

## 원자력발전소 안전성 평가를 위한 외부사건 식별 및 선별 방법 연구동향

## Research Trends on External Event Identification and Screening Methods for Safety Assessment of Nuclear Power Plant

김동창<sup>1</sup> · 광신영<sup>2</sup> · 김지태<sup>3</sup> · 임승현<sup>4\*</sup>Dongchang Kim<sup>1</sup>, Shinyoung Kwag<sup>2</sup>, Jitae Kim<sup>3</sup>, Seunghyun Eem<sup>4\*</sup><sup>1</sup>Graduate Student, Department of Convergence & Fusion System Engineering, Kyungpook National University, Sangju, Republic of Korea<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Hanbat National University, Daejeon, Republic of Korea<sup>3</sup>Principal Researcher, Division of Safety Inspection, Korea Institute of Nuclear Safety, Daejeon, Republic of Korea<sup>4</sup>Assistant Professor, Department of Convergence & Fusion System Engineering, Kyungpook National University, Sangju, Republic of Korea

\*Corresponding author: Seunghyun Eem, eemsh@knu.ac.kr

## ABSTRACT

**Purpose:** As the intensity and frequency of natural hazards are increasing due to climate change, external events that affecting nuclear power plants(NPPs) may increase. NPPs must be protected from external events such as natural hazards and human-induced hazards. External events that may occur in NPPs should be identified, and external events that may affect NPPs should be identified. This study introduces the methodology of identification and screening methods for external events by literature review.

**Method:** The literature survey was conducted on the identification and screening methods of external events for probabilistic safety assessment of NPPs. In addition, the regulations on the identification and screening of external events were investigated. **Result:** In order to minimize the cost of external event impact analysis of nuclear power plants, research on identifying and screening external events is being conducted. In general, in the identification process, all events that can occur at the NPPs are identified. In the screening process, external events are selected based on qualitative and quantitative criteria in most studies. **Conclusions:** The process of identifying and screening external events affecting NPPs is becoming important. This paper, summarize on how to identify and screen external events for a probabilistic safety assessment of NPPs. It is judged that research on bounding analysis and conservative analysis methods performed in the quantitative screening process of external events is necessary.

**Keywords:** Nuclear Power Plants, Natural Hazard, External Events, Identification, Screening, Climate Change

## 요약

**연구목적:** 기후변화 등으로 인해 자연재해의 빈도 및 강도가 증가하고 있어, 원자력발전소에 영향을 주는 외부사건이 발생할 수 있다. 원자력발전소는 자연재해, 인공재해 등 외부사건으로부터 안전해야 한다. 따라서 원자력발전소에 발생할 수 있는 외부사건을 식별하여야 하며, 원자력발전소에 큰 영향을 줄 수 있는 외부사건을 선별하여야 한다. 본 연구에서는 외부사건을 식별 및 선별하는 방법의 연구동향을 소개한다. **연구방법:** 원자력발전소의 확률론적 안전성 평가를 위한 외부사건의 식별 및 선별에 관한 문헌조사를 실시하였다. 또한 국내외 외부사건의 식별 및 선별에 관한 규정을 조사하였다. **연구결과:** 원자력발전소의 외부사건 영향분석의 비용을 최소화하고자 외부사건을 식별 및 선별하는 연구가 이루어지고 있다. 각 연구는 관점에 따라 차이를 보이지만 공통적으로 식별과정에서는 원자력발전소 부지에서 발생할 수 있는 모든 사건을 식별하고자 하며, 선별과정에서는 정성적 기준과 정량적 기준을 바탕으로

Received | 20 December, 2021

Revised | 16 June, 2022

Accepted | 23 June, 2022

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

로 외부사건을 선별한다. 결론: 기후변화 등으로 인하여 자연재해의 강도가 변화하고 있어, 원자력발전소에 영향을 주는 외부사건을 식별 및 선별하는 과정이 중요해지고 있다. 따라서 본 논문에서는 외부사건을 식별과 선별하는 방법에 대해 조사하여 정리하였다. 국내의 경우 원자력발전소의 확률론적 안전성 평가를 위한 외부사건의 식별과 선별에 관한 연구가 미미한 실정이다. 또한 외부사건 정량적 선별과정에서 수행하는 ‘경계분석’과 ‘명백히 보수적인 분석’ 방법에 관한 연구가 필요할 것으로 보인다.

