

원자력발전소 건물 특성에 따른 핵연료취급기기의 영향 평가

**Evaluation on the Impact of the Fuel Handling Equipment by
the Characteristics of Building in the Nuclear Power Plant**

장상균, 고광적, 김범식, 맹철수, 임대헌, 황정기, 김일곤, 김인용

한국전력기술(주)
305-353 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

요 약

국내 원자력발전소 건물 특성에 따른 핵연료취급기기의 구조적 건전성, 운전성, 제작 및 시공성 등 설계에 미치는 영향을 평가하였다. 최근 국내 원전은 발전소 건물에 대해 안전성, 시공성 및 경제성 등을 고려한 다양한 건물 배치 및 부지 특성을 갖는 건물이 제시되었는데, 한국표준형원전을 기본으로 개선형 한국표준원전 및 신형경수로 1400 등이 개발되었다. 발전소 노심과 핵연료 저장대에서 핵연료 재장전을 위한 기기 및 공구로 구성된 핵연료취급계통은 발전소 건물 배치 및 부지 특성에 따라 취급기기의 설계에 광범위하게 영향을 받게 된다. 따라서 한국표준형원전과 비교하여 건물 배치 및 부지 특성 등 건물 특성이 다른 개선형 한국표준원전 및 신형경수로 1400에 적용할 핵연료취급기기에 대한 구조적 건전성, 제작 및 시공성, 운전성 및 운전 효율성에 대한 영향 평가를 제시하였다.

Abstract

An evaluation on the impact of the fuel handling equipment by the characteristics of building in the nuclear power plant was performed for structural integrity, operation, fabrication and construction of these equipment. The various types of buildings with the site characteristics in the domestic nuclear power plants were recently suggested considering safety, construction and cost. The building arrangement was developed for the Improved Korean Standard Nuclear Power Plant(KSNP+) and the Advanced Power Reactor(APR) 1400 based on the Korean Standard Nuclear Power Plant(KSNP). The fuel handling system consists of equipment and tools to refuel fuel assemblies between the core and the fuel storage rack. The design of the fuel handling equipment would be affected by building arrangement and its site characteristics in the nuclear power plant. In this paper, evaluation results of structural integrity, fabrication and construction, operation and its efficiency for these equipment in the KSNP+ and the APR 1400, which have a different characteristics of building compared with the KSNP, are provided.

1.0 서 론

현재 국내에서 가동중인 한국표준형원전(Korean Standard Nuclear Power Plant, KSNP)으로는 울진 3,4호기 및 영광 5,6호기가 있고, 울진 5,6호기, 신고리 1,2호기 및 신월성 1,2호기가 시운전 및 건설 중에 있으며 신고리 3,4호기 건설을 계획중에 있다. 최근 국내 원전은 발전소 건물에 대해 안전성, 시공성 및 경제성 등을 고려한 다양한 건물 배치 및 부지 특성을 갖는 건물이 제시되었다. 한국표준형원전(1000 MWe급)을 기본으로 건물 기능 및 계통 특성을 고려하여 건물을 최적 배치한 동급의 개선형 한국표준원전(KSNP+)과 용량을 격상하고 개량화한 1400 MWe급 신형경수로 1400(APR1400)이 있는데, 신고리 1,2호기 및 신고리 3,4호기가 각각을 대표적으로 적용하는 발전소이다. 개선형 한국표준원전은 양호기 사이에 복합건물을 설치하고 원자로 건물 일부 및 핵연료건물에 대해 선대칭 배치하였다. 신형경수로 1400은 원자로건물을 중심으로 보조건물을 4분할 배치하였다[그림 1].

핵연료취급계통(Fuel Handling System, FHS)은 노심과 핵연료 저장대 사이에서 핵연료 취급을 위한 기기 및 공구로 구성되어 있으며, 발전소 건물 배치 및 부지 특성은 핵연료 취급기기의 구조적 건전성, 운전성 및 제작성 등에 광범위하게 영향을 미치게 되므로, 이에 대한 비교 및 영향 평가가 필요하다. 본 논문에서는 먼저 발전소 건물 설계자가 건물 배치 시 고려하는 일반 사항과 핵연료취급기기와의 연계사항에 대해 살펴보고, 건물내 핵연료 취급을 위한 주요 공간의 설계기준을 검토한다. 한국표준형원전 대비 국내 원전에 적용되는 개선형 한국표준원전 및 신형경수로 1400 건물 배치의 주요 특징을 검토하고 핵연료취급 기기 배치를 비교 평가한다. 건물 배치 및 부지 특성 등 건물 특성에 따른 핵연료취급기기의 설계 영향을 분석하여 기기 설계 및 구조해석측면에서 구조설계 영향을 제시하고 핵연료 취급기기의 배치에 따른 운전성 및 운전 효율성을 평가하고자 한다.

