

Technical Guide

이온교환수지를 이용한 수처리 가이드북

(The guidebook for water treatment using ion exchange resins)



숫자로 보는 삼양트리라이트

1

First & Only



대한민국 유일의
이온교환수지 메이커입니다

+2

Factories



한국 울산, 군산에 자체 공장,
해외 OEM공장

+200

Products



발전소, 초순수, 식품, 의약,
축매 등 제품 200종

+400

Partners



전세계 400개
파트너사와 함께 합니다

+50

Sales networks



전세계 50개국에
판매하고 있습니다

1.1↓

Uniformity coefficient



균일계수 1.1 이하
고품질 균일계이온교환수지

Locations (본사, 공장, 테크센터)

Seoul (Headquarter)

- 3개 분야 전문기술영업 인력 보유
 - 수처리/초순수/응축수처리 (Condensate polishing)/축매
 - 전분당/핵산/아미노산/의약
 - 폐수처리/킬레이트/특수정제
- 원스톱 토털솔루션 제공
 - 이온교환수지 분석
 - 설비 진단
 - 설계 지원
 - 기술 세미나
 - Trouble shooting

Gunsan (UPS Resin Plant)

- Uniform particle sized resins
- 삼양화인테크놀로지 (Since 2016)
- 일본 미쓰비시케미칼과의 합작법인
- 아시아 최대 규모 균일계 이온교환수지 전용 공장
- Product line
 - 균일계 이온교환수지
 - 초순수수지(OLED, LCD)
 - 크로마토그래피 수지

Daejeon (Technical Center)

- 이온교환수지 분석
- 이온교환수지 생산 Recipe 개선
- 신제품 개발
 - 주문품 / 특수품
- 응용기술 개발
 - Pilot test
 - Engineering data gathering
 - Process proposal

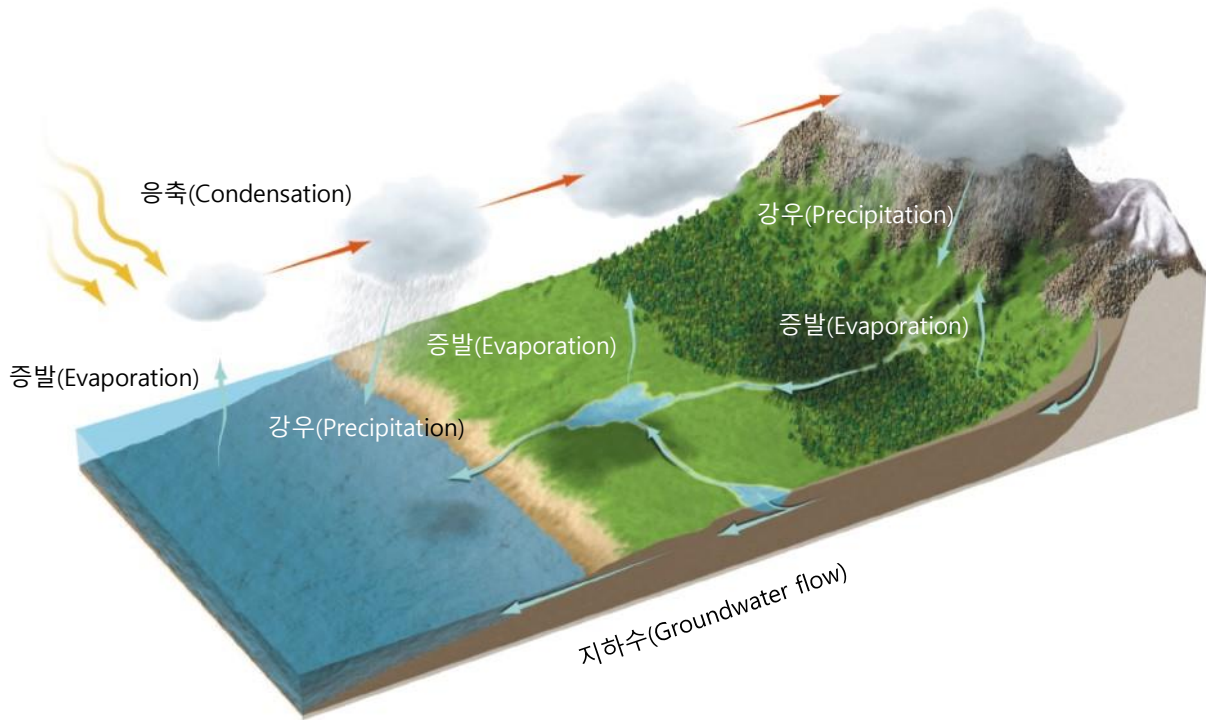
Ulsan (UPW/Tailored/Specialty Resin Plant)

- 삼양사 울산공장 (Since 1976)
- 다양한 고객 맞춤형 이온교환수지 (Tailored resin) 생산
- Product line
 - 초순수수지(반도체)
 - 주문품 수지(전분당, 핵산, 축매 등)
 - 특수 수지(킬레이트, 합성흡착제 등)



1. 물의 순환 (Hydrologic cycle)

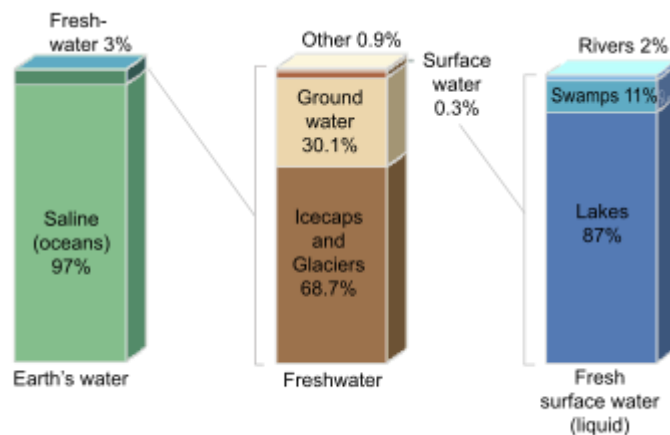
지구의 물은 아래의 그림과 같이 끊임없이 순환하고 있으며, 해양, 대기, 지표 사이에서 물이 서로 다른 상태(액체, 고체, 기체 상태)로 연속 순환하는 과정을 물의 순환(Hydrologic cycle)이라는 용어로 부른다.



(출처 : Britannica Visual Dictionary)

2. 수자원 (Water resources)

지구상에는 14억㎢ 정도의 물이 존재하는 것으로 추정되고 있으며 대부분이 해수(Sea water, 97~97.5%) 형태로 존재하고 2.5~3% 정도만이 담수(Fresh water) 형태로 존재하는데, 담수의 대부분은 빙하와 만년설 형태로 존재하여 우리가 사용할 수 있는 물은 하천이나 호수에 존재하는 지표수로 지구 총 물량의 극히 일부분이라고 한다.



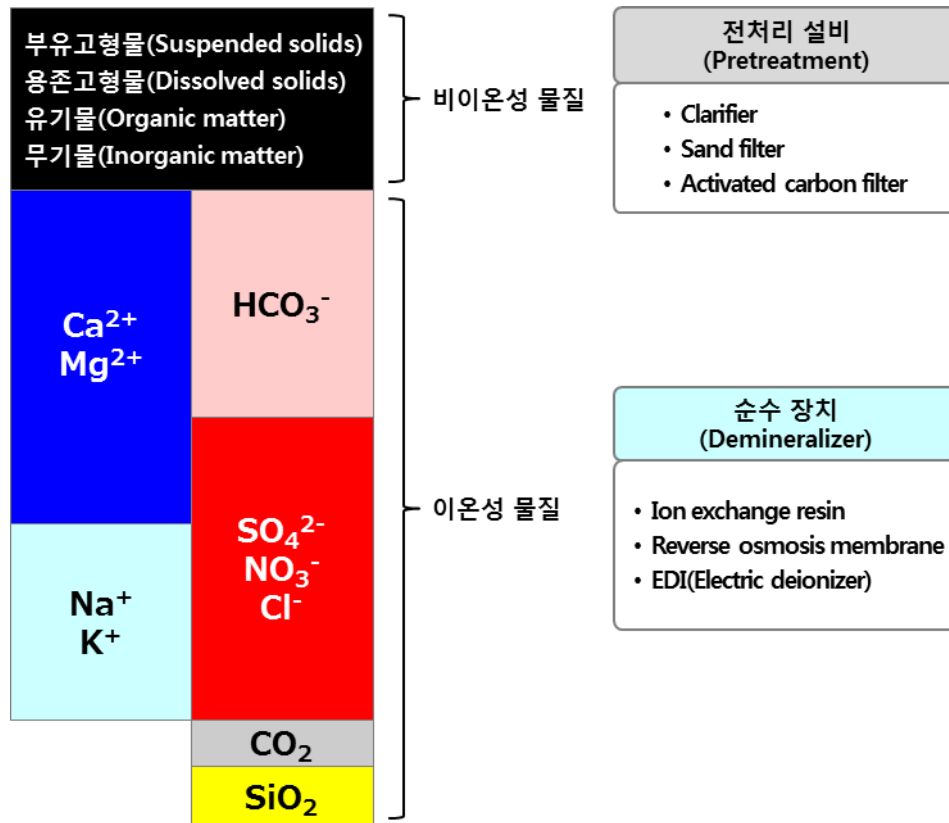
수자원을 염분농도(TDS, Total dissolved solids)에 따라 분류하면 아래와 같다.

- 1) 해수(海水, Sea water) : 바닷물을 말하며 TDS가 약 10,000~50,000 mg/l 이며, 표준 해수의 경우는 약 35,000 mg/l 정도이다.

- 2) 기수(汽水, Brackish water) : 바닷물과 강물이 섞여 있어 소금의 양이 바닷물 보다 적은 물을 말한다. 보통 강의 하구에서부터 2~3km 정도의 범위에 기수가 존재하는 경우가 많고, 일반적으로 TDS가 약 1,000~10,000 mg/l 정도를 나타낸다.
- 3) 담수(淡水, Fresh Water) : 염의 함유량이 적은 보통의 육지에 존재하는 물을 말하며 약간의 염분이 있어서 순수한 물과는 다르다. 일반적으로 TDS가 약 1,000 mg/l 이하를 지칭한다.

3. 원수(Raw water) 중 존재하는 불순물(Impurities)과 처리방법(Means of treatment)

다양한 원수(Raw water) 중에는 여러가지 불순물을 포함하고 있으며 각종 사용 목적에 따라 적지 않은 지장을 가져온다. 일반적으로 물 속에 포함되어 있는 불순물은 아래와 같다.



유기물 등 비이온성 물질은 Sand filter와 같은 전처리장치를 이용하여 제거하고, 이온교환수지 등 순수장치는 이온성 물질을 제거한다.

원수중에 포함된 각종 불순물이 일으키는 장애와 그 대책은 다음과 같다.

불순물의 종류	장애 내용	대책
1) 경도 성분 (Ca^{2+} , Mg^{2+})	① 보일러등의 배관에 Scale을 형성하여 열전도를 방해하고 , 부분적 과열을 일으켜 장치를 손상시키기도 한다 ② 세척 시 비누의 낭비를 일으킴 ③ 염색을 저해함 ④ NaOH를 용해시킬때 수산화물의 침전물 생성	일반적으로 지하수에 많고 지표수에는 비교적 적은 편이고 양이온 교환수지 Na형(SCR-B, MC-08 등)으로 제거 가능

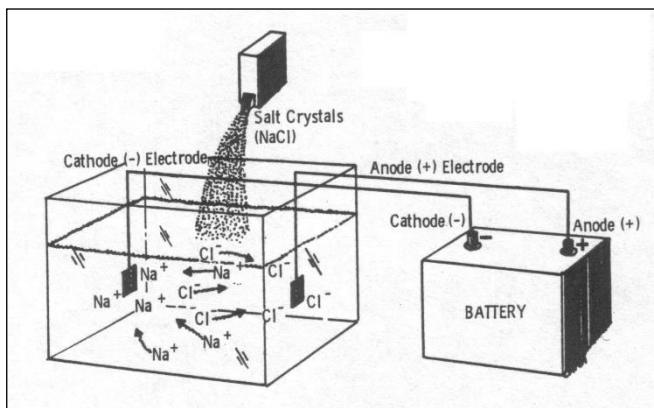
2) 철분 (Fe^{2+} , Fe^{3+})	① 철화합물의 침전물생성으로 수질을 오염시키고 염색, 가죽 가공, 제지, 화학섬유 제조 등에 있어서 변색 및 착색을 일으킨다	일반적으로 지하수에는 Fe^{2+} , 지표수에는 Fe^{3+} 형태로 많이 존재하고, Air 주입, 약품주입 및 제철제망간제 등으로 제거
3) 망간 이온 (Mn^{2+})	① 장애는 Fe^{2+} , Fe^{3+} 와 같고 흑색 착색을 일으킨다	Mn^{2+} 는 Fe^{2+} 와 함께 존재는 경우가 많고 처리방법은 철분과 같다
4) 나트륨, 칼륨 이온 (Na^+ , K^+)	① 보일러 관수 농도를 증가시켜 Carry-over(보일러수가 증기와 관계없이 거품형태나 또는 물의 상태로 빨리 들어가면서 넘어가는 현상)의 원인이 된다	해수(海水)의 혼입으로 증가하는 경우가 있으며, 양이온 교환수지 H형(SCR-BH, MC-08H 등)으로 제거 가능
5) 알칼리도 (Alkalinity) (HCO_3^- , CO_3^{2-})	① 보일러 관수의 기포 형성, Carry-over 등의 원인이 된다 ② CO_2 를 발생시켜 배관 부식을 일으킨다 ③ 물의 pH를 높여서 무기산을 중화시키며 pH조정을 방해한다	지하수는 일반적으로 알칼리도가 높으며 강염기성 음이온 교환수지(SAR10, SAR20, MA-12, MA-20 등)으로 제거 가능
6) 유기물 (Organic matter)	① 보일러수 Carbonized되어 배관에 부착하여 Scale을 형성하고 Carry-over를 조장하며 이온교환수지를 오염시켜 성능을 저하시킨다.	Clarifier, Sand filter, Activated carbon filter 등으로 여과시켜 제거한다.
7) 황산 이온 (SO_4^{2-})	① Ca^{2+} 와 결합하여 CaSO_4 를 형성하고 Scale을 일으킨다	약염기성 음이온교환수지(AW30 등) 및 강염기성 음이온교환수지(SAR10, SAR20, MA-12, MA-20 등)으로 제거 가능
8) 염소 이온 (Cl^-)	① 부식성을 증가시킨다	해수 혼입으로 증가하는 경우가 있으며, 강염기성 음이온 교환수지(SAR10, SAR20, MA-12, MA-20 등)으로 제거 가능
9) 불소 이온 (F^-)	① 음용수로 사용될 경우 반상균병(斑狀菌病)의 원인이 된다	강염기성 음이온교환수지로(SAR20, MA-20) 제거 가능
10) 실리카 (SiO_2 , H_2SiO_2)	① 보일러와 냉각장치에 Scale을 생성한다 ② 터빈 날개에 불용성 침전물을 생성한다	강염기성 음이온교환수지(SAR10, MA-12 등)으로 제거 가능
11) 유리탄산 (Free CO_2)	① 알칼리도가 높은 물에서 발생하며 배관 부식을 일으킨다	탈기탑(Degasifier) 등으로 제거 가능

12) 유리염소 (Free Cl ₂)	① 이온교환수지를 서서히 산화시켜 성능저하의 원인이 된다	천연수 중에는 존재하지 않고 미생물 제거용으로 첨가한 것이며 Activated carbon filter로 제거 가능
-------------------------------------	---------------------------------	--

4. 이온교환수지 개요

1) 이온(Ion)이란?

이온은 일반적으로 전기분해를 하였을 경우 전기장에서 양, 음극으로 이동하는 현상으로부터 정의되었으며 음극(anode)으로 향하는 것을 양이온(Cation), 양극(Cathode)으로 향하는 것을 음이온(Anion)으로 명명되었다. 고체 물질이 물에 녹으면 양, 음이온으로 해리되며 기체분자가 전자를 잃거나 얻으면 역시 이온이 된다.



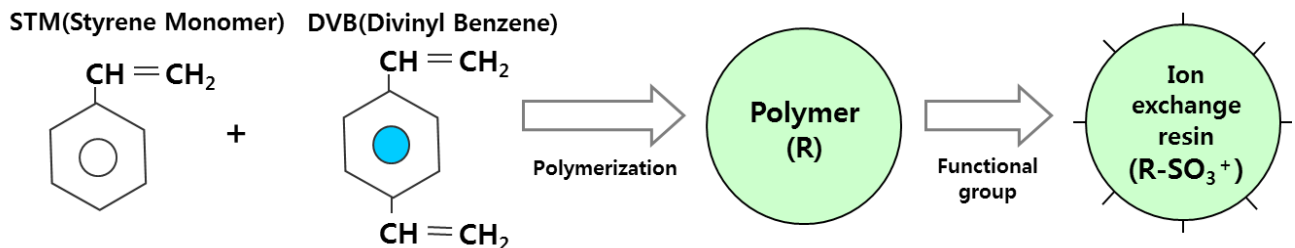
2) 이온교환수지(Ion exchange resin)란?

기능기(Functional group)를 가진 합성수지 입자로서 용액 중의 이온을 교환하여 분리할 수 있는 능력(이온교환 능력)이 있어 불순물의 제거 및 유용물질의 분리에 사용된다.

인체에는 불순물을 걸러주는 신장이 있는 것처럼 수처리 및 화학, 바이오, 반도체산업 등의 제품 생산 시 품질에 영향을 주는 불순물을 효과적으로 제거하는 역할을 한다.

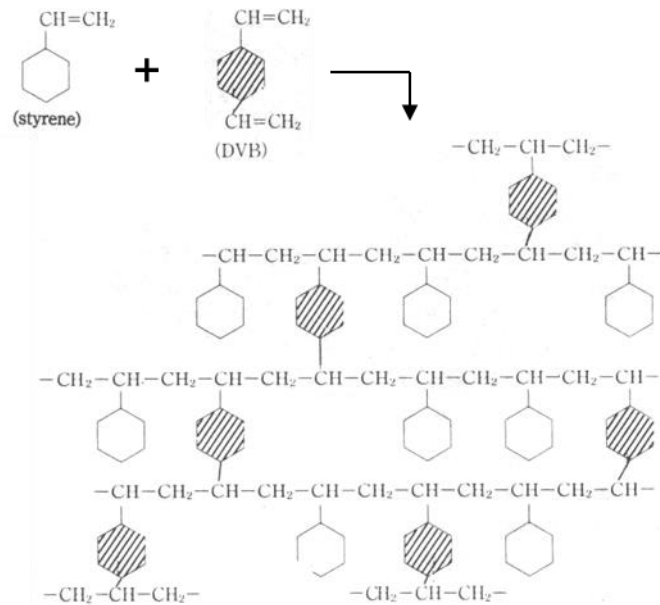
3) 이온교환수지의 제조 원리 및 구조

이온교환수지는 3 차원적으로 가교된 고분자 모체에 황산기와 암모늄기와 같은 교환기를 도입하여 만들어진다. 일반적인 고분자 모체는 Styrene Monomer 와 DVB Monomer 의 공중합체 형태로 만들어지며, 일반적인 사이즈는 0.3~1.2mm 정도 이다.

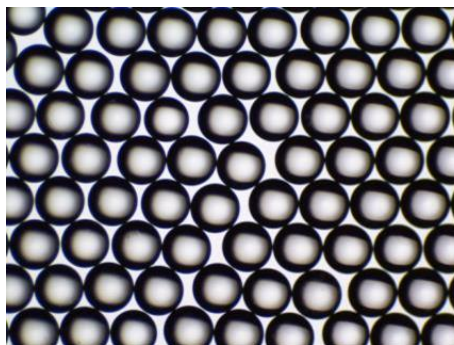


이온교환수지를 구성하는 중합체는 물리화학적으로 안정해야 하며, 이 목적을 위하여 가교제

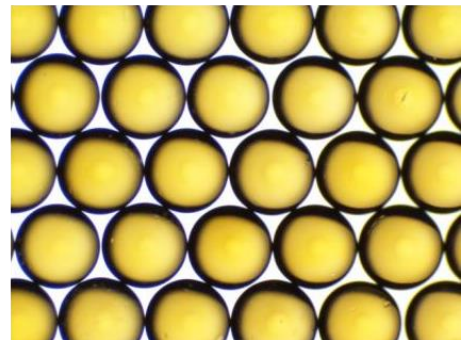
(Crosslinkage agents)인 DVB를 사용한다.



실제 중합 Polymer에서 후처리를 통하여 교환기를 부여하는 공정에서 일반적으로 부피가 증가하며 균일계 수지 실제 사례는 아래와 같다.

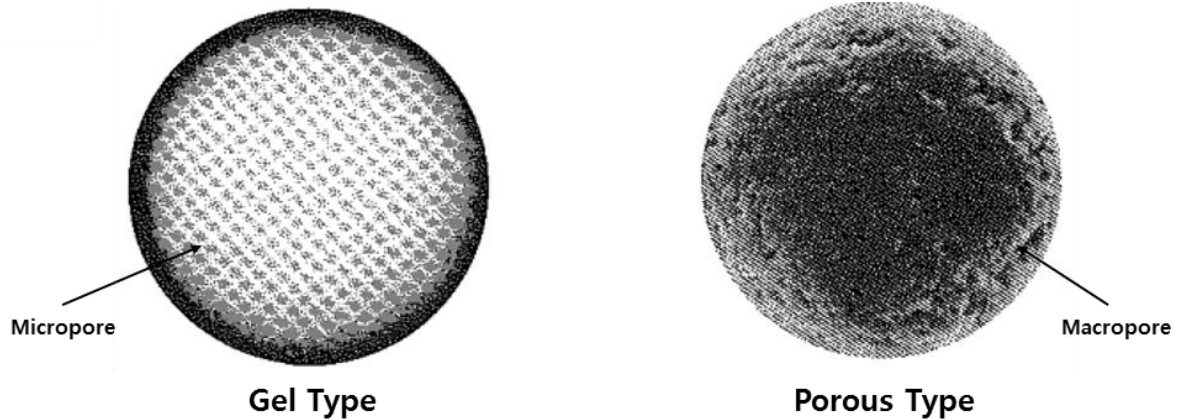


**Uniform particle sized polymer
(No functional group)
(0.2~0.3mm)**

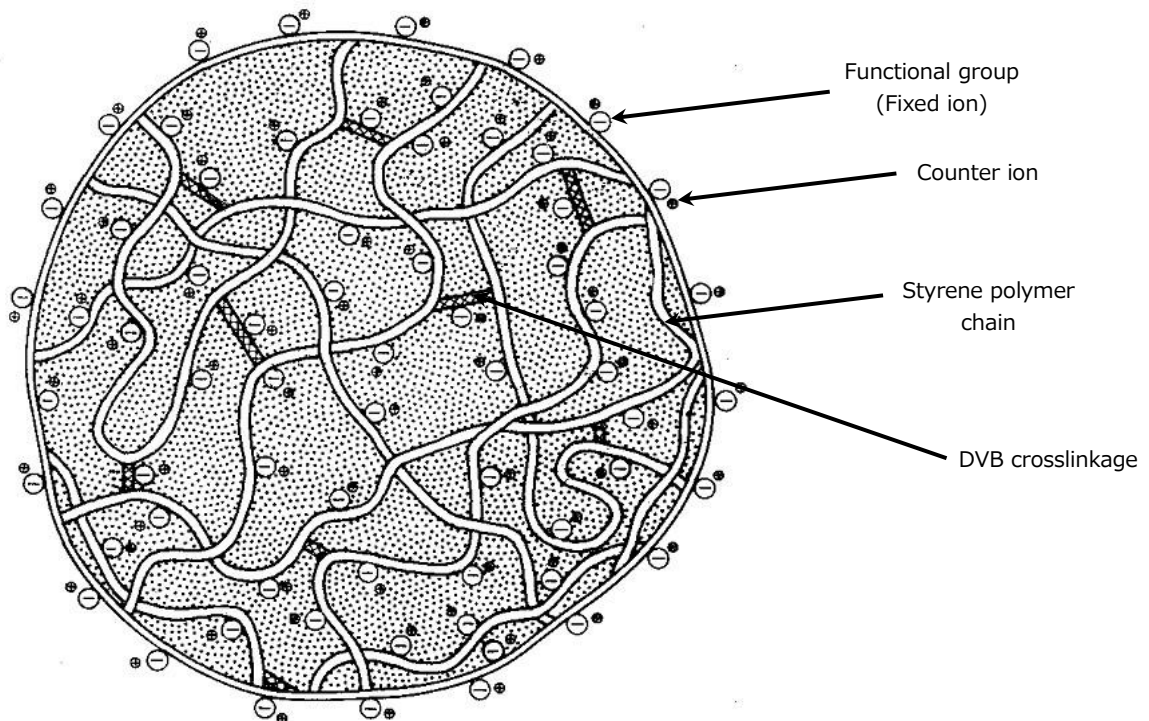


**Uniform particle sized IER
(Functional group)
(0.5~0.6mm)**

이온교환수지의 외관을 보면 매끈해 보이지만 현미경으로 확대해서 관찰하면 실제 표면에 Micropore, Macropore 등이 존재하는 것을 확인할 수 있다.



