

한국 원자력의 새역사, 원자력 종주국 미국에 연구로 설계 수출 쾌거

- 원자력연 연합체(컨소시엄), 미국 미주리대 차세대연구로(NextGen MURR) 설계 수출 계약 체결
- 66년 전 미국 도움으로 시작했던 연구로, 미국으로 수출 성공

과학기술정보통신부(장관 유상임, 이하 '과기정통부')는 한국원자력연구원 현대엔지니어링·MPR 연합체(컨소시엄)*가 미국 미주리대학교가 국제 경쟁입찰로 발주한 미주리대 「차세대연구로 사업(NextGen MURR**프로젝트)」의 첫 단계인 초기설계*** 계약을 체결했다고 17일 밝혔다.

* 한국원자력연구원(원장 주한규), 현대엔지니어링(주)(대표이사 주우정), 미국 MPR(대표이사 Dennis Klein)

** (NextGen MURR) : Next Generation Missouri University Research Reactor

*** (Design Study Package) 연구로의 개념/상세설계에 앞서 건설 부지 조건, 환경영향평가 등을 비롯한 설계에 필요한 사전단계의 정보를 분석

이번 성과는 미국의 도움을 받아 시작된 우리의 원자력 기술로 종주국인 미국에 연구로 설계 수출의 첫 발을 내디딘 쾌거라는 데에 특별한 의의가 있다. 1959년 7월 14일 미국으로부터 연구용 원자로 1호기(TRIGA Mark-II)를 도입하면서 시작된 우리나라 원자력 기술이 66년 만에 종주국으로 역수출 하게 되어, 세계 최고 수준의 원자력 기술 역량을 보유하였다는 것을 확인해 주는 사례라고 할 수 있다.

이 사업은 미국 미주리대학교의 20 MW_{th}급 고성능 신규 연구로 건설을 위한 설계 사업으로, 미주리대의 설계 사업 입찰에 연합체(컨소시엄)<책임자 : 원자력연구원 임인철 부원장>가 참여하여 지난 7월 최종협상 대상으로 선정되었으며, 사업의 첫 단계로 4월 17일(한국 시간 기준) 초기설계 계약이 확정된 것이다.

과기정통부와 원자력연구원은 그간 우리나라 최초 연구로인 ① 하나로(30MW_{th}) 지력 설계·건설·운영('95년), ② 말레이시아 연구로 디지털 체계(시스템) 구축 사업('14년), ③ 요르단 연구로(5MW_{th}) 설계 및 건설('17년), ④ 방글라데시 연구로 디지털 체계(시스템) 구축 사업('24년), ⑤ 네덜란드 델프트 연구로 냉중성자원 제작 및 설치 사업(OYSTER 사업, '24년) 등 꾸준한 수출 성과를 도출해 온 바 있다. 또한, '22년 수출형 신형 연구로(15MW_{th})를 착공하여 건설하고 있다.

연합체(컨소시엄)가 최종협상대상자로 선정되고 1단계 계약을 체결하게 된 가장 큰 요인은 연구로 분야에 대한 과기정통부의 꾸준한 투자를 바탕으로 일군 높은 기술력과 원자력연구원 연구자들의 기술 개발과 수출을 위한 지속적인 노력, 원자력 사업 경험이 많은 현대엔지니어링 및 미국기업(MPR)과의 협력이 중요했다고 평가된다. 특히, 원자력연구원에서 개발한 세계 유일의 고성능 연구로 핵연료 기술*은 사업 수주의 핵심적인 기술 요인으로 평가되며, 요르단 연구로 사업 등 과거 해외 연구로 사업의 성공적인 수행 경험도 응찰 준비와 수주에 중요한 밑바탕이 되었다.

* 우라늄 밀도가 기존보다 높아 연구로 성능 향상 및 높은 수준의 핵확산 저항성 보유

이날, 과기정통부는 연구로 해외진출 강화를 위한 전략도 마련할 예정이라고 밝히며, 전 세계적으로 운영되고 있는 연구로가 노후화*되고, 방사성동위원소 생산 수요 증가에 따라 연구로 수출 시장 규모가 대폭 확대될 것으로 예측되는 상황에서, 연구로 수출을 촉진하고 연구로 관련 기업을 육성하기 위해 ▲연구로 수출 전략성 강화, ▲민관협력형 수출기반 조성 및 기술 고도화, ▲국제협력을 통한 수출 기회 확대 등을 지원해 나가겠다고 전했다.

