

# 극한외부사건 선별 분석 및 향후 연구방향

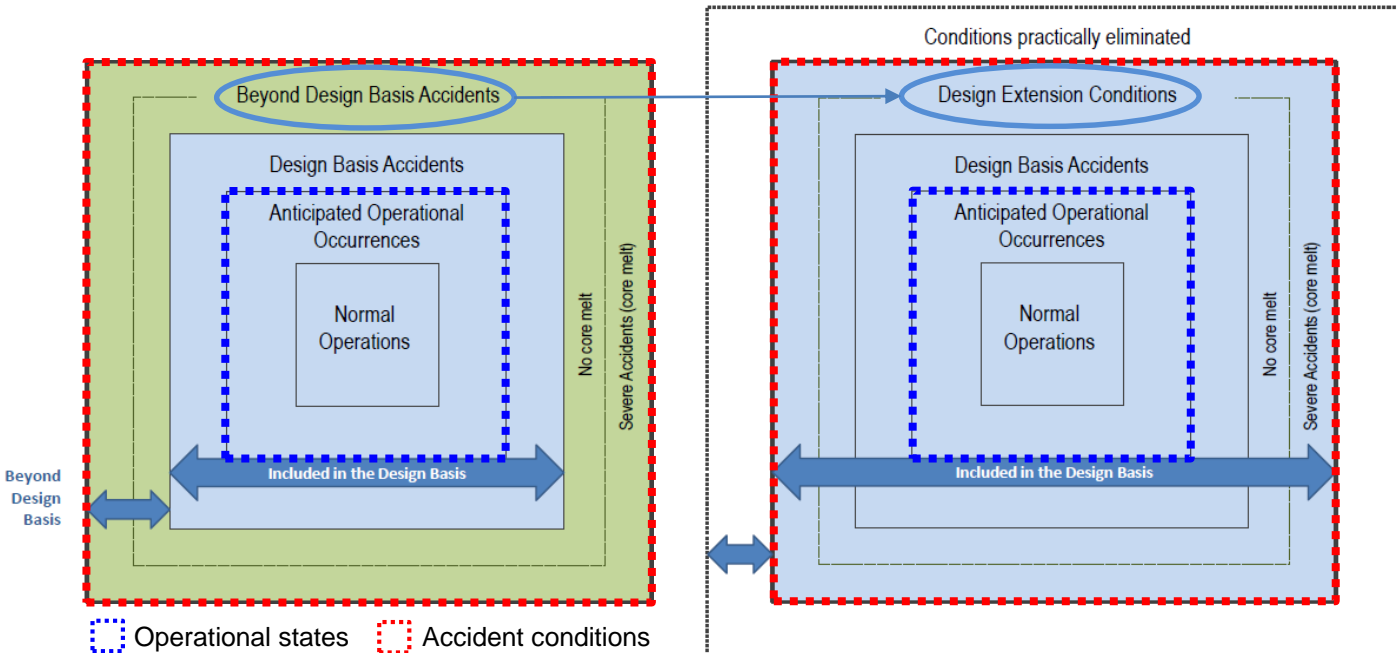
2015. 10. 28

한국원자력연구원  
전 영 선

# 차례

- 심층방호 개념
- 설계확장조건
- 극한외부사건
- 외부사건 분류 및 영향
- 외부사건 선별분석
- 잠재적 극한외부사건
- 향후 연구방향

# 심층방호 개념



**IAEA NS-R-1 (2000)\***

**IAEA SSR-2/1 (2012)\*\***

\* IAEA Safety Standards Series (2000), Safety of Nuclear Power Plants: Design, Requirements No. NS-R-1.

\*\* IAEA Safety Standards (2012), Safety of Nuclear Power Plants: Design, Specific Safety Requirements No. SSR-2/1.

# 심층방호 개념

## • 심층방호 수준 (핀란드)

DiD level	Plant condition category	Frequency (*)	Design category	Limits for radiological consequences
Level 1	Normal operation		DBC 1	0,1 mSv / year
Level 2	Anticipated event	$10^{-2}/y < p$	DBC 2	0,1 mSv / event
Level 3a	Postulated accident initiated by single event - Class 1 - Class 2	$10^{-3}/y < p < 10^{-2}/y$ $p < 10^{-3}/y$	DBC 3 DBC 4	1 mSv / event 5 mSv / event
Level 3b	Type A: anticipated event or Class 1 postulated accident combined with a CCF of a safety system Type B: multiple failure event Type C: rare event	$10^{-7}/y < p < 10^{-4}/y$	DEC	20 mSv / event
Level 4	Severe accident	$p < 10^{-5}/y$	SAM	Cs-137 release < 100 TBq

(\*) For levels 2 and 3a, the frequency of the initiating event; for level 3b, the combined frequency of the initiating event and assumed additional failures; for level 4, the total frequency of all event combinations resulting into a severe core damage.