2.0 건물 특성과 핵연료취급기기와의 연계

2.1 건물 배치시 고려되는 일반사항 및 핵연료취급기기와의 연계

발전소의 원자로 건물 및 핵연료 건물내에서 핵연료를 취급하는 핵연료취급기기의 설계 및 운전은 발전소 건물 배치 및 부지 특성 등 건물 특성과 밀접하게 연계되어 있다. 따라서 발전소 건물설계자는 원전의 계통 특성 및 기능성, 안전성, 경제성, 운전 보수의 편의성, 운전 효율성 등을 고려하여 건물을 설계하게 된다. 발전소 건물 설계시 최우선으로 고려하여야 하는 안전성은 규제요건에 근거하게 되는데, 핵연료 취급 및 저장 관점에서 기기 운전 관련 안전성을 제시한 인허가 요건으로는 중하중 취급 요건을 규제하는 NUREG 0612[1], 핵연료 취급 및 저장관련 기본 요건을 제시하는 Reg. Guide 1.13[2], 핵연료 취급시 고려하여야 할 요건을 제시한 ANSI/ANS 57.1[3] 등이 있다. 또한 사용후연료 저장시 핵연료 건물 수조 냉각, 차폐 및 수위요건을 규정하는 ANSI/ANS 57.2[4]가 있다.

발전소 건물 배치에 따라 결정되는 핵연료취급기기는 배치 및 운전관점에서 안전성을 고려하여야 하는데, 핵연료취급 및 저장요건을 적용한 건물 배치가 선행되어야 하고, 운전자의 안전성, 핵연료의 임계안전 및 취급기기의 구조적 건전성을 고려하여 설계시 다양한 연동장치가 설정되어야 한다. 핵연료취급기기의 건전성을 확보하기 위한 자료가 건물 배치 및

부지 특성에 따라 제공되는데, 발전소 부지 특성에 따른 각 건물 층에서의 지진응답 스펙트럼이 지진 입력자료로 사용하게 된다. KSNP 및 KSNP+ 핵연료취급기기와 같이 설계 변경이 미미하여 기기 고유의 동특성을 유지하며, 기존에 수행된 내진해석으로 구조적 건전성이 검증된 경우에는 기기가 놓이는 층에서의 지진응답 스펙트럼과 기기의 기 검증된 설계응답 스펙트럼을 비교하는 내진평가를 통해 구조적 건전성을 확인할 수 있다.

2.2 건물 형태별 핵연료취급을 위한 주요 공간 및 기기 배치

한국표준형원전의 경우(그림 1의 a), 원자로건물에서의 핵연료 재장전을 위한 공간은 그림 2에서 보여주는 바와 같이 상부안내구조물 저장지역(Upper Guide Structure (UGS) Laydown Area), 노심지지배럴 저장지역(Core Support Barrel (CSB) Laydown Area), 재장전 수로지역(Refueling Canal), 원자로 플랜지 높이(RV Flange Level) 및 운전층으로 나뉘어 진다. 핵연료 이송경로의 주 지역인 재장전 수로지역에는 핵연료 이송계통(Fuel Transfer System, FTS), 이송튜브 및 차단플랜지가 설치된다. 원자로 플랜지 높이에는 수조밀봉체가 설치되며, 핵연료 취급을 위한 핵연료 재장전기(RM), 제어봉집합체 교체대(CEA Change Platform, CEACP)와 전기 배선장치(Junction Box, JB), 제어봉승강기(CEA Elevator, CEAE) 및 핵연료 이송계통 운전제어 설비 등은 운전층에 놓이게 된다. 핵연료 건물에는 캐스크 저장 지역 및 세척 지역, 신연료 반입지역, 신연료 검사 저장지역, 사용후연료 검사, 저장지역(Spent Fuel Storage Pool) 및 재장전 수로지역으로 나뉘어 진다. 핵연료건물의 재장전 수로지역에는 핵연료 이송계통 및 이송관 밸브가 놓이게 되고, 핵연료 취급을 위한 사용후연료 취급기(Spent Fuel Handling Machine, SFHM)와 전기 배선장치(JB), 신연료 승강기(New Fuel Elevator, NFE) 및 핵연료 이송계통 운전제어 설비 등은 운전층에 놓이게 된다.

