

원자력의 연구 개발 방향과 도전 과제

안 홍 준

한전 전력연구원 원자력발전연구소장



머리말

환경 변화에 대한 지속적 관심과 최근의 원자력산업 Renaissance의 도래로 원자력 발전에 대한 관심과 미래 발전 방향이 다시 주목을 받고 있다. 특히 우리나라 정부 주도 원자력 연구 개발은 최근의 급격한 변화를 반영하여 중요한 정책 변경이 활발하게 진행되고 있다. 최근 변화를 주도하고 있는 주요 배경은 다음과 같다.

○ 원자력산업을 수출 전략산업으로 육성하기 위한 기술인프라 구축이 시급하다는 것이 최근 정부는 물론 원자력산업계 전반에 퍼지고 있는 인식이다.

- 특히, 중국 시장 진출 실패에 따른 향후 대책으로 원천 핵심 기술 확보 방안,
- 원자력 전문 기관 간 시너지 효과 극대화를 통한 해외 진출 사업 창출 방법이 중요하다.

○ 해외 진출을 위한 원자력 연구 개발 사업의 종합적인 연계가 필요하다.

○ 국내 원자력산업의 지속 가능한 성장을 위한 Master Plan 수립이 필요하다.

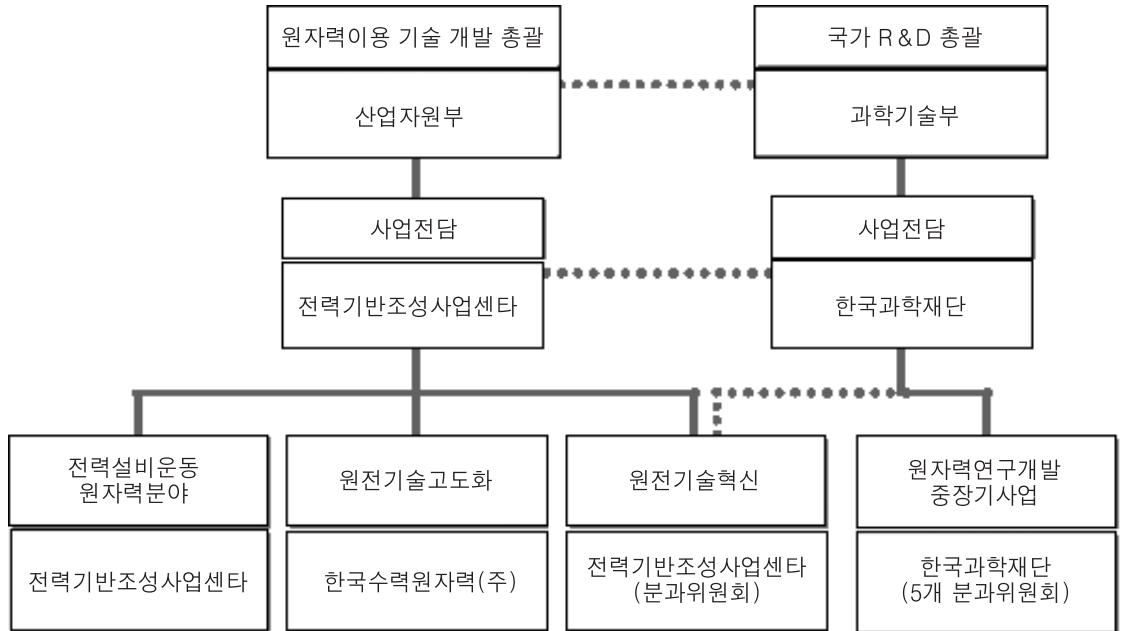
향후 원자력 에너지는 수소 생산 등 미래 에너지원의 중추적 역할을 담당할 가능성이 커지고 있다.

본고에서는 경제 규모에 비해 향상 연구 개발 재원이 부족하다고 느끼고 있는 우리나라 원자력의 연구 개발 방향과 정책 화, 향후 필요한 도전 과제 등을 기술하였다.