* 전세계 54개국 227기의 연구로 운용 중. 현재 가동 중인 연구로 70% 이상이 40년 이상 노후 연구로로, 향후 20년간 50기 정도의 수요 발생 전망

유상임 과기정통부 장관은 “이번 미국 미주리대 연구로 설계 사업 수주는 과거 우리나라가 원자력을 도입할 때 도움을 줬던 미국에 역으로 연구로 설계를 수출하는 우리나라 원자력의 새로운 성공 역사”라며, “향후 정부는 연구로에 대한 전략적 수출을 강화하는 한편, 국가전략기술인 선진 원자력 기술 개발에 박차를 가해 국제 원자력 기술을 선도하고, 미래성장동력으로 발전시켜 국민의 삶을 풍요롭게 할 수 있도록 노력하겠다”라고 밝혔다.

주한규 원자력연구원 원장은 “이번 사업 수주는 세계 유일의 고성능 연구로 핵연료 기술과 높은 설계 능력 등 연구원이 쌓아온 독보적인 기술력과 민간의 해외사업 역량이 결합되어 만든 또 하나의 이정표”라며, “이번 일을 계기로 국민의 지지를 받아 이룬 원자력 연구결과를 실물화하는데 더욱 노력하겠다”라고 강조했다.

담당 부서	공공융합연구정책관 원자력연구협력팀	책임자	팀 장	최은영	(044-202-4650)
		담당자	사무관	서진원	(044-202-4653)
관련 기관	원자력연구원	책임자	부 원 장	임인철	(042-868-8432)
		담당자	책임연구원	서경우	(042-868-4803)

내일을 만드는 과학기술
내일을 채우는 디지털·AI

더 아픈 환자께 양보해 주셔서 감사합니다
가벼운 증상은 동네 병·의원으로

대한민국
지책브리핑

OPEN
공공누리 공공저작물 자유이용허락

□ 사업 추진 배경

- 미주리대, 기존 연구로(MURR)*에 더해, 의료용 동위원소 생산 능력을 확대하기 위해 차세대 연구로(NextGen MURR) 건설 사업 실시 공고('23년 4월)

* (Missouri University Research Reactor) 1966년 가동을 시작해 고농축우라늄 연료를 사용하는 10 MW_{th} 연구로로, 주로 의료용 방사성동위원소(Y-90, Mo-99, I-131, Lu-177 등) 생산 및 연구개발에 이용 중

□ 추진 경과

- 전적요청서에 따른 사전 자격심사 통과('23.08.08.)
- 2개 업체 예비후보(Semi-finalist)로 선정('24.05.21.)
※ 미주리대에서 2개 업체에 대한 제3자 검토(Third Party Desktop Review) 수행
- 최종 협상 대상으로 컨소시엄 선정('24.07.12.)
※ 차세대 연구로(NextGen MURR) 설계사업은 세부적으로 1단계 개념설계, 2단계 기본 설계 및 건설 인허가, 서류작성 등
- 초기설계(Design Study Package) 계약('25.04.17. 미국 동부시 기준 04.16. 11시)

□ NextGen MURR 설계 및 성능 요건

- 수조 내 탱크형 원자로, 상온/상압, 열출력 약 20 MW
- 저농축 핵연료 적용
- 건설부지 : Discovery Ridge Research Park, 현재 MURR 부지
- 최대 열중성자속 : 5×10^{14} n/cm²/sec 이상
- 노심 내부/외부(반사체) 영역에 요건을 충족한 조사공 제공
- 출력운전 중 조사표적 장전 인출 가능하여야 함
- 원자로 수명 60년, 연간 평균 340일 운전

□ NextGen MURR 사업 컨소시엄 구성

- 원자력 기술 역량과 협력 경험을 고려한 컨소시엄 구성
 - ※ 한국원자력연구원(KAERI) : 연구로 운영 및 활용, 해외 수출 경험
 - ※ 현대엔지니어링(HEC) : 사업 운영 능력
 - ※ 美 MPR 社 : 미국 원자력규제위원회 인허가 경험

