

초순수(超純水)의 제조와 산업응용

Purification of Ultra Pure Water and Applied Industries



글 / 秦秀雄
(Jin, Soo Ung)
지하자원개발기술사,
(주)한자엔지니어링 기술사무소 대표이사,
한국기술사회 홍보위원.
E-mail: hanja@hanjaco.co.kr

1. 머리말

자연계에서 순수(純水)는 존재하지 않는다. 그러나 현대과학은 순수에 가까운 초순수(超純水)는 만들어낼 수 있는 수준에 이르렀다. 일반적으로 초순수라 함은 반도체제조공정 중 세척수로 사용되는 물만을 뜻하지만 넓은 의미에서는 원자력발전소의 증기발생수와 제약, 의료, 실험실용 정제수 등 고도정수처리된 고순도 정제수를 모두 뜻한다.

특히 반도체 제조시 실리콘 칩에 극히 섬세하고 미세한 금속회로를 인쇄하기 위해서는 기판에 붙어 있는 불순물을 완전 제거하여야만 되는데 이때 용해력이 가장 큰 초순수가 세척수로 다량 필요하다.

이론적으로 순수(純水)의 전기저항율은 18.24MΩ·cm·25℃인데 반해 이에 근접한 전기저항율인 18.20MΩ·cm·25℃의 초순수까지 만들어 낼 수 있다.

따라서 고순도의 초순수 양산가능 여부가 전자공업에 있어 초고밀도 집적회로 제조여부를 가름하기 때문에 전자공업과 초순수와의 떼어 생각할

Ultra pure water, so called, washing water for semiconductors, subjected to artificial treatment have supper qualities broadly characteristic of their sources.

Ultra pure water are applied to all industries and farmings, especially electronic industries.

Now, we have studied to ultra pure water purification method and to applied industries, medical resources and farmings, etc.

수 없다.

다음 <표 1>은 집적회로 제조시 회로집적도(DRAM) 등급에 따라 요구되는 초순수의 수질을 나타내고 있다.

<표 1> 집적도별 초순수 요구수질의 추이

집적도(DRAM(Bit))	64K	256K	1M	4M	16M
저항율(MΩ·cm·25℃)	17이상	17.5이상	17.5~18	18이상	18.1이상
미입자 개/ml	0.2μm 이상 100~200	50이하			
	0.1μm 이상		10~20	5이하	
생균 개/ml	1이하	0.1이하	0.01이하	0.005이하	0.001이하
T O C (μgC/l)	200~300이하	50~100이하	30~50	10~20	5~10
시 리 카(μgC/l)		10이하	3~5	1~3	1이하
용존산소(μgO/l)		100이하	50~100	20~50	10~50

주) Bit = Binary digit
M = Megabit(100만 비트)
K = Kilobit

이와 같이 초순수는 전자공업에 필수적인 소재가 되며 이외에도 생균이나 용존산소가 거의 섞여 있지 않는 성질을 이용하여 제약이나 의료용으로 쓰이고 특히 식품제조분야에 활용하여 방부제를 쓰지 않고서도 산화방지나 방부효과를 충분히

연고 있는 등 농·축산분야에도 초순수의 활용범위가 날로 확대되는 추세에 있다.

2. 초순수의 제법 요약

현대공업은 전기저항율이 18.00MΩ-cm 이상이고 잔류 Na⁺이온이나 염화물의 이온잔량이 0.01ppb 이하인 순수에 가까운 초순수를 양산해 낼 수 있는 수준에 이르렀다.

이러한 초순수제조기법은 역삼투막(RO)과 한외여과막(OF)등 막의 첨단소재가 개발되고 이에 따른 막분리 기술향상 때문에 가능해진 것으로 바닷물의 경우 “폴리아밀”계 복합막을 사용 151kg/cm² 이상의 압력을 가하여 역삼투시키면 단회에 99%정도 까지 염분을 제거시킬 수 있다.

이때 유기물이나 무기물은 거의 다 제거되지만 미량일지라도 잔류된 유기물과 용존산소제거를 위해 자외선산화장치를 덧붙여 전유기산소 10ppb 미만인 초순수를 만들어 내고 있다.

