

日本の動力炉・核燃料開発事業団(PNC)의 紹介

1. 目的

動力炉・核燃料開發事業團은 原子力基本法에 따라 高速増殖炉 및 重水炉에 관한 開發과 우라늄鑛床의 탐사, 채광, 밀링 및 전환, 우라늄농축, 재처리, 플루토늄연료의 성형가공과 방사성폐기물처리를 체계적이고 효과적으로 수행하여 原子力發電의 開發과 平和的 利用에 기여함을 목적으로 1967年 10月 2日에 설립되었다.

原子力發電은 가장 유망한 석유대체에너지원이지만 그 開發에는 많은 문제점들이 내포되어 있다. 즉 현재 가장 전형적인 商業炉로 使用되고 있는 경수로의 경우 그 개발과 實用의 촉진에는 核燃料의 성형가공에서부터 使用後核燃料의 재처리와 방사성폐기물의 처리까지라는 핵연료주기의 모든 단계가 당면문제가 된다. 또한 우라늄을 효율적으로 사용할 수 있는 新型動力炉의 開發은 현재 全世界의 집중적 연구대상이 되고 있다.

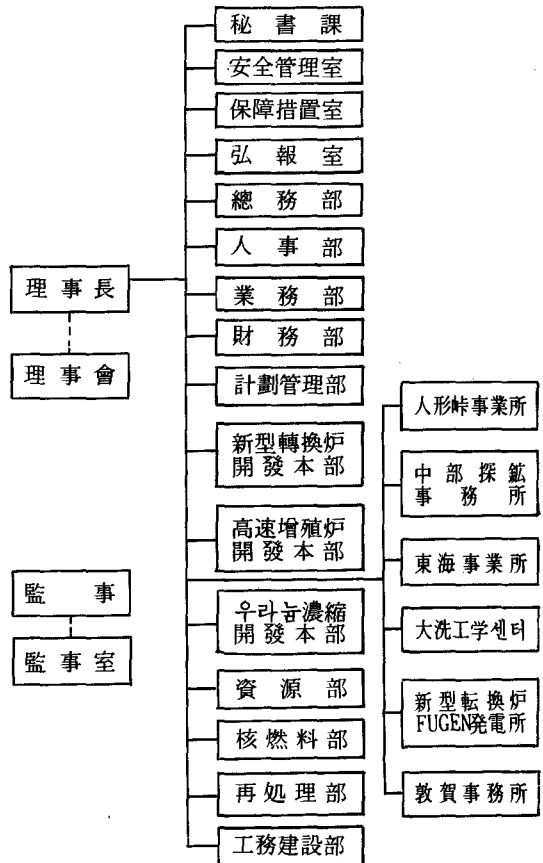
PNC는 현재 国策事業으로 고속증식로, 중수로와 같은 새로운 型의 原子炉 開發을 추구하고 있다. “꿈의 原子炉”라고 불리는 고속증식로는 우라늄資源을 高度로 利用할 수 있으며 현재 世界의 先進国들은 이 理想的인 原子炉의 商業化 早期実証을 위해 서로 경쟁하고 있다.

重水炉는 핵연료의 효과적인 利用과 다양화를 할 수 있는 高效率原子炉이며 가까운 장래에 實用化되리라고 기대되고 있다.

PNC의 또다른 중요임무는 핵연료주기기술의 개발이다. 이 분야에서 PNC는 우라늄鑛床의 탐사, 밀링과 전환, 원심분리법에 의한 우라늄농축, 플루토늄연료의 개발과 성형가공, 使用後核

燃料의 재처리, 高/中레벨의 방사성폐기물 처리와 기타 관련분야의 기술을 포함한 핵연료주기의 전반적인면에서 선구적인 개발을 하고 있다.

組 織



2. 高速増殖炉(FBR)의 開發

PNC는 고속증식로의 연구·개발을 위해 3가지의 프로젝트를 수행하고 있다. 즉 실험고속로 “JOYO”프로젝트, 280MWe의 원형고속증식로 “MONJU”프로젝트와 1,000MWe의 실증고속증식로프로젝트이다.

