KAERI/RR-4559/2020
보안과제( ), 일반과제(○)

79403-20

하나로 운영 정상화 종합대책반 운영

Operation of comprehensive task force team to stabilize HANARO management

KAERI

한국원자력연구원

KAERI

제 출 문

한국원자력연구원장 귀하

이 보고서를 “하나로 운영 정상화 종합 대책반 운영”과제의 연구보고서로 제출합니다.

2020년 7월 31일

주관연구기관명	한국원자력연구원
주관연구책임자	최기용
연 구 원	
(총괄분과)	백원필, 최기용, 김형규, 신진원
(성능분석분과)	이병철, 최영산, 김성훈, 김연식, 박상준, 서용석, 이윤환, 정환성, 조 석, 조영갑, 최정운
(운영분석분과)	임인철, 최호영, 박진균, 박찬국, 신성민, 서철교, 윤현기, 이상훈, 채희택, 한재삼
(미래전략분과)	김현준, 한영수, 박 철, 박울재, 성백석, 우상익, 우완측, 윤미래, 이기홍, 홍성택
외부전문가	강병위, 나성호, 류호진, 문병위, 박성균, 우종섭, 전병진

KAERI

보고서 요약서

과제고유번호	79403-20	해당단계 연구기간	2020.1.1.- 2020.7.31.	단계구분	
연구사업명	중사업명	자체연구개발사업			
	세부과제명				
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	하나로 운영 정상화 종합대책반 운영			

연구책임자	최기용					
		해당단계 참여 연구원수	총 42명	해당단계 연구비	정부	12,117 천원
			내부 35명		기업	천원
			외부 7명		계	12,117 천원
		총연구기간 참여 연구원수	총 42명	총 연구비	정부	12,117 천원
			내부 35명		기업	천원
			외부 7명		계	12,117 천원

연구기관명 및 소속부서명	한국원자력연구원, 연구로기술단	참여기업명	
국제공동연구	상대국명 :	상대국 연구기관명 :	
위탁연구	연구기관명 :	연구책임자 :	
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내로 작성합니다.)		보고서 면수	122p.

후쿠시마 원전사고 후속조치에 따른 하나로 원자로건물 내진보강공사 이후 최근 수년간 복합적인 원인에 의해 정상가동이 지연되고 있어서, 국가 핵심연구시설로 재도약하기 위해 원자로 정지이력과 설비 상태 및 관리체계를 분석하여 효과적인 시설관리체계를 도입하고, 운영조직과 인력, 예산, 절차서·지침서, 품질보증체계, 안전문화 등을 분석하여 운영체계를 최적화함과 동시에 이용을 활성화하기 위한 종합적인 대책을 수립함

- 하나로 안정 운영과 이용 활성화를 위한 조직 보강(단기)
- 유지보수-형상관리-경년열화관리 통합체계 구축 및 신기술 적용(단·중기)
- 운영전문성 향상을 위한 교육훈련체계 구축 및 기술자문위원회 운영(단기)
- 대형원자력시설 특성을 고려한 합리적 예산배정체계 도입(단·중기)
- 하나로 성능 유지·개선을 위한 리노베이션 추진(단·중기)
- 주기적안전성평가와 연계한 인허가 문서 및 절차서 전면 검토·정비(중기)
- 연구·사업 혁신과 이용활성화를 위한 「하나로이용로드맵」 개발(중기)
- 운영조직 사기 및 안전문화 제고를 위한 조치 이행(단·중기)
- 이해관계자 소통 강화 및 안정운영을 위한 외부 환경 개선(단·중기)

색인어 (각 5개 이상)	한글	하나로, 연구용원자로, 정상화, 경년열화관리, 운영, 활용, 종합대책
	영어	HANARO, research reactor, stabilization, aging management, operation, utilization, comprehensive measure

KAERI

요 약 문

Ⅰ. 제 목

하나로 운영 정상화 종합대책반 운영

Ⅱ. 하나로 개요 및 종합대책 필요성

○ 하나로(HANARO; High-Flux Advanced Neutron Application Reactor)는 국내기술로 자력 건조하여 1995년 가동한 다목적 연구용원자로(연구로)로서, 중성자를 이용한 물리·화학 등 기초연구, 원자력·재료·생명 등 응용연구, 의료·산업용 방사성동위원소 생산 등을 통해 국가 과학기술과 산업발전 및 국민복지에 크게 기여해옴

○ 하나로는 경수(H_2O) 냉각재, 중수(D_2O) 반사체 및 봉형 금속핵연료를 사용하는 30MW급 개방수조형 원자로로서, 세계적 수준의 열중성자빔 이용시설, 냉중성자빔 이용시설, 중성자 조사시험설비, 방사성동위원소 생산시설을 갖추어 중성자 공급능력과 이용시설 관점에서 세계 10위권의 연구로임

○ 하나로는 과학기술 및 산업적 가치가 크고 가동년수 25년의 비교적 젊은 연구로에 속하나, 후쿠시마 원전사고 후속조치에 따른 원자로건물 내진보강공사 이후 최근 수년간 복합적인 원인에 의해 정상가동이 지연되고 있어서, 국가 핵심연구시설로 재도약하기 위한 특별한 노력이 필요함

○ 따라서, 원자로 정지이력과 설비 상태 및 관리체계를 분석하여 효과적인 시설관리체계를 도입하고, 운영조직과 인력, 예산, 절차서·지침서, 품질보증체계, 안전문화 등을 분석하여 운영체계를 최적화함과 동시에 이용을 활성화하기 위한 종합적인 대책을 수립함

Ⅲ. 하나로 현안 분석 및 개선방안

1. 하나로 시설 현안 및 개선방안

○ 주요계통은 안전·성능 요건을 만족하나, 비안전계통 중심으로 정비·교체가 필요한 부품이 증가하는 추세이므로 단종(예정)되거나 노후화된 부품의 예비품 확보 및 예

방보수 등 적극적 성능관리를 이행함

○ 하나로의 불시 정지는 해외 연구로보다 많지 않으나 국민의 불신을 유발하는 핵심 요인으로 작용하고 있으므로, 가동 전 철저한 분석·점검으로 불시정지를 최소화하고 안정적 운영능력을 입증함

○ 최근 냉중성자원(CNS) 계통과 관련한 정지가 반복되었으므로 집중 대책이 필요하며, 특히 냉중성자원계통과 관련설비의 고장요인을 분석하여 집중적으로 성능을 관리하고 필요한 예비품을 확보함

○ 가동년수 증가에도 불구하고 통합된 유지보수 및 경년열화(노화) 관리체계가 미흡하므로 유지보수 및 경년열화(노화)관리 통합체계를 구축하여 운영함

2. 하나로 운영 현안 및 개선방안

○ 빈번한 조직개편으로 조직 안정성 및 리더십의 일관성이 부족하여 안정 운영을 저해하므로, 하나로의 안정 운영을 우선하고 이용과 운영의 연계를 강화하기 위한 조직 개선을 추진함

○ 운영요원의 일상적 운영능력은 높으나 기술적 문제 예측과 신속 대응을 위한 전문성이 일부 부족하므로, 운영조직의 전문성을 높이기 위해 인력을 보강하고 교육·훈련 및 기술지원 체계를 구축함

○ 시설 관련 고정비용의 증가와 운영예산의 지속 감소가 맞물려 필수 업무 수행에 어려움이 지속되고 있으므로, 최소한의 필수 직접비는 안정적으로 보장되도록 예산 배정 체계를 개선함

○ 최신 환경을 고려한 지침서·절차서의 연계성과 완결성의 강화가 필요하므로 규제기관 심사를 앞둔 주기적안전성평가 대응과 연계하여 인허가문서 및 절차서의 전면 검토 및 정비를 추진함

○ 원자로 정지와 관련한 과도한 규제 환경도 운영정상화를 크게 저해하는 요인이므로, 원자로정지 발생횟수를 감소시켜 대외 신뢰도를 우선 확보한 후 규제제도 합리화를 위해 체계적으로 노력함

○ 열악한 근무환경으로 운영조직의 사기와 안전문화가 저하되고 있으므로, 교대근무 환경 및 복지 개선 등을 포함하여 운영요원의 사기 진작 대책을 추진함

3. 하나로 이용 현안 및 개선방안

○ 2014년 전후 세계적 수준의 이용실적을 보였으나, 최근의 장기간 원자로 정지로 이용자그룹이 붕괴할 위기이므로 이용자 지원 조직과 제도의 혁신으로 이용자그룹을 복원하고 지속적으로 강화함

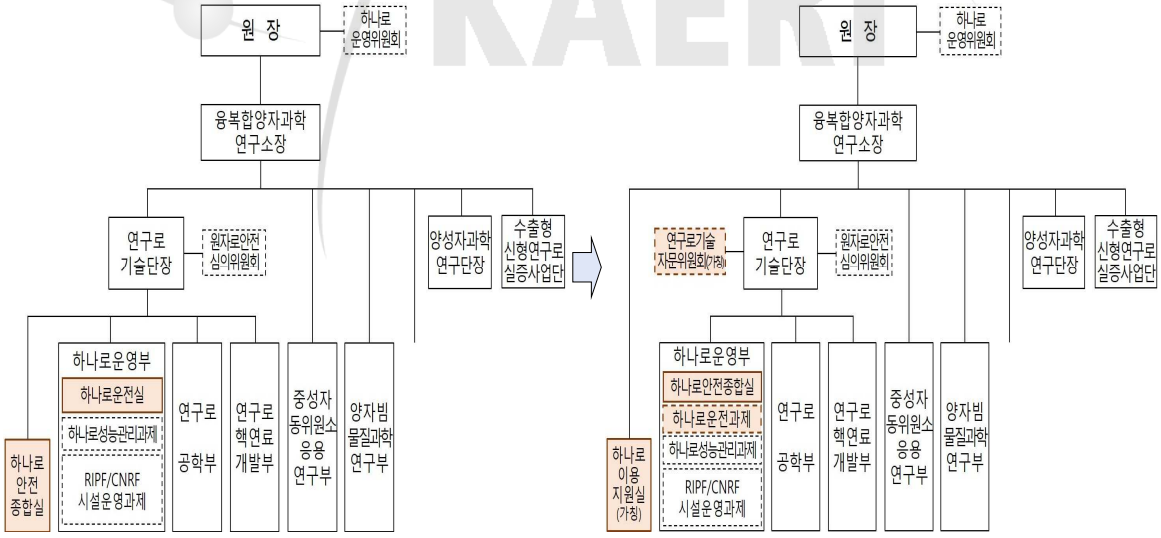
○ 하나로는 소형 중성자원이나 가속기(방사광, 양성자, 중이온, 중입자 등)들과 차별화되는 고유가치와 이용분야를 보유하고 있으므로, 혁신적 연구주제 발굴 및 수요 창출을 포함한 하나로 이용 중장기 로드맵을 수립하여 이행함

○ 하나로는 과학 및 산업 발전, 국민복지 향상, 사회문제 해결, 국가전략산업 발전, 원자력안전 등에 크게 기여할 수 있으며, 하나로 운영·이용에 대한 국민 및 이해관계자와의 소통·협력을 통해 국가적 위상을 확보해야 함

○ 일부 이용시설 노후화 및 완성도 미흡으로 이용 확대에 제약이 있으므로 이용시설 개선사업을 통한 성능 향상을 추진함

Ⅳ. 하나로 운영 정상화 종합대책

○ 하나로 안정 운영과 이용 활성화를 위한 조직 보강(단기)



- 「하나로운전실」을 과제조직으로 전환하여 운영인력 운용의 유연성 증대
- 「하나로안전종합실」을 하나로운영부장 소속으로 이관하여 조직 효율성 강화
- 「하나로운영부」에 엔지니어급 전문인력 보강

- 소장 소속 「하나로이용지원실」을 신설하여 이용자지원 및 대외소통 총괄
- 동위원소생산시설 및 냉중성자실험시설 운영과제를 중성자연구시설운영 대과제에서 하나로운영 대과제로 이관하여 부서조직과 과제조직 일원화

○ 유지보수-형상관리-경년열화관리 통합체계 구축 및 신기술 적용(단·중기)

- 예측·모니터링·검사에 AI 등 최신기술을 반영한 하나로 경년열화관리계획 조기 수립
- 하나로 리노베이션 계획과 연계한 적극적 예방 보수 및 필수 예비품 조기 확보
- 확률론적리스크평가 기법을 적용하여 도출한 냉중성자원(CNS) 계통에 의한 하나로 정지 최소화 방안 우선 시행
- 경년열화관리계획과 유지보수체계를 통합 운영하고, 하나로를 포함한 원자력연구원 시설의 형상관리, 운영관리, 문서관리 및 품질보증활동 수행을 위한 통합경영시스템 구축

○ 운영전문성 향상을 위한 교육훈련체계 구축 및 기술자문위원회 운영(단기)

- 신입직원 전문교육 프로그램 개발 및 운영(공통, 운전, 시설관리 등)
- 고경력 전문가 기술전수 프로그램의 개발 및 체계적 운영
- 하나로 운영(운전, 시설관리)에 필요한 다양한 기술적 자문을 위한 원내외 전문가로 구성되는 「연구로기술자문위원회」(가칭) 운영

  ※ 필요 시 「경년열화관리위원회」 등 전문분야별 산하 위원회 설치

○ 대형원자력시설 특성을 고려한 합리적 예산배정체계 도입(단·중기)

- 공공요금, 인허가비용, 일상 유지보수비용 등 대형 원자력시설 운영에 필요한 필수 직접비를 평가하여 우선 배정
- 중성자 도핑, 동위원소 생산 등 하나로 이용 사업수익을 시설운영에 우선 투입
- 안정적 운영단계 진입 후 중성자이용 비용산정 등 예산체계의 전면 재검토

○ 하나로 성능 유지·개선을 위한 리노베이션 추진(단·중기)

- 가동 후 25년이 경과한 하나로의 계통·기기 상태를 종합적으로 평가하여 중단기적 유지보수항목 및 예산확보계획 도출: 원자로시설 안전성 향상 및 성능 개선, 4차산업혁명기술의 하나로 운영 접목 등
- 국가 핵심과학기술시설로서 활용성 극대화를 위한 이용설비 개선계획 수립: 중성자빔 연구시설 성능 향상 및 추가 구축, 하나로 이용자센터 구축 등
- 정부와 협력하여 하나로 및 이용설비 리노베이션 계획 이행

○ 주기적안전성평가와 연계한 인허가 문서 및 절차서 전면 검토·정비(중기)

- 하나로 인허가문서 및 절차서를 현행 법·규정, 하나로 및 관련 시설 현황, 상용원전 적용사례를 종합적으로 비교·분석하여 정비계획 수립
- 주기적안전성평가(PSR) 후속조치로 인허가 문서 및 절차서 전면 정비 추진: 단순화·체계화를 통해 이용·관리의 편의성 도모하고 운영원의 부담 완화
- 최신 규정·기술과 운영 경험 및 규제관행을 종합적으로 고려하여 추진

○ 연구·사업 혁신과 이용활성화를 위한 「하나로이용로드맵」 개발(중기)

- 중성자원 수요 변화와 기장연구로 및 대형 가속기 건설 등 환경변화를 고려하여 핵심 연구·사업 재정립
- 국내외 이용자 네트워크를 복원하고 이용자 지원시스템을 개선하여 안정적 이용자 확보
- 하나로 이용 및 운영체계 발전에 대한 중장기적 방향과 과제 제시

○ 운영조직 사기 및 안전문화 제고를 위한 조치 이행(단·중기)

- 교대근무 운전원의 근무형태 개선(일정기간 근무 후 운전원 안식기간 부여, 휴가사용 제약 해소 등) 및 직책·자격수당 제도 개선
- 보직자의 기술 역량과 조직관리(리더십, 안전관리, 갈등 해결, 규제 대응 등) 역량 제고
- 안전문화 진단 방법 및 결과 반영(Feedback) 체계 개선

○ 이해관계자 소통 강화 및 안정운영을 위한 외부 환경 개선(단·중기)

- 「하나로이용지원실」(가칭)을 통한 효과적 대내외 소통협력체계 강화
  ※ 이용자 친화적 웹사이트 운영 및 하나로소식지 복간 포함
- 다목적 연구로인 하나로의 가치와 특성에 대한 국민 인식 제고
  ※ 특히 지역주민이 신뢰하고 자랑스러워하는 시설이 되도록 적극 소통
- 정부 및 유관기관과의 협력을 통한 연구로 관련 규제 제도·관행 개선 추진

SUMMARY

Ⅰ. Project Title

Operation of comprehensive task force team to stabilize HANARO management

Ⅱ. Need for comprehensive measures for HANARO operation

○ HANARO(**H**igh Flux **A**dvanced **N**eutron **A**pplication **R**eact**O**r), 30 MW open-pool type multi-purpose research reactor, has contributed to national scientific and technological achievement and public welfare through basic and applied research with neutron as well as industrial and medical radioisotope production since it began operation in 1995.

○ The reactor operation is being delayed for several years due to multiple causes after the seismic retrofit of reactor building. It needs special efforts to restore the status as a national critical facility.

○ Comprehensive measures need to be formulated to establish effective facility management system, to optimize the operating system and to promote its use.

Ⅲ. Analysis of current issues of HANARO and improvement measures

1. Facility issues and improvement measures

○ The shutdown history of HANARO, the performance of SSCs and current management system were analyzed in order to establish effective facility management system.

- A effective and comprehensive aging management program and maintenance management program need to be established for safe and stable operation.
- Based on these programs, proactive maintenance including preventive maintenance and securing spare parts has to be performed.
- A system that repeatedly causes reactor shutdown needs concentrated efforts, such as root cause analysis on system failure, performance and spare part management, to reduce the likelihood of system failure.

2. Operational issues and improvement measures

○ All issues related to HANARO operation - structure of operating organization, budget and human resource, documentations, quality assurance system and safety culture - were analyzed in order to optimize the operating system and enhance organizational stability.

- It is necessary to improve the organization in order to prioritize stable operation of HANARO and strengthen linkage between use and operation.
- It is required to reinforce the manpower and establish education, training and technical support system to enhance expertise in predicting and responding to technical problems quickly.
- The budget allocation system needs to be improved to ensure the necessary direct cost for HANARO operation.
- It is required to establish measures to boost morale of HANARO operating organization and enhance safety culture through improvement of labor conditions and welfare of shift operator.

3. Utilization issues and improvement measures

○ Around 2014, the use of HANARO was world class, but recently users have been leaving due to a long-term suspension. It is necessary to restore user group and continue to strengthen relationship through institutional support.

- It is necessary to present a strategy differentiated from small neutron sources and accelerators, and establish and implement mid- and long-term roadmaps for use of HANARO including innovative research topics and new demand.
- HANARO can makes a valuable contribution to national scientific and technological achievement, public welfare, nuclear safety and development of national security related industry.
- HANARO's status as national critical facility should be restored through communication with public and stakeholders regarding its operation and use.

Ⅳ. Comprehensive measures for stabilization of HANARO operation

○ Reinforcement of HANARO operating organization for stable operation and promotion of use (short-term)

○ Establishment of integrated system for among maintenance management, configuration management and aging management (short- and mid-term)

○ Establishment education and training system for improvement of operational expertise and technical advisory committee (short-term)

○ A rational budget allocation considering the characteristics of nuclear facility (short- and mid-term)

○ Renovation for improving the performance of HANARO (short-

and mid-term)

○ Review and rearrangement of licensing based documents and procedures in conjunction with PSR (mid-term)

○ Establishment and implementation roadmaps for use of HANARO (mid-term)

○ Establishment measures to boost morale of HANARO operating organization and enhance safety culture (short- and mid-term)

○ Improvement of external environmental in order to strengthen communication with public and stakeholders (short- and mid-term)

KAERI

CONTENTS

SUMMARY 5

Chapter 1. Introduction to HANARO and necessity of comprehensive measures 21

Section 1. Characteristics and operational status of HANARO 21

Section 2. Overview of HANARO and utilization facilities 24

Section 3. Necessity of comprehensive measures 40

Chapter 2. Facility issues and improvement measures 45

Section 1. Current status of safety and performance of HANARO and related issues 45

Section 2. Improvement measures related to safety and performance 54

Chapter 3. Operational issues and improvement measures 61

Section 1. Current operation status of HANARO and related issues 61

Section 2. Improvement measures related to HANARO operating system 78

Chapter 4. Strategies of enhancing the value of HANARO and promoting its use 87

Section 1. Value analysis and plans for enhancing values 87

Section 2. Revitalization strategies of operation and utilization of HANARO 97

Chapter 5. Conclusions and comprehensive measures 107

Section 1. Concluding remarks 107

Section 2. Implementation of comprehensive measures 108

Appendix 115

[Appendix A] Structure and operation of comprehensive task force team to stabilize HANARO management 115

[Appendix B] Abbreviations 118

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET 121

KAERI

목 차

요약문 ····· 5

제1장 하나로 개요 및 종합대책 필요성 ····· 21
가. 하나로 특성 및 운영현황 ····· 21
나. 하나로 및 이용시설 개요 ····· 24
다. 운영 정상화 종합대책 필요성 ····· 40

제2장 하나로 시설 현안 및 개선방안 ····· 45
가. 하나로 시설 안전·성능 현황 및 문제점 ····· 45
나. 개선 방안 ····· 54

제3장 하나로 운영 현안 및 개선방안 ····· 61
가. 하나로 운영 현안 및 문제점 ····· 61
나. 하나로 운영체계 개선 방안 ····· 78

제4장 하나로 가치 제고 및 활성화 전략 ····· 87
가. 가치 분석 및 제고 방안 ····· 87
나. 운영 및 이용 활성화 전략 ····· 97

제5장 결론 및 종합대책 ····· 107
가. 요약 및 결론 ····· 107
나. 종합대책 이행 방안 ····· 108

부 록 ····· 115
[부록 1] 하나로운영정상화 종합대책반 구성 및 운영 ····· 115
[부록 2] 주요 약어 ····· 118

서지정보양식 ····· 121

표 목차

〈표 1.1〉 하나로 관련 주요 연표 ····· 22
〈표 1.2〉 하나로와 다른 주요 연구용원자로 비교 ····· 23
〈표 1.3〉 하나로 수평 빔 튜브의 특성 ····· 29
〈표 1.4〉 하나로 수직조사공의 중성자속 특성 ····· 31
〈표 1.5〉 방사성동위원소(RI) 생산용 핫셀 현황 ····· 32
〈표 1.6〉 국내/이용자로부터 의뢰받은 방사화분석 시험 목록 ····· 35
〈표 1.7〉 하나로 정지 신호 요약 ····· 39
〈표 1.8〉 하나로와 타 연구로의 정지 횟수 비교 ····· 39

〈표 2.1〉 하나로와 해외 연구로의 불시정지 횟수 ····· 48
〈표 2.2〉 연도별 CNS 계통 이상으로 인한 원자로 불시정지 ····· 55

〈표 3.1〉 하나로 관련 연구원의 조직개편 이력 ····· 63
〈표 3.2〉 2009년 이후 하나로 운영예산의 주요 변동사항 ····· 67
〈표 3.3〉 하나로 및 활용시설의 고정비용(2018, 2019년) ····· 68
〈표 3.4〉 하나로 및 활용시설의 유틸리티 비용(단위: 백만 원) ····· 69
〈표 3.5〉 하나로 인허가문서 주요 개정이력 ····· 70
〈표 3.6〉 보고대상 사건 발생 후의 하나로 재가동 소요시간 ····· 75
〈표 3.7〉 2017년 이후 발생 원자로 정지원인 요약 ····· 76
〈표 3.8〉 각국의 연구로 정지 보고 및 재가동 ····· 77
〈표 3.9〉 하나로, RIPF 및 CNRF 운영을 위한 최소 직접비(단위: 천 원) ····· 80

〈표 4.1〉 하나로와 타 중성자원과의 비교 ····· 89
〈표 4.2〉 하나로와 가속기와의 비교 ····· 90
〈표 4.3〉 하나로와 기장로와 특성 비교 ····· 91
〈표 4.4〉 요오드-131 기반 의약품 품목 및 용도 ····· 94
〈표 4.5〉 시나리오별 연간 편익과 비용 ····· 95
〈표 4.6〉 시나리오별 NPV ····· 96
〈표 4.7〉 시나리오 1의 true NPV ····· 96
〈표 4.8〉 하나로의 SWOT 분석 결과 ····· 97

그림 목차

〈그림 1.1〉 하나로 원자로 구조 ····· 25
〈그림 1.2〉 하나로 냉각계통 ····· 26
〈그림 1.3〉 하나로 연간 운전일수 및 출력량 추이 ····· 28
〈그림 1.4〉 연도별 총 이용자 수와 총 이용기관 수 ····· 28
〈그림 1.5〉 하나로 열중성자빔 실험장치 ····· 30
〈그림 1.6〉 냉중성자 실험장치 ····· 30
〈그림 1.7〉 방사성동위원소 생산시설 ····· 33
〈그림 1.8〉 중성자빔 이용시설 장치활용 SCI 논문 수 ····· 34
〈그림 1.9〉 하나로를 활용한 조사시험의 주요 실적 ····· 34
〈그림 1.10〉 연도별 하나로 계통 엔지니어 인원 변동 추이 ····· 38

〈그림 2.1〉 연도별 하나로 불시정지 횟수 및 원인(1995~2019) ····· 46
〈그림 2.2〉 연도별 하나로 정지 유발 계통의 구분(1997~2019) ····· 46

〈그림 3.1〉 현재의 하나로 운영 및 이용 부서 조직 (2020년 5월말 기준) ····· 61
〈그림 3.2〉 하나로 운영 관련 과제 구성도 ····· 62
〈그림 3.3〉 하나로 시설 운영 참여인력(2019.12.31. 현재) ····· 64
〈그림 3.4〉 하나로 시설 운영예산(직접비) 추이(2014~2019) ····· 66
〈그림 3.5〉 ANSIM 에 구축된 하나로 관련 형상관리 시스템 ····· 72
〈그림 3.6〉 연도별 안전문화 수준 변화(종합평균) ····· 73
〈그림 3.7〉 하나로 운영 관련부서 조직 보강(안) ····· 78
〈그림 3.8〉 연구원 차원의 IMS(안) ····· 82

〈그림 4.1〉 하나로와 해외 주요 연구로와의 핵심 성능 비교 ····· 87
〈그림 4.2〉 하나로의 국제적 위상을 입증하는 해외 업적 ····· 88
〈그림 4.3〉 하나로의 이용자 현황 및 논문 실적 ····· 92
〈그림 4.4〉 하나로를 이용하는 기업과 정부기관 ····· 92
〈그림 4.5〉 하나로에서 사용하는 실리콘 잉곳 및 세계시장 점유율 ····· 93

〈그림 A-1〉 하나로 정상화 종합대책반 조직도 ····· 116

제1장

하나로 개요 및 종합대책 필요성

가. 하나로 특성 및 운영 현황

나. 하나로 및 이용시설 개요

다. 운영 정상화 종합대책 필요성

KAERI

KAERI

1. 하나로 개요 및 종합대책 필요성

가. 하나로 특성 및 운영 현황

하나로(HANARO; High-Flux Advanced Neutron Application Reactor)는 1995년 가동 이후 중성자를 이용한 물리・화학 등 기초연구, 원자력・재료・생명 등 응용연구, 의료・산업용 방사성동위원소 생산 등을 통해 국가 과학기술과 산업발전 및 국민복지에 크게 기여해왔으나, 최근 수년간 복합적인 원인에 의해 정상가동이 지연되고 있음.

□ **하나로는 30 MW급 다목적 연구용원자로(연구로)로서, 다양한 중성자 이용장치를 갖춘 국가적 핵심 연구시설**

○ 국내 유일, 세계 10위권의 중성자발생장치로서, 다양한 이용시설을 갖추고 1995년 가동 이후 2014년까지 안정적으로 운영됨

- 36개의 원자로내 조사공, 19기의 열중성자 및 냉중성자 연구시설 보유
- 핵연료 및 재료시험, 의약품 개발, 초정밀 물질분석 등을 안정적으로 수행하여 국가 산업 및 과학기술 발전과 국민 복지 증진에 크게 기여

※ <표 1.1>과 <표 1.2>에 하나로 관련 주요 연표와 외국 주요 연구로와의 비교를 제시

○ 우리나라가 자력으로 설계·건설한 최초의 연구로이며, 축적된 기술을 이용하여 요르단 연구로(JRTR)를 수출하고 네덜란드 연구로 개조사업 등도 수행함

□ **규제기관 요구에 따라 원자로건물 내진보강공사(2015~2017)를 수행하고 재가동했으나 원자로 불시정지가 반복 발생하면서 정상운영 지연**

○ 원자력안전위원회(원안위)의 요구('15.1)에 따라 원자로건물 내진보강공사를 수행하고, 시민검증단 검증 및 원안위 승인을 거쳐 2017년 12월 재가동함

○ 그러나 성능 이상에 따른 수동 또는 자동 정지가 4차례 발생하여 간헐적으로만 운전되었으며, 2019년 12월 이후에는 운전 중단 상태가 지속됨

- '17.12.10.(수조고온층 두께 감소), '18.7.30.(정지봉 구동장치 이상), '18.12.10.(냉중성자 수소냉각계통 이상), '19.12.6.(냉중성자계통 제어로직 오류)

○ 반복된 불시정지로 하나로의 성능과 안전에 대한 국민적 신뢰가 크게 저하되고, 운전정지 장기화에 따라 이용자그룹도 붕괴되고 있음

<표 1.1> 하나로 관련 주요 연표

1985.1.1.	다목적연구로(하나로) 설계·건조사업 착수
1986.12.1.	부지정지공사 착공(~1990.6.)
1987.12.22.	제219차 원자력위원회, 건설 및 운영허가 의결(12.23. 과학기술처 허가)
1988.10.31.	연구로 건설 1차공사 및 IMEF(조사재시험시설) 굴착공사 착공
1989.3.25.	기공식
1993.8.1.	원자로 설치 착수(~12.23)
1994.1.27.	과학기술처, 영(0)출력 운전 허가
1994.12.31.	하나로 건물 준공
1995.2.2.	핵연료 장전 시작(2.8. 첫 임계)
1995.4.7.	하나로 준공식
1995.9.22.	하나로시설 방사능방재훈련 실시(원자력연구원 최초)
1996.1.10.	15 MWt 운전 시작
1997.6.24.	방사성동위원소(RI) 생산시설 가동
1998.8.13.	피부암 치료용 홀뮴-166 패치 제조기술 동화약품 이전
1999.3.3.	비파괴검사용 방사선원 제조기술 호진산업기연(주) 이전
1999.12.9.	22 MWt 운전 시작
2001.4.17.	비파괴검사용 이리듐(Ir)-192 방사선원 제조허가 획득
2001.7.6.	간암치료제 밀리칸(주), 국내 신약 3호 등록
2003.3.31.	(주)삼영유니텍과 의료용방사성동위원소 생산시설 사용계약 체결
2003.11.	테크네튬(Tc)-99m 발생기 생산 핫셀 사용허가 취득
2004.12.23.	정격 열출력 30 MWt 운전 시작
2005.3.4.	하나로용 국산 핵연료집합체 첫 출하
2005.4.11.	가동 10주년 기념 '하나로 2005 국제학술심포지엄' 개최(~4.13.)
2006.4.7.	냉중성자실험동 설치공사 시작
2007.11.29.	하나로 노심 전체 국산 핵연료 장전 완료
2009.2.18.	8인치 실리콘반도체 중성자 도핑기술 개발
2010.1.1.	냉중성자 실험시설 운영(11.1. 준공식)
2010.3.30.	요르단연구용원자로(JRTR) 수출계약 체결
2011.7.13.	IAEA 통합규제검토서비스(IRRS) 수검
2012.1.1.	통합안전경영시스템(ANSIM) 하나로 적용 완료
2014.3.7.	IAEA 물리적방호자문서비스(IPPAS) 수검
2014.11.3.	네덜란드 OYSTER 연구로 개조사업 계약 서명
2015.3.15.	하나로건물 내진구조 보강공사 착수(2017.4.26. 공사 완료)
2017.12.5.	내진보강공사 후 재가동 착수
2017.12.11.	원자로수조 고온층 두께 감소에 따른 수동정지
2019.7.31.	IAEA 국제연구용원자로센터(ICERR) 지정
2019.12.6.	냉중성자계통 제어로직 오류에 의한 불시정지

<표 1.2> 하나로와 다른 주요 연구용원자로 비교

	하나로	ATR	NBSR	HFIR	HFR	BR-2	ILL HFR	OPAL	FRM-II	RA-3	CMRR
위치/운영기관	**한국/ KAERI**	미국/ INL	미국/ NIST	미국/ ORL	네덜란드/ NRG	벨기에/ SCK-CEN	프랑스/ CEA	호주/ ANSTO	독일/ TUM	아르헨티나/ CNEA	중국/ IHEP
출력 (MW)	**30**	250	20	85	45	100	58	20	20	10	20
첫임계	**1995.2**	1967.7	1967.12	1965.8	1961.11	1961.6	1971.7	2006.8	2004.3	1967.5	2013.9
형식	**개방수조**	탱크	탱크	탱크	탱크	개방수조	개방수조	개방수조	개방수조	개방수조	개방수조
유로방향	**상향류**	하향류	상향류	하향류	하향류	하향류	하향류	상향류	하향류	상향류	하향류
반사체	**중수**	베릴륨	중수	베릴륨	베릴륨	베릴륨	중수	중수	중수	흑연	베릴륨·중수
최대중성자속 (n/cm^2s)	**$5x10^{14}$**	$8x10^{14}$	$4x10^{14}$	$2.5x10^{15}$	$2.7x10^{14}$	$1x10^{15}$	$1.5x10^{15}$	$4x10^{14}$	$8x10^{14}$	$8x10^{13}$	$4.4x10^{14}$
핵연료	**LEU**	HEU	HEU	HEU	LEU	HEU	HEU	LEU	HEU	LEU	LEU
가동일(d)	**200**	~360	220	165	308	147	200	302	240	230	123
빔 이용시설 수	**9**	34	29	15	-	-	50	14	29	-	9
수직조사공	**32**	-	1	79	-	79	-	80	3	6	-
빔튜브	**7**	-	18	4	12	-	17	10	12	7	-
노내조사공	**7**	34	-	37	19	40	2	none	1	5	8
반사체 조사채널	**25**	36	-	42	12	50	2	78	6	1	-
시험 루프	**-**	5	-	-	2	-	-	none	-	2	-

※ 주요 참고자료: IAEA Research Reactor Database (nuclear.iaea.org/RRDB)

나. 하나로 및 이용시설 개요

하나로는 경수(H_2O) 냉각재, 중수(D_2O) 반사체 및 봉형 금속핵연료를 사용하는 30 MW급 개방수조형 다목적 연구로로서, 열중성자빔 이용시설, 냉중성자빔 이용시설, 중성자 조사시험설비, 방사성동위원소 생산시설 등 세계적 수준의 이용시설을 갖추고 있으며, 25년 가동한 비교적 젊은 연구용원자로임.