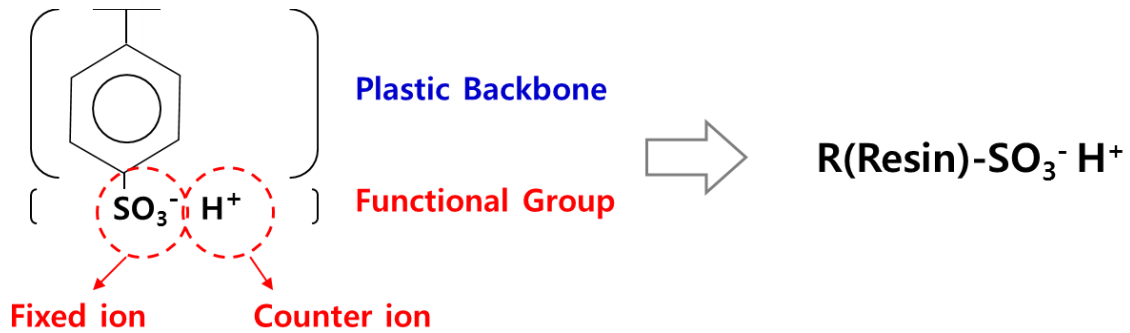
이온교환수지는 외부에만 교환기가 있는 것이 아니라 내부에 더 많은 교환기를 보유하고 있어 부피당 높은 교환용량을 가지고 있으며 구조적인 모델은 아래와 같다.



황산기($-\text{SO}_3^-$)나 암모늄기($\equiv\text{N}^+$)와 같은 교환기를 "Fixed ion"이라고 하는데, 그 이유는 화학적으로 고분자 모체에 고정되어 있기 때문이다. 반면에 Fixed ion 과 만나 전기적 중성을 띄며 이동 가능한 이온을 "Counter ion"라고 한다.

4) 이온교환 반응 Mechanism

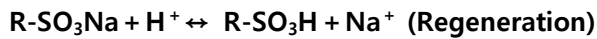
이온교환수지의 Simple model 은 아래와 같다. (강산성 양이온교환수지)



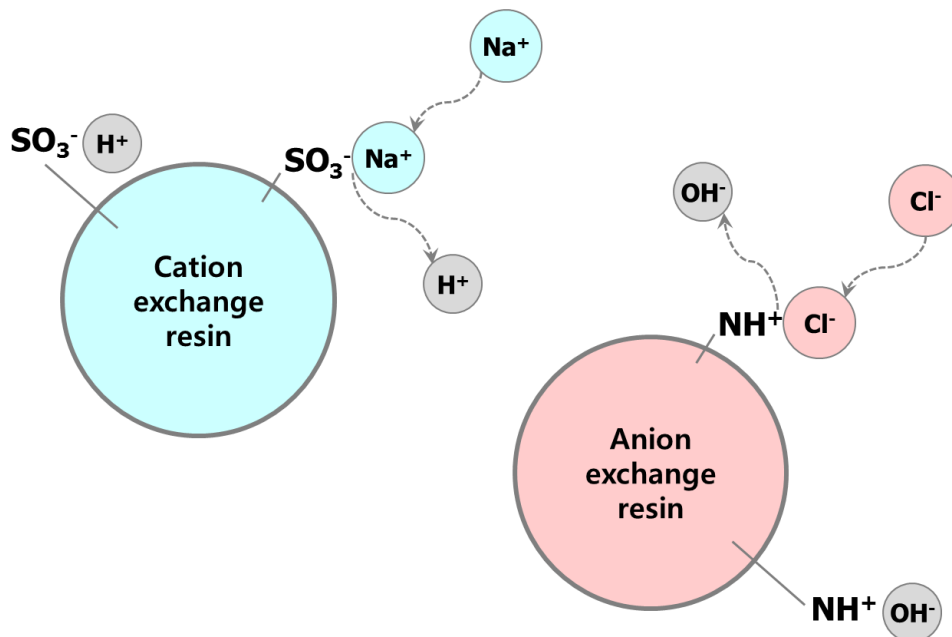
강산성 양이온교환수지의 반응 Mechanism 을 사례로 들면 아래와 같다.



이온교환수지의 반응은 가역반응(Reversible reaction)이기 때문에 농도가 높은 쪽에서 반대편으로 반응이 이루어 진다. 이러한 원리로 상기 사례와 같이 Target ion 인 Na 이온을 제거한 후, 재생 공정을 통하여 재사용할 수 있는 이온형으로 변환이 가능하다.



반응 Mechanism 을 이미지화하면 아래와 같다.







5. 이온교환수지의 종류

1) 이온교환수지 구분의 기준

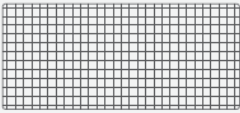
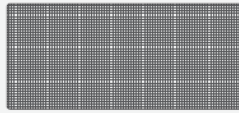
입자 크기, 분포, 가교도, 다공성, 교환기, 다양한 후처리에 따라 이온교환수지는 다양한 종류가 있으며 다양한 Application에 대응이 가능하다.

입자 크기, 입도 분포, 균일계수



<ul style="list-style-type: none"> Gaussian (일반수지) (0.3 ~ 1.2mm) 	<ul style="list-style-type: none"> Gaussian L-type (L) (0.425 ~ 1.2mm) 	<ul style="list-style-type: none"> UPS (균일계수지) (0.5 ~ 0.6mm) 	<ul style="list-style-type: none"> 크로마토그래피 (0.2 ~ 0.3mm) 
---	---	--	---

※ UPS : Uniform Particle Sized

가교도

<ul style="list-style-type: none"> 저가교도 (가교도 낮음) 	<ul style="list-style-type: none"> 고가교도 (가교도 높음) 
---	--

세공성

<ul style="list-style-type: none"> Gel type (Micropore)  <p>Micropore <100Å</p>	<ul style="list-style-type: none"> Porous type (Macropore)  <p>Macropore 10Å<, <1000Å</p>
---	---

교환기

양이온 Cation	음이온 Anion	특수품 Specialty	불활성 Inert
강산성 SAC Strongly acidic cation	강염기성 SBA Strongly basic anion	킬레이트 Chelating resins	팩베드 For packed bed system
약산성 WAC Weakly acidic cation	약염기성 WBA Weakly basic anion	합성흡착제 Synthetic adsorbents	혼상탐용 For mixed bed polisher

추가 후처리 / 주문품

초순수 UPW	혼합 Pre-mixed 건조 Dry	촉매 Catalyst	핵산 Nucleic acid 라이신 Lysine 전분당 Starch Sugar 등
---------	---------------------	-------------	---

2) 입도 분포에 따른 종류 (균일계 수지와 비균일계 수지)

균일계수는 입자의 균일함을 정도로 표현한 것으로 1과 가까울수록 더 균일해진다.

종래의 이온교환수지 생산 방법은 현탁 중합(Suspension polymerization)할 때 교반을 하면서 생산하여 입도 분포가 0.3~1.2mm 사이의 Gaussian 분포와 비슷한 경향을 보인다고 하여 Gaussian 수지라고 불리우기도 하고 균일계수가 1.6이하가 일반적이다.

TRILITE 균일계 수지(Uniform particle sized resin)는 중합 시 액적발생기(Droplet generator)를 이용하여 균일하게 성형을 하면서 중합을 하기 때문에 균일계수 1.1이하의 매우 균일한 입자의 생산이 가능하다.

균일계 수지는 Packed bed system 등과 같은 최신 수처리 설비에 최적화된 이온교환수지로서 입자가 매우 균일하여 반응이 균일하게 이루어짐에 따라 이온교환수지층(Ion exchange resin bed)을 더 효율적으로 활용하게 해 주고, 빠른 유속에도 운전 교환용량이 높아 높은 생산성이 실현 가능하다.

또한 장시간 사용을 해도 차압(ΔP) 상승 및 Channeling 현상이 적어 운전 Trouble이 적은 편이고, 물리화학적으로 매우 안정하여 가혹한 환경에서도 안정적인 Performance 및 Long life time 구현이 가능하다.

기존 이온교환수지 생산 방식



균일계 이온교환수지 생산 방식



3) 가교도에 따른 종류 (저가교도, 고가교도 수지)

이온교환수지의 내부 구조는 불규칙한 길이와 간격으로 DVB(Divinylbenzene)에 의해 신축성 있는 Polystyrene 사슬이 복잡한 3 차원적 구조로 가교 된 모습이다.

Styrene 대비 DVB 의 비율에 따라 가교도가 달라진다. 중합 시 DVB 의 양이 증가하면 이온 교환수지의 모체에 사슬 가지가 증가하므로 더 촘촘한 망 형태를 갖는다. 반면에 DVB 의 양이 감소하면 망의 밀집도가 떨어진다.

가교도는 DVB%라고도 하며 이온교환수지의 특성을 결정하는 중요한 Factor이다.

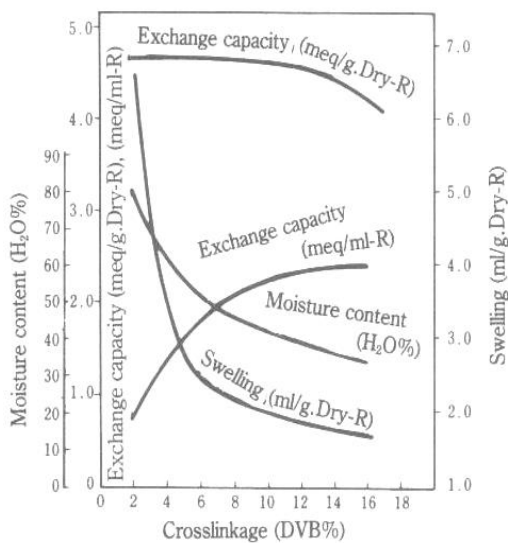
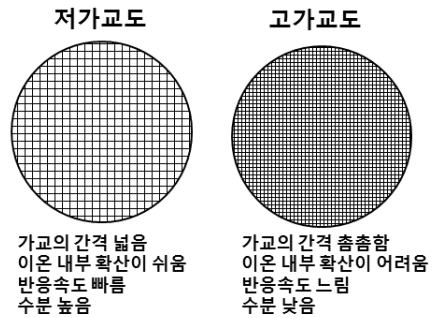
이온교환수지에는 Micropore가 존재하고 그 속으로 이온이 확산되어 교환될 수 있다. 가교도가 높을수록 Micropore는 작아지고 이온이 그 안에서 확산 하는 것은 더 어려워진다.

저가교도 이온교환수지에서 Micropore는 커지고 이온 확산이 쉽지만 너무 가교도가 낮아지면 물리화학적으로 약해서 이온교환수지로 사용하기 어렵다. 때문에 가교도 8% 정도가 표준 가교도수지로서 많이 사용되고 있다.

이러한 표준 가교도 수지보다 낮은 경우 저가교도 수지, 높은 경우 고가교도 수지로 칭하고 가교도에 따른 주요 이온교환수지 특성 변화는 아래와 같다.

$$\text{가교도(DVB\%)} = \frac{\text{DVB사용량}}{\text{STM사용량} + \text{DVB사용량}} \times 100$$

구분	저(低)가교도	고(高)가교도
반응속도	빠름	느림
재생효율	높음	낮음
탈염 시 Leakage	높음	낮음
대분자이온교환성	양호	불량
내산화성	불량	양호
내유기오염성	양호	불량



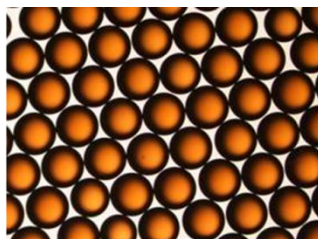
왼쪽 그림은 가교도가 이온교환수지 특성에 미치는 영향을 정리한 것으로,

가교도가 높을수록 부피당 교환용량은 증가하고 수분은 감소하고 팽창율도 감소하는 것을 확인할 수 있다.

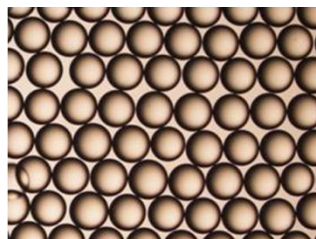
가교도를 변화시켜 다양한 이온교환수지 개발 및 다양한 Application 개발이 가능하다.

4) 다공성(Porosity)에 따른 종류 (Gel type, Porous type 수지)

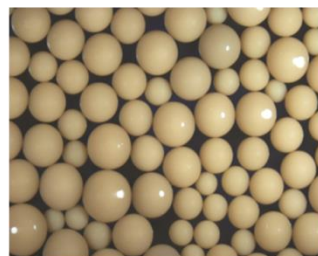
일반적인 이온교환수지는 Gel type이지만 특수한 생산방법을 통하여 다공성을 강화한 Porous type(또는 Macroporous) 이온교환수지 생산이 가능하다.



Gel Type



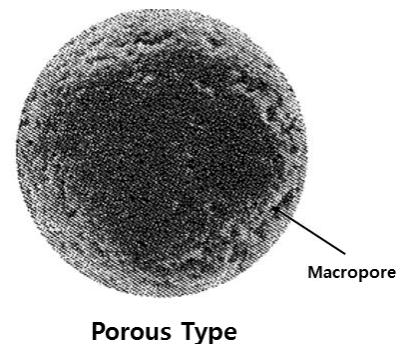
Gel Type



Porous Type



Porous Type



Porous Type

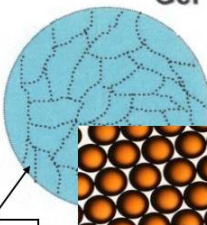
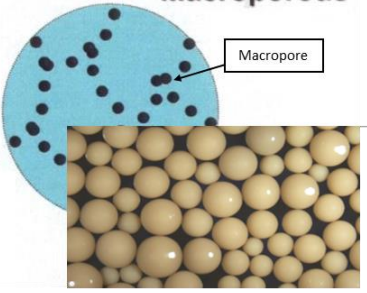
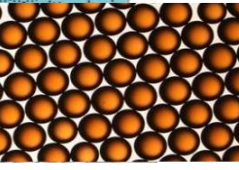

Porous type 이온교환수지의 화학구조는 Gel type과 같지만 모체는 표면에 아주 많은 구멍을 가지고 있으며 그 비표면적(Surface area)이 Gel type보다 매우 크다.

Porous type 이온교환수지의 세공은 Micropore와 구별하기 위하여 일반적으로 Macropore라 부른다. 이온교환은 이온교환수지의 Micropore에서 이온 확산에 의해 시작된다. 하지만 건조 상태나 비극성 용매 속에서는 이 Micropore가 수축하여 소실되므로, 이온교환은 이온교환수지의 표면에서만 진행된다. 따라서 건조상태나 비극성 용매 속에서는 비표면적이 작은 Gel type 이온교환수지는 실질적인 기능을 잃지만, Porous type 이온교환수지는 비극성 용매 속에서도 Macropore를 소실하지 않고 비표면적도 크므로 효과적으로 이온교환을 할 수 있다.

또한 Porous type 수지는 Gel type보다 반응속도, 탈색성이 뛰어나고 내유기오염성, 팽윤 강도와 수축 강도가 높은 특징을 지니지만, 내부에 더 많은 수분 때문에 교환능력이 떨어진다.

동일한 가교도의 Gel type에 대한 Porous type을 비교하여 다음과 같이 정리하였다.

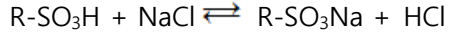
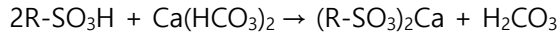
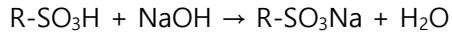
- ① 수분 : 높다 (Macropore의 수분 때문)
- ② 부피당 교환용량 : 낮다 (Macropore의 빈 부피 때문)
- ③ 질량당 교환용량 : 같거나 조금 높다
- ④ 이온교환 속도 : 가교도가 높은 이온교환수지에서 특히 빨라진다
- ⑤ 탈색성 : 활성표면이 크므로 탈색성은 향상된다
- ⑥ 내유기오염성 : 활성표면이 크므로 내유기오염성이 향상된다
- ⑦ 팽윤 및 수축강도 : Macropore 부분이 용적변화의 충격에 대해 완충역할을 하므로 팽윤 및 수축강도가 향상된다

	Gel type	Porous type
Structure		
Appearance		
Porosity	Micropore	Micropore + Macropore
Operating temperature	High	Very high
Resistance to organic fouling	Low	High
Reaction rate	Fast	Very fast

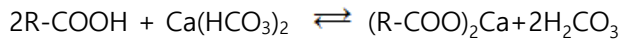
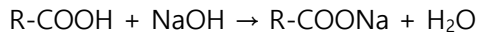
5) 교환기에 따른 종류 (강산성/약산성, 강염기성/약염기성 수지 등)

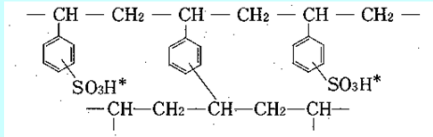
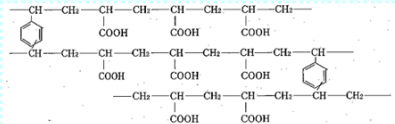
① 양이온교환수지 (강산성/약산성)

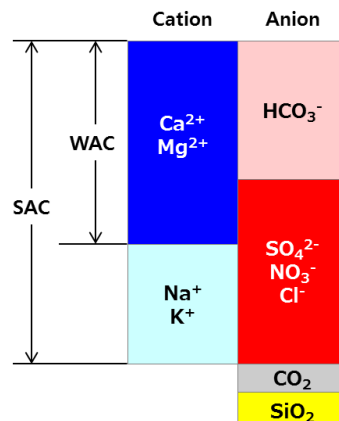
강산성 양이온교환수지는 교환기로 황산기를 사용하며 중성염 분해능력(Salt splitting capacity)가 있어 전 pH범위에서 양이온을 교환할 수 있으며 가장 폭넓게 사용 된다.



약산성 양이온교환수지는 교환기로 카르복실기(-COOH)를 사용하고 약산성이고 중성염 분해능력이 없어 산성 용액 속에서는 해리 되지 않고 이온교환 능력이 없다. 이온교환이 가능한 pH 범위는 5~14이나, 강산성 양이온교환수지에 비해 재생하기 쉽고 교환용량이 큰 것이 특징인 반면 교환한 이온을 놓치기 쉬워서 강산성 양이온교환수지와 조합하여 사용하거나 특수 용도에 사용된다.



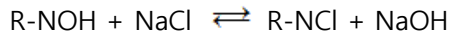
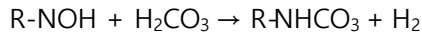
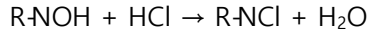
	SAC(Strongly Acidic Cation exchange resin)		WAC(Weakly Acidic Cation exchange resin)	
Grade	Type	Grade name	Type	Grade name
	Gaussian Gel Type	SCR-B, ..	Gaussian Porous Type	WCA10L, ..
	Gaussian Porous Type	CMP08, ..		
	UPS Gel Type	MC-08, ..		
Functional group	<div><p>R-SO₃H (Sulfonate)</p></div>		<div><p>R-COOH (Carboxylate)</p></div>	
Operating pH	1~14		5~14	
Exchange capacity	High (1.2~2.5eq/ℓ)		Very high (4.2eq/ℓ)	
Regeneration efficiency	Normal		High	
Ion leakage	Very low		Low (Higher than SAC)	
Volume change	H type > Na, Ca, .. type		H type << Ca, Mg .. type	



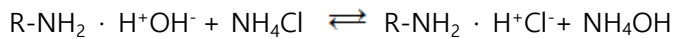
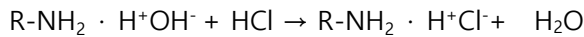
② 음이온교환수지 (강염기성/약염기성)

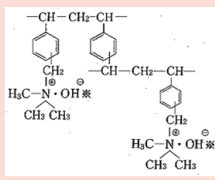
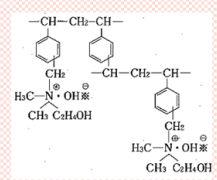
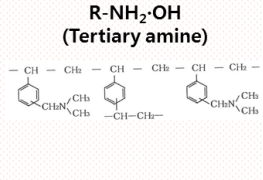
강염기성 음이온교환수지는 2가지 Type이 있으며, Type1은 TMA(Trimethylamine)를 교환기로 사용하고, Type2는 DMEA(Dimethylethanolamine)를 교환기로 사용하여 모두 강염기성이고 중성염 분해능력이 있어 전 pH범위에서 음이온을 교환할 수 있으며 가장 폭넓게 사용 된다.

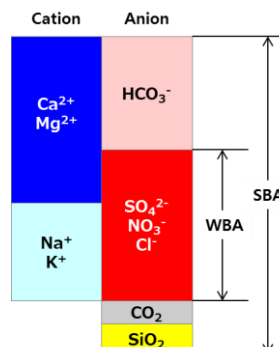
Type1보다 Type2의 염기도가 더 낮아 좀 더 재생되기 쉬우나, Ion leakage는 Type1이 Type2에 비하여 낮다.



약염기성 음이온교환수지는 교환기로 Tertiary amine을 사용하여 약염기성이고 중성염 분해능력이 없어 염기성 용액 속에서는 해리 되지 않고 이온교환 능력이 없다. 이온교환이 가능한 pH 범위는 1~9이나, 강염기성 음이온교환수지에 비해 재생하기 쉽고 교환용량이 큰 것이 특징인 반면 교환한 이온을 놓치기 쉬워서 강염기성 음이온교환수지와 조합하여 사용하거나 특수 용도에 사용된다.



SBA(Strongly Basic Anion exchange resin)				WBA(Weakly Basic Anion exchange resin)		
Grade	Type1		Type2		UPS Porous Type	AW90, ..
	Type	Grade name	Type	Grade name		
	Gaussian Gel Type	SAR10, ..	Gaussian Gel Type	SAR20, ..		
	Gaussian Porous Type	AMP16, ..	Gaussian Porous Type	AMP26, ..		
	UPS Gel Type	MA-12, ..	UPS Gel Type	MA-20, ..		
Functional group	R-N-OH (TMA) 		R-N-OH (DMEA) 		R-NH2·OH (Tertiary amine) 	
Operating pH	1~14				1~9	
Exchange capacity	High (1.0~1.5eq/l)				Very high (1.5~2.5eq/l)	
Regeneration efficiency	Good		Good (Better than type1)		Better	
Ion leakage	Very low		Very Low (Higher than type1)		Low	
Volume change	OH type > Cl, SO4, .. type				OH type << SO4, .. type	



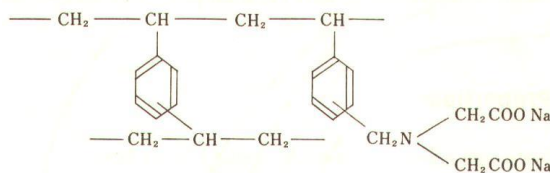
③ 킬레이트수지

킬레이트수지(Chelating resin)는 금속 이온과 킬레이트를 형성할 수 있는 관능기(Functional group)를 가지고 있는 수지로서 일반적인 이온교환수지보다 금속 이온에 대하여 높은 선택도를 가지고 있어 선택적으로 특정 금속 이온을 교환할 수 있다.

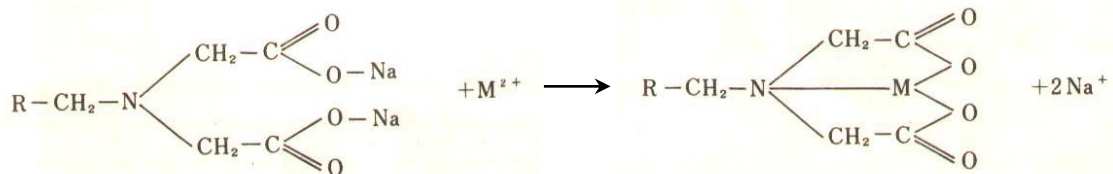
킬레이트수지는 교환기에 따라서 아래와 같이 분류된다.

Functional group	Grade name	Application
Iminodiacetate	CLR-08	Secondary brine purification, Wastewater treatment
Aminophosphonate	CLR-09	Secondary brine purification, Wastewater treatment
Thiuronium	CLR-10	Mercury removal
Polyamine	CLR-20	Heavy metal removal
Glucamine	CLR-B3	Boron removal
Aminophosphonate	CLR-F	Fluoride removal
Triethylamine	CLR-N	Nitrate removal

이미노다이아세테이트(Iminodiacetate)를 관능기로 사용하는 CLR-08의 분자식은 아래와 같다.