원자력산업의 환경 변화

2006년 12월에 제1차 세계 원자력 르네상스 고위급 회의가 미국에서 열렸다. 주요 참석자는 미국 에너지부, 국무부, 원자력안보국의 고위급 관계자, 원자력 관련 국립 연구 기관, 대학, 산업체, 미국 상원

한양대학교 전기공학과 졸업
한전 KEDO 원전 사업처장, 금호원자력본부장
한전 전력연구원 원자력발전연구소 소장(2007~)



<그림 1> 원자력 분야 연구 개발 추진 체계도

및 하원, 카네기재단 등 원자력 관련 비정부기관(NGO)과 국제원자력기구(IAEA) 핵연료주기 전문가, 일본의 자원에너지청 원자력정책과장, 프랑스 원자력위원회(CEA) 원자력과장, AREVA, NUKEM 등이다.

아래 내용은 이 회의에서 제시된 주요 주제로 원자력의 부활이 구체적으로 목격되고 있으며 온실 가스를 방출하지 않는 원전의 이용 확대가 예상되는 가운데 사용후 핵연료 관리는 지속 가능하고 장기적 해결이 필요함을 강조하고 있다.

- 온실 가스를 방출하지 않는 원전의 이용 확대 예상
- 향후 20년 동안 전력 수요는 75% 증가 전망
- 원전 이용 비율은 두 배까지 증가 전망

○ 해수 담수화와 수소 생산 등 원자력 역할의 확대 전망

○ 특히 미국의 민주당·공화당 양당 모두 원자력 이용을 지지

- 정권 교체시에도 정책 변화는 크지 않을 것으로 예상

○ 원전 수명 연장, 규제 환경 개선, 원전 경제성 향상 등으로 투자자들의 인식이 긍정적으로 변화

원자력 Renaissance가 도래할 것은 명약관화하다. 그러나 급격한 원전 증가는 우라늄 자원과 농축 서비스 공급에 지장을 줄 것으로 예상된다.

특히 에너지 자원의 블랙홀인 중국의 상황은 향후 대단한 영향을 미칠 것이다. 실례로 최근 수년간 국제 우라늄 가격이 크게 올랐고 수 년 전 해외 우라늄 광산을 매각한 우리나라도 이미 열 배 이상의

원광 수입 가격 급등을 겪고 있다.

해외 진출 호기

물론 해외 진출을 위한 좋은 기회도 도래하고 있다. 미국을 비롯한 선진국은 물론 경제 규모가 큰 국가는 모두 원전 건설에 대한 새로운 계획을 수립하고 있다.

특히 SMART와 같은 중소형 원자로 시장이 확대될 것으로 전망되어 우리나라도 틈새시장을 공략할 수 있기를 기대하고 있다. 우리는 원전을 지속적으로 건설해왔기 때문에 건설/시운전 분야는 물론 주요 기기 제작 수출로 기술 경쟁력을 꾸준히 유지해온 강점이 있다. 시장 규모로 환산하면 2030년까지 약 150기, 약 240조원 규모의 원전 시장 형성이 전망되고 있다.

<표 1> 원자력진흥종합계획 및 원자력 중·장기계획 추진 경과

연도 구분	1992~1996	1997~2001	2002~2006	2007~
원자력 진흥종합계획		1차 - 전력 생산의 주종 에너지 - 원자로 기술 자립 등	2차 - 안전성 확보 - 원전 기술 고도화 - 원자력산업 수출 등	3차 진흥종합계획
방사선 및 방사성 동위원소 진흥종합계획			1차 - 방사선 기술 개발 확대 - 방사선 이용 산업 육성 - 국민 복지 기여 - 국민 수용성 확보 등	2차 방사선 및 방사성 동위원소 진흥종합계획
원자력 증장기계획	1차 - 국가 에너지 자립 기반 구축 - 원자력 발전 기술 정착 - 원자력 기반 기술 수준 향상	2차 - 국가 에너지 공급의 안정적 확보 - 원자력 기술 선진국 진입 및 기술 수출국 부상 - 창의적 과학 기술 발전 선도 및 국민 삶의 질 향상		3차 증장기계획