핵심용어: 원자력발전소, 자연재해, 외부사건, 식별, 선별, 기후변화

## 서론

원자력발전소(원전)는 지진, 쓰나미, 폭풍, 홍수 등 부지 내에서 발생 가능한 자연재해로 인한 외부사건의 영향이 최소화 되어야 한다(Van Dorselaere et al., 2020; Alzbutas et al., 2001, 2008). 외부사건은 원전 외부에서 발생하여 직접 또는 간접적으로 초기사건을 초래하고 노심 손상 또는 방사성 물질의 대규모 누출로 이어질 수 있는 안전 시스템 장애 또는 운영자 오류를 유발할 수 있는 사건을 의미한다. 따라서 원전은 외부사건으로부터 안전하도록 설계된다. 이러한 설계에도 불구하고 설계기준을 초과하거나 설계 시 고려하지 못했던 자연재해가 원전 운전 중에 발생하여 영향이 나타나는 경우가 존재한다(Kawatsuma et al., 2012). 또한 인류의 활동으로 인해 지속해서 기후변화가 발생하고 있으며, 기상청 및 환경부에서 발간한 ‘한국 기후변화 평가보고서 2020(Kim et al., 2020; Bae et al., 2020)’에 따르면 기후변화로 인해 대기온도, 해수온도, 강우강도, 폭풍 강도, 해수면 등이 상승하여 강풍, 홍수, 집중호우, 가뭄 등과 같은 자연재해의 강도 및 빈도가 증가하여 원전에 영향을 미칠 것으로 예상된다(Ryu 2022; Ham et al., 2021). 기후변화로 인한 원전과 관련된 최근 사건으로 2018년 폭염으로 인해 프랑스 원전 4곳이 가동 중지되는 사건과 2021년 2월 미국에서 따뜻한 지방으로 손꼽히는 텍사스주에서 한파로 인하여 원전이 정지하는 사건이 발생하였다(Jordaan et al., 2019). 기후변화로 인해 기존에 고려하지 않았던 외부사건이 원자력발전소에 영향을 줄 수 있다. 하지만 원자력발전소에 영향을 줄 수 있는 모든 사건에 대해 상세 분석하는 것은 합리적이지 않다. 이에 따라 기후변화로 인해 외부사건 식별과 선별의 중요성은 강조되고 있으며 외부사건의 식별 및 선별 방법에 관한 연구가 이루어지고 있다(Knochenhauer et al., 2003; Huffman, 2015; ASME/ANS, 2013). 본 논문에서는 원자력발전소의 확률론적 안전성 평가를 위한 외부사건 식별과 선별 방법을 조사하였다.

## 원전의 안전성 평가 과정

원전에 영향을 줄 수 있는 외부사건을 분석하는 일반적인 단계를 Fig.1에 나타내었다(Knochenhauer et al., 2003). 첫단계는 ‘프로젝트 계획 및 준비 단계에서는 이해관계자의 요구사항을 파악, 전문가를 구성하고 부지와 발전소의 정보를 수집하는 것

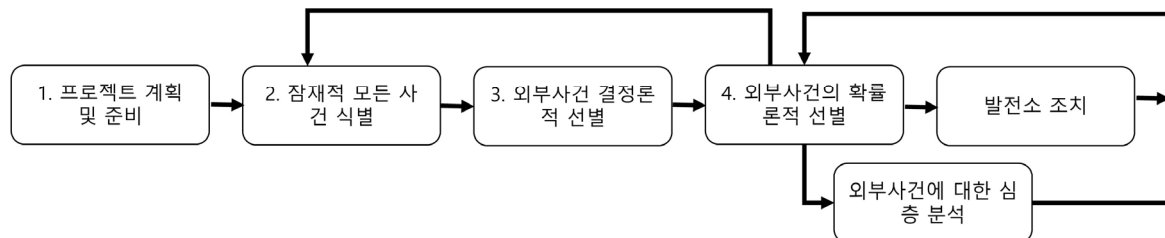


Fig. 1. The overall analysis process of external events(Knochenhauer et al., 2003).