# 심층방호 개념

- 설계기준사고 (Design Basis Accidents)
  - 초기사건의 발생 가능성을 고려하여 안전계통 설계에 반영하는 사고 조건
  - 증기계통 배관 파단, 소외전원 상실, 냉각재 상실 등
- 설계기준초과사고 (Beyond Design Basis Accidents)
  - 설계기준사고보다 더 심각한 사고 조건
  - 발전소 정전사고, 지진, 화재, 침수 등
- 중대사고 (Severe Accidents)
  - 설계기준사고보다 더 심각한 사고로서 현저한 노심손상을 동반한 사고 조건

# 심층방호 개념

- 설계확장조건 (Design Extension Conditions)
  - 설계기준사고보다 더 심각한 사고 또는 추가적인 파손을 포함하는 사고 조건. 중대사고 포함
  - 설계기준사고에서 고려하지 않았던 사고조건을 예방하거나 그 사고 결과를 합리적으로 가능한 부분까지 완화할 수 있음을 확인
  - 설계 시 고려해야 할 추가적인 사고 시나리오를 파악하고, 사고 예방 및 완화를 위한 설비의 설계기준 정의
  - 원자로 정지 불능, 소형냉각재상실을 동반한 안전주입계통 상실, 극한기후조건, 대형항공기 충돌사고 등 (핀란드)

# 심층방호 개념

## • 사고등급분류 비교

국제기구		유럽			미국		
IAEA	IAEA New	Finland	EUR		Reg Guide 1.70 ANSI/ANS-N18.2(1973)	10CFR Reg Guide 1.206	Post-Fukushima Envision
Normal Operation	Normal Operation	Normal Operation (DBC1)	Normal Operation (DBC1)		Normal Operation (ANS Class I)	Normal Operation	Normal Operation
AOO	AOO	AOO (DBC2)	Incidents (DBC2)		Moderate frequency (ANS Class II)	AOO	AOO
					Infrequent frequency (ANS Class III)		
DBA (single events)	DBA	DBC3	Accident	Low frequency (DBC3)	Limiting fault (ANS Class IV)	Postulated Accident	Postulated Accident
		DBC4		Potrated Core Melt accident (DiD Level 4)			
Beyond DBA	Mutiple failure	DEC	Design Extension Condition (DEC)	Complex Sequence	BDBA (requirement) BDBA(voluntary)	DEC	DEC
	Severe accident			Severe Accident			

# 설계확장조건

## • IAEA SSR-2/1, Safety of Nuclear Power Plants

### Requirement 20: Design Extension Conditions

A set of design extension conditions shall be derived on the basis of engineering judgement, deterministic assessments and probabilistic assessments **for the purpose of further improving the safety of the nuclear power plant by enhancing the plant's capabilities to withstand, without unacceptable radiological consequences, accidents that are either more severe than design basis accidents or that involve additional failures.** These design extension conditions shall be used to identify the additional accident scenarios to be addressed in the design and to plan practicable provisions for the prevention of such accidents or mitigation of their consequences if they do occur.

- 목적: 설계기준사고보다 심각한 사고 또는 추가적인 고장을 유발시키는 사고에 대해 (허용할 수 있는 방사선적 사고결말 내에서) 대처할 수 있는 발전소의 성능을 향상시킴으로써 발전소의 안전성을 더욱 증진시키는 것
- 공학적 판단, 결정론적/확률론적 평가를 기반으로 도출해야 함
- 설계에서 고려할 추가적 사고 시나리오를 파악하고, 그러한 사고를 예방하거나 또는 사고 발생 시 그 사고결말을 완화하기 위한 실질적인 수단을 수립하기 위해 사용



# 설계확장조건

## • IAEA SSR-2/1, Safety of Nuclear Power Plants

**5.27. An analysis of design extension conditions for the plant shall be performed.** The main technical objective of considering the design extension conditions is **to provide assurance that the design of the plant is such as to prevent accident conditions not considered design basis accident conditions, or to mitigate their consequences, as far as is reasonably practicable.** This might require additional safety features for design extension conditions, or extension of the capability of safety systems to maintain the integrity of the containment. These additional safety features for design extension conditions, or this extension of the capability of safety systems, shall be such as to ensure the capability for managing accident conditions in which there is a significant amount of radioactive material in the containment (including radioactive material resulting from severe degradation of the reactor core). **The plant shall be designed so that it can be brought into a controlled state and the containment function can be maintained, with the result that significant radioactive releases would be practically eliminated.** The effectiveness of provisions to ensure the functionality of the containment could be analysed on the basis of the best estimate approach.

- 발전소에 대한 설계확장조건(DEC)을 분석하여야 함
- 격납건물의 건전성을 유지하기 위해서 DEC에 대한 추가적인 안전설비 또는 안전 계통의 성능확장을 요구할 수 있음
- 발전소는 (현저한 방사성물질 방출이 실질적으로 배제된 상황에서) 제어된 상태로 회복될 수 있고 격납기능이 유지될 수 있도록 설계되어야 함

# 설계확장조건

## • IAEA SSR-2/1, Safety of Nuclear Power Plants

### Combinations of events and failures

**5.32.** Where the results of engineering judgement, deterministic safety assessments and probabilistic safety assessments indicate that **combinations of events could lead to anticipated operational occurrences or to accident conditions, such combinations of events shall be considered to be design basis accidents or shall be included as part of design extension conditions, depending mainly on their likelihood of occurrence.** Certain events might be consequences of other events, such as a flood following an earthquake. Such consequential effects shall be considered to be part of the original postulated initiating event.