□ 방글라데시 연구로 개선사업

- 계약자 : 원자력(연)
- 사업기간 : '21~'24
- 사업내용 : 연구로 계측제어계통을 아날로그에서 디지털 형식으로 개조

□ 네덜란드 델프트공대 OYSTER 개조사업

- 계약자 : 원자력(연), 현대엔지니어링 컨소시엄
- 사업기간 : '14~'15, '17~'24
- 사업내용 : 델프트공대 기존 연구로(HOR)의 개조 및 냉증성자 생산설비 구축

□ 말레이시아 소형 연구로 RTP(1MW) 개선사업

- 계약자 : 원자력(연)
- 사업기간 : '12~'14
- 사업내용 : 노후된 TRIGA 형식 소형 연구로 RTP(1MW)의 계측 제어 계통을 디지털 형식으로 개조(설계, 제작, 설치, 시운전 및 교육훈련 포함)

□ 요르단 JRTR 연구로(5MW) 설계/건설 사업 수주

- 계약자 : 원자력(연)-대우건설 컨소시엄
- 사업기간 : '10~'17
- 건설부지 : 요르단 과학기술대학교 캠퍼스
- 사업내용 : 원자로, 부속건물, RI생산시설 및 교육훈련동 건설 등

□ 태국 TRR-1/M1연구로(2MW) 계측제어계통 교체지원사업 수행

- 계약자 : 원자력(연)
- 사업기간 : '09~'12
- 사업내용 : 태국이 운영 중인 노후 연구로(TRIGA)의 계측제어계통 개선을 위한 기술자문(태국 측 요청에 의한 사업 참여 결정)

□ 그리스 GRR-1(5MW) 1차 냉각계통 개선 자문사업 참여

- 계약자 : KEPCO E&C-원자력(연) 컨소시엄
- 사업기간 : '09~'11
- 사업내용 : 노후 연구로의 1차 냉각계통 교체 관련 기술자문 및 안전성 분석 관련 자문 수행

참고 3

우리나라 원자력 기술 개발 역사

도입기	성장기	성숙기
<ul style="list-style-type: none"> 원자력법 ('58) 원자력원, 원자력위원회('59) 	<ul style="list-style-type: none"> 원자력연구개발기금('96) 원자력진흥종합계획('97) 	<ul style="list-style-type: none"> 방사선연구소('05) 양성자가속기연구센터('13)
 <p>원자력연구소 개소('59)</p>  <p>국내1호 원자로 준공('62)</p>	 <p>중수로핵연료 국산화('87)</p>  <p>경수로핵연료 국산화('88)</p>	 <p>요르단연구로 수출('09)</p>  <p>UAE 원전 수출('09)</p>
 <p>방사선의학연구소 개소('63)</p>  <p>고리1호기 준공('78)</p>	 <p>하나로 설계건조('95)</p>  <p>한국표준형 원전개발('96)</p>	 <p>양성자가속기 (100MeV, '12)</p>  <p>SMART 표준 설계인가('12)</p>

□ 도입기(1950후반~70년대)

- '58년 「원자력법」 제정 및 '59년 원자력원, 원자력위원회 설립 등 원자력 기술 개발의 기초 마련
- '59년 TRIGA MARK-II 착공
- '59년 원자력연구소, '63년 방사선의학연구소 설립
- '62년 TRIGA MARK-II 연구로 1호기(미국에서 도입) 준공으로 본격적인 원자력 R&D 및 인력양성 시작
- '78년 고리1호기 준공으로 상업용 원자력 발전 개시

□ 성장기(1980~90년대)

- '87년 중수로핵연료 국산화 성공(R&D→산업화 최초 사례)
- 경수로핵연료 국산화 사업, 하나로 설계건설사업, 한국표준형 원전 개발 등 원자력 기술 자립 성공
- 원자력연구개발기금과 원자력진흥종합계획의 제도화(기술 성숙 기반)

□ 성숙기 (2000년대~)

- '09년 요르단 연구로 수출 및 UAE 원전 수출 등 국산화된 기술로 해외 원자력 시장에 진출 개시
- 100 MeV 양성자 가속기 완공, SMART(세계 최초로 표준설계인가 획득 SMR)를 비롯한 차세대 원자로 개발 등 기술 고도화

