

---

---

# 막분리공정을 이용한 폐수재활용 설비 기술

---

---



김 동 우 · 허 명 수 과 장

((주) 포스코 홀스)

## 1. 폐수 재활용 개요

현대 산업사회의 급속한 변화는 신제품의 개발과 사용 또 가치소멸등 Life-cycle이 적게는 수일부터 짧게는 수년에 이르고 있어 적기투자과 생산이 기업의 이윤과 성패에 직접적으로 작용하고 있다. 또한, 최근 산업의 발달과, 인구의 도시집중으로 산업폐수 및 생활하수에 의한 수질오염과 고갈, 환경규제의 강화등 산업활동의 여건이 날로 악화되고 있다.

상수원 보호구역, 자연 생태계 보존지역, 자연 녹지지역등 각종 보호 장벽하에서 어렵게 지켜온 수자원도 용수로서 사용하기 위해서는 취수설비 및 장거리 관로의 신설 및 확장공사가 비용이나 기타 여건으로 원활하게 이루어 지지 못하고 있으며 그로 인한 공장의 신,증설에 시기를 맞추지 못하고 있는 실정이다.

향후 우리는 수자원의 안정적 확보와 공장의 신증축시 발빠른 대처가 요구되며 오염물질의 최소화 또는 무방류로 각종규제로부터 자유로운 투자조건 의 형성과 고품질의 수자원을 저렴한 가격으로 확보하고 환경친화적 기업 이미지 향상에 목적을 두고 폐수 재활용설비를 도입하게 되었다.

90년대 중반부터 국내에서 폐수 재활용에 관심을 두고 각기업에서 적용을 검토하고 투자를 하였으나 경영자의 독자적 의지와 폐수처리 담당자와 정수 또는 폐수처리 업체에 맡겨 방류되는 폐수의 수질기준(환경규제치)만 분석하고 그 수질 기준에 따라 막분리나 이온교환, 전기투석 등 처리설비를 도입하는 형태로 진행됨에 따라 뚜렷한 성과를 기대하지 못한채 현재는 소량상태에 있는 현실이다.

생산공정의 각각의 실무자가 폐수재활용 의식을 갖고 공정을 분석하고 발생폐수의 수질 변화등을 수시로 통보하는 system을 구축하고 홍보활동을 통해 전사원의 의식전환이 이루어졌을때 폐수 재활용설비의 도입이 바람직한 형태로 볼 수 있다.

폐수 재활용방법은 반도체업계나 도금, 기타 산업에서 주로 2차 세정수를 회수하여 저급수로 직접 사용하는 방법 또는 간단한 전처리를 거쳐 원수에 혼합하여 정수처리하는 RECLAM SYSTEM과 1차세정폐수를 분리하여 전처리와 RO 등을 거쳐 용수로서 재활용하는 PROCESS RECYCLE SYSTEM, 종합 폐수처리 후 방류수를 재활용하는 방류수 재활용설비로 구분할수 있다. 막분리를 사용한 폐수 재활용기술에서는 방류수 재활용(종합폐수 재활용)와 원폐수 재활용(성상별 분리 재활용)만을 다루고져 한다.

Process Recycle System은 폐수를 성상별로 분리하여 회수하고 성상별 전처리한 후에 막분리 설비 이온교환 설비,등 고도처리하는 방식으로 다품종 소형화의 전처리 설비로 투자비는 상승하고 운전관리가 복잡한 단점이 있으나 폐수중 Chemical의 부반응으로 발생하는 악영향을 최소화 와 전처리 효율이 우수하며 년차별 재활용설비의 도입이 가능하고 폐기물의 유가화 또는 재활용도 기대할 수 있다. 또한 폐수처리와 정수처리를 동시에 하고 고품질의 용수로 재활용함으로써 폐수처리 비용을 재활용설비 운전비용으로 흡수함으로써 저렴한 운전비용과 적은부지로서 설비가 가능한 장점이 있다.

방류수 재활용(종합폐수 재활용)system은 폐수중 Chemical에 의한 부반응의 발생 가능성과 미생물, 폐수 처리공정에서 사용되는 chemical(무기,고분자,용집제등)에 의한 fouling, 폐수처리 공정에서 발생한 저분자 화합물에 의한 재활용수 수질의 저하, 전처리 또는 막분리후 reject water에 의한 폐수처리 용량 증가등이 예측 된다.

