

6. 초임계압 보일러 용수제조와 막분리 공정

(최낙균, 한국전력공사 부처장)

초입계압 보일러 용수제조와 막분리 공정

1. 국내의 발전설비 현황

◦ 국내의 연도별 발전설비

단위 : MW

		1980	1991	1995
수 력		1,157	2,445	3,093 (9.6%)
화 력	석 탄	750	3,700	7,820(24.3%)
	석 유	6,897	4,800	6,119(19.0%)
	LNG	-	2,550	6,536(20.3%)
	소 계	7,647	11,050	20,475(63.6%)
원 자 력		587	7,616	8,616(26.8%)
총 계		9,391	21,111	32,184

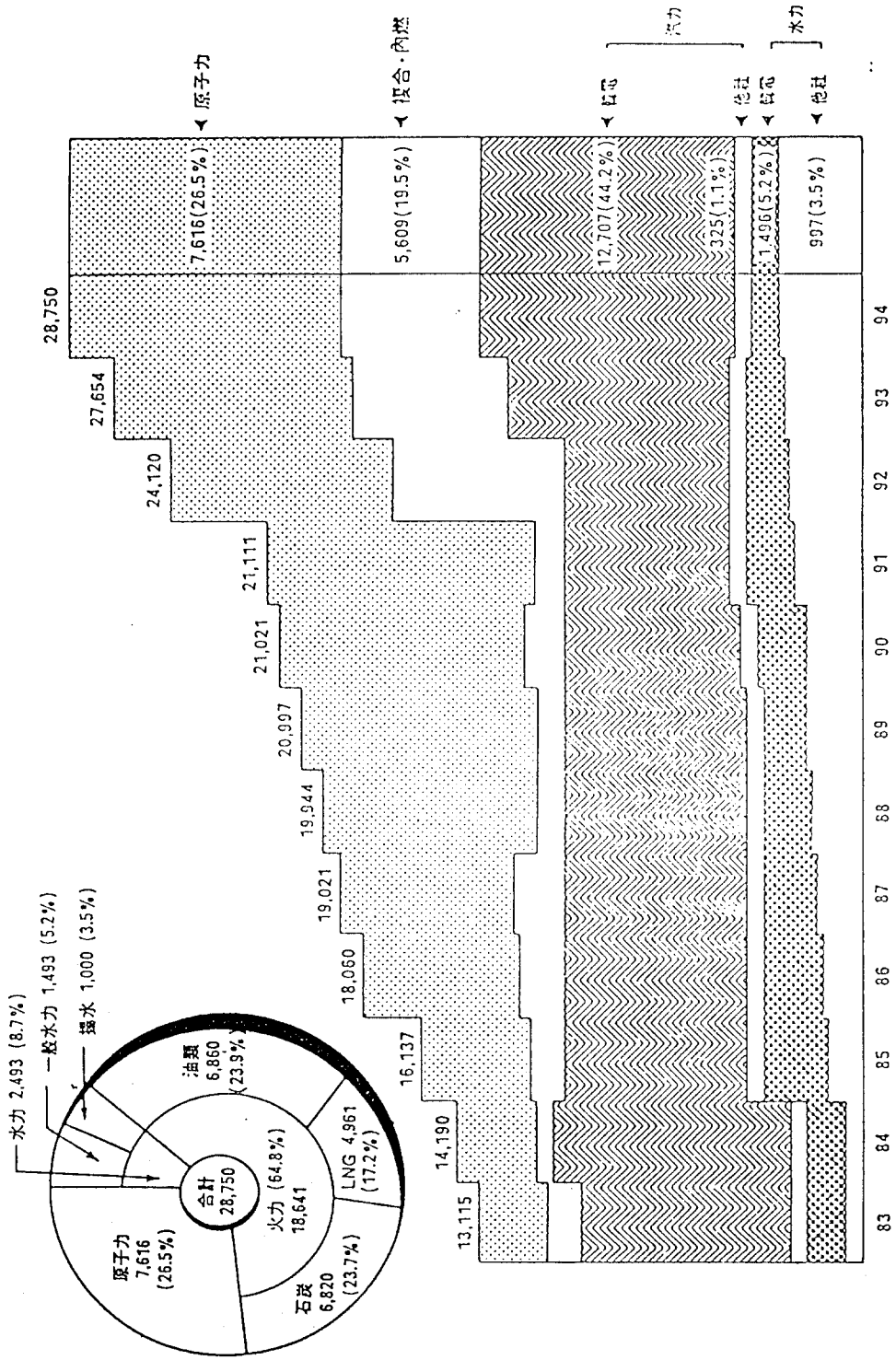
- 국내 발전 설비 : 전세계의 약 1.0%

- 표 1 : 연도별 발전설비 용량

◦ 전세계의 연료별 발전설비

- 석 탄 1,350,920MW (7,230 units) 31.2%
- 수 력 1,022,987MW (25,472units) 23.6%
- 가 스 637,989MW (10,861units) 14.7%
- 석 유 561,083MW (18,708units) 13.0%
- 원자력 510,674MW (658units) 11.8%
- LNG 72,355MW (274units) 1.7%
- 폐 열 48,654MW (743units) 1.1%
- 기 타 127,302MW (7,326units) 2.9%
- 합 계 4,331,964MW (71,272units)

