KOREA INSTITUTE OF NUCLEAR
NONPROLIFERATION AND CONTROL

중수 생산·농축 공장 관련 NSG 지침 개정에 관한 연구

수출입통제실

한상우, 김수정, 이찬서 *



KINAC
KOREA INSTITUTE OF NUCLEAR NONPROLIFERATION AND CONTROL
한국원자력통제기술원

Ⅰ 개요
· 연구 배경 및 목적

Ⅱ 분석
· NSG 지침 개정사항
· 중수 생산·농축 공정
· 신규 공정의 특성

Ⅲ 고찰
· EDP 판정 보조인자 제안 및 활용
· 국내 영향

Ⅳ 결론



Ⅰ 개요

1 연구 배경 및 목적



KINAC
KOREA INSTITUTE OF NUCLEAR NONPROLIFERATION AND CONTROL
한국원자력통제기술원

1 연구 배경 및 목적

01 원자력 측면의 민감성

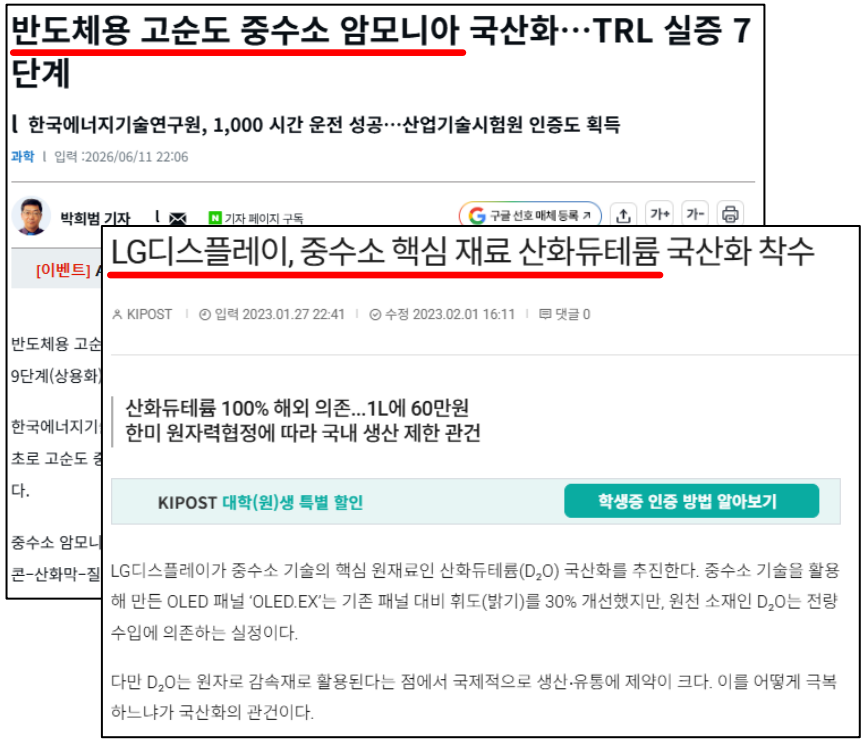
중수로를 통한 Pu 생산 가능성
→ 원자로급 중수 및 관련 설비는 주요 통제 대상

02 비원자력 산업의 수요 확대

반도체·디스플레이 제조 분야에서 원자로급 중수 활용
→ AI·첨단반도체 산업 성장에 따라 수요 증가 예상

※ 원자로급 중수 : 원자로에 사용될 수 있는 농도 수준(99.75 wt% 이상)에 해당하는 중수




반도체용 고순도 중수소 암모니아 국산화…TRL 실증 7단계

한국에너지기술연구원, 1,000 시간 운전 성공…산업기술시험원 인증도 획득

과학 | 입력 :2026/06/11 22:06

박희범 기자

LG디스플레이, 중수소 핵심 재료 산화듀테륨 국산화 착수

KIPOST | 입력 2023.01.27 22:41 | 수정 2023.02.01 16:11 | 댓글 0

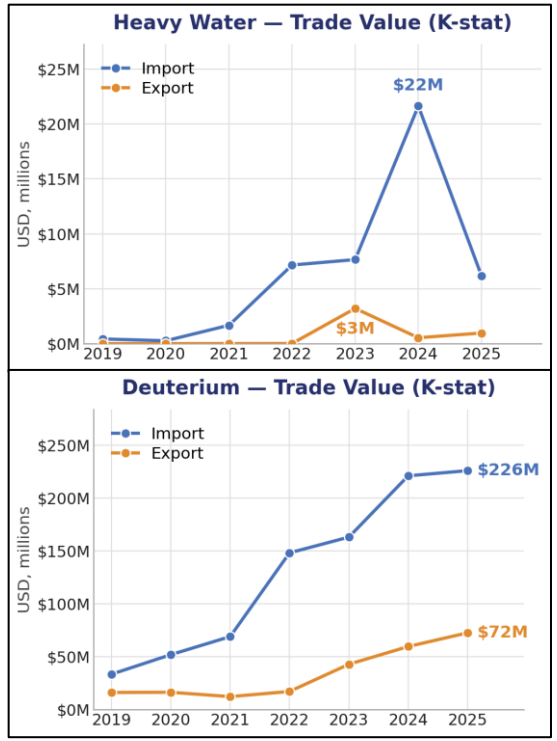
산화듀테륨 100% 해외 의존…1L에 60만원
한미 원자력협정에 따라 국내 생산 제한 관건

KIPOST 대학(원)생 특별 할인 학생증 인증 방법 알아보기

LG디스플레이가 중수소 기술의 핵심 원재료인 산화듀테륨(D_2O) 국산화를 추진한다. 중수소 기술을 활용해 만든 OLED 패널 'OLED.EX'는 기존 패널 대비 휘도(밝기)를 30% 개선했지만, 원천 소재인 D_2O는 전량 수입에 의존하는 실정이다.

다만 D_2O는 원자로 감속재로 활용된다는 점에서 국제적으로 생산·유통에 제약이 크다. 이를 어떻게 극복하느냐가 국산화의 관건이다.

첨단 산업에서의 활용이 확대되는 중수



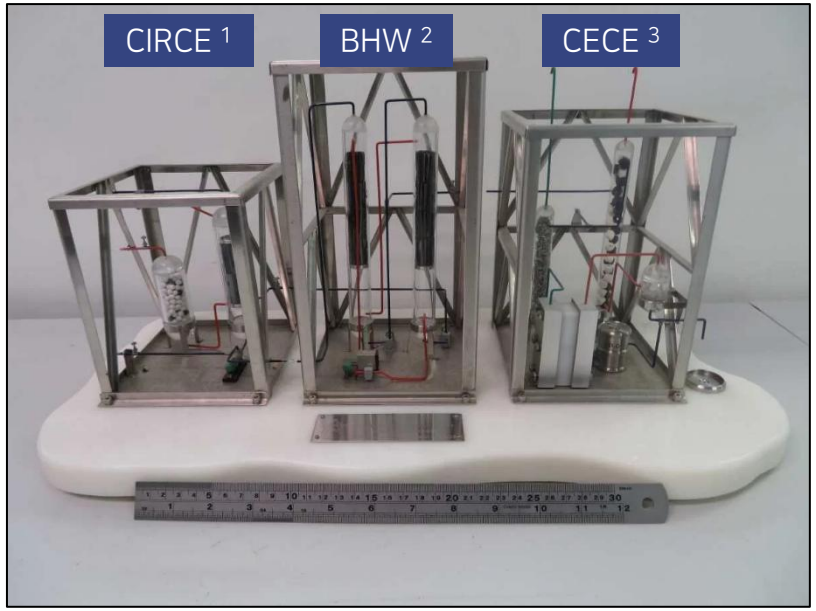
'19~'25 D_2O·D_2 국내 수출입 추세 (K-stat) *

* Source: H. Ko and C. Lee, "Analysis of Trade Flows for Heavy Water and Deuterium in South Korea and Its Implications for Export Controls," RAP 2026

1 연구 배경 및 목적

03 촉매 기반 중수 생산·농축 공정의 발전

산업 규모로 확대 가능한 신규 공정,
(국내) 관련 설비 도입 및 기술개발 진행 중

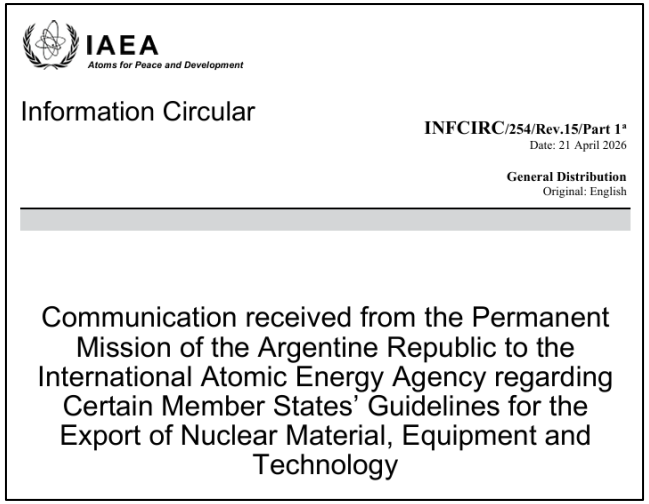


AECL Prototype CIRCE plant *
(Hamilton, Ontario)