국내 원자력 연구개발 추진 체계

정부 주도의 원자력 연구 개발 체계를 살펴보면, 가장 상위에 놓인 계획인 「원자력진흥종합계획」은 1990년대 초부터 시작하여 올해 3차 계획이 입안되었고, 이에 따라 과학기술부의 원자력 중·장기 계획도 3차에 접어들어 시행되고 있으며, 각 부처별 연구 개발 계획 및 TRM(Technology Road Map)도 지속적으로 개정되고 있다.

국내 원자력 연구 개발 사업 체계는 과학기술부와 산업자원부 주관 분야로 나누어져 있다. 과학기술부는 한국수력원자력(주)가 부담하는 원자력기금을 이용한 원자력증장기 연구 개발 사업을 통해 R&D를 주관하고 기초 기반/기술 개발에 주력하고 있으며, 산업자원부는 전력 요금에 포함된 전력기반기금으로 원자력 이용 기술 개발을 총괄하고 있고 각각 한국과학재단과 한전

의 전력기반조성사업센터가 전담 기관 역할을 수행하고 있다.

원자력 증장기 연구 개발 사업 중 원전 기술 혁신 분야는 원자력 기금을 사용하나 주로 원자력 발전 분야 기술 개발에 투자하고 있어 전력기반조성사업센터가 관리하고 있다.

과학기술부 원자력 증장기 연구 개발 사업 추진 방향은 2007년부터 구체적 비전 제시와 성과 중심으로 재편되고 있다.

특히, 빠르게 진행되는 환경 변화에 적극적으로 대처하고 신규 수요에 부응하기 위해 조기 정리가 필요한 과제를 결정하는 등 연구의 일몰 개념을 도입하고 선택과 집중의 원칙을 지향하고 있다.

산업자원부는 2006년에 기획된 ‘NUTECH 2015’ 기획을 바탕으로 최근 E-TRM (2017)을 개정하였다. 그 내용은 2017년까지 원전 기술 G4에 진입한다는 비전을

수립하고 국제 경쟁력 제고를 위한 APR+ 설계 기술, 운영 기술 선진화 분야의 디지털 원전 운영 기술, 원전 친환경 기술 등을 주요 골자로 하고 있다.

첫 번째 E-TRM이 원자력산업 기술 전반을 포함한 자세한 지도였는데 반해 이번에 개정된 E-TRM은 지하철 노선도와 같은 단순하지만 목적지가 확실히 보이는 지도라고 할 수 있다.

국내 원자력기술의 경쟁력 분석

2004년 한국과학기술정보연구원은 원자력 분야 핵심 기술 체감지수 설문 조사를 수행하였다. 결과는 선진국 대비 50~60% 수준의 기술 수준에 불과한 것으로 조사되었다.

핵심 기술 수준은 선진국 대비 50% 수준 이하로 평가되었고, 특히 설계 기술은 30% 수준으로 독



<그림 2> 산업자원부 E-TRM(2017) 및 NUTECH 2015 사업 추진 방향

자적 해외 진출 곤란 요인으로 작용하고 있는 것으로 평가되었다.

이후 원전 해외 진출을 위한 정책기획이 심도있게 진행되어 현재는 부족 기술을 보완하기 위한 노력이 활발히 진행되고 있다.

원자력 발전 분야별 국내 원자력 기술 경쟁력에 대한 국내 전문가의 의견은 다음과 같이 요약할 수 있다.

○ 설계 기술 분야는 가장 중요한 원천 기술이 설계 코드이며 지금까지도 대부분의 코드는 수입하고 있다. 그러나 전체 원전 기술 수준에 비해 기술 개발 착수가 늦었음에도 불구하고 인적 자원 부분에서 우리나라는 상당히 유리하고 후 발주자로서의 장점도 있기 때문에 기술 자립에 착수한 것이 다행스럽다고

할 수 있다.

