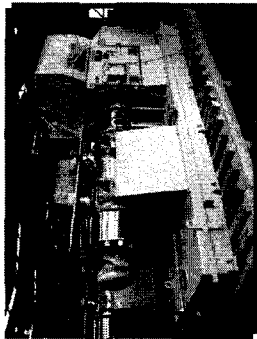


원자력 발전 계통 펌프의 국산화 현황 및 향후 과제



호성에바라(슈) 임우섭

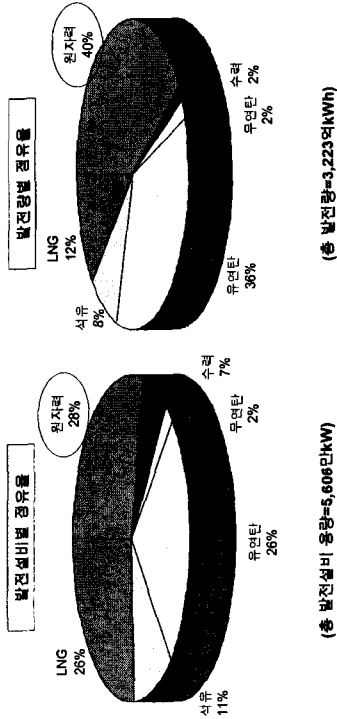
0 목차(Table of Contents)

0. 목차(Table of Contents)

- I 원자력 발전 현황
- II 원자력 발전소 소개
- III 원자력 발전소 펌프의 국산화 현황
- IV 핵삼 기술 및 향후 과제

I 원자력 발전 현황

1. 원자력 발전설비, 발전량별 경유율 (2003년 말 기준)



I 원자력 발전 현황

2. 국내 발전설비 현황 (2003년 말 기준)

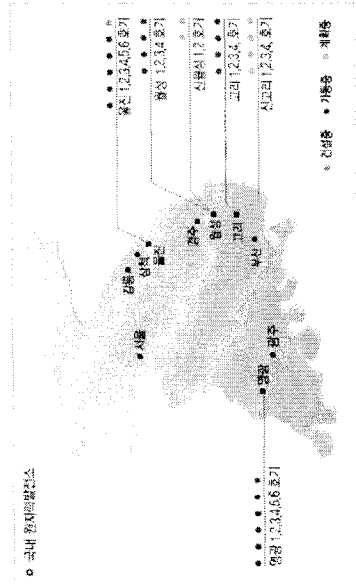
구분	원자력	수력	우연탄	석유	LNG	합계
발전소(개소)	4	16	30	50	14	114
발전기(대수)	18	49	8	144	112	331
설비용량(전kW)	15,716	1,531	2,300	3,877	14,518	46,942
구성비(%)	28.1	3.2	4.9	8.3	30.9	100.0

