제 157회 원자력안전위원회

의안번호	제 2 호	심의의결사항
의결일자	2022. 5. 13.	
공개여부	공개	

KAERI 핵연료가공사업(아라연구동) 허가(안)

제 출 자	원자력안전위원회 위원장 유국희
제출일자	2022. 5. 13.

(공란)

1. 의결주문

○ 한국원자력연구원(이하 'KAERI') 핵연료가공사업(아라연구동) 허가(안)을 별지와 같이 의결한다.

2. 제안이유

○ 2018년 11월 5일 KAERI가 신청한 핵연료가공사업(아라연구동) 허가 건에 대해,

- 「원자력안전법」 제111조에 따른 위탁기관인 한국원자력안전기술원(이하 'KINS')이 안전성 심사를 수행하였고,

- 상기 심사결과에 대해 「원자력안전위원회의 설치 및 운영에 관한 법률」 제15조에 따라 설치된 원자력안전전문위원회(이하 '전문위')의 사전 검토를 거쳐 원자력안전위원회(이하 '원안위')에 보고된 내용을 토대로,

○ 「원자력안전위원회의 설치 및 운영에 관한 법률」 제12조제5호 및 「원자력안전법 시행령」 제53조제2항에 따라 심의를 거쳐 핵연료가공사업 허가 여부를 결정하고자 함

3. 허가 신청 개요 및 경과

가. 사업허가 신청 개요

○ 신청인 : 한국원자력연구원(KAERI)

○ 대상 : 다목적 소형 연구로용 핵연료가공시설(아라연구동)

※ 시설 용량 : 저농축우라늄(U-235 20 wt.% 미만) 핵연료집합체 최대 250다발/년

○ 심사대상 서류 :「원자력안전법」 제35조에 따라 제출된 서류 총 10종

NO	심사대상 서류	주요 내용
1	사업계획서	3년간의 사업추진 및 가공 계획
2	기술능력에 관한 설명서	가공방법 및 기술능력
3	가공시설의 위치·구조·설비 및 공정에 관한 서류	부지 및 구조물, 설비, 공정 개요
4	가공시설의 공사계획에 관한 서류	시설의 규모 및 배치도, 사업일정
5	정관	총칙 및 임직원, 보칙
6	방사선환경영향평가서	건설 및 운영으로 인한 영향
7	가공사업의 운영에 관한 품질보증계획서	품질관련 조직 및 수행업무
8	안전관리규정	운영 중 준수 및 조치사항
9	설계 및 공사방법에 관한 설명서	공사개요 및 설계특성, 적용기준
10	해체계획서	해체관련 조직 및 전략, 설계

나. 주요 경과

○ '18.11.05. : KAERI 핵연료가공사업(아라연구동) 허가 신청

○ '18.11월 ~ '21.04월 : KINS 심사 수행

○ '21.05월 ~ '21.10월 : KINS 심사결과에 대한 전문위 사전검토(6회)

○ '22.02월 ~ '22.04월 : 원안위 심사결과 보고(2회)

○ '22.04월 ~ : 사업허가(안) 심의 착수

4. 검토사항

가.【별 지】 KAERI 핵연료가공사업(아라연구동) 허가 주요 내용

나.【참고1】 KINS 심사 결과 요약

※ 별책1 : 한국원자력연구원 다목적 소형연구로용 핵연료가공사업 허가 심사보고서

다.【참고2】 전문위 사전검토 결과 요약

※ 별책2 : 한국원자력연구원 핵연료가공사업 허가 심사결과에 대한 사전검토결과

별지 **KAERI 핵연료가공사업(아라연구동) 허가 주요 내용**

1. 허가 대상

위치	대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
명칭	(사업) 핵연료주기사업 중 가공사업 (시설) 다목적 소형연구로용 핵연료가공시설(아라연구동)
시설용량	핵연료집합체 최대 250다발/년 생산 ※ 취급 핵물질 : 저농축우라늄(U-235 20 wt.% 미만)

2. 허가 사항

○ 상기 KAERI 핵연료가공사업에 대해「원자력안전법」제35조 및 같은 법 시행규칙 제40조제4항에 따라 KAERI가 신청한 핵연료 가공사업을 허가함

3. 허가 문서

○ 사업계획서 허가본

○ 기술능력에 관한 설명서 허가본

○ 가공시설의 위치·구조·설비 및 공정에 관한 서류 허가본

○ 가공시설의 공사계획에 관한 서류 허가본

○ 정관 허가본

○ 방사선환경영향평가서 허가본

○ 가공사업의 운영에 관한 품질보증계획서 허가본

○ 안전관리규정 허가본

○ 설계 및 공사방법에 관한 설명서 허가본

○ 해체계획서 허가본

참고1 KINS 주요 심사 결과 요약

Ⅰ. 사업수행에 필요한 기술능력 확보 (원안법 제36조제1항제1호)

원자력안전법 시행규칙 제34조(기술능력)

[주요사항]

- ▸ (사업조직) 필요한 조직과 부서를 구성하고 책임과 권한 명확화
- ▸ (기술지원조직) 안전 관련 사항 검토를 위한 공학적·기술적 지원조직 구성
- ▸ (자격 및 경험) 책임과 권한에 상응하는 자격과 경험 보유
- ▸ (시험 및 검사계획) 안전 관련 주요 구조물 및 설비에 대한 시험 및 검사 계획 수립

□ 사업조직(심사보고서 p.171)

○ 사업조직을 **건설단계와 운영단계로 구분**하고 각 단계별 조직의 **책임과 권한을 명확히 기술**하였음을 확인

□ 기술지원조직 및 자격, 경험(심사보고서 p.171)

○ 건설 및 운영 중 발생하는 **방사선안전 관련** 사항 검토를 위한 **기술적·공학적 지원조직**(방사선안전 심의위원회 등)을 구성하고 있으며, **자격**(전문분야 전공 및 학위)과 **핵연료가공 경험**을 갖춘 자가 사업에 참여 예정임을 확인