○ 기계 설계 분야는 일반 상용 코드가 많이 이용되므로 지적재산권 등 Issue는 많지 않으나 설계 기준 및 데이터베이스의 대부분을 해외 의존하고 있기 때문에 미국의 수출제한법에 어느 정도 영향을 받을 것으로 판단하고 있다. 미국 기술이 10% 이상 포함된 기술의 수출은 미국에 통보해야 하고 20% 이상은 수출시 분쟁의 소지가 있다.

○ 제작 기술 분야는 기존 가압경수로 주기기 제작 분야가 복제 기술 수준을 유지하고 있지만 국제 경쟁력을 갖추고 있고, 특히 중국 수출 등 확실한 해외 진출 실적을 보이고 있다.

○ 핵연료 분야는 국제 공동 연구

를 통해 개발 능력이 정착 단계에 접어들었다.

○ I&C Hardware 제작 분야는 국산화가 활발히 진행되고 있으나 적용을 위해서는 기술 검증과 발전 회사의 지원이 필요하다. 다행히 최근에 KNICS 사업을 통해 검증 기술 개발에 착수하였다.

○ 운영 기술 분야는 우리나라가 세계 최고 수준이라 할 수 있다. 또한 최근 몇 년간 Computer 기술의 비약적 발전으로 과거에는 적용이 어렵던 첨단 감시 기술 등이 꾸준히 Upgrade되어 적용되고 있다. On-line PSA, Risk Monitoring 등 원전 운영 분야의 Emerging Technology 분야는 선진국과 기술 격차가 크지 않으나 기존 원천

<표 2> 원자력 핵심 기술 체감 지수 설문 조사 결과

국가	안전성 향상	운전성 향상	신뢰도 향상 및 수명 관리	원전 계측 제어	개량형원전 계통 설계	신개념 원전 설계
미국	100	100	100	100	84	100
일본	78	68	85	84	100	100
유럽	92	68	70	84	100	80
한국	52	54	65	56	30	20

※ 자료 : 한국과학기술정보연구원, 선진국 전력기술개발 추진방향 및 국가별 경쟁우위기술 비교 분석, 2004. 04

기술-설계 기술 간 연계는 선진국에 비해 부진하다고 할 수 있다. 발전 회사가 적극적으로 활용할 의지가 중요한 분야이다.

○ 유지 보수 기술 분야는 세계적으로 Configuration Management의 중요성이 강조되고 있어 원전 경쟁력 제고에 매우 중요한 분야로 부각되고 있다. 원전 노후화에 따라 예비품 확보가 매우 중요하나 국내 부품 산업의 기반은 빈약하고 외국 공급 회사가 사라져버린 경우도 많아 기술적 틈새 영역으로 남아있다. 또한, 장기 운전에 따라 미국의 규제 방향이 빠르게 변화하는 분야이나 기기 건전성 평가와 같이 재료의 물성 Data가 중요한 분야도 기술 개발 강화가 필요하다.

○ 건설 기술 분야는 원전을 지속적으로 건설해온 우리나라가 경쟁력이 높다는 공감대가 퍼져 있으나 최근의 Software 기술은 이 분야의 기술 개발을 다시 한 번 생각하게 한다. 특히, 일본 ABWR은 건설 공기 23개월을 주장하고 있다. 과거의 기술 수준에서는 놀라운 발전이나 Software 기술의 발달로 가상 공간에서 나사못 한 개까지 위치를 확인하고 미리 건설해 볼 수

있을 정도로 급격한 기술 발전을 보이고 있는 분야이다. 이를 통해 Critical path를 미리 확인하고 설계 변경에도 시기적절하게 대응할 수 있다. 최근 세계적으로 큰 관심을 받고 있는 4-D CAD 활용 기술이 이 분야의 핵심이며 모든 설계 Data와 공정이 단일 DB에 구축되어 공기를 최적화할 수 있는 도구를 제공한다.

