2021 Transactions of Korean Nuclear Society Autumn Meeting

Changwon, Korea, October 21-22, 2021

# **Development of Preliminary Review Guideline** for Multi-Unit PSA

Yongjin LEE, Dongwon LEE, Dongju JANG(KINS)

### Introduction & Purpose

- After the Fukushima accident, domestic and foreign interest in the safety of multiunit has been increased. In Korea, a total of 25 nuclear power plants are currently in operation at four sites: Kori, Wolsung, Hanul, and Hanbit. In addition, each site is a multi-unit site in which at least five units are operating, and the population density near nuclear power plants is relatively high compared to other countries, raising public concerns about the safety of multi-unit site.
- When the Nuclear Safety and Security Commission deliberated on the construction permit for Shin-Kori Units 5,6, the need for safety evaluation of multi-unit risk within a single site was raised. Accordingly, the Nuclear Safety and Security Commission launched a Multi-Unit Risk Research Group(MURRG),

✓ Step 4) Development of methodology for evaluating the priority and importance of each guideline candidate

- Step 4 is to develop a methodology that can evaluate the priority and importance by collecting the evaluation results of the preliminary MUPSA review candidates evaluated by each expert in the step 3. The methodology used to collect and analyze the evaluation results is similar to that of general survey statistics. The response rate for each evaluation criteria was analyzed, and the final score was calculated using the weight for each evaluation criteria.
- ✓ Step 5) Deriving the priority and importance of each candidate based on expert evaluation results
- This step is to derive the priority and importance for each candidate based on the

which is conducting research on regulatory methods and evaluation methodologies for site risk assessment. Therefore, in this study, as a part of the development of the site risk assessment regulatory methodology of MURRG, a review guideline(draft) for Multi-Unit PSA(MUPSA) was developed.

## Domestic conformity assessment to establish MUPSA review guideline

In this section, a system was developed for the domestic conformity assessment of preliminary candidates for MUPSA review guideline, and the diagram is shown in Figure 1 below.



methodology developed in step 4. Examples of priorities and importance evaluation among preliminary candidates for the MUPSA Review Guidelines are as follows.

- Table 1 shows the results of each expert's evaluation of the candidate No. 5 for the MUPSA review guideline drawn as a result of the study.

Table 1. Expert eva	luation result for	preliminary can	didate No. 5	Ta
5. When screening	Analysis possibility			
and removing initiati	Possible	Impossible	Neutral	
ng events, it should	82%	9%	9%	
be checked whether	Regulatory necessity			
the MUCDF contribu	Yes	No	Neutral	
tion is less than 1%	45%	18%	36%	
d is an initiating eve	Licensee acceptability			
nt affecting two or	High	Medium	Low	
more units.	20%	70%	10%	

Table 2. Weight and detailed score for each evaluation criteria					
	Evaluation Criteria	Answer	Score		
	A mah wija wa apila ilitu y	Possible	1		
	Analysis possibility	Impossible	0		
		Neutral	0.5		
	Regulatory necessity (Weight: 0.3)	Yes	1		
		No	0		
		Neutral	0.5		
		High	1		
_	Licensee acceptability (wei	Medium	0.5		
	grit.0.2)	Low	0		

- Using the expert evaluation results in Table 1 and the weights in Table 2, the score for candidate No. 5 of the preliminary review guideline can be calculated as follows.

• Scoring Equation for Preliminary MUPSA Review Guideline No.5

- : [Analysis possibility(0.5) × {possible(82) × 1+Neutral(9) × 0.5}]+ [Regulatory] necessity(0.3)  $\times$  {Yes(45)  $\times$  1} + Neutral(36)  $\times$  0.5] + [Licensee acceptability(0.2) × {High(20) × 1 + Medium(70) × 0.5}] = 73.15
- ✓ Step 6) Development of final MUPSA review guideline(draft)

- In this step, the final review guidelines were derived based on the priority and importance derived through steps 1 to 5 and the qualitative review opinions of each expert.

