

한,인도네시아, IAEA 원자력해수담수화 기술 공동연구 및 SMART 수출기반 조성

Joint Study on Nuclear Desalination Technology
Between Korea, Indonesia and IAEA and Establishment of
the Foundation to Support the Export the of SMART

연구기관
한국원자력연구소

과학기술부

제 출 문

과 학 기 술 부 장 관 귀 하

본 보고서를 “한, 인도네시아, IAEA 원자력해수담수화 기술 공동연구 및 SMART 수출 기반조성 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2002년 12월

연 구 기 관 명 : 한국원자력연구소

연 구 책 임 자 : 김 시 환

연 구 원 : 장 문 희
 황 영 동
 윤 주 현
 이 만 기
 노 병 철

연구자문위원 : 조청원 (과학기술부 원자력국장)
윤세준 (과학기술부 원자력정책과장)
김창우 (과학기술부 원자력협력과장)
강창순 (서울대학교 교수)
박군철 (서울대학교 교수)
장순홍 (한국과학기술원 교수)
김명현 (경희대학교 교수)
은영수 (한국원자력안전기술원 원장)
이종인 (한국원자력안전기술원 부장)
정경남 (한국전력공사 전무)
문명국 (한국전력공사 처장)
남궁종규 (한국전력기술주식회사 전무)
문갑석 (한국전력기술주식회사 상무)
이상근 (한국전력기술주식회사 처장)
김태우 (두산중공업주식회사 전무)
이길수 (두산중공업주식회사 상무)
송실광 (두산중공업주식회사 실장)
추연진 (현대건설 상무)
송재오 (대우건설 전무)

요 약 문

I. 제 목

한, 인도네시아, IAEA 원자력 해수담수화기술 공동연구 및 SMART 수출 기반조성

II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구의 궁극적인 목적은 인도네시아의 마두라(Madura) 섬에 우리나라가 개발한 SMART 기술을 이용한 원자력해수담수화 플랜트 건설의 타당성을 분석하는 데 있다. 인도네시아는 원자력기술 전반에 걸쳐 상당한 수준의 기반 기술을 보유하고 있으며, 동남아 국가중 원자력 플랜트 건설에 가장 깊은 관심을 기울이고 있는 국가이다. 그러나 지역적인 특성으로 인해 국가적으로 완전 통합된 체계에 의한 에너지 공급이 어려우므로 지역적으로 에너지를 해결하는 전략으로 접근하고 있다. 이에 따라 인도네시아는 마두라섬의 전력 및 물 수요 예측을 바탕으로 2015년까지 소형원자로인 SMART를 이용한 발전 플랜트와 해수담수 플랜트 건설을 검토하고 있다. 이러한 검토를 지원하기 위해 IAEA의 다지역 기술협력 프로젝트를 이용하여 SMART 플랜트 건설 타당성 연구를 한국(KAERI), 인도네시아(BATAN) 및 IAEA 공동으로 수행하게 되었다. 따라서 인도네시아와 원자력협력 기반 조성을 통한 실질적인 한·인도네시아간 원자력협력 추진이 필요하며, 또한 구체적인 협력사업으로서 인도네시아 마두라섬에 현재 KAERI가 개발하고 있는 SMART 해수담수화 플랜트 건설 타당성에 대한 공동연구를 추진하는 것이 필요하다. 연구 및 결과의 신뢰성 확보와 기술홍보 관점에서 수요자측이 참여하는 공동연구는 매우 바람직하며, 특히 향후 플랜트 및 기술을 수출하기 위한 기반을 구축할 수 있을 것이다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

본 공동연구는 3년간 수행 예정인 국제공동 연구사업으로 최종 목표는 SMART 해수담수 플랜트 건설 타당성을 분석하는 것이다. 이를 위하여 1차년도에서 수행한 연구개발 내용 및 범위는 다음과 같다.

1. 인도네시아 마두라섬의 원자력 해수담수 플랜트 건설계획 수립

2015년까지 마두라섬의 에너지 및 물 수급계획을 분석하여 원자력 해수담수 플랜트에 대한 용량과 기술적인 사양을 결정하고, 해수담수 플랜트 건설 일정을 설정한다. 마두라섬에 SMART 플랜트를 건설할 예비후보부지들을 선정하여 부지특성과 환경평가를 실시한다.

2. SMART 해수담수 플랜트에 대한 기술성 평가

한국, 인도네시아와 IAEA 전문가들이 함께 SMART 원자로계통의 설계특성을 분석하고, 해수담수화 공정과 용량을 결정하고 SMART 원자로와 담수플랜트의 연계개념을 수립한다. 이를 위하여 BATAN 전문가들이 한국에서 전문교육을 받은 후 공동연구에 참여하여 SMART 해수담수 플랜트의 기술성 평가와 안전성평가 업무를 수행한다.

3. SMART 해수담수 플랜트에 대한 경제성 평가

인도네시아, 한국, IAEA 전문가들이 함께 경제성평가를 위한 방법론을 개발하고, 기술적인 자료들과 경제적 입력자료를 준비하여 원자력 해수담수화 플랜트 건설사업비를 산정하고 총투자비를 분석한다. 또한 마두라섬에 건설하여 운영할 SMART 해수담수 플랜트의 발전단가와 해수담수생산 단가도 산정한다. 본 연구에서 수행한 경제성 평가와 민감도의 분석에 의하여 타에너지원과 발전단가와 담수생산 단가를 비교 분석한다.

4. 마두라섬의 SMART 해수담수 플랜트 건설타당성 분석보고서 초안 작성

한국, 인도네시아와 IAEA 전문가들이 보고서의 목차를 확정하고 마두라섬에 건설할 SMART 해수담수플랜트에 대한 타당성분석 보고서의 초안을 공동으로 작성한다.

5. 인도네시아의 원자력 해수담수 플랜트 사용자 요건서 초안 작성

한국, 인도네시아와 IAEA 전문가들이 인도네시아의 원자력 해수담수 플랜트에 대해 플랜트 사용자가 요구하는 부지요건, 인허가요건, 기술성요건, 경제성요건 등을 포함하는 사용자 요건서 초안을 공동으로 작성한다.

IV. 연구개발결과

1. 인도네시아 마두라섬의 원자력해수담수 플랜트 건설계획 수립

마두라섬의 에너지 및 물 수급계획을 수립하여 2015년까지 SMART 2기를 건설하여 20만 KW의 전력과 일산 4천톤의 식수를 공급할 계획을 수립하고, 또한 2015년까지 마두라섬의 원자력 해수담수화 플랜트에 대한 건설일정을 설정하였다. SMART 2기 건설후보부지 4개를 선정하여 부지특성과 환경평가를 실시하였으며, 2003년에 IAEA와 공동으로 부지선정에 대한 workshop을 개최하여 협의한 후 건설부지를 선정할 계획이다.

2. SMART 해수담수 플랜트에 대한 기술성 평가

2002년 5월부터 4명의 BATAN 전문가들이 KAERI에서 2주간 전문교육을 받은 후 4명(KAERI Site에서 3명과 KOPEC site에서 1명)이 공동연구에 참여하였다. 한국과 인도네시아의 전문가들이 공동으로 SMART 해수담수 플랜트에 대한 기술성평가와 안전성평가를 수행하였으며, 또한 SMART 원자로계통과 해수담수 플랜트의 연계개념을 설정하였다.

3. SMART 해수담수 플랜트에 대한 경제성 평가

인도네시아, KAERI, KOPEC, 두산중공업(주)의 전문가들이 공동으로 경제성평가를 위한 방법론을 개발하고, 기술적인 자료들과 경제적 입력자료를 준비하였다. 이를 활용하여 원자력 해수담수 플랜트 건설사업비를 산정하고 총투자비를 분석하였다. 또한 마두라섬에 건설하여 운영할 SMART 해수담수 플랜트의 발전단가와 해수담수생산 단가도 산정하였다. 본 연구에서 수행한 경제성평가와 민감도 분석 결과에 의하면 SMART 해수담수 플랜트는 발전단가와 담수생산 단가 면에 있어서 석탄화력, 복합화력과 가스터빈에 비하여 보다 경제적인 것으로 평가되었다.

4. 마두라섬의 SMART 해수담수 플랜트 건설타당성분석 보고서 초안 작성

한국, 인도네시아와 IAEA 전문가들이 공동으로 보고서의 목차를 확정하고 각 장별로 작성 주관기관과 작성책임자를 선정하였다. 이에 따라서 마두라섬에 건설할 SMART 해수담수 플랜트에 대한 건설타당성 분석보고서의 초안을 작성 완료하였다.

5. 인도네시아의 원자력 해수담수 플랜트 사용자요건서 초안 작성

한국, 인도네시아와 IAEA 전문가들이 향후 인도네시아에서 건설할 원자력 해수담수 플랜트에 대해서 플랜트 사용자가 요구하는 사용자 요건서 초안을 공동으로 작성하였다. 이 사용자요건서 초안에는 부지요건, 인허가요건, 원자로 계통 안전성 및 성능요건, 담수플랜트요건, 플랜트종합설계요건, 경제성요건 등이 포함되어 있다.

V. 연구개발 결과의 활용계획

본 연구는 인도네시아 마두라섬 지역의 에너지 및 식수해결을 위하여 우리나라가 개발중인 소형원자로 SMART의 건설·운영에 대한 경제적, 기술적 타당성을 평가하는 국제공동연구 사업이다. 향후 본 공동연구사업이 성공적으로 진행되어 인도네시아 현지에서 우리나라의 SMART 기술을 채택할 경우 우리나라가 자력 개발한 소형원자로의 기술 수출에 전기를 마련하게 될 것이다. 또한 인도네시아와의 원자력협력 기반 조성 및 협력 활성화를 기할 수 있으며, 한국에서 개발하고 있는 소형원자로 SMART를 이용한 해수담수화 플랜트 건설 타당성을 입증할 수 있다. 원자력 산업의 인도네시아 진출에 대한 기반을 조성하고, 체계적인 원자력 협력사업 수행 체제를 구축할 수 있으며, 양국 정부간 원자력 공동위원회 및 실무협의회 설치를 위한 기반조성에 기여할 수 있다. 원자력기술 및 원자력 해수담수 플랜트 수출추진을 통하여 실질적인 한·인도네시아 원자력 협력사업을 추진할 수 있다. 특히 인도네시아와의 체계적인 원자력협력 방안을 추진하면, 향후 우리가 개발한 한국형 표준원전의 수출, 또한 개발중인 소형원자로(SMART), 연구용 원자로, 핵연료, 방사성 동위원소 의약품 등 원자력 기술 및 플랜트 수출에 크게 기여할 것으로 기대된다.

SUMMARY

I. Project Title

Joint Study on Nuclear Desalination Technology Between Korea, Indonesia and IAEA and Establishment of the Foundation to Support the Export of SMART.

II. Objective and Importance of the Project

The objective of this joint study is to evaluate the feasibility of the construction of a nuclear power and desalination plant using SMART in Madura Island, Indonesia. Indonesia has a broad spectrum of basic nuclear technologies, and shows a strong interests in the construction of nuclear power plant. However, the peculiar geographical features of the country give rise to difficulties in establishing the nation-wide integrated electricity supply system, therefore, the localized electricity supply strategy is taken. Accordingly, Indonesia is reviewing a plan for the construction of the integrated SMART nuclear power and desalination plant by 2015 in Madura Island on the basis of the prospects for the demand of electricity and fresh water for the island. To support Indonesia's plan, IAEA, Korea(KAERI), and Indonesia(BATAN) agreed to jointly execute a feasibility study for a SMART plant construction within the framework of the IAEA's interregional cooperation project. The joint study approach is more desirable for both countries because it enhances trustworthiness of the study results. This joint study is expected to provide us with an opportunity for establishing the environmental basis for the plant and technology export in the future. In this respect, our support through the joint study becomes essential.

III. Contents and Scopes of the Project

This joint study will be carried out for three years, and its final goal is to evaluate the feasibility of construction of a integrated SMART nuclear power and desalination plant. The scope and contents of the first-year study are as follows :

1. Establishment of nuclear power and sea-water desalination plant construction plan for Madura Island

Demand and supply projections in Madura Island for electricity as well as fresh water up to year 2015 are assessed for determination of capacity and technical specifications for the plant. The plant construction schedule is also established. Preliminary assessments for site characteristics and environmental impact are done for the several potential plant sites to determine the best possible site for a SMART plant.

2. Technology review and evaluation of integrated SMART nuclear power and desalination plant construction

Design characteristics of SMART reactor system is to be assessed by a joint team constituted by experts from Korea, Indonesia and IAEA. The joint team is to determine the process and capacity of sea-water desalination plant, and to establish the interface and integration of power plant and desalination plant. For this purpose, experts from BATAN will receive a specialized course in Korea, then will join together with Korean experts to review technical and safety aspects of SMART plant.

3. Economic assessments of integrated SMART nuclear power and desalination plant

A joint team mentioned above will also perform economic assessments for SMART plant. They are to develop a methodology for economic assessment, prepare inputs which reflect the status in Indonesia, and estimate the construction costs and total investments. Unit power cost as well as fresh water production cost employing SMART will be also estimated, and compared with other energy resources.

4. Preparation of feasibility evaluation report for construction of a SMART nuclear power and desalination plant

Joint team mentioned above will prepare a draft report summarizing the technical and economical aspects of a SMART nuclear power and desalination plant construction in Madura, Indonesia.

5. Preparation of user requirements documents for Indonesia's nuclear power and desalination project

The joint team mentioned above will prepare draft of user requirements documents which include requirements on sites, regulations, technology and economics specifically required by the project.

IV. Results of the Project

1. Establishment of nuclear power and sea-water desalination plant construction plan for Madura Island

Assessment on projected demand and supply for electricity and fresh water in Madura Island shows that it will require 200 MWe power plant and a desalination plant of capacity of 4,000 ton/day up to year 2015. A schedule for construction of integrated nuclear power and sea-water desalination plant was established. Preliminary assessments are done for four potential sites to determine site characteristics and assess the environmental impacts. The results will be discussed through a workshop which will be held next year jointly with IAEA to determine the best possible site.

2. Technology review and evaluation of integrated SMART nuclear power and desalination plant construction

A team of four experts from BATAN, Indonesia was dispatched to Korea from May, 2002. They received a two-week indoctrination course specifically designed for this purpose. This team together with a number of Korean experts, assessed the technological and safety aspects of integrated SMART nuclear power and desalination plant. The joint team also established the interface and integration concepts between power plant and desalination plant.

3. Economic assessments of integrated SMART nuclear power and desalination plant

The joint team also performed economic assessments for SMART plant. They developed a methodology for economic assessment and prepared inputs which best reflect the status in Indonesia. Construction costs and total investments were estimated. Unit power generation cost as well as unit fresh water production cost employing two SMART systems was calculated. The results showed that the plant employing SMART system has more advantage over system with other energy resources.

4. Preparation of feasibility evaluation report for construction of a SMART nuclear power and desalination plant

The joint team prepared a draft report which shows that construction of two-unit SMART nuclear power and desalination plants is desirable in both technological and economical aspects.

5. Preparation of user requirements documents for Indonesia's nuclear power and desalination projects

The joint team also prepared a draft user requirements documents which will help Indonesia greatly when they invite a bid for construction of an integrated nuclear power and desalination plant. The documents includes all aspects of requirements, e.g., sites, regulation, safety and performance requirements of nuclear systems, desalination plant requirements, architect and construction requirement, and economic requirements.

V. Proposals for Application

An economic and technological feasibility study has been carried out jointly among KAERI, BATAN and IAEA for the construction/operation of SMART nuclear power and desalination plant in Madura Island, Indonesia. A successful completion of this study would bring forth the construction of SMART plant, which is being developed by KAERI, in Indonesia. It is also expected that a firm relationship would be developed between two countries for the extensive co-operation in the field of nuclear technology.

Currently, SMART R&D Center is carrying out SMART pilot plant construction project in Korea and Indonesia. Through the completion of domestic project, reliability, safety and economics of SMART plant will be confirmed, which leads to export of SMART plants to Middle-East, Northern Africa and South-East Asian countries. Through this project, it is expected that we can contribute to IAEA's International Technology Co-operation Project for Sea Water Desalination.

목 차

| | |
|--|----|
| 제1장 서론 | 1 |
| 제1절 연구개발의 목적 및 필요성 | 1 |
| 제2절 연구개발의 목표 및 범위 | 3 |
| 제2장 마두라섬의 원자력 해수담수 플랜트 건설 계획 | 4 |
| 제1절 마두라섬의 에너지 및 물 수급계획 | 4 |
| 제2절 마두라섬의 부지특성 및 환경평가 | 7 |
| 제3절 마두라섬의 원자력 해수담수 플랜트 건설추진 일정 | 10 |
| 제4절 인도네시아의 원자력 해수담수 플랜트 사용자 요건서 | 13 |
| 제3장 SMART 해수담수 플랜트 건설을 위한 기술성평가 | 17 |
| 제1절 SMART 해수담수 플랜트의 설계 특성 | 17 |
| 제2절 SMART 원자로계통의 안전성 | 43 |
| 제3절 SMART 원자로 계통과 해수담수 플랜트의 연계개념 | 47 |
| 제4장 마두라섬의 원자력 해수담수 사업의 경제성 평가 | 52 |
| 제1절 경제성 분석 방법론 | 52 |
| 제2절 원자력 해수담수 플랜트 건설사업비 산정 | 57 |
| 제3절 발전단가 및 담수생산단가 산정 | 59 |
| 제5장 연구개발 목표달성도 및 대외기여도 | 70 |
| 제6장 연구개발 결과의 활용계획 | 72 |
| 제7장 참고문헌 | 73 |
| 부 록 | |
| 1. 한국-인도네시아-IAEA간 원자력 해수담수화 기술공동연구 협력협정 | |
| 2. 한국-인도네시아-IAEA 원자력 해수담수화 기술공동연구 과제착수회의 | |
| 3. 인도네시아 원자력 해수담수 플랜트 설계요건 | |
| 4. 한국-인도네시아-IAEA 공동연구 제1차 진도점검회의 | |
| 5. 인도네시아 중소형 원자로 요건서 | |

표 목차

| | | |
|--------|--|----|
| 표 2-1. | 마두라섬의 물 수요 산정 결과 (2000년 기준) | 6 |
| 표 2-2. | 물 수요·공급 비교표 | 6 |
| 표 2-3. | 후보부지에 대한 예비평가 결과 | 8 |
| 표 2-4. | 마두라섬의 원자력 해수담수 플랜트 부지 평가 기준 | 9 |
| 표 3-1. | SMART 주요 설계변수 | 18 |
| 표 3-2. | 증기발생기 카세트 주요 설계 재원 | 23 |
| 표 4-1. | SMART 플랜트 순건설비 산정결과 | 59 |
| 표 4-2. | 기술적 입력자료 | 60 |
| 표 4-3. | 경제적 입력자료 | 61 |
| 표 4-4. | 발전 플랜트의 기술적 경제적 자료 | 62 |
| 표 4-5. | 담수 플랜트의 경제적 및 기술적 자료 | 63 |
| 표 4-6. | 할인율과 연료가격 변동에 대한 발전단가 산출결과 | 68 |
| 표 4-7. | 할인율과 연료가격 변동에 대한 MED 담수생산비용 산출결과 | 68 |

그림 목차

| | | |
|----------|---|----|
| 그림 2-1. | 마두라섬의 첨두전력부하(MW) 증가 예측 | 5 |
| 그림 2-2. | 원자력 해수담수 플랜트 후보 부지의 위치 | 8 |
| 그림 3-1. | SMART 핵증기공급계통 구성도 | 18 |
| 그림 3-2. | SMART 원자로 집합체 | 20 |
| 그림 3-3. | 증기발생기 카세트 형상설계 | 24 |
| 그림 3-4. | MCP 3차원형상 | 25 |
| 그림 3-5. | 선형펄스모터형 제어봉구동장치 | 26 |
| 그림 3-6. | 가압기 집합체 단면도 | 27 |
| 그림 3-7. | SMART 일차계통 개략도 | 38 |
| 그림 3-8. | SMART 해수담수 플랜트의 연계개념 | 48 |
| 그림 3-9. | Turbine 정지시 가압기 압력 및 DNBR 변화 | 50 |
| 그림 3-10. | 주증기관파단사고(MSLB)시 DNBR 변화 | 50 |
| 그림 3-11. | 급수관파단사고(FLB)시 SMART 일차계통의 압력 및 온도변화 | 51 |
| 그림 3-12. | 급수관 파단사고(FLB)시 DNBR 변화 | 51 |
| 그림 4-1. | 복합 플랜트의 경제적 요인 도해 | 54 |
| 그림 4-2. | 물과 전력 생산 복합 플랜트에 있어서 연간 총 비용의 배분 | 56 |
| 그림 4-3. | 다양한 대안에 대한 등가발전비용 | 65 |
| 그림 4-4. | 다양한 대안에 대한 담수생산 단가 | 66 |
| 그림 4-5. | 다양한 대안에 대한 발전단가 | 66 |
| 그림 4-6. | 다양한 대안에 대한 총 투자비 | 67 |

제1장 서론

제1절 연구개발의 목적 및 필요성

인도네시아는 1964년 대통령직속으로 원자력청(BATAN)을 설립하여 원자력 연구개발을 적극 추진하고 있으며, 1970년대까지는 1KWt 와 1MWt의 연구를 중심으로 연구개발을 수행하여 왔다. 1993년에는 30MWt의 다목적 연구로(MPR-30)를 건설·완공하여 다목적연구로센터 등 12개 연구기관의 시설을 이용하여 원자력기술 개발을 추진하고 있다. 인도네시아는 원자력기술 전반에 걸쳐 상당한 수준의 기반기술을 확보하고 있으며, 동남아국가중 원자력연구개발을 가장 적극적으로 추진하고 있다. 인도네시아는 1979년부터 수차례에 걸쳐 프랑스, 일본, 한국 등과 원전도입을 위하여 국제협력 강화와 원전건설 타당성 연구를 수행해 오고 있다. 1991년 8월부터 1993년 12월까지 일본의 용역회사인 NEWJEC 회사와 용역을 체결하고 원전도입 타당성조사를 수행하여 타당성분석보고서와 예비부지보고서를 작성하였으며, 또한 원전도입에 따른 경제성분석과 투자에 대한 연구도 수행하였다.

인구증가, 산업발전 등으로 인해 전세계의 많은 지역에서 깨끗한 물 부족 문제를 겪고 있으며 이는 더욱 심각한 문제로 확장되고 있다. 이와 같은 세계적인 현안인 물 부족문제를 타개하기 위하여 IAEA는 원자력을 이용한 해수의 담수화 프로젝트를 적극적으로 추진하여 원자력 해수담수 시범플랜트 건설 프로젝트와 원자력 해수담수화 플랜트 계통설계에 대한 지역간 기술협력 프로젝트를 추진하고 있다. IAEA의 원자력 해수담수화 관련사업에 주도적으로 참여해 온 한국원자력연구소(KAERI)는 1997년부터 산·학·연 협력으로 발전-담수생산 (전기생산 : 90Mwe, 담수생산 40,000m³/day) 목적의 소형 원자로 SMART 개발을 착수하여, 1999년 3월 개념설계를 완료하고, 2002년 3월에는 기본설계를 완료하였다. SMART 원자로는 안전성이 획기적으로 제고된 일체형 가압경수형 원자로로써 저농축 핵연료를 사용하며, 계통 및 기기를 단순화하고, 폐기물 생성을 최대한 줄인 것이 특징이다. 또한, SMART 개발에 사용된 기술은 국내에 이미 확보된 상용원자로 기술을 바탕으로 하고 부족기술을 추가적으로 개발하여 사용하였으며, 특히 해수담수화 기술은 세계적으로 인정받고 있는 우리 고유의 상용기술이 직접적으로 접목되었다.

한국과 인도네시아는 1971년 4월에 양국정부간에 경제/기술협력 및 무역증진을 위한 협력의정서를 인도네시아의 자카르타에서 서명하였다. 또한 1995년 4월에 KAERI 와 BATAN 간에 원자로계통분야, 핵연료주기분야, 원자력안전분야, 방사성동위원소 이용분야, 원자력기반연구분야, 교육/훈련분야 등에 관한 원자력기술 협력협약을 체결하였다. 그러나 현재까지의 인도네시아와의 공동연구 사업은 전무한 실정이며 단순히 IAEA/RCA 사업을 통한 전문가 교류, 교육훈련 등 극히 제한적으로 협력에 그치고 있다. 따라서 양국간의 기술협력을 보다 활성화하여 상호 이익을 찾을 수 있는 실질적인 협력이 이루어질 수 있는 방안 강구가 이루어져야 할 것이다. 원자력이용개발과 관련하여 국제협력의 강화와 다변화를 추진해 오고 있는 인도네시아는, 특히 개도국으로서 원전기술자립과 기술선진화를 달성한 한국의 경험을 높이 평가하고 있으며 한국과의 협력을 중요하게 생각하고 있다.

수천개의 섬을 가지고 있는 인도네시아는 매년 전기소요가 10% 이상 증가하고 있으며, 섬들간 기후, 수자원과 인구밀도의 차이가 매우 크며 대부분의 섬들은 전력 및 물 부족으로 매우 어려운 실정이다. 인도네시아는 이들 섬에 전기와 물을 생산·공급하기 위한 목적에 KAERI에서 개발중인 소형원자로 SMART가 가장 적합하다고 판단하여, 한국의 SMART 원자로개발에 참여를 희망해 왔었다. 인도네시아 원자력청(BATAN)은 자국 정부로부터 연구비를 지원받아서 마두라섬에 한국이 개발중인 SMART원자로를 이용한 해수담수화 플랜트 건설 타당성연구를 수행할 목적으로, IAEA와 한국에 지원을 요청하여 2000년 7월 3일~7월 6일(4일간) 인도네시아 자카르타에서 IAEA/BATAN/ KAERI간 회의가 개최되었다. 본 회의의 결론으로 마두라섬에 SMART 해수담수 플랜트 건설 타당성공동연구 수행방안을 확정하고, 2001년 10월 10일 제45차 IAEA 총회 기간중 3자간 기술협력협정을 체결하였다. 본 기술협력협정을 바탕으로 하여 인도네시아와 원자력협력 기반을 조성하는 실질적인 한·인도네시아간 협력 사업으로서 인도네시아 마두라섬에 현재 KAERI가 개발하고 있는 SMART 해수담수화 플랜트 건설 타당성에 대한 공동연구를 추진하게 되었다.

인도네시아는 향후 원자력발전소를 포함하여 원자력기술을 도입할 가능성이 큰 나라이므로 이에 대비하여 우리나라와 인도네시아간 원자력기술 협력 기반 조성 및 협력 활성화는 매우 중요하다. 특히 인도네시아와 공동연구, 기술교류, 기술지원 등의 체계적인 원자력협력 방안을 추진하면, 향후 우리가 개발한 한국형 표준원전의 수출, 또한 개발중인 소형원자로(SMART), 연구용 원자로, 핵연료, 방사성 동위원소 의약품 등 원자력 기술 및 플랜트 수출이 매우 용이할 것으로 분석된다.

제2절 연구개발의 목표 및 범위

본 공동연구는 국제공동연구사업으로 3년간 수행될 예정이며, 연구의 최종 목표는 인도네시아 마두라섬 지역에 SMART 해수담수 플랜트 건설 타당성을 분석하는 것이다. 이를 위하여 1차년도에서 수행한 연구개발 내용 및 범위는 다음과 같다.

1. 인도네시아 마두라섬의 원자력 해수담수 플랜트 건설계획 수립

2015년까지 마두라섬의 에너지 및 물 수급계획을 수립하여 원자력 해수담수 플랜트에 대한 용량과 기술적인 사양을 결정하고 해수담수 플랜트 건설 일정을 설정한다. 마두라섬에 SMART 플랜트를 건설할 예비후보부지들을 선정하여 부지특성과 환경평가를 실시한다.

2. SMART 해수담수화 플랜트에 대한 기술성 평가

한국, 인도네시아와 IAEA 전문가들이 함께 SMART 원자로계통의 설계특성을 분석하고, 기술성을 평가하며, 해수담수화 공정과 용량을 결정하고 SMART 원자로와 담수플랜트의 연계개념을 수립한다. 이를 위하여 BATAN 전문가들이 한국에서 전문교육을 받은 후 공동연구에 참여하여 SMART 해수담수 플랜트의 기술성 평가와 안전성평가 업무를 수행한다.

3. SMART 해수담수 플랜트에 대한 경제성 평가

인도네시아, 한국, IAEA 전문가들이 함께 경제성평가를 위한 방법론을 개발하고, 기술적인 자료들과 경제적 입력자료를 준비하여 원자력 해수담수 플랜트 건설사업비를 산정하고 총 투자비를 분석한다. 또한 마두라섬에 건설하여 운영할 SMART 해수담수 플랜트의 발전단가와 해수담수생산 단가도 산정한다. 본 연구에서 수행한 경제성 평가와 민감도 분석하여 타 에너지원과 발전단가와 담수생산 단가를 비교 분석한다.

4. 마두라섬의 SMART 해수담수 플랜트 건설타당성 분석보고서 초안 작성

한국, 인도네시아와 IAEA 전문가들이 보고서의 목차를 확정하고 마두라섬에 건설할 SMART 해수담수 플랜트에 대한 타당성분석 보고서의 초안을 공동으로 작성한다.

5. 인도네시아의 원자력 해수담수 플랜트 사용자요건서 초안 작성

한국, 인도네시아와 IAEA 전문가들이 인도네시아의 원자력 해수담수 플랜트에 대해 플랜트 사용자가 요구하는 부지요건, 인허가요건, 기술성요건, 경제성요건 등을 포함하는 사용자 요건서 초안을 공동으로 작성한다.

제2장 마두라섬의 원자력 해수담수 플랜트 건설계획

제1절 마두라섬의 에너지 및 물 수급계획

1. 마두라섬의 전력수요 및 공급 계획

마두라섬은 인도네시아 East Jawa Province에 속해 있으며 Surabaya 해협에 의하여 분리되어 있다. 마두라섬의 면적은 부속 섬들을 포함하여 약 5,284km²로 Bangkalan, Sampang, Pamekasan 그리고 Sumenep의 4개 행정구역으로 나뉘어 있으며 약 3,131,000의 주민이 거주하고 있다.

마두라섬의 전력계통은 Java-Bali 전력망의 일부로 구성되어 있으며 전력수요 대부분은 Surabaya 해협의 해저에 설치된 2쌍의(2-pair) 150kV, 100 MVA/cable 용량의 Submarine power cable(용량/cable : 100 MVA)에 의하여 공급된다. 그러나 1998년 전력을 공급하는 해저 cable이 파손되어 약 3개월 동안 섬 전체에 걸쳐 정전되는 사태가 발생하였으며, 이를 계기로 섬 안에서 자체적으로 전력을 공급하는 방안에 대하여 현재 논의가 진행되고 있다. 마두라섬의 전력수요는 1992년 22.87MW를 기준으로 이후 년 평균 증가율 약 22%정도로 지속적으로 증가하여 왔다. 1998년 첨두부하는 75.75MW에 도달하였으며 이후 증가율이 다소 감소하여 1999년에는 81.0MW, 2000년에는 84.2MW를 기록하였다.

한편 마두라섬의 전력수요에 대한 인도네시아 전력회사 PLN의 전력수요 분석에 의하면 년 평균 증가율 4%를 가정하는 경우 2005년에는 102.31MW, 2015년에는 151MW의 전력수요가 필요한 것으로 분석되었다. 그러나 년 평균 증가율 4%는 전력수요의 증가를 과소 평가하는 값으로 보여지며, 현재 추진되고 있는 Surabaya 해협을 횡단하는 다리가 건설되면 마두라섬의 산업화가 촉진되어 급격한 전력수요의 증가가 예상된다. 그림 2-1은 인도네시아 전력회사 PLN에 의하여 분석된 전력수요 예측자료로 전력수요 증가율을 각각 4%/년(현 증가율 수준 유지), 6%/년, 10%/년을 가정하였다.

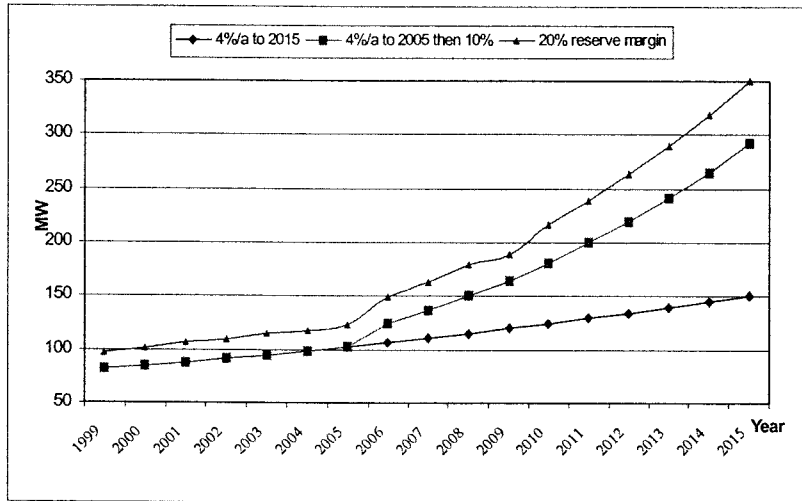


그림 2-1. 마두라섬의 첨두전력부하(MW) 증가 예측

2. 마두라섬의 물 공급 계획

마두라섬은 섬 전체에 물을 공급하기 위한 통합 물 공급 계통(integrated fresh water supply and distribution system)이 없으며, 각 지방 정부는 이들 정부의 수도인근 도시지역에 물을 공급하기 위한 독자적인 시스템 PDMA (Drinking Water Municipality Company)을 운영하고 있다.

이들 지방정부에서 운영하고 있는 물 공급 회사는 지하수와 강물을 정화하여 음용수로 공급하고 있으며, 120L/capita/day에 해당하는 물을 전체 섬 주민의 5.8%에 공급할 수 있는 물을 생산한다. 음용수위 수질기준은 WHO의 기준과 유사한 인도네시아 Health Department Standard를 적용하고 있다.

가. 물 수요 예측

표 2-1은 2000년을 기준으로 산정한 마두라섬의 물 수요량이다. 물 수요 예측에는 도시지역 거주 10% (물 수요: 120L/capita/day), 일반 소도시 거주 50%(물 수요 50L/capita/day)를 가정하였으며, 나머지 40%는 지하수 등 자체 수원을 사용하는 것으로 가정하였다. 산정된 평균 물 수요량은 37L/capita/day로 이들 결과를 표 2-1에 요약하였다.

표 2-1. 마두라섬의 물 수요 산정 결과 (2000년 기준)

| 구분 | 인구 | 물 수요 (10 ³ m ³ /day) | 물 수요 (million m ³ /년) |
|-----------|-----------|---|-------------------------------------|
| Bangkalan | 762,090 | 28.20 | 10.292 |
| Sampang | 715,322 | 26.47 | 9.662 |
| Pamekasan | 688,380 | 25.47 | 9.296 |
| Sumenep | 692,349* | 25.62 | 9.351 |
| Total | 2,858,141 | 105.75 | 38.602 |

* 작은 부속 섬은 제외

표 2-2는 물 수요와 공급의 비교표이다. 이 표에서 보는 바와 같이 PDAM이 공급하는 물은 전체수요의 1/4~1/5 정도이다. 각 지역에서 요구되는 물 수요 (37m³/capata/day)를 충족하기 위한 용량은 18,000~23,000m³/day로 추정된다.

표 2-2. 물 수요·공급 비교표

| 구분 (손실율) | 인구 | 물 생산량 m ³ /년 | 물 수요 10 ³ m ³ /day | 물 공급 10 ³ m ³ /day | 물 공급 10 ³ m ³ /day |
|--------------------|-----------|----------------------------|---|---|---|
| Bangkalan (26%) | 762,090 | 2,522,535 | 28.20 | 6.92 | 5.11 |
| Sampang (35%) | 715,322 | 2,244,239 | 26.47 | 6.15 | 4.00 |
| Pamekasan (21%) | 688,380 | 2,097,570 | 25.47 | 5.69 | 4.50 |
| Sumenep (18%) | 692,349* | 2,829,268 | 25.62 | 7.75 | 6.36 |
| Total | 2,858,141 | 9,673,612 | 105.75 | 26.50 | 19.97 |

* 작은 부속 섬들은 제외

나. 식수 및 산업용수 개발계획

현시점에서 마두라섬의 미래의 물 수요를 예측하는 것은 매우 어려운 문제이다. 현재 마두라섬은 소규모의 산업체 및 가내공업이 주류를 이루고 있으며 앞으로 관광산업의 활성화, 식품 및 음료 제조, Batik Processing 등과 같은 중간 규모의 산업체와 광산 및 석유화학계열의 산업체 유치를 희망하고 있다.

현재 마두라섬의 음용수 및 산업용수를 공급하기 위한 중장기적인 계획은 설정되어 있지 않으나 2007년까지 약 4000m³의 신규용량을 추가할 예정이며, 2010년까지는 산업용수 공급 목적의 2000m³/day 용량 담수플랜트를 추가 건설할 계획으로 있다. 그러나 주민들의 생활환경 개선, 기존 산업의 활성화 및 새로운 산업체 유치를 위해서는 음용수 및 산업용수 공급의 확대가 시급한 실정이다.

제2절 마두라섬의 부지특성 및 환경평가

1. 부지특성

원자력 해수담수 플랜트의 건설 후보 부지는 마두라섬의 북쪽 해안에 위치하고 있다. 마두라섬 북쪽해안은 해발 0-25m의 비교적 저지대로 충적토와 퇴적암으로 구성되어 있으며 배사구조의 북쪽 가장자리(North limb)에 위치하고 있다. 마두라섬은 Klampis와 Sepulu를 연결하는 지역, Lebak와 Legung를 연결하는 지역을 제외하고 단층이 형성되기 어려운 지형이다. 이들 지역에서의 단층의 방향은 NNE-SSW이다. 북쪽해변에서는 지층(stratification)이 발견되지 않았으며 일부지역에서는 절리구조(joint structure)가 형성되었다.