3. 국내 원자력 발전소 현황

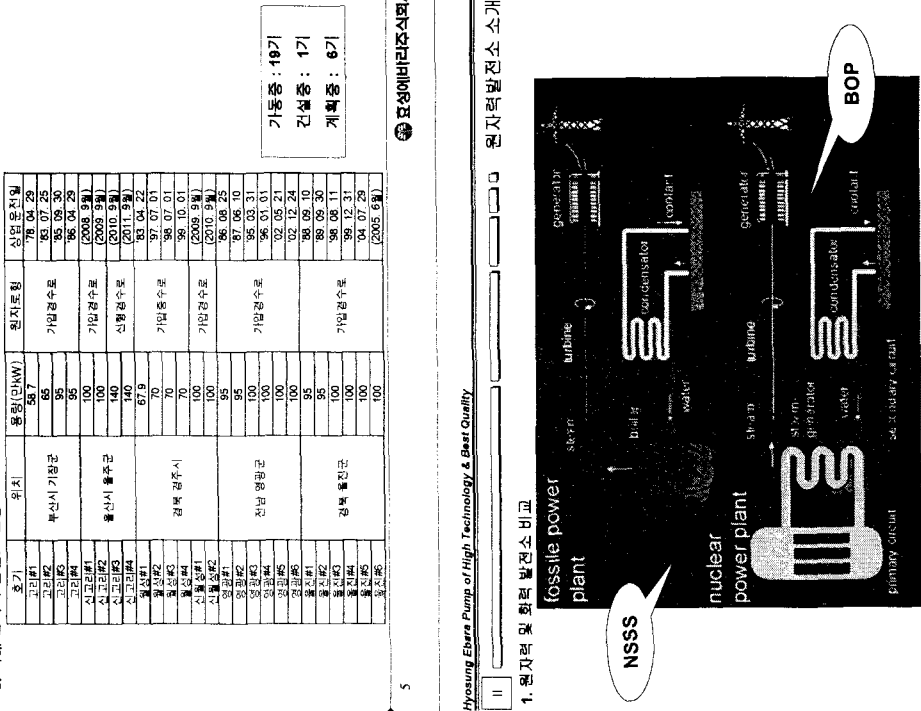
호기	위치	용량(GW)	원자로형	신원용전인
고리1호	경북 울진	66	원자로	78.04.28
고리2호	경북 울진	66	원자로	83.07.25
고리3호	부산시 기장군	95	가압경수로	85.09.30
고리4호	경북 울진	95	가압경수로	86.04.29
신곡원#1	충청시 홍주군	100	가압경수로	(2008.3월)
신곡원#2		100	가압경수로	(2008.3월)
신곡원#3		140	가압경수로	(2011.5월)
신곡원#4	경북 김천시	67.9	가압경수로	(2011.5월)
신곡원#5		70	가압경수로	83.04.22
홍천#1	충청시 홍주군	70	가압경수로	87.07.01
홍천#2		70	가압경수로	96.07.01
홍천#3	충청시 홍주군	100	가압경수로	96.10.01
홍천#4		100	가압경수로	(2008.3월)
신월원#1	충청시 홍주군	100	가압경수로	(2008.3월)
신월원#2		100	가압경수로	(2008.3월)
신월원#3	충청시 홍주군	85	가압경수로	86.08.27
신월원#4		85	가압경수로	87.06.10
영광#1	충청시 홍주군	100	가압경수로	95.03.31
영광#2		100	가압경수로	96.01.01
영광#3	충청시 홍주군	100	가압경수로	02.05.21
영광#4		100	가압경수로	02.12.24
영광#5	충청시 홍주군	95	가압경수로	86.09.10
영광#6		95	가압경수로	86.09.10
영광#7	충청시 홍주군	100	가압경수로	88.08.11
영광#8		100	가압경수로	89.12.31
영광#9	충청시 홍주군	100	가압경수로	04.07.29
영광#10		100	가압경수로	(2005.6월)

