 재원조달 및 투자위험관리)** 원전 건설은 장기간 대규모 투자가 요구되는 초대형 프로젝트 사업이며, 최근에는 안전성 강화조치로 건설비용이 더욱 상승하는 추세이다. 또한 원전 건설은 공사 기간이 연장되는 경우가 자주 발생하며, 이에 따른 손해배상 조항 및 금융비용의 증가는 사업자에게 막대한 부담을 초래할 수 있다.

## ■ 시사점

**첫째,** 원전(源泉)기술 확보를 통한 기술 자립을 꾸준히 추진하는 한편 한국의 위상 변화에 걸맞은 새로운 국제정치적 관계 정립에 주력할 필요가 있다.

**둘째,** 한국 원자력 산업의 발전을 제약하는 한-미 원자력 협정의 불평등조항 개정 및 현행 40년의 기간 단축에 적극 나설 필요가 있다.

**셋째,** 사용후핵연료를 안전하게 처리하기 위한 연구는 국제적인 협력 수준을 높여 불안감을 해소하는 방식으로 진행하는 것이 바람직하다.

**넷째,** 대규모 해외플랜트사업에 대한 안정적 재원조달 능력을 제고하는 한편 투명하고 중립적인 경제성 평가를 통해 투자위험관리 역량을 향상시킬 필요가 있다.

**다섯째,** 국가 에너지 정책은 국민생활 전반에 커다란 영향을 미치는 문제이므로 안전성·청정성·경제성에 대한 논의를 더욱 활발히 진행하는 것이 바람직하다.

## 1. 개요

### ○ 연구 배경

- 2000년대 후반 원자력 발전소 신규 건설 수요가 증가하면서 이른바 '원전 르네상스'가 도래했다는 전망이 제기됨

- 우리나라는 1970년대 이후 지속적인 원전 확대 정책을 펼쳐왔으며 이를 바탕으로 높은 수준의 원전 건설 및 운영 기술을 확보
- 2009년 아랍에미리트(UAE)에 원전 4기를 수출하는 계약이 성사되면서 원자력발전 사업을 새로운 성장동력 산업으로 육성하자는 주장 제기
- 원자력 발전은 여러 가지 문제에도 불구하고 저개발 국가들의 전력난 해소 및 경제성장에 기여하는 측면이 있으므로 징검다리 에너지원으로서 적절한 투자 및 활용이 불가피한 측면이 있음

- 그러나 후쿠시마 원전사고 이후 안전성 및 경제성에 대한 우려가 확산되면서 세계적인 '탈(脫)원전' 흐름도 존재

- 2011년 3월 발생한 후쿠시마 원전사고는 전 세계에 커다란 충격을 주었으며 핵발전의 위험성 및 경제적 손실 가능성에 대한 주의를 환기
- 독일, 스웨덴, 스페인, 벨기에, 스위스 등은 신재생에너지 기술경쟁력을 높여 원자력 의존도를 축소하는 방향으로 선회

### ○ 연구 목적

- 본 연구에서는 세계 원전 시장의 현황을 점검하고 우리나라 원자력 산업의 현안과 과제를 분석하여 정책적 시사점을 도출하고자 함

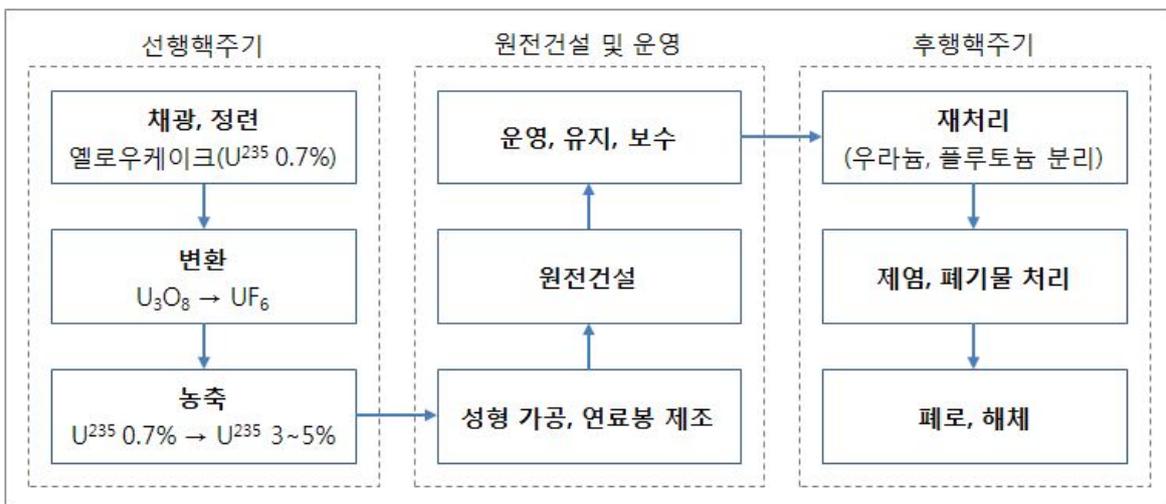
- 세계 원자력 산업의 현황, 시장전망, 경쟁구조 분석을 통해 한국 원전의 수출 산업화 가능성을 타진함
- 우리나라 원자력 산업의 기술·경제적, 제도·정책적 측면의 취약점을 분석하여 정책적 시사점을 도출함