섬 북동부 지역의 지하수는 지표면에서 8-24m 깊이에 있다. 해양학적인 관점에서 작성된 심해지도에 의하면 해안선으로부터 1km 떨어진 지점에서 지하수는 서부지역은 0-6m, 동부지역은 0-8m 깊이에 위치하고 있다. 마두라섬은 열대성 기후이며 주변 East Java와 비교하면 년중 4개월의 건조기를 가진다. 년 평균 강수량은 1000-1500mm 이다.

원자력 플랜트의 안전성 확보와 관련한 내진설계는 매우 중요하다. 이와 관련하여 과거 500년 동안 마두라섬에서 발생한 지진활동도 자료로부터 분석한 결과에 따르면 Basement rock의 가진속도는 0.1-0.15g 정도로 평가되었다.

2. 원자력 해수담수 플랜트의 부지선정 기준 및 평가

마두라섬에 건설될 원자력 해수담수 플랜트 건설 후보부지는 발전, 담수 생산 및 소금 제조를 고려하여 다음과 같은 선정기준을 설정하였다.

- 해변으로부터의 거리 < 1km
- 지표면의 고도 : 해발 10-15m
- 인근 주거지역으로부터의 거리 > 1km
- 부지면적 > 1km²
- 기존 도로에서의 거리 < 1km

이러한 선정기준과 문헌 조사를 통한 연구결과를 종합하여 마두라섬의 북쪽 해안에 8곳의 후보부지를 선정하였다. 선정된 부지는 Ketapang (MD-01), Ketapang (MD-02), Pasongsongan (MD-03), Dasuk Barat (MD-04), Kebak/Bantelan (MD-05), rabiyan/Ketapang (MD-06), Banyuaes (MD-07), 그리고 Klampis (MD-08) 로 그림 2-2는 이들 부지의 위치를 보여 주고 있다.

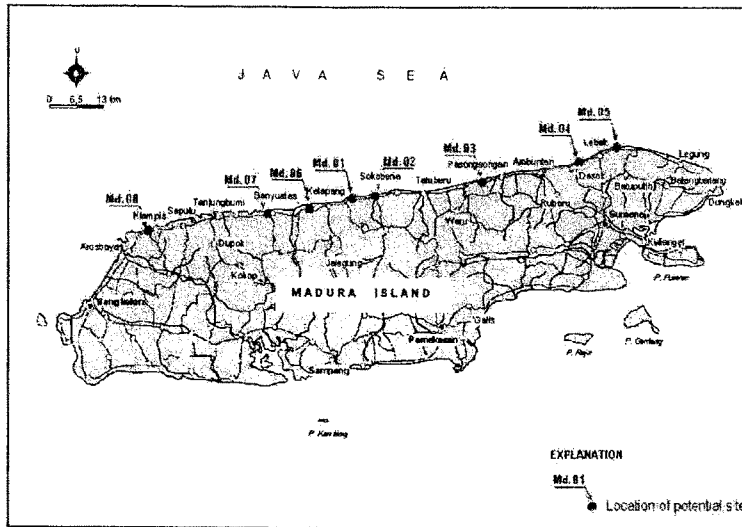


그림 2-2. 원자력 해수담수 플랜트 후보 부지의 위치

이들 부지의 평가에는 지진 활동도(seismicity), 지질학적 구조, man induced event(MIE), 지형학, 해양학, 암석학, 기후 및 기상학, 수문학(hydrology) 등 다양한 관점에서의 평가 요소가 고려되었다. 이들 다양한 평가요소 가운데 지진 활동도, 기후 및 기상과 관련된 항목은 마두라섬의 북쪽 해안지방은 전지역에서 큰 차이가 없기 때문에 이들 항목은 고려하지 않았다.

이들 후보부지의 서열(Ranking)을 정하기 위하여 적용된 평가 요소 및 평가 기준은 표 2-4과 같다. 이들 기준을 적용하여 평가된 이들 후보부지에 대한 예비평가결과는 표 2-3와 같다.

표 2-3. 예비후보부지에 대한 예비평가 결과

| Ranking | Location | | Score |
|---------|----------|--------------------|-------|
| | Number | Area | |
| I | Md. 02 | Ketapang | 293 |
| II | Md. 01 | Ketapang | 271 |
| III | Md. 03 | Pasongsongan | 240 |
| IV | Md. 05 | Bantelan | 218 |
| V | Md. 07 | Banyuates | 215 |
| VI | Md. 04 | Dasuk Barat | 195 |
| VII | Md. 08 | Klampis | 164 |
| VIII | Md. 06 | Rabiyang, Ketapang | 163 |

표 2-4. 마두라섬의 원자력 해수담수 플랜트 부지 평가 기준

| 평가항목 | 평가요소 | 배점 |
|--------------------------------|--|----|
| <i>Seismicity</i> | - Ground acceleration for period of 500 years: 0.1~0.15G, not to be accounted | - |
| <i>Geological Structure</i> | - Unfracturated | 4 |
| | - Low fractured | 3 |
| | - Medium fractured | 2 |
| | - High fractured | 1 |
| <i>Man Induced Events</i> | - > 75 km | 4 |
| | - 50 ~ 75 km | 3 |
| | - 25 ~ 50 km | 2 |
| | - < 25 km | 1 |
| <i>Topography</i> | - Elevation >10 m above sea level (asl) | 4 |
| | - Elevation 7.5 ~ 10 m asl | 3 |
| | - Elevation 5 ~ 7.5 m asl | 2 |
| | - Elevation < 5 m asl | 1 |
| <i>Morphology</i> | - Flatty | 4 |
| | - Wavy | 3 |
| | - Hilly | 2 |
| | - Depressive | 1 |
| <i>Oceanography</i> | - Steep sea bottom with clean water | 4 |
| | - Steep sea bottom with muddy water | 3 |
| | - Slightly sea bottom with clear water | 2 |
| | - Slightly sea bottom with muddy water | 1 |
| <i>Lithology</i> | - Limestone, thickness of soil <1 m | 4 |
| | - Limestone, thickness of soil 1 ~ 2 m | 3 |
| | - Limestone, thickness of soil >3 m | 2 |
| | - Alluvial, both river alluvial or coast alluvial include sand dune | 1 |
| <i>Land Use</i> | - Fallow land, no planned | 4 |
| | - Fallow land, planned | 3 |
| | - Fertile land, planned based on the weather | 2 |
| | - Fertile land, planned not based on the weather | 1 |
| <i>Demography</i> | - No house sporadic (< 10 houses/km ²). | 4 |
| | - Sporadic houses (10 ~ 30 houses/km ²). | 3 |
| | - Many houses (30 ~ 50 houses/km ²). | 2 |
| | - Very close houses (> 50 houses/km ²). | 1 |
| <i>Meteorology and Climate</i> | - No significant difference, not to be considered | - |
| <i>Hydrology</i> | - < 5 m from surface | 4 |
| | - 5 ~ 10 m | 3 |
| | - 10 ~ 15 m | 2 |
| | - > 15 m | 1 |
| <i>The form of the Coast</i> | - Gentle | 4 |
| | - Medium | 3 |
| | - Steep | 2 |
| | - Very steep | 1 |

제3절 마두라섬의 원자력 해수담수 플랜트 건설추진 일정

1. 인도네시아의 원자력발전계획

가. 에너지 현황 및 에너지 정책

인도네시아는 많은 수의 섬으로 이루어진 국가로서 다양한 에너지 자원을 보유하고 있으나 2억의 인구중 65%가 Jawa, Bali 섬 주변에 거주하고 있으며 80%의 전력을 소비하고 있는 특색을 가지고 있다.

그동안 인도네시아는 1969~1994년까지 1차 장기 경제개발계획에서 에너지 공급은 문제가 없었으며 에너지 소비는 9.4%가 증가하였다. 1994~2019년까지 2차 장기 경제개발계획에 의하면 에너지 수요가 7.2% 증가로 인하여 석유수출국에서 수입국으로 전환될 것으로 예상되며 거시적 경제지표로 인구의 감소가 예상된다. 동 기간의 전력생산 방법이 다양하게 제시되었으나 에너지원의 다양성, 보존성 및 환경보호성을 종합적으로 감안하여 원자력발전소가 최적의 방법으로 제시되었다.

인도네시아는 에너지 확보를 위한 정책으로 적절한 가격으로 에너지를 공급하고, 국민생활을 향상시키며, 경제를 성장시키고, 석유 수출을 통한 국가 개발기금 조달을 위하여 석유 및 가스의 적절한 보유 및 공급을 설정하는 등 4대 에너지 주요정책을 수립하였으며 이를 수행하기 위하여 국가 에너지 자원의 개발을 확대하고 석유에서 가능한 타 에너지로 에너지를 다양화하며 에너지 사용을 효율화한다는 정책을 수립하였다. 한편 석탄 등을 가스 및 액체화시켜 석유를 대체할 수 있는 기술개발과 잠재력 있는 에너지를 개발하여 지속적인 에너지 공급 및 환경 친화적이며 지속적으로 개발할 수 있는 깨끗하고 효율적인 에너지 기술 개발을 지원한다는 세부실천방안을 수립하였다.

나. 인도네시아의 원자력발전

인도네시아는 앞서 기술한 에너지 정책을 구현하기 위한 일환으로 1970년대 말부터 원자력발전에 대한 검토 및 건설가능성 조사에 착수하였으며 그 주요내용은 다음과 같다.

- 1978~1979 Italy 정부의 도움으로 수행
- 1985년 미국 Bechtel, 프랑스 Sofratome 및 이태리 CESEN에 의거 가능성 조사 : 1차 조사의 upgrade
- 인도네시아 정부는 BATAN이 주축이 되어 NPP 건설을 위한 사전에 다각적인 타당성조사 실시 (연구용 원자로, 핵연료, 방사성폐기물 관리, 시설안전 엔지니어링)

- 1990년부터 NPP 소개 및 원자력 기술에 대한 평화적 이용에 대한 국민 이해의 중요성 인식
- 1975년부터 NPP 건설지역으로 자바섬의 Muria 반도지역 선정
- 1989.9 Muria 반도에 NPP 건설을 위한 타당성을 포함한 전체적인 조사를 실시하기로 결정

(1) 1991년 8월부터 4년반 동안 원자력발전소 건설부지 결정 및 평가, 건설가능성 연구, Jawa 지역의 비용요소를 포함한 다음 2개 사항을 평가하였다.

- 건설지역 연구를 제외한 기타 모든 사항, 에너지 경제 및 비용, 기술 및 안전, 핵연료주기 및 폐기물 관리, 기타 일반관리
- 지역 및 환경평가, 지역선정에 따른 투자평가, 지역관리평가, 사회경제 및 문화 관련

(2) IAEA 권고 및 BATAN의 감독하에 수행된 보고서가 1993년 9월에 제출되었으며 결과는 다음과 같다.

- 2000년대 초기에 900MWe 또는 600MWe 용량의 Jawa-Bali grid system으로 하는 것이 무리가 없음
- 600MWe의 NPP가 동일한 규모의 de-SOx, de-NOx 석탄발전소와 비용면에서 경쟁력이 있음
- 전력생산 단가에 있어서도 BOO¹⁾와 BOT²⁾가 모두 저렴함
- PWR, BWR 및 PHWR 등 모든 로형 건설이 가능함
- 사용후 연료의 직접 처분 등 첫 NPP 가동후 20년 이내에 국가 전략에 의거 결정하여야 함
- NPP 건설후보지로서 Ujung Lemahabang이 최적의 후보지이며 차선으로 Ujung Grenggengan 및 Ujung Watu가 있음

(3) NEWJEC Inc.는 본 타당성 연구를 1991년 11월에 시작하여 1996년 5월에 완료하여 지역, 환경, 사전 안전성 분석 및 환경평가서를 제출하였으며, 그 내용은,

- NPP는 전력의 안정적인 공급, 석유의 보존 전략, 유해한 오염물질로부터의 환경보호를 위하여 Jawa-Bali 전력회사가 담당하는 것이 바람직함
- Ujung Lemahabang은 Muria 반도 북쪽 해안에 위치한 500헥타의 지역으로 기술적·경제적인 면에서 NPP 후보지로 최적임

1) Build, Operate and Own

2) Build, Operate and Transfer

그 후 2000년 BATAN은 IAEA와 한국원자력연구소간 3자 협력 형태의 SMART 건설에 대한 예비타당성조사 연구를 착수하기로 하고, 인도네시아의 지리적·사회적 여건하에서 검토한 결과 우리 SMART의 규모가 에너지 수급 규모에 적합한 것으로 평가되었으며 이의 결과로 2002년 초부터 3년 예정으로 인도네시아 마두라섬에 2015년에 SMART 2기 건설에 대한 예비타당성 연구가 진행되고 있다.

다. 건설 추진 일정

2002년부터 2003년까지 IAEA, BATAN과 한국원자력연구소 간에 인도네시아 마두라섬에 SMART 원전 2기를 건설하기 위한 예비타당성 조사연구를 수행하고 있으며, 연구결과를 근거로 2004년에 인도네시아 정부의 건설 여부 결정이 예상된다. 건설후보지는 2003년부터 후보지를 선정하기 위한 준비에 착수하여 2004년에 부지조사를 수행하고 2005~2006년까지 부지 평가를 수행할 것으로 잠정적으로 계획 중이다.

예비타당성 조사연구기간중에 원자력 해수담수 플랜트 설계·건설과 관련된 사용자요건(URDND: User Requirement Document of Nuclear Desalination) 초안이 작성되고 이를 검토·조정하여 2007년까지 최종 확정하고, 동시에 2007년부터 본격적인 타당성 연구를 수행하여 2009년부터 기본설계를 수행하고 2011년부터 상세설계에 착수하여 2012년 전반기에 건설허가(Construction Permit)를 획득하여 2015년까지 시운전을 마치고 운영허가를 획득하여 준공할 예정이다.

상기한 인도네시아의 사회적 여건을 고려하여 SMART가 인도네시아의 마두라섬에 건설될 경우를 예상하여 현재 진행하고 있는 예비타당성 조사연구에 인도네시아측과 적극적 협조가 필요할 것으로 판단되며 가능한 범위 내에서 SMART의 경제적 우수성과 높아진 안전성을 인식시키도록 노력함으로써 우리나라의 고유 모델인 SMART 플랜트 수출이 이루어지도록 노력해야 할 것이다. 특히 인도네시아는 인구 2억의 개발도상국가로서 다양한 자연 에너지를 보유하고 있으나 석탄을 제외하고는 풍부하지 않으며 지속적인 경제발전을 위하여 다량의 에너지 공급이 필요할 것으로 예상된다. 석유는 과거 국가경제에 발전에 이바지하여 왔으며 LTDP-II 목표달성을 위하여 수출, 운송, 비축물자로 중요하나, NPP의 도입은 인도네시아에 여러 가지로 도움이 될 것이며, 특히 국가 및 민간이 참여하여 이를 실현할 수 있을 것이므로 본 공동연구를 통한 관련 기관 간에 우호적인 관계를 설정하여 지속적인 기술 협력관계를 유지하는 것이 필요할 것이다.

제4절 인도네시아의 원자력 해수담수 플랜트 사용자 요건서

일반적으로 사용자 요건은 설계·건설될 플랜트에 대해서 플랜트 사용자가 제시하고 요구하는 요건이다. 즉, 대상 플랜트가 설계, 건설, 운전시 만족시켜야 하는 요건인 것이며, 요건들을 총체적으로 종합한 것이 요건서이다. 대부분의 사용자 요건은 크게 플랜트의 안전성 관련, 성능 관련, 건설성 및 유지보수성 관련, 경제성 관련 요건으로 나뉘어지며 매우 핵심적이고 기본적인 사항들이다.

인도네시아의 원자력 해수담수 플랜트에 대한 사용자요건은 크게 부지 적용 요건, 인허가 요건, 기술성 요건, 핵연료주기 및 폐기물관리 요건, 경제성 요건, 그리고 기타 요건으로 나뉘어져 있다. 기술성 요건은 원자력계통 안전성/성능/설계관련 기술요건, 담수플랜트 설계요건, 플랜트 종합 요건 등으로 구성되어 있다. 원자력 해수담수 플랜트에 대한 인도네시아의 이러한 사용자 요건은 본 공동연구를 위한 기본요건으로 사용함과 동시에 향후 인도네시아가 본격적으로 플랜트 건설사업을 추진할 시

- 원자력 해수담수 플랜트에 대한 인허가 기준 정립용 기본자료,
- 표준화된 플랜트 설계요건 및
- 플랜트 건설 투자자들의 신뢰성 확보를 위한 기술성 요건으로 사용이 예상된다.

인도네시아 마두라섬의 전력수요는 2015년경 221~292MWe로 전망되어 100~200MWe 급의 원자력발전소가 전력 수요를 담당할 가능성이 높은 해결 방안으로 고려되고 있으며, 또한 지역의 물 수요는 18,000~27,000톤/일에 이를 것으로 예상되나 급격한 공급량 확보 대신 점차적인 확보전략으로 접근할 예정이다. 이러한 전략에 바탕을 두고 잠정적으로 정립된 사용자 요건의 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 부지 적용 요건

플랜트 건설 후보 부지는 마두라섬 북쪽 해안지역인 Ketapang을 잠정적으로 대상으로 하고 있으며, 동 부지에 100MWe급 원자력플랜트 2기와 해수담수 플랜트를 건설하는 것을 대상으로 하여 설정된 주요 요건들은 다음과 같다.

- o Peak Ground Acceleration : 0.4g
- o 해수온도 범위 : 28℃ ~ 31℃
- o 플랜트는 자연재해(지진, 홍수, 태풍 등)와 사보타지 등 인위적 재해에도 건전성을 유지할 것
- o 방사성물질 누출에 대한 설계는 ALARA 개념을 적용하고, 가스 및 액체 방사성물질 허용누출량은 ICRP규정과 인도네시아 규정을 만족시킬 것
- o 해수의 방사성 오염도는 담수플랜트 급수에 미치는 영향이 없도록 할 것
- o 비상계획구역 : 800m

2. 인허가 및 공중보건 보호 요건

원자력발전소 및 원자력 해수담수 플랜트는 일반국민 및 플랜트 종사자의 안전확보와 환경보호 측면에서 인허가 검토가 이루어질 것이며 인도네시아 자국의 법규 및 규정이 적용된다. 다만 특수한 기준이 없을 경우에는 IAEA의 관련기준과 공급자측 기준을 적용할 예정이다. 인허가관련 법규, 정책, 절차를 설정할 시 IAEA 안전절차와 관련 자료가 사용될 예정이므로 플랜트는 IAEA의 안전관련 기준을 만족시켜야 한다. 인허가는 부지선정, 건설, 운영, 폐쇄 등 전반에 걸쳐 적용된다. One-step 인허가 절차 방안도 검토될 전망이다. 공급자의 기술은 공급자측에서 인허가를 받을 수 있는 기술이어야 하며, 피동안전기술 및 개선된 ESF 기술은 인허가 절차를 단순화시키는 방안이 될 수 있다.

가. 안전성 요건

플랜트는 주민 및 환경 친화적이어야 하며, 이를 위해서 안전성이 확보 되도록 심층방호개념 적용과 고유안전성기능을 제고시키는 것을 고려하여야 한다. 사고 저항성과 관련하여서는

- o 노심의 안전성 확보를 위해 15% 이상의 열적여유도 확보
- o 사고시 노심의 냉각구조 유지와 방사성물질의 밀폐성이 확보되어야 하며, 사고예방 및 사고완화 개념이 확보되어야 한다.

안전계통은 가동성 및 신뢰성 제고를 위해 단순화된 피동계통 사용을 극대화시키고 PRA를 수행하여

- o 노심손상빈도를 $1 \times 10^{-5}/\text{ry}$ 미만,
- o 중대사고시 부지경계선에서의 피폭량이 25Rem(0.25 Sv) 미만과 누적빈도가 $1 \times 10^{-6}/\text{y}$ 미만이 됨을 확인하여야 한다.

또한 Station Blackout Coping Time은 8시간 이상(피동원자로 경우 무한대), 피동원자로의 설계기준사고시 운전원 유예시간은 72시간 이상이 확보되어야 하며, 플랜트는 작업종사자 피폭량이 1 man Sv/ry 이하가 되도록 설계·건설되어야 한다

나. 성능 요건

최초호기 중소형 원자로 플랜트는 기본적으로 기저부하를 담당하게 되나 후속호기는 100-50-100% 출력변동 부하추종능력을 갖추어야 한다. 플랜트는 전력 및 물을 생산할 수 있는 다목적 플랜트가 되어야 하며, 만족시켜야 하는 주요 성능 요건은

- 90% 이상의 가동을 확보
- 불시정지빈도는 1/yr 미만이어야 하고, 자동적인 출력조절기능을 확보
- RPV 설계수명은 60년 등이며,

특히 플랜트 설계과정에서 사용된 성능평가 방법론은 플랜트 사용자에게 제공되어야 한다.

다. 원자력 플랜트 설계 요건

인도네시아에 건설될 최초의 원자력 해수담수 플랜트는 4년동안 운전된 참조 플랜트가 있는 입증된 설계이어야 한다. 따라서 플랜트 설계철학으로서 원형 플랜트가 필요하지 않은 입증된 기술을 사용하여야 하며, 설계, 건설, 운전의 전 과정 동안 통합정보관리체계를 적용하여야 한다. 적용될 주요한 설계 철학을 요약하면 다음과 같다.

- 설계단순화 및 충분한 설계여유도 확보
- 운전 단순화와 인간의 실수를 최소화 할 수 있는 개량 MMIS 적용
- 플랜트 기기의 표준화 및 모듈화
- 최초 콘크리트 타설부터 건설소요시간은 42개월 이하
- 용이한 유지보수
- 공급자 측 Codes & Standards 적용 (단 인도네시아 측 C&S 가 있을 시 우선 적용)
- 플랜트 설계시 플랜트 해체에 대한 고려 적용 등

라. 담수플랜트 설계 요건

담수 플랜트는 수명 기간 중 원자력 플랜트에 영향을 미치지 않고 운전·유지·관리되어야 한다. 이에 따라 원자력 플랜트에 적용된 요건과 일치하는 개념의 설계 요건이 적용되며, 주요한 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 입증된 담수기술 사용과 플랜트 운전의 단순화
- 계통 및 기기의 신뢰성 제고가 확보되도록 충분한 설계여유도 확보
- 운전·유지·보수의 용이성 확보와 환경 친화적 플랜트
- 기기의 표준화 및 모듈화
- 생산 담수의 방사성 오염 방지 방안 확보
- 국제적으로 통용되는 Codes & Standards 만족 등

마. 원자력 해수담수 플랜트 종합 요건

원자력 해수담수 플랜트는 원자력 플랜트와 담수 플랜트의 연결에 중점을 둔 설계요건이 강조된다. 즉, 생산 담수의 방사성 오염방지, 담수 플랜트의 이상 거동에 의한 원자력 플랜트에의 영향 방지 등이 그러한 요건들이다. 또한 원자력 플랜트의 운전정지시 지속적 담수생산을 위한 별도의 에너지원이 요구된다.

바. 핵연료주기 및 폐기물관리 요건

핵연료는 성능이 입증된 것으로 인허가가 확실한 최신 설계여야 하며, 원자로 공급자는 초기 노심, 2개의 교체 노심과 예비(Spare) 핵연료를 공급하여야 한다. 사용후핵연료는 플랜트 현장에 저장하며, 저장조는 필요하다면 플랜트 전 수명의 연료를 저장할 수 있도록 확장 가능해야 한다. 폐기물처리계통이 갖추어져야 하며 처리된 폐기물은 플랜트 현장에 일시적으로 저장한다. 생산된 폐기물은 고화 폐기물로 환산하여 30톤/600MWe·year 미만이어야 한다.

사. 경제성 요건

원자력 해수담수플랜트의 경제성평가에는 전력 및 물 생산이 반영되어야 하고, 전력생산가는 정화계통이 갖추어진 석탄 플랜트의 전력생산가보다 낮아야 한다. 또한 플랜트의 전 수명동안 예상되는 기기의 교체 비용, 폐기물 및 사용후연료 저장에 소요되는 비용, 플랜트 폐쇄비용이 포함되어야 한다.

아. 기타 요건

최초의 원자력 해수담수 플랜트는 Turn-Key 형태의 구매가 선호된다. 플랜트의 설계, 건설, 운전 등에 필요한 인력에 대한 훈련, 교육 등을 통한 인력개발이 이루어져야 하고, 또한 수요자 측의 프로젝트 수행 참여와 함께 협의된 형태의 기술전수가 이루어져야 한다. 공급자는 플랜트의 인허가를 위한 기술지원을 공급해야 한다. 이외에도 본 요건에는 보증, 기술지원 등에 대한 사항을 기술하고 있다.

제3장 SMART 해수담수 플랜트 건설을 위한 기술성평가

제1절 SMART 해수담수 플랜트의 설계 특성

1. 개요

SMART 원자로는 일반적인 가압경수로형 Loop형 원자로와는 달리 일차냉각재계통 및 주기가 연결 배관 없이 한 개의 압력용기 내에 배치되어 일차계통 유로를 형성하는 일체형원자로(Integral Reactor)이다. 즉, 핵연료 및 노심, 12개의 증기발생기, 1개의 저온 자기가압기, 12개의 제어봉 구동장치와 4개의 주냉각재펌프가 한개의 원자로 압력용기 내에 설치되어 있는 원자로이다. 주기기간 배관 연결 없이 주기를 원자로 압력용기 내에 설치함으로써 기존의 Loop형 원자로가 가지는 대형 냉각재 상실사고를 원천적으로 배제하는 특성을 가지고 있다.

그림 3-1의 SMART 핵증기공급계통 구성도에서 보여지는 바와 같이 노심에서 생성된 열을 증기발생기를 통해 이차측으로 전달해주는 일차계통은 매우 단순하다. 일차냉각재계통의 유로는 원자로 압력용기 내에서만 형성되고 압력용기 내에 설치되어 있는 증기발생기 세관 내부를 흐르는 이차계통 급수에 열을 전달하게 된다. SMART 원자로 계통 구성은 일차계통 유로가 형성되는 원자로 집합체를 포함한 원자로냉각재계통, 잔열제거계통, 비상노심냉각계통, 비상붕산수주입계통, 충수계통, 정화계통, 기기냉각계통 및 안전보호용기로 이루어진다. 잔열제거계통은 4개의 계열로 이루어져 증기 추출, 급수공급 중단사고, 전원공급 상실사고 등의 경우에 원자로 노심붕괴열을 제거한다. 비상붕산수주입계통은 제어봉에 의한 원자로 운전정지 불능시 원자로 정지를 위한 계통이며 충수계통과 연결되어 있다. 비상노심냉각계통은 소형 냉각재상실사고 등의 경우에 노심의 안전성 확보를 위해 냉각수 주입을 통한 노심 냉각기능을 수행하며 2개의 계열로 구성되어 충수계통과 연결되어 있다. 충수계통은 운전초기의 일차 냉각재 및 운전중 일차 냉각재의 누설량을 보충하는 주기능을 가지며 2개의 계열로 이루어진다. 원자로가 계획정지 또는 보수를 위한 정지 운전시 원자로 냉각재의 수질을 제어하고 정화하기 위한 정화계통은 off-line으로 연결되어 있으며, 또한 SMART 원자로의 정상운전중 주냉각재 펌프, 제어봉 구동장치, 가압기, 내부차폐수조의 냉각기 등에 냉각수를 공급하여 기기에서 발생하는 열을 제거하는 기기냉각계통이 있다. SMART 원자로계통에서 특이하게 존재하는 안전보호용기는 사고시 노심손상을 방지하고 방사능 물질의 외부 노출을 억제하는 기능을 수행하며 대부분의 원자로계통을 그 내부에 포함하고 있다.

SMART 핵증기공급계통의 주요 설계변수와 구성도는 표 3-1과 그림 3-1과 같다. SMART 핵증기계통을 구성하는 주요계통으로는 일차계통, 잔열제거계통, 기기냉각계통, 충수계통, 정화계통, 비상노심냉각계통, 비상붕산수주입계통 등이 있으며, 해수담수 플랜트와의 연계개념에 대해서는 제3절에서 별도로 기술되어 있다.

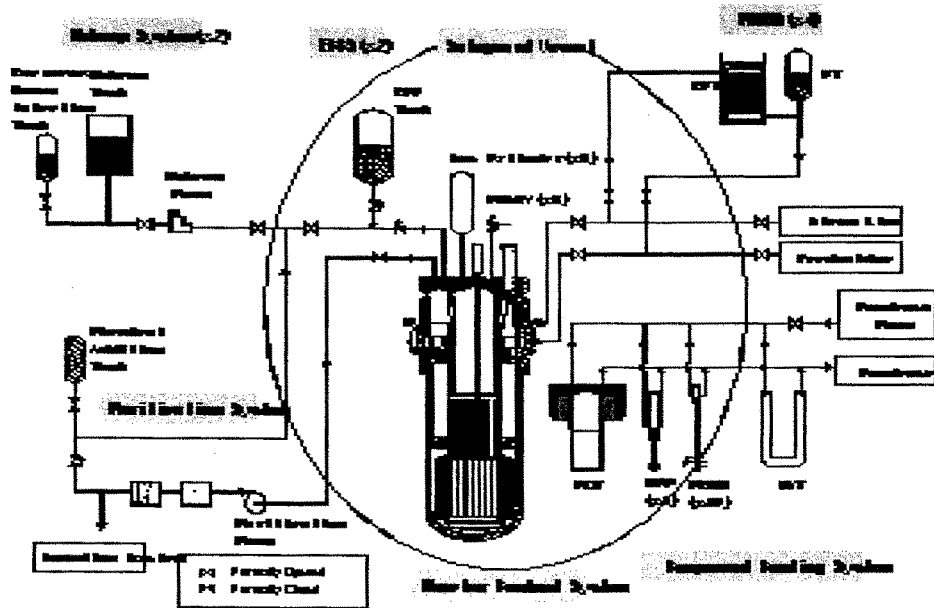


그림 3-1. SMART 핵증기공급계통 구성도

표 3-1. SMART 주요 설계변수

| 항목 | 주요 설계변수 | 항목 | 주요 설계변수 |
|-----------|---------|--------------|------------|
| 원자로심 출력 | 330 MWt | 원자로심 출구온도 | 310 °C |
| 설계수명 | 60 년 | 일차냉각재 유량 | 1585 kg/s |
| 재장전 주기 | 36 개월 | 주증기 압력 | 3.0 MPa |
| 평균 이용율 | 90 % | 주증기 온도 | ≥274 °C |
| 일차계통 설계압력 | 17 MPa | 주급수 온도 | 180 °C |
| 일차계통 운전압력 | 15 MPa | 2차계통 증기생산 능력 | 152.5 kg/s |
| 원자로심 입구온도 | 270 °C | | |

2. 일차계통

일차계통은 원자로냉각재의 강제순환 또는 자연순환에 의해 노심에서 생성된 열을 증기발생기를 통해 이차계통으로 전달하는 기능을 한다. 원자로 압력용기내에는 제어봉 구동장치 49개, 주냉각재펌프 4대, 증기발생기 카세트 12개, 가압기 등의 주요 기기가 위치하고 있으며 가압기 상부에 배관으로 연결되어 가스실린더가 위치하고 있다. 그림 3-2는 SMART원자로집합체를 표시하며, 주요기기가 압력용기 내부에 배치된 형태를 보여준다. 일차계통은 고온 고압상태에서 운전하는 원자로냉각재의 압력경계를 유지하는 기능을 하며 일차계통 압력경계는 모두 원자로 압력용기내 유지된다. 일차계통 압력경계라 함은 구체적으로 원자로 압력용기, 개스실린더, 그리고 원자로 압력용기를 관통하여 외부로 연결되는 배관의 두 번째 격리밸브까지로 정의된다. 일차계통내 냉각재 유로는 노심, 주냉각재펌프, 증기발생기, 노심 순으로 형성된다. 원자로 압력용기 상부헤드에 걸쳐 설치되어 있는 주냉각재펌프에 의해 냉각재 유로는 원자로 압력용기 중앙하부에 위치하는 노심과 원자로 압력용기 방벽과 내벽사이의 환형공간에 위치하는 증기발생기 사이에 강제순환유동이 형성된다. 일차계통은 증기발생기 전열관 바깥쪽으로 뜨거운 일차측 냉각재가 흐르고 전열관 안쪽으로 이차측 급수가 흘러 이차측으로 열전달이 이루어진다. 전열관내의 급수는 일차측으로부터의 열전달에 의해 가열되며, 이로 인해 발생된 과열증기는 증기발생기 헤더를 통해 터빈으로 방출된다. 일차계통은 주냉각재펌프 회전축 속도, 주냉각재펌프 운전 대수 및 이용 가능한 증기발생기 구역 수에 따라 원자로출력 범위를 달리한다. 일차계통내 냉각재의 수질은 핵연료를 비롯한 주요 기기의 부식을 방지하기 위해 엄격히 관리된다.

가. 노심 및 핵연료

핵연료집합체는 17×17 격자배열로서 264개의 핵연료봉과 지지격자에 용접된 25개의 안내관으로 구성되어 있으며, 상단과 하단은 각각 상단고정체와 하단고정체가 부착되어 있다. 25개의 안내관 중 핵연료집합체의 중앙에 위치하고 있는 1개의 안내관은 노내계측기가 장전될 핵연료집합체에 노내계측기를 설치하기 위한 것이고 나머지 24개의 안내관은 제어봉 삽입시 제어봉을 유도하는 역할을 한다.

핵연료는 세라믹 소결체 형태로 된 이산화우라늄이며, 가압된 Zircaloy 피복관 내에 밀봉된다.

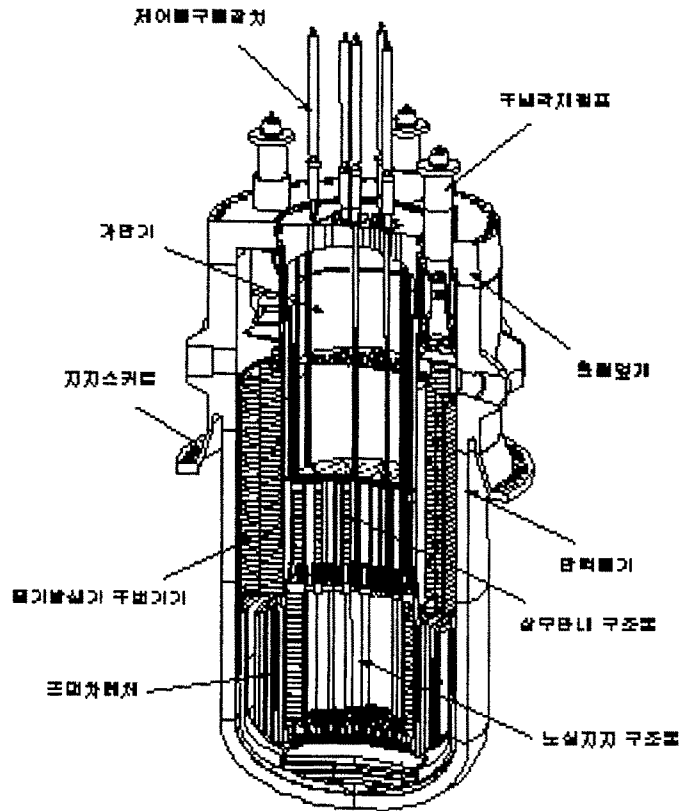


그림 3-2. SMART 원자로 집합체

핵연료봉 설계

일반적인 핵연료의 설계요건들로는 원자로의 정상 운전 및 운전 중 예상되는 과도 상태에서 핵연료가 손상되지 않고, 사고시 제어봉의 삽입이 필요할 경우 제어봉의 삽입을 방해할 정도로 심하게 손상되어서는 안되며 노심의 냉각성이 유지되어야 하는 것 등이 있다.

SMART 노심 핵연료는 900MWe PWR의 핵연료인 17x17 표준형 핵연료의 설계를 기본으로 사용한다. UO₂ 소결체와 Zircaloy-4 피복관을 사용하며, 연료봉의 상부에는 플레넘이 있어서 UO₂ 소결체로부터 방출된 핵분열 기체를 수용하며, 플레넘에는 압축 스프링을 삽입하여 핵연료 소결체의 상하 이동을 방지한다. 핵연료봉의 외경은 9.5mm 이고 소결체의 외경은 8.05 mm이며, 피복관의 두께는 0.64mm이다. 핵연료봉 내 핵연료소결체의 적층 길이(핵연료 유효 길이)는 2,000mm로써 17x17 표준형 핵연료봉의 길이 3,658 mm의 55% 정도이다.

핵연료 피복관

핵연료 피복관은 Zircaloy-4가 사용된다. Zircaloy-4는 중성자 흡수율이 낮고 물에 대해 내부식성이 우수하여 대용량 상용 PWR 핵연료의 피복관으로 널리 사용되어 왔는데, 연소도 60,000MWD/MTU 이상까지 노내에서 성능이 충분히 검증되었다.

Zircaloy-4 피복관의 부식에 영향을 주는 인자들로는 피복관의 온도에 영향을 주는 핵연료 출력과 냉각수 화학 등이 있다. SMART 핵연료의 평균 출력은 PWR보다 약 40% 작으며, 최대 출력을 내는 핵연료봉도 대용량 상용 PWR 핵연료봉보다 크지 않을 것으로 예상된다. 그러나 SMART 원자로의 1차계통 냉각수의 화학 조건은 대용량 상용 PWR과는 달리 노심의 반응도를 제어하는 붕소가 전혀 사용되지 않으며, 따라서 붕산에 대응하여 냉각수의 pH를 중화시켜 주는 Lithium도 사용되지 않는다. 그리고 물의 방사 분해를 억제하기 위해 PWR에서는 수소를 직접 주입하는 반면에 SMART 원자로에서는 암모니아를 10ppm 이상 용해 주입한다.

