

인도의 원자력 개발 현황과 전망

R. Chidambaram

인도 원자력위원회 위원장



인

자력은 인도의 장기 에너지
요건을 만족시키기 위하여
주요한 역할을 수행해야 한

다.

인도는 우라늄 부존 자원이 많지
않은 반면, 토륨 부존 자원은 상당한
양에 이른다.

이들 자원들을 충분히 이용하기 위
하여 인도는 순환 핵주기에 토대한 3
단계의 원자력 프로그램을 채택했다.

이 프로그램의 첫 단계는 천연 우
라늄 이용 가압중수로(PHWR)의 건
설 및 운영의 구상이다.

두 번째 단계는 사용후 PHWR 연
료의 재처리로부터 얻은 플루토늄 이
용 고속중수로(FBR)에 토대한다.

이들 FBR은 플루토늄과 우라늄-
233을 증식한다.

마지막 단계에서 토륨 및 우라늄-
233으로 운전되는 증식로가 건설될
것이다.

현재 인도는 8기의 PHWR과 2기
의 비등수로(BWR)를 운영하고 있으
며, 총 설비 용량은 1,840MWe이다.

4기의 220MWe 원자로가 건설되
고 있으며, 220MWe 및 500MWe
원자로의 건설이 계획되어 있다.

40MWth 원형 고속증식시험로
(FBTR)가 운전중이며, 500MWe
원형고속증식로(PFBR)의 설계가 거
의 완성되었다.

토륨 이용 개량형 중수로(AHWR)
의 설계는 진행중이다.

인도같은 개발 도상국은 원자력 과
학 및 기술 분야에서 강력한 연구 개
발 기반 확립의 강조 때문에 첨단
과학 및 기술 입력을 요구하는 프로

그램을 시행할 수 있었다.

이러한 연구 개발 기반으로 인도는
그 프로그램을 위하여 원자력발전소,
관련 핵주기 시설 및 중수 포함 특수
핵물질의 생산에 요구되는 기타 시설
의 설계, 건설 및 운전 보수에 관계되
는 모든 기술 분야의 자체 능력을 성
취해 왔다.

다음에 프로그램의 현황, 미래의
방향 및 그 유지와 성장에 기여해 온
기술적 진보를 포함하는 인도 원자력
프로그램의 개관을 설명하고자 한다.

인도의 전기 소비

전기 에너지는 인도같은 개발 도상
국의 사회 개발 및 경제 성장의 필수
적인 요소이다.

인도의 현재 1인당 전기 소비량은
충분하지 않다.

기대 수명의 1인당 전기 소비량을
고려할 때, 인도가 선진국 수준까지
전체 인구의 생활의 질을 개선하기
위해서는 최소한 현재 세계 평균치인

〈표 1〉 인도의 운전중인 원자력발전소

Code	Name	Type	Net (MWe)	Gross (MWe)	NSSS Supplier	Commercial Operation	Capacity Factor for 1996~97(%)
IN-1	TARAPUR-1	BWR	150	160	GE	October 1969	30
IN-2	TARAPUR-2	BWR	150	160	GE	October 1969	46
IN-3	RAJASTHAN-1	PHWR	90	100	AECL	December 1973	Repair of OPRD
IN-4	RAJASTHAN-2	PHWR	187	200	AECL/DAE	April 1981	Coolant Channels Replacement
IN-5	KALPAKKAM-1	PHWR	155	170	DAE	January 1984	51
IN-6	KALPAKKAM-2	PHWR	155	170	DAE	March 1986	83
IN-7	NARORA-1	PHWR	202	220	DAE/NPCIL	January 1991	71
IN-8	NARORA-2	PHWR	202	220	DAE/NPCIL	July 1992	75
IN-9	KAKRAPAR-1	PHWR	202	220	DAE/NPCIL	May 1993	83
IN-10	KAKRAPAR-2	PHWR	202	220	DAE/NPCIL	September 1995	83

〈표 2〉 인도의 건설중인 원자력발전소

Code	Name	Type	Net (MWe)	Gross (MWe)	NSSS Suppl.	Start of Construction
IN-11	RAJASTHAN-3	PHWR	202	220	NPCIL	February 1990
IN-12	RAJASTHAN-4	PHWR	202	220	NPCIL	October 1990
IN-13	KAIGA-1	PHWR	202	220	NPCIL	September 1990
IN-14	KAIGA-2	PHWR	202	220	NPCIL	December 1989

연간 2,400kWh를 달성하도록 노력해야 한다는 것은 명백하다.

