



# THEME 01

## 차세대 원자력발전소(APR+) 개발 현황

김 용 환 | 한국전력기술(주) 기계기술그룹 과장 | e-mail : yhkim@kepco-enc.com

이 글에서는 한국수력원자력(주) 주관으로 개발 중인 차세대 원자력발전소(APR+)에 대해 기본적인 개념과 개발진행 현황에 대해 소개하고자 한다.

1978년 고리 1호기를 상업 운전한 이래 30여 년 간 원자력기술개발에 노력한 결과, 한국표준형원전(OPR1000)에 이어 신형경수로(APR1400)를 넘어 이젠 APR+(Advanced Power Reactor Plus)까지 새로운 노형 개발에 박차를 가하고 있다. 쓰리마일원전, 체르노빌 원전사고와 최근 발생한 후쿠시마원전사고에도 불구하고, 화석연료 고갈 우려에 따른 전 세계의 치열한 에너지 확보 전쟁과 기후변화에 대응하기 위한 현실적 대안으로 세계는 원자력발전을 선택하고 있다. UAE(United Arab Emirates) 원전 수출 성공을 계기로 원전사업을 새로운 성장동력으로 본격 육성하기 위해 지식경제부 내에 수출 전담부서를 신설하고 범정부 차원의 지원을 하고 있다. 이러한 노력의 결과로 세계 여러 나라가 우리 원전에 관심을 표명하고 있어 UAE에 이은 우리 원전 수출의 가능성이 높아지고 있으며, 향후 펼쳐질 거대 원전 시장에서 원자력 강국으로 도약할 수 있을 것으로 기대된다. 세계 원자력 산업시장에서 지속적인 우위를 점하기 위해 핵심 기술의 국산화를 조속히 완료하여 신형 국산 토종원전인 APR+의 기술개발을 앞당겨야 할 것이다.

대부분의 원전 도입 국가들은 원전설계에 대한 기술 이전을 요구하는 추세이므로 원전설계의 원천기술에 해당하는 설계전산코드, 특허, 그리고 각종 설계기술을 검증하는 기술보고서를 자체적으로 확보하여야

우리가 설계한 원전을 해외에 수출할 수 있다. APR1400은 원전 도입국에서 원전설계기술에 대한 기술이전을 요구할 경우 우리 독자적으로 대응할 수 없는 제한이 있었지만 우리가 보유한 탁월한 원전 건설 및 운영능력과 APR1400의 우수한 안전성과 검증된 설계기술로 UAE에 해외 최초로 원전을 수출하는 쾌거를 이루었다. 그러나 원전의 해외수출 환경이 항상 UAE와 같은 조건일 수 없으며 원전 도입국의 다양한 요구사항(기술이전, 건설비용 부담, 다양한 출력, 설계특성 등)을 충족시키기 위한 개발에 노력을 경주하고 있다.

APR+ 기술개발은 APR1400 노형(UAE원전 모델)을 해외에 수출하기 전에 기획된 과제로서, 원전설계기술의 고유화를 통해 그동안 문제점으로 제기된 독자적 해외수출의 장애요인, 즉 원전설계 기술이전 문제를 원천적으로 해결하고 해외 경쟁 노형과 대등한 수준의 안전성과 경제성을 갖춘 수출고유노형을 개발하는 것이 목표이다. 또한, APR+는 APR1400을 참조로 기술개발이 되고 있지만 당초 개발목표에 따라 기술 고유화를 통해 해외 수출시 기술이전 문제를 해결하고 기술경쟁력을 강화한 해외수출 고유노형을 개발하는 것이므로 APR1400과 분명한 기술적 차별성을 가진다.

APR+ 기술개발에서 APR1400 대비 핵심적인 기술

적 차별성은 다음과 같다.