## 2. 세계 원자력 산업 현황

### (1) 원자력 산업의 구조

- 넓은 의미의 원자력 산업은 에너지 생산 및 방사선 관련 산업을 포괄하나, 일반적인 원자력 산업은 원자력 발전소(원전)와 관련된 산업의 의미함
  - 원자핵으로부터 발생하는 에너지는 핵분열(Fission)과 핵융합(Fusion) 에너지로 구분할 수 있으며, 핵융합은 아직 연구단계로 상용화가 이루어지지 않음
  - 방사선(Radiation) 및 방사성 동위원소(Radioactive Isotope)를 이용하는 의료 및 비파괴검사 분야도 넓은 의미의 원자력 산업에 포함
- 원자력 산업은 핵연료 주기에 따라 선행 핵주기, 원전 건설 및 운영, 후행 핵주기 관련 산업으로 구분
  - 우라늄 농축 및 사용후핵연료 재처리하는 핵무기 개발과 직결되는 기술로 핵보유국 외 국가들의 접근이 엄격히 차단되고 있음
  - 원전 건설 및 운영 관련 산업은 연료봉 제조, 원전의 설계 및 건설, 운영·유지·보수 분야를 의미함

< 핵연료 주기에 따른 원자력 산업의 구조 >



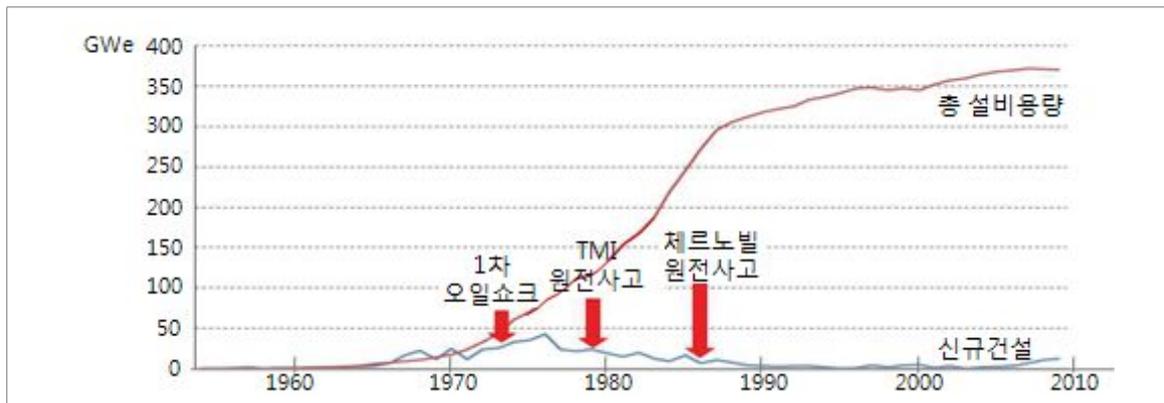
자료: 현대경제연구원 정리

(2) 세계 원자력 시장의 현황

○ 세계 원전 건설 추이

- (1970년대 성장기) 원자력 발전은 1973년 1차 오일쇼크 이후 석유를 대체할 에너지원으로 주목 받으며 빠르게 성장
  - 70년대까지 원자력 발전은 기존의 화력발전에 비해 저렴하고 환경오염이 적은 에너지원으로 평가됨
- (30년간의 침체기) 1979년 미국의 쓰리마일 섬(Three Mile Island), 1986년 舊소련의 체르노빌 원전사고 이후 원자력 발전은 심각한 위기에 봉착
  - 미국은 1979년 TMI 원전사고 이후 30년간 미국 본토의 신규 원전건설 중단
  - 1980년대 이후 대부분의 선진 국가들은 신규 원전 건설을 기피하는 경향을 보여 왔지만, 우리나라를 포함한 소수의 국가들은 계속해서 원전을 확대
- (2000년대 부흥기) 온실가스 규제 강화, 중국 경제의 급성장, 유가 급등으로 재성장기를 맞고 있으나 2011년 후쿠시마 원전사고 이후 회의론 대두
  - 세계 여러 나라들이 신재생에너지에 투자를 진행했지만 상용화가 지체되고 에너지 수요를 감당하기 어렵게 되면서 신규 원전건설 수요 증가