## 2. 안정적으로 운전관리와 경제성

폐수 재활용설비는 폐수성상에 맞는 용집/침전/여과/산화 환원/미세 입자여과등 전처리 설비와 막분리로 폐수 인입수의 수질에 90%이상의 오염물질이 제거되며 막분리와 이온 교환법 사용할때 초순수까지 요구하는 수질을 얻을 수 있다. 따라서 전처리 설비를 어느것으로 채택 하느냐에 따라 그설비를 안정적으로 운전관리를 할 수 있으나, 경제성이 있느냐가 결정되며 전처리 설비에 초점을 두어야 한다.

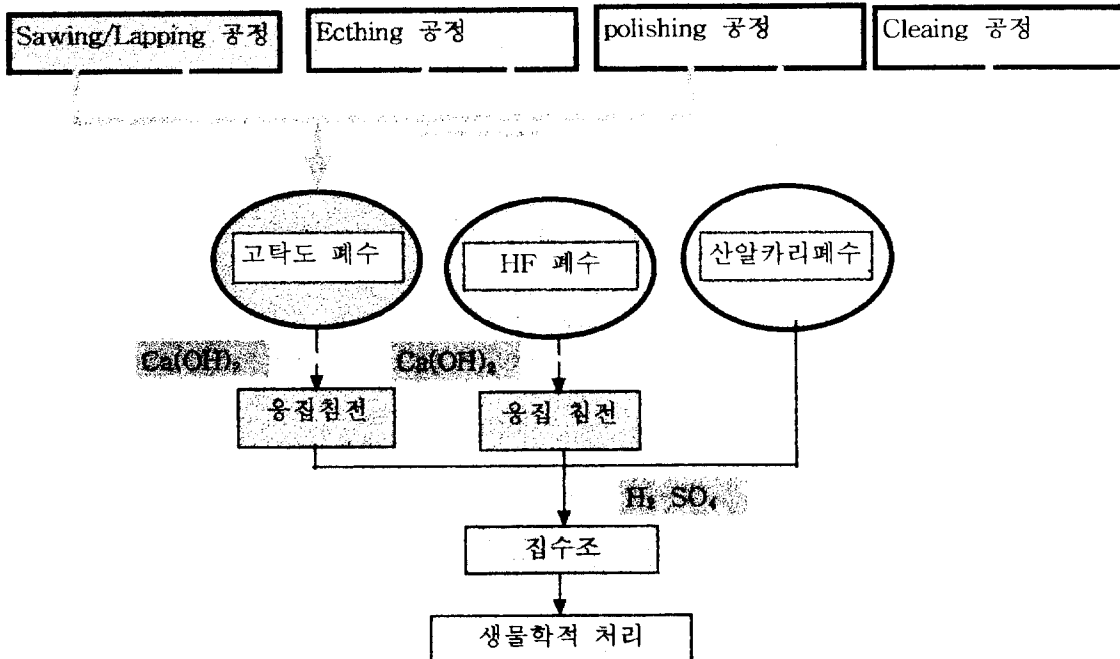
각 장비별 폐수의 수질 분석하여 성상별로 분리 회수하고 그에 알맞는 다양한 전처리로 pilot test를 거쳐 채용 여부의 결정이 중요한 과제가 된다. 그러나 그런 다양한 폐수수질에 알맞는 pilot 전처리 설비를 보유한 수처리업체가 없어 전처리설비에 대한 pilot test가 진행되지 않고 설계가 이루어짐에 따라 폐수 재활용설비의 도입후 많은 문제가 발생하고 있다.

향후에 발생될 수 있는 문제를 찾고 대책을 세우는 pilot test가 필요하며 그 기간은 24시간 연속 6개월 정도가 적당하다. 그러나 pilot가 준비 되었다고 하더라도 test 기간이 불과 1-2주 많게는 1달 정도로 종료되는 것이 보통이며 그결과가 성공적으로 평가하고 적용되는게 현실이다

수질에 따라 용집/ 침전/여과/산화/환원/미세 입자여과등 전처리 설비를 2-3가지를 병행하여 사용 하여야 하나 수처리업체 마다 개발 또는 도입한 전처리 설비 한두가지로 다양한 수질에 적용에는 역부족이다. 자사의 전처리 설비만을 고집하는 방법보다는 경쟁사의 전처리 설비도 필요에 따라 설계에 반영하는 자세 또한 필요하다.

포스코 홀스에서 폐수 재활용설비의 도입시 검토사항을 예로들면 일반적인 반도체 공장과 같이 염산 질산 인산 불산등 산 폐수와 KOH NaOH 등 알칼리 폐수 산화제 폐수, 고탁도 연마 폐수, 용제류, 계면 활성제, 유기산,등 유기성 폐수로 분리할 수 있으며 각 공정별로 chemical beth 와 1, 2차 세정수 분리가 비교적 용이한 장점과 공장의 확장 CYCLE이 빠르고 발생하는 폐수의 성상도 자주변화 되는 단점을 나타내고 있다. 불산폐수와 고탁도 폐수, 일반 산알칼리 폐수로 분류 하여 폐수처리하고 있었다.