핵연료소결체

핵연료소결체는 4.95 wt.% 농축도의 UO_2 소결체로써 17x17 표준형 핵연료 소결체와 동일하다. 따라서, SMART 핵연료 소결체는 17x17 표준형 핵연료의 화학적 조성, 밀도, 열적특성 및 기계적특성이 동일하다. 핵연료 소결체는 직경이 8.05mm, 길이가 10mm인 원통형 모양으로, 상하면에는 각각 5.5 mm³ 부피의 Dish를 둔다. UO_2 소결체의 밀도는 이론 밀도의 95%로써 10.4 g/cm³이다. UO_2 소결체는 경수로에서 연소도 60,000 MWD/MTU 이상까지 성능이 충분히 검증되었기 때문에 연소 성능 관점에서 아무런 문제점이 없을 것으로 예상된다.

연료봉 충전기체 가압

연료봉은 두 가지 이유로 헬륨으로 초기 가압된다.

(1) 연료의 설계수명 동안 피복관 함몰을 방지한다. 초기가압은 피복관 내외부의 압력차이로 인한 응력을 감소시킴으로써 크립 함몰을 발생시키는데 요구되는 시간을 연료의 필요한 운전수명 이후로 연장시킨다.

(2) 연료봉 내에서 소결체와 피복관 사이 갭의 열전도계수를 향상시킨다. 헬륨은 기체 핵분열생성물보다 높은 열전도 계수를 갖고 있다.

비가압 연료에서, 초기의 좋은 헬륨 열전도계수는 차후 소결체로부터 방출되는 핵분열 생성기체의 첨가로 인하여 감소된다. 초기 헬륨 가압은 연료의 설계수명에 걸쳐 높은 헬륨-핵분열생성물 비를 유지하도록 함으로써 갭의 열전도계수 및 열전달의 향상을 도모할 수 있다. 연료봉 내압에 대한 연료봉 출력준위 및 봉 연소도의 영향은 매개변수 별로 연구되어 왔다. 초기 96% 이상의 헬륨 충전기체를 22.5 bar의 압력으로 가압한다. 이러한 초기 충전 압력은 피복관 함몰을 방지하는데 충분할 뿐만 아니라 최대 수명말기 봉내압이 냉각수 압력을 초과하지 않도록 한다.

가연성독봉 설계

가연성 흡수체로는 UO_2 소결체에 가돌리니아(Gd_2O_3)를 첨가한 가돌리니아 연료봉이 사용된다. 가돌리니아 연료봉은 상용의 BWR 및 PWR과 많은 중소형 원자로에서 사용되고 있다. 따라서 SMART 원자로용 가돌리니아 연료봉의 노내 성능은 충분히 검증되어 있다고 볼 수 있다. SMART에서는 4wt.% 가돌리니아 가연성독봉이 사용된다. 가연성독봉은 수명초기에서의 감속재온도계수를 감소시키고, 첨두출력을 완화시키는 역할을 하도록, 특별히 선택된 핵연료집합체에만 들어 있다. 가연성독봉이 있는 핵연료집합체에서는 가연성독봉이 선정된 위치에서 연료봉을 대체한다.

나. 주기기

증기발생기

증기발생기는 원자로집합체에 내장되고 과열증기를 생산하도록 설계되었다. 증기발생기 카세트는 일차측 냉각재가 전열관의 안쪽을 흐르고 일차측 냉각재가 전열관 사이의 공간을 흐르는 관류형(once-through type)이며 일차측 냉각재는 위에서 아래로 흐르고 이차측 냉각재는 아래에서 위로 흐른다. 증기발생기의 전열관은 증기발생기의 높이가 낮고 조밀한 설계가 되도록 나선형으로 감겨 있으므로 단위 체적당 전열밀도가 높은 것이 특징이다. 증기발생기 카세트는 전열관, 지지원통, 카세트노즐, 노즐헤더로 구성되며, 원자로집합체 바깥쪽에 위치한 급수배관과 노즐헤더가 직접 연결된다. 증기발생기 카세트는 원자로집합체 내벽과 노심지지 원통의 외벽사이의 환형공간에 위치하며 동일한 간격으로 12개가 배치된다. 증기발생기 카세트에는 6개의 모듈과 324개의 전열관이 있다. 따라서 전체적으로 72개의 모듈로 구성되며, 6개의 모듈이 합쳐져서 1개의 카세트노즐을 통해 원자로용기를 관통한다. 증기발생기 카세트에 대한 주요 설계재원은 표 3-2와 같다.

그림 3-3에 보여지는 형상의 증기발생기 카세트집합체는 공장에서 제작하여 바로 원자로집합체에 장착하는 개념이다. 원자로집합체에서 증기발생기 카세트의 배열 및 형상 설계는 노심의 크기결정에 이어서 수행된다. 노심의 크기가 결정되면 노심지지원통의 크기가 결정되고 증기발생기를 배치할 수 있는 환형공간의 내부직경이 결정되므로 여기서 증기발생기 카세트의 초기 형상이 결정된다.

급수관에서 공급된 이차냉각재가 원자로용기 측면에 배치된 노즐헤더에서 전체 모듈 수만큼 분리되어 모듈급수관을 통해 모듈급수헤더로 연결되며 여기서 나선형으로 감겨진 여러 개의 전열관으로 분배된다. 전열관에서 과열증기가 되어 모듈증기헤더에서 합쳐진 후 모듈증기관을 통해 노즐헤더에서 합쳐져서 증기관과 연결된다. 노즐헤더의 안전단에서 연결된 12개의 급수배관은 인접한 3개씩 연결되어 전부 4개의 독립적인 섹션을 구성한다. 증기배관은 압력용기에 직접 연결되기 때문에 증기발생기 카세트와 직접적인 연결은 없다. 개개의 섹션은 별도의 누설감시 시스템을 갖고 있으며 각각 개별적 격리가 가능하다.

표 3-2. 증기발생기 카세트 주요 설계 재원

- 기능 : 과열증기 생산
- 특징 : 일체형원자로에 내장
- 종류 : 관류식 나선형 증기발생기
- 형태 : 12개의 카세트
- 열용량 : 27.5 MWt/카세트
- 등급 : 안전/설계/내진/품질 (1등급)
- 설계 온도, 압력 : 350℃, 17MPa
- 급수 온도, 압력 : 180℃, 5.5MPa
- 증기 온도, 압력 : 284℃, 3.5MPa (과열도 40℃)
- 전열관 재질 : PT-7M (티타늄 합금)
- 전열관 외경x두께 : 12x1.5 mm
- 구조재 : PT-3V(티타늄 합금)
- 카세트당 모듈수 : 6 개
- 전열관 평균길이 : 15.8 m
- 전열관 수 : 324 개
- 전열면적(평균직경 기준) : 168.8 m²
- 카세트 무게 : 2000 kgf

증기발생기는 계통을 최적화하여 증기발생기 노즐급수헤더와 증기헤더를 원자로집합체 측면에 배치하였다. 따라서 모듈관이 서로 다른 노즐에 연결되지 않으므로 하나의 증기발생기 카세트 교체가 가능하다. 노즐급수헤더는 노즐증기헤더의 중앙에 위치하지만 바깥쪽으로 돌출되어 있으며 노즐증기헤더가 원자로용기에 용접되는 특징을 갖고 있다.

노즐헤더를 원자로집합체 측면에 배치함에 따라 우회유량을 제어하기 위한 링밀봉장치 사용할 수 없다. 따라서, 증기발생기 장착을 용이하게 하기 위해서 아래 부분의 밀봉개념을 고안하였다. 지그를 사용하여 스프링이 부분적으로 압축된 상태로 하부지지판보다 위로 올라간 상태로 장착위치까지 이동한다. 장착위치에서 지그를 제거한 상태에서 스프링이 부분적인 압축을 받고 있는 상태로 면에서 면밀봉이 되는 개념이다. 증기발생기 하부 스프링이 이완된 상태로 증기발생기 하부지지판보다 아래쪽까지 내려온다. 증기발생기 카세트의 교체과정에서도 동일하게 적용된다.

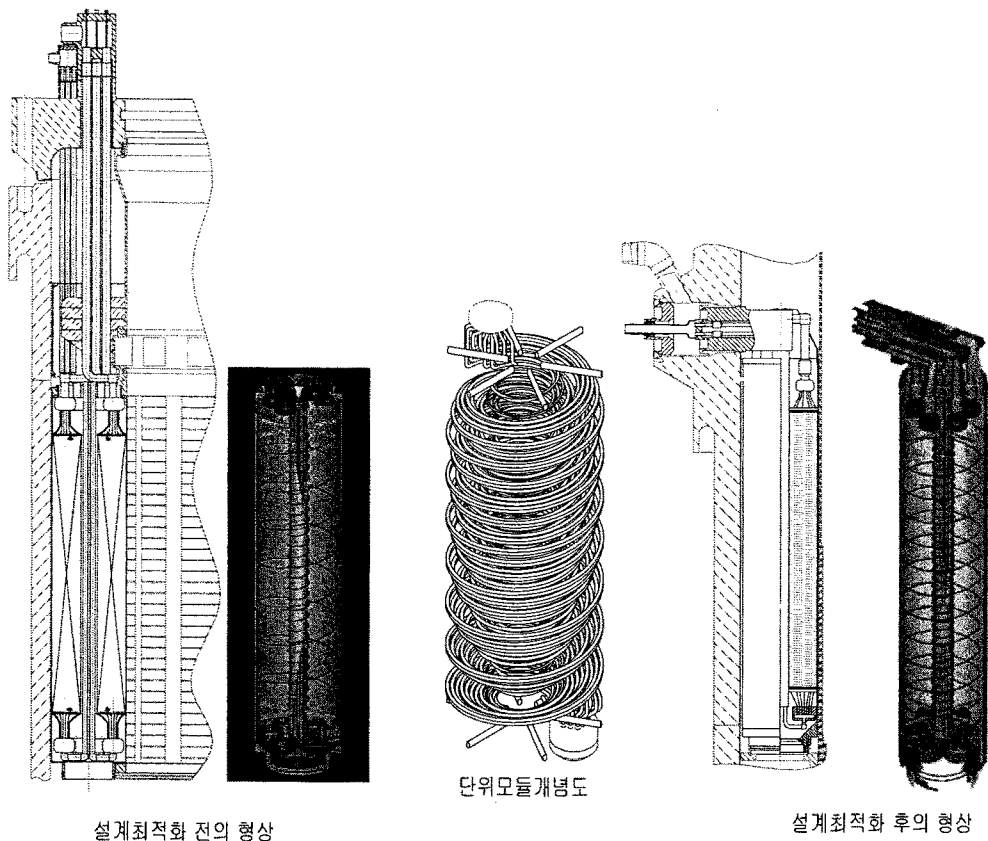


그림 3-3. 증기발생기 카세트 형상설계

냉각재 순환펌프

MCP는 원자로가 정상운전중일 때 노심에서 가열된 일차냉각재를 증기발생기 상단에 위치한 전열관 사이의 공간으로 강제 순환시켜서 전열관 튜브 내부로 흐르는 이차냉각재와 열교환이 이루어지게 한다. 열교환 후에 온도가 낮아진 일차냉각재는 증기발생기 하단을 통과하여 다시 노심으로 순환된 후 처음과 같이 MCP에 의해 증기발생기로 보내어진다. MCP의 대부분이 원자로 내부에 수직으로 들어간 상태에서 환형 덮개에 설치된 노즐에 고정된다.

원자로 일차냉각재를 순환시키는 펌프부위는 임펠러, 디퓨저, 유로안내관으로 나누어진다. 일차냉각재는 유로안내관의 바깥 아래에서 흡입되어 위쪽으로 상승한 후 유로방향을 180° 바꾸어 임펠러와 디퓨저를 통과한다. 디퓨저를 통과한 일차냉각재는 유로안내관의 내부를 지나 증기발생기 상단으로 토출된다. 다음은 냉각재순환펌프의 기본사양을 나타낸 것이며, 그림 3-4는 냉각재순환펌프의 3차원 형상을 보여 주는 것이다.

- 기능 : 원자로내의 일차냉각재 순환
- 장착 위치 : 환형덮개 위에 수직 장착
- 종류 : 캔드모터형 축류식 펌프
- 설치 대수 : 4 대 병렬운전
- 기기등급 : 안전/내진/품질 (1등급)
- 설계 온도, 압력 : 350℃, 17MPa
- 설계 유량 : 2006 m³/h
- 설계 수두 : 17.5 m
- MCP 소요동력 : 225 kW
- 전동기 : 2극 캔드 유동전동기
- 구동방식 : 인버터 구동
- 회전속도 : 900, 3600 rpm
- 인버터 입력전원 : 3상 440V AC
- 압력경계 구조재 : STS 321
- 베어링 : 저어널 베어링 2개, 추력 베어링 1개
- 베어링 재질 : SiC30 (실리콘 그래파이트)
- 무게 : 3500 kgf
- 회전속도 측정기 : 안전등급 4 채널
- 독립순환 냉각회로
- 캔드모터 냉각기
- 운전중 내부 누적가스 제거
- 역류방지밸브

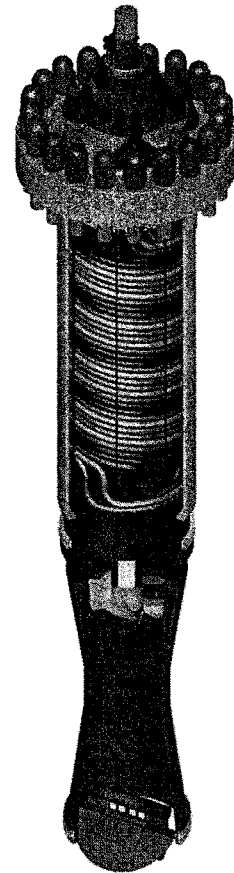


그림 3-4. MCP 3차원형상

제어봉구동장치

선형펄스모터형 제어봉구동장치는 최대직경이 비교적 작으며 길고 홀쭉한 형태이다. 그림 3-5에서 보는 바와 같이 제어봉구동장치의 주요 구성요소는 선형펄스모터집합체(linear pulse motor assembly), 위치지시기(position indicator) 및 상하부 한계스위치(limit switch), 제어봉 낙하스위치(rod drop switch), 연장봉 집합체(extension shaft assembly), 수력댐퍼(hydraulic damper), 압력용기(pressure housing) 등이다. 선형펄스모터형 제어봉구동장치 압력경계 내부는 일차 냉각재로 채워지며 모터의 내부고정자 및 가동자 등은 일차냉각재에 잠기게 된다.

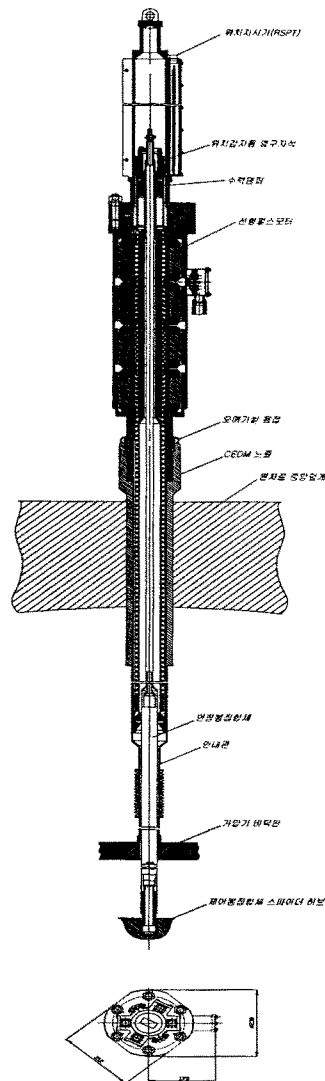
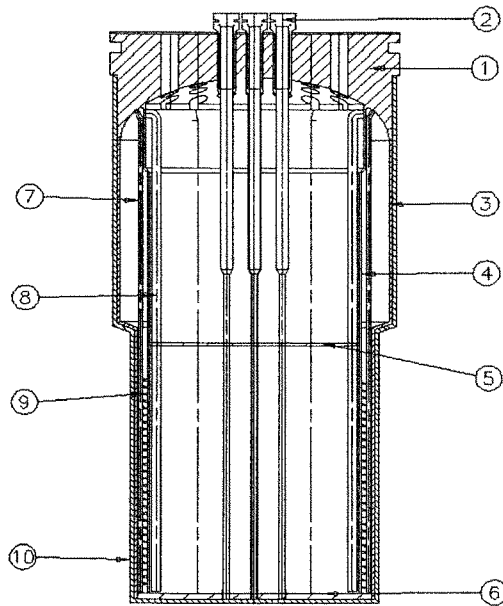


그림 3-5. 선형펄스모터형 제어봉구동장치

가압기

가압기집합체는 SMART 원자로 압력용기 내부 상단에 위치하며 중앙덮개, 가압기 용기, 가압기 내부벽, 일차 밀림관, 이차 밀림관, 제어봉집합체연장봉 안내관, 냉각관 및 습식단열재 등으로 구성된다. 원자로 압력용기의 중앙덮개는 가압기의 덮개와 동일하다. 가압기집합체의 전체적인 구조는 그림 3-6에서 보는 바와 같다. 가압기는 밀폐된 용기로서, 내부와 외부는 두 개의 밀림관을 통해서 연결된다. 즉, 원자로용기 상부의 환형공동과 가압기 주변공동(intermediate cavity)을 연결해 주는 일차 밀림관, 그리고 주변공동과 가압기 중앙공동(end cavity)을 연결하는 이차 밀림관으로 구성되어 있다. 일차냉각재의 온도변화가 수반되는 천연운전시 냉각재가 가압기로 밀려들어가야 되는 경우, 압력용기 상부에 포집된 기체가 있을 때, 기체가 먼저 가압기로 밀려들어가게 되고, 반대로 냉각재가 가압기로부터 밀려나와야 하는 경우 물이 우선적으로 나오는 구조로 되어있어 압력용기내의 비응축성가스는 항상 가압기 중앙공동에 포집되도록 설계되어있다. 원자로 환형공동(upper annular cavity)이란 가압기 용기와 원자로 압력용기 사이의 주냉각재펌프가 위치한 공간을 뜻한다.



- ① 중앙덮개 ② 제어봉집합체연장봉 안내관 ③ 가압기 용기
- ④ 가압기 내벽 ⑤ 가압기 중간지지판 ⑥ 가압기 하부판
- ⑦ 일차밀림관 ⑧ 이차밀림관 ⑨ 냉각관 ⑩ 습식단열재

그림 3-6. 가압기 집합체 단면도

3. 잔열제거계통

잔열제거계통은 설계기준사고로 인하여 원자로의 정지가 발생하였을 경우에 일차계통을 냉각하여 일차계통의 온도를 정상운전 온도로부터 핵연료 재장전운전 온도까지 낮추는 기능을 수행하는 계통으로, 안전관련계통인 피동잔열제거계통과 비안전관련계통인 능동잔열제거계통으로 구성된다. 피동잔열제거계통은 단일고장을 고려하여 모두 4개의 계열로 구성되어 있으며, 어떠한 출력준위에서 원자로가 정지되어도 2개의 계열을 이용해 일차계통 냉각기능을 수행할 수 있다. 피동잔열제거계통의 각 계열은 비상냉각탱크, 응축열교환기, 보상탱크, 밸브, 기기의 연결배관 및 계측기 등으로 구성되어 있다. 원자로 정지시, 노심에서 발생한 잔열은 증기발생기를 통해 피동잔열제거계통의 냉각재로 전달된 뒤, 비상냉각탱크의 물 속에 있는 응축열교환기를 통해 제거된다. 피동잔열제거계통은 증기발생기와 응축열교환기 사이의 높이 차이 및 밀도 차이에 의해 자연적으로 발생하는 구동력에 의한 자연대류에 의해 일차계통을 냉각시킨다. 원자로가 정지하면 제어 신호에 의해 주증기 격리밸브 및 주급수 격리밸브가 자동으로 닫히고 잔열제거계통의 격리밸브가 자동으로 개방되면서 운전이 시작된다. 계통이 작동되면 증기발생기로 유입되는 과냉각 상태의 냉각재는 일차계통으로부터 전달되는 열에 의해 포화상태의 이상유동 혹은 과열증기 상태로 증기발생기 출구를 빠져나오게 된다. 증기발생기 출구로부터 응축열교환기 입구로 유입되는 냉각재는 비상냉각탱크 내부에 있는 물로의 열전달을 통해 다시 상변화 과정을 거쳐 출구에서는 과냉각 상태의 액상유동이 형성되면서 연속적인 자연순환 유동이 형성된다. 시간이 경과하면서 노심의 잔열이 감소함에 따라 증기발생기의 출구에서는 액상의 단상유동이 형성되어 구동력이 감소하게 되나, 피동잔열제거계통은 자연순환 유동을 통해 설계기준사고 후 원자로가 정지하였을 경우에 일차계통을 안전정지 상태로 유지시킨다.

능동잔열제거계통은 설계기준사고 후 일차계통이 충분히 냉각되어 자연순환유동을 위한 구동력이 확보되지 않을 경우 장기간의 노심 냉각 또는 기기의 보수 및 핵연료 재장전을 위해 요구되는 장기간의 원자로냉각을 위해 사용된다. 능동잔열제거계통은 피동잔열제거계통의 유로를 이용하며, 피동잔열제거계통 2계열에 1대씩 설치된 보수냉각펌프를 이용하여 냉각재를 강제 순환시켜 일차계통을 냉각시킨다. 능동잔열제거계통은 독립적인 2개의 계열로 구성되며 1개의 계열을 이용해 일차계통을 냉각할 수 있도록 설계되어 있다. 필요시, 보수냉각펌프 입·출구격리밸브를 수동으로 개방하여 운전이 시작된다.

가. 응축열교환기

응축열교환기는 입구헤더, 수직 직관 형태의 열전달 튜브, 출구헤더로 구성되어 있으며, 냉각운전기간 동안 증기발생기를 통해 일차계통으로부터 잔열제거계통으로 전달된 노심의 붕괴열, 잠열, 현열 등을 비상냉각탱크의 냉각수를 통해 제거하는 역할을 수행한다. 응축열교환기는 비상냉각탱크 내부에 위치하며, 계통에서의 원활한 자연순환 유동 위해 증기발생기보다 높은 곳에 위치한다. 한 개의 응축열교환기는 정상출력의 1.5%에 해당하는 붕괴열을 제거할 수 있도록 설계된다. 열전달이 일어나는 열전달 튜브의 재질은 내부식성이 좋은 티타늄 합금이다.

나. 보상탱크

보상탱크는 타원형의 상단부와 하단부를 가지고 있는 원통형의 구조물로, 일차계통 냉각 과정 중에 잔열제거계통 배관 및 증기발생기의 각 부위를 채울 수 있는 충분한 물과 이를 가압하는 질소 가스로 이루어져 있다. 초기 질소압력은, 정상운전 중 증기발생기 급수배관 쪽에 연결된 잔열제거계통 출구격리밸브를 통한 누수를 방지하기 위해 급수배관의 압력과 동일한 압력으로 설정된다. 최종 질소압력은 일차계통 냉각과정을 통해 계통압력이 작아짐에 따라 발생할 수 있는 계통의 열수력학적 불안정성을 배제하고, 냉각과정 말기에 계통으로 질소 가스가 유입되지 않도록 결정된다. 보상탱크는 설계기준사고 후 안전기능 수행을 위해 질소 가스의 공급이 필요 없도록 설계되며, 탱크 1개당 물 부피는 3개의 카세트로 구성된 증기발생기 1개 section 및 1 계열의 잔열제거계통 연결 배관 전체를 채울 수 있는 충분한 용량의 물을 가지도록 설계되어 있다. 보상탱크 상부에는 질소 공급 및 배기를 위한 배관이 설치되어 있다.

다. 비상냉각탱크

일차계통 냉각과정 중에 응축열교환기로부터 방출되는 열은 비상냉각탱크의 물로 전달된다. 즉 비상냉각탱크에 저장되어 있는 물은 잔열제거계통의 최종 열침원의 역할을 수행한다. 탱크 내 물의 양과 냉각방식은 72시간 동안 운전원의 조치 없이도 계통의 운전 전에 지장을 주지 않도록 설계되어 있다. 비상냉각탱크의 물 용량은 잔열제거계통 운전기간 중 응축열교환기를 완전히 잠긴 상태로 유지할 수 있어야 하며 정상운전 중 비상냉각탱크의 물 온도는 격납용기 대기의 온도와 동일한 온도를 유지한다. 72시간 동안 외부의 냉각수에 의한 탱크의 재충전은 없으며 비상냉각탱크 상부에는 탱크 내 물의 비등에 의해 발생하는 증기를 외부로 방출하도록 하는 증기방출 배기관이 설치되어 있다.

라. 보수냉각펌프

보수냉각펌프는 원심 펌프 형식으로 2대가 설치되며, 각 펌프는 피동잔열제거계통의 2 계열을 담당하고 100% 용량을 갖는다. 보수냉각펌프 한 대의 설계용량은 장기간의 노심냉각 기간 또는 보수냉각 기간에 노심의 잔열 제거를 위해 충분한 계통유량이 형성되도록 결정된다.

마. 밸브

보상탱크 출구격리밸브를 제외한 잔열제거계통의 모든 전력구동 격리밸브는 원자로 정상운전 중에는 누설을 방지하기 위해 닫혀져 있으며, 운전원의 수동조작 또는 원자로보호계통의 자동제어 신호에 의해 열린다. 보상탱크 출구격리밸브는 정상운전 중 잔열제거계통에서 발생 가능한 압력 변동을 수용하고 계통 압력을 유지하기 위해 열려져 있다. 잔열제거계통의 입·출구 격리밸브는 계통성능에 미치는 영향을 고려하여 개폐시간이 짧은 밸브가 선정된다. 격리밸브는 비상시 공통원인고장의 발생가능성을 억제하여 계통 작동의 신뢰성을 제고하기 위해 계열1과 계열3에는 솔레노이드 구동방식의 격리밸브가 설치되어 있으며, 계열2와 계열4에는 모터구동방식의 격리밸브가 설치되어 있다. 응축열교환기 후단에 위치한 체크밸브는 계통 작동시 보상탱크에서 나오는 물이 열교환기 방향으로 역류되는 것을 방지하여 원활한 자연순환유동이 형성되도록 하는 기능을 수행한다.

4. 비상노심냉각계통

비상노심냉각계통의 주요 기기는 비상노심냉각탱크 및 관련 밸브 그리고 주입 배관이 다. 충수계통의 충수펌프가 비상노심냉각탱크 고갈 이후에 일차계통의 지속적인 수위 유지를 위하여 사용되며, 비상노심냉각탱크는 가압된 질소로 채워져 있고, 질소공급계통과는 직렬로 연결된 두 개의 격리밸브에 의하여 격리되어 있다. 발전소 정지운전시에는 비상노심냉각탱크의 압력을 낮출 필요성이 있으며, 이 경우 운전원은 탱크 내의 질소 가스를 하나의 격리밸브로 격리된 배기배관을 통하여 원자로안전보호용기 내로 방출시킨다. 충분한 배기 능력을 확보하기 위하여 질소 배기 배관은 병렬로 각각의 탱크에 설치되어 있으며, 정상 운전 중 부주의한 감압을 방지하기 위하여 정상운전 중에는 전원이 제거되어 있다. 비상노심냉각탱크의 충수를 위하여 충수계통과의 연결배관이 설치되어 있으며, 이 배관을 통하여 비상노심냉각탱크는 충수가 가능하다. 비상노심냉각탱크의 배수는 내부차폐탱크로 이루어진다. 비상노심냉각탱크의 지속적인 감시를 위하여 압력지시계와 수위지시계가 제공되어 있으며, 각각의 압력지시계/수위지시계는 하나의 광역지시계와 두 개의 협역지시계로 구성되어있다. 광역지시계는 비상노심냉각탱크 전 범위에 걸친 감시가 가능하며, 협역지시계는 정상운전 중 운영기술지침서 내의 안전한 운전을 위한 정보를 제공한다.

가. 비상노심냉각탱크

상부가 질소 가스로 가압된 가압수를 가진 비상노심냉각탱크는 운전시 운전원의 행동이나 전기적 신호가 필요 없이 작동되는 피동 주입계통이다. 각각의 탱크는 정상운전 중 일차계통으로부터 탱크를 격리시키는 두 개의 역류방지밸브를 가진 배관에 의하여 일차계통과 연결된다. 일차계통의 압력이 탱크의 압력보다 낮아지면 역류방지밸브가 열리고 일차계통으로 가압수를 방출한다. SMART는 대형 냉각재상실사고가 근본적으로 배제되므로 소형 냉각재 상실사고시에 피동잔열제거계통에 의한 노심의 붕괴열 제거 능력을 보장하기 위하여 일차계통의 자연순환 유로가 유지되도록 원자로 냉각재를 보충하여 준다. 비상노심냉각탱크는 두 대가 설치 되어있으며, 단일고장을 만족하기 위하여 100% 용량을 각각 가진다. 원자로심 냉각 중의 부주의한 과압을 막기 위하여 일차계통의 압력이 10.7MPa에 이르면 비상노심 냉각탱크 압력을 낮추며(3.3MPa 까지) 계속되는 냉각운전 중에 격리밸브는 닫혀진다. 가압기 압력과의 연동은 가압기의 압력이 10.7 MPa 이상에서는 전동구동 격리밸브들이 닫히는 것을 막아준다. 원자로가 정지 중이라도 냉각재상실사고와 같은 예기치 않은 사고 시에는 전동구동 격리밸브가 자동으로 열린다. 원자로 운전 정지 중 질소공급밸브의 누설이나 밸브 스위치의 사고로 인한 고장으로 인해 비상노심냉각탱크가 재 가압 되는 것은 각각의 분리된 수동 스위치를 가진 두 개의 직렬로 된 고장시 닫히는 밸브에 의하여 방지된다. 질소공급밸브를 구동하는 공기의 공급은 솔레노이드 밸브에 의하여 조절된다. 각각의 비상노심 냉각탱크에 있는 2개씩의 질소공급밸브 솔레노이드는 다중적이고 물리적으로 분리된 전기 계열에 의해 각각의 전기 모선에 연결되어 있다. 이는 한 계열의 고장으로 인하여 두 개의 질소공급밸브가 동시에 우발적으로 열리지 못하도록 보장하기 위해서이다. 비상노심냉각탱크의 대기방출밸브는 닫힌 상태로 잠겨 있으며 고장시 닫히고 정상운전 중에는 솔레노이드 밸브의 전원이 끊긴다. 이는 일차계통 정상운전 중에 탱크가 배기되지 않는 것을 보장하기 위해서이다. 비상노심 냉각탱크의 가스/액체의 체적과 압력, 배관에서의 수두 손실은 냉각재상실사고 후 노심을 두 개의 탱크 중 한 개로 복구할 수 있도록 선정된다. 탱크 각각의 물 용량은 소형 냉각재상실사고 발생 후 1시간 동안 지속적으로 가압수를 제공할 수 있도록 계산되었다. 탱크의 압력은 물 용량을 바탕으로 하여 충분한 방출 능력을 보장할 수 있는 압력을 가지도록 설계되었다. 다중의 수위와 압력 계기가 탱크의 상태를 감시하기 위하여 제공된다. 여러 가지 발전소 운전모드가 주제어실에서 수행되는 동안에는 비상노심 냉각탱크를 운영기술지침서가 요구하는 범위 내에서 유지하기 위하여 운전원이 사용할 수 있는 충분한 시각적이고 청각적인 지시장치가 마련되어 있다. 시료채취, 충수, 배수를 위한 장치가 제공된다. 탱크의 배기를 위하여 대기 배기밸브가 제공된다. 그것들은 닫힌 채로 잠겨 있으며 각각의 밸브에 공급되는 전원은 원자로 정상 운전중 제거된다. 이로써 원자로 정상운전 중 부주의한 탱크 가압기체 방출을 방지한다.

5. 비상붕산수 주입계통

비상붕산수주입계통은 제어봉 삽입 불능과 같은 설계기준사고를 초과하는 사고시 원자로를 저온 정지시키고 저온상태에서의 노심을 미입계 상태로 유지하기 위해 노심으로 붕산수를 주입한다. 이는 설계기준사고 범주에서 사용되는 원자로의 정지를 위한 반응도제어계통과는 상이한 원칙으로 설계된다. 비상붕산수주입계통은 충수계통의 부속계통으로서 비상 붕산수 주입을 위하여 충수펌프를 이용한다. 비상붕산수주입계통의 설계 변수는 다음과 같다:

| | |
|------------|---|
| 비상붕산수 주입유량 | 최대 18 m ³ /hr (충수펌프 1대당 4.5m ³ /hr) |
| 비상붕산수 온도 | 4~50℃ |
| 계통운전압력 | 0~20 MPa |
| 계통 수질 | 붕산수 |

정상 운전 및 설계기준사고시 충수운전 모드에서는 충수펌프의 흡입측이 충수저장탱크에 연결되어 있다. 그러나 제어봉 삽입불능과 같은 설계기준사고를 초과하는 사고시 원자로 정지 수단의 다양성을 갖기 위해 비상붕산수 주입모드로 운전이 될 때에는 충수펌프의 흡입측이 비상붕산수저장탱크로 수동으로 연결되어 비상붕산수저장탱크의 붕산수가 충수펌프에 의해 일차계통으로 주입된다. 비상붕산수주입계통은 정상 운전 중에는 기기의 오작동 혹은 운전원의 실수에 의해 붕산수가 주입되지 않도록 충수계통으로부터 격리되어 있다. 비상붕산수저장탱크 출구관 격리밸브는 정상 운전중 닫힌 상태에서 전원이 제거되어 있고 잠금장치로 보호되어 있으며, 붕산수 주입 운전 시에만 수동으로 전원을 공급하고 잠금장치를 해제한다. 비상붕산수주입계통의 주요 구성 기기로는 1대의 비상붕산수저장탱크와 4대의 충수펌프(충수계통과 공용), 비상붕산수저장탱크 출구관 격리밸브가 있다.

가. 비상붕산수 저장탱크

비상붕산수저장탱크는 제어봉 삽입 불능과 같은 설계기준을 초과하는 사고시 원자로 비상정지 수단으로 사용되는 붕소 농도 2900~3000 ppm의 붕산수(B-10 농축도 100%)를 노심 내로 공급하기 위해 설치된다. 비상붕산수저장탱크는 평평한 바닥을 가진 실린더 용기로서 탱크의 상부 뚜껑에는 2개의 배관이 용접되어 있는데, 그 중 하나는 수동밸브로 연결되어 탱크에 붕산수를 보충하여 채울 때 사용되며 다른 하나는 탱크를 물로 채울 때 내부의 공기를 제거하고 충수펌프가 작동될 때 탱크 내에 진공이 형성되는 것을 방지하는 역할을 한다. 비상붕산수저장탱크는 충수펌프 흡입관과 연결되어 있으며, 원자로보호계통의 전기기계적 고장으로 제어봉이 삽입되지 않아 원자로 정지가 불가능한 사고시 원자로 정지 보조수단으로 충수계통을 사용하여 붕산수를 주입할 수 있도록

설계되어 있다. 비상붕산수저장탱크에는 붕산의 혼합을 용이하게 하고 붕소의 석출을 방지하기 위하여 시료채취설비, 온도조절기와 필요시 혼합기가 설치된다. 비상붕산수저장탱크는 충수펌프의 유효흡입수두를 고려하여 충분히 높은 곳에 위치한다.

나. 비상붕산수저장탱크 출구관 격리밸브

비상붕산수저장탱크로부터 충수펌프 흡입관으로 연결된 배관에는 다중의 격리밸브(수동밸브와 전동기구동밸브)가 설치되어 정상운전 중에는 충수계통과 격리되며, 제어실에 잠금장치를 설치하고 정상운전 중에는 격리밸브의 전원을 차단시켜 운전원의 오작동 또는 사보타지에 의한 붕산수 주입을 방지할 수 있도록 설계되어 있다. 이 격리밸브를 개방하기 위해서는 제어실 외부에서 스위치를 작동시켜 전원을 공급해야 하고 아울러 제어실의 잠금장치를 해제하여야 할 뿐만 아니라 이 밸브의 전단에 현장 잠금장치로 보호된 수동격리밸브가 있기 때문에 운전원의 오작동 또는 사보타지에 의한 붕산수 주입을 방지하는 이중의 보호장치가 구비되어 있다.

6. 충수계통

충수계통은 원자로 기동전 일차계통 내에 원자로냉각재를 공급하고 정상운전중에 발생 가능한 원자로냉각재 압력경계의 누설로 인한 냉각재 손실을 보충하기 위해 사용된다. 또한 소형 냉각재상실사고시 비상노심 냉각계통과 함께 일차계통의 지속적인 자연대류를 위해 원자로 내로 보충수를 공급하며 제어봉 삽입불능과 같은 설계기준사고를 초과하는 사고시 원자로를 정지시키고 상온상태에서 노심을 미입계 상태로 유지하기 위해 노심내로 붕산수를 주입하는 수단을 제공한다. 잔열제거계통 보상탱크, 비상노심냉각탱크 및 응축수저장탱크의 초기 충수 및 발전소 정상운전중 탱크 수위를 유지하기 위해 물을 공급한다. 설계기준사고를 초과하는 사고가 발생하여 충수저장탱크가 고갈될 경우 외부 차폐탱크로부터 물을 공급받아 일차계통을 충수하는 수단을 제공한다. 원자로 운전중에 일차계통으로 화학제를 주입하기 위한 구동력 및 유로를 제공하며 일차계통의 수압 및 누수시험을 위한 설비를 제공한다.