[1] CIRCE : Combined Industrial Reforming and Catalytic Exchange
[2] BHW : Bithermal Hydrogen-Water chemical exchange
[3] CECE : Combined Electrolysis and Catalytic Exchange

04 NSG 지침, 국내 고시 반영

2026. 4. NSG 지침 공표(Rev. 15) - 신규 공정 및 관련 설비 추가
2026. 9. 국내 고시에 NSG 개정 사항 반영



IAEA
Atoms for Peace and Development

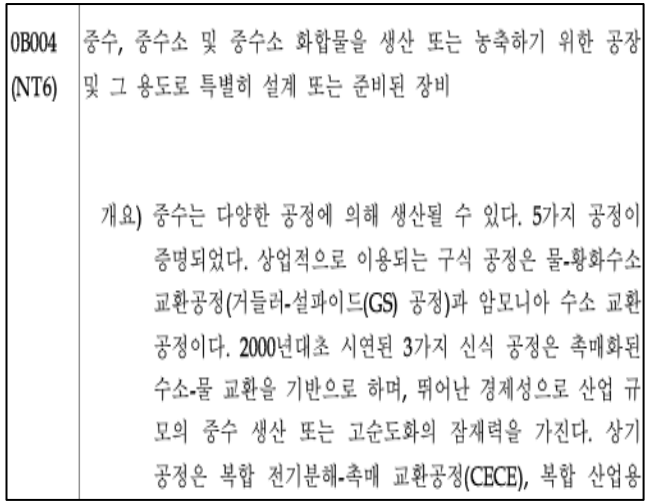
Information Circular

INFCIRC/254/Rev.15/Part 1[a]
Date: 21 April 2026

General Distribution
Original: English

Communication received from the Permanent Mission of the Argentine Republic to the International Atomic Energy Agency regarding Certain Member States' Guidelines for the Export of Nuclear Material, Equipment and Technology

NSG Guidelines Part 1 (INFCIRC/254/Part1)



0B004 (NT6)	중수, 중수소 및 중수소 화합물을 생산 또는 농축하기 위한 공장 및 그 용도로 특별히 설계 또는 준비된 장비

개요) 중수는 다양한 공정에 의해 생산될 수 있다. 5가지 공정이 증명되었다. 상업적으로 이용되는 구식 공정은 물-황화수소 교환공정(거들러-설파이드(GS) 공정)과 암모니아 수소 교환 공정이다. 2000년대초 시연된 3가지 신식 공정은 촉매화된 수소-물 교환을 기반으로 하며, 뛰어난 경제성으로 산업 규모의 중수 생산 또는 고순도화의 잠재력을 가진다. 상기 공정은 복합 전기분해-촉매 교환공정(CECE), 복합 산업용

「전략물자수출입고시」 별표 2 제10부

* Source: Society for the Preservation of Canada's Nuclear Heritage, "Model of the CIRCE Heavy Water Demonstration Plant," 2002.

Ⅱ 분석

1. NSG 지침 개정사항
2. 기존 중수 생산·농축 공정
3. 신규 중수 생산·농축 공정
4. 신규 공정 간 연계
5. 신규 공정의 기술적 특성



KINAC
KOREA INSTITUTE OF NUCLEAR NONPROLIFERATION AND CONTROL
한국원자력통제기술원

1 NSG 지침 개정사항

중수 생산·농축 목적 설비의 통제 기준 변경 및 신규 생산 공정 추가

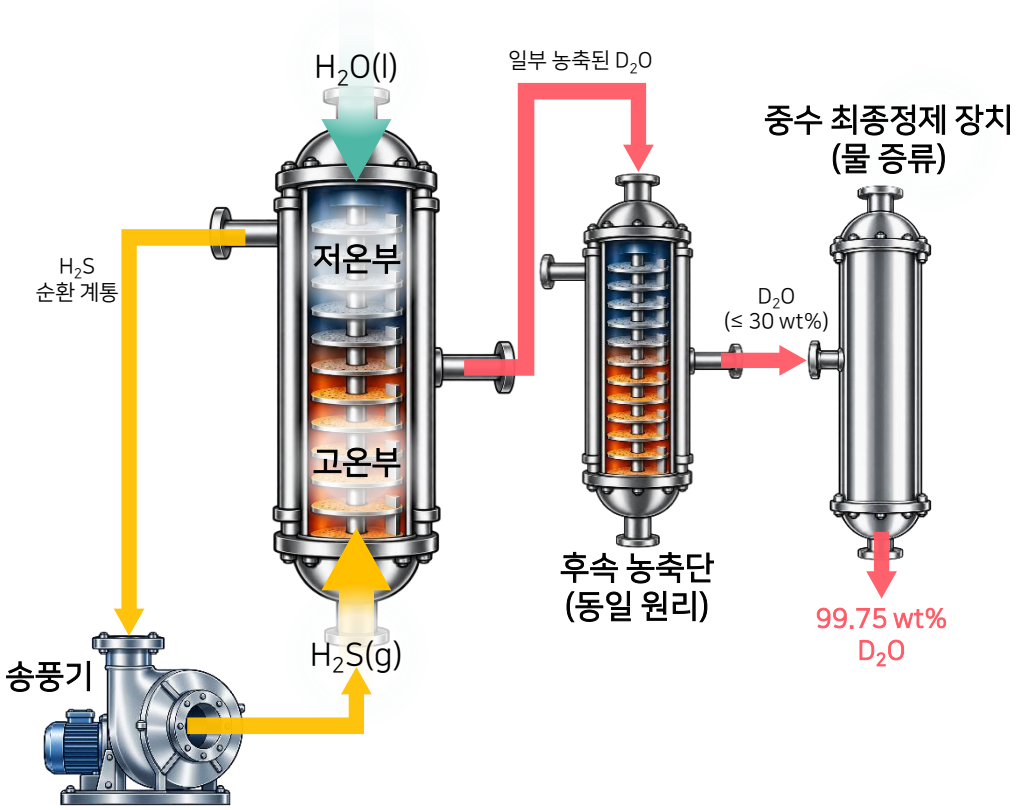
구분	NSG 지침	국내 고시	항목	변경 내용
개정	Part 1 Sec. 6 INTRO	0B004	중수·중수소 및 중수소 화합물 생산 또는 농축하기 위한 공장 및 그 용도로 특별히 설계 또는 준비된 장비	- CIRCE, BHW 및 CECE 신규 공정 및 관련 설명 추가
개정	Part 1 Sec. 6.8	0B004.b.8	중수 최종정제 장치, 고순도화 장치의 완성품 또는 그를 위한 탑	- 중수 최종정제 장치 추가 - 탑 직경 0.1m 이상 명시
신설	Part 1 Sec. 6.10	0B004.b.10	수소 동위원소 교환 촉매가 충전된 탑	- 방수 백금 촉매 교환탑의 형상, 재질 및 운전조건 규정
개정	Part 2 Sec. 2.A.2	1A225	물로부터 삼중수소를 분리하거나 중수를 생산 또는 업그레이드 하기 위한 것으로서, 수소와 물 사이의 수소동위원소 교환반응을 촉진하기 위해 전용 설계되거나 준비된 방수 처리된 백금촉매	- 촉매를 방수 백금 촉매로 한정 - 중수 고순도화(업그레이드) 목적 추가