□ 하나로 시설 개요

○ 하나로는 1985년부터 1995년까지 국비 934억 원을 투입하여 구축되었으며, 원자로의 주요 설계특성은 다음과 같음

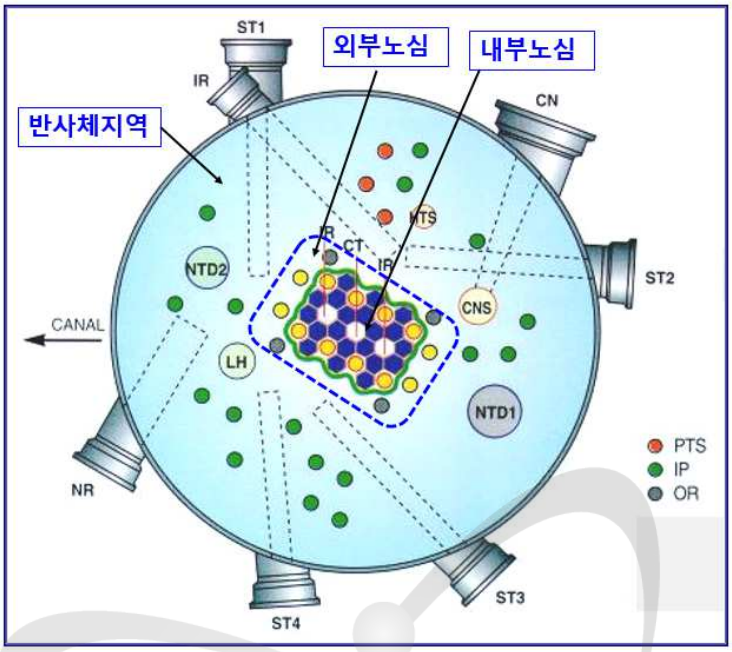
- 노형: 개방수조형(Open Pool Type)
- 열출력: 30 MWt
- 최대 열중성자속: $5x10^{14}$ n/cm^2s
- 핵연료물질: U_3Si(61.4wt%, U-235 농축도 19.75%)-Al(38.6wt%)
- 핵연료봉: U_3Si-Al 핵연료 + Al 피복재 (유효 핵연료 길이: 70 cm)
- 핵연료집합체: 36봉 집합체(20개, 육각형) 및 18봉 집합체(12개, 원형)
- 냉각재: 경수(H_2O) (상향 강제냉각; 35~45°C)
- 반사체: 중수(D_2O) (경수 냉각재와 중수 반사체가 감속재 역할도 함)
- 제어봉 및 정지봉 물질: 하프늄(Hf)

※ 하나로는 중성자 조사시험과 방사성동위원소 생산은 물론 물질분석을 위한 열중성자(저속) 및 냉중성자(초저속) 빔을 공급하여 방사광(X-ray, UV)을 이용하는 방사광가속기와 상호보완 역할

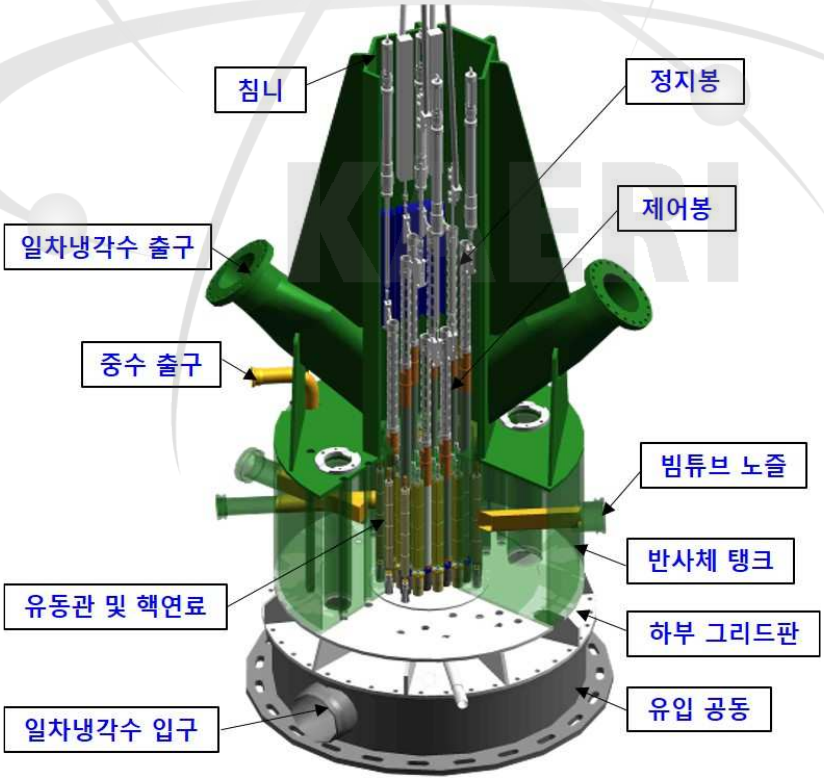
○ 기초과학(물리, 화학, 생명, 지구·우주) 연구, 산업 활용(신소재·첨단부품개발 및 대전력반도체 소자 생산), 원자력안전(재료·핵연료), 의료·산업용 동위원소 생산 등을 위한 다양한 연구·활용시설을 보유함

- 열중성자 빔 장치: 6개의 수평 빔튜브에 10기의 실험장치(KRIBB 전용 장치 1기, 방사화분석장치 1기 포함)
- 냉중성자 연구시설: 9기의 실험장치(KIST 전용장치 1기, 방사화분석장치 1기 포함)
- 방사선조사 시설: 수직 조사공 36개

○ 하나로 주요 설비(조사공 및 빔 장치 포함)의 기본적인 구성을 <그림 1.1>과 <그림 1.2>에 제시함

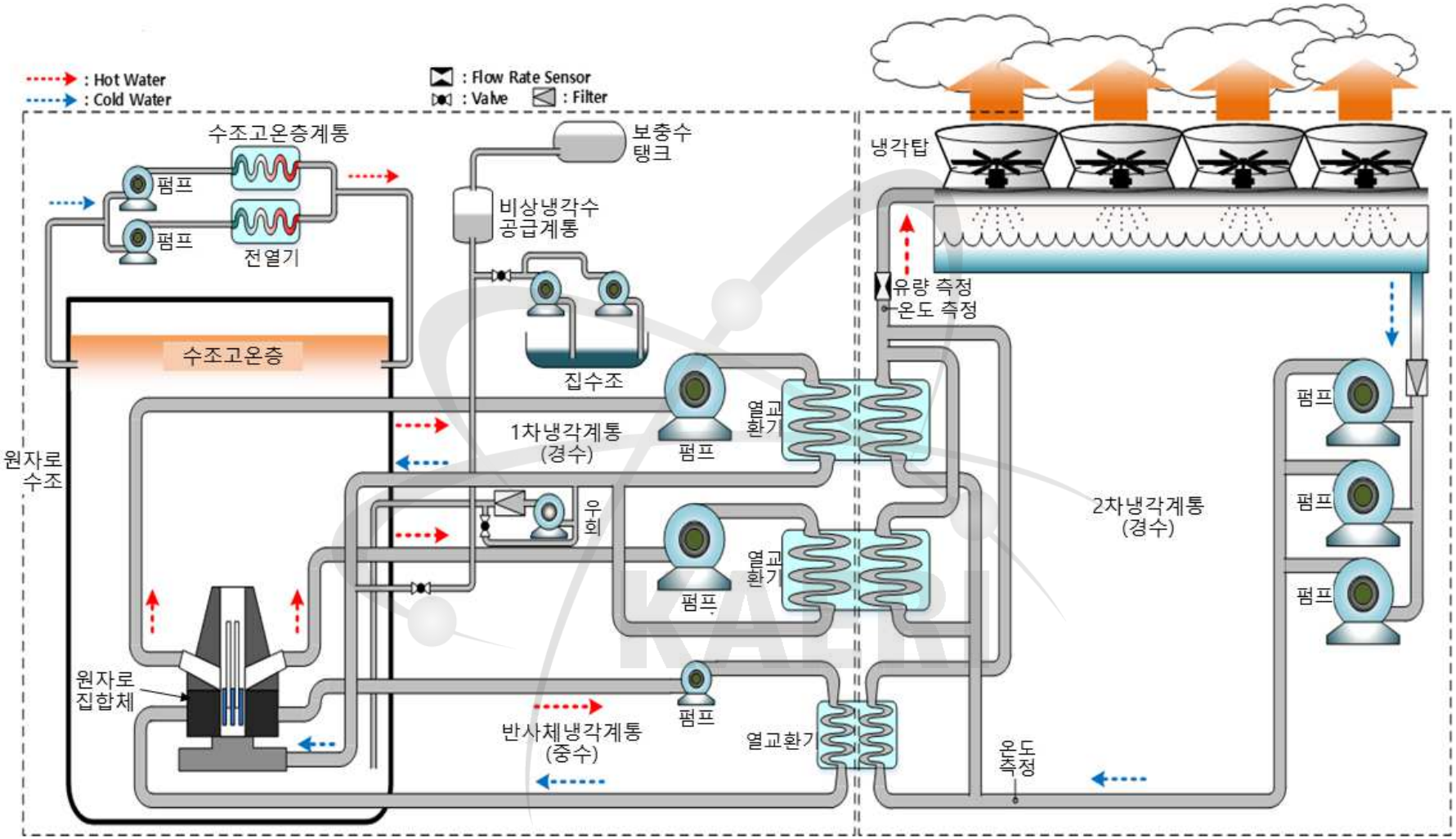


<원자로집합체의 수평 단면도>



<원자로집합체의 구성>

<그림 1.1> 하나로 원자로 구조



<그림 1.2> 하나로 냉각계통

□ 하나로의 주요 계통

○ **원자로 수조(Reactor Pool)**: 내경 4.0 m, 두께 약 2.0 m, 높이 약 13.4 m의 콘크리트 구조물에 의한 수조로서, 하부에 원자로집합체가 위치함

○ **원자로집합체(Reactor Structure)**: 유입공동(Inlet Plenum), 하부 그리드판(Lower Grid Plate), 반사체 탱크 (Reflector Tank), 침니(Chimney), 유동관(Flow Tubes; 핵연료 채널) 등 5가지 핵심 부품으로 구성됨

- 20개의 육각형 유동관에 36봉 핵연료집합체를, 12개의 원통형 유동관에 18봉 핵연료집합체를 장전하여 노심(Reactor Core)을 구성

○ **원자로냉각계통(Reactor Cooling System)**: 1차냉각계통이 핵연료봉에서 발생하는 열을 제거하여 열교환기를 통해 2차냉각계통으로 전달하며, 2차냉각수는 냉각탑(Cooling Tower)에서 대기에 의해 냉각됨

- 1차냉각계통에 2대씩의 펌프와 열교환기, 2차냉각계통에는 3대의 펌프 설치
- 2차냉각계통은 1차냉각계통은 물론 다른 계통들에서 발생하는 열도 냉각

○ **원자로 제어계통 및 보호계통**: 원자로 출력을 요구되는 값으로 유지하는 제어계통(Regulating System)과 원자로가 정상운전상태를 벗어날 때 안전하게 긴급 정지시키는 보호계통(Protection System)으로 구성됨

- 각각 4개씩의 제어봉과 정지봉 사용(중성자 흡수물질: 하프늄)

○ **중수공정계통**: 중수 반사체의 온도 및 수질을 제어하는 반사체계통, 중수 체적 제어를 위한 커버가스계통, 중수 누출 감시 및 회수를 위한 중수 누수감시·회수계통으로 구성됨

○ **전력계통**: 외부전력공급시설, 외부전력 정전에 대비한 725 kW 비상디젤발전기(2대), 방사선 감시설비와 제어계통 등을 위한 교류 무정전전원장치, 안전관련 계측제어기기를 위한 직류 무정전전원장치(축전지)로 구성됨

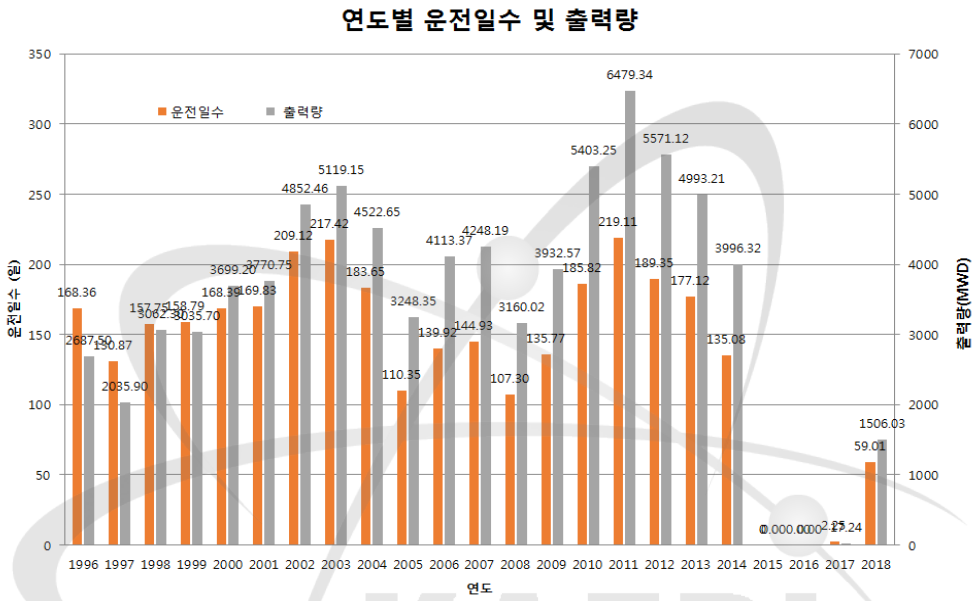
○ **환기계통**: 방사성 입자나 기체가 원자로실에 축적되지 않도록 여과기를 통해 외부로 배기하고, 원자로건물 내부 압력을 외부보다 낮게 유지함

○ 기타 수조고온층계통, 비상보충수 공급계통 등 다수의 보조설비가 이용되고 있음

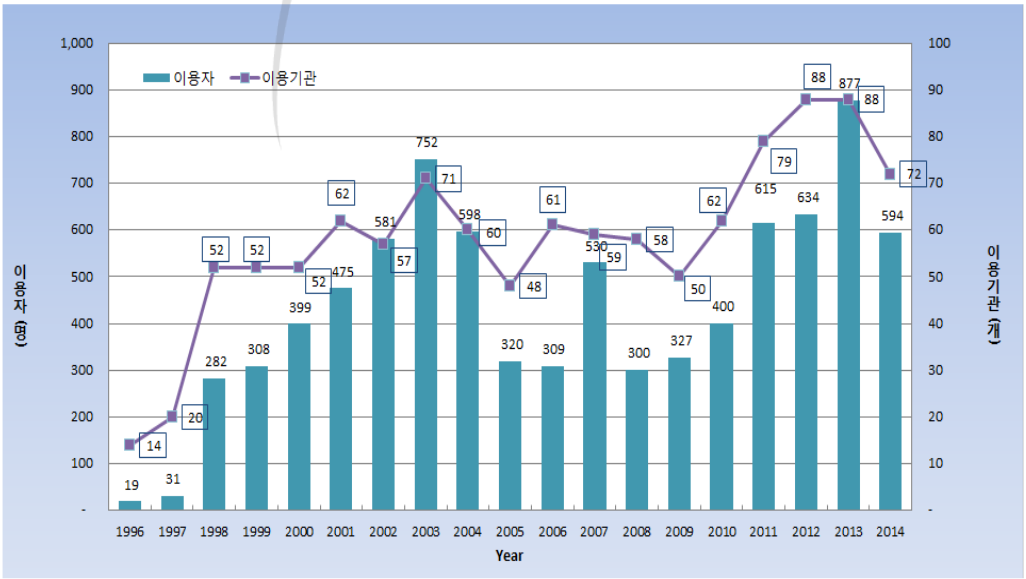
□ 하나로 운영 현황

○ 하나로는 1995년 첫 임계이후 가동에 어려움을 겪기 시작한 2014년까지 4주 운전 2주 정비체제를 구축하여 연 최대 200일 이상의 운전일수를 달성하여 연구로서의 안정적인 운전 상태를 유지했음

- 2005년부터 2009년 사이 기간 중에는 냉중성자연구시설 등의 이용시설 구축의 영향으로 가동일수가 일시 감소



<그림 1.3> 하나로 연간 운전일수 및 출력량 추이



<그림 1.4> 연도별 총 이용자 수와 총 이용기관 수

○ 하나로의 주된 이용 분야는 중성자 빔 이용, 핵연료 및 재료 조사시험, 중성자 방사화 분석, 동위원소 생산, 중성자 도핑 등임

- 1996~2013년의 하나로 이용 총계: 이용자 수 7,757명, 시료 수 107,695개, 조사시간 67,179,277분, 이용기관 수 1,033개

○ 소내외 관련 전문가들이 참여하는 하나로이용자협의회를 운영하여 하나로 이용을 촉진하고 주요 사항을 협의함

- ① 핵연료 및 재료조사시험, ② 동위원소, 방사선 응용, ③ 중성자방사화분석, ④ 중성자빔 이용 등 4개 분야의 전문연구회 구성하여 활발하게 운영
- 가동정지의 영향으로 2016년 이후 하나로이용자협의회 회의 미개최

□ 하나로 이용시설 개관

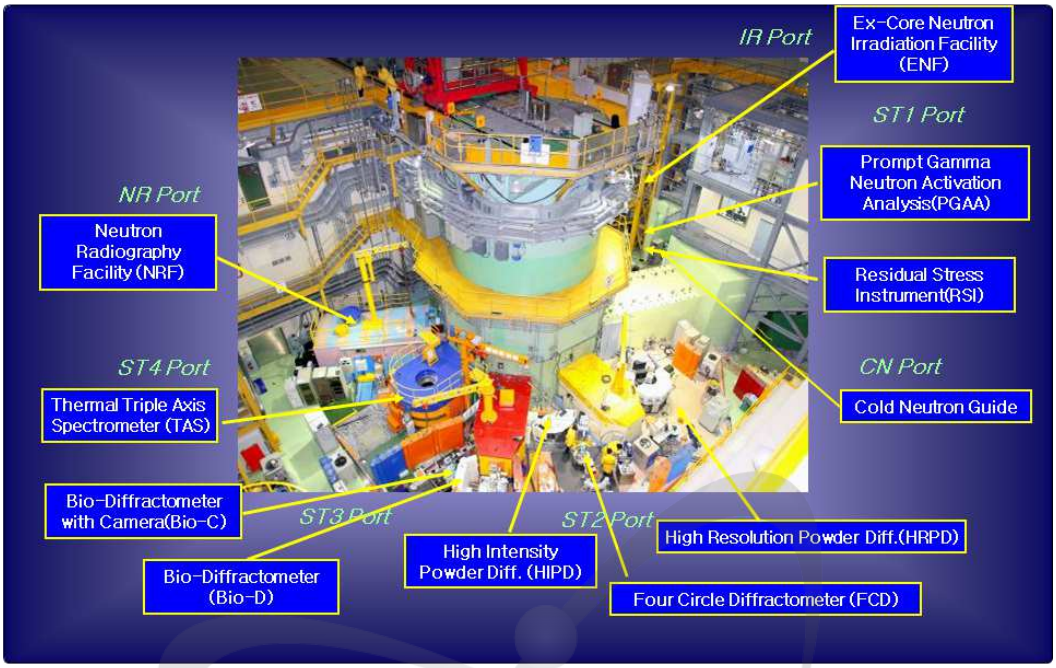
○ **(열중성자빔 연구시설)** 하나로 운영 초기부터 에너지가 0.625 eV 이하인 열중성자 빔을 이용하여 중성자 탄성 산란실험, 비탄성 산란실험, 비파괴검사, 중성자 영상촬영 등을 위해 열중성자빔 연구시설을 설치·운영해옴

- <표 1.3> 및 <그림 1.5>에서 CN을 제외한 빔튜브들이 열중성자빔 공급용

<표 1.3> 하나로 수평 빔 튜브의 특성

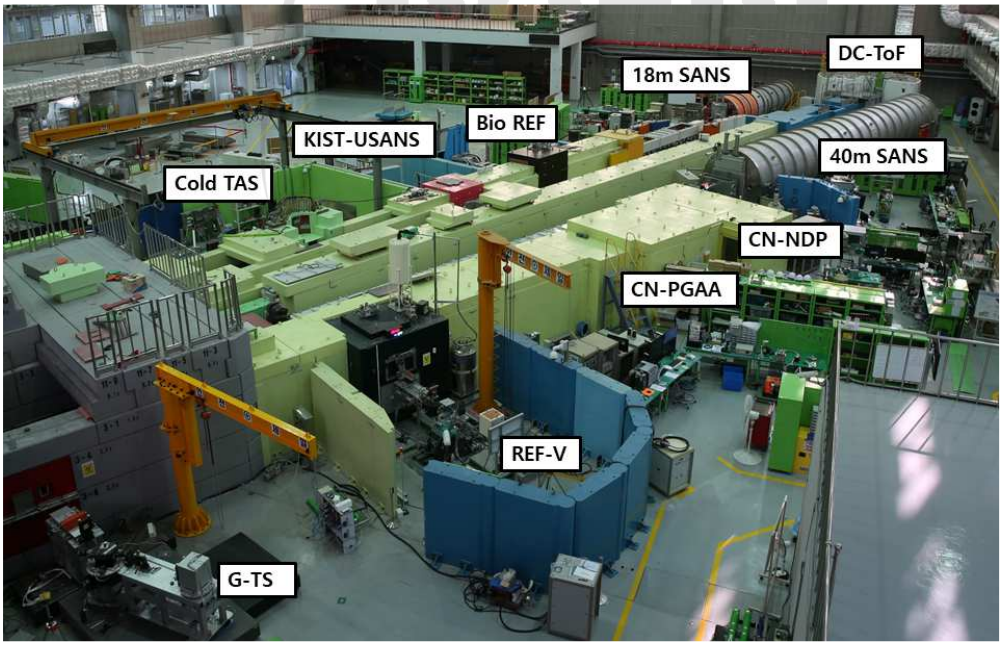
빔 튜브	튜브 형태	크기 (cm)	중성자 특성		주요 설비
			열중성자속 (<0.625 eV)	Cd 비[1]	
ST1	사각	7x4	1.89×10^{14}	8.24	중성자잔류응력측정장치, 즉발감마방사화분석장치
ST2	사각	7x4	2.22×10^{14}	11.32	고분해능 중성자회절장치, 중성자 4축회절장치
ST3	사각	7x4	2.24×10^{14}	11.81	바이오중성자회절장치, 중성자영상판카메라 바이오회절장치, 고중성자속분말회절장치
ST4	사각	7x4	2.53×10^{14}	13.97	열중성자 3축분광장치
CN	사각	6x15	9.68×10^{13}	33.82	냉중성자 연구시설용
IR	원형	10	2.74×10^{14}	6.72	노외 중성자조사시설
NR	원형	10	4.32×10^{13}	60.36	중성자영상(Neutron Radiography)장치

1) cadmium ratio(카드뮴비)



<그림 1.5> 하나로 열중성자빔 실험장치

○ **(냉중성자빔 연구시설)** 열중성자를 영하 250°C의 액체수소에 통과시켜 만드는 저속의 냉중성자(Cold Neutron)를 이용하여 생명공학, 재료공학, 물리학 분야의 나노미터 크기 물질 구조를 연구하며, 다음의 첨단장비를 갖춤



<그림 1.6> 냉중성자 실험장치

- 18m 소각산란장치(18M-SANS; 18m Small Angle Neutron Spectrometer)
- 40m 소각산란장치(40M-SANS; 40m Small Angle Neutron Spectrometer)
- 수직형중성자반사율측정장치(REF-V; Vertical Reflectometer)
- 생체계면반사율측정장치(Rio-REF; Bio-Reflectometer)
- 냉중성자 3축분광장치(Cold-TAS; Cold Triple Axis Spectrometer)
- 디스크쵸퍼 비행시간분광장치(DC-TOF; Disk Chopper Time-of-Flight Spectrometer)
- 고분해능 중성자소각산란장치(KIST-USANS; KIST-Ultra Small Angle Neutron Scattering)
- 유도관 테스트 스테이션(G-TS; Guide Test Station)
- 냉중성자 즉발감마선 방사화 분석장치(CN-PGAA; CN-Prompt Gamma Activation Analysis)
- 냉중성자 깊이분포 분석장치(CN-NDP; CN-Neutron Depth Profiling)

○ **(중성자 조사시험설비)** 중성자속이 높은 노심 영역과 중성자속이 상대적으로 낮은 반사체 영역에 수직조사공을 설치하여 재료 조사시험, 핵연료 조사시험, 중성자 방사화분석, 방사성동위원소 생산, 중성자 도핑 등의 기술을 개발하여 실제 적용함

- 총 36개(노심 영역 11개, 반사체 영역 25개)의 수직조사공 설치(<표 1.4> 참조)

<표 1.4> 하나로 수직조사공의 중성자속 특성

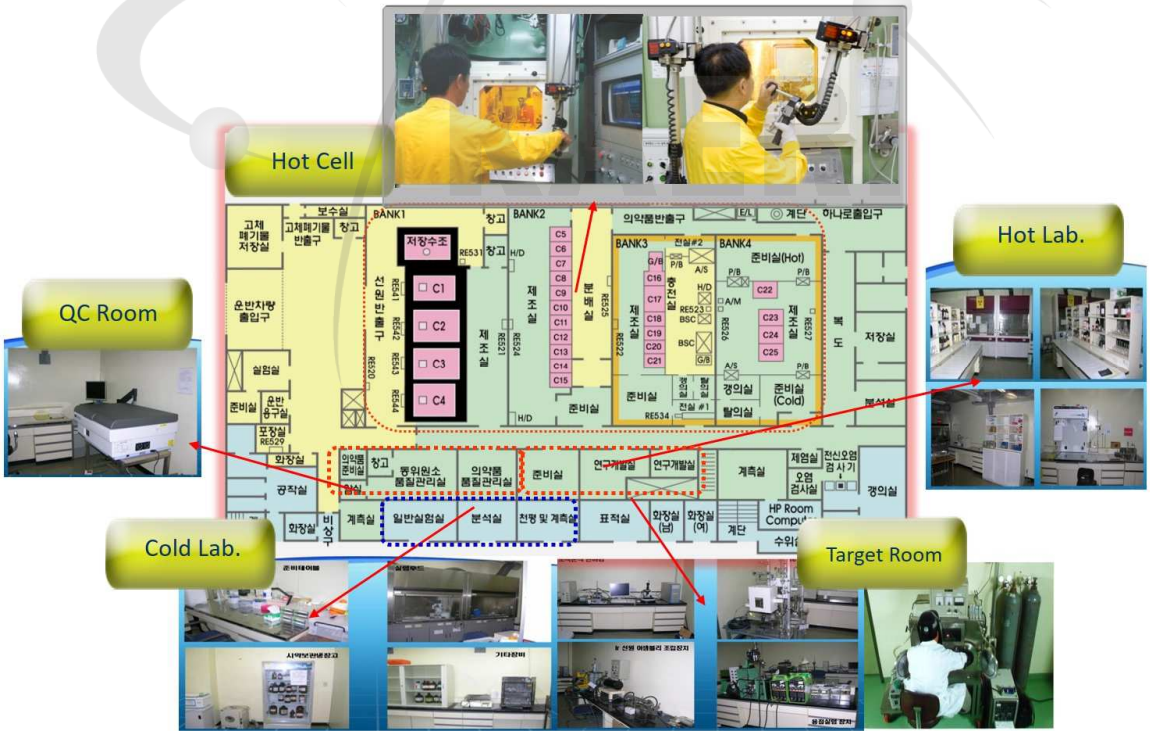
위치	조사공		내경	중성자속 (n/cm^{2}s)		용도
	명칭	수량	(cm)	고속중성자 (>0.82 MeV)	열중성자 (<0.625 eV)	
노심	CT (Central Thimble)	1	7.44	2.10×10^{14}	4.39×10^{14}	조사시험
	IR (Inner Region)	2	7.44	1.95×10^{14}	3.93×10^{14}	조사시험
	OR (Outer Region)	8	6.00	2.23×10^{13}	3.36×10^{14}	동위원소 생산
반사체	NTD (Neutron Transmutation Doping)	2	22.0	6.98×10^{10}	3.93×10^{13}	중성자도핑
			18.0	1.11×10^{11}	6.2×10^{13}	
	CNS (Cold Neutron Source)	1	16.0	1.32×10^{12}	1.73×10^{14}	냉중성자원
	LH (Large Hole)	1	15.0	6.62×10^{11}	9.77×10^{13}	핵연료 시험
	HTS (Hydraulic Transfer System)	1	10.0	9.84×10^{10}	8.17×10^{13}	동위원소 생산
	NAA (Neutron Activation Analysis)	3	6.0	1.34×10^{12}	1.62×10^{14}	중성자 방사화분석
				6.33×10^{9}	3.63×10^{13}	
	IP (Isotope Production)	17	6.0	1.51×10^{12}	2.44×10^{13}	동위원소 생산
				2.26×10^{12}	1.99×10^{14}	

○ **(동위원소 생산시설)** 하나로에서 조사되었거나 외부에서 반입된 시료를 이용하여 산업용 및 의료용 방사성동위원소(RI)를 생산하기 위한 핫셀(Hot Cell; <표 1.5> 참조)들과 부대설비를 갖추고 있음