- 사건들의 조합이 예상운전사고 또는 사고조건을 유발할 것으로 평가된 경우, 발생 가능성에 따라서 그 사건조합을 설계기준사고로 고려하거나 설계확장조건의 일부로 포함하여야 함
- 어떤 사건은 다른 사건들의 결과로서 발생할 수 있음. 결과로서 수반되는 영향은 가상초기사건의 일부로서 고려해야 함. (예) 지진 이후 발생하는 홍수

# 극한외부사건

- 극한외부사건이란?
  - 설계 시 고려한 초기사건(설계기준사건)보다 더 극심한 외부 사건 및 그 조합. 설계확장조건(DEC)에 해당
  - 구조물, 계통 및 부품(SSCs)에 광범위한 손상을 발생시킬 가능성 있음
- 왜 극한외부사건을 고려해야 하는가?
  - 설계기준을 약간 상회하는 자연재해가 심각한 핵연료손상을 직접적으로 야기하지 않는지 확인 (Cliff-Edge Effects)
  - 각각의 자연재해가 심각한 잠재적 핵연료손상과 방사성 물질의 대량 유출에 미치는 영향 파악
  - 개별 자연재해에 대해 발전소의 성능을 평가하고 방사성 물질의 대량 유출을 야기하는 자연재해의 가능성 추정
  - 발전소의 취약성과 성능 강화를 위한 잠재적 수단을 파악
  - 다수호기 부지의 경우 공통 설비의 잔존자원이 충분한 지 입증

# 외부사건 분류 및 영향

## • 대기발생 외부사건

원인	자연재해	인공사건
대기속도	<ul style="list-style-type: none"> <li>강풍 (Strong wind)</li> <li>토네이도 (Tornado)</li> </ul>	
대기온도	<ul style="list-style-type: none"> <li>높은 대기온도 (High air temperature)</li> <li>낮은 대기온도 (Low air temperature)</li> </ul>	
대기압	<ul style="list-style-type: none"> <li>극한대기압 (Extreme air pressure)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>부지 내부 폭발 (Explosion within plant)</li> <li>부지 외부 폭발 (Explosion outside plant)</li> <li>수송사고 폭발 (Explosion after transportation accident)</li> <li>배관사고 폭발 (Explosion after pipeline accident)</li> <li>사보타지 (Sabotage or war impact)</li> </ul>
강수	<ul style="list-style-type: none"> <li>폭우 (Extreme rain)</li> <li>폭설 (Extreme snow including snow storm)</li> <li>극한우박 (Extreme hail)</li> </ul>	
습기	<ul style="list-style-type: none"> <li>안개 (Mist)</li> <li>서리 (White frost)</li> <li>가뭄 (Drought)</li> </ul>	
대기오염	<ul style="list-style-type: none"> <li>소금폭풍 (Salt storm)</li> <li>모래폭풍 (Sand storm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>부지 내 · 외부 화학물질 누출 (Chemical release outside or inside site)</li> <li>수송사고 화학물질 누출 (Chemical release after transportation accident)</li> <li>배관사고 화학물질 누출 (Chemical release after pipeline accident)</li> </ul>
전자기장	<ul style="list-style-type: none"> <li>번개 (Lightning)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>자기장 교란 (Magnetic disturbance from radar, radio or mobile phone)</li> <li>전자기파 (Electro-magnetic pulse)</li> </ul>
대기로부터의 직접 충격	<ul style="list-style-type: none"> <li>운석 (Meteorite)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>위성 충돌 (Satellite crash or other man-made space material)</li> <li>항공기 충돌 (Airplane crash)</li> </ul>

# 외부사건 분류 및 영향

## • 지반발생 외부사건

원인	자연재해	인공사건
지반속도 (지반운동)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지진 (Earthquake)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전쟁 (War impact)</li> </ul>
국지적 지반충격	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지반상승 (Land rise)</li> <li>• 지반 동결 (Soil frost)</li> <li>• 짐승 (Animals)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 굴착작업 (Excavation work)</li> </ul>
지반으로부터의 직접충격	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 화산영향 (Volcanic phenomena)</li> <li>• 눈사태 (Avalanche)</li> <li>• 산사태 (Above-water landslide)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 부지 내 중량물 수송으로 인한 충격 (Heavy transportation within site)</li> <li>• 군사행동으로 인한 비산물 (Missiles from military activity)</li> <li>• 부지 내 타 발전소로부터 발생된 비산물 (Missiles from other plant on site)</li> </ul>
발전소 외부화재	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 외부화재 (External fire)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 타 발전소로부터 확산된 내부화재 (Internal fire spreading from other plant)</li> </ul>
지반오염		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 화학물질로 인한 오염 (Contamination from chemical)</li> </ul>