표 1. 국내 발전설비 용량



2. 각국의 인구 1인당 소비전력량

단위 : kwh/인

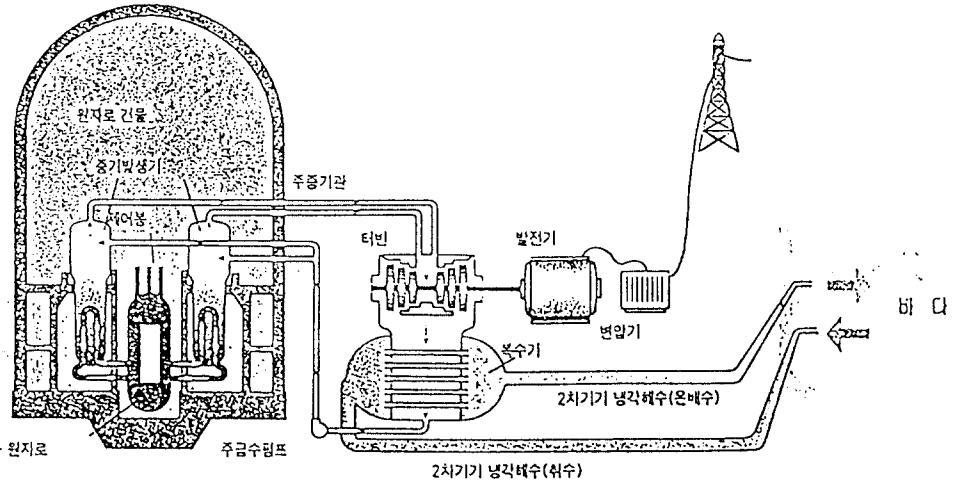
	1984	1989	1992	1995
한 국	1,164	1,939	2,639	3,640
일 본	4,194	4,976	5,510	
대 만	2,540	3,695	4,575	
프 랑 스	4,750	5,604	6,203	
미 국	9,864	11,032	11,305	
영 국	4,080	4,881	5,059	
구 서 독	5,848	6,320	5,836	
카 나 다	14,060	16,525	15,561	
이탈리아	3,044	3,674	4,016	

3. 발전 설비의 구성

- 보일러 (증기 발생기)
 - 전기 집진기
 - 탈황설비
 - 연료공급설비
 - 순수 공급설비(*)
- 터빈 · 발전기
 - 복수기
 - 급수가열기
 - 냉각해수 취수 설비
 - 주변압기
- 그림 1, 2 (화력 · 원자력 계통도) 참조

그림 2. 발전소 계통도 (원자력)

구 분	가압경수로형 원전(PWR)	가압중수로형 원전(PHWR)	고속증식로 (FBR)
사용연료	저농축우라늄 (U-235, 2~5%)	천연우라늄 (U-235, 0.7%)	플루토늄과 우라늄 (Pu-239, U-235)
냉각재	경수(H ₂ O)	중수(D ₂ O) 약 190톤	나트륨(Na)
감속재	경수(H ₂ O)	중수(D ₂ O) 약 260톤	없음
연료교환	정지후 1/3씩 교체	운전중 교체	정지후 교체
개발국가	미국	캐나다	프랑스, 일본
국내보유	고리 4기, 영광4기, 울진2기 (2기건설중)	원성 1기 (3기 건설중)	없음



4. 발전용수 사용현황

- 源水使用量 : 約 2,200만톤 (비용 : 約 27억원)
- 순수생산량 : 約 750만톤 (생산비 : 約 26억원)
- 源水의 水質
 - 전기전도도 300 μ mho 이하 : 1,650만톤 (76%)
 - 전기전도도 400 ~ 500 μ mho : 350만톤 (16%)
 - 전기전도도 500 μ mho 이상 : 160만톤 (8%)
- * 염분농도 (Salinity)에 따른 물의 구분
 - 해수 (Sea Water) : 7,000 (Baltic Sea) ~ 43,000 (Red Sea)ppm
 - 염수 (Brackish Water) : 500 ~ 7,000ppm
 - 담수 (Fresh Water) : 500ppm 이하
- Brackish Water 수준 (전기전도도 500 μ mho 이상)의 源水를 사용하는 태안, 평택화력은 역삼투 설비와 이온교환 설비를 연계하여 순수를 생산 하고 있음
- 낙동강 수계를 취수원으로 하고 있는 영남지방에 위치한 발전소 (울산, 영남, 고리, 부산)의 源水 수질은 지속적으로 저하되고 있어서 (전기 전도도 400 ~ 500 μ mho) 대책 (R/O 추가설치 등) 검토가 필요한 단계임
- 표 2 : 발전소별 용수사용 실적 ('95년 기준)
- 표 3 : 순수생산량 및 생산단가 ('95년 기준)

5. 발전용 순수 생산

○ 순수 생산의 목적

보일러의 수관내면에 Scale 생성을 억제하고 부식 발생을 최소화하여 발전 소운전의 신뢰성을 높이고 기기효율 향상 및 수명 연장에 기여함

○ 순수의 요구수질 (초입계압 보일러 기준)

- 총부유 물질 (TSS) 50ppb 이하
- 총경도 (Total Hardness) non detectable
- Sodium 5ppb 이하
- Silica 10ppb 이하
- 전기전도도 0.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이하