이다. 다음 2단계는 ‘잠재적인 외부사건 식별’은 부지 및 발전소에서 발생 가능한 모든 외부사건을 식별하는 것이다. 3단계는 ‘외부사건의 결정론적 선별’은 대표적인 선별과정으로 대상 부지에서 관련 외부사건이 발생할 수 없거나 강도가 너무 낮은 외부사건을 선별하는 ‘관련성 선별’과 발전소에 영향을 미치지 않은 외부사건을 선별하는 ‘영향 선별’ 과정을 거친다. 그 후, 과정에서 배제되지 않은 외부사건에 대해 빈도와 강도를 분석하여 원전에 영향을 미치지 않는 외부사건을 배제한다. 끝으로 4단계는 ‘외부사건의 확률론적 선별’은 이전 과정에서 배제되지 않은 외부사건에 대한 노심손상빈도(Core Damage Frequency, CDF)를 계산하고 발전소에 조치를 취한다.

## 외부사건 식별

외부사건은 원자력발전소의 안전 시스템에 장애를 일으켜 초기사건을 초래하고 노심 손상 등을 유발할 수 있다. 따라서, 원자력발전소 주변 환경에서 발생 가능한 모든 외부사건에 대해 종합적으로 검토하여야 하고 원자력발전소의 안전에 영향을 줄 수 있는 외부사건에 대해서는 설계 단계에서 적절히 고려되어야 한다. 원자력발전소의 안전에 영향을 주는 외부사건을 식별 혹은 목록을 작성하기 위해서는 보통 과거 자료를 활용하게 된다. 또한, 외부사건의 목록을 작성할 경우 사건의 강도, 확률, 크기를 고려하지 않고 발생 가능한 사건을 모두 작성해야 한다. 목록을 작성하고 이후에 원자력발전소의 안전에 영향을 주는 외부사건을 선별하게 된다. 외부사건 목록을 작성하기 위해 검토 가능한 문서는 다음 Table 1과 같다.

**Table 1.** Documents that facilitate preparing a list of all possible external events(Huffman, 2015; Knochenhauer et al., 2003)

○ SKI Research Report 02:27 (Knochenhauer et al., 2003)	○ EPRI 1022997(Huffman, 2015)	○ ASME/ANS RA-Sb – 2013 (ASME/ANS, 2013)
○ IAEA 50-P-7(IAEA, 1995)	○ NUREG/CR-5042(USNRC, 1978)	○ IAEA TECDOC-1341(IAEA, 2003)
○ NUREG-0800(USNRC, 1981)	○ USNRC Standard review plan (USNRC, 2003)	○ NEA/CSNI/R(2009)(NEA/CSNI, 2009)
○ CNSC RD-346(CNSC, 2008)	○ IAEA 50-SG-9(IAEA, 1984)	○ IAEA Safety Series 50-SG-D5 (IAEA, 1996))
○ NUREG/CR-2300(USNRC, 1983)	○ IAEA NS-G-1.5(IAEA, 2003)	○ IAEA NS-G-3.4(IAEA, 2003)
○ ENSI-A05/e(ENSI, 2009)	○ IAEA NS-G-3.5(IAEA, 2003)	○ IAEA Safety Series 50-SG-S11A (IAEA, 1981)
○ WASH-1400(USNRC, 1975)	○ NUREG-1407(USNRC, 1991)	○ IAEA NS-G-3.1(IAEA, 2002)
○ Regulatory Guide 1.200(USNRC, 2009)		

SKI Report 02:27(Knochenhauer et al., 2003)에서는 외부사건 식별의 예로써 외부사건의 목록을 크게 자연재해와 인공재해로 나눈 뒤 대기재해, 지반재해 및 수중재해로 3개의 그룹을 만들어서 Table 2와 같이 식별하였다.

