제 201회 원자력안전위원회

| 의안번호 | 제 2 호 | 심의의결사항 |
|---|---|---|
| 보고일자 | 2024. 9. 26. | |
| 공개여부 | 공개 | |

# SMART100 표준설계인가(안)

| 제 출 자 | 원자력안전위원회<br>위원장 유 국 희 |
|---|---|
| 제출일자 | 2024. 9. 26. |

(공란)

## 1. 의결 주문

○ SMART100 표준설계인가(안)을 별지와 같이 의결한다.

## 2. 제안이유

○ 한국수력원자력(주), 한국원자력연구원, 사우디 왕립원자력신재생에너지원이 공동으로 신청한 SMART100 표준설계인가에 대한 한국원자력안전기술원의 심사 결과와 원자력안전전문위원회가 해당 심사 결과에 대해 사전 검토한 결과를 바탕으로 SMART100 표준설계인가 여부를 결정하고자 함

## 3. 주요 내용

### 가. 표준설계인가 신청개요

○ 신청자 : 한국수력원자력(주), 한국원자력연구원, 사우디 왕립원자력신재생에너지원

○ 원자로 : 열출력 365 MWt급 가압경수로

○ 설계 수명 : 60년

○ 신청 서류 : 「원자력안전법」 제12조 및 동법 시행규칙 제9조에 따라 제출된 서류 총 6종

- 표준설계기술서, 원자로의 사용목적에 관한 설명서, 원자로의 설계에 관한 기술능력의 설명서, 표준설계안전성분석보고서, 사고관리계획서 작성계획서, 정관

나. 주요 경과

○ 2019.12.30. : SMART100 표준설계인가 신청

※ 서류적합성 검토 및 신청 서류 보완('20.1.~'21.8.)

○ 2021.08.17. : SMART100 표준설계인가 심사 착수

○ 2023.05.~11. : 원자력안전전문위원회 심사 현황 등 보고

○ 2024.04.~05. : SMART100 표준설계인가 심사 결과에 대한 원자력안전전문위원회 사전 검토

○ 2024.07.11. : 원자력안전위원회 표준설계인가 심사 결과 보고

## 4. 검토사항

가. 【붙임 1】 SMART100 표준설계인가 심사 결과

※ SMART100 표준설계인가 심사보고서(별책 1)

나. 【붙임 2】 원자력안전전문위원회 사전 검토 결과

※ SMART100 표준설계인가 심사 결과에 대한 전문위 사전 검토 결과(별책 2)

| 별 지 | SMART100 표준설계인가 주요 내용 |
|---|---|

## 1. 인가 대상

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 신청자 | 법인명 | 한국수력원자력(주) | 한국원자력연구원 | 사우디 왕립원자력 신재생에너지원 |
| | 대표자 | 황주호 | 주한규 | H.H. Dr. MAMDOOH AL SAUD |
| 원자로 | 명칭 | 스마트100 (SMART100) | | |
| | 종류 | 일체형가압경수로 | | |
| | 용량 | 열출력 365MWt (전기출력 110MWe) | | |

## 2. 인가 사항

○ 상기 SMART100 원자로에 대하여 「원자력안전법」 제12조제5항에 따라 원자로 및 관계시설의 표준설계를 인가함

## 3. 인가 문서

○ 표준설계기술서

○ 원자로의 사용목적에 관한 설명서

○ 원자로의 설계에 관한 기술능력의 설명서

○ 표준설계안전성분석보고서

○ 사고관리계획서 작성계획서

**붙임 1** **SMART100 표준설계인가 심사 결과**

# I. 표준설계인가 심사 개요

## ❑ 표준설계인가 개요

○ 원자력안전법 제12조에 따라 표준설계인가는 **같은 설계**의 발전용원자로 및 관계시설을 **반복적으로 건설하려는 자**가 그 **설계에 관하여 인가**받을 수 있는 제도로,

- **새로운 기술의 지속적인 반영**이 필요한 사항 등에 대해서는 **표준설계에서 제외**할 수 있으며
- 표준설계인가 **유효기간(인가 후 10년) 내**에 **건설·운영허가 신청 시 허가 신청서류**에 **인가를 받은 사항**은 **기재하지 아니할 수 있음**