○ 순수생산 단계별 공정

- 전처리 (pretreatment)
 - 응집·침전 단계 (Solid Contact 또는 Sludge blanket Clarifier)
 - 살균 (Chlorination equipment)
 - 여과 공정 (압력식·중력식 여과기)
 - 흡착 공정 (Active Carbon filter)
- Desalination (태안·평택등 Brackish 급 Raw water에 적용)
 - Reverse Osmosis (Spiral wound module)
- Final treatment
 - Primary Deionization (2 Bed 3 Column)
 - Polishing Deionization (Mixed Bed polisher)

○ 그림 3 : 순수 생산 단계도

○ 그림 4 : Clarifier의 구조도

○ 그림 5 : 모래여과기 구조도

○ 그림 6 : 2B 3C 및 MBD 재생공정

그림 3. 순수생산 단계의 순서

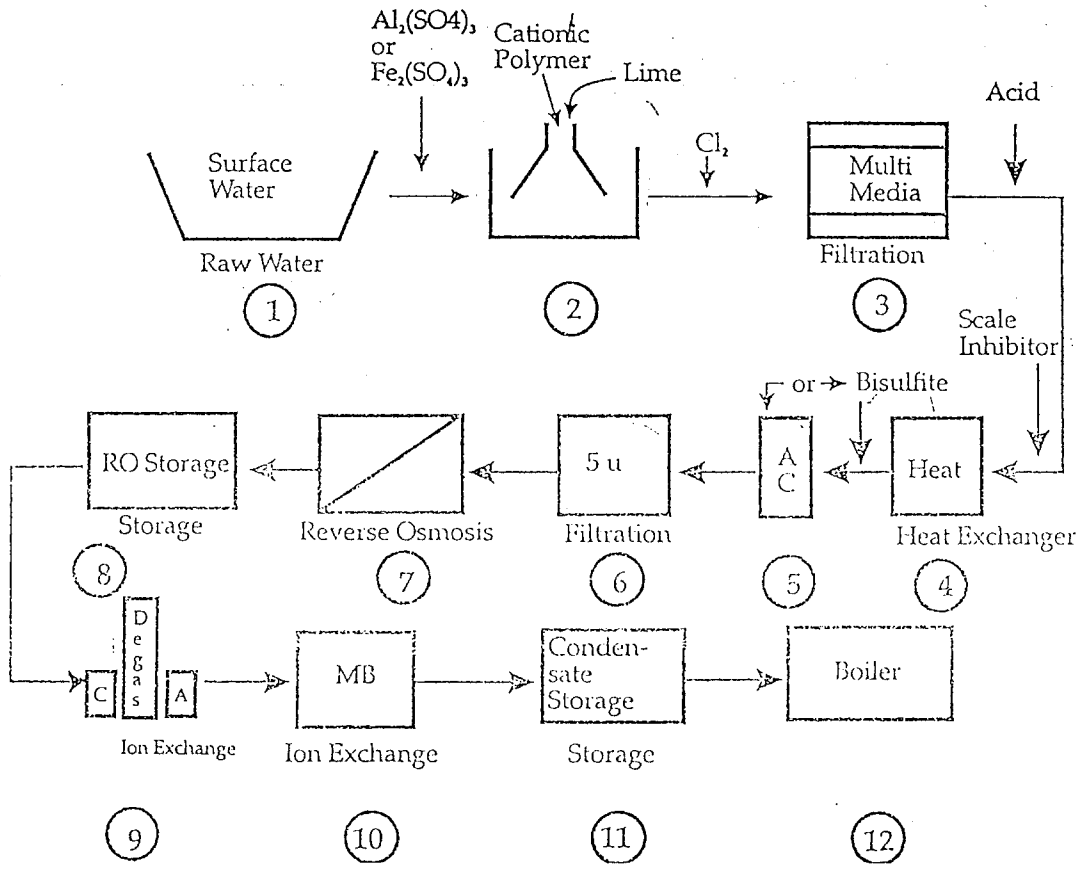


그림 4. 응집·침전용 Clarifier

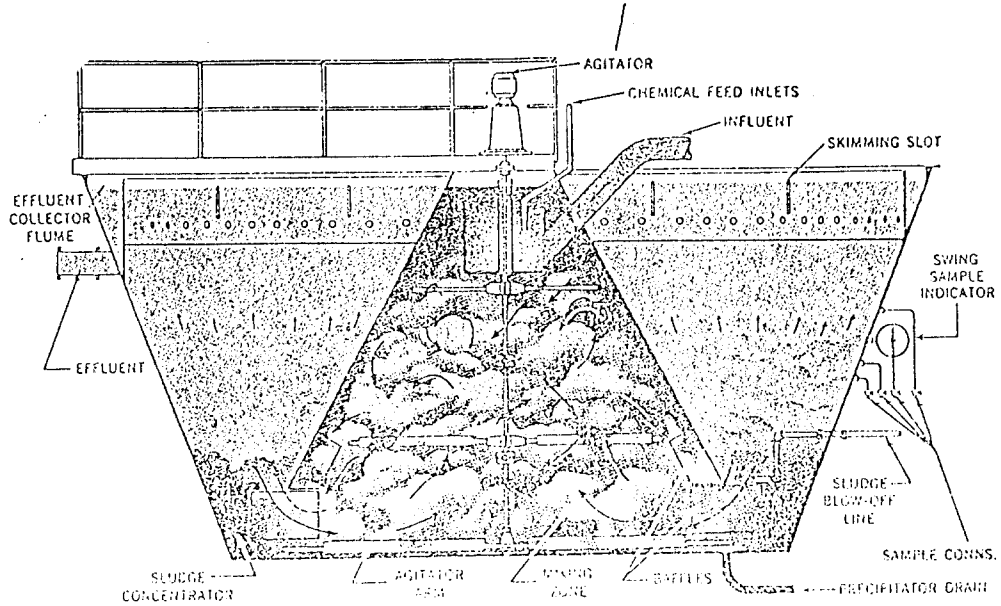


Figure 5-2. Upflow sludge blanket clarifier. (Courtesy of the Permut Company, Inc.)