안전관련계통으로 설계된 충수계통은 각각 200%의 용량을 가진 2개의 계열로 구성되어 있다. 각 계열은 각각 100% 용량을 갖는 2개의 충수펌프가 있고 흡입관, 토출관, 공통헤더, 관련 밸브 및 계측기로 구성되어 있다. 일부 밸브 및 배관을 제외한 모든 기기는 원자로안전보호용기 및 격납건물 외부에 위치한다. 정상 및 설계기준사고시 충수운전 모드에서는 펌프의 흡입측이 충수저장탱크에 연결된다. 제어봉 삽입불능과 같은 설계기준사고를 초과하는 사고시 원자로 정지 수단의 다양성을 갖기 위해 비상붕산수 주입모드

로 운전이 될 때에는 충수펌프의 흡입측이 비상봉산수저장탱크로 수동으로 연결되어 비상봉산수저장탱크의 봉산수가 충수펌프에 의해 일차계통으로 주입되며 정상 운전시 봉산주입계통의 오작동 혹은 운전원의 실수에 의해 봉산수가 주입되지 않도록 충수계통으로부터 격리되어 있다. 비상봉산수저장탱크 출구관 격리밸브는 정상운전 중 닫힌 상태에서 전원이 제거되고 잠금장치로 보호되어 있으며, 봉산수 주입 운전시에만 수동으로 전원을 공급하고 잠금장치를 해제한다. 충수펌프에서 토출된 물은 운전모드에 따라 차단밸브를 조작하여 계통 유로가 결정된다. 일차계통 냉각재 상실로 인한 충수계통의 작동은 원자로 내의 일차계통수 저수위 신호에 의하여 자동으로 기동되거나 운전원의 수동 조작으로 기동되며 원자로의 냉각재 수위가 회복되면 자동 혹은 수동으로 정지된다. 계통의 구성은 배관 및 계장도에 나타나 있으며, 계통의 주요 기기는 4대의 충수펌프와 충수저장탱크와 비상봉산수저장탱크가 각각 1개씩 설치되어 있다.

7. 기기냉각계통

기기냉각계통은 정상운전중 주냉각재펌프, 제어봉구동장치, 가압기와 내부차폐탱크에 냉각수를 공급하여 각 기기에서 발생한 열을 제거하며 각 기기의 열교환기로 향하는 유량은 배관의 크기에 의해 결정된다. 주냉각재펌프, 제어봉구동장치, 가압기의 열교환기로 일차계통 냉각수가 누출되었을 때는 격리밸브를 이용하여 격리해야하고, 유량 및 방사능 계측장비가 주냉각재펌프, 제어봉구동장치, 가압기 후단에 설치되어 일차계통 냉각수의 누출여부를 점검해야 한다. 전원상실과 기기의 단일고장을 고려하여 본 계통의 냉각기능이 손상되지 않도록 해야한다.

기기냉각계통은 배관을 제외한 모든 기기는 원자로보호용기 외부에 위치하고 있으며 비안전관련계통으로 설계되어 있으며 발전소 정상운전 중에 필요한 유량을 공급하여 주냉각재펌프, 제어봉구동장치, 가압기 및 내부차폐탱크에서 발생하는 열을 제거하여 적정 온도를 유지시켜 각 기기의 작동을 원활하게 한다. 기기냉각계통의 안전등급 2로 분류된 기기는 발전소 정상 및 비상전원으로부터 전원을 공급받는다. 기기냉각계통의 상실시 운전원의 판단에 의해 수동으로 원자로를 정지한다. 계통을 구성하는 기기는 단기와 장기부식 효과에 의한 계통 성능 저하를 배제할 수 있도록 재질이 선정된다. 계통의 구성은 밸브(격리밸브, 체크밸브), 배관과 계측기(온도, 유량 및 방사선)로 구성되어 있다.

8. 정화계통

정화계통은 SMART가 계획정지 및 보수, 핵연료 재장전, 정기 보수 및 저온정지 운전시 일차계통 압력이 1MPa 이하이고 냉각재 온도가 이온교환수지의 최대허용 운전온도인 60℃이하인 조건에서 운전되어 일차냉각재로부터 부식생성물과 화학적 불순물을 정화하여 수질을 유지한다. 일차냉각재 정화기능은 이온교환기의 이온교환 수지를 이용하여 이온성 핵종을 제거하고 불용성 입자는 여과기 및 이온교환 수지표면의 흡착에 의해 제거된다. 정화계통에 설치된 탈기기를 통하여 원자로 냉각재로부터 제논(Xe), 크립톤(Kr)과 같은 불활성 기체와 질소(N²), 수소(H²)와 같은 용존기체를 제거하고, 원자로 가열전에 정화계통에 설치된 화학제 주입탱크를 통하여 암모니아수를 주입하며, 원자로 운전 중에는 충수펌프를 이용하여 암모니아수를 주입한다. 이온교환수지 교체시 발전소 보충수공급계통으로부터 공급되는 용수를 이용하여 이온교환 수지를 고체폐기물 계통으로 배출하고 새로운 이온교환 수지를 충전한다. 정화계통 운전시 정화계통 운전상태의 감시를 위하여 정화여과기 전단 및 후단과 이온교환기 후단에 제공되어 있는 시료채취관으로부터 시료를 채취한다.

정화계통은 원자로안전보호용기 외부에 위치한 일차냉각재 격리밸브와 연결되며 원자로 격납건물 관통부를 지나서 정화펌프와 연결된다. 원자로 격납건물 관통부에는 격리밸브가 설치되어 사고시 정화계통을 일차계통과 격리할 수 있다. 격납건물내 정화펌프 흡입모관에는 방출밸브가 설치되어 일차계통에 의한 과압으로부터 정화계통을 보호하며 정화펌프 전단의 압력계는 정화펌프의 전단압력을 감시하며 압력이 낮아지면 펌프를 정지시켜 펌프를 보호할 수 있다. 또한 저 흡입압력으로부터 정화펌프를 보호하기 위하여 펌프입구 압력스위치와 연동되어 펌프입구 저압력시 정화펌프를 정지시킨다. 정화펌프 후단에는 정화여과기, 정화이온교환기, 체형여과기 및 탈기기가 설치되어 일차냉각재를 정화하거나 탈기한다. 정화여과기 후단에 유량계 및 유량조절밸브를 설치하여 계통의 모든 운전조건에서 정상 정화유량을 유지할 수 있도록 한다. 정화이온교환기 전단에는 3-방향 밸브가 설치되어 일차냉각재의 온도가 60℃ 이상이 되면 정화이온교환기를 우회하도록 하여 이온교환수지를 보호한다. 탈기기에는 기기냉각수, 보조증기 등이 공급되며 탈기기 고장시 탈기기 전단에 설치된 3-방향 밸브를 통해 일차냉각재가 탈기기를 우회할 수 있도록 설계된다. 탈기기 후단에서 정화계통은 충수계통과 연결되고 충수계통의 설계 압력으로 설계된 화학제 주입탱크가 설치된다. 이는 원자로 운전중에도 충수계통과 화학제 주입탱크를 이용하여 화학제 주입을 가능하게 한다. 충수계통과 연결되는 정화계통 배관은 역류방지밸브, 차단밸브 및 압력 방출밸브가 설치되어 충수계통의 고압으로부터 정화계통을 보호한다. 정화계통의 주요 구성기기는 정화펌프, 정화여과기, 이온교환기, 탈기기, 화학제 주입탱크 및 체형여과기로 이루어져 있으며 정화계통의 주요 설계변수는

다음과 같다.

- 정화계통 설계 압력 2 MPa
- 정화계통 설계온도 100℃
- 정화계통 최대운전온도 60℃
- 정화 운전유량 4.5 m³/hr

정화계통은 정화계통의 운전중이나 정지중에 일차계통의 과압으로부터 정화계통을 보호하기 위하여 일차계통과의 연결 배관에 방출밸브를 설치하였으며, 일차계통 격리밸브 사이에 열방출 밸브가 설치되어 일차계통과의 연결 배관에 고인 물이 가열되어 열팽창으로 인해 발생할 수 있는 과압으로부터 배관을 보호한다. 또한 정상운전중 화학제 주입을 위하여 연결된 충수배관의 고압으로부터 정화계통을 보호하기 위하여 충수계통 연결배관에도 방출밸브가 설치된다. 정화계통 운전시 정화계통의 운전상태 감시를 위하여 시료 채취용 배관이 정화여과기 전단 및 후단과 이온교환기 후단에 제공된다.

9. 원자로안전보호용기

원자로안전보호용기는 주냉각재펌프, 증기발생기, 제어봉 구동장치 등을 포함하는 원자로, 가압기 가스실린더 및 비상노심 냉각탱크 등의 주요기기, 각종밸브, 및 관련 배관을 둘러싸고 있는 철제 용기이며 원자로안전보호용기 외벽은 물재킷으로 둘러 싸여져 있다. 원자로안전보호용기는 일차계통의 건전성이 상실되는 사고시 일차계통에서 누출되는 방사능을 일차적으로 용기 내로 제한하여 외부로 누출되는 것을 방지하며, 잔열제거계통, 충수계통 및 비상노심 냉각계통의 작동과 더불어 냉각재의 누출을 제한하여 복구 조치 없이 72시간동안 노심 노출이 일어나지 않도록 하는 원자로 보호기능을 수행한다. 원자로안전보호용기는 격납건물과 함께 일종의 격납용기 개념을 사용한 것으로 SMART의 경우에는 모든 원자로계통 주요 기기가 원자로 압력용기 내에 설치되는 관계로 원자로 안전보호 용기를 사용하는 개념이 도입되었다. 설계기준 사고시 원자로 냉각재계통에서 방출되는 모든 방사능 물질은 일차적으로 원자로안전보호용기에 의하여 차단되며, 더 이상의 방사능 물질은 주변 환경으로 확산되지 않도록 설계되어 있다. 원자로 안전보호용기 내부에는 설계기준사고 또는 초과 사고시 발생하는 수소를 제거하기 위한 수소 점화기 및 피동촉매형 수소재결합기가 설치된다.

10. 이차계통

이차계통은 크게 주증기계통, 주급수계통, 터빈발전기계통 등으로 세분되어진다. 주증기 계통은 증기 발생기에서 생성된 증기를 주터빈으로 보내며, 이차측 과압 방지용 안

전 밸브를 설치하기 위한 위치를 제공한다. 사고시에는 증기발생기를 주증기 및 주급수 계통과 격리하거나 잔열제거 운전을 위하여 잔열제거계통과 연결할 수 있는 수단을 제공하기도 하며, 원자로 냉각 및 기동 운전시에는 원자로냉각재 계통에서 발생된 열을 제거하기 위한 수단을 제공한다. 주급수 계통 역시 증기압력보다 급수압력을 증가시키고 주급수 배관이나 주증기 배관파열 사고시 증기 발생기를 급수 계통과 격리하거나 잔열제거 운전을 위하여 잔열제거계통과 연결할 수 있는 수단을 제공한다. 원자로 기동시 기동용 펌프를 이용하여 급수를 공급하며, 급수의 정화를 위하여 전체 급수를 급수정화계통을 통과하도록 하여 증기 발생기 튜브에서 crud의 침적을 최소화 할 수 있는 수단을 제공한다. 터빈 발전기에 공급되는 증기는 충분한 과열도를 가진 과열 증기이며, 터빈내에서 발생하는 물방울을 효율적으로 제거할 수 있도록 설계된다. 그림 3-7은 이차계통 개략도를 보여주고 있다.

가. 주증기 계통

주증기 계통은 증기 발생기에서 생성된 증기를 동력 생산을 위해 터빈 발전기 계통과 기타 증기를 필요로 하는 계통에 증기를 공급하는 역할을 담당한다. 이 계통은 주증기 배관, 주증기 안전밸브, 주증기 격리밸브 및 터빈우회계통 등이 있다.

나. 주급수 계통

주급수 계통은 복수기에서 공급되는 복수를 정화시켜 증기발생기로 보내는 역할을 수행한다. 이 계통은 복수계통, 급수 정화계통, 급수 예열기, 주급수 펌프 및 급수 제어 밸브 등이 있다. 복수기로부터 복수펌프에 의해 급수 정화계통을 통과한 고순도의 급수는 급수예열기를 통과한 후 주급수펌프에 의해 주급수 조절밸브를 거쳐 증기발생기로 보내진다. 급수계통에는 다음과 같은 계통 및 기기가 사용된다.

- 복수기
- 복수 펌프
- 기동용 급수펌프
- 증기 분사 공기 추출기
- 주급수 펌프
- 급수 저장 탱크
- 급수 정화 계통
- 급수 조절 밸브 등

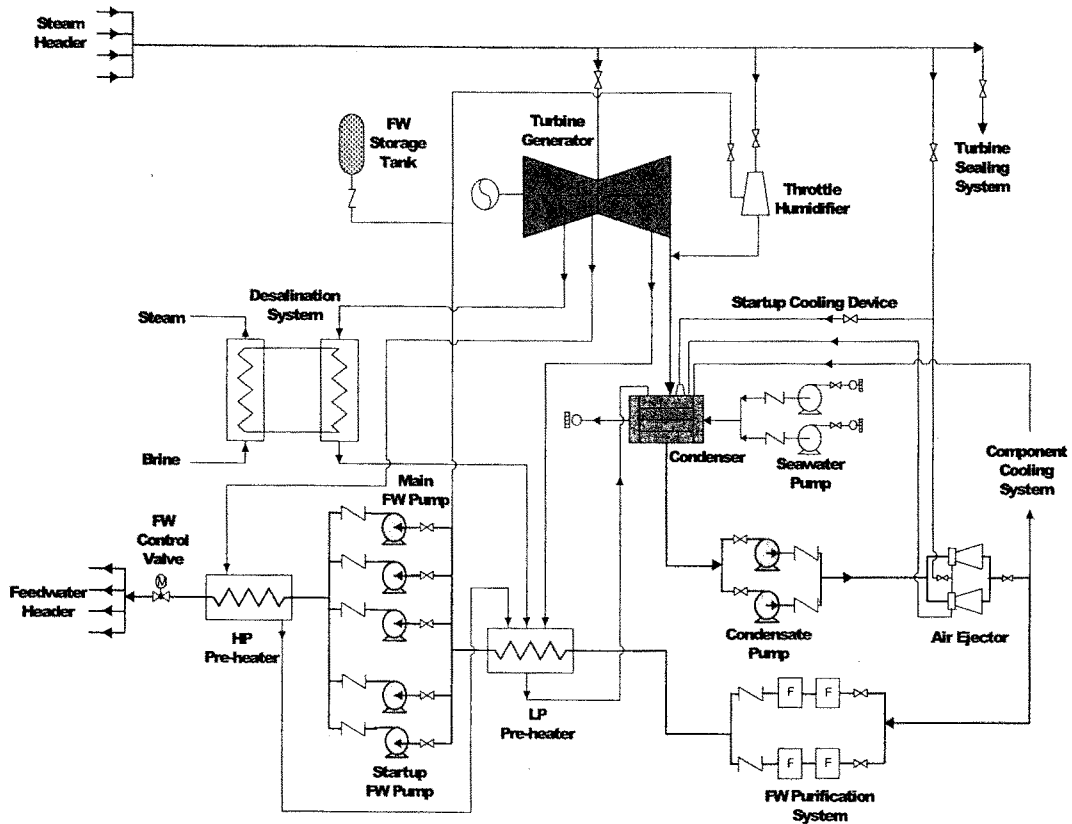


그림 3-7. SMART 이차계통 개략도

다. 터빈 발전기 계통

터빈발전기는 주증기 계통을 통하여 터빈에 유입되는 증기의 내부 에너지를 터빈의 회전 에너지로 바꾸며, 터빈축과 연결된 발전기를 돌려서 전력을 생산하는 것이다. 터빈 발전기 계통의 설계는 원칙적으로 BOP 업무이기 때문에 여기에서는 터빈 발전기 계통의 개념 설계에 대한 기초적인 설명을 하고자 한다. 터빈 발전기는 다음과 같은 계통 및 기기로 이루어져 있다.

- 터빈발전기
- 발전기 냉각계통
- 터빈발전기 순환계통 및 순환유 냉각계통
- 터빈축 밀봉 장치
- 터빈속도 제어계통
- 터빈 과속 방지 장치 등

라. 복수 펌프

복수 펌프는 복수 저장 탱크로부터 냉각수를 공급받아 주급수 정화계통을 비롯한 핵중기공급계통 내의 기기냉각계통, 가습조절기, 기동용 냉각장치 등에 냉각수를 공급한다. 정상 운전중 한 대가 작동하며, 한 대는 대기상태에 있으며, 교류 전기 모터에 의하여 구동된다. 복수 펌프는 공동 현상(cavitation)이 발생하기 쉬운 상황하에서 작동하므로(NPSHA와 NPSHR 사이의 여유도가 상당히 작음) 일반적으로 특수 구조로 되어있다. 즉, 첫 번째 단은 NPSHR 및 수두가 원심형에 비하여 상대적으로 작은 축류형이고, 후단은 방출 압력을 상승시킬 수 있도록 하기 위하여 원심형으로 설계된다. 급수에 윤활유의 혼입을 막기 위하여 펌프 베어링은 모두 물을 윤활액으로 사용할 수 있도록 설계된다. 또한 펌프로부터 누수를 막기 위하여 사용하는 축밀봉재의 냉각도 수냉식을 이용한다. 복수 펌프는 복수기의 상태에 따라 때로는 공동 현상에 의하여 작동 불능의 상태에 빠질 수 있다. 이 경우 복수 펌프를 통해서는 더 이상 냉각수가 공급되지 못하게 되며, 별도의 가압된 냉각수 저장 탱크로부터 필요한 곳에 냉각수가 공급된다. 일반적으로 이와 같은 복수 펌프의 작동 불능 상황은 5~10분 이내에 해결된다.

마. 기동용 급수펌프

기동용 급수 펌프는 원자로의 기동 운전시 및 정지 운전시 사용되며, 주급수 정화계통을 통과하며 고도로 정화된 냉각수를 공급받아 증기발생기에 공급한다. 기동 및 정지 운전중 한 대가 작동하며, 한 대는 대기상태에 있으며, 교류 전기 모터에 의하여 구동된다. 급수에 윤활유의 혼입을 막기 위하여 펌프 베어링은 모두 물을 윤활액으로 사용할 수 있도록 설계된다. 또한 펌프로부터 누수를 막기 위하여 사용하는 축밀봉재의 냉각도 수냉식을 이용한다.

바. 주급수 펌프

주급수 펌프는 원자로의 출력 운전시 사용되며, 주급수 정화 계통을 통과하며 고도로 정화된 냉각수를 공급받아 증기발생기에 공급한다. 정상 운전중 50% 용량의 펌프 두 대가 작동하며, 한 대는 대기상태에 있으며, 교류 전기 모터에 의하여 구동된다. 급수에 윤활유의 혼입을 막기 위하여 펌프 베어링은 모두 물을 윤활액으로 사용할 수 있도록 설계된다. 또한 펌프로부터 누수를 막기 위하여 사용하는 축밀봉재의 냉각도 수냉식을 이용한다. 복수 펌프가 공동 현상에 의하여 작동 불능 상태에 빠진 후 다시 정격 출력 운전이 가능할 때까지, 작동중인 복수 펌프의 고장시 대기중인 복수 펌프가 정격 출력 운전이 가능할 때까지 복수 펌프로부터 냉각수를 공급받을 수 없게 되며, 이와 같은 경우에 주급수 펌프는 별도의 가압된 냉각수 저장 탱크로부터 냉각수를 공급받는다.

사. 주급수 제어 밸브

주급수 제어 밸브는 주급수량을 조절하여 원하는 출력을 얻는데 이용한다. 병렬로 설치하여 정상 운전중 한 개만 운전되고, 다른 한 개는 대기 상태에 있다. 플랜트 제어 및 보호 계통의 신호를 받아 작동하며, 운전원이 수동으로 작동시킬 수도 있다. 주급수 제어 밸브의 위치와 유량이 서로 비례 관계에 있도록 밸브의 특성이 결정되며, 주급수 유량과 출력과는 비례관계에 있으므로, 결과적으로 주급수 제어 밸브의 개방 정도는 직접적으로 원자로 출력과 비례하게 된다.

아. 복수기

터빈으로부터 방출된 증기-물 혼합물은 복수기의 상부에 설치되어있는 증기 입구를 통하여 복수기 상부로 유입된다. 복수기는 튜브내로 플랜트 최종 냉각재인 해수가 흐르고, 바깥쪽으로 터빈에서 방출된 증기-물 혼합물이 튜브와 직접 접촉을 하면서 열전달을 거쳐 복수로 환원시키는 기기이다. 응축된 복수는 자중에 의하여 복수기 하단에 고이게 되며, 복수 저장 탱크를 통하여 복수 펌프로 유입된다. 복수기 튜브 집합체 최 외각에는 증기와 비응축성 기체의 혼합물을 방출하는 구간이 마련되어 있으며, 이들 혼합물은 증기식 공기추출기에 의하여 강제로 복수기 외부로 방출되어 증기식 공기추출기내에 설치되어있는 별도의 냉각기에서 냉각된 후 응축수는 회수되고, 비응축성 기체는 대기중으로 방출된다. 증기식 공기추출기에 의하여 복수기 내부는 적절한 정도의 진공 상태가 유지되며, 터빈의 효율이 증가하게 된다. 복수기 튜브의 횡진동을 방지하기 위하여 튜브는 적절하게 지지되어 있다. 복수기를 흐르는 해수는 해수 펌프에 의하여 강제 순환된다. 복수기에 유입되는 해수는 해수 펌프의 특성인 2가지의 상이한 회전성(저속운전 및 정상운전)에 의하여 유량이 변화하나, 플랜트가 정상 운전중인 경우에는 해수의 유량 조절은 하지 않는다. 복수기의 해수가 흐르는 지역에는 유로를 검사하기 위하여 man-hole이 설치되어 있으며, 필요시 개방하여 튜브 내부 검사, 세척 및 관막음 등을 수행할 수 있다. 특히 터빈을 정지시키지 않고도 복수기의 튜브를 검사할 수 있도록 해수 유입 및 방출구가 2개씩 서로 독립적으로 되어 있다. 통상 복수기 내부의 압력은 대기압에 비하여 상대적으로 상당히 낮은 수준이며, 이를 결정하는 요인으로는 열용량에 대한 복수기의 상대적인 크기, 냉각용 해수의 온도 및 유량, 플랜트 운전 모드 등 다양하나, 배압 터빈 및 이때 방출되는 증기를 이용하여 해수 담수화 설비에 사용하는 경우는 복수기 내부의 압력이 대기압보다 높을 수가 있다. 현재 개념 설계에서 설정한 출력 운전중 복수기내의 압력은 해수 담수화 계통의 종류에 따라 다르나, 0.012 MPa로 잠정적으로 결정하였으며, 이때 해수의 온도는 20℃를 기준으로 하였으나, 이들 변수는 상세 설계가 진행되면서 변경될 수 있다.

자. 공기추출기(Air Ejector)

일차계통에서는 복수기의 내부 진공도를 유지하고, 또한 터빈발전기의 축을 밀봉하기 위하여 이들 축에 공급되는 저압의 증기가 지속적으로 공급될 수 있도록 터빈발전기 축의 최 외각 베어링부에서 증기와 공기의 혼합물을 흡입하기 위하여 증기식 공기추출기를 사용한다. 증기식 공기추출기는 케이싱, 증기 노즐, diffuser 및 냉각기 등으로 이루어져 있으며, 공기추출기의 작동은 별도의 동력을 필요로 하지 않고, 증기가 노즐을 통과하면서 발생하는 압력 감소 현상에 의하여 증기-비응축성 기체의 혼합물이 강제 흡입되며, 이들 혼합물이 냉각기에서 냉각되면서, 증기는 응축되어 회수되고, 비응축성 기체와 이에 혼합된 극소량의 증기는 외부로 배출되게 된다. 주증기배관으로부터 공급되는 증기(작동 증기)는 노즐을 통하여 증기식 공기추출기로 유입되면, 노즐을 통과하면서 속도가 증가하고, 속도 증가에 의하여 상대적으로 압력이 감소하며, 이에 따라 증기-비응축성 기체가 노즐로 흡입된다. 작동 증기와 흡입된 혼합물은 diffuser를 통과하면서 압축되고, 압축된 혼합물은 냉각기를 거치면서 냉각되어, 일부의 증기는 응축되고, 나머지는 다음 단으로 넘어가며 동일한 과정을 반복할 수 있다. 일반적으로 복수기에는 2단을 설치하며, 터빈축 밀봉용에는 1단을 설치하나, 필요한 용량에 따라 단의 개수를 조정한다. 최종적으로 대부분의 증기는 응축되고, 일부의 증기는 비응축성 기체와 함께 특별한 노즐을 거쳐 대기중으로 방출된다.

차. 기동용 냉각 장치

기동용 냉각 장치는 일차계통이 기동 운전중 증기발생기로부터 방출되는 증기-물 혼합물 또는 증기를 받아들여서 냉각시키기 위하여 사용한다. 주증기 배관으로부터 기동용 냉각 장치로 유입된 증기, 증기-물 혼합물 또는 경우에 따라서는 온수 등은 기동용 냉각 장치에서 냉각되나, 증기가 100% 모두 응축되는 것은 아니다. 일부 응축되지 않은 증기와 응축된 응축수는 기동용 냉각 장치 내에서 서로 분리되어 복수기로 유입된 후 복수기에서 증기가 최종적으로 응축되어 복수로 된다. 기동용 냉각 장치는 주증기압이 약 1.6 MPa이 될 때까지 계속하여 작동되며, 주증기압이 그 이상이 되면 터빈 우회 계통을 통하여 가슴조절기를 거쳐 복수기로 유입되어 냉각 및 응축되고, 더 이상 기동용 냉각 장치는 사용되지 않는다. 기동용 냉각 장치에 공급되는 증기의 효율적인 응축을 유도하기 위해서는 증기의 열전달계수를 증가시켜야 하며, 이를 위해서 효과적인 방식이 증기의 열전달 계수를 증가시키는 방식이다. 일반적으로 과열 증기는 열전달 계수가 포화 증기에 비하여 상대적으로 작기 때문에 과열 증기를 응축시키기 위해서는 상대적으로 많은 열전달 면적을 필요로 한다. 따라서 과열 증기가 기동용 냉각 장치로 유입되면, 유입된 과열 증기에 냉각수를 분사시켜 직접 응축 효과도 얻고, 과열 증기를 물-포화증기 혼합

상태로 바꿀 수 있는 장치를 기동용 냉각 장치에 설치하여 복수기에는 항상 포화증기와 응축수가 유입되도록 하고 있다. 기동용 냉각 장치는 케이싱, 노즐, 증기 공급 및 냉각수 공급용 배관 등으로 이루어진다. 주증기 배관으로부터 과열 증기, 증기-물 혼합물 및 온수 등이 노즐로 공급되면, 이들은 노즐에서 팽창되며, 복수 펌프로부터 공급되는 냉각수와 섞이면서 일부는 응축된다. 상대적으로 냉각된 이들 혼합물은 기동용 냉각 장치내의 구조상 유량의 흐름이 180도 바뀌게 되며, 이 과정에서 응축수와 아직 응축되지 않은 증기가 분리되어서 복수기로 유입된 후 최종적으로 냉각 및 응축된다.

카. 가습조절기

가습조절기는 터빈 우회 계통에 설치되어 있으며, 주증기관으로부터 터빈 우회 계통을 통하여 복수기로 유입되는 과열 증기에 냉각수를 혼합시켜서 복수기에는 증기-물 혼합 상태로 유입되게 함으로써 증기를 효율적으로 복수기에서 응축시키는데 목적이 있다. 과열 증기의 온도를 줄이기 위하여 복수 펌프로부터 응축수가 과열 증기내로 분사되며, 분사되는 응축수의 양은 가습조절기로 유입되는 증기량에 비례하여 변화되며, 냉각수 공급 기기에 의하여 조절된다. 냉각수 공급 기기는 터빈 우회용 밸브의 개도에 기계적으로 연결되어 있으므로, 터빈 우회용 밸브의 개도가 바뀌면 자동적으로 냉각수 공급 기기를 통과하는 냉각수량도 바뀌게 된다.

타. 해수 펌프

해수 펌프는 플랜트로부터 발생하는 열을 최종적으로 제거하기 위하여 해수를 복수기의 열교환기에 공급하는 역할을 한다. 원자로의 기동 운전시 및 정지 운전시 소요되는 전력을 최소화하기 위하여 저속 운전을 하고, 정상 운전시 정상 운전을 할 수 있도록 2가지의 회전 속도가 가능하도록 설계된다. 플랜트로부터 열을 제거하기 위하여 한 대가 작동하며, 한 대는 대기상태에 있으며, 교류 전기 모터에 의하여 구동된다. 펌프 베어링은 모두 물을 윤활액으로 사용할 수 있도록 설계된다. 또한 펌프로부터 누수를 막기 위하여 사용하는 축밀봉재의 냉각도 수냉식을 이용한다.

제2절 SMART 원자로계통의 안전성

SMART는 일체형 원자로로 기존의 분리형(loop type) 원자로와는 달리 노심, 증기발생기, 가압기, 주냉각재 펌프 등이 배관 연결 없이 한 개의 압력용기 안에 내장된 원자로이다. 따라서 분리형 원자로의 주요한 설계기준사고인 대형 냉각재상실사고(LBLOCA)가 근본적으로 배제되어 있다.

SMART 설계에는 기본적으로 입증된 경수로 설계기술을 이용하고 안전성을 획기적으로 제고시키기 위해 고유안전성 개념 및 피동안전 개념 등의 혁신적인 안전개념을 도입하였으며 신기술은 개별 실험 또는 시험을 통해 입증될 예정이다. SMART의 안전성관련 설계요건과 SMART의 안전성제고를 위한 주요한 설계특성을 요약하면 아래와 같다.

1. 주요 안전성 목표

SMART는 기존의 원자로에 비해 획기적인 안전성 확보를 목표로 하고 있는바 이와 관련된 주요 안전성 목표는 다음과 같다.

- 노심 손상빈도는 10^7 /RY 보다 작아야 함
 - 지진 및 파업을 제외한 내외부 사건을 포함하고 PSA를 통해 확인
- 방사는 대량 누설사고빈도는 10^8 /RY 보다 작아야 함
 - 매우 낮은 노심 손상빈도와 안전보호용기를 통한 사고빈도 최소화
- 방사선 방호목표로 부지경계에서 주민의 전신 피폭선량이 0.01SV (1rem)을 초과할 확률을 10^8 /RY 이하로 함
 - 사고 시 주민들의 비상 소개 불필요 목표

2. 주요 안전 요건

SMART에 대한 상기의 주요 안전성 목표를 달성하기 위해 설계과정에서 적용된 주요 안전요건들은 다음과 같다.

- 일체형 원자로 특성에 따른 방사선 조사에 저항력이 충분한 최적의 재료를 핵증기 공급계통에 사용
- 노심의 열적여유도는 15% 이상 확보
- 사고시 원자로심의 손상이 발생하지 않도록 안전계통 설계
- 교류 전원 상실사고와 함께 안전관련 사고가 발생한 경우 운전원의 조치 없이 최소한 72시간 동안 원자로심을 안전하게 냉각할 수 있어야 함. 또한 72시간 경과 후에도 운전원의 단순 조작만으로도 원자로심의 냉각이 가능하여야 하며, 특히 외부로부터 도움은 최소화 함

- 소내 또는 소외에서 사람에 대한 방사선 피폭량이 국내 관련법에 규정된 허용치를 초과해서는 안됨
- 안전 관련 기기는 정상 운전 및 사고 후 환경조건에 대하여 환경적으로 안전성이 보증되어야 함
- 핵증기 공급계통은 안전하지 않는 사고가 발생하였을 때 자동 경보장치와 함께 원자로를 안전하게 정지시킬 수 있는 계통이 구비되어야 함
- 핵증기 공급계통은 안전과 관련이 없는 계통의 기능 상실과 안전관련 계통의 단일 고장을 동반한 안전정지 지진과 동시에 소외 전력의 상실로 인하여 원자로가 정지되었을 경우 36시간 이내에 원자로를 저온정지 상태로 복귀시킬 수 있도록 설계되어야 하며 저온정지 설비는 EPRI 피동형 원자로 요건을 만족시켜야 함
- 원자로의 안전해석에 사용된 해석적 방법론 및 전산 프로그램은 국내 규제기관의 인허가를 취득한 것을 사용하거나 또는 새로운 방법론 사용시 인허가를 취득하여야 함
- 핵증기 공급계통은 과압으로부터 보호될 수 있도록 설계되어야하며 또한 자동적으로 원자로의 정지가 되지 않는 예상된 과도상태(ATWS) 발생시에도 보호될 수 있도록 설계되어야 함
- 반응도 출력계수가 모든 원자로 상태에서 항상 음이 되도록 원자로를 설계
- 충분히 개선된 인간기계간 연계계통을 사용하여 가능하면 정상운전중 고장이 생기지 않도록 설계
- 원자로 운전 또는 안전에 중요한 회전 기기 및 고압계통의 고장을 최소화하기 위해 누수감시, 진동 및 다름 발생 가능한 문제를 진단할 수 있는 기술을 사용
- 배관 파단사고에 대하여 핵연료의 손상이 발생하지 않도록 설계
- 정상적인 안전계통 작동신호가 존재하는 상황에서 안전계통의 작동을 운전원이 무시하고 안전기능에 반하는 운전을 할 수 없도록 설계
- 격납계통은 안전보호용기와 격납용기로 구성되며, 격납계통과 관련한 설계에 있어서 설계기준사고 발생시 격납계통을 통한 효율적인 열제거 및 방사성 물질의 외부 방출을 억제할 수 있도록 격납계통을 설계하여야 함. 특히 격납계통의 설계 압력을 결정하는데 있어서 가장 중요한 항목인 냉각재 상실사고 또는 증기관 파단사고를 고려하여야 함
- 설계기준 사고시의 선원향을 계산하는데 있어서 선원향은 NUREG-1465를 기준으로 함

- 설계기준 사고시 UO_2 핵연료 경우 피복재의 75%가 산화됨으로써 발생하는 수소의 양을 포함한 전체 수소량이 격납용기내의 공기량에서 13%를 초과하지 않도록 수소량을 제어할 수 있어야 함
- 격납계통을 구성하는 기기(격납용기 차단밸브 등)는 사고시 격납용기의 건전성을 확보하기 위하여 격납용기를 차단하는 기능을 수행하는 경우에 사고가 발생한 계통 또는 기기로부터 충분히 독립성을 유지할 수 있도록 설계하녀 공통고장이 발생하는 가능성을 최소화하여야 함
- 다중 방호개념을 도입하여 사고시 방사성 물질이 외부로 유출되는 경우를 최소화할 수 있도록 설계
- 격납용기의 누설율이 0.5wt%/일 이하가 되도록 설계
- 설계기준사고 발생 시 사용되는 공학적 안전계통은 냉각수 주입, 원자로심 냉각을 포함한 안전기능을 수행하는데 있어서 피동적 방법을 사용하여야 하며 필요시 능동계통을 사용할 수 있다. 피동적 방법에는 중력, 자연순환, 배터리 및 압축 유체에 저장된 에너지, 체크밸브 및 작동에 에너지가 불필요한 밸브 등을 이용
- 기본적으로 SMART의 계측 및 제어계통은 교류를 직류로 바꾸는 기능을 제외한 일체의 안전 교류 전력을 필요로 하지 않도록 설계
- 기본적으로 SMART는 모든 교류 전력 손실사고가 가능하면 발생하지 않도록 설계하여야 한다. 이를 위하여 주 발전기로부터 전력공급 외에 외부로부터 전력공급 등, 최소한 두 개의 비안전 등급 교류 전력원을 확보하여야 하고 이들 교류 전력원 중 최소한 한 개는 소내 발전기로부터 공급되어야 함

3. 중대사고관련 주요 안전요건

한국에는 아직 중대사고와 관련된 인허가정책이 결정되어 있지 않으며 검토가 계속되고 있다. SMART는 매우 낮은 노심손상빈도 등으로 인해 중대사고가 근본적으로 발생하지 않는다. 따라서 중대사고를 대비한 방호설비 설계대신 완화설계를 요건으로 정립하여 이를 설계에 반영하도록 한다.

- NUREG-1070 요건 만족
 - SMART 핵증기 공급계통 설계개발 시 NUREG-1070 요건에 의한 인허가 과정 중 부정적인 영향을 끼치지 않도록 설계
 - 핵증기 공급계통은 TMI 요건에 따라 검증할 수 있도록 설계

- 핵중기 공급계통은 USI, 상위 및 중위의 GSI에 대하여 제안된 기술적인 해결을 고려할 수 있도록 적절하게 설계
- 핵중기 공급계통은 가능한 한 중대사고를 방지하거나 완화할 수 있도록 설계
- SMART에 적용되는 확률론적 위험평가(PSA) 레벨 I을 수행
- 격납계통 설계 방안
 - 중대사고가 발생한 경우 격납계통이 방사성 물질의 외부 방출을 충분히 억제할 수 있어야 한다. 따라서 격납계통의 성능은 원자로 부지 외부에서 방사선량의 제한치를 충분히 만족시킬 수 있도록 격납계통의 기밀 유지성이 확보되어야 함
- 중대사고 선정 방안
 - 중대사고 선정과 관련한 사항을 정의하여야 하며, 이들 중대사고 선정 과정에서 중대사고 완화를 위하여 작동이 필요한 순서 및 해석을 수행하여 이들 결과가 중대사고를 완화하기 위한 격납용기 성능을 만족시킬 수 있는지 여부를 보아야 함
- 부속장비 접속 방안
 - 중대사고가 발생한 경우 사고를 완화할 수 있는 필요한 장비 또는 외부의 도움이 필요한 임의의 장비를 접속 및 사용하는 경우에 작업자의 방사선 피폭량을 최소화하도록 영구적인 부속장비 접속 설비를 갖추어야 함

4. 안전성 제고를 위한 SMART 설계특성

안전성 제고를 위한 설계특성은 고유안전성, 피동안전성, 계통 단순화, 첨단 인간공학 연계설계 등으로 요약되며 그 주요특성은 다음과 같다.