폐수발생원별 성상 및 폐수처리(92)



### 3. PS RECYCLE SYSTEM 적용검토

산 알칼리등 Chemical 폐액과 가스 세정설비 폐수를 일반 산알칼리 폐수배관에서 분리하여 고탁도 폐수 배관에 연결하고 1, 2차 세정수만을 재활용하는 PS Recycle system 설치를 검토키로 하고 다음과 같이 수질분석을 실시하였다.

#### 3-1) 생산 장비별 수질분석

장 비 명							
원부소재명/사용량/농도		Silicon	DHF	NH <sub>4</sub> OH	DIW		
용수품질기준		TOC	SILICA	Particle	Resistivity	DO	MATAL
원/부 소재 사용 방법	NO	#1 beth	#2 beth	#3 beth	#4 beth	#5 beth	#6 beth
	beth명	DHF	QDR	DIR	NH <sub>4</sub> OH	QDR	DIR
	ℓ/M						
	배수법	HF폐수	HF폐수/PS	PS	알칼리 폐수	PS	RECLAM
Chemical 농도							
pH/ORP							
Conductivity							
particle 분포							
CODmn							
BOD5							
SS							
K+Na(ppm)							
NH <sub>3</sub> -N(ppm)							
Ca							
Cl-(ppm)							
SO <sub>4</sub> (ppm)							
NO <sub>3</sub> -N(ppm)							
PO <sub>4</sub> (ppm)							
F (ppm)							
TOC(ppm)							
SiO <sub>2</sub> (ppm)							
T-H							
M-AL							
Turbidity							
SDI							
기타 참고사항							

[장비별 수질분석표]

### 3-2) 폐수배관 분리결과 분석

장비별 수질 분석결과에 따라 Mixed chemical 폐수, HF폐수, HSS 폐수 PROCESS 폐수로 분리수거하고 수거된 폐수를 재 분석한 결과 다음과 같다.

분 석 항 목	방 류 수	Process Water	Reclamd Water
PH	6.8-8.5	7-9	4-6
CONDUCTIVITY( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	1500-2000	500-1500	100이하
K+Na (ppm)	10-30	5	1
NH <sub>3</sub> -N(ppm)	10	5-20	1
Ca	800-1000	TR	TR
Cl-(ppm)	140	10	1
SO <sub>4</sub> (ppm)	50-500	TR	TR
NO <sub>3</sub> -N(ppm)	150-400	10	1
PO <sub>4</sub> (ppm)	2.5	TR	TR
F (ppm)	3.5	3	TR
TOC(ppm)	5-10	5	TR
SiO <sub>2</sub> (ppm)	20	20	1
미립자 분포	0.02-1 $\mu\text{m}$	0.02-50 $\mu\text{m}$	0.02-1 $\mu\text{m}$
CODmn(ppm)	10	150	1
SS(ppm)	10	100	TR
T-H	500	20	1
M-AL	300	10	1
Turbidity	5	3	TR
flowrate	2500	1500	500
온 도	20-28 $^{\circ}\text{C}$	25-28 $^{\circ}\text{C}$	20-28 $^{\circ}\text{C}$
참 고	HF처리수-HSS원수조 고탁도 폐수 소석회-Al염 교체 탈수기세척수-여과수	1차 세정수 분리	배관 수정