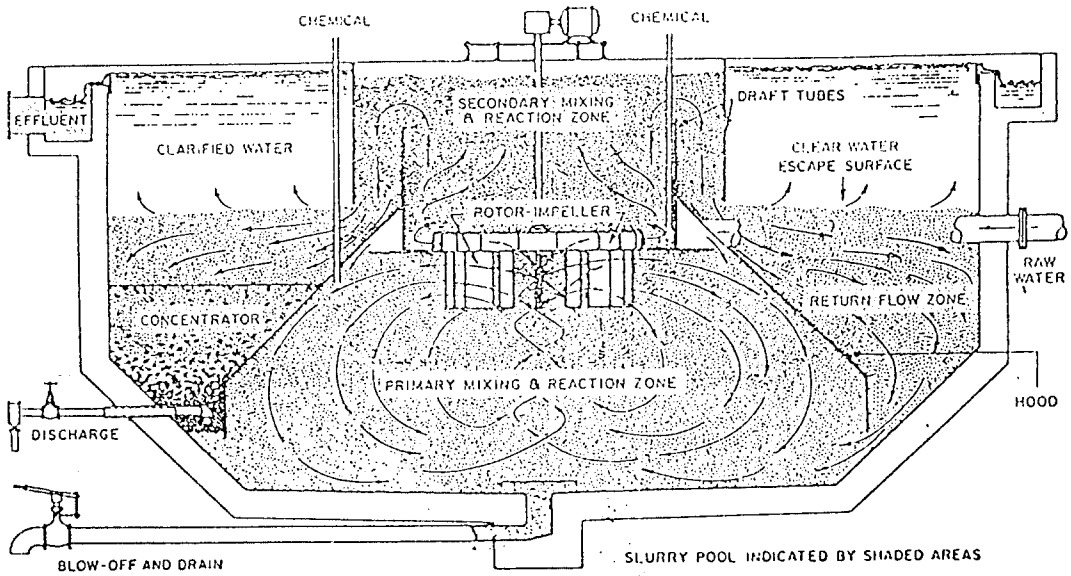


Figure 5-3. Solids-contact clarifier. (Courtesy of Infilco Degremont, Inc.)

그림 5. 압력식 여과기 (모래, 안트라사이트)