- 그 외 설비 사양·통제 범위 확대 및 축소

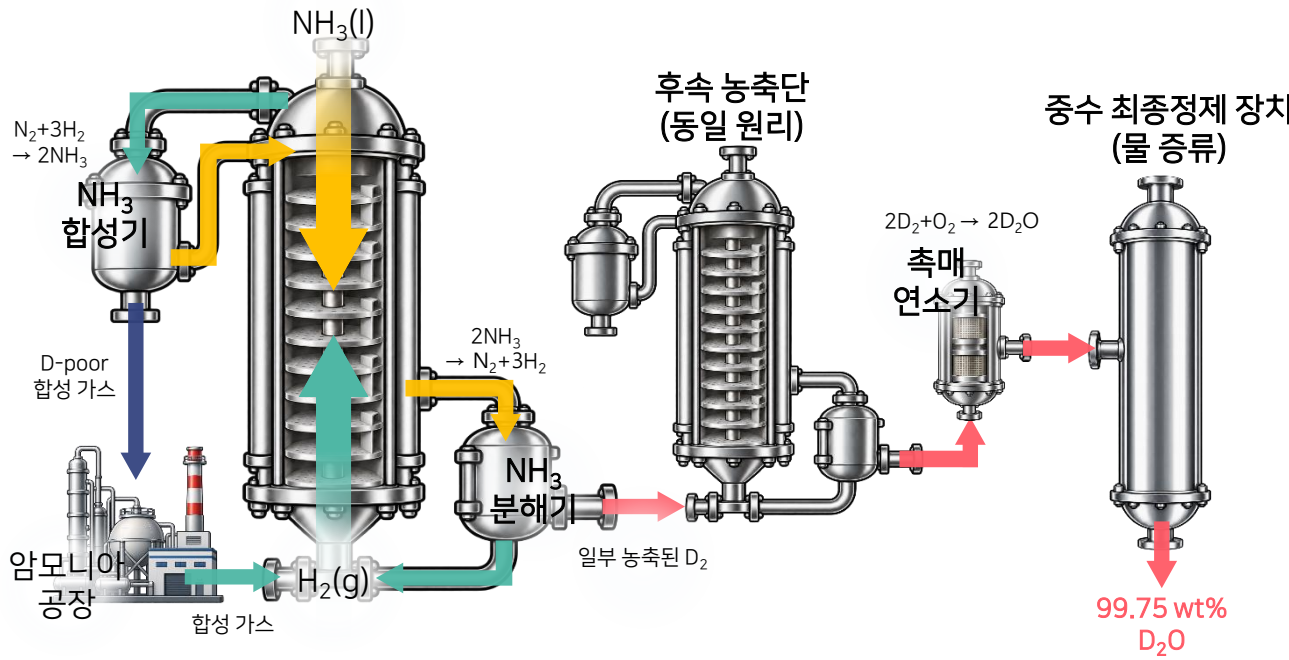
  압축기 및 송풍기 : 유량 기준 '56m^3/s → 5 m^3/s' (확대)
  암모니아-수소 교환탑 : 직경 범위 '1.5 ~ 2.5 m → 1.5 m 이상' (확대)
  적외선 흡수 분석기 : 삭제 (축소)

2 기존 중수 생산·농축 공정

물-황화수소 교환 (GS 공정 [1])



암모니아-수소 교환



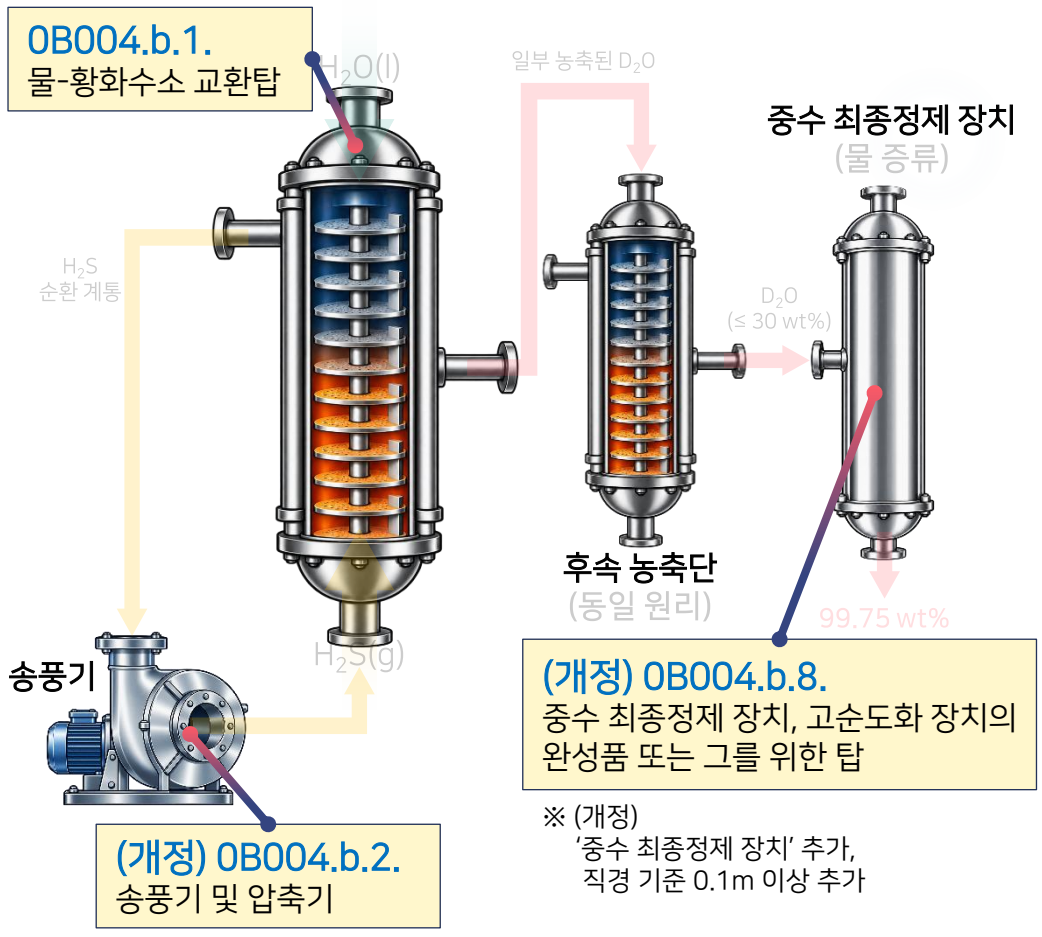
※ AI를 활용한 그림 자료

1. H_2S-H_2O, NH_3-H_2 동위원소 교환
2. 반복적 다단 농축 후 최종 증류
3. 대형·다단 공정 중심
4. 공정별 전용 설비 중심

1 Water-hydrogen sulphide exchange process (Girdler-Sulfide process, GS process)

2 기존 중수 생산·농축 공정

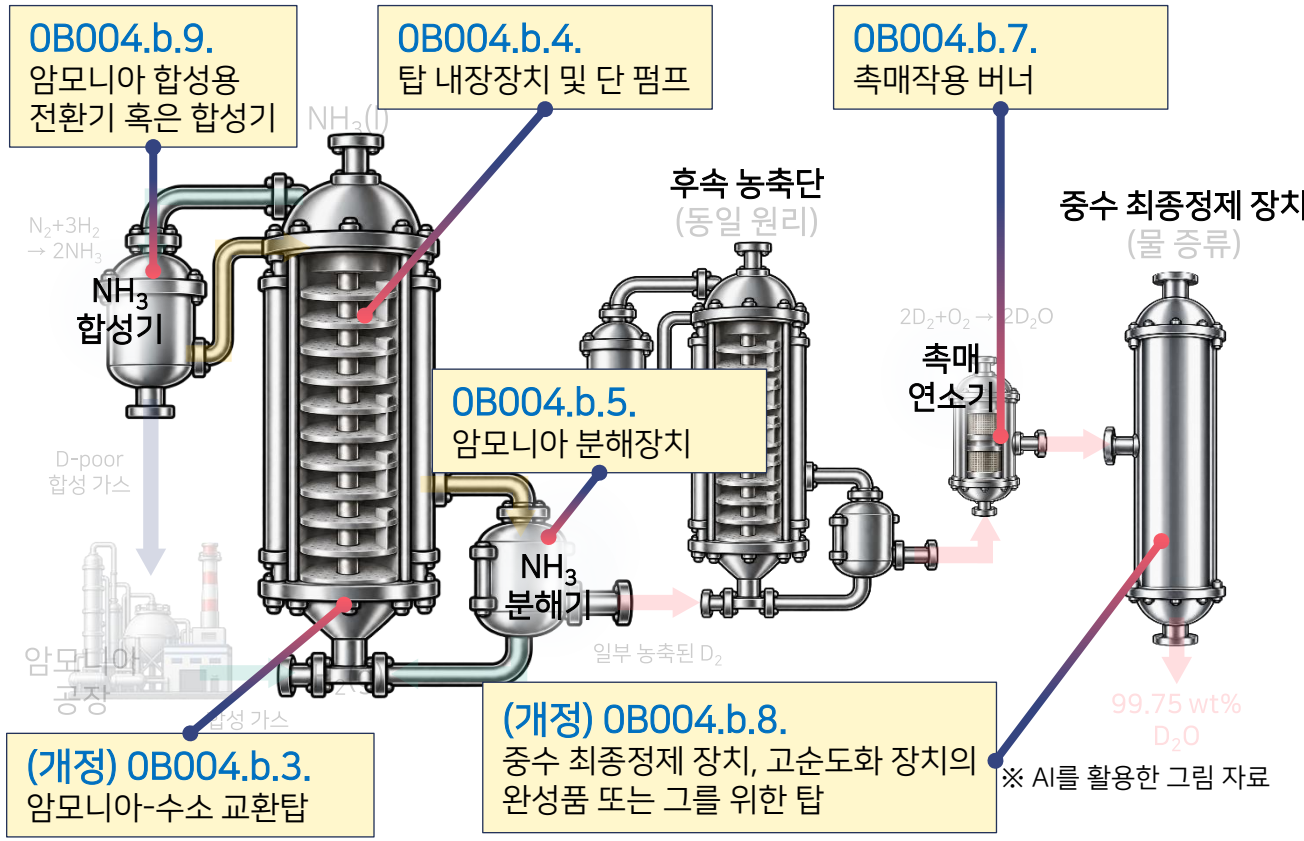
물-황화수소 교환 (GS 공정 [1])