개선형 한국표준원전 1호기의 경우(그림 1의 b), 핵연료 이송, 취급, 검사, 저장을 위한 지역 및 기기의 배치는 한국표준형원전과 동일하다. 개선형 표준원전 2호기는, 1호기 원자로 건물의 노심지지배럴 저장지역, 재장전 수로지역과 핵연료 건물 전 배열에 대해 선대칭으로 배치설계 되어 있다. 따라서 핵연료취급기기의 배치도 건물 배치에 따라 선대칭 배치되어야 한다. 최근 개선형 한국표준원전은 건물 배치설계와 별도로 핵연료취급기기의 성능향상을 위한 설계 개선을 추진하고 있다. 신형경수로 1400의 경우(그림 1의 c), CE SYSTEM 80+ 건물 모델과 한국표준형원전 건물 모델을 조합하여 건물 배치 설계를 수행하였는데, 원자로 건물에 설치되었던 핵연료 이송계통 원치 구동 설비를 발전소 운전 중에도 정기적으로 검사 및 보수할 수 있도록 핵연료 건물에 설치하였으며, 노심지지배럴 저장 지역과 재장전 수로 지역 사이에 벽을 설치하였다. 핵연료 건물에는 운전 및 기기 보수성을 고려하여 신연료 승강기, 신연료 저장지역 및 사용후연료 검사지역 위치를 수정하였다. 신형경수로 1400은 건물 내진설계를 위해 포괄적 부지 특성치로 기존 0.2g에서 0.3g을 적용함으로써 건물 배치와 함께 핵연료취급기기의 구조적 건전성 평가를 위한 내진 입력자료로 사용되는 각 기기가 놓이는 층에서의 지진응답 스펙트럼은 한국표준형원전 대비 최대 가속도의 경우 약 1.5배 이상 증가하였다. 또한 신형경수로 1400은 건물 배치 및 부지 특성 영향과 함께 운전 효율성 향상을 위해 적용되는 개선항목 등이 핵연료취급기기 설계에 영향을 미치게 된다.

2.3 핵연료취급기기의 배치 치수 비교

발전소별 핵연료취급기기의 배치 치수 비교는 그림 3에 제시되어 있다. 기기의 구조 건전성 및 운전 효율성 측면에서 검토되어야 할 치수는 원자로건물 핵연료 재장전기(A) 및 핵연료 건물 사용후연료 취급기(B)의 레일 스패거리, 원자로건물 노심에서 핵연료 이송계통 끝단까지의 거리(C), 핵연료 이송 튜브길이(D), 원자로건물 핵연료이송계통 지지대 끝단에서 차단 플랜지까지 거리(E), 핵연료건물 핵연료이송계통 지지대 끝단에서 밸브까지 거리(F)가 있는데, 한국표준형원전(KSNP)은 모태인 Palo Verde 발전소와 신형경수로 1400(APR1400) 배치는 SYSTEM 80+와 비교하였다.

신형경수로 1400 핵연료취급기기는 한국표준형원전대비 핵연료 재장전기 레일 스패거리(A)의 경우 약 2"(0.05 m) 증가하였으나, 사용후연료 취급기(B)의 경우 3'-6"(1 m) 감소하였다. 따라서 핵연료 재장전기 및 사용후연료 취급기에 대해서는 구조적 건전성 평가가 필요할 것으로 판단된다. 특히 핵연료 재장전기의 유사설계 개념이 적용된 사용후연료 취급기는 기기의 부지 및 건물 지진특성에 부합되는 상세한 내진해석이 수행되어야 한다. 신형경수로 1400 건물 배치에 따른 노심에서 핵연료이송계통 끝단까지의 거리(C)는 한국표준형원전에 비해 약 2.5 m 정도 짧아져 운전 효율성 측면에서 약간 유리할 것으로 판단된다. 또한 신형경수로 1400 핵연료 이송계통의 튜브 길이(D)는 4'-3" (1.3 m) 만큼 증가하였고, 핵연료이송계통 원치 구동장치의 위치 이동으로 이송계통의 크기(E, F)는 한국표준형원전 대비 각 건물 형태별로 서로 나뉘어져 설치되며, 건물 형태별 각 크기는 약간씩 증가하였으나 운전 효율성 측면에서 핵연료이송계통 및 이송튜브에 대한 영향은 미미할 것으로 판단된다. 그러나 기기의 건전성 확인을 위한 상세한 내진 해석은 필요할 것으로 보인다. 개선형 한국표준원전의 경우 운전 효율성 측면에서 표준형과 동일하며, 양호기 선대칭 배치에 따른 핵연료취급기기에 대한 구조적 건전성은 2.1절에서 기술된 내진평가를 수행하여 검증할 수 있다.