□ 시험 및 검사계획(심사보고서 p.171, p.175)

○ 아라연구동은 **안전 관련 주요 구조물 및 설비*가 없음**을 확인

* 별도의 설비 없이 정상운영 및 비정상사건 발생 시 핵임계에 도달하지 않으며, 피폭선량 허용기준을 만족함

○ **방사선안전관리 목적의 설비**에 대한 **주기적 시험 및 검사계획**은 『안전관리규정』에 수립되어 있음을 확인

◈ 기술지원조직을 포함한 사업조직과 자격, 경험을 갖추고 있는 바, **사업수행에 필요한 기술능력을 확보**하고 있음을 확인

Ⅱ. 위치 · 구조 · 설비 및 성능의 적합성 [원안법 제36조제1항제2호]

[주요사항]
1. (위치) 운영 중 방사성물질 방출로 인한 인체 및 공공의 재해방지에 지장이 없는 지역을 선정*
2. (구조물 및 설비, 성능)**
   - 안전에 중요한 구조물 및 계통, 기기는 외적요인이나 화재에 대비하여 성능 유지
   - 방사성폐기물 처리능력 확보 및 오염물질 확산방지 설계
   - 정상 또는 사고 시 연료등이 임계의 우려가 없도록 설계

* 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제86조(위치), 제4조(지질 및 지진) 내지 제10조(다수기 건설)

** 동 규칙 제87조(적용범위), 제13조(외적 요인에 관한 설계기준), 제14조(화재방호에 관한 설계기준 등), 제34조(방사선방호설비), 제51조(방사선관리구역 등에서의 조치) 제1호, 제88조(폐기물처리설비 등) 내지 제93조(재료 및 구조), 제95조(준용규정)

1. 위치의 적합성

○ 지질 및 지반특성(심사보고서 p.60~p.63)

- 별도의 설비 없이 정상운영 및 비정상사건 발생 시 핵임계에 도달하지 않으며, 피폭선량 허용기준을 만족하므로 관련 고시에 따른 준용 요건(10CFR Part 100 App' A*)을 적용할 대상이 없음을 확인

  * 준용요건 적용대상 : "structures, systems and components important to safety be designed to withstand the effects of natural phenomena ..."

- 이에 국토부 설계기준 통합코드 중 지반조사(KDS 11 10 10) 등을 적용하여 지질 및 지반특성을 조사·평가하였음을 확인

○ 위치 제한(심사보고서 p.37~p.39)

- 부지의 최근접 인구중심지(대전 송강동)와 부지와의 최단거리는 약 1,200 m이며, 이는 부지로부터 저인구지대 외곽경계(650 m)까지 거리의 1⅓배(약 867 m) 이상이므로 허용기준*을 만족

- 방사성물질 누출사고 시 제한구역과 저인구지대 외곽경계에서의 피폭선량은 허용기준*을 만족

  * 원안위 고시 제2017-15호(원자로시설의 위치에 관한 기술기준)

< 표1. 방사성물질 누출사고 시 전신선량 및 갑상선선량, 단위: mSv >

구 분		허용기준	평가결과	허용기준 대비 비율(%)
사고 후 2시간 제한구역경계(20 m)	전신선량	250	2.48E-06	9.92E-07
	갑상선선량	3000	8.26E-02	2.75E-03
사고 후 전 기간 저인구지대 외곽경계 (650 m)	전신선량	250	3.87E-08	1.55E-08
	갑상선선량	3000	8.61E-04	2.87E-05

○ 기상조건 및 수문평가(심사보고서 p.46~p.48, p.52~p.55)

- 대전지방기상청의 **장기간(관측개시 이후 2017년까지) 기상자료 분석**을 통해 시설의 운영 안전성에 영향을 끼칠만한 **심각한 기상현상이 일어날 가능성은 희박함**을 확인
- 보수적으로 선정된 **가능최대강수량(201 mm/시간)**이 적용된 국지강우(0.19 m) 및 하천범람(0.15 m) 침수심 평가결과, 시설 출입구 높이(0.3 m)보다 낮으므로 **아라연구동 부지는 침수에 의한 영향이 없음**을 확인

◈ 아라연구동의 **위치가 위원회규칙으로 정하는 기술기준에 적합함**을 확인

2. 구조물 및 설비, 성능의 적합성

○ 구조물 및 계통, 기기(심사보고서 p.65~p.66, p.69~p.70)

- **별도의 설비 없이** 정상운영 및 비정상사건 발생 시 핵임계에 도달하지 않으며, **피폭선량 허용기준을 만족**하므로 안전에 중요한 구조물 및 계통, 기기가 없는 것을 확인
- 이에 국토부 설계기준 통합코드 중 구조설계기준(KDS 14 00 00) 및 건축구조기준(KDS 41 00 00) 등을 적용하여 설계하였음을 확인

○ **화재방호설비**(심사보고서 p.129~p.134)

- 원안위고시 제2020-01호 "핵연료주기시설의 화재위험도 분석에 관한 기술기준"에 따라 화재로 인한 **방사선학적 위해도를 최소화**하기 위한 **화재위험도분석 결과의 적절성**을 확인
- 방화지역(구역)별 **가연성물질의 종류, 크기 및 화재하중** 등이 적합하게 분석되었으며 분석결과도 관련 기준을 만족
- 방사성물질 누출가능성이 있는 지역은 **3시간 등급의 내화방벽**으로 격리되도록 방화지역을 설정하였음을 확인
- 소방설비는 방호공간의 화재특성을 고려하여 선정되었으며 각 설비는 **미국방화협회**(NFPA) 및 **국가화재안전기준**(NFSC)의 관련 요건을 만족하도록 설치 예정

○ **방사선방호설비**(심사보고서 p.93~p.105)

- 격실 외벽에서의 선량이 **차폐설계 목표치**(1 μSv/hr)*를 만족시키도록 각 격실의 콘크리트 **벽체 두께**(25 cm)가 결정됨을 확인