가동중 : 19기
건설중 : 1기
계획중 : 6기

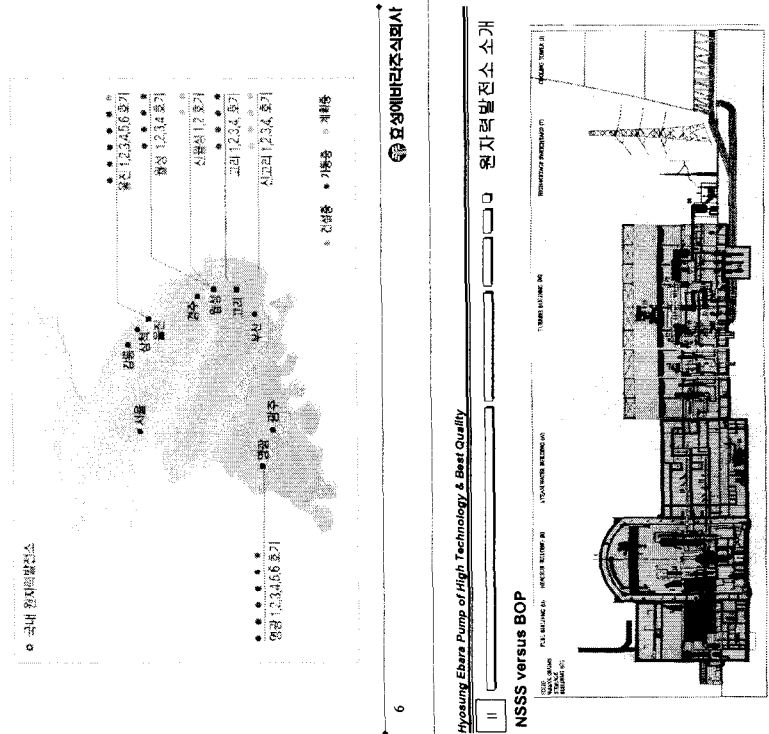
4. 국내 원자력 발전소 위치



1. 원자력 및 화력 발전소 비교



NSSS versus BOP



- 1) NSSS and BOP are subject to different design and quality requirements and are often executed under separate Engineer, Procure, Construct (EPC) contracts.
- 2) Overlap exists; some equipment critical to NSSS operation and safety may be located outside the main reactor building and its auxiliary buildings.

원자력 발전소 소개

2. 원자력 발전소의 종류

2.1 기압경수로(PWR: Pressurized Water Reactor)

- 핵연료: 저농축 우라늄
- 냉각재: 경수(중성수) 사용
- 감속재: 경수(중성수) 사용
- 1차로 냉각로 내 연료 중 1/3를 신연료로 교체함, 온진 중 연료 교체 불가
- 원자로 본체를 압력용기로 사용, 1차에 2개월씩 overhaul시행
- 국내 고리, 울진, 영광 원전 호기

2.2 기압중수로(PHWR: Pressurized Heavy Water Reactor)

- 핵연료: 천연우라늄 - 영호출28%
- 냉각재 및 감속재: 중수(D2O) 사용
- 온진중 핵연료 교체 가능 → 이용률 대
- 구조재: (핵연료 피복재) 저온코발트 합금 이용
- 국내 월성1,2,3,4호기

- C1. 1. 냉각재 - 원자로 발생 열을 증기발생기로 전달하는 매체
- 2. 감속재 - 고속 중성자를 감속하여 핵분열확률을 높이는 매체

9

☎ 조성에바라주식회사

원자력 발전소 소개

2. 원자력 발전소의 종류

2.3 비등경수로(BWR: Boiling Water Reactor)

- 핵연료: 3%저농축 우라늄 - 영호출 33%
- 냉각재: 물 사용 가능
- 구조재: 철 사용 가능
- 원자로 내에서 직접 증기 발생
- 1. 타원보정기계용의 진동 계통용 외부와 차단

2.4 고속중성자로(FBR: Fast Breeder Reactor)

- 핵연료: 3%저농축 우라늄
- 냉각재: 액체나트륨(Na) 사용
- 감속재: 불필요
- 영호출의 대폭적인 증가(약 45%까지 증가가능)
- 원자로와 증기발생기 사이에 열 교환기 필요
- 연료의 고속중성자를 통한 불투포획 향상 가능 → 핵무기 원료생산 가능

10

☎ 조성에바라주식회사

원자력 발전소 소개

2. 원자력 발전소의 종류

2.1 기압경수로(PWR: Pressurized Water Reactor)

- 핵연료: 저농축 우라늄
- 냉각재: 경수(중성수) 사용
- 감속재: 경수(중성수) 사용
- 1차로 냉각로 내 연료 중 1/3를 신연료로 교체함, 온진 중 연료 교체 불가
- 원자로 본체를 압력용기로 사용, 1차에 2개월씩 overhaul시행
- 국내 고리, 울진, 영광 원전 호기

2.2 기압중수로(PHWR: Pressurized Heavy Water Reactor)

- 핵연료: 천연우라늄 - 영호출28%
- 냉각재 및 감속재: 중수(D2O) 사용
- 온진중 핵연료 교체 가능 → 이용률 대
- 구조재: (핵연료 피복재) 저온코발트 합금 이용
- 국내 월성1,2,3,4호기