□ 현대엔지니어링(HEC) 강점

- 현대엔지니어링(HEC)은 1974년 수립된 이후 건축, 인프라, 발전 및 화공 플랜트분야의 설계사로서 우수한 설계 능력을 인정받음
- 2000년대 초부터 플랜트 EPC 사업에 진출하여 국내외 다양한 분야 및 규모의 사업을 성공적으로 수행
- 원자력 분야에서는 1985년 원자력팀을 조직한 후 다양한 원자력 시설에 대한 설계 업무를 지속적으로 수행
 - ※ 2008년 한국수력원자력 “가동원전 Q 등급 설계 자격” 확보,
 - ※ 2011년 KEPIC-SN(원자력발전소 안전등급 구조물 설계) 품질인증 확보
 - ※ 2022년 미국 기계공학회(ASME)와 대한전기협회(KEPIC)로부터 원자력발전소 시공과 관련한 다수의 품질인증 확보
- 다년간 축적된 원자력분야 기술 경험 및 설계 능력과 플랜트 건설 사업의 대규모 EPC 수행 경험을 통해 국내외 원자력 사업 참여

□ 원자력 분야 주요 실적

구분	건수	주요 사업
가동원전	144	한빛 3,4호기 증기발생기 교체설계 기술 용역
		2023년 제1차 가동원전 일반설계(종합) 기술 용역
		표준형원전(8개 호기) 냉동기 교체설계 용역
		중대사고 관리전략 이행을 위한 MACST 설비 계통연계 상세설계
부지조사	22	방사성폐기물처분시설 부지특성 조사, 운영 전/운영 중 부지감시 및 조사
핵주기시설	43	한울본부 사용후핵연료 건식 저장시설 종합 설계
		종합파이로 건식처리시설(KAPF)의 설계요건 개발 및 예비개념설계
		금속연료 및 노심부품 개발시설 신축공사 설계 용역
		경수로 원전 연료 증설 성형가공시설
연구시설	26	조사후연료시험시설 노후설비 환경개선 개념설계 및 비용 산출 용역
		오이스터 프로젝트(네덜란드 델프트공대 연구로 개선사업)
해체	9	중수로 칼란드리아 절단 및 열수송계통 제염 실증 인프라 구축 및 기술고도화
		원전해체 비용의 현금화 단가분석 연구