- 1) 1,500MWe급으로의 출력 증강(원자로 및 주요기기의 용량증대 및 최적화)
- 2) 설계기술의 고유화(설계문서, 설계전산코드, 특허, 기술검증보고서 등)
- 3) Nu-Tech 2010과제로 병행 추진되는 RCP(원자로 냉각재 펌프) 및 MMIS(원전 계측제어시스템) 국산화 기술 적용
- 4) 노심 및 안전해석 고유전산코드 활용
- 5) 원천기술 확보차원에서 개발되는 공통핵심요소 기술 적용
- 6) 해외 경쟁노형 우수설계인자 채택

APR+의 기술 고유성 확보를 위한 핵심적인 기술차별성은 2-Loop 원전인 APR1400을 토대로 1,500MWe 급으로 출력을 증강하여 설계 최적화를 도모하는 것과 국산화된 RCP 및 MMIS 기술을 채택하는 것이다. 그리고 모든 원전설계기술에 대한 자체적인 기술소유권을 가지는 기술 고유화와 노심 및 안전해석 고유전산코드를 개발하고 이를 기반으로 하는 설계기술을

**APR1400 대비 APR+의 가장 큰 차별성은 설계기술의 고유화를 통해 해외 수출 시 기술이전 문제를 해결하고 해외 경쟁노형 대비 기술경쟁력을 강화한 해외수출 고유노형을 개발하는 것이다**

완성하므로 해외 수출 시 기술이전 문제를 원천적으로 해결하며, 최적 원전배치 설계 개념을 도입해서 건설물량 최적화 및 복합모듈공법 채택을 통한 건설공기 대폭 단축도 포함된다.

APR1400 대비 APR+의 기술적 차별성을 APR+ 기술개발 타당성평가 기획 당시 적용이 확정된 기본기술 분야와 APR+ 표준상세설계 기획단계에서 참여사간 협의를 통하여 적용이 확정된 Option기술 분야로 구분되며 요약하면 다음과 같다.

- 1) 기본기술
  - 2-Loop RCS Configuration 유지
  - 설계기술 고유화
  - 출력증강을 통한 대용량 원전설계기술 확보
  - 고유국산화기술 채택(국산화 RCP 개발, 핵심 MMIS기술 개발)
  - 공통핵심요소 기술(안전계통최적화, 자동부하 추종운전기술, 피동보조급수계통(PAFS)기술, 다중 중대사고대처설비, 복합모듈공법 기술 등)
- 2) Option 기술
  - 해외 경쟁노형에서 채택된 우수설계인자 중에서 참여사의 설계검토와 정책협의회를 통해 최종 채택된 기술 채택

- APR1400 개발 이후 국내 선행원전 설계 개선사항 적용
- 상세설계단계에서 도출된 최신 국내외 인허가 또는 기술현안 반영

한편, 2011년 3월 11일 일본 Fukushima현에서 강도 9.0의 지진과 이에 따른 tsunami 여파로 Fukushima Dai-ichi 6 개의 원자력발전소에서 국제원자력기구 (IAEA) 사고등급 7의 원자력 재해가 발생하였다. 교육과학기술부는 이를 계기

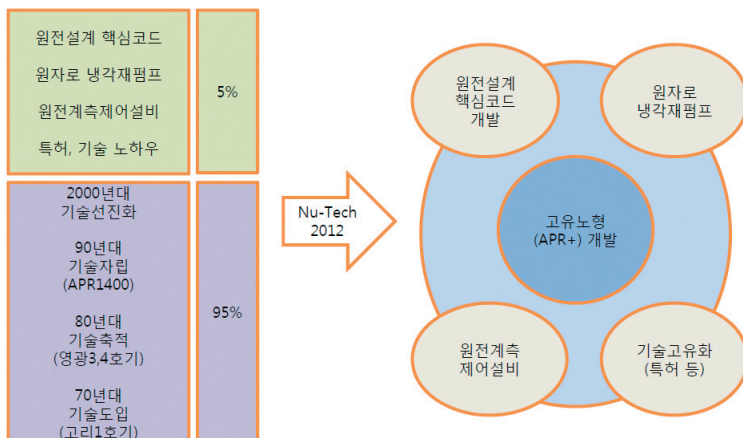


그림 1 고유 노형(APR+) 개발



로 예상을 뛰어넘는 대형 지진과 tsunami로 인한 중대사고 발생을 가정하여 국내 원전의 총체적인 안전점검을 2011년 3월 23일부터 4월 30일까지 실시하였다. 안전점검팀은 산·학·연 민간 전문가 36명과 한국원자력안전기술원 전문가 37명 등 총 73명으로 구성되었으며, 지진발생 → 대형 해일 → 전력 차단 → 대형 원전 사고라는 최악의 시나리오 하에서 ① 지진 및 해일, ② 전력 및 냉각계통, ③ 중대 사고, ④ 비상 대응 체계, ⑤ 장기 가동 원전 및 신형 원전, ⑥ 연구로, 핵주기, 방사선 비상 진료 기관 등 6개 분야 27개 항목을 점검 하였고, 그 결과 6개 분야 50개 장단기 개선 대책을 추진하기로 했다.