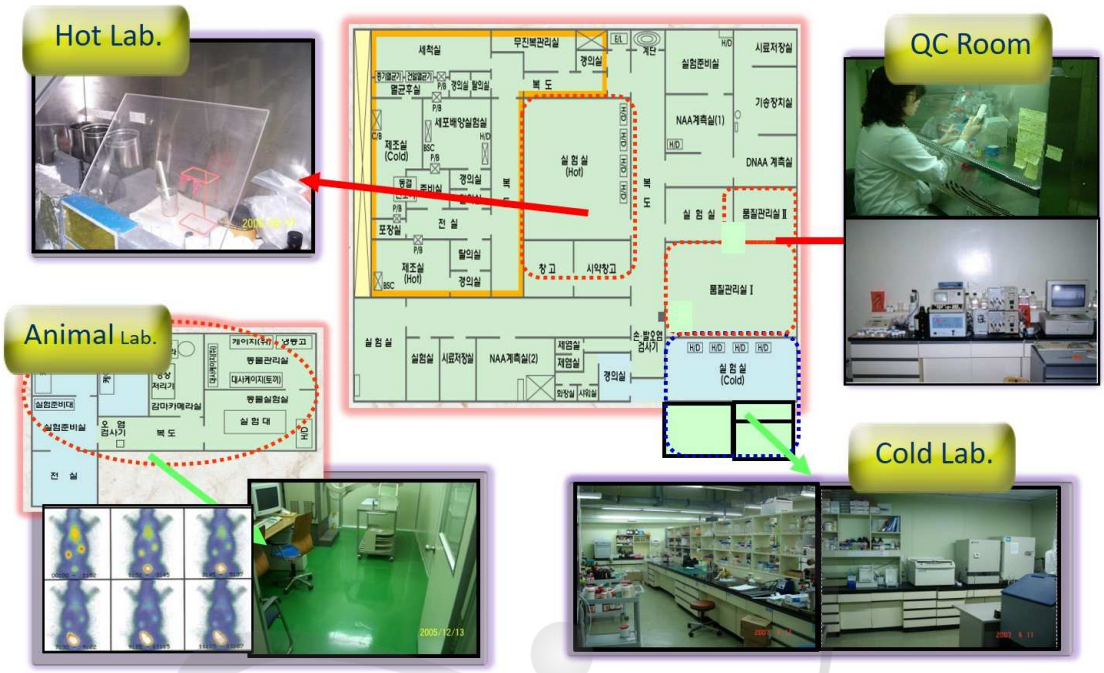
- 이와 별도로 GMP(Good Manufacturing Practice) 인증을 받은 방사성의약품 생산시설도 구비

<표 1.5> 방사성동위원소(RI) 생산용 핫셀 현황

핫셀 뱅크	설비 종류	핫셀 규격 (W×D×H, mm)	개수	용 도
뱅크-I	콘크리트 핫셀	2800×2500×4500	4	의료 및 산업용 밀봉선원
	Co-60 저장수조	3000×4500×6000	1	
뱅크-II	납 핫셀	2400×1400×1500	11	저선량 밀봉선원 및 비기화성 RI 생산 및 연구
뱅크-III	납 핫셀	2400×1400×1500	6	기화성 및 할라이드계 RI
뱅크-IV	납 핫셀	1490×1150×1260	3	핵종발생기 및 의료용 RI
		1290×1190×1260	1	



<동위원소 생산용 핫셀 및 부대설비>



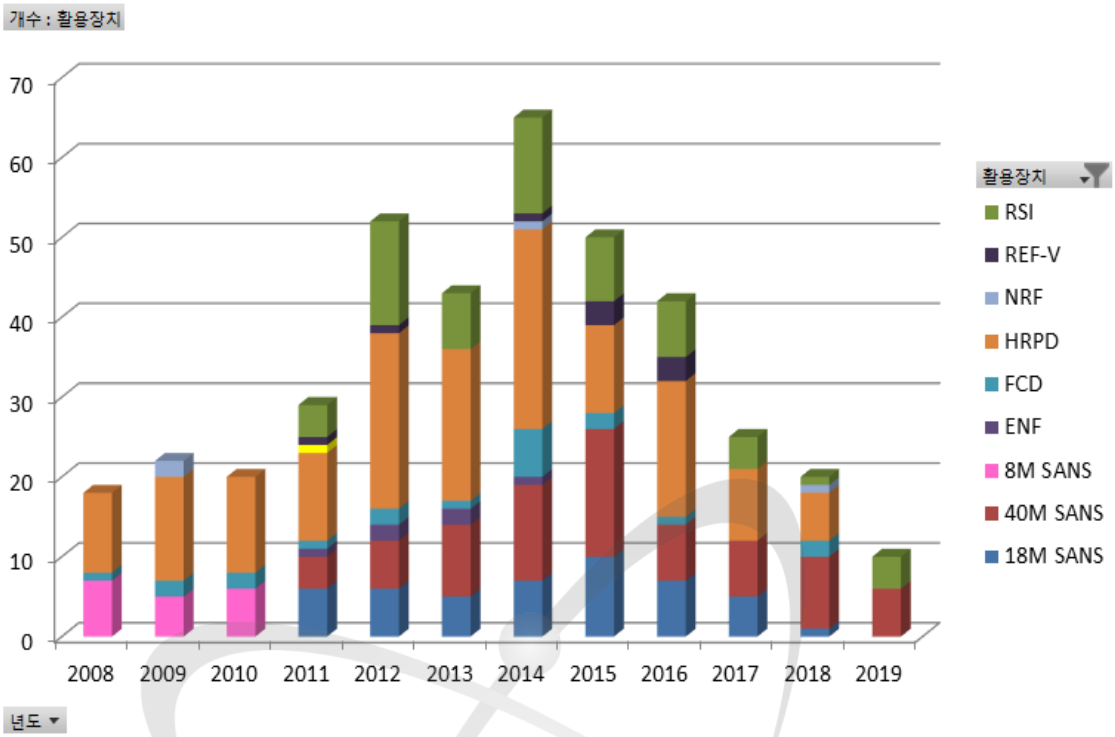
<방사성의약품 시설>

<그림 1.7> 방사성동위원소 생산시설

□ 하나로 이용 현황

○ 하나로의 중성자 빔 연구시설은 냉중성자빔과 열중성자빔 시설로 구분할 수 있으며 각각 9기와 10기의 장치가 설치되어 있음

○ 중성자빔 이용 성과는 이용자 수와 논문 성과로 표현할 수 있으며, 2014년 가동정지 전까지 선진국 수준에 도달하고 있었음



<그림 1.8> 중성자빔 이용시설 장치활용 SCI 논문 수

<그림 1.9> 하나로를 활용한 조사시험의 주요 실적

○ 중성자 조사시험은 하나로 구축 당시에 설치한 '조사시험 제어장치'로 캡슐을 활용하여 수행했으며, 2014년까지 활발하게 시험 및 연구를 수행함.

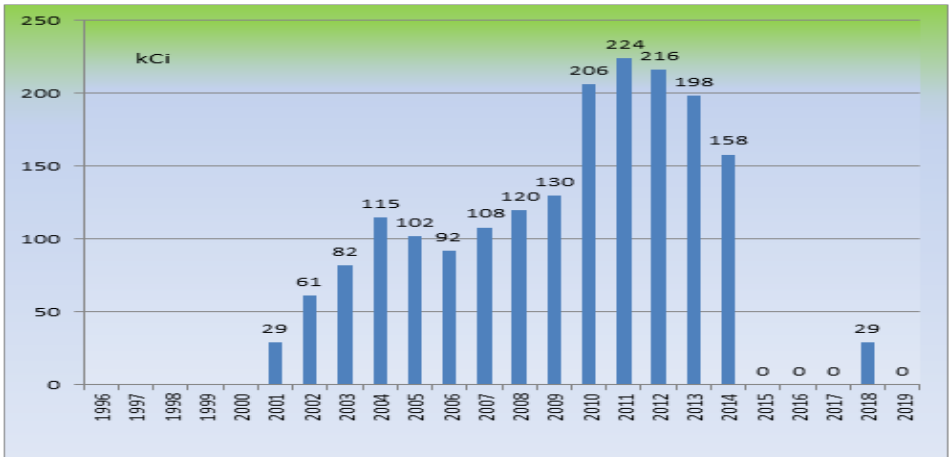
- 조사시험은 초기 원자력 산업과 관련된 여러 재료의 중성자 조사 및 조사기술개발로부터 시작하여 점차 이용자의 수요를 반영하여 조사수요가 증가
- 하나로는 국가 핵심 원자력 기술개발에 필수적인 재료 조사시험에 핵심적으로 기여 (20년 이상 운영하고 있어 하드웨어와 소프트웨어의 개선 필요)

○ 하나로에는 중성자 방사화 분석을 위한 총 3개의 전용 조사공과 시료를 이송하기 위한 공압이송장치가 설치되어 있음

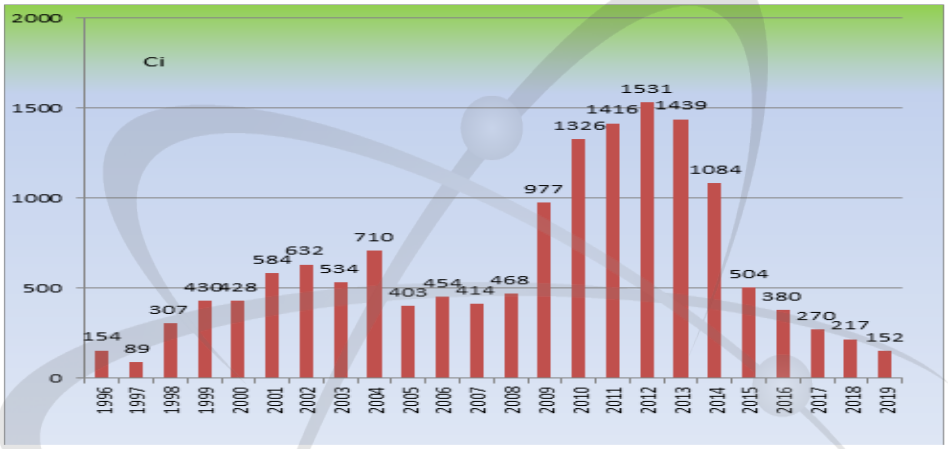
- 또한, 핵분열성물질인 우라늄(U)과 토륨(Th)의 총량 분석을 위해 지발중성자 방사화 분석장치 및 냉중성자빔을 이용한 즉발감마선 분광계도 설치
- 1999년 외부 분석서비스를 시작하고 분석기술의 완성도를 높여서 2003년부터는 안정적인 서비스 제공(연평균 사용자 및 분석시료 수는 각각 약 100명 및 1500건)
- 원자력 시료(원자로 냉각재, 핵연료물질, 핵연료저장조 수질 등), 환경시료(암석 및 지질시료, 음용수, 곡물, 광물 시료, 대기 환경 시료 등), 산업재료 시료(치아 시편, 차량 분진시료, 각종 필터, 엔진 부품, 동물 사료 및 샘플 등)를 포함한 다양한 분석을 수행

<표 1.6> 국내/이용자로부터 의뢰받은 방사화분석 시험 목록

시험 시료명	요청 기관
고순도 Si, SiC 시료 분석	KAERI
검출기 재료 내 U, Th 분석	IBS
지질 표준 시료 분석	경상대학교
연료전지 MEA 성분 INAA/PGAA 분석	현대자동차
중성미자 검출기용 섬광용액의 U/Th 성분 분석	서울대, 전남대
미세먼지 시료 분석	KAERI
표준물질용 구순도 플라스틱 분석	KAERI
표준물질용 고순도 실리콘 분석	KAERI
경수로핵연료 우라늄 소결체 분석	KAERI
문화제 시료 분석	KAERI
원자력 시설 콘크리트 시료 분석	포항가속기연구소
Gd 기반 중성자포획치료법을 위한 생쥐 피부종양 내 Gd 함량 측정	서울대학교



<산업용 동위원소>



< 의료용 동위원소>

<그림 1.10> 산업용 및 의료용 동위원소 생산현황

○ 하나로활용시설인 동위원소생산시설(RIPF)에는 4개의 핫셀뱅크와 저장수조, 동물실험실, 동위원소 이용연구 및 분석장비가 갖춰진 연구개발실 등이 설치되어 있음 (일부 동위원소의 경우 생산시설, 역량 및 기술수준은 세계적 경쟁력 보유)

- 하나로를 이용한 주요 RI 생산공급은 하나로 가동중단 전까지는 꾸준한 성장세
- 하나로 및 동위원소생산시설 가동초기에는 다수요 범용핵종의 양산기술 개발에 초점을 맞춰 진행하여 I-131, Tc-99m, Ir-192 등을 국내 공급
- 2000년대 중후반에는 각종 난치성 질환의 치료에 초점을 둔 고비방사능의 베타선 방출 핵종인 Lu-177, Y-90, Re-188 등 개발에 주력
- 최근에는 세계 최우위의 RI 기술국으로의 도약을 목표로 Mo-99 등 핵분열생성물을 활용한 방사성동위원소 생산, 방사성동위원소전지 기술 개발, 방사성동위원소의 의료·산업적 응용 분야에 연구역량을 집중

□ 문제점

○ 2014년 원자로 수동정지 및 수년에 걸친 내진보강 공사 이후 잦은 정지로 인하여 내외부의 불안감 증대 및 정상화에 어려움을 겪고 있음

원자로 수동정지('14.7, Bio-D 소손) → 내진해석결과보고 ('14.8) → 규제기관 내진보강 요구('15.1) → 내진보강 설계('15) → 내진보강 공사('16) → 시민검증단 검증('17) → 재가동('17.12) → 수동정지('17.12, 수조고온층) → 자동정지('18.7, 정지봉 감압변) → 수동정지('18.12, CNS 수소고압) → 자동정지('19.12, 제어로직오류)

○ 최근 원자력(연) 타 시설의 안전관리 미흡과 하나로의 잦은 정지로 인한 부정적 언론보도로 국가 기반연구시설로서의 위상이 위축되고 있음

○ 하나로는 '95년 첫임계 도달 후 25년이 경과하여 유지보수 항목이 증가하는 추세로 일부 계통 설비의 노후화 및 완성도가 부족한 것으로 진단되고 있음

○ 하나로 운전정지가 장기간(6년) 지속됨에 따라 이용자 시설 기능 마비, 해외 및 타 시설로 이탈, 이용자 연구그룹 붕괴가 가속화되고 있음

- 하나로 이용자 '14년 900명, '18년 180명, '19년 0명으로 감소 (동일기간 가속기 약 2300명 증가, '19 PAL 연간 과제실적보고서)
- 하나로 이용자의 해외시설로 이탈 연간 최소 150명 (해외시설 이용자수, '19 대형연구시설활용연구지원사업, 고려대 주관 및 15곳 수행대학 포함, 과제종료보고서)
- 하나로 실험장치 이용 SCI 논문 20편 ('08), 65편 ('14), 10편 ('18)로 급감 (동일기간 유사 규모시설 호주 ANSTO 3편-133편-176편 급증, ANSTO 연간성과보고서 참조)

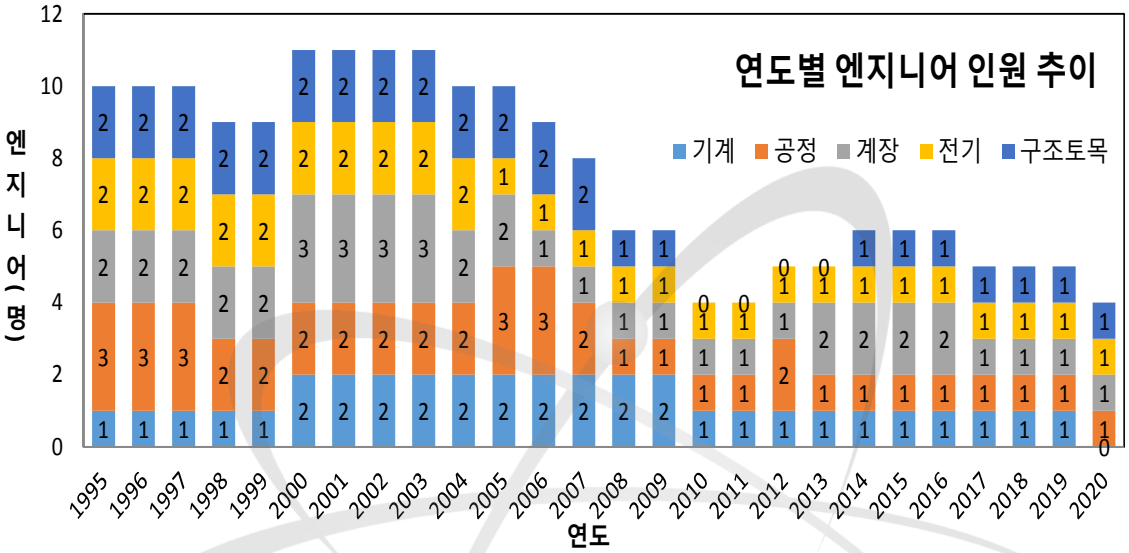
○ 2018년 원자력안전위원회 고시[2] 변경으로 원자로 정지 후 재가동을 위해서는 원안위 보고가 필요함에 따라 재가동 소요기간이 증대되고 있음

- 재가동 소요시간 평균 220일로 고시변경 전 대비 크게 증가 (2014년 이전 평균 9.3일)
- 미국 표준연구원(NIST)에 있는 NBSR 연구로의 경우 2017년과 2016년에 각각 3회씩 불시정지가 있었으나 운전일정에 차질을 빚은 날짜는 각각 5.6일, 4.4일에 불과할 만큼 재가동이 단순함

2) 원안위고시 제2020-3호, 원자력 이용시설의 사고·고장 발생시 보고 공개 규정, (2020.1.29. 일부 개정)

□ 원인 분석

○ 시설운영 업무의 반복, 장기화에 따른 하나로 운영 인력과 조직의 스트레스가 증가하고 있음



<그림 1.11> 연도별 하나로 계통 엔지니어 인원 변동 추이

- 엄격한 통제 관리구역 내 상주, 교대근무 등 특수 업무조건과 규칙적인 업무 특성으로 인하여 운영 인력이 현장에 고립, 고착되어 기술과 서비스 제공을 위한 이용자그룹과 소통 부족
- 하나로 운영이 안정화된 후('11~, 운전일수 약 200일) 관련 전문인력의 타 연구개발 사업으로의 전출, 시설 운영보다 개발을 지향하는 연구업무 특성으로 인한 경험 인력 분산 및 신규인력의 업무수행능력 배양 지연 등으로 전문성 정체 및 약화
- 하나로 성능관리는 ▽기계, ▽공정, ▽계장, ▽전기, ▽구조·토목 등 5개 분야로 구분하여 관리 중이며 각 분야는 전문성을 고려하여 총 5~6명(리드 엔지니어 1~2명, 기술원/기능원 3~4명)의 팀으로 구성하여 운영 중
- 연도별 엔지니어 인원변동 추이를 보면 전문성이 약화되고 있음
- 원자로 정지에 대한 심리적 부담감, 타 부서와의 근무환경 비교에서 오는 운영 인력의 사기저하로 안전문화 약화

○ 하나로는 '95년 첫임계 도달 후 25년(운전 연수로는 7.26년, 30 MW 전출력 기준)이

경과하여 유지·보수 관리 범위가 확대되었으나 체계적인 관리 및 엔지니어링을 위한 투자 소홀

- 관리대상 시설규모가 늘어나고 하나로 가동연수가 증가함에 따라 부품 교체시기가 도래하여 유지·보수 관리항목이 증가하였으나 사전 대응 미흡
- 하나로 일부 설비(냉중성자계통)의 완성도 부족, 특히, 최근 잦은 원자로 정지의 주요 원인은 냉중성자계통(CNS)과 관련되어 있으며 총체적인 설비개선 시급
- CNS 헬륨냉동계통은 원자로계통과 연결되어(couple)있어서 기기의 단일고장만으로도 원자로정지를 유발하며 헬륨냉각용량(약 1,700 W)은 하나로 출력 30 MW에 대한 공학적 여유 부족

○ 하나로 정지 이력 및 원인 분석에 의하면 2018년 개정된 '원자력 이용시설의 사고·고장 발생시 보고 공개 규정'이 하나로 운영에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 파악됨

- 하나로 시설의 현재 형상(냉중성자 시험시설 완공)이 갖추어진 이후 최근 10년간('10-'19)의 하나로 정지 횟수는 총 29건이며, 개정 전 고시 기준 원안위 보고 대상 사건(보호계통 자동정지)은 29건 중에서 2건에 불과

<표 1.7> 하나로 정지 신호 요약

정지신호 / 비교기간	제어계통 자동정지	출력 감발을 통한 수동정지	보호계통 자동정지	합계
1995-2020	107	16	34	157
2010-2020	13	14	2	29

(시설 외부의 정전에 의한 정지 제외)

- 하나로 정지횟수는 해외 연구로와 비교할 때 비슷한 수준(연구로 특성상 제어계통에 의한 정지가 상업용 원전보다 많음)

※ 하나로의 경우 운영 초기를 제외하면 연간 정지 횟수가 매우 낮음

<표 1.8> 하나로와 타 연구로의 정지 횟수 비교

연구로	하나로	OPAL (호주)	JRR-3M (일본)	NBSR (미국)	HFR (네덜란드)
비교년도	1995-2020	2006-2017	1991-2010	2003-2018	2010
총 횟수 (연평균 횟수)	157 (6.8)	169 (14)	31 (2.1)	미확보 (4.8)	11 (11)

다. 운영 정상화 종합대책 필요성

과학기술 및 산업적 가치가 큰 하나로가 국가 핵심연구시설로서 재도약하기 위해서는 원자로 정지이력과 설비 상태 및 관리체계를 분석하여 효과적인 시설관리체계를 도입하고, 운영조직과 인력, 예산, 절차서 · 지침서, 품질보증체계, 안전문화 등을 분석하여 운영체계를 최적화함과 동시에 이용을 활성화하기 위한 종합적인 대책의 수립과 이행이 요구됨.

□ **하나로는 시설관리체계 미흡, 조직·인력체계 약화 등 내부 요인과 규제환경 변화 등 외부 요인이 결합되어 정상운영 지연**

○ 하나로 이용시설의 지속 확충과 가동년수 증가를 반영하는 체계적인 성능관리(부품의 경년열화관리 포함) 및 유지보수 프로그램이 미흡함

○ 설계·건설·초기운영에 참여한 핵심인력 다수가 퇴직하거나 수출사업과 기장연구로 등 국내사업으로 분산되면서 운영 및 안전관리 조직이 약화됨

○ 연구용원자로의 특성을 충분히 고려하지 않는 상용원전 중심 규제기준·체계에 대한 적극적 대응 미흡함

○ 대형 원자력연구시설로서 적합하지 않는 예산체계로 규제현안에 대한 신속하고 효과적인 대응에 한계가 있음

□ **불시정지 최소화로 신뢰를 회복하고 설비 교체 등을 위한 정지기간도 최소화되어야 내진보강공사 이전의 정상운영체제 회복 가능**

○ 불시정지 가능성을 최소화하고, 안전하고 안정적인 운전을 통해 국민의 신뢰를 회복하는 것이 최우선 과제임

○ 하나로의 시설 및 운영 현황과 원내외 환경에 대한 통합적 분석을 통한 운영체계의 내실화가 필요함

□ **국가 핵심연구시설로서의 재도약을 위해서는 안정적 운전과 아울러 단기적 및 중장기적 이용 활성화 대책도 필요**

○ 하나로의 단·중장기적 가치를 재정립하고, 이용자그룹 복원 및 효과적 활용체계 구축을 통해 이용을 활성화해야 함

○ 안정적 운영과 효과적 이용을 위해서는 국가적 지원체계 및 합리적 규제 환경을 조성하는 것도 중요함

□ **따라서 하나로 운영조직 외부 전문가가 다수 참여하는 '하나로 운영 정상화 종합대책반'을 구성하여 종합대책을 수립**

○ 하나로 관련 현황과 당면한 문제점들을 분석하고, 하나로 운영을 조속히 정상화되고 고도화하기 위한 종합대책을 수립함

- 하나로 운영·이용부서는 물론, 원내 타부서 및 타기관 전문가, 퇴직 전문가 등으로 대책반(TFT)을 구성하여 전문적이고 객관적인 대책을 도출

KAERI

KAERI

제2장

하나로 시설 현안 및 개선 방안

가. 하나로 시설 안전·성능 현황 및 문제점

나. 개선방안

KAERI

KAERI

2. 하나로 시설 현안 및 개선 방안

가. 하나로 시설 안전·성능 현황 및 문제점

하나로 안전관련계통의 성능은 전반적으로 잘 유지되고 있으나 비안전계통에는 보수·교체가 시급한 기기·부품들이 있으며, 예산확보 및 유지보수·경년열화관리 체계가 미흡함. 하나로의 불시정지 횟수는 해외 연구로에 비해 많은 편이 아니지만, 최근의 불시정지에 따른 국민의 불신이 팽배하고, 특히, 냉중성자원 관련 계통으로 인한 원자로 정지가 빈번했으므로 적극적 대책이 요구됨.

[하나로 정지 이력 분석]

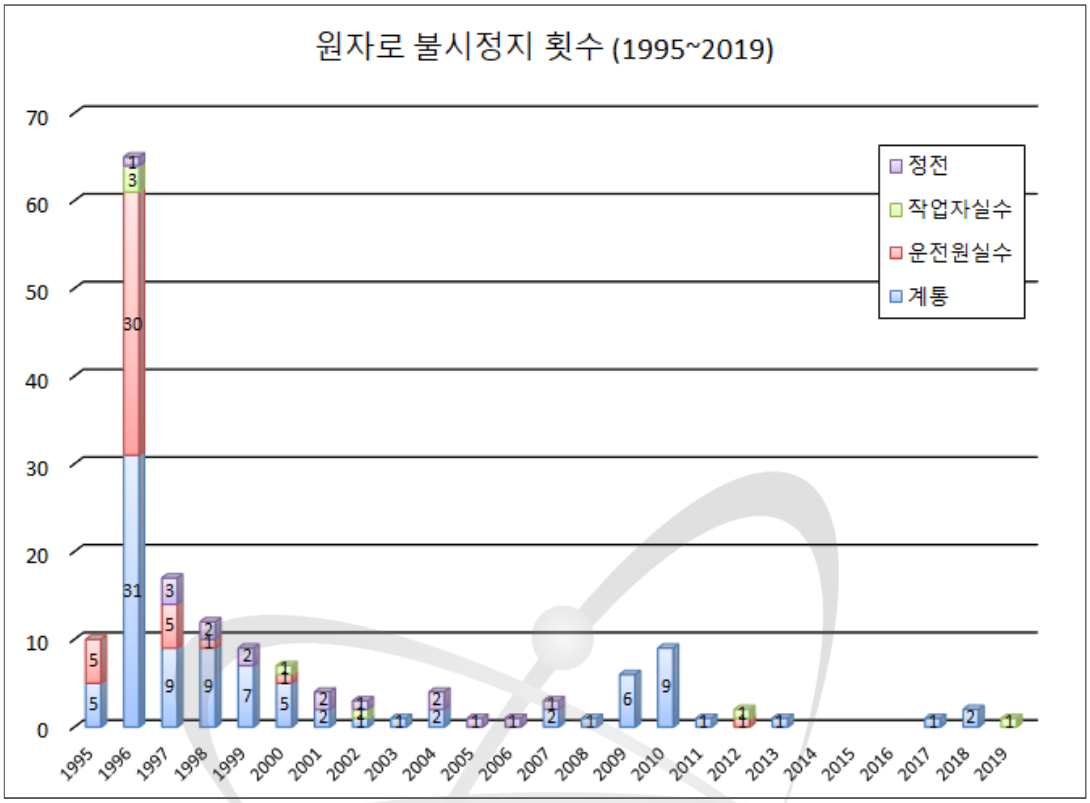
□ 하나로 불시정지 이력

○ **(불시정지 횟수)** 1995년부터 2019년까지 총 161회의 원자로 불시정지가 발생했으나, 대부분 운전 초기에 집중되고 운전 경험의 축적에 따라 불시정지 횟수가 크게 감소함(<그림 2.1> 참조)

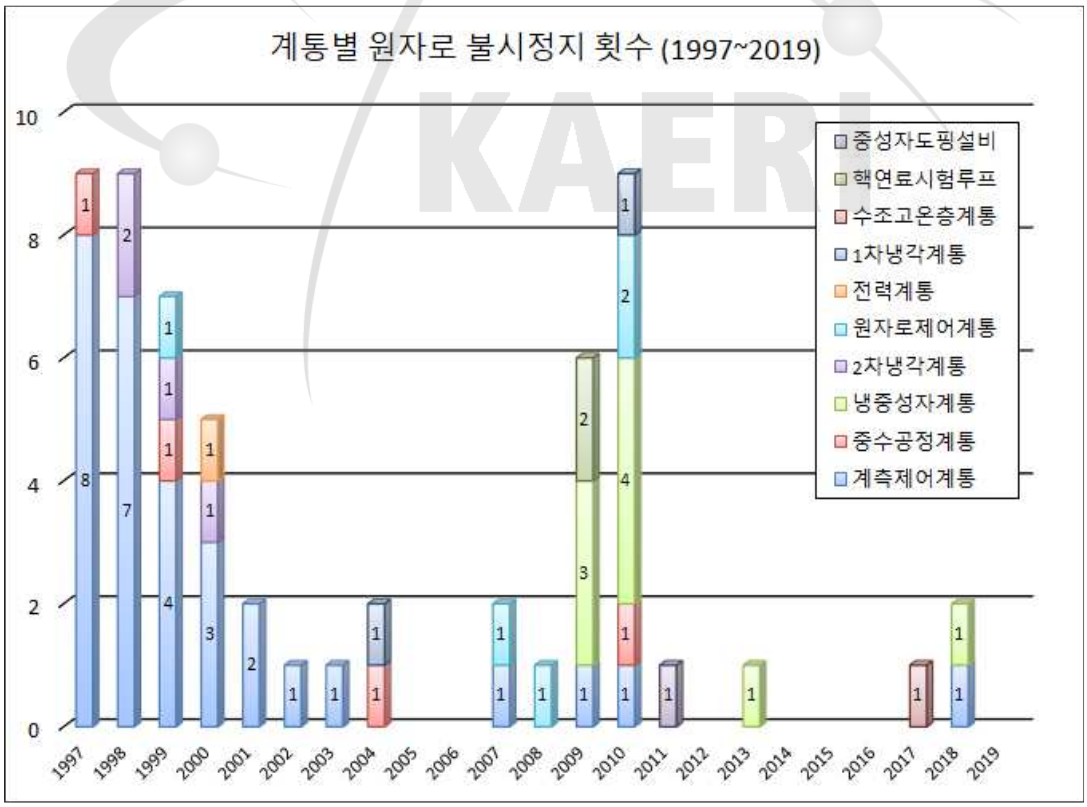
- 운전 초기에는 연간 수십 회(특히, 1996년 65회로 최다 발생) 정지하다가 점차 줄어들어 연간 1~2회 수준으로 안정화
- 냉중성자원(Cold Neutron Source; CNS) 연구설비와 핵연료시험설비(Fuel Test Loop; FTL)가 신규 설치된 2009~2010년 일시 증가 후 다시 안정화
- 내진보강공사 후 4차례 불시정지와 후속조치 이행으로 하나로의 정상운영 지연

○ **(불시정지 원인)** 가동 초기에는 계통 고장·오작동과 운전원 실수가 원인인 불시정지가 다수 발생했고, 이후에는 횟수가 크게 줄어들면서 원인이 다양화함(<그림 2.1>, <그림 2.2> 참조)

- 2007년까지는 거의 매년 순간정전으로 인한 원자로 불시정지가 1~3차례 발생했으나 순간정전 보상장치의 설치로 해결
- CNS 계통은 2009년 가동 이후 총 23건의 불시정지 중 9건(39%)이나 차지하므로 적극적 대책 필요
- 내진성능 보강공사 후 4건은 장기간 운전정지 후의 설비 상태 변화에 대한 이해 부족과 체계적 대응 미흡이 중요 원인



<그림 2.1> 연도별 하나로 불시정지 횟수 및 원인(1995~2019)



<그림 2.2> 연도별 하나로 정지 유발 계통의 구분(1997~2019)