3.0 건물 특성에 따른 핵연료취급기기의 설계 영향

3.1 핵연료취급기기의 배치설계 및 운전영향

한국표준형원전과 비교하여 개선형 표준원전의 경우, 양호기 사이에 복합건물을 통합 배치하고 원자로 건물내 재장전수로 지역 및 핵연료 건물의 선대칭 배치함으로서 주요 핵연료 취급기기인 핵연료 재장전기, 사용후연료 취급기, 제어봉집합체 교체대, 핵연료 이송계통의 전기 및 공기 배선장치와 지지대, 레일 등의 배치설계에 영향을 주며, 원자로 내부구조물 인양장치의 이동 경로 및 노심지지배럴 저장지지대 설치 위치가 변경되었다. 따라서 개선형 표준원전 2호기의 경우 1호기대비 핵연료취급기기의 배치에 따른 기기 및 부품 설계변경 및 운전방향 등에 영향을 미치게 되어 호기별 설계 문서 및 도면 생산에 따른 비효율성 및 비경제성을 내포하고 있다. 신형경수로 1400의 경우, 핵연료취급기기의 배치는 KURD[5] 요건과 SYSTEM 80+ 건물 배치를 기본적으로 적용하였는데, 원자로 건물내에서는 운전 보수성을 고려하여 핵연료이송계통 원치 구동장치를 핵연료건물로 이동하였으며, 노심지지배럴 저장지역 내에 벽을 설치하였다. 핵연료건물 내에서는 운전 보수측면에서 신연료승강기 및 사용후연료 검사지역 위치를 결정하였다. 또한 기기 성능 개선사항이 적용되는 신형

경수로 1400 핵연료취급기기의 경우, 취급기기의 배치 및 건물 부지 특성에 따른 영향과 함께 기기 성능 개선항목의 추가로 초기 기기 설계시 연계자료 생산에 영향을 미치게 된다.

그림 4는 각 건물 배치별 핵연료 재장전기 및 사용후연료 취급기의 운전 방향을 표시하였다. 핵연료 재장전기 운전방향은 원자로를 향하도록 설계되며, 사용후연료 취급기는 핵연료 건물 수로지역에 위치하는 핵연료 이송계통 운반통을 향하도록 설계된다. 따라서 개선형 표준원전 및 신형경수로 1400의 경우 핵연료 재장전기의 운전방향은 동일하나, 개선형 표준원전 2호기 사용후연료 취급기의 경우 브리지 및 트롤리의 운전 방향이 각각 바뀌게 된다. 또한 신형경수로 1400 사용후연료 취급기의 경우도 브리지 및 트롤리의 주 운전 방향이 바뀌게 되어 운전성관련 인간공학 측면에서 비효율성을 내포하고 있다.

3.2 핵연료취급기기의 구조설계 영향

발전소 형태별 건물 배치 및 부지 특성 등 건물 특성에 따른 취급기기의 구조설계 영향을 기기설계 및 제작 시공성 측면에서 살펴보면, 한국표준형원전대비 개선형 표준원전 2호기의 경우, 각 기기에 대해 다음 부품의 기기 설계에 영향을 미치게 된다. 핵연료 재장전기의 주요 설계 변경사항으로 마스트 위치 변경에 따른 트롤리 구조물, 전원 공급용 케이블 라우팅, 레일 및 위치표시를 위한 기어 랙 등이 설계 변경되어야 할 것으로 판단된다. 사용후연료 취급기 및 제어봉집합체 교체대의 경우도 케이블 지지대 및 레일 등에 설계변경이 필요할 것으로 판단된다. 또한 건물 바닥과 벽면에 설치되는 전원 및 공기압 호스 (Festoon Cable) 지지대 등은 독립적인 단순 위치이동 등으로 기기 제작의 영향보다는 호기별 시공설계가 다르게 적용되어야 할 것으로 판단된다. 신형경수로 1400의 경우, 건물 배치 및 부지 특성에 따른 영향과 함께 기기 성능개선 등에 따른 기기 변경 및 설계 하중 변동에 따른 연계하중 등에 영향을 주어 구조재의 상세 설계변경 등의 검토가 필요하다.

핵연료취급기기에 대한 구조적 건전성은 설계변경 사항이 없는 경우, 발전소 부지 특성에 근거한 건물 층에서의 층응답 스펙트럼(Floor Response Spectrum, FRS)과 기존 기기에 동일하게 적용된 설계응답 스펙트럼(Design Response Spectrum, DRS)을 비교 분석하여 수행할 수 있다. 개선형 표준원전 양호기 모두 핵연료취급기기가 놓이는 층에 대한 층응답 스펙트럼은 한국표준형원전과 동일하게 설계기준 응답스펙트럼에 포괄되어 구조적 건전성 측면에서 문제가 없는 것으로 확인되었다. 그러나 최근 핵연료취급기기의 성능향상을 위한 개선사항이 반영되어 기기의 동특성에 영향을 주는 경우 구조적 건전성 확인을 위한 검토가 필요하다. 신형경수로 1400의 경우, 원자로건물에 설치되는 핵연료취급기기로써 설계변경이 미미하여 기기 고유의 동특성을 유지하며 구조적 건전성이 검증된 설계응답 스펙트럼과 비교할 수 있는 기기로는 핵연료 재장전기, 제어봉집합체 교체대, 제어봉집합체승강기가 있고, 대표적으로 핵연료 재장전기에 대하여 건물 부지 특성에 따른 포괄적 부지 특성치 0.3g를 적용하여 생산된 층 응답스펙트럼과 설계응답 스펙트럼을 비교 평가하였다. 초기 핵연료 재장전기 내진 해석시 수행된 기기의 정지 및 운전상태에서 주요 모드 해석결과인 고유진동수 및 모드 기여도를 표1에 제시하였다[6]. 그림 5는 신형경수로 1400 건물내 핵연료 재장전기가 놓이는 층에서의 응답스펙트럼과 설계응답스펙트럼을 각 방향별로 비교하였다. 그림 5에서 제시하는 바와 같이 N-S방향에서 2.8 ~ 3.6 Hz, 5 ~ 8 Hz 및 23 Hz 이상에서 층응답스펙트럼이 설계응답 스펙트럼을 벗어났다. 이는 표 1에서 보이는 바와

