

□ 평가목적

- ◆ 원전의 안전에 영향을 줄 수 있는 지진, 홍수, 강풍, 저수위, 수온상승 등의 부지고유 자연재해에 대하여 설계기준 및 설계기준을 초과하는 수준의 규모에서 원전이 견디는 정도를 확인하고, 하드웨어·절차·운영 측면의 취약분야를 평가·보완하여 자연재해에 대한 구조물·계통·기기의 건전성을 확보 및 증진

□ 평가항목

- (2-1) 지진에 대한 구조물·계통·기기 건전성
- (2-2) 지진에 의한 내부 홍수에 대한 구조물·계통·기기 건전성
- (2-3) 지진에 의한 내부 화재에 대한 구조물·계통·기기 건전성
- (2-4) 홍수 및 기타 자연재해에 대한 구조물·계통·기기 건전성

□ 항목별 세부지침

- (2-1) 지진에 대한 구조물·계통·기기 건전성

(2-1-1) 설계기준지진 조건에서의 원전의 보호 조치

- 구조물·계통·기기의 내진설계 현황을 제시. 또한, 주요 구조물·계통·기기에 대한 현장점검을 실시하여 지진건전성에 영향을 끼칠 수 있는 변형 또는 상태변화 발생 여부를 확인하고, 그 결과를 제시
 - 변형 또는 상태변화가 발생하였음이 확인된 경우에는 원래의 상태로 복귀시켜야 하며, 그 결과를 제시
 - 현장점검을 위한 절차 및 방법은 별도 제시
- 지진 발생 후, 원자로심 및 사용후핵연료의 손상을 방지하기 위해 운영 중인 주요 운전조치를 종합하여 상세하게 제시

- 고려사항

- <그림 1>과 같이 구조물·계통·기기의 내진설계 현황을 우선 설명. 이 경우, 가동원전의 내진관련 설계문서(내진검증 포함)가 확보되어 있는지를 우선 확인
- 설계 시의 내진성능을 유지할 수 있는지를 현장점검을 통해 확인
현장점검은 내진여유도 평가 결과의 신뢰가능여부를 확인할 수 있는 중요 활동으로써, 운전에 따른 영향 없이 설계된 상태로 유지되고 있는지를 확인하는 것으로, ASME/ANS PRA Standard-2009 또는 EPRI NP-6041에서 제시된 방법, IEEE 344-1975 기술기준을 적용하지 않은 원전의 경우에는 USI (Unresolved Safety Issue) A-46 해결방법에서 적용한 방법에 따라 수행함. 다만, 주요 구조물·계통·기기에 대한 통지이력을 확인하여 관리현황 및 보수이력을 확인
- 현장점검 결과, 구조물·계통·기기의 내진성능에 영향을 줄 수 있는 변형 또는 상태변화가 발생된 것이 확인되면, 교체 또는 보수 등을 통해 설계된 상태로 복귀될 수 있도록 조치
- 지진 발생 시, 원전의 안전성 확보를 위해 마련된 절차 또는 지침을 확인하고, 대응전략과 주요 운전조치 및 확인사항들을 상세하게 제시

(2-1-2) 지진에 의한 간접영향

- 내진설계가 되지 않은 구조물·계통·기기로 인한 주요 구조물·계통·기기 손상 유발 가능성과 이의 방지를 위해 설계에 고려된 사항을 제시
- 소외 지원인력 또는 장비의 소내 접근을 방해하거나 지연시킬 수 있는 상황을 평가하고 그 결과를 제시

- 고려사항

- 비내진 범주 구조물·계통·기기가 내진범주 구조물·계통·기기에 인접하여 위치하는 경우, 비내진 범주 구조물·계통·기기의 구조적 거동 및 파단에 의해 내진범주 구조물·계통·기기의 손상이 유발될 가능성을 평가하고, 이의 방지를 위해 설계에 고려된 사항을 평가
- 또한, 설계기준 지진으로 인한 배관파단으로 야기될 수 있는 내부 홍수 발생 가능성과 이의 방지를 위해 설계에 고려된 사항을 평가
- 설계기준 지진으로 인해, 작업자 또는 운전원의 건물 내 진입, 건물내 이동, 부지 내 장비 이동 등에 영향을 받을 수 있는지를 평가

