영구정지 원전 방사선비상계획서 개발을 위한 해외지침 검토

김정미*, 이갑복, 양양희
한수원㈜중앙연구원, 대전광역시 유성구 유성대로 1312번길 70
*jeongmi00@khnp.co.kr

1. 서론

국내 원전의 최초 영구정지 결정에 따라 원전 해체를 위한 준비가 다각도로 진행되고 있다. 한수원 중앙연구원은 영구정지를 위한 운영변경 인허가 문서를 개발하고 있으며, '방사선 비상계획서' 개발도 이에 포함된다. 현재 국내 원전 방사선 비상발령은 발전소 운전 시 사고의 정도와 상황에 따라 백색(Alert), 청색(Site Area Emergency) 및 적색 비상(General Emergency)단계로 구분하여 운영하고 있으나, 영구정지 시 비상발령에 대해서는 별도로 제시하지 않고 있다.

영구정지 시에는 계통 운전이 정지·격리되고, 원자로 노심의 연료는 사용후연료저장조(SFP: Spent Fuel Pool)에 이동 보관되기 때문에 비상발령 요건이 완전히 달라져야한다. 따라서 원전 영구정지 시 방사선비상계획서는 운영 시 기준의 과도한 비상계획 요건을 제거하고 영구정지 요건을 반영하여 방사선 안전을 확보하도록 합리적으로 변경 운영할 필요가 있다.

2. 본론

2.1 국내원전 비상계획서 운영 현황

현재 국내 원전의 방사선 비상계획은 원전 부지별로 '방사선 비상계획서'에 근거하여 운영하고 있다. 방사선 비상계획서의 주요 내용은 '조직 및 임무', '방사선비상계획구역', '비상발령기준', '비상대응 활동 및 시설', '사고복구' 등이다.

이 중 원전의 영구정지에 따른 주요 검토 부분은 발전소 운전 조건 변화에 따른 '비상발령기준'이다. 국내 비상발령단계(Emergency Level)는 사고의 정도와 상황에 따라 백색, 청색, 적색비상으로 구분하여 발전소 운전 조건 하에서 Table 1과 같이 총 50개 기준을 운영하고 있다. 그러나 현재 기준은 영구정지 시의 비상 발령을 포함하고 있지 않기 때문에 이를 반영하고 있는 국제기준 등을 참조하여 영구정지 시 효율적 비상계획 운영을 위한 운영전략 검토가 필요하다.

Table 1. EAL of KHNP NPPs in Operation

	Description
Emergency Level	Alert : 20 Cases
	Site Area Emergency (SAE) : 17 Cases
	General Emergency : 13 Cases
Remarks	◆ No Consideration of Permanently Defueled Condition ◆ None Recognition Condition Classification ◆ Excluded Unusual Event Emergency Level

2.2 비상발령기준 해외 지침 검토

방사선 비상발령기준과 관련하여 IAEA, 미국 NRC 및 NEI 등에서 다양한 지침을 제공하고 있다. 이 중 NEI 99-01 "Methodology for Development of Emergency Action Levels" (Rev.6)는 NRC가 최종 공인한 비상발령기준 지침서로, 비상발령 상황을 운전모드 및 원인에 따라 7개 카테고리로 분류하고, 영구정지 원전에 대한 비상발령 카테고리 'PD(Permanently Defueled Station)'를 포함하고 있다.

이 지침의 사고 유형 분류는 Table 2와 같다.

Table 2. Recognition Categories for EALs on NEI 99-01

Category	Description
A	Abnormal Radiation Levels/Radiological Effluent
C	Cold Shutdown/Refueling System Malfunction
E	Independent Spent Fuel Storage Installation(ISFSI)
F	Fission Product Barrier
H	Hazards and Other Conditions Affecting Plant Safety
PD	Permanently Defueled Station
S	System Malfunction

영구정지 원전의 비상발령 기준은 Table 2의 사고 유형과 4단계 비상발령단계에 대해 '사용후연료

저장조 운영' 측면에서 재검토하여 분류하였다.