같이 정지상태의 1, 3차모우드(3.46Hz, 6.46 Hz)에 해당되며, 모우드 기여도의 주방향과도 일치하였다. 또한, E-W방향에서는 8.5 ~ 18 Hz 및 21 Hz이상에서 벗어나며, 이는 정지상태의 4차 (11.14 Hz), 5차 (11.23 Hz) 및 6차 (13.14 Hz) 모우드에 해당되며, 역시 4차 및 5차 모우드에서 모우드 기여도의 주방향과도 일치하였다. Vert.방향은 약 20 Hz이상에서 벗어나게 되는데, 주요 모우드의 고유진동수와 일치하지 않았다. 따라서 신형경수로 1400의 핵연료 재장전기는 N-S 및 E-W방향에서 기기의 내진용량이 가진 입력에 대해 구조적 건전성을 입증할 수가 없다고 판단되므로 상세한 내진평가 혹은 내진해석이 요구된다.

3.3 핵연료취급기기의 운전 효율성

한국표준형원전에서 핵연료취급기기 배치에 따른 운전 효율성을 검토하였다. 국내 원전에 적용되는 전노심 해체시 핵연료 재장전기에 의해 노심에서 인양되어 이송되는 핵연료는 핵연료 이송계통의 운반통에 넣어지고 핵연료 이송튜브를 통과한 후 핵연료건물에서 사용후연료 취급기에 의해 사용후연료 저장대에 놓여지게 된다[그림 6]. 한국표준형원전에 적용되는 핵연료 재장전기(RM), 사용후연료 취급기(SFHM) 및 핵연료 이송계통(FTS) 기기 성능과 이송거리에 근거하여 계산한 핵연료 인출시간은 핵연료 1개당 약 19.4 분이 소요되며, 이를 분석하면 건물 및 기기배치에 따른 핵연료 이송시간이 차지하는 비율은 27 %(5.1 분)이며, 기기의 성능과 관련되는 핵연료 이송시간은 73 %(14.3 분)으로 계산된다. 따라서 핵연료 취급시간을 단축함으로써 운전 효율성을 향상시키고, 운전자의 피폭량을 감소하기 위해서는 건물 배치보다는 기기 성능 향상에 역점을 두어야 할 것으로 판단된다. 또한 기기의 배치는 타 구조물과의 연계 및 취급공간의 한계성 등으로 운전 효율성을 고려한 기기 배치는 한계가 있을 것으로 판단된다.

4.0 결 론

국내 원전 건물 배치 및 특성에 따른 핵연료취급기기의 구조적 건전성, 제작 및 시공성, 운전성 및 운전 효율성 등 설계에 미치는 영향을 평가하였다. 한국표준형원전과 비교하여 개선형 표준원전에서는 양호기 선대칭 건물 배치에 따른 핵연료취급기기에 대한 평가결과 기기의 구조적 건전성은 표준원전과 동일하게 유지되었으나, 신형경수로 1400의 경우 핵연료취급기기의 구조적 건전성을 확보하기 위해서는 건물 배치에 따른 영향보다는 건물 부지 특성때문에 기기에 대한 상세 평가 및 재해석이 불가피할 것으로 판단된다. 개선형 표준원전 2호기에서는 핵연료취급기기의 레일을 포함하여 핵연료재장전기의 마스트 및 각 취급기기의 케이블 라우팅 관련 부품의 상세설계에 영향을 줄 것으로 판단된다. 건물 배치에 따른 운전성 및 운전 효율성 평가결과 건물 배치는 사용후연료 취급기의 경우 브리지 및 트롤리의 운전 방향이 각각 바뀌게 되어 인간공학 측면에서 비효율성을 내포하고 있다. 또한 건물 배치에 따라 핵연료취급기기의 운전 효율성에 큰 영향을 미치지 못하며, 각 기기에 대한 성능을 개선함으로써 운전 효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] NUREG 0612, Control of Heavy Loads at Nuclear Power Plants, 1980.
- [2] Reg. Guide 1.13, Spent Fuel Storage Facility Design Basis, U.S. NRC, December 1981.
- [3] ANSI/ANS-57.1-1992, Design Requirements for Light Water Reactor Fuel Handling System.
- [4] ANSI/ANS-57.2-1983, Design Requirements for Light Water Reactor Spent Fuel Storage Facilities at Nuclear Power Plants.
- [5] KURD, Korea Utility Requirements Document, Chapter 7, Fueling Refueling Systems, 한국전력공사, 1999.
- [6] 장상균, 핵연료취급기기의 내진평가에 관한 고찰, 한국원자력연구소, 1992. 6.