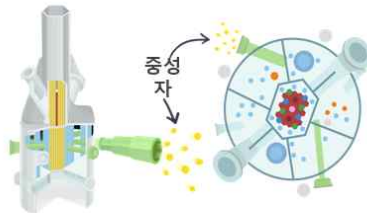
□ 인포그래픽

연구로 개념도

우라늄의 핵분열에서 발생하는 중성자를 이용하여
우리 생활에 필요한 의료, 신 물질 생산 등을 하는 장치



중성자가 물질을 투과하는 성질을 이용하여 x-ray처럼 물질의 내부 모습을 확인하고 분석하여 신소재 개발



중성자를 이용하여 의료진단, 암 치료 등에 필요한 방사성 동위원소(조영제, 치료제 등) 생산



중성자가 원자핵과 반응하여 방사능을 지닌 새로운 물질이 되는 원리(방사화)를 이용하여 범죄 수사나 환경오염 조사에 활용

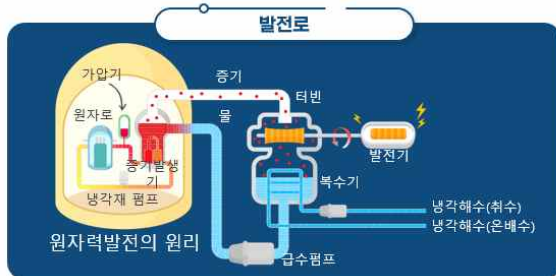


연구로에서 발생하는 중성자를 직접 쬌어서 전력 반도체 공정 효율화 및 대량 생산 가능



전기 생산용 원자력에서 발생하는 중성자가 구조 재료에 미치는 영향 분석

연구로와 발전로의 차이



☑ 원자핵 분열로 발생한 열을 이용해 증기를 만들고,
이를 발전기에 연결해 전기를 생산



☑ 원자핵 분열로 발생한 중성자를
다양한 연구와 산업에 활용

한국 연구로 기술의 강점

1

연구로 설계/건설/인허가/
운영/활용의 총괄적 경험 능력

하나로

기장으로

2

우수한 기술력을 바탕으로
해외사업을 성공적으로 완수

JRTR

OYSTER

*오르단, 네덜란드, 말레이시아, 방글라데시 등

3

철저한 핵비확산 원칙하에
설계되어 안전하고 신뢰성 높은 운영

핵비확산성이 높은 고밀도 저능속
연구로핵연료 제조 역량 보유

☑ 기존 연구로에서 효율을 높이기 위해 사용되는
고능속 우라늄은 핵무기 원료로 전용될 수 있음

☑ 한국이 개발한 고밀도 저능속 우라늄 핵연료는
핵무기로 전용할 수 없으면서 연구로 효율을
높일 수 있어 핵비확산에 기여가능

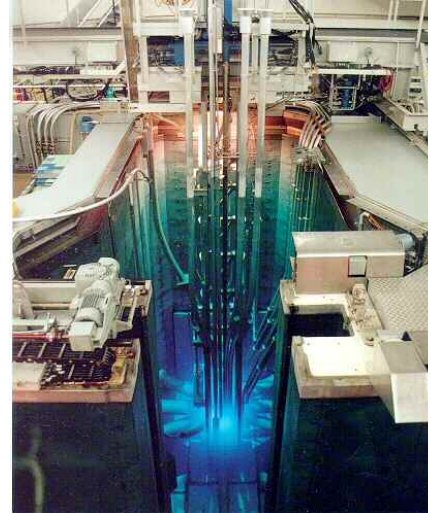
□ TRIGA MARK-II



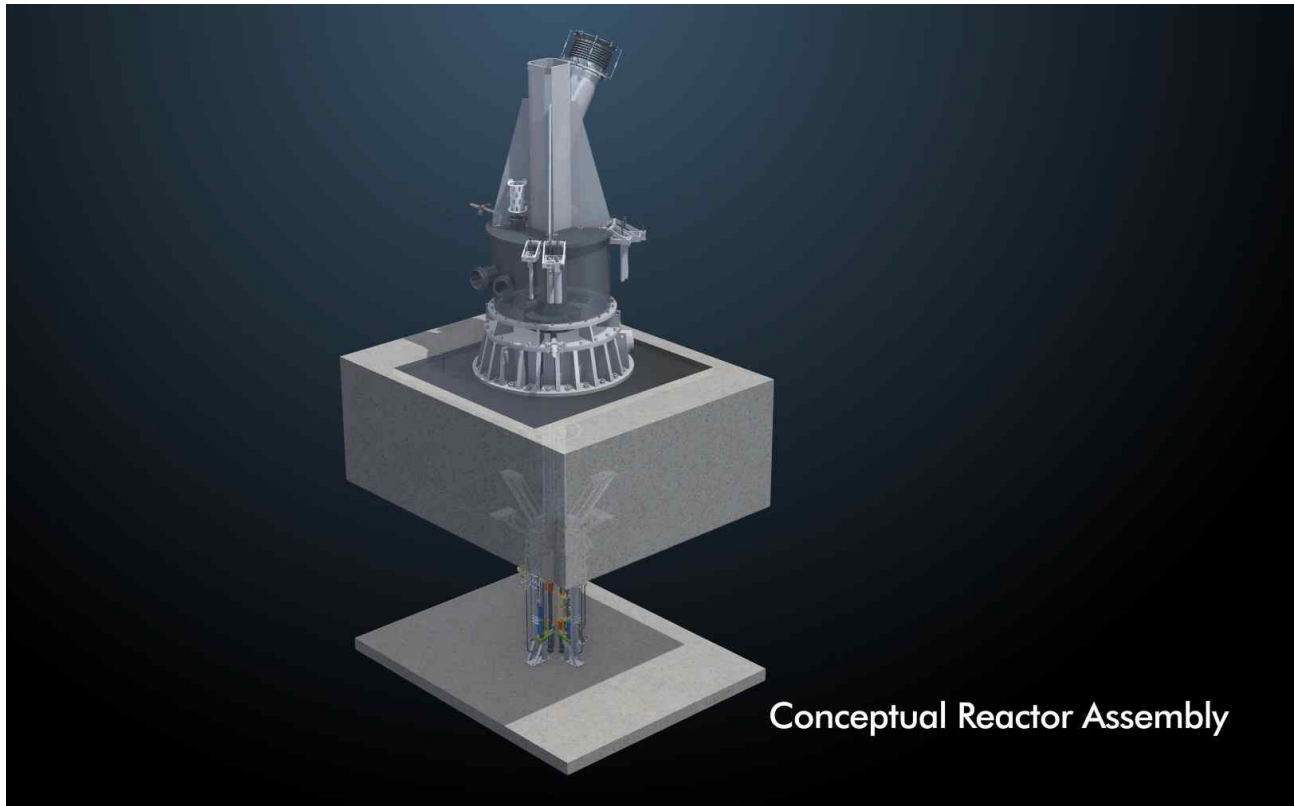
□ 연구용 원자로 하나로



□ 하나로 (좌) 및 네덜란드 델프트공대 연구로 (HOR) (우) 원자로 구조



□ MURR 노심집합체 개념도



□ 배경

- **(세계 시장전망)** 전 세계적으로 노후 연구로 대체 및 신설 수요가 증가(향후 20년간 30~50기 수요 발생 전망)함에 따라, 수출 유망주로 부상



※ 세계 연구로 운용 현황(출처: IAEA RRDB) : 54개국에서 총 227기의 연구로를 가동 중

- **(노후대체)** 현재 가동 중인 연구로의 70% 이상(43개국 161기)이 40년 이상된 노후 연구로로, 대체 수요 지속 발생 예상