Step 6

Development of final MUPSA review guideline(draft)

Fig. 1. Domestic conformity assessment system for MUPSA review guidelines

- The details of each step based on the assessment system(Fig.1) are as follows, ✓ Step1) Deduction of preliminary candidates for MUPSA review guideline
- In 2020, IAEA safety report series No. 96 and other domestic and foreign documents which are related to MUPSA were reviewed to derive preliminary candidates for MUPSA review guideline. In addition, this study additionally derived the candidates presented in IAEA SSR-3, which is currently being revised in 2021.

✓ Step 2) Selection of evaluation criteria for domestic conformity assessment - Evaluation criteria were selected for the evaluation of a total of 49 candidates for MUPSA review guideline derived in the step 1. Three items are selected as evaluation criteria: 'Analysis possibility (current level of technology)', 'Regulatory necessity (whether or not overlapping with Single-unit PSA requirements, etc.)', and 'Licensee acceptability'. The reasons for selecting each evaluation criteria are as follows.

· 'Analysis possibility' is the criteria to evaluate the technical level of each candidate. Each evaluator evaluates the relevant items as 'possible' or 'impossible' by judging whether the analysis of the candidate is analyzable at the present time based on the experience of single-unit and multi-unit PSA.

• The 'Regulatory necessity' is the stage to evaluate the regulatory necessity for each candidate based on the current domestic regulatory environment. This item

### Development of MUPSA review guidelines(draft)

In this chapter, the MUPSA review guidelines(draft) were derived based on the contents described in previous chapter. The preliminary MUPSA review guideline candidates were reclassified by each PSA step and detailed element, and the results of the expert's qualitative evaluation are reflected as follows.

### 한국원자력안전기술원(Korea Institute of Nuclear Safety) 다수기 확률론적 안전성평가 검토 임시지침

### 1. 목적 및 배경

신고리 56호기 건설허가 심의 시, 단일 부지 내 다수 원전의 건설 및 운영에 따른 안전성평가 필요성 에 대한 검토가 요구되었으며, 제2차 원자력안전중합계획('16.12.08)에는 다수기 ISA 연구 및 다수기 PSA 규제이행 로 별 수립이 포함되었다. 이에 따라 제63회 원자력안전위원회('16.12.22)에서는 다수기 PSA 규제방법론 연구

개발에 대한 추진계획이 보고되었다. 해당 추진계획의 후속조치로서 원자력안전위원회는 다수기규제검 증사업단을 구성하여 다수기 PSA에 관련된 연구를 수행하였으며, 본 검토 지침의 목적은 다수기 확률론 적 안전성평가(이하 다수기 PSA)에 대한 검토 지침을 제공하는 것이다

### 2. 검토 절차

검토자는 다수기 사고의 발생 원인이 되는 다수기 동시유발 초기사건(내부 및 외부 기인사건)의 선정 및 발생빈도계산과 이에 대처하기 위한 각종 안전 및 보조 섬비의 계통 분석, 다수기 사고 경위 분석 등을 통해 도출된 다수기 PSA 결과의 적합성(다수기 1단계 PSA)을 검토한다. 또한, 다수기 중대사고 발생시 격납건물의 건전성 평가(다수기 2단계 PSA) 및 외부로 방출되는 방사선원항의 소의 결말분석 다수기 3단계 PSA)의 타당성을 검토한다. 본 지침에서는 명시되지 않은 각 단계별 세부요소에 대한 검토가 필요한 경우, 단일기 PSA 검토지침을 활용할 수 있다

2.1 다수기 PSA 일반사항 다수기 PSA 분석을 단입기 PSA 모델을 기반으로 개발할 경우, 각 호기에 대한 특성이 반영되었 으며, 품질요건이 확보된 단일기 PSA 모델이 활용되었는지 확인한다. 다수기 PSA 범위는 단일기 PSA 결과 및 다수기 동시사고를 유법시킬 수 있는 내부 및 외부사건을 중합적으로 고려하여 선정 하였는지 확인한다. 다수기 PSA 수행시 각 호기의 발전소 운전상태의 조합이 발전소 운전경험 및 리스크 중요도 등을 고려하여 적절히 고려되었는지 확인한다. 또한, 각 발전소 운전상태 조합의 시 간 분율이 평가되었는지 확인한다. 발전소운전상태 조합을 단순화하였을 경우, 다수기 리스크 관점 으로 주요한 발전소 우저상태 조합이 누락되지 않았는지 확인하며, 해당 가정사항이 무서화되었 지 확인하다