### [분리된 폐수 분석결과]

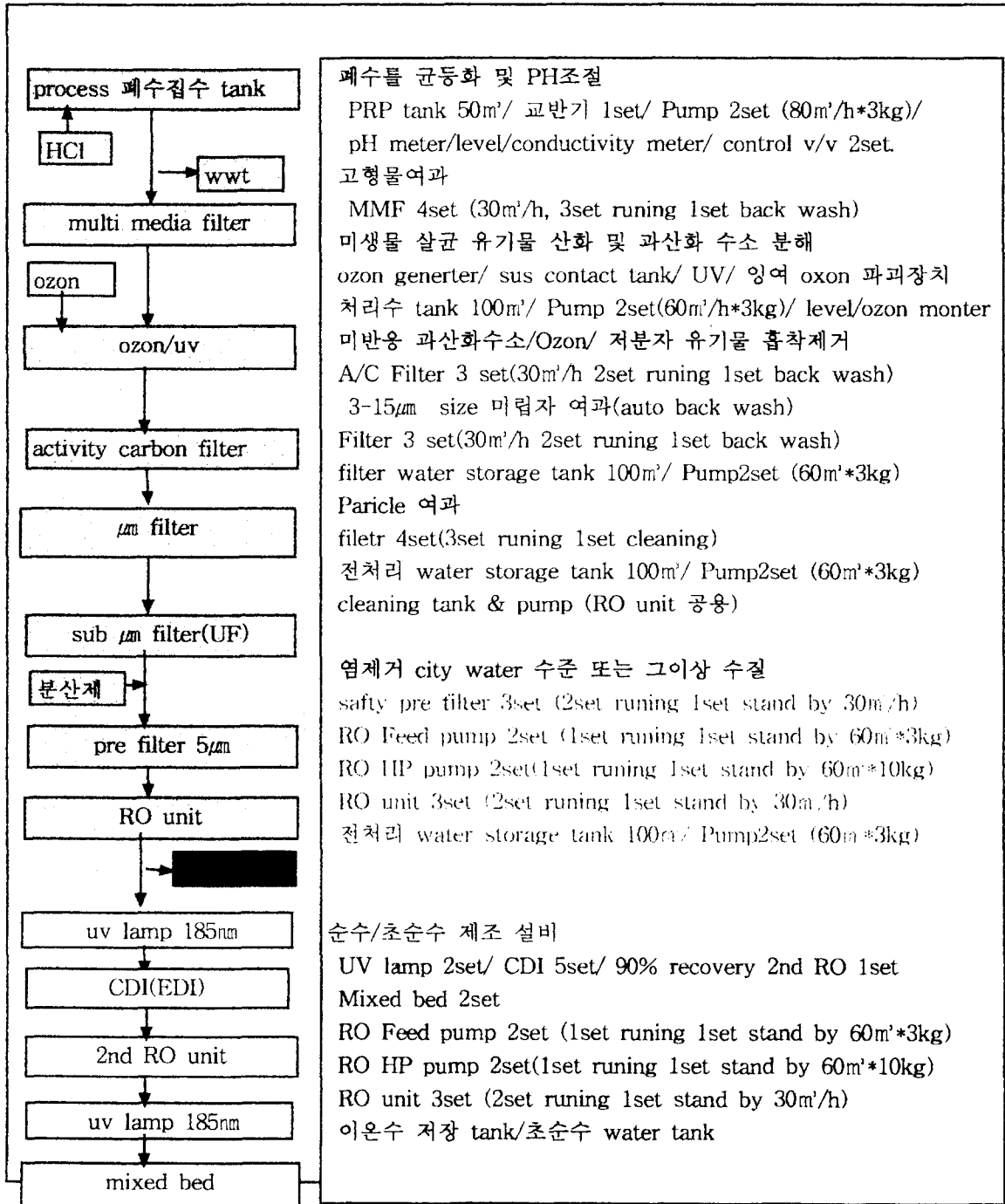
#### 3-3) 수질 분석결과 해석

Process water 분석결과 COD가 높은 원인은 과산화수소에 의한 원인으로 미생물 발생을 억제하기 위해 분리하지 않은 원인으로 검토결과 약 300PPM의 과산화수소가 유입되고 있었다.  $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}$  발생기 산소가 산화제로 작용하여 COD가 감소될 것으로 생각되나 과산화수소만의 COD를 측정할결과 과산화수소농도에 50%가 COD로 검출되는 경향을 볼 수 있었다. 따라서 과산화수소를 분해 흡착설비 도입이 검토 되어야 한다

PH는 KOH 및 NH<sub>4</sub>OH에 의한 요인이며 인입수에 염산으로 중화하고 생산공정상 기타 화공약품의 유입 가능성 때문에 그를 방지하기 위한 Conductivity를 설치 by-pass기능을 추가하였다. SS물질은 SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 연마제와 Si Powder SiO<sub>2</sub>가 주종을 이루고 있으며 Particle size분포도 분석결과 0.01 $\mu\text{m}$ 부터 50 $\mu\text{m}$ 로 이를 분리하는 MMF 여과와 sub micro 여과/UF/Tubler membrane으로 3단계 여과로 제거가 가능하다. Particle size별 용적 분포도에서 특이한 점은 0.02-0.1 $\mu\text{m}$ 가 자연수보다 10배정도 많이 함유되어 있고 0.1 $\mu\text{m}$ 이상의 particle은 약간 적은 분포를 볼 수 있었다. 우리는 RO 도입 및 운전관리에서 중요시 여기는 SDI<sub>5</sub>와 상관관계를 생각하지 않을 수 없다. 0.45 $\mu\text{m}$  여과지로 여과한 후 측정된 SDI는 자연수 기준으로 폐수 재활용시 적용은 도움이 될 수 없다고 판단된다. 실제 경험적으로 SDI 5이하인 City water와 SDI 1인 PS 전처리수를 RO에 공급 운전한 결과 FOULRING이 PS 전처리수에서 급속히 진행되는 경향을 볼 수 있었다.