CLR-08은 중금속과 킬레이트 본드를 형성하며 이온 흡착 Mechanism은 다음과 같다.



CLR-08은 다가 이온(Multivalent ion)에 대한 선택성이 매우 크며 그 선택성은 EDTA와 유사하다. $\text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cd} > \text{Zn} > \text{Co} > \text{Mn} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{Ba} > \text{Sr} > > > \text{Na}$

6. 이온교환수지의 특성

1) 교환용량(Exchange capacity)

이온교환수지의 이온교환 능력치를 측정한 것으로 단위는 다음과 같다.

- 단위 부피당 당량(Equivalent) : eq/l-wet resin
- 단위 중량당 당량 : eq/g-dry Resin

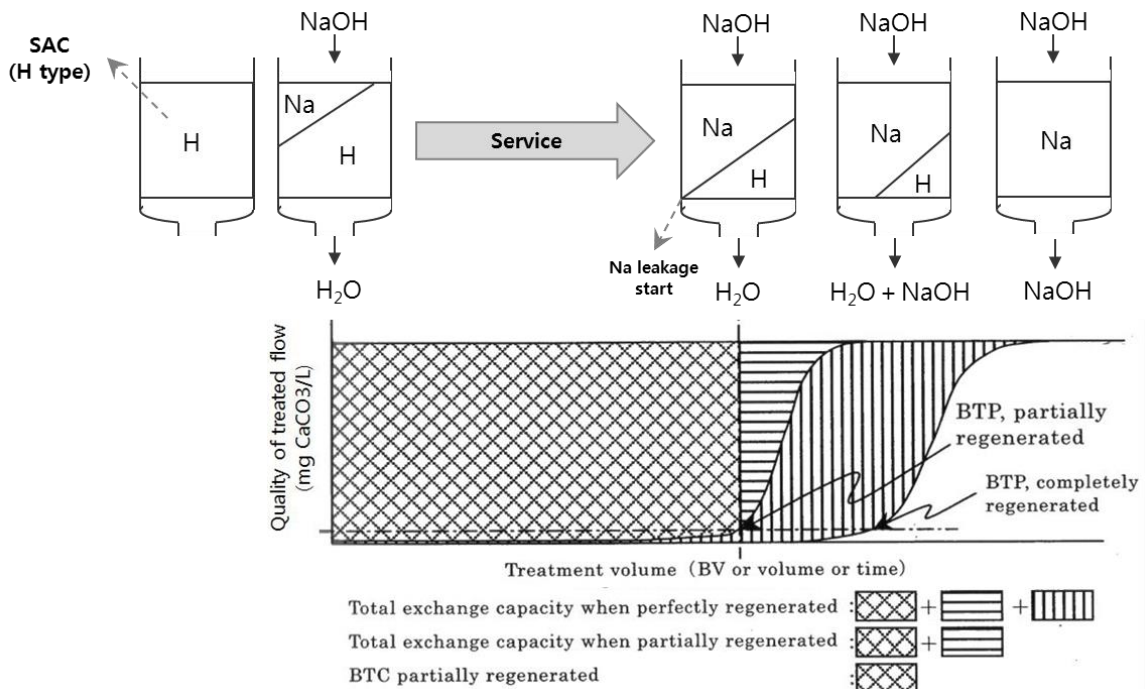
일반적으로 이온교환수지의 Specification에 표시되어 있는 교환능력은 전교환용량(Total exchange capacity)이고 교환용량 관련하여 용어 정의는 아래와 같다.

전교환용량 (Total Exchange Capacity)	이온교환수지 교환기의 총량
중성염분해교환용량 (Neutral Salt Splitting Exchange Capacity)	강산성/강염기성 음이온 교환수지는 NaCl 과 같은 중성염을 분해하고 이온교환을 할 수 있다. 이 교환되는 양을 "중성염분해교환용량" 이라고 한다
약산성/약염기성 교환용량 (Weak Cation/Anion Exchange Capacity)	약산성 양이온 교환수지와 약염기성 음이온 교환수지는 중성염을 분해할 수 없으므로 NaOH 나 HCl 과 같은 알칼리와 산의 흡수된 정도로 교환용량을 구할 수 있다

결국 강산성/강염기성 이온교환수지는, "전교환용량 = 중성염분해교환용량" 이 되고, 약산성/약염기성 이온교환수지는, "전교환용량 = 중성염분해교환용량 + 약산성/약염기성 교환용량" 이 된다.

실제 이온교환수지를 사용하는 데 참고가 되는 교환용량은 운전교환용량(Operating exchange capacity)이고 이는 관류교환용량(Break through capacity)라고도 한다.

- 관류점(BTP, Break Through Point) : Target 이온이 누출되기 시작하는 지점
- 관류교환용량 or 운전교환용량 : 관류점까지 교환된 이온의 전체량을 나타내며 실질적인 교환용량을 의미하고 이온교환수지 장치를 설계하는 기초 Data가 된다.



2) 수분(Moisture retention)

이온교환수지는 적정 수준의 수분을 포함하고 있어야 하며 비정상적인 수분의 증가 (이온교환수지의 산화) 및 감소 (이온교환수지의 건조)는 이온교환수지 성능에 직결된다. 따라서 이온교환수지는 적절한 포장 및 보관을 통하여 적정한 수분이 보존되어야 하고 사용하면서 가급적 산화성 물질(Free chlorine 등)과 접촉을 피해야 한다.

이온교환수지의 수분은 가교도와 관계가 있는데 일반적으로 가교도가 높으면 분자구조가 치밀해지기 때문에 수분이 감소하는 경향이 있다.

항목	단위	MC-04	MC-08	MC-10	MC-14
가교도	%	4	8	10	14
수분	%	57~67	43~49	38~44	31~37

3) 진비중(Specific gravity)과 겉보기밀도(Apparent density)

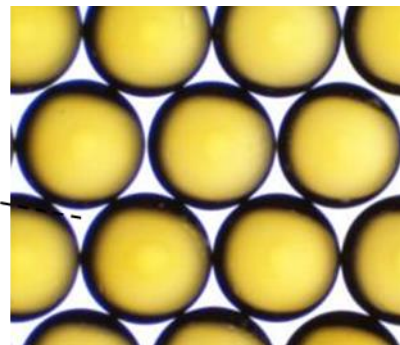
이온교환수지의 진비중은 이온교환수지 층의 공극을 무시한 부피를 기준으로 한 비중이고, 겉보기밀도는 이온교환수지 층의 공극을 포함한 부피를 기준으로 한 비중으로 제품 포장 시 기준이 된다.

이온교환수지의 진비중 및 겉보기밀도는 가교도와 관계가 있는데 일반적으로 가교도가 높으면 분자구조가 치밀해지기 때문에 진비중 및 겉보기밀도가 증가하는 경향이 있으며 이온교환수지가 산화가 되면 신품 수지 대비하여 진비중 및 겉보기밀도가 감소하는 경향이 있다.

항목	단위	MC-04	MC-08	MC-10	MC-14
가교도	%	4	8	10	14
진비중 (Specific gravity)	g/l	1.16	1.29	1.32	1.39
겉보기밀도 (Apparent density)	g/l	770~810	825~865	830~870	845~885

예를 들어 MC-08의 겉보기밀도 분석결과가 830g/l일 경우 25l Bag 포장 시 기준 무게는 $830\text{g/l} \div 25\text{l} = 20.75\text{kg}$ 가 된다.

공극
(孔隙, Void) ←



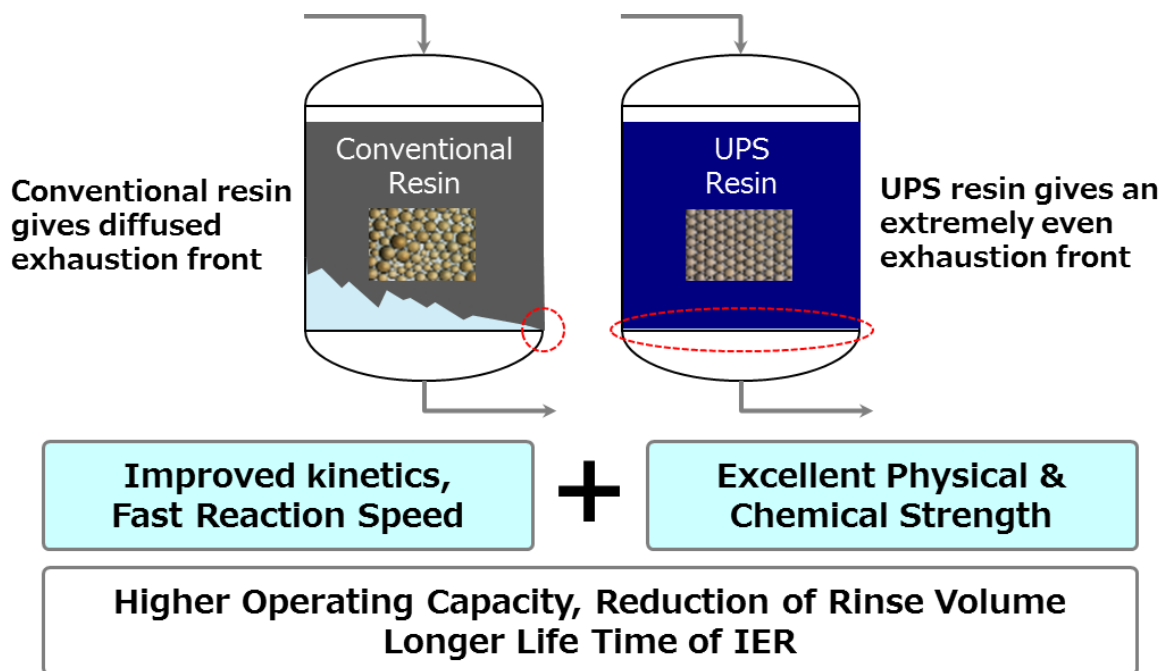
4) 입자 크기(Particle size) 및 균일계수(Uniformity coefficient)

이온교환수지의 입자 크기는 물리적 강도, 반응 속도, 통액성에 다양한 영향을 미친다.

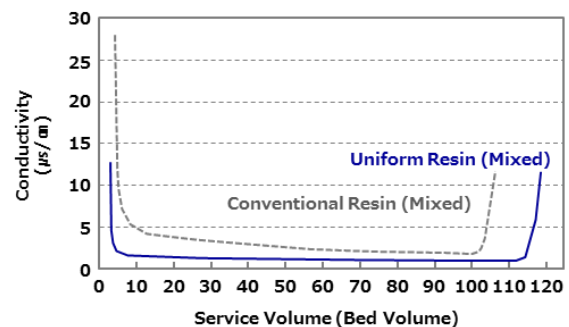
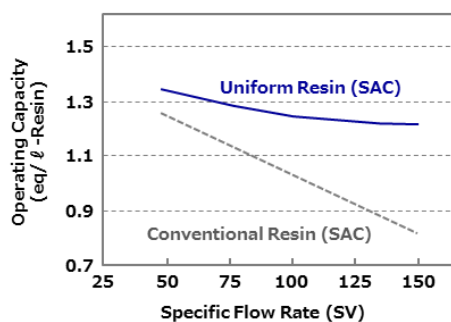
구분	소립자	대립자
물리적강도	좋음	보통
반응속도	매우 빠름	빠름
통액성	나쁨	좋음

0.3~1.2mm 다양한 사이즈로 구성된 비균일계 이온교환수지의 경우 입자 크기의 차이에 의하여 불균일한 반응 속도가 나타나게 되고, 대립자의 경우 물리적 강도가 약하여 파쇄가 촉진될 수 있다.

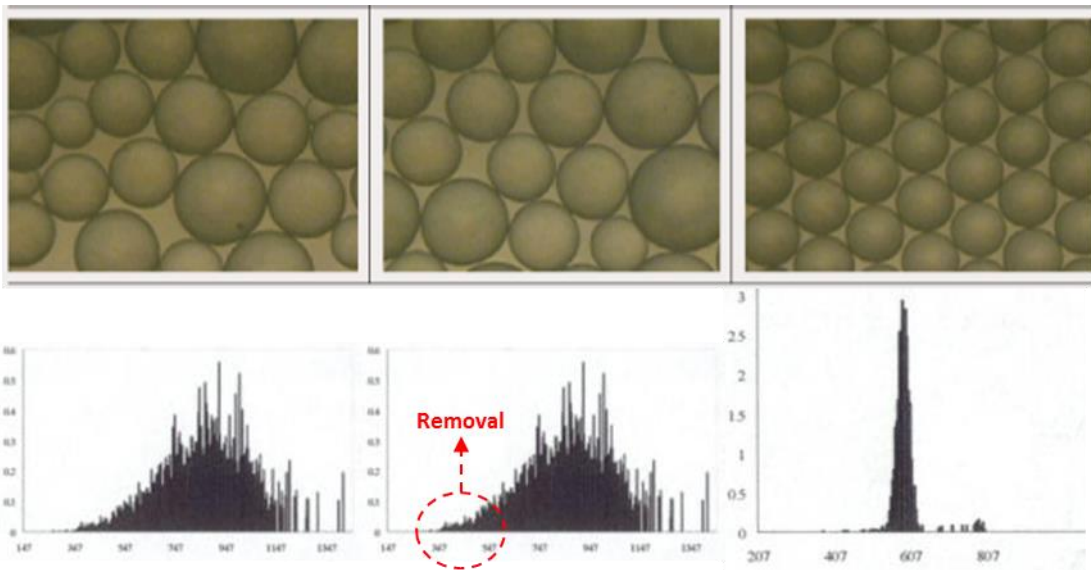
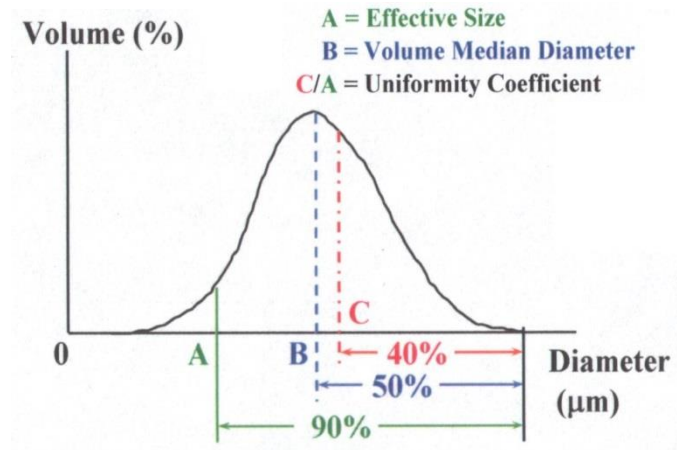
반면 균일계 수지의 경우 입자 크기가 일정하여 균일한 반응이 이루어져 이온교환수지층을 효과적으로 사용하는 것이 가능하고, 물리적 강도 및 통액성을 고려한 최적의 사이즈로 생산되어 최근 각광 받고 있다.



“Lower Running Cost and Capital Expenditure”



균일계수는 이온교환수지의 균일함의 정도를 나타내는 척도로서 값이 낮을수록 더 균일함을 나타내고, 일반 비균일계 이온교환수지의 경우 1.6이하, L-type의 경우 1.4이하, 균일계수지의 경우 1.1이하를 나타내는 것이 일반적이다.

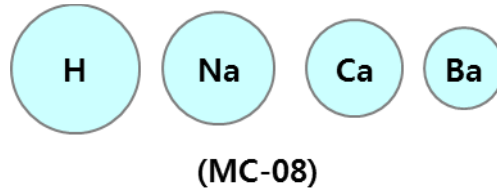


Gaussian Resin	Gaussian Resin L-Type	Uniform Particle Sized Resin
0.3~1.2mm (UC 1.6 ↓)	0.425~1.2mm (UC 1.4 ↓)	0.5~0.6mm (UC 1.1 ↓)

5) 팽윤도(Swelling rate)

이온교환수지의 부피는 이온교환수지의 이온형에 따라 변화한다. 이온교환수지와 결합하는 Counter Ion 및 이온교환수지의 가교도에 따라 다르며 이온교환수지의 필수적인 성질이기에 때문에 장치 설계를 할 때 반드시 고려해야 한다.

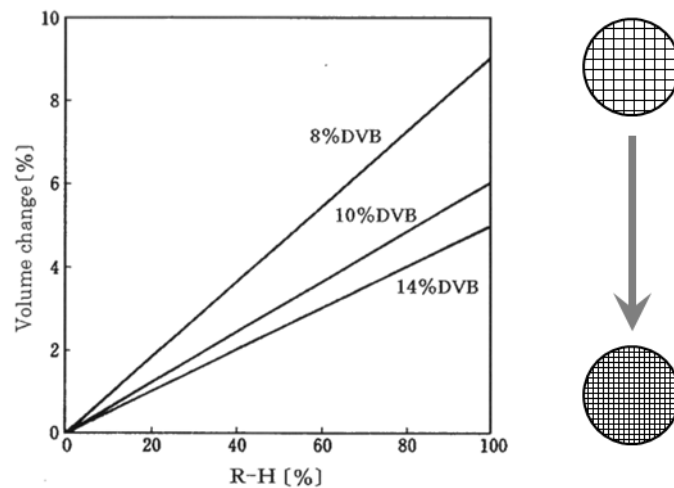
이온형과 팽윤도의 관계는 아래와 같다.



주요 제품의 이온형에 따른 팽윤도는 다음과 같다.

항목	MC-08 (SAC)	MA-10 (SBA type1)	MA-20 (SBA type2)	WCA10L (WAC)	AW90 (WBA)
팽윤도 (Na 형→H 형)	8%				
팽윤도 (Cl 형→OH 형)		24%	14%		
팽윤도 (H 형→Na 형)				60%	
팽윤도 (FB 형→Cl 형)					20%

가교도가 클수록 팽윤도가 낮아진다. 가교도와 팽윤도의 관계는 다음과 같다.



6) 운전온도(Operating temperature)

이온교환수지 모체는 열경화성 수지로서 내열성이 400℃이상으로 매우 안정하나 교환기가 분해되므로 적정 운전온도를 준수해야 한다.

양이온교환수지의 교환기는 비교적 높은 온도에도 안정하여 일반적으로 120℃ 까지 운전해도 문제가 없으나 음이온교환수지는 불안정하여 40~80℃ 정도로 운전하는 것이 일반적이다.

주요 제품의 운전온도는 다음과 같다.

항목	MC-08 (SAC)	MA-10 (SBA type1)		MA-20 (SBA type2)		WCA10L (WAC)	AW90 (WBA)
		OH 형	Cl 형	OH 형	Cl 형		
운전온도	120°C ↓	60°C ↓	80°C ↓	40°C ↓	60°C ↓	120°C ↓	60°C ↓

7) 이온 선택성(Selectivity)

이온교환수지는 이온에 따라서 다양한 선택성을 나타낸다. 이 성질을 이용하여 여러 이온이 혼재되어 있는 상태에서 특정 이온을 분리 할 수도 있으며 선택성을 이해하지 않으면 이온교환수지 장치의 효율성이 매우 저하되는 원인이 되기도 한다.

이온교환수지와 이온의 선택성의 관계를 이온의 선택계수(Selectivity coefficient)로 표현하며, 선택계수가 크면 그 이온에 대한 높은 선택성을 나타낸다.

이온의 선택성을 정리하면 다음과 같은 경향을 보인다.

- ① 강산성 양이온교환수지의 경우 원자가가 높은 이온의 선택성이 높다

($\text{Na}^+ < \text{Ca}^{2+} < \text{Al}^{3+} < \text{Th}^{4+}$) 같은 원자가의 경우 원자번호가 더 높은 경우 선택성이 크나 그 차이는 원자가의 차이보다 크지 않다.

($\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{Rb}^+ < \text{Cs}^+$; $\text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Sr}^{2+} < \text{Ba}^{2+}$)

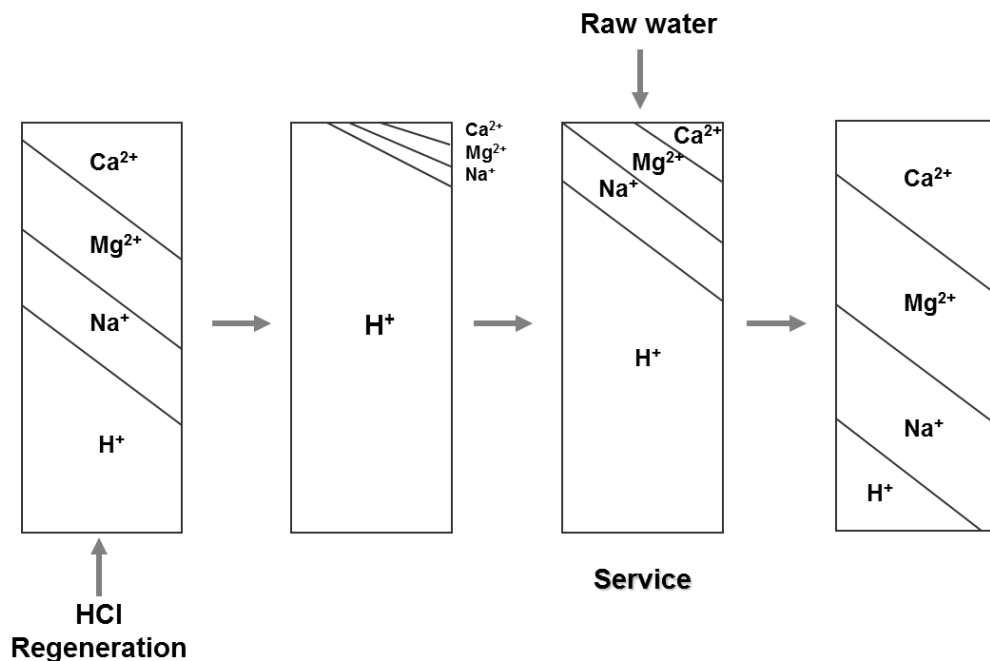
- ② 선택성의 낮은 이온이라도 이온의 농도가 커지면 선택성이 높은 이온보다 흡착이 잘 이루어질 수 있다.

- ③ 음이온교환수지의 선택성은 다음과 같다

$\text{Citrate} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Oxalate} > \text{I}^- > \text{NO}_3^- > \text{CrO}_4^{2-} > \text{Br}^- > \text{SCN}^- > \text{Cl}^- > \text{Formate} > \text{Acetate} > \text{F}^-$

수처리 시 이온의 선택성의 차이에 의하여 이온교환수지탑 내부에서 흡착대가 형성이 되며 향류재생방식의 순수장치에서는 이 흡착대의 원리를 이용하여 재생을 효율적으로 하며 고순도의 순수를 제조할 수 있다.

아래 그림은 양이온탑(Cation tower) 내부의 흡착대를 나타낸다.