○ 원자력안전법 제12조 및 동법 시행규칙 제9조에 따른 **표준설계인가 신청서류***에 **기술한 사항의 적합성을 심사**하여,

* ①표준설계기술서 ②원자로의 사용목적에 관한 설명서 ③원자로의 설계에 관한 기술능력의 설명서 ④표준설계안전성분석보고서 ⑤사고관리계획서 작성계획서 ⑥정관

※ 시행규칙 제9조에 따라 표준설계안전성분석보고서 등에 **원자로시설의 건설·운영 관련 사항** 등 포함하기에 적합하지 아니한 사항은 **기재하지 아니할 수 있음**

○ **심사 결과**가 같은 법 제12조제5항의 **인가기준에 적합함을 확인**

1. 원자로 및 관계시설의 **위치·구조·설비 및 성능이 위원회 규칙으로 정하는 기술기준*에 적합**하여 방사성물질 등에 따른 인체·물체 및 공공의 재해방지에 지장이 없을 것

* 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙

- 원자로규칙 제1절(제4조～제10조) / 원자로규칙 제2절(제11조～제49조)

2. 원자로 및 관계시설의 건설 및 운영으로 발생되는 **방사성물질 등으로부터 국민의 건강 및 환경상의 위해 방지를 위한 대통령령으로 정하는 기준*에 적합**할 것

* 원자력안전법 시행령 제174조(환경상의 위해방지)

## ❑ SMART100 표준설계인가 신청 개요

[표 1] SMART100 표준설계인가 신청 개요

| 원자로의 명칭 | 스마트100 (SMART100) | | |
|---|---|---|---|
| 원자로의 종류 | 일체형가압경수로 | 열출력[전기출력] | 365 MWt[110 MWe] |
| 신 청 자 | 한국수력원자력(주)·한국원자력연구원·사우디 왕립원자력신재생에너지원 | | |
| 신 청 일 | 2019.12.30. | 설계수명 | 60년 |

※ 2012.7. 표준설계인가 받은 SMART 대비 안전계통 등의 설계를 변경한 노형

## ❑ SMART100 심사 주안점

○ **원자로를 안전한 상태로 유지**하기 위해 도입한 **피동안전계통**에 대한 **성능 및 안전성** 평가

○ 피동안전계통 도입으로 노심 냉각 및 격납영역 건전성 유지를 위한 전원으로 소외전원이 사용되지 않음에 따라 **소외전력계통의 원자로규칙 예외 적용**을 위한 **안전성 및 기술적 타당성** 검토

[표 2] SMART100 주요 설계 변경사항

| 구 분 | SMART | SMART100 |
|---|---|---|
| 열출력(전기출력) | 330 MWt(100 MWe) | 365 MWt(110 MWe) |
| 재장전 주기 | 36개월 | 30개월 |
| 안전계통 | 능동+피동[1] | **피동[2]** |
| 비상전력 | 비상디젤발전기 | 축전지 |
| 안전기능 구동력 | 교류전력+자연력 | **직류전력+자연력** |
| 운전원 조치 여유시간 | 30분 | 72시간 |
| 격납건물 | 돔형/실린더 | 아치형/사각 |

1) 능동: 안전주입계통, 안전감압계통, 격납건물살수계통, 정지냉각계통 / **피동: 피동잔열제거계통**

2) **피동: 피동안전주입계통, 자동감압계통, 격납건물압력및방사능저감계통, 피동잔열제거계통**

# Ⅱ. 심사 경위

## ❑ 주요 경위

○ 2019.12.30. : SMART100 표준설계인가 신청

○ 2021.08.13. : 제145회 원자력안전위원회 **서류적합성 검토 결과** 및 **심사 계획 보고**

○ 2021.08.17. : 서류적합성 검토 결과 및 심사 계획 신청자 통보, **표준설계인가 심사 착수**

○ 2021.08.17.~2024.04.02. : 총 12차례 2,621건 심사 질의·답변

## ❑ 원자력안전전문위원회 보고

○ 2023.05.12. : 제95회 원자력안전전문위원회 **표준설계인가 개요** 보고

○ 2023.06.02. : 제96회 원자력안전전문위원회 **SMART100 설계특성** 보고

○ 2023.07.07. : 제97회 원자력안전전문위원회 **설계특성 보고에 따른 질의응답** 보고

○ 2023.11.03. : 제98회 원자력안전전문위원회 **SMART100 심사현황** 보고

○ 2024.04.19. : 제103회 원자력안전전문위원회 **SMART100 표준설계인가 심사 결과** 보고(1차)