상기에서 거론된 Particle 분포는 연마공정에서 나타날 수 있는 현상으로 모든 공장이 동일하지는 않으며 기업의 특성에 따라 현격한 차이가 있을 수 있으나 Particle size별 용적 분포도 분석은 필히 실시하여야 한다. TOC 유발물질은 미생물, 유기물로 주로 IPA, 초산, 구연산이 주종을 이루고 있으며 UV/ozon 산화법이 양호한 성능을 나타낼 수 있을 것으로 분석 되었다. 상기와 같이 분석된 결과로 다음과 같이 Flow diagram을 작성 하였다.

### 3-4) Flow diagram을 작성



[Flow diagram/기능/구성 장비]

### 3-5) 재활용수 용도와 COST 관계

일반적으로 RO water 회수율 약 70%(전처리 설비, RO)정도이며 폐수 재활용설비 RO water 회수율은 수질에 따라 50-70%까지 감소될 수 있다. 재활용 초순수는 회수율 수질이나 설비에 따라 50-60%의 회수율로 용수로써 제조시보다 약5-10% 감소된다고 보면 된다. 따라서 재활용 RO water수를 city water에 혼합 사용할 때 초순수 제조과정에서 전처리/RO에서 회수율 70%로 실제 회수율은 50%에 미치지 못한다는 결론이다. 용수의 conductivity  $150 \pm 20 \mu s/cm$ 이며 재활용 RO water  $15 \pm 5 \mu s/cm$ 수질로 city water에 혼합 사용하기 보다는 water 회수율 및 투자비 회수를 위해 초순수제조로 이어지는 것이 바람직하다. 또한 재활용 RO water수 제조 설비시 토목/건축/control/전기설비 등 대부분 비용이 재활용 초순수로 이어질 때 비용이 크게 추가되지 않는다.

### 3-6) 재활용수의 투자비 산출에 고려사항

상기와 같이 기초설계를 바탕으로 회수율/부지면적/공사비(토목,건축,설비,control)/전기소요량 운전비용/Man power/정비비/감가상각비/이자율을 산출한다. City water+하수세+폐수처리 비용/재활용 RO water(city water 수질)/재활용 초순수/용수로써 제조하는 초순수를 원단위로 산출하여 비교 평가하여야 한다.

항		목		규격/사용량	항		목		규격/사용량	
용수처리시설 capacity(ton/day)				폐수처리시설 capacity(ton/day)						
용수사용량	지하수(ton/day)				배출기준	규제항목	기준(ppm)			
	공업용수(ton/day)					BOD	60			
	상수도(ton/day)					COD	60			
공업용수 관로size(mm)/거리km						SS	100			
공업용수 관로capacity(ton/day)						F	15			
용수저장시설 capacity(ton)						PH	6.8-8.6			
용수처리비용 (천원/년)						처리량(t/d)				
저장용수 최대 사용시간						년간 배출기준 초과일수/가능성				
년간 용수공급 중단일수						행정 명령/개선비용/부과금				
용수공급 중단 기간						민원 발생유무/가능성				
용수공급 중단시 조업손실 비용						폐수처리비용				
공장 중설 계획	계획년도	생산량	용수량(ton)	용수증설비용	폐수발생량	폐수증설비용				
	향후 1년									
	향후 3년									
	향후 5년									
	향후 10년									
주변 도시계획/인구증가율						총량 규제 시기				
급수 계획						수출입 규제대상 유무				
공장입지조건						용수요금/하수세				
						중수도 관련 수도요금 감면				
기타 참고사항										