# 외부사건 분류 및 영향

## • 수중 외부사건

원인	자연재해	인공사건
유속	• 빠른 유속 (Strong water current)	
수위	• 낮은 해수위 (Low sea water level) • 높은 해수위 (High sea water level)	
수온	• 낮은 해수온도 (Low sea water temperature) • 높은 해수온도 (High sea water temperature)	
수중지반 영향	• 수중 산사태 (Under-water landslide)	
결빙영향	• 표면결빙 (Surface ice) • 침상결빙 (Frazil ice) • 결빙 장애물 (Ice barriers)	
고체 불순물	• 수중유기물 (Organic material in water)	• 선박에서 유출되는 불순물 (Ship release)
수중오염	• 해수로 인한 부식 (Corrosion from salt water)	• 선박에서 유출되는 오염물질 (Solid or fluid impurities from ship release) • 화학물질 유입 (Chemical release to water)
수중으로부터의 직접 충격		• 선박충돌로 인한 직접적 영향 (Direct impact from ship collision)

# 외부사건 분류 및 영향

## • 외부사건의 영향

외부사건의 영향		원전에 미치는 영향
구조물	압력	• 압력을 통해 구조물에 영향을 주어 그 안전기능을 무력화 할 수 있음.
	비산물	• 비산물을 통해 구조물에 영향을 주어 그 안전기능을 무력화 할 수 있음.
냉각	환기	• 환기에 영향을 주어 대기냉각에 의존하는 안전계통의 부분적/총체적 상실을 야기할 수 있음. • 환기계통을 통해 발전소에 영향을 줄 수도 있음. (예) 독가스
	최종열제거원	• 최종열제거원에 영향을 주어 2차 냉각과 water cooling에 의존하는 다른 안전계통의 부분적/총체적 상실을 야기할 수 있음.
전력공급		• 발전소의 외부전원 연결에 영향을 주고 소외전원 상실을 야기할 수 있음.
외부홍수		• 안전계통의 고장 또는 구조물의 침식으로 인해 발전소에 영향을 줄 수 있음.
외부화재		• 안전계통의 고장으로 인해 발전소에 영향을 줄 수 있음.
전기		• 전기장 또는 자기장의 발생으로 인해 발전소에 간접적인 영향을 주어 안전계통으로의 전원공급 또는 제어신호에 잠재적으로 영향을 줄 수 있음.
기타 직접적 영향		• 일반적인 범주에서 나타나지 않는 영향들도 드물게 나타날 수 있음. (예) 발전소 고립.

# 외부사건 선별분석

- 일반적 선별기준
  - 사건으로 인한 손상 가능성이 설계 시 반영된 사건과 같거나 작은 경우
  - 유사한 불확실성을 갖는 다른 사건들보다 현저히 낮은 평균발생빈도를 가지며 최악의 결과를 주지 않을 경우
  - 발전소에 영향을 줄 수 있을 정도의 거리에서 사건이 발생하지 않을 경우
  - 다른 사건에 포함되어 있을 경우



# 외부사건 선별분석

잠재적 극한외부사건	추가 분석대상 외부사건	선별 제거된 외부사건	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 강풍(태풍)</li> <li>2. 폭우</li> <li>3. 항공기 충돌</li> <li>4. 산사태</li> <li>5. 낮은 해수위</li> <li>6. 높은 해수위</li> <li>7. 수중유기물</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 부지 내부 폭발</li> <li>2. 부지 외부 폭발</li> <li>3. 수송사고 폭발</li> <li>4. 부지 내·외부 화학물질 누출</li> <li>5. 수송사고 화학물질 누출</li> <li>6. 배관사고 화학물질 누출</li> <li>7. 태양폭풍/자기장 교란</li> <li>8. 부지 내·외부 화재</li> <li>9. 사보타지</li> <li>10. 높은 해수온도</li> <li>11. 선박유출 불순물</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 토네이도</li> <li>2. 높은 대기온도</li> <li>3. 낮은 대기온도</li> <li>4. 극한대기압</li> <li>5. 폭설(눈보라 포함)</li> <li>6. 극한 우박</li> <li>7. 안개</li> <li>8. 서리</li> <li>9. 가뭄</li> <li>10. 소금폭풍(염해 포함)</li> <li>11. 모래폭풍(황사 포함)</li> <li>12. 번개/벼락</li> <li>13. 운석</li> <li>14. 배관사고 폭발</li> <li>15. 위성충돌</li> <li>16. 지반상승</li> <li>17. 지반 동결</li> <li>18. 침승침입</li> <li>19. 화산현상</li> <li>20. 눈사태</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>21. 굴착작업</li> <li>22. 부지 내 중량물 수송으로 인한 충격</li> <li>23. 군사행동으로 인한 비산물</li> <li>24. 부지 내 타 발전소로부터 발생한 비산물</li> <li>25. 타 발전소로부터 확산된 내부화재</li> <li>26. 외부침수</li> <li>27. 빠른 유속(수중침식)</li> <li>28. 낮은 해수온도</li> <li>29. 수중 산사태</li> <li>30. 표면결빙</li> <li>31. 침상결빙</li> <li>32. 결빙장애물</li> <li>33. 해수로 인한 부식</li> <li>34. 화학물질 해양누출</li> <li>35. 선박충돌 영향</li> </ol>