### 2.2 다수기 1단계 PSA 1) 동시유발 초기사건 분석

다수기 동시사고를 유발시킬 수 있는 공통원인초기사건이 다수기간 구조물과 계통을 공유하는 실 비의 공통원인고장 등을 포함하여 적절하게 선정되었는지 확인하다. 또한 다수기 공통원인초기사 건에 의해 영향을 받는 호기들의 조합이 제시되었는지 확인한다. 초기사건을 선별제거할 경우, 다 수기에 미치는 영향이 적절히 고려되었는지 확인하며, 선별제거에 따른 영향이 충분히 작음을 확 인한다. 다수기 공통초기사건 빈도를 평가할 때, 해당 부지의 부지년수를 기반으로 평가를 수행하 엷느지 확인하며, 국내외 워전에서 발생한 다수기 초기사건 발생사례 자료, 평가대상 부지 고유의

한 <u>부지내</u> 다수 <u>호기간</u> 공유하는 계통 및 구조물이 다수기 PSA에 적절히 고려되었는지 확인한다 다수기 동시 사고가 발생할 경우, 각 호기에 공유되 계통 및 구조물의 이용가능성이 평가되었는지 확인하며, 공유 계통의 우선순위가 적절히 고려되었는지 확인한다. 다수기 공유 계통 및 구조물이 목록화되고, 이용 불능시 각 호기에 미치는 영향이 평가되었는지 확인한다 3) 사고경위 분석 다수기 사고경위 분석 시, 다수기에 공통으로 영향을 미치는 공유 계통 및 구조물이 적절히 고려 대응에 필요한 조직 및 운전원행 인적행위간 종속성을 고려 하여야 하며, 공유된 계통, 공통 주제어실, 공통 기술지원실과의 상호작용 및 내 외부 재해에 따른 다수기 초기사건의 발생 및 이후 사고의 진행에 ' 적절히 고려하였는지 확인한다. 다음과 같은 호기 간 중속성 (Inter-unit dependency) 인자들에 대 한 선정 및 그 영향의 평가가 적점히 수행되었는지 확인한다 동일설계 설비(Identical SSCs)로 인한 종속성 공유 설비(Shared SSCs)로 인한 종속성 물리적 근접성(Physical proximity)으로 인한 종속성 인적요인(Human aspect)으로 인한 종속성 조직적요인(Organizational aspect)으로 인한 중속식 기타 원인으로 인한 중속성 이러한 종속성 인자들의 선정 및 그 영향의 평가에 평가대상 부지 고유의 특성, 설계자료 및 운 전경험 등이 고려되었는지 확인한다. 또한 정성적 혹은 정량적 선별분석을 통해 분석에서 제외된 중속성 인자에 대하여 타당한 근거가 제시되었는지 확인한다. 호기 간 중속성 또는 다른 원인으로 인한 호기 간 공통원인고장 (IUCCF : Inter-Unit Common Cause Failure)의 선정 및 그 영향의 평 가가 적절히 수행되었는지 확인한다. 만약 호기 간 공통원인고장의 선정 및 그 영향평가에서 정성 정량화는 부지내 각 호기의 노심손상 상태 등의 사고 조건을 종합적으로 고려하여 수행하였는지 확인한다. 다수기 PSA 정량화 결과로 도출된 최소단절집합은 동시유발 초기사건, 공유계통 등의 다 수기 리스크 관점에서 중요한 요소를 모두 고려하여 분석되었는지 확인한디

