

### 3. 반도체 산업의 막분리 기술 응용

한림대학교 환경시스템공학과 교수 박진용

#### 1. 초순수와 분리막 기술

반도체 공업에서 분리막과 분리막 처리기술 이용은 IC 세정용 초순수를 제조하는 장치에 보급되어 있다. LSI, VLSI 등 고집적도 IC의 제조 과정에서는 특히 고순도의 물이 필요한데, 요구 수질의 예로서 1983년 미국 재료 및 검사협회(ASTM) 잠정안을 표 1에 나타냈다.

표 1. IC 세정용 초순수 수질에 관한 미국 재료 및 검사협회(ASTM)의 제안

구 분	1983년 제안	1981년 제안
초순수 등급	TYPE E-1	
전기비저항 (Meg. $\Omega$ cm at 25°C)	18	18
미립자수 (Max. 개/m <sup>2</sup> ), 크기 1 $\mu$ m	2	2
생균 (Max. 개/100 ml)	100	1
총 SiO <sub>2</sub> (Max. ppb)	5	75
총유기탄소 TOC (Max. ppb)	50	200
칼륨 (Max. ppb)	2	2
나트륨 (Max. ppb)	1	2
구리 (Max. ppb)	1	2
아연 (Max. ppb)	5	10
염화물 이온 (Max. ppb)	2	10
총용존고형물 TDS (Max. ppb)	10	10

집적회로 제조용 초순수를 제조하는 기술은 1970년대부터 분리막 및 분리막 처리기술 도입으로 급속한 진보와 성장을 이루었다. 특히 미립자, 미생물, 금속 콜로이드, 유기물 제거에 관해 매우 뛰어난 효과를 발휘하여, 현재 초순수 제조장치에서 필수불가결한 존재가 되었다. 동시에 역삼투와 한외여과 기술도 잘 이용되고 개선되어, 분리막 처리장치 및 전체 시스템을 안정된 상태로 가동할 수 있게 되었다. 초순수 제조장치에서 분리막 처리장치 도입의 이해를 돕기 위해, 표 2에 초순수 제조 시스템과 요구 수질의 변천

역사를 기술하였다. 현재는 시스템 기본 구성으로서 전처리 → 분리막 처리 → 이온교환수지 처리 → 분리막 처리 형태의 조합 처리 방법이 정착되어 있다.

표 2. 초순수 제조 시스템과 요구 수질의 변천

연 대		1960년대	1970년대	현 재
시 스 템 개 요		전처리장치 ↓ 이온교환장치 ↓ 마이크로필터 (MF)	전처리장치 ↓ 역삼투장치(RO) ↓ 이온교환장치 ↓ 마이크로필터 + 자외선 살균기 (필요한 곳에)	전처리장치 ↓ 역삼투장치(RO) ↓ 이온교환장치 ↓ 한외여과장치(UF) + 자외선 살균기 (필요한 곳에)
요 구 수 질	비저항 미립자 생균수 유기물	10~16Meg.Ω·cm — — —	16~18Meg.Ω·cm 300~500개/ml 1~10개/ml —	18Meg.Ω·cm <100개/ml 0~1개/ml <0.5mgC/ml
비 고		주로 순수의 비저항만으로 관리되고 있고 미립자 제거는 마이크로필터 능력에 의존하고 있다.	RO 도입에 의해 원수중의 유기물, 금속수산화물 등의 제거가 충분하게 이루어져 안정한 수질을 얻을 수 있었다.	비저항 뿐만 아니라 미립자, 생균수 관리에 주안점을 두기에 이르렀다. 따라서 RO이후 계통내에서의 재차 오염을 방지하기 위한 배려와 대책을 취하는 결과를 가져왔다.