- 고유안전성 설계특성
 - 일체형 배열에 따라 대형 배관이 없으므로 대형 냉각재 상실사고 근원적 배제
 - 무봉산 노심설계에 따른 큰 음의 감속재 온도계수
 - 낮은 노심출력 밀도에 따른 출력 천이상태 자체흡수 용이와 큰 열적 여유도
 - 다량의 일차냉각수 및 큰 가압기 부피에 의해 thermal inertia가 크므로 출력변화에 대한 열적 저항성 및 수용성 여유도
- 피동안전 설계특성
 - 피동안전개념의 공학적 안전설비 (피동 잔열제거계통, 피동 노심냉각계통, 피동 원자로 과압보호계통 등)

- 원자로 안전보호 용기에 의한 소형 냉각재 상실사고 시 방사성 압력균형에 따른 노심 누출 방지 및 방사성 물질 누출 배제
- o 계통 단순화
 - 피동안전개념을 도입함으로써 각종 계통이 단순화되고 이에 따라 계통의 운전 불확실성을 제거하여 안전성 제고
- o 첨단 인간기계 연계설계
 - 디지털 기술, MMI 기술 접목으로 제어기능 향상에 따른 계통 안전성 제고

제3절 SMART 원자로 계통과 해수담수 플랜트의 연계개념

1. 마두라섬의 원자력 해수담수 플랜트 요건

SMART를 이용한 발전-담수 플랜트는 원자로(SMART), 발전계통 및 담수계통으로 구성된다. SMART는 열출력 330MW의 일체형원자로로 3.0MPa의 압력에서 286℃의 과열증기를 생산한다. 발전계통은 기존 원전과 동일하며 담수계통은 2차 계통으로부터 담수생산에 필요한 증기를 공급받는다.

원자력 에너지를 이용한 해수담수화의 가장 큰 기술적인 문제는 기존의 전력생산을 위한 이차계통과 담수계통의 연계문제이다. SMART를 이용한 원자력 해수담수화 플랜트는 전기 및 담수생산 요건을 만족하도록 연계되어야 한다. 마두라섬에 건설될 해수담수화 플랜트의 주요 요건은 다음과 같다.

| | |
|---|--------------------------|
| - Projected date for commercial operation | 2015 |
| - Reference date for economic evaluation | Dec. 31, 2001 |
| - Plant capacity | 2×100MWe/Unit |
| - Total capacity of desalination plant | 4,000m ³ /day |
| - Seawater temperature | 28-31 ℃ |
| - Total dissolved solid (TDS) | 31,000~35,000ppm |
| - Design Basis acceleration for safe shutdown | 0.4G |

2. SMART와 담수플랜트의 연계개념

원자력 해수담수 플랜트 건설에서 가장 중요하게 고려되고 있는 요소는 플랜트의 경제성과 안전성이다. 따라서 SMART 플랜트에 연계되는 해수담수 공정의 선정에서 플랜트의 경제성이 가장 중요한 요소의 하나로 고려되어야 한다. 그러나 마두라섬에 건설될 해수담수 플랜트는 담수용량 4,000m³/day으로 용량이 작기 때문에 원자력 발전-담수 플랜트의 경제성은 발전 즉 전기생산단가에 의하여 결정된다. 안전성 측면에서는 다음의 2가지 관점, (1) 방사성 물질에 의한 생산담수의 오염 방지, (2) 담수계통에서 발생 가능한 예상 과도현상으로부터의 SMART 계통 보호 특성이 고려되어야 한다.

가. 방사성 물질에 의한 담수의 오염 방지

열 에너지를 이용하는 원자력 해수담수에서 가장 중요한 안전현안은 원자로에서 발생한 방사성 물질에 의한 생산담수의 오염이다. 방사성 물질에 의한 오염으로부터 생산담수를 보호하기 위하여 SMART 플랜트와 해수담수 플랜트는 증기변환기(steam transformer)를 통하여 연결되며, 방사성 물질에 의한 생산담수의 오염 가능성을 지속적으로 추적할 수 있는 감시계통이 담수플랜트

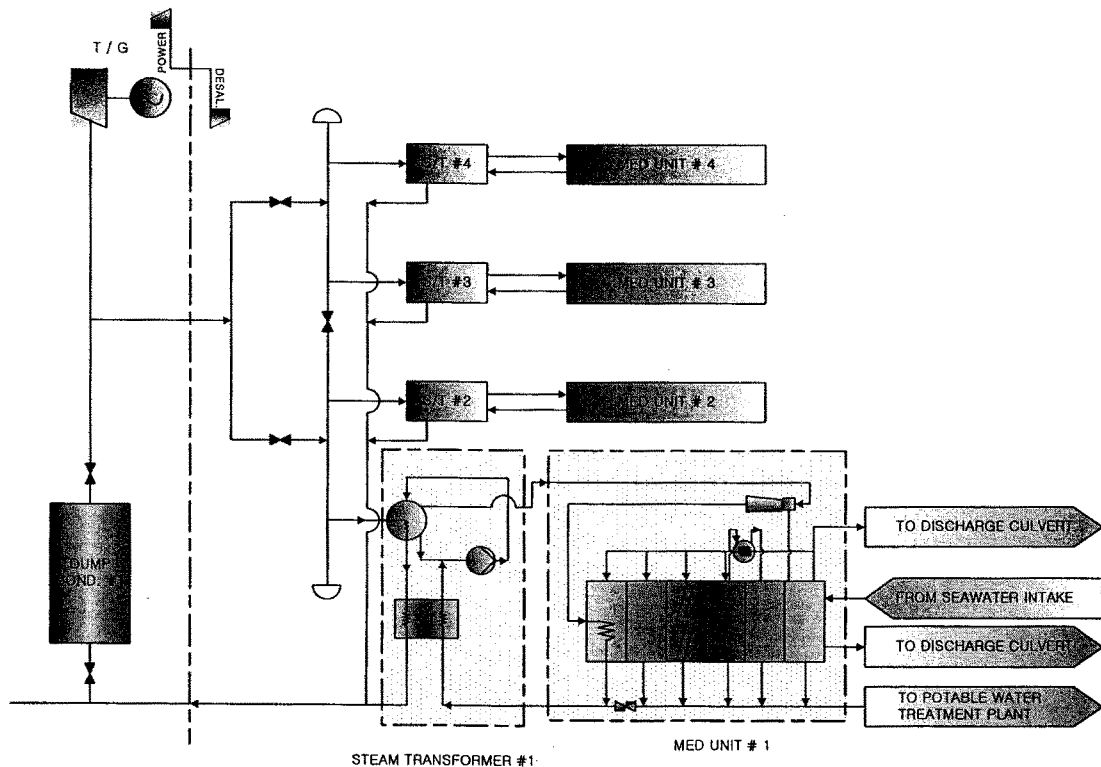


그림 3-8. SMART 해수담수 플랜트의 연계개념

에 설치된다. 그림 3-8은 SMART 발전-담수플랜트의 연계개념으로 담수생산용량이 작기 때문에 터빈중간에서 증기를 추출하여 증기변환기에 공급하고 증기변환기는 이 증기를 이용하여 담수플랜트에 사용되는 증기를 생성하여 공급하는 연계개념을 설정하였다. 증기변환기는 원자로에서 생성된 방사성 물질로부터 담수플랜트를 보호하기 위한 설비로 수평의 튜브 다발로 구성되며 터빈으로부터 추출된 증기를 이용하여 담수플랜트에 사용되는 증기를 생산한다.

나. 담수플랜트의 과도현상에 의한 SMART 안전성 평가

원자력 해수담수 플랜트의 안전성 측면에서 고려하여야 하는 또 다른 요소는 계통의 상호작용에 따른 운전 및 과도현상에 대한 현안이다. 원자로와 담수계통은 중간 열 교환기를 통하여 열적/기계적으로 연결되어 있기 때문에 담수계통에서 발생하는 과도 현상이 원자로의 안전성에 영향을 줄 수 있다. SMART 담수플랜트의 예상 과도현상은 담수플랜트의 특성과 연계계통 설계특성에 의하여 결정된다. 일반적으로 원자력 해수담수 플랜트의 안전성은 담수용량이 작은 경우에는 원자로의 안전성에 의하여 결정된다. 현재의 연계개념에서 SMART 설계기준사고를 발생하는 원인이 될 수 있는 잠재적인 가상 사건은 (1) 담수계통 disturbance에 의한 터빈 정지, (2) 담수계통으로의 유입되는 증기량의 급격한 증가로 인한 과부하, (3) 담수계통의 급작스러운 정지로 인한 부하 상실 등이 있다. 이들 가상사건의 영향은 SMART 설계기준사고에 대한 안전해석결과를 이용하여 주요 안전변수들에 대한 bounding 방법을 적용하여 평가하였다.

이들 평가 결과를 종합하면 담수계통의 과도현상에 의해 야기되는 SMART 발전-담수 플랜트의 과도현상은 주요 안전변수가 SMART의 설계기준사고에 Bounding 된다. 따라서 담수계통의 연계로 인해 SMART의 안전성을 위협하는 새로운 요인이 추가되지 않는 것으로 분석되었다.

(1) 담수계통 disturbance에 의한 터빈 정지

담수플랜트의 disturbance에 의하여 터빈이 정지되는 사고의 경우에는 일차계통의 고압 신호 또는 이차계통의 증기의 고압 신호에 의해 원자로가 정지하게 된다. SMART의 경우 원자로 정지와 동시에 피동잔열제거 계통이 작동하여 노심의 붕괴열을 제거한다. 터빈이 정지하면 일차계통의 압력과 온도가 상승하게 되므로 일차계통의 최대 압력과 최소 DNBR이 중요한 안전변수가 된다. 그림 3-9는 터빈 정지사고에 대한 일차계통의 압력과 DNBR 변화로써 SMART의 SAFDL(설계압력의 110%-18.7MPa, DNBR=1.41)에 충분한 여유를 가지고 있다.

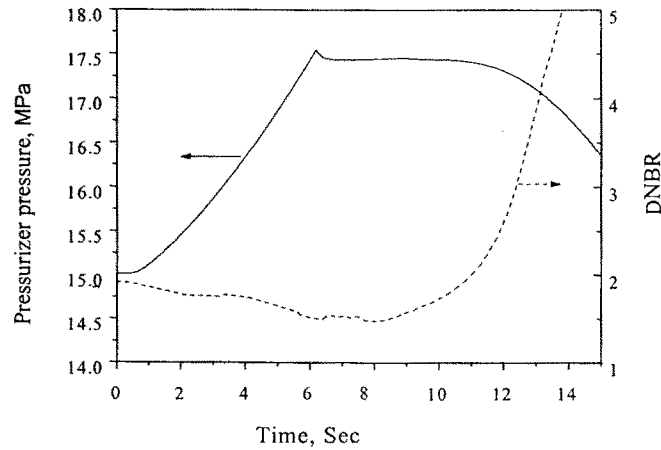


그림 3-9. Turbine 정지시 가압기 압력 및 DNBR 변화

(2) 담수계통으로의 유입되는 증기량의 급격한 증가로 인한 과부하

담수계통의 과부하 또는 증기 공급 배관의 파단사고는 담수계통으로 유입되는 증기량의 급속한 증가는 SMART 일차계통을 냉각시키는 원인이 된다. 일차계통의 온도가 감소하면 노심 냉각재의 부 반응도가 증가하게 되어 원자로의 출력이 증가한다. 이 사고는 원자로의 고출력 또는 이차계통 증기의 저압 신호에 의하여 원자로가 정지하게 된다. 따라서 최소 DNBR이 가장 중요한 안전변수가 되며 이 사고는 SMART의 주증기관 파단사고(MSLB)에 의해 bounding 된다. 그림 3-10은 MSLB에 minimum DNBR로 SMART SAFDL 1.41에 충분한 여유를 가지고 있다.

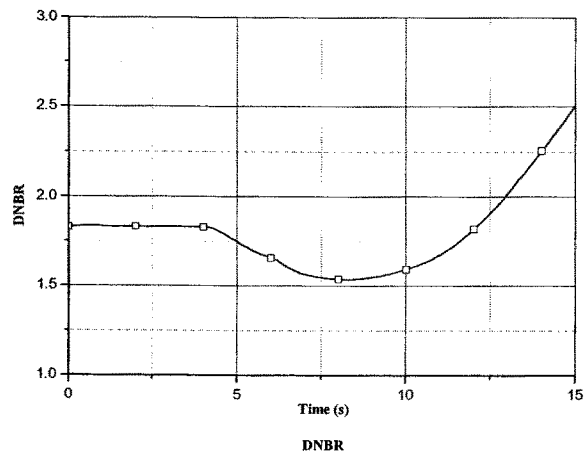


그림 3-10. 주증기관파단사고(MSLB)시 DNBR 변화

(3) 담수계통 정지로 인한 부하 상실

담수계통의 갑작스런 정지는 담수계통으로의 증기 유입이 차단되어 이차계통의 압력이 증가하게 된다. 이 경우 이차계통의 고압신호에 의하여 원자로가 정지하게 되며 이차계통을 통한 열전달 성능 저하로 일차계통의 압력과 온도가 증가하게 된다. 이 사고는 이차계통의 전 부하상실 사고, 터빈 정시사고 및 급수파단사고에 의하여 Bounding 된다. 그림 3-11, 3-12는 급수관 파단 사고에 대한 해석결과는 최소 DNBR과 최대압력이 SAFDL에 충분한 여유를 가지고 있다.

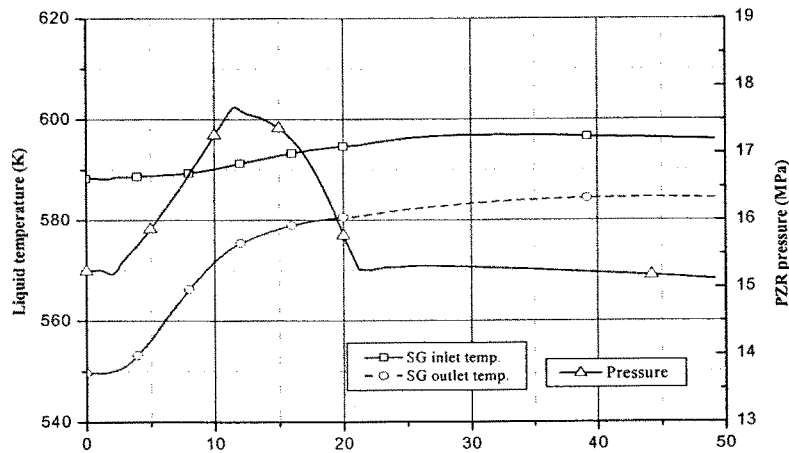


그림 3-11. 급수관파단사고(FLB)시 SMART 일차계통의 압력 및 온도변화

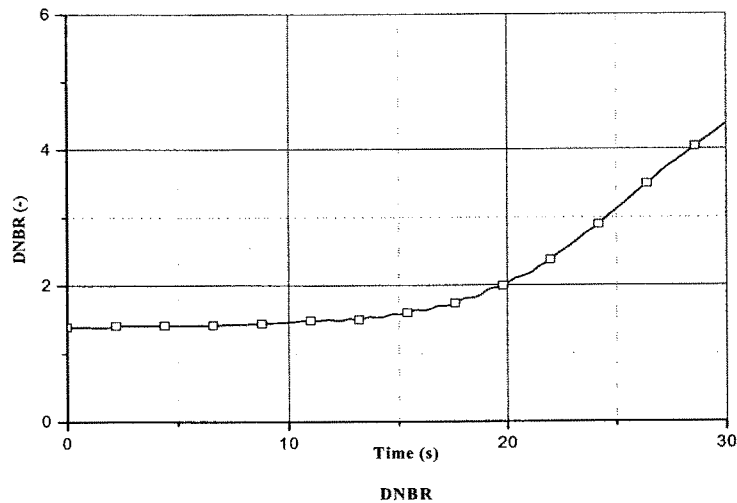


그림 3-12. 급수관 파단사고(FLB)시 DNBR 변화

제4장 마두라섬의 원자력 해수담수 사업의 경제성 평가

전력과 담수를 동시에 생산하는 설비에 대한 경제성은 생산설비의 규모뿐만 아니라 전력과 담수의 생산비율, 운영에 있어서 전력과 담수의 생산비율의 변화 폭, 그리고 부지 조건 등에 의하여 크게 영향을 받는다. 본 연구에서는 SMART 플랜트와 화석연료 발전원을 비교 대상을 선정하고 화석연료 발전원으로는 복합화력과 석탄화력을 고려하였다. 이는 전력담수 동시생산 설비가 기저부하로 운전된다는 가정에 따른 것이다.

제1절 경제성 분석 방법론

본 연구에서는 해수담수화의 경제성 분석을 위하여 IAEA의 DEEP (Desalination Economic Evaluation Program)을 사용하였다.

1. DEEP Program의 방법론

DEEP 프로그램은 power credit 방법을 사용하여 담수비용을 산출한다. Power credit 방법은 다음과 같은 개념을 기본으로 하고 있다. 즉, 담수플랜트에서 사용하는 증기를 담수플랜트에 공급하지 않고, 대신 전기를 생산하는데 이용하였다면 전력의 생산이 가능하였을 것이고, 이 전기를 판매하면 수입이 발생하였을 것이다. 그런데 증기를 전기생산에 사용하지 않고 담수플랜트에 공급하였으므로 이에 상응하는 수입의 손실이 발생한다. 이 수입의 손실분을 담수생산비용에 부과하는 방법이 바로 power credit 방법이다. 따라서, power credit 방법에 의한 담수생산 비용은 전력생산의 감소분(담수생산으로 인한)을 발전단가(담수생산을 하지 않고 전력만을 생산할 경우의)와 곱함으로써 산출된다. 이와 같은 계산과정을 통하여 복합생산과정에서 발생하는 공통비용을 배분한다. Power credit 방법을 사용하면 복합생산에 따른 경제적 편익은 모두 담수생산에 귀착된다.

Power credit 방법이 DEEP 프로그램에서 어떻게 적용되고 있는지에 대한 설명은 다음과 같다: 우선, 발전단가를 산출한다. 이 경우 복합 플랜트는 담수를 생산하지 않고 모두 전력만을 생산하도록 운영된다고 가정한다. 여기서 산출된 발전단가는 담수생산과정에서 발생하는 열비용의 산출에 이용된다.

총 담수생산 비용은 총연간 필요 수입을 연간 평균 담수생산량으로 나누어서 산출한다. 이것은 평준화비용의 개념으로써 수명기간동안에 걸친 담수생산의 평균비용이다.

- 총 담수생산비용 (\$/m³) = 총 연간 필요 수입 / 연간 평균 담수 생산량

담수생산에 필요한 총 연간 수입은 연간 담수생산 플랜트의 고정비, 연간 담수생산의 열비용, backup heat source의 연간 연료비용, 담수생산에 필요한 연간 전기비용, 담수생산 플랜트의 연간 운전유지비, 연간 전력구입비용으로 구성된다.

- 총 연간 필요수입

= 연간 담수생산 플랜트의 고정비 + 연간 담수생산의 열비용 + backup heat source의 연간 연료비용 + 담수생산에 필요한 연간 전기비용 + 담수생산 설비의 연간 운전유지비 + 연간 전력구입비용

- 연간 담수생산설비의 고정비

= 총투자비 x 자본회수계수

총투자비

= (기준 건설단가 x 설비용량 x 건설 기수 x 교정계수) + 해수 intake/outfall 시스템 비용 + backup heat source 비용 + 사업주 비용 + 예비비 + 건설중이자

연간 평균 담수생산량

= 담수생산 최대 용량 x 담수생산 플랜트의 가동률

담수생산의 연간 열비용은 총 연간 필요수입의 구성항목 중의 하나이다. Power credit 방법에 따르면, 전력생산의 손실에 의한 수입의 손실 분은 담수생산에 부과되어야 한다. 따라서 열비용은 전력생산의 손실분을 발전단가와 곱하여 산출된다.

연간 담수생산 열비용 = 연간 전력생산 손실분 x 평준화발전단가

2. 전력과 담수생산의 상호관계(비용 배분 방법)

담수만을 생산하는 담수플랜트에 대한 담수생산 단가의 산출에는 방법론상 특별한 어려움이 없다. 이 경우에는 연간 총비용을 연간 담수생산량으로 나누어주면 담수생산 단가가 산출된다. 그러나, 두 가지 산출물을 동시에 생산하는 복합플랜트의 경우에는 연간 총비용을 두 산출물에 적절히 배분해 줄 필요가 있다. 두 개의 복합플랜트에 대한 경제성 평가를 수행할 경우 만약 각각의 복합플랜트에서 생산된 물과 전력의 양이 서로 동일하다면 물과 전력에 대한 비용 배분 문제는 고려하지 않아도 무방하다. 이 경우에는 두 개의 복합플랜트 각각의 총비용만을 서로 비교하면 충분하기 때문이다.

물과 전력의 복합플랜트에 대한 경제적 요인을 설명하기 위해 복합플랜트를 3개의 부분 즉 터빈에 공급되는 고압 증기플랜트, 전기를 생산하는 turbo-generator와 저압 증기, 이 저압증기를 이용하여 fresh water를 생산하는 담수화 플랜트로 구분하여 그림 4-1과 같이 나타냈다.

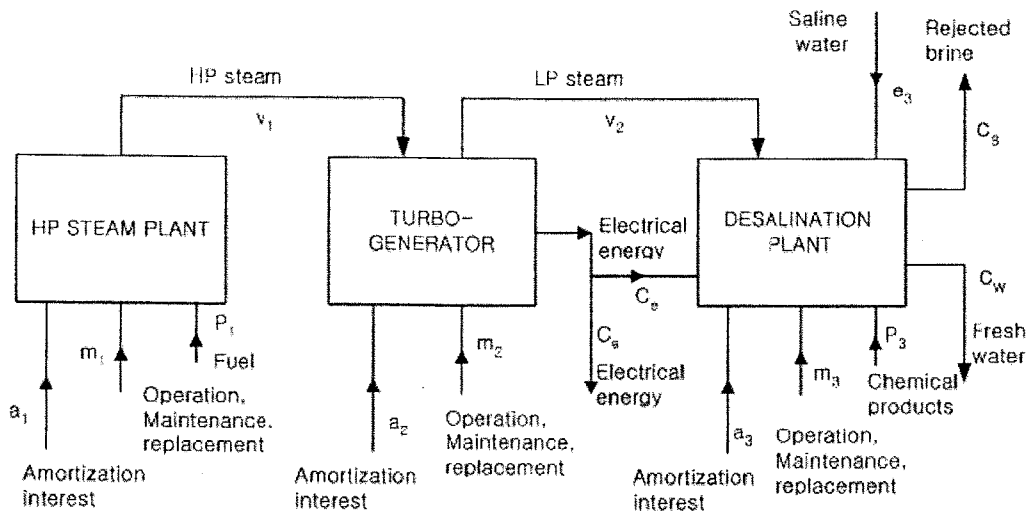


그림 4-1. 복합 플랜트의 경제적 요인 도해

물과 전력의 복합플랜트의 총비용을 최종 생산물인 물과 전력에 배분하는 데는 여러 가지 방법이 있다.

두 개의 상품인 물과 전력에 대한 총 생산비용 산정은 일반적인 비용계산 방법에 의해 비교적 쉽게 도출할 수 있다. 그러나, 물과 전력의 생산비를 각각 별도로 계산하는 것은 어려운 일이다. 이는 고압증기 플랜트 비용을 물의 생산

과 전력의 생산에 배분하기 위해서는 임의의 방법에 의존하지 않을 수 없기 때문이다. 공통이용 항목인 부지, 사무실, 공동 보조기기 들도 이와 동일한 비용배분의 문제를 갖고 있다. 이러한 공통비용의 배분 문제는 복합생산의 전형적인 문제이다. 복합플랜트의 연간 생산비는 전력의 연간 생산량과 물의 연간 생산량의 함수로 나타낼 수 있다.

연간 생산비를 x_t , 연간 물 생산량을 E_w , 연간 전력 생산량을 E_e 라고 하면, $x_t = f(E_e, E_w)$ 의 함수관계가 성립한다. 이 함수를 $x_t = f_1(E_e) + F_2(E_w)$ 로 구체화하여 $f_1(E_e)/E_e$, $F_2(E_w)/E_w$ 와 같은 단위비용을 도출하기 위해서는 임의의 가정들을 설정해야한다. 비용배분방법은 물과 전력의 단위비용을 선형적인 관계로 표현하는 것을 목적으로 한다. 즉 전력생산의 단위비용을 c_e , 물생산의 단위비용을 c_w 라고 할 경우

$$x_t = c_e E_e + c_w E_w \quad (1)$$

의 관계를 설정한다.

(1)식을 그림으로 나타낸 것이 그림 4-2인데, 이 그림에 나타난 직선의 기울기는 물과 전력의 생산량 비율을 의미한다. 연간 생산비인 x_t 를 계산하는 경제적 가정이 변화하면 이 직선 자체가 위 또는 아래로 이동하게 된다.

그림 4-2의 직선 상에 있는 점들 중에서 두 개의 경계점을 결정할 수 있다. 이는 이 직선상의 모든 점이 전부다 실현가능하지 않으며 두 경계점 사이의 점들만이 합리적으로 실현 가능하다는 것이다. 이 문제는 근본적으로 물과 전력의 복합생산으로 인한 편익을 어느 생산물(즉, 물과 전력)에 얼마만큼 귀속시키는 가에 대한 의사 결정에 관한 것이다.

복합생산의 총비용이 주어진 경우 물 생산비용은 전력생산비용의 함수가 된다. 이 경우 전력생산비용의 값을 얼마로 정할 것인가가 문제이다. 만약에 전력생산비용을 굉장히 큰 값으로 설정하면 물 생산비용은 지나치게 적은 값을 갖도록 되므로 물 생산의 경제성이 지나치게 우월한 것으로 평가될 것이다. 따라서 하나의 판단기준으로 최소 전력생산비용을 설정한다. 여기서 전력비용을 가능한 최소비용으로 설정하고 이에 따라 도출되는 물 생산비용에 관하여 고찰해 보기로 하자. 이렇게 도출된 물 생산비용은 복합생산에 따른 모든 편익을 물의 생산에 귀속시킬 경우의 물 생산비용이 되는 것이다. 만약에 물과 전력의 복합생산에 따른 모든 편익을 물의 생산에 귀속시킨다면(전력의 생산 감소를 초래하지 않으면서), 전력 생산의 단위비용 중 가능한 최소의 값을 설정하여,

복합생산의 총비용으로부터 이 값을 빼줌으로써 물 생산비용(복합생산의 모든 편익이 물의 생산에 귀속된)이 결정되고 따라서 직선 상의 A점이 결정되는 것이다.

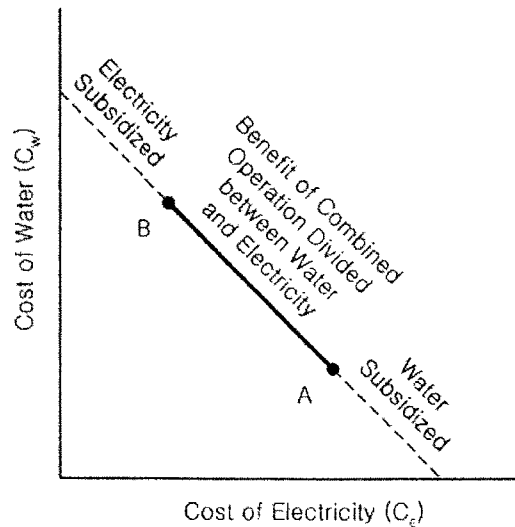


그림 4-2. 물과 전력 생산 복합 플랜트에 있어서 연간 총 비용의 배분

B점도 이와 동일한 방법으로 결정되는데 이 경우는 복합생산의 모든 편익이 전력 생산에 귀속된다. 따라서 B점은 물과 전력의 복합생산의 총비용으로부터 가능한 최소의 물 생산비용을 빼줌으로써 결정된다. A점과 B점 사이의 점들은 복합생산으로 발생하는 편익을 물과 전력의 생산에 나누어서 귀속시킬 때 도출되는 점들이다. A점의 왼쪽에 있는 점들에 해당하는 전력생산비용은 최소전력생산비용 보다도 더 적은 값을 갖는데 이는 복합생산의 편익이 전력생산에 부분적으로 귀속되었기 때문이다. 마찬가지로 B점의 오른쪽에 위치하고 있는 점들에 해당하는 물생산 비용은 최소 물생산 비용보다도 더 적은 값을 갖게 되는데 이는 복합생산의 편익이 부분적으로 물생산에 귀속되기 때문이다.

A점과 B점 사이에 위치하고 있는 점들은 총복합생산비용의 두 상품(물과 전력)에 대한 분배의 정도에 따라 결정되므로 어느 점을 선택하는 것이 더 타당한가에 대해 판단할 수는 없다. 여기서 물생산과 전력생산의 단위비용의 도출에 있어서 A점을 선택하도록 하는 것이 power credit 방법이며 B점을 선택하도록 하는 것이 water credit 방법이다.

선분 AB 이외의 선상에 위치한 점들도 연간 총비용이 xt 와 일치하기 때문에 선택이 가능하다. 그러나 이 경우는 한 상품의 생산이 다른 상품의 생산비를

보조해 주는 결과가 된다. 예를 들어 A점의 오른 쪽에 위치한 점들에 해당하는 물 생산비용은 지나치게 낮게 도출되는 반면 전력생산비용은 최소생산비용보다 더 높게 평가됨으로써 전력의 생산이 물생산에 보조금을 지불하는 형태로 귀결된다.

지금까지 널리 이용되고 있거나 주장되고 있는 비용배분 방법에는 "cost prorating" 방법과 "credit" 방법이 있다.

Credit 방법은 한 개의 상품 생산비용을 사전에 설정하고, 복합총생산비용으로부터 이 비용을 차감하여 다른 상품의 생산비용을 도출하도록 하는 반면에, "cost prorating" 방법은 총생산비용을 물과 전력의 생산에 배분하는 것인데 이는 복합생산으로 인한 편익이 두 상품의 생산에 나누어 귀속됨을 의미하는 것이다.

제2절 원자력 해수담수 플랜트 건설사업비 산정

1. SMART의 건설단가 산출

본 연구에서의 SMART 플랜트의 건설단가 산출은 한국전력기술주식회사의 분석결과를 이용하였다. 건설단가의 산출은 순건설비(overnight cost)의 산출에서 시작된다. 순건설비는 2002년 1월 1일 시점에서의 모든 장비비, 서비스비, 토목·건축비, 사업주 비용 및 예비비 등으로 구성되는데, 이 비용에는 에스컬레이션이나 건설중 이자는 반영하지 않는다. 이 비용은 직접비와 간접비로 분류할 수 있는데, 직접비는 주기기, 토건공사비, 기전공사비 등이 포함되며, 간접비에는 설계기술용역비, 사업주비 등이 포함된다. 수입관세는 고려하지 않았으며 시뮬레이터와 switchyard 외부의 송전선로는 포함하지 않았다. 건설단가의 산출은 다음과 같은 전제하에서 수행되었다.

2. 방법론

비용지수방법, 플랜트 부품 비율 방법 등을 활용하였다.

- 기준 시기

순건설 투자비는 2002년 1월 1일의 시점에서 평가하였다.

- 기술적 모델

기술적 자료는 SMART의 기본설계, 이를테면, 원자로 유형, 플랜트 용량 등에 의존하였다. SMART의 기본 설계의 주요 특징은 다음과 같다:

원자로 유형 : 일체형 원자로
플랜트 용량 : 2 x100 MWe
경제적 수명기간 : 40 년

- 부지조건

인도네시아의 원자력 발전부지 조건이 한국의 일반적인 부지 조건과 유사하다는 가정 하에서 건설비용의 산출을 수행하였다.

- 계약형태

Turnkey basis의 계약을 고려하였다.

- 화폐단위

투자비는 미국의 달러를 기준화폐 단위로 하여 추정하였다.

- 수입관세

인도네시아에서 부과하는 수입관세와 부품에 대한 부가가치세는 면세되는 것으로 가정하였다.

3. 순건설단가 산정

순건설단가의 산정에 있어서 총 건설공사 인력의 60%는 인도네시아의 현지 노동인력을 활용하고 나머지 40%는 한국의 노동인력을 투입하는 것으로 가정하였다. 또한 핵중기공급계통(NSSS), T/G, 보조기기 등의 기자재는 외국의 공급업체가 공급하는 것으로 가정하였으며, 토목, 건축 시공 자재는 인도네시아의 국내시장에서 조달하는 것으로 가정하였다.

이들 수치는 개념적인 추정치를 제공하는 것이며, 기본설계와 이미 언급한 기본전제에 근거하여 산출된 것이다. 따라서 인도네시아의 현지 조건을 좀더 구체적으로 반영할 필요가 있으며 그에 다른 개선의 여지가 존재한다.

인도네시아에 건설될 SMART 플랜트의 순건설단가는 표 4-1과 같이 산출되었다.

표 4-1. SMART 플랜트 순건설비 산정결과

(단위: 1000달러(2002년 1월 1일))

| 항목 | | SMART | |
|----------------|----------|---------|---------|
| | | 1기 | 2기 |
| 직접비 | NSSS, 터빈 | 48,938 | 95,429 |
| | 토건공사비 | 27,883 | 52,978 |
| | 기전공사비 | 67,262 | 127,797 |
| | 소계 | 144,083 | 276,204 |
| 간접비 | 설계기술용역비 | 13,403 | 20,105 |
| | 사업주비 | 6,717 | 12,897 |
| | 소계 | 20,121 | 33,002 |
| 예 비 비 | | 7,204 | 13,810 |
| 총 계 | | 171,408 | 323,017 |
| 순건설단가(US\$/kW) | | 1,714 | 1,615 |

제3절 발전단가 및 담수생산단가 산정

1. 입력자료 및 가정

가. 기술적 자료

기술 입력자료는 표 4-2과 같다. 자료는 인도네시아의 마두라섬에 관한 것이다. 평균 냉각수 온도는 발전소의 순 전력생산 용량의 결정에 중요한 역할을 한다. 평균 냉각수온도가 발전소의 기준 condensing 온도와 차이가 나면, 순 전력 생산용량은 다시 산출되어야 한다. 인도네시아의 자료에 의하면 해수 온도는 28℃~31℃ 이다. 본 연구에서는 해수온도의 기준치로 30℃를 사용하였다.

해수의 TDS는 역삼투압 플랜트(RO) 공정에서 매우 중요하다. TDS가 높을수록, 에너지 소비가 더 많게 된다. 인도네시아의 자료에 의하면, TDS는 31,000 ppm~35,000 ppm의 범위를 나타내고 있다. 본 연구에서는 TDS의 기준값으로 33,000ppm을 적용하였다.

표 4-2. 기술적 입력자료

| 항목 | 단위 | 기준값 |
|-------------|-----|--------|
| 연간 평균 냉각수온도 | ℃ | 30 |
| 해수 TDS | ppm | 33,000 |
| 평균 공기온도 | ℃ | 32 |

연간 평균 냉각수온도와 평균 공기온도는 DEEP의 기준치 보다 높다. 이러한 높은 온도는 발전 플랜트의 운전성능을 저해하는 방향으로 작용한다.

나. 경제적 입력자료

경제성 입력자료는 표 4-3에 나타나 있다. 주요가정은 다음과 같다:

- 기준 화폐 및 시기

기준 화폐로는 미국의 달러화를 사용하였으며 기준 시기로는 2002년 1월 1일을 설정하였다.

- 운전기준 시점

비용 비교를 목적으로 한 기준 운전시점은 2015년 1월 1일로 설정하였다. 이는 인도네시아의 원자력 담수화 플랜트 도입계획을 반영한 것이다. 그러나, 원자력 담수화 플랜트 도입 계획이 지연되면 기준 운전시점도 2015년 이후로 연기될 수 있다.

- 경제적 수명기간

본 연구에서는 화석발전 플랜트의 경제적 수명기간은 30년으로 설정하였다. SMART의 경우 설계 수명기간은 60년인데, 보수적인 관점에서 경제적 수명기간을 40년으로 가정하였다.

- 부하율

모든 발전 플랜트에 대하여 평균 부하율은 80%를 적용하였다. 담수화 플랜트의 경우는 평균부하율을 96%로 가정하였다.

- 할인율

개발도상국에서 많이 사용하는 할인율의 수치는 5%~12%이다. 본 연구에서는 10%를 인도네시아의 기준치로 설정하였으며, 민감도 분석에서는 8%와 12%를 적용하였다.

표 4-3. 경제적 입력자료

| | 기준치 | 민감도 수치 |
|-----------|-----------------|---------------------------|
| 기준화폐 | US\$(2001년 12월) | |
| 운전 시기 | 2015년 1월 1일 | |
| 경제적 수명기간 | | |
| -화석연료 발전소 | 30년 | |
| -원자력발전소 | 40년 | |
| 평균 부하율 | | |
| -발전 플랜트 | 80% | |
| -담수화 플랜트 | 96% | |
| 실질이자율 | 8% | |
| 할인율 | 10% | 8%, 12% |
| 천연가스 가격 | \$2.5/mmbtu | \$2.25/mmbtu, \$2.75mmbtu |
| 석유가격 | \$20/bbl | \$16/bbl, \$24/bbl |
| 석탄가격 | \$35/t | \$30/t, \$40/t |
| 연료비 상승율 | | |
| -가스/석유 | 1%/년 | |
| -석탄 | 1%/년 | |
| -원자력 | 0%/년 | |
| 전력구입비 | 7mills/kWh | |

- 화석연료가격

인도네시아의 석탄가격은 2001년 10월 기준으로 약 31\$/t이다. 본 연구에서의 석탄 가격은 보수적 관점에서 기준치를 35\$/t으로 정하였으며 민감도 분석에서는 30\$/t과 35\$/t를 적용하였다. 복합화력과 가스 터빈은 천연가스를 사용하는 데, 천연가스의 가격은 2.5\$/mmbtu를 기준치로 설정하였으며 민감도 분석에서는 2.25\$/mmbtu와 2.75\$/mmbtu를 적용하였다. 석탄과 천연가스의 가격은 연간 1% 상승하는 것으로 가정하였다. 복합화력과 가스터빈의 연료로서 천연가스 대신에 석유를 사용하는 것을 민감도 분석에서 고려하였다.