#### [용/폐수 처리시설 현황분석]

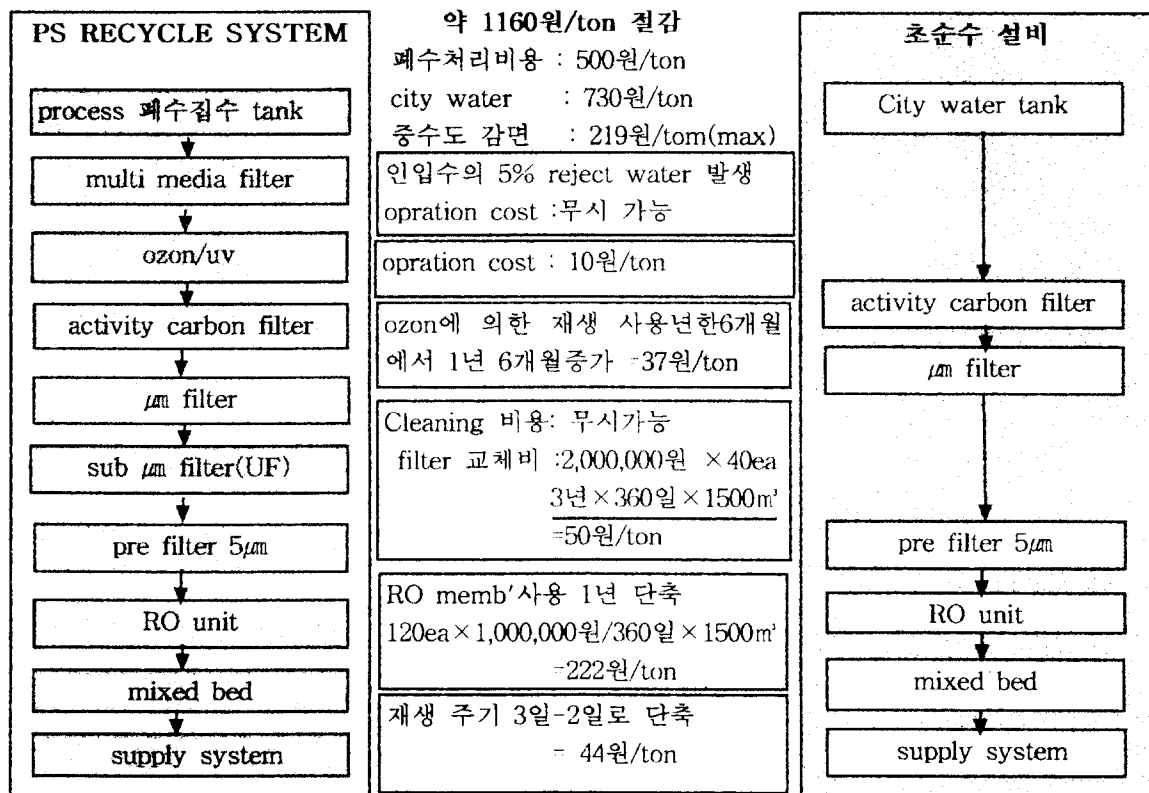
상기와 같은 항목을 분석하여 폐수재활용 설비도입시 경제성 분석의 기초자료로써 활용하여 투자여건 조성을 할 수 있다..

- 1) 용수관로 Size 및 상수원 거리/관로 사용년한/관로보수 및 증설계획/급수계획/주변 도시계획/단수일수/단수기간/저수용량과 조업시간 등을 계산하여 단수사고로 발생하는 조업중단 손실비와 취수 및 관로 신증설 부담금을 산출한다.
- 2) 유후 공장부지 활용계획과 공장증설시 정/폐수 처리장 부지용적 및 비용을 산출한다.
- 3) 정.폐수 처리장 신/증축 비용을 산출한다.
- 4) 정.폐수처리비용을 산출한다.(폐수처리장 전력비용 감면여부 확인)
- 5) 용수요금/하수요금을 산출한다.
- 6) 폐수관련 환경규제 부과금/개선금등을 산출한다.
- 7) 폐수 처리설비 자금 융자혜택 및 이자율과 정수 처리설비 융자 이자율을 산출한다.
- 8) 중수도 재이용에 관한 지방 조례규정에 따라 수도세 감면 비용을 산출한다(천안시 30%)
- 9) 폐수 재활용설비 도입비용을 산출 비교 평가하여 폐수재활용 설비를 도입한다.  
재활용수 수질이 상수도 수준인 경우 조업 중단 손실비, 정폐수 증설비용, 환경관령 규제에 초점을 맞추는 것이 타당 할 것으로 판단된다.