※ (개정)
중수 최종정제 장치' 추가,
직경 기준 0.1m 이상 추가

※ (개정)
유량 기준 '56 m^3/s' → '5 m^3/s'

암모니아-수소 교환



※ AI를 활용한 그림 자료

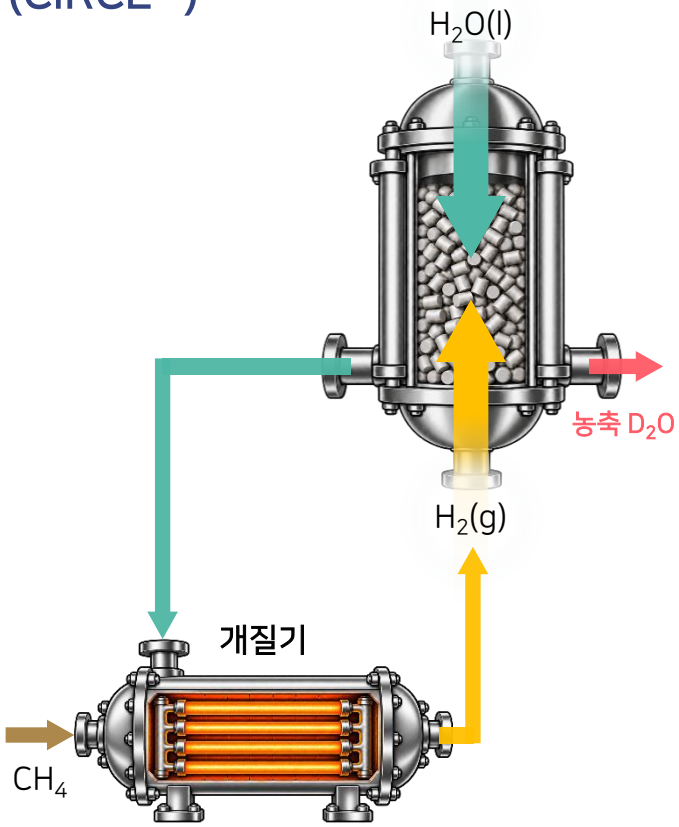
※ (개정)
직경 기준 '1.5~2.5 m' → '1.5 m 이상'

1 Water-hydrogen sulphide exchange process (Girdler-Sulfide process, GS process)

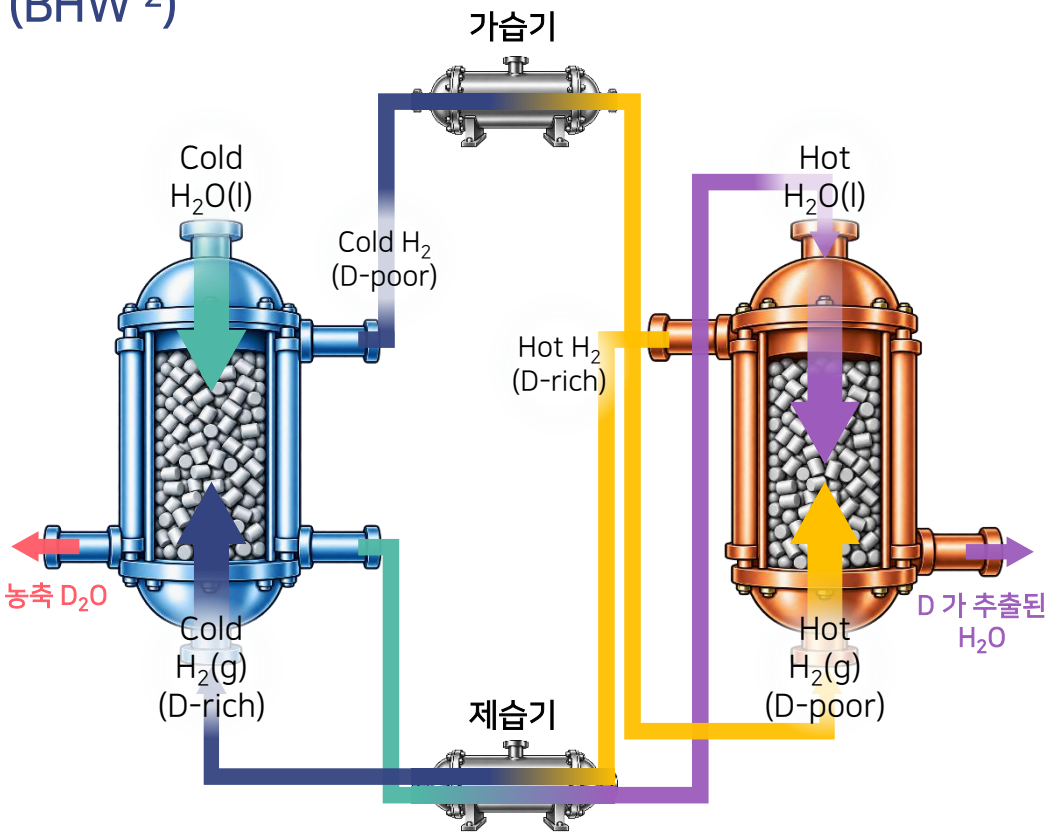
3 신규 중수 생산·농축 공정

1 Combined Industrial Reforming and Catalytic Exchange (CIRCE)
2 Bithermal Hydrogen-Water exchange (BHW)
3 Combined Electrolysis and Catalytic Exchange (CECE)

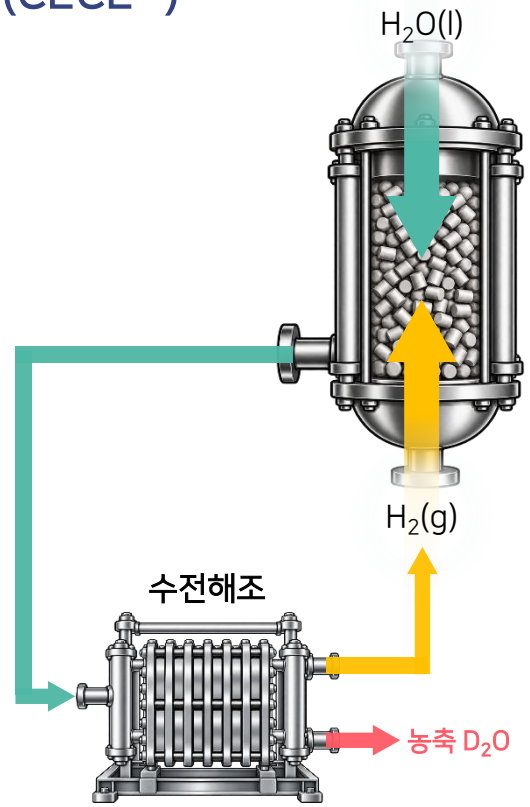
복합 산업용 개질-촉매 교환 (CIRCE [1])



이중온도 수소-물 교환 (BHW [2])



복합 전기분해-촉매 교환 (CECE [3])