# 잠재적 극한외부사건: 강풍(태풍)

## • 원전에 미치는 영향

- 상당한 크기의 풍압이 건물 및 외부설비에 작용
- 비산물 발생 및 충돌로 인한 건물 및 외부설비의 손상
- 환기계통 및 소외전원의 상실 가능
- 적절히 고정되지 않은 금속 물체가 고압선에 접촉되어 전기단락 발생 가능
- 소외 통신설비 파손 및 접근도로 차단으로 외부와의 연락 차단

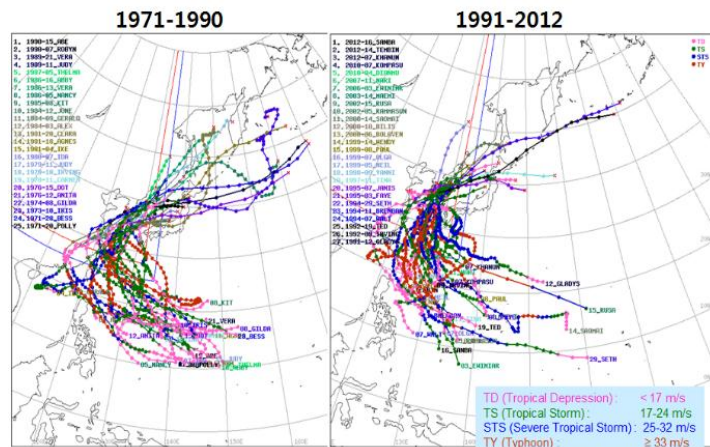
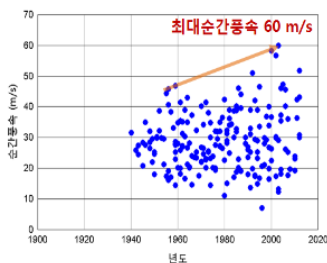
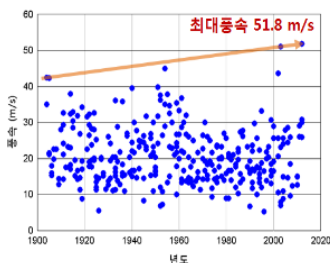
## • 발생사례

- 애자 손상으로 주변압기의 과전류계전기 동작 (고리 #1)
- 태풍의 영향으로 순환수계통 취수구 차단 (고리 #2)
- 태풍의 영향으로 주변압기 보호계전기 동작 (고리 #3,4)
- 태풍의 영향으로 송전선로 고장 및 운전정지 (월성 #1)
- 태풍(매미)의 영향으로 주변압기 보호계전기 동작 (월성 #2)
- 허리케인의 영향으로 소외전원상실이 5일 동안 지속, 비상디젤발전기 작동 (미국 Turkey Point NPP)

# 잠재적 극한외부사건: 강풍(태풍)

## • 국내 현황

- 2000년도 이후 국내에서 계측된 태풍의 최대풍속과 최대순간풍속은 각각 51.8m/s와 60m/s로서 원전의 설계기준인 100년 주기 최대풍속 45m/s를 상회. 1분 지속 최대풍속이 65m/s 이상인 슈퍼태풍에 점차 근접
- 해수온도의 지속적인 상승, 태풍 규모 및 발생빈도의 증가 등으로 최대풍속의 지속적 증가 추세
- 1991년 이후의 태풍경로는 그 이전의 태풍경로보다 북쪽으로 이동. 슈퍼태풍의 영향권도 점차 북상 중



# 잠재적 극한외부사건: 강풍(태풍)

## • 설계시 고려사항

- 설계풍압 산정 시 고리, 한빛 및 한울 원전은 ANSI A58.1, 월성원전은 캐나다 NBCC 코드 적용
- 신규원전의 설계풍압은 국내 건축법규에 따라서 결정
- 설계기준풍속으로서, ANSI A58.1에서는 3초간의 순간최대풍속을 사용하고, 국내 건축법규에서는 10분간 평균풍속에 대한 100년 재현기대풍속(45m/s)을 사용

## • 정성적 평가

- 설계풍속과 재현주기에 따른 풍속을 비교하면, 원전부지에서의 설계풍속은 대략 1,000~10,000년의 재현주기를 갖는 것으로 평가됨
- 풍속이 지속적으로 증가하고 있는 있는 최근의 추세와 안전성 평가 시 고려되는 10,000년 이상의 재현기간을 고려할 때 상세한 재해도 분석 필요

재현주기 지점	50년	100년	200년	1,000년	10,000년	100,000년
울산	22.5	24.3	26.1	30.3	36.3	42.3
목포	30.6	32.8	35.0	40.2	47.6	55.0
울진	34.1	37.5	40.8	48.6	59.7	70.7