강산성 양이온교환수지의 선택계수

Type of Ion	D.V.B.%			Type of Ion	D.V.B.%		
	4 %	8 %	16 %		4 %	8 %	16 %
Li ⁺	1.00	1.00	1.00	Co ²⁺	3.23	3.74	3.81
H ⁺	1.32	1.27	1.47	Cu ²⁺	3.29	3.85	4.46
Na ⁺	1.58	1.98	2.37	Cd ²⁺	3.37	3.88	4.95
NH ₄ ⁺	1.90	2.55	3.34	Mn ²⁺	3.42	4.09	4.91
K ⁺	2.27	2.90	4.50	Be ²⁺	3.43	3.99	6.23
Rb ⁺	2.46	3.16	4.62	Ni ²⁺	3.45	3.93	4.06
Cs ⁺	2.67	3.25	4.66	Ca ²⁺	4.15	5.16	7.27
Ag ⁺	4.73	8.51	22.9	Sr ²⁺	4.70	6.51	10.1
Te ²⁺	6.71	12.4	28.5	Pb ²⁺	6.56	9.91	18.0
UO ₂ ²⁺	2.36	2.45	3.34	Ba ²⁺	7.47	11.5	20.8
Mg ²⁺	2.95	3.29	3.51	Cr ²⁺	6.6	7.6	10.5
Zn ²⁺	3.13	3.47	3.78	Ce ²⁺	7.5	10.6	17.0
				La ²⁺	7.6	10.7	17.0

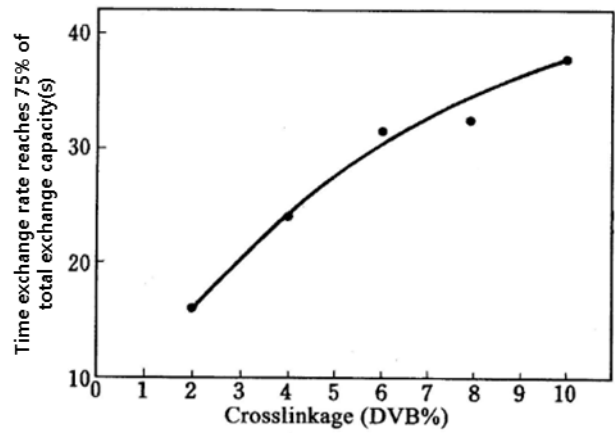
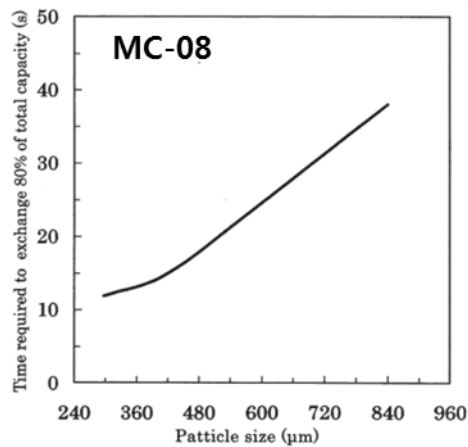
강염기성 음이온교환수지의 선택계수

Type of Ion	Selectivity Coefficient		Type of Ion	Selectivity Coefficient	
	Type1	Type2		Type1	Type2
Hydroxide	1.0	1.0	Cyanide	28	3
"Lignosulfonate"	800	120	Bisulfite	27	3
Benzenesulfonate	500	75	Bromate	27	3
Salicylate	450	65	Nitrite	24	3
Citrate	220	23	Chloride	22	2.3
Iodide	175	17	Bicarbonate	6.0	1.2
Phenate	110	27	Iodate	5.5	0.5
Bisulfate	85	15	Formate	4.6	0.5
Chlorate	74	12	Acetate	3.2	0.5
Nitrate	65	8	Propionate	2.6	0.3
Bromide	50	6	Fluoride	1.6	0.3

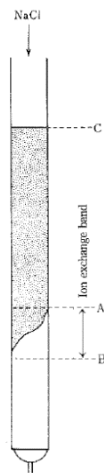
8) 반응속도(Reaction rate)

이온교환수지의 이온교환 반응속도는 입자크기가 작을수록 빠른 경향이 있으며, 가교도가 낮을수록 빠른 경향이 있다.

전체 교환용량의 75~80% 교환에 걸리는 반응시간이 입자의 크기 및 가교도에 따라 다르지만 10~40초 사이에 이루어 지는 것을 아래 그림에서 확인할 수 있다.

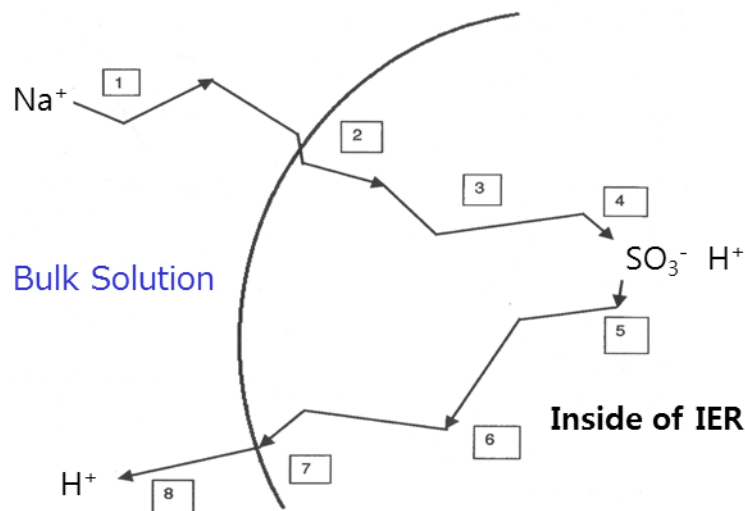


이온교환수지에서 이온교환 반응이 이루어지는 과정을 이미지화하면 다음과 같다.



강산성 양이온교환수지 H 형 Column 에 NaCl 수용액을
통액시키면 오른쪽과 같은 이온교환 반응이 이루어진다

- 1) Na^+ 이온이 수용액과 이온교환수지의 표면을 통해 지나간다
- 2~3) 이온교환수지의 Micropore 속으로 확산된다
- 4~5) 교환지점에서 이온교환 반응이 발생한다
- 6~8) Na^+ 이온과 교환된 H^+ 이온이 떨어져 나가
이온교환수지의 Micropore 로 이동하고 최종적으로
이온교환수지 표면에서 수용액으로 확산된다



상기 그림과 이온교환수지의 이온교환 반응은 이온교환수지 내부에 확산되어 이루어지는 부분이 더 많기 때문에 확산의 통로가 되는 Micropore가 오염 등에 의하여 막힐 경우 성능 저하가 발생하게 된다. 따라서 이온교환수지탑 전단에는 적절한 전처리가 필요하게 된다.

9) 재생효율(Efficiency of regeneration)

이온교환수지의 반응은 가역반응(Reversible reaction)이기 때문에 사용 후 재생하여 재사용할 수 있으며 일반적으로 양이온교환수지의 재생제로는 HCl, H₂SO₄ 등이 사용되고 음이온교환수지의 재생제로는 NaOH가 사용된다.

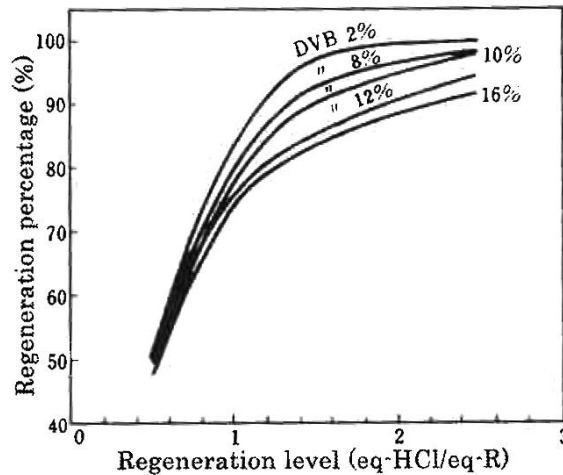
재생레벨(Regeneration level)은 이온교환수지 단위 부피(ℓ) 당 사용한 재생제의 양(g)으로서 재생제의 양을 100%로 환산하여 표시한다.

예를 들어, 이온교환수지 1,000ℓ에 35% HCl 143kg을 사용하여 재생하였을 때 재생레벨은 다음과 같다.

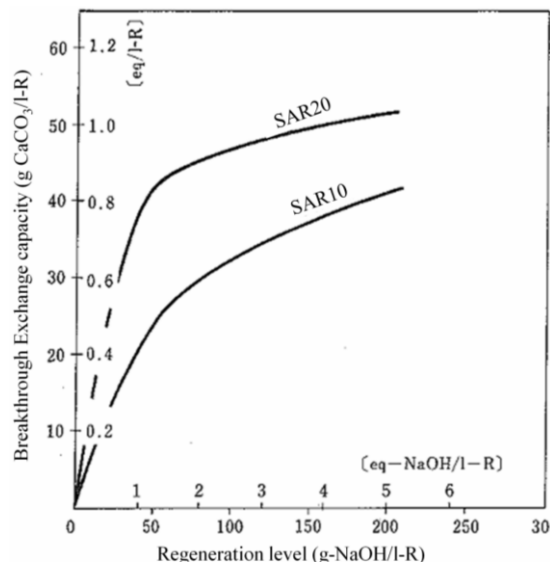
$$143\text{kg HCl} \times 0.35 \times 1,000(\text{g/kg}) / 1,000\ell\text{-Resin} = 50\text{g HCl}/\ell\text{-R}$$

이온교환수지의 재생효율은 재생제를 투입하였을 때 교환용량이 회복되는 효율을 나타낸 것으로, 관능기에 따라서는 강산성/강염기성 이온교환수지가 재생효율이 낮고, 약산성/약염기성 이온교환수지가 높은 편이다. 가교도에 따라서는 저가교도 수지가 높은 편이고 고가교도 수지가 낮은 편이다.

강산성 양이온교환수지의 가교도, 재생레벨, 재생 효율 관계는 아래와 같다.



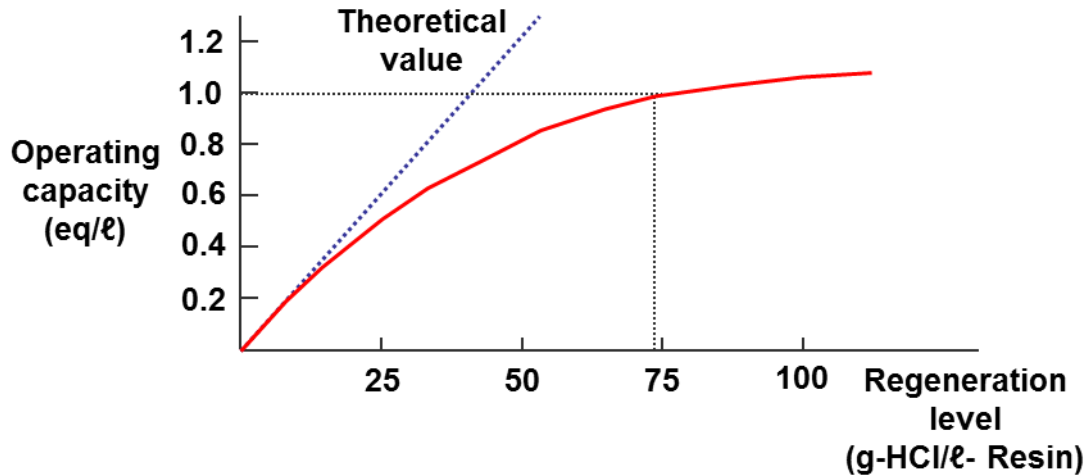
강염기성 음이온교환수지 중에서도 Type1(TMA를 교환기로 사용, SAR10, SAR12, MA-10, MA12, MA-15 등)과 Type2(DMEA를 교환기로 사용, SAR20, MA-20 등)가 있는 데, 아래 그림을 보면 Type1에 비하여 Type2가 재생효율이 더 좋은 것을 알 수 있다.



재생효율이 높다는 것은 이온 Leakage도 높다는 것을 의미하기 때문에 처리수의 수질에 따라 적절한 이온교환수지가 선택되어야 하고 재생제량을 절감하면서 처리 수질을 높이기 위하여 다양한 조합의 이온교환수지를 사용하는 것이 필요하다.

10) 이온교환수지의 부분재생(Partial regeneration)

이온교환수지의 반응은 가역반응(Reversible reaction)이기 때문에 재생레벨이 올라갈수록 이론적으로 회복이 기대되는 재생율에 비하여 점점 낮아지는 현상을 볼 수 있다.



재생레벨을 증가시키면 이에 따른 재생율(운전교환용량, Operating capacity)은 증가하지만 점차 투입한 재생제에 비하여 올라가는 운전교환용량이 낮아지므로 재생효율이 나빠지게 된다. 따라서 재생레벨은 어느 정도 재생효율을 고려한 수준으로 결정되고 이온교환수지는 부분재생(Partial regeneration)된 상태로 운전하게 된다.

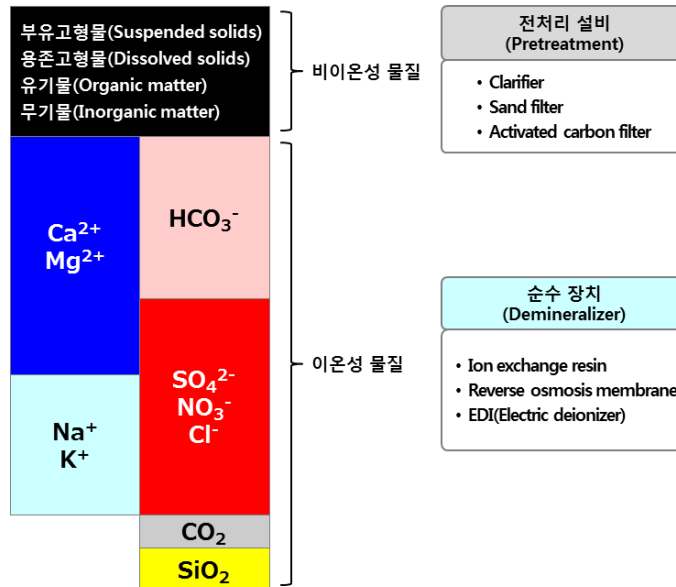
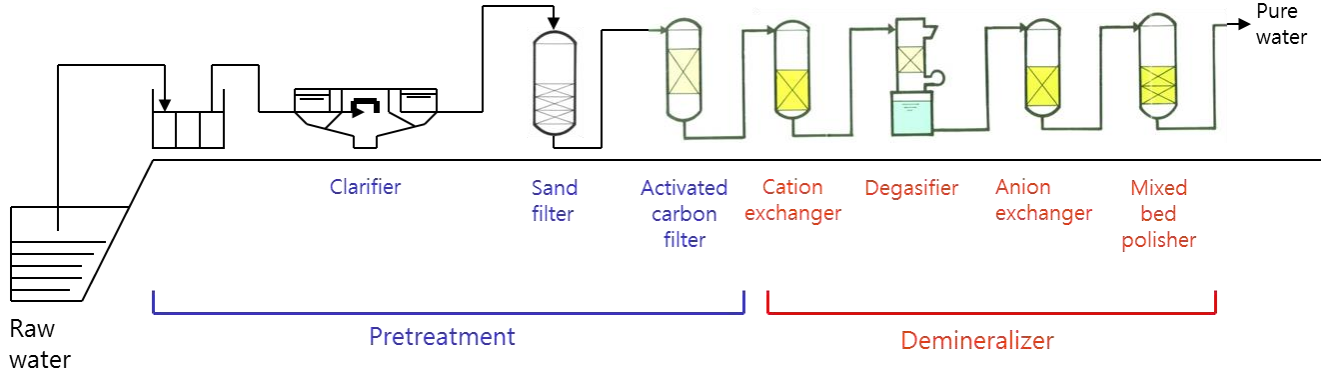
이온교환수지 종류에 따른 전교환용량(Total exchange capacity) 및 운전교환용량(Operating exchange capacity) 사례는 아래와 같다.

수지 종류(Resin type)	전교환용량 (Total exchange capacity)	운전교환용량 (Operating capacity)
강산성 양이온교환수지(SAC)	1.3~2.4	0.5~1.8
강염기성 음이온교환수지(SBA)	0.8~1.5	0.4~1.0
약산성 양이온교환수지(WAC)	3.6~4.5	1.0~3.5
약염기성 음이온교환수지(WBA)	1.1~1.7	0.8~1.3

7. 수처리 Process (전처리)

1) 전처리 설비와 제거되는 불순물

비이온성 물질의 경우 적절한 전처리를 통하여 제거되어야 한다.

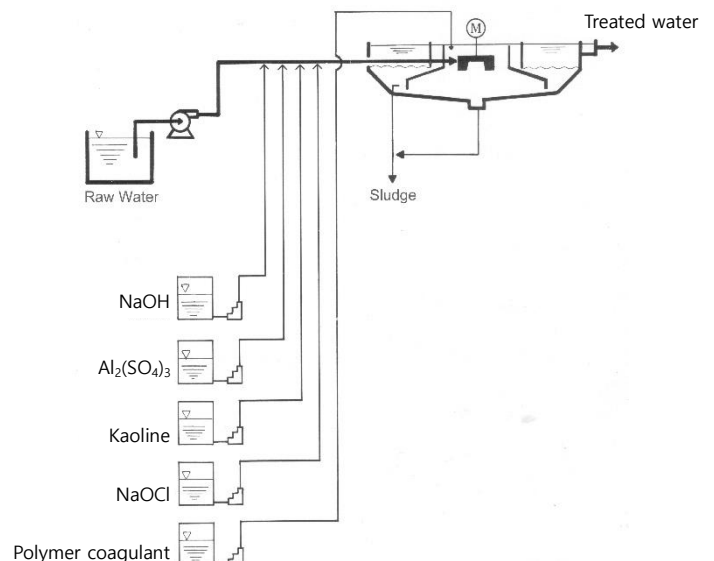


2) 고속응집침전조(Clarifier)

원수 중의 다양한 비이온성 물질은 자연침강에서는 경제적인 시간 내에 침강하지 않으므로, 황산알루미늄에 의하여 미립자를 서로 당겨 응집시킨 다음 고분자응집제로 Flock을 형성시켜 Sludge 형태로 제거하는 장치이다.

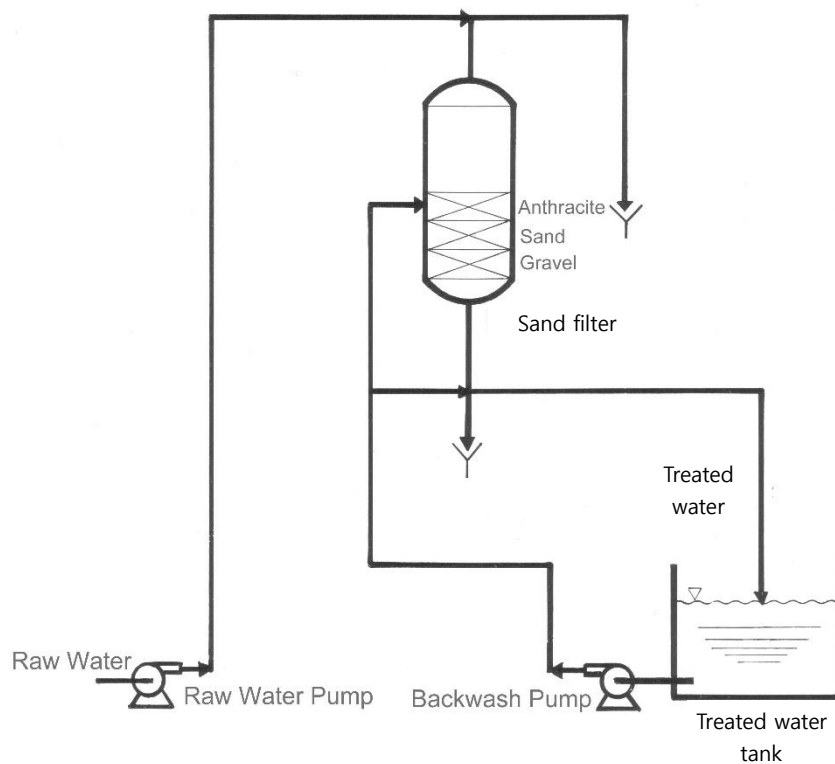
(원수 탁도 20~100도 → 처리 후 5~10도)

- ① NaOH : pH조정제
- ② $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: 황산알루미늄 응집제
- ③ Kaoline : 고령토로서 원수의 탁도가 너무 낮을 경우 주입
- ④ Polymer coagulant : 양/음/비이온계



3) 압력식 여과기(Sand filter)

원수의 탁도가 낮은 물이나 Clarifier로 처리한 물을 탁도 1~2 °이하로 처리할 경우 사용한다.
(원수 탁도 20도 → 처리 후 1~2도)

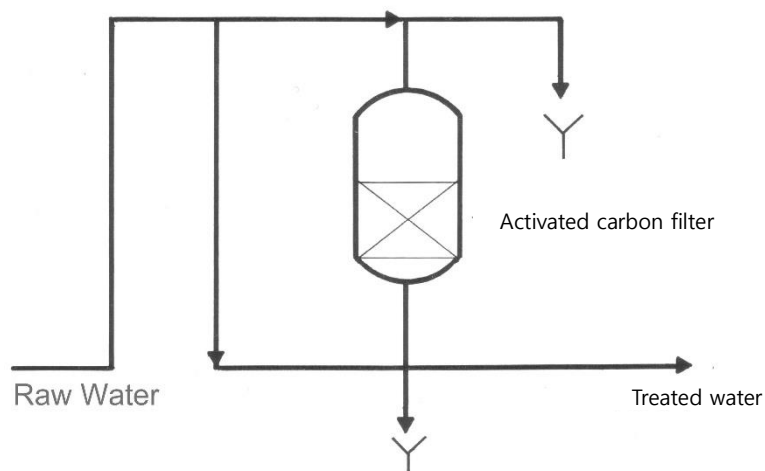


- ① Anthracite : 석탄의 일종으로 탄화도가 높고 이물질이 적으며 탁질/조류 제거 성능 우수
- ② Sand : 여과사로서 탁질 제거 성능 우수
- ③ Gravel : 여과사 유출을 방지하고 지지하는 역할

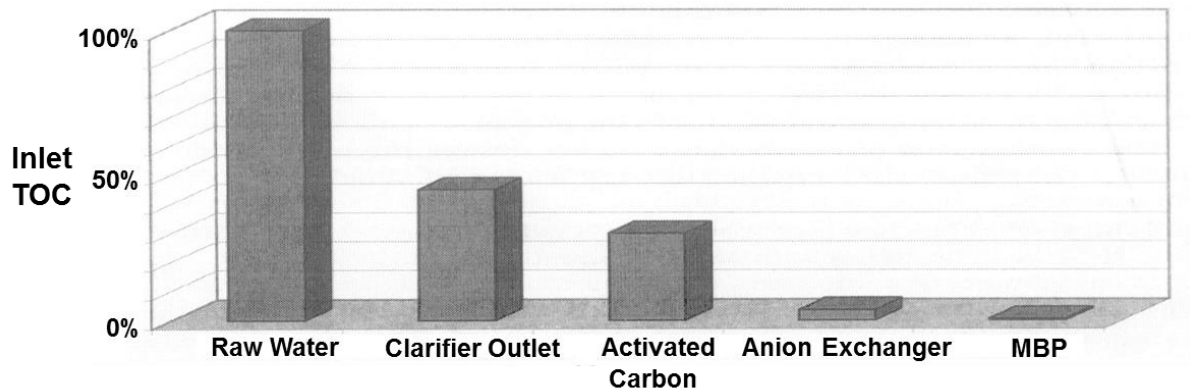
4) 활성탄 여과기(Activated Carbon Filter)

흡착력을 가진 활성탄을 이용하여 원수 중 포함되어 있는 COD 물질 및 산화성 물질(유리염소, Cl_2) 등을 제거하는 장치이다.

(원수 COD 2~5ppm → 처리 후 1ppm 이하, Free chlorine 0.1~0.5ppm → 0.1ppm 이하)



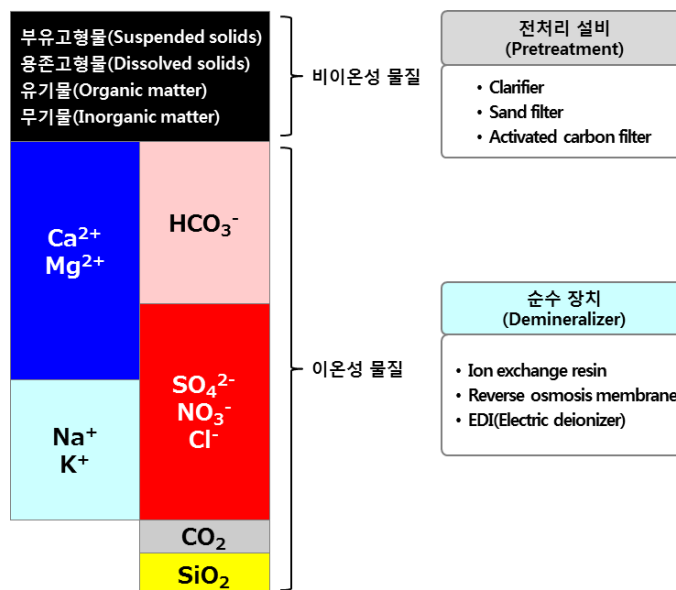
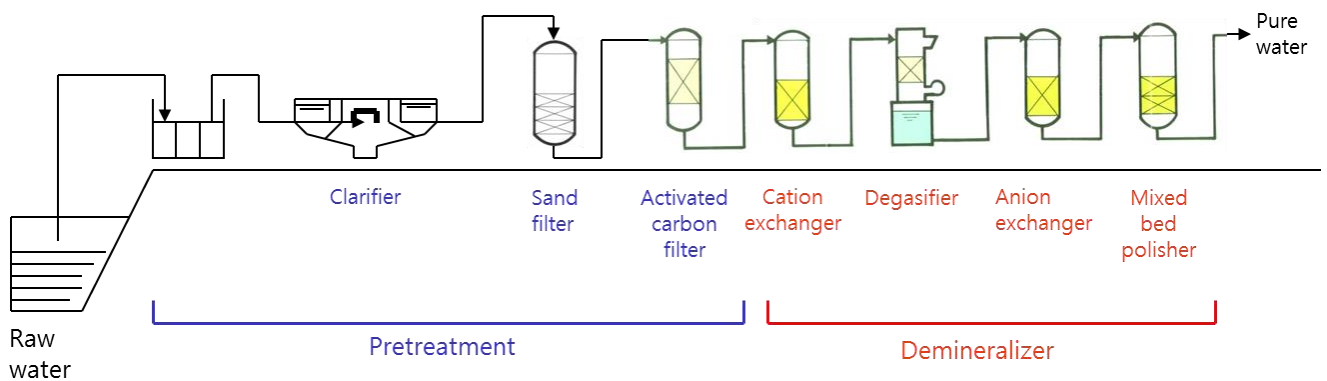
5) 전처리 후 TOC(Total organic carbon)량 변화



8. 수처리 Process (이온교환수지 순수장치)

1) 이온교환수지 순수장치와 제거되는 불순물

이온교환수지 순수장치는 이온성 물질을 제거하여 순수를 제조한다.