※ AI를 활용한 그림 자료

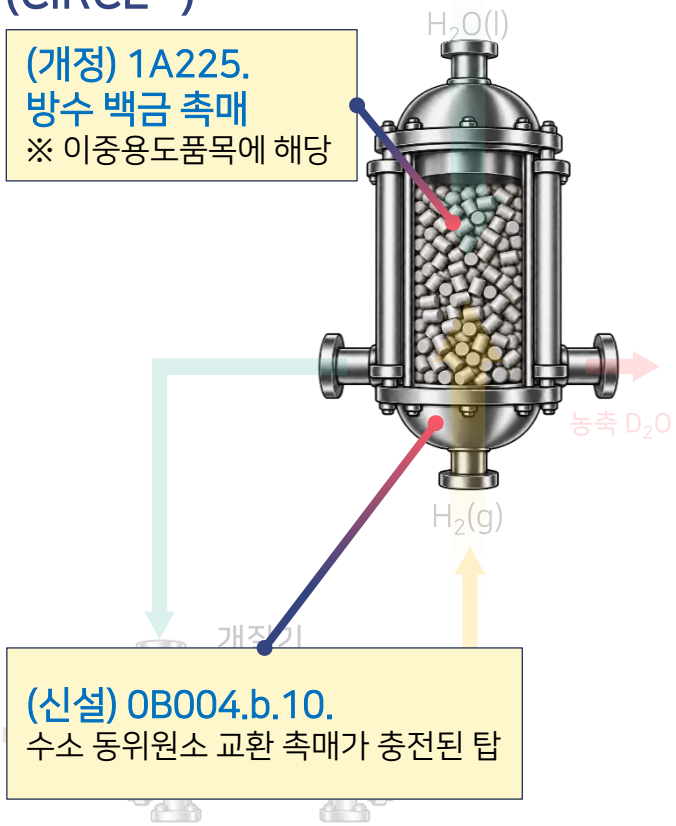
1. H_2-H_2O 동위원소 교환
2. 방수 백금 촉매 기반 농축
3. 비교적 소형·유연한 공정 구성
4. 범용 보조설비와 연계

1 Combined Industrial Reforming and Catalytic Exchange (CIRCE)
2 Bithermal Hydrogen-Water exchange (BHW)
3 Combined Electrolysis and Catalytic Exchange (CECE)

3 신규 중수 생산·농축 공정

복합 산업용 개질-촉매 교환 (CIRCE [1])

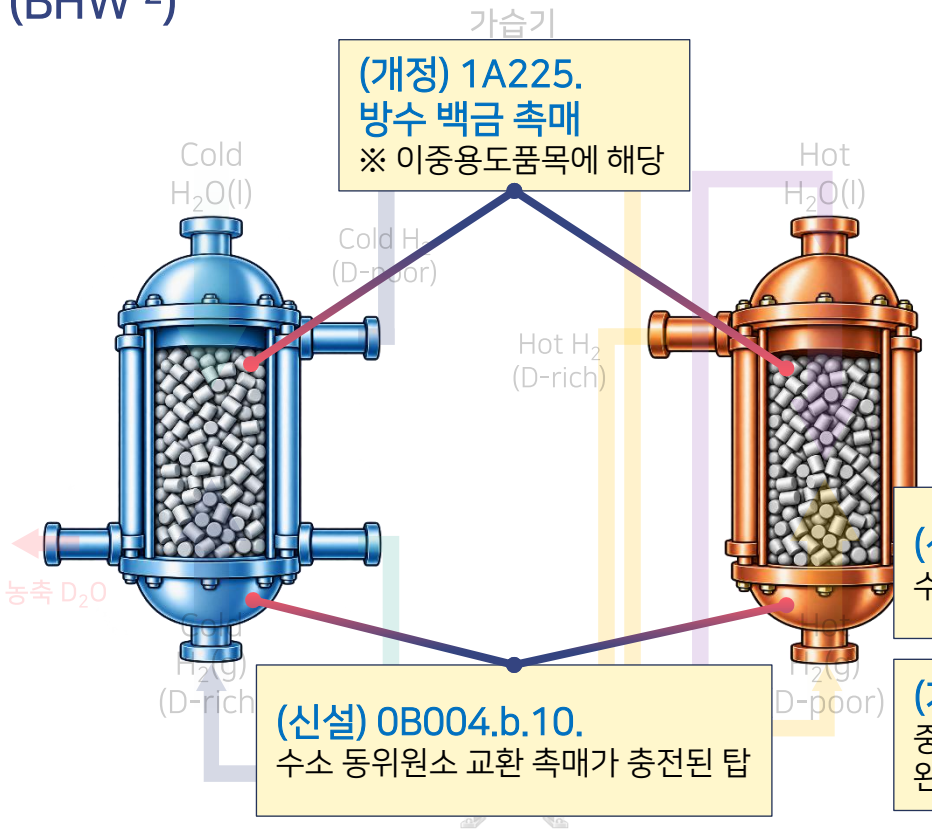
(개정) 1A225.
방수 백금 촉매
※ 이중용도품목에 해당



(신설) 0B004.b.10.
수소 동위원소 교환 촉매가 충전된 탑

이중온도 수소-물 교환 (BHW [2])

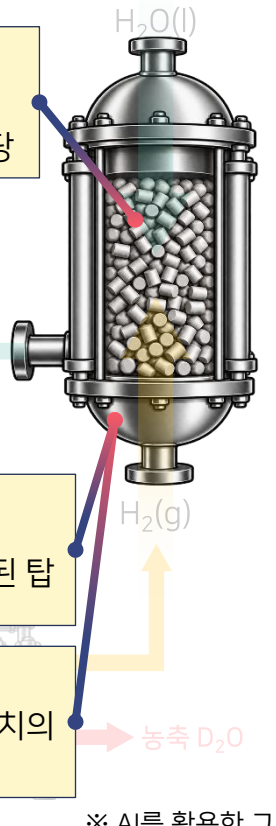
(개정) 1A225.
방수 백금 촉매
※ 이중용도품목에 해당



(신설) 0B004.b.10.
수소 동위원소 교환 촉매가 충전된 탑

복합 전기분해-촉매 교환 (CECE [3])

(개정) 1A225.
방수 백금 촉매
※ 이중용도품목에 해당



(신설) 0B004.b.10.
수소 동위원소 교환 촉매가 충전된 탑

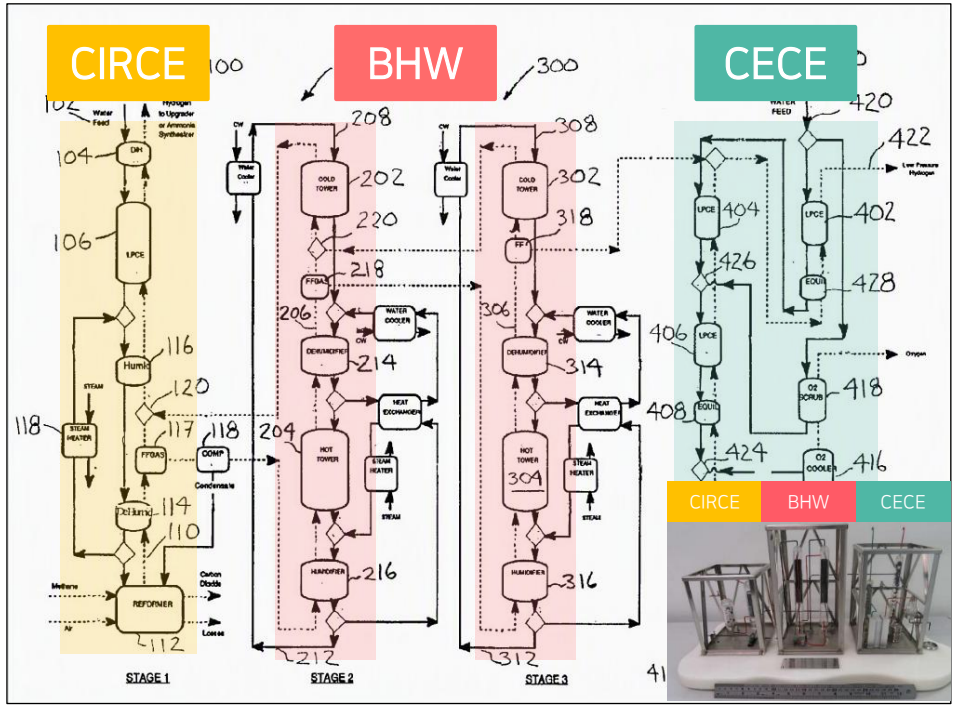
(개정) 0B004.b.8.
중수 최종정제 장치, 고순도화 장치의 완성품 또는 그를 위한 탑

※ (개정)
'중수 최종정제 장치' 추가,
직경 기준 0.1m 이상 추가

※ AI를 활용한 그림 자료

4 신규 공정 간 연계

하이브리드 다단 농축 공정



CIRCE-BHW-BHW-CECE 하이브리드 공정[1]
AECL[2] Prototype CIRCE plant (Hamilton, Ontario)[3]

	CIRCE	BHW	CECE
설계 농축도	**저농도 농축** (전단 농축)	**중간 농축**	**고농도 농축** (최종 농축)
AECL 실증	천연수 (0.015 wt%) ↓ 0.67 wt%	0.67 wt% ↓ 8.3 wt%	8.3 wt% ↓ 99.75 wt%
원자로급 중수 농축 (단독 사용)	**부적합**	**부적합**	**적합**
	(고농도 환경) 공정·중수소 손실 관리 복잡	(고농도 환경) 분리성능 저하	※ 소형·단일단 구성의 경우, 기술적으로 가능하나 경제성 부적합

1 Source: W. R. C. Graham, "Heavy Water Production Process and Apparatus," US 6,858,190 B2 (2005), Fig.7
2 AECL: Atomic Energy of Canada Ltd
3 Source: Society for the Preservation of Canada's Nuclear Heritage, "Model of the CIRCE Heavy Water Demonstration Plant," 2002.