(2-1-3) 주요 안전기능 상실/심각한 핵연료 손상 유발 가능 지진의 심각도 범위

- 지진 확률론적안전성분석(S-PSA) 또는 내진여유도분석(SMA) 방법을 이용하여,
 - 주요 안전기능의 상실, 핵연료의 심각한 손상을 유발시킬 수 있는 지진의 규모(최소 0.3g 적용)를 평가하고 그 결과를 제시
- ※ 평가된 지진의 규모가 재현주기 10,000년 수준의 지진규모 보다 작다면, 설비를 보강하고 그 결과를 제시
- 또는, 재현주기 10,000년 수준의 지진규모에 의해 안전기능 저하가 발생하지 않으며 핵연료의 심각한 손상이 유발되지 않음을 입증

- 고려사항

- <그림 1>과 같이 설계기준을 초과하는 지진영향 평가를 위해, 확률론적 방법을 사용하여 설계기준을 초과하는 지진재해도를 평가[<그림 1>의 (a)]
- 평가 시 고려해야 하는 조건으로는 1) 중앙값이 아닌 평균값 사용 2) 설계기준을 초과하는 수준은 재현주기 10,000년을 기준으로 평가, 3) ASME/ANS PRA Standard-2009를 사용하여 평가
- 가동원전 기기 내진검증과 관련하여, IEEE 344-1975 기술기준을 적용하지 않은 원전의 경우에는 미국 NRC에서 1980년 12월 발행한 USI (Unresolved Safety Issue) A-46의 해결방법을 토대로 재현주기 10,000년 수준의 지진규모에서도 가동원전 기기의 내진성능이 확보될 수 있음을 평가하고, IEEE 344-1975 및 이후의 기술기준이 적용된 원전의 경우에는 원전에 영향이 발생할 수 있는 지진규모의 평가를 통해 가동원전 기기의 내진검증을 수행[<그림 1>의 (b)]
- IEEE 344-1975 기술기준을 적용하지 않은 원전의 경우,
 - (<그림 1>의 (c), (d), (e)에 해당)
 - 재현주기 10,000년 수준의 지진규모를 평가기준지진(Review Level Earthquake)으로 설정하여, 지진-PSA 또는 PSA 기반 SMA를 이용하여 지진에 대한 내구성을 평가
 - 설계기준을 초과하는 지진심각도를 평가하는 방법에는 1) 지진 확률론적안전성평가(S-PSA) 방법, 2) 확률론적안전성평가 기반의 내진여유도분석(PSA based SMA) 방법, 3) 미국 전력연구원의

내진여유도분석(EPRI NP-6041) 방법이 있음. 이 중 1)항 또는 2)항의 방법을 사용하여 평가

- 초기사건 영향과 지진에 의한 영향 평가를 위한 기기선정의 한계 때문에 EPRI NP-6041은 사용하지 않음
- 안전정지 및 유지계통과 사용후핵연료저장조 냉각기능 유지계통을 대상으로 평가
- 지진에 대한 구조물·계통·기기의 내진성능 평가(High Confidence of Low Probability of Failure; HCLPF)는 FA (Fragility Analysis) 또는 CDFM (Conservative Deterministic Failure Margin) 방법을 사용하여 평가하며, ASME/ANS PRA Standard-2009를 활용
- 구조물·계통·기기의 내구성 평가 결과가 재현주기 10,000년 수준의 지진 보다 크거나 같은지를 평가(d)하고 작은 경우를 취약사항으로 정의
- 취약사항은 지지대 보강, 기기교체 등을 통해 10,000년 빈도 수준의 지진에 견딜 수 있도록 보강
- IEEE 344-1975 또는 이후의 기술기준을 적용한 원전의 경우,
(<그림 1>의 (f), (g), (h)에 해당)
 - 지진 PSA, PSA 기반 SMA 방법을 이용하여 주요 안전기능이 상실되거나 핵연료손상을 유발시킬 수 있는 지진규모를 평가
 - 평가된 지진규모가 재현주기 10,000년 수준의 지진규모보다 작은 시나리오가 도출된다면, 이를 취약사항으로 정의
 - 취약사항은 지지대 보강, 기기교체 등을 통해 재현주기 10,000년 수준의 지진에 견딜 수 있도록 보강