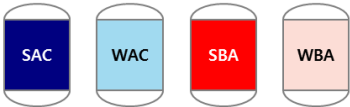
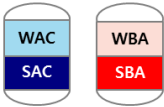



2) 이온교환수지 순수장치의 종류와 그 조합

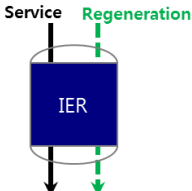
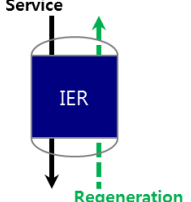
이온교환수지 순수장치는 다양한 원수에 대응하여 경제적으로 높은 품질의 순수를 생산하기 위하여 다양한 종류 및 조합이 있으며, 충전되는 이온교환수지의 종류, 통수(Service)/재생(Regeneration) 방법, 조합(Combination) 등은 아래와 같다.

① 이온교환수지층(IER bed)에 따른 분류

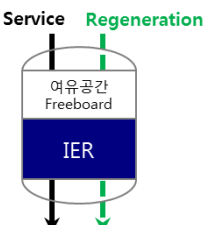
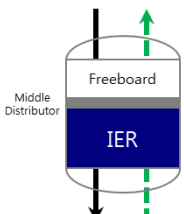


SAC	Strongly Acidic Cation Resin 강산성 양이온교환수지 : MC-08, MC-10, ...
WAC	Weakly Acidic Cation Resin 약산성 양이온교환수지 : WCA10, ...
SBA	Strongly Basic Anion Resin 강염기성 음이온교환수지 : MA-12, MA-10, ...
WBA	Weakly Basic Anion Resin 약염기성 음이온교환수지 : AW30, AW90, ...

단상탑 (Single Bed)	
복층상탑 (Layered Bed)	
혼상탑 (Mixed Bed)	

② 통액(Service), 재생(Regeneration) 방향에 따른 분류

병류재생방식 (Co-current Regeneration System)		향류재생방식 (Counter-current Regeneration System)	
---	---	--	---

③ 이온교환수지탑 구조에 따른 분류

병류재생방식 (Co-current Regeneration System)	향류재생방식 (Counter-current Regeneration System)		
	Water Blocking System	Packed Bed	
		Upflow System	Downflow System
			

④ 다양한 조합의 순수장치 및 이온교환수지의 선택

2B2T (2Bed 2Tower) Cation Exchanger + Anion Exchanger		MC-08 MC-10	MA-12 MA-20		
2B3T Cation Exchanger + Degasifier + Anion Exchanger		MC-08 MC-10	MA-12 MA-20		
Working MB (Mixed Bed)		MA-12(P) MA-20(P)			
2B2T+MBP (Mixed Bed Polisher)		MC-08 MC-10	MA-12 MA-20	MA-12(P) MA-10(P)	
2B3T+MBP		MC-08 MC-10	MA-12 MA-20	MA-12(P) MA-10(P)	
3B3T+MBP		MC-08 MC-10	AW90 AW30L MA-12 MA-10	MA-12(P) MA-10(P) MC-08 MC-10	
4B3T+MBP		WCA10L MC-08 MC-10	AW90 AW30L MA-12 MA-10	MA-12(P) MA-10(P) MC-08 MC-10	
4B3T+MBP+CPP (Condensate Polisher)		WCA10L MC-08 MC-10	AW90 AW30L MA-12 MA-10	MA-12(P) MA-10(P) MC-08 MC-10	MA-100H MA-150H MC-10H MC-14H

※ Anion grade name + (P) means anti-dumping treatment. Anion resin used for MB or MBP requires anti-dumping treatment that helps separation of cation and anion.

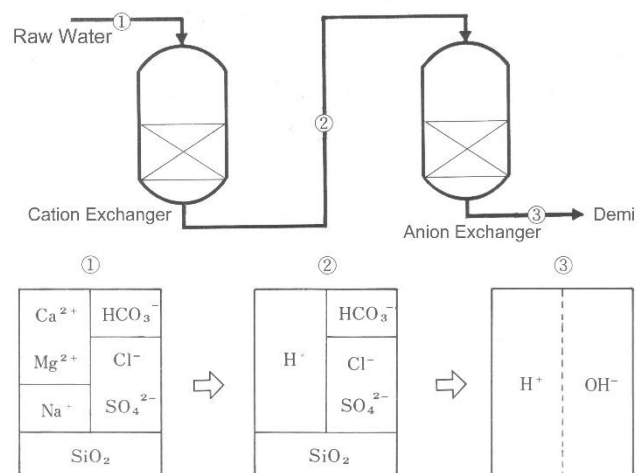
3) 이온교환수지 순수장치 조합의 특징 및 원수/처리수 조건에 따른 선택

다양한 이온교환수지 순수장치의 조합은 사용목적에 따라서 다른 특징을 가지고 있으며 원수/처리수 조건에 따라서 적절하게 선택되어야 한다.

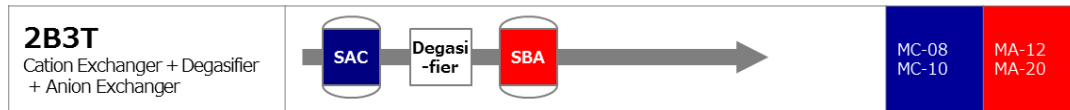
① 2B2T (2Bed2Tower, Cation exchanger + Anion exchanger)

2B2T (2Bed 2Tower) Cation Exchanger + Anion Exchanger		MC-08 MC-10	MA-12 MA-20
--	--	----------------	----------------

HCO_3^- 가 낮은 원수 처리에 적합하다 : $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_2 < 20\text{ppm}$

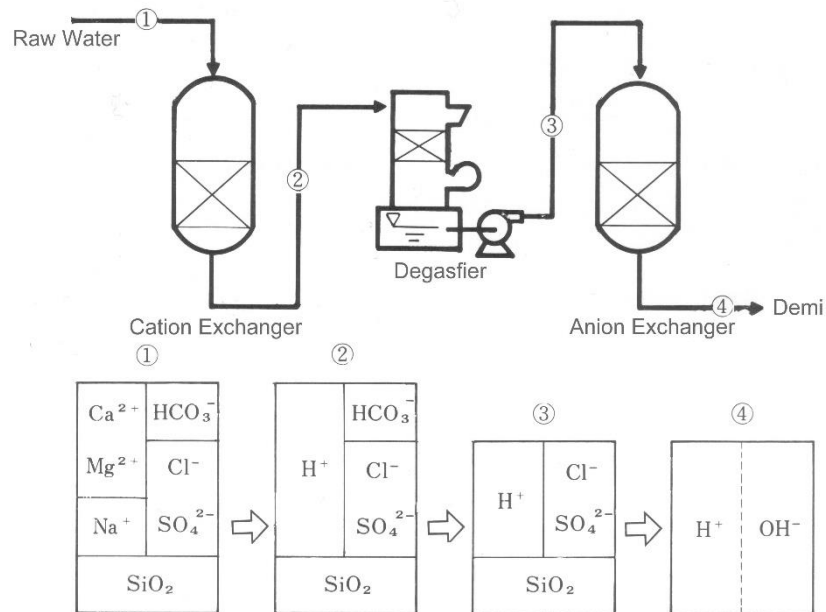


② 2B3T (2Bed3Tower, Cation exchanger + Degasifier + Anion exchanger)



HCO_3^- 가 높은 원수 처리에 적합하다 : $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_2 > 20\text{ppm}$

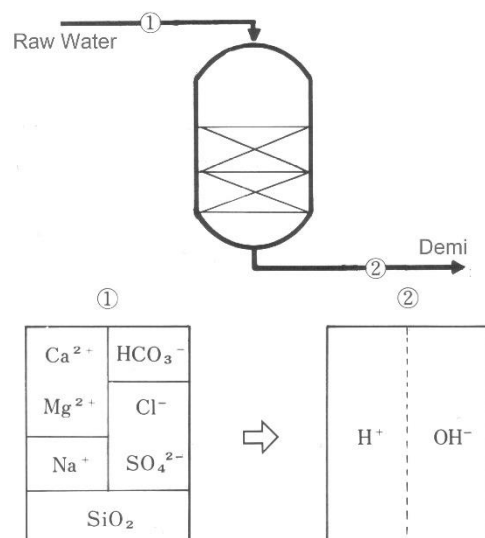
Degasifier는 인위적으로 압력을 낮추어 원수 중에 포함되어 있는 HCO_3^- 이온의 용해도를 낮추어 CO_2 Gas로 변환시켜 날려 보냄으로써 음이온교환수지의 부하량을 줄여준다.



③ Working MB (Mixed bed)



원수의 이온량이 적고 고순도의 순수를 얻고자 하면서 순수장치의 설치면적이 협소하거나 채수량이 적을 경우 사용된다.



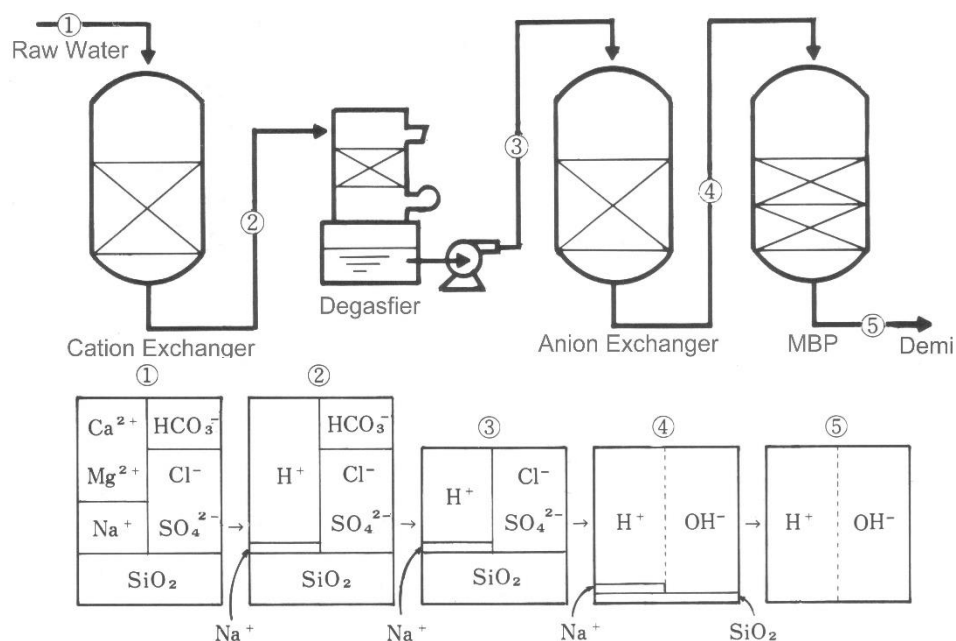
④ 2B2T or 2B3T + MBP(Mixed Bed Polisher)

2B2T+MBP (Mixed Bed Polisher)		MC-08 MC-10	MA-12 MA-20	MA-12(P) MA-10(P)
2B3T+MBP		MC-08 MC-10	MA-12 MA-20	MA-12(P) MA-10(P)

2B2T 또는 2B3T 설비 만으로도 고순도의 순수를 제조할 수 있으나 미량의 Na^+ 및 SiO_2 가 존재하게 되어 후단에 MBP를 설치하여 고순도의 순수를 안정적으로 제조할 수 있다.

2B2T or 2B3T Outlet : $1\sim 2\mu\text{S}/\text{cm} \downarrow$, SiO_2 0.1ppm \downarrow

MBP Outlet : $0.1\sim 0.2\mu\text{S}/\text{cm} \downarrow$, SiO_2 0.01~0.02ppm \downarrow



⑤ 3B3T or 4B3T + MBP(Mixed Bed Polisher)

3B3T+MBP		MC-08 MC-10	AW90 AW30L	MA-12(P) MA-10(P)
4B3T+MBP		WCA10L	AW90 AW30L	MA-12(P) MA-10(P)

기본적인 Concept는 2B3T와 차이가 없으나 재생효율이 좋은 WBA, WAC를 조합하여 Layered bed로 구성한 시스템이다.

WAC/SAC : SAC 재생폐액으로 WAC가 재생되어 우수한 재생효율을 나타낸다.

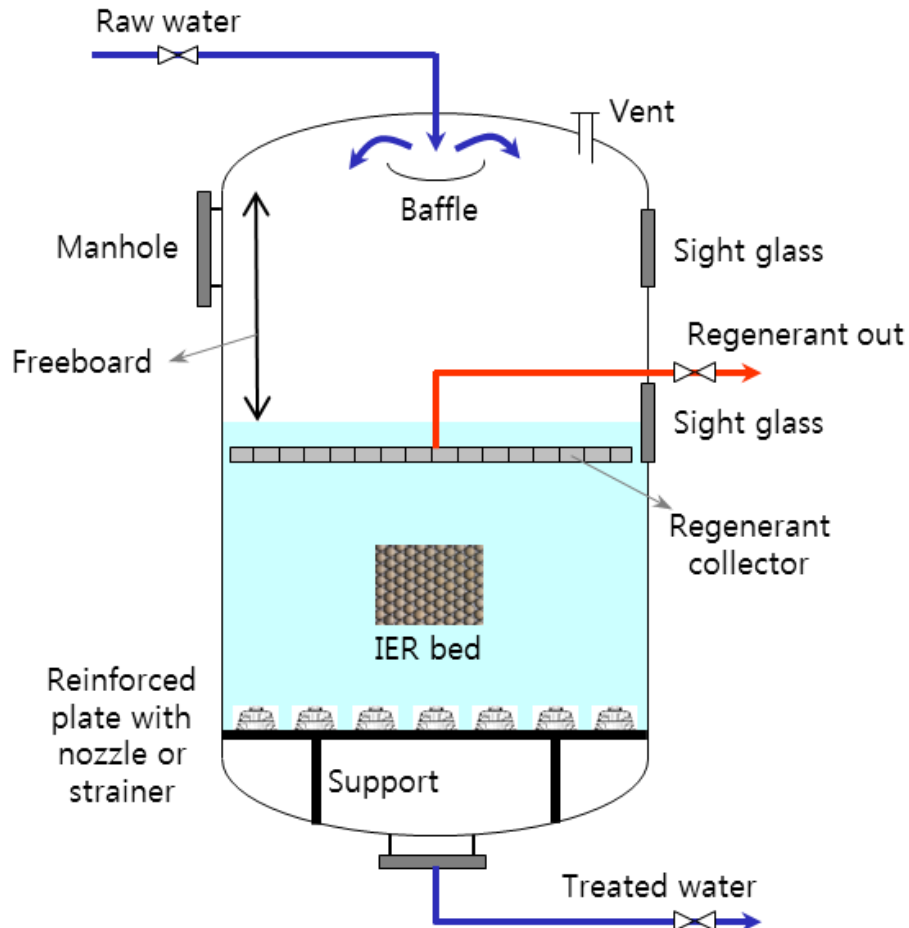
WBA/SBA : SBA 재생폐액으로 WAC가 재생되어 우수한 재생효율을 나타내고, 내유기오염성(Organic fouling resistance)이 우수한 WBA가 조합되어 사용수명이 길어진다.

상대적으로 양이온교환수지에 비하여 음이온교환수지 가격이 높고 유기오염 등에 의하여 음이온교환수지 교체량이 더 많으므로 4B3T 보다는 3B3T가 더 많이 채용되고 있다.

4) 이온교환수지 순수장치 구조와 조작 방법

이온교환수지 순수장치의 일반적인 구조와 조작 방법은 다음과 같다.

① 이온교환수지 순수장치의 일반적인 구조 (Counter-current regeneration, water blocking system)



Baffle : 원수가 수지층 위로 직접 떨어지게 되면 수지층 표면을 요동치게 하여 안정적인 채수에 방해가 될 수 있으므로 Baffle을 설치하여 이를 방지해야 한다.

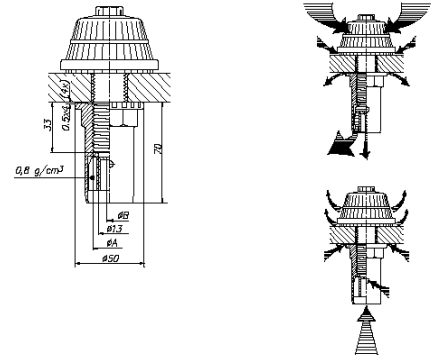
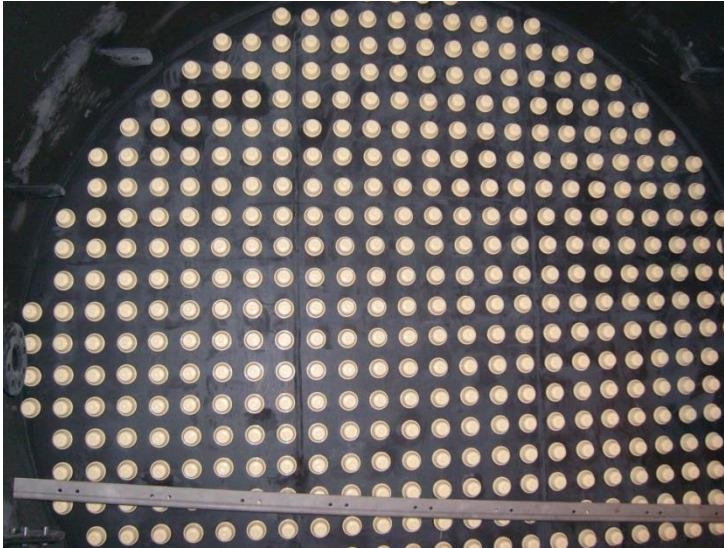
Freeboard : 이온교환수지탑에는 Backwash 등을 위하여 30~50% 정도의 여유 공간을 가지고 있는 경우가 많으나 Packed bed system은 이 Freeboard가 10~20% 정도로 설치 면적을 줄일 수 있다.

Manhole : 이온교환수지탑 내부를 점검하고 보수하기 위해 필요하다.

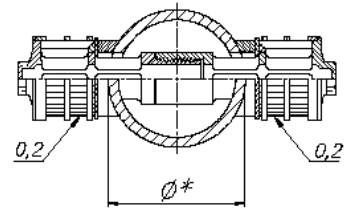
Sight glass : 이온교환수지층의 적정 Level 확인, 통수/재생 시 정상 여부 확인을 위하여 필요하다.

Vent : 이온교환수지탑의 물을 배수하여 수지탑 내부를 확인하거나 이온교환수지 교체를 하기 위하여 필요하다.

Reinforced plate with nozzle or strainer : 이온교환수지층을 통과한 처리수를 이온교환수지는 유실되게 하지 않으면서 원활하게 다음 공정으로 배수시키는 역할을 한다. 일반적으로 강철로 된 원판에 Strainer를 돌려 끼운 형태를 많이 사용한다.

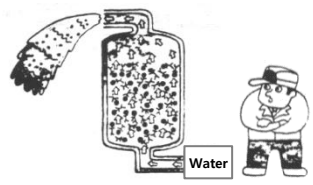
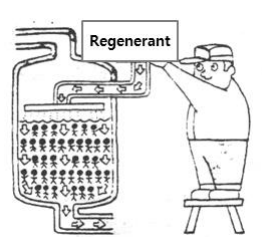


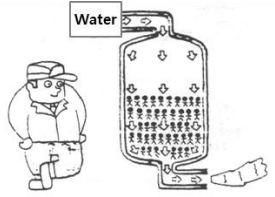
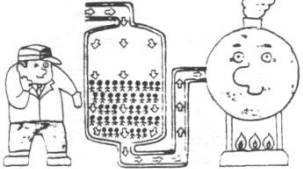
Regenerant collector : 향류재생 시 폐재생제를 모아 수지탑 계외로 배출시키는 역할을 한다.



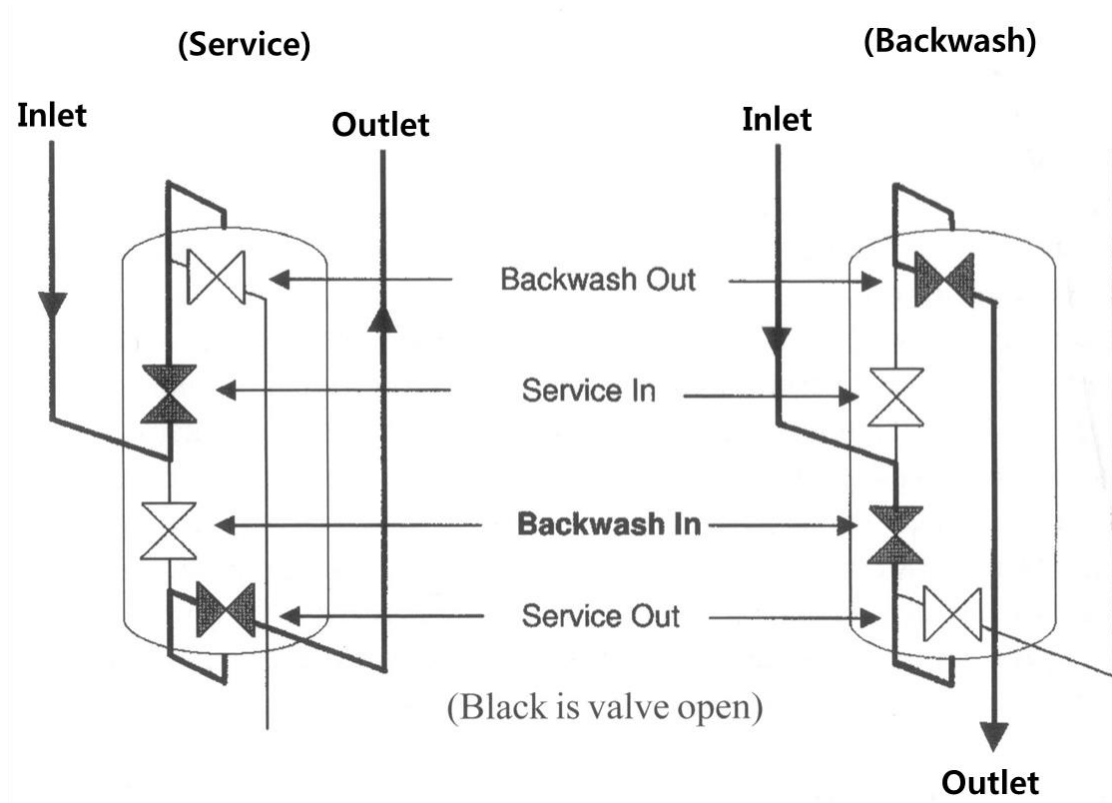
② 이온교환수지탑의 조작

일반적인 이온교환수지탑 조작은 다음과 같은 과정으로 진행된다.

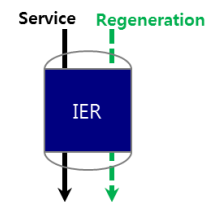
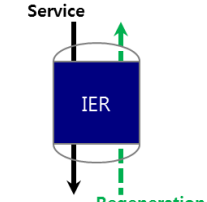
역세 (Backwash)	이온교환수지에 축적된 부유물들을 계외로 배출하고, 이온교환수지층이 위로부터 눌러서 생긴 다짐과 영킴을 풀어주는 역할을 한다. 역세는 온도와 유량에 따라서 역세전개(Bed expansion)가 다르게 나타나기 때문에 설비에 따라 계절에 따라 최적의 조건을 조정해야 한다.	
침정 (Settling)	역세 후 전개된 이온교환수지층이 자연 침강할 때까지 기다린다.	
약주 (Injection)	재생제를 이온교환수지층을 균일하게 분산하여 통과시켜 교환능력을 회복시키는 공정이고 재생제량, 농도, 유속 등은 설비 종류 및 목적에 따라서 다양하다.	
압출 (Displacement)	약주 공정 후 수지층 내에 미반응 재생제가 남아 있는데 이를 충분히 이용하기 위하여 물로 약주와 같은 유속으로 밀어 낸다. Slow rinse라고도 한다.	

수세 (Rinse)	압출 공정 후에 수지 층에 남아있는 재생폐액을 씻어내는 공정으로, 통액 유속과 동일하게 물의 유속을 높여서 세정한다. 세정의 중점은 재생제가 완전히 씻겨나가서 목표 수질이 확보될 때까지 실시한다. Fast rinse라고도 한다.	
통액 (Service)	목표 수질이 확보되면 통액을 개시하여 목적하는 처리수를 생산하여 공정에 공급한다. 통액 중 처리수질이 악화되었거나 정해진 목표 수량을 생산한 이후에는 다시 역세 공정부터 반복한다. 1회 반복되면 이를 1Cycle이라고 한다.	