<세계 원전 설비용량 및 신규건설 추이>



자료: IAEA

주: GWe(Giga Watt Electrical)는 순간적인 에너지 공급 능력(설비용량)을 측정하는 단위

**한국 원전산업 위상에 걸맞은 한미원자력협정 개정이 필요하다**

○ 세계 원전 시장의 규모

- (현황) 2012. 3. 1. 현재 31개국에서 총 436기의 상용 원자력 발전소를 운영 중이며, 15개국(31개국에 포함)에서 63기를 건설 중<sup>1)</sup>
  - 중국은 현재 건설 중인 원전이 26기로 최대의 원전 확대국이며, 러시아(10기), 인도(7기) 등도 원전 확대 정책을 펴고 있음
  - 한편, 스웨덴, 독일, 스페인 등은 원전 신설 계획이 없는 축소국으로 분류
- (건설시장) 원전 건설시장 규모는 2030년까지 누적 3,038억달러(최소)~1조 1,532억달러(최대), 연간 152억달러(최소)~577억달러(최대)로 추정됨<sup>2)</sup>
  - IAEA는 후쿠시마 원전사고 이후 개최된 2011년 9월 총회에서 향후 2030년까지 최소 90기에서 최대 350기의 원전이 신규 건설될 것이라고 전망
  - 세계 원전 시설용량은 2030년 473 GWe(최소)~747 GWe(최대)로 전망
- (운영시장) 원전 운영시장 규모는 2010년 2,113억달러에서 2030년 2,666억달러(최소)~4,210억달러(최대)로 성장할 전망<sup>3)</sup>

< 주요 원전 운영국 현황 >

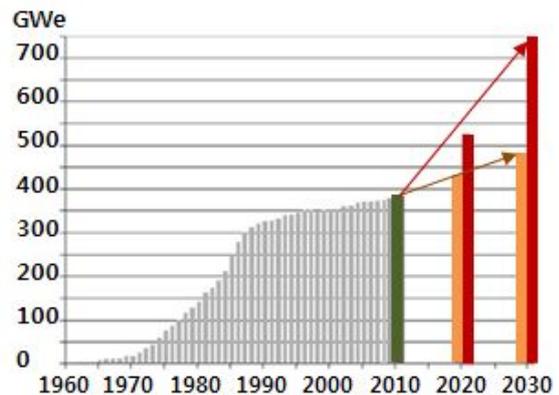
(단위:기)

	운영중	건설중	폐쇄
미국	104	1	28
프랑스	58	1	12
일본	50	2	9
러시아	33	10	5
한국	21	3	-
인도	20	7	-
캐나다	18	-	3
영국	17	-	28
중국	16	26	-
우크라이나	15	2	4
스웨덴	10	-	3
독일	9	-	27
스페인	8	-	2

자료: IAEA

주: 2012. 3. 4. 기준

< 2030년 원전 시설용량 전망 >



자료: IAEA

- 1) IAEA, PRIS database
- 2) IAEA의 2030년 원전 시설용량 전망치(473GWe~747GWe)와 미국, 일본, 프랑스의 원전 건설 단가 평균치를 이용하여 현대경제연구원 자체 추정
- 3) 원전 시설용량 기준 발전사업체 매출액을 이용하여 현대경제연구원 자체 추정

○ 세계 원전 시장의 주요 사업자

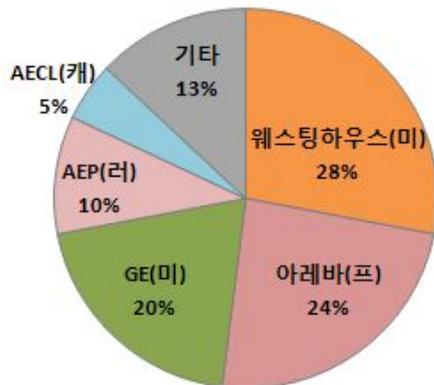
- (핵보유국의 독점) 원전 기술은 핵무기와 밀접하게 연관되어 있으며 원천(源泉)기술을 보유한 4개국이 세계 시장을 지배하고 있음

- 미국의 웨스팅하우스와 GE, 프랑스의 아레바, 러시아의 AEP, 캐나다원자력공사(AECL) 등 5개 사업자가 세계 시장의 87%를 점유
- 원전 공급업체들은 구조조정과 인수합병을 통해 원자력 침체기를 견뎌냈으며 2000년대 이후 원전 수요가 증가세로 돌아서자 대형 사업자간 합종연횡을 통해 경쟁체제를 구축함

- (양대 그룹 주도) 최근 세계 원전 시장은 웨스팅하우스-도시바 그룹과 아레바-미쓰비시 그룹이 주도하고 있음

- (웨스팅하우스-도시바) 도시바(비등경수로 주력)는 2006년 웨스팅하우스(가압경수로 주력)를 인수하여 가장 강력한 원전 사업자로 부상
- (아레바-미쓰비시) 프랑스의 아레바는 미쓰비시와 전략적 제휴를 맺는 한편 우라늄 농축에서 사용후 연료 재처리까지 핵연료주기 공급망을 수직계열화함
- (GE-히다치) GE와 히다치는 2007년 합병회사를 설립하였으나 후쿠시마 원전사고 이후 주력 모델(비등경수로)이 경쟁력을 상실하면서 전망 불투명