전단계 분리막 처리에는 역삼투막이 이용되고, 후단계의 분리막 처리에는 한외여과막 또는 역삼투막이 이용되고 있다. 역삼투는 1959년 후반에 처음 시작되어 당초에는 해수 및 담조수를 담수화하는데 목적을 두고 있었으나, 역삼투로 말미암아 개발이 촉진된 한외여과와 함께 초순수 시대에 때를 맞춰 시기 적절하게 등장하였다.

## 2. 역삼투 (RO, Reverse Osmosis)

역삼투 장치는 초순수 제조장치 시스템 중 다음과 같은 위치에 들어 있다.

- (1) 1차 순수제조 장치에서는 이온교환 장치 앞이나 뒤
- (2) 2차 순수제조 장치의 말단
- (3) 폐수 회수장치 내의 적절한 장소

1차 순수제조 장치 내에서 역삼투 장치를 사용하는 직접적인 목적은 원수 안의 이물질인 미립자, 미생물, 금속 콜로이드, 유기물 등이 초순수 제조장치 안으로 침입하는 것을 방지하기 위함이다. 역삼투가 탈이온 능력도 가지고 있으므로 보통 이온교환수지 장치 앞에 설치하여 90% 정도 탈염시켜, 이온교환수지 장치에서 물의 순도를 높일 수 있도록 한다. 또 농축수를 재처리하여 배출액의 양을 감소시킨다.

역삼투 장치에서 물의 회수율 (투과수량/공급수량)은 보통 75% 이상으로 실리카 ( $\text{SiO}_2$ ) 농도가 높은 원수인 경우, 즉 농축에 의해 난용성 침전을 용이하게 석출할 수 있는 성질의 원수에 대해서는 회수율을 낮게 책정하는 등 특별한 방법을 이용해야 한다. 예를 들면 실리카는  $25^\circ\text{C}$ 에서 100 ppm 이상일 때 석출되기 때문에, 실리카 25 ppm을 포함한 원수인 경우 75% 이상의 회수율을 적용하는 것은 위험하다. 이럴 경우 안전한 범위까지 회수율을 저하시키거나 또는 다시 한번 난용성 물질을 제거하거나, 석출 방지 약품을 첨가하여 처리한 후 역삼투 장치를 사용한다.

이온교환수지 장치 다음에 역삼투 장치를 배치할 경우 역삼투 장치 운전이 안전하고 용이하기 때문에 전체적으로 물의 이용율을 높일 수 있다. 그림 1은 구주(九州) 지구를 중심으로 가동하고 있는 탈규소 장치와 역삼투 장치의 흐름도를 나타낸 것이다. 60~90 ppm의 실리카를 포함한 원수를 처리하여 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