□ 해외 연구로와의 비교

○ 문헌조사 등을 통해 입수된 해외 연구로의 불시정지 데이터를 <표 2.1>에 정리했으며, 분석 결과는 다음과 같이 요약할 수 있음

- 호주 OPAL 연구로(20 MW; 2006년 가동)의 경우, 2006~2017년까지 12년간 총 169회의 원자로 불시정지(운전 첫해 63회, 안정화 후에도 매년 5회 내외 발생)
- 네덜란드 HFR 연구로(45 MW; 1962년 가동)의 경우, 자료가 있는 2010년 한 해에 11회의 불시정지(계기 문제 5회, 기계 문제 2회, 요건 관련 2회 및 인적실수 2회)
- 요르단 JRTR 연구로(5 MW; 2016.12 가동)는 2016년 시운전 기간에 1회 발생하고, 2017년 요르단 자체 인력으로 운전하면서 3회 발생(하나로 운전경험과 기술의 활용으로 하나로 초기에 비해서는 불시정지가 크게 감소)
- 일본 JRR-3M 연구로(20 MW; 1990.11. 가동)는 1991~2009년까지 총 31회의 불시정지(지진 8회, 전력계통 문제 6회, 안전 및 제어계통 문제 5회, 실험설비 문제 4회, 냉중성자계통 문제 3회 등)
- 미국 NBSR 연구로(20 MW; 1968년 가동)는 2003년 8회, 2005년 4회, 2007년 2회, 2013년 3회, 2016년 9회, 2018년 3회의 불시정지 발생(다른 해 자료는 미확인). 전력계통, 실험설비 문제, 냉중성자계통 계기 문제 등이 원인이었으며, 원인 제거 후 곧 재가동(2018년 3회의 정지로 인한 손실은 총 3.5일에 불과)

○ 해외의 주요 연구로에서 발생하는 연간 불시정지 횟수는 하나로보다 많거나 하나로와 비슷한 수준임

- 부대설비가 복잡하고 다양한 시험을 수행해야 하는 연구로에서는 연간 1~2회 수준의 불시정지는 불가피하므로 이를 고려하여 설계 및 운영
- 미국 등 대부분 국가에서 안전관련계통과 무관한 연구로 불시정지의 경우 규제기관에 보고하지 않거나 후속 절차가 단순하여 수일 이내에 재가동 가능

○ 하나로의 불시정지 감소 노력과 병행하여 불시정지가 장기간 정지로 이어지지 않도록 하는 노력도 필요함

- 기관 및 하나로에 대한 신뢰 제고와 연구로 불시정지에 대한 국민 불안감 해소 등

<표 2.1> 하나로와 해외 연구로의 불시정지 횟수

운전년수	하나로('95 가동)	OPAL('06 가동)	JRR-3M('91 가동)	NBSR('68 가동)	HFR('62 가동)
1	10	63	2		
2	65	8	4		
3	17	9	3		
4	12	21	2		
5	9	6	1		
6	7	11	2		
7	4	18	1		
8	3	7	1		
9	1	8	1		
10	4	6	1		
11	1	8	0		
12	1	4	2		
13	3		2		
14	1		1		
15	6		5		
16	9		0		
17	1		1		
18	2		1		
19	1		1		
20	내진보강공사로 가동 중단		0		
21			2011.3.11. 동일본대지진 이후 가동 정지 중		
22					
23	1				
24	2				
25	1				
…					
35				8	
36					
37				4	
38					
39				2	
40					
41					
42					
43					
44					
45				3	
46					
47					
48				9	11
49					
50				3	
참고	'05~'09: CNS/FTL 설치로 운전일수 감소	'18년 이후 자료는 미확보		다른 연도의 자료는 미확보	2010년 자료만 확보

[하나로 시설의 안전·성능 현황 분석]

□ 원자로 및 관련계통 안전·성능 현황

○ **원자로구조물, 제어봉장치, 정지봉장치, 수조라이너** 등은 정주기 점검 등을 통하여 성능과 구조적 건전성이 잘 유지되고 있음을 확인함

- 원자로구조물의 핵심 부품인 노심내벽이 변형한계 이내에서 잘 유지되고, 정지봉·제어봉 안전 낙하에 관련된 제어봉, 안내관, 유동관 등의 치수도 정상
- 원자로의 안정적 제어와 안전한 정지를 위해 가장 중요한 성능지표인 하프늄(Hf) 흡수봉(Absorber)의 중성자 흡수능력은 향후 20년 이상 유지될 것으로 평가
- 수조라이너의 주기적 점검 결과, 원자로 냉각수의 누설이 없었음을 확인

○ **원자로보호계통, 원자로제어계통, 제어컴퓨터계통**의 성능이 잘 유지되고 있으며, 일부 부품의 단종(예정 포함)에 대비하고 예방보수 등을 체계적으로 이행하면 성능 유지에 큰 문제가 없을 것임

- 제어컴퓨터계통(2016), 수조표면 방사능감시기(2018), 제어계통 중성자검출기(2008~2012) 등 교체된 기기들은 양호한 성능 유지
- 단종되었거나 단종 예정인 기기들의 예비품 확보 필요: 아날로그 계전기의 국산 대체, 중성자검출기, 1차냉각계통 유량 및 압력 전송기의 예비품 확보 등

○ **1차냉각계통 및 기기**의 건전성과 성능에 문제가 없으며, 일부 부품의 예방보수와 예비품 확보를 통해 지속적인 안정 운영이 가능할 것임

- 중요한 안전등급 기기들인 플랩밸브(원자로 정지 후 자연대류 냉각에 필요한 유로 제공)와 1차냉각펌프의 정상적인 성능이 확인되고, 수조고온층계통 성능도 정상 유지
- 향후 성능 유지를 위해서는 일부 보수 및 예비품 확보 필요: 펌프 예비품(설계·제작에 1년 이상 소요) 확보, 펌프 기계밀봉(Mechanical Seal) 교체, 펌프 전동기의 상태(전동기 권선 온도, 펌프베어링 오일통의 오일 레벨 측정 등) 확인 조치 등

○ **전력공급계통**의 성능은 문제가 없으나, 주기적 점검 및 경년열화관리프로그램을 통한 부품의 예방적 교체가 필요함

- 현재 배전반(6.6 kV 스위치기어 및 460 V 로드센터 전기 캐비넷) 교체 중으로 2020년 7월 완료 예정
- 향후 성능 유지를 위해서는 일부 장치의 교체 및 주요 부품의 수명 대비 필요: 순간정전 보상장치(순간정전 시 정지봉 낙하로 인한 원자로정지를 방지하는 기능을 가진

장치로 10년 이상 사용) 교체, UPS(무정전 전원장치) 및 배터리 교체 등

○ **공기조화 및 환기계통**은 현재 성능을 유지하고는 있으나, 향후에도 성능을 유지하기 위해서는 장기간 사용 기기의 개선 또는 교체가 바람직함

- 원자로건물 격리댐퍼 작동시간 측정시험, 비상환기계통 자동 동작 시험, 원자로건물 누설률 시험, 공기조화 댐퍼 육안점검, 원자로건물 관통부 점검 결과 양호
- 향후 성능 유지를 위해서는 수조구조물(RCI, Reactor Concrete Island) 및 원자로실(Reactor Hall) 환기계통들의 빠른 보수 및 개선 필요: 전반적인 환기계통 노후화로 필터 변형에 따른 누설이나 댐퍼 밀폐력 감소 등의 우려

○ **2차냉각계통**은 경년열화나 운영상의 문제점이 없으나 추가적인 관리방안 검토가 필요함

- 기후변화로 대기 온도 상승이 지속되고 있는 추세를 반영하여 외기 습구온도에 대한 평가를 수행하고 필요 시 이에 대응하는 운전전략 수립

○ **중수공정계통**의 성능이 잘 유지되고 있으나 향후 중수 순도 및 삼중수소 관리 방안 수립 등이 필요함

- 반사체냉각계통의 수질(pH, 전도도) 관리 및 펌프 점검 결과가 정상이며, 2005년 반사체냉각펌프 설계변경(배관 및 밸브 연결방식이나 밸브 형식 등)을 통해 중수 누설 가능성 최소화
- 향후 중수 순도 허용기준 수립이 필요하며, 중수 교체 시 삼중수소 관리를 위한 삼중수소 누출 방지, 중수 배수 절차 및 폐중수 처리·보관방안 수립도 필요

○ **압축공기계통**은 하나로 관련 기기와 CNS 관련 기기가 분리되어 있으며, 현재 성능이 유지되고 있으나 설비 노후에 대비가 필요함

- 하나로 압축공기계통은 성능은 유지되고 있으나 노후화가 많이 진행되어, 향후 성능 유지를 위해서는 조속한 교체 필요
- CNS 압축공기계통은 공랭식 공기압축기가 설치된 부속기기동 건물지하에 전용 에어컨 설치가 필요하며, 성능 유지를 위해 노후화된 공기 건조기의 교체도 필요

□ 주요 이용시설의 성능 평가

○ **냉중성자원(Cold Neutron Source; CNS) 및 관련 시설**은 열중성자를 액체수소를 이용해 감속시켜 냉중성자를 생산하는 설비로서 수조내기기(In-Pool Assembly; IPA)와 IPA에 극저온 액체수소를 유지하기 위한 시설로 구성됨

- CNS 수조내기기, 헬륨냉동계통, 진공계통, 가스블랭킷계통, 제어컴퓨터 계통, 전력계통(과학동, 실험동, 부속기기동)의 성능은 전반적으로 양호
- 열중성자 감속을 위한 액체수소를 담고 있는 **수조내기기**는 제작과 교체 설치에 2년의 이상의 시간이 필요하므로 예비품의 사전 확보가 바람직
- **헬륨냉동계통의 주요 부품**은 해외 제작사로부터 공급받는 데 3개월 이상 소요되므로 필수적인 예비품의 확보 필요
- **CNS 제어컴퓨터계통**은 10년 이상 사용되고 있고, **CNS 제어컴퓨터**는 관련 부품 생산이 일부 중단되어 예비품 수급이 어려운 상태이며, **헬륨냉동기 제어컴퓨터**는 2차례의 핵심부품 정비(PLC CPU와 PLC Power Supply)가 있었음. 향후 성능 유지를 위해서는 CNS 및 헬륨냉동기 제어컴퓨터의 예비품 확보 필요
- **CNS 전력계통**은 진공차단기(VCB)와 가중차단기(ACB)의 예비품 확보가 필요하며, 부속기기동의 120 V 무정전전원 공급계통 주요 기기는 모두 수명 기한이 다가오고 있으므로 예비품 확보 필요(배터리는 2021년 수명 만료)

○ **핵연료조사시험설비**(Fuel Test Loop; FTL)는 발전용원자로와 같은 고온·고압 조건에서 핵연료 성능을 검증할 수 있는 시험 시설로서, '01.12월 구축을 시작하여, '09.9월 원자로 가동 중 시험 및 시운전을 완료함

- '09년 11월 저온운전모드 운전 중 FTL의 주냉각재계통에서 발생한 기포가 원활하게 제거되지 않아 기포반응도로 인한 출력변동으로 하나로가 2차례 자동 정지되었으며, 현재 가동이 정지된 상태
- FTL 문제가 해결되기 전까지 하나로를 가동하기 위한 조치로서 기포반응도 변화를 유발하는 노내시험부(In-Pile System; IPS)를 하나로 노심에서 제거하고('10.9) 수조 내부에 IPS 우회배관을 설치하여 하나로와 IPS를 물리적으로 분리: 하나로 운영 및 안전에 영향이 없는 상황
- 단, IR-1 조사공 상부에 임시 설치한 IPS 우회배관으로 인하여 중성자속이 높은 조사공 IR-1의 사용이 불가하며, IR-1 조사공에 장전한 모의 핵연료의 구조적 건전성 유지를 위한 교체작업이 번거로움(수조수 배수 및 침니상부에서 교체작업 수행)

[유지보수 및 경년열화관리 현황 분석]

□ 유지보수 현황

○ 하나로의 유지보수 업무는 정·주기점검 절차서에 의한 주기적 점검, 작업의뢰서와 불일치사항보고서 발행에 따른 현장 유지보수 작업, 계측제어기기들 교정 및 유지보수를 위한 표준계측장비 및 현장계측기 관리 등이 있음

- 매년 약 480건의 정기/주기점검 수행: 안전성과 관련된 약 220건의 교정·성능점검은 성능관리분야에서, 단순 기능점검 위주의 260건은 운전분야에서 담당
- 계통 및 기기의 보수, 설비 개선, 예비 부품 교체 등과 같은 현장작업이 필요한 경우에는 작업의뢰서와 불일치사항보고서(NCR) 발행: 연간 작업의뢰서 50~70건, 불일치사항보고서 3~6건, 관련 Q/T/S 등급 부품 구매 15~20건
- 103개의 표준계측장비 운영: 측정 대상 물리량에 따라 장비를 분류하고, 복합기능 장비는 많이 사용되는 기능을 중심으로 분류하여 관리
- 약30종, 436개의 현장계측기 유지보수: 안전성분석보고서 및 정기점검절차서에 근거한 중요 계측기뿐만 아니라 원자로 관련 계통 및 원자로 주변 실험시설, 일반 공정계통에 사용되는 계측제어기기를 모두 포함

○ 전문성이 필요한 일부 유지보수 업무는 정밀점검을 통해 안전성을 확보하도록 외부 전문업체에 위탁하여 용역으로 수행함

- 필요시 또는 월간 점검으로 수행하며, 보안문 출입통제시스템 등 11건의 점검을 연간 120회 수행

□ 경년열화관리 현황

○ 하나로에서는 안전제한치(Safety Limit) 및 운전제한조건(Limiting Conditions for Operation; LCO)에 직접 관련되는 기기 또는 계통에 한하여 반드시 준수해야 하는 최소한의 기술규정과 점검주기를 설정함

- 기기 또는 계통의 기능 상태가 요구 사항을 만족하고, 설계 기능을 만족스럽게 유지하는지를 점검
- 연구로가 운전제한조건 내에서 운전되도록 감시(Monitoring), 점검(Check), 정기점검(Surveillance Test) 및 검사(Inspection)를 수행

○ 운영기술지침서(Technical Specifications; TS)와 설계자료 및 제작자 문서에

근거하여 작성된 운영절차서가 정기 및 주기 점검, 특별 점검, 보수 절차를 포함하고 있으나, 체계적이고 통합된 경년열화관리 프로그램은 없음.

- 원자로구조물과 1차냉각계통 등의 일부 안전계통에 대해 10년 주기의 가동중검사 실시
- 노화(경년열화)관리 프로그램 개발 지침서를 발간하고 프로그램을 개발 중: 2020년 내 완료 예정

○ 원자로구조물 집합체의 경년열화관리 현황은 다음과 같음

- 중성자속이 가장 높은 반사체탱크 내벽에서 중성자 조사 취화의 영향이 가장 크므로 중점 평가 및 관리
- 반사체탱크 내벽의 중성자 누적조사량은 1.33×10^{23} n/cm^{2}으로 설계기준 총 누적조사량(2.9×10^{23} n/cm^2)의 45.9% 수준: 향후 하나로를 최대 출력 30 MW로 연평균 180일 운전할 경우 약 17.4년 후 설계기준에 도달
- 설계 과도상태를 활용하여 반사체 탱크의 상세 피로평가를 수행한 결과 누적피로사용계수가 0.63으로 계산되었으며, 20년 후에도 운전 과도상태 발생횟수가 설계기준을 초과하지 않을 것으로 판단

○ 정지봉 및 제어봉 구동장치의 경년열화관리 현황은 다음과 같음

- 원자로의 안정적인 제어와 안전한 정지를 보장하는 흡수봉(Absorber)의 중성자 흡수능력이 핵심 성능지표: 하프늄(Hf)으로 된 흡수봉의 흡수능력은 원자로 운전에 따라 점차 감소하지만, 향후 20년 이상 문제가 없는 것으로 평가
- 기계적 성능 관점에서 정지봉구동장치와 제어봉구동장치의 낙하횟수가 각각 745회 및 89회로(2017.6. 기준), 설계 시 고려한 내구성테스트 횟수(1,500회)의 50% 이내이므로 건전성을 유지

○ 1차냉각펌프의 경년열화관리 현황은 다음과 같음

- 1차냉각펌프는 모든 성능지표들이 정상운전 범위에서 유지되고 있으며, 성능미달이 우려되는 시험값의 변화도 미관측: 즉시 대응이 어려운 성능미달이 단기간 내에 발생하지는 않을 것으로 판단
- 1차냉각펌프는 전 부품의 교체가 가능하고 3개월 주기로 펌프의 주요 성능지표를 점검하고 있으므로 성능저하 발견 시 즉각적인 보수 및 교체가 가능
- 장기 수리를 요하는 고장 또는 성능 저하 발생에 대비하여 교체 운전 가능한 예비 펌프를 2023년까지 확보할 계획

나. 개선 방안

원자로 불시정지 최소화를 위해 CNS 계통의 성능 유지, 경년열화 관리계획 수립 및 이행, 하나로 안전해석 모델 개선 등의 방안이 제시됨. 시설의 안전 및 계통 성능 개선 방안으로 순간정전 보상장치 교체, 전력계통 UPS 및 배터리 교체, 하나로 압축공기계통 개선, 원자로실 및 RCI 환기계통 노후화 대책 수립 등이 제시됨. FTL 계통은 IPS 우회배관 및 노외공정설비 기기실에 대한 기술 검토와 제 3자 독립검토 수행 후 조치 방안 결정이 필요함.

□ 원자로 불시정지 최소화

○ CNS 계통/설비의 성능 분석과 집중적인 관리가 필요함

- CNS 헬륨냉동계통 내 기기의 단일 고장만으로도 CNS 계통 운전 정지 및 원자로 제어계통에 의한 원자로 정지를 유발
- 계통/설비의 시험, 점검, 보수 등에 충분한 예산 확보/투입과 주요 기기의 예비품 확보가 필수

○ 장기 정지 및 경년열화로 인한 계통설비의 고장 예방을 위해 체계적인 경년열화관리계획을 수립하고 이행해야 함

- 최근 6년간의 장기 정지(운전일수 64일) 상태와 가동 후 25년 된 점을 고려하여 경년열화관리계획을 수립 후 계통/설비의 점검, 관리, 개선 및 교체 필요

○ 하나로 정지원인을 심층 분석하고 해외 연구로의 불시정지 사례를 지속적으로 조사하여 유사 불시정지 사례나 원인을 분석함으로써 하나로 불시정지 예방 활동에 활용함

○ 인적실수에 의한 정지를 예방하기 위한 교육 및 준수사항 관리를 철저히 이행함

- 작업자, 이용자에 대한 교육 및 관리 체계 개선
- 노심 장전 실험물 제작 시 안전성 확인 철저
- 일반 준수 사항 및 과거 사례들을 반영한 주의사항 체크리스트 작성

○ 하나로 안전해석모델을 개선하여 제어계통 정지신호 발생을 배제하는 방안

을 검토하는 것이 필요함

- 하나로 가동 이후 총 161회의 정지 중 RPS(원자로보호계통)에 의한 정지 횟수 21회, RRS(원자로제어계통)에 의한 정지 횟수 140회로 하나로 정지의 대부분은 RRS에 의한 정지
- RPS 정지변수는 15개, RRS 정지변수 11개로 공통으로 존재하는 정지변수는 5개이며 RRS 정지변수에는 반사체계통과 CNS계통 및 컴퓨터 고장 등 노심 안전성에 직접적 영향을 주지 않은 신호도 포함
- 상용원전과 같이 제어계통에서는 정지신호가 발생되지 않도록 하는 운전방식의 도입의 검토 필요
- 하나로의 안전성을 저해하지 않는 범위에서 최대로 운전 가능한 영역 내의 거동 모의가 가능한 모델(성능해석 모델)을 기존 안전해석모델에 추가하는 것이 필요
  ※ 안전해석 코드 수정 및 보완이 필요한 사항으로 장기적 관점에서 추진 검토

□ CNS 계통에 의한 원자로 불시정지 개선

○ CNS 계통 이상에 의한 원자로 불시정지 이력은 <표 2.1>과 같으며 헬륨냉동계통 이상으로 인한 원자로 정지는 총 10회 중 4회임

<표 2.2> 연도별 CNS 계통 이상으로 인한 원자로 불시정지

구분	압축공기	냉각수계통	전력계통	헬륨냉동계통	인적오류	합계
2009	1					1
2010		1	1	2		4
2012				1	1	2
2013		1				1
2018				1		1
2019					1	1
합계	1 (10%)	2 (20%)	1 (10%)	4 (40%)	2 (20%)	10 (100%)

○ 고장모드원인분석(Failure Mode & Effect Analysis, FMEA) 수행 결과, 헬륨냉동계통이 CNS 계통의 원자로정지유발기기 중 50% 이상을 차지하고, 모두 단

일기기 기능상실에 의해 원자로 불시정지를 유발하는 것으로 분석됨(계통의 안정적인 운전을 위한 다중성 미확보)

○ STAMP/STPA[3] 기법을 활용하여 불시정지 원인을 파악하고 불시정지 최소화 방안을 도출함

○ CNS 계통 이상에 의한 원자로 불시정지 방지를 위해 아래와 같은 개선 방안이 제시됨

- 헬륨냉동계통의 냉각용량을 고려한 원자로 운전 출력 조정
- 헬륨냉동기 수소압력 요동 폭을 줄이기 위한 제어프로그램 업그레이드
- 헬륨냉동계통 운전 시 밸브 개도 추이 분석을 통한 상태 감시
- 헬륨냉동계통 열교환기 세척 작업 절차서 반영
- 헬륨냉동계통 전용 압축공기 버퍼탱크 설치
- CNS 압축공기계통 설치 구역에 전용 에어컨 설치
- CNS 6.6 kV 인입선 1회선 추가 확보 필요(정전 예방)
- 헬륨냉동계통 관리 예산 및 예비품 확보

□ 시설 안전 및 계통 성능 개선

○ 일부 안전계통과 여러 비안전계통의 예비품이 없는 상태로 고장 발생 시 부품의 교체를 위한 정지 기간이 장기화 될 수 있으므로 예비품 확보가 필요함

- 하나로가 운영을 시작한지 25년이 경과함에 따라 점차 교체해야 할 부품이 많아지고 있고 당분간 증가할 것으로 예상

○ 전력계통의 순간정전 보상장치는 설치 이후, 순간정전으로 인한 원자로 불시정지를 효과적으로 방지하고 있으나, 사용시간이 10년 이상 되어 안정적인 운전을 위해서는 장치의 교체가 필요함

○ 수명기한이 도래하고 있는 전력계통의 UPS(무정전 전원장치) 및 배터리는 조속한 예산 확보와 교체가 필요함

○ 하나로 압축공기계통은 제작사의 임계수명이 초과한 상태로 노후화되어 교

3) STAMP/STPA: 모든 시스템 구성요소간의 상호작용 중 발생가능한 안전성저해 시나리오의 체계적 도출기법
- STAMP(System-Theoretic Accident Model and Process)
- STPA(System-Theoretic Process Analysis)

체 또는 개선이 필요함

○ 원자로실 및 RCI 환기계통은 방사성물질 환경 방출 기준을 만족시키고 최소화하는 데 중요한 계통이며 노후화 대책 수립이 필요함

□ 경년열화관리 개선

○ 현재 준비 중인 체계적인 경년열화관리 프로그램을 계획대로 수립하고 구축 중인 형상관리시스템과 연계할 수 있는 방안을 검토하는 것이 필요함

○ 경년열화관리 프로그램에 의한 관리 및 이행 현황을 정기적으로 점검함

- 주기적인 경년열화관리 프로그램 평가 및 개선
- 하나로 외부의 전문가를 포함하는 기구(예: 경년열화관리위원회)에서 유지보수 및 경년열화관리 현황 및 계획의 정기적인 검토, 평가 및 자문

○ CBM(Condition Based Monitoring) 등 최신 기술을 이용하여 기기 상태를 모니터링하고 측정 데이터를 누적하여 평가함으로써 경년열화관리에 활용함

- 1차냉각펌프, 냉각탑 팬에 CBM 도입 활용중이며 효과 확인 후 활용범위 점진적 확대

○ 필요한 기술수준과 경험축적, 전문성, 기술전수 소요기간을 고려한 인적자원 관리 장기계획 수립이 필요함

- 기계 및 제어계통 분야의 전문 엔지니어 추가 확보 필요
- 계통/기기/부품의 능동적 유지보수 활동을 위해서는 선제적 조치를 위한 유지보수 필요 예산 확보

○ 정·주기검사 자동화 시스템 구축에 대한 검토가 필요함

- 자동 체크리스트에 의해 제어실에서 정기점검 모니터로 상태를 확인하는 정.주기검사 데이터 자동 입력 시스템 구축 검토
- 인적오류나 점검기간 단축 가능하고 인력 변화 대응 가능

□ FTL 처리 방안

○ **(단기 조치)** 하나로 재가동전 준비기간을 이용하여 IPS 우회배관 및 노외공

정설비(Out-Pile System; OPS) 기기실 조치에 대한 기술적 사전 검토를 수행함

- IPS 우회배관 제거 시기 및 제거 시 예상되는 안전 조치, 우회배관 내 잔류선량 평가, 관통배관 막음, 중량물 철거, 원자로 간섭 및 안전에 영향을 줄 수 있는 요소 파악 및 폐기물 처리 방안 검토
- OPS 제거를 사전에 대비하는 계획 수립을 위하여 1기기실 공간선량을 실측하여 해체가 가능한 시기, 해체절차, 작업자 소요시간 및 인원, 이동형 차폐장치 설치 설계, 소요예산 등 사전 기술 검토

○ **(중기 조치)** '12년도 TFT 결과보고서 및 원자력(연) 내부 검토결과에 대한 독립검토를 수행한 후 FTL 조치방안을 확정함

- "독립검토위원회(가칭)"를 결성하여 비용과 활용관점에서 3자 독립검토 후 FTL 조치 방안 확정

○ **(장기 조치)** 중기 조치 결과를 반영하여 FTL 후속 조치를 이행함

- (철거 시) "운영변경허가" 신청 후 IPS 우회배관 철거 및 IR-1 조사공 확보
- (개선 시) FTL 활용 제안 방안에 따라 계통을 재설계하고 하나로 리노베이션 기획에 반영

KAERI

제3장

하나로 운영 현안 및 개선 방안

가. 하나로 운영 현안 및 문제점

나. 하나로 운영체계 개선 방안

KAERI

KAERI

3. 하나로 운영 현안 및 개선 사항

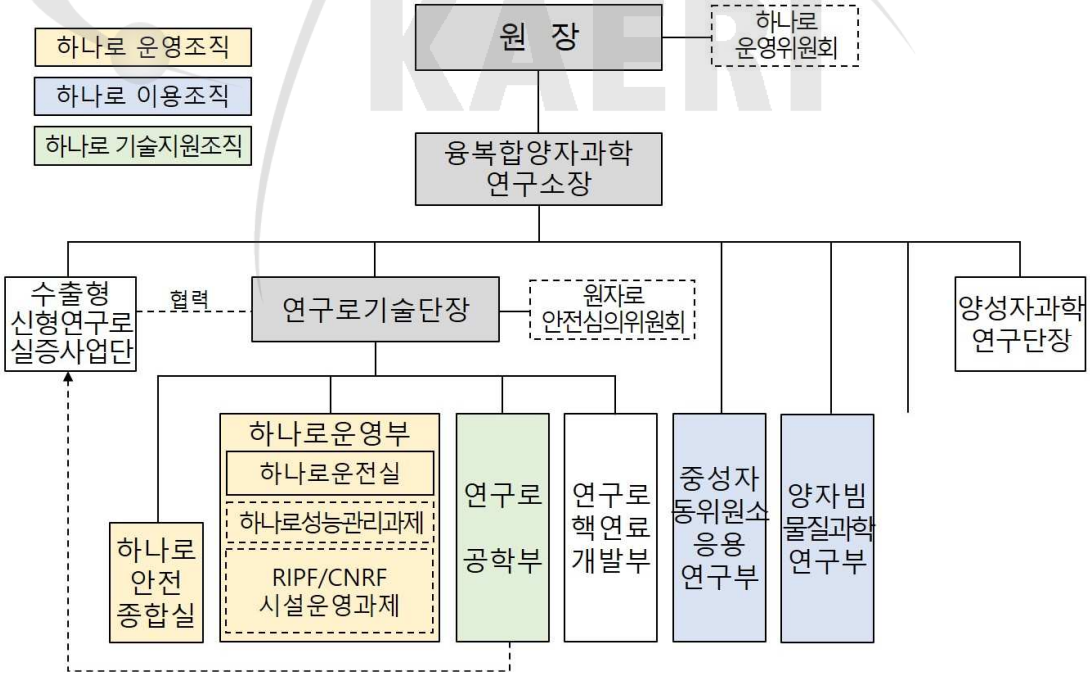
가. 하나로 운영 현안 및 문제점

[하나로 운영 조직 및 인력 분석]

하나로는 1995년 초기임계에 도달한 후 원자로시운전 조직을 거쳐 운영조직을 갖추고 출력운전을 시작했으며, 연구소 구조조정, 사건 발생에 따른 후속 조치, 기관장의 하나로 운영·이용 철학 및 연구로 기술수출 의지 등에 따라 운영 및 활용 조직이 변화되어 왔음. 현재 일상적인 운영능력은 충분히 확보되어 있으나, 새로운 문제의 예측 및 신속 대응 능력은 일부 부족함.