또한, 후쿠시마 원전사고에 대한 미국 원자력규제위원회 분석 결과, 원자로건물 건전성, 수소제어설비 및 사용후연료저장조 건전성에 대한 설계강화가 요구되었으며, 장기 소내 전력 상실사고 및 중대사고에 대한 대응방안 강구 등 12가지 항목에 대한 권고사항을

**APR+의 가장 큰 장점은 후쿠시마 원전사고와 같이 예상을 뛰어넘는 대형 지진과 tsunami로 인한 중대사고 시에 대한 대응방안을 설계 시부터 고려한다는 것이다**

제시하였다. 이러한 권고사항을 받아들여 현재 APR+ 기술개발 표준설계 및 상세설계에는 후쿠시마 원전사고에 대해 국내안전점검 이행결과로부터 도출된 개선사항 50개 항목 중 설계단계에서 반영 가능한 12건과 미국 NRC 권고사항 12개 항목 중 설계관련사항 5건을 추가하여 총 17개 항목을 반영할 수 있도록 추진 중에 있다. 그 중 주요 설계 내용을 소개하면 다음과 같다.

- 1) 지진 및 해일에 의한 구조물·기기의 안전성 관련
  - 보조건물 100' 전체 출입구 및 비상디젤발전기 건물 출입구 방수문 설계
  - 비상전력계통 및 주요 안전설비의 침수가능성에 대비하여 구조물에 내진설계된 방수문 및 방수형 배수 펌프를 설치(환기구 등 관통부의 침수방호조치 포함)
- 2) 침수 발생 시 전력·냉각·화재방호 계통의 건전성 관련
  - 이동형 발전 차량 및 축전지 등 외부접속 설계 반영

비상, 예비전원의 침수와 장기 소내정전사고에 대비하여, 차량장착 이동형 비상발전기 및 축전지(충전기, 케이블 포함) 등을 침수에 안전한 위치에 부지별로 1대씩 구비하고, 임시전원 연결지점을 확보