역세 및 통액 시 밸브 조작 사례는 아래와 같다.



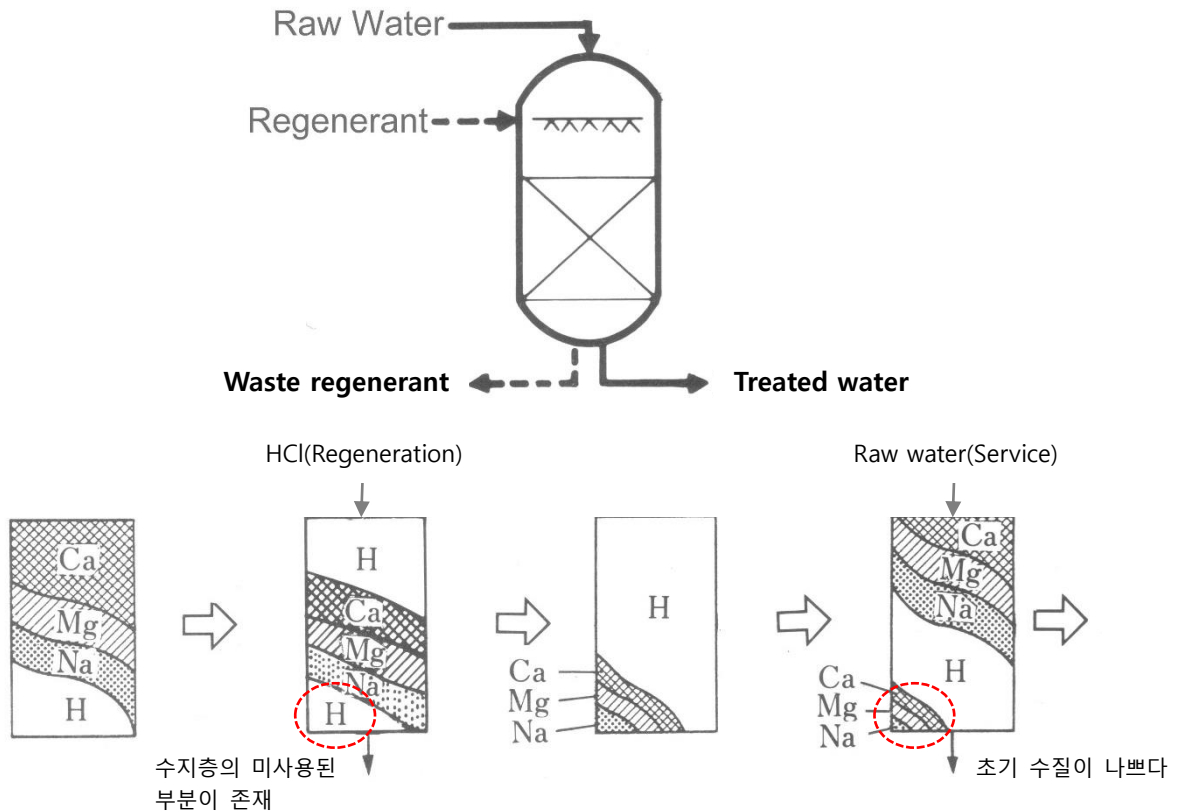
5) 병류재생방식 vs 향류재생방식 (Co-current vs Counter-current regeneration)

병류재생방식 (Co-current Regeneration System)		향류재생방식 (Counter-current Regeneration System)	
---	---	--	---

통액(Service), 재생(Regeneration) 방향에 따라 이온교환수지 설비는 병류재생방식, 향류재생방식으로 구분되고 그 상세 내용은 다음과 같다.

① 병류재생방식 (Co-current regeneration)

병류재생방식은 통액과 재생이 같은 방향으로 이루어 지는 시스템이고 간단한 구조로 적은 투자 비용, 안정적인 재생/통액, 적은 운전 Trouble 등 장점도 있으나 낮은 처리수의 품질 및 재생제의 사용량 증가 등 단점이 더 많아 최근에는 잘 사용되지 않는 추세이다.



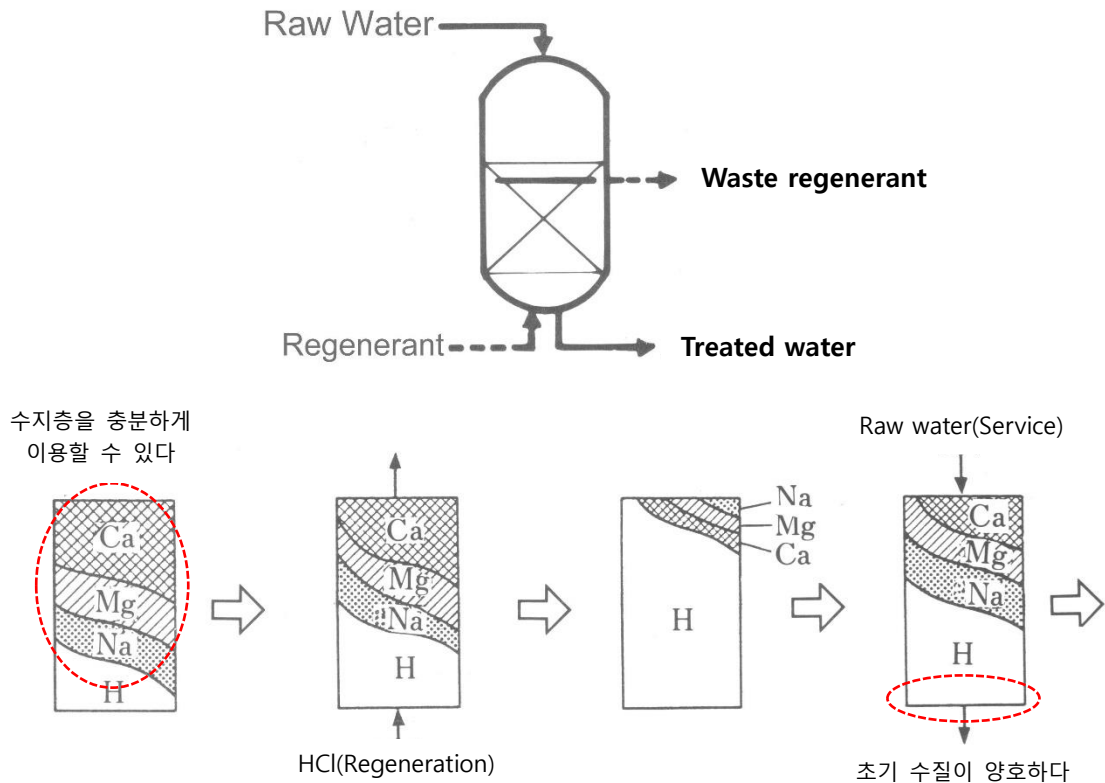
② 향류재생방식 (Counter-current regeneration)

향류재생방식은 통액과 재생이 반대 방향으로 이루어 지는 시스템이고, 병류재생방식에 비하여 수지탑 구조 및 운전 방법이 다소 복잡해지는 단점이 있으나, 처리 수질이 우수하고 재생제 절감이 가능하여 최근에 신설되는 설비의 대부분은 향류재생시스템으로 보아도 무방하다.

향류재생방식에는 크게 5가지 방법이 있다.

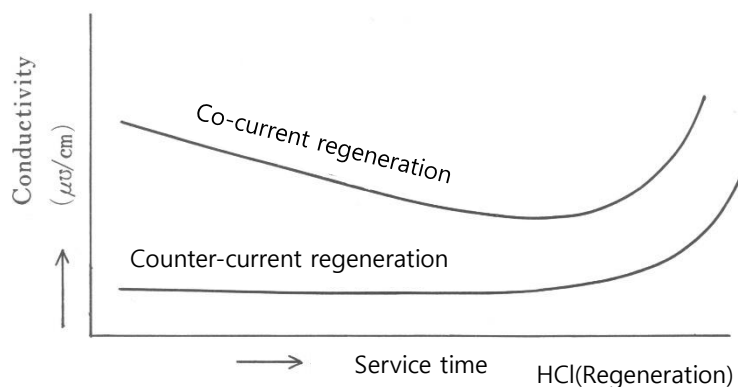
Water Blocking System	Packed Bed			
	Upflow System		Downflow System	
	Single bed	Layered bed	Single bed	Layered bed
<p>Regeneration</p> <p>Freeboard</p> <p>Middle Distributor</p> <p>IER</p> <p>Service</p>	<p>Freeboard</p> <p>IER</p> <p>Freeboard</p>	<p>Freeboard</p> <p>SBA</p> <p>Freeboard</p> <p>Intermediate plate</p> <p>WBA</p> <p>Freeboard</p>	<p>Freeboard</p> <p>IER</p> <p>Freeboard</p>	<p>Freeboard</p> <p>WBA</p> <p>Freeboard</p> <p>SBA</p>

여기서는 이 중 가장 전통적인(Conventional system) 방식인 Water blocking system에 대하여 알아보고 Packed bed의 경우 별도의 장에서 자세히 다루도록 한다.



병류재생방식과 비교하여 향류재생방식의 장점을 정리하면 다음과 같다.

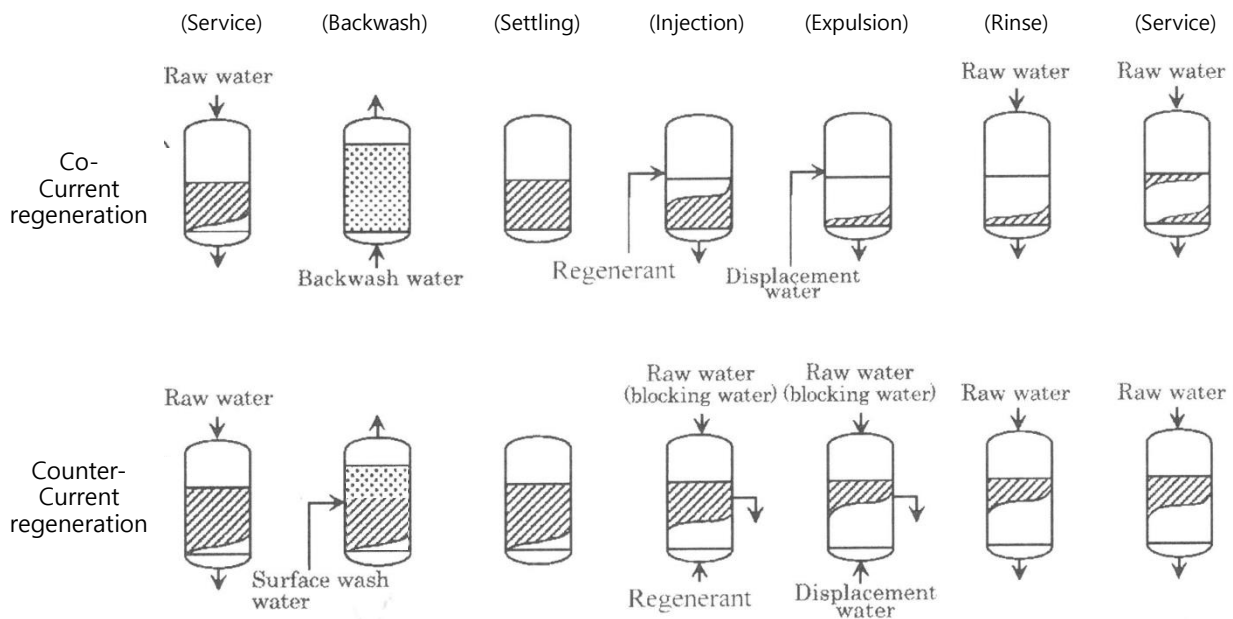
- **이온교환수지층의 효율적 사용이 가능하다** : 병류재생방식의 경우 통수 종점에서 수지층 하부에 미사용한 H 부분 남아 있지만 향류재생은 이를 효율적으로 이용할 수 있어서 동일한 이온교환수지량으로 더 많은 처리수를 생산할 수 있다.
- **낮은 재생레벨로 재생이 가능하다** : 병류재생방식의 경우 재생제 투입을 과량으로 해야 수지층 하부의 미재생된 부분이 줄어들어 고순도의 처리수를 생산할 수 있지만, 향류재생은 수지층 상부에 미재생된 부분이 남기 때문에 낮은 재생레벨로 운전할 수 있고 이에 따라 재생시간, 재생용수, 재생폐수량이 감소하여 경제적인 운전을 할 수 있다.
- **통액(Service) 초기부터 고순도의 처리수를 생산할 수 있다** : 병류재생방식의 경우 미재생된 부분이 하부에 남아 있어 초기 순도가 좋지 않지만, 향류재생의 경우 이 부분이 없어 통액 초기부터 고순도의 처리수를 생산할 수 있다.



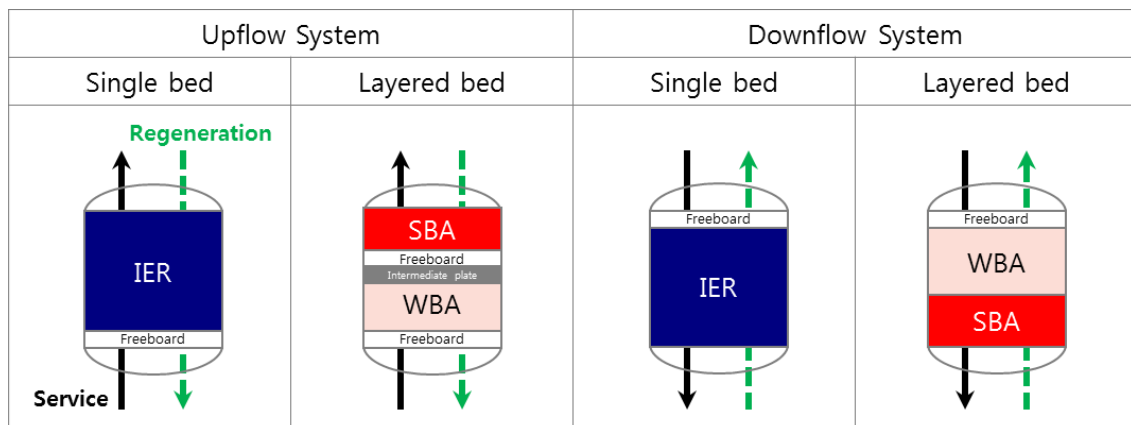
처리수의 수질을 비교하면 아래와 같다.

구분			병류재생방식	향류재생방식
2B3T	양이온탑출구	pH	2.5~3.5	2.5~3.5
	음이온탑출구	pH	7.0~9.5	7.0~9.5
		전기전도도	10 μ S/cm ↓	1~2 μ S/cm ↓
		Silica	0.2ppm ↓	0.1ppm ↓
MBP출구		전기전도도	1 μ S/cm ↓	0.1~0.2 μ S/cm ↓
		Silica	0.02ppm ↓	0.01~0.02ppm ↓

병류와 향류재생방식 이온교환수지 순수장치 공정별 비교를 하면 아래와 같다.



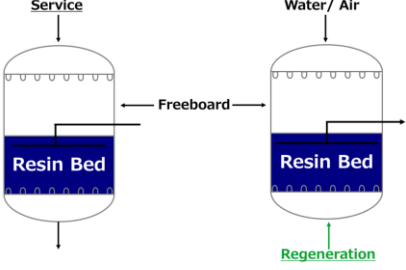
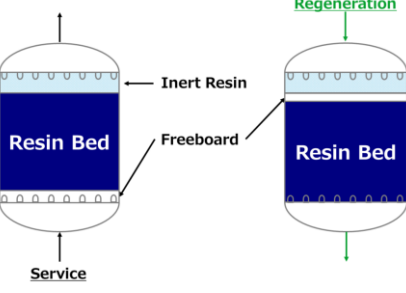
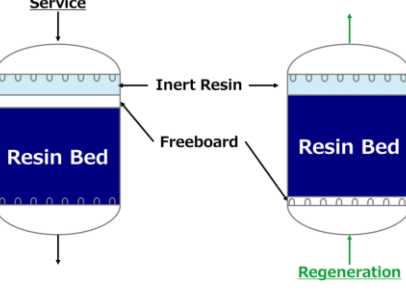
6) Packed bed system 비교



향류재생방식 중에서 최근에 주로 채용되는 방식은 Packed bed system이다. Packed bed system은 말 그대로 이온교환수지층이 압축되어 운전된다는 의미이고, 전체 수지탑 용적 중 50~40% Freeboard가 존재하는 병류재생 및 향류 Water blocking system에 비하여 Freeboard를 최소화한 것이 특징이다.

Packed bed system은 통액하는 방향에 따라서 Upflow system과 Downflow system으로 구분되고 재생효율 및 내유기오염성 향상 등을 위하여 Layered bed로 구성되기도 한다.

Water blocking system과 Packed bed system을 비교하면 다음과 같다.

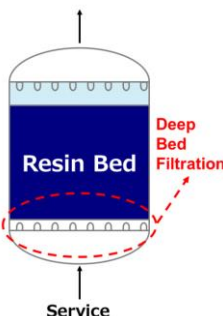
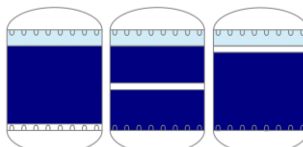
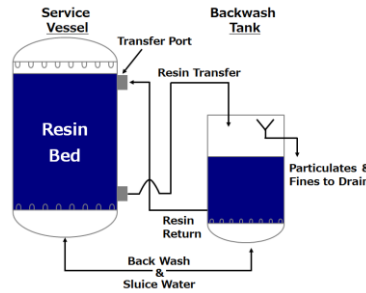

구분	비교
<p>(Water blocking system)</p> 	<p>설비 요약</p> <p>수지탑 가운데 재생폐액이 배수되는 Collector가 존재한다. 상부에서 지지수(Blocking Water)가 하부에서 재생제가 Collector에서 만나 재생폐액이 되어 배수되며 Freeboard가 약 30~50% 존재한다.</p> <p>Strong Point</p> <ul style="list-style-type: none"> - 재생효율 및 처리수의 순도가 우수하다 - 통수 공정이 안정적이다 <p>Weak Point</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수지탑 구조가 복잡하고 건설비용이 많이 든다 - 재생 공정 중 Trouble 발생 가능성이 높다 - Freeboard가 많아 수지탑을 효율적으로 사용할 수 없으며 설치 부지가 많이 필요하다 - 지지층이 필요하여 유효수지층이 적다 - 이온교환수지가 수축, 팽창 시 중간 Collector의 손상이 되기 쉽다
<p>(Upflow system)</p> 	<p>설비 요약</p> <p>재생 공정을 Downflow로 재생제를 통액하여 실시하고 통수공정을 Upflow로 실시하는 System으로 Freeboard가 약 10% 이하 존재한다.</p> <p>Strong Point</p> <ul style="list-style-type: none"> - 재생효율 및 처리수의 순도가 우수하다 - 수지탑을 효율적으로 이용 가능하다 - 재생공정이 안정적이다 <p>Weak Point</p> <ul style="list-style-type: none"> - 유속의 변화 및 통액 공정 시 Fluctuation에 민감하다 - SS(Suspended solids)의 축적이 되기 쉽다 - 역세탁(Backwash tower)이 별도로 필요하다 - Resin Trap의 설치가 필수적이다 - 복층상식 설계 시 중간 Nozzle Plate가 필요하다
<p>(Downflow system) (Samyang Packed bed system)</p> 	<p>설비 요약</p> <p>재생 공정을 Upflow로 재생제를 통액하여 실시하고 통수공정을 Downflow로 실시하는 System으로 Freeboard가 약 10% 이하 존재한다.</p> <p>Strong Point</p> <ul style="list-style-type: none"> - 재생효율 및 처리수의 순도가 우수하다 - 통수 공정이 안정적이다 - 수지탑을 효율적으로 이용 가능하다 - 기존 설비 개조 시 용이하다 - 원수 유속 변동에 유연하게 대처할 수 있다 (통수 공정 중 정지 가능) - 복층상식으로 변경 시 중간 Nozzle Plate가 필요없으며 적용이 용이하다 - 재생 시 오염물질의 제거가 원활하여 역세탁이 필요 없으며 경제적으로 System을 구성 가능하다 <p>Weak Point</p> <ul style="list-style-type: none"> - 재생공정이 Upflow이기 때문에 약주 유속의 변화가 있을 경우 재생 불량 발생 가능 - 상부 Distributor 설계가 까다롭다

Water blocking system 대비하여 Packed bed system이 다양한 면에서 더 유리한 설비임을 확인할 수 있으며, **Packed bed system 중에서도 Upflow system에 비하여 Downflow system이 4가지 면에서 더 유리**한데 그 상세는 다음과 같다.

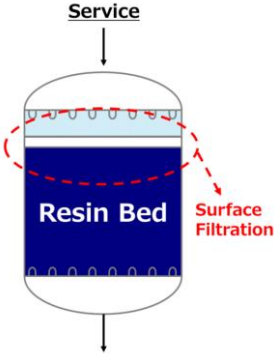
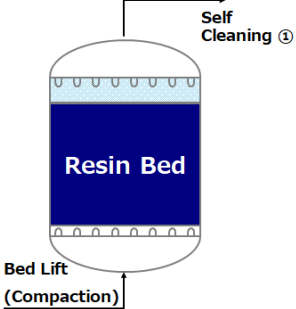
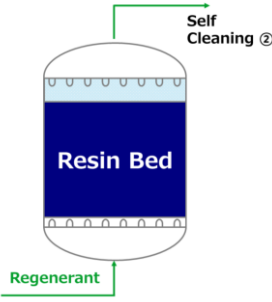
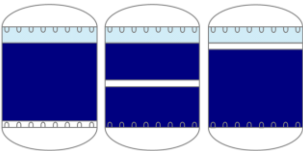
① **Downflow system은 자기재생(Self Cleaning)이 가능하여 별도의 역세탑이 필요없다.**

Downflow system은 재생 시 Cleaning이 동시에 실시되는 방식으로 유기물 부하량이 높은 원수 조건에서 사용 가능하며 역세탑이 필요하지 않아 경제적이다.

반면, Upflow Service방식은 통수 공정을 Upflow로 실시하기 때문에 유기물이 이온교환수지층내부로 침착되는 구조로 구성되어 있다. 이를 공정별로 나누어 설명하면 다음과 같다.

공정	Flow Direction	Picture	Description
Service	↑		재생 및 수세가 종료된 후 이온교환수지 층을 Bed lift하여 Upflow로 통수를 실시한다. 이 때 원수 중 포함된 유기물 및 SS는 하부에서 유입되어 이온교환수지 층으로 침착 된다. (Deep bed filtration)
Settling	↓		침정(Settling) 공정 중 하부에 침착된 유기물 및 SS는 밀도가 가벼우므로 상부로 이동하는 경향이 있어 이온교환수지 층 전체의 오염 원인이 된다.
Backwash	↔		Packed bed system에서는 역세 전개를 할 수 없기 때문에 하부에서부터 오염된 이온교환수지층을 세정하기 위하여 Backwash탑으로 이송하여 역세를 실시한다. 이송 중 이온교환수지는 물리적 충격으로 파쇄 원인이 되며 역세탑이 필요하여 건설비가 많이 소요된다.
Regeneration (Injection)	↓		재생공정이 Downflow로 실시되어 안정적이나 재생 공정 중 세정 효과가 Upflow재생에 비하여 낮으며 따라서 정기적으로 Backwash탑을 이용하여 역세를 실시해야 한다.
Regeneration (Displacement)	↓		
Rinse	↓		

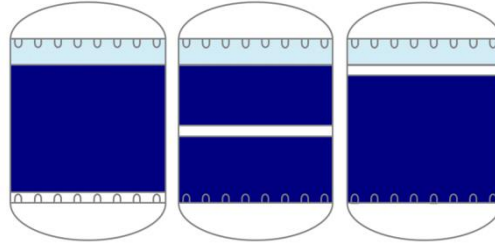
Downflow system은 통수 공정을 Downflow로 실시하기 때문에 유기물 및 SS가 이온교환수지층상부에 존재하는 구조로 되어 있으며 이는 재생 공정 중 Cleaning되어 이온교환수지 오염을 방지하고 역세탑이 필요하지 않으며 유기물 부하량이 많은 원수에 적용할 수 있다.