* 종사자 선량한도(연평균 20 mSv)의 10% 및 연간 작업시간(2,000 hr) 적용

- 시설 내부의 방사선준위와 외부로 배출되는 방사성기체의 **방사능농도를 상시 감시**하기 위한 지역방사선감시기(14대) 및 핵연료 저장시설 내 임계감시기(1대), 배기구 감시기(1대)가 설치되어 있으며, 각각의 방사선감시기에서 측정된 값은 **자동으로 데이터 수집장치에 기록**되고 **방사선안전관리실에 표시**되도록 설비가 갖춰져 있음을 확인

- 방사성물질을 취급하는 모든 구역의 **바닥과 벽면은 불침투성**으로 평탄하게 처리하고 제염이 용이하도록 내방사선 도장공사가 이뤄지며 **사고 시 종사자의 제염을 위한 비상샤워실이 설치됨**을 확인

- 방사선관리구역은 구역 내 **취급 방사성물질의 형태와 부유가능성을 고려**하여 **4개의 구역**으로 구분되어 있으며 오염된 공기의 **외부누설을 방지**하기 위하여 부압이 유지되도록 **격실별 압력 및 환기조건을 설정**하였음을 확인

- 설정된 방사능준위를 초과하는 공기가 배기구를 통해 배출 시 **자동으로 환기설비 내 댐퍼가 닫히도록 설계**됨을 확인

○ **폐기물저장 및 처리설비**(심사보고서 **p.106~p.114**)

- 사고 시 오염된 작업종사자의 오염을 제거하는 **비상샤워실에서 발생되는 액체방사성폐기물을 보관**하기 위한 2개의 저장탱크가 설치됨을 확인(각 저장탱크의 용량, 2.4 m^3)

- 보관된 액체방사성폐기물은 KAERI 내 운영 중인 **자연증발시설*로 이송하여 처리**예정임을 확인

* 극저준위방사성물질을 포함한 액체방사성폐기물을 자연열로 증발시켜 부피를 줄이고 농축시키는 액체방사성폐기물처리시설

- 전체 공정 중 [redacted]

[redacted] 방사성물질을 처리하기 위한 설비는 필요치 않음을 확인

- 운영 중 발생하는 **기체방사성폐기물은** 공기조화계통 내 설치된 **HEPA필터를 거쳐** 배기기를 통해 **최종 환경으로 배출**되도록 설계되며, 배기구에는 **배출관리기준을 만족**시키도록 **연속 배기감시기를 설치**하여 초과할 경우에는 배기설비가 자동정지 됨을 확인

- 정상운영 중 발생되는 **고체방사성폐기물**은 200리터 **내부식성 철재드럼에 넣어 저장시설에 임시 보관** 후 KAERI 내 방사성 폐기물처리시설로 일괄 **이송하여 처리**

○ **연료저장 및 취급설비**(심사보고서 **p.84~p.87, p.67~p.68**)

- 핵연료집합체를 포함한 연료저장시설 내 저장 가능한 **최대 우라늄 무게는 4,040 kg**이며, 침수로 인한 **사고조건에서도 임계가 발생하지 않는 구조**로 설계됨을 확인(유효증배계수 0.40960; 허용기준 0.98)

- 핵연료집합체 이송장치는 **운반과정에서 임계의 우려가 없도록** 설계됨을 확인(유효증배계수 0.12428; 허용기준 0.98)

- 저장 및 취급 핵연료집합체는 **신연료로써 붕괴열 발생 우려 없음**

○ **비상전원공급설비**(심사보고서 **p.122~p.126**)

- **외부공급전원기능 상실 시** 주요 공정설비의 안전한 정지와 환기설비, 종사자 대피를 위한 필수조명 등을 가동시키는데 **필요한 총 부하량은 134.2 kW로 충분한 용량(250 kW)의 비상 디젤발전기가 설치**됨을 확인

- 비상디젤발전기 가동실패 시에도 필수제어계통 및 방사선감시계통에 30분간 전원을 공급할 수 있는 **무정전 전원공급설비가 설치**됨을 확인

○ **재료 및 구조**(심사보고서 **p.69~p.70**)

- **별도의 설비 없이** 정상운영 및 비정상사건 발생 시 핵임계 안전성이 유지되며, **피폭선량 허용기준을 만족**하므로 안전에 중요한 구조물 및 계통, 기기가 없는 것을 확인함. 이에 따라 안전성 등급에 해당되는 구조물・계통・기기가 없음을 확인

- 이에 설비의 재료 및 구조는 **일반건축법이나 산업안전보건법** 등에 따라 선정・설계됨을 확인

◈ 아라연구동의 **구조물 및 설비, 성능이 위원회규칙으로 정하는 기술기준에 적합함**을 확인

Ⅲ. 방사성 물질이 주변 환경에 미치는 영향 (원안법 제36조제1항제3호)

원자력안전법 시행령 제174조(환경상의 위해방지)
[주요사항]
- ▶ 제한구역경계에서의 수중·공기 중 방사성물질의 농도가 배출관리기준을 만족
- ▶ 단일·다수시설 운영에 의한 제한구역경계에서의 피폭선량이 환경상의 위해방지를 위한 허용기준을 만족

□ 배출 방사성물질의 농도(심사보고서 p.109~p.110)

○ 원안위고시(방사선방호 등에 관한 기준) 제16조(환경상의 위해방지) 제1항의 농도기준 요건을 만족

- 정상운영으로 인해 **환경으로 배출되는 기체 방사성물질**의 핵종별 농도가 **고시의 기준을 만족**
- 정상운영 중 환경으로 직접 배출되는 **액체 방사성물질은 없음**

□ 정상운영 시 피폭선량(심사보고서 p.231~p.236)

○ **(단일)** 아라연구동 운영 시 기체 배출물(액체 배출물은 없음)로 인한 **제한구역경계(20 m)** 에서의 연간선량이 허용기준* 이내임을 확인