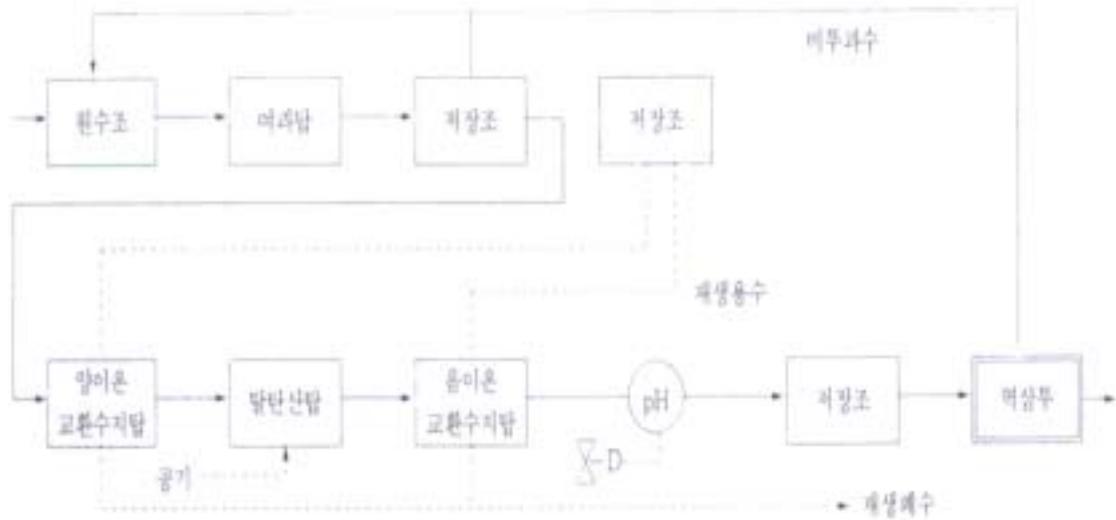


그림 1. 탈규소 및 역삼투 장치의 흐름도

- (1) 전체 장치의 운전이 용이하고 안정하기 때문에 역삼투 장치를 화학세정할 필요가 없다.
- (2) 역삼투 장치 공급수의 pH 조절을 위해 산을 첨가할 필요가 없다.
- (3) 시스템 전체 물의 이용율은 80% 이상이 된다.

표 3은 초순수 제조장치에 사용하고 있는 일본산 역삼투막을 나타낸 것이다. 일반적인 경향으로 역삼투 장치를 저압화 하려는 경향이 있다. 예를 들면 75% 회수율로 운전 했을 때 투과수 1 m<sup>3</sup> 당 소요동력은 압력 30 kg/cm<sup>2</sup>에서 2~2.5 kW/h인데 비하여, 압력 20 kg/cm<sup>2</sup>에서는 1 kW/h 정도를 감소시킬 수 있어 동력비 20 엔/m<sup>3</sup> 정도가 절약된다. 다만 저압화와 함께 탈이온 능력이 감소하는 것을 방지하는 효과가 떨어진다. 이온교환수지 장치가 뒤에 있을 때는 부하가 약간 증가하는 단점이 있다.

표 3. 초순수 제조장치에 사용되는 일본산 역삼투막

막재료	셀룰로우스 아세테이트류			합성고분자류	
	東シ(도레이)		東洋방직	日東電工	
형식	나선형(Spiral) SC-1200	나선형(Spiral) SC-3200	중공사(Hollow Fiber) HR-8330	나선형(Spiral) NTR-7197-S4	나선형(Spiral) NTR-7250-S4
크기	8인치	8인치	8인치	4인치	4인치
조작압력	30kg/cm <sup>2</sup>	30kg/cm <sup>2</sup>	30kg/cm <sup>2</sup>	30kg/cm <sup>2</sup>	20kg/cm <sup>2</sup>
사용조건범위					
최고압력	42kg/cm <sup>2</sup>	42kg/cm <sup>2</sup>	40kg/cm <sup>2</sup>	42kg/cm <sup>2</sup>	30kg/cm <sup>2</sup>
최고온도	40℃	40℃	35℃	40℃	40℃
pH범위	4~7.5	4~7.5	3~7.5	4~11	2~8
전류	< 1ppm	< 1ppm	< 1ppm	0	< 1ppm
염제거율	> 95% NaCl	> 97% NaCl	> 90% NaCl	> 98% NaCl	> 98% MgSO <sub>4</sub>
투과수량	23.2m <sup>3</sup> /일	17.6m <sup>3</sup> /일	> 40m <sup>3</sup> /일	> 6.8m <sup>3</sup> /일	> 50%NaCl 15±3m <sup>3</sup> /일
특 징	P-Type(초순수용)설문 있음.		용기(Vessel)가 없다.	염제거율 높다	저압운전, TOC제거 능력 크다.

역삼투 장치에서 막모듈을 배열하는 방법은 보통 물을 처리하는 경우와 거의 변함없이 대부분 나선형 방식(나선형 나선형 모듈)을 이용한다. 즉 나선형 모듈(Spiral Wound Module)인 경우는 3~6개의 모듈이 들어 있는 용기(Vessel)를 2~3단을 배열하고, 중공사(Hollow fiber)형 모듈은 1~2개의 모듈이 들어 있는 용기를 4~6단으로 배열한다. 각각 용기의 물 회수율은 50% 이하로 하고, 전체 회수율은 75~80%로 하는 것이 일반적이다.