□ 하나로 운영조직 및 인력

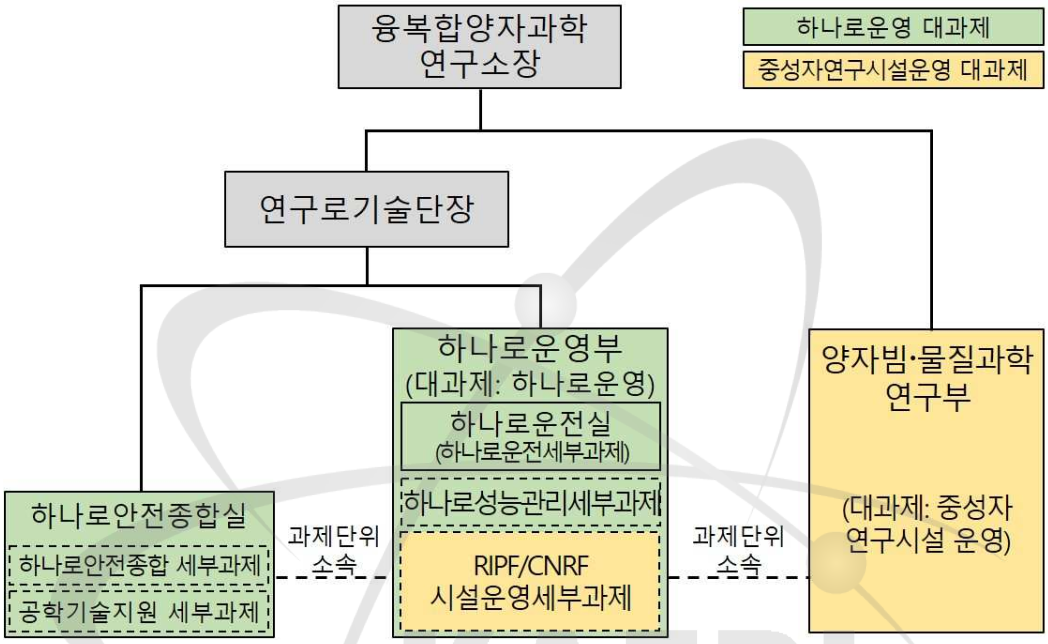
○ 하나로 관련 핵심 부서는 시설 운영부서로서 융복합양자과학연구소 산하 연구로기술단 소속 1부 2실이 있고, 시설 이용부서로서 융복합양자과학연구소 산하의 2부가 있음(<그림 3.1> 참조)



<그림 3.1> 현재의 하나로 운영 및 이용 부서 조직 (2020년 5월말 기준)

○ 하나로 시설 운영 업무는 하나로운영부에서 수행하고 있으나, 관련 **주요사업 대과제가 하나로운영**(대과책: 하나로운영부장)**과 중성자연구시설운영**(대과책: 양자빔물질과학연구부장)**으로 분리**되어 있음(<그림 3.2> 참조)

- **하나로 운영**: 하나로 운전, 성능관리, 하나로 안전종합, 공학기술 지원
- **중성자연구시설 운영**: 동위원소생산시설 및 냉중성자실험시설 운영



<그림 3.2> 하나로 운영 관련 과제 구성도

○ 하나로 관련 조직은 시설 확충 및 이용분야 확대, 연관 대형사업 수행, 조직 운영 효율화, 신임 경영자의 경영철학 등에 따라 많은 변화를 겪어옴

- 냉중성자원시설 및 핵연료조사시험시설 구축을 위한 연구로공학 부서 신설(2008)
- 요르단연구로(JRTR) 수출사업, 기장연구로 사업 등을 위한 설계·공학조직과 하나로 운영·이용조직과의 분리 및 빈번한 조직개편(2010~2017)
- 최근의 하나로 운영조직과 이용조직의 완전 분리(2019)
- 하나로 운영은 「하나로운영부」가 지속적으로 담당해오고 있으나, 설계 및 건설 시기를 경험한 인력의 대부분은 신규 인력으로 교체

※ 하나로와 관련된 연구원의 주요 조직개편 이력을 <표 3.1>에 정리함

<표 3.1> 하나로 관련 연구원의 조직개편 이력

일자	조직개편 내용	하나로에 미친 영향
2005.10.19	「하나로이용연구단」 산하에 「하나로안전관리Lab」 설치[4]	• 「하나로운영부」가 동위원소생산시설까지 통합 관리 • 「하나로안전관리Lab」 설치로 하나로 안전 강화
2007.3.30	「하나로이용연구본부」와 별개의 「고유원자력시스템개발본부」 산하에 「신형연구로개발랩」 신설 • 수출용신형연구로개발과제 수행	• 「하나로운영부」에서 수출용신형연구로개발과제를 수행하던 연구원들의 이적 • 기술인력 일부의 소속 변경으로 하나로 기술지원체계에 회색지대가 생기기 시작
2008.1.14	본부 산하에 「연구로공학부」를 신설하고[5] 「하나로안전관리랩」을 「하나로운영부」 소속으로 변경 • 「연구로공학부」는 냉중성자원시설 구축 및 핵연료조사시험시설 구축 주관	• 하나로 계통 보수를 담당하던 인력도 연구로공학부로 이적 ⇒ **경험인력이 하나로운영에서 멀어지는 현상 초래** • 하나로 운영과 안전관리의 연계 강화
2010.1.11	본부 산하에 「연구로사업단」을 신설하여 「연구로공학부」를 「연구로설계부」로 재편 • 요르단연구로 수출사업의 원활한 추진 목적	• 「연구로설계부」는 요르단연구로 설계에 집중하면서 하나로에 대한 공학지원이 어려워짐
2011.12.1	하나로 운영·이용은 연구개발부원장 산하 「연구로이용본부」에서, 연구로 개발수출은 전략사업부원장 산하 「신형원자로개발연구소」에서 담당하도록 전면적인 조직 개편	• 하나로 운영 및 이용은 연구원의 연구개발체계에, 연구로 설계 등의 엔지니어링 업무는 연구원의 전략사업체계에 편성됨 • 중성자조사기술개발을 담당할 「중성자응용기술부」를 본부 내에 설치('12.3.15.)
2014.3.14	요르단연구로 수출사업을 완수하기 위한 「연구로기술개발단」이 출범하고 연구로 관련 부서들을 전체적으로 확대 재편 • 「중성자과학연구부」에서 「중성자장치개발관리부」 분리	• 냉중성자 실험동 관리업무가 「중성자장치개발관리부」로 이관
2017.4.10	연구원이 5개 연구소 체제로 재편됨에 따라 대전본원과 경주분원의 방사선 연구 관련 조직을 「방사선과학연구소로 통합하고, 산하에 「하나로이용연구단」과 「연구로개발단」 등 설치 • 요르단연구로 설계를 수행한 「연구로개발단」에서 기장연구로 설계 담당 • 「중성자과학연구부」는 소장 산하, 기타 하나로 운영 및 이용부서는 단장 산하로 배치	• 하나로이용연구본부에 소속되었던 중성자과학연구센터가 방사선과학연구소 직속부서로 편제(**이용조직의 1차 분리**)
2019.5.1	「하나로이용연구단」이 「연구로기술단」으로 변경되어 하나로 운영과 연구로 설계를 담당하고, 하나로 이용부서는 소장 산하로 완전 분리 • 「동위원소이용연구부」와 「중성자응용연구부」 통합	• **하나로 운영조직과 이용조직의 완전 분리**

4) 2005년 6월 동위원소생산시설에서 미량의 방사성아이오딘(I-131) 누출 사건으로 인한 안전강화조치
5) 엔지니어링 업무를 효율적으로 추진하기 위한 의도였으며, 사업 종료 후 추진된 요르단연구로(JRTR) 설계건설 사업과 수출용신형연구로 개발을 효율적으로 추진할 수 있는 토대가 되었음

□ 「하나로운영부」 현황 분석

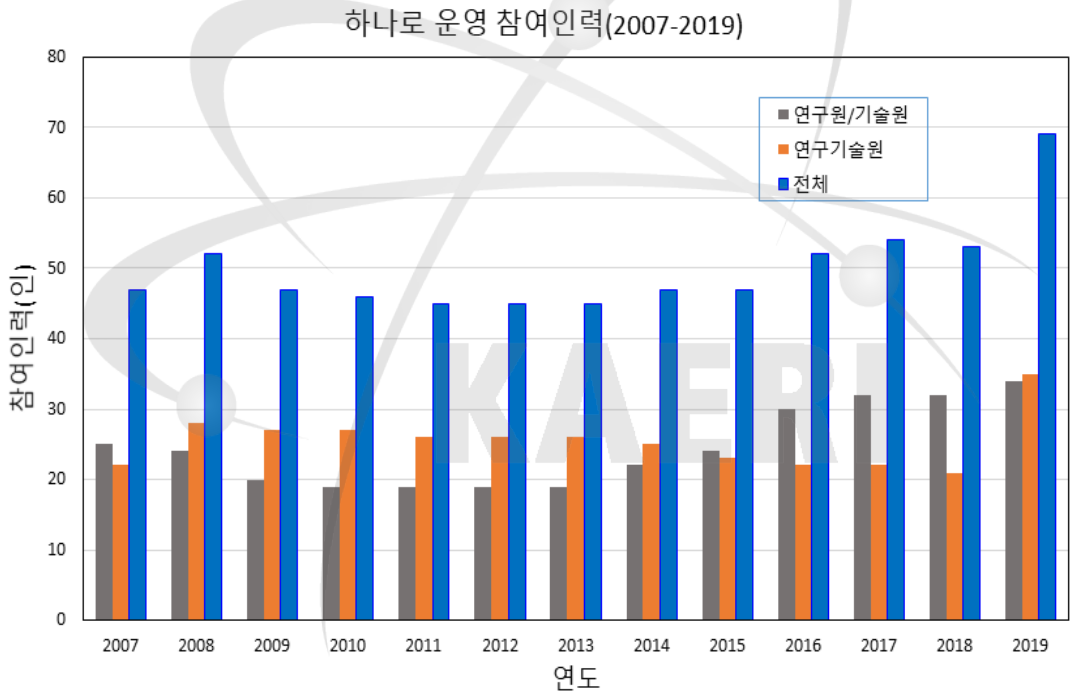
○ 「하나로운영부」는 하나로시설의 운영과 함께 다음 업무를 수행하고 있음

- 동위원소생산시설 관리: 방사성아이오딘(I-131) 누출사건 후 업무 이관(2005년)
- 노내조사시험설비, 냉중성자원 및 냉중성자시설계통 등 이용시설의 관리

○ 하나로 운영 인력은 「하나로안전종합실」 인력을 포함하여 2019년 말 기준으로 69명임(연구직/기술직 34명, 기능직 35명)

- 2008년 조직개편 시 51명에서 46명으로 감소한 후, 2015년까지 평균 45명을 유지하다가 2016년 초동소방대 인력 충원으로 51명으로 증가

※ 2019년 정규직 인원이 69명으로 증가했으나, 하나로 시설 유지보수업무에 계속 참여해오던 무기계약직의 정규직 전환에 따라 명목상으로만 증가한 것임



<그림 3.3> 하나로 시설 운영 참여인력(2019.12.31. 현재)

○ 「하나로운영부」를 비롯한 운영조직과 관련하여 다음과 같은 문제점들이 제기되고 있음

- 「하나로운영부」가 하나로 운전과 시설관리를 맡고 있으나 「하나로안전종합실」은 단장 산하로, 노심을 사용하는 「중성자·동위원소응용연구부」는 소장 산하로 편성되어 부장, 단장, 소장 간의 책임과 권한이 일부 불명확
- 부서조직과 주요사업 과제조직이 이원화되어(<그림 3.2> 참조) 책임있는 업무

수행의 저해 요인이 되고, 「하나로운영부」와의 긴밀한 협력이 필요한 「하나로안전종합실」이 단장 소속으로 되어 거리감 노출

- 내진보강공사 이후 잦은 원자로 정지로 인해 연구원의 상징이자 긍지이던 하나로가 연구원에 부담을 주는 3D 시설로 인식되면서 조직원의 사기가 저하되고 안전문화에도 부정적으로 작용
- 타부서 직원과 비교하여 하나로 운전원(교대근무 인력) 근무조건(휴가 사용 제한, 조직 측면의 고립 등)의 상대적 악화로 피로 축적 및 사기 저하
- 일상적 운전 및 유지보수 능력은 지속적으로 향상되고 있으나, 하나로 설계·건설 및 초창기 운영인력을 비롯한 고경력 엔지니어나 연구직의 은퇴와 유출 등으로 기술적 전문성 향상에 한계

※ 하나로 성능관리 분야에서 실질적인 엔지니어 역할 수행 인력은 6명에 불과

※ 유지보수 인력 31명 중 14명이 무기계약직에서 전환된 인력으로 전문성 향상 필요

- 하나로 이용부서가 연구로기술단이 아닌 융복합양자과학연구소 직할조직으로 편성됨에 따라 운영조직과 이용조직 사이의 소통 약화

[하나로 예산 및 운용 분석]

매년 공공요금 단가 상승, 보험료 상승 등 고정비용이 상승하고 기기의 경년열화에 따른 유지보수 비용이 증가하나 기관의 예산운용 방침에 따라 매년 일정 비율로 직접비를 삭감하여 유지보수 예산이 부족함

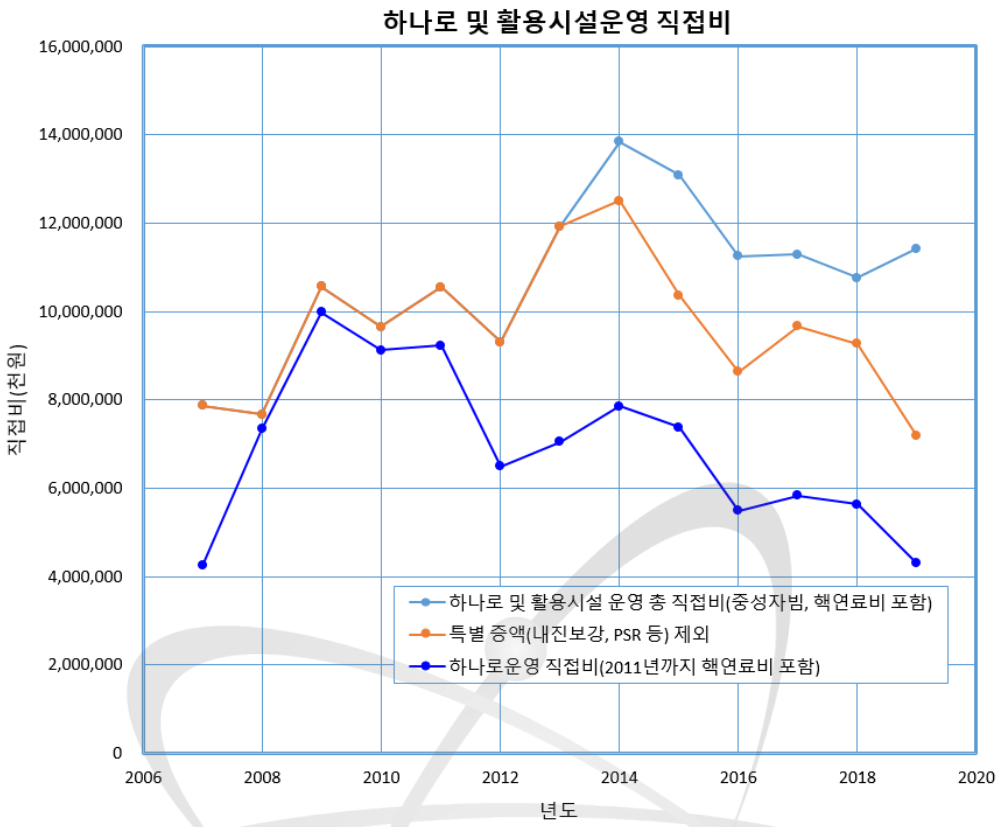
□ 하나로 예산 및 운용

○ 하나로 운영예산의 재원은 출연금(주요사업)이며, 직접비는 시설유지보수, 유틸리티(전기, 수도, 가스) 및 보험료 등 시설운영을 위한 예산과 공학적 지원 및 인허가 관련 업무 등 안전종합관리 예산으로 구성(<그림 3.4> 참조)

- 하나로 운영예산은 연구원 주요사업 편성에 따라 매년 변화(<표 3.2> 참조)
- 대과제 직접비 중 하나로 운영을 위한 고정비용은 2018년도에 70%, 2019년도에 89.5%

※ 고정비용은 유틸리티 비용, 보험금, 계약에 의해 고정 지출되는 유지보수 비용 등

※ 대과제 직접비에는 하나로 시설운영 이외에 냉중성자 실험시설 운영, 중성자조사기술 개발 등 이용개발 예산도 포함



<그림 3.4> 하나로 시설 운영예산(직접비) 추이(2014~2019)

- 전기료, 수도로, 가스료 등 유틸리티 비용이 하나로 운영비의 12~28% 차지

※ <표 3.3>은 2018년 하나로 및 활용시설의 고정비용 세부내역을, <표 3.4>는 연도별 유틸리티 비용의 변화를 예시하고 있음

○ 정부 예산 지침 또는 사업 평가에 의한 예산 조정(삭감)의 경우에도 조절이 불가능한 고정비용에 동일한 조정 비율 적용하고, 공공요금 인상 등의 비용 상승요인이 반영되지 않아 예산 부족이 심화됨

○ 정부 기관 지적사항 조치를 위한 시설개선예산, 규제법령 개정에 따른 인허가문서 작성 및 시설개선 비용 등은 특별예산을 신청하고 부족분은 운영비를 절감하여 충당함

- 원자로건물 내진보강공사(117억 원), 디젤발전기 개선(13억 원), 주기적안전성평가보고서 작성(40억 원), 예비해제계획서 작성(25.2억 원), 노후배전반 교체(20억 원), 구조안전진단 및 지진계측설비(11.2억 원)
- 예를 들어 원자로건물 내진보강공사 예산 117억 원 중 정부 특별지원 45억 원을 제외하고는 운영비 절감과 기관의 연구개발적립금으로 충당

<표 3.2> 2009년 이후 하나로 운영예산의 주요 변동사항

연도	예산(천 원) (전년대비 증(▲)감(▼))	주요 예산 변동 사항
2009	9,983,683 (▲2,643,644)	- 완공을 앞둔 FTL 및 CNS의 운영 예산 확보로 예산 증가 ※정부에서 중성자 산란장치 운영을 위한 예산은 지원하지 않아 추가로 확보한 예산에서 할애하여 사용
2012	6,497,000 (▼2,733,990)	- 하나로 핵연료 생산은 과제를 운영예산에서 분리
2013	7,053,000 (▲556,000)	- 2008년도에 분리되었던 연구로 공학지원 예산을 하나로 및 활용시설 예산으로 복귀시킴
2014	9,187,000 (▲2,134,000)	- 중성자과학 연구시설 운영 예산 확보 ※중성자 산란장치 관리 부분은 이 사업에 속함 - 후쿠시마 후속 조치로 비상디젤발전기 개선을 위한 사업 수행을 위한 특별 예산 13억 원 할당 ※특별예산을 제외한 운영예산: 7,857,400천 원
2016	8,111,141 (▼1,984,019)	- 원자력법 개정에 따른 PSR 작성을 위한 예산 10억 원 확보 - 원자로건물 내진보강 예산 14억 원 확보하였으나, 부족예산 2.16억 원을 유지보수예산에서 활용 (총 16.16억 원 투입) ※PSR 및 외벽보강예산을 제외한 운영예산: 5,495,141천 원 ※<표 3.6> 하나로 외벽 보강에 사용된 예산 내역 참조
2017	7,453,537 (▼657,604)	- 원자력법 개정에 따른 원자력시설 예비 해체계획서 작성을 위하여 9.5억 원, PSR 작성 예산 6.65억 원 포함 ※PSR 및 해체계획서 작성을 제외한 운영예산: 5,838,537천 원 ※유지보수 예산은 외벽 보강 이전 수준으로 회복되지 못함
2018	7,125,309 (▼328,228)	- 냉중성자 실험시설 운영을 위한 예산이 중성자과학 연구시설 운영 사업 예산에서 하나로 및 활용시설 운영 사업 예산으로 이관 - 원자력시설 예비 해체계획서 작성을 위하여 6억 원, PSR 작성 예산 8.85억 원 포함 ※PSR 및 해체계획서 작성을 제외한 운영예산: 5,640,309천 원
2019	8,495,831 (▲1,370,522)	- 전력시스템 교체비 20억 원, 구조 안전진단 보수설계를 위한 예산 11.2억 원, 동위원소생산시설 GMP 시설개선 예산 5억 원 확보 - 원자력시설 예비 해체계획서 작성을 위하여 0.7억 원, PSR 작성 예산 5.46억 원 포함 ※위 특별 예산을 제외한 운영예산: 4,295,831천 원 ※하나로 및 활용시설 운영에 배당된 총예산은 오히려 감소

<표 3.3> 하나로 및 활용시설의 고정비용(2018, 2019년)

(1) 하나로 시설

(단위: 천 원)

항목	세부 내역		2018	2019
공공요금	전기료	하나로+RIPF	1,161,425	900,975
		CNRF	237,218	246,129
		제2유틸리티	83,696	64,037
		하나로안전통제	22,774	20,777
	상하수도	하나로+RIPF	143,990	52,889
		CNRF	2,883	2,411
	도시가스	하나로+RIPF	299,376	234,545
		CNRF	17,494	8,097
	소 계		1,968,856	1,529,860
원자력시설 운영비용	원자력상해보험, 원자력재산보험		33,741	33,761
	원자력안전관리부담금(인허가비)		149,916	192,017
	비상방재시스템운영		12,350	-
	방사선 환경평가 부담금		40,000	33,000
	방사성폐기물관리비(고체, 액체)		26,400	23,600
	소 계		262,407	282,378
시설유지보수 외부용역	물리적방호시스템 유지보수용역		21,300	12,040
	DG 및 소방펌프 유지보수용역		16,992	17,520
	소방시설 월간점검 용역		9,500	19,450
	RMS 유지보수용역		14,099	19,975
	시설물관리용역		12,260	10,248
	중수 및 1차냉각수 수질분석용역		20,856	15,232
	수질 분석/관리 용역		16,450	14,061
	크레인 유지보수용역		7,128	7,128
	승강기 유지보수용역		3,960	3,960
	보안문/출입통제 유지보수용역		8,400	8,400
	제어반 유지보수용역		18,809	18,920
	UPS 유지보수용역 (CNS 포함)		9,900	9,900
	소 계		159,654	156,834
특수근무자 관리	하나로 근무자 정신건강검진		6,202	3,475
	하나로운전원 약물복용검사		1,935	1,260
	운전원 면허 보수교육		3,852	2,568
	교대근무자 식대		23,360	23,360
	소 계		35,349	30,663
기타 고정비용	디젤발전기 경유		4,000	4,000
	ANSIM 시스템 운영부담금		41,394	-
	표준계측기 검교정		9,147	12,874
	방사선안전관리 소모품		18,566	26,563
	방사선관리구역 관리		2,000	2,000
	시설운영 gas (질소/헬륨)		13,543	10,396
	환기계통 필터 (Pre/Mod/Hepa)		2,240	3,170
	정화필터/수지		38,000	38,000
	공기압축기 유지보수		15,652	31,304
	CNS 헬륨냉동기 유지보수		12,000	12,000
	수질(2차)관리 약품		50,000	50,000
	소 계		206,542	190,307
총 계			2,632,808	2,190,039

<표 3.3> 하나로 및 활용시설의 고정비용(2018, 2019년)(계속)

(2) 활용시설

(단위: 천 원)

항목	세부 내역		2018	2019
원자력시설 운영비용	방사선 환경평가 부담금		12,000	12,000
	방사성폐기물/화학폐기물 처분		15,000	15,000
	소 계		27,000	27,000
시설유지보수 외부용역	RIPF	소방계통 유지보수용역	8,580	8,580
		승강기 유지보수용역	1,980	1,980
		UPS/축전지 유지보수용역	11,240	11,240
		RMS 유지보수용역	20,000	20,000
		CCTV 시스템 유지보수용역	10,320	10,320
		공조설비 제어반 유지보수용역	4,400	4,400
		크레인 유지보수용역	2,640	2,640
	CNRF	소방 점검용역	7,777	7,700
		크레인 유지보수용역	1,848	1,848
		승강기 점검용역	1,760	1,760
	제2 유틸리티	관리용역인건비 (7인)	320,000	327,770
		시설 관리	281,941	67,000
	소 계		672,486	465,238
기타 고정비용	표준/현장계측기 검교정		5,000	5,000
	방사성폐기물 및 화학폐수 처분비용		15,000	15,000
	활성탄/HEPA/MOD 필터 구입/검사		60,000	60,000
	소 계		80,000	80,000
총 계			779,486	572,233

<표 3.4> 하나로 및 활용시설의 유틸리티 비용(단위: 백만 원)

내역 \ 연도 (운전일수)	2013 (177일)	2014 (135일)	2015 (0일)	2016 (0일)	2017 (0일)	2018 (59일)	2019 (0일)
전기료	1,822	1,658	1,231	851	940.8	1,505.1	1,231.9
수도료	241	165.7	27.8	37.2	37.0	146.8	55.3
가스료	308	267.4	243	209	255.6	316.8	242.6
계	2,371	2,091.1	1,501.8	1,097.2	1,233.4	1,968.7	1,529.8

○ 부족한 시설 운영비 확보를 위해 중성자도핑 서비스의 수익금, 동위원소생산 관련 자체사업 수익금, 중성자빔 이용료 등을 활용함

- 중성자도핑 서비스 수익금이 가장 효과적으로 사용되었으나(총 48억 원),

2015년 자체사업으로 전환되어 잉여 재원 적립이 불가능하고 예산 사용 경직

- 동위원소생산 자체사업 수익금은 하나로이용활성화 사업 및 동위원소 생산 관련 노후장비 교체, 폐기물 처리, 필터 비용, 운영인력 인건비 등에 활용
- 중성자 이용료 수입 중 일부를 하나로 운영 관련 사용: 수조수 배수설비 구축(2.5억 원), 냉중성자실험동-원자로실간 출입 및 통제시설 구축(2.6억 원)

[하나로 문서관리 및 형상관리 현황 분석]

하나로 운영을 위한 인허가문서(안전성분석보고서, 운영기술지침서)와 절차서 등의 문서는 연구원 품질보증체계 하에서 통합안전경영시스템(ANSIM)을 통해 관리되고 있음. 향후 인허가문서와 절차서의 지속 개선, 확률론적안전성평가 정보 활용 확대, 전문가 검토절차 강화 등이 요구되며, 자체 필요성과 규제환경 변화에 따라 구축 중인 형상관리시스템 및 경년열화관리 프로그램 등과의 연동이 필요함.

□ 하나로 문서관리 현황

○ **안전성분석보고서**(SAR) 및 **운영기술지침서**(TS)는 인허가 문서로서 시설 개선 또는 설계 변경, 원자력안전법 및 원규 개정, 조직 변경, 정기검사 지적 및 권고, 기타 오류 발견 시 개정함

<표 3.5> 하나로 인허가문서 주요 개정이력

개정 시점	개정 문서	개정 사유
2002.9	안전성분석보고서	시설과 불일치 사항에 대한 조사 후 반영
2002.9	운영기술지침서	운영현황반영, 안전성분석보고서와 일치 반영
2006.6	안전성분석보고서	17장(기술지침서) 중 “운영기술지침서”와 중복되는 부분을 삭제하고, 18장(품질보증) 전체를 연구원의 “품질보증계획서”로 이관
2009.9	안전성분석보고서	11장(실험설비)에 “핵연료노내조사시험설비” 추가
2010.4	안전성분석보고서	11장(실험설비)에 “냉중성자연구시설” 추가

○ **운영절차서**는 하나로의 운영 및 운전, 시설 및 기기의 정주기점검, 기기의

검교정, 시설 유지보수 및 관리를 위한 절차서임

- 필요에 의한 신규 작성, 폐기 또는 설계변경, 운전경험, 규제기관의 지적·권고사항 등에 따라 개정
- 3년마다 시설 또는 계통과의 불일치, 관련 법령과의 불일치, 운전 경험의 반영 등을 고려한 유효성 평가

○ **비상운전절차서**는 원자로보호계통이나 공학적안전설비의 작동 설정치를 초과하는 과도상태나 채널유동 차단 등의 사고가 발생할 경우, 그 결과를 완화하고 필수안전기능을 확보하기 위한 기기, 계통 및 운전원 조치 등을 기술함

- 우선/비상/회복 절차서 형태로 작성되어 있으며, 사고 발생 시 이에 따라 확인 및 검증 절차 수행
- 비상운전절차서 개정은 '비상운전절차서 개정요구서' 발행에 따라 착수되며, 중요성을 고려하여 원자로조종감독자면허(SRO) 보유 운전원이 개정 주관

○ 안전성분석보고서, 운영기술지침서, 운영절차서, 비상운전절차서 등은 기술발전, 규제환경 변화, 운영경험 등을 반영하여 지속적으로 개선해야 함

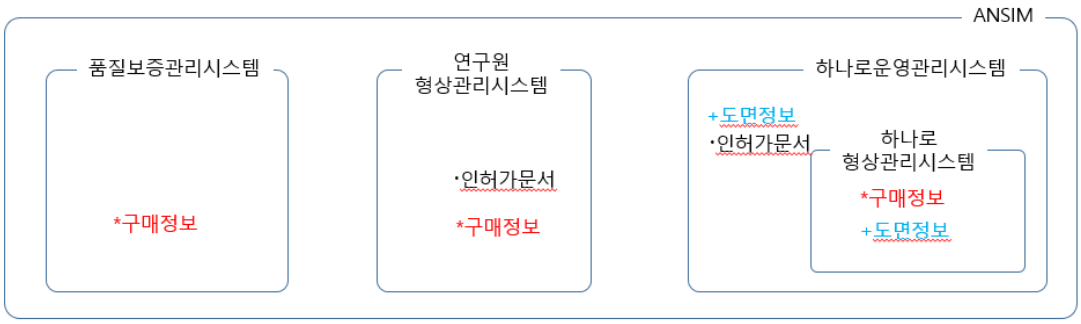
- 안전성분석보고서, 운영기술지침서, 운영절차서 등의 체계적 개선: 법·규정 개정사항 반영, 시스템 변경사항 반영, 실제 형상과의 불일치 해소, 운전경험 반영, 문서 간 일관성 증진 등을 위한 지속적·주기적 개선
- 확률론적안전성평가(PSA) 기술 적용: PSA를 통해 도출된 중요도 인자를 고려하여 절차서·점검주기 개선 및 운전원 교육훈련 강화 필요
- 절차서 등 개정 시 관련 전문가·경력자의 기술검토 강화: 기술전문위원회(가칭) 운영을 통한 타부서 전문가나 하나로 업무 경험자의 검토 절차 도입

□ 하나로 형상관리 현황

○ 원내 원자력시설들의 가동년수 증가에 따라 설비의 실제 형상과 문서 간의 불일치 문제가 중요해짐에 따라 연구원 형상관리 체제를 도입함

- 2018년 하나로를 비롯한 인허가 대상 원자력시설의 형상관리 강화를 목적으로 형상관리 도입을 위한 '형상관리체계 도입 방안 수립 TFT'를 운영
- 2019년 연구원 통합안전경영시스템(ANSIM)의 하나로 운영관리시스템 내에 형상관리시스템을 구축하고, 2021년 완료 목표로 도면, 설계문서, 구매 등 하나로 설계정보 및 형상정보를 시스템에 업로드 중
- 장기간 운영된 시설이어서 자료 확보, 자료 형식, 현재 형상과의 일치여부

확인 등 시스템 구축에 애로



<그림 3.5> ANSIM 에 구축된 하나로 관련 형상관리 시스템

○ 형상관리시스템과 연계하여 활용성을 높이기 위한 방안 강구 필요함

- 하나로의 안전성 및 신뢰성 증진과 장기 운전을 위해서는 경년열화 프로그램과 형상관리 프로그램의 연동 필요

  ※ 경년열화관리 계획서, 관련 지침서 및 절차서, 계통·기기·부품의 정보 및 이력, 보수 및 교체 등의 관리 기록

- 형상관리를 수용하고 있는 ANSIM이 많이 경직되어 있어서 사용자 요구에 따른 확장성 부족하므로 대책 필요

[하나로 안전문화 평가]

하나로 구성원의 안전의식 향상과 시설 안전을 위해 안전문화세미나, 현장안전점검 등 다양한 안전문화 활동을 진행하고 있으며, 2년마다 안전문화 설문조사를 통해 조직구성원의 안전문화 의식을 진단하고 증진방안을 도출하여 적용해오고 있음. 2020년도 안전문화 설문조사 결과 구성원들은 안전에 대한 의무감을 충분히 인식하고 있으나 리더십 개선이 필요하다고 인식하고 있음.

□ 하나로 안전문화 이행 현황

○ 하나로 운영 및 이용조직에서는 다양한 안전문화 활동을 해오고 있음

- **안전문화 세미나**: 2003년 3월부터 개최되었으며, 국내외 운전경험 발표, 부서별 안전문화 경진대회, 외부강사 초빙교육 등 다양한 주제로 구성
- **현장안전점검**: 사고 예방 목적으로 하나로 및 활용시설의 현장에서 안전에 저해되는 요소를 점검하는 활동으로 연 4회 이상 실시
- **안전문화 경진대회**: 하나로 운영 및 이용부서의 각 부서별 안전 관련 주제를

발표하여 안전에 대한 경각심을 고취

- **국내외 운전경험 사례 수집 전파**: 원자력시설의 사건과 사고의 경험 자료를 수집, 분석, 전파

※ 2년마다 개최되는 IAEA의 IRSRR(Incident Reporting System for Research Reactors) 회의에 참가하여 정보 수집 및 전파

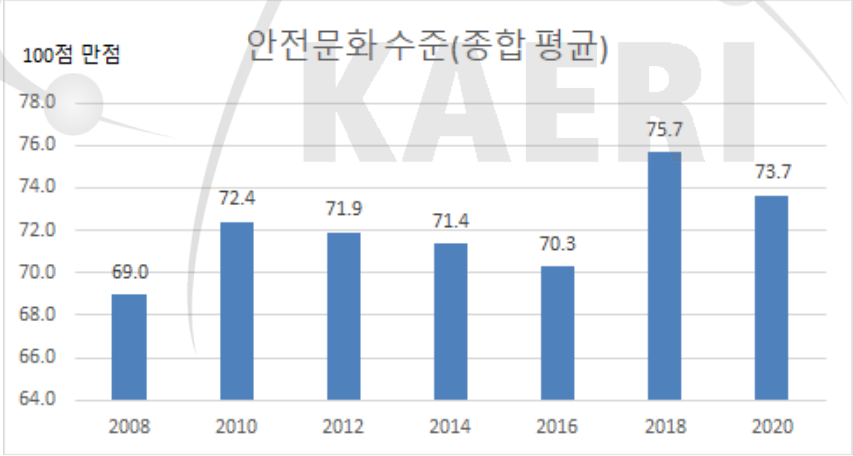
- **안전문화 설문조사**: 하나로 및 활용시설 구성원들의 안전의식 수준을 평가하기 위하여 1998년부터 매 2년마다 실시

○ 2020년 5월 하나로운영부 및 관련 부서(연구로핵연료개발부, 하나로안전종합실, 중성자동위원소응용연구부, 양자빔물질과학연구부)를 대상으로 안전문화 설문조사를 실시함

- 설문은 IAEA에서 제안한 안전문화의 다섯 가지 속성에 기초한 원자력안전문화 기본 질문 53문항과 추가 질문 10문항으로 구성

※ 원자력안전문화 5개 속성: 안전성에 대한 확고한 인식, 안전에 대한 명확한 리더십, 안전에 대한 명확한 책임, 모든 활동에서 안전성 고려, 안전에 대한 지속적 학습

- 설문조사 대상자 197명 중 147명(74.6%)이 응답
- 전체적인 안전문화 수준은 2018년도(75.7점)에 비해 73.7점으로 감소하였으나, 전반적인 안전문화 수준은 양호 (<그림 3.6> 참조)



<그림 3.6> 연도별 안전문화 수준 변화(종합평균)

- 구성원들은 안전에 대한 의무감을 충분히 인식하고 있으나, 리더십 개선이 필요하다고 인식

※ 안전에 대한 주인의식, 안전관리, 절차적 지식, 문서의 품질, 경제적 관점의 안전은 높게 평가한 반면, 안전에 대한 동기와 직무만족 고려, 갈등해결 능력, 체계적 안전역량 관리, 리더십 개발, 안전관련 실행의 관리 부분은 낮게 평가

○ 설문조사에서는 다음과 같은 하나로 안전문화 증진 방안이 제안됨

- 리더십 증진, 안전역량 관리 증진, 갈등해결 능력 배양 등 조직 관리 역량 강화 필요
- 안전문화 경진대회 내실화 및 효과적인 안전문화 증진 활동 방법 고안 필요
- 안전문화 수준 진단방법 개선 필요
- 현장 안전점검 활성화 방안 도출 및 수행 필요
- 부서원 팀워크 향상을 위한 활동 필요

[규제환경 등 외부요인 변화 평가]

연구용원자로의 특성이 적절하게 반영되지 않은 규제요건(사고・고장 발생 시 보고・공개 규정 등)과 원자력(연)에서 발생한 안전관련 사건들이 미친 부정적 인식으로 인해 원자로 정지 후 재가동 소요시간이 크게 길어졌으므로, 원자로정지 유발 요소들의 관리 강화와 더불어 재가동 소요기간 단축을 위한 환경개선 노력도 절실함.