**Table 2.** Identification external events in SKI Report 02:27(Knochenhauer et al., 2003)

	자연재해	인공재해
	대기재해	
대기속도	강풍(태풍 포함) 토네이도	

**Table 2.** Identification external events in SKI Report 02:27(Knochenhauer et al., 2003)(Continue)

	자연재해	인공재해
대기온도	높은 대기온도 낮은 대기온도	
대기압력	극한 대기압	발전소 부지 내에서의 폭발 발전소 부지 외부에서의 폭발 수송사고 후의 폭발 배관사고 후의 폭발 사보타지 또는 전쟁
강수	폭우 폭설(눈보라 포함) 극한우박	
습도	안개 서리 가뭄	
대기오염	소금폭풍 모래폭풍	부지 내부 또는 외부의 화학물질 누출 수송사고 후의 화학물질 누출 배관사고 후의 화학물질 누출
전자기 영향	낙뢰	자기장 교란 전자기 펄스
직접충돌	운석	위성충돌 항공기 충돌
<b>지반재해</b>		
지반운동	지진	전쟁
국지적 영향	지반상승 흙의 동결 집승	굴착작업
직접충돌	화산 눈사태 산사태	부지내 중량물 수송 군사활동으로 인한 미사일 부지내 타 발전소의 비산물
화재	화재	타 발전소부터 확산된 내부화재
지상오염		화학물질에 의한 오염
<b>수중재해</b>		
유속	강한 유속(수중침식포함)	
수위	낮은 해수위 높은 해수위	
수온	높은 해수온도 낮은 해수온도	
수중토사 영향	수중 산사태	
얼음 영향	표면결빙 침상결빙 결빙장애	
불순물 영향	수중 유기물	선박 유출물
수중 오염	해수로 인한 부식	선박에서 유출되는 고체 또는 유체 불순물 화학물질 누출
직접적 충돌		선박충돌로 인한 충돌

## 외부사건 선별

식별한 모든 외부사건을 원전에 미치는 영향에 관해 상세히 분석하는 것은 매우 비효율적이다. 따라서 식별한 외부사건 중 원전에 미치는 영향이 큰 경우는 분석하는 과정이 필요하고 영향이 적은 경우는 배제하는 과정이 필요하다. 대체로 외부사건을 선별하는 방법으로는 크게 정성적 기준과 정량적 기준을 사용하여 선별한다.

### SKI Report 02:27 선별 방법

SKI Report 02:27(Knochenhauer et al., 2003)의 외부사건 확률론적 안전성 평가는 NORDIC PSA 그룹과 계약하여 개발된 선별 방법이다. 외부사건 선별 방법으로 대상 부지에서 관련 외부사건이 발생할 수 없거나 강도가 너무 낮은 외부사건을 선별하는 ‘관련성 선별(Relevancy Screening, ReSc)’과 발전소에 사소한 영향도 미치지 않는 외부사건을 선별하는 ‘영향 및 결정론적 선별(Impact Screening, ImSc)’을 거친다. 또한, 선별과정에서 배제되지 않은 외부사건에 대해 강도와 빈도를 분석하고 이에 따라 안전 계통의 손상을 유발하지 않는 외부사건을 배제하게 된다. 마지막으로 ‘확률론적 선별(Probabilistic Screening, PrSc)’과정에서는 제외되지 않은 외부사건에 대한 노심손상빈도의 정량적 분석을 수행한다. Table 3는 SKI Report 02:27에서 제시한 총 9가지 선별기준을 나타내었다.