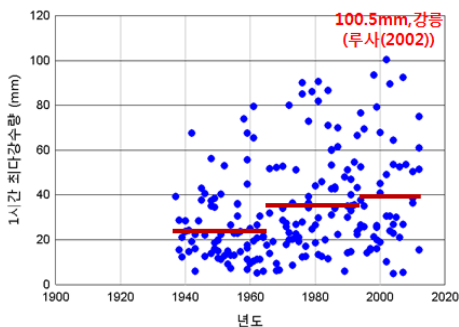
# 잠재적 극한외부사건: 폭우

- 원전에 미치는 영향
  - 소외전원 상실 가능
  - 습기 침투의 증가로 전기 단락 발생 가능
  - 누수로 인한 전기관련 장치의 오동작 유발 가능
  - 외부침수 발생 가능
  - 구조물, 탱크 및 외부설비에 수압 증가
- 발생사례
  - 집중호우로 인한 빗물 유입으로 터빈보호계전기 오동작 (고리 #1)
  - 부지의 부실한 배수로 인해 디젤건물 침수. 3개의 비상전력계통이 사용 불가능하여 원자로 정지 (러시아 체르노빌)

# 잠재적 극한외부사건: 폭우

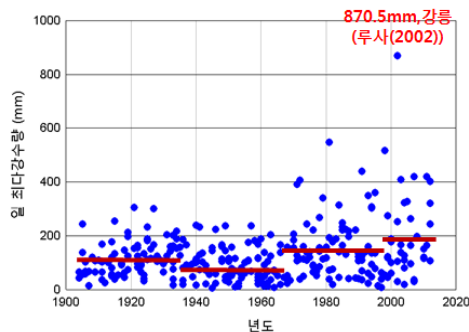
## • 국내 현황

- 평균강수량, 시간당 최대강수량 및 1일 최대강수량의 지속적 증가 추세
- 최근의 강력한 국지성 호우로 도시가 침수되는 사례 발생
- 2012년까지의 시간당 최대강수량과 1일 최대강수량은 각각 100.5mm(강릉)와 870.5mm(강릉)로서, 울진부지의 시간당 최대강수량 60mm와 1일 최대강수량 307.5mm를 크게 상회



30년 평균강수량

기간	1시간 최대 (mm)	일 최대 (mm)
1904-1934	-	116.2
1935-1965	23.3	90.0
1966-1996	35.8	141.4
1997-2012	39.7	186.7



30년 최대강수량

기간	1시간 최대 (mm)	일 최대 (mm)
1904-1934	-	305.5
1935-1965	79.4	238.3
1966-1996	90.5	547.4
1997-2012	100.5	870.5

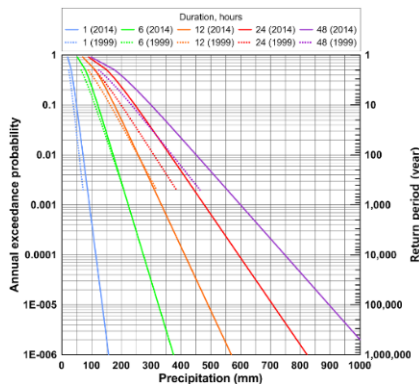
# 잠재적 극한외부사건: 폭우

## • 설계 시 고려사항

- 부지의 배수는 우수배수계통과 지표배수계통으로 구성
- 우수배수계통의 배수관로는 50년 빈도의 확률강우에 적합하도록 설계되어 있으며 그 이상의 강우에 대해서는 부지의 경사에 의해서 부지 외부로 유출
- 옥외 안전관련 기기 및 탱크의 기초, 안전관련 건물의 출입구 문턱과 1층 바닥은 가능최대 침수심보다 높게 위치하도록 설계

## • 정성적 평가

- 올진기상대에서의 확률강우량은 2000년도 이후에 다소 증가
- 한울원전 부지에서의 1시간 가능최대강수량 127.3mm는 10,000~100,000년의 재현기간을 갖는 것으로 평가됨



지속시간 재현기간	1시간	2시간	3시간	6시간	12시간	24시간
40년	62.7	82.3	101.6	152.4	224.6	316.3
100년	71.3	93.1	114.7	172.7	256.0	362.4
200년	77.8	101.2	124.5	188.0	279.6	397.2
1,000년	92.8	120.1	147.2	223.4	334.3	477.6
10,000년	114.3	146.9	179.7	274.0	412.5	592.5
100,000년	135.8	173.8	212.2	324.6	490.7	707.5

# 잠재적 극한외부사건: 산사태

## • 원전에 미치는 영향

- 토사의 부지 내 대량 유입으로 안전관련 구조물 및 옥외설비의 손상 가능
- 부지 주변에서 산사태가 발생할 경우 통신망 등이 피해를 입을 수 있으며 발전소의 접근도로가 차단되어 고립

## • 발생사례

- 태풍 및 지진으로 인한 산사태가 부지 내에서 발생 사례는 보고되지 않음

## • 국내현황

- 산사태는 일반적으로 강우, 지형, 지질, 토질, 임상 등의 자연적 요인과 절토, 성토 등의 인위적인 요인에 영향을 받아 발생
- 강수량의 급격한 증가와 잦은 폭우로 대규모 산사태 발생
- 산사태는 누적강우량이 많을수록 많이 발생. 최근의 급속한 강수량 증가로 산사태 발생 가능성 증가
- 한울원전 부지의 경우, 산사태등급 2, 3등급으로 분류되는 산이 부지 주변에 위치하고 있음