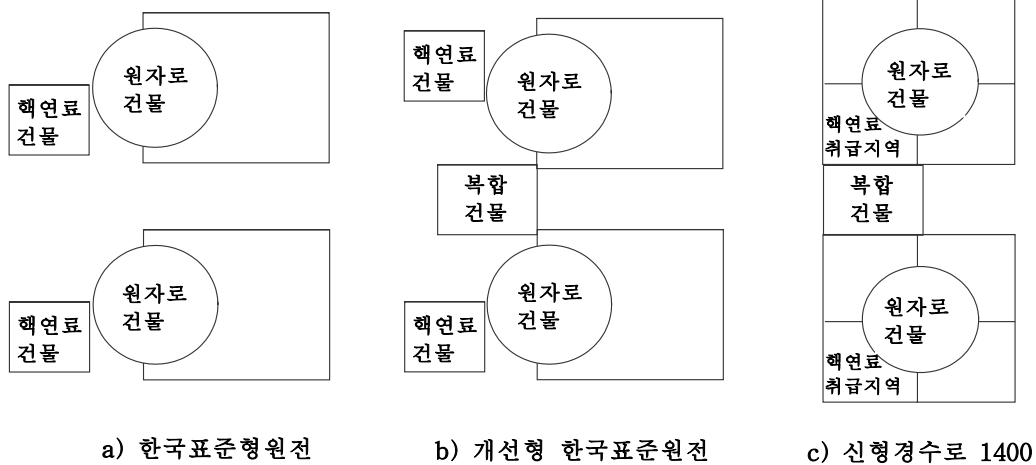


그림 1 원자력발전소 형태별 건물배치

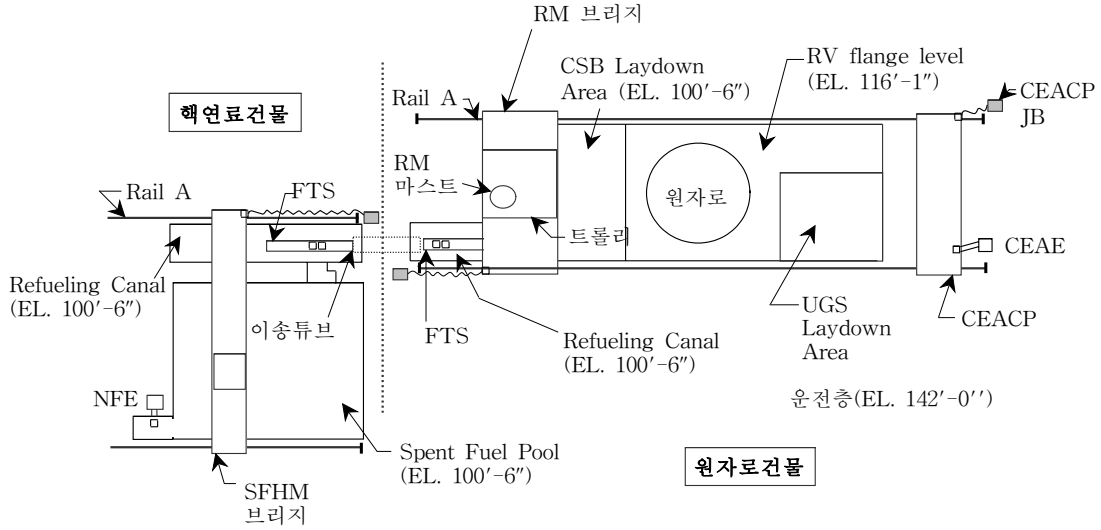


그림 2 핵연료취급기기의 배치(한국표준형원전 기준)