- 전력 구입 가격

구입전력 가격은 7 mills/kWh로 가정하였다. 이 가격은 인도네시아 전력공사 (PLN)가 2005년에 목표로 하고 있는 수준이다.

다. 발전소관련 경제적 및 기술적 자료

발전설비의 경제성 계산을 위하여 다음과 같은 발전소 관련 자료를 활용하였다.

- 건설공기

SMART 플랜트의 건설공기는 36개월로 가정하였다. 석탄화력(600MWe) 플랜트는 48개월, 가스터빈과 복합화력(194MWe) 플랜트는 24개월로 가정하였다.

- 건설단가

본 연구의 복합화력발전의 플랜트 규모는 194MWe인데 현재 건설단가 자료의 인수가 가능한 플랜트 규모는 500MWe이다. 따라서 용량보정계수를 사용하여 복합화력의 건설단가를 추정하였다.

- SMART 자료

건설단가와 운전유지비에 대한 자료는 한국전력기술주식회사가 산출한 결과를 이용하였으며, 연료비는 이전 연구의 결과를 이용하였다.

이상의 발전 플랜트 관련 기술적 경제적 자료는 표 4-4와 같다.

표 4-4. 발전 플랜트의 기술적 경제적 자료

| 항목 | 단위 | 석탄화력 | 복합화력 | 가스터빈 | SMART |
|-------|----------|-------|------|------|-------|
| 설비용량 | MWe | 600 | 194* | 123* | 2×100 |
| 열효율 | MWe | 0.36 | 0.49 | 0.33 | 0.33 |
| 건설공기 | 월 | 48 | 24 | 24 | 36 |
| 건설단가 | US\$/kWe | 1,088 | 880 | 400 | 1,615 |
| 운전유지비 | US\$/MWh | 3.43 | 5.23 | 4.57 | 2.32 |
| 연료비 | US\$/MWh | - | - | - | 8 |

주1) gross output

주2) 화석연료발전의 연료비는 DEEP의 직접 입력자료 사항이 아님

라. 담수 플랜트의 경제적 및 기술적 자료

담수 플랜트의 경제적 및 기술적 자료는 표 4-5와 같다.

표 4-5. 담수 플랜트의 경제적 및 기술적 자료

| 항목 | 단위 | MED | MSF | RO |
|-------------------------|-----------------------|---------|--------|-------|
| 설비 규모 | m ³ /d | 4,000 | 4,000 | 4,000 |
| 기준 단위비용 | \$(m ³ /d) | 1,067.6 | 1235.6 | 912.5 |
| 담수플랜트 비용의 예비비 계수 | | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| 담수플랜트의 사업주 비용 계수 | | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| 담수플랜트의 건설공기 | 개월 | 12 | 12 | 12 |
| 관리자 평균 임금 | \$/년 | 6,000 | 6,000 | 6,000 |
| 노동자 평균 임금 | \$/년 | 3,600 | 3,600 | 3,600 |
| 운전유지 예비비(specific) | \$/m ³ | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 튜브 교체비용(저온 MED의 경우만 적용) | | 0.01 | - | - |
| 필터 교체비 | \$/m ³ | - | - | 0.05 |
| 운전유지 예비비 | \$/m ³ | - | - | 0.04 |
| 전처리 화학제품비용 | \$/m ³ | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 후처리 화학제품비용 | \$/m ³ | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 담수화플랜트 보험비용 | % | 0.5 | 0.5 | 0.5 |

- 기준 단위비용

기준 단위 비용은 플랜트 용량에 따라 다른 값을 갖는 것이 일반적이다. 이는 규모의 경제가 작용하기 때문이다. 본 연구에서 고려하고 있는 담수 플랜트의 설비용량은 4,000m³/day인데, 현재 입수 가능한 소형 담수 플랜트의 설비용량은 3,000m³/day이다. 따라서, 3,000m³/day 설비용량의 담수 플랜트에 대한 기준 단위비용을 기준으로 하고, 이 값에 용량보정계수를 적용하여 4,000 m³/day 설비용량을 갖는 담수 플랜트의 단위 비용을 산출 하도록 하였다.

- 담수 플랜트 건설공기

담수 플랜트의 건설공기는 DEEP의 기준 값을 인용하였다. DEEP에서는 12,000m³/day 플랜트 용량의 담수 플랜트의 건설공기를 12개월로 설정하

고 있다. 본 연구에서의 담수 플랜트의 용량은 이 보다 훨씬 작은 4,000m³/day 이지만 건설공기를 12개월로 설정함으로써 보수적인 접근을 시도하였다.

- 관리자 및 노동자의 평균 임금

관리자 및 노동자의 임금은 튀지니아의 사례분석에서 사용한 값을 인용하였다. 인도네시아의 노동자 임금은 튀지니아와 비슷하다고 가정한 것이다. 관리자의 임금은 6,000\$/연 이고, 노동자의 임금은 3,600\$/년의 값을 적용하였다. 그 이외의 자료는 DEEP의 기준값을 사용하였다.

2. 발전원별 경제성 비교 평가

이미 언급한 바와 같이, 복합생산 플랜트의 경우는 경제성 평가와 우선순위 결정이 훨씬 복잡해지므로, 서로 다른 대안들의 경제성을 평가하여 비교하기 위해서는 방법론이 잘 정의되어야 하고, 이들 대안들의 산출량(두 가지 상품) 뿐만 아니라, 연간비용도 동시에 고려해야 한다.

동일한 담수생산량을 가지고 있으면서 기본 발전설비(담수 플랜트에게 공급할 열이나 전기를 생산하지 않는)의 규모가 유사한 플랜트들을 비교하는 적절한 방법으로는 소위 “등가 발전비용”(equivalent electricity generation cost)이 있다. 등가 발전비용은 다음과 같이 표현된다.

$$C_{eq} = C_o / E_o$$

여기서 C_o 는 연간 비용이고 E_o 는 전력계통에 공급 가능한 연간 순발전량이다.

연간 비용은 다음과 같은 식에 의하여 산출될 수 있다.

$$C_o = (\text{평준화 발전비용 연간 평균 발전량}) + (\text{담수생산비용 연간 평균 담수생산량})$$

즉, 이 방법은 담수생산이 전력생산에 의하여 완전한 보조를 받고 있다는 암묵적인 가정을 하고 있는 셈이다. 이 방법을 적용할 경우, 등가 발전비용이 가장 낮은 대안이 가장 경제적인 대안이 된다.

대안간의 경제성 비교평가는 두 가지 방법에 의하여 수행되었다. 한 방법은 등가발전비용에 의한 것이고, 다른 하나는 담수생산비용에 의한 것이다.

가. 등가발전비용

등가발전 비용방법에 의한 산출결과는 그림 4-3과 같다. 석탄발전소와 연계한 RO공정(contiguous reverse osmosis)이 가장 경제적인 대안으로 나타났다(4.087 cent/kWh). 그러나, 동 방법은 이미 언급한 바와 같이 동일한 담수생산량과 유사한 기본 발전설비규모를 가지고 있는 경우에만 적용가능 하므로, 석탄화력 발전은 비교 대안에서 제외되어야 한다.

이는 석탄화력발전의 설비용량 규모가 600MWe로서 이는 다른 대안에서 고려하고 있는 설비용량 규모의 거의 3배에 해당하는 규모이기 때문이다. 이러한 점을 고려한다면, SMART와 연계한 RO 공정이 가장 경제적인 대안으로 평가된다(4.167 cent/kWh).

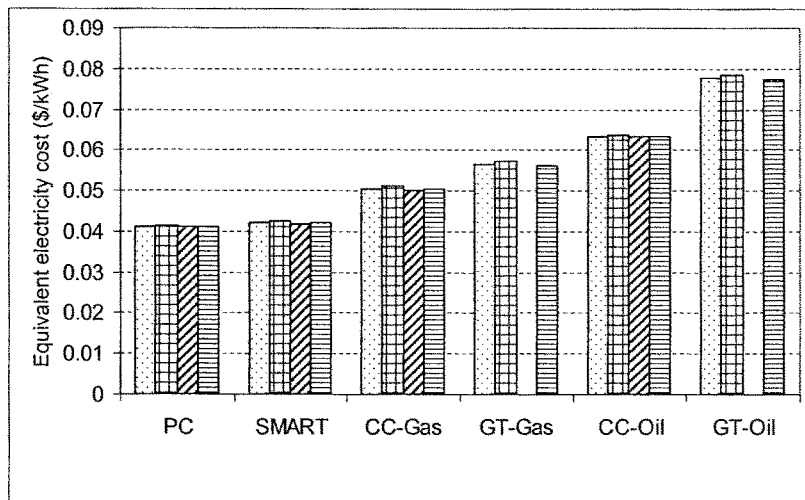


그림 4-3. 다양한 대안에 대한 등가발전비용

나. 담수생산비용

담수생산비용의 산출결과는 그림 4-4와 같다. 산출결과에 따르면, SMART와 연계한 RO 공정이 가장 경제적인 대안으로 나타났다(0.73\$/m³). 이러한 결과는 등가발전비용에 의한 산정 결과와 일치한다.

증발법을 사용하는 대안 중에서는 MED 공정이 MSF 보다 더 저렴한 것으로 나타났는데, 가장 경제적인 대안은 SMART와 연계한 MED 공정이다(1.06 \$/m³).

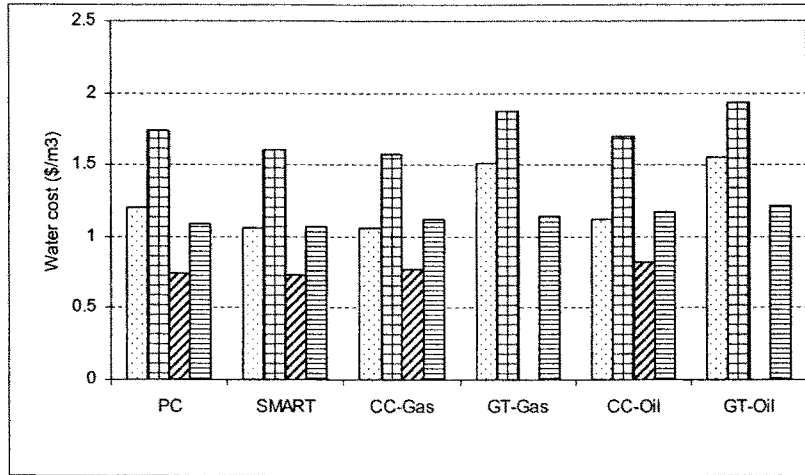


그림 4-4. 다양한 대안에 대한 담수생산 단가

다. 발전비용

발전비용의 산출결과를 그림 4-5와 같다. 이 산출결과에 따르면, 석탄화력발전의 발전단가가 가장 저렴한 것으로 나타났다(4.07 cent/kWh). 그 다음이 SMART로서 발전단가는 4.09 cent/kWh이고, 발전단가가 가장 높은 발전원은 가스터빈인 것으로 나타났다.

석탄화력발전은 SMART보다 경제성이 우월한 유일한 발전원인 것으로 분석되었다. 석탄화력발전의 경제적 우월성은 규모의 경제에서 비롯된 것이다. 석탄화력발전의 플랜트 용량은 600MWe인 반면 SMART 플랜트의 용량은 2×100MWe이다.

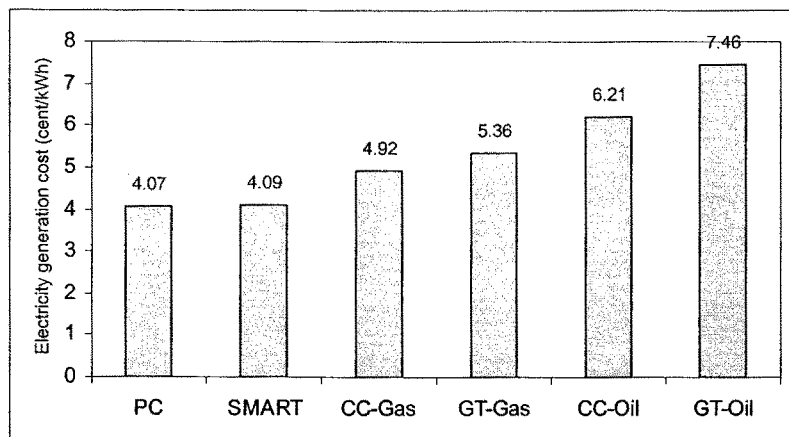


그림 4-5. 다양한 대안에 대한 발전단가

라. 총 투자비 분석

총 투자비 분석 결과는 그림 4-6과 같다. 총투자비가 가장 큰 발전원은 석탄화력발전으로 나타났다. 이는 석탄화력발전의 플랜트 용량이 가장 크기 때문이다. 석탄화력발전의 총투자비는 843M\$~847M\$의 범위에 있다. SMART의 경우 총투자비는 석탄화력발전의 1/2 정도로서 405M\$~408M\$의 범위를 나타내고 있다. C-RO와 연계할 때 총투자비가 가장 작으며 그 다음이 MED와 연계할 때이다.

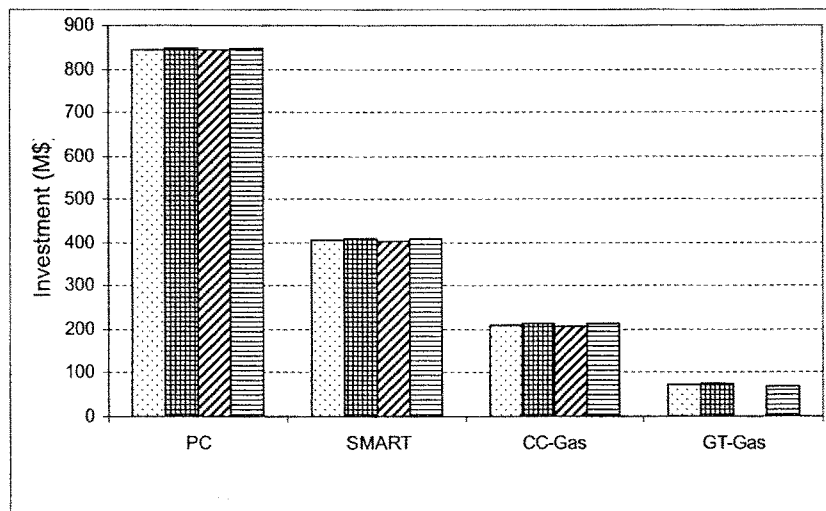


그림 4-6. 다양한 대안에 대한 총 투자비

마. 민감도 분석

경제성에 가장 큰 영향을 미치는 주요 변수로는 할인율, 가스와 석유의 에스컬레이션, 새로운 플랜트 설계 비용의 불확실성 및 담수 플랜트의 신뢰성과 에너지 원의 이용가능성 등이다.

할인율과 가스 및 석유가격에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 할인율에 대하여는 8%와 12%를 민감도 분석에 적용하였으며 그 결과를 기준치 8%와 비교하였다. 가스가격에 대하여는 2.25\$/mmbtu 와 2.75\$/mmbtu을 적용하였고, 석유가격에 대하여는 16\$/bbl과 24\$/bbl을, 그리고 석탄가격에 대하여는 30\$/t 과 40\$/t를 적용하여 발전단가와 담수생산 단가에 미치는 민감도를 분석하였으며 그 결과는 표 4-6과 표4-7에 나타내었다. 편의상, 이들 표에는 MED 플랜트에 대한 분석 결과만을 나타내었다.

표 4-6. 할인율과 연료가격 변동에 대한 발전단가 산출결과

| 발전원 | 연료가격 | 할인율 | | |
|------------|--------------|-------|-------|-------|
| | | 8% | 10% | 12% |
| 복합화력(가스) | 2.25\$/mmbtu | 0.044 | 0.047 | 0.050 |
| | 2.5\$/mmbtu | 0.046 | 0.049 | 0.052 |
| | 2.75\$/mmbtu | 0.049 | 0.052 | 0.055 |
| 복합화력(석유) | 16\$/bbl | 0.052 | 0.055 | 0.058 |
| | 20\$/bbl | 0.059 | 0.062 | 0.065 |
| | 24\$/bbl | 0.067 | 0.070 | 0.072 |
| 가스터빈(가스) | 2.25\$/mmbtu | 0.053 | 0.054 | 0.055 |
| | 2.5\$/mmbtu | 0.049 | 0.050 | 0.051 |
| | 2.75\$/mmbtu | 0.057 | 0.058 | 0.059 |
| 가스터빈(석유) | 16\$/bbl | 0.062 | 0.063 | 0.064 |
| | 20\$/bbl | 0.074 | 0.075 | 0.076 |
| | 24\$/bbl | 0.084 | 0.087 | 0.087 |
| 석탄화력 | 30\$/t | 0.035 | 0.038 | 0.042 |
| | 35\$/t | 0.037 | 0.041 | 0.044 |
| | 340/t | 0.040 | 0.043 | 0.046 |
| SMART(원자력) | | 0.036 | 0.041 | 0.046 |

표 4-7. 할인율과 연료가격 변동에 대한 MED 담수생산비용 산출결과

| 발전원 | 연료가격 | 할인율 | | |
|------------|--------------|------|------|------|
| | | 8% | 10% | 12% |
| 복합화력(가스) | 2.25\$/mmbtu | 0.96 | 1.05 | 1.14 |
| | 2.5\$/mmbtu | 0.97 | 1.06 | 1.15 |
| | 2.75\$/mmbtu | 0.98 | 1.07 | 1.16 |
| 복합화력(석유) | 16\$/bbl | 0.99 | 1.08 | 1.18 |
| | 20\$/bbl | 1.03 | 1.12 | 1.21 |
| | 24\$/bbl | 1.06 | 1.15 | 1.24 |
| 가스터빈(가스) | 2.25\$/mmbtu | 1.33 | 1.51 | 1.69 |
| | 2.5\$/mmbtu | 1.34 | 1.51 | 1.70 |
| | 2.75\$/mmbtu | 1.34 | 1.52 | 1.70 |
| 가스터빈(석유) | 16\$/bbl | 1.35 | 1.53 | 1.71 |
| | 20\$/bbl | 1.37 | 1.55 | 1.73 |
| | 24\$/bbl | 1.39 | 1.57 | 1.75 |
| 석탄화력 | 30\$/t | 1.12 | 1.19 | 1.28 |
| | 35\$/t | 1.13 | 1.20 | 1.29 |
| | 40\$/t | 1.14 | 1.21 | 1.30 |
| SMART(원자력) | | 0.96 | 1.06 | 1.16 |

민감도 분석의 결과는 다음과 같다:

- 할인율과 연료가격 변동이 발전단가에 미치는 효과분석의 결과 SMART와 석탄화력이 경쟁적인 발전원임을 보여주고 있다.
- 석탄화력발전원의 경쟁력은 주로 규모의 경제효과에 의해 뒷받침되고 있다.
- SMART는 복합화력과 가스터빈에 비하여 발전단가가 더 낮은 것으로 나타났다.
- 할인율이 낮아지면 SMART의 경쟁력을 향상된다. 할인율 8%하에서 SMART보다 더 경제적인 유일한 대안은 석탄화력이 낮은 연료가격(30\$/t)를 사용할 때 뿐이다.
- 할인율과 연료가격의 변화가 담수생산 단가에 미치는 효과 분석을 통해 SMART는 가스복합화력과 경쟁적인 관계에 있음을 알 수 있다. 낮은 할인율 하에서는 SMART가 더 경제적이며 낮은 연료가격 하에서는 복합화력이 더 경제적임을 보여주고 있다.
- SMART를 사용한 담수 플랜트의 담수생산 비용은 복합화력(석유), 가스터빈, 석탄화력과 비교할 때, 이들 보다도 더 경제적이다.
- 담수생산 단가에 있어서 SMART는 석탄화력발전보다 경제적으로 더 우월하다.

제5장 연구개발 목표달성도 및 대외기여도

본 연구는 인도네시아 마두라섬 지역의 전력공급과 식수해결을 위한 원자력 발전 및 해수담수 플랜트 건설에 있어서 우리나라가 독자적으로 개발하고 있는 소형로인 SMART의 활용 타당성에 대하여 한국, 인도네시아 및 IAEA가 공동으로 추진하고 있는 프로젝트의 일환으로써 수행하였다. 본 연구과제를 통하여 마두라섬의 에너지 및 물 수급계획을 분석하여 2015년까지 SMART 플랜트 2기를 건설하여 20만 KW의 전력과 일산 4천톤의 식수를 공급하는 계획을 평가하였다. SMART 플랜트 2기 건설과 관련하여 건설후보부지 4개를 선정하여 부지특성과 환경평가를 실시하였으며 2003년에 IAEA와 공동으로 부지선정에 대한 workshop을 개최하여 광범위한 협의와 의견수렴을 거쳐 건설부지를 선정할 계획이다. SMART 활용 타당성 평가 공동연구를 위해 2002년 5월부터 4명의 BATAN 전문가들에게 KAERI에서 2주간 전문교육을 제공하였으며, 이어서 이들은 4개월간 공동연구에 참여하였다. 한국과 인도네시아의 전문가들(KAERI site에서 3명과 KOPEC site에서 1명)은 공동연구를 통해 SMART 해수담수 플랜트의 기술성 평가, 안전성평가를 수행하고 SMART 원자로계통과 해수담수 플랜트의 연계개념을 설정하였다. 또한, 인도네시아, KAERI, KOPEC, 두산중공업(주)의 전문가들이 공동으로 SMART 플랜트에 대한 경제성 평가를 위한 방법론을 개발하고, 기술적인 자료들과 경제적 입력자료를 준비하였다. 이를 활용하여 원자력 해수담수 플랜트 건설사업비를 산정하고 총투자비를 분석하였다. 또한 마두라섬에 건설하여 운영할 SMART 해수담수 플랜트의 발전단가와 해수담수생산 단가도 산정하였다. 본 연구에서 수행한 경제성 평가와 민감도 분석 결과에 의하면 SMART 해수담수 플랜트는 발전단가와 담수생산 단가면에 있어서 석탄화력, 복합화력과 가스터빈에 비하여 보다 경제적인 것으로 평가되었다.

마두라섬에 건설할 SMART 해수담수 플랜트에 대한 건설타당성 예비평가와 관련하여 한국, 인도네시아와 IAEA 전문가들이 공동으로 평가결과보고서의 목차를 확정하고 분야별, 내용별 작성 주관기관과 작성책임자를 선정하였으며, 건설타당성분석보고서의 초안을 작성 완료하였다. 이와 아울러 또한 한국, 인도네시아와 IAEA 전문가들이 향후 인도네시아에서 건설할 원자력 해수담수 플랜트에 대해서 플랜트사용자가 요구하는 사용자요건서 초안을 공동으로 작성하였다. 이 사용자요건서 초안에는 부지요건, 인허가요건, 원자로계통 안전성 및 성능요건, 담수플랜트요건, 플랜트종합설계요건, 경제성요건 등이 포함되어 있다.

상기에서 기술한바와 같이 본 과제에서 당초 계획한대로 연구목표를 완벽하게 달성한 것으로 판단된다. 이 연구를 통하여 원자력의 평화적 이용의 확대를 도모하는 IAEA에도 크게 기여를 하고 있으며, 인도네시아 마두라섬에 SMART를 이용한 발전 및 해수담수 플랜트 건설이 현실화될 때에는 우리나라의 원자력 기술 수출에 새로운 장을 열 수 있을 것으로 기대된다.

제6장 연구개발 결과의 활용계획

본 연구는 인도네시아 마두라섬 지역의 전력 및 식수 해결을 위하여 우리나라가 개발중인 소형 원자로 SMART 건설 타당성을 예비 평가하는 국제공동연구사업이다.

한국, 인도네시아, IAEA가 공동으로 3년간 예정으로 진행중인 본 연구사업의 결과는 마두라섬에 계획중인 중소규모 원자력 플랜트 도입 및 건설에 대한 인도네시아의 본격적인 타당성 평가의 기본자료로 활용될 것이며, 우수한 결과가 도출될 시 이는 우리가 개발하고 있는 소형원자로 SMART를 이용한 원자력 해수담수 및 전력생산의 기술성을 입증하게 될 것이다. SMART 플랜트의 건설타당성 확보는 우리 고유 SMART 기술의 인도네시아에 직접 수출뿐만 아니라, 우수한 우리 원자력기술의 해외진출을 위한 기반을 제공하게 될 것이다. 나아가 본 연구의 결과는 원자력기술분야에 대한 양국간의 협력강화의 기반과 협력사업 수행체계 구축에 활용될 것이며, 협력사업이 가능시되고 있는 모로코, 베트남, 이집트 등의 개발도상국과의 실질적인 기술협력 촉진의 매체로 활용될 수 있을 것이다.

제7장 참고문헌

1. Meeting Report, "Kick-off Meeting on Preliminary Economic Feasibility Study of Nuclear Desalination in Madura Island, Indonesia", Jakarta, Indonesia, Jan. 28-31, 2002.
2. Meeting Report, "The first Progress Review Meeting on Preliminary Economic Feasibility Study of Nuclear Desalination in Madura Island, Indonesia", Daejeon, Korea Sept. 2-5 2002.
3. Meeting Report, "Kick-off Meeting on Preliminary Economic Feasibility Study of Nuclear Desalination in Madura Island, Indonesia", Jakarta, Indonesia, Jan. 28-31, 2002.
4. Meeting Report, "The first Progress Review Meeting on Preliminary Economic Feasibility Study of Nuclear Desalination in Madura Island, Indonesia", Daejeon, Korea Sept. 2-5 2002.
5. 장문희 외 다수, "일체형원자로 (SMART) 기본설계보고서; Basic Design Report of SMART", KAERI/TR-2142/2002, 2202.3, 한국원자력연구소
6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Desalination Economic Evaluation Program (DEEP), Computer User Manual Series No. 14, Vienna, 2000.
7. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Thermodynamic and Economic Evaluation of Co-production Plants for Electricity and Potable Water, IAEA-TECDOC-942, Vienna, 1997.
8. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Costing Methods for Nuclear Desalination, Technical Reports Series No, 69, Vienna, 1996.
9. Lee, Doo Jeong, et. al, "Design and Safety of a Small Integral Reactor (SMART)", Paper presented on International Workshop on Utilization of Nuclear Power in Ocean, N'Ocean 2000, 21-24, 2002.
10. ENERGY ARGUS DAILY, Coal Daily International, International Pricing and Analysis, www.energyargus.com, 2001.
11. EAST HARBOUR MANAGEMENT SERVICES LTD., Fossil Fuel Generating Plant, Report to the Ministry of Economic Development, Wellington, 2002.
12. Lee, Man-Ki, "Economic Assessment of SMART in Korea", International Seminar on Status and Prospects for Small and Medium Sized Reactors, Cairo, Egypt, 27~31 May 2001.

13. Lee, Man-Ki, "Economic Evaluation of SMART in Korea", Progress Report Part of Coordinated Project: Economic Research on, and Assessment of Selected Nuclear Desalination Projects and Case Studies, KAERI, Daejon, July 2002.
14. Safi, M. J, Korchani, A., "Cogeneration Applied to Water Desalination: Simulation of Different Technologies", Laboratoire de Thermique Industrielle, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Tunisia, 1999.
15. Working Material, Optimization of the Coupling of Nuclear Reactors and Desalination Systems, IAEA-RC-719, IAEA, Vienna, 16-20 Nov. 1998.
16. Bamang Suprawoto,"Technical Aspects of Desalination Plant", INS/02015R, BATAN, Indonesia, September, 2002.

부 록

1. 한국-인도네시아-IAEA간 원자력해수담수화기술 공동연구 협력협정
 - 1-1 원자력해수담수화 공동연구 협력협정 요약
 - 1-2 한국-인도네시아-IAEA간 원자력해수담수화기술 공동연구 협력협정서

2. 한국-인도네시아-IAEA 공동연구 과제착수회의
 - 2-1 한국-인도네시아-IAEA 공동연구 과제착수회의 내용 요약
 - 2-2 한국-인도네시아-IAEA 공동연구 과제착수회의록
 - 2-3 마두라섬의 해수담수화플랜트 건설타당성분석 보고서 목차 및 작성역할분담

3. 인도네시아 원자력해수담수화 플랜트 설계요건

4. 제1차 한국-인도네시아-IAEA 공동연구 진도점검 회의
 - 4-1 제1차 한국-인도네시아-IAEA 공동연구 진도점검 회의 요약
 - 4-2 제1차 한국-인도네시아-IAEA 공동연구 진도점검 회의록

5. 인도네시아 중소형 원자로 요건서

부록 1. 한국-인도네시아-IAEA간 원자력해수담수화기술 공동연구 협력협정

1-1 원자력해수담수화 공동연구 협력협정 요약

1-2 한국-인도네시아-IAEA간 원자력해수담수화기술 공동연구 협력협정서

부록 1-1.

KAERI/BATAN/IAEA간
원자력해수담수화 공동연구 협력협정 요약

2001. 11. 21

한국원자력연구소

I. 협력 협정서 요약

1. 협정명

- Technical Co-operation on Preliminary Economic Feasibility Study of Nuclear Desalination in Madura Island, Indonesia

2. 협력목적

- 인도네시아 마두라섬에 전력 및 식수 공급을 위한 원자력해수담수화 예비 경제성 타당성 평가 공동연구

3. 추진경위

- 인니측은 2000. 2월 IAEA에 공식적으로 SMART 플랜트 활용 원자력해수담수화 타당성 연구를 타진하여 왔음.
- KAERI, IAEA는 인니측과의 협의를 위하여 2000. 7월 IAEA 기술협력부서 주관으로 인도네시아에서 회의 개최함.
- KAERI, IAEA 및 BATAN 간에 협정(안)에 대한 상세협의를 후 현재 최종(안)을 작성하여, 2001. 10. 10 IAEA에서 KAERI, IAEA 및 BATAN간에 협력협정을 체결함.

4. 인니/한국/IAEA 업무분장

□ BATAN (인도네시아)

- 마두라섬의 단.장기적 에너지 및 식수 수요/공급 분석
- 부지특성, 환경영향 및 보건영향 평가
- 전력 및 담수생산 플랜트 조건 및 일정 결정
- 플랜트의 기술성 및 경제성 평가 (KAERI 및 IAEA 지원)

□ KAERI (한국)

- 연료 및 담수공정 평가, SMART와 해수담수공정 연계 기술성 및 안전성, SMART 플랜트 마두라섬 건설성 평가
- 플랜트 경제성 평가 및 재원조달 분석
- KAERI에 파견 BATAN 전문가의 업무수행 기술지원
- 최종보고서 작성을 위한 기술자문

□ IAEA

- IAEA의 원자력해수담수화 국제기술협력 프로젝트를 통한 기술 지원 및 결과물(경제성 평가결과 포함) 검토
- 3명의 BATAN 전문가 KAERI 파견 경비 지원
- Jakarta 에서 원자력해수담수화에 대한 국제 Workshop 개최 경비 지원

5. 추진일정 및 방법

- 협력협정기간은 3년간(2002.1 - 2004.12)이며, 발효후 6개월 이내 KAERI/BATAN/IAEA 간 상세업무분장 합의
- BATAN 은 협정발효 9개월 이내 전력 및 담수량 규모, 부지조건 등을 포함한 기본요건을 KAERI 및 IAEA에 통보
- 공동연구과제사업 착수회의(Kick-off meeting)를 2002년 1월 28-31에 인도네시아에서 개최하며, 또한 매 6개월 마다 KAERI/BATAN/IAEA 3자 진도점검회의를 개최함 (한국 및 인도네시아)
- BATAN 은 협정발효 9개월 이내 3명의 전문가를 KAERI에 파견(각 6개월)하고 KAERI에서 공동연구 수행 참여
- KAERI와 BATAN은 담당업무 수행에 필요한 소요경비는 자체 부담. 단 BATAN 전문가의 KAERI 장기파견(1개월 이상) 소요경비는 IAEA가 지원
- 원자력해수담수화 국제 Workshop 1회 개최 (인도네시아)

6. 공동연구 결과물

- Preliminary Economic Feasibility Study Report
- User Requirement Document for Nuclear Desalination Plant
- Recommendations for the Follow-up

7. 기대효과

- 국내에서 개발하고 있는 SMART 해수담수화 Plant를 인도네시아에 건설하기 위한 타당성을 입증
- 원자력해수담수화 Plant 수출기반 조성
- 한국, 인도네시아 원자력 기술 협력 증진

부록 1-2.

ARRANGEMENT

on

TECHNICAL CO-OPERATION ON A PRELIMINARY ECONOMIC FEASIBILITY ASSESSMENT OF NUCLEAR DESALINATION IN MADURA ISLAND, INDONESIA

October 10, 2001

by and among

**THE NATIONAL NUCLEAR ENERGY AGENCY OF INDONESIA,
THE KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE,
and
THE INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY**

PREAMBLE

This Arrangement is made by and among the National Nuclear Energy Agency of Indonesia (hereinafter referred to as "BATAN") whose address is P.O. Box 4390, Jakarta 12043, Indonesia, the Korea Atomic Energy Research Institute (hereinafter referred to as "KAERI") whose address is P.O. Box 7, Daeduk-danji, 150 Dukjindong, Yousung-ku, Taejon City, 305-600, Republic of Korea, and the International Atomic Energy Agency (hereinafter referred to as the "IAEA") whose address is Wagramerstrasse 5, P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria (hereinafter referred to as the "Parties").

WHEREAS BATAN and KAERI have entered into an arrangement dated April 7, 1995 entitled "Arrangement between the National Atomic Energy Agency of Indonesia and the Korea Atomic Energy Research Institute for Co-operation in the Peaceful Uses of Nuclear Energy";

WHEREAS under its Statute the IAEA is authorized, among other things, to foster the exchange of scientific and technical information on peaceful uses of nuclear energy and to encourage the exchange and training of scientists and experts in the field of peaceful uses of atomic energy;

WHEREAS the IAEA and the Ministry of Science and Technology (MOST) of the Republic of Korea have signed a Memorandum of Understanding concerning strengthening of co-operation in connection with the Agency's Regional and Interregional Training Courses/Workshops carried out as part of Technical Co-operation activities of the IAEA on November 30, 1998;

WHEREAS BATAN, KAERI and the IAEA desire to co-operate in conducting a Joint Study on the preliminary economic feasibility of nuclear desalination in Madura Island, Indonesia under the framework of the Interregional Technical Co-operation Project (INT/4/134);

WHEREAS such co-operation and Joint Study is envisaged by the Project;

THE PARTIES HAVE agreed as follows:

ARTICLE 1
OBJECTIVES OF THE ARRANGEMENT

1. The objective of this Arrangement is to establish a framework of co-operation between the Parties for the management of a Joint Study (hereinafter referred to as the "Joint Study") with the object of producing a preliminary economic feasibility assessment of providing the Madura Island with sufficient power and potable water for the public and to support industrialization and tourism. The Joint Study will be carried out in accordance with the schedule of work in Article 5 of and Annexes 2 and 5 to this Arrangement and will provide the reports referred to in Article 8 of this Arrangement.
2. In particular, the Parties to the Arrangement will:
 - (a) review the terms of reference for the Joint Study between BATAN and KAERI;
 - (b) facilitate the implementation of the Joint Study;
 - (c) ensure that the schedule of work provided for in Article 5 and Annex 5 and the Personnel Training provided in Article 6 of this Arrangement are carried out in a timely manner and
 - (d) permit BATAN and KAERI to use the Reports referred to in Article 8 of this Arrangement to obtain their respective Governments' directions.

ARTICLE 2
CONTRIBUTIONS OF BATAN

In carrying out the Joint Study BATAN will:

- (a) perform analyses for the short and long-term energy and water demand and supply plan for Madura Island;
- (b) evaluate site characteristics, environmental impacts and health aspects;
- (c) select power and water plant options and suggest the time frame for the project.
- (d) conduct a technical and economic evaluation with the assistance of KAERI and IAEA;
- (e) dispatch three (3) experts to KAERI for six (6) months;
- (f) prepare and provide, jointly with KAERI, the documents listed in Article 8 of this Arrangement;
- (g) notify KAERI and the IAEA within nine (9) months after the date of entry into force of this Arrangement of the key requirements including the power and water capacity and site conditions necessary for the commencement of the Joint Study at KAERI site;
- (h) perform the functions assigned to it in Annexes 2, 4 and 5 to this Arrangement;
- (i) organize the kick-off meeting referred to in paragraph (a) of Article 5 of this Arrangement; and
- (j) will have regard to and act in accordance with the prevailing laws and regulations in Indonesia, as well as the procedures and policies of the Government of Indonesia concerning international technical cooperation.

**ARTICLE 3
CONTRIBUTIONS OF KAERI**

In carrying out the Joint Study KAERI will:

- (a) evaluate the fuel aspect and the seawater desalination process;
- (b) evaluate technical and safety aspects for the System-Integrated Modular Advanced Reactor (SMART), and its coupling with a desalination plant, including the feasibility of its being constructed on the Madura Island;
- (c) conduct economic evaluation and investigate methods of financing a nuclear desalination plant;
- (d) provide technical guidance and supervision for BATAN participants;
- (e) provide a 2-man weeks' technical consultation for the preparation of the Final Report on the Preliminary Economic Feasibility Assessment referred to in paragraph (c) of Article 8 of this Arrangement;
- (f) provide, jointly with BATAN, the documents listed in Article 8 of this Arrangement;
- (g) provide two (2) weeks' job orientation to each BATAN participant prior to participants' involvement in the Joint Study;
- (h) perform the functions assigned to it in Annexes 2, 4 and 5 to this Arrangement and
- (i) KAERI will at its own expense furnish the necessary space, office supplies and equipment including personal computers at its site.