- C1. 1. 냉각재 - 원자로 발생 열을 증기발생기로 전달하는 매체
- 2. 감속재 - 고속 중성자를 감속하여 핵분열확률을 높이는 매체

9

☎ 조성에바라주식회사

원자력 발전소 소개

2. 원자력 발전소의 종류

2.3 비등경수로(BWR: Boiling Water Reactor)

- 핵연료: 3%저농축 우라늄 - 영호출 33%
- 냉각재: 물 사용 가능
- 구조재: 철 사용 가능
- 원자로 내에서 직접 증기 발생
- 1. 타원보정기계용의 진동 계통용 외부와 차단

2.4 고속중성자로(FBR: Fast Breeder Reactor)

- 핵연료: 3%저농축 우라늄
- 냉각재: 액체나트륨(Na) 사용
- 감속재: 불필요
- 영호출의 대폭적인 증가(약 45%까지 증가가능)
- 원자로와 증기발생기 사이에 열 교환기 필요
- 연료의 고속중성자를 통한 불투포획 향상 가능 → 핵무기 원료생산 가능

10

☎ 조성에바라주식회사

원자력 발전소 소개

2. 원자력 발전소의 종류

2.1 기압경수로(PWR: Pressurized Water Reactor)

- 핵연료: 저농축 우라늄
- 냉각재: 경수(중성수) 사용
- 감속재: 경수(중성수) 사용
- 1차로 냉각로 내 연료 중 1/3를 신연료로 교체함, 온진 중 연료 교체 불가
- 원자로 본체를 압력용기로 사용, 1차에 2개월씩 overhaul시행
- 국내 고리, 울진, 영광 원전 호기

2.2 기압중수로(PHWR: Pressurized Heavy Water Reactor)

- 핵연료: 천연우라늄 - 영호출28%
- 냉각재 및 감속재: 중수(D2O) 사용
- 온진중 핵연료 교체 가능 → 이용률 대
- 구조재: (핵연료 피복재) 저온코발트 합금 이용
- 국내 월성1,2,3,4호기

- C1. 1. 냉각재 - 원자로 발생 열을 증기발생기로 전달하는 매체
- 2. 감속재 - 고속 중성자를 감속하여 핵분열확률을 높이는 매체

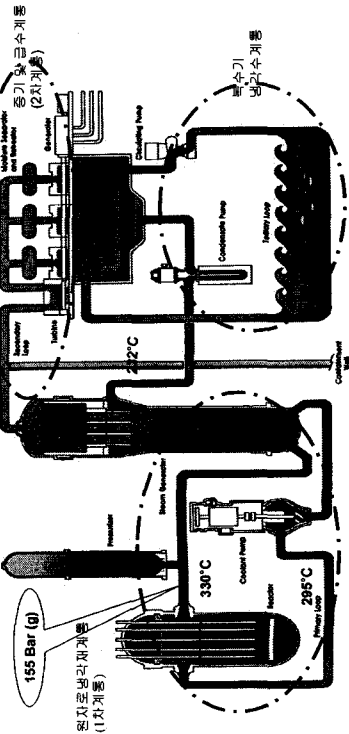
9

☎ 조성에바라주식회사

원자력 발전소 소개

3. 원자력 발전소(PWR) 계통 개요

3.1 PWR 기본구성



11

☎ 조성에바라주식회사

원자력 발전소 소개

3. 원자력 발전소(PWR) 계통 개요

3.2 1차계통(Primary Loop) - 핵중기공급계통(NSSS:Nuclear Steam Supply System)