< 주요 원전 사업자 시장 점유율 >



자료: WNA, 현대경제연구원 재구성  
주: 2009년 세계 원전시장 시설용량 기준

< 최근 세계 원전시장 주력 모델 >

	주력 모델	형식
(미) 웨스팅하우스	AP-1000	가압경수로
(프) 아레바	EPR-1600	가압경수로
(미) GE	ESBWR-1550	비등경수로
(러) AEP	VVER-1200	가압경수로
(캐) AECL	ACR1000	가압중수로

자료: 현대경제연구원 정리

- (주력 모델) 과거의 가압중수로(PHWR), 비등경수로(BWR)는 경쟁력을 상실하였으며 최근에는 가압경수로(PWR) 중심으로 건설, 운영되고 있음
  - 가압중수로는 농축하지 않은 천연우라늄을 연료로 사용하는 대신 잦은 연료 교체로 폐기물이 많이 발생하는 단점이 있음
  - 비등경수로는 구조가 단순하고 저렴하지만 후쿠시마 원전사고를 계기로 위험성이 부각되면서 세계시장에서 경쟁력을 상실함
  - 가압경수로는 최근 원전 시장의 주력 모델로 웨스팅하우스가 중국에 수출하기로 한 AP1000, 아레바가 핀란드에 건설중인 EPR1600, 한국이 UAE에 수출하기로 한 APR1400 등이 모두 가압경수로 형식임

<참고>

원자로의 종류와 특징

- 흑연감속로(GMR, Graphite Moderated Reactor): 핵분열 속도를 조절하는 감속재로 흑연을 이용하는 초기 모델이며 농축하지 않은 천연우라늄을 원료로 사용. 고품질의 플루토늄을 생산할 수 있어 군사적 목적에 적합. 체르노빌 모델.
- 비등경수로(BWR, Boiling Water Reactor): 감속재와 냉각재로 경수(H<sub>2</sub>O)를 이용. 1기압의 냉각수가 원자로를 통과하면서 증기로 변환되면 이 증기로 직접 터빈을 돌려 전기를 발생시키는 방식. 후쿠시마 모델. (세계 시장 점유율 21%)
- 가압중수로(PHWR, Pressurized Heavy Water Reactor): 감속재와 냉각재로 중수(D<sub>2</sub>O)를 이용하며 구조는 가압경수로와 비슷함. 농축하지 않은 천연우라늄을 연료로 사용하므로 폐기물이 많이 발생. 플루토늄을 발생시켜 핵개발 전용 우려. 한국이 캐나다에서 도입한 월성 1, 2, 3, 4호기. (세계 시장 점유율 10%)
- 가압경수로(PWR, Pressurized Water Reactor): 감속재와 냉각재로 경수(H<sub>2</sub>O)를 사용. 냉각수에 압력을 가하여 고온에서도 기체로 바뀌지 않도록 유지하며, 그 열을 이용하여 압력을 가하지 않은 물을 간접 중탕방식으로 가열하여 증기를 발생시켜 터빈을 돌리는 방식으로 원자로 순환계통과 터빈 순환계통이 분리되어 있음. 쓰리마일 섬 모델. (세계 시장 점유율 61%)
- 고속증식로(FBR, Fast Breeder Reactor): 천연 우라늄을 원자로 내에서 플루토늄으로 전환시키고 이를 연료로 사용. 처음에 투입한 연료보다 더 많은 연료가 만들어지는(증식) 방식. 현재 연구개발 단계이나 사고 발생으로 운영이 중단되는 사례가 많아 상용화에 어려움을 겪고 있음.