인도 인구의 개선된 생활의 질을 달성하기 위하여 1인당 전기 소비량은 연간 1,500kWh에 도달해야 한다.

이 수치를 달성하려면 2020년까지 약 450GWe의 설비 용량이 요구된다.

이 요구의 주요 부분은 계속하여 화력 및 수력발전소에 의해 지지될 것이며, 원전이 약 20GWe를 기여할 것이다.

그러나 다음 세기 초반에 화석 연료의 매장량 및 수력 개발이 고갈됨

에 따라, 원자력의 점유율은 급격히 증가할 것이다.

인도의 3단계 원자력 프로그램

인도는 제한된 우라늄 매장량을 갖고 있지만, 토륨 매장량은 세계에서 세 번째이다.

제한된 우라늄 자원 때문에, 인도는 필연적으로 원자력 프로그램의 초기 단계에 핵분열 물질 기반을 확대하기 위한 사용후 연료의 재처리를 포함하는 원전 연료 주기를 채택했다.

토륨 이용 원자력 발전

의 장기 목표를 달성하기 위하여 3단계의 인도 원자력 프로그램이 구상되었다(그림 1).

첫 단계에서는 천연 이산화 우라늄 연료가 가압중수로(PHWR)에 이용된다.

고유 부존 자원으로 플루토늄 재순환 없이 PHWR의 이용을 통하여 약 10,000MWe의 설비 용량을 지지할 수 있다.

2단계에서는 이 플루토늄이 플루토늄-우라늄 혼합 연료와 블랭킷 영역에 풍부한 감손 우라늄 및 토륨을 가진 고속중수로(FBR)의 주요 핵분열

요소로서 작용한다.

플루토늄은 출력 생산뿐만 아니라 비핵분열성인 우라늄-238과 토륨을 핵분열성인 플루토늄-239 및 우라늄-233으로 각각 변환시키는 데 효과적으로 이용될 수 있다.

FBR을 이용하면, 약 350GWe/year의 에너지 생산이 현 부존 자원을 이용하여 기술적으로 가능하다.

이와 병행하여 개량형 중수로(AHWR)에 일부 플루토늄 연료와 함께 토륨 연료를 사용하는 것이 계획되었다.

AHWR은 1단계와 3단계의 기술

적 간격을 메우는 것을 촉진할 수 있다.

3단계에서는 우라늄-233과 토륨 전용 증식로가 건설될 계획이다.

이 증식로는 인도 원자력 프로그램의 마지막 단계인 토륨 이용의 주요 지주로서 이용된다.

현재 알려진 인도의 토륨 매장량은 약 200,000GWe/year의 전기 에너지에 달하며, 다음 세기의 필요량을 쉽게 충족시킬 수 있다.

인도의 원전 현황

인도는 69년에 텀키 베이스로 2기의 비등수로(BWR)를 건설함으로써 원자력 프로그램을 시작하였다.

이어서 인도의 제1단계 프로그램에 기술된 대로, 모든 신규 상업용 원전은 PHWR를 채택하였다.

이들 PHWR의 처음 2기인 RAPS-1 및 RAPS-2가 외국과의 합작으로 건설된 반면, 그후 건설된 모든 원자로로는 충분한 고유의 기술로 건설되었다.

현재 인도는 10기의 원전이 운전되고 있으며, 총 1,840MWe의 설비 용량에 달한다(표 1).

가장 오래된 PHWR인 Rajasthan 1호기 및 2호기가 최근 자체 개발된 기술을 이용하여 주요 정비 및 쇄신 운동을 전개했다.