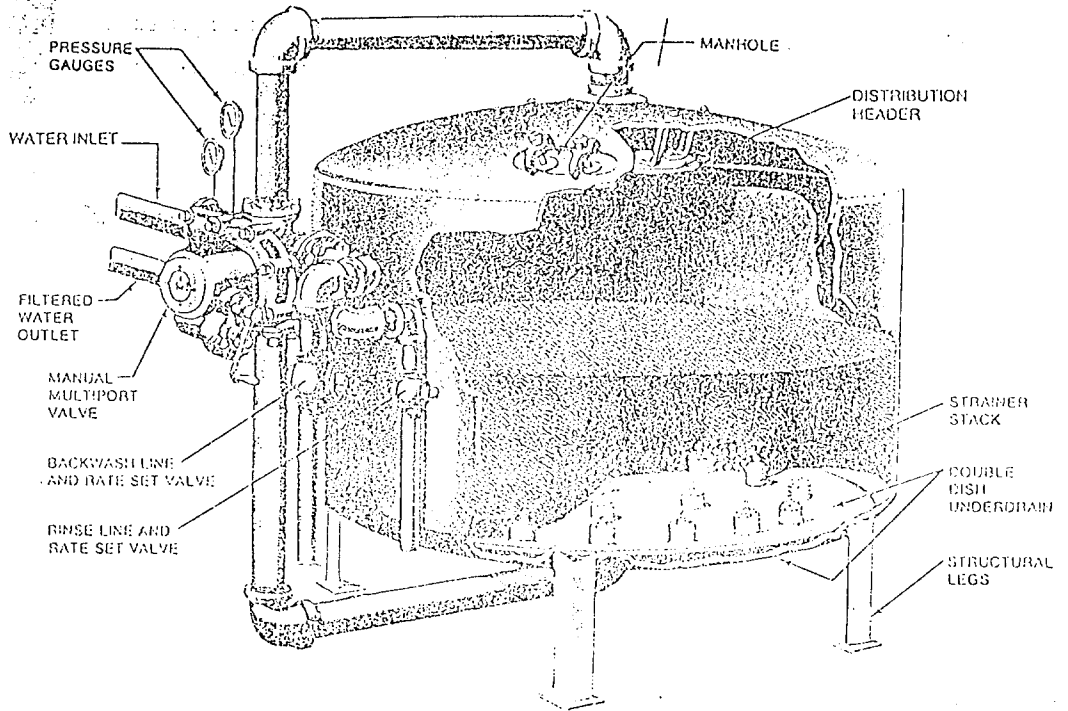
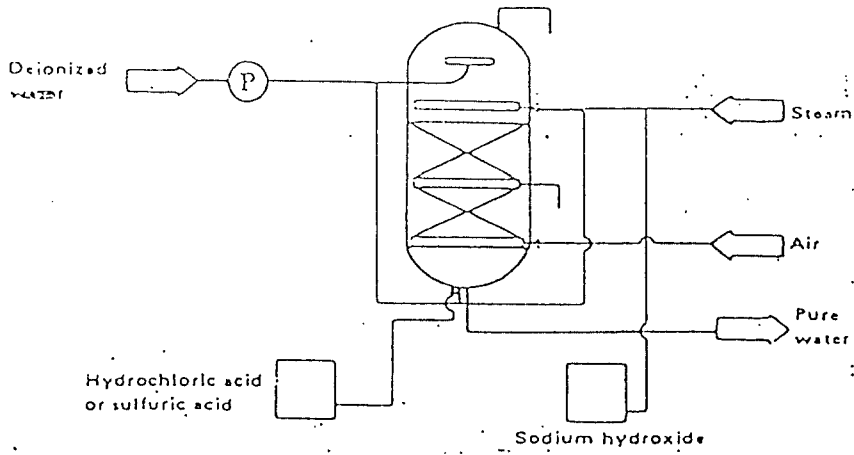
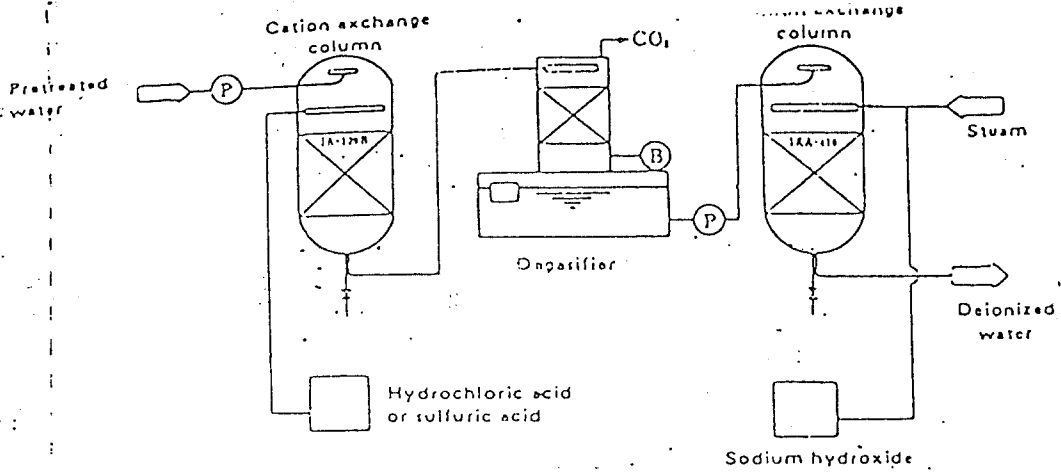


Figure 6-2. Vertical-type pressure sand filter. (Courtesy of The Percolit Company, Inc.)

그림 6. Deionizer (2B 3C & MBP)재생공정

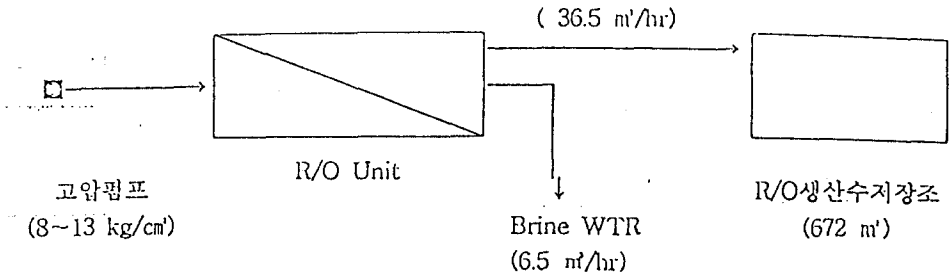
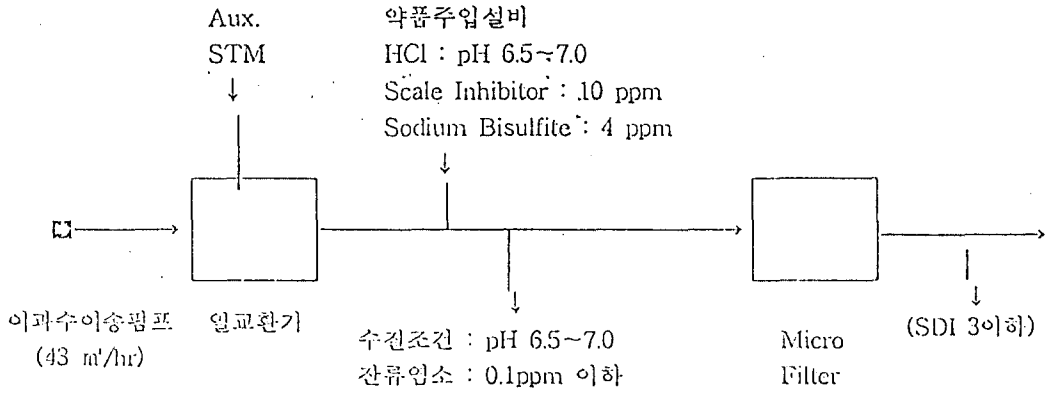