- **(신규도입)** 방사성의약품 생산에 필수적인 동위원소의 수요 증가로 연구로 시장도 꾸준히 성장할 것으로 전망

⇒ 연구용 원자로, 원자력 분야 수출 유망주로 부상

- **(한국 연구로 경쟁력)** 한국은 독자적 설계·건설 능력과 국제적인 신뢰 측면에서 강점
 - **(국내 연구로 현황)** 1995년에는 30MW급의 하나로(HANARO) 연구로를 자력 건조하고, 현재 신형 연구로(KJRR)*를 건설 중(부산 기장)
 - * 의료·산업용 방사성동위원소의 국내 수급 안정화와 수출을 위한 아시아 유일의 동위원소 생산 전용 연구로로, 세계 몰리브덴-99 수요의 20% 이상 충당 가능
 - **(해외사업 수주 현황)** 1959년 美로부터 1호기 도입 이후 독자적 설계·건설 등을 통해 쌓아온 기술력을 바탕으로 각종 해외사업 성공적 완수

<해외 연구로 사업 수주 현황>

국가명	사업내용	사업기간	비고
방글라데시	방글라데시 연구로(BTRR) 계측 제어 계통 개선	'21~'24	부분 개선
네덜란드	델프트공대 연구로(HOR) 개조 및 냉중성자 생산시설 구축	1단계: '14~'15 2단계: '17~'24	부분 개선
말레이시아	말레이시아 소형연구로(RTP) 계측 제어 계통 개선	'21~'14	부분 개선
요르단	요르단 연구로(JTRR, 5MW) 설계 및 건설	'10~'17	설계, 건설

※ 美 미주리대 차세대연구로 건설사업의 초기설계 계약 체결('25.4월)

- **(기술적 강점)** 우라늄 밀도가 기존보다 높아 연구로 성능향상 및 높은 수준의 핵확산 저항성을 갖는 세계 유일의 고성능 핵연료 기술을 보유

⇒ 연구로 시장 진출 확대를 위한 전략적 대응 방안 마련 필요

□ 주요방향

- **(사업성)** 연구로 해외사업은 개별 맞춤형 설계 또는 부분 개선이 주를 이뤄 경제성 확보에 한계

⇒ 맞춤형 패키지 수출, 연구로 파생시장 진출 확대, 국제신인도 제고 등을 통한 연구로 수출 사업성, 경제성 및 지속성 확보

- **(추진체계)** 기존 연구로 해외사업은 간헐적 수요로 출연(연) 주도의 수주가 가능하였으나, 향후 예상되는 수요 증가에 유연한 대응이 어려움

⇒ 연구로 관련기업 육성, R&D 성과 민간 확산강화, 인력양성 및 정보체계 고도화 등 민관협력 연구로 수출 생태계 조성

- **(국제협력)** 잠재 수출국과의 정책교류 및 협력체계 미비, IAEA 등 국제기구와의 상시적 소통 채널 부재로 인한 수요국 정보 부족

⇒ 잠재 수출국 및 국제기구와의 상시적 교류 협력을 위한 네트워크 구축으로 연구로 수출 기회 확대

□ 향후계획

- 「연구로 수출 활성화 전략」 마련(6월 예정)