### ASME 표준의 외부사건 선별 방법

ASME/ANS PRA의 외부사건 선별 요건은 표준 섹션 6에 제공된다(ASME/ANS, 2013). 이 문서의 목적은 외부사건 선별과 관련된 표준의 핵심 부분을 요약하고 설명하는 것이다. ASME/ANS PRA 외부사건의 선별과정은 시설에 영향을 미칠

**Table 3.** SKI Report 02:27 screening criteria(Knochenhauer et al., 2003)

번호	주요 적용				요소	설명
	ReSc	ImSc	DeSc	PrSc		
CR-1	×				거리	해당 사건은 향후 수십년 동안 부지 및 부지 주변에서 충분히 가깝게 발생하지 않는다.
CR-2	×				포함	해당 사건은 다른 사건의 정의에 포함된다.
CR-3	×				적용	해당 사건은 부지에 적용되지 않는다.
CR-4	×				범위	해당 사건은 이미 PSA 수행 중이거나 포함될 예정이다.
CR-5		×	×		심각	해당 사건에 의한 잠재적 손상 수준이 다른 외부사건에 대한 발전소의 설계보다 낮거나 같다.
CR-6		×	×		경고	A. 해당 사건의 지속시간이 짧다. B. 예방 조치가 가능할 만큼 해당 사건의 크기 증가율이 낮다.
CR-7		×			연기	해당 사건은 발전소의 내구성을 향상해야 할 만큼 심각하므로 분석을 연기한다.
CR-8			×		공통 원인 고장 CCF (CCI)	해당 사건의 추정 최대 강도와 영향은 발전소의 설계기준 또는 내구성 기반 전문가 추정치를 초과하지 않는다.
CR-9				×	확률론적 안전성평가 (PSA risk)	해당 사건의 위험 기여도는 경미하고 허용할 수 있다.

수 있는 모든 잠재적 자연 및 인공재해를 식별 후 정성적 선별기준을 통해 방어 가능한 정의된 선별기준에 의해 각 재해를 선별한다. 정성적 기준을 배제할 수 없는 경우, 평가된 결과가 가장 가혹한 가정조건을 사용하거나 이를 초과하는 가정을 사용하는 분석인 ‘경계분석’ 또는 평가된 결과가 예상된 결과에 비해 보수적일 수 있도록 가정을 사용하는 분석인 ‘명백하게 보수적인 분석’을 사용해 재해를 선별한다. 끝으로 남은 재해에 대해 상세한 확률론적 안전성 평가 분석을 수행한다. 권장하지는 않지만, 이 과정은 확률론적 안전성 평가의 수행을 위해 언제든지 우회할 수 있어야 한다. ASME의 정성적 선별은 외부사건에 대해 CDF 기여가  $<10^{-6}/yr$ 로 가정하여 진행한다. Table 4는 ASME 정성적 선별기준에 대해 나타낸다. ASME의 정량적 선별기준은 현재 설계기준 재해사건의 평균 빈도는  $<10^{-5}/yr$ 이며, 조건부노심손상확률(Conditional Core Damage Probability, CCDP)의 평균은  $<10^{-1}$ 으로 평가되어야 한다. 또한 경계분석 또는 명백하게 보수적인 분석을 사용하여 계산된 CDF의 평균 빈도는  $<10^{-6}/yr$ 이어야 한다(ASME/ANS, 2013).

**Table 4.** ASME qualitative screening criteria(ASME/ANS, 2013)

기준	설 명
기준 1	해당 재해는 발전소가 설계한 재해보다 동등하거나 손상 가능성이 작다. 이 선별기준에서는 특정 재해에 대한 발전소 구조 및 시스템의 저항성능을 추정하기 위해 발전소 설계기준의 평가가 필요하다.
기준 2	해당 재해는 다른 재해보다 평균 발생 빈도가 현저히 낮으며, 다른 재해의 결과보다 더 나쁜 결과를 초래할 수 없다.
기준 3	해당 재해는 발전소에 영향을 미칠 정도로 가까이에서 발생할 수 없다. 이 기준은 관심 빈도에 대한 사건의 크기와 범위를 고려하여야 한다.
기준 4	해당 재해는 다른 재해의 정의에 포함된다.
기준 5	해당 재해의 진행 속도가 느리며, 재해의 근원을 배제하거나 적절한 대응을 제공할 충분한 시간이 있음을 입증할 수 있다.