Rajasthan 1호기의 누설 과압 경감 장치(ORPD)가 칼란드리아 용기

(표 3) 인도의 가압중수로(PHWR) 건설 계획

Name	Type	Net (MWe)	Gross (MWe)	NSSS Suppl.
TARAPUR-3	PHWR	450	500	NPCIL
TARAPUR-4	PHWR	450	500	NPCIL
KAIGA-3	PHWR	202	220	NPCIL
KAIGA-4	PHWR	202	220	NPCIL

내에 원격으로 시행된 혁신적 밀봉 계획을 이용하여 작년에 성공적으로 보수되었다.

Rajasthan 2호기는 8.5 전출력 운전 연수를 달성하면서 96년초에 대규모 냉각재 채널 교체를 착수했는데, 이에 앞서 이 작업을 수행하는 데에 필요한 기술을 개발하고 성공적으로 실증했다.

첫 번째 냉각재 채널이 96년 5월에 제거되었으며, 모든 채널의 제거와 관련 세정 및 점검을 완료한 후에 신규 압력관의 재설치가 계획보다 6개월 앞서 97년 12월에 완료되었다.

이 작업에 수반된 총방사선 피폭량은 당초 추정된 1,100man-rem보다 훨씬 작은 605man-rem이었다.

Rajasthan 1호기에서 Kakrapar 2호기에 이르기까지 PHWR의 설계는 안전성, 경제성 및 신뢰성을 더욱 개선하기 위하여 점진적으로 향상되어 왔다.

(표 2)에 나타낸 대로 현재 4기의 220MWe PHWR이 Kaiga 및 Rajasthan에 건설되고 있다.

이들 원자로들은 98~99 회계 연도에 임계에 도달할 것으로 기대된다.

또한 추가 PHWR 건설이 계획되었다(표 3).

Tarapur 3호기부터 건설될 PHWR은 500MWe 용량일 것이다.

신규 원전의 건설 계획은 자금 확보에 따라 제한되어 왔다.

중단기적으로 원전의 건설을 추진하기 위하여 적극적으로 고려되고 있는 방안 중의 하나는 우호적인 자금 조건에 따른 몇몇 경수로 원전의 도입이다.