(2-1-4) 격납건물 건전성을 손상시킬 수 있는 지진심각도 범위

- 지진 PSA, 내진여유도분석(SMA) 방법을 이용하여,
 - 격납기능 관련 설비의 건전성 손상을 유발시킬 수 있는 지진의 규모를 평가하고 그 결과를 제시(최소 0.3g 적용)
 - ※ 평가된 지진의 규모가 재현주기 10,000년 수준의 지진규모 보다 작다면, 설비를 보강하고 그 결과를 제시
 - 또는, 재현주기 10,000년 수준의 지진규모에 격납기능 관련 설비의 건전성 손상이 발생하지 않음을 입증

- 고려사항

- 대상범위를 격납기능 유지기능으로 하여 (2-1-3)항에 해당되는 평가 항목과 동일한 방법을 사용하여 평가

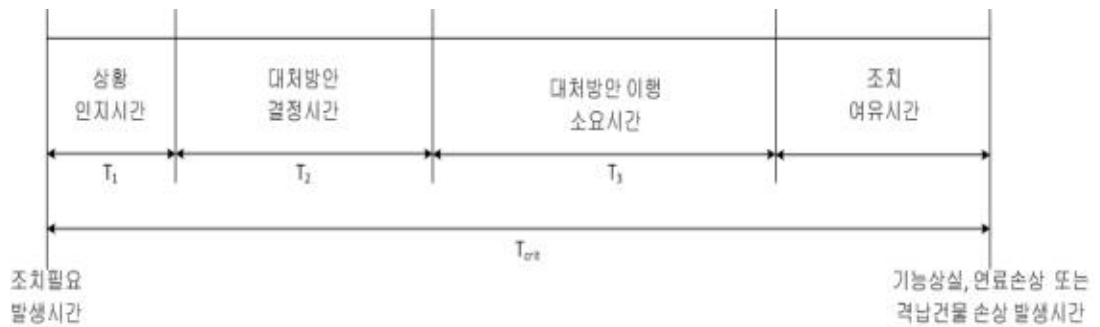
○ (2-2) 지진에 의한 내부홍수에 대한 구조물·계통·기기의 건전성

- 원전의 위치·설계와 주요 설비의 위치를 고려하여, 재현주기 10,000년 수준의 설계기준 초과 지진(최소 0.3g 적용)에 따른 안전계통 및 비안전계통에서의 내부홍수에 의한 주요설비의 침수 발생 가능성을 평가하고 그 결과를 제시
 - 필수 대처기능의 상실을 초래할 수 있는 주요설비가 침수될 수 있을 것으로 평가된다면, 이를 대처할 수 있는 방안을 제시
 - ※ 고정설비, 소내 이동형설비 및 소외자원을 이용한 설계기준 초과사고 대응능력 확보방안을 제시하고, 다양한 설비 활용에 따른 인적오류·의사결정오류 최소화 방안 및 교육훈련 계획이 함께 제시되어야 함
 - ※ 이를 위해, 상황을 인지할 수 있는 방안 및 소요시간, 대처방안 결정 소요시간, 설비 설치 등 대처방안 이행 소요시간이 평가되어야 함