먼저 영구정지 조건에서 가능한 사고 유형은 3가지로 A (방사능준위상승), S (계통결함), H (외부위협)이다.

또한 NEI 99-01의 비상발령 단계에 대한 검토는 사용후연료 저장조에 대한 '선원항 분석', '연료냉각 기능' 및 '방사능 차폐기능'에 대한 사고 위험 분석을 통해 결정한다. 사고 분석결과 심각한 사고 시에도 방사능 준위가 부지제한조건을 충분히 만족시킬 수 있음을 입증하고 이를 통해 청색(부지비상) 및 적색(지역비상) 발령 가능성을 배제하였다. 이에 따라 영구정지 원전에 대한 발령기준을 예비단계(UE: Unusual Event)와 경고단계(Alert: 국내 백색비상에 해당)로 간략화 하였다.

결론적으로 위와 같이 도출된 사고유형별 비상단계에 따라 총 10개의 비상발령 기준을 Table 2와 같이 매트릭스형으로 제시하였다.

Table 3. Permanently Defueled Station EALs on NEI 99-01

Recognition Category / Emergency Level	A (Abnormal Rad Levels)	S (System Malfunc.)	H (Hazards)
Unusual Event	AU (2 Cases)	SU (1 Case)	HU (3 Cases)
Alert	AA (2 Cases)	-	HA (2 Cases)

2.3 해외 해체 원전 사례 검토

해외 해체 원전의 사례로 Zion 원전의 영구정지 비상발령계획서를 검토하였다. 사례 원전의 비상계획은 별도문서인 DSEP(Defueled Station Emergency Plan)에 따라 수행된다. 검토 결과 해당 원전은 NEI 99-01 지침을 그대로 준용하여 10개의 비상발령기준을 운영하고 있음을 확인하였다.

2.4 영구정지 방사선비상계획서 개발 방향

국내원전의 비상발령에는 NEI 99-01과 같은 사고유형 구분이 없고, 예비단계 발령이 없기 때문에 이 지침 유형을 직접 적용하는 데 한계가 있다. 따라서 영구정지 비상발령 기준 개발의 기본 방향은 현행 3단계 50개 비상발령기준에 대해, 해외 지침 등을 참조하여 사용후연료저장조 운영에 대한 선원항 및 방재요건을 분석하고 운영원전 대비 불필요한 항목을 삭제하는 것으로 방향을 설정하였다.

고려할 수 있는 사고유형은 NEI-99-01과 같이 사용후연료저장조에서의 방사선 농도상승, 계통결함, 외부위협으로 분류된다. 현재 이러한 사고유형별로 비상발령 기준에 대한 검토가 진행되고 있으며, 사용후연료저장조의 선원항 분석, 냉각기능 상실 및 연료취급사고 해석결과, SSC (System, Structure, Component) 재분류 결과를 활용하여 최종 비상발령 기준(안)을 도출할 계획이다.

3. 결론

원전 영구정지 시 운전조건과 다른 특성을 반영하여 효율적인 비상발령기준을 운영할 필요가 있다. 이를 위해 해외 원전에서 주요 지침으로 적용하고 있는 NEI 99-01의 영구정지 조건 비상발령 기준을 검토하였다. 그러나 국내 원전의 비상발령 체계가 상기 지침과 상이함으로 직접 적용에 한계가 있다. 따라서 국내 여건을 반영한 영구정지 비상발령기준 개발을 위해서는 해외 지침 등을 참조하여, 운영 원전 기준으로 설정된 50여개 비상발령 기준 변경에 대한 기술적 검토를 진행하여야 한다. 이를 위해 영구정지 상태의 발전소 운전조건, 선원항 분석 및 사고해석, 방재요건을 분석하고 이에 근거하여 합리적이고 효율적인 비상발령기준을 수립할 계획이다.

4. 참고문헌

[1] NEI 99-01, "Emergency Action Levels for Non-Passive Reactors", Rev.6, (2012).

[2] Zion Station, "Defueled Station Emergency Plan(DSEP)", Rev.13, (2010).