### 3. 한국 원자력 산업 현황 및 발전 제약 요인

#### (1) 한국의 원자력 산업 현황

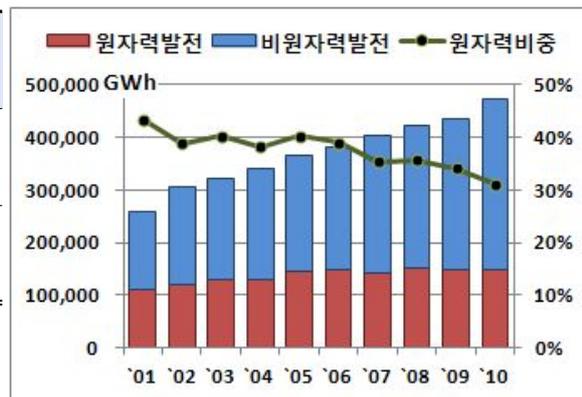
- 한국은 가압경수로 17기, 가압중수로 4기 등 총 21기의 원전을 운영 중이며 7기의 원전을 건설 중으로 원전 수 및 시설용량 기준 세계 5위<sup>4)</sup>
  - 한국은 1970년대 이후 원전산업이 세계적인 수요감소로 공급과잉에 처한 상황에서 미국, 캐나다로부터 원전을 도입하며 원자력 산업의 기반을 구축
  - 1978년 고리 1호기의 가동 이후 지속적인 원전 확대 정책을 펼쳐왔으며 고리(5기), 월성(4기), 영광(6기), 울진(6기) 등 4개 지역에 21기의 원전을 운영 중
  - 21기 중 월성 1·2·3·4호기는 캐나다가 원천기술을 가지고 있는 가압중수로이며, 나머지 17기는 미국이 원천기술을 가지고 있는 가압경수로 형임
- 원자력 발전소의 2011년 연간 전력 생산량은 147,677GWh로 우리나라 전체 전력 생산량의 34.6%를 담당<sup>5)</sup>
  - 국내 원자력 산업의 매출 규모는 15조 9,536억원이며, 이 중 발전사업체의 매출이 11조 9,810억원으로 75.1%를 차지함 (대부분 전력판매 수입)

< 한국의 원전 운영 현황 >

형식	원전수	시설용량
가압경수로	17기	17,886 MWe
가압중수로	4기	2,785 MWe
합계	21기	20,671 MWe

자료: IAEA  
주: 2012. 3. 1. 현재

< 한국의 원자력 발전 추이 >



자료: 지식경제부  
주: GWh(기가와트시)는 발전량 측정 단위

4) IAEA, PRIS database (2012. 3. 1. 기준)

5) IAEA, PRIS database

## (2) 한국 원자력 산업의 발전 제약 요인

### ○ 높은 기술수준에도 불구하고 국제정치적 제약으로 독자적인 수출에 한계

- 한국은 지속적인 원전 확대 정책으로 기술력을 축적해왔으며 최근에는 국가정책 차원(Nu-Tech 2012)에서 원전 기술자립을 추진함
  - 지금까지 해외에 의존해온 원전설계코드<sup>6)</sup>, 원자로냉각재펌프(RCP)<sup>7)</sup>, 원전 제어계측시스템(MMIS)<sup>8)</sup> 등의 핵심 기술도 조만간 국산화가 가능할 전망
  - 또한 웨스팅하우스社 체결한 기술사용협정 만료에 따라 기존에 제공받은 기술(특히, 전산코드, 기술자료 등)에 대한 비독점적 영구 무상 실시권을 확보함
- 그러나 원전의 인허가를 받기 위해서는 여전히 미국의 핵심코드(안전해석 코드 등)를 사용해야 하는 등 독자적인 수출을 제약하는 요인이 존재함
  - 핵심 원천기술을 자체 개발한다고 하더라도 실제 상용화 및 수출을 위해서는 미국 등 기존 선진국의 국제적인 인증을 받아야 함
  - 하드웨어의 설계·생산과 달리 코드의 경우에는 개발을 완료하더라도 국제적 공인을 거쳐 완전한 기술 독립에 이르기까지는 상당한 시간이 소요될 전망
- 한·미 원자력 협정 등으로 해외 원전 수출을 위해서는 정치·외교적 차원에서 미국의 동의를 필요한 것이 현실임
  - 원전 산업은 기술·경제적 요인도 중요하지만 그보다는 국제정치적 요인이 더욱 결정적인 역할을 한다고 볼 수 있음
  - UAE 원전 수출은 APR-1400의 원천기술을 보유한 웨스팅하우스의 한전 컨소시엄에 참여<sup>9)</sup> 및 미-UAE 원자력 협정 체결이 중요한 역할을 함

6) 원전설계코드: 원전 건설 및 운영에 사용되는 프로그램

7) 원자로 냉각재 펌프(Reactor Coolant Pump): 핵반응을 통해 발생하는 열을 제거하기 위해 냉각수를 강제로 원자로에 주입시키는 펌프

8) 원전 제어계측 시스템(Man-Machine Interface System): 열을 발생시키는 원자로 설비와 전기를 생산하는 터빈 설비의 움직임을 계측하고 정확하게 운전하도록 제어하는 시스템

9) 도시바-웨스팅하우스는 UAE 입찰 자격심사에서 탈락한 이후 한전 컨소시엄에 참여하였으며, 이후 수주 경쟁은 한전 컨소시엄, 아레바-미쓰비시, GE-히다치의 3파전 양상으로 전개