구 분		허용기준	평가결과
기체 배출물	감마선에 의한 공기 흡수선량(mGy/yr)	0.10	-
	베타선에 의한 공기 흡수선량(mGy/yr)	0.20	-
	외부피폭에 의한 유효선량(mSv/yr)	0.05	-
	외부피폭에 의한 피부등가선량(mSv/yr)	0.15	-
	입자상 방사성물질 등에 의한 인체장기 등가선량(mSv/yr)	0.15	5.43E-06

○ **(다수)** 부지 내 모든 시설**의 운영으로 인한 연간선량이 허용기준*을 만족

구 분	허용기준	평가결과
유효선량(mSv/yr)	0.25	2.16E-02
갑상선 등가선량(mSv/yr)	0.75	5.33E-02

* 원안위고시 제2019-10호(방사선방호 등에 관한 기준) 제16조제2항

** 하나로연구로, 사용후핵연료처리시설, KNF 원전연료가공시설 등 총 11개

◈ 아라연구동 **운영 중 방사성 물질이 주변 환경에 미치는 영향이 대통령령으로 정하는 기준에 적합함**을 확인

Ⅳ. 예비해체계획서 내용 적합성 [원안법 제36조제1항제4호]

원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제102조(핵연료주기시설의 해체), 제85조의3(해체에 대비한 조직 및 인력) 내지 제85조의7(해체를 위한 사전계획)

[주요사항]

▶ 시설 해체에 대비해 법령에 규정된 5개 기준을 만족

□ 조직 및 인력(심사보고서 p.260~p.261)

○ 시설의 건설·운영, 영구정지, 해체 단계별 조직/인력의 운영방안

- 단계별 해체 수행조직을 부서(팀)단위까지 세분화한 후 조직의 책임과 권한을 기술하고, 내·외부 해체인력 운영계획을 제시

□ 비용 및 재원(심사보고서 p.262~p.267)

○ 해체전략과 일정을 고려한 해체비용과 안정적인 재원확보 방안

- 정량적 해체비용(173억원) 산출, 단위과제/국가과제 및 연료공급과제를 통한 재원 적립 및 개략적인 사용계획을 제시

□ 해체전략(심사보고서 p.286~p.288)

○ 해체전략 및 해체방법의 선정

- 입증된 해체기술의 현장적용성, 국내·외 유사 시설의 해체경험을 반영한 해체전략(즉시해체) 및 해체일정의 적절한 기술 확인

□ 해체용이성 확보(심사보고서 p.289~p.294)

○ 미래 해체를 위한 해체용이성 고려 설계특성 반영 및 조치방안

- (설계특성) ALARA설계, 방폐물 및 누설 최소화 설계특성 제시
- (조치방안) 폐기물발생 평가, 저감대책 수립계획, 방사선감시계획, 누설·오염의 조기 탐지·대응절차 및 주요기록 보존 등 제시

□ **해체를 위한 사전계획 수립**(심사보고서 p.296~p.316)

○ 해체에 적용할 **개략적인 계획을 수립**하여 제시

- **(재해방지) 해체과정** 중 발생가능한 **위해도, 해체완료 후 부지 재이용 등 종사자 및 주변주민에 대한 안전성평가 방법론**을 수립하였음을 확인

- **(제염·해체)** 해체전략(즉시해체)과 **오염특성을 고려한 제염해체 기술과 활동계획**이 적절히 기술되었음을 확인

- **(폐기물관리) 운영 중** 발생한 방폐물 및 **해체 시** 발생하는 방폐물의 종류 및 특성에 따른 **폐기물 처리·저장·처분 방안**이 수립되어 있음을 확인

- **(환경영향 등) 방사성물질 등이 환경에 미치는 환경영향평가,** 방사선방호 및 화재방호에 관한 원칙, 기준, 방법론 또는 계획 제시

◈ 아라연구동 **예비해체계획서**에 작성된 내용이 **위원회규칙으로 정하는 기술기준에 적합함**을 확인

Ⅴ. 심사 결과

□ KAERI가 제출한 사업허가 신청서류에 대해 「원자력안전법」 제35조에 따른 안전성 심사를 수행한 결과,

○ 핵연료가공사업을 수행하는 데에 **필요한 기술능력을 확보**하고 있으며,

○ 시설의 **위치·구조·설비 및 성능**이 위원회규칙으로 정하는 **기술기준에 적합**하여 방사성물질 등에 따른 **인체·물체 및 공공의 재해방지**에 지장이 없으며,

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

○ **예비해체계획서**의 내용이 **위원회규칙으로 정하는 기준에 적합**

참고 2 전문위 사전검토 결과 요약

Ⅰ. 검토 경위

□ KINS의 한국원자력연구원(KAERI) 다목적 소형연구로용 핵연료가공사업(이하 아라연구동) 심사 결과에 대해, 총 6회('21.5~10) 회의, 현장방문 1회, 2개 분야 실무검토위원회(이하 실무위)를 통해 적합성 검토

○ 제78회 전문위('21.5.6)에서 [redacted] 저농축 우라늄(U-235, 농축도 20 wt.% 미만)을 가공하는 아라연구동 특성 등을 고려,

- 핵임계 안전성 등을 심층 검토하기 위해 관련 법령*에 따라 2개 분야 실무위를 구성키로 결정

*「원자력안전위원회 회의 운영에 관한 규칙」 제19조(실무 검토위원회의 구성·운영 등)

> 아라연구동이 다수(11개) 원자력이용시설이 위치한 부지 내 건설·운영됨에 따른 방사선 안전성과 안전에 중요한 구조물·계통·기기 판단 기준으로 제시한 핵임계 안전성, 사고선량평가 등을 검토 분야로 선정

- 분야별 실무위는 개별회의(3회) 및 대면회의(7회) 등을 통해 심층 검토 후 각각 결과보고서를 도출('21.8)