○ 2024.05.17. : 제104회 원자력안전전문위원회 **SMART100 표준설계인가 심사 결과** 보고(2차)

## ❑ 실무검토위원회 운영

○ 2023.12.01.~2024.03.15. : **피동안전계통 실무검토위원회** 운영(총 3회)

※ 제98회 전문위원회를 통해 피동안전계통 추가 검토 결정

○ 2024.05.02.~2024.05.27. : **소외전력계통 실무검토위원회** 운영(총 2회)

※ 제103회 전문위원회를 통해 소외전력계통 추가 검토 결정

# Ⅲ. 심사 주요 결과

## 가. 원자로 및 관계시설의 위치 · 구조 · 설비 및 성능(원안법 제12조제5항제1호)

### ❑ 부지안전성

○ 표준설계인가는 부지가 확정되지 않아 **포괄부지를 적용**하며, **구조물, 계통 및 기기의 설계**를 위한 **포괄부지변수**(지질 및 지진, 수문 및 기상 등)가 **적절히 설정**되었음을 확인

- 설계지진동(0.3g) 및 응답스펙트럼은 신형원전(APR1400)과 동일하며, **기초지반의 최소전단파속도**(830 m/s)는 적합(300 m/s 이상)
- 지하수위, 홍수위, 풍속 등 수문 및 기상 특성은 **국내 원전 설계 자료에 근거하여 설정**되었으며, 설계규격에 따라 **구조물의 설계 하중으로 변환**되었으므로 적합

○ 가상사고(냉각재상실사고) 시 제한구역경계에서 **최대 피폭선량은 허용치 이하***로 **제한구역(300m) 설정은 적합**

* 갑상선선량 829mSv(허용치 3,000mSv), 전신선량 15.4mSv(허용치 250mSv)

### ❑ 핵연료 및 노심설계

○ 최대연소도(54 GWD/MTU)까지 **핵연료의 건전성이 확보**됨을 확인

- 정상운전 및 예상운전과도 조건에서 **연료봉의 피복관 산화막 두께** (39.17μm〈100μm) 및 **수소화** (397ppm〈600ppm) 등에 대한 **설계기준 만족**

○ **노심 출력분포**는 정상운전 및 예상운전과도 조건에서 **연료허용 손상한계를 초과하지 않도록** 불확실성을 고려하여 **보수적으로 설정**되었음을 확인

- 초기노심의 **3차원 출력첨두계수**는 **설계목표치 대비 약 9%의 여유도가 확보**됨을 확인

❑ 원자로냉각재계통

○ 원자로냉각에 관련된 **계통 및 기기**는 **구조적 건전성 및 성능 요건에 적합하도록 설계**됨을 확인

- **원자로냉각재계통**은 안전기능의 중요도에 상응하는 **등급 및 등급별 규격에 따라 설계**되어 **안전등급 및 규격 규정**을 **만족**

- **원자로압력용기는** 설계수명(60년) 동안 **예상 중성자 조사량**($4.47 \times 10^{14}$ n/㎠)에도 **건전성*이 확보**되므로 **감시시험 기준**을 **만족**

* 수명말기 예상 가압열충격온도(축방향 용접재 8.1℃)가 허용기준(132.2℃이하)을 만족

- 원자로냉각재계통의 **과압보호**는 가압기 **안전밸브**, 피동잔열제거계통 **안전방출밸브**에 의해 **설계압력 110% 이내로 유지**되도록 설계되어 **안전밸브 규정**을 **만족**

❑ 원자로보호계통

○ **원자로보호계통은** 단일고장기준, 채널의 독립성 및 다중성 등의 **설계 요건에 적합**하도록 설계됨을 확인

- 단일고장을 고려하여 **독립적인 4채널로 설계**됨을 확인

- **소프트웨어 공통원인고장**을 **대비** 다양성보호계통, 다양성 수동 공학적안전설비 작동스위치, 다양성지시계통 등이 설계되어 **심층방어 및 다양성을 만족**함을 확인