○ 원료 수급을 전량 해외에 의존하고 있어 부가가치 창출능력 제한

- 한국은 우라늄 정광<sup>10</sup>(연간 약 4,500톤)의 구입, 변환 및 농축 역무를 해외에 의존하고 있으며 이에 따르는 비용은 연간 약 9,000억원 규모
  - 연간 우라늄 정광 수입액은 약 3,800억원, 변환 및 농축 위탁비용은 약 4,000억원 수준으로 추산됨
- 최근 우라늄 시장 환경은 공급자 위주의 시장으로 재편되었으며 수요 증가 및 신규 광산개발 지연으로 수급불안 요인 상존
  - 2030년 우라늄 정광 생산량은 105,000톤으로 전망되는데 수요량은 127,000톤에 이를 것으로 보여 22,000톤의 공급 부족이 발생할 것으로 추정됨
  - 현재 우라늄 부족분은 2차 공급원(핵무기를 해체한 희석 우라늄)으로 충당하는 중
  - 세계 우라늄 매장량은 637만톤(2010년 소비량 기준 약 85년 사용 가능)으로 추정되며, 북한에는 이와 별도로 약 400만톤의 우라늄이 매장된 것으로 추정
- 우라늄 변환 및 농축 역무는 소수의 국가들이 독점하고 있으며 비핵보유국의 진입이 엄격하게 제한되고 있음

< 세계 우라늄 정광 수급 전망 >

구분	2010	2015	2020	2025	2030
수요량 (천톤)	75.2	85.7	102.6	120.4	126.8
생산량 (천톤)	63.3	70.7	89.4	104.8	105.4
부족분 (천톤)	12.0	15.0	13.2	15.6	21.4

자료: WNA

< 세계 주요국 우라늄 매장량 추정치 >

구분	매장량 (천톤)
세계 총매장량	6,372
호주	1,973
카자흐스탄	768
캐나다	572
러시아	566
남아공	348
(북한)	(4,000)

자료: IAEA

- 주1) 1kg당 채광비용이 130\$ 이하인 매장량
- 주2) 북한 매장량은 세계 총매장량에서 제외

10) 우라늄 정광(uranium concentrate)은 우라늄 광석을 정련하여 산화우라늄(U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) 함유량을 70~90%로 높인 것으로 흔히 '옐로우케이크(yellowcake)'라고 함

## 한국 원전산업 위상에 걸맞은 한미원자력협정 개정이 필요하다

- 핵 비확산과 관련된 우려로 사용후핵연료에 대한 처분에 제약이 있음
  - 한국의 사용후핵연료는 원전 내 임시 저장시설에 보관하고 있으나 2016년 포화상태에 이르게 되어 이후의 대책이 시급한 상황
    - 사용후핵연료는 임시저장 → 중간저장 → 영구처분의 단계를 거치는데, 중간저장 및 영구처분 방법은 아직까지 해결책을 찾지 못하고 있음
  - 원자력 발전이 지속가능한 에너지원으로 되기 위해서는 사용후핵연료를 안전하게 처분하는 방법이 확보되어야 함
    - 폐기물 감소를 위해서는 사용후핵연료를 재활용하는 기술, 장수명 핵종을 안정핵종 또는 단수명 핵종으로 바꾸는 변환 및 소멸 기술 등이 필요
  - 파이로프로세싱<sup>11)</sup> 등 사용후핵연료 감소 기술에 대한 연구가 필요하며 이를 위해서는 핵 비확산성을 담보할 수 있는 국제협력의 형태로 연구개발을 진행하는 것이 바람직함
    - 2014년 기한이 만료되는 한미원자력협정은 현재 개정 협상이 진행 중이며 파이로프로세싱 허용 문제가 주요 쟁점으로 부각
    - 파이로프로세싱은 사용후핵연료를 가공하여 기존 원전의 연료로 재활용함으로써 폐기물의 양을 감소시킬 수 있음
    - 한국은 파이로프로세싱으로 사용후핵연료를 재활용하여 소듐냉각고속로<sup>12)</sup>의 연료로 사용하는 '순환형핵주기'<sup>13)</sup> 기술을 개발하겠다는 입장
    - 그러나 소듐냉각고속로의 경우에는 위험성에 대한 국내외의 우려를 감안하여 기술·경제적 타당성 검토 및 안전성 확보가 우선시 되어야 함

11) 파이로프로세싱(Pyroprocessing): 기존의 사용후핵연료 재처리 방법은 용매를 이용한 습식 공법이 일반적이거나, 파이로프로세싱은 고온의 용융염 상태에서 전기를 이용하여 방사성 물질을 분리하는 건식 공법. 플루토늄을 따로 추출하지 않으므로 핵무기 개발과 무관하다는 주장에도 불구하고, 한편에서는 파이로프로세싱 역시 핵 재처리의 일종으로 기술수준이 높아지면 플루토늄 추출이 가능하다는 반론도 존재함

12) 소듐냉각고속로(SFR, Sodium-cooled Fast Reactor): 소듐(나트륨)을 냉각재로 사용하는 고속(증식)로로 미국, 일본 등 여러 나라에서 실험중이나 아직 성공적으로 상용화한 사례는 없음. 액체 상태의 나트륨은 물이나 공기에 노출되면 폭발하는 성질이 있어 관리가 까다롭고 사고시 피해규모가 심각할 수 있음.