< 표1. 실무위 구성 및 운영 현황 >

분야	구성	운영	주요 검토내용
안전해석	전문위원 5명 ※ 위원장: 김용희 위원 외부전문가 1명	전체회의(5회) 개별회의(1회)	· 핵임계 안전성 · 사고선량평가 · 부지 및 구조물 안전성
폐기물·방사선	전문위원 3명 ※ 위원장: 정재학 위원 외부전문가 2명	전체회의(2회) 개별회의(2회)	· 방사선원항 · 건설작업자 및 주민 방사선영향 · 작업종사자 방사선영향

○ 제83회 전문위('21.10.14)에서 실무위 검토 결과 등 아라연구동 관련 검토사항을 정리한 보고서 채택

II. 주요 검토 내용

1. 핵임계 안전성

□ 아라연구동 **핵임계 안전성 평가 방법 적절성** 검토

○ 임계계산의 보수성 확보를 위해 **158개 임계실험군**을 활용하여 **해석코드의 바이어스와 불확실도**를 **도출**하고, 이를 **평가 결과**에 **반영함**을 확인

※ 해석코드는 美 오크리지 국립연구소 SCALE/KENO-Va 등을 사용하였고, 임계실험자료는 NUREG/CR-6361(Criticality Benchmark Guide for Light-Water-Reactor Fuel in Transportation and Storage Packages) 등에 따라 선정함을 확인

○ 이와 별도로 실무위에서 **7개 임계실험군**을 포함한 **추가 검증***을 통해 **평가 결과**에 반영된 **불확실도**가 **적절함**을 확인

* 아라연구동이 원전 연료(5% 이하)에 비해 상대적으로 높은 농축도(20% 미만)의 핵연료를 가공하므로 유사 농축도를 가진 임계실험군을 추가하여 검증

□ 아라연구동의 정상 및 사고조건(완전침수, 최적감속)에서 반영된 **입력값**과 이에 따른 **임계해석 결과 적합성** 검토

○ 각 공정별 취급 **핵연료 양**, 시설 **설계사항 등**이 해석코드에 **적절히 반영**되었고, **평가 결과**가 **허용기준***을 **만족함**을 확인

* 허용기준 : 유효증배계수[a](정상조건, 완전침수조건) < 0.95, 최적감속조건[b] < 0.98

a) 유효증배계수 : 핵임계 도달가능성을 평가하는데 사용되는 척도 인자

b) 최적감속조건 : 유효증배계수가 최대가 되는 조건

< 표 2. 아라연구동 시설별 핵임계도 평가 결과 >

시설명 / 공정명		유효증배계수(수분함량)		
		정상조건(0 %)	완전침수(100 %)	최적감속
공정 시설	[redacted]	0.02986	0.11315	0.11315
	[redacted]	0.04579	0.18990	0.18990
	[redacted]	0.01153	0.02185	0.02185
	[redacted]	0.01562	0.46090	0.46090
	[redacted]	0.01469	0.51780	0.51780
	[redacted]	0.64288	0.86340	0.91230
	[redacted]	0.03890	0.26040	0.26040
	[redacted]	0.45820	0.45280	0.48510
저장 시설	금속우라늄, 핵연료봉, 핵연료집합체	0.15334	0.40960	0.40960
검사 시설	[redacted] 측정	0.06483	0.48800	0.48800
	[redacted] 측정	0.01536	0.37920	0.37920
	[redacted] 측정([redacted])	0.01410	0.22180	0.22180
허용기준		< 0.95		< 0.98

□ **실무위**에서 상기 검토 결과에 다음의 의견을 반영하여 **추가 평가**한 결과*, 全 **공정**에서 **허용기준**을 **만족함**을 확인

* 全 공정 유효증배계수 중 최댓값 : 0.71723([redacted] 완전침수 및 최적감속)

○ 계산 불확실도 감소 등 **평가 결과**의 **신뢰성 제고**를 위해 **임계 계산 세대수***(200) 및 **세대당 중성자수**(1,000)를 각각 **5배 상향**하여 추가 평가

* 세대수 : 임계시스템 내 중성자와 핵연료, 감속재 및 구조재 간 산란, 흡수 및 분열 등의 반응을 반복적으로 일으키는 사이클 횟수

○ **인적 실수***를 반영하여 全 공정 **임계 가능성** 검토

* [redacted]공정에서 [redacted]계량이 서로 바뀐 상태에서 후속 공정이 진행되는 것을 가정, 全 공정 핵임계 안전성 평가

○ 유효증배계수가 가장 높은 [redacted] 평가 시 [redacted] **이격거리 변화**(32~81 mm)에 따른 민감도 분석

* [redacted]

2. 사고선량평가

□ 아라연구동 사고 시 피폭선량 평가를 위해 가정한 사고 시나리오 적절성 검토

○ 사고 시나리오는 NUREG/CR-6410(Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook)에 따라 선정된 사고(총 10건) 중 방사성 물질 누출 가능성이 있는 **배기필터 화재, 우라늄 분말 엎지름, 하중물 추락사고 시나리오**를 선정함을 확인

□ 사고 시나리오의 **피폭선량 평가 방법 적절성** 검토

○ 시나리오별 **피폭선량 평가**는 NUREG/CR-6410 등에 제시된 **입력인자***를 적용하여 **평가함을 확인**

* 입력인자 : 선량환산인자, 방사선원항, 대기확산인자, 호흡률

○ **입력인자 적절성**을 검토한 결과, 적용된 **선량환산인자**가 원안위 고시*에서 규정하고 있는 선량환산인자와 **다름**을 **확인**하고 **수정**

* 원자로 시설의 위치에 관한 기술기준 별표(10 CFR 100.11)

< 표 3. 선량환산인자 수정 사항 >

기존 선량환산인자

○ 기존 핵연료주기시설 적용 선량환산인자 준용

	출처
전신선량	DCFPAK(美 환경청 연방지침13)
갑상선선량	ICRP(국제방사선방호위원회)-71

구분	핵종별 선량환산인자			
	U-234	U-235	U-236	U-238
방사능운 외부피폭 (mSv/s per Bq/㎥)	6.11E-15	6.46E-12	3.86E-15	2.50E-15
갑상선선량 (mSv/Bq)	1.60E-05	1.60E-05	1.50E-05	1.50E-05