인도 중수로 프로그램의 지원 구조

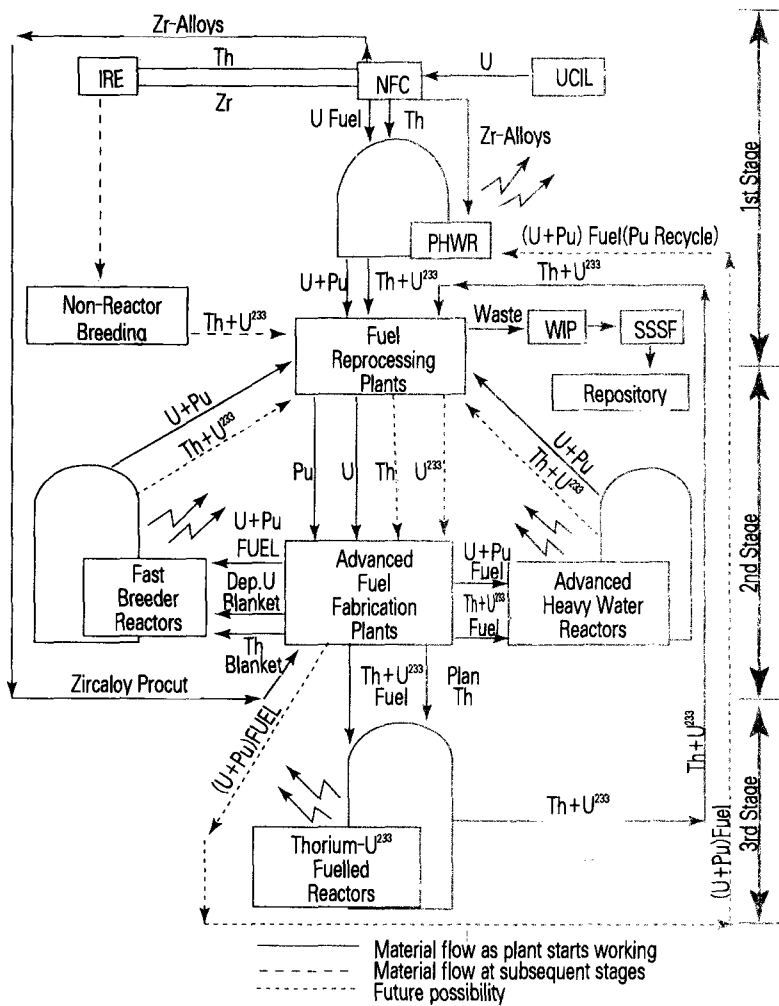
1. 중수

인도의 중수국(Heavy Water Board)은 8개의 중수 공장을 운영하고 있다.

Kota 및 Manugura에 있는 공장은 자체 개발된 황화수소수 교환 방법에 기초하고 있는 반면, Baroda, Hazira, Tuticorin, Talcher 및 Thal에 있는 공장들은 암모니아-수소 교환 방법을 이용하고 있다.

Nangal 공장은 수소 증류 방법을 이용한다.

중수 생산 능력은 계획된 원자력 발전 프로그램을 충족시키는 데에 충



(그림 1) 인도의 원자력 프로그램

분하며, 외국으로의 수출도 가능하다.

2. 지르코늄 합금 생산

약 12.4백만Te의 지르콘(Zircon)이 인도의 Kerala, Tamilnadu 및 Orissa의 해변 모래에서 채취 가능한 것으로 추정된다.

지르콘 모래의 채굴 및 처리는 IRE(Indian Rare Earths)가 시행한다.

지르콘으로부터 압력관, 칼란드리아관, 연료 피복재 등과 같은 최종 생산물로의 변환은 Hyderabad의 핵연료 단지(NFC)에서 이루어진다.

3. 핵연료

Hyderabad의 핵연료 단지(NFC)는 또한 인도의 모든 운전 중 원자로의 연료 집합체를 제작·공급한다.

Yellow Cake로부터 제조된 PHWR용 연료는 인도 우라늄공사(Uranium Corporation of India Ltd.)에서 생산된다.

4. 방사성 폐기물 관리

인도는 방사성 폐기물에 관한 다음과 같은 두 가지 최종 처분 모드를 구상하고 있다.