❑ 원자로격납건물

○ 격납건물영역은 원자로 계통을 보호하고 냉각재상실사고 시, 외부로 **방사성물질 누출을 최소화**하는 **방호벽 기능이 유지**됨을 확인

- **격납건물 상·하부영역 설계압력**(190 kPa/350 kPa)은 냉각재상실사고 시 최대압력(136 kPa/271 kPa) 대비 **10% 이상**의 **여유도 확보**

- 안전심사지침을 보수적*으로 적용한 **격납건물영역 극한내압능력**이 **설계기준압력의 약 4.3배**(상부영역 계기압력 기준)의 **여유도 확보**

* 철근콘크리트 구조(변형률 1%)이나 프리스트레스트 콘크리트 변형률 기준(0.4%) 적용

❏ 피동안전계통

○ 피동안전계통은 **다중성, 독립성, 격리기능을 확보**하고 있으며, 단일고장 시에도 요구되는 **안전기능을 수행할 수 있도록 설계**되었음을 확인

※ 피동안전계통에 대한 세부 심사 결과는 Ⅳ. 가. 참조

❏ 전력공급설비

○ 전력계통은 각 계열별로 **충분한 용량과 다중성, 독립성 등의 기준에 적합**하도록 설계됨을 확인

- **독립적인 4채널**로 설계된 **안전등급 소내직류전원**은 단일고장이 발생하더라도 피동안전계통의 **안전기능에 영향을 미치지 않음**을 확인

❏ 사용후핵연료 저장설비

○ 사용후핵연료저장조 냉각 및 정화계통 등의 **사용후핵연료 저장설비 설계 방법 및 성능**이 **붕괴열 제거에 적합**함을 확인

- **사용후핵연료저장조의 저장용량**은 1회 전노심방출과 정상방출주기의 최대용량을 합한 것(93개)보다 크게 설계(510개)되어 **적합**

- 모든 열부하 조건에서 보충수 없이 최소 **72시간 동안 냉각이 가능**하며, 이후 보충수를 제공받아 **수위 유지가 가능**함을 확인

◈ 설계에 고려한 포괄부지는 잠재적 대상 부지의 특성을 포함하고 있으며, 원자로 및 관계시설의 구조·설비 및 성능이 관련 요건을 만족하도록 설계되었음을 확인

## 나. 국민 건강 및 환경상 위해방지의 적합성(원안법 제12조제5항제2호)

### ❑ 배출물의 방사능농도

○ 시설에서 배출되는 액체·기체 상태의 **방사성물질의 농도가 기준에 적합**

- 설계기준 방사선원항을 이용한 **제한구역경계에서 예상 방사능농도**가 기준치인 **배출관리기준**(원안위고시 제2019-10호 제6조)을 **만족**

[표 3] 유출물의 배출관리기준 만족여부 평가결과

| 요 건 | | 기준치 | 평가결과 |
|---|---|---|---|
| 기체 배출물 | 배출관리기준 대비 방사능농도 분율의 합 | 1 | 0.0984 |
| 액체 배출물 | 배출관리기준 대비 방사능농도 분율의 합 | 1 | 0.0354 |

### ❑ 배출물로 인한 방사선량

○ 배출이 예상되는 방사성폐기물로 인한 **방사선량이 국민의 건강 및 환경상의 위해방지를 위한 선량기준에 적합**함을 확인

- 예상선원항을 이용한 **제한구역경계에서 주민피폭선량**이 **기준치인 시설의 설계에 적용할 선량기준**(원안위고시 제2019-10호 제16조)을 **만족**

[표 4] 유출물의 단일호기 선량기준 만족여부 평가결과

| 요 건 | | 기준치 | 평가결과 |
|---|---|---|---|
| 기 체 배출물 | 감마선에 의한 공기 흡수선량(mGy/yr) | 0.10 | 0.0049 |
| | 베타선에 의한 공기 흡수선량(mGy/yr) | 0.20 | 0.0526 |
| | 외부피폭에 의한 유효선량(mSv/yr) | 0.05 | 0.0025 |
| | 외부피폭에 의한 피부등가선량(mSv/yr) | 0.15 | 0.0325 |
| | 입자상 방사성물질 등에 의한 인체장기 등가선량(mSv/yr) | 0.15 | 0.0382 |
| 액 체 배출물 | 유효선량(mSv/yr) | 0.03 | 0.0014 |
| | 인체장기 등가선량(mSv/yr) | 0.10 | 0.0081 |