수정 선량환산인자

○ 원안위 고시에서 규정한 선량환산인자 적용

	출처
전신선량	美 환경청 연방지침12
갑상선선량	美 환경청 연방지침11

구분	핵종별 선량환산인자			
	U-234	U-235	U-236	U-238
방사능운 외부피폭 (mSv/s per Bq/㎥)	7.63E-15	7.20E-12	5.01E-15	3.41E-15
갑상선선량 (mSv/Bq)	2.50E-05	2.37E-05	2.37E-05	2.22E-05

○ 또한 **배기필터화재 방사선원항** 평가에 적용된 **부유분율값***이 **HEPA필터 특성**을 **반영하지 않음**을 확인

※ 필터섬유가 화재로 용융 시 방사성 입자를 함유하는 경향 등을 고려하여 NUREG/CR-6410에 규정된 부유분율값(1E-4)을 적용하되 보수성을 감안하여 수정(1.0→0.01)

* 부유분율(Airborne Release Fraction) : 사고에 영향을 받은 방사성물질 중 공기중으로 부유되어 전파될 가능성이 있는 방사성물질의 비율

○ 입력인자 수정 후 **재평가**한 결과, **허용기준**을 **만족**함을 확인

< 표 4. 사고 유형별 수정 전·후 피폭선량 평가 결과(단위 : mSv) >

평가선량 및 사고유형	제한구역경계(20 m)		저인구지대외곽경계(650 m)		허용기준
	기존	수정	기존	수정	
전신선량					
- 배기필터화재	2.22E-04	2.48E-06	3.46E-06	3.87E-08	250이하
- 분말 엎지름	5.10E-10	5.70E-10	7.92E-12	8.91E-12	
- 하중물 추락	1.92E-08	2.15E-08	3.00E-10	3.36E-10	
갑상선선량					
- 배기필터화재	5.30E-00	8.26E-02	5.53E-02	8.61E-04	3,000이하
- 분말 엎지름	1.22E-05	1.90E-05	1.27E-07	1.98E-07	
- 하중물 추락	4.59E-04	7.16E-04	4.79E-06	7.47E-06	

□ 실무위에서 아라연구동은 고체·분말 형태 저농축 우라늄을 취급하므로 **딸핵종*** **영향**과 **내·외부 피폭**을 **고려**한 **총유효선량당량 평가**가 **필요**하다 판단하여 **추가 평가****

* 딸핵종 : 방사성핵종이 붕괴하여 다른 핵종을 만드는 경우 생성된 핵종

** 총유효선량당량값 중 최댓값 : 배기필터화재 시 제한구역경계 118 mSV

○ 다만, **현재 원안법령상 총유효선량당량**에 대한 **허용기준**이 **없어** **전신선량**(외부피폭) **허용기준**(250 mSv 이하)과 **비교**하여 **낮음**을 확인

※ 원안법령상 사고 시 피폭선량평가는 원전에 적용하는 평가방법론(10CFR100.11)을 준용하여 전신선량(외부피폭) 및 갑상선선량(내부피폭)으로 분리평가

3. 다수 원자력이용시설 운영에 따른 피폭선량 평가

□ 아라연구동 및 부지 내 원자력이용시설*(11개)에서 취급·배출하는 방사선원항 평가 적절성 검토

* KAERI 내 하나로 등 원자력 이용시설, 한전원전연료 핵연료가공시설(제1~3공장)

○ 아라연구동에서 배출되는 **액체상 방사성물질**은 **없으며, 기체상 방사성물질**은 **유사 시설**(새빛연료과학동)의 **대기 유출율**(10^{-7}/y) 등을 **적용**하여 합리적으로 산출됨을 확인

○ 동일 부지 내에서 운영 중인 **원자력이용시설**의 액·기체 방사선 원항은 과거 12년('06~'17) **연간 배출량** 중 **최댓값**, **건설중 시설**은 **설계값**을 **적용**하여 평가함을 확인

○ 부지 내 **원자력환경공단 방폐물관리시설**의 **배출량**이 평가에 **미반영**됨을 확인하고 배출분을 **추가 평가**한 결과, 결과값이 미미*하여 **반영은 불필요함**을 확인

* 유효선량(기준치 대비 0.34 %), 갑상선 등가선량(기준치 대비 0.0046 %)

□ 건설작업자 및 주민에 대한 **방사선 피폭선량평가 적절성** 검토

○ **피폭 방사선량 평가**에는 NRC 규제심사용 전산코드(NRCDose72) 등 검증되고 **기술적 근거**를 가진 평가모델이 사용됨을 확인

○ 한편, **실무위 검토 과정**에서 다음과 같은 **수정 의견**이 **제기**되어 이를 **반영 후 재평가**토록 함

○ 공통 적용 사항

- 한전원전연료(이하 KNF)가 대기로 방출하는 전베타 방사성물질 입력값(^{238}U)을 KNF에서 실제 방출 평가시 사용하는 입력값(^{234}Th)으로 변경
- 방사선영향 평가에 딸핵종 기여분 반영

○ 건설작업자 작업시간 입력값이 개인선량(8,760시간)과 집단선량(2,000시간)간 불일치함으로 이를 현실적인 작업시간(2,000시간)으로 일치

○ 주민 집단선량평가 시 연령군 구분을 KINS 심사지침과 일치
- 3개월, 5세, 15세 및 성인 → 5세, 10세, 15세 및 성인

○ 평가 결과, **건설작업자** 및 **주변 주민**에 대한 **방사선 피폭선량**은 **기준치**에 **적합**함을 확인

< 표 5. 건설작업자 및 주민 피폭선량 재평가 결과 >

구 분			평가 결과		기준치
			기존	수정	
다수 원자력 시설 운영	기체 및 액체 배출물 및 직접 방사선 영향	건설작업자 개인피폭선량(mSv/y)	1.64E-1	3.70E-2	1*
		유효선량(mSv/y)	2.37E-2	2.16E-2	0.25**
		갑상선 등가선량(mSv/y)	5.35E-2	5.33E-2	0.75**
		주민 집단선량 평가값(person-Sv/y)	1.58E-1	1.46E-1	-