6. 막분리(R/O) 공정 설치배경 및 설비개요

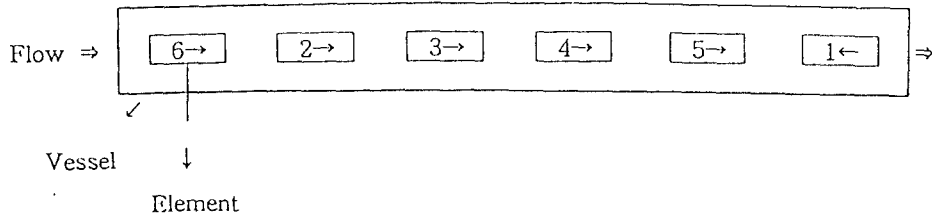
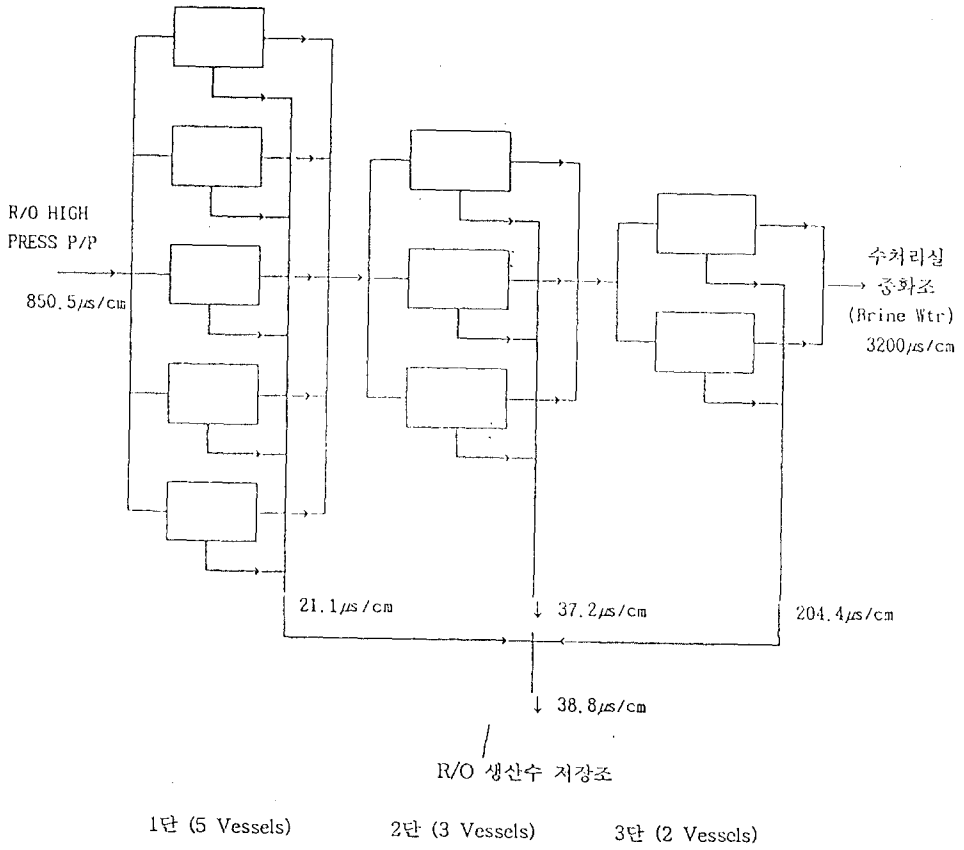
- 설치 발전소 : 태안 화력
- 발전소 출력 : 100만kW (50만kW×2^기)
- 사 용 연 료 : 수입 유연탄
- 보일러 형식 : 초임계압 (255kg/m²)관류형
 - * 임계압력 : 225.56kg/cm² (374.15℃)
- 막분리(R/O) 공정 설치 배경
 - 취수원인 삼교호의 수질이 Brackish Water급인 전기전도도 800 μ S/cm로 이온교환 수지만으로 순수제조시 요구수질목표 달성 어려움
- 설비개요
 - 전처리 설비
 - Clarifier
 - Chlorination system
 - Gravity filter
 - Active Carbon filter
 - 열 교환기
 - 약품주입 설비
 - 5 μ Micro Filter
 - R/O막 설비
 - 1st stage : 5 Vessel
 - 2nd stage : 3 Vessel
 - 3rd stage : 2 Vessel