국내 원자력산업의 현안

국내 원전 시장 규모의 성장 둔화는 우리나라의 강점 중 하나인 우수한 전문 인력을 계속 유지하기 어렵다는 관점에서 매우 중요하다. 이는 해외 진출이 시급한 이유 중 하나로 경쟁력있는 원전을 개발하여 적극적으로 해외 시장을 개척하는 노력이 어느 때보다 절실하다고 할 수 있다.

인력 문제는 기존 전문 인력을 계속 유지하는 것도 중요하지만 새로운 인력의 충원도 매우 중요하다.

원자력산업에 대한 매력 감소로 고급 전문 인력이 원전 산업에 유입되지 않고 있다. 따라서 기술 인력이 급격히 노령화되고 있다. 현

재 연구/설계 기관의 평균 연령은 40대 중반에 도달해 있다.

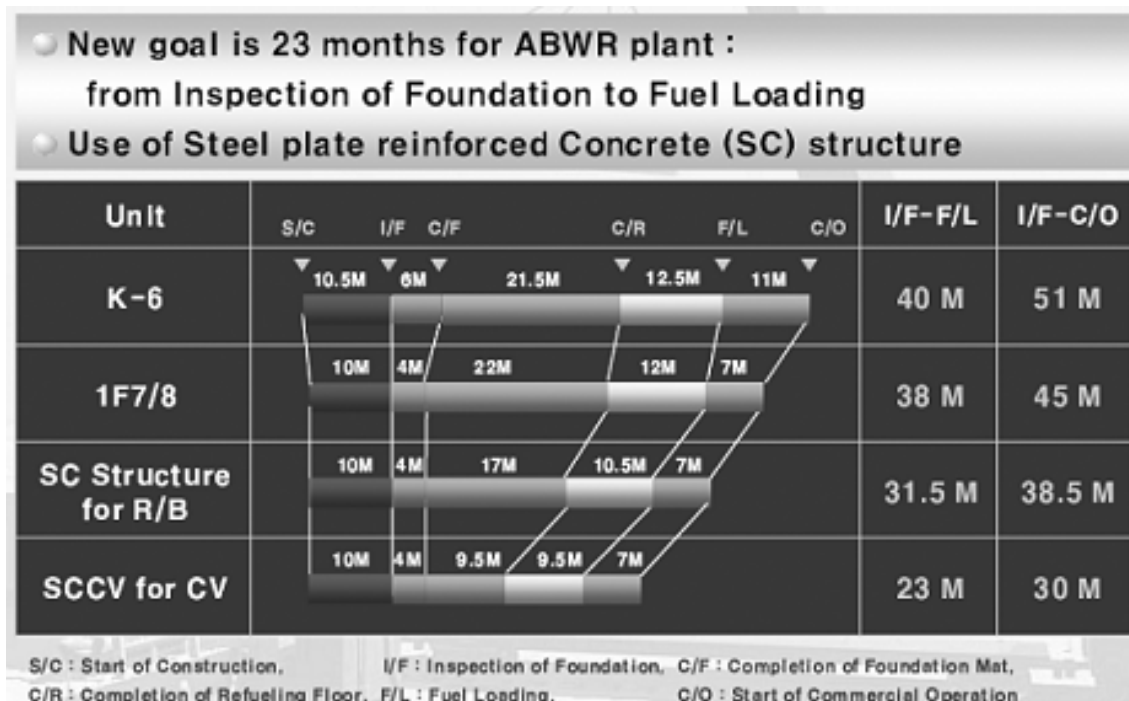
지금까지 축적된 지식을 문서화하고 후배들에게 전달하지 않으면 향후 중요한 원전기술 지식의 손실 위험도 (Knowledge Loss Risk)가 크게 증가할 것이다.