# 잠재적 극한외부사건: 산사태

- 설계 시 고려사항
  - 경사면 보호를 위해 콘크리트로 사면 보강
- 정성적 분석
  - 태풍 규모의 증가와 강수량의 급속한 증가로 대형 산사태의 발생 가능성 증가
  - 강진에 의한 산사태 발생 가능성에 대한 검토 필요
  - 산사태 발생 가능성이 높은 지역에 대한 면밀한 감시 필요

# 잠재적 극한외부사건: 낮은 해수위

- 원전에 미치는 영향
  - 해수위가 취수가능수위보다 낮을 경우에는 1차측 기기냉각해수(ESW)의 취수에 영향을 미칠 수 있음
- 발생사례
  - 해수위 강하로 인한 냉각수 공급 중단 사례는 보고되지 않음.
- 국내현황
  - 고리 부지의 경우 최저가동수위의 여유고가 0.47m에 불과해 지진해일고와 태풍으로 인한 수위 변동이 현재보다 더 크게 발생할 경우 발전소의 가동에 영향을 줄 수 있음
  - 영광 부지의 경우 태풍의 위력이 커질 경우 여유고가 줄어들 가능성 있음

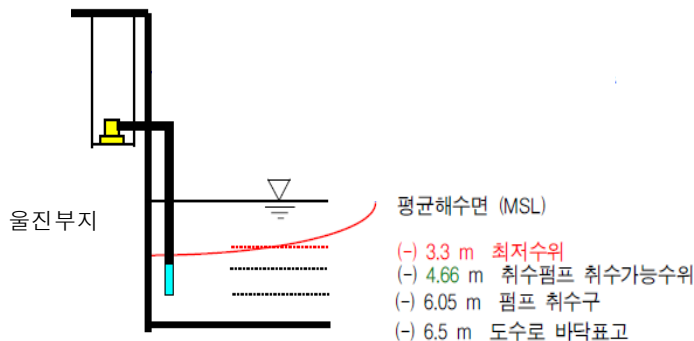
원전부지	가능최대지진해일 발생시 최저수위 (m)			가능최대 태풍해일 발생시 최저수위 (m)	ESW 최저가동수위 (m)	여유고 (m)
	지진 해일고	저조위	최저수위			
울진	3.0	0.3	(-)3.3	(-)1.19	(-)4.66	1.36
월성	0.487	0.717	(-)1.204	(-)2.72	(-)5.44	2.72
고리	0.292	0.833	(-)1.125	(-)1.80	(-)2.27	0.47
영광	지진해일 영향 미미			(-)5.494	(-)6.27	0.776

출처: 한수원, 원전의 지진해일 안전성 분석, 2005.

# 잠재적 극한외부사건: 낮은 해수위

## • 설계 시 고려사항

- 1차측 기기냉각해수의 취수를 확보하기 위하여 냉각수 취수수위는 부지에서의 최저저해수위를 고려하여 설정



## • 정성적 분석

- 일부 원전부지(고리 및 한빛원전)의 경우 해수위의 하강으로 인해 1차측 기기 냉각해수의 취수에 영향을 미칠 가능성을 향후 배제할 수 없음
- 해수위의 변동은 기후변화와 연안의 지형변화에 의해서 크게 달라질 수 있으므로 조위 관측 및 지형 변화에 대해서 주기적 감시와 검토가 필요

# 잠재적 극한외부사건: 높은 해수위

## • 원전에 미치는 영향

- 해수위의 상승은 부지의 배수능력을 저하 또는 마비시켜 안전관련 설비들을 침수시킬 수 있으며 발전소의 가동에 중요한 영향을 미칠 수 있음
- 급격한 해수위 상승 시 취수구조물 및 해수관로의 손상 초래 가능

## • 발생사례

- 해수위 상승으로 인한 원전부지 침수 및 해수계통 피해 사례는 보고되지 않음

## • 국내현황

- 가능최대지진해일 시의 최고수위는 가능최대지진해일고, 삭망평균만조위, 파랑의 처오름 효과를 반영하여 결정되며 태풍으로 인한 가능최고수위와 함께 부지고를 결정하는 중요한 변수
- 국내 원전부지의 여유고는 태풍해일 시의 최고수위에 대해 충분한 것으로 판단

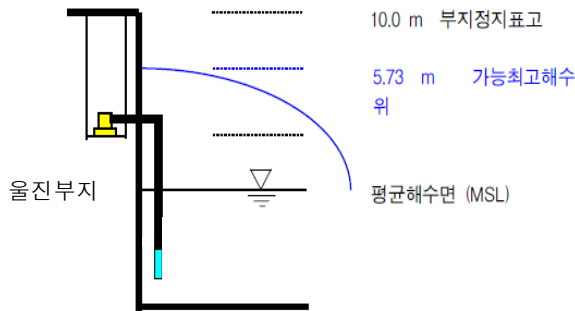
원전부지	가능최대지진해일 발생시 최고수위 (m)				가능최대 태풍해일 발생시 최고수위 (m)	부지고 (m)	여유고 (m)
	지진해일고	고조위	처오름	최고수위			
울진	3.0	0.33	2.4	(+)5.73	(+)5.02	(+)10.0	4.27
월성	0.502	0.767	3.0	(+)4.269	(+)7.07	(+)10.0	2.97
고리	0.332	0.927	3.0	(+)4.259	(+)7.864	(+)9.5	1.636
영광	지진해일 영향 미미				(+)7.22	(+)10.0	2.78

출처: 한수원, 원전의 지진해일 안전성 분석, 2005.