13) 원자력연구원에서는 “파이로프로세싱과 소듐냉각고속로를 결합한 순환형핵주기 기술을 완성할 경우, 우리늄 자원 활용률은 100배 이상 향상되며 핵변환을 통해 방사성 독성과 부피는 각각 1/1000, 1/20로 감소된다”고 주장

○ 대규모 해외플랜트사업에 대한 재원조달 및 투자위험관리 역량 제고 필요

- 원전 건설은 장기간 대규모 투자가 요구되는 초대형 프로젝트 사업이며, 최근에는 안전성 강화조치로 건설비용이 더욱 상승하는 추세
  - 현재 건설 중인 신고리 3, 4호기의 건설비는 한 기당 약 3~4조원 수준이며, UAE 원전의 건설비는 한 기당 약 5.6조원으로 추정됨
  - 건설비용 외에도 방사성 폐기물 관리, 사용후핵연료 처리, 원전 폐로 등의 비용까지 포함할 경우 원전 사업의 규모는 더욱 증가
  
- 또한, 원전 건설은 공사 기간이 연장되는 경우가 자주 발생하며 이에 따른 손해배상 조항 및 금융비용의 증가는 사업자에게 막대한 부담을 초래
  - 실제 아레바는 현재 핀란드에 건설 중인 원전의 공사 기일이 계속 연장되면서 기업 자체가 심각한 위기상황에 처한 것으로 알려짐
  - 중저준위 방사성 폐기물을 보관하는 경주 방폐장은 당초 2010년 6월 완공 예정이었으나 지하 암반이 약해 30개월 연기된 데 이어 최근 다시 18개월 연기
  
- 대규모 해외플랜트사업에 대한 재원조달 능력 및 다양한 금융기법을 활용한 투자위험관리 능력의 향상이 요구됨
  - UAE 원전 수출은 자원 부국을 상대로 한 EPC 방식으로 민관합작방식에 비해 상대적으로 리스크가 낮을 수 있음
  - 그러나 정확한 계약 내용이 공개되지 않은 가운데 저가 입찰<sup>14)</sup>, 수출입은행의 금융지원<sup>15)</sup>, 특전사 파병 등을 둘러싸고 수익성 논란 발생

14) UAE 원전 수주 금액은 186억 달러, 원전 1기당 건설 금액은 약 5.6조원. 이는 국내 원전 건설비(3~4조원)보다는 높은 수준이나 경쟁사 제시금액 대비 55% 수준으로 알려져 저가 입찰 논란 초래

15) UAE 원전에 대한 수출입은행의 금융지원 규모는 수주금액의 약 50% 수준인 90~110억 달러에 이를 것으로 예상되며, 이는 수출입은행의 자기자본을 초과하는 규모로 대출자금 조달 방식에 따라 자산건전성 악화 및 국가적 부담 요인으로 작용할 수 있음

<참고>

대규모 해외플랜트 사업 추진 방식

- 대규모 해외플랜트 사업인 원전의 수출 방식은 크게 2가지로 나눌 수 있음

① EPC (Engineering, Procurement and Construction) 방식

- 턴키 또는 분할발주 방식으로, 발주자가 건설비를 부담하고 사업자는 건설 후 운영권을 양도하며, 판매 대금 지급은 일시불 또는 완공시까지 할부로 지급
- UAE와 같이 자산이 많은 부국을 상대로 하는 EPC 사업의 경우 리스크가 상대적으로 낮다고 볼 수 있음
- 후쿠시마 이후 안전성 강화 기조 등으로 원전 수출 이후 운영 및 안전관리까지 모두 수출국에 일임하는 경우에는 건설 이후 추가적인 수익 발생 (이번달 UAE는 공식적으로 우리나라에 운영관리까지 일체를 맡아줄 것을 요청)

② 민관합작 / 민간 발전사업 방식

- 발주국 정부 또는 민간발전사업자와 협정을 체결하고, 공동투자 또는 선행투자 후 장기적인(보통 수십년) 원전운영수익(전기료의 일부)으로 투자비 회수
- 최근 원전 도입을 추진하고 있는 대부분의 국가는 원전 건설비가 부담이 되는 중진국, 후진국(베트남, 터키, 아프리카 등)으로 전기료의 일부를 수십년간 받아서 초기 투자비 및 이윤을 회수하여야 함
- 이러한 경우 해당 국가의 각종 리스크(정치적 리스크 등)까지 고려할 경우 사업 리스크가 상당히 높아질 수 있음

#### 4. 시사점

**첫째, 원천(源泉)기술 확보를 통한 기술 자립을 꾸준히 추진하는 한편 한국의 위상 변화에 걸맞은 새로운 국제정치적 관계 정립에 주력할 필요가 있다.**

- 세계 시장에서 원천기술 보유사들과 본격적인 경쟁을 펼치기 위해서는 독자적인 원천기술 개발이 필수적임
- 또한, 원전 수입국에서 원전 수출국으로 위상이 변화한 만큼 미국 등 선진국과의 관계 역시 새로운 차원에서 재구성할 필요가 있음

둘째, 한국 원자력 산업의 발전을 제약하는 한-미 원자력 협정의 불평등조항 개정 및 현행 40년의 기간 단축에 적극 나설 필요가 있다.