이상과 같은 초순수를 양산하기 위해서는 원수의 전처리는 필수적인데 전처리과정에서는 저압 복합막역삼투방식을 채택하여 막의 수명도 연장시키고 극미세한 탁질입자도 효율적으로 제거시킨다.

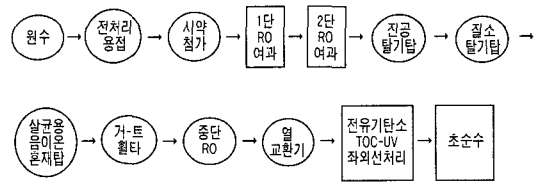
즉, 저압복합막(주로 초산셀룰로-스막)을 직렬로 2단 이상 설치하여 각종 용존가스 외 불순성분을 고도정수처리 하여 제거해낸 다음 진공(탈산소)탈기탑과 질소탈기탑(또는 촉매탈기탑)에서 용존산소를 제거해 잔류용존산소가 거의 없는 전처리수를 얻어낸다.

이와 같이 얻어진 고순도의 전처리수라 할지라도 잔류된 미량의 이온물질마저도 제거하기 위해 음이온교환수지로 구성된 Anion mixhead tower로 보내져 이온제거와 살균처리를 동시에 시행한 다음 Curd filter로 여과시켜 살균된 균을 걸러내 다시 중단역삼투막(Sub RO)으로 여과시켜 각종

잔류이온을 제거한다.

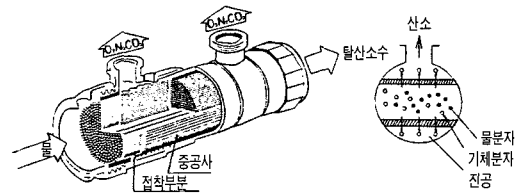
그 다음 열교환기와 전유기탄소자외선처리(TOC-UV)를 거쳐 유기물제거용 폴리셔(Polisher)와 음이온혼상폴리셔를 거쳐 외압식한외여과막을 통과시켜 순수에 가까운 초순수를 만들어냄과 동시에 배관을 통해 바로 세척수로 사용한다.

최근에 개발되어 실용화 되고 있는 초순수 제조공정의 개략적인 계통도는 다음과 같다.



〈그림 1〉 초순수 제조 공정도(일예)

즉 초순수제조 전처리는 일반정수처리에 응용되고 있는 응집침전, 모래여과, 가압부상법 등을 혼용하고 역삼투막은 저압용모듈(10~15kg/cm²)을 사용한다. 용존산소제거는 막탈기법과 미세한 기포상 질소가스를 탱크내 투입하여 질소가스로 하여금 용존산소를 흡착 제거시키는 방법을 채택하고 있다.



〈그림 2〉 중공사 모질에 의한 탈산소 메커니즘

또한 순수 중 수소와 공존하고 있는 금속촉매 (Pa, Cu 등)나 수지와 반응시켜(O₂+2H₂→2H₂O) 촉매 용존산소를 제거하는 촉매법을 혼용한다.

기술자료

음이온혼상탑(Anion mix-bed tower)은 탑상부에 강염기성 음이온교환수지층을 설치하고 하부에는 강산성 양이온수지와 강염기성음이온수지층을 겹겹이 설치하여 잔류이온을 흡착 제거한다.

전유기탄소(TOC)제거는 저압수는 등에서 발생하는 185nm의 자외선을 물에 조사시켜 물 속에 부대수산기(OH free radical)가 생성되도록 해 준다.

이때 물 속에 섞여있는 부대OH기는 유기물을 유기산이나 탄산가스로 치환시켜 미세 고형물질로 변화시켜 유기물제거용 포리셔에서 10ppb까지 걸러낼 수 있다.

위와 같은 공정을 통한 초순수제조 최종단계에서는 고순도이온교환수지를 활용하여 TOC 기준 1ppb의 초순수로 정수해 낼 수 있다.

3. 초순수 제조를 위한 부대장치와 재질

이상과 같은 정수처리 공정을 거쳐 만들어진 초순수는 대기와 완전히 차단된 공간 즉 배관내에서만 보존이 가능하므로 이에 따른 배관의 재질, 배관접속기술, 진공펌프, 밸브(차단장치) 등 정밀한 부대장치가 요구된다.