◈ 원자로시설 운영 시 소외로 배출되는 방사성물질의 영향이 관련 기준을 만족할 수 있도록 설계되었음을 확인

# Ⅳ. 중점 심사 사항 검토 결과

## 가. 피동안전계통 안전성 검토

### ❑ 피동안전주입계통

○ (요건) 잔열제거기능 상실 또는 냉각재상실사고 시 **안전유지에 필요한 노심 열제거 능력**을 갖춘 **비상노심냉각장치를 설치**

- **비상노심냉각수 주입**을 통한 **노심냉각 및 미임계 유지**

○ (검토내용) **보수적 평가방법론**을 적용한 **냉각재상실사고 해석*** 결과, **노심 노출 없이** 핵연료 피복재 최고온도(352.8 ℃), 피복재 최대산화(0.0005 % 미만), 최대 수소 생성률(0.0002 % 미만)이 **허용기준** 만족

* 비상노심냉각계통의 성능에 관한 기준(원안위고시 제2017-23호)에 따라 보수적으로 평가, 최대 내경 50 mm 노즐을 통해 냉각재가 방출되는 소형파단냉각재상실사고 고려

** 피복재 최고온도: 1,204 ℃이하, 피복재 최대산화: 17 %이하, 최대 수소 생성률: 1 %이하

- 장기냉각 해석은 **냉각재상실사고 해석 결과를 적용**하여 수행하였고, 노심 내 **최대붕소농도가 석출 제한치**(27 wt%) **미만으로 유지**됨을 확인

※ 해석코드(TASS/SMR-S)의 적용성은 상관식 및 실험 평가 검토 등을 통해 확인

○ (검토결과) 냉각재상실사고 시 안전유지에 필요한 **노심 열제거 능력을 확보**하여 **원자로규칙 제30조**(비상노심냉각장치)를 **만족**

### ❑ 피동잔열제거계통

○ (요건) 핵분열생성물에 의한 붕괴열을 포함한 원자로 **노심의 잔열을 제거하기 위한 설비**를 설치

※ 신청자는 원자로 **정지 후 36시간 내** 원자로냉각재를 **안전정지 상태*로 냉각**하고 **72시간까지 유지**하도록 설계 기준 제시

* 피동형원전의 안전정지 온도(≤ 215.6℃) 적용(KINS 규제지침 7.12)

○ **(검토내용)** 전출력에서 안전정지 도달 및 72시간까지 유지하는 **잔열제거 설계가 적합**함

- **비상냉각탱크**는 피동잔열제거계통 열교환기 상단 노출없이 잔열을 제거할 수 있는 **충분한 용량으로 설계**되었음을 확인
- 원자로냉각재 최대 냉각률(약 14 ℃/hr)이 설계제한치(≤40 ℃/hr) 만족

○ **(검토결과)** 원자로 **붕괴열 및 노심의 잔열을 제거**할 수 있는 설비로 적합하여 **원자로규칙 제29조**(잔열제거설비)를 **만족**

❑ 자동감압계통

○ (요건 및 검토내용)

1) **냉각재상실사고 시** 원자로냉각재계통에 **자동감압 기능 제공**

- 노심보충탱크 및 안전주입탱크에 의한 **안전주입 개시 이후** 자동감압계통에 의해 **원자로냉각재계통이 감압됨**을 확인

2) 2차측 급수계통이 상실되는 경우 1차 계통 냉각을 가능하게 하는 **급속감압 성능 요구**

※ SMART100은 보조급수계통이 아닌 피동잔열제거계통을 적용, 피동잔열제거계통의 상실을 가정하는 2차측열제거완전상실사고로 대체

- **2차측열제거완전상실사고 시** 원자로냉각재계통을 감압시켜 피동안전주입계통의 운전이 가능하게 하여 **노심 손상이 방지**됨을 확인
- **격리 및 방출밸브는** 운전원이 주제어실에서 **원격 수동제어가 가능**함을 확인