- 중저준위 폐기물용 천층 공학적 저장

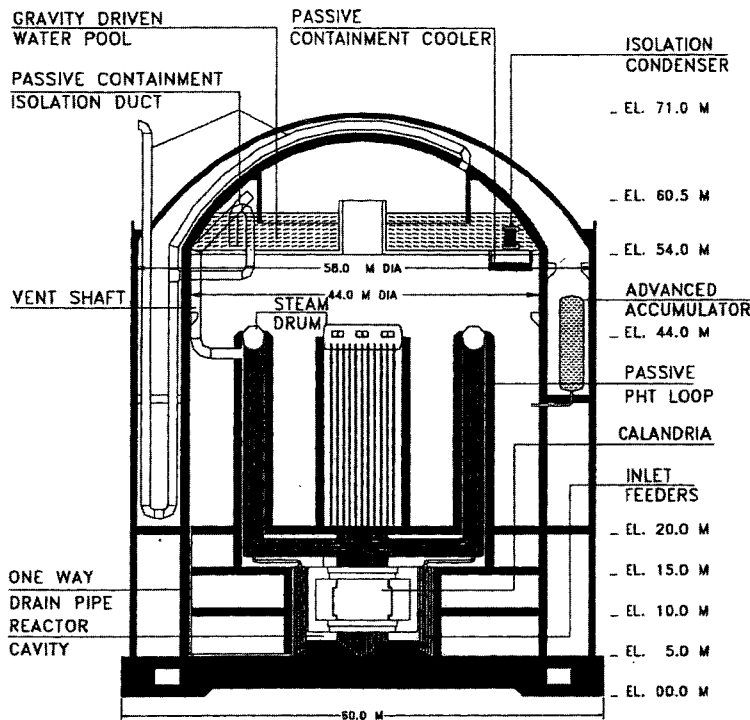
- 고준위 폐기물용 심지층 처분

고유 물질 및 기술에 토대하여 기술이 개발되었으며, 그들의 환경적 영향이 엄격한 규제 요건 및 기준을 만족하도록 중저준위 폐기물의 관리에 일상적으로 적용되고 있다.

모든 형태의 폐기물 처분을 위한 시설들이 완성되었으며, 인도의 모든 원자력 시설과 함께 성공적으로 운영되고 있다.

고속증식로 프로그램

인도의 첫 번째 고속로인 고속증식 시험로(FBTR: Fast Breeder Test Reactor)가 85년부터 운영되고 있다.



(그림 2) 인도의 개량형 중수로(AHWR) 구조

BASIC DATA OF AHWR

- FUEL : U-233/THORIUM MOX + Pu-239/U-238 MOX
- COOLANT: BOILING LIGHT WATER
- MODERATOR: HEAVY WATER
- POWER: 235 MW(e)

ADVANCED SAFETY FEATURES

- -Ve VOID COEFFICIENT OF REACTIVITY
- PUMPLESS PRIMARY CIRCULATION
- PASSIVE DECAY HEAT REMOVAL
- ADVANCED EMERGENCY CORE COOLING
- LARGE HEAT SINK ALLOWING 3 DAYS GRACE PERIOD
- PASSIVE CONTAINMENT COOLING
- PASSIVE CONTAINMENT ISOLATION

500MWe 원형 고속 증식로 (PFBR : Prototype Fast Breeder Reactor)의 설계 및 개발은 거의 완성되었다.

FBTR의 운영 및 PFBR의 개발에 관련된 모든 목표들이 인디라 간디 원자력연구센터(IGCAR : Indira Gandhi Centre of Atomic Research) 및 바바원자력연구소(BARC : Bhabha Atomic Research Centre)에서 수행된 작업을 통하여 성공적으로 이루어졌다.

이들은 당초 예상된 수입 FBTR용

고농축 우라늄 연료에 대한 국내 대체를 개발하는 고도의 문제를 포함한다.

BARC에서 개발된 탄화 우라늄-플루토늄 혼합 연료는 그러한 종류로서는 세계 최초이다.

이 연료는 35,000MWd/Te를 초과하는 연소도를 기록하면서, 지금까지 결함없는 성능을 보여왔다.

모든 범위의 FBR 기술은 관련 전문 지식 및 기술의 자체 개발과 IGCAR의 FBR 프로그램 전용 연구 개발 실험실의 설치를 통하여 개발되

어 왔다.

이들 분야들의 능력들은 정상 상태 및 과도 상태의 원자로 행태, 노물리 모델링, 차폐 설계, 열수력 연구의 분석 기술, 부식 연구를 위한 실험 장치 구축, 나트륨 펌프 및 PFBR 증기발생기 관련 기술 개발 프로그램, FBR에 사용된 특수강의 설계, 금속학 및 제조 관련 모든 부문, 그리고 이들 원자로로부터 배출된 핵폐기물의 고정 및 처분과 함께 연료 재처리 기술의 확립을 포함한다.