- 1) Reactor Coolant System(RCS)**
 - : 원자로에서 발생한 열을 증기발생기로 전달하는 역할
- 2) Safety Injection System(SIS)**
 - : 냉각재 상실 사고시 노심냉각을 위하여 냉각재 계통의 지온관에 방사수를 공급
- 3) Shutdown Cooling System(SCS)**
 - : 원자로 정지 후 노심으로부터 열교환 및 기기전열 제거
- 4) Containment Spray System(CSS)**
 - : 격납건물내 주중기(주공) 배관파단사고의 냉각재 상실사고 등으로 인하여 증기 발생 시 격납건물 내 냉각수 필요
- 5) Auxiliary Feedwater System(AFWs)**
 - : 증기발생기 2차측 급수상실사고시 수위유지에 필요한 급수공급
- 6) Chemical and Volume Control System(CVCS)**
 - : 증진 및 유출유량을 조절하여 원자로 냉각재 계통 내에 적절한 양의 적절한 수질의 냉각재를 유지

12

☎ 조성에바라주식회사



3. Q-Class 펌프의 개요

3.4 Charging Pump 특징



- ◆ 자유왕 고압정 저 흡입 비속도 Barske 회전차 채용
- ◆ 가스 유입 시에도 운전 성능 유지
- PD pump의 경우 가스 발생 및 유입으로 인한 문제 심각
- 대부분 충전 펌프는 3% ~ 5% 수준의 가스 인입에도 견직한 운전 성능 유지
- 원상 발생
- CAM 펌프는 가스 체적 10% ~ 15% 수준에서 운전 성능 유지
- ◆ finite element stress 해석 (FEA):
- 단조 케이스(배필) & 토출 헤드
- 재질 양몰이 용한 액션 두께 및 다플렉션 해석
- Rotor dynamics를 이용한 축 디플렉션, 응력, 한계 내구력 및 임계 속도 (neutral frequency) 등의 해석



3. Q-Class 펌프의 개요

3.5 Reactor Coolant Pump (RCP)

- 명칭 : Reactor Coolant Pump(원자로냉각수 펌프)
 - 등급 : Q-Class, Seismic Category I, (등급(ASME NCA-NB Code = KEPIC MNA,MNB 적용)
 - Design Pressure : 2500 psia(175.75kg/cm²A)
 - Design Temperature : 650°F (343°C)
 - Normal Operating Press (Pump Suction) : 2220 psia(156.07kg/cm²A)
 - Normal Operating Temp. (Pump Suction) : 564.5°F (296°C)
 - Q : 85,400 gpm
 - H : 337 ft (102.7m)
 - BHP : 518,860kW(25700HP)
 - 액질 : 불산수(Boron Water)(Reactor내의 온도상승을 막는 냉각재)
 - Test : 7 days continuous operation at 2400psia(168.72kg/cm²A), 650°F (343°C)
- Thermal Transient Test
 Shaft Seal Assy Test - 10,000 hours & 7,000 hours(22.5months)
 Cold & hot hydraulic performance test
 Vibration test
 Start-stop cycles test - 최소 30회



3. Q-Class 펌프의 개요

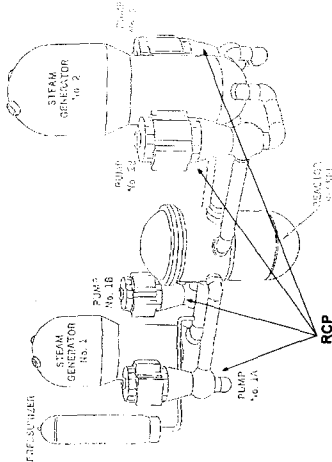
3.5 Reactor Coolant Pump (RCP)

- ◆ 자유왕 고압정 저 흡입 비속도 Barske 회전차 채용
- ◆ 가스 유입 시에도 운전 성능 유지
- PD pump의 경우 가스 발생 및 유입으로 인한 문제 심각
- 대부분 충전 펌프는 3% ~ 5% 수준의 가스 인입에도 견직한 운전 성능 유지
- 원상 발생
- CAM 펌프는 가스 체적 10% ~ 15% 수준에서 운전 성능 유지
- ◆ finite element stress 해석 (FEA):
- 단조 케이스(배필) & 토출 헤드
- 재질 양몰이 용한 액션 두께 및 다플렉션 해석
- Rotor dynamics를 이용한 축 디플렉션, 응력, 한계 내구력 및 임계 속도 (neutral frequency) 등의 해석



3. Q-Class 펌프의 개요

3.5 Reactor Coolant Pump (RCP)



1호기 당 2대의 Steam Generator에 각각 2대의 RCP가 설치됨.



