

원자력 기술개발 동향

이 용관

한전 전력연구원

Current status and direction of the development of nuclear power technology

Lee, Yong-kwan

Korea Electric Power Research Institute

1. 서론

2007년 현재 우리나라는 20기의 원전을 운영하고 있으며 6기의 원전을 건설 중에 있고 2기를 계획 중에 있는 세계 6위의 원자력 발전국이다.

1979년 TMI, 1986년 체르노빌 원전사고이후 30여년간 침체기에 들었던 세계 원자력 산업계는 최근 원자력이 고유가 극복, 지구온난화 및 공해 문제를 해결 할 수 메이저 에너지원으로 다시 주목받기 시작하면서 원자력 르네상스 시대를 맞이하고 있다.

그동안 우리나라는 한국 표준형 원전인 OPR1000*와 신형 원전인 APR1400 원자로 기술 개발을 지속적으로 추진하여 왔고, PLUS 7 등 신형핵연료 개발, 국산 원전용 디지털 제어시스템(KNICS)개발 및 MMIS 인간공학 검증 시스템 개발, 원자로 용기 제조기술개발 등 우리 고유의 원천기술 개발에 주력하여 괄목할만한 성과를 거두었으며, 해외 수출을 위한 기반 여건 조성 및 제도적 장치를 마련해가고 있다.

한편 국제적으로는 안전성, 경제성, 핵비확산성이 증가된 미래 원자력 시스템(GEN-IV), 핵융합 프로젝트(ITER)가 국제 공동 참여 프로젝트로 추진되고 있으나, 반면에 미국, IAEA등을 중심으로 이란 북한등의 핵무기 개발 시도를 무기력화 하고 핵 확산 방지를 명분으로 핵연료 공급을 제한하려는 보장체계 구축(GNEP등) 노력이 태동되고 있는 실정이다.

이에 본 논문에서는 우리나라의 원자력기술개발현황을 설명하고 향후 국가 주요 에너지원으로 확대 개발하여 수출산업으로 육성하기위한 제언을 하고자 한다

- * OPR1000* : Optimized Power Reactor
- * APR1400 : Advanced Power Reactor
- * KNICS : Korea Nuclear I&C System
- * MMIS : Man-Machine Interfau System
- * GEN-IV : Generation IV
- * ITER : 선진 7개국 핵융합 사업
- * IAEA : 국제 원자력 기구
- * GNEP : 미국이 제안한 핵확산 저항성 원자력이용 개발 국제 협력 프로그램

2. 원전 운영현황

2006년 말 현재 우리나라의 원자력발전소는 총 20기가 상업운전 중에 있으며, 원자력발전설비 용량은 1,771만 6천kW이다. 이는 전체 발전설비 용량 6,551만 4천kW 의 27.0%이고, 원자력발전량은 1,487.5억kWh로 국내에서 생산된 전체 발전량의 39%를 차지한다.

2006년의 우리나라 평균 원전 이용률은 92.3%로 2001년 이후 연속해서 90% 이상의 높은 이용율을 달성하였으며, 세계 원전의 이용률 평균인 79.5%와 비교하면 12.8%나 높아 우리나라 원전 운영기술이 선진국보다 우수함을 나타내고 있다.

3. OPR1000* 원자로 기술개발

우리나라의 원전건설 기술자립은 1987년 초 착수된 영광 3,4호기 건설사업과 연계하여 추진되었으며, 이를 위해 국내 역할 분담사와 외국 기술보유사 (CE, GE, S&L)간에 기술도입계약을 체결하고 기술자료의 도입, 교육훈련 등 체계적이고 종합적인 원전건설 기술자립을 추진하였다.

기술도입계약을 통해 원전건설에 필요한 모든 전산코드 및 기술 자료를 도입하고 국내·외 교육훈련을 통해 기술 인력을 양성하였으며 영광 3,4호기 설계, 구매, 제작 및 시공업무를 직접 수행함으로써 도입기술을 소화, 흡수 및 축적 하였고, 사업수행만으로 습득이 어려운 분야 및 취약 기술분야는 자체 기술개발을 통해 극복하였다.