- 고려사항

- 재현주기 10,000년 수준의 지진규모를 고려하여, 내부 홍수 또는 침수가 발생할 가능성을 평가<그림 1>
- 배관 휨(whip), 배관 분출(jet) 하중, 동하중(dynamic load) 등 배관 파단으로 인한 동적 하중의 영향, 파단전누설(Leak-Before-Break, LBB) 적용 배관계통의 파단시 효과, 피동기와 능동기기간의 연결부 및 배관간 연결부 등에서의 취약부를 통한 영향 등을 고려하고,
- 내부홍수에 의한 영향 평가에는 계측설비와 전력설비의 이용불가능 포함 [<그림 1>의 (i)]
- 만일 필수대처기능의 상실 가능성이 확인된다면 취약분야로 정의(j)
- 정의된 취약분야에 대해 고정설비, 소내 이동형설비 및 소외자원을 이용한 대응능력 확보방안을 마련(k)
- 극한 상황에서 다양한 설비들을 이용하여 대응하여야 하는 상황이므로, 인적오류 및 의사결정오류에 의한 영향을 평가하여야 하며, 평가 결과는 "(분야 6) 운영기술 능력"에 제시

- 이를 위해 상황을 인지할 수 있는 방안 및 소요시간(T_1), 대처방안 결정 소요시간(T_2), 설비설치 등 대처방안 이행 소요시간(T_3)을 평가
- 다만, 소요시간 평가결과의 불확실성이 클 경우에는 고정형설비를 이용하여 미국 원자력규제위원회에서 제시한 8시간 동안 대처 가능하다는 것을 입증하고, 상황인지/대처방안결정/대처방안이행을 적절하게 수행할 수 있는 수단과 방법을 제시



- 기능상실, 핵연료손상 또는 격납건물 손상 발생 가능시간 안에 대처방안이 이행될 수 있는지를 평가
- 또한, 다양한 설비활용과 관련한 장비·도구가 갖추어질 수 있고, 장비·도구 활용 전략 및 업무가 명확하게 정의되며, 해당 업무를 이행하기 위한 조직·인력의 확보와 해당 인력이 필요한 업무를 수행할 수 있는 능력을 확보할 수 있는 방안에 대해서 평가
- 그리고, 인적오류·의사결정오류 발생가능성 평가 시에는 목적인 조치를 방해할 수 있는 요소를 고려(1)
- 만일 인적오류 또는 의사결정오류가 발생할 가능성이 있다면, 취약분야로 정의하고(m) 대응능력 확보방안을 수립하고 보강(k)
- 다수호기 동시사고를 고려하였을 경우에도 대응방안 실현가능성이 확보되었는지 여부와 모든 필수 대처기능에 대한 평가가 완료될 때까지 반복하여 평가(n)
- 운전원 및 비상대응조직 구성원의 운영기술 능력 유효성을 확보하기 위한 교육 및 훈련계획의 적절성을 평가하며, 평가결과는 “분야 6) 운영기술 능력”에 제시

○ (2-3) 지진에 의한 내부 화재에 대한 구조물·계통·기기의 건전성

- 원전의 위치·설계와 주요 설비의 위치를 고려하여, 설계기준 초과 지진에 따른 내부 광역 화재 발생 가능성을 평가하고 그 결과를 제시
 - 필수 대처기능의 상실을 초래할 수 있는 것으로 평가된다면, 이를 대처할 수 있는 방안을 제시
 - ※ 고정설비, 소내 이동형설비 및 소외자원을 이용한 설계기준 초과사고 대응능력 확보방안을 제시하고, 다양한 설비 활용에 따른 인적오류·의사결정오류 최소화 방안 및 교육훈련 계획이 함께 제시되어야 함
 - ※ 이를 위해, 상황을 인지할 수 있는 방안 및 소요시간, 대처방안 결정 소요시간, 설비설치 등 대처방안 이행 소요시간이 평가되어야 함