□ 규제환경 변화와 주요 현안

○ 원자력안전위원회(원안위) 고시(원자력이용시설의 사고·고장 발생시 보고·공개 규정) 개정으로 연구용원자로 관련 보고요건이 크게 강화됨

- ‘연구용원자로 등 시설에 적용되는 보고사건’에 시설 외부의 순간정전에 의한 원자로 정지 이외의 모든 정지 포함(고시 제2020-3호)
- 운전계획의 변경 시에도 원자력안전위원회에 사전 보고

○ 2013년 개정된 원안위 회의 운영에 관한 규칙에서 원자로 정지 및 재가동에 대한 위원회 보고/심의 내용이 신설된 후 재가동 소요시간이 크게 길어짐

- 운영기술지침서의 운전제한조건 내에서 이루어진 예방 차원의 선제적 정지에 대해서도 규제기관에 보고하고 안전성을 재확인 받아야 하는 상황
- 정지 후 재가동 승인까지 수개월 이상 소요되어 연구로 이용에 막대한 지장

※ 회의 운영에 관한 규칙이 적용된 시점을 기준으로 약 10년 전후에 대한 하나로 재가동 소요시간은 2014년 이전(평균: 9.8 일)에 비하여 이후(평균: 220일)는 약 22배 증가<표 3.6 참조>

<표 3.6> 보고대상 사건 발생 후의 하나로 재가동 소요시간

번호	주요 내용	정지 종류	정지	재가동	소요시간 (일)
1	RI 생산작업중 수조상부 고방사선	자동 (RPS)	2002.06.19 21:46	2002.06.19 21:52	0.0
2	정전에 의한 하나로 정지	자동 (RPS)	2002.10.15 14:10	2002.10.15 14:15	0.0
3	정전에 의한 하나로 정지	자동 (RPS)	2004.03.05 15:02	2004.03.06 09:49	0.8
4	정전에 의한 하나로 정지	자동 (RPS)	2004.05.10 03:17	2004.05.11 14:10	1.5
5	하나로 빔튜브(ST3)에서의 누수감지기 작동	수동	2004.07.06 12:18	2004.07.20 20:12	14.3
6	하나로 수조 내 냉중성자실험설비 설치 준비작업 중 작업자 방사선 피폭	N/A	발생: 2006.11.22		N/A
7	NTD 플로터 상승으로 인한 하나로 백색비상	자동 (RPS)	2011.02.20 13:08	2011.03.15 09:05	22.8
8	SiC-SPND 성능시험(신호측정)중 원자로 트립	자동 (RPS)	2012.04.09 09:36	2012.05.08 08:57	29.0
9	중성자빔 실험장치 Bio-D의 단자대 열화로 인한 소손	수동	2014.07.10 1:38	사건종결 (2015.03.20)	253
10	수조고온층의 두께 감소로 인한 수조 방사선준위 상승으로 원자로 수동정지	수동	2017.12.11 00:31	2018.05.15 13:44	155.6
11	압축공기 감압변 고장에 의한 원자로제어계통 정지	자동 (RRS)	2018.07.30 06:16	2018.11.20 11:24	113.2
12	냉중성자원 수소압력 증가로 인한 원자로 수동정지	수동	2018.12.10 19:25	2019.12.03 05:44	357.4
13	냉중성자(CNS) 계통 수소 저압력에 의한 원자로제어계통 자동정지	자동 (RRS)	2019.12.06 02:20	-	145.6

○ 2017년부터 연구원에서 안전 관련 여러 사건들이 발생하여 안전관리 능력에 관한 정부와 국민, 특히 지역주민의 신뢰를 크게 떨어뜨렸으며, 하나로 재가동 심의에도 좋지 않은 영향을 끼침

- 자체처분 대상 방사성폐기물 무단 폐기, 연구시설 해체 방사성폐기물 무단절취, 화재, 방사성폐기물 분석오류, 방사성물질 방출 등

○ 원자로 정지 후 재가동 기간 단축을 위한 노력이 요구됨

- 하나로의 고유 안전특성, 해외 연구로 규제사례 등에 근거한 규제기관 협의를 통해 원자로 정지 보고 및 재가동 허가와 관련된 규정 및 업무관행 개선
- 원자로 정지가 원자로 안전에 위협을 준다는 인식 해소와 정지 빈도 최소화
- 근본 원인과 재발 방지책을 신속하고 정확하게 찾는 체제 구축 등 정지 발생 시 대처능력 강화

<표 3.7> 2017년 이후 발생 원자로 정지원인 요약

정지 일자	정지 종류	원인 및 사건 요약
2017.12.11.	운전원 수동정지	12월 10일 원자로를 기동하여 06:25에 30 MW에 도달 및 출력운전 중 수조 고온층계통의 온수기 가열 능력 부족으로 수조 고온층 두께가 얇아져 수조 표면 방사선량 증가함에 따라 12월 11일 00:31에 운전원이 RRS 수동정지
2018.07.30.	RRS 자동정지	7월 9일 원자로를 기동하여 하절기 냉각탑 냉각능력 부족으로 20 MW로 감발하여 출력 운전 중 정지봉 장치에 공급하는 압축공기 감압변의 고장으로 7월 30일 06:16에 RRS 자동정지
2018.12.10.	운전원 수동정지	12월 10일 원자로를 기동하여 13:50에 30 MW에 도달 및 출력운전 중 CNS 수소압력 안정화 과정에서 수소 압력이 상승함에 따라 수조 내 기기의 감속재 용기를 보호하기 위해 19:25에 운전원이 RRS 수동정지
2019.12.06.	CNS 수소 저압력에 의한 RRS 자동정지	원자로 및 실험설비의 종합성능시험을 위해 12월 3일 원자로를 기동하여 12월 6일 19 MW에 도달하여 유지하던 중 CNS 수소 저압력에 의해 RRS 자동정지. 원자로 출력 변화 중에는 수소 저압력에 의한 원자로 정지를 우회시키는데 작업자의 자동정지 프로그램 수정에 오류가 있어 우회되지 않음.

□ 외국의 연구로 정지 보고 및 재가동 관련 규제

○ (**원자로 정지 보고**) 대부분의 해외 연구로는 안전계통 작동 또는 운전제한조건 초과에 따른 원자로 정지는 보고대상이나, 비안전계통 이상에 의한 원자로 정지는 보고대상이 아닌 경우가 많음

- 안전계통이 작동하거나 운전제한조건을 벗어나서 원자로가 정지한 경우 대부분 규제기관에 보고해야 하나, 미국은 안전제한치 초과의 경우만 보고
- 비안전계통 이상에 의한 정지의 경우 미국과 일본은 보고대상이 아니며, 독일은 비공식적 협의, 호주는 분기 운전보고서에 포함, 벨기에와 중국은 규제기관 보고대상 등 국가별 차이

○ (**원자로 재가동**) 비안전계통 이상으로 인한 연구로 정지 시 시설책임자 또는 원자로조종감독자(SRO)의 판단으로 재가동하는 경우가 많음

- 규제기관의 재가동 허가를 받아야 하는 벨기에와 중국의 경우에도 허가에 단기간(수일 정도) 소요
- 안전계통 동작 또는 운전제한 조건 위반 시에도 벨기에, 중국을 제외한 국가에서는 시설책임자의 판단으로 원자로 재가동

※ 미국의 경우 안전제한치 위반의 경우에 규제기관의 재가동 허가 필요하며, 원자로 안전계통 이상에 의한 정지의 경우 시설책임자가 재가동 결정

<표 3.8> 각국의 연구로 정지 보고 및 재가동

국가	원자로 정지 보고		원자로 재가동 승인	
	안전계통	비안전계통	안전계통 (소요기간, 일)	비안전계통 (소요기간, 일)
미국	안전제한치 초과 (극히 드문 사고임)	불필요	규제기관	시설책임자나 SRO (원인 해결시)
독일	규제기관 보고	비공식 협의	시설책임자 (원인 해결시)	시설책임자 (원인 해결시)
호주	규제기관 보고	분기 보고	불필요 (원인 해결시)	불필요 (원인 해결시)
벨기에	규제기관 보고	규제기관 보고	규제기관 (수일)	규제기관 (수일)
일본	규제기관 보고	불필요	시설책임자 (원인 해결시)	시설책임자 (원인 해결시)
중국	규제기관 보고	규제기관 보고	규제기관 (7일)	규제기관 (7일)
한국	**규제기관 보고**	**규제기관 보고**	**규제기관 (수개월)**	**규제기관 (수개월)**

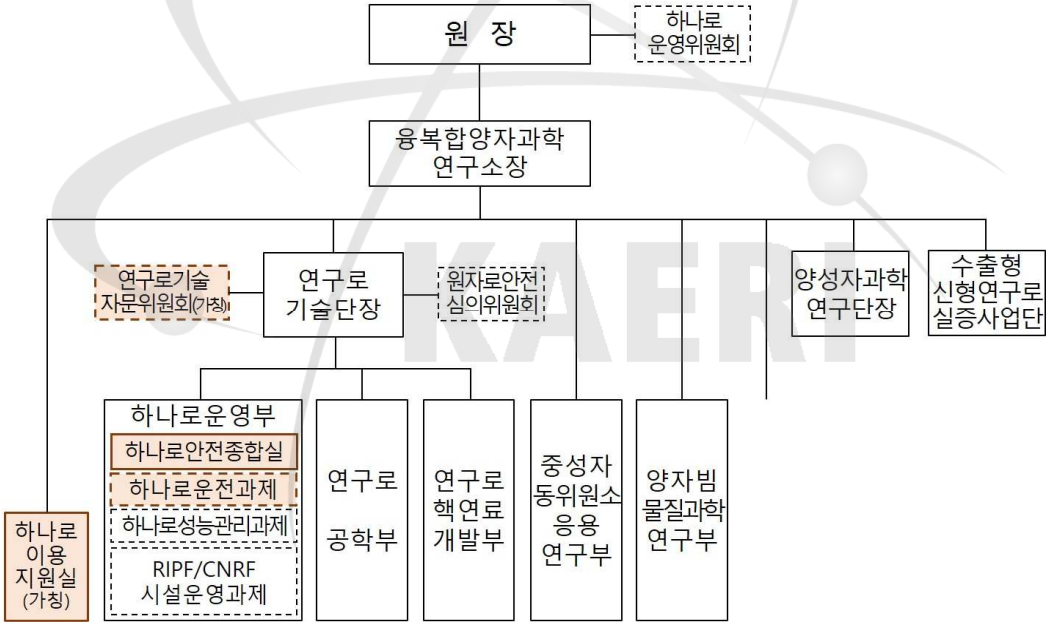
KAERI

나. 하나로 운영체계 개선 방안

하나로의 안정적 운영을 우선하고 이용-운영 연계강화를 위해 조직을 보강하고, 운영조직의 전문성 보강 및 교육훈련·기술지원체계 구축을 추진하면서 교대근무 환경 개선 등으로 사기를 진작시킬 필요가 있음. 아울러 필수 직접비가 보장되는 예산배정체계 도입, 주기적안전성평가 대응과 연계한 인허가문서 및 절차서의 검토·정비, 원자로정지 발생 감소를 통한 신뢰 확보와 규제제도 합리화 노력 강화 등 하나로 운영기반과 외부환경의 개선도 요구됨.

□ 하나로 운영조직 및 인력

○ 소장/단장/운영부장의 책임과 권한의 명확화 및 하나로운영조직과 시설이용조직 간의 연계·협력 및 소통 강화를 위한 조직 보강



<그림 3.7> 하나로 운영 관련부서 조직 보강(안)

- 소장/단장/운영부장의 하나로의 운영, 이용 및 안전과 관련된 업무를 검토하여 권한과 책임의 명확화
- 「하나로안전종합실」을 「하나로운영부」 산하로 편제하여 하나로의 안전 및 안전문화, 내부규제, PSR 및 경년열화 관리 등 하나로의 지속가능 업무 전담 및 안전기능 강화
- 「하나로운전실」을 폐지하고 과제단위로 전환하여 「하나로운영부」 인력 활용

의 유연성 확대

- 하나로 이용 관련 행정, 대외협력(하나로운영위원회, 하나로이용자협의회 개최 등 하나로이용 지원업무 포함) 및 소통을 전담하는 「하나로이용지원실」(가칭)을 소장 직속으로 신설

- 동위원소생산시설 및 냉중성자실험시설 운영과제를 하나로운영 대과제 소속으로 변경하여 부서조직과 과제조직을 일원화

○ 최상의 전문성에 기반하여 하나로를 운영하고 이용할 수 있도록 운영 인력을 보강하고 전문성을 향상시키는 구체적 조치가 필요함

- 하나로 운영부서의 엔지니어링 능력 강화 및 타부서 전문가의 실효성 있는 지원체계 확보

※ 연구로공학부원, 설계·해석 전문가, 신기술개발자(AI, 센서 등) 등 하나로 운영 엔지니어링 역량강화에 필요한 원내 전문가를 계획된 call-up 체제로 활용하고, PSA 관련 업무 강화

- 하나로 안정적인 운영을 위한 인력확보 및 직급별, 분야별 정원도입 필요

※ 분야별, 직급별 인원은 추후 직무분석을 통해 확정

- 하나로 운영과 관련하여 실질적인 기술적 자문을 할 수 있는 원내외 전문가로 「연구로기술자문위원회」(가칭)를 구성하여 운영

※ 하나로 시설의 주요 변경이나 개선 추진 시 자문 및 Peer Review, 기술적 의사결정이나 하나로 운영과 관련한 상시 자문 등

- 시설운영요원의 기술 전문성 확보를 위한 체계적 지식 관리 및 교육·훈련

※ 하나로 경험인력으로부터의 'Know-how'와 'know-why' 전수, 교육센터를 활용한 신규 운영요원, 운전원 및 유지보수요원 교육훈련, 운영요원의 문서작성능력 배양 등

○ 교대근무 환경 개선, 합리적이고 실효성 있는 유지보수체계 등을 통해 하나로 운영조직의 사기를 진작시키고 책임감 고양

- 하나로운전원으로 일정기간 근무 후 본인 희망 시 일정기간 운전원에서 해제하는 운전원 안식기간 부여 (예, 7년 (또는 5년) 운전 후 2년 운전원 해제)

- 하나로운전조장 및 부조장의 권한과 책임에 대한 특수성 인정

※ 직책수당과 자격증수당(SRO, RO)의 중복지급 인정

※ 운전 조장 직책수당을 현실화하여 근무동기 유인

- 교대근무 운전원의 근무형태 개선 및 휴가 문제 개선을 위한 한수원 사례 벤치마킹

□ 하나로 시설 운영 예산 확보 및 운용

○ 대형 원자력시설 운영을 위한 적정 인건비와 필수 직접비를 정확하게 추산하여 안정적으로 보장해야 함

- 하나로 운영조직 보강을 위한 인건비 재검토
- 하나로, 동위원소생산시설(RIPF) 및 냉중성자실험동(CNRF)의 일상적 점검, 유지보수 및 인허가 비용 등 운영을 위한 최소 직접비(핵연료비는 실제 운전기간과 연동되므로 제외) 보장

<표 3.9> 하나로, RIPF 및 CNRF 운영을 위한 최소 직접비(단위:천 원)

	하나로시설 운영	RIPF/CNRF 운영	합계
공공요금 1)	2,500,000	-	2,500,000
대관청비용/인허가 2)	280,000	27,000	307,000
유지보수용역 3)	175,000	71,500	246500
제2유틸리티시설 4)	-	600,000	600,000
기타 고정성 비용 5)	246,000	80,000	326,000
과제 운영비 6)	814,000	270,000	1,084,000
합계	4,015,000	1,048,500	5,063,500

1) 연 6주기 운전을 가정한 하나로 및 활용시설 전체 금액
2) 원자력상해/재산보험, 원자력안전관리부담금(인허가비), 비상방재시스템운영, 방사선환경평가부담금, 방사성폐기물(액체 및 고체)관리비용 등 포함
3) 시설유지보수를 위한 외부 용역
4) 하나로 및 활용시설에 대한 냉난방 공급시설의 용역인건비 및 시설관리비
5) 주기적 소모품 교체 및 관리비, 하나로 특수근무자(교대운전) 관리비
6) 과제관리비(출장, 세미나, 교육 등), 일상보수비(노후부품교체, 작업의뢰서 및 NCR 처리 등)
※ 연구수당 제외한 2021년도 필요한 최소 직접비임

- 주기적안전성평가, 대형기기 교체 등 법정업무 또는 경년열화관리업무와 이의 수행에 필요한 예산을 추정하고 이를 주요사업 증액사업으로 확보
- 주요사업 평가결과에 따른 예산조정 대상을 참여인력 인센티브에 한정함으로써 필수예산 미확보로 인한 문제 발생 예방

※ 각 사업의 특성이 반영될 수 있도록 주요사업 평가기준 및 절차 개선

○ 하나로의 중장기적 운전을 위해서는 사용후핵연료의 안정적 관리 및 처분을 위한 재원 마련이 필요함

- 국가 사용후핵연료 중간저장시설 건설의 지연에 대비하여 사용후핵연료 저장조에 조밀랙 설치를 위한 재원 확보 필요

○ 하나로 이용 사업(중성자도핑 서비스나 동위원소 생산 등의 자체사업)의 수입을 시

설 운영에 효과적으로 재투자할 수 있도록 제도 개선이 필요함

- 시설 예산 확보의 유연성을 증대하면서 자체수익사업의 자생력도 제고

□ 하나로 운영관련 절차서 및 지침서

○ 인허가문서와 절차서들을 최신 규제요건 및 시설현황과 비교 분석하여 전면적인 정비를 추진함

- 절차서 현황 분석, 유효성 평가를 통한 신규절차서 제정, 절차서 명칭 변경 및 범위 확대 필요성 검토 등
- 안전성분석보고서 및 운영기술지침서를 현행 규제요건과 일치하도록 재배치
  ※ 관련 지침서 및 절차서 정비로 문서 일치성 확보
- 절차서 유효성 평가에 안전성분석보고서, 운영기술지침서, 하나로운영절차서와의 연계사항을 확인하도록 관련 절차서 개정
- PSA 방법론을 적용하여 점검주기의 유효성과 신규 점검사항의 필요성을 평가하고 절차서에 반영

○ 절차서 등의 변경 시「연구로기술자문위원회」(가칭) 검토와「원자로안전심의위원회」심의를 강화하여 기술적 완결성과 적용 타당성을 제고함

- 인허가 문서나 안전 운영에 영향을 미치는 절차서의 제·개정 시 자문 및 심의

○ 절차서 개정 방법 간소화

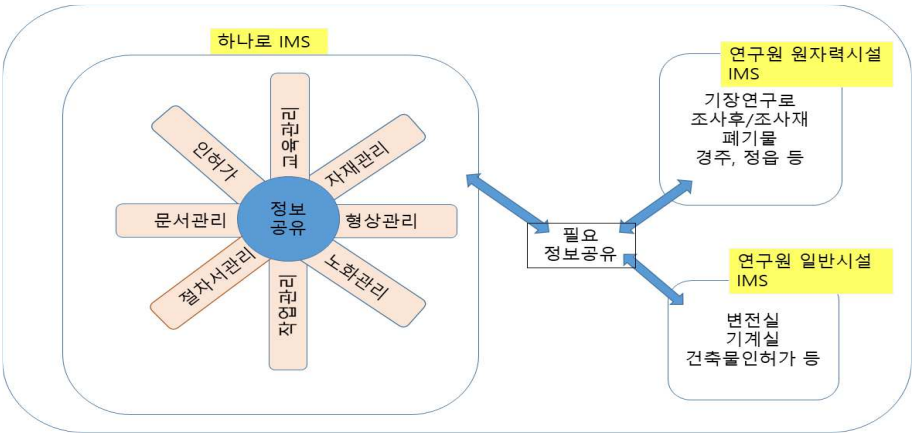
- 짧은 문장이나 단락 등과 같은 간단하게 수정되는 내용, 새로운 절차가 긴급하게 추가되는 사항으로 이미 관련부서에 대한 협의가 완료된 경우

□ 품질보증 및 형상관리

○ 연구원 통합안전경영시스템(ANSIM)의 하나로 형상관리 모듈에 경년열화관리를 위한 모듈을 추가하여 경년열화관리 활동 및 결과를 체계적으로 관리함

- 이를 통해 품증보증-형상관리-경년열화관리의 체계적 연계 가능

○ 장기적으로는 연구원 차원의 전사적 통합경영시스템(Integrated Management System, IMS) 구축이 필요함



<그림 3.8> 연구원 차원의 IMS(안)

- 원자력시설 수명주기(30년 이상)와 정보시스템 수명주기(10년 이하)를 고려한 최적 시스템이 필요하며, 원내 타 원자력시설(기장 연구로 포함)을 통합하여 효율성 확보

□ 하나로 운영·이용조직의 안전문화 증진

○ 리더십, 안전관리역량, 갈등해결능력 배양 등 보직자의 조직관리역량 강화가 필요함

- 보직자 및 보직 후보자들의 리더십 역량 강화를 위한 체계적인 교육과 경력관리 필요

○ 안전문화 수준 진단과 증진 활동의 실효성을 제고함

- 안전문화 진단 대상을 안전관리단, 품질경영부 등 하나로 운영과 관련이 많은 다른 부서들까지 확대
- 안전문화 경진대회 내실화, 과책/부서장의 면담 수행을 통한 안전문화 향상
- 현장 안전점검의 활성화 및 전문성 확보를 위한 외부 전문가 활용
- 부서원 팀워크 향상 활동(축구, 족구, 등산 등)을 통한 상호 존중과 이해 증진

□ 원자로 정지로 인한 이용률 저하 방지 노력 필요

○ 규제 제도·관행 등 외부 환경 개선을 위한 노력을 적극적으로 추진함

- 하나로 고유 안전특성, 해외 규제 사례 설명 등을 통하여 원자로 정지 보고 및 재가동 허가와 관련된 고시 및 규제 업무 절차 개선을 위한 지속적인 노력

○ 정지 발생 빈도 감소를 위한 노력 및 정지 발생 시 대처능력을 강화함

- 원자로 정지로 인한 안전에 대한 우려를 없애는 노력을 하는 것과 동시에 그간의

교훈을 반영하여 원자로 정지를 최소화하기 위한 노력 필요

- 근본 원인분석 및 재발 방지책을 신속하고 정확하게 찾는 체제 구축 및 운영 요원의 사건보고서 작성 능력 배양

KAERI

KAERI

제4장

하나로 가치 제고 및 활성화 전략

가. 가치 분석 및 제고 방안

나. 운영 및 이용 활성화 전략

KAERI

KAERI

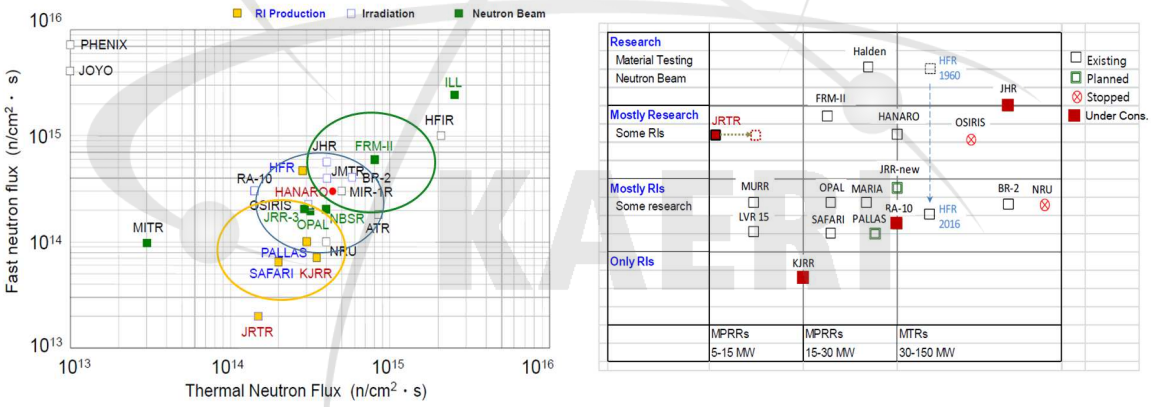
4. 하나로 가치 제고 및 활성화 전략

가. 가치 분석 및 제고 방안

하나로는 국가대형연구시설로서 타 시설들과 차별화되는 고유가치를 지니고 있으며 미래 친환경 사회를 준비하는 원천기술인 소재·부품·장비 개발에 매우 유용함. 규제환경의 변화에 대응하고 국가적 R&R을 수행하기 위하여 하루빨리 하나로가 정상화되기 위하여 단계적 대응방안을 마련하여 이용을 활성화할 것임

□ 하나로의 고유 가치 분석

○ 하나로는 세계 정상 수준의 다목적 연구용원자로로서 높은 중성자 발생 능력을 가지고 있으며 중성자를 이용하는 국가기반연구시설로서 가치가 매우 높음



<그림 4.1> 하나로와 해외 주요 연구로와의 핵심 성능 비교

- 하나로의 핵심 사양은 최대출력 30 MW_{th}, 최대 중성자속 $5x10^{14}$ n/cm^2s로 성능 관점에서 세계 10위권에 해당
- 전기를 띠지 않는 중성자를 이용하므로 물질 투과력이 매우 높고 수소와 같은 가벼운 원소들을 더 잘 관측할 수 있으며, 특히 물질의 스핀 구조와 스핀 동력을 직접 측정할 수 있어서 매우 다양한 분야에 활용 가능
- 하나로 활용에 대한 국제적 관심이 높으며, 2017년 Nature에서 하나로 재가동을 기사화[6)]

6) 출처: https://www.nature.com/articles/d41586-017-08476-y

- 2019년에는 아시아 최초로, 또한 세계에서는 5번째로 국제원자력기구(IAEA)의 국제연구용원자로센터(ICERR, International Center based on Research Reactor)로 지정됨으로써 국제적 위상 입증

Engineers inspect the HANARO research reactor in Daejeon.

PHYSICS

South Korean reactor to restart experiments

Facility shutdown had slowed neutron research in the region.