FBTR 기기 대부분의 제작은 인도

(표 4) 인도의 원전 설계 및 안전 해석 전문 기술 분야

Sl	Field of Work
1	Thermal hydraulic studies and simulation of nuclear reactor heat transport system relating to normal operation and transient conditions, Loss of Coolant Accident(LOCA) conditions, thermosyphon cooling of reactor core and scenario following station blackout
2	fuel and coolant channel behaviour following LOCA and Emergency Core Cooling System failure
3	Thermal hydraulics of PHT system under two phase flow conditions
4	Fluid-structure interaction modelling studies to simulate sloshing and dynamics of submerged structures
5	Pressure and temperature transients within the nuclear reactor containment
6	Hydrogen generation following metal water reaction in PHT, its transport, combustion and mitigation
7	Aerosol transport in PHT system and containment
8	Modelling and simulation of static and dynamic response of reactor containments
9	Fuel performance under normal and transient conditions
10	Probabilistic safety assessment, ageing research and development of operator support system to enhance safety and reliability during plant operation and maintenance
11	Degradation mechanisms affecting coolant channels, their fracture mechanics & leak before break study
12	Development of systems for on line fatigue life monitoring of structures
13	Thermal shock & fatigue studies and life extension of power plant components
14	Development of nuclear power plant software simulator

산업계의 자원으로 자체적으로 수행되었다.

원형 고속중식로의 건설은 2년 내에 시작될 것이며, 2009년에 시운전될 예정이다.

개량형 중수로

개량형 중수로(AHWR : Advanced Heavy Water Reactor)는 현재 BARC에서 설계 및 개발되고 있다.

이 원자로 계통은 PHWR의 이용 가능한 경험을 충분히 이용하면서 인도 원자력 프로그램의 1단계 및 3단계의 간격을 메우는 것을 추진한다.

이 원자로는 작은 양의 플루토늄 연료의 도움으로 토륨으로부터 출력

의 대부분을 생산하도록 설계된다.

원자로 계통은 PHWR에서 이용되는 몇몇 기술들을 이용할 것이지만, 기본 개념은 상당히 혁신적이며 이러한 종류로서는 세계 최초이다.

원자로는 외부 동력이나 운전원의 조치를 요하지 않는 수동 안전 계통 같은 수많은 개량 안전 특성을 가진다.

예를 들면, 1차 순환 계통은 어떤 펌프도 갖고 있지 않으며, 자연적인 두 부분의 대류에 의해 추진된다.

이들 특성과 함께 이 원자로는 차세대 원전에 대해 국제적으로 규정되고 있는 요건을 만족할 뿐만 아니라 능가할 것이다.

이 원자로의 기본 설계 목표의 현

저한 특징들이 <그림 2>에 요약되어 있다.

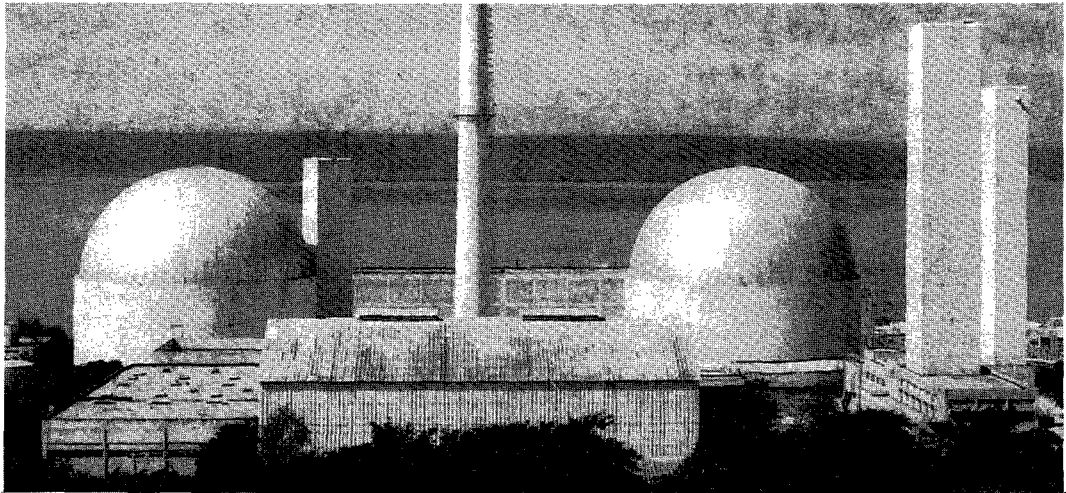
현재 계통 및 기기의 세부 설계들이 수행되고 있으며, 열수력 모델링 및 시뮬레이션, 안전 해석이 또한 착수되었다.