공정	Flow Direction	Picture	Description
Service	↓		<p>재생 및 수세가 종료된 후 Downflow로 통수를 실시한다. 이때 원수 중 포함된 유기물 및 SS는 상부에서 유입되어 이온교환수지 상부층에 존재하게 된다.</p> <p>(Surface filtration)</p>
Compaction	↑		<p>상향류로 연수 또는 순수를 Upflow로 빠르게 통수시켜 Bed Lift를 실시하고 수지층을 압축시킨다.</p> <p>이때 상부에 존재하고 있는 유기물 및 SS는 상부 Strainer의 Slit이 넓고(0.5mm) Inert resin이 충전되어 있어 원활하게 계외 배출된다.</p> <p>(Self Cleaning①)</p>
Regeneration (Injection)	↑		<p>재생제를 투입하면 이온교환수지는 Swelling하여 내부에 침착하고 있는 오염물질 및 유기산이 용출되어 원활하게 계외 배출된다.</p> <p>(Self Cleaning②)</p>
Regeneration (Displacement)	↑		<p>Displacement시 수세가 이루어져 정기적인 역세 공정 없이 이온교환수지층은 세정이 이루어진다.</p>
Settling	↓		<p>Freeboard는 위로 이동하고 수지층내부에 존재할 수 있는 미량의 오염 물질 및 이온교환수지 미립자는 상부로 이동하여 다음 재생 공정 중 계외 배출된다. 침정 공정 중 이온교환수지층은 이완되어 Channeling현상이 방지된다.</p>
Rinse	↓		<p>침정 공정 후 규정 수질이 도달할 때까지 수세를 실시한다.</p>

② 통수 신뢰성이 매우 높아 안정적인 고순도 처리수의 생산이 가능하다.

Downflow system은 통수 방향이 Downflow로 실시되기 때문에 안정적이며 통수 중 중지 및 개시가 자유로워 Flexible하게 운전이 가능하다.

반면, Upflow Service방식은 통수(Service) 공정을 Upflow로 실시하기 때문에 통수 중지 및 유속 변화 시,

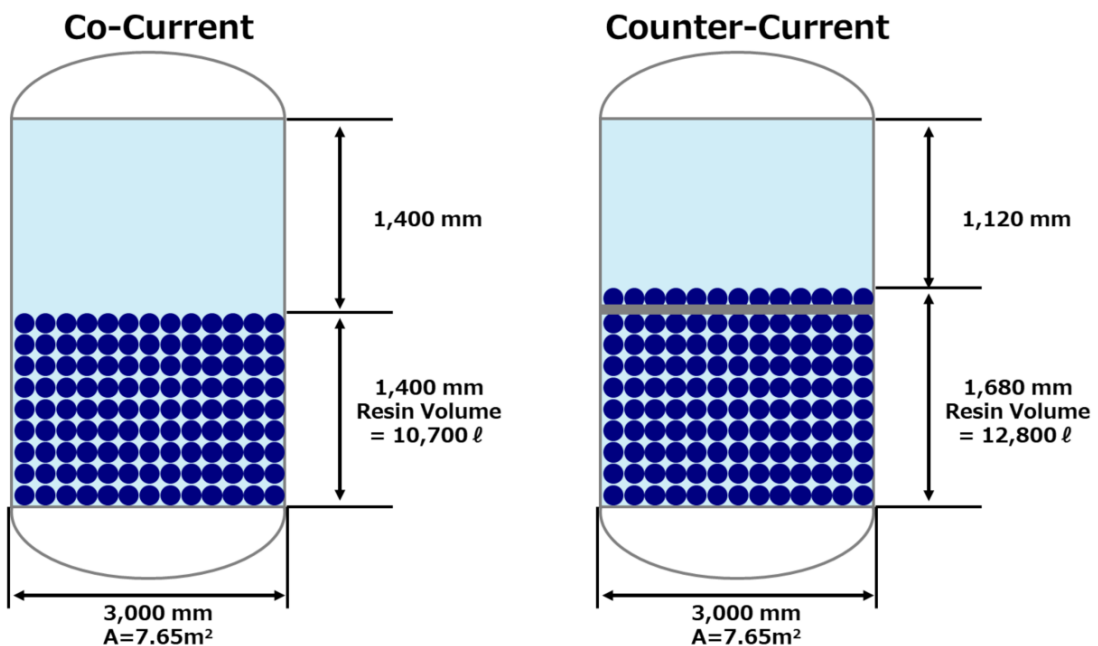


침정(Settling) 공정과 유사한 이온교환수지 층 흔들림이 발생하게 되어 이온교환수지 흡착대가 불안정하게 되어 다시 통수 개시 시 수질 악화 및 채수량 저하가 발생하게 된다. 따라서 순수 저장조를 크게 제작하여 통수 시 유량 변동을 저감시켜야 하며 이는 투자비 증가 및 설비 비효율화를 가져온다. 즉 통수 공정이 불안정하다.

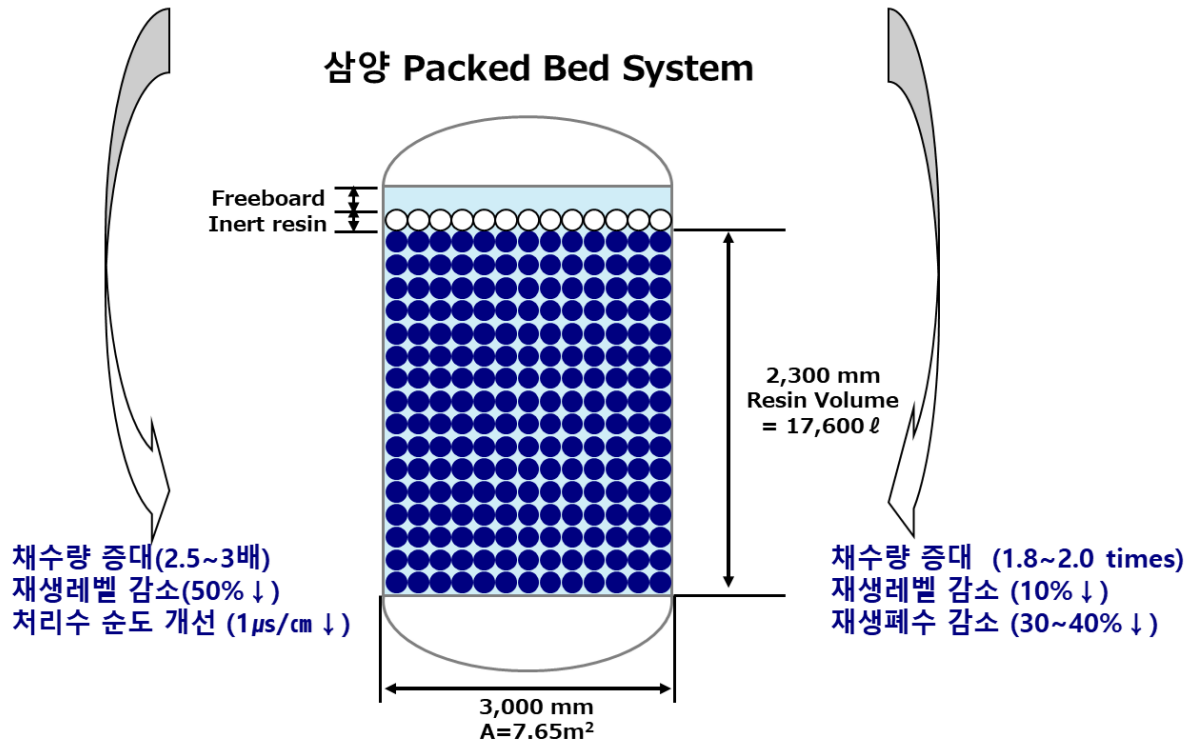
③ System 구성이 단순하고 역세탑이 필요하지 않아 설치면적이 감소하여 건설비가 절감된다.

Downflow system은 구조가 단순하고 역세탑이 필요하지 않아 System 구성 시 설치 부지면적이 감소하며 기존 설비(병류재생 방식 또는 Water blocking system)를 Retrofit 할 경우 비용이 절감되어 경제적이다.

기존 병류 및 향류 재생 설비에서 존재하는 Freeboard가 거의 없어져 이온교환수지 충전량을 늘릴 수 있어 기존 장치 부지에서 생산 Capacity를 늘릴 수 있으며 기존 Vessel을 이용할 수도 있어 경제적이다. 기존 설비를 변경하여 Retrofit하는 예를 들면 다음과 같다.

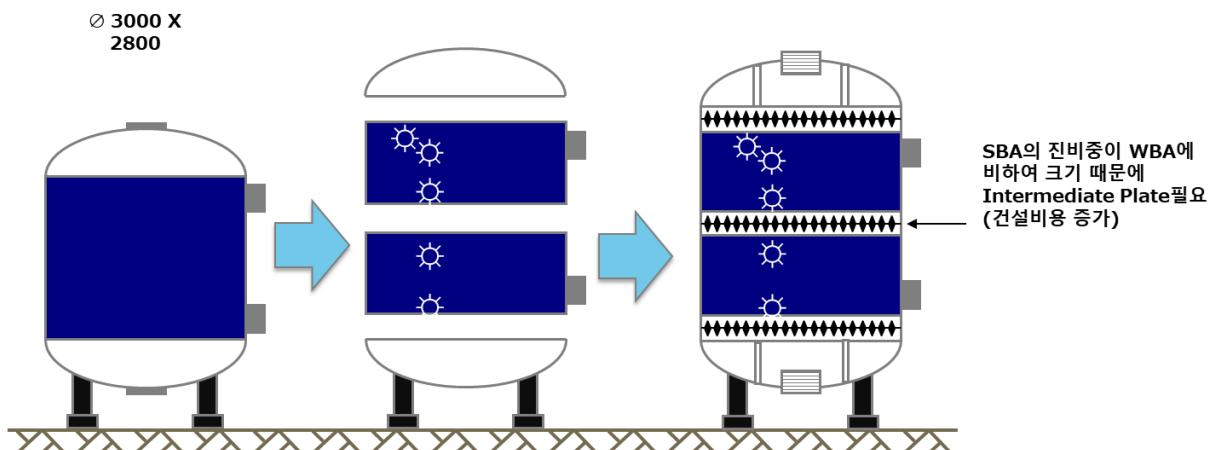


기존 $\Phi 3,000 \times 2,800$





④ 복층상식(Layered bed system) 구성 시 수지탑 내 격벽(Intermediate plate)을 만들지 않아도 되어 단순하고 건설비가 절감된다.

Upflow system은 WBA의 진비중이 SBA에 비하여 낮기 때문에 수지탑 내 격벽(Intermediate plate)을 사용하여 Chamber를 2개 만들어 상부 Chamber에는 SBA를 충전하고 하부 Chamber에는 WBA를 충전한다. 이 방식은 격벽을 제작하는 데 비용이 증가하며 기존 설비를 개선할 때도 비용 증가의 원인이 된다.

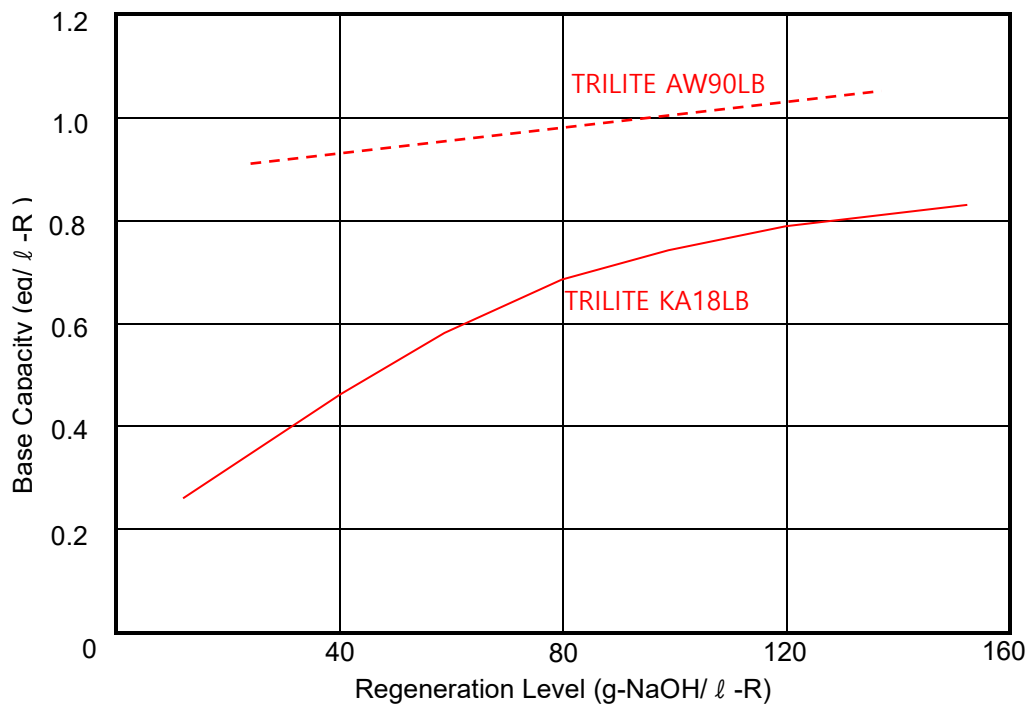


반면, Downflow system은 통수 방향이 상부에서 하부이기 때문에 진비중의 순서대로 이온교환수지를 충전해도 되며 격벽이 필요 없어 수지탑 구조가 단순해지고 건설비가 절감된다. TRILITE 복층상식 수지의 경우 진비중 뿐만 아니라 입도 범위를 조정하여 완벽한 분리 성능을 자랑한다.

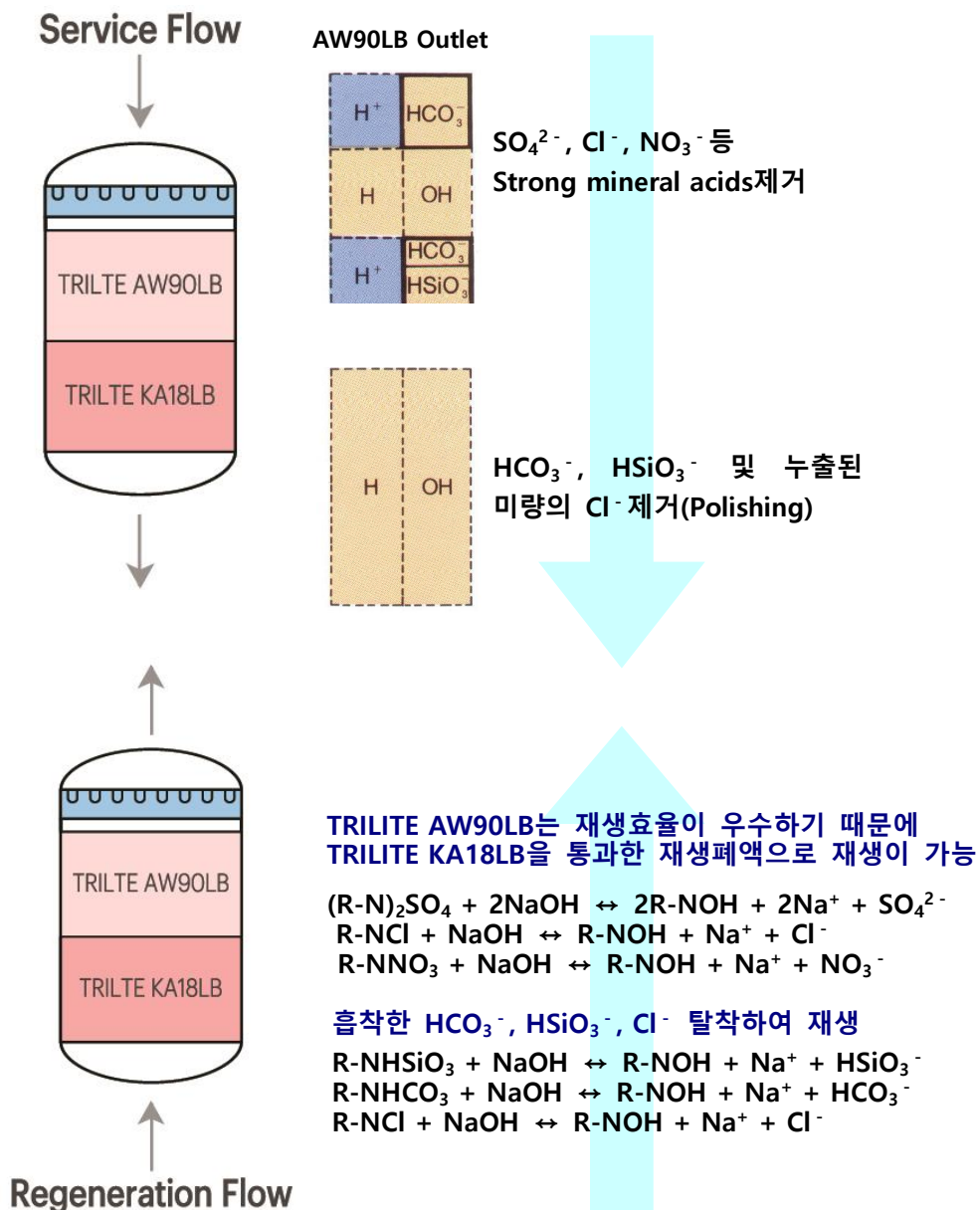
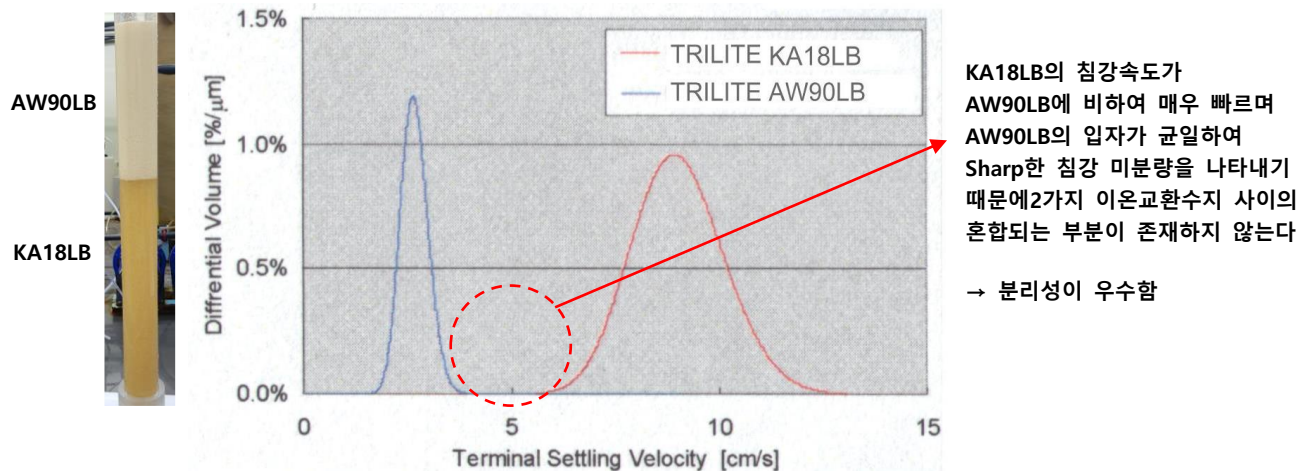
구분	TRILITE KA18LB (SBA)	TRILITE AW90LB (WBA)
명칭	강염기성 음이온교환수지 (Gel형)	약염기성 음이온교환수지 (Porous형)
Matrix	Styrene-divinylbenzene Copolymer	
교환기	Trimethylammonium (Type1)	Dimethylammonium
이온형	Cl	OH
색 및 형상	담황색 투명 구상	황백색 불투명 구상
진비중	1.11g/ml	1.04g/ml
수분함유율	43~47%	40~50%
교환용량	1.3meq/ml	1.5meq/ml
팽윤도	OH / Cl = 1.24	Cl / OH = 1.30
균일계수	1.4이하	1.1이하
입도범위	0.6~1.2mm 	0.5~0.6mm 
사용온도	60°C(OH형) 80°C(Cl형)	100°C이하
유효pH범위	0~14	0~9

AW90LB은 재생효율이 매우 우수하여 재생제 절감을 가능하게 해주고, KA18LB는 매우 낮은 이온 및 SiO₂ Leakage를 실현하여 고순도의 수질을 보장해준다.

또한 불활성수지 TR70은 이온교환수지가 계외 유실되는 것을 방지하며 SS 및 미립자의 배출을 돕는다.



입도를 조절하여 하기 그림에서와 같이 Terminal settling velocity의 차별화가 실현되어 완벽한 분리가 실현되었다.



7) Packed bed system 운전 조작

Downflow system의 운전 조작을 정리하면 아래와 같다.

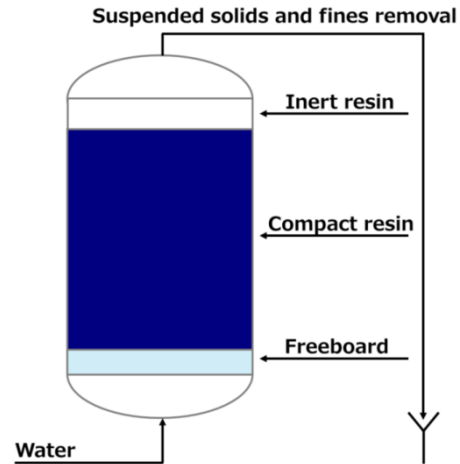
① 통수(Service)

원수가 상부로 주입되어 하향류(Downflow)로 통수되어 순수가 생산된다.

② 수지층 압축(Compaction)

약주(Injection), 압출(Displacement) 공정 전 재생용수를 상향류(Upflow)로 통수시킨다. 빠른 유속으로 수지층은 흡착대가 유지된 채로 수지탑 상부에 압축된다.

수지층 압축에 필요한 유속은 이온교환수지의 입도 분포, 밀도, Freeboard의 정도, 수온에 영향 받는다. 수지층이 충분히 압축되는 데는 불과 수분이 소요된다. 상부 불활성 수지는 이온교환수지가 계외 유실되는 것을 방지하며 SS 및 미립자의 배출을 돕는다.

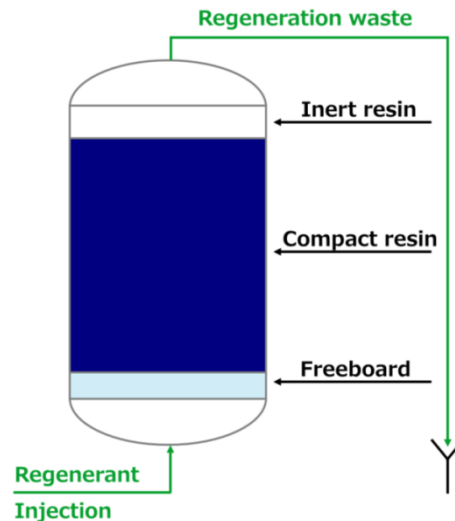


③ 약주 및 압출(Injection / Displacement)

수지층이 압축되면 재생제를 투입하는 데 수지층 압축 공정에 비하여 유속이 떨어지게 된다.

유속이 저하되어도 수지층은 상부에 압축된 상태를 유지하게 되는 데 이 현상을 이력현상(Hysteresis)^{註)}라 한다. 수지층이 압축을 유지한 상태로 재생제의 이상적인 접촉시간, 농도, 유속을 유지할 수 있게 된다.

약주 후 압출 공정이 실시되어 미반응 재생제의 반응을 돕고 재생폐액의 계외 배출을 유도한다.

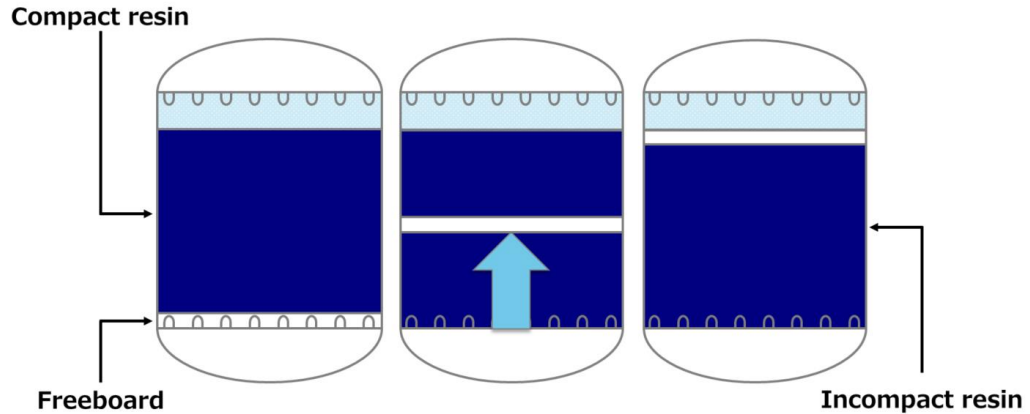


註) 이력현상(履歷現象, Hysteresis)

히스테리시스라고도 하며, 줄여서 이력이라 한다. 이것이 뚜렷하게 나타나는 것에는 강자성체(強磁性體)의 자화(磁化), 탄성의 변형이 있는데, 이들을 각각 자기이력(磁氣履歷 : 자기 히스테리시스), 탄성이력(彈性履歷 : 탄성히스테리시스)이라고 한다. 이력현상이 나타나는 상태변화에 대해서는 상태변화와 이것을 일으키는 원인이 되는 물리량, 예를 들면 자화의 세기와 외부자기장, 변형과 외력과의 관계를 나타내는 곡선은 루프(loop)가 된다. 이것을 히스테리시스곡선이라 한다.