1차 순수 제조장치의 공장 규모는 1개 장치 당 1,000 m<sup>3</sup>/d 정도이고, 필요에 따라 다계열화(Multiple Series) 하는 것이 안전할 뿐만 아니라, 유지 면에서도 합리적이다. 2차 순수 제조장치는 500 m<sup>3</sup>/d 이하 규모인 경우가 많다.

### 3. 한외여과 (UF, Ultrafiltration)

초순수 제조장치에서는 한외여과 장치를 항상 가장 말단에 설치한다. 역삼투막보다 미세구멍의 크기가 큰 한외여과막을 말단에 설치하는 것이 모순처럼 보일지 모른다. 하지만 입자의 크기로 보아 한외여과에서 제거 가능하면 충분하다는 것을 경험적으로 알 수 있다. 실제 초순수 제조장치에서 발생하는 불순물을 최종단계에서 처리할 때 무기 이온의 크기가 10<sup>-9</sup> m인 것은 거의 없고 그것보다 큰 입자만이 존재한다. 한외여과는 이러한 불순물을 대상으로 효과가 있으며, 낮은 압력에서 운전이 가능하므로 장치의 구성과

취급이 용이하다.

한외여과 장치에서 물 회수율은 90~95%에 달하여 비투과수는 1차 순수 제조장치의 역삼투 장치 앞으로 다시 되돌려 보내는 것이 바람직하다. 때로는 전량 여과하는 경우도 있는데 신뢰성이 높으며 동시에 순수 사용 지점의 정밀여과 대신 사용할 수 있는 가능성도 가지고 있다. 표 4는 초순수 제조 장치에 사용되고 있는 대표적인 한외여과막을 나타낸 것이다.

표 4. 초순수 제조장치에 사용하는 일본산 한외여과막

막재료	폴리아크릴나이트릴류			폴리숄론류	
	로미콘	旭化成		日東電工	
제조업체	모세관(Capillary)	모세관(Capillary)	모세관(Capillary)	모세관(Capillary)	나선형(Spiral)
형식	HF-66-43-PM10	FCV-3010	FIT-3016	NTU-3060-C3H	NTU-3150-S4
크기	5인치	3인치	3인치	3인치	4인치
조작압력	2kg/cm <sup>2</sup>	2kg/cm <sup>2</sup>	2kg/cm <sup>2</sup>	2kg/cm <sup>2</sup>	2kg/cm <sup>2</sup>
사용조건범위					
최고압력	2.8kg/cm <sup>2</sup>	3kg/cm <sup>2</sup>	4kg/cm <sup>2</sup>	3kg/cm <sup>2</sup>	5kg/cm <sup>2</sup>
최고온도	90℃	40℃	90℃	40℃	40℃
pH범위	1.5~13.0	2~10	1~14	2~12	2~11
분획분자량	10,000	13,000	6,000	PEG 20,000	PEG 20,000
투과수율	> 50m <sup>3</sup> /d	0.9m <sup>3</sup> /hr·kg·cm <sup>2</sup>	1.2m <sup>3</sup> /hr·kg·cm <sup>2</sup>	1.7m <sup>3</sup> /hr·kg·cm <sup>2</sup>	> 35m <sup>3</sup> /d (초순수)
특징	염수처리 가능	-	염수처리 가능	-	-

실리콘 등의 연마배수를 처리할 때는 모세관형 카트리지가 사용되는데, 이 경우는 미립자가 막 표면에 부착되기 쉬우므로 액체의 유속을 높여 주어야 한다. 따라서 저장조, 펌프, 한외여과 카트리지 사이로 액체를 다량 순환시켜 투과수와 일부 농축수가 빠져 나가는 양 만큼 보충하는 Feed and Breed 방식을 채용하고 있다.