첫번째 AHWR은 다음 세기의 20년초에 시운전될 것으로 예상된다.

7. 토륨 활용

이미 언급한 대로, 인도 원자력 프로그램에서 적절한 토륨 활용의 시행은 다음 세기의 출력 수요를 충족시키기 위한 원자력 발전의 지속적인 성장을 확보하기 위하여 매우 필요하다.

그 활용은 이미 시작되었다.



인도의 Rajasthan 원전. 인도는 원자력 과학 및 기술 분야의 프로그램으로 원자력발전소, 관련 핵주기 시설 및 중수를 포함한 특수 핵물질의 생산에 요구되는 시설의 설계, 건설, 운전 보수에 관계되는 모든 기술 분야의 자체 능력을 성취해왔다.

장래의 모든 PHWR은 초기 출력 평탄화를 위하여 35다발의 토륨을 이용하도록 되어 있으며, 이것은 향후 KAPP-1 원자로에서 시행된다.

〈그림 2〉에 나타난대로 플루토늄 재순환이 PHWR에서 시작될 때, 토륨이 플루토늄과 함께 와야 한다.

이것의 선호적인 방법은 플루토늄을 MOX 형태로 사용하고, 그것과 함께 혼합하여 순수한 토륨을 사용하는 것이 연구되었다.

토륨의 이용은 이미 기술한 대로 AHWR 프로그램을 통하여 가속될 것이다.

FBR은 또한 블랭킷 영역의 토륨 조사를 통하여 우라늄-233을 증식시키는 데에 이용될 것이다.

Kalpakkam에 운영중인 30MW_e KAMINI 연구로는 Al-U²³³ 판형 연료를 이용하고 있다.

인도 고유의 원자력 기술 연구 개발

인도 고유의 연구 개발이 현행 원자력 프로그램의 모든 주요 기술적 분야를 자체 기술의 개발로 이끌었다.

그것은 또한 차세대 원자력 발전 시스템의 장래 개발을 위한 도전들에 착수할 수 있고, 이미 착수해 온 연구 개발 기반의 구축을 가져왔다.

이들 연구 개발 능력들은 처음부터 인도의 PHWR 및 FBR을 위한 기본 설계, 건설 및 운전의 안전 관련 업무와 이 프로그램을 지지하는 데에 요구되는 기반을 개발하는 데에 쓰여졌다.

예를 들면 노물리 분야에서는 대규모 노물리 코드가 제어, 운전, 연료 관리, 원자로 동력학 및 안전에 요구되는 임계, 연소도 물리, 반응도 계수

및 기타 변수의 계산을 위하여 개발되었다.

연료 기술 분야에서는 천연 우라늄과 우라늄 · 플루토늄 · 토륨을 이용하는 산화 혼합 및 탄화 혼합 연료의 개발이 인도 프로그램의 시작 이래 최우선 연구 개발 프로그램이었다.

이 작업은 노의 시험 및 노내 시험과 후속 조사 후 시험(PIE)을 포함한다.

큰 장점은 BARC 및 IGCAR에서의 금속 및 재료 과학 분야에 있다.

예를 들면, 지금까지 시도되지 않은 방법을 통한 Zr-2.5%Nb 압력관의 제작 공정을 위한 변수의 개발을 위한 연구 개발이 BARC에서 수행되었다.

공학 개발 분야에서는 특징적 자료의 생산, 설계의 타당성, PHWR · FBR의 주요 기기, 장치 및 계통의

성능 시험을 위하여 몇몇 주요 실험 설비들이 완성·이용되었다.

이 분야의 분석 능력의 한 예로서, 이용 가능한 설계 및 안전 해석 관련 전문 기술들을 <표 4>에 나타냈다.

현재 연구 개발 분야의 대부분은 미래 원자로의 성능 개선을 위한 신 개발과, 현행 발전로의 안전 해석 및 수명 관리 관련 작업에 관계한다.