* 원안법 시행령 별표1, ** 원안위 고시 "방사선방호 등에 관한 기준" 제16조 제2항 제2호 가목

□ **방사선작업종사자**에 대한 **방사선 피폭선량평가 적절성** 검토

○ **피폭 유발 가능 공정**(외부피폭 10개, 내부피폭 4개)이 **적절히 선정**되었고, 국제적으로 검증된 평가 모델(OrigenARP) 사용 등 **기술적 근거**와 **보수성***을 가진 **선량평가 입력 인자**가 **적용**됨을 확인

* 공정장치 재질에 의한 차폐효과는 고려치 않았고 각 공정별 핵연료 취급량과 작업시간 등은 최댓값을 적용하여 입력 인자의 보수성 확보

○ 이에 따른 공정별 내·외부 선량평가 결과*를 합산한 **작업종사자 유효선량**은 **최대 7.92 mSv/y**로 **기준치****에 **적합함**을 확인

* 외부피폭(10개 공정) : 1.78~7.92 mSv/y, 내부피폭(4개 공정) : 0.37~1.22 mSv/y

** 원안법 시행령 별표1 : 연간 50 mSv를 넘지 않는 범위에서 5년간 100 mSv

○ 또한 시설 **운영 시 작업종사자**에 대한 **외부피폭 감시**(법정선량계 TLD 이용) 및 **내부피폭 감시**(공기오염도, 소변시료 측정 등)를 통해 **피폭방사선량**이 **적합**하게 **관리**될 것으로 판단

4. 부지 및 구조물 안전성

□ 아라연구동 주변 원자력 이용시설과 비교를 통해 아라연구동 부지 및 구조물에 적용된 국토부 설계기준 수준 검토

○ 아라연구동은 최근 허가('18.12) 받은 KNF 제3공장과 동일한 부지에 설치할 예정이며, 지질조사*('16.8 ~ 9, '19.4)를 통해 부지 안전성에 영향을 줄 만한 지질구조(단층)는 발달하지 않음을 확인

* 지표지질 조사, 시추조사(총 8공), 표준관입시험, 전기비저항탐사 등

○ 이에 따라 KNF 제3공장 허가 심사 시 검토된 최대잠재지진값(0.145 g*)을 해당 부지의 최대잠재지진값으로 인용 가능하다 판단

* 해당 부지가 포함된 옥천습곡대 최대지진(속리산 '78.9월, 규모 5.0)과 최근 지진(경주 '16.9월, 규모 5.8)을 반영한 최대지반가속도

○ 아라연구동 구조물 설계에 적용된 국토부 건축구조기준*을 검토하고 구조물의 연성 및 변형능력 향상을 위해 보-기둥 접합부에 횡철근을 추가 설치토록 하여 반영됨을 확인

* 내진설계 일반(국토부 고시) 기준 중 내진등급 '특등급'에 준하는 지진하중과 반응수정계수(R=1), 중간모멘트 골조 설계 적용

○ 이를 KNF 제3공장 구조물 내진설계와 비교하면 아라연구동은 구조물 강도 측면에서 3배 이상 보수적으로 설계되었고,

○ 내진설계값(유효지반가속도 0.22 g)은 최근 평가된 부지 최대잠재지진값(0.145 g)과 비교해도 지진안전성이 충분히 확보되었다 판단

□ 따라서, 아라연구동 부지 및 구조물에 적용된 국토부 설계기준 수준은 동일 부지에 설치된 핵연료가공시설들과 비교하여 동등 또는 그 이상의 안전성을 가지고 있다고 판단

5. 부지 수문 영향 평가

□ 가능최대강수량(이하 PMP)을 적용한 국지강우 침수심 및 하천범람 영향평가에 대한 적절성 검토

○ 국지강우 침수심 검토 결과, 침수심(0.19 m)이 아라연구동 출입구 높이(0.3 m) 보다 낮아 홍수 영향이 없음을 확인

○ 하천범람 영향평가 검토 결과, 적용된 PMP(138 mm)가 국지강우 침수심 평가에 적용된 PMP(201.5 mm)와 상이함*을 확인하고, 일치(201.5 mm)시켜 재평가한 결과 침수심(0.15 m)이 출입구 높이(0.3 m) 보다 낮음을 확인

* 원안법령상 특정 PMP 평가방식을 규제요건으로 규정하고 있지 않으며, 사업자는 당초 통계학적 방법(국지강우침수심)과 수문기상학적 방법(하천범람영향)으로 평가함

□ 방사성물질의 지하수 유입 영향 평가에 대한 적절성 검토

○ 아라연구동은 모든 공정에서 액체 방사성물질은 배출되지 않아 지하수 유입은 없을 것으로 판단됨

○ 다만, KAERI가 보수적으로 가상의 액체 방사성물질이 지하수에 유입된다는 가정하에 평가한 결과를 검토하여 일부 보완사항*을 반영토록 하였고 재평가 결과 적절함을 확인