따라서 배관 재질로서는 초순수용으로 특별히 제조된 경질염화비닐(PVC) 관을 사용하는데 관의 재질은 유기압전물질인 PVDF(Poly vinylidene fluolide, $\text{CH}_2=\text{CF}_2$ 의 중합체), 또는 내열성 고분자 수지인 PEEK(Poly-ether-ether ketone)등을 사용한다.

진공펌프는 윤활유를 쓰던 종래 진공펌프를 대신하여 윤활유를 전혀 쓰지 않는 건식진공펌프를 사용한다.

건식진공펌프의 장점은 윤활유에 의한 열화나 열반응 생성물이 전혀 없기 때문에 펌프내에서 분순물 혼입을 방지할 수 있다.

이밖에 밸브(차단장치)의 재질도 PVDF나

PEEK 또는 스테인레스스틸 중 SSC-12(CF-20)나 SSC-14(CF-8M) 등 내산재질을 쓴다.

〈표 1〉 각종 배관재 용출 시험 결과(상온)

항목	일수	C-PVC		PVDF		PEEK	
		총량 ($\mu\text{g}/l$)	환산치 ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{일}$)	총량 ($\mu\text{g}/l$)	환산치 ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{일}$)	총량 ($\mu\text{g}/l$)	환산치 ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{일}$)
TOC	1	96.5	6.1×10^2	< 10	< 69	< 10	< 69
	2~7	2.6×10^2	2.7×10^2	19	22	< 10	< 12
	8~30	3.0×10^2	82	36	11	24	7.2
SiO ₂	1	< 3	< 20	< 3	< 21	< 3	< 21
	2~7	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
	8~30	< 3	< 0.8	< 3	< 0.9	< 3	< 0.9
Na	1	0.515	32	< 0.09	< 0.6	0.19	1.3
	2~7	0.325	0.34	0.06	0.07	0.11	0.13
	8~30	0.975	0.27	< 0.05	< 0.01	0.18	0.05
K	1	< 0.1	< 0.7	< 0.1	< 0.7	< 0.1	< 0.7
	2~7	< 0.1	< 0.1	0.3	0.3	< 0.1	< 0.1
	8~30	< 0.1	< 0.03	< 0.1	0.03	< 0.1	< 0.03
Ca	1	38	2.4×10^2	< 1.0	< 7	< 1.0	< 7
	2~7	33	35	< 1.0	< 1	< 1.0	< 1
	8~30	10.85	3.0	< 1.0	< 0.3	< 1.0	< 0.3
Fe	1	< 0.2	< 1.3	< 0.2	< 1.4	< 0.2	< 1.4
	2~7	0.285	0.3	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
	8~30	1.65	0.45	< 0.2	< 0.06	< 0.2	< 0.06
Mg	1	< 0.22	< 1.4	< 0.1	< 0.7	< 0.1	< 0.7
	2~7	0.1	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	8~30	0.1	0.03	< 0.1	< 0.03	< 1.0	< 0.03
Sn	1	< 1.5	< 10	< 1.5	< 10	< 1.5	< 10
	2~7	< 1.5	< 2	< 1.5	< 2	< 1.5	< 2
	8~30	< 1.5	< 0.4	< 1.5	< 0.4	< 1.5	< 0.4
F-	1	< 1.0	< 7	34	2.6×10^2	< 1.0	< 7
	2~7	< 1.0	< 1	61	70	< 1.0	< 1
	8~30	< 1.0	< 0.03	1.2×10^2	36	< 1.0	< 0.3
Cl-	1	3.15	20	< 1.0	< 7	< 1.0	< 7
	2~7	6.7	7.0	< 1.0	< 1	< 1.0	< 1
	8~30	17	4.7	< 1.0	< 0.3	< 1.0	< 0.3

4. 기타 산업의 응용

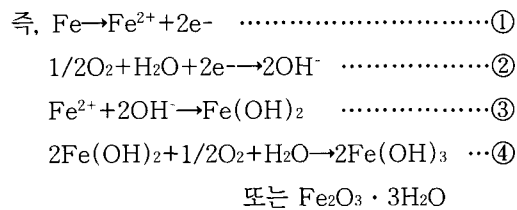
전자(반도체) 공업 외 초순수는 저온의학, 식품공업, 폐수처리 등 여러 산업분야에 널리 쓰이고 있다.