- 3) 중대사고 대응 관련
  - 일차측 비상냉각수 외부주입 설계 반영

원자로냉각기능 장기상실에 대비한 1,2차 측 비상 냉각수 외부주입 유로를 설치

오늘날 급격한 경제발전에 따라 에너지 수요가 폭발적으로 증가하고 있으나,

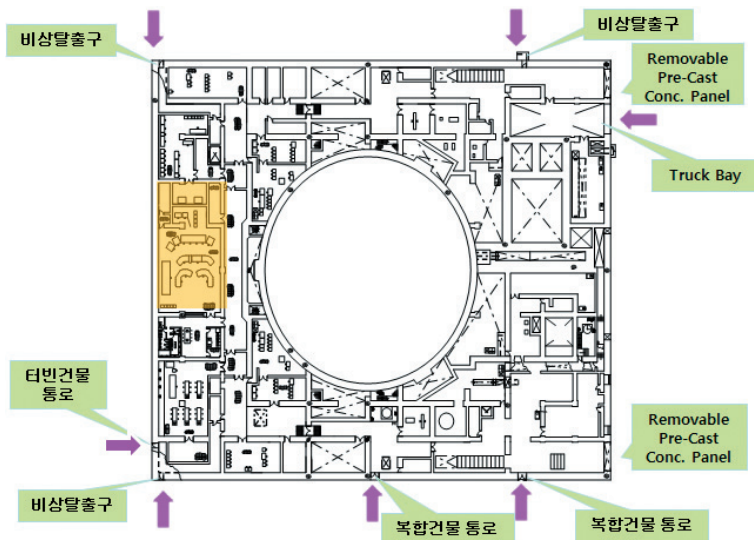


그림 2 보조 건물 100' 전체 출입구 및 EDG건물 출입구 방수문 설계 방안

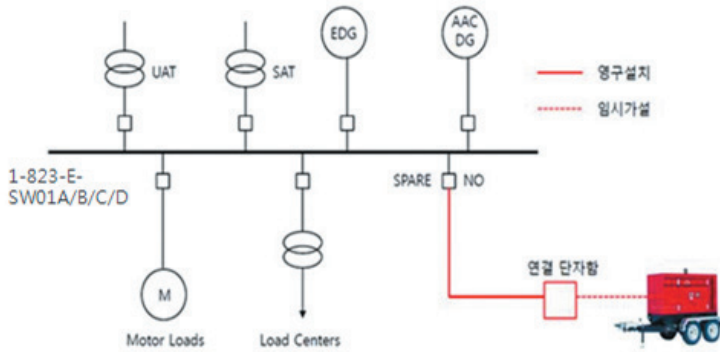


그림 3 이동형 발전 차량 및 축전기 등 외부접속 설계 반영

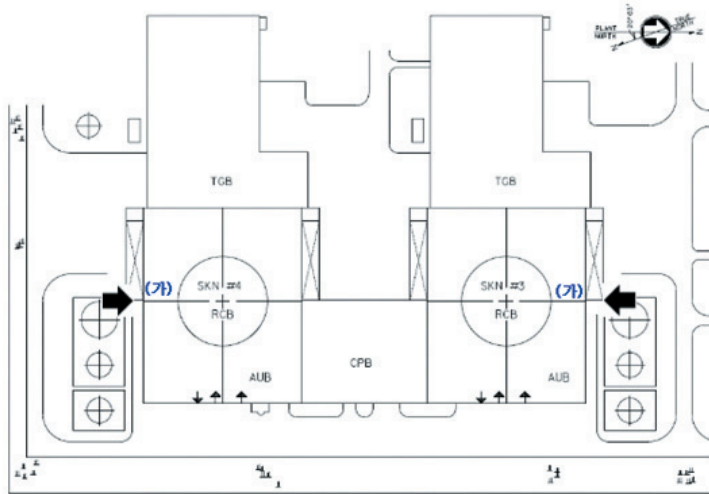


그림 4 일차측 비상냉각수 외부주입 설계 반영

화석연료의 무분별한 사용으로 세계적으로 기상이변과 지구온난화가 날로 심각해지고 있다. 이러한 현실에서 원자력은 인류가 직면한 에너지 고갈과 환경위기를 해결할 유일한 대안이라 하겠다.

원자력발전소는 기계, 전기, 전자, 원자력공학 등 첨단과학기술을 총망라한 거대한 종합프로젝트로서 그 자체가 관련 산업과 경제발전엔 미치는 파급효과가 매우 크다. 더욱이 원자력은 '저탄소 녹색성장' 이라

는 국가 비전에 가장 부합하는 중추적인 에너지원으로 자리를 확고히 하고 있다. 이제 원자력이야말로 녹색부국을 이끌 지속가능한 에너지원이라는 것은 그 누구도 부인하지 못할 것이다. 그리고 우리는 UAE 원전수출을 계기로 미국, 프랑스, 캐나다 러시아, 일본에 이어 세계 여섯 번째로 자국의 원전기술을 해외에 수출할 능력을 갖춘 나라로 당당히 이름을 올렸다. 불과 반세기만에 원전 불모지에서 원자력 수출국으로 올라선 우리는 세계 원자력 역사에 있어 가장 역동적인 나라로 자리매김한 것이다.

이제 우리는 새로운 도전의 역사에 놓여 있다. 지난 30여 년 간 원자력기술개발에 노력한 결과, 우리는 95%의 원전기술 자립에 성공하였고 부족한 나머지 5%에 해당하는 핵심기술자립은 APR+ 기술개발을 통해 완성할 수 있을 것이다.

APR+ 기술개발은 APR1400 대비 단순히 100MWe 정도의 출력증강을 하는 것이 아니라 APR1400 설계에서 기술고유성을 확보하지 못한 것에 대한 기술 고유

화와 원전기술에 대한 지적 소유권 확보도 추구하므로 기존보다 훨씬 많은 기술개발 노력이 요구된다. 그리고 APR+는 설계단계부터 후쿠시마 원전사고와 같은 재해 상황에서도 발전소를 안전하게 보존할 수 있도록 개발되고 있다. 이러한 기술자립과 안전을 위한 노력이 APR+ 기술개발로 완성되어 향후 펼쳐질 거대 원전 시장에서 우리나라가 원자력 강국으로 도약할 수 있는 기회가 될 것으로 기대해 본다.