(1) 실험고속로 “JOYO”

“JOYO”는 실험고속로로 建設되었으며 日本의 FBR開發計劃의 첫단계였다.

“JOYO”의 主目的은 原型FBR建設에 必要한 여러가지 기술적인 경험획득과 燃料과 材料의 照射施設로 利用하기 위함이다.

“JOYO”의 出力레벨은 100MWt로 설계되었지만 “JOYO”가 日本에서 建設된 첫번째 Sodium 冷却高速炉라는 점을 감안하여 출력증가계획과 허가는 50MWt(MK-I, Phase 1), 75MWt(MK-I, Phase 2)와 100MWt(MK-II)인 3P-hase로 운전되도록 계획이 수립되었다.

“JOYO”의 建設은 1970년 초에 Ibaraki 縣에 있는 O-arai공학센터에서 시작되어 1977년 4월 24일 50MWt의 첫임계에 도달하였고 50MWt의 정상운전은 1978년 10월 시작되었으며 1979년 2월말에 테스트는 성공적으로 완료되었다. 그후 1979년 7월3일 출력증가테스트운전이 시작되어 1979년 7월16일 75MWt(MK-I, Phase 2)에 도달하였으며 이 운전은 1979년 8월말에 완료되었다. 4개월동안 정기검사와 보수작업이 행해졌고 1980년 2월 75MWt운전이 허가되었다. 75MWt出力레벨의 정상운전은 MK-I 炉心에 대한 충분한 기술데이터를 축적하기 위하여 계속되었으며 이 기간동안 出力效率, 燃焼度, 냉각계통의 안정도및 열저장성능과 다양한 상황에서 여러가지 熱過度現象및 방사선레벨의 측정을 포함한 테스트가 행해졌고 이러한 테스트와 실험의 결과는 대체로 만족스러웠으며 50MWt의 결과를 기초로 하여 예측한 결과와도 일치하였다.

1980년 8월 4.3×10^6 MWh의 총열출력과 27000 MWD/t의 최대연료연소를 이룬후 75MWt의 세

번째 운전주기를 끝마쳤다.

이러한 연속된 테스트와 운전으로 “JOYO”의 MK-I 炉心프로젝트는 완료되었고 이어서 시작되는 MK-II계획에서 “JOYO”의 炉心은 MK-I 연료대신 MK-II연료로 재장전되어 75MWt에서 100MWt로 개조되며 그후 “JOYO”는 FBR 프로젝트를 지원하기 위해 연료와 재료개발계획을 위한 照射施設로 利用된다.

(2) 原型高速増殖炉 “MONJU”

原型高速増殖炉 “MONJU”에 대한 설계작업은 1968년에 시작되었고 현재 모든 기본사양이 확립되었으며 설계는 관련된 연구·개발결과를 받아들여 최종단계에 있다. 1977년부터 1978년까지 행한 原型FBR “MONJU”에 대한 점검과 검토의 결과로 약간의 변경과 세부사양이 안전 분석을 위해 마련되어졌으며 이어서 곧 建設이 시작될 것이다. 또한 이 기간동안 예비제작설계가 완료되었으며 이 설계에 따라 부품제조를 위한 order가 제작업체에 보내졌다. Fukui縣의 S-hiraki地域이 “MONJU”의 부지로 선정되었고 주민의 이해와 협조를 얻기 위해 지방당국과 공동으로 설명회가 개최되었으며 이와 병행하여 국립공원과 주위환경 분석이 수행되었고 안전 분석보고서가 이미 중앙과 지방정부에 제출되었다. 또한 규제기관에 의한 “MONJU”의 안전 허가시험(Safety Licensing Examination)이 1980년 12월10일 시작되었으며 “MONJU” 建設作業의 Software에 대한 協力社로 Fast Breeder Reactor Engineering Co., Ltd. (FBEC)가 1980년 4월에 설립되었고 그외의 Japan Atomic Power Co. (JAPC)가 “MONJU” 건설을 위해 PNC와 공동으로 特別部를 설치하였으며 이 새로운 부가 9개 일본전력회사와 Electric Power Development Co. (EPDC)를 대신해서 활동할 것이다.