특히 공업용수중 보일러용수로 쓸 때에는 탈산소처리를 위해 아황산소-다($\text{Na}_2\text{SO}_3 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4$)나 하이드라진(Hydrezine, H_2NNH_2 , $\text{H}_2\text{H}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$) 등 탈산소제를 물에 섞어 화학반응에 의해 탈산소수를 만들어줌으로써 보

일러 배관의 산화를 방지하여 수명을 연장시킨다.

빌딩의 배관 중 녹물을 없애주기 위하여 주기적으로 초순수를 만들어 투입해줌으로써 각종 배관의 부식을 방지하고 녹물을 없애거나 줄일 수 있다.

이때 발생하는 화학반응은 다음과 같이 추정된다.



이밖에 식품가공용수로 초순수를 사용함으로써 방부제를 쓰지 않고서도 식품의 산화와 부패를 방지할 수 있으며, 축산에 있어서는 각종 세균의 번식을 억제함으로써 가축의 질병예방과 악취를 줄일 수 있다.

〈표 3〉 초순수의 산업별 응용효과

응용분야	용도	효과
식품제조	원료수	맛을 개선해 준다. 효소작용 촉진, 합수성 향상, 탄력성, 점탄성 증가, 노화 억제, 부패 억제, 건조성 향상.
	산포수	광합성 향상, 야채나 과실의 단맛 증진, 신선도 유지, 수확을 향상.
농업	수경재배·관상수	뿌리의 발육 증진, 마디 간격 단축, 시비 효율 증대.
	먹는물	세포의 삼투압을 높여 준다. 혈액정화, 소화촉진, 사료 효율 증대.
축산	산포	가축의 피부병 방지, 축사의 호나경 개선, 소화촉진.
	먹는물	미질개선, 방부효과 증대, 정장, 혈액정화, 체질개선, 노화방지.
건강의학	양조	주류의 미질 개선, 부패방지, 효소작용촉진.
	표백	표백효과가 있다. 표백속도가 빨라진다.
공업	염색	염료 용해도를 높여 준다. 침투성을 균등하게 유지해준다.
	세정	분산성을 높여준다. 가용성을 높여준다. 침투성을 높여준다. 보습성을 높여준다.
기타	"서비스"업	"커피", 음식맛향상, 관엽식물, 꽃꽂이 수명 연장

5. 맺는말

우리는 물에 대하여 그리 깊게 생각하지 않고 대수롭지 않게 생각하는 버릇이 있다.

물은 그냥 물일뿐이지 물의 어떠한 기능이나 역할에 대하여는 대부분 사람들이 관심 밖으로 생각한다.

물은 무진장 한 것이기 때문에 물이 설마 마를 리도 없고 아무리 사용하더라도 없어지는 것도 아닌란 생각을 하고 있어 "물 쓰듯 마구 써도 되는 것"으로 또는 무진장 한 것으로 착각하고 있다.

그러나 이와는 정반대로 물 위기는 실제 우리 주변에 성큼 다가와 우리 건강과 생명을 직접 위협하고 있다.

물 없이는 한시도 모든 생물이 살수 없고 모든 산업 또한 영위하거나 존재할 수 없다.

우리 생활에 없어서는 안 될 문명의 이기인 전자, 기계, 화공 등 모든 산업제품은 물론 농산물, 축산물 무엇 한 가지도 물 없이는 제작할 수도 없고 더 나아가 존재할 수도 없다.

예로부터 순수한 물을 만들어 보고자 많은 과학자들이 연구에 연구를 거듭해 왔으나 오늘날까지도 순수는 만들어 본적도 없고 앞으로도 만들 수 없을 것이다.

그러나 순수에 가까운 초순수 제조기술은 발전을 거듭하여 순수에 가까운 초순수를 만들 수 있게 되었고 이를 심분 활용함으로써 우리 생활은 더욱더 윤택해 저가고 있다.

물의 기능은 상상을 초월할 정도로 무궁무진하며 물을 잘 이용함으로써 우리의 건강과 생명을 지켜나갈 수 있음을 생각할 때 물의 귀중함을 다시 한번 생각하게 한다.

(원고 접수일 2002. 7. 3)