○ **(검토결과)** 냉각재상실사고 시 **자동감압** 및 2차측열제거완전상실사고 시 **급속감압**을 **제공**할 수 있는 **설비로 적합**

❑ 격납건물압력및방사능저감계통

○ (요건) 설계에 고려되는 모든 사고 조건에 대해 **방사성물질 누출이 최소화**되도록 **누설밀봉 방호벽기능**을 갖추어야 함

○ (검토내용) 설계기준사고 후 **격납건물영역의 구조적 건전성이 유지**되고, 적절한 **격납건물 열제거 수단이 구비**되어 있음을 확인

- 설계기준사고 시 **격납건물 상부영역 및 하부영역의 최대압력**은 설계압력 대비 각각 약 22.6% 및 28.4%의 **여유도를 가지므로 구조적 건전성을 유지**할 수 있음을 확인

- 피동계통의 특성을 반영하여 제시된 **감압 및 열제거 성능이 적절**함

① 사고 후 72시간 동안 격납건물영역 압력의 급격한 상승을 억제
② 72시간 이후 격납건물영역 압력을 추가로 감소
③ 원자로냉각재계통 정지냉각 개시 후 장기냉각 운전을 통해 격납건물영역 압력이 초기수준으로 회복

- 사고 시 **보수적 선량평가***를 통해 부지경계에서 선량값이 **10CFR100.11 제한치 이내임**을 확인

* SMART100은 사고 전 기간 최대 누설률 0.1 vol.%/day 적용(APR1400 노형의 경우 사고 발생 24시간 이후에는 0.05 vol.%/day 적용)

○ (검토결과) 외부로 **방사성물질 누출을 최소화**하는 **방호벽 기능이 유지**되므로 **원자로규칙 제23조**(격납건물 등)를 **만족**

## 나. 사고관리계획서 작성계획서

❑ **사고관리의 개요, 사고관리능력 평가** 및 **비상운전절차서 작성계획**에 관한 사항이 **원안위고시 제2017-34호**(사고관리평가규정) 및 **제2017-35호**(사고관리계획서 작성규정)를 **만족**

○ **사고목록은** 구체적으로 **분류***되었으며, 사고관리 설비 목록에는 **사고관리 전략에 포함된** 모든 설비가 포함되어 있고 해당 **설비의 기능 등이 기술**되어 있어 적합

* 설계기준사고, 다중고장사고, 설계기준초과 외부재해(자연재해 및 항공기 충돌의 인위적 재해 포함) 및 중대사고

○ **중대사고 예방 및 완화 능력 평가** 결과는,

- 다중고장사고 시에 **핵연료의 현저한 손상을 방지**하고, 설계기준초과 자연재해·인위적재해 발생 시에 **필수 안전 기능 복구·유지가 가능**하며,
- 중대사고 시에 **격납건물의 방호벽기능 상실 방지**에 대한 요건을 만족하므로 적합

○ **확률론적 안전성평가**의 기술적 적합성, 상세성 및 분석 범위가 사고로 인한 **위험도를 종합적으로 평가하기에 적합**

- **노심손상빈도(CDF), 대량조기방출빈도(LERF)** 및 **Cs-137 100 TBq 초과방출사고 빈도**가 각각 $6.74\times10^{-7}$/년, $7.91\times10^{-8}$/년, $7.91\times10^{-8}$/년으로 **성능 목표***를 **만족**하는 것으로 확인

* CDF<$1.0\times10^{-5}$/년, LERF<$1.0\times10^{-6}$/년, Cs-137 100TBq 초과방출빈도<$1.0\times10^{-6}$/년

○ 사고가 확대되는 것을 방지하고 사고의 영향을 완화하기 위한 **비상운전절차서 작성계획이 타당함**을 확인

# V. 심사 결과 종합

❏ 표준설계안전성분석보고서를 비롯한 SMART100 **표준설계인가 신청 서류에 대한 심사 결과,「원자력안전법」제12조제5항의 인가 기준에 부합함**

○ SMART100 원자로 및 관계시설의 **위치·구조·설비 및 성능**이 원자로규칙으로 정하는 **기술기준에 적합**

○ 건설 및 운영으로 인하여 발생되는 방사성물질등으로부터 국민의 건강 및 **환경상의 위해를 방지**하기 위하여 **대통령령으로 정하는 기준에 적합**

- 제한구역경계에서의 방사성물질의 농도 및 연간선량이 관련 요건에 적합하여 **원안법 시행령 제174조에 부합함**

**붙임 2** **원자력안전전문위원회 사전 검토 결과**

## 1 검토 경위

□ KINS의 SMART100 표준설계인가 심사 결과에 대해 검토 회의 등 총 6회 회의 및 2개 분야 실무검토위원회를 통해 적합성 검토

○ SMART100 설계 특성, 심사 현황 등에 대한 사전 검토(4회, '23.5.~11.)