3. Q-Class 펌프의 개요

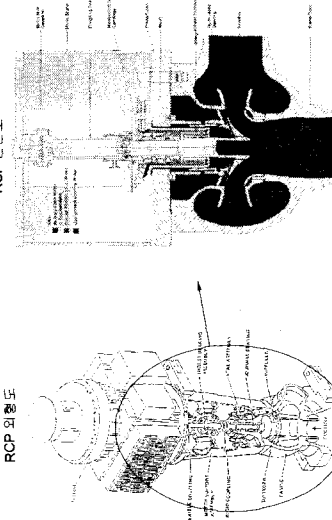
3.5 Reactor Coolant Pump (RCP)

- 명칭 : Reactor Coolant Pump(원자로냉각수 펌프)
 - 등급 : Q-Class, Seismic Category I, (등급(ASME NCA-NB Code = KEPIC MNA,MNB 적용)
 - Design Pressure : 2500 psia(175.75kg/cm²A)
 - Design Temperature : 650°F (343°C)
 - Normal Operating Press (Pump Suction) : 2220 psia(156.07kg/cm²A)
 - Normal Operating Temp. (Pump Suction) : 564.5°F (296°C)
 - Q : 85,400 gpm
 - H : 337 ft (102.7m)
 - BHP : 518,860kW(25700HP)
 - 액질 : 불산수(Boron Water)(Reactor내의 온도상승을 막는 냉각재)
 - Test : 7 days continuous operation at 2400psia(168.72kg/cm²A), 650°F (343°C)
- Thermal Transient Test
 Shaft Seal Assy Test - 10,000 hours & 7,000 hours(22.5months)
 Cold & hot hydraulic performance test
 Vibration test
 Start-stop cycles test - 최소 30회



3. Q-Class 펌프의 개요

3.5 Reactor Coolant Pump (RCP)



III 원자력 발전소 펌프의 국산화 현황

3. Q-Class 펌프의 개요

3.5 Reactor Coolant Pump (RCP)

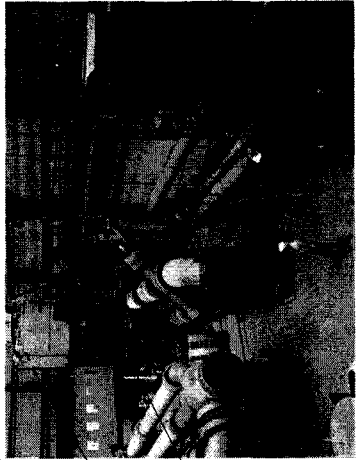
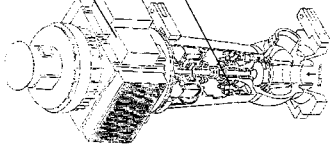


RCP Diffuser & Casing
Pattern 제작의 과정

III 원자력 발전소 펌프의 국산화 현황

3. Q-Class 펌프의 개요

3.5 Reactor Coolant Pump (RCP)



IV 핵심기술 및 향후과제

◆ RCP의 개발(수력학적 특성, 기계구조 건전성)

- K-factor Analysis
- LOCA(Loss of Coolant Accident, 냉각재 상실사고) 발생시 안전성의 검증
- CVAP(Comprehensive Vibration Assessment Program, 원자로 내강통 건전성 평가)
- 2-Phase 유동해석/성능 예측 / 시험

◆ 해석 및 시험 기술의 확보

- 펌프 설계 및 해석 능력의 확보(고온 고압용, 고효율, 저NPSH펌프)
- 펌프 구조 건전성 해석 기술의 확보(피로/내진/고유진동수 등)
- Thermal Transient 시험
- 2-Phase 유동해석/성능 예측