### EPRI Report 1022997 외부사건 선별 방법

EPRI Report 1022997(Huffman, 2015)의 선별과정은 IAEA 50-P-7(IAEA, 1995)에 ‘영향별 근사 선별’, ASME/ANS-RA-Sb-2013의 HLR-EXT-B에 설명된 ‘예비 선별’과 SKI Report 02:27에 기술된 ‘관련성, 영향 및 결정론적’ 선별을 참고하고 이 중 불필요한 기준을 제거하여 권장 정성적 선별을 제시하였다. EPRI Report 1022997에서 권장하는 정성적 선별기준은 Table 5에 나타내었다. SKI Report 02:27에서 제시한 방법과의 차이점은 Table 3에 제시된 CR-3, CR-4, CR-7을 EPRI

**Table 5.** Recommended qualitative screening criteria(Huffman, 2015)

선별기준 No.	설명
QL-1	해당 사건은 발전소가 이미 설계한 다른 유사한 사건보다 적은 손상 가능성을 가지고 있다.
QL-2	해당 사건은 선별된 다른 사건보다 평균 발생 빈도가 현저히 낮으며, 위험으로 인해 다른 선별 사건보다 더 심각한 결과를 초래할 수 없다.
QL-3	해당 사건은 현장에서 발생하거나 발전소에 영향을 미칠 정도로 부지에 충분히 근접할 수 없다
QL-4	해당 사건은 다른 사건의 정의에 포함되어 있다.
QL-5	해당 사건은 사건의 원인을 배제하거나 적절한 대응을 제공하기에 충분한 시간이 있음을 증명할 수 있을 정도로 느리게 진행된다.
QL-6	해당 사건으로 인해 초기사건을 초래하지 않으며 안전 시스템의 손실을 유발하지 않는다.
QL-7	해당 사건은 원자로의 트립 혹은 정지를 유발하지 않으며, 안전설비 혹은 안전시스템의 작동을 유발하지 않는다.

Report 1022997에서는 활용하지 않았다. 그 이유는 CR-3은 CR-1과 중첩이 되어 CR-3만의 고유의 기준으로 적용이 불가할 수 있고, CR-4와 CR-7은 선별기준이 아니며 PSA과정 중 결정되어야 할 사항으로 판단을 하였다.

EPRI Report 1022997(Huffman, 2015)의 권장 정량적 선별기준은 IAEA 50-P-7(IAEA, 1995) 및 ASME/ANS RA-Sb-2013(ASME/ANS, 2013)을 바탕으로 제시하고 있다. 이상적인 정량적 선별기준은 원전에 영향을 주는 재해를 배제하지 않는 것과 중요하지 않는 재해에 대해 과도한 분석을 하지 않아야 한다. 또한 이러한 정량적 선별기준을 적용할 경우 확률론적 안전성 분석의 목적과 국가 안전 목표, 기타재해에 대한 리스크 등을 고려하여야 한다. 벵랑끝 효과(Cliff Edge)를 고려하지 않고 외부재해를 선별하는 경우, 확률론적 안전성 평가 목적을 달성하지 못할 수 있으나 벵랑끝 효과를 고려하는 경우, 노심 손상빈도 및 대규모 조기 유출을 모두 고려해야 한다. Table 6은 위 사항을 고려한 권장 정량적 선별기준을 제시하였다.