3. 계통도 및 운전 조건

○ 계통도

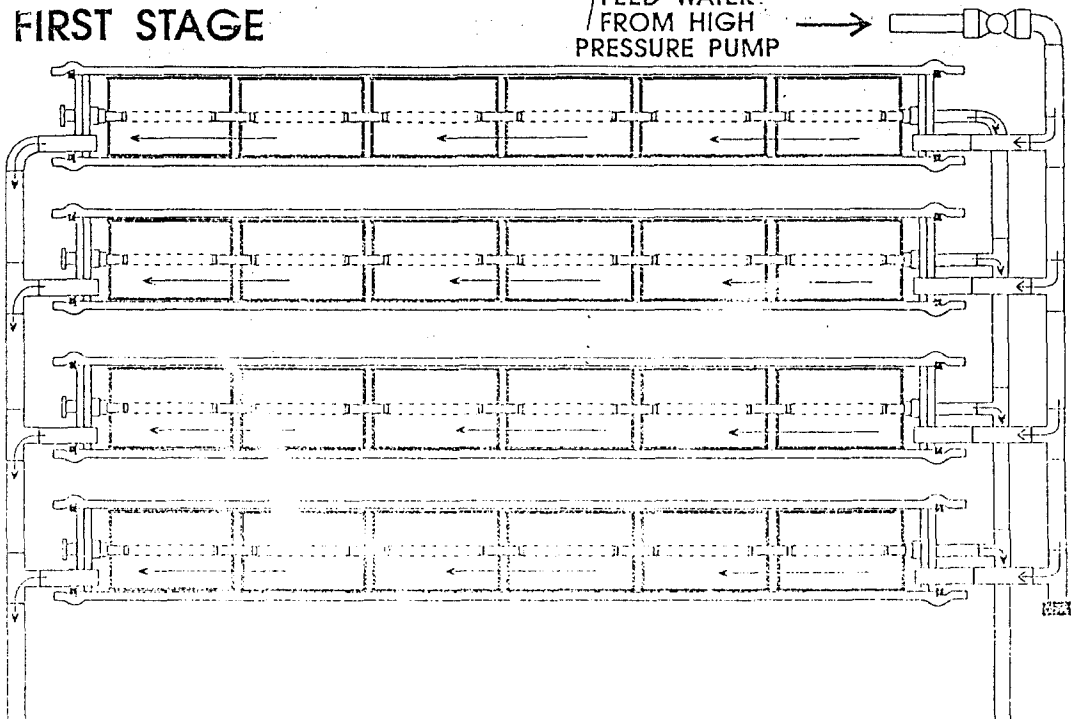


○ R/O UNIT 세부 계통도

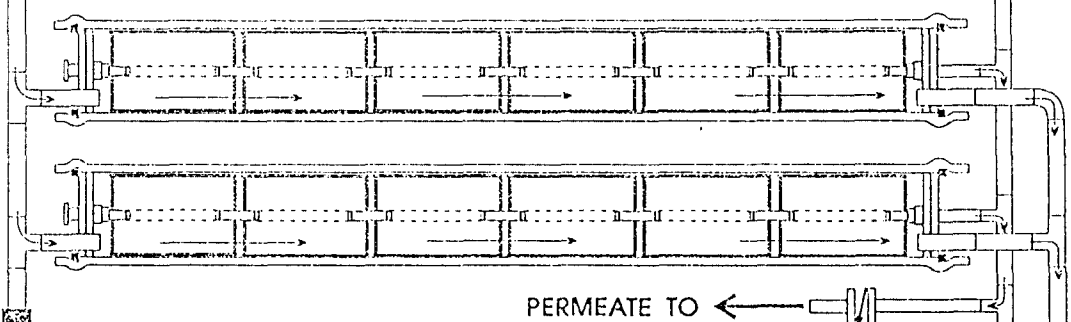


FIRST STAGE

FEED WATER
FROM HIGH
PRESSURE PUMP



SECOND STAGE

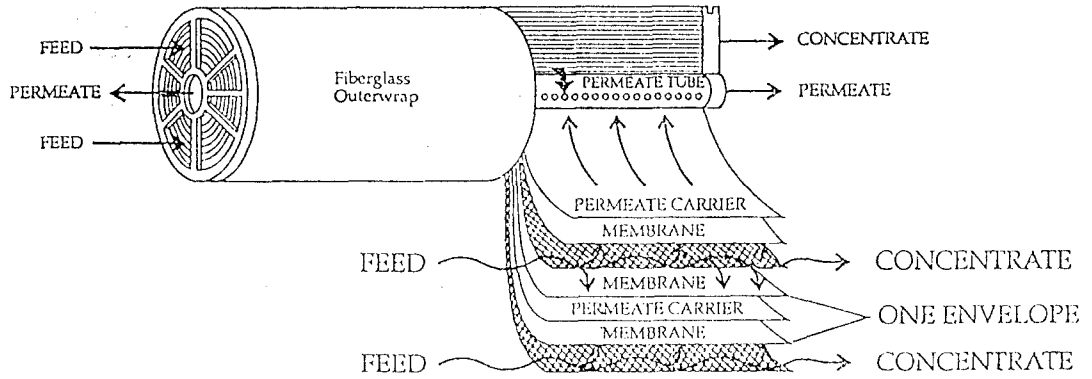


PERMEATE TO STORAGE

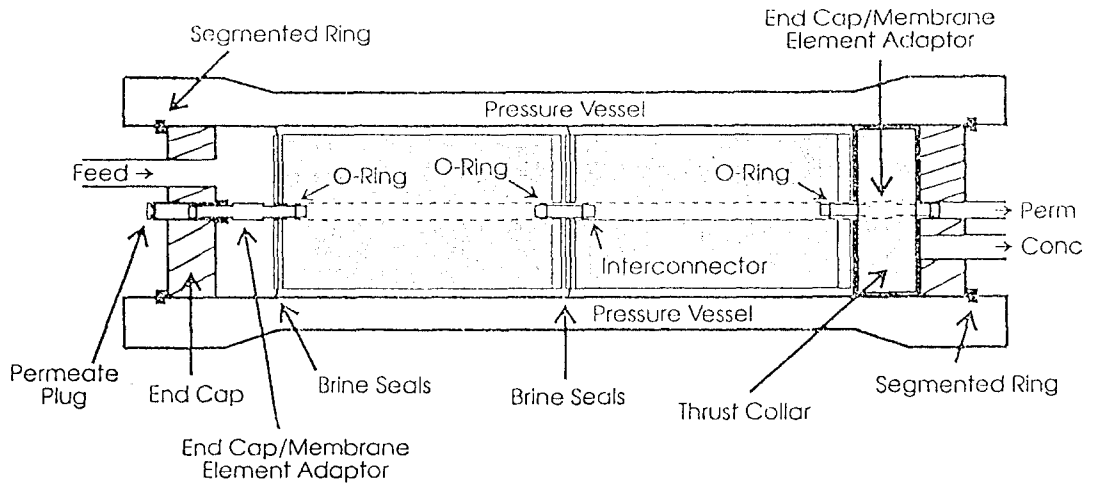
CHECK VALVE

CONCENTRATE TO DRAIN

SPIRAL WOUND



PRESSURE VESSEL INTERNALS



7. R/O 설비 운전 현황

○ 운전실적

구분	설계생산량 (m ³ /일)	일평균 생산량 (m ³ /일)	일평균 폐수량 (m ³ /일)	총세정 횟수 (회)	Micro Filter 교체량 (EA)	가동율 (%)
'94년 (6월부터)	Max. 1440	792	132	14	360	55
'95년	Max. 1440	1162	220	34	1056	81
'96년 (3월까지)	Max. 1440	1028	190	5	264	71

○ 주요 운전치 비교

번호	점검항목	단 위	설 계 치		초기 운전치	현재 운전치
					('95. 6)	('96. 4)
1	유 입 압 력	kg/cm ²	< 13		10	11 ~ 12
2	유 입 수 량	m ³ /hr	43		43.5	41.5
3	유입수전도도	μs/cm	-		800 - 1000	600
4	처리수량	m ³ /hr	1단	22	23	21
			2단	10	11	10
			3단	4.5	4	4
			전체	36.5	37	35
5	처리수전도도	μs/cm	< 61.6		30	40
6	차 압	kg/cm ²	1단	< 3.5	2.5	3.0
			2단	< 3.5	1.5	1.5
			3단	< 3.5	0.5	1.4
			전체	< 7.0	4.0	5.9
7	농축수량	m ³ /hr	< 6.5		6.5	6.5
8	회 수 율	(%)	> 85		85	87
9	탈 염 율	(%)	> 92		98	98

○ 차압 상승 대책

- Element 세정 방법 개선

	조정전	조정후
세정액 온도조정	25℃	35~40℃
세정액 유량조정	62m ³ /HR	80m ³ /HR
세정방법	단순순환	순환·침적병행

- 최적 세정약품의 선정