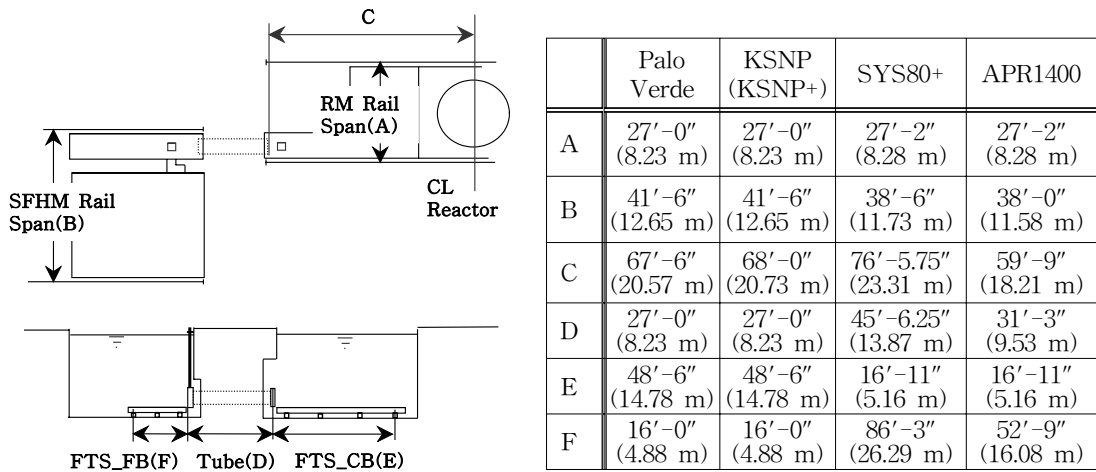
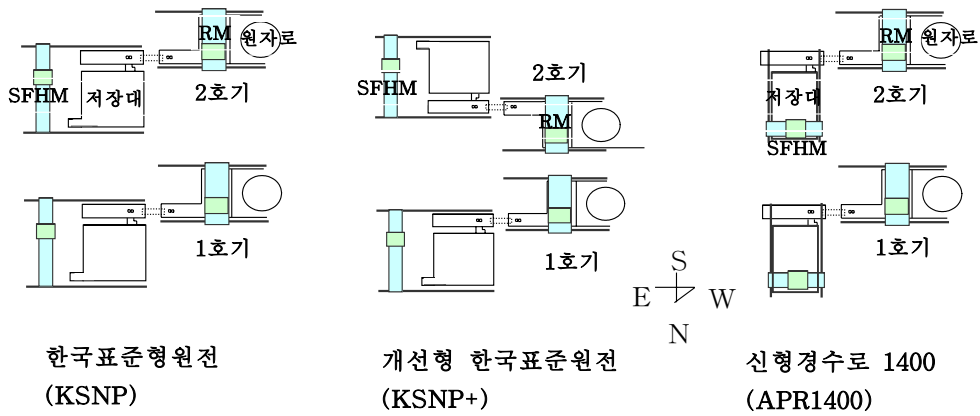


그림 3 발전소 형태별 핵연료취급기기 배치 치수 비교

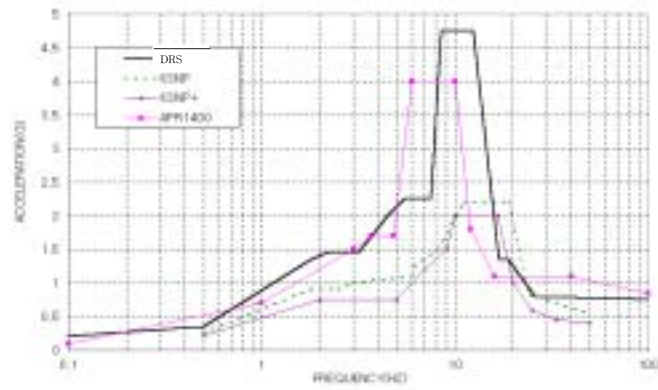


핵연료 취급 주요기기 운전 방향			KSNP	KSNP+		APR 1400
				1호기	2호기	
RM	Bridge	Forward	W	W	W	W
		Reverse	E	E	E	E
	Trolley	Right	N	N	N	N
		Left	S	S	S	S
SFHM	Bridge	Right(Forward)	W	W	E	(S)
		Left(Reverse)	E	E	W	(N)
	Trolley	Forward(Right)	S	S	N	(W)
		Reverse(Left)	N	N	S	(E)