예를 들면, 결합 sol-gel 중심체 펄렛화(SGMP), 저온 산화 소결(LTS) 과정 같은 신연료 제조 공정이 개량 연료의 제조를 위하여 개발되어 왔다.

원전의 계측 제어 분야에서의 최근 향상된 기술 중 하나는 항오류 컴퓨터 계통의 개발에 관계한다.

이들 계통들은 Kaiga 1·2호기 및 Rajasthan 3·4호기의 신규 PHWR에 적용된다.

PHWR의 1차 열수송 계통의 대규모 화학 제염 고유 기술이 개발되어 성공적으로 적용되었다.

수많은 분석 방법과 기술들이 개발되었으며, 관련 연구 개발들이 현재 인도 PHWR에 있어서 중요한 냉각재 채널 수명 관리 문제에 대해 수행되었다.

이들은 여러 기능 강하 구조 모의에 의한 채널 특정 잔류 수명의 보수적인 평가를 위한 컴퓨터 코드, BARCIS라 불리는 원격 제어 종합 냉각재 채널 가동중 검사 계통, 운전 중 원자로에서 제거된 압력관의 강력

한 조사 후 검사(PIE) 기술, 수소 분석용 압력관으로부터 작은 시편의 제거를 위한 scrape 시료 계통 및 운전 중 원자로의 냉각재 채널의 garter spring spacer의 재위치를 위한 원격 제어 Integrated Garter Spring Repositioning System(INGRES)을 포함한다.

다음은 습채널 운전을 위하여 설계되었다.

검사 분야에서, 최근의 연구 개발 노력들이 압력관에서 결함의 매핑, 수소 농도 및 수산화물 기포를 위하여 이루어졌다.

반자동 원격 운전 냉각재 채널 교체 장치(CCRM)가 또한 개발되었다.

현재의 AHWR 개발 단계에서 관련된 연구 개발 프로그램의 주요 요점은 배치 설계, 원자로 구성 설계, 연료 설계 및 제조, 수동 계통의 설계, 열수력 모델링 및 시뮬레이션, 그리고 안전 해석 분야에서의 특별한 도전들을 충족시키는 것이다.

AHWR 핵주기 활동의 개발 및 기술적 규모 시행에 필요한 연구 개발이 또한 잘 진행되고 있다.

이미 계획된 AHWR과는 달리, 다음 세기에 시행 가능한 몇몇 다른 개념들이 연구되고 있다.

이들은 비전력 응용을 위한 고온 원자로 계통, 가속기 추진 증식 및 핵융합 원자로를 포함한다.

기대 수명 및 개인 소득의 증가가 보여주는 바와 같이 생활의 질은 1인당 전력 소비량에 직접적으로 관계될 수 있다.

인도의 현상황에서 1인당 전력 소비량의 증가는 위에 언급한 지표들의 개선을 가져올 것이다.

인도의 에너지 기근 산업의 즉각적인 필요량을 충족하기 위하여 화력 에너지 변환 계통들이 크게 채택되어야 한다.

그러나 중장기적으로 비용의 경쟁력, 환경 문제들, 그리고 무엇보다도 에너지 안보 측면을 충족시키기 위하여 원자력이 불가피한 선택으로 떠오른다.

그러므로 인도의 원자력 프로그램의 목표는 안전하고 경제적인 전력을 생산하고, 적절한 기술의 개발을 위한 강력한 연구 개발 기반을 구축하는 것이다.

지난 40년간의 노력들은 인도로 하여금 원자력 기술의 상당한 전문 기술을 습득할 수 있게 해 왔다.

첫 번째 원자로의 턴키 공급으로부터 시작하여, 신규 원자로의 설계 및 개발, 초기 원자로의 운전 및 보수 능력이 점진적으로 구축되어 왔다.

이러한 전문 기술과 함께, 인도 원자력 프로그램의 중요한 목표인 전력용 원자로에서의 토륨의 대규모 이용을 위한 작업이 이미 시작되었다.