BY DAVID CYRANOSKI

with the closure of nuclear reactors in that

하나로 가동은 세계 과학계의 관심사 (Nature, Dec. 14, 2017)

'17, Nature 하나로 재가동 기사화

'19, IAEA 총회에서 인증패 수령

<그림 4.2> 하나로의 국제적 위상을 입증하는 해외 업적

- 하나로는 열중성자빔 이용장치, 냉중성자빔 이용장치, 중성자방사화분석장치, 중성자래디오그라피 장치를 구비하여 중성자를 이용한 초정밀 물질분석 및 연구서비스를 제공하고 있으며 물질 분석은 여러 산업에 활용 중
- 하나로 노심에 8개의 수직공, 반사체에 중성자변환도핑(NTD)용 2개의 수직공이 있어서 높은 중성자속을 이용하여 다양한 재료 및 핵연료 조사시험이 가능하고, 대전력반도체 생산을 위한 NTD 서비스를 연간 30톤까지 제공 가능
- 노심 및 반사체 영역에 방사성동위원소 생산을 위한 다수의 조사공을 보유하고, 방사성의약품 개발·생산을 위한 인프라도 구축하여 활용 중
- 최근 해외의 주요 조사시험용 연구로인 JMTR(일본), HBWR(노르웨이) 등의 폐로가 확정되면서 하나로에 대한 해외 이용자들의 관심 증대

<표 4.1> 하나로와 타 중성자원과의 비교

	하나로 연구로 (HANARO Research Reactor)	파쇄중성자원 (Spallation Neutron Source)	비파쇄중성자원 (Non-spallation Neutron Source)	소형 핵융합 중성자원 (Fusion Neutron Source)
중성자 발생	핵분열	양성자 기반 핵파괴	Li(p,n), Be(p,n)	DD (DT)
중성자속	$5x10^{14}$ n/cm^{2}s	10^{13}~10^{15} n/cm^{2}s	~$2x10^{13}$ n/cm^{2}s 10^{12} n/s 10^5 n/cm^{2}s @ 시료	~10^{10} n/s (~10^{12} n/s)
장치 출력 (중성자 에너지)	30 MW (meV ~ 10 MeV)	0.5~5 MW (~ GeV)	30 KW (30 MeV)	200 keV
대표 시설	ATR, OPAL, HFIR, NIST, BR-2, ILL, FRM-II	SNS[1], ESS[2], J-PARC[3], CSNS[4], SINQ[5]	LENS[6], RANS[7], HUNS[8]	일부 상용화 (PNL사, Adelphi사 등)
중성자 빔	연속	대부분 펄스 (또는 연속)	연속	연속
중성자 스펙트럼	고속, 열, 냉중성자	고속, 열, 냉중성자	고속, 열, 냉중성자	고속/단일에너지 (2.45 MeV, 14 MeV)
조사능력 (연간 dpa)	3	~3.9	< 0.3 (적은 조사체적)	불가능
중성자생산 시설 구축비용	수천억 원 (원자로 및 활용시설 포함)	1~3조 원 (부대시설 ~1조 원)	수백~수천억 원 (부대시설 수십억 원)	~수억 원 (완제품 제작 가능)
운영 비용	높음 (~200억 원/년)	매우 높음	낮음	매우 낮음
활용분야 ++: 매우적합 + : 적합 • : 가능 - : 부적합	•중성자산란 분석·영상(++) •방사화 분석(++) •재료조사 시험(++) •동위원소 생산(++) •전력반도체 생산(++) •의료치료(BNCT)(•) •보안검색 및 비파괴검사(•) •교육훈련(+)	•중성자산란분석·영상(++) •방사화 분석(-) •재료조사 시험(+) •동위원소 생산(-) •전력반도체 생산(-) •의료치료(BNCT)(-) •보안검색 및 비파괴검사(•) •교육훈련(++)	•중성자산란분석·영상(+) •방사화 분석(•) •재료조사 시험(•) •동위원소 생산(-) •전력반도체 생산(-) •의료치료(BNCT)(++) •보안검색 및 비파괴검사(+) •교육훈련(++)	•중성자산란분석·영상(+) •방사화 분석(-) •재료조사 시험(-) •동위원소 생산(-) •전력반도체 생산(-) •의료치료(BNCT)(-) •보안검색 및 비파괴검사(++) •교육훈련(+)
기술 성숙도 (세계/국내)	성숙/성숙	개발/미성숙	개발/미성숙	개발/개발
특성	•연속적 중성자속 •높은 에너지분해능 •매우 낮은 에너지와 상대적으로 긴 시간 영역에서 물성 연구 가능	•높은 순간 중성자속 •높은 신호/잡음비 •넓은 에너지 영역(meV- eV), 넓은 Q 영역을 동시에 접근 •White Beam 기법 •펄스 신호에 의한 시간 의존성 연구 가능		

1) SNS: Spallation Neutron Source, USA
2) ESS: European Spallation Source Sweden
3) J-PARC: Japan Proton Accelerator Research Complex, Japan
4) CSNS: China Spallation Neutron Source, China
5) SINQ: Swiss Spallation Neutron Source, Switzerland
6) LENS: Low Energy Neutron Source, USA
7) RANS: RIKEN Accelerator-driven compact Neutron Source
8) HUNS: Hokkaido University Neutron Source

○ 연구용원자로의 중성자빔 이용시설은 X-선을 활용하는 방사광가속기와 함께 대표적인 이용자 기반 국가 대형 연구시설로 분류됨. 이용자 입장에서 효과적으로 연구를 수행하려면 두 가지 시설 모두 장단점을 가지므로 두 시설을 모두 활용하여 연구를 수행하는 것이 효율적임

<표 4.2> 하나로와 가속기와의 비교

	하나로	방사광가속기		양성자	중이온	의료용 중입자
		3세대	4세대 (자유전자레이저)			
활용입자	중성자	전자	전자	양성자	헬륨,탄소, 우라늄이온 등	탄소핵
가속방법	-	전자기적 (원형)	전자기적 (선형)	전자기적 (선형)	전자기적 (선형)	전자기적 (원형)
입자 에너지	meV ~ 10 MeV 연속스펙트럼	3.0 GeV	10 GeV	20, 100 MeV	200 MeV/u, 빔출력: 400 kW	430 MeV
재료 물성 분석 활용 분야	라디오그래피 나노크기 구조, 동역학 측정 자기적 성질	물질의 정적구조분석	물질 동적현상 실시간, 3차원 관측	물질변화, 중성자 생산	응용	의학분야
동위원소생산	중성자 많은 동위원소	불가능	불가능	양성자 많은 동위원소	불가능	불가능
조사시험	가능	불가능	불가능	제한적 가능	제한적 가능	불가능
방사화분석	가능	불가능	불가능	불가능	불가능	불가능
전력반도체생산	가능	불가능	불가능	불가능	불가능	불가능
운영 상태	운영 중('95~)	운영 중('95~)	운영 중('17~)	운영 중('13~)	구축 중	구축 중

○ 기장연구로는 의료용 및 산업용 동위원소 생산 및 공급 그리고 중성자 도핑 및 고속 중성자 조사 서비스를 주 목적으로 하여 건설이 진행 중임

- 동위원소 생산과 중성자 도핑은 현재 하나로에서 이루어지고 있지만 향후 기장 연구로 가동이 본격화되면 두 분야의 주 업무는 기장연구로에서 수행되고 하나로는 보조적인 업무를 수행할 것으로 전망
- 하나로에서는 중성자빔 이용 연구 분야와 원자로 관련 원천, 산업기술 연구를 수행하는 조사시험 분야가 주 업무로 수행될 예정

<표 4.3> 하나로와 기장로와 특성 비교

	하나로	기장로	비고
열출력	30 MW	15 MW	
중성자속	5 x 10^{14} n/cm^2s	3 x 10^{14} n/cm^2s	
반사체	D_2O	베릴륨/흑연	
핵연료	U3Si-Al, 봉형	U-Mo, 판형	
제어봉/유로	상부구동/강제상향류	하부구동/강제하향류	
활용	다목적(동위원소 생산, 중성자빔 이용, 조사시험, NTD, 물질분석 등)	동위원소 및 NTD 반도체 생산 전용	
중성자 빔 장치	보유	없음	
냉중성자원(CNS)	보유	없음	
Mo-99 생산량	필요시 소량 (Mo 표적 이용)	주당 2,000 Ci (U 표적 핵분열)	
NTD 반도체 생산량	연간 최대 30톤	연간 150톤	
고속중성자 조사시설 (FNI)	없음	설치	
재료 조사 시험	가능	불가능	장기간 조사 핵연료, 신소재 개발
방사화분석 PTS 조사	가능	가능	경시편, 방사화 분석
HTS 조사	불가능 (시설 미설치)	가능	중시편, 동위원소 생산
GMP 시설	보유	보유	

□ 하나로의 활용 가치 분석

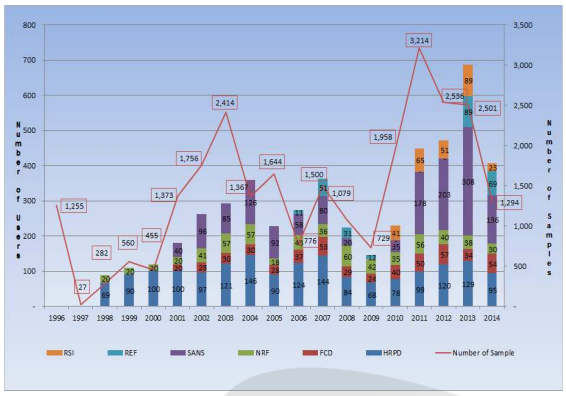
○ 중성자의 활용은 우리가 느끼지 못하는 사이에 우리의 일상생활에 이미 정착되어 있음

- 우리와 한시도 떨어지지 않는 휴대폰이 중성자도핑으로 생산된 반도체를 장착하는 등 중성자 연구성과와 우리 일상생활이 매우 밀접

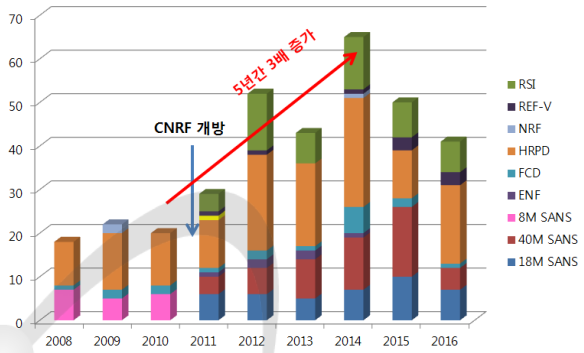
○ 하나로가 보유하고 있는 세계적 수준의 성능을 활용하여 과학발전, 산업발전, 국민복지, 원자력시설 안전 증진에 기여하면서 그 가치를 입증하고 있음

○ **(과학발전 기여 가치)** 산·학·연의 연구자들은 중성자빔 활용설비를 이용하여 다양한 과학분야에서 학문적 성취를 달성해옴

- 하나로 활용설비를 이용한 논문 생산 수는 선진국 연구로와 비교하여 뒤지지 않으며 우리나라의 과학기술발전에 중요한 역할을 담당
- 하나로는 다목적연구로로서 다양한 분야의 전문교육에 활용되어 우리나라 과학교육 발전에 기여



이용자 현황(2013년 기준 687명)



중성자과학시설 SCI 논문(2014년 기준 65편)

<그림 4.3> 하나로의 이용자 현황 및 논문 실적

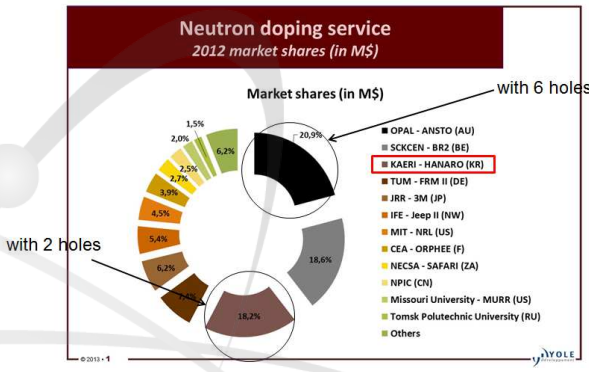
- 하나로를 활용하는 분야가 과학, 산업 분야를 포함 매우 다양하게 존재하고, 또한 하나로 이용자가 산업계, 학계, 연구계를 망라하여 다양하게 분포되어 있어 과학과 산업 네트워크의 중심의 역할을 수행하고 있음

<그림 4.4> 하나로를 이용하는 기업과 정부기관

○ **(산업발전 기여 가치)** 하나로의 초정밀 물질분석 능력은 반도체, 자동차, 이차전지, 수소경제, 태양전지 등 다양한 산업분야에 폭넓게 적용되어 우리나라의 산업 발전 및 경쟁력 제고에 기여함

- 중성자영상분석법을 통해 운전 중인 수소연료전지를 실시간 분석하여 수소연료전지의 성능과 내구성을 향상에 기여
- 자동차산업 경쟁력을 제고시키는 첨단 소재 및 부품 개발에 기여
- 미래 전기자동차용 차세대 이차전지 소재 개발의 첨병으로서 차세대 고체전해질 기반의 전고체 전지 핵심소재기술 개발에 하나로 중성자분말회절장치가 최적 도구로 활용
- 신재생에너지산업의 첨단기술인 하이브리드 페로스카이트 태양전지의 성능을 향상시키는데 중성자 측정기술 활용

실리콘 잉곳 (6"-12")



실리콘 NTD 점유율

<그림 4.5> 하나로에서 사용하는 실리콘 잉곳 및 세계시장 점유율

- 실리콘을 중성자 도핑하여 반도체 소재로 사용하도록 하는 기술인 중성자변환도핑(Neutron Transmutation Doping, NTD) 기술은 하나로에서만 가능하며 2012년 기준 세계시장의 약 10%~15%를 하나로에서 공급
- 하나로가 가지고 있는 중성자는 '양자세계를 보는 눈'으로서 양자소재의 물성을 다차원적으로 측정하고 규명하며 제어하는 최적의 도구로 활용
- 초대형 선박과 플랜트 산업에 사용되는 두께 60 mm 이상의 두꺼운 강판의 잔류응력을 정밀하게 측정하여 극후강판 개발에 기여하는 첨단 도구
- 재료 물성 분석·연구의 최적 도구로서 이미 기술한 반도체, 연료전지, 이차전지, 자동차, 철강 등의 소재개발은 물론 6대 분야에서 제시한 대부분 소재·부품·장비 기술의 경쟁력있는 개발에 기여할 효과적인 도구로서 역할을 수행
- 하나로 40m 소각산란장치를 이용한 일본 고무산업 기술수출 및 하나로 설계/건설/운영/이용 경험을 활용하여 연구로 해외 수출사업 추진의 기반 제공
- 한국원자력연구원의 하나로와 한국표준과학연구원 무기분석표준센터가 '연구로 이용 표준물질 공동연구센터'를 설립하여 운영 중. 다양한 무기표준물질을

보급하여 수입에 의존하는 표준물질을 국내 해결을 통해 상당한 수익을 창출하고 이용자를 증가시킬 것으로 예상

- 하나로의 중성자방사화분석은 연구원 내 고객이 25%, 산업계 등의 외부고객이 75%를 차지하는 등 산업계 고객을 위한 분석을 주로 수행 중
- 하나로는 비파괴검사 등 산업용으로 많이 사용되는 이리듐(I-192)을 원료물질 수입 후 방사선원으로 가공한 후 국내·외로 수출하여 왔으며, 특히 국내 수요량의 약 50% 이상을 공급하여 산업경쟁력 제고에 기여 중

○ **(국민복지 향상 및 사회문제 해결 기여 가치)**

- 하나로는 희귀성 암 진단·치료를 위한 방사성의약품(원액, 캡슐제, 용액제)을 생산·공급하여 국민복지의 의료산업 발전에 기여
- 하나로는 중성자방사화분석기술을 활용하여 미세먼지를 정밀하게 분석하는 등 환경문제 대응에 효과적인 도구로 활용 가능

<표 4.4> 요오드-131 기반 의약품 품목 및 용도

구분	품 목	용도 및 기능	비 고
요오드-131 기반 의약품	방사성요오드화나트륨(^{131}I)액	갑상선 암 진단 및 치료	진단/치료제 (액제)
	싸이로(^{131}I) 캅셀 5종	갑상선 암 치료	치료제 (캅셀제)
	캐리mIBG (^{131}I) 주사액 2종	신경아세포종 (어린이 신경계 암) 진단 및 치료	치료제 (주사제)

○ **(국가 전략산업 발전 및 원자력 안전 증진 기여 가치)**

- 항공우주산업 발전 및 국방산업 경쟁력 제고에 기여
- 하나로는 원자력발전소의 원자로용기 및 원자로용기 내의 핵연료 및 구조재료의 조사시험·분석을 통해 국내 및 수출용 원전의 안전 확보에 기여
- 수출형 원전으로 개발 중인 소형원자로 SMART, 수출용 연구로인 요르단연구로의 핵연료와 구조재료에 대한 안전성 확인을 위한 조사시험 수행
- 하나로의 중성자조시시험을 대기하고 있는 시료들은 핵융합로 재료, 기장연구로 핵연료, 신형원자로구조재료 등 원자력시설의 안전에 중요
- 하나로는 원자력(연)의 원자력시설 품질보증체계, 방재시스템, 물리적보안구역내 보안시스템, 환경모니터링체계, 문서/사업관리체계 등의 체계화에 기여

□ 하나로 운영의 경제적 가치 분석

○ 하나로는 중성자를 이용하는 국가 대형 연구시설로서 상업적 이익보다는 공공의 이익을 위해 운영되므로 정량적인 경제적인 가치보다 정량화될 수 없는 가치가 훨씬 크다고 할 수 있음. 과거에 하나로의 경제 파급효과와 비경제적 효과 등을 고려한 연구비 대비 국가 경제 기여도를 평가한 바 있음[7)]

○ 본 보고서에서는 하나로의 리노베이션을 고려하여 정량적인 경제적 가치를 비용-편익 분석방법으로 추산하였음

- 하나로의 건설 시작부터 현재 시점까지의 실제 비용과 편익 데이터 수집하였으며 하나로와 활용시설에 경험이 있는 전문가들의 의견을 반영하였음
- 하나로의 주된 편익은 활용시설에서 발생하며 타 분야로의 파급효과 또한 활용시설의 생산물에서 발생함. 하지만 분석에 필요한 시설별 데이터 수집이 어려웠으며 본 분석에서는 원자로와 활용시설을 분리하여 원자로 관점에서 경제성을 분석하였음

○ 아래와 같이 세 가지 시나리오를 분석하였으며 분석에 활용된 모든 연간비용 및 편익 자료를 2019년 불변가격으로 환산하였으며 각 시나리오의 순현재가치(Net Present Value, NPV)를 산출하여 서로 비교하였음. 각 시나리오의 연간 편익과 비용의 구성 항목은 표 4.9와 같음

$$NPV = \sum(\text{연간편익} - \text{연간비용})$$

- (시나리오 1) 하나로를 원래 계획대로 계속 운영하는 경우
- (시나리오 2) 새로운 연구용 원자로를 건설하는 경우
- (시나리오 3) 하나로를 운영 중단하는 경우

<표 4.5> 시나리오별 연간 편익과 비용

시나리오	연간편익	연간비용
시나리오 1	총현가화비용 x (1+ 부가가치율)	운영비+해체 고정비
시나리오 2		건설고정비 + 운영비 + 해체 고정비
시나리오 3	대체시설이용 지불금(음수)	해체 고정비

7) 하나로의 국가 경제에 대한 기여도 분석(KAERI/CM-708/2002), 시스테믹스(주), 2003

○ 분석결과에 의하면 하나로는 계속 운전하는 '시나리오 1'이 가장 경제적으로 이득인 결과가 나왔음

- 계속 운전은 2,800억 원의 가치가 있으며 하나로를 운영 중단하고 새로운 연구로를 짓는 것에 비해서도 2,185억 원의 가치가 있음
- 향후 계획 중인 하나로 Renovation의 예산이 확정적으로 나오지 않았지만, 개략적으로 1,000억 원이라고 볼 때 사업의 타당성이 충분히 있을 것으로 판단됨

<표 4.6> 시나리오별 NPV

시나리오	NPV(2019년 현가, 백만 원)
시나리오 1	280,042
시나리오 2	92,387
시나리오 3	-30,806

<표 4.7> 시나리오 1의 true NPV

시나리오	NPV(2019년 현가, 백만 원)
시나리오 2 대비	187,656
시나리오 3 대비	310,848
시나리오 2+3 대비	218,462

○ 본 분석결과에 의한 시사점은 다음과 같음

- 본 분석 방법은 하나로의 활용시설을 제외하고 원자로만을 고려한 분석임. 하나로의 편익 창출 대부분은 활용시설에서 이루어질 것이므로 분석에 적용한 부가가치율 또한, 활용시설을 모두 고려했을 때 활용하는 것이 더 적합할 것임
- 추후 분석에서는 연간비용에 각 활용시설의 운영비와 건설비를 추가하여 분석하는 것이 더 합리적일 것임. 만약 활용시설의 실제 편익까지 자료가 있다면 부가가치율을 활용하지 않고 실제 데이터를 기반으로 한 분석 또한 가능할 것임
- 하나로는 해외 시설과 비교해 중성자 서비스 비용이 낮음. 즉, 이용 목적이나 대상, 시간에 따른 감면 규정을 적극적으로 활용하여 실제 서비스양의 20~30% 정도의 이용료 수입만이 있는 상황임. 이용자층을 고려하면 급격한 상승은 어렵겠지만 서서히 서비스 비용을 현실화한다면 장기적으로 하나로의 편익에 도움이 될 것임

나. 운영 및 이용 활성화 전략

하나로 운영의 정상화 및 이용의 활성화를 위해서는 하나로 SWOT 분석을 통해서 도출된 전략을 활용하여 단계적 접근을 취하여야 함. 1단계에는 단기적으로 비상대응반의 검토결과를 반영한 시설점검·운영체계 개선으로 하나로의 재가동을 조속히 달성하고 2단계에는 하나로의 안정적인 운영체계를 정착시켜 대외적인 신뢰를 회복함과 동시에 중장기로드맵(하나로 리노베이션 기획)을 기획하여 장기적인 하나로 이용의 활성화를 이루어야 할 것임

□ 하나로 SWOT 분석 및 대응방안

○ 하나로 이용수요가 지속적으로 있는 점을 고려하여 하나로의 재가동 및 활용을 위한 정책환경을 강점과 약점, 기회와 위협의 관점에서 SWOT 분석함

<표 4.8> 하나로의 SWOT 분석 결과

강점(S)	약점(W)
• 국내 유일 및 세계 최고 수준의 중성자 생산·활용시설 • 세계 최고 수준의 연구역량(인력) 보유 • 국제거점 연구로로서 인정(IAEA)	• 일부 시설 노후화와 활용설비 완성도 부족 • 장기 운전정지와 이용자들의 이탈 • 국가 기반연구시설로서의 낮은 국민 인지도
기회(O)	**위협(T)**
• 해외 경쟁 연구로의 퇴역 • 소재·부품·장비산업, 수소산업 등 활용 수요의 확대 • 국내외 연구로 건설 및 ICERR 지정에 따른 교육수요 증대	• 탈핵분위기 확대와 규제강화 • 장기 운전정지로 예산 및 인력 유지 어려움 • 경쟁 시설들의 확대 (양성자가속기, 방사광가속기 등)

○ SWOT 분석 결과 바탕으로 대응전략을 도출하여 하나로의 발전전략 수립에 활용함

- (S-O 전략-강점을 이용한 기회의 활용)
  - 하나로 활용 해외 수요의 발굴 및 협력 추진
  - 중성자 이용 소재·부품·장비 사업의 발굴 및 진출
  - 수소산업 등 중성자 이용 산업 발굴 및 확대
  - ICERR 지정 국제거점연구로서 입지를 활용한 국내외 교육훈련 수요의 발굴

및 협력 추진

- (SO-WT 전략-강점과 기회를 이용한 약점과 위협을 극복)
  - 현 보유 시설을 활용한 세계 최고 수준의 연구성과 창출
  - 중성자 활용을 통한 국내 소재·부품·장비 산업, 첨단산업 지원 성과 창출
  - ICERR로서의 역할 수행으로 우리나라의 위상 강화 및 연구로 수출에 기여
- (WT-O 전략-약점과 위협을 극복하여 기회를 확대)
  - 장기운전정지를 종식하고 재가동에 성공하여 안전 운영에 대한 신뢰 회복
  - 국가 기반연구시설로서 국민들이 원하는 성과를 제시
  - 노후화에 대한 관리프로그램의 준비, 활용설비 구축 계획, 활용계획 제시
  - 연구로 특성을 반영한 적정 규제가 이루어지도록 제도적인 개선 노력

□ 하나로 운영의 정상화 및 이용의 활성화 전략

○ 하나로 운영의 정상화 및 이용의 활성화는 SWOT를 통해 도출된 다양한 전략들을 활용하여 단계적인 접근을 통해 추진되는 것이 바람직함

○ 하나로의 정상화 및 활성화를 위하여 다음과 같이 단계적 전략을 수립함

1단계(~'20)	→	2단계(~'21)	→	3단계('22~)
하나로 재가동 추진		**하나로 운영 정상화**		**하나로 활성화**
• 비상대응반 운영 • 안전운영시스템 개선 • 국내외 이용자 네트워크 유지 • 국제거점연구로 활용 기반 준비		• 하나로 활용 대기수요 해소 및 이용자그룹 복원 • 운영인력의 기술력 증대를 위한 전문가 육성 체계 마련 • 하나로 중장기 로드맵 수립 및 활성화 기획		• 세계최고수준의 성과 창출로 국가 이용자 시설로서 위상 확보 • 세계적 수준 유지를 위한 관련 시설·장비 개선 및 기술개발 추진

○ **(1단계: ~'20)** 하나로 재가동 추진

- 비상대응반을 운영하여 재가동에 대비한 시설 및 장비의 유지·보수
  - 재가동까지 임시대응반을 지속적 운영으로 예방 정비를 철저히 수행
  - 장기간 정지 후 가동에 따른 돌발 상황이 발생하지 않도록 재가동추진위원회를 통한 철저한 점검 수행 (이행 중)
  - 현장과 도면/관련문서의 불일치 경우를 배제하기 위한 형상관리시스템 구축 후 등록 ('20년 Q등급, '21년 T, S 등급 등록완료로 이행 중)
  - 안전성저해 시나리오를 체계적으로 도출하는 STPA 기법을 활용하여, 냉중

성자원(CNS)계통의 불시정지 유발 시나리오 도출 및 점검 (이행 중)

- 안전에 대한 시급성을 고려하여 중단기적 노화부품 교체, 유지보수 항목 및 예산확보계획(안) 마련 (이행 중)

- 재가동 후를 대비하여 하나로 안전운영시스템(조직/인력/제도/문화) 개선
  - 하나로의 유지·보수, 경년열화관리, 성능분석, 동향 파악 등을 위한 '경년열화관리위원회'를 구축하여 운영
  - 책임 및 관리체계의 일원화, 세대간 갭 극복 및 운영조직의 지속가능성제고를 위한 퇴직근접 전문인력의 전문지식 전수체계 마련
  - 하나로의 공학적 해결능력 향상 및 활용 결과물의 경쟁력 제고를 위하여 하나로의 종합 안전해석 도구(안전해석용 계산 모델 포함)의 업그레이드
  - 하나로의 안전문화 증진 방안 마련 (현장 안전점검 시 외부전문가 활용 등)
- 이용분야 연구 지연에 따른 영향을 최소화하고 국내외 이용자 네트워크 유지
  - 하나로이용자협의회 재건 ('20년 4개 전문위원회 16명 위원)
  - 한국 중성자 빔 이용자 협회와 협력 재개 (제안서 검토, 선정 등 협력 협의)
  - 한국 중성자 빔이용 학회 활동 (빔프로포절 개시, 검토, 선정 및 이용자 홍보를 위한 전담 인력 배치, 위탁과제 수행)
  - 중성자빔 활용 산업추진위원회 발족 (최소 10개 회사 10개 공동연구 실적 프로젝트 추진, 담당인력, 프로그램 착수)
  - 조사 시험 및 분석기술 분야에서는 해외 네트워크와의 협력을 통해 대처함으로써 이용자들에게 미치는 영향을 최소화
- 하나로의 국제적 위상 회복을 위해 ICERR 활동을 중심으로 "국제거점연구로"로서 역할을 할 수 있도록 추진
  - '19년 ICERR로 선정된 후 5년 후인 '24년 센터 재지정 평가 대비
  - 잠재적 해외 연구로수출국과 협력하여 ICERR를 기반으로 하는 교육·훈련기회 제공 또는 해외 ICERR 인증기관과 협력 네트워크를 결성하여 국제거점연구로의 기반 마련

○ (2단계: '21) 하나로 운영 정상화 단계

- 하나로 재가동 이후 약 1년간 본격적인 하나로 활성화에 앞서 하나로의 안정적인 운영체계 정착에 집중
  - 재가동을 위해 구축한 안전운영시스템, 전문지식 전수체계를 점검하고 더욱 활성화하여 장기 안정적 운전체계 마련
- 하나로이용 대기수요(중성자빔, 중성자방사화분석, 중성자조사 등)의 해소 우선 수행
  - 단기적으로는 하나로를 활성화하여 이용할 수 있는 여건을 회복할 수 있도록

내실화 노력

- 운영인력의 기술력 증대를 위한 전문가 육성 체계 마련
  - 해외 유사시설 운영인력과의 교류 확대로 기존 인력의 역량강화
- 하나로 활용 중장기 로드맵 수립 및 활성화 기획
  - 중성자연구분야의 국제적 리더십을 발휘하기 위한 중장기 전략 수립
  - 과학분야, 산업분야, 국방 및 전략분야, 교육분야, 복지분야, 환경분야 등 고려한 종합적 활성화 기획 수행
  - 활성화를 이행할 조직체계의 구축(예; 하나로활용센터 등) 추진

○ (**3단계**: '22~) 하나로 이용 활성화 단계

- 세계 최고수준의 성과 창출을 국가 이용자 시설로서의 위상 확보
  - 하나로의 우수한 성과 창출로 불리한 정책 환경을 유리하게 전환할 수 있는 계기 마련 노력
  - 국내의 유사 기능을 가진 국가기반시설(방사광가속기)들과 협력·보완을 통해 시너지를 내기 위한 방안을 마련하고 이를 선도 (공동세미나 등의 개최)
- 국가대형과학시설로서 국가과학기술, 산업발전, 국민복지에 기여하는 미션을 효과적으로 달성하기 위한 시설·장비 개선 및 기술개발 추진
  - 하나로의 신뢰도와 유용성을 증대시키기 위한 개선작업 추진
  - 하나로 운영에 4차산업혁명기술을 접목하여 선제적 고장진단 및 유지보수 효율성을 제고하여 안전성을 향상. 또한 최신 IT 기술을 활용한 교육훈련 서비스를 제공하여 원자력-IT 융합기술 혁신에 기여
  - 하나로 주기적안전성평가보고서(PSR) 규제기관 제출('18.12). 차기 PSR('28) 대비 하나로의 노후화 진행을 고려하고 최신 기술기준에 부합하는 성능해석 및 분석기술 개발 필요

□ 하나로 이용의 활성화 전략 이행 방안

○ 하나로 이용활성화를 위한 기본 방향은 과학과 산업 발전을 위한 필수기반 연구시설로서 그 역할을 다하는 것임

○ 하나로는 국가 융합과학연구의 산실로서 국가 과학기술발전에 기여해야 할 것이며 이를 이행하기 위해서는 다음의 역할을 수행해야 함

- 새로운 아이디어를 가진 이용자의 유치를 위해 아이디어 공모를 정례화
- 이용자그룹의 운영과 지원을 효율적으로 추진할 수 있도록 하나로 활성화를 행

정적으로 지원할 전담 조직 구성

- 하나로 활용 논문 생산 시 논문등록을 전제한 활용계약을 체결하거나, 논문등록 시 하나로 활용을 우대하는 등 성과물 생산 동기 강화 방안 강구
- 하나로가 ICERR로서 해외이용자의 활용을 활성화될 수 있는 제도적 방안 마련
- 하나로를 이용한 세계적인 연구성과는 이용자의 수준 및 내부이용자 및 지원자의 역량에 좌우되므로 하나로 인력의 연구역량을 키울 수 있도록 투자 확대

○ 하나로는 첨단 산업기술개발의 첨병 역할을 수행해야 할 것이며 이를 이행하기 위해서는 방안은 다음과 같음

- 하나로가 다양한 첨단 산업기술개발의 플랫폼이 될 수 있도록 하나로를 중심으로 한 첨단 산업기술 연결 네트워크를 구축
- 첨단산업기술개발을 위한 하나로의 기여 로드맵을 수요 중심으로 기획함으로써 하나로 활용의 효과성을 제고
- 하나로가 재료의 물성 분석·연구를 위한 최적으로 도구로써 우리나라 소재·부품·장비 산업의 기여할 수 있도록 노력
- 한국원자력연구원에서 지원하는 중소·중견기업 애로기술 지원 사업에의 적극적인 참여를 통해 하나로의 활용성 제고
- 하나로의 중성자를 이용하여 개발된 기술, 하나로에서 생산한 제품 및 활용설비 등을 이용하여 스타트업의 창업을 지원하는 시스템 구축 (첨단산업기술 개발, 신산업창출 및 수출 등을 체계적으로 지원할 수 있는 전담조직을 구축하여 운영)

○ 하나로는 국민의 복지를 증진시키고, 국민안전을 지키는 전초기지 역할을 수행해야 할 것이며 이행 방안은 다음과 같음

- 하나로는 지금까지 축적한 방사성동위원소 생산 및 방사성의약품 개발 능력을 충분히 발휘하여 국민복지에 기여하고, 조사시설을 활용하여 원자력 안전의 한 부분을 담당하는 전초기지로서 역할 수행
- 방사선의학계에서 요구하는 희귀방사성의약품 개발을 중점적으로 추진하여 비상시에 의료용 방사성동위원소의 백업 공급 역할을 할 수 있도록 시스템 유지
- 하나로 중성자의 특성을 활용하여 미세먼지 분석 등 환경보호와 문화재 보호에 기여하여 하나로가 국가 공공시설로서 임무를 수행하고 있음을 지속적으로 홍보
- 하나로의 조사시설은 원자력의 안전을 증진하고 사고를 방지하는 것에 중점적으로 활용되도록 하고 특히, 운영 중 원전의 안전성제고, 수출용 원전의 안전검증, 제염해체 안전성 검증 등을 위해 역할 강화

○ 하나로는 다양한 첨단 학제간 융합 교육의 장으로서의 역할을 수행해야 할 것이며 이를 이행하기 위해서는 방안은 다음과 같음

- 하나로는 중성자과학을 다른 학제와 융합하는 플랫폼으로서 역할을 하고 있으므로 중성자 융합과학교육을 하나로의 중요한 임무로서 설정 (논문 등의 성과를 통해 학생들의 학위 취득을 지원하는 체계를 구축)
- 전문인력 및 대학생을 대상으로 하는 하나로 활용 원자력시스템 교육, 일반인을 대상으로 하는 원자력원리 이해 및 원자력안전 교육 등을 추진
- 하나로 중성자융합과학교육은 원자력교육센터의 교육등록시스템을 통해 지속적으로 등록·관리할 수 있도록 하고, 학위취득은 그 성과를 하나로에 등록하여 인센티브를 제공하는 체계 등을 구축하여 효과적인 등록·관리가 가능하도록 추진
- 상보적인 관계에 있는 대형 국가기반연구시설들(포항방사광가속기, 경주양성자가속기, (가칭)오창방사광가속기)과 협업하여 융합교육을 이행할 수 있는 교육협력 네트워크를 구축하여 공동 커리큘럼, 공동세미나 등을 추진

□ 하나로 리노베이션 기획 사업

○ 하나로는 최신 안전규제 기술기준에 부응하고 경년열화로 인한 계통의 안정성을 총체적으로 재정비하여 정상 운전 상태를 회복하는 것이 필요함

○ 이용시설에서도 국가대형과학시설로서 급변하는 사회적 변화와 융합과학기술 수요에 발 빠르게 대응할 수 있도록 혁신기술을 접목하여 하나로의 활용가치를 높여야 함