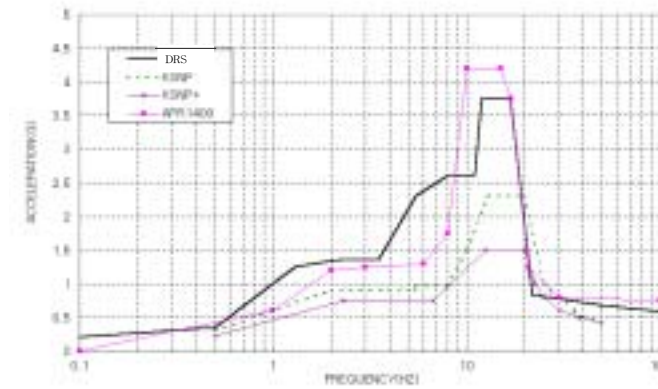
그림 4 건물 배치별 핵연료취급기기 운전 방향

Mode	기기의 상태	고유진동수 (Hz)	Mode 기여도		
			N-S 방향	E-W 방향	Vert. 방향
1	정지	3.46	3.1697	1.3249	0.1728
	운전	1.11	2.0661	4.0576	-0.0110
2	정지	3.72	-1.8909	2.6160	-0.3610
	운전	1.15	4.0099	-2.0756	0.0343
3	정지	6.46	7.6751	-0.1394	-1.0660
	운전	4.59	0.3285	3.4202	-0.2152
4	정지	11.14	-0.0523	2.7058	0.8804
	운전	4.74	2.5175	-0.6274	0.0952
5	정지	11.23	0.1435	7.0248	-2.7412
	운전	5.96	-0.0687	-0.5336	2.9706
6	정지	13.14	-0.6607	0.5789	-1.5241
	운전	7.53	-0.2340	8.6071	-1.1243

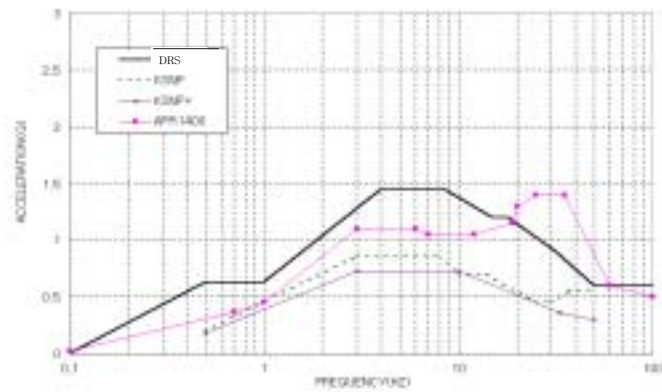
표 1 핵연료 저장전기 Mode 해석결과(참고문헌 6)



N-S 방향

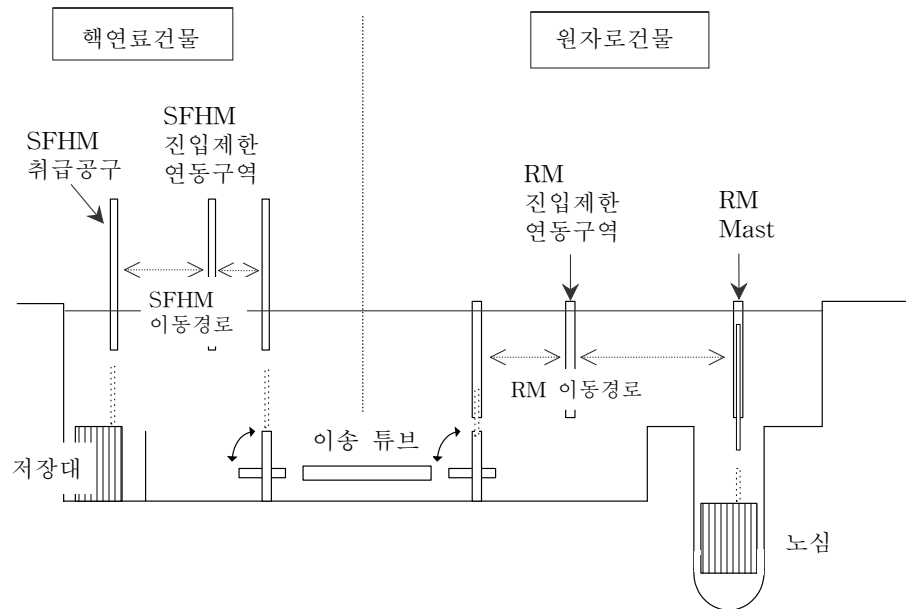


E-W 방향



Vert. 방향

그림 5 핵연료 재장전기 응답스펙트럼 비교



		시간(Min.)
핵연료 재장전기	인양장치 하강 및 핵연료 Grappling	2.2
	인양장치 상승	2.0
	이송계통으로 핵연료 이송*	2.5
	이송계통 운반통에 핵연료 삽입	1.2
	인양장치 상승	1.0
핵연료 이송계통	Uponder의 수평방향 회전	2.0
	이송계통 운반통 이송*	1.5
	Uponder의 수직방향 회전	2.0
사용후연료 취급기	운반통으로 접근, 취급공구 하강 및 핵연료 Grappling	1.7
	취급공구 상승	1.0
	저장대로 핵연료 이송*	1.1
	저장대에 핵연료 삽입	1.2
핵연료 1다발당 인출 시간(노심에서 저장대까지)		19.4

Note * : 핵연료 이송시 발전소 배치관련 자료

그림 6 핵연료 취급절차 및 인출 시간(한국표준형원전 기준)