○ 신청 서류에 대한 전반적인 검토 및 질의·응답을 통해 심사 결과가 원자력안전법 제12조제5항의 인가기준에 부합하는지 확인('24.4.19, 5.17.)

- 전문위원회 사전 검토가 진행되는 동안 피동안전계통 및 전력계통에 대한 심층 검토를 위해 실무검토위원회 운영

□ 전문위 검토 종료 후 분야별 안전성 확인 사항 및 실무검토위원회 검토 결과 등을 정리하여 결과보고서 작성 및 채택('24.6.19.)

○ 경수형 소형원자로의 특징을 고려하여 SMART 심사 결과 비교, 해외 인허가 사례 참조 등을 통해 주요 안전 현안 위주로 검토

## 2 주요 검토 내용

### □ 노심 해석코드 불확실도 검토

○ 노심 설계 전산프로그램인 DeCART2D/MASTER의 불확실도 평가 시 기존 코드 평가 결과 사용에 대한 적합성 검토

- CASMO-3/MASTER* 대비 DeCART2D/MASTER의 불확실도가 작게 평가되어, 보수적으로 기존 CASMO-3/MASTER의 불확실도를 적용함을 확인

* SMART('12.7월 표준설계인가) 노형은 CASMO-3/MASTER 체계 사용

## □ 안전주입탱크의 압력손실계수 검토

○ **사고 시 원활한 안전주입**을 위해 중력 수두로 주입되는 **안전주입 탱크 주입 배관**의 **압력손실계수가 높게 설정된 배경** 검토

- **72시간까지 안전주입을 지속**해야 하는 **피동 안전주입 특성**을 고려하여, 안전주입탱크 **주입유량 제한**을 위해 **안전주입배관 압력손실계수가 높게 설정***되었음을 확인

* 압력손실계수의 대부분은 안전주입배관에 설치된 오리피스가 차지

- 사고 후 72시간 동안 **원자로냉각재계통의 냉각 및 수위 유지**를 위해 **안전해석 및 검증시험**을 통해 **안전주입이 적합함**을 확인

## □ 원자로냉각재펌프 설계 적합성 확인

○ **캔드 모터 원자로냉각재펌프의 관성서행**을 TASS/SMR-S **코드 내에서 구현한 방법**에 대해 검토

- TASS/SMR-S 펌프모델은 유체의 관성을 제외하고 **회전축의 관성만으로 평가**하여 **보수적인 관성서행 특성을 반영**하였으며,

- 원자로냉각재펌프 **관성서행 단위실험**을 통해 **펌프모델을 검증**함

## □ 증기발생기의 유동 불안정성 확인

○ **관류형 증기발생기**의 **유동불안정성 완화 설계**에 대한 검토

- **전열관 입구**에 스크류 형태의 **오리피스가 설치**되고, **유동 안정 범위에서 운전**되도록 실험 결과 등을 통해 **오리피스 저항을 결정**하였으며,

- SMART100 **출력운전 범위**는 유동 불안정성을 고려하여 **20~100%로 설정**되었으며, **SMART-ITL 실험**을 통해 **유동불안정성이 발생하는 영역**이 **출력 10% 이하**임을 확인

## □ 역지 밸브의 단일고장 기준 적용 검토

○ 피동안전계통의 역지밸브는 안전 중요도가 높고 상용로 대비 구동력이 작으므로, 이에 따른 단일고장 기준 적용 여부 검토

- 피동안전계통 역지밸브는 시험자료 또는 유사계통 운전경험 자료 등 종합평가를 통해 역지밸브의 작동성을 보증할 수 있는 경우를 제외하고는 단일고장 기준*을 적용하며,

* 경수로형 원전 규제지침 7.12(피동형 안전계통 설계)