**Table 6.** Recommended quantitative screening criteria(Huffman, K, 2015)

선별기준 No.	설명	격납건물우회 혹은 격납건물손상
1	$CDF < 10^{-6}/yr$	아니오
2	Design Basis Hazard Frequency $< 10^{-5}/yr$ and CCDP $< 0.1$	아니오
3	$CDF < 10^{-7}/yr$	예
4	Design Basis Hazard Frequency $< 10^{-6}/yr$ and CCDP $< 0.1$	예

## 결론 및 논의

외부사건으로부터 원전의 안전성은 확률론적 안전성 평가를 통해 검증한다. 이때 원전 부지에서 발생 가능한 모든 재해에 대해 확률론적 안전성 평가를 수행하는 것은 비효율적이며, 외부사건의 식별 및 선별 과정을 통해 선정된 외부사건에 대해 안전성 평가가 수행하는 것이 합리적이다. 또한 기후변화로 인하여 자연재해의 강도와 빈도가 증가하고 있는 상황에서 효율적인 확률론적 안전성 평가를 위한 외부사건의 식별과 선별의 중요성이 강조되고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 외부사건의 식별 및 선별 방법에 대해 조사를 수행하였다. 국내의 경우 확률론적 안전성 평가를 위한 외부사건의 식별 및 선별에 관한 연구는 미미한 실정이다. 따라서 국외를 중심으로 외부사건의 식별 및 선별 방법에 대해 조사가 이루어졌다. 외부사건 식별은 원전 주변 환경에서 발생 가능한 모든 외부사건에 대해 식별을 하며, 주로 과거자료와 문헌조사를 통해 이루어진다. 외부사건의 선별과정은 정성적 기준과 정량적 기준을 통해 선별되며, 정량적 기준을 위해 ‘경계분석’과 ‘명백하게 보수적인 분석’을 통해 이루어진다. 하지만 각 재해에 대한 ‘경계분석’과 ‘명백하게 보수적인 분석’의 방법에 대해 제시하고 있지 않다. 기후변화 등으로 자연재해의 강도와 빈도가 변화하고 있고 복합적인 자연재해가 발생함에 따라 원자력발전소의 안전을 위해 주기적으로 외부사건의 식별 및 선별이 이루어져야 할 것으로 보인다. 또한 모든 외부사건에 대해 상세한 확률론적 안전성 분석은 비경제적이므로 ‘경계분석’과 ‘명백하게 보수적인 분석’ 방법에 대한 개발이 필요하며 이를 통한 효율적인 외부사건의 선별이 필요하다.

## Acknowledgement

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No. 2020R1G1A1007570; No. RS-2022-00154571).

## References

- [1] Alzbutas, R., Maioli, A. (2008). "Risk zoning in relation to risk of external events (application to IRIS design)." *International Journal of Risk Assessment and Management*, Vol. 8, No. 1-2, pp. 104-122.
- [2] Alzbutas, R., Urbonas, R., Augutis, J. (2001). Risk and Sensitivity Analysis in Relation to External Events. *International Conference Nuclear Energy in Central Europe 2001*, Slovenia, pp. 308.1-308.13.
- [3] ASME/ANS (2013). Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Application. ASME, ASME/ANS RA-Sb-2013, New York, US.
- [4] Bae, Y.-J., Lee, H.-J., Jeong, B-W., Jeong, W.-C. (2020). Korean Climate Change Assessment Report 2020(Influence and adaptation to climate change). Ministry of Environment.
- [5] CNSC (2008). Site Evaluation for New Nuclear Power Plants. Canadian Nuclear Safety Commission, CNSC RD-346, Ottawa, Ontario, Canada.
- [6] ENSI (2009). Guideline for Swiss Nuclear Installations Probabilistic Safety Analysis (PSA): Quality and Scope. Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate, ENSI-A05/e, Brugg, Swiss.
- [7] Ham, E.G., Lee, S.I. (2021). "A study on the earthquake safety assessment of energy storage facilities according to climate change." *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol. 17, No. 2, pp. 226-235.
- [8] Huffman, K. (2015). Identification of External Hazards for Analysis in Probabilistic Risk Assessment. EPRI, EPRI Report 1022997, Palo Alto.
- [9] IAEA (1981). Extreme Meteorological Events in Nuclear Power Siting, Excluding Tropical Cyclones. IAEA, IAEA Safety Series 50-SG-S11A, Vienna, Austria.
- [10] IAEA (1984). Site Survey for Nuclear Power Plants: A Safety Guide. IAEA, IAEA Safety Series No. 50-SG-S9, Vienna, Austria.
- [11] IAEA (1995). Treatment of External Hazards in Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants. IAEA Safety Series No. 50-P-7, Vienna, Austria.
- [12] IAEA (2002). External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants. IAEA, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-3.1, Vienna, Austria.
- [13] IAEA (2003). External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants. IAEA, IAEA Safety Guide No. NS-G-1.5, Vienna, Austria.
- [14] IAEA (2003). Extreme External Events in the Design and Assessment of Nuclear Power Plants. IAEA, IAEA TECDOC-1341, Vienna, Austria.
- [15] IAEA (2003). Flood Hazard for Nuclear Power Plants on Coastal and River Sites. IAEA, IAEA Safety Guide No. NS-G-3.5, Vienna, Austria.
- [16] IAEA (2003). Meteorological Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants. IAEA, IAEA Safety Guide No. NS-G3.4, Vienna, Austria.
- [17] IAEA. (1996). External Man-Induced Events in Relation to Nuclear Power Plants: A Safety Standard. IAEA, IAEA Safety Series No. 50-SG-D5, Vienna, Austria.
- [18] Jordaan, S. M., Siddiqi, A., Kakenmaster, W., Hill, A. C. (2019). "The climate vulnerabilities of global nuclear power." *Global Environmental Politics*, Vol. 19, No. 4, pp. 3-13.
- [19] Kawatsuma, S., Fukushima, M., Okada, T. (2012). "Emergency response by robots to Fukushima-Daiichi accident: summary and lessons learned." *Industrial Robot: An International Journal*, Vol. 39, No. 5, pp. 428-435.
- [20] Kim, N.-W., Lee, J.-W., Joo, G-H., Kim, S.-H. (2020). Korean Climate Change Assessment Report 2020(The