원전건설 기술자립 추진을 시작한 1986년 말 원전건설 기술에 대한 자립률은 약 60%정도였으나 1995년 말 기준으로 기술자립률 95%를 달성하게 되었다.

이러한 성공적인 기술자립을 기반으로 최초의 한국표준형원전인 울진 3,4호기를 1998년과 1999년에, 영광 5,6호기를 2002년에 각각 성공적으로 준공하였으며 계속하여 울진 5호기가 2004년 7월에, 울진 6호기가 2005년 4월에 상업운전을 개시함으로써 총 6기의 한국표준형원전을 성공적으로 건설하였다.

4. APR1400 원자로 기술개발

차세대원자로 기술개발은 한수원(주)(당시 한전)의 원자로 노후전략계획에 따라 한국표준형원전의 뒤를 잇는 신형 가압경수로형의 원전을 개발하는 것으로서 1992년 6월 정부주도의 선도기술개발사업(G-7 Project) 과제에 추진 되었으며, 대외적 경쟁력 확보를 위하여 안전성과 경제성을 대폭 향상시키고 전력수급기본계획에 따른 전력수요 충족을 위해 정부(산자부)와 산·학·연이 협동하여 대용량(1400MWe급)의 차세대 원자로기술개발을 수행(2001년 12월 완료)하였다.

개발된 1,400MW급 차세대원자로는 2001년 2월 제15차 기술개발추진위원회에서 신형경수로 1400 (APR1400)으로 명명하고 2002년 5월 정부로부터 표준설계인가를 취득하였으며, 건설준비중인 신고리 3,4호기와 신울진 1,2호기부터 적용할 예정이다.

신형경수로1400은 안전성과 경제성을 대폭 개선하여 한층 경쟁력을 갖는 원전개발을 목표로 추진되었으며, 용량을 1400MWe급으로 격상하고 국내·외의 최신 신형원자로 설계요건을 반영하였다. 특히 안전성을 향상시키기 위하여 노내냉각설비를 채택하고, 원자로공동침수계통, 피동 수소재결합기 등 중대사고 대처설비를 대폭 강화하였다.

- 설계기준 : 용량(1400MWe), 설계수명(60년), 내진설계(0.3g)
- 안전여유도 증대 : 노심 열적여유도 확보(10~15%), 가압기/증기발생기 용량 증대, 4 Train 원자로 직접 안전주입, 원자로건물내 핵연료 재장전수조 설치 등
- 경제성 향상 : 설비용량 증대, 단순화 및 최적화, 모듈화 확대 등
- 중대사고 완화 : 안전가압계통, 피동 안전성 개념을 도입한 수소점화 계통, 격납용기 침수냉각계통 등 도입
- 첨단 주제어실 설계 : 한국적 인간공학을 반영한 다중 워크스테이션 채택

5. 원전 계측제어시스템 개발 (KNICS)

원전계측제어시스템은 원자력 발전소의 두뇌와 신경망으로 발전소 운전, 제어, 감시, 계측, 정보처리등을 수행하고 비상시에는 발전소 보호 기능을 맡아서 하는 핵심 시스템이다.

과학기술부 원자력연구개발사업의 일환으로 지난 2001년 7월 프론티어 사업 형태로 출범한 이후 연구개발 내용이 제품의 개발 및 국내외 원전에 적용되는 실용화 위주의 사업으로 분류돼 정부 방침에 따라 2005년부터 산업자원부 주관으로 추진되어왔다.

총 연구기간은 2001년부터 2008년까지 7년간이며 연구비는 약 690억원이 소요될 것으로 예상되고 있다.