1997년 미국 TVA(Tennessee Valley Authority)는 기업이 가진 가장 중요한 자원인 지식 자산에 대한 연구(Knowledge Loss Risk Assessment)를 수행했다.

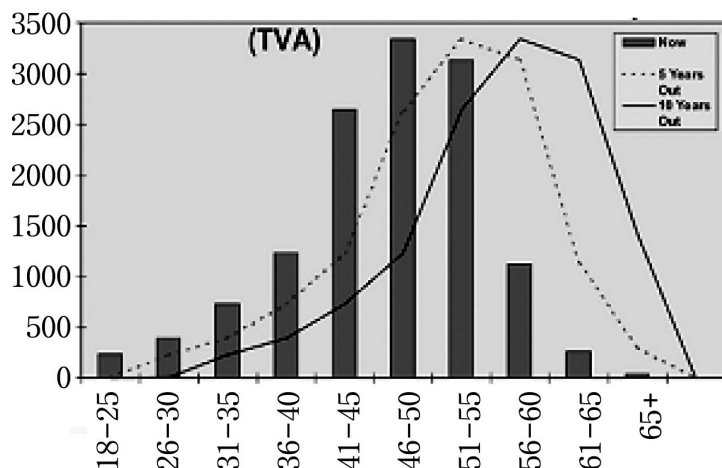
연구 결과, 2007년 전력 산업 분야의 주력 인력 연령이 60대에 접근하는 결과가 나왔고 우리나라의 현실과 크게 다르지 않은 실정이다.

오히려 우리나라는 IMF 이후 상당 기간 신규 인력 충원이 중단되었고 미국에 비해 문서화 수준이 빈약해 지식의 유실 가능성이 더 크다고 하겠다. 또한 선진국과 달리 원전 운영자, 설계 기관, 연구 기관 간의 인력 교류가 거의 없어 지식의 교환을 통한 시너지 효과도 미미한 상황이라 할 수 있다.

연구 재원 측면에서는 PBS 시스템 채용으로 인건비 비중이 증가하고 연구 수행에 가장 중요한 직접 경비는 항상 부족한 현실이다.



〈그림 3〉 일본 ABWR의 건설 공기 현황



〈그림 4〉 미국 전력 산업 분야 인력의 고령화 추이

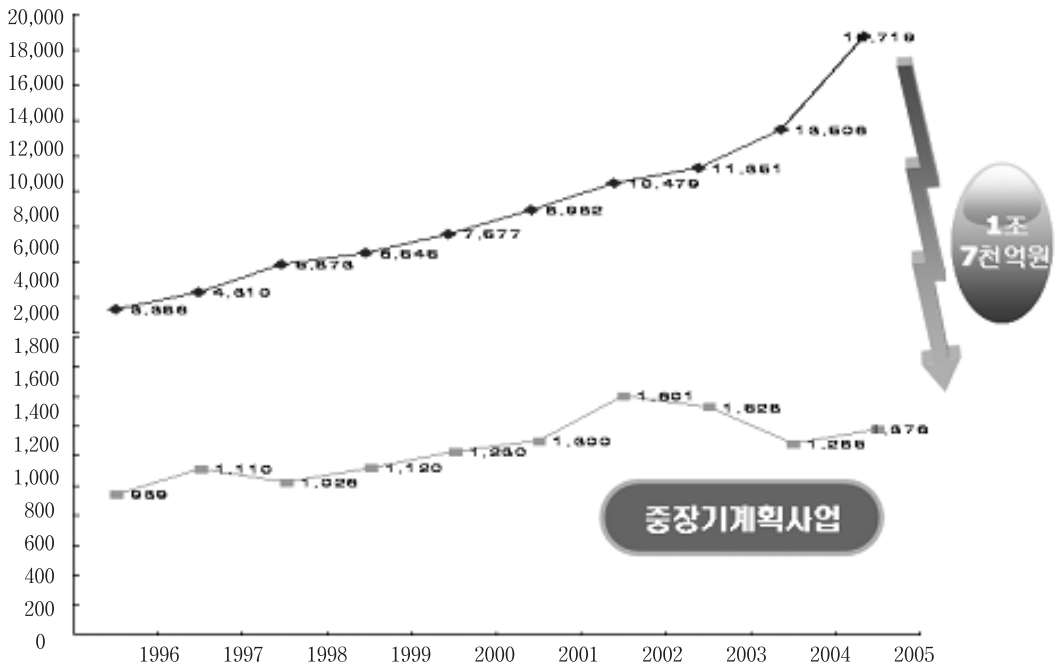
게다가 기술 발전에 따라 고급 원천 기술 확보 수요가 증가하고 있기 때문에 비용이 많이 수반되는 실험 연구의 수요가 많은 상황임에