scientific basis for climate change). Korea Meteorological Administration.

- [21] Knochenhauer, M., Louko, P. (2003). Guidance for External Events Analysis. SKI Report 02:27, Swedish Nuclear Ins Pectorate.
- [22] NEA/CSNI. (2009). Probabilistic Safety Analysis (PSA) of Other External Events Than Earthquake. Nuclear Energy Agency Committee on the Safety of Nuclear Installations, NEA/CSNI/R(2009)4, Paris, France.
- [23] Ryu, S.-R. (2022). "A study on the flooding risk assessment of energy storage facilities according to climate change." *Journal of The Korean Society of Disaster Information*, Vol. 18, No. 1, pp. 10-18.
- [24] USNRC (1975). Reactor Safety Study. USNRC, WASH-1400, Washington, D.C., US.
- [25] USNRC (1983). PRA Procedures Guide: A Guide to the Performance of Probabilistic Risk Assessments for Nuclear Power Plants. USNRC, NUREG/CR-2300, Washington, D.C., US.
- [26] USNRC (1987). Evaluation of External Hazards to Nuclear Power Plants in the United States. USNRC, NUREG/CR-5042, Washington, D.C., US.
- [27] USNRC (1991). Procedural and Submittal Guidance for the Individual Plant Examination of External Events (IPEEE) for Severe Accident Vulnerabilities. USNRC, NUREG-1407, Washington, D.C., US.
- [28] USNRC (2009). An Approach for Determining the Technical Adequacy of Probabilistic Risk Assessment Result for Risk-informed Activities, Revision 2. USNRC, Regulatory Guide-1.200, Washington, D.C., US.
- [29] USNRC. (1981). Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants, LWR Edition. USNRC, NUREG-0800, Washington, D.C., US.
- [30] USNRC (2003). Processing Applications for Early Site Permits. USNRC, RS-002, Washington, D.C., US.
- [31] Van Dorsselaere, J.P., Bentaib, A., Albiol, T., Fichot, F., Miassoedov, A., Starflinger, J., Niedermayer, G. (2020). "Safety assessments and severe accidents, impact of external events on nuclear power plants and on mitigation strategies." *EPJ Nuclear Sciences & Technologies*, Vol. 6, 39.