### 3-7) 재활용수와 용수로 초순수 제조시 COST 비교

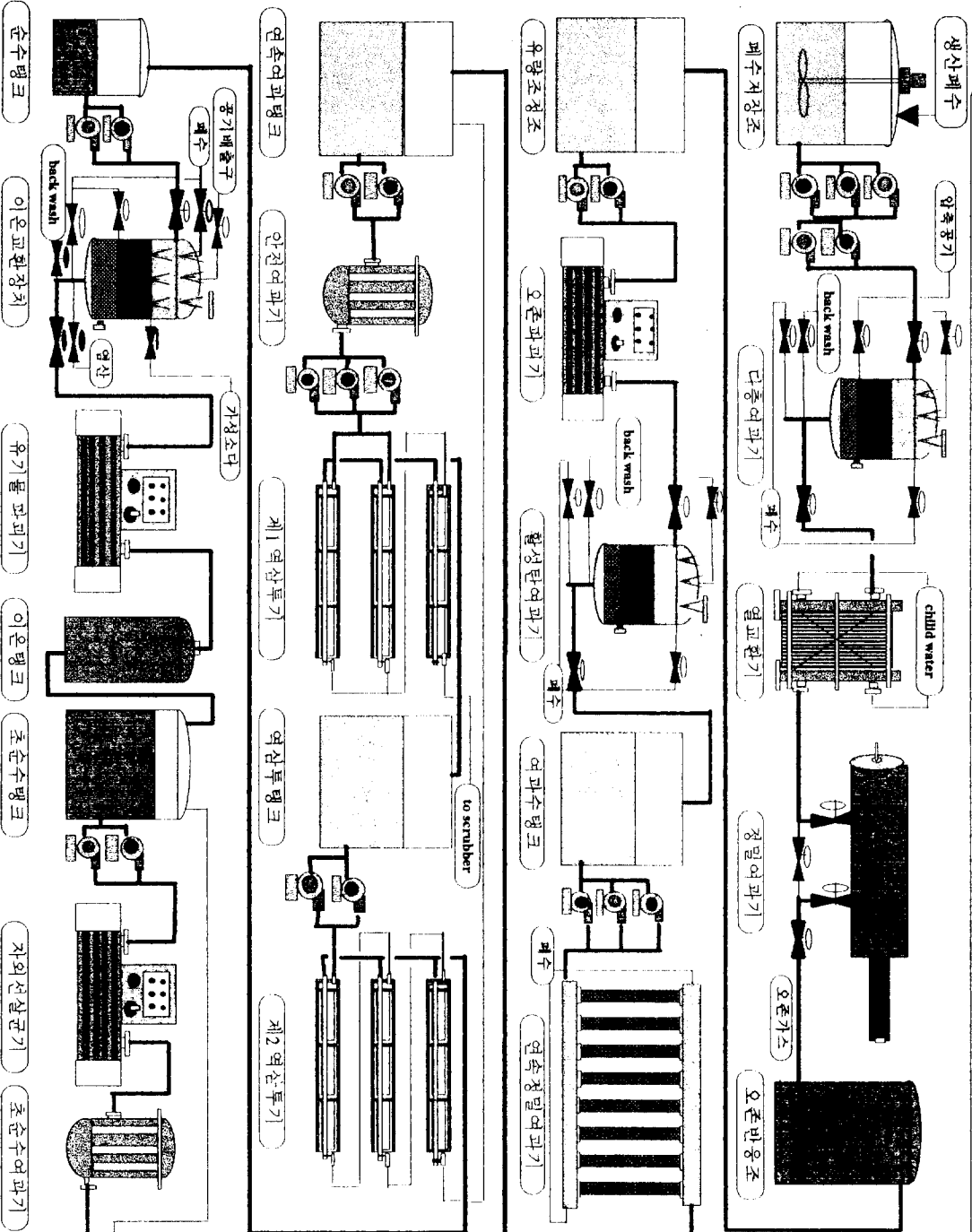
포스코 홀스에서는 폐수재활용설비의 검토가 93년도 3개월간 갈수기 수자원 부족으로 부분조업 및 조업중단 사고의 발생하여 막대한 조업손실이 있었고 폐수재활용 설비 검토도중 생산공정이 6kSI에서 1.2MSI로 증설이 진행되어 초순수공정 및 폐수 처리시설의 증설이 요구되는 상황에서 PS Recycle 설비를 도입하여 초순수설비 증설 비용만으로 초순수공정의 증설 및 폐수 처리시설의 증설효과를 얻을 수 있었다.

[폐수재활용 및 초순수 Flow diagram 비교]





# 공정 폐수 재활용 설비 (PROCESS WASTE WATER RECYCLE SYSTEM)



## 제 원

### 1. 투자목적 및 효과

- 1) 공정 폐수 재활용
- 2) 폐수 총배출량 저감
- 3) 용수 수급 외부 의존도 저감 (시수사용량 저감)