도 과학 기술 타분야 예산 규모에 비해 원자력 연구 개발 예산은 정체되고 있다.

〈그림 5〉와 같이 과학 기술 분야 전체 기금 예산이 2006년 1조7천 억원까지 꾸준히 증가한 반면 원자력 분야는 답보 상태에 머물러 있다.

맺는말 : 원자력의 연구 개발 방향과 도전 과제 제안

○ 해외 진출을 위한 인력 양성 활성화가 중요하다. 특히, 신규 인력을 채용해서 'Knowledge Loss Risk'에 대비해야 하다. 대부분 공



〈그림 5〉 원자력 중장기 계획 사업 예산 변화 추이

기업 성격인 국내 원전 산업계에서는 쉽지 않은 부분이기 때문에 정부와의 긴밀한 협조가 어느 때보다 중요하다.

○ 원전 기술 분야의 전략적 제휴가 가능한 국제 공동 연구의 활성화, 특히 EPRI, Halden Reactor Project 등 비영리 기관과의 협력이 필요하다. 왜냐하면 지금까지 선진국 설계 공급사가 제공한 기술의 활용이 주를 이루어왔지만 앞으로는 우리나라가 원전 공급 분야의 경쟁국으로 부상할 것이기 때문에 설계 공급사와의 기술 교류가 더욱 어려워질 것이기 때문이다.

○ 안전성과 입증된 기술(Proven Technology)의 적용이 중요한 원자력 분야의 특성상 실용화를

목표로 개발되고 있는 기술의 실증을 위한 기술 개발도 중요하다. 해외 진출을 위해서는 개발 기술을 적극적으로 국내에서 활용해야 경쟁력을 입증할 수 있기 때문에 국내 발전사뿐 아니라 실증, 인증, 검증 등을 위해 모든 기관이 협력해야 할 시점이라고 생각한다.

○ 원자력 전문 기관 간 협력으로 시너지 효과 극대화가 필요하다. Toshiba-Westinghouse, AREVA-GE 등 이미 경쟁력을 유지하고 있던 설계 공급사들이 서로 협력하여 국제 원전 시장을 독점할 우려가 있기 때문에 선진국의 거대 설계 공급사에 대응하기 위한 대처 방안이 필요하다. 특히, 원자력 전문 기관별 특화 기술을 해외 진출

에 적극 활용하기 위한 협력 연구를 적극적으로 추진해야 한다. 가능하다면 선진국 설계 공급사 수준의 경쟁력을 갖춘 기업을 육성하는 것이 가장 좋겠지만 이는 장기간의 의사 결정이 필요하므로 분산된 인력을 효율적으로 이용하는 방안이 마련되어야 할 것이다.

○ 또한, Engineer를 중심으로 진행되던 해외 진출 전략을 수정해서 우리나라가 가진 역량을 모아야 한다. 일본과 같이 원전 해외 진출 예상 국가에 대한 국가 차원의 지원이 필요하고, Engineering 분야뿐 아니라 외교, 통상, 지적 재산권분야 전문 인력이 적극적으로 원전 분야의 지식을 축적하여 해외 진출을 지원할 필요가 있다고 판단된다.