5 신규 공정의 기술적 특성

○ 산업 활용 / △ 연구 단계 / X 활용 없음

구분	항목	CIRCE	BHW	CECE	기타 화학 공정 (비원자력 분야)	대표 산업 (대표 공정)
설비	**촉매교환탑 (수소 동위원소 교환용)**	✓	✓	✓	X	일반 산업 적용 사례 없음
	방수 백금 촉매	✓	✓	✓	△	고습도 기-액 촉매반응 연구, ※ 원자력 분야 일부 존재 (삼중수소 제거 공정)
	수증기·탄화수소 개질기	✓			○	정유·석유화학·암모니아 (수소·합성가스 생산 공정)
	수소순환계통		✓		○	정유·석유화학 (수첨탈황·수첨분해·수소화 공정)
	수전해조			✓	○	수소·화학 (알칼라인·PEM 수전해 수소 생산 공정)
기능	가열·냉각·열교환	✓	✓	✓	○	화학·정유·석유화학 (공정가열·냉각·열회수 공정)
	기-액 대향류 접촉	✓	✓	✓	○	화학·정유·가스처리 (흡수·탈거·세정·증류 공정)
운전	운전 온도·압력	약 80 °C 약 1 MPa	60 °C (Cold) 150 °C (Hot) 약 2.2 MPa	약 50~60 °C 약 0.1 MPa	○	화학·정유·석유화학 공정과 상당 부분 중복

신규 공정의 주요 설비 중 핵심적인 기능을 수행하는 **특수 설비** → NSG 지침 추가

기타 화학 공정에서도 널리 활용되는 설비→ NSG 지침 제외

III 고찰

1. 신규 중수 생산·농축 공정 판별 지표
2. EDP 판별 지표 활용
3. NSG 지침 개정 제언
4. 국내 영향



KINAC
KOREA INSTITUTE OF NUCLEAR NONPROLIFERATION AND CONTROL
한국원자력통제기술원

1 신규 중수 생산·농축 설비 판정 인자

NSG 지침 기준 확인

- 용도 / 형태 / 재질 / 운전 조건 / 방수 백금 촉매 부합 여부 확인

NSG 조항	통제 품목	통제 기준				
		목적	사양			
Section 6.8	중수 최종정제 장치, 고순도화 장치의 완성품 또는 그를 위한 탑	원자로급 중수를 만들기 위해 특별히 설계 또는 준비된	직경 0.1m 이상의 중수 고순도화 장치의 완성품 또는 탑			
Section 6.10	수소 동위원소 교환 촉매가 충전된 탑	수소 동위원소 교환을 위해 특별히 설계되거나 준비된	탑의 완성품으로서 다음의 특성을 모두 가진 것:			
			① 무작위 또는 규칙형 방수 백금 촉매 충전	② 탄소강 또는 스테인리스강	③ 운전 압력 범위 0.1-4 MPa	④ 운전 온도 범위 293-473 K (20°C-200°C)

새롭게 제안하는 EDP 판정 보조인자

- EDP(Especially Designed or Prepared) 판정을 위한 보조인자 제안

EDP 판정 보조인자	판정 관점	참고 자료
수소의 역할	동위원소 운반·교환 매질인지?	기술사양서
접촉 및 교환 방식	수소와 그 화합물이 물과 대향류 접촉을 하며 기체-수증기-액체 간 연속적으로 동위원소 교환이 이루어지는지?	기술사양서, 도면
설비 간 연계	촉매교환탑이 개질기·수소순환계통·수전해조과 기능적으로 연계되어 있는지?	설계기준서
공정 내 중수소 농도	중수소 함유 유체가 후단으로 이동하며 단계적으로 유의미하게 농축되는지?	물질수지 데이터

2 EDP 판정 보조인자 활용

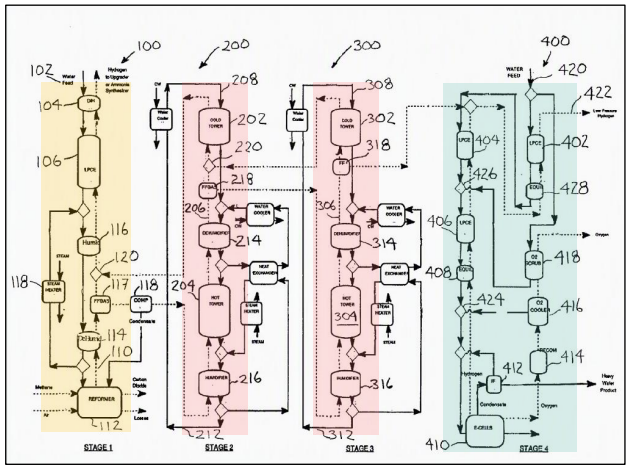
Sec 6.8. 중수 최종정체 장치, 고순도화 장치의 완성품 또는 그를 위한 탑
원자로급 중수를 만들기 위해 특별히 설계 또는 준비된
직경 0.1m 이상의 중수 고순도화 장치의 완성품 또는 탑

Sec 6.10. 수소 동위원소 교환 촉매가 충전된 탑
수소 동위원소 교환을 위해 특별히 설계 또는 준비된 탑의 완성품으로서 다음의 특성을 모두 가진 것:
무작위 또는 규칙형 방수 백금 촉매 충전 / 탄소강 또는 스테인리스강 / 0.1~4 MPa / 293~473K

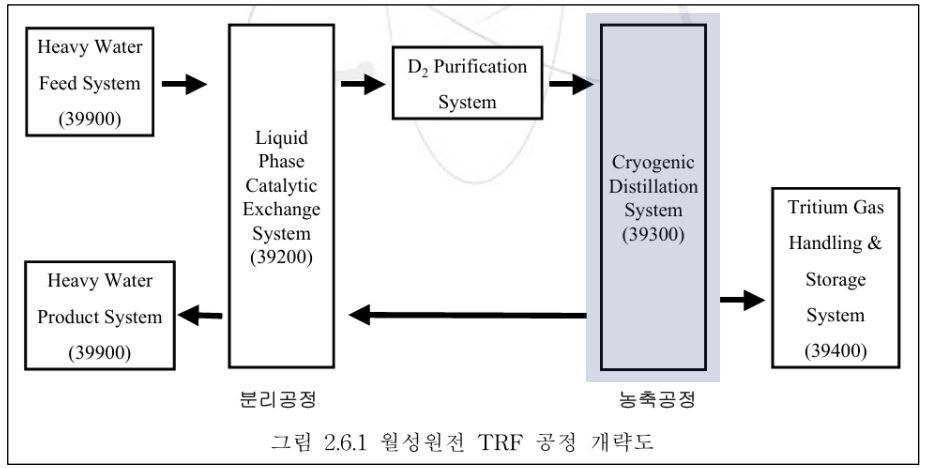
활용 예시

※ 본 예시는 KINAC의 전문판정 결과가 아님

설비	NSG 지침 관련 조항	기준 충족 여부	EDP 판정 보조인자 적용	판정(안)	비고
사용 후 중수 재생 설비	Sec.6.8	충족	해당 없음	해당	원자로급 중수 농축 용도
연구용 CECE 설비	Sec.6.10	충족	해당 없음	해당	연구용·소형이어도 사양 충족 시 통제 대상
소형 촉매교환 컬럼	Sec.6.10	충족	해당 없음	해당	
삼중수소 제거 설비(TRF[1]) 내 LPCE[2] 탑 1 Tritium Removal Facility 2 Liquid Phase Catalytic Exchange	Sec.6.10	?	[설비 간 연계] TRF 내 LPCE는 극저온 증류탑과 연계 [중수소 농도] 원자로급 농도 수준 내 변화	해당	NSG 지침 사양 충족
				비해당	이중용도품목에 해당, 중수 생산·농축 목적이 아님



개질기, 수소순환계통, 수전해조 등과
연계되는 중수 생산 공정



극저온 증류탑과 연계되는
TRF 내 LPCE 탑*

그림 2.6.1 월성원전 TRF 공정 개략도

* Source: 한국원자력연구소, 「트리튬 취급기술 개발(II)」, KAERI/RR-2421/2003, 2004, p.118, 그림 2.6.1.