	운전초기	현재
Ca 화합물, 금속수산화물	Citric Acid	-
유기물·박테리아	Sodium Tripoly Phosphate Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate	-
Colloids (Fe, Si) Ca 화합물, 유기물	-	Sodium Tripoly Phosphate Tetra Sodium - EDTA

- Element의 배열순위 변경

- No. 1 Element 와 No. 6 Element의 위치 및 방향 변경

- 응집·침전조 (Clarifier) 약품 주입위치 변경

- 초 기 : 원수 유입 배관
- 변경후 : 응집조 2차 반응구역
- 효 과 : Micro Filter 교체주기 연장 (월 2회 → 월 1회)

○ 순수 생산원가 비교

구		분	R/O설비 운전시	R/O 미설치 (예상치)
여과설비		여과수생산비	87,828,604	74,369,180
R/O 설비		약품비	13,250,520	-
		동력비	22,409,089	-
		M/F 교체비	22,176,000	-
		Brine수 처리비	31,766,400	-
		막교체비	35,800,000	-
		R/O설비 감가상각비	235,294,000	-
순수 생산설비	약품비	염 산	3,230,000	63,240,000
		가성소다	4,745,250	92,907,000
	동력비	설비운전	12,651,771	12,651,771
		AC/F 재생	15,179	341,518
		2B3T 재생	77,324	1,739,791
		MBP 재생	25,694	102,778
	폐수 처리비	AC/F	960,000	21,600,000
		2B3T	2,400,000	54,000,000
		MBP	360,000	1,440,000
		재생용수비	10,239,131	252,113,400
	합 계			483,229,131
순수생산 원가 (원/m ³)			1,101	1,309

* 기준

'95년도 원수 평균 전기 전도도 : 520 μ s/cm

'95년도 처리수 (R/O) 평균 전기 전도도 : 33 μ s/cm

8. 막분리 공정의 향후 전망

- 발전설비의 대용량화에 따른 고온·고압화로 순수의 요구 수질은 엄격해지는 반면 발전용원수의 주공급원인 지표수의 오염은 가속화되고 있음
- 따라서 발전용 초순수제조 공정은 종래의 Deionizer를 보완하는 설비로 막분리 공정의 채택이 증가할 것으로 전망됨