**ARTICLE 4
CONTRIBUTIONS OF THE IAEA**

In carrying out the Joint Study the IAEA will:

- (a) provide technical support and review products of the study under the interregional project on "Integrated Nuclear Power and Desalination System Design";
- (b) provide travel and daily stipend allowance for three (3) Indonesian experts at the KAERI site at the IAEA rates applicable at the time of travel;
- (c) provide support, within the availability of the IAEA's resources, to BATAN to hold an International Workshop on Nuclear Desalination in Jakarta, Indonesia and
- (d) perform the functions assigned to it in Annex 2 to this Arrangement, within the availability of the IAEA's resources.

ARTICLE 5
SCOPE AND SCHEDULE OF WORK

The Parties will conduct the Joint Study in accordance with the Schedule in Annex 5 to this Arrangement and the following schedule:

- (a) The kick-off meeting will be held in Indonesia to define the detailed scope of work and the detailed schedule for the Joint Study following signature of this Arrangement;
- (b) The Joint Study will commence on January 2, 2002;
- (c) Thereafter, semi-annual meetings will be held in Korea and Indonesia in order to review the progress of the Joint Study and discuss future plans;
- (d) The Parties will mutually agree on the detailed scope of work for the Joint Study within six (6) months after the date of entry into force of this Arrangement;
- (e) The Joint Study at the KAERI site will commence within nine (9) months after the date of entry into force of this Arrangement and/or once the detailed scope of works have been agreed upon, whichever happens earlier, and will be completed within three (3) years after the date of entry into force of this Arrangement;
- (f) An International Workshop on the study will be held in Indonesia.

ARTICLE 6
PERSONNEL TRAINING

1. BATAN personnel's participation schedule and BATAN participants' scope of work at the KAERI site will be mutually agreed on within six (6) months after the date of entry into force of this Arrangement.
2. BATAN will notify KAERI and the IAEA of the personal history information of the BATAN participants and dispatch these BATAN participants to the KAERI site upon consultation with KAERI within nine (9) months after the date of entry into force of this Arrangement.
3. BATAN personnel will participate in the performance of a technical and economic evaluation of work specified in Article 5 and Annex 5 of this Arrangement under the direction and responsibility of the appropriate KAERI division.
4. The number of BATAN participants and the duration of their involvement may be changed by mutual agreement of the Parties.

ARTICLE 7
FINANCIAL SUPPORT

For visiting experts to BATAN, all salary, travel, and per diem costs will be the responsibility of the experts' host party, to wit KAERI and/or the IAEA, unless otherwise agreed upon prior to the visit.

ARTICLE 8 REPORTING

During the Joint Study, BATAN and KAERI will jointly prepare and provide the following:

- (a) The Interim Report on the Preliminary Economic Feasibility Assessment, in accordance with Annex 2 to this Arrangement;
- (b) User Requirements Document in accordance with Annex 3 to this Arrangement;
- (c) The Final Report on the Preliminary Economic Feasibility Assessment and Recommendations for the follow-up activities in accordance with Annex 2 point 15.

ARTICLE 9 INSURANCE

BATAN and KAERI will provide and thereafter maintain insurance against all risks in respect of their property or any equipment owned or leased by them and used in the execution of this Arrangement. BATAN and KAERI will also provide and thereafter maintain liability insurance in adequate amounts to cover third party claims for death or bodily injury, loss of or damage to property arising from or in connection with the provision of services under this Arrangement or the operation of any vehicles, boats air planes, or other equipment owned or leased by them. BATAN and KAERI will, upon request, provide the IAEA with satisfactory evidence of the insurance required under this Article.

ARTICLE 10 INDEMNIFICATION

1. BATAN and KAERI will not hold the IAEA and its officials, agents and employees liable for death or injury to persons or damage to property of third parties or of BATAN and KAERI, and BATAN and KAERI will indemnify, hold and save harmless and defend, at their own expense, the IAEA, its officials, agents, servants and employees, from and against all suits, claims, demands and liability of any nature or kind, including their cost and expenses, arising out of the acts or omissions of BATAN and KAERI or their employees or sub-contractors in the performance of this Arrangement. This provision will extend to claims and liability in the nature of workmen's compensation claims.
2. The IAEA does not accept liability for payment of any cost or compensation that may arise from damage to or loss of personal property, or from illness, injury, disability or death of BATAN and KAERI employees, employees of their sub-contractors and experts, or Workshop participants while she or he is traveling to and from or attending the Workshop. BATAN and KAERI will clearly inform all such persons and their Government, and/or Employer of this and that they are responsible for such coverage.

ARTICLE 11
INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

1. Any intellectual property right introduced by one of the Parties for the implementation of the activities under this Arrangement will remain the property of that Party. However, that Party will indemnify the other Parties if the introduction of that intellectual property right constitutes an infringement of the rights of any third party, and the other Parties become liable to pay any compensation or damages. Further, that Party will be liable to defend at its own cost and expense any claim made by any third party concerning the ownership and legality of the use of the intellectual property right which is introduced by the aforementioned Party for the implementation of the activities under this Arrangement.
2. (a) Any intellectual property right, data and information resulting from research activities, conducted under this Arrangement will be jointly owned by the three Parties, and the three Parties will be allowed to use such property right, data and information for non-commercial purposes free of royalty;
(b) If any party wishes to use the intellectual property right, data or information for commercial purposes, that party must first obtain the written consent from the other two Parties.
3. If either Party wishes to disclose confidential data and/or information resulting from activities under this Arrangement to any third party, the disclosing Party must obtain prior consent from the other Parties before any disclosure can be made.
4. Termination of this Arrangement will not affect rights and/or obligations under this Article during the first ten years after termination.
5. Notwithstanding the foregoing restrictions either of the Parties will have the right to disclose confidential information furnished hereunder to their governing bodies, or to governmental authorities to the extent required by law or to obtain needed authorization to perform this Arrangement or pursuant to reporting requirements imposed by those governing bodies.

ARTICLE 12
ASSIGNMENT

No Party may assign, transfer, pledge or make any other disposition of this Arrangement or of any part thereof or of any of its rights, claims, liabilities or obligations under this Arrangement without the prior written consent of the other Parties.

ARTICLE 13
RESPONSIBILITY FOR EMPLOYEES

1. Each Party will be responsible for the acts and omissions of its employees, agents and contractors in the execution of the Arrangement.
2. KAERI and IAEA undertake that its personnel engaged in the activities under this Arrangement will not engage in political affairs or in any commercial ventures or activities in Indonesia outside the collaborative programs under this Arrangement without prior approval of the Government of Indonesia through the State Secretariat.

ARTICLE 14
ANNEXES

The Annexes to this Arrangement will form an integral part of this Arrangement.

ARTICLE 15
POINTS OF CONTACT

1. All communications relating to the execution of this Arrangement will be made or confirmed in writing in English to the persons listed in Annex 1 of this Arrangement.
2. Each Party will inform the others promptly of any change of the point of contact, including the name and designation of the new person.

ARTICLE 16
SETTLEMENT OF DISPUTES

Any dispute arising out of the interpretation and implementation of this Arrangement will be settled amicably through consultations and/or negotiations between the Parties.

ARTICLE 17
PRIVILEGES AND IMMUNITIES

Nothing in this Arrangement will be construed as a waiver of the privileges and immunities accorded to the IAEA by its Member States.

ARTICLE 18
OFFICIALS NOT TO BENEFIT

BATAN and KAERI warrant that no official of the IAEA has been or will be admitted by it to any direct or indirect benefit arising from this Arrangement or the award thereof. BATAN and KAERI agree that breach of this provision is a breach of an essential term of this Arrangement.

ARTICLE 19
DURATION, TERMINATION AND AMENDMENT

1. This Arrangement will remain in effect from the date of entry into force of the Arrangement for a period of three (3) years unless terminated earlier by thirty (30) days written notice by the Party seeking termination to the other Parties. The Parties may mutually agree to continue joint work activities, which are not completed at the time of termination or expiration of the Arrangement, until such activities are completed.
2. This Arrangement may be amended or extended by the Parties at any time by the agreement of the Parties in writing.

**ARTICLE 20
ENTRY INTO FORCE**

This Arrangement will enter into force on the date of the last signature by the representatives of the Parties.

**For the National Nuclear Energy
Energy Agency of Indonesia :**

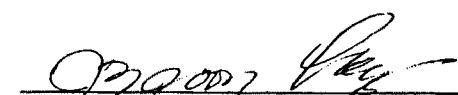


(Signature)

M. Iyos R Subki, Chairman of BATAN
(Name and Title)

Vienna, October 10, 2001
(Place and Date)

**For the Korea Atomic
Research Institute :**

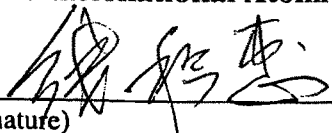


(Signature)

In Soon Chang, President of KAERI
(Name and Date)

Vienna, October 10, 2001
(Place and Date)

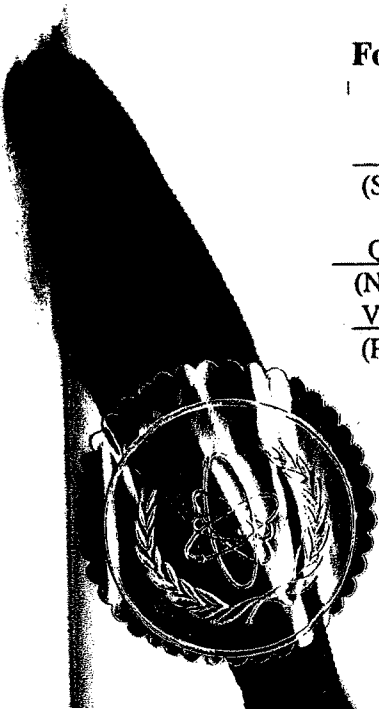
For the International Atomic Energy Agency:



(Signature)

Qian Ji Hui, DDG-TC of IAEA
(Name and Title)

Vienna, October 10, 2001
(Place and Date)



ANNEX 1

IAEA:

For contractual and administrative matters:

Mr. M.N. Razley
Head-East Asia and Pacific Section
International Atomic Energy Agency
Wagramerstrasse 5
P.O. Box 100
A-1400 Vienna, Austria

Tel: +43-1-2600-22322
Fax: +43-1-2600-29703
E-mail: M.N. Razley@iaea.org

For technical and managerial matters:

Mr. T. Konishi
Nuclear Power Division
International Atomic Energy Agency
Wagramerstrasse 5
P.O. Box 100
A-1400 Vienna, Austria
Tel: +43-1-2600-22822
Fax: +43-1-2600-29598
E-mail: T.Konishi@iaea.org

BATAN:

Dr. Soedyartomo Soentono
Deputy Chairman
National Nuclear Energy Agency of Indonesia
P.O. Box 4390
Jakarta 12043, Indonesia
Tel: +62-21-525-1109
Fax: +62-21-525-1110
E-mail tomi@centrin.net.id

KAERI:

Dr. S.H. Kim
Principal Research Officer
Korea Atomic Energy Research Institute
P.O. Box. 7. Daeduk-danji
150 Dukjin-dong, Yousung-ku, Taejeon City, 305-600
Republic of Korea
Tel: +82-42-868-2818
Fax: +82-42-868-8990
E-mail: shkim@nanum.kaeri.re.kr

ANNEX 2
**Division of Responsibility for Preliminary Economic Feasibility of
Nuclear Desalination on Madura Island**

| Items | Indonesia | Korea | IAEA |
|---|-----------|-------|------|
| Executive Summary | L | S | R |
| 1. Introduction | L | S | S |
| a. General introduction of the Madura Island | L | | |
| b. Energy and water resources of Indonesia, East Java Province, Madura Island | L | | |
| c. Industrial & Development of Madura Island | L | | |
| d. Objective and Methodology of the Study | L | | |
| 2. Electrical System Analysis of the Madura Island | L | | |
| a. Demand and forecast | L | | |
| b. Existing Power Grid | L | | |
| c. Development Plans | L | | |
| 3. Water System | L | | |
| a. Demand Forecast | L | | |
| b. Existing domestic water grid | L | | |
| c. Expansion plans for domestic and industrial needs | L | | |
| 4. Site Characteristics | L | S | R |
| a. Madura Island Description | L | | |
| a.1. Geology and Morphology | | | |
| a.2. Hydrology and Oceanography | | | |
| a.3. Seismicity | | | |
| a.4. Meteorology and Climate | | | |
| a.5. Demography and Land Use | | | |
| b. Site Selection Criteria | L | S | R |
| c. Assumed site and its characteristics | L | S | R |
| 5. Power Plant Technology | L | S | R |
| a. Gas/oil power plant | L | S | |
| b. Coal Steam Power Plant | L | S | |
| c. Nuclear Power Plant | L | S | R |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 6. Fuel Aspects : | L | S | R |
| a. Gas/oil Fuel | L | S | R |
| b. Coal Fuel | L | S | |
| c. Nuclear Fuel Cycle | L | S | |
| 7. Seawater Desalination Technology | S | L | R |
| a. Reverse Osmosis | S | L | R |
| b. Multi-Effect Distillation | S | L | R |
| c. Multi Stage Flash | S | L | R |
| d. Brine Utilization and Salt Production | S | L | R |
| 8. Waste Management | L | S | R |
| a. Waste Management from energy production | S | L | R |
| b. Waste Management from seawater desalination | L | S | R |
| 9. Establishing the alternatives | L | S | R |
| a. Short and medium term features for fossil energy sources | L | | |
| b. Intermediate and long term advantages of nuclear alternatives | L | | |
| 10. Technical and Safety Aspects of the Power and Desalination plant. | S | L | S |
| a. Technical Aspects of NPP'S | S | L | S |
| b. Safety Aspects of NPP'S | S | L | S |
| c. Coupling of NPP'S with seawater desalination | S | L | S |
| d. Fossil Fuel Power seawater desalination | S | L | S |
| 11. Economic Assessment and Evaluation | L | S | S |
| a. Economic Evaluation Method | S | L | S |
| b. Input Parameters | S | L | S |
| c. Fossil Energy Options | S | L | S |
| d. Nuclear Energy Options | S | L | S |
| e. Financing | S | L | S |
| 12. Local Infrastructure and Industrial Participation | L | S | |
| a. Higher Educational and professional /vocational training | L | S | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| b. Industrial Infrastructure and local/national participation | L | S | |
| c. Licensing and Control | L | S | |
| 13. Environmental Impacts and Health Aspect Assessment | L | S | R |
| a. Construction Period | L | S | |
| b. During normal operation | L | S | |
| c. During accident conditions | L | S | |
| 14. Social and Cultural Aspects | L | | |
| a. Madura Island Society in the Industrial Development | L | S | |
| b. Acceptability of newly technology introduction | L | S | |
| 15. Conclusion and Recommendations | L | S | S |
| a. Preliminary Economic Feasibility Assessment | L | S | S |
| b. Recommendation for the follow-up | L | S | S |

Note:

L: Leading Role

S: Supporting Role

R: Reviewing

ANNEX 3

Table of Contents of the Report on "Preliminary Economic Feasibility of Nuclear Desalination on Madura Island"

- 1. Introduction**
 - a. General introduction of the Madura Island
 - b. Energy and water resources of Indonesia, East Java Province, Madura Island
 - c. Industrial and development of Madura
 - d. Objective and Methodology of the study

- 2. Electrical System Analysis of the Madura Island**
 - a. Demand forecast
 - b. Existing power grid
 - c. Development plans

- 3. Water System**
 - a. Demand forecast
 - b. Existing domestic water grids
 - c. Expansion plans for domestic and industrial needs

- 4. Site Characteristics**
 - a. Madura Island Description
 - a.1. Geology and Morphology
 - a.2. Hydrology and Oceanography
 - a.3. Seismicity
 - a.4. Meteorology and climate
 - a.5. Demography and Land Use
 - b. Site selection criteria
 - c. Assumed site and its characteristics

- 5. Power Plant Technology**
 - a. Gas/oil Power Plants
 - b. Coal Steam Power Plant
 - c. Nuclear Power Plant

- 6. Fuel Aspects**
 - a. Gas /oil fuel
 - b. Coal fuel
 - c. Nuclear Fuel Cycle

- 7. Seawater Desalination Technology**
 - a. Reverse Osmosis
 - b. Multi - effect desalination
 - c. Multi stage flash
 - d. Brine Utilization and salt production

- 8. Waste Management**
 - a. Waste management from energy production
 - b. Waste management from seawater desalination

- 9. Establishing the alternatives**

- a. Short and medium term features for fossil energy sources
- b. Intermediate and long term advantages of nuclear advantages

10. Technical and safety aspects of power and desalination plants

- a. Technical aspects of NPP'S
- b. Safety Aspects of NPP'S
- c. Coupling of NPP'S with seawater desalination
- d. Fossil Fuel Power seawater desalination

11. Economic Assessment and Evaluation

- a. Economic Evaluation Method
- b. Input Parameters
- c. Fossil Energy Option
- d. Nuclear Energy Option
- e. Financing

12. Local Infrastructure and Industrial Participation

- a. Higher educational and professional/vocational training
- b. Industrial infrastructure and local/national participation
- c. Licensing and control

13. Environmental Impacts Assessment and Health Aspects

- a. Construction period
- b. During normal operation
- c. During accident conditions

14. Social and Cultural Aspects

- a. Madura society in the industrial development
- b. Acceptability newly technology introduction

15. Conclusions and Recommendations

- a. Preliminary Economic Feasibility Assessment
- b. Recommendations for the follow-up

Appendix :

- I. Electrical and water system
- II. Site Characteristic
- III. Power Plant Technology
- IV. Sea Water desalination
- V. Economic Evaluation
- VI. Socio-Culture Environmental

ANNEX 4
Table of Contents of User Requirements Document
for Nuclear Desalination Plant

| User Requirement Items | Indonesia | Remarks |
|--|------------------|----------------|
| 1. Introduction | | |
| 2. Nuclear Desalination Program | | |
| 2.1 Role of Nuclear Desalination | | |
| 2.2 Incentives for Nuclear Desalination | | |
| 2.3 Additional Considerations | | |
| 3. Site Imposed Requirements | | |
| 3.1 Site Conditions | | |
| 3.2 External Events | | |
| 3.3 Site Infrastructure | | |
| 3.4 Allowable Operational Radioactivity Release (Gas/Liquid) | | |
| 3.5 Emergency Preparedness | | |
| 4. Licensing and Health Protection Requirements | | |
| 4.1 National Regulations | | |
| 4.2 Licensability in the Country of Origin | | |
| 4.3 International Guidelines and Technical Documents | | |
| 4.4 National Standards for Potable Water | | |
| 5. Technical Requirements | | |
| 5.1 Safety Design Requirements | | |
| 5.2 Performance Requirements | | |
| 5.3 Plant Design Requirements | | |
| 5.4 Desalination Plant Design Requirements | | |
| 5.4.1 Simplicity | | |
| 5.4.2 Design Margin | | |
| 5.4.3 Standardization (Codes & Standards) | | |

| | | |
|--|--|--|
| 5.4.4 Human Factors | | |
| 5.4.5 Man Machine Interface | | |
| 5.4.6 Proven Technology | | |
| 5.4.7 Constructability | | |
| 5.4.8 QA/QC Program | | |
| 5.4.9 Investment Protection | | |
| 5.4.10 Environmental Protection | | |
| 5.5 Nuclear and Desalination Plant Integration Requirements | | |
| 5.5.1 Design Integration | | |
| 5.5.2 Design Philosophy | | |
| 5.5.3 Impact of Desalination Plant on Madura Island | | |
| 5.5.4 Disconnection of the Nuclear Desalination Plant | | |
| 5.5.5 Replacement/Expansion of the Desalination Plant | | |
| 5.5.6 Technical Aspects of the Coupling System | | |
| 5.5.7 Construction Scheduling | | |
| 5.5.8 Operability in a Dual Purpose Mode | | |
| 6. Fuel Cycle and Waste Management Requirements | | |
| 7. Economic Requirements | | |
| 7.1 Criteria and Evaluation Methodology | | |
| 7.2 Requirements for Improving Desalination Plant Economics | | |
| 7.3 Financing | | |
| 8. Special Requirements for Developing Countries | | |
| 8.1 Man-Power Development | | |
| 8.1.1 General | | |
| 8.1.2 Specific Man-Power Development Requirements | | |
| 8.2 Infrastructure and National Participation | | |
| 8.2.1 General | | |

| | | |
|---|--|--|
| 8.2.2 Specific Infrastructure and National Participation Requirements | | |
| 8.3 Technology Transfer | | |
| 8.4 Licensing Support | | |
| 8.5 Contractual Options and Responsibilities | | |
| 8.5.1 Turnkey | | |
| 8.5.2 Split Packages | | |
| 8.5.3 A Multiple Package | | |
| 8.5.4 BOT (Build-Operate and Transfer) | | |
| 8.6 Extended Guarantees and Warranties | | |
| 8.6.1 Equipment Warranties | | |
| 8.6.2 Process Guarantees | | |
| 8.7 Nuclear Fuel, Special Materials and Spare Parts Supply | | |
| 8.8 Technical Support | | |
| 8.9 Long Term Partnership | | |

부록 2. 한국-인도네시아-IAEA 공동연구 과제착수회의

2-1 한국-인도네시아-IAEA 공동연구 과제착수회의 내용 요약

2-2 한국-인도네시아-IAEA 공동연구 과제착수회의록

2-3 마두라섬의 해수담수화플랜트건설 타당성분석 보고서 목차
및 작성 역할분담

부록 2-1.

KAERI/BATAN(인도네시아)/IAEA간
공동연구 과제착수회의 내용 요약

2002. 2

한국원자력연구소

I. 과제명/일시 및 장소

- Preliminary Economic Feasibility Study of Nuclear Desalination in Madura Island, Indonesia
- 일시 : 2002년 1월 28일~1월 31일
- 장소 : 인도네시아, 자카르타, BATAN Headquarter

II. 참여기관 및 참석자

- IAEA : Mr. T. Kinishi, Mr. Aybars Querpinar
- 한국 : 한원연 장인순 소장의 4인, 서울대 강창순 교수, 한기(주) 한풍 전무 외 1인, 두산중공업 박화규 차장, 현대건설 추연진 상무 외 1인, 대우건설 허경필 부장
- 인도네시아 : BATAN 청장 외 13인

III. 수행 업무 내용

1. 개요

- 인도네시아의 BATAN 청장 Mr. Iyos R Subki의 공동연구 착수 회의 개막연설에 이어 한원(연)의 장인순 소장, IAEA의 Mr. T. Konishi의 공동연구프로젝트의 중요성 및 성공적인 수행을 위한 협력의 필요성 강조
- 공동연구와 관련된 각 기관의 연구업무를 발표 및 검토가 수행되었으며, 실무자 회의를 통하여 과제수행일정, 각 기관별 업무 (Scope of Work), 인니 전문가들의 공동연구 참여, 공동연구결과물, 보고서 작성 방법 등을 결정

2. 공동연구관련 수행 업무 발표

가. IAEA

- 원자력해수담수화의 현황 및 전망, 관련 IAEA의 활동
- 열병합담수플랜트 경제성 평가 전산프로그램 DEEP
- 부지평가 요건
- 마두라섬 원전건설을 위한 설계 요건

나. KAERI (한국)

- SMART 개발 현황 및 향후 계획, SMART-P 프로젝트
- 원자로계통(SMART) 설계(한원연)
- 원자력발전소 및 담수플랜트의 설계, 제작 및 건설 경험 (한기(주), 두산중공업, 현대건설, 대우건설)

다. BATAN

- Madura 섬의 전력 및 물 수요
- 마두라섬의 부지 및 환경평가 프로그램, 담수 및 소금 생산 프로그램, 경제성 및 산업구조 평가 프로그램, 핵 안전 프로그램 등

3. 기관별 업무분장 및 보고서 작성 담당자 지정(첨부 2 참조)

- 기관별 상세 업무 분장 (안)
- 최종보고서의 목차 및 각 Chapter에 기술 내용
- 각 Chapter의 기관별 작성 담당자

4. 공동연구 수행일정 (Key Milestone : 첨부3 참조)

- 과제착수 : 2002. 1. 2
- Key Requirements : 2002. 3. 31
- 인니 전문가 KAERI Site 파견 공동연구 수행 : 2002. 6. 1
- 보고서 작성 : Draft: 2002. 12. 31, 최종보고서: 2003. 9. 30

5. KAERI Site에서 인니전문가들의 공동연구 참여

- 당초 3인 각 6개월 파견을 4인 파견 참여분야 및 기간을 아래와 같이 조정. IAEA의 최종 승인 필요
 - Engineer A : 담수계통 (4개월)
 - Engineer B : 원자로계통 설계 (4개월)
 - Engineer C : 원자력발전소의 경제성 평가 (4개월)
 - Engineer D : BOP 설계 (2개월)
- 2002년 6월 1일부터 KAERI Site에서 공동연구 수행 (공동연구수행에 앞서 KAERI Site에서 2주일간 Jop training 실시)

6. 공동연구 결과물

- Preliminary Economic Feasibility Study Report
- User Requirement Document for Nuclear Desalination Plant
- Future Plan

7. 한. 인니 공동연구 수행을 위한 Key Requirements

- 상업운전개시일: 2015
- 경제성 평가 기준일: 2001. 12. 31
- 발전플랜트 용량 : 2x 100Mwe/unit
- 담수플랜트 용량 : 4000m³/unit
- 해수온도 : 28-31C
- Total Dissolved Solids (TDS) 31,000 ppm
- 안전정지지진(SSE) : 0.4G

8. 기타

가. Serpong 연구시설 방문

나. 소장님 BATAN 청장 면담

- 본 공동연구사업의 성공적 수행을 위한 긴밀한 협력 필요성 공감
- Agreement 내용을 포함하여 전체 업무를 상호간 상세히 정립하여 차질 없는 수행이 이루어져야 할 것임
- KAERI 측의 예상 부지 방문 요망 (BATAN 청장)
- 인도네시아의 연구기술부 장관에게 SMART 기술을 정기적으로 보고하고 있음, 장관 면담시 SMART 기술특성, 안전성, 기술검증성 등 요약 설명 요청 (BATAN 청장)

다. 인도네시아 연구기술부장관 면담

- 일시 및 장소 : 1/31(목), 14:30 - 15:10, 연구기술부 장관실
- 참석자
 - 인도네시아 : Mr. M. Hatta. Rajasa 장관, Dr. S.

Soentono (BATAN 부청장, 배석)

- KAERI : 소장님, 장문희 팀장(배석)

○ 장관 주요 관심사항 및 Comment

- BATAN 측에서 공동연구 기술협력 내용 및 계획 요약 보고

- 마두라 지역은 전기와 담수를 동시에 생산하는 원자력해수담수화 플랜트 건설에 적절한 지역임. 그러나 원자력 PA도 충분히 고려되어야 할 것임

- SMART의 용량, 기술검증 여부, 단위 전력 생산비 등에 대한 관심 표명

○ 소장님 설명 및 Comment

- 한국은 GNP가 약 400\$일 때 원자력 도입 착수. 현재는 16기 운전중/4기 건설중/2015년까지 8기 추가 건설 예정임. 또한 SMART, APR-1400 등을 독자기술로 개발하고 있음

- SMART의 기술은 축소규모 SMART-P 건설을 통해 기술검증이 이루어질 것이며 SMART-P 사업에는 정부와 산업체가 재원 분담 등 공동으로 추진함

- 본 공동연구 사업의 결과로 경제성/기술성 측면에서 SMART의 수용성 여부를 결정(타당성 분석 보고서)할 것임 (BATAN 측 설명)

부록 2-2.

**Minutes of Kick-off Meeting on Preliminary Economic Feasibility Study of Nuclear
Desalination in Madura Island, Indonesia**

Date: Monday –Thursday, Jan. 28 –31, 2002

Place: BATAN Headquarters, Jakarta, Indonesia

Participants:

IAEA

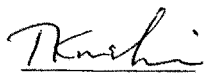
Mr. T. Konishi
Mr. Aybars Guerpinar

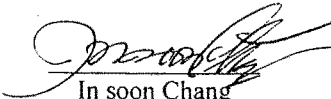
KAERI


Dr. In soon Chang
Dr. Chang sun Kang
Dr. Si-Hwan Kim
Dr. Moon hee Chang
Dr. Young-Dong Hwang
Dr. Byong chul Noh
Mr. Yeon jin Choo
Mr. Suck hong Lee
Mr. Poong Han
Mr. Yung hee Kang
Mr. Hwa gyu Park
Mr. Kyung phil Hur

BATAN

Mr. Iyos R Subki
Dr. S. Soentono
Mr. M. Djokolelono
Mr. Adi Wardoyo
Dr. A. Sarwiyana
Dr. Hudi Hastowo
Dr. Djoko Sutarno
Mr. Suharno
Dr. Anhar R Antariksawan
Mr. B. Suprawoto
Mr. Mauritz L Tobing
Mrs. Sri Hidayati
Mrs. Anugrahini
Mr. Ken Kukuh


T. Konishi
Technical Officer
International Atomic
Energy Agency


In soon Chang
President
Korea Atomic Energy
Research Institute


M.I.R. Subki
Chairman
National Nuclear Energy
Agency

1. General

The meeting was opened by Chairman Mr. Subki of BATAN, followed by the messages from KAERI (President Chang) and IAEA (Mr. Guerpinar and Konishi on behalf of the Agency) (Attachments 1-3). The meeting was the formal initiation of the collaborative programme between BATAN and KAERI on a "Preliminary economic study of a nuclear desalination plant in Madura Island, Indonesia ('Study' in this report)", based on the arrangement signed between parties in October 2001. The meeting agenda and the list of participants are attached (Attachments 4 and 5).

The meeting was planned to define major project products, responsibilities, and milestones. Background information on expertise accumulated in each party, which could be input to the Study, has been shared by both parties.

2. Review of relevant activities in each organization

Participants from each party presented an overview of relevant activities in respective organizations (Attachment 6). More specific technical information was also presented by each organization as contributions to the Study (Annex I, II, III). Presentations from Korean delegations were especially appreciated.

3. Project framework of the Study

Following major items regarding the project implementation framework were discussed.

- Cooperation Arrangement
- Scope of Work, and responsible engineers (Attachment 7)
- Job Orientation and Joint Study at KAERI Site (Attachment 9)
- Project Milestones (Attachment 10)

4. User Requirements

Based upon the status and prospects of electricity and water in Madura elaborated by BATAN, key requirements in the Study were discussed and major requirements are defined (Item 5.1. e).

5. Conclusions and Recommendations

5.1. Conclusions

- a. Detail scope of work and responsible engineers for each chapter of the Study report were agreed as attached (Attachment 7).
- b. Project milestones have been confirmed as attached (Attachment 8).
- c. Work frame and schedule of joint study at the KAERI site was discussed and agreed that, instead of 3 engineers for six months, 4 engineers with shorter duration of stay starting 2002.6.1 after a 2-week job orientation at the KAERI site for the joint work were agreed. Individual engineer's technical field and duration of stay were discussed and agreed as follows, subject to change if agreed by both parties (Attachment 9). IAEA confirms the feasibility of this plan as soon as possible.
 - Engineer A: seawater desalination (4 months)
 - Engineer B: reactor system design (4 months)
 - Engineer C: economic evaluation of nuclear power plants (4 months)
 - Engineer D: BOP system design (2 months at KOPEC in Seoul).

- d. The Study report shall be compiled by BATAN with contribution as specified in Annex II of the arrangement. Contents of the Study report have been defined as attached (Attachment 10).
- e. Key parameters of the study have been identified as below.

| <u>Items</u> | <u>Requirements</u> |
|---|---------------------------|
| Projected date for commercial operation | 2015 |
| Reference date for economic evaluation | 2001.12.31 |
| Plant capacity | 2 x 100Mwe/unit |
| Total capacity of Desalination plant | 4,000 m ³ /day |
| Seawater Temperature | 28-31 °C |
| Total Dissolved Solids | 31,000 ppm |
| Design basis acceleration for safe shutdown | 0.4G |

5.2 Recommendations

- a. BATAN utilizes the results and outcomes of relevant projects with the IAEA, which are completed or/and ongoing, as useful and important resources for effective implementation of the study.
- b. BATAN examines a possibility of applying for a national technical cooperation project of IAEA as the next step of this study for further specific preparation of a nuclear desalination project in Madura, if it foresees the outcome of this study positive. BATAN proposes to IAEA a national technical cooperation project by the end of 2002.
- c. BATAN is planning to organize of a technical symposium in early October or late November 2003 in Jakarta. IAEA explores a possibility of planning a side-by-side workshop on the occasion in order to facilitate the participation of Member States, which are assessing demonstration of nuclear desalination.

ATTACHMENT

1. Opening Remark by BATAN
2. Congratulatory Remark by KAERI
3. Message to the Opening from IAEA
4. Meeting Agenda
5. List of participants
6. Overview of relevant activities in each organization (IAEA, KAERI, BATAN)
7. Table of the contents of the feasibility study reports and responsible engineers
8. Project milestones
9. Job orientation and schedule of joint study at KAERI
10. Definition of contents of the study report (draft)

Annex

Technical presentation materials from each party (KAERI, BATAN, IAEA)

부록 2-3.