- SMART100의 경우 역지밸브의 작동성이 보증되지 않았으므로 단일고장 기준이 적용되었음을 확인

## □ 보조격납건물살수계통 냉각성능 검토

○ 후쿠시마 후속조치에서 요구하는 격납건물 감압 대책인 격납건물 상부영역 보조격납건물살수계통의 냉각성능 검토

- 보조격납건물살수계통의 냉각성능은 사고 후 72시간 시점에 최소설계유량 200 gpm으로 작동하는 것으로 가정하였으며,

- 보조격납건물살수계통 작동 시 온도와 압력이 모두 감소하고 안정적으로 유지되므로 요구하는 냉각성능을 갖추었음을 확인

## □ 축전지실 화재방호 설계의 적절성 확인

○ 축전지실의 화재방호 안전성에 대한 검토

- SMART100 축전지는 상용로와 동일한 납축전지이며, 축전지실의 수소농도를 1% 이내로 제한하여 관련 기준 만족

- 축전지실은 3시간 내화방벽을 갖추고 있고, 감지기 설치, 소화설비 배치 등을 통해 화재·폭발 방호가 가능함을 확인

## □ 실무검토위원회를 통한 심사 현안 검토

**<피동안전계통>**

○ **(안전성 검토)** 피동안전계통의 **설계 개념, 계통 설계, 안전해석 결과** 등을 전반적으로 검토하였으며, **피동안전계통의 여유도, 검증계산** 및 **원자로격납건물 열제거계통 설계·성능** 등에 대해 중점 검토

- 검토 결과, **노심에 충분한 열수력학적 여유도가 있음**을 확인하였고, **검증계산**을 통해 **거동의 유사성과 열수력학적 여유도**를 확인하는 등 **피동안전계통에서 요구되는 고유 기능을 적합**하게 수행하며, **성능 및 안전성 등이 적합**한 것으로 확인

○ **(제언 및 권고사항)**

- 구동력이 작은 피동안전계통 특성상 **상세 인자의 과도 거동에 대한 안전해석 코드의 분석 결과에는 불확실성이 존재**하므로, 향후 **코드의 피동안전계통 분석 능력**에 대한 **지속적 검증·개선** 권장

- **표준설계 단계**의 **확률론적안전성평가(PSA)**에서 **피동안전계통의 실패 가능성이 평가**되었으나, 추후 **건설 및 운영 허가 단계**에서 다양한 시운전·시험을 통해 **PSA 모델의 신뢰성 및 적절성 확인** 권장

**<전력계통>**

○ **(안전성 검토) 소외교류전력회로 2개가 공용터널로 연결**되는 사항의 **안전성, 소내직류전력계통의 안전기능 성능 확보** 여부 등 피동안전계통 특성에 기반한 **전력계통의 설계 적합성 및 안전성** 검토

- 검토 결과, 피동안전계통 설계 특성으로 **교류전원 없이 안전등급 직류전력계통만으로 설계기준사고 대처가 가능**하여 **소외교류전원의 독립성을 만족하지 않아도 안전성을 확보**할 수 있음을 확인

## 3 종합 결론

□ KINS의 SMART100 표준설계인가 심사 결과에 대해 검토한 결과, 다음과 같이 전문위 전체 의견으로 채택함

○ 표준설계안전성분석보고서 등 표준설계인가 신청 서류에 대한 심사가 적합하게 수행됨

○ 검토 과정에서의 전문위원 질의 사항에 대한 답변이 모두 적절하게 제시되었음을 확인함

○ 피동안전계통 및 전력계통 총 2개 분야 실무위를 통해 심층 검토를 수행하였으며, 그 결과 모두 관련 기준에 적합함을 확인

□ 전문위원회는 KINS의 SMART100 표준설계인가 심사 결과가 타당하다고 판단함

(공란)

〈 안건 담당자 〉

| 원자력안전위원회 미래원자로규제제도과 | |
|---|---|
| 김천겸 과 장 | (02) 397 - 7323 |
| 김민정 주무관 | (02) 397 - 7278 |

| 원자력안전기술원 혁신기술평가단 | |
|---|---|
| 김 진 수 단장 | (042) 868 - 0685 |
| 송 성 주 PM | (042) 868 - 0877 |