### 2. 공사기간 :

- 1) 1차 신설공사 : 94.6.18 ~ 95.8.4
- 2) 2차 증설공사 : 97.10.1 ~ 98.1.15

### 3. 공정폐수 처리용량

- 1) 공정 폐수 : 1,550 톤/일
- 2) 보충수 : 760 톤/일

### 4. 재활용수 용량

- 1) 3DI 생산량 : 1,000 톤/일
- 2) 1차 신설공사 : 500 톤/일
- 2) 가스 세정 용수 : 500 톤/일

### 3. 원수 수질

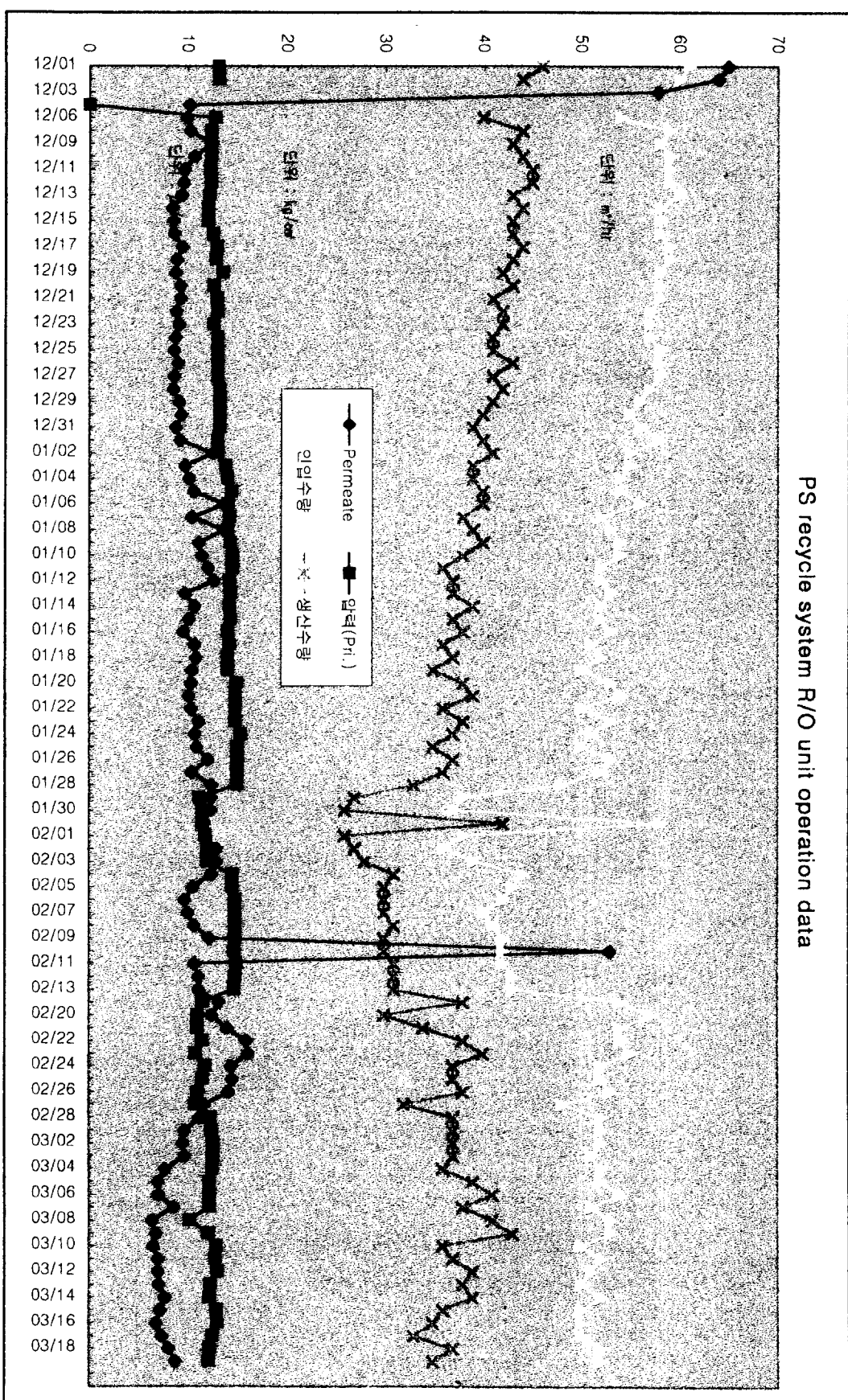
- 1) COD(화학적 산소요구량) : 150PPM
- 2) TDS(용존 고형물) : 1,500PPM
- 3) TOC(전유기탄소) : 3-5PPM

### 4. 처리수 수질

- 1) RESISTIVITY(전기저항) : 3MΩ/cm
- 2) SILICA(용존규소) : 20PPB
- 3) TOC(전유기탄소) : 50PPB

생산공정  
1500TON/day

PS recycle system R/O unit operation data



# CITY WATER FLOW