특히 이 사업은 한국원자력연구소, 한국전기연구원, 한국원자력안전기술원, 한전 전력연구원 등 정부기관과 두산중공업(주), 한국전력기술(주), (주)포스콘, (주)우리기술 등의 기업체를 비롯 강원대, KAIST 등 산·학·연이 참여하고 있다는 것에 의의를 두고 있다.

개발된 기술은 통합성능검증설비에서 검증시험을 거친 뒤, 가동원전의 계측제어시스템 성능 개선 및 신규원전에 공급하고 특히 APR1400 후속기의 통합 계측제어시스템으로 개발하여 해외수출에 활용할 계획이다.

6. 핵연료 기술개발

원자력발전소의 연료로 사용되는 우라늄은 채광, 정련, 변환, 농축 및 성형가공 등 일련의 가공과정을 거쳐 원자력발전소에 사용가능한 형태인 연료집합체로 제작된다.

그동안 우리나라는 국제공동연구를 통하여 개량형 핵연료인 PLUS7 및 ACE7 개발이 완료되어 고리, 영광등 원전에 장전되어 사용중에 있으며, 기술소유권이 확보된 독자개발 고유 핵연료를 2015년 까지 개발할 예정이다.

원전연료 주기는 우라늄 원광의 채광으로부터 가공된 원전연료를 원자로에 장전하기까지의 과정을 '선행원전연료주기(Front-end Nuclear Fuel Cycle)', 원자로에서 연소 후 인출된 사용 후 연료를 소외저장시설이나 재처리시설로 수송하는 것으로부터 이를 최종 처분하기까지의 과정을 '후행원전연료주기(Back-end Nuclear Fuel Cycle)'라고 한다.

7. GEN-IV 원자로 기술개발

제4세대 원자력시스템(GEN-IV)은 원자로와 핵연료 주기를 포함한 전체 시스템으로서 인류의 지속가능한 발전에 기여하기 위한 지속성의 확보, 안전성의 획기적 개선 및 높은 경제성을 갖춘 원자력 시스템을 말한다.

국제적으로 GIF를 중심으로 진행되고 있는 제4세대 원자력시스템은, 2030-2040년경에 상업적 실용화를 목표로 추진되고 있으며 전력생산 및 수소생산등의 용도로 활용 될 전망이다. 우리나라는 VHTR, SFR 개발 프로젝트에 가입 협약하였고 LFR, MSR 프로젝트의 가입을 고려하고 있다.

참고적으로 GEN- I 은 1950년에 도입된 초창기 원자력시스템들로서 영국의 Magnox, 미국의 Shipping port 원전이 대표적 예이다.

GEN-II는 1980년대에 건설된 원전으로서 현재 세계적으로 운전되고 있는 대부분의 발전소들이 이에 속한다. 고리 영광등 우리나라 대부분의 원전들이 제2세대 원자력시스템으로 분류된다. GEN-III는 1990년에 중반이후 도입된 원전들로서 우리나라의 한국표준형원전(OPR1000)등이 여기에 해당한다.

최근 미국이 2010년까지 도입을 검토하고 있는 원자력 시스템들로서 GENIII 보다는 경제성 측면에서 좀더 개선된 AP1000, EPR, 우리나라의 APR1400 등이 GENIII*로 분류된다.

- * GIF : Generation IV International Forum
- * VHTR : Very High Temperature gas-cooled Reactor
- * SFR : Sodium-cooled Fast Reactor
- * LFR : Lead-cooled Fast Reactor
- * MSR : Molten Salt Reactor