- 고려사항

- 지진에 의한 내부 광역 화재 발생할 가능성을 평가[<그림 1>의 (o)]
<예> 화재가 발생할 가능성이 있는 지역은 화재진압을 위한 설비가 갖추어져 있음. 이를 근거로, 화재진압을 위한 대비가 되어 있는 지역에서는 지진에 의한 화재가 발생하는 것으로 가정하여 평가
- 만일 화재로 인한 주요설비 손상으로 필수대처기능이 상실될 가능성이 확인된다면 이를 취약분야로 정의(p)
<예> 필수대처기능의 상실을 초래할 수 있는 광역화재는, 지진 확률론적 안전성분석 결과의 최소단절집합을 구성하는 설비가 위치한 지역에서 동시에 화재가 발생하는 것으로 평가
- 정의된 취약분야에 대해 고정설비, 소내 이동형설비 및 소외자원을 이용한 대응능력 확보방안을 마련(q)
- 인적오류·의사결정 오류 최소화 방안에 대한 평가는 (2-2)항의 (l), (m), (k)를 적용하며, 평가결과는 “분야 6 운영기술 능력”에 제시
- 모든 필수 대처기능에 대한 평가가 완료될 때까지 반복하여 평가(t)
- 운전원 및 비상대응조직 구성원의 운영기술 능력 유효성을 확보하기 위한 교육 및 훈련계획의 적절성을 평가하며, 평가결과는 “분야 6) 운영기술 능력”에 제시

○ (2-4) 홍수 및 기타 자연재해에 대한 구조물·계통·기기 건전성

(2-4-1) 설계기준 홍수 및 기타 자연재해 조건에서의 원전의 보호 조치

- 주요 구조물·계통·기기의 홍수 및 기타 자연재해 대응설계 현황을 제시
- 주요 구조물·계통·기기에 대한 현장점검을 실시하여 대응설비의 기능저하를 유발시킬 수 있는 상태변화 발생 여부를 확인하고, 그 결과를 제시
 - 상태변화가 발생하였음이 확인된 경우에는 원래의 상태로 복귀시키거나 기능저하가 발생되지 않는 대응방법을 수립하여야 하며, 그 결과를 제시
 - 현장점검을 위한 절차 및 방법은 별도 제시
- 경고 및 결과 완화를 위한 주요 운전절차(비상운전절차서, 이동형설비, 감시·경보시스템 등) 및 관련 감시(점검) 프로그램을 제시
- 아래 사항을 포함하여 자연재해 자체 또는 이들을 야기하는 다른 자연현상(기상악화 등)과 관련된 영향이 고려되었는지 여부를 제시
 - 외부전력상실
 - 외부지원인력 또는 장비의 소내 접근을 방해하거나 지연시킬 수 있는 상황

- 고려사항

- 설계기준 홍수 및 기타 자연재해로부터 주요 구조물·계통·기기를 보호하기 위한 방호설비 현황을 설명<그림 2>
- 설계시의 방호성능을 유지하고 있는지를 현장점검을 통해 확인
- 현장점검 결과, 방호성능에 영향을 줄 수 있는 변형 또는 상태변화가 발생된 것이 확인되면, 교체 또는 보수 등을 통해 설계된 상태로 복귀 또는 성능저하가 발생하지 않도록 조치
- 설계기준 홍수 및 기타 자연재해 발생 전·중·후, 원전의 안전성 확보를 위해 마련된 절차 또는 지침을 도출하고, 대응전략과 주요 운전조치 및 확인사항들을 상세하게 제시