첨부 3

Division of Responsibility for Preliminary Economic Feasibility of Nuclear Desalination on Madura Island
--- Responsible engineers ---

| Items | Indonesia | IAEA | Korea | Korea | | | | |
|---|---------------|------|-------|-------------|------|-------|-----|-----|
| | | | | KAERI | DHIC | KOPEC | DEC | HEC |
| Executive Summary | L (Mursid) | R | S | KL (Kim) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1. Introduction | L (Mursid) | S | S | KL (Kim) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| a. General introduction of the Madura Island | L | | | | | | | |
| b. Energy and water resources of Indonesia, East Java Province, Madura Island | L | | | | | | | |
| c. Industrial & Development of Madura Island | L | | | | | | | |
| d. Objective and Methodology of the Study | L | | | | | 0 | | |
| 2. Electrical System Analysis of the Madura Island | L (Mursid) | | | | | | | |
| a. Demand and forecast | L | | | | | | | |
| b. Existing Power Grid | L | | | | | | | |
| c. Development Plans | L | | | | | | | |
| 3. Water System | L (Mursid) | | | | | | | |
| a. Demand Forecast | L | | | | | | | |
| b. Existing domestic water grid | L | | | | | | | |
| c. Expansion plans for domestic and industrial needs | L | | | | | | | |

첨부 3

| | | | | | | | | |
|---|------------------|---|---|--------------|---|-----------------|-------------|-------------|
| 4. Site Characteristics | L (Sarwiyana) | R | S | | 0 | KL (YI, Lee) | 0 | |
| a. Madura Island Description | L | | | | | | | |
| a.1. Geology and Morphology | | | | | | | | |
| a.2. Hydrology and Oceanography | | | | | | | | |
| a.3. Seismicity | | | | | | | | |
| a.4. Meteorology and Climate | | | | | | | | |
| a.5. Demography and Land Use | | | | | | | | |
| b. Site Selection Criteria | L | R | S | | 0 | KL (YI, Lee) | 0 | 0 |
| c. Assumed site and its characteristics | L | R | S | | 0 | KL (YI, Lee) | 0 | 0 |
| 5. Power Plant Technology | L (Tobing) | R | S | | | | | |
| a. Gas/oil power plant | L | | S | | | 0 | 0 | KL (Lee) |
| b. Coal Steam Power Plant | L | | S | | | 0 | KL (Hur) | 0 |
| c. Nuclear Power Plant | L | R | S | | | KL (JY, OH) | 0 | 0 |
| 6. Fuel Aspects | L (Tobing) | R | S | 0 | | 0 | | |
| a. Gas/oil Fuel | L | R | S | | | 0 | | KL (Lee) |
| b. Coal Fuel | L | | S | | | 0 | KL (Hur) | |
| c. Nuclear Fuel Cycle | L | | S | KL (Yoon) | | 0 | | |

첨부 3

| | | | | | | | | |
|---|----------------|---|---|---------------|--------------|----------------|---|---|
| 7. Seawater Desalination Technology | S (Bambang) | R | L | 0 | KL (Park) | | | |
| a. Reverse Osmosis | S | R | L | 0 | KL (Park) | | | |
| b. Multi-Effect Distillation | S | R | L | 0 | KL (Park) | | | |
| c. Multi Stage Flash | S | R | L | 0 | KL (Park) | | | |
| d. Brine Utilization and Salt Production | S | R | L | 0 | KL (Park) | | | |
| 8. Waste Management | L (Bambang) | R | S | | | | | |
| a. Waste Management from energy production | L | R | S | | | KL (Chung) | 0 | 0 |
| b. Waste Management from seawater desalination | L | R | S | 0 | KL (Park) | 0 | 0 | 0 |
| 9. Establishing the alternatives | L (Mursid) | R | S | | | KL (JY, OH) | 0 | 0 |
| a. Short and medium term features for fossil energy sources | L | | | | | KL (JY, OH) | 0 | 0 |
| b. Intermediate and long term advantages of nuclear alternatives | L | | | 0 | 0 | KL (JY, OH) | 0 | 0 |
| 10. Technical and Safety Aspects of the Power and Desalination plant | S (Suharno) | S | L | KL (Yoon) | 0 | 0 | | |
| a. Technical Aspects of NPP'S | S | S | L | KL (Yoon) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| b. Safety Aspects of NPP'S | S | S | L | KL (Yoon) | 0 | 0 | | |
| c. Coupling of NPP'S with seawater desalination | S | S | L | KL (Hwang) | 0 | 0 | | |
| d. Fossil Fuel Power seawater desalination | S | S | L | 0 | KL (Park) | | | |

첨부 3-2

| | | | | | | | | |
|---|-------------------------------|---|---|---------------|------|-----------------|-------------|---|
| 11. Economic Assessment and Evaluation | S (Tobing) | S | L | 0 | 0 | KL (YE, Lee) | 0 | 0 |
| a. Economic Evaluation Method | S | S | L | 0 | 0 | KL (YE, Lee) | | |
| b. Input Parameters | S | S | L | KL (Lee) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| c. Fossil Energy Options | S | S | L | | 0 | KL (YE, Lee) | 0 | 0 |
| d. Nuclear Energy Options | S | S | L | 0 | 0 | KL (YE, Lee) | 0 | 0 |
| e. Financing | S | S | L | KL (Lee) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12. Local Infrastructure and Industrial Participation | L (Tobing) | | S | KL (Hwang) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| a. Higher Educational and professional /vocational training | L | | S | KL (Hwang) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| b. Industrial Infrastructure and local/national participation | L | | S | | Park | 0 | 0 | 0 |
| c. Licensing and Control | L | | S | KL (Hwang) | | 0x | | |
| 13. Environmental Impacts and Health Aspect Assessment | L (Mrs. Sri, Sarwiyana) | R | S | 0 | 0 | KL (Chung) | 0 | 0 |
| a. Construction Period | L | | S | | 0 | KL (Chung) | 0 | 0 |
| b. During normal operation | L | | S | | | KL (Chung) | | 0 |
| c. During accident conditions | L | | S | 0 | | KL (Chung) | | 0 |
| 14. Social and Cultural Aspects | L (Mrs. Sri) | | | | | | | |
| a. Madura Island Society in the Industrial Development | L | | S | | 0x | | KL (Hur) | 0 |

첨부 3

| | | | | | | | | |
|---|---------------|---|---|-------------|----|---|-------------|---|
| b. Acceptability of newly technology introduction | L | | S | 0 | 0x | 0 | KL (Hur) | 0 |
| 15. Conclusion and Recommendations | L (Mursid) | S | S | KL (Kim) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| a. Preliminary Economic Feasibility Assessment | L | S | S | KL (Kim) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| b. Recommendation for the follow-up | L | S | S | KL (Kim) | 0 | 0 | 0 | 0 |

Note:

L: Leading Role S: Supporting Role R: Reviewing KL: Leading Role in Korea

첨부 4

Job Orientation (2 weeks)

1. Design characteristics of SMART
 - Overview of SMART design
 - Understanding of SMART design features (Fuel/Core design, Fluid system, Mechanical design, I&C)
 - Transients and operational characteristics of SMART (Safety Analysis)

2. Design characteristics of desalination system
 - Overview of the seawater desalination process
 - Design basis and requirements
 - Understanding of the major components and auxiliary systems
 - Plant arrangement
 - Coupling System

3. Introduction of the Economic Assessment and Evaluation Methodology
 - Economic evaluation methodology for dual purpose nuclear desalination plant
 - DEEP program

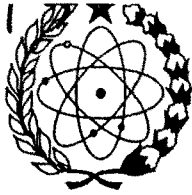
첨부 5

Joint Study at KAERI and KOPEC Sites

| Item | 1 | | | | 2 | | | | 3 | | | | 4 | | | | 5 | | | | 6 | | | |
|--|----------------------|----|---|----|----------------------|----|---|---|----------------------|----|----|---|----------------------|----|----|---|----------------------|----|----|----|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| #1. Technical Aspects of NPP design (SMART) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - NSSS Design (Fuel/Core design, Fluid system, Mechanical design, I&C) | ████████████████████ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - BOP Design (Secondary system and - Auxiliary system design) | | | | | ████████████████████ | | | | ████████████████████ | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Component design | | | | | | | | | | | | | ████████████████████ | | | | | | | | | | | |
| - Performance and Safety Analysis | | | | | | | | | | | | | ████████████████████ | | | | | | | | | | | |
| #2. Technical Aspects of Desalination Plant | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Design Basis and Requirements | ████████████████████ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Selection of the reference plant and design optimization | | | | | ████████████████████ | | | | ████████████████████ | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Design of the coupling system | | | | | ████████████████████ | | | | ████████████████████ | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Intake and Outfall | | | | | | | | | ████████████████████ | | | | | | | | | | | | | | | |
| - General plant facilities | | | | | ████████████████████ | | | | ████████████████████ | | | | ████████████████████ | | | | | | | | | | | |
| #3. Economic Assessment and Evaluation | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Economic Evaluation Methodology | ████████████████████ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Generation of input parameters | | | | | ████████████████████ | | | | ████████████████████ | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Estimation of the construction cost | ████████████████████ | | | | | | | | ████████████████████ | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Economic analysis on electricity generation cost and water production cost | | | | | | | | | ████████████████████ | | | | ████████████████████ | | | | | | | | | | | |
| - Comparative economic assessment for power option | | | | | | | | | ████████████████████ | | | | ████████████████████ | | | | | | | | | | | |
| #4. KOPEC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Secondary system design | ████████████████████ | | | | ████████████████████ | | | | ████████████████████ | | | | ████████████████████ | | | | | | | | | | | |
| - Radiological dose assessment | | | | | ████████████████████ | | | | ████████████████████ | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Calculation of effluent radiological concentration | | | | | | | | | ████████████████████ | | | | ████████████████████ | | | | | | | | | | | |
| - Determination of Exclusion Area Boundary (EAB) | | | | | | | | | | | | | ████████████████████ | | | | ████████████████████ | | | | | | | |
| Report making | | | | | X | | | | X | | | | X | | | | X | | | | | | | |
| Date of work | 20 | 27 | 3 | 10 | 17 | 24 | 1 | 8 | 15 | 22 | 29 | 5 | 12 | 19 | 26 | 2 | 9 | 16 | 23 | 30 | | | | |
| Month | May | | | | June | | | | July | | | | August | | | | Sept. | | | | | | | |

부록 3. 인도네시아 원자력해수담수화 플랜트 설계요건

부록 3.



BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL (NATIONAL NUCLEAR ENERGY AGENCY)

Jl. KH. Abdul Rohim, Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710

PO. Box : 4390 Jakarta 12043

Phone : 5251109, Fax. : 5251110, elex : 62354 Cable Batan Jkt. IA

March 25, 2002

No. : 03615/KS 00 01/III/2002

To. :

- Dr. T. Konishi,
Div. of Nuclear Power, Nuclear Technology Development Sect., IAEA
Nuclear Desalination Unit, Unit Leader
A-1400 Vienna, PO BOX 100, Room A2563, Austria
- Dr. S.H. Kim,
Project Manager of KAERI,
150, Dukjin-dong, Yusong-ku, Taejon, KOREA
PO. Box 7, Daeduk, Danji, Taejon, KOREA

Dear Sirs,

Referring to article #5.1 (e) of the minutes of kick-off meeting on the Preliminary Economic Feasibility Study of Nuclear Desalination in Madura Island signed on January 30th, 2002, we herewith would like to confirm you that *key parameters* of the study have been identified as the following :

- Project Date for the Commercial Operation = 2015
- Reference Date for the Economic Evaluation = 2001.12.31
- Plant Capacity = 2 x 100 MW(e)/unit
- Total Capacity of Desalination Plant = 4,000 m³/day
- Seawater Temperature = 28 – 31 °C
- Total Dissolved Solids (TDS) = 31,000 – 35,000 ppm
- Design Basis Acceleration for Safe Shutdown Earthquake (SSE) = 0.4 g.

Please let me know if you still have any comment. Looking forward to hearing from you soon.

Thank you very much for your attention and cooperation.

Sincerely yours,

Dr. Soedyartomo Soentono

Deputy Chairman – BATAN,

As for Technical and Managerials matters

부록 4. 제1차 한국-인도네시아-IAEA 공동연구 진도점검 회의

4-1 제1차 한국-인도네시아-IAEA 공동연구 진도점검 회의 요약

4-2 제1차 한국-인도네시아-IAEA 공동연구 진도점검 회의록

부록 4-1.

KAERI/BATAN(인도네시아)/IAEA간
공동연구 제1차 과제진도점검 회의 요약

2002. 9

한국원자력연구소

I. 회의명/일시 및 장소

- 한국, 인도네시아, IAEA 원자력해수담수화 공동연구 착수회의
- Preliminary Economic Feasibility Study of Nuclear Desalination in Madura Island, Indonesia
- 일시 : 2002년 9월 2일-9월 5일
- 장소 : 한국원자력연구소 국제원자력훈련센터 1층회의실

II. 참여기관 및 참석자

- IAEA : Dr. Razley 외 2인
- 한국 : 과기부 편경번 과장 외 1명, 한원연 김 시환 외 6인,
한기(주) 박찬영 부장, 두산중공업 홍종명과장,
현대건설 조영식부장, 대우건설 허경필 부장
- 인도네시아 : BATAN 청장 외 6 인

III. 업무협의 내용

1. 개회식

- 과기부의 편경번 과장의 제1차 공동연구 진도점검회의 개막연설에 이어 인도네시아의 BATAN 청장 Dr. Soentono, IAEA의 Dr. Razley 공동연구프로젝트의 성공적인 수행을 위한 협력의 필요성 강조(첨부 1, 2, 3 참조).

2. 공동연구 보고서작성 진도 점검

- 본 회의전에 작성한 공동연구 보고서 초안(첨부 9 참조)을 참석자 전원에게 배포하였음. 공동연구 보고서의 각 장별로 작성현황과 향후 계획을 발표하고 이에 대한 토의를 하였음.
- 공동연구 보고서는 전체적으로 잘 작성되었으나 추가적으로 작성해야할 항목과 대외 보고서 논리적인 면을 고려하여 보고서의 목차를 수정하기로 합의 하였음. 이에 따라 각 기관별 역무분장의 재 조정(첨부 10 참조)이 필요함.

3. 마두라섬에 SMART 2기 건설사업 일정

- 본 공동연구과제 착수 : 2002. 1. 2
- 본 공동연구과제 완료 : 2004. 3. 31
- SMART 2기 상업운전 개시 : 2015. 12. 31
- Key Milestone: 첨부5 참조

4. 부지선정 Workshop 개최 계획

- 2002년 10월 30일부터 11월 2일까지 인도네시아 마두라섬과 자카르타에서 개최
- BATAN 주도로 Workshop을 개최하고 IAEA는 지원
- 부지선정과정 및 부지선정요건에 대한 Workshop 및 마두라섬의 예상 후보부지에 대한 조사

5. 사용자요건서 작성

- 마두라섬에 건설할 목적으로 제안되는 소형 원자력해수담수화 플랜트에 적용되는 특정목적의 사용자요건서로 작성
- 원자력해수담수화 플랜트의 사용자 요건서 작성을 위한 Training Workshop을 2003년 5월 인도네시아에서 개최

6. 국제 해수담수화 Symposium 개최

- 해수담수화 기술과 경제성을 주제로 2004년 4월에 인도네시아에서 개최
- BATAN이 주도하고 IAEA는 많은 국가가 참여하는 국제회의가 될 수 있도록 지원

7. 제 2차 진도점검회의 개최

- 2001년 1월에 인도네시아에서 개최
- 2차 진도점검회의 이전에 수정된 목차에 따라 Draft 보고서 수정 및 내용보완

8. 기타

가. KAERI 연구시설 방문 (2002. 9. 10)

- 하나로

- 동위원소생산시설
- 열수력시험시설

나. 과기부 방문

- 일시: 9월 5일 17:00 - 18:00
 - 초청원 원자력국장 면담
 - 양국간의 원자력기술협력강화
 - 양국간의 원자력협력협정 조기서명 추진
 - BATAN청장 요청사항: 원자력안전, PA, 재원조달

- 이승구차관님 초청 만찬
 - 주한 인도네시아 대사, 공사
 - BATAN 청장의 3명
 - 과기부 원자력국장의 2명
 - 한국원자력연구소 김시환단장

부록 4-2.

**Minutes of the First Progress Review on Preliminary Economic Feasibility Study of
Nuclear Desalination in Madura Island, Indonesia**

Date: Monday -Thursday, Sept. 2 -5, 2002

Place: KAERI, INTEC, Daejeon, Korea

Participants:

IAEA

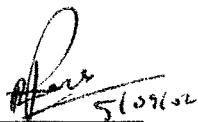
Mr. M.N. Razley
Mr. T. Konishi
Mr. Marco Gasparini

KOREA

Mr. Kyung-Bum, Pyun(MOST)
Mr. Sang-Dae Lee(MOST)
Dr. Si-Hwan Kim(KAERI)
Dr. Moon-Hee Chang(KAERI)
Dr. Young-Dong Hwang(KAERI)
Dr. Byong chul Noh(KAERI)
Dr. Man-Ki Lee(KAERI)
Dr. Juhyeon, Yoon(KAERI)
Mr. Kyung-Phil Hur(DAEWOO)
Mr. Young-Suk Cho (HYUNDAI)
Mr. Chan-Young Chung(KOPEC)
Mr. Jony-Myung Hong(DOOSAN)
Mr. Chi-Sung Song(KIMM)

INDONESIA

Dr. S. Soentono
Dr. Hudi Hastowo
Mr. Suharno
Mr. B. Suprawoto
Mr. Mauritz L Tobing
Mr. Andi S. Ekariansyah
Mr. Suparman



M.N. Razley

Head


East Asia & Pacific Section
Dept. Technical Cooperation
International Atomic Energy
Agency



Si-Hwan Kim

Director

SMART R&D Center
Korea Atomic Energy
Research Institute



S. Soentono

Chairman

National Nuclear Energy
Agency

1. General

The meeting was opened by Mr. K.B. PYUN, Director of Atomic Energy International Cooperation, Ministry of Science and Technology of Korea, followed by the messages from BATAN Chairman, Dr. S. Soentono and IAEA (Mr. M.N. Razley on behalf of the Agency). The meeting was the first progress review meeting of the collaborative programme between BATAN and KAERI on a "Preliminary economic study of a nuclear desalination plant in Madura Island, Indonesia ('Study' in this report)", which started Jan. 2, 2002 based on the arrangement signed between parties in October 2001. The meeting agenda and the list of participants are attached (Attachments 4 and 5).

The meeting reviewed as planned the status of the progress of the joint study and the contents of the project products, responsibilities, and milestones. Technical information and comments from experts of each party will be reflected into the Study.

2. Review of Project Progress

Project objective, scope and division of responsibilities (DOR), key milestones, and the status of the project were briefly overviewed. Experts from BATAN and KAERI presented the status of the joint study report and the summary of technical information for each chapter based on DOR agreed at the kick-off meeting. Participants from each organization reviewed the joint study report and discussed on the contents of the report and the technical issues for each chapter. The comments and recommendations from participants (as summarized in Attachment 6) will be reflected in revising the joint study report.

In observing some overlapping and missing information in a logical streamline, a new structure of the report was proposed and agreed by all Parties (Attachment 7). The table of DOR shall be revised accordingly (by KAERI, BATAN and IAEA).

3. User Requirements Document of the nuclear desalination plant (URD - ND)

Preparation plan of the Indonesian user requirements document on small and very small power reactors was presented. The document will be compiled as a specific URD for the proposed nuclear desalination plant (URD - ND) for the Madura Island.

BATAN was recommended to continue drafting the URD - ND with cooperation of KAERI and IAEA. For assisting its compilation, arrangement of a training workshop on URD - ND preparation was suggested under INT/4/134 (See Future action plan below) and BATAN shall take the necessary actions.

4. Overall project schedule

With the target schedule of plant operation in 2015 as set at the kick-off meeting, the overall project schedule was envisioned (Attachment 8). Mr. Soentono informed that the regulatory body (BEPETEN) set the target schedule of completing the relevant guidance enabling the PSAR by 2010. However, to meet the operation target schedule, BAPETEN guidance for the preparation of PSAR should be ready in useful time to allow the preparation of the PSAR by licensee by 2010. BATAN shall draw the attention of BAPETEN in this regard. IAEA shall consider assisting BAPETEN upon request.

5. Symposium on nuclear desalination

It was agreed to plan a symposium with international participation (originally referred to

as an International Workshop on nuclear desalination) in April 2004. IAEA suggested that BATAN organizes a local (or international) symposium with a central subject of water resources (provisional concept) and IAEA explores possibilities of combining a TC meeting under INT/4/134 and a DEEP training workshop focusing on "economic aspects of nuclear desalination" for facilitating international participation.

6. National TC Proposals

BATAN considers proposing national TC projects for the 2005/2006 Technical Co-operation budget cycle of IAEA as a possible follow-up activity of the current TC project under INT/4/134. One possible subject is on seismotectonics of Madura. BATAN finalizes its proposed write-up and adds additional proposals as needed with priority. IAEA can be consulted for their preparation.

7. Future Work of the Joint Study

Future activity plans were discussed for facilitating the overall project as defined in Attachment 8.

7.1. Workshop on Site Selection and Seismotectonics

In October 2002 as planned. BATAN issues an invitation letter to KAERI for their participation.

7.2. Progress Review Meeting (PRM)

The 2nd Progress Review Meeting (PRM) is tentatively planned in January 2003, in Jakarta. Revised draft of the study report will be made available in advance. KAERI submits request of expert recruitment to IAEA. IAEA was strongly requested to consider duly the smooth transition of Technical Officers.

7.3. Training workshop on URD - ND

It was proposed and agreed to plan a training workshop for preparing the User Requirements Document of the nuclear desalination plant (URD - ND) in May 2003. BATAN submits its request to IAEA.

7.4. Technical Meeting in 2003

IAEA is planning to hold a technical meeting in late 2003 in Kalpakkam, India, for updating the nuclear desalination demonstration activities in Member States. BATAN is recommended to participate in the meeting as part of its own project preparation. The logistics of the meeting will be set by the IAEA.

8. Conclusions and Recommendations

8.1 Conclusions

1. The progress of the Joint Study was on schedule.
2. The report was well drafted. It would be a good starting version
3. Information is fairly well collected. Analyses and proposals are yet to be elaborated.
4. New structure of the report was proposed and agreed by all Parties.

5. With the target schedule of plant operation in 2015 as set at the kick-off meeting, the overall project schedule was envisioned.

6.

7.1. Recommendations

1. BATAN engineers staying in Taejon/Seoul under the fellowship programme are requested to collect as much information as possible and discuss as much as possible before separation. At least the up-version of the report can be drafted before separation. Keep close correspondence should be kept for continued work after separation early October. The second six months is a very important period. Hope good progress. Once being back at BATAN, "joint" work may not be as productive as the past 4 months in.
2. The study report is not an academic paper. The report is a position paper and should have a clear message that the proposed project is "FEASIBLE" based on the analyses of information collected.
3. Past resources, for instance the information collected and analyzed in an earlier TC project, should be fully utilized.
4. Executive summary should be drafted by Dec. 2002.
5. SMART is a quite innovative reactor for which existing design codes and standards could not be fully applicable and they could require interpretation. It is recommended that these aspects and in particular those related to safety be addressed in the FS.
6. The proposed nuclear plant will be licensed in Indonesia. Legal and regulatory aspects of Indonesia should be described. Licensing procedures, possible envisaged difficulties should be addressed because of their impact on feasibility and schedule.
7. Considerations on environmental impact (radiological and non radiological) are important for the decision making. Although the report is intended to be preliminary, this chapter should be expanded to address the matter in a more systematic way. It is recommended to refer to existing reports or guidelines on environmental impact to define the content of this chapter
8. It is proposed to BATAN to coordinate and take into consideration the information available in the report of study on Comprehensive Assessment of Different Energy Sources for Electricity Generation in Indonesia: Energy Demand and Supply Analysis (Phase I)
9. It is proposed to BATAN to identify and prioritize its needs for IAEA Technical Co-operation programme for 2005-2006 as early as possible.

ATTACHMENT

Attachment 1: Opening message from Mr. Kim, MOST

Attachment 2: Opening message from Mr. Soentono, BATAN

Attachment 3: Opening message from Mr. Razley, IAEA

Attachment 4: Meeting Agenda
Attachment 5: List of Participants
Attachment 6: Comments to the draft report of the joint study
Attachment 7: Proposed restructuring of the joint study report
Attachment 8: Overall project schedule
Attachment 9: Draft report
Attachment 10: Proposed TC (Draft)

8. General comments and recommendations

- 1 The progress of the Joint Study was on schedule.
- 2 The report was well drafted. It would be a good starting version
- 3 Information is fairly well collected. Analyses and proposals are yet to be elaborated.
- 4 The second six months till the next PRM will be very important period. Once being back at BATAN, "joint" work may not be as productive as the past 4 months in Taejeon/Seoul. Collect as much information as possible and discuss as much as possible before separation. At least the up-version of the report can be drafted before separation. Keep close correspondence for continued work.
- 5 The report is not an academic paper. The report is a position paper and should have a clear message that the proposed project is "FEASIBLE" based on the analyses of information collected.
- 6 In observing some overlapping and missing information in a logical streamline, a new structure of the report was proposed and agreed by all Parties (Attachment 7). The table of DOR shall be revised accordingly (by KAERI, BATAN and IAEA).
- 7 Organizational chart is desirable. Include BAPETEN. A new chapter (Project management?) may be advisable. This new chapter envisions the project schedule, management organization and responsibilities, contractual arrangement, etc.
- 8 Assumptions made for the assessment should be clarified. This is important for later updating and revision of the report.
- 9 Conditions for the study are also to be identified. Conditions for further study, or conditions to be given by the decision makers should be clarified.
- 10 In this respect it is advisable to add a section in each chapter, as applicable, on "Issues and possible measures", where possible plans for solving the issues are proposed or elaborated. These will be integrated later in Chapter 15 as "Recommendations."
- 11 Introductory remark (objectives) and concluding remark are advisable to be added in each chapter except Chapter 1 and 15. "Guidance" specified in Attachment 8 to the kick-off meeting report can be utilized for the introductory remark. Concluding remarks will be integrated later in Chapter 15 as "Conclusions."
- 12 Past resources, for instance the information collected and analyzed in an earlier TC project, should be fully utilized.
- 13 It is useful, especially at a later stage for completeness, to list all laws and regulations, which are to be applied to the project. They will help checking any missing points to be covered in the study: international agreements and conventions, national laws and regulations for electricity and water (as well as radiations, chemicals, transportation, etc.)
- 14 Executive summary be drafted by Dec. 2002.

- 15 The purpose and content of the report should be consistent with the title. The report is to prove the feasibility of a "nuclear desalination plant" and should address the nuclear option in detail. Information on other options such as gas, coal or oil power plants should be limited and presented in forms easy to compare them with those for the nuclear plant in order to support the viability of the nuclear option and provide elements for the decision makers. It is recommended to restructure the list of content of the report to accommodate the above considerations.
- 16 The proposed nuclear plant will be licensed in Indonesia. Legal and regulatory aspects of Indonesia should be described. Licensing procedures, possible envisaged difficulties should be addressed because of their impact on feasibility and schedule. The fact that SMART is a quite innovative reactor never licensed before should be underlined in the FS.
- 17 Consideration on environmental impact (radiological and non radiological) are important for the decision making. Although the report is intended to be preliminary, this chapter should be expanded to address the matter in a more systematic way. It is recommended to refer to existing reports or guidelines on environmental impact to define the content of this chapter
- 18 It is proposed to BATAN to coordinate and take into consideration the information available in the report of study on Comprehensive Assessment of Different Energy Sources for Electricity Generation in Indonesia: Energy Demand and Supply Analysis (Phase I)
- 19 It is proposed to BATAN to identify and prioritize its needs for IAEA Technical Co-operation programme for 2005-2006 as early as possible.

부록 5. 인도네시아 중소형 원자로 요건서

SMALL AND MEDIUM REACTOR REQUIREMENTS: INDONESIA

The Indonesian requirements on small and very small power reactors (SVSRs) for reactor power up to the equivalent of 300 MWe are adapted from IAEA-TECDOC-1167 “Guidance for preparing user requirements documents for small and medium reactors and their application”, which are used as basis for the key requirements.

EXECUTIVE SUMMARY

- The main requirements are concerning the constructibility, operability, and maintainability. Construction time starting from the first concrete until commercial operation is limited to 60 months.
- The SVSRs shall be designed for at least 40 years lifetime, and 30 years in case of the SVSR’s deployment is less than 20 years.
- Beyond design basis accidents shall be evaluated in the design.
- The core damage frequency without release to the environment less than 1×10^{-5} per reactor year and less than 1×10^{-6} per reactor year with minor release to the environment.
- The dose at site boundary less than 0.25 Sv for accidents with more than 1×10^{-6} per year cumulative frequency.
- Improved reliable long-term residual heat removal system and strengthened containment structure to mitigate further the consequences of severe accident.
- Minimizing the production of radioactive wastes.
- Occupational radiation exposure less than 1 man Sv per reactor year and whole body dose of 0.25 Sv at the site boundary for severe accidents with cumulative frequency greater than 1×10^{-6} per year.
- For operability, less burden on operators and better manoeuvrability, which suggests an advanced I&C, which is ergonomic and with more automation.
- For maintainability, easier means are provided for preventive and operational maintenance with available space and devices to carry out replacement of main components.
- The performance targets are:
 - Availability factor: more than 90 %
 - Capacity factor: more than 80% (life time)
 - Refueling cycle: 18 – 24 months or more
 - Unplanned automatic scrams: less than 1 per year

SITE IMPOSED REQUIREMENTS

- The design basis parameters of the plant shall fall within the parameter envelope listed below:

| | | |
|---------------------|----------------------|-------|
| Bearing capacity | Kg / cm ² | ≥ 7.5 |
| Shear wave velocity | M / sec. | ≥ 300 |

| | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|
| Flood level | m | ≥ 0.3 below finish grade |
| Peak ground acceleration | gal | ≥ 400 |
| Volcanic ash | cm | ≤ 20 |
| Max. ambient temperature | °C | 36 |

- The mean value of unconfined compressive strength of rock type between 16 kgf/cm² and 62 kgf/cm².
- The seawater temperature range approx. 28 °C to 30 °C.
- The design seawater temperature for main condenser 29.5 °C
- The design ambient air temperature for ventilation and air conditioning system 33 °C
- The radiological release from the plant shall be lower, complying with the ALARA principle.
- The radiological release of gas and liquid shall meet the allowable limits recommended by the ICRP (No. 26/1977, No. 60/1990, etc.)

TECHNICAL REQUIREMENTS

Safety requirements

- Considerations in the reactor safety: defense-in-depth, inherent reactor safety, accident resistance, mitigation systems
- Accident resistance: fuel thermal margin equal or higher than 15 %
- Maximize use of passive systems for increased availability and reliability
- Severe core damage frequency < 1 x 10⁻⁵ / reactor. Year
- Dose at site boundary less than 25 rem (0.25 Sv) for accident with more than 1 x 10⁻⁶ / year cumulative frequency
- Grace period: 72 hours for DBA and several hours for beyond DBA (only for passive SMRs)
- Station black-out coping time for core cooling shall be minimum 8 hours.
- Prevented and mitigated severe accident phenomena:
 - high pressure melt ejection and direct containment heating
 - hydrogen production and combustion in the RPV
 - steam explosions in the RPV and the containment
 - core-concrete interaction in the containment
 - containment by-pass and loss of long term heat removal
- Radiation protection: the occupational radiation exposure less than 1 man Sv/ reactor year
- Design of the plant having good sabotage protection

Performance requirements

Application

- Minimum number of cycling and transient over the design life time:

- Start-up and shutdown cycles between cold condition and rated output: -180
- Unit loading and unloading between technical minimum output and rated output: -18000
- Step load increase and decrease of 10 % of rated output: -600
- Step load decrease of 50 % of rated output: -60
- Acceptable reduced power operation at 65 % of rated output after loss of certain auxiliary equipment such as:
 - loss of a train of LP or HP feedwater heaters
 - loss of a feedwater pump
 - loss of circulating water pump
- Design for a 24 hours cycle with the following cycle profile: starting at 100 % power, power ramps down to 50 % in 2 hours, power remains at 50 % level for 2 – 10 hours, and then up to 100 % in 2 hours.
- Capability of that power cycling for 90 % of the days of each fuel cycle during the plant life.

Availability and reliability

- Refueling outage free from major problems in 17 days or less assuming 24 hour productive days
- Limit of unplanned automatic trips less than one per year
- High overall availability of the plant capacity factor greater than 90 %
- Short planned outage duration (for one-year up to two-year core cycles)
 - average refueling and maintenance outage shorter than 25 days / year
 - refueling only outage possible in less than 17 days
 - major plant outage shorter than 180 days per 10 years
- Low level of unplanned outages:
 - unplanned automatic scrams less than 1 per 7000 hours critical
 - unplanned capability loss factor less than 1.4
- Capacity factor not less than 80 % (lifetime), not less than 24-month capability
- Forced outages less than 5 days per year

Design lifetime

- Design life of plant structures and non-replaceable components shall be 60 years
- For shorter designed operating life (less than 30 years), design life more than 40 years.

Maneuverability

- Automatic power control capability with an output of 15 % or more of rated output
- Design of control circuit to follow normal load changes of the grid
- Minimum load change response of ± 5 % of rated output per minute at 65 % or more of the rated output and a step load change of ± 10 % of the output to the grid for at least 90 % of the duration of the cycle

- Fast closure of turbine stop valves for initiating the turbine bypass system operation and subsequent controlled reduction of reactor power

Plant design requirements

- Employing proven technology for the design, which is successfully and clearly demonstrated in SMRs or other applicable industries
- Design philosophy: simple, rugged, high design margin, no power plant prototype required

Design simplicity

- Minimizing the amount of equipment and plant operator

Design margins

- Capable of operating on a fuel cycle with a refueling interval of 24 months
- Peak bundle average burnup of 60.000 MWd/TU for PWR
- For SVSRs on the remote areas, burn-up shall be sufficiently high to support the length of production cycles which are at least 24 months, preferably more than 36 months
- Premature failure rate due to manufacturing defects less than one in 50.000 fuel rods

Human factors and man-machine interface (MMI)

- Plant design for easy operation from control room to minimize human error
- Operation with less burden on operators and better maneuverability
- Advanced, ergonomic instrumentation and control (I&C) with more automation
- Minimize the need for operator intervention in the I&C system and reactor protection system
- Improved diagnostics systems incorporating self-testing and automatic failure indication
- Minimize operation and maintenance errors served by man-machine interfaces
- Enabling single operator to control a power unit during normal power operation
- Design of MMI according to accepted ergonomic and ergometric principles is adaptable to the anthropometry of Indonesian operators

Standardization

- Concept of well defined standardization for ensuring interchange of components and limited number of different types of components.
- Requirements for equipment standardization during planning, manufacture, construction, erection, and commissioning.

Proven technology

- Only plants of proven design are required for the first Indonesian NPP units

- A reference plant shall be identified having satisfactory operation and same basic design characteristics as the proposed plant on following items for safety and reliability:
 - nuclear and thermal-hydraulic design of the reactor core
 - primary circuit component design, and
 - system design of the NSSS (safety and I&C of safety systems)
- Operating period of reference plant for 4 years with cumulative availability factor of 75 % or more and average number of reactor trips less than 2 times per calendar year
- Plant design using materials, components and systems based on proven performance under closely similar conditions in presently operating plants
- For conditions beyond the range of proven capability, the materials, components, and systems are subjected to thorough testing

Constructibility

- Total time from owner commitment to construct to commercial operation: plant shall be designed for less than or equal to 60 months
- Construction time from first structural concrete to commercial operation: plant shall be designed for less than or equal to 42 months

Investment protection

- Severe accident frequency and consequence: demonstrated by PRA that the whole body dose is less than 0.25 Sv at the site boundary for severe accidents with cumulative frequency greater than 1×10^{-6} per year.
- Severe accident risks shall be evaluated in a PRA and the cumulative frequency shall be less than 1×10^{-6} per year.

FUEL CYCLE AND WASTE MANAGEMENT REQUIREMENTS

Fuel design

- The fuel should be qualified for the intended service. Qualification of the fuel should be based on proven performance under closely similar conditions as for intended service in presently operating plants.
- For plants using off-power refueling, the refueling scheme, the refueling interval and the length of time for refueling shall be optimal on both a technical and economical basis
- Fuel assembly operating requirements:
 - Power cycling between rated output (Pn) is 15 % Pn or less
 - Load changes ± 5 % Pn per minute in the range 65 % - 100 % Pn
 - Step load change of ± 10 % Pn for at least 90 % of the cycle length, and
 - Cycle length requirements is up to 2 years
- A reactivity shutdown margin is required under hot and cold shutdown conditions of at least 1 % with the most effective control rod out of the core
- The thermal design limits shall be complied with margin in the order of 15 %.

서 지 정 보 양 식

| | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|--|--------------|---------|-------|-----------|--|
| 수행기관보고서번호 | | 위탁기관보고서번호 | | 표준보고서번호 | | INIS 주제코드 | |
| KAERI/RR-2312/2002 | | | | | | | |
| 제목 / 부제 | | 한, 인도네시아, IAEA 원자력해수담수화 기술 공동연구 및 SMART 수출 기반조성 | | | | | |
| 연구책임자 및 부서명 | | 김 시환, 일체형원자로연구개발사업단 | | | | | |
| 연구자 및 부서명 | | 장문희(원자로공학연구부), 황영동, 윤주현(유체공학연구부), 이만기(정책연구부), 노병철(일체형원자로연구개발사업단) | | | | | |
| 출판지 | 대전 | 발행기관 | 한국원자력연구소 | | 발행년 | 2002. 12 | |
| 페이지 | 150 p. | 도표 | 있음(○), 없음() | | 크기 | Cm. | |
| 참고사항 | '02. 1.1 ~ '02. 12.31, 원자력국제협력기반조성사업 | | | | | | |
| 비밀여부 | 공개(○), 대외비(), _ 급비밀 | | 보고서종류 | | 연구보고서 | | |
| 연구위탁기관 | | | 계약번호 | | | | |
| 초록 (15-20줄내외) | | | | | | | |
| <p>본 연구는 인도네시아 마두라섬 지역의 에너지 및 식수해결을 위하여 우리나라가 개발 중인 소형원자로 SMART의 건설·운영에 대한 경제적, 기술적 타당성을 평가하는 국제공동연구 사업이다. 향후 본 공동연구사업이 성공적으로 진행되어 인도네시아 현지에서 우리나라의 SMART 기술을 채택할 경우 우리나라가 자력 개발한 소형원자로의 기술 수출에 전기를 마련하게 될 것이다. 또한 인도네시아와의 원자력협력 기반 조성 및 협력 활성화를 기할 수 있으며, 한국에서 개발하고 있는 소형원자로 SMART를 이용한 해수담수화 플랜트 건설 타당성을 입증할 수 있다.</p> <p>원자력 산업의 인도네시아 진출에 대한 기반을 조성하고, 체계적인 원자력 협력사업 수행 체제를 구축할 수 있으며, 양국 정부간 원자력 공동위원회 및 실무협의회 설치를 위한 기반조성에 기여할 수 있다. 원자력기술 및 원자력해수담수 플랜트 수출추진을 통하여 실질적인 한·인도네시아 원자력 협력사업을 추진할 수 있다. 특히 인도네시아와의 체계적인 원자력협력 방안을 추진하면, 향후 우리가 개발한 한국형 표준원전의 수출, 또한 개발 중인 소형원자로(SMART), 연구용 원자로, 핵연료, 방사성 동위원소 의약품 등 원자력 기술 및 plant 수출에 크게 기여할 것으로 판단된다.</p> | | | | | | | |
| 주제명키워드 (10단어내외) | | 원자력해수담수화기술, 일체형 원자로, 원자로 안전성, 경제성 분석, 국제공동연구, IAEA, 인도네시아 | | | | | |

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

| | | | | | |
|--|--|---|---------------------|----------------------------|--------------------------|
| Performing Org. Report No. | | Sponsoring Org. Report No. | | Standard Report No. | INIS Subject Code |
| KAERI/RR-2312/2002 | | | | | |
| Title / Subtitle | | Joint Study on Nuclear Desalination Technology Between Korea, Indonesia and IAEA and Establishment of the Foundation to Support the Export of SMART | | | |
| Project Manager and Department | | Si-Hwan Kim (SMART R&D Center) | | | |
| Researcher and Department | | M. H. Chang, J. H. Yoon, M. K. Lee, Y. D. Hwang, B. C. Noh | | | |
| Publication Place | Daejon | Publisher | KAERI | Publication Date | 2002. 12 |
| Page | 150 p. | Ill. & Tab. | Yes(○), No () | Size | Cm. |
| Note | '99. 8. 5 ~ '00. 7. 31, International Co-operation Project | | | | |
| Classified | Open(○), Restricted(), ___ Class Document | | Report Type | | |
| Sponsoring Org. | | | Contract No. | | |
| Abstract (15-20 Lines) | | | | | |
| <p>An economic and technological feasibility study has been carried out jointly among KAERI, BATAN and IAEA for the construction/operation of SMART nuclear power and desalination plant in Madura Island, Indonesia. A successful completion of this study would bring forth the construction of SMART plant, which is being developed by KAERI, in Indonesia. It is also expected that a firm relationship would be developed between two countries for the extensive co-operation in the field of nuclear technology.</p> <p>Currently, SMART R&D Center is carrying out SMART pilot plant construction project in Korea and Indonesia. Through the completion of domestic project, reliability, safety and economics of SMART plant will be confirmed, which leads to export of SMART plants to Middle-East, Northern Africa and South-East Asian countries. Through this project, it is expected that we can contribute to IAEA's International Technology Co-operation Project for Sea Water Desalination.</p> | | | | | |
| Subject Keywords (About 10 words) | | Nuclear Desalination Technology, Integral Reactor, Reactor Safety, Economic Analysis, International Cooperation, IAEA, Indonesia | | | |