8. 범세계적인 원자력 르네상스 시대 도래

최근 세계 원전시장은 미국의 TMI 사고(1979년), 구 소련의 Chernobyl 사고(1986년) 이후 약 25년간 신규 원전건설이 중단된 이후, 새로운 도약기를 맞이하고 있다. 미국이 향후 15년 간 30여기, 러시아가 40여기(30), 중국과 인도가 각각 20여기(20)와 17기(17)의 건설을 추진하고 있으며 개발도상국이면서 급속한 경제발전을 하고 있는 베트남, 인도네시아, 터키, 나이지리아, 탄자니아, 멕시코, 포르투갈 등도 신규 원전도입에 적극적인 의사를 표명하고 있어 새로운 원전 르네상스가 예상되고 있다. 2030년까지 발주될 신규 원전 규모는 약 150기, 이를 시장규모로 환산해보면 1기당 건설비용을 약 1.5조원으로 가정하면 약 225조원 규모의 원전 시장이 형성될 것으로 전망되어 새로운 국가 성장 동력원으로서 원전 해외사업에 대한 필요성이 점차 증대되고 있다.

9. 원전 해외수출의 기회

이와 같은 기회는 지난 30년 동안 계속된 건설과 기술개발을 통해 세계 정상급의 원전기술을 보유한 국내 원전산업계에 새로운 시장으로의 진출 기회를 제시해주고 있다.

원전산업 해외수출은 국내 원자력산업의 지속가능한 성장기반을 확보한다는 점에서 그 의미가 매우 크다고 할 수 있다.

그러나 향후 국내 원전시장 전망은 그리 밝지만은 않다. 산업자원부에서 발표한 '제3차 전력수급 기본계획'에 따르면 국내 전력수요 성장률의 둔화로 2020년 이후에는 신규 원전건설이 순탄하지는 않을 것으로 전망된다.

국내 신규 원전건설 시장의 포화는 원전기술에 대한 투자부진으로 이어져 결국 지난 수십 년간 쌓아온 기술과 경험, 관련 인프라의 손실로 이어질 위험이 존재한다.

국내 원자력 산업의 지속적인 발전을 위해서는 점점 포화되고 있는 국내 원전시장을 대체할 새로운 해외시장 개척이 필수적이라고 하겠다.

10. 결론 및 제언

원자력에너지는 고도의 과학기술을 필요로 하는 에너지로 기술자립을 이룩하게 되면 타 산업에 미치는 파급효과가 매우 큰 준국산 에너지이다. 특히 과학기술의 결정체라 할 수 있는 원자력기술은 우리나라 대부분의 첨단기술을 선도하고 있으며, 원자력 관련 기술은 국가 전략적 차원에서도 핵심적인 기술이라는 측면에서 기술자립에 대한 효과가 매우 크다고 할 수 있다.

그러나, 미국 등 원자력 수출국을 중심으로 핵비확산성을 명분으로 농축 및 재처리를 포기한 국가에 대해서만 민수용 원전의 핵연료 공급을 주요 원자력 수출국이 보장하는 방안 등이 강구되고 있어 핵심기자재에 대한 국산화와 소프트웨어 개발등 원전기술의 확보가 필요하다.

기기검증 및 실험기술등 다수의 전문기관이 각자의 특화 기술을 활용하여 공통의 목표를 추구하는, 공동활용(Cross-cutting) 기술 협력개발로 시너지효과의 극대화를 제안한다.

또한 후발국인 우리나라가, 원전 공급분야의 경쟁국으로 부상할 경우 기존 공급자와의 기술 교류가 어려워질 것으로 예상되므로 국제 협력 채널(IAEA, Halden project등)을 다양화하고, 2014년 종료되는 한미 원자력 협력 협정을 보완하는 방안등의 모색이 필요하다.

참고문헌

1. IAEA, *Annual Report 2006, 2007*
2. IAEA, *Operating experience with nuclear power stations in member states in 2006, 2007*
3. 김규태, 국내 핵연료개발 이력 및 계획, 원자력산업, 2007년 1월
4. 원자력발전산업의 해외수출전략, 한전전력연구원, 2007년10월
5. 제3차 원자력 진흥 종합 계획, 과학기술부.2007년 1월
6. NU-Tech 2015 원자력분야 연구개발계획서, 산업자원부, 2007년6월