* 지하수 이용량(채수 계획량) 반영, 지하수 평가 모델링의 경계조건 변경(덕진 소류지 고정수두 경계), 추가 관측 수위를 적용한 부정류 재평가

□ 부지 내 우배수 관로에 적용된 설계강우빈도 적절성 검토

○ 아라연구동 부지 내 우배수 관로의 설계강우빈도는 하수도설계기준(환경부, 2017)에 따라 30년 빈도를 적용함을 확인

○ 다만 검토과정에서 기후변화 등을 고려, 설계강우빈도를 100년으로 상향토록 하였고, 사업자가 이를 반영할 예정임을 확인

6. 화재방호 안전성

□ 원안위 고시 "핵연료주기시설의 화재위험도분석에 관한 기술기준"에 따라 화재위험도 분석이 적절히 수행되었는지 검토

○ 아라연구동은 설계기준화재*를 가정, 31개 방화지역 화재하중**을 계산하고 결과에 따라 1~3시간의 내화등급을 산정함을 확인

* 설계기준화재 : 진화를 위해 어떠한 조치를 취하지 않은 조건에서 화재가 성장하여 최대 연소율에 도달하는 상태

** 화재하중 : 화재규모를 판단하는 척도로서 방화지역 또는 방화구역 내 모든 가연성물질의 완전연소에 의해 발생되는 단위 면적당 열량

○ 이중 [redacted] 등 방사성물질 저장 및 취급지역은 3시간 내화등급의 내화구조물로 일반지역과 격리함을 확인

○ 소방시설은 기본적으로 소방청 국가화재안전기준(NFSC)을 만족하며, 소화수량, 스프링클러설비 살수밀도 등은 해당 NFPA* 기준이 추가 적용됨을 확인

* NFPA : National Fire Protection Association 미국방화협회

□ [redacted] 산화 가능성(자연발화)을 확인하고 이에 대한 안전관리방안 적절성을 검토

○ 아라연구동에서 취급하는 [redacted] 에 대한 자연발화 가능 온도가 99°C로 계산됨을 확인

○ [redacted] 은 열축적을 방지하기 위해 [redacted] 밀봉하고,

○ 산소제어를 위해 진공 및 불활성 환경(Ar inerting)를 조성하는 등의 안전관리를 통해 자연발화 가능성이 희박함을 확인

7. 기타 검토사항

□ 계측제어계통 설계 및 비정상 조치방안 검토

○ 각 공정 설비가 개별 제어방식으로 설계되어 소프트웨어 오류 등 계측제어설비 고장에도 타 공정 설비에 영향이 없음을 확인

○ 공정변수 등의 실시간 확인이 가능하고, 비정상 상황 시 알람을 통해 운전원 조치가 즉시 가능하며 전원 상실을 대비하여 대체전원(무정전전원공급장치)이 설치될 예정임을 확인

□ 방사선감시기 설계 및 건전성 확보방안 검토

○ 아라연구동은 총 23대의 방사선감시기가 설치될 예정이며, 제어실 등에서 방사능농도 등의 실시간 확인이 가능토록 설계됨을 확인

○ 감시기는 설치 전(품질서류 확인), 후(성능검사) 건전성을 확인하고 정기 점검 및 검·교정을 통해 건전성을 관리할 예정임을 확인

□ 아라연구동 설치 설비들에 대한 내진검증 필요성 검토

○ 아라연구동 설비는 안전등급설비가 없어 원안법에 따른 내진설계가 적용되지 않았으나,

○ 구조물 내진설계(건축법), 연구시설의 전복·낙하방지 설계(산업안전보건법), 소방시설 내진설계(소방청 고시) 등이 적용되었고 이에 대한 적절성은 향후 지자체 등에서 확인할 예정임을 확인

Ⅲ. 종합 결론

□ KINS의 KAERI 핵연료가공사업 허가 심사 결과를 검토한 결과, 다음의 내용을 전문위 전체 의견으로 합의함

○ 아라연구동의 위치·구조·설비 및 가공 방법에 관한 서류 등 사업 허가 신청 서류에 대한 심사가 적합하게 수행됨

○ 아라연구동은 선행 핵주기시설로서, 운영 및 사고 시 핵임계 발생 우려가 없고 방사성물질 누출사고로 인한 방사선학적 위해도가 매우 낮은 시설임을 확인함

○ 핵임계 안전성 및 폐기물·방사선 총 2개 분야 실무위를 통해 심층 검토를 수행하였으며, 그 결과 2개 분야(6개 세부 항목) 모두 안전 관련 요건에 적합함을 확인함

○ 전문위 검토 과정에서의 제기된 질의 사항에 대한 답변 및 조치 결과들이 모두 적합한 것으로 확인함

Ⅳ. 권고사항

□ **핵연료주기시설**은 **선행**(정련, 변환, 가공 등) 및 **후행**(사용후핵연료처리 등) 시설로 구분되며, 방사선학적 위해도 등 **안전관련 설계특성 차이**가 큼에도 **시설의 위치, 설비 등**에 관한 **기술기준**을 **원전의 기준**을 그대로 **준용**하고 있어 **다음 사항**을 **개선**토록 **권고**함

○ 국내 **선행 핵연료주기시설**은 **핵임계 발생**이 **없고, 방사선학적 위해도**가 매우 **낮은 시설**로서 원안법 안전등급 분류 기준으로는 모두 비안전등급 시설로 분류됨에 따라 **핵연료주기시설 특성**을 고려한 **안전등급 분류기준**과 **등급별 규격 마련 필요**

○ 핵연료주기시설이 방사선학적 위해도가 매우 낮은 시설임에도 **사고 시 피폭선량 제한치**는 **원전을 준용**하고 있어, 사업자에게 **과도한 설계 여유도**를 **허용**할 우려가 있으므로 핵연료주기시설의 **방사선 안전 관련 허가기준**을 **차등 적용**할 수 있도록 **개선 필요**

○ 아라연구동은 정상 시 **기체방사성물질**을 **고공배출하는 시설**로 **제한구역경계 외부**에서 **최대피폭선량**이 **평가**되고 있으므로, 핵연료주기시설의 **선량 허용기준 만족 여부를 평가하는 지점**(제한구역경계 및 최대피폭지점)에 대한 **규정 보완 필요**

○ 건설작업자 및 주변 주민에 대한 **집단 선량평가**의 경우, **규제기준치**가 **없고 규제목적**도 **명확하지 않음**으로 **평가 필요성**에 대한 **검토** 필요

〈 안건 담당자 〉

원자력안전위원회 원자력심사과	
최수진 과 장	(02) 397 - 7216
이윤학 사무관	(02) 397 - 7227

한국원자력안전기술원 폐기물해체규제단	
박진용 단장	(042) 868 - 0797
김병일 핵주기PM	(042) 868 - 0850