3 NSG 지침 개정 제언

수소 동위원소 교환 촉매가 충전된 탑의 용도 명확화

- TRF의 LPCE 탑은 이중용도품목(Part 2 Section 2.B.1*) 통제 대상에 해당하면서 원자력전용품목(Part 1 Section 6.10) 해당 여지가 있음

  탑의 용도를 명확히 규정하여 중복 통제 방지 필요

  * Part 2 Section 2.B.1. Facilities or plants for the production, recovery, extraction, concentration or handling of tritium

현행		개정(안)	
Part 1 Section 6	6.10. Columns or towers packed with hydrogen isotope exchange catalyst Complete columns or towers especially designed or prepared for hydrogen isotope exchange having all of the following:	Part 1 Section 6	6.10. Columns or towers packed with hydrogen isotope exchange catalyst Complete columns or towers especially designed or prepared for hydrogen isotope exchange in the production or upgrading of heavy water, having all of the following:
	6.10. 수소 동위원소 교환 촉매가 충전된 탑 수소 동위원소 교환을 위해 특별히 설계되거나 준비된 완전한 탑의 완성품으로서 다음의 특성을 모두 가진 것:		6.10. 수소 동위원소 교환 촉매가 충전된 탑 중수의 생산 또는 고순도화를 목적으로 하는 수소 동위원소 교환을 위해 특별히 설계되거나 준비된 완전한 탑의 완성품으로서 다음의 특성을 모두 가진 것:

4 국내 영향

비원자력 기업의 원자력 수출입통제 요건 이행

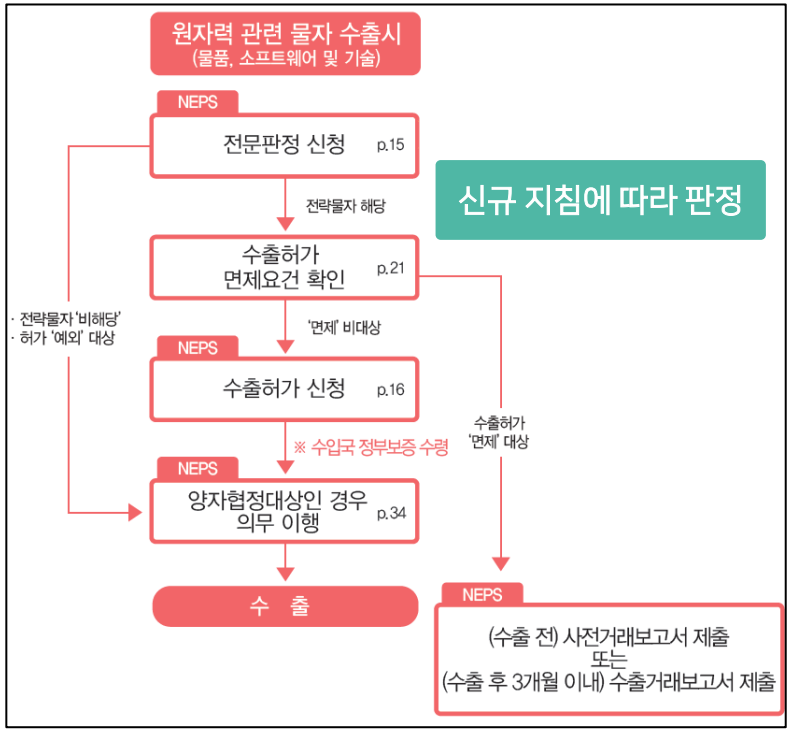
NSG 지침 개정 → 전략물자수출입고시 반영 → **수출허가 필요**

- 중수 및 중수소의 산업적 활용 확대에 따라
  비원자력 분야 산·학·연도 원자력 수출입통제의 이행주체가 될 수 있음

  도입·개발한 기술·설비의 사양에 따라 NSG 지침 및 국내 수출통제 대상이 될 수 있음

- 해외에서 도입한 기술·설비를 활용한 파생 기술·설비·산출물의
  제3국 수출 시, 원공급국의 이전조건 확인 필요

  원공급국과의 원자력협력협정 및 도입 당시 정부간보증 등의 조건에 따라
  재이전에 대한 사전동의·통보가 요구될 수 있음



원자력전용품목 수출 절차 *

* Source: 한국원자력통제기술원, 「2026 원자력 수출입통제 매뉴얼」, p.14

Ⅳ 결론



KINAC
KOREA INSTITUTE OF NUCLEAR NONPROLIFERATION AND CONTROL
한국원자력통제기술원

결론

- **신규 중수 생산·농축 공정**의 통제체계 반영

  NSG Rev.15 개정으로 CECE·CIRCE·BHW 등 촉매 기반 신규 공정 및 관련 설비가 통제체계 및 국내 고시에 반영됨

- 전문판정을 위한 **기술적 검토 기반** 마련

  국내 중수 생산·농축 관련 기술·설비의 도입과 제도 개정에 대응하기 위해 신규 공정의 주요 설비와 기술적 특성을 정리하고,
  기타 화학 공정과의 차이를 분석함

- EDP 판정을 위한 **보조기술 인자** 제안

  수소의 역할, 동위원소 교환방식, 설비 간 연계, 공정 내 중수소 농도 등 공정의 목적과 기능을 고려함

- 유사 설비에 대한 **통제범위 명확화** 제안

  삼중수소 제거 설비 내 LPCE 탑과 같은 동일·유사한 기술 및 장비를 사용하는 경우 존재함
  → Section 6.10. 중수 생산·농축 목적 명시로 중복 통제 해소

- 비원자력 산업의 중수·중수소 활용 확대에 따라 관련 산·학·연도 원자력 수출통제의 적용대상이 될 수 있음

  해외 도입기술을 활용한 파생 기술·설비·산출물 수출 시 원공급국 이전조건도 함께 확인이 필요함

KOREA INSTITUTE OF NUCLEAR
NONPROLIFERATION AND CONTROL

감사합니다.

swhan@kinac.re.kr
* chans@kinac.re.kr



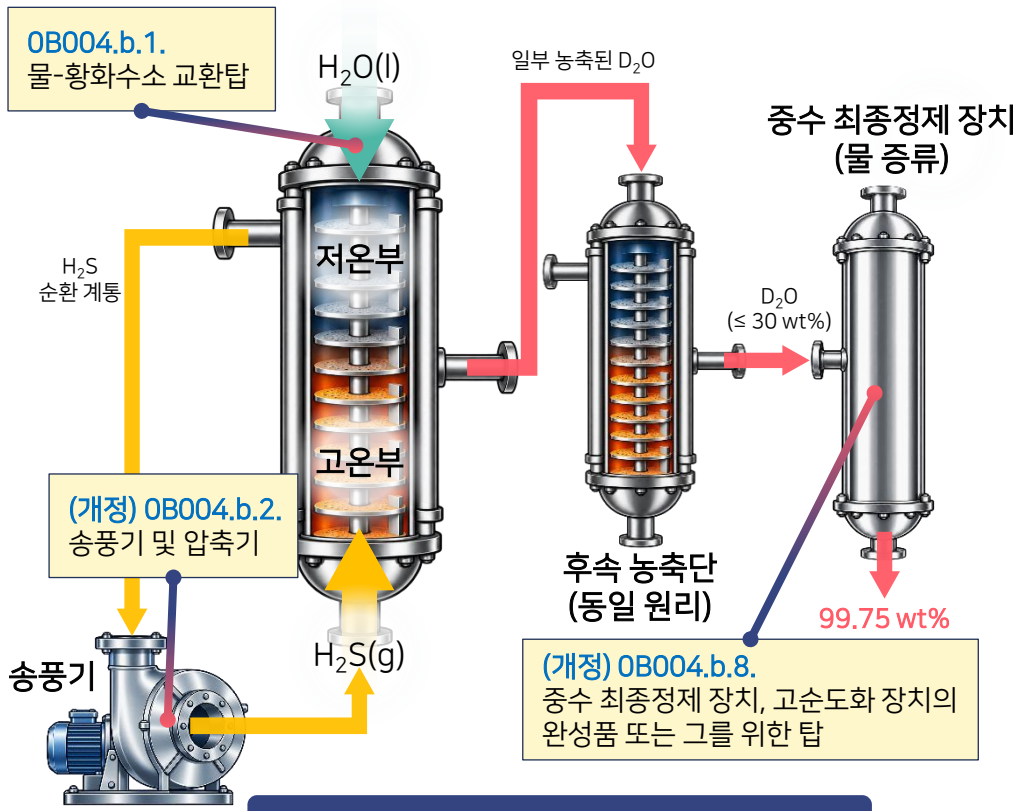
KINAC
KOREA INSTITUTE OF NUCLEAR NONPROLIFERATION AND CONTROL
한국원자력통제기술원