지 확인한다. 분석의 단순화를 위해 각 호기별 발전소손상상태를 가정하였을 경우, 각 호기별 기 정사항이 타당한지 확인한다. 또한, 서로 다른 발전소손상상태의 가정은 동시 방출의 확률을 김 소시키므로 동일한 발전소손상상태를 가정하였을 때와의 차이를 확인한다 ) 다수기 운전상태 다수기 PSA가 전출력 및 정지저출력 운전모드를 포함한 모든 운전상태를 대상으로 수행되었을 경우, 각 호기의 운전상태에 상응하는 방출군 분석이 수행되었는지 확인한다 3) 다수기 격납건물 손상빈도 다수기 격납건물 손상빈도를 평가할 때, 단일기 PSA 결과로 도출된 주요 격납건물 손상빈도의 경우와 단일기 PSA 결과로 주요 격납건물 손상 경위로 도출되지 않았지만 다수의 호기에서 격납 건물 손상 조합으로 인해 주요 격납건물 손상 경위로 분석된 격납건물 손상빈도를 포함하여 평 가하였는지 확인한다 4) 다수기 선원항 분석 다수기 선원항 분석 시, 각 호기별 초기사건 당시의 발전소 운전상태, 사고 전 원자력 출력상태 사고 경위의 정의, 방출 시점, 방출 위치 및 방출 열에너지 등을 포함하여 분석하였는지 확인한 5) 다수기 결과 해석 다수기 2단계 PSA 분석을 통해, 격납건물의 주요 사고 경위와 리스크 기여인자가 중요도 분석 등을 통해 적절히 도출되었는지 확인한다. 24 다수기 3단계 PSA 1) 다수기 선원항 분석 다수기 선원항 분석시 다수기 2단계 PSA 분석을 통해 도출된 선원항이 모두 고려되어야 하며, 각 호기별 방출되는 선원항의 조합을 고려하여 평가하였는지 확인한다. 또한, 방출시점에 대해 상세분석이 수행되지 않았을 경우, 모든 호기의 동시 방출을 가정하여 평가한 결과와의 차이를 확인한다. ) 다수기 건강영향 평가 선원항을 중배하여 다수기 건강영향 평가를 수행할 경우, 초기 및 후기 건강영향평가 시 사용된 선량모델(문턱선량 없는 비례모델 등)이 적절하게 선정되었는지 확인한다. ) 다수기 비상대응조치 다수기 사고를 유발시키는 외부재해에 대한 비상대응조치를 고려할 경우, 보호조치를 실현할 \* 있는 기반 시설에 대한 피해를 고려하여 비상대응조치를 모델링하였는지 확인한다. 검토 결과 사업자가 제출한 다수기 PSA에서 사용한 방법론, 가정사항 및 근거 등이 타당한지 확인한다. 5

한 다수기 PSA 결과가 신규 호기 건설로 인해 증가되는 리스크 수준이 다수기 리스크 관점에서

### Fig. 2. preliminary review guideline for multi-unit PSA

English version of preliminary review guideline for multi-unit PSA can be found in the article. ('Development of Preliminary Review Guideline for Multi-Unit PSA')

evaluates 'Yes' or 'No' by comprehensively considering redundancy and consistency with the current PSA regulatory requirements for single-unit. · 'Licensee acceptability' is a stage to evaluate the acceptability of licensee for each candidate and comprehensively evaluate the cost-benefit of applying the requirements. In this item, the evaluator classifies licensee acceptability into 'high', 'medium', or 'low'.

✓ Step 3) Request for qualitative & quantitative evaluation by domestic PSA expert - The preliminary MUPSA candidates analyzed in step 1 are requested to be reviewed by PSA experts in Korea Institute of Nuclear safety (KINS) based on the evaluation criteria selected in step 2. The evaluation was conducted by a total of 11 experts, ranging from members with at least 3 years of PSA review and research experience to experts with up to 30 years of experience. When it is difficult to judge the evaluation of each sub-item during expert evaluation, it is possible to select 'Neutral' to avoid biased analysis.

### Conclusion

In this study, domestic conformity evaluation system for candidates of preliminary MUPSA review guideline was developed, and expert evaluation was performed to develop the MUPSA review guideline(draft). The priority and importance of each preliminary candidate were derived using the expert evaluation results, and detailed reviews were performed on the preliminary candidates that obtained less than the specific score. The final MUPSA review guideline(draft) were developed by comprehensively analyzing the expert evaluation results and domestic single-unit PSA review guideline.

The developed MUPSA review guideline is expected to be used as a basis for review when evaluation of MUPSA is required as a national policy in the future.

### Korea Institute of Nuclear Safety