(3) 実証高速増殖炉

実証高速増殖炉에 대한 새로운 설계계획이 4년동안의 예비설계연구에 이어 1979년에 시작되었다. 실증FBR을 위해 2phase계획이 구상되

고 있으며 첫번째 phase는 이미 완료되었다. 첫 번째 phase에서는 상업적능력을 갖고 있는 1000 MWe의 LMFBR을 위한 개념상의 설계가 개발되었다.

이 설계에서 原子炉 炉心은 전반적인 증식, 핵연료주기의 경제성과 발전소 특성을 개선하기 위해서 最適의 형태로 MOX연료와 UO₂증식 elements를 使用한다.

3. 重水炉의 開發

(1) 新型轉換炉 “FUGEN”

165MWe의 “FUGEN”原子力發電所는 重水を 감속재로 使用하는 비등경수냉각로형 원자력발전소이다.

현재 “FUGEN”과 관련된 연구·개발은 燃料, 原子炉 安全性, 검사에 使用되는 기구와 發電所 보수에 집중되고 있다.

“FUGEN”은 연료로 플루토늄혼합산화물(MOX)연료를 사용하는 것이 특징이다.

현재 原子力發電所의 대부분은 경수로이며 가까운 장래에 이 수요는 계속 증가할 것이다. 이는 많은 양의 천연우라늄과 농축작업을 필요로 하는 반면에 생성되는 플루토늄의 양은 증가함을 의미한다. 이러한 점에서 FUGEN-HWR은 경수로가동으로부터 생기는 감손우라늄과 플루토늄을 포함한 연료를 효과적으로 사용함으로써 천연우라늄의 수요와 필요한 우라늄농축작업을 감소시킨다.

FUGEN-HWR은 연료집합체와 제어봉의 dimension을 바꾸지 않고 MOX와 UO₂연료 두가지를 효과적 차용할 수 있고 또한 자유로운 장전pattern으로 연료를 사용할 수 있다.

(2) 600MWe의 實証發電所 開發

600MWe의 實証發電所에 대한 세부설계는 1980년 9월에 완료되었으며 일본 원자력위원회의 ad hoc committee에 의해 그 역할, 경제성 및 기타 기술적 문제에 대한 분석이 수행되어 현재 최종단계에 도달하였다.

實証發電所의 압력튜브집합체와 같은 중요 계

통과 부품들의 주된 설계는 FUGEN과 동일하나 약간의 변경이 이루어 졌으며 그 내용은 다음과 같다.

1) 혼합산화물연료에 들어있는 Pu가 경수로와 거의 같은 연료연소가 되도록 하였다.

2) 28-rod cluster 연료 대신에 36-rod cluster 연료가 채택되었다. 평균 채널출력은 20% 증가되게 설계되었으나 同채널의 최대 出力은 FUGEN과 같게 유지된다.

3) 重水 dump시스템을 제거하고 liquid poison injection시스템을 채택함으로써 calandria의 직경을 감소시킨다.

Design data of FUGEN and Demonstration plant

	FUGEN	Demonstration plant
Electric power (MWe)	165	600
Thermal power (MWt)	557	1,930
Reactor		
Core dia. (mm)	4,053	6,951
Core height (mm)	3,700	3,700
No. of Channels	224	648
Calandria dia. (mm)	7,950	9,750
Pressure tube		
Material	Zr-Nb	Zr-Nb
Inside dia. (mm)	117.8	117.8
Fuel		
No. of Rods/Ass	28	36
Pellet dia. (mm)	14.4	12.4
Enrichment (Pu _r + ²³⁵ U)	2.0	2.7
Burn-up (average)	17,000	27,000
Clad thickness (mm)	0.88	0.90
Clad material	Zry-2	Zry-2
Max. linear heat rating (w/cm)	574	492
Control rods		
B ₄ C	49	76
Stainless steel	0	17
-Primary cooling system		
No. of loops	2	2
Recirculation flow (t/h)	7,600	22,600
Steam flow (t/h)	910	3,300
Steam drum pressure (kg/cm ² g)	68	69