(2-4-2) 설계기준 초과 홍수 및 기타 자연재해 조건에서의 원전의 보호조치

- (1-2)항에서 선정된 자연재해에 의한 구조물·계통·기기의 안전성평가를 실시
 - 사고시나리오를 기반으로 설계기준 자연재해를 기준값으로 하여, 자연재해의 심각도를 단계적으로 상승시켜 대응능력 평가
 - ※ 지진해일의 경우, 지진과 해일의 조합을 고려하여 평가하여야 함
 - 필수 대처기능의 상실을 초래할 수 있는 침수 등이 발생할 수 있는 것으로 평가된다면, 이를 대처할 수 있는 방안을 제시
 - ※ 고정설비, 소내 이동형설비 및 소외자원을 이용한 설계기준 초과사고 대응능력 확보방안을 제시하고, 다양한 설비 활용에 따른 인적오류·의사결정오류 최소화 방안 및 교육훈련 계획이 함께 제시되어야 함
 - ※ 이를 위해, 상황을 인지할 수 있는 방안 및 소요시간, 대처방안 결정 소요시간, 설비설치 등 대처방안 이행 소요시간이 평가되어야 함
- 상기 대응능력 한계사항 평가 시 고려된 설계기준 초과 홍수 및 기타 자연재해의 수준 및 근거를 제시하고, 평가된 자연재해 수준이 재현 주기 10,000년 수준 이상임을 입증
 - ※ 홍수의 영향이 없는 경우에도 고정형 안전기능 유지설비는 부지 정지고 기준 정수위 3m에도 가용토록 홍수 방호 설비 구축

- 고려사항

- 원전의 안전에 영향을 끼칠 수 있는 자연재해를 정의<그림 2>
 - <예> 평가 상세항목에 기술되어 있는 지진해일, 폭풍해일, 강풍, 강수 등의 현상을 대상으로 원전 설계에 따른 고유 특성을 확인하고, 평가에서 제외되는 외부 자연재해에 대해서는 타당한 근거 제시
- 정의된 자연재해 별, 심각도 수준을 설계기준에서부터 단계적으로 상승시켜 원전의 대응능력을 평가(Cliff Edge 확인 포함)
 - 지진해일의 경우, 지진에 의해 홍수방호설비의 기능이 약화 또는 상실될 수 있으므로 지진과 해일의 조합을 고려하여 평가
- 홍수에 의한 영향평가 시, 홍수위별 소내외의 구조물·계통·기기의 생존 가능성(최대 허용가능 홍수위로 정의)을 평가하고, 정의된

자연재해 별 해당되는 조건을 고려하여, 최대 가능 홍수위를 적용하여 건물 내 침수영향을 평가

- 건물 내 침수영향 평가 시에는 전선관, 덕트 등 침투경로를 평가하고, 홍수방호설비의 건전성이 증명된다면 해당 침투경로를 통한 내부 홍수는 발생하지 않는 것으로 평가함. 그렇지 않을 경우에는 기술적 판단을 토대로 누설률을 평가하여 내부홍수 평가에 활용
- 침투경로 평가 및 누설률 평가 결과를 근거로 조치 여유시간인 최대 가능 홍수위 도달 시간을 평가
- 최대 가능 홍수위 도달 시간 평가 시 방호설비를 통해 내부에 침투한 물을 제거할 수 있는 수단이 있으면 이를 고려
- 강풍에 의한 영향평가 시, 강풍의 특성(풍속, 기압강하, 강풍에 의한 비산물)에 따른 소내·외의 구조물·계통·기기의 건전성을 평가
 - 강풍에 의한 풍압은 지형, 높이별 풍속변화 및 강풍에 저항하는 단면의 형태를 고려하여 평가
 - 강풍에 의한 기압강하는 내압하중으로 고려하여 평가
 - 강풍에 의한 비산물의 제원(무게, 비산속도, 타격면적 및 형태)을 평가한 결과를 근거로 비산물 방호설비의 국부손상을 평가
 - 비산물의 충돌각도는 비산경로를 고려하여 평가
- (1-2)항에서 정의 및 평가된 대응한계 유발 가능 자연재해 규모가 재현 주기 10,000년 수준보다 크다면, 취약사항을 보강하여 재현주기 10,000년 수준의 자연재해에 견딜 수 있도록 조치
- 인적오류·의사결정 오류 최소화 방안에 대한 평가는 (2-2)항의 (l), (m), (k)를 적용하며, 평가결과는 “(분야 6) 운영기술 능력”에 제시
- 모든 필수 대처기능에 대한 평가가 완료될 때까지 반복하여 평가
- 운전원 및 비상대응조직 구성원의 운영기술 능력 유효성을 확보하기 위한 교육 및 훈련계획의 적절성을 평가하며, 평가결과는 “분야 6) 운영기술 능력”에 제시