- 원자력 산업은 기술·경제적 경쟁력 뿐 아니라 정치·외교적 역량이 중요한 역할을 하며, 당면해서는 한-미 원자력 협정의 개선에 주력할 필요가 있음
- 그러나 성급한 핵연료 농축 및 재처리 주장은 핵무장과 직결될 수 있는 사안 이므로 국제사회와의 협력을 고려하는 신중한 접근이 요구됨

셋째, 사용후핵연료를 안전하게 처리하기 위한 연구는 국제적인 협력 수준을 높여 불안감을 해소하는 방식으로 진행하는 것이 바람직하다.

- 사용후핵연료 임시 저장시설이 포화상태에 이르는 2016년 이후의 저장 및 처분 방법을 마련하기 위한 종합적인 대책 수립이 시급함
- 장기적으로는 핵분열 생성물의 분리, 장수명 핵종을 안정핵종 또는 단수명 핵종으로 바꾸는 변환 및 소멸 등에 대한 연구가 필요함

넷째, 대규모 해외플랜트사업에 대한 안정적 재원조달 능력을 제고하는 한편 투명하고 중립적인 경제성 평가를 통해 투자위험관리 역량을 향상시킬 필요가 있다.

- 막대한 자금이 장기간 투자되는 해외플랜트 사업에 대한 금융지원의 경우 면밀한 수익성 분석 및 안정적인 재원조달 능력이 중요함
- 이를 위해서는 거시경제 환경 분석, 중립적이고 객관적인 사업 타당성 분석, 선진 금융기법 등을 통해 위험부담을 최소화하는 금융 인프라 구축이 요구됨

다섯째, 국가 에너지 정책은 국민생활 전반에 커다란 영향을 미치는 문제이므로 안전성·청정성·경제성에 대한 논의를 더욱 활발히 진행하는 것이 바람직하다.

- 후쿠시마 원전사고, 고리 원전사고 등의 경우와 같이 사고 관련 내용을 조직적으로 은폐하는 경우 국민들의 불신은 더욱 증폭될 수밖에 없음
- 원자력 관련 정보의 투명한 공개, 정책적 유연성 제고, 양방향 소통의 확대 등 안전문화(Safety Culture)의 구축이 절실히 요구됨
- 또한, 원전 시장의 위축 및 신재생에너지 시장의 확대 가능성에도 대비하여 에너지 포트폴리오를 다양하게 운영하는 한편 장기적인 미래 에너지 전략 수립을 위해 다양한 의견을 수렴할 필요가 있음 **HRI**

장우석 연구위원 (jangws@hri.co.kr, 02-2072-6237)

## HRI 經濟 指標

---

### 👉 主要 經濟 指標 推移와 展望

---

主要 經濟 指標 推移와 展望

구 분		2009	2010	2011					2012 <sup>E</sup>	
				1/4	2/4	3/4	4/4	연간		
국민계정	경제성장률 (%)	0.3	6.2	4.2	3.4	3.5	3.4	3.6	4.0	
	민간소비 (%)	0.0	4.1	2.8	3.0	2.0	1.2	2.2	2.5	
	건설투자 (%)	3.4	-1.4	-11.9	-6.8	-4.6	-4.0	-6.5	2.3	
	설비투자 (%)	-9.8	25.0	11.7	7.5	1.0	-3.4	3.8	5.5	
대외거래	통관기준	경상수지 (억 \$)	328	294	26	55	69	127	277	170
		무역수지 (억 \$)	404	412	71	84	63	104	321	290
	수출 (억 \$)	3,635	4,664	1,310	1,427	1,412	1,416	5,565	6,344	
	증감률 (%)	(-13.9)	(28.3)	(29.6)	(18.7)	(21.4)	(10.0)	(19.3)	(14.0)	
	수입 (억 \$)	3,231	4,252	1,239	1,343	1,349	1,313	5,244	6,054	
증감률 (%)	(-25.8)	(31.6)	(26.2)	(27.1)	(27.6)	(13.4)	(23.3)	(15.5)		
소비자물가 상승률 (%)		2.8	3.0	3.8	4.0	4.3	4.0	4.0	3.5	
실업률 (%)		3.6	3.7	4.2	3.4	3.1	2.9	3.4	3.6	
국고채수익률 (3년, 평균, %)		4.0	3.7	3.8	3.7	3.6	3.4	3.6	4.0	
원/달러 환율 (평균, 원)		1,276	1,156	1,120	1,083	1,085	1,144	1,108	1,050	

주: E(Expectation)는 전망치



現代經濟研究院

HYUNDAI RESEARCH INSTITUTE