4. 우라늄資源의 探査

2000년까지 일본의 원자력발전소에서 필요로 하는 우라늄의 量은 약 330,000t(U_3O_8)으로 추정되나 일본 국내 우라늄資源은 약 7,700t(U_3O_8)에 불과함으로 필요한 우라늄을 저렴한 가격으로 안정되게 확보하기 위해서는 해외의 잠재가능지역에 대한 우라늄탐사와 개발활동을 전개할 필요가 있다. 이에따라 PNC는 1966년부터 해외우라늄자원탐사와 시굴작업을 하고 있으며, 현재 아프리카, 미국, 오세아니아지역에서 20개 이상의 사업을 수행하고 있다.

또한 이러한 사업을 후원하기 위해서 관련 기술과 설비는 물론 기술훈련의 개발과 개선을 Chubu探鑛事業所와 Ningyo Toge 事業所에서 행하고 있다.

5. 核燃料適期の 確立

PNC는 日本의 여건에 가장 적합한 완전한 핵연료주기를 확립하기 위해서 우라늄 탐사, 채광, 精製, 전환, 핵연료의 성형가공, 농축, 使用後 核燃料의 재처리, 방사성 폐기물의 처리와 신형동력로에 대해 선구적인 연구·개발을 수행하고 있다.

(1) 우라늄濃縮

PNC는 1973년부터 國策事業으로 원심분리에 의한 우라늄농축기술에 관한 연구·개발을 수행하여 왔으며 1977년 Ningyo Toge事業所에 50t SWU/y 능력을 갖는 우라늄농축 Pilot Plant建設을 시작하였다.

이 Pilot Plant는 2operation unit(OP-1, OP-

-2)로 이루어 졌으며 건설작업은 3phase(OP-1 A, OP-1B, OP-2)로 수행되었다. OP-1A型원심분리기 1,000台的 phase1은 1979년 여름에 완공되었고 OP-1B型 원심분리기 3,000台的 phase2는 1980년 7월에, OP-2型 원심분리기 3,000台的 phase3는 금년 3월26일 완공되어 가동에 들어갔다.

(2) 재처리 기술

PNC는 핵연료주기 확립에 있어 중요 요소인 재처리기술에 관한 연구·개발을 위해 1974년 Tokai事業所에 Tokai재처리공장을 건설하였다. 이 공장은 경수로에서 사용한 연료로부터 최종 생성물로 삼산화우라늄분말과 질산플루토늄용액을 생산하도록 설계되었으며 이 생성물은 혼합산화물연료집합체의 원료로 사용된다.

여러가지 검사작업과 운전훈련이 끝난후 1977년 9월 일본의 LWR원자력발전소로부터의 실제 연료를 사용한 hot-test가 실시되었으며 이 hot-test에 이어 1979년부터 1980년까지 예비보증시험과 보증시험이 수행되었고 1980년 12월 25일 과학기술청으로부터 정식운전허가가 나와 정식운전이 시작되었다.

(3) HLLW처리기술

PNC는 High Level Liquid Waste(HLLW) 처리에 관련된 정책에 따라 특히 유리화 기술에 중점을 둔 HLLW고형화와 저장기술에 관한 연구·개발활동에 박차를 가하고 있다.

또한 이러한 목적달성을 위하여 Engineering Test Facility를 건설하여 1980년 2월에 가동을 시작하였다. HLLW처리기술은 PNC에 의해 꾸준히 실행되고 있다.