# 잠재적 극한외부사건: 높은 해수위

## • 설계 시 고려사항

- 부지 및 안전관련 설비의 침수를 방지하기 위하여 부지에서의 가능최고해수위에 충분한 여유고를 고려하여 원전 부지고를 설정



## • 정성적 분석

- 국내원전 부지의 부지고가 비교적 충분한 여유고를 확보하고 있으므로 해수위의 상승으로 인한 부지침수의 가능성은 크지 않을 것으로 예상
- 해수위의 변동은 기후변화와 연안의 지형변화에 의해서 크게 달라질 수 있으므로 조위 관측 및 지형 변화에 대해서 주기적 감시와 검토 필요

# 잠재적 극한외부사건: 수중유기물

- 원전에 미치는 영향
  - 해양생물의 취수구 유입으로 폐쇄될 경우 순환수 펌프의 기능 상실로 복수기 운전 불가능
  - 해양생물이 드럼스크린에 부착될 경우 내부 수위가 감소하여 수두차 발생. 수두차가 50cm를 초과할 경우 순환수펌프 자동 정지
- 발생사례
  - 취수구를 통해 어류 다량 유입 (고리 #4)
  - 취수구에 이물질이 유입되어 기기냉각수 취수기능 저하 (고리 #4)
  - 해파리가 취수구로 유입되어 순환수펌프 정지 (울진 #2)
  - 홍합, 어류, 조개, 새우, 해파리 등 생물의 부착으로 인한 용수 상실 (미국, 한국, 네덜란드)
- 국내현황
  - 해양생물 유입으로 원자로 계통의 안전에 영향을 미친 사례는 보고되지 않음
  - 한울원전의 경우 새우와 해파리 등 해양생물의 유입으로 취수구가 폐쇄되어 발전정지 또는 출력감발된 경우가 16회 이상 발생
  - 해양생물은 해수의 온도가 상승하는 여름기간에 주로 나타난 것으로 보고됨

# 잠재적 극한외부사건: 수중유기물

- 설계 시 고려사항
  - 해양생물의 취수구 유입에 대한 방재 및 대응 체계 수립
  - 설비개선을 통하여 해양생물의 차단이 가능하며 비상운전절차서에 따라서 조치가 가능
- 정성적 분석
  - 해양생물의 취수구를 통한 유입으로 원전의 안전에 영향을 미칠 가능성은 현재 거의 없는 것으로 판단
  - 지속적인 온난화 추세와 한반도 주변의 해수온도 상승으로 다양하고 많은 해양생물이 발생하고 있으므로, 대량의 해양생물이 취수구를 통해 유입될 가능성 증가
  - 각 원전 부지에서의 모니터링 및 방재 방안 수립 필요

# 향후 연구방향

- 현재의 원전 설계기준은 외부환경으로의 방사성 물질 누출을 실질적으로 배제하는데 미흡
- '설계기준초과사고(Beyond Design Basis Accidents)'를 '설계확장조건(Design Extension Conditions)'으로 설계에 반영하도록 권고한 IAEA 원전안전기준(SSR-2/1)에 따라 추가적인 설계기준사고 또는 중대사고에 대한 분석 필요
- 설계 시 고려해야 할 추가적인 사고 시나리오의 파악, 사고 예방 및 완화를 위한 실질적인 방안 강구
- 외부사건의 경우 설계기준을 초과하는 극한외부사건(Extreme External Events) 선정 및 원전 안전에 미치는 영향 분석 필요



# 향후 연구방향

- 설계확장조건 적용 관련
  - 설계 시 고려해야 할 추가 초기사건 및 사고 시나리오
  - 공학적 판단, 결정론적 및 확률론적 안전성평가를 통한 설계확장조건 도출
  - 설계확장조건의 국내 적용 요건
  - 원전 설계 적용 방안
- 극한외부사건 재해도 관련
  - 설계 시 고려해야 할 추가적인 극한외부사건 선정
  - 잠재적 극한외부사건에 대한 확률론적 재해도 평가
  - 극한외부사건에 대한 설계기준 수준 평가
  - 조합된 외부사건(다중외부사건)에 대한 재해도 평가
  - 인위적 극한외부사건에 대한 재해분석

# 향후 연구방향

- 원전 안전 관련
  - 극한외부재해에 대한 PSA 및 SSCs의 안전 여유도 평가
  - SSCs의 안전 기능을 유지하기 위한 요구성능 정의 및 신뢰성 확보
  - 발생가능성이 작으나 그 결과가 심각한 사고를 초래할 가능성이 있는 극한외부사건 또는 중대사고에 대비한 원전 설비의 성능 향상
  - 극한외부사건 및 극한상황(설계확장조건)에 대비한 안전 성능 확보, 재해 관리 및 완화 방안 수립
  - 다수호기 다중외부사건에 대한 안전성 평가