○ 2023년 사업 착수를 목표로 예비타당성 조사 준비 작업을 시작하였으며 하나로 리노베이션 사업을 위해 제안된 주요 항목들은 다음과 같음

- 원자로시설 안전성 향상 및 성능 개선
  - 원자로 성능 유지 및 향상을 위한 개선 및 보수
  - 냉중성자계통 냉각성능 업그레이드 및 하나로와의 독립화 구현
  - 원자로 불시정지 최소화 기술 개발
  - 최신 규제기준에 부합되도록 하나로 인허가체계의 전환 및 재배치
- 4차 산업혁명기술을 하나로 유지보수에 접목하여 운영 체계 혁신
  - 사물인터넷(IoT) 센서, 인공지능 등 첨단기술을 활용하여 핵심 부품·기기의 성능 감시/진단/예측을 효율적으로 연계하는 상태기반정비(CBM) 기술도입
  - 시설운영시스템의 지능화·원격화·통합화를 통해 진단 신뢰도 향상

- 딥러닝을 통한 하나로 사용후핵연료 핵종분포 예측 기술 개발
- 하나로 시뮬레이터+ (하나로 디지털트윈) 개발로 교육, 훈련체계 고도화

- 중성자빔 이용 연구시설 성능향상 및 추가 구축
  - 산업에 특화된 열중성자 빔 실험장치의 재배치 및 추가 구축
  - 열중성자유도관/빔 콜리메이터 시스템 개발

- 하나로 이용자 센터 구축
  - 하나로 주차장 부지에 “하나로 분석센터” 건설, 하나로 관련 분석 및 지원시설, 장비, 인력 이전
  - 관련 시설의 화재 등 문제 발생 시 하나로 운영에 주는 간섭 방지
  - 출입 제한이 엄격한 하나로 부지 외에 지원시설을 구축하여 이용자 접근성을 개선함으로써 이용자 지원 효율화를 통해 하나로 활용 극대화

KAERI

KAERI

제5장

결론 및 종합대책

가. 요약 및 결론

나. 종합대책 이행 방안

KAERI

KAERI

5. 결론 및 종합대책

가. 요약 및 결론

분야	현황 및 문제점	개선 방안	종합 대책
시설	• 주요계통은 안전·성능 요건을 만족하나, 비안전계통 중심으로 정비·교체가 필요한 부품 증가 추세 • 하나로의 불시 정지는 해외 연구로보다 많지 않으나, 국민 불신 유발 요인으로 작용 • 최근 냉중성자원(CNS) 계통과 관련한 정지가 반복되었으므로 집중 대책 필요 • 가동년수 증가에도 불구하고 통합된 유지보수 및 경년열화(노화) 관리체계 미흡	• 단종(예정)되거나 노후화된 부품의 예비품 확보 및 예방보수 등 적극적 성능관리 • 가동전 철저한 분석·점검으로 불시정지를 최소화하고 안정적 운영능력 입증 • 냉중성자원계통과 관련설비의 고장요인 분석과 집중적인 성능 관리 및 필요 예비품 확보 • 유지보수 및 경년열화(노화) 관리 통합체계 구축·운영	1. 하나로 안정 운영 및 이용 활성화를 위한 조직 보강 2. 유지보수-형상관리-경년열화관리 통합체계 구축 3. 운영 전문성 향상을 위한 교육훈련체계 구축 및 기술자문위원회(가칭) 운영 4. 대형 원자력시설 특성을 고려한 합리적 예산배정 체계 도입 5. 하나로 성능 유지·개선을 위한 리노베이션 추진 6. 주기적안전성평가 심사와 연계한 인허가문서 및 절차서의 전면 검토·정비 7. 혁신적 연구주제 발굴과 이용자그룹 복원을 위한 하나로이용 로드맵 개발 8. 운영조직 사기 및 안전문화 제고를 위한 조치 이행 9. 이해관계자 소통 강화 및 안정 운영을 위한 외부 환경 개선
운영	• 빈번한 조직개편으로 조직 안정성 및 리더십의 일관성 부족 • 운영요원의 일상적 운영능력은 높으나, 기술적 문제예측 및 신속대응 전문성 부족 • 시설관련 고정비용 증가와 운영예산 지속 감소가 맞물려 필수 업무 수행에 어려움 • 최신 환경을 고려한 지침서/절차서의 연계성 및 완결성 강화 필요 • 원자로 정지와 관련한 과도한 규제 환경 • 열악한 근무환경으로 운영조직의 사기 및 안전문화 저하	• 하나로의 안정적 운영을 우선하고 이용-운영 연계강화를 위한 조직 개선 및 유지 • 운영조직의 전문성 보강 및 교육훈련·기술지원체계 구축 • 필수 직접비가 보장되도록 예산배정 체계 개선 • 주기적안전성평가 대응과 연계하여 인허가문서 및 절차서의 검토 및 정비 • 원자로정지 발생 감소를 통한 신뢰 확보와 규제제도 합리화 노력 강화 • 교대근무 환경 및 복지 개선 등 운영요원 사기 진작	
이용	• 2014년 정지 전에는 세계적 수준의 이용실적을 보였으나, 최근 장기 정지로 이용자그룹 붕괴위기 • 소형 중성자원이나 가속기(방사광, 양성자, 중이온, 중입자 등)들과 차별화된 고유가치와 이용분야 보유 • 과학 및 산업 발전, 국민복지 향상, 사회문제 해결, 국가전략산업 발전, 원자력안전 등에 기여 가능 • 일부 이용시설 노후화 및 완성도 미흡으로 이용 확대 제약	• 이용자 지원 조직과 제도의 혁신으로 이용자그룹 복원 및 강화 • 혁신적 연구 주제 발굴 및 수요 창출: 하나로 이용 중장기 로드맵 수립 및 이행 • 하나로 운영·이용 관련 국민 및 이해관계자 소통체계 개선 • 이용시설 개선사업을 통한 성능 향상	

나. 종합대책 이행 방안

[종합대책 세부 내용]

1	하나로 안정 운영과 이용 활성화를 위한 조직 보강(단기)

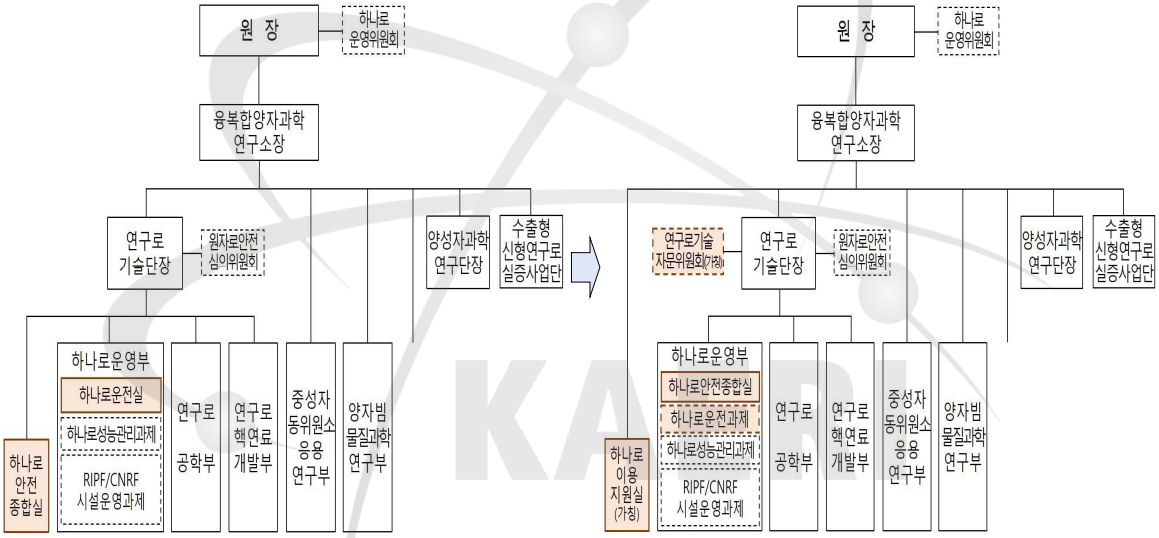
○ 「하나로운전실」을 과제조직으로 전환하여 운영인력 운용의 유연성 증대

○ 「하나로안전종합실」을 하나로운영부장 소속으로 이관하여 조직 효율성 강화

○ 「하나로운영부」에 엔지니어급 전문인력 보강

○ 소장 소속 「하나로이용지원실」을 신설하여 이용자지원 및 대외소통 총괄

○ 동위원소생산시설 및 냉중성자실험시설 운영과제를 중성자연구시설운영 대과제에서 하나로운영 대과제로 이관하여 부서조직과 과제조직 일원화



2	유지보수-형상관리-경년열화관리 통합체계 구축 및 신기술 적용(단·중기)

○ 예측·모니터링·검사에 AI 등 최신기술을 반영한 하나로 경년열화관리계획 조기 수립

○ 하나로 리노베이션 계획과 연계한 적극적 예방 보수 및 필수 예비품 조기 확보

○ 확률론적리스크평가 기법을 적용하여 도출한 냉중성자원(CNS) 계통에 의한 하나로 정지 최소화 방안 우선 시행

○ 경년열화관리계획과 유지보수체계를 통합 운영하고, 하나로를 포함한 원자력연구원 시설의 형상관리, 운영관리, 문서관리 및 품질보증활동 수행을 위한 통합경영시스템 구축

3	운영전문성 향상을 위한 교육훈련체계 구축 및 기술자문위원회 운영(단기)

○ 신입직원 전문교육 프로그램 개발 및 운영(공통, 운전, 시설관리 등)

○ 고경력 전문가 기술전수 프로그램의 개발 및 체계적 운영

○ 하나로 운영(운전, 시설관리)에 필요한 다양한 기술적 자문을 위한 원내외 전문가로 구성되는 「연구로기술자문위원회」(가칭) 운영

- 필요 시 「경년열화관리위원회」 등 전문분야별 산하 위원회 설치

4 대형원자력시설 특성을 고려한 합리적 예산배정체계 도입(단・중기)

○ 공공요금, 인허가비용, 일상 유지보수비용 등 대형 원자력시설 운영에 필요한 필수 직접비를 평가하여 우선 배정

○ 중성자 도핑, 동위원소 생산 등 하나로 이용 사업수익을 시설운영에 우선 투입

○ 안정적 운영단계 진입 후 중성자이용 비용산정 등 예산체계의 전면 재검토

5 하나로 성능 유지・개선을 위한 리노베이션 추진(단・중기)

○ 가동 후 25년이 경과한 하나로의 계통·기기 상태를 종합적으로 평가하여 중단기적 유지보수항목 및 예산확보계획 도출: 원자로시설 안전성 향상 및 성능 개선, 4차산업혁명기술의 하나로 운영 접목 등

○ 국가 핵심과학기술시설로서 활용성 극대화를 위한 이용설비 개선계획 수립: 중성자빔 연구시설 성능 향상 및 추가 구축, 하나로 이용자센터 구축 등

○ 정부와 협력하여 하나로 및 이용설비 리노베이션 계획 이행

6 주기적안전성평가와 연계한 인허가 문서 및 절차서 전면 검토・정비(중기)

○ 하나로 인허가문서 및 절차서를 현행 법·규정, 하나로 및 관련 시설 현황, 상용원전 적용사례를 종합적으로 비교·분석하여 정비계획 수립

○ 주기적안전성평가(PSR) 후속조치로 인허가 문서 및 절차서 전면 정비 추진: 단순화·체계화를 통해 이용·관리의 편의성 도모하고 운영원의 부담 완화

○ 최신 규정·기술과 운영 경험 및 규제관행을 종합적으로 고려하여 추진

7 연구・사업 혁신과 이용활성화를 위한 「하나로이용로드맵」 개발(중기)

○ 중성자원 수요 변화와 기장연구로 및 대형 가속기 건설 등 환경변화를 고려하여 핵심 연구·사업 재정립

○ 국내외 이용자 네트워크를 복원하고 이용자 지원시스템을 개선하여 안정적 이

용자 확보

○ 하나로 이용 및 운영체계 발전에 대한 중장기적 방향과 과제 제시

8 운영조직 사기 및 안전문화 제고를 위한 조치 이행(단·중기)

○ 교대근무 운전원의 근무형태 개선(일정기간 근무 후 운전원 안식기간 부여, 휴가 사용 제약 해소 등) 및 직책·자격수당 제도 개선

○ 보직자의 기술 역량과 조직관리(리더십, 안전관리, 갈등해결, 규제대응 등) 역량 제고

○ 안전문화 진단방법 및 결과반영(Feedback) 체계 개선

9 이해관계자 소통 강화 및 안정운영을 위한 외부 환경 개선(단·중기)

○ 「하나로이용지원실」(가칭)을 통한 효과적 대내외 소통협력체계 강화

- 이용자 친화적 웹사이트 운영 및 하나로소식지 복간 포함

○ 다목적 연구로인 하나로의 가치와 특성에 대한 국민 인식 제고

- 특히 지역주민이 신뢰하고 자랑스러워하는 시설이 되도록 적극 소통

○ 정부 및 유관기관과의 협력을 통한 연구로 관련 규제 제도·관행 개선 추진

KAERI

[종합대책 추진 일정]

종합대책	세부 항목	연 도				
		2020	2021	2022	2023	2024
하나로 안정 운영과 이용 활성화를 위한 조직 보강	○ 「하나로운전실」을 과제 조직으로 전환					
	○ 「하나로안전종합실」을 하나로운영부 소속으로 이관					
	○ 「하나로운영부」 엔지니어급 전문인력 보강					
	○ 소장 소속 「하나로이용지원실」 신설					
	○ RI 및 CNRF 시설 운영과제를 하나로운영 대과제로 이관					
유지보수-형상관리-경년열화관리 통합체계 구축 및 신기술 적용	○ 최신기술을 반영한 하나로 경년열화관리 계획 조기 수립					
	○ 하나로 리노베이션 계획과 연계한 적극적 예방 보수 및 필수 예비품 조기 확보					
	○ PSA 기법을 적용하여 도출한 CNS 계통에 의한 하나로 정지 최소화 방안 우선 시행					
	○ 경년열화관리와 유지보수체계의 통합 운영 및 통합경영시스템 구축					
운영전문성 향상을 위한 교육훈련체계 구축 및 기술자문위원회 운영	○ 신입직원 전문교육 프로그램 개발 및 운영					
	○ 고경력 전문가 기술전수 프로그램의 개발 및 체계적 운영					
	○ 「연구로기술자문위원회」(가칭) 운영					
대형원자력시설 특성을 고려한 합리적 예산배정체계 도입	○ 대형 원자력시설 운영 필수 직접비를 평가하여 우선 배정					
	○ 중성자 도핑, 동위원소 생산 등 하나로 이용 사업수익을 시설운영에 우선 투입					
	○ 안정적 운영단계 진입 후 중성자이용 비용 산정 등 예산체계의 전면 재검토					

하나로 성능 유지·개선을 위한 리노베이션 추진	○ 계통·기기 상태의 종합적으로 평가하여 중단기적 유지보수항목 및 예산확보계획 도출	
	○ 국가 핵심과학기술시설로서 활용성 극대화를 위한 이용설비 개선계획 수립	
	○ 하나로 및 이용설비 리노베이션 계획 이행	
주기적안전성 평가와 연계한 인허가 문서 및 절차서 전면 검토·정비	○ 하나로 인허가문서 및 절차서 정비 계획 수립	
	○ 최신 규정·기술과 운영 경험 및 규제관행을 고려한 인허가 문서 및 절차서 정비 추진	
연구·사업 혁신과 이용활성화를 위한 「하나로이용 로드맵」 개발	○ 중성자원 수요 변화, 기장연구로 건설 등 환경변화를 고려하여 핵심 연구·사업 재정립	
	○ 국내외 이용자 네트워크 복원과 이용자 지원시스템 개선으로 안정적 이용자 확보	
	○ 하나로 이용 및 운영체계 발전에 대한 중장기적 방향과 과제 제시	
운영조직 사기 및 안전문화 제고를 위한 조치 이행	○ 교대근무 운전원의 근무형태 개선 및 직책·자격수당 제도 개선	
	○ 보직자의 기술 역량과 조직관리(리더십, 안전관리, 갈등해결, 규제대응 등) 역량 제고	
	○ 안전문화 진단방법 및 결과반영(Feedback) 체계 개선	
이해관계자 소통 강화 및 안정운영을 위한 외부 환경 개선	○ 「하나로이용지원실」(가칭)을 통한 효과적 대내외 소통협력체계 강화	
	○ 다목적 연구로인 하나로의 가치와 특성에 대한 국민 인식 제고	
	○ 정부 및 유관기관과의 협력을 통한 연구로 관련 규제 제도·관행 개선 추진	

부 록

[부록 A] 하나로운영정상화 종합대책반 구성 및 운영

[부록 B] 주요 약어

KAERI

KAERI

(부록 A)
하나로 운영정상화 종합대책반 구성 및 운영

가. 종합대책반(TFT) 추진 배경 및 목적

□ 추진 배경

○ 2016년도에 시작된 원자로 건물의 내진보강[8)]이 완료되어 원안위로부터 재가동 승인을 받은 후 2017년 12월10일 재가동 하였으나 장기간 운전정지로 인한 수조고온층계통 성능 저하로 수동정지

- 이후 2019년 11월까지 정지봉 구동장치 이상, 냉중성자 수소압력 불안정으로 인한 수동정지, 냉중성자 제어계통 정지변수 입력 실수 등으로 인한 **제어계통 자동운전정지 발생**

○ 안전규제기준 강화, 주요 기기 노후화 등으로 잦은 운전정지가 되어 연구시설 신뢰에 영향을 주고 있음

- 강화된 보고규정에 따라 재가동에 6개월 이상의 기간 소요
- 신뢰도 저하 뿐 아니라 하나로 정지로 인해 **동위원소 및 NTD 생산 중단, 중성자과학연구의 차질** 등 하나로 이용자들의 피해도 증가

□ 추진 목적

○ 안정적인 하나로 운영을 위한 기술적, 제도적 문제점 파악 및 중장기 대책 수립

나. 하나로 정상화 종합대책반 구성 및 운영

□ 종합대책반 구성

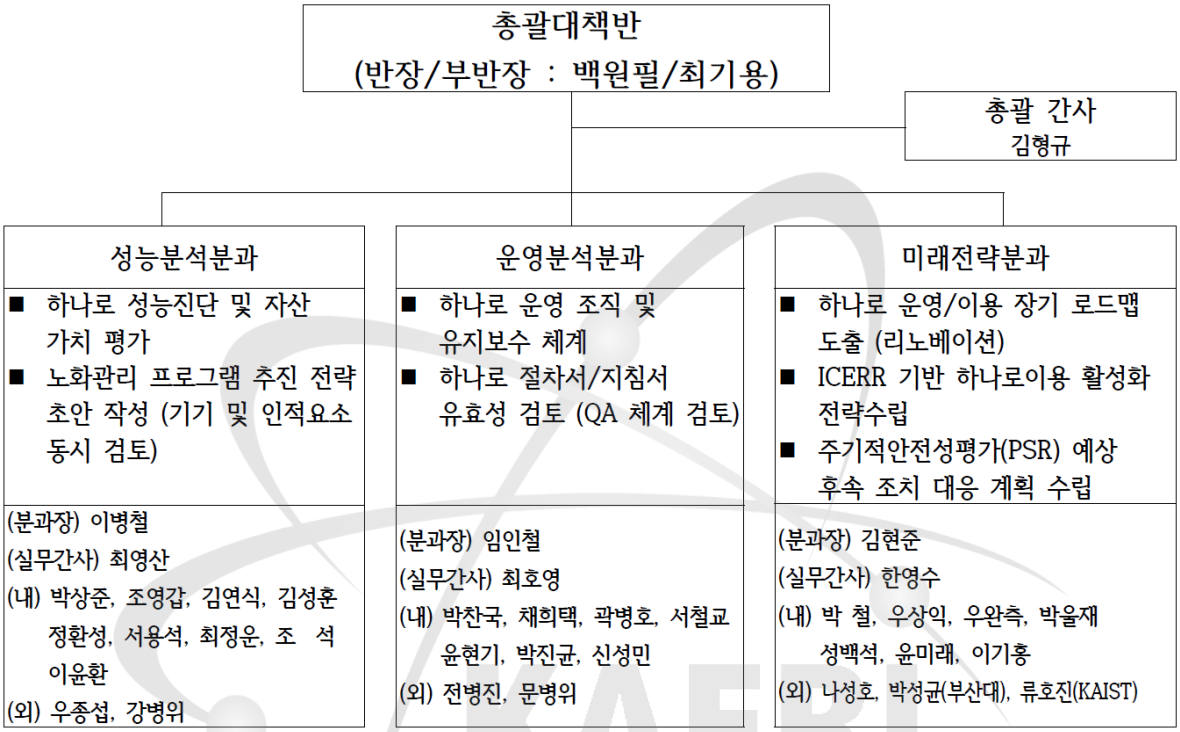
○ 연구원내의 각 분야별 전문가와 하나로의 운영, 규제 및 이용과 관련한 7인의 외부전문가로 구성(대책반장: 백원필 전 부원장)

8) 2011년 발생한 일본 후쿠시마 원자력발전소 사고로 하나로 원자로 건물의 내진성능 재평가가 요구되었으며, 재평가 결과 일부 개소에서 설계기준을 만족하지 못함에 따라 2016년도부터 내진보강공사가 이루어졌음

- 성능분석분과, 운영분석분과, 미래전략분과 등 3개의 분과로 구성

○ 종합대책반 활동기간 및 예산

- 활동기간: 2020년 1월1일 ~ 2020년 5월 30일
- 예산: 3,000 만원



<그림 A-1> 하나로 정상화 종합대책반 조직도

□ 종합대책반 운영

○ 성능분석 분과

- 1995년 첫 임계부터 2019년까지 하나로의 정지 원인을 분석하고, 하나로의 안전성을 향상시킬 수 있는 전략적 방안 제시
  * 해외 연구용원자로의 불시정지 이력을 조사하여 우리나라의 규제환경과 비교 분석
- 하나로 각 계통의 성능을 평가하고, 각 계통이 가진 문제점 파악 및 개선 방안 제시
  * 냉중성자원(Cold Neutron Source, CNS)의 성능을 평가 및 안정적인 운영을 위한 개선사항 제시

* 핵연료노내조사시험설비(Fuel Test Loop, FTL)의 문제점 분석 및 해결방안 제시

- 하나로의 구조물, 계통 및 기기의 유지보수 및 경년열화관리 프로그램 분석
- 하나로 시설 성능·안전성 강화 방안 제시

○ 운영분석분과

- 하나로 조직의 개편 및 인력 현황, 업무 분장 등이 하나로의 계속운전 및 안전운영, 안전 문화 등에 미치는 영향 분석
- 하나로 운영 예산과 운용 내역을 분석하고 안전하고 효율적인 운영을 위한 개선사항 제시
- 안전성분석보고서 등 인허가 문서, 하나로 운영 및 안전에 관련된 절차서, 지침서 등을 검토하고 개선 사항 제시
- 하나로의 형상관리 현황과 하나로 운영과 관련된 품질보증체제의 종합적인 검토와 개선 방안 제시
- 하나로 안전문화 진단

○ 미래전략분과

- 환경변화 및 주요현안 분석

  * 후쿠시마 사고 이후 원자력 시설에 대한 법적, 사회적 환경의 변화에 대한 검토

  * 환경변화가 하나로 운영 및 이용에 미치는 영향 분석

- 하나로 고유가치 분석 및 활성화 방안 수립

  * 하나로의 과학발전 기여 가치, 산업발전 기여 가치, 정책적 가치 등에 대해 분석하고 하나로의 이용활성화 방안 수립

(부록 B) 약어 목록

ACB	Air Circuit Breaker
ANSIM	Advanced Nuclear Safety Information Management
ANSTO	Australian Nuclear Science and Technology Organisation
ATR	Advanced Test Reactor
BR-2	Belgian Reactor 2
CBM	Condition Based Maintenance
CCTV	Closed Circuit Television
CGID	Commercial Grade Item Dedication
CMRR	China Mianyang Research Reactor
CNRF	Cold Neutron Research Facility
CNS	Cold Neutron Source
DC-TOF	Disk Chopper Time-of-Flight Spectrometer
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FNCA	Forum for Nuclear Cooperation in Asia
FRM-II	Forschungs Reaktor München II
FRP	Fiber-Reinforced Plastic
FTL	Fuel Test Loop
GMP	Good Manufacturing Practice
HANARO	High-flux Advanced Neutron Application Reactor
HBWR	Halden Boiling Water Reactor
HCCS	HANARO Control Computer System
HEU	High Enriched Fuel
HFIR	High Flux Isotope Reactor
HFR	High Flux Reactor
HRPD	High Resolution Powder Diffrectometer
HTS	Hydraulic Transfer System

IAEA	International Atomic Energy Agency
IBS	Institute for Basic Science
ICERR	International Center based on Research Reactor
IGORR	International Group on Research Reactor
ILL HFR	High Flux Reactor at Laue-Langevin Institute
IMEF	Irradiated Material Examination Facility
IMS	Integrated Management System
INAA	Instrumental Neutron Activation Analysis
INL	Idaho National Laboratory
IPA	In-Pool Assembly
IPS	In-Pile Section
IRRS	International Regulatory Review Service
IRSRR	Incident Reporting Systems for Research Reactors
JMTR	Japan Material Test Reactor
JRR	Japan Research Reactor
JRTR	Jordan Research and Training Reactor
KAERI	Korea Atomic Energy Research Institute
KINS	Korea Institute of Nuclear Safety
KIST	Korea Institute of Science and Technology
KRIBB	Korea Research Institute of Bioscience & Biotechnology
LEU	Low Enriched Uranium
MEA	Membrane Electrode Assembly
NAA	Neutron Activation Analysis
NBSR	National Bureau of Standards Reactor
NCR	Nonconformance Report
NIST	National Institute of Standards and Technology
NRG	Nuclear Research and Consultancy Group

NTD	Neutron Transmutation Doping
OJT	On the Job Training
OPAL	Open-pool Australian Lightwater reactor
ORL	Oak Ridge National Laboratory
PGAA	Prompt Gamma Activation Analysis
PLC	Programmable Logic Controller
PSA	Probabilistic Safety Assessment
PSR	Periodic Safety Review
RCI	Reactor Concrete Island
REF	Reflectometer
RIPF	Radioisotope Production Facility
RPS	Reactor Protection System
RRS	Reactor Regulating System
SANS	Small Angle Neutron Spectrometer
SAR	Safety Analysis Report
SCART	Safety Culture Assessment and Review Team
SMART	System-integrated Modular Advanced Reactor
STAMP	System-Theoretical Accident Model and Process
STPA	System-Theoretical Process Analysis
TAS	Triple Axis Spectrometer
UPS	Uninterruptible Power Supply
USANS	Ultra Small Angle Neutron Scattering
VCB	Vacuum Circuit Breaker

KAERI

서지정보양식

KAERI보고서번호	KAERI/RR-4559/2020	보고서 종류	연구보고서
제 목 / 부 제	하나로 운영 정상화 종합대책반 운영		
연구책임자 및 부서명	최기용/연구로기술단		
연구자 및 부서명	백원필, 임인철, 김현준(미래전략본부), 김형규, 신진원, 최영산, 최호영, 박상준(하나로운영부), 이병철, 김성훈, 조영갑, 박철(연구로공학부), 서철교, 홍성택, 한재삼, 채희택(하나로안전종합실), 한영수, 성백석, 우완측(양자빔물질과학연구부), 정환성, 서용석, 이기홍, 윤현기(수출신형로실증사업단), 박진균, 이윤환, 신성민, 이상훈(리스크신뢰도평가연구실), 김연식, 조석(혁신계통안전연구부), 최정운(환경안전평가연구부), 박찬국(품질경영부), 박울재(중성자동위원소응용연구부), 우상익(혁신원자력기반조성사업단), 윤미래(미래전략연구부), 강병위, 나성호, 류호진, 문병위, 박성균, 우종섭, 전병진(외부전문가)		

출 판 지	대전	발 행 일	2020.7.31	총 페이지	122p.
공 개 여 부	공개(O), 비공개( )	참고사항	표(27)개, 그림(26)개, 참고문헌( )개		
비 밀 여 부	대외비( ), __ 급 비밀				
INIS 공개여부	공개( ), 비공개(O)				

초록 (15-20줄 내외)

후쿠시마 원전사고 후속조치에 따른 하나로 원자로건물 내진보강공사 이후 최근 수년간 복합적인 원인에 의해 정상가동이 지연되고 있어서, 국가 핵심연구시설로 재도약하기 위해 원자로 정지이력과 설비 상태 및 관리체계를 분석하여 효과적인 시설관리체계를 도입하고, 운영조직과 인력, 예산, 절차서·지침서, 품질보증체계, 안전문화 등을 분석하여 운영체계를 최적화함과 동시에 이용을 활성화하기 위한 종합적인 대책을 수립함

- 하나로 안정 운영과 이용 활성화를 위한 조직 보강(단기)
- 유지보수-형상관리-경년열화관리 통합체계 구축 및 신기술 적용(단·중기)
- 운영전문성 향상을 위한 교육훈련체계 구축 및 기술자문위원회 운영(단기)
- 대형원자력시설 특성을 고려한 합리적 예산배정체계 도입(단·중기)
- 하나로 성능 유지·개선을 위한 리노베이션 추진(단·중기)
- 주기적안전성평가와 연계한 인허가 문서 및 절차서 전면 검토·정비(중기)
- 연구·사업 혁신과 이용활성화를 위한「하나로이용로드맵」개발(중기)
- 운영조직 사기 및 안전문화 제고를 위한 조치 이행(단·중기)
- 이해관계자 소통 강화 및 안정운영을 위한 외부 환경 개선(단·중기)

주제명키워드 (10단어내외)	하나로, 연구용원자로, 정상화, 경년열화관리, 운영, 활용, 종합대책

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

KAERI Report No.	KAERI/RR-4559/2020		Report Type	Research Report	
Title / Subtitle	Operation of comprehensive task force team to stabilize HANARO management				
Project Manager and Department	K.Y.Choi/Vice President for Research Reactor Technology				
Researcher and Department	W.P.Baek, I.C.Lim, H.J.Kim, H.K.KIm, J.W.Shin, Y.S.Choi, H.Y.Cnoi, S.J.Park, B.C.Lee, Y.G.Cho, S.H.Kim, C.Park, C.G.Seo, S.T.Hong, J.S.Han, H.T.Chae, Y.S.Han, B.S.Seong, W.C.Woo, H.S.Jung, Y.S.Suh, K.H.Lee, H.G.Yoon, J.K.Park, Y.H.Lee, S.MShin, S.H.Lee, Y.S.Kim, S.cho, J.W.Choi, C.G.Park, U.J.Park, S.I.Wu, M.R.Yoon, External Experts: B.O.Khang, S.H.Na, H.J.Ryu, B.W.Moon, S.K.Park, J.S.Wu, B.J.Jun				
Publication Place	Daejeon	Date of Publication	2020.7.31	Total number of page	122p.
Open	Open(O), Closed ( )		Reference	Tabs. (27) Figs. (26) Refs. ( )	
Classified	Restricted( ),__Class Document				
INIS Open	Open( ), Closed (O)				

Abstract (15-20 Lines)

The reactor operation is being delayed for several years due to multiple causes after the seismic retrofit of reactor building. It needs special efforts to restore the status as a national critical facility. The shutdown history of HANARO, the performance of SSCs and current management system, all issues related to HANARO operation were analyzed in order to optimize the operating system and enhance organizational stability. Following comprehensive measures were formulated to establish effective facility management system, to optimize the operating system and to promote its use:

- Reinforcement of HANARO operating organization for stable operation and promotion of use;
- Establishment of integrated system for among maintenance management, configuration management and aging management;
- Establishment education and training system for improvement of operational expertise and technical advisory committee;
- A rational budget allocation considering the characteristics of nuclear facility;
- Renovation for improving the performance of HANARO;
- Review and rearrangement of licensing based documents and procedures in conjunction with PSR;
- Establishment and implementation roadmaps for use of HANARO;
- Establishment measures to boost morale of HANARO operating organization and enhance safety culture;
- Improvement of external environmental in order to strengthen communication with public and stakeholders.

Subject Keywords (About 10 words)	HANARO, research reactor, stabilization, aging management, operation, utilization, comprehensive measure

주 의

1. 이 보고서는 한국원자력연구원에서 시행한 하나로 운영 정상화 종합대책반 운영과제의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 한국원자력연구원에서 시행한 하나로 운영 정상화 종합대책반 운영과제의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표하거나 공개하여서는 아니 됩니다.

KAERI