1 NSG 지침 개정사항

구분	NSG	국내 고시	항목	변경 내용
변경	**Part 1 INTRO**	**0B004**	**중수, 중수소 및 중수소 화합물을 생산 또는 농축하기 위한 공장 및 그 용도로 특별히 설계 또는 준비된 장비**	**CECE, CIRCE 및 BHW 신규 공정 및 관련 설명 추가**
변경	Part 1 Sec 6.2	0B004.b.2	송풍기 및 압축기	유량 기준을 '56 m^3/s'에서 '5m^3/s'로 하향 (확대)
변경	Part 1 Sec 6.3	0B004.b.3	암모니아-수소 교환탑	직경 기준을 '1.5~2.5m'에서 '1.5m 이상'으로 변경 (확대)
삭제	Part 1 Sec 6.6	0B004.b.6	적외선 흡수분석기	삭제 (축소)
변경	**Part 1 Sec 6.8**	**0B004.b.8**	**중수 최종정제 장치, 고순도화 장치의 완성품 또는 그를 위한 탑**	**중수 최종정제 장치를 추가하고, 컬럼 직경 '0.1m 이상' 명시**
신설	**Part 1 Sec 6.10**	**0B004.b.10**	**수소 동위원소 교환 촉매가 충전된 탑**	**방수 백금 촉매 교환컬럼·탑의 재질 및 운전조건 규정**
변경	Part 2 Sec 2.A.2	1A225	물로부터 삼중수소를 분리하거나 중수를 생산 또는 업그레이드 하기 위한 것으로서, 수소와 물 사이의 수소동위원소 교환반응을 촉진하기 위해 전용 설계되거나 준비된 방수 처리된 백금촉매	촉매를 방수형 백금촉매로 한정, 중수 업그레이드 통제용도 추가

2 기존 중수 생산·농축 공정

물-황화수소 교환 (GS 공정 [1])



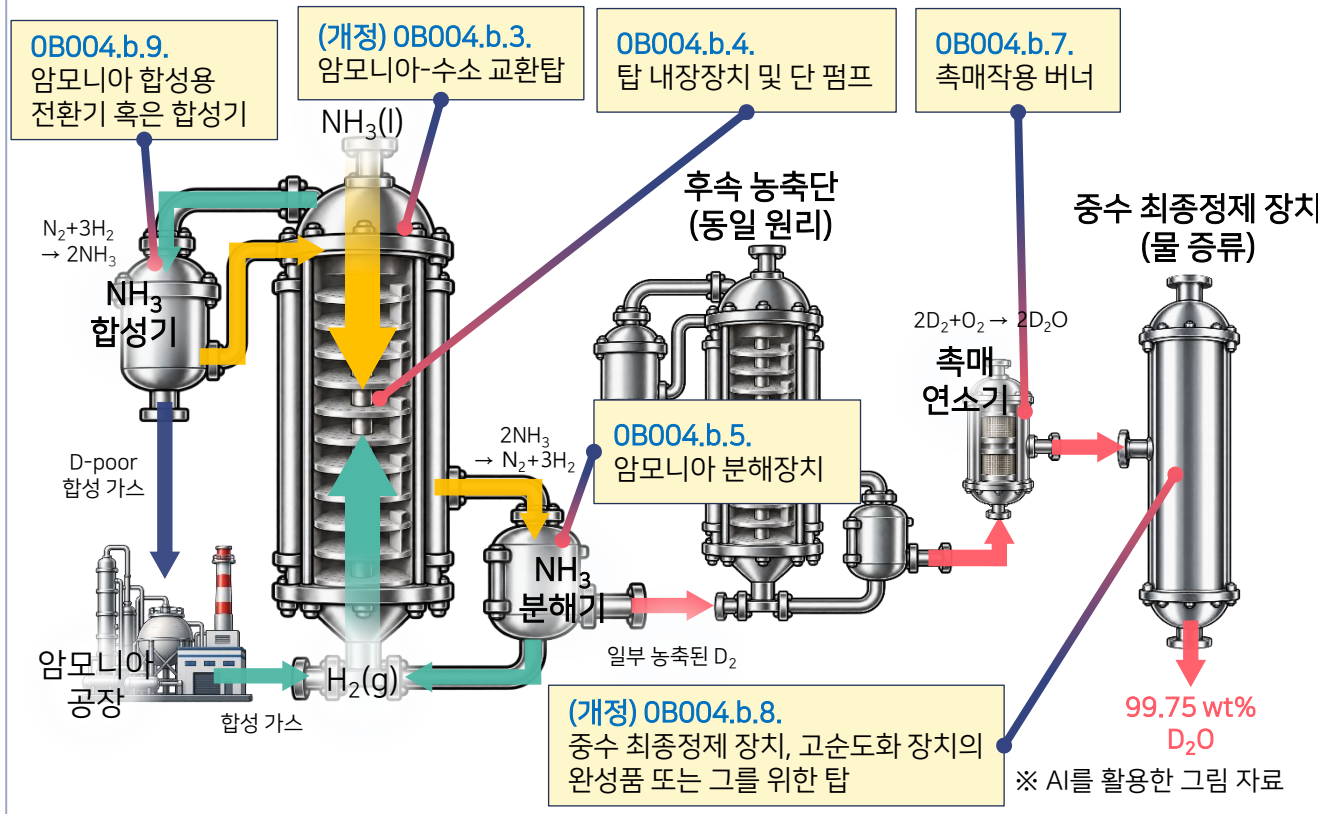
온도에 따른 동위원소 교환 평형 차이 이용

저온부 $H_2S \rightarrow H_2O$ (D 이동)

고온부 $H_2O \rightarrow H_2S$ (D 이동)

H_2O의 D 농도가 최대가 되는 Junction에서 추출
→ 동일 과정 반복 → 증류 → 원자로급 중수

암모니아-수소 교환



※ AI를 활용한 그림 자료

암모니아와 수소 사이의 동위원소 교환 평형 이용

$HD(g) + NH_3(l) \rightleftharpoons H_2(g) + NH_2D(l)$

중수소 농축 암모니아 분해 → 중수소 추출
→ 동일 과정 반복 → 촉매 연소 → 증류 → 원자로급 중수

1 Water-hydrogen sulphide exchange process (Girdler-Sulfide process, GS process)

1 Combined Industrial Reforming and Catalytic Exchange (CIRCE)
2 Bithermal Hydrogen-Water exchange (BHW)
3 Combined Electrolysis and Catalytic Exchange (CECE)

3 신규 중수 생산·농축 공정

복합 산업용 개질-촉매 교환 (CIRCE [1])

(개정) 1A225.
방수 백금 촉매
※ 이중용도품목에 해당

$H_2O(l)$

농축 D_2O

$H_2(g)$

개질기

CH_4

(신설) 0B004.b.10.
수소 동위원소 교환 촉매가 충전된 탑

이중온도 수소-물 교환 (BHW [2])

(개정) 1A225.
방수 백금 촉매
※ 이중용도품목에 해당

가습기

Cold $H_2O(l)$

Cold H_2 (D-poor)

농축 D_2O

Cold $H_2(g)$ (D-rich)

Hot H_2 (D-rich)

Hot $H_2O(l)$

Hot $H_2(g)$ (D-poor)

제습기

D 가 추출된 H_2O

복합 전기분해-촉매 교환 (CECE [3])

(신설) 0B004.b.10.
수소 동위원소 교환 촉매가 충전된 탑

(신설) 0B004.b.8.
중수 최종정제 장치, 고순도화 장치의 완성품 또는 그를 위한 탑

$H_2O(l)$

$H_2(g)$

수전해조

농축 D_2O

※ AI를 활용한 그림 자료

수소와 물 사이의 동위원소 교환 + 개질공정 이용

$HD(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_2(g) + HDO(l)$

개질기에서 H_2 생성 → 촉매교환탑에 공급
→ 전단 농축 → 후속 CECE 등 고농축단

온도에 따른 수소-물 동위원소 교환 평형 차이 이용

저온부 $H_2 \rightarrow H_2O$ (D 이동)

고온부 $H_2O \rightarrow H_2$ (D 이동)

H_2가 저온·고온 촉매교환탑 사이에서 폐순환
→ 반복 농축

수소와 물 사이의 동위원소 교환 + 전기분해 이용

$HD(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_2(g) + HDO(l)$

촉매교환 후 물을 전기분해 → D는 액상에 농축
→ 생성된 H_2는 교환탑으로 공급 → 반복 농축

4 방수 백금 촉매 동위원소 교환 반응