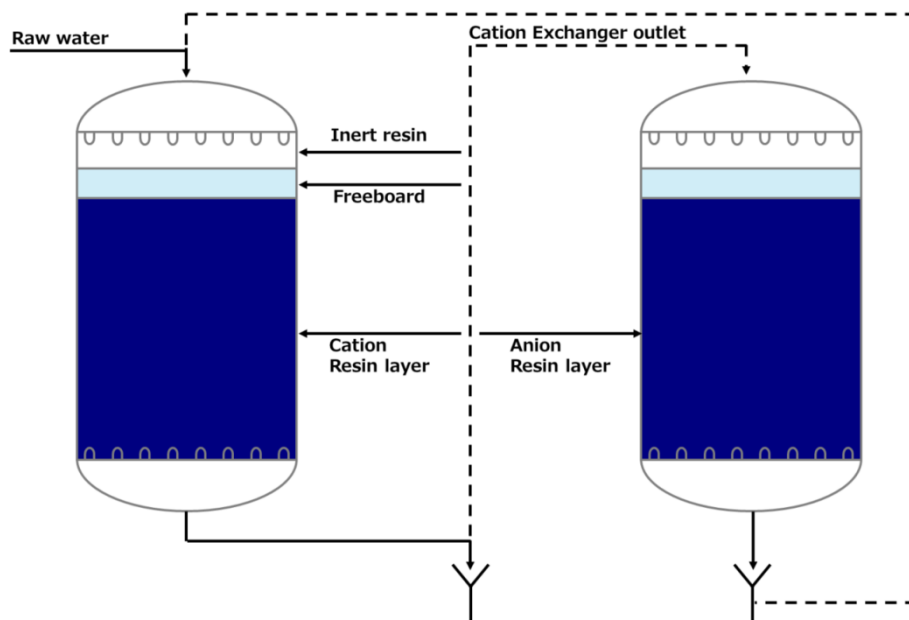
④ 침정(Settling)

압출공정이 종료되면 상향류 유속이 중지되어 수지층은 수지탑 하부에 자유낙하하여 쌓이게 된다. 이 때 수지층의 흡착대가 유지되기 때문에 고순도의 처리수를 채수할 수 있으며 이온교환수지의 효율적인 이용이 가능하다. 또한 침정과정 중 수지층이 풀어지는 효과가 있으며 수지층 내부의 미립자 및 SS는 수지층 상부로 이동하여 다음 재생과정 중 계외 배출된다.



⑤ 수세(Rinse)

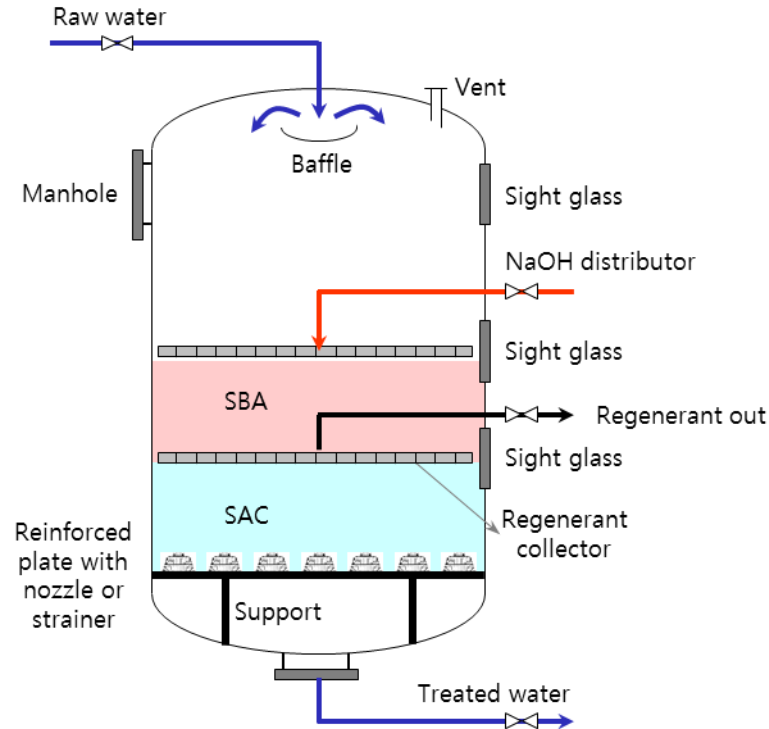
재생공정이 종료되고 요구 처리수질을 확보하기 위하여 수세를 실시한다. 서비스 유속과 동일한 유속으로 실시하며 용수 절감을 위하여 양이온교환탑에서 음이온교환탑으로 순환하는 방식이 일반적이다.



8) 혼상탑(Mixed bed system) 구조, 특징 및 운전 조작

① 구조

혼상탑의 구조는 양이온, 음이온교환수지가 혼합되어 사용을 하고, 재생 시에는 분리 후 재생을 해야 하기 때문에 단상탑(Single bed tower)에 비하여 복잡하다.



② 특징

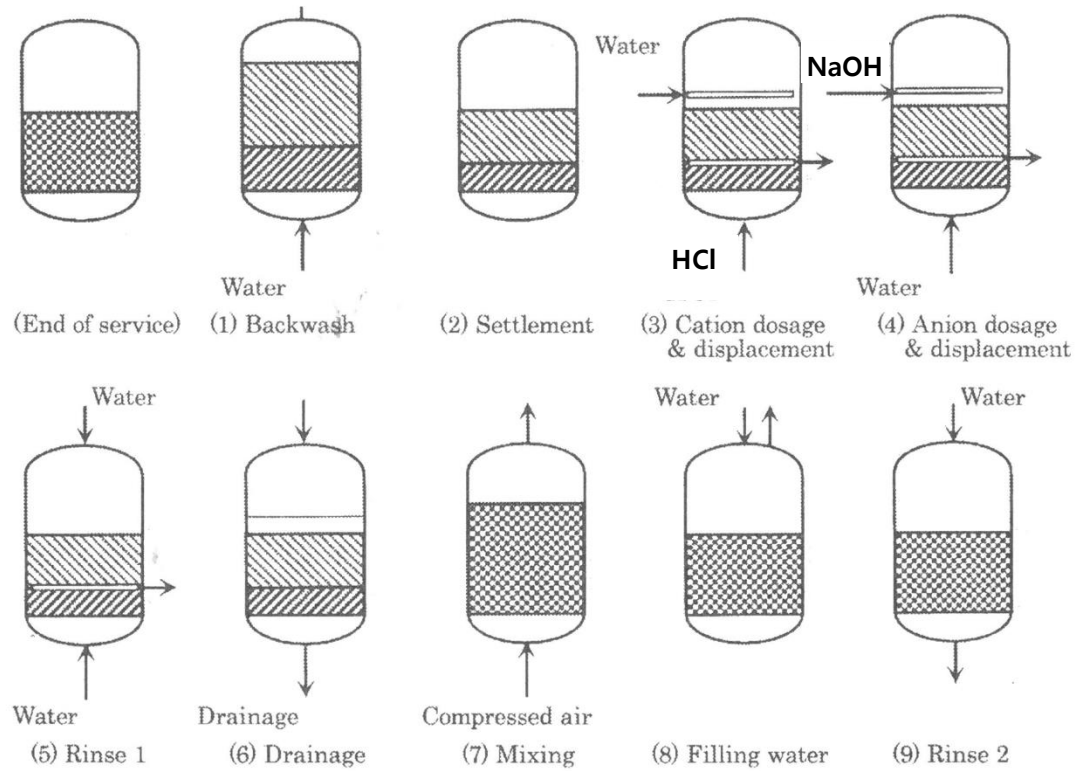
혼상탑은 단상탑에 비하여 운전방식이 복잡하고 이온교환수지탑을 크게 만들 수 없어 처리 수량이 적을 경우 사용된다. 혼상탑은 양, 음이온교환수지를 혼합하여 통수하므로 원수 → 양이온탑 → 음이온탑 → → 양이온탑 → 음이온탑 → 처리수 식으로 통수되어 처리수의 순도가 단상탑보다 높다.

따라서 처리수량이 적고 고순도의 처리수가 필요할 경우, 또는 2B2T, 2B3T, 3B4T, 4B3T, RO(Reverse osmosis) 후단의 Polisher 용도로 사용된다.

구분		단상탑 (Single bed tower)	혼상탑 (Mixed bed tower)	
설비구조		간단	복잡	
운전방식		간단	복잡	
설치면적		大	小	
처리수량		大	小	
			Working MB (SBA type2 기준)	MBP (SBA type1 기준)
처리수 순도	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1.0~2.0 ↓	1.0 ↓	0.1~0.2 ↓
	SiO ₂ Leakage	0.1~0.2ppm ↓	0.3ppm ↓	0.01~0.02ppm ↓

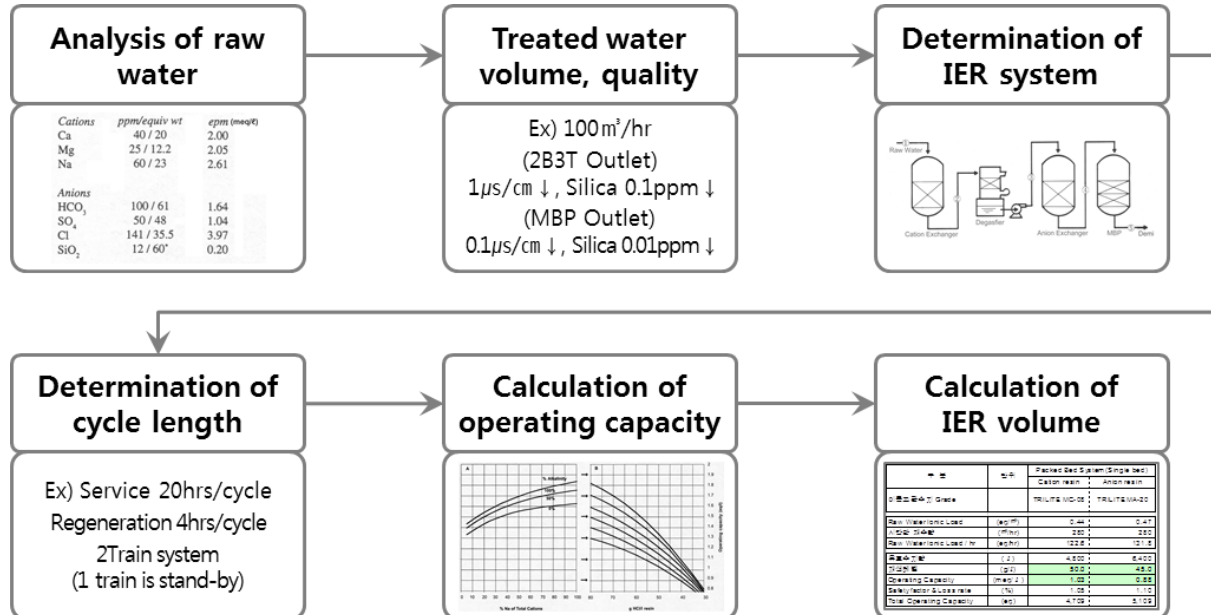
③ 운전 조작

혼상탑은 운전 방법은 역세를 통하여 양/음이온 교환수지를 비중 차이에 의하여 분리하고 양이온교환수지는 HCl로, 음이온 교환수지는 NaOH로 재생한 후, Air-bubbling을 통하여 물리적으로 혼합한 후 통수하는 순서이다.



9. 이온교환수지 순수장치 설계

원수 조건(수질 분석), 처리 수질, Cycle당 생산량, 이온교환수지, 재생방식 등을 고려해야 적절한 이온교환수지탑 설계 및 System을 구성할 수 있다.



1) 원수 조건(수질 분석)

① 원수 종류 및 포함되어 있는 염류(Salt)

전세계에는 다양한 수질의 원수가 존재하며 97%는 해수(Sea water)로 존재하며 약 3.5%(35,000ppm)의 염류(Salt)를 포함하고 있다. 일반적인 담수인 하천수에는 약 0.01~0.05%(100~500ppm)의 염류가 포함되어 있다. 일반적으로 담수에 포함되어 있는 염류는 다음과 같다.

Major	
Cations	Anions
Calcium (Ca ²⁺)	Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)
Magnesium (Mg ²⁺)	Sulfate (SO ₄ ²⁻)
Sodium (Na ⁺)	Chlorides (Cl ⁻)
Silica (SiO ₂ ²⁻)*	
■ Silica는 원수 중에 다양한 형태(양산, Polymer 등)로 존재하나 낮은 pH (양이온타입을 거치면)에서 음이온으로 변화하므로 음이온으로 분류된다.	
Minor	
Cations	Anions
Potassium (K ⁺)	Carbonate (CO ₃ ²⁻)
Barium (Ba ²⁺)Nitrate (NO ₃ ⁻)	
Iron (Fe ²⁺ or Fe ³⁺)	Phosphate (PO ₄ ³⁻)
Manganese (Mn ⁺² or Mn ⁺³)	Sulfide (S ²⁻)
Aluminum (Al ³⁺)	Fluoride (F ⁻)
Ammonium (NH ₄ ⁺)	Carbon dioxide (CO ₂)
Strontium (Sr ²⁺)	

② 수질 분석 용어 정의

다양한 원수를 분석하여 이온량 및 원수의 상태를 나타내기 위하여 다양한 용어가 사용되며 그 상세는 다음과 같다.

③ 비저항(Resistivity, $M\Omega \cdot cm$)

고유저항 또는 저항률이라고도 하며 불순물(Salt)의 양이 적을수록 즉, 순수한 물일 경우 저항이 높아진다. **비저항은 전기전도도의 역수(逆數)이며 단위는 $M\Omega \cdot cm$ 이다.**

④ 전기전도도(Conductivity, $\mu S/cm$)

전기전도도는 비저항의 역수로서 도전율(導電率)이라고도 한다. 단위는 $\mu S/cm$ 를 사용하며 일반적으로 전기전도율은 전하를 운반하는 입자의 수에 비례하므로 물의 경우 불순물(Salt)의 양이 적을수록 즉, 순수한 물일 경우 낮아진다. 전기전도도 값의 0.5를 곱하면 개략적인 염량을 산출할 수 있다.

$$\text{Conductivity}(\mu S/cm) \times 0.5 \approx \text{ppm as CaCO}_3$$

⑤ 경도(Hardness)

일반적인 경도는 Ca^{2+} , Mg^{2+} 이온량의 합계를 의미하며 ppm as $CaCO_3$ 로 표시한다. 원수 중 다른 2가 이온(Fe^{2+} , Mn^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , ...)이 있을 경우 포함한다. 경도성분이 높은 물(일반적으로 60ppm 이상)을 경수(Hard water)라 하며 낮은 물을 연수(Soft water)라 한다. 일시경도 (Temporary hardness) 와 영구경도(permanent hardness)로 구분되며 전자는 경도성분이 중탄산염으로서 용해되어 있는 상태로 이것을 끓이면 중탄산염이 탄산염으로 된다. 탄산염은 물에 녹지 않기 때문에 침전하며, 물은 연수가 된다. 이때 제거되는 경도를 일시경도라 한다. 후자는 경도성분이 황산염이나 질산염 같은 비탄산염으로 녹아있는 경수의 경도를 말한다.

⑥ 총무기산(FMA, Free Mineral Acids, ppm as $CaCO_3$ or meq/l)

무기물(Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-)에서 기인한 산(Acid)은 강산이며 무기산으로 명명하고, 유기물(탄산, 아세트산, 구연산 등)에서 기인한 산은 약산이며 유기산으로 명명한다. 물 분석에서 **FMA는 일반적으로 Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , F^- , PO_4^{3-} 등의 이온의 합계를 의미하며 약염기성 음이온교환수지(WBA)의 경우 FMA만을 교환한다.** 단위는 ppm as $CaCO_3$, epm(Equivalence per million, meq/l) 등이 사용된다.

⑦ 알칼리도(Alkalinity)

물에 녹아 있는 탄산수소염, 탄산염, 수산화물 등의 알칼리를 중화 하는데 필요한 산소비량을 의미하며 일반적으로 **알칼리도는 원수 중의 HCO_3^- , CO_3^{2-} 합계**를 의미한다.

⑧ TDS(Total Dissolved Solids, ppm as $CaCO_3$ or meq/l)

TDS는 원수 중 포함되어 있는 총 고형물질의 양을 의미하며 원수를 증발시킨 후 남아 있는 고형물질의 양으로 오해되기도 하며 일반적으로 SS(Suspended Solids)성분을 제외한 것을 의미하며 총염량으로 해석되기도 한다. R/O(Reverse osmosis, 역삼투압) 분야에서는 원수 중의 양, 음이온량의 합계를 의미하고, 이온교환수지 분야에서는 양, 음이온 따로(R/O 분야의 TDS의 약 1/2) 계산된 수치를 의미한다. 단위는 ppm as $CaCO_3$, epm(Equivalence per million, meq/l) 등이 사용된다.

일반적으로 원수 수질 분석이라 하면 ppm as $CaCO_3$ or epm(Equivalence per million, meq/l)이 많이 사용되는데 그 이유는 표준값($CaCO_3$)으로 환산된 수치이기 때문이다. 이온 분석치를 표준값($CaCO_3$)으로 환산하는 사례는 다음과 같다.

주요 이온의 분자량(또는 원자량), 당량, CaCO₃ 환산값은 아래 표와 같다.

<i>Substance</i>	<i>Atomic or Molecular Weight</i>	<i>Equivalent Weight</i>	<i>Substance to CaCO₃ Equivalent</i>
Aluminum	27.0	9.0	5.56
Ammonia	17.0	17.0	2.94
Ammonium	18.0	18.0	2.78
Barium	137.4	68.7	0.73
Bicarbonate	61.0	61.0	0.82
Calcium	40.1	20.0	2.50
Carbonate*	60.0	60.0	0.83
Carbon dioxide*	44.0	44.0	1.14
Chloride	35.5	35.5	1.41
Iron (Fe ²⁺)	55.8	27.9	1.79
Iron (Fe ³⁺)	55.8	18.6	2.69
Magnesium	24.3	12.2	4.12
Nitrate	62.0	62.0	0.81
Phosphate	95.0	31.7	1.58
Potassium	39.1	39.1	1.28
Silica*	60.1	60.1	0.83
Sodium	23.0	23.0	2.17
Strontium	87.6	43.8	1.14
Sulfide	32.1	16.0	3.13
Sulfate	95.1	48.0	1.04

epm(Equivalence per million)은 각 이온을 분석하여 원수 중 그 이온에 해당하는 중량으로 표기한 것을 당량(위의 표)으로 나눈 값으로 표준값으로 환산된 이온량이라 할 수 있으며 변환되는 사례는 다음과 같다.

(특정 이온으로 환산한 이온 중량 표기)

<i>Cations</i>		<i>Anions</i>	
Calcium as Ca	40	Bicarbonate as HCO ₃	100
Magnesium as Mg	25	Sulfate as SO ₄	50
Sodium as Na	60	Chlorides as Cl	141
<i>Total</i>	125	<i>Subtotal</i>	291
		SiO ₂	12
		<i>Total</i>	303

epm(Equivalence per million) = ppm as ion / 당량(Equivalent weight)

(epm으로 환산)

<i>Cations</i>	<i>ppm/equiv wt</i>	<i>epm (meq/l)</i>
Ca	40 / 20	2.00
Mg	25 / 12.2	2.05
Na	60 / 23	2.61
<i>Anions</i>		
HCO ₃	100 / 61	1.64
SO ₄	50 / 48	1.04
Cl	141 / 35.5	3.97
SiO ₂	12 / 60*	0.20

(epm으로 환산된 값 정리)

Cations		Anions	
Ca	2.00	HCO ₃	1.64
Mg	2.05	SO ₄	1.04
Na	<u>2.61</u>	Cl	<u>3.97</u>
Total*	6.66	Subtotal	6.65
		SiO ₂	<u>0.20</u>
		Total	6.85

epm으로 환산된 상기 수치를 보면 원수 pH가 중성일 경우 Silica를 제외한 양, 음이온의 epm이 거의 같은 것을 알 수 있다. 따라서 원수의 pH가 중성에 가까울 경우 양, 음이온의 epm값이 차이가 많이 날 경우 분석치의 오류의 가능성을 의심해야 하며 보정을 실시해야 한다.

2) 처리 수질 및 프로세스 검토

원수 분석치, 처리 수질, Cycle당 생산량, 이온교환수지, 재생방식 등을 종합적으로 고려하여 적절한 프로세스가 선택될 수 있도록 고려해야 한다.

구분	항목	고려 사항
원수조건 이온교환수지 검토	이온 부하량, 조성 (TDS, SiO ₂ %)	이온부하에 따른 이온교환수지량 산정에 필요 - 연간 수질 편차가 클 경우 : 최악 조건 고려 - Silica 유입량 고려 : 많은 경우 강염기성 음이온교환수지(SBA) Type1 적용 검토 - Layered bed 적용 시 : 재생제 사용량 절감 효과 및 수지량 감소 고려
	운전 온도	이온교환수지 내열온도 고려 하여 선정 요망 - 강산성 양이온교환수지(SAC) : 120°C ↓ - 약산성 양이온교환수지(WAC) : 120°C ↓ - 강염기성 음이온교환수지(SBA) Gel type1 60°C ↓ - 강염기성 음이온교환수지(SBA) Gel type2 40°C ↓ - 강염기성 음이온교환수지(SBA) Porous type1 70°C ↓ - 강염기성 음이온교환수지(SBA) Porous type2 50°C ↓ - 약염기성 음이온교환수지(WBA) : 60°C ↓
	유기오염물질 부하량 (COD)	Gel type 강염기성 음이온교환수지는 가장 경제적이거나 유기오염에 취약하여 유기오염물질 부하량이 높을 경우 적절한 대안을 검토 하는 것이 필요 1) 내오염성이 강한 SBA Porous type 적용 검토 2) Layered bed(WBA + SBA) 적용 검토 3) 운전 조건을 조정하여 유기오염 저감 검토 - 재생 시 NaOH 접촉시간을 연장 - 재생온도를 최대한 높여 재생 - 주기적인 수지분석 및 전처리(활성탄) 점검

이온 부하량, 조성, 유기오염물질 부하량 등은 음이온교환수지 선택에 영향을 미치고 올바른 선택 가이드는 아래와 같다.

원수 조건			음이온교환수지 선택	프로세스 선택		
TDS	SiO ₂ %	COD		Type	Cation tower	Anion tower
50ppm ↓	30% ↓	1g KMnO ₄ /ℓ- Resin ↓	SBA gel type2 (MA-20, SAR20L)	UPS	MC-08	MA-20
				Gaussian	SCR-BL	SAR20L
		5g KMnO ₄ /ℓ- Resin ↓	Layered bed (WBA+SBA) (AW90LB+KA18LB) (AW30L+MA-12)	Downflow (1 Chamber)	SCR-BL or MC-08	AW90LB ↓ KA18LB
				Upflow (2 Chambers)	SCR-BL or MC-08	MA-12 ↑ AW30L
	30% ↑	1g KMnO ₄ /ℓ- Resin ↓	SBA gel type1 (MA-12, SAR12L)	UPS	MC-08	MA-12
		5g KMnO ₄ /ℓ- Resin ↓	SBA porous type1 (AMP18L)	Gaussian	SCR-BL	SAR12L AMP18L
50ppm ↑	30% ↓	1g KMnO ₄ /ℓ- Resin ↓	SBA gel type2 (MA-20, SAR20L)	UPS	MC-08	MA-20
				Gaussian	SCR-BL	SAR20L
		5g KMnO ₄ /ℓ- Resin ↓	Layered bed (WBA+SBA) (AW90LB+KA18LB) (AW30L+MA-12)	Downflow (1 Chamber)	SCR-BL or MC-08	AW90LB ↓ KA18LB
				Upflow (2 Chambers)	SCR-BL or MC-08	MA-12 ↑ AW30L
	30% ↑	1g KMnO ₄ /ℓ- Resin ↓	SBA gel type2 (MA-20, SAR20L)	UPS	MC-08	MA-20
		5g KMnO ₄ /ℓ- Resin ↓	SBA porous type2 (AMP28L)	Gaussian	SCR-BL	SAR20L AMP28L

복잡해 보이지만 일반적으로 적용 사례를 정리하면 아래와 같다.

유기오염물질 부하량이 높지 않을 경우에는 SBA gel type2 또는 type1을 사용하는 것이 바람직하다. Type2를 사용하면 재생제 절감이 가능하나 연간 성능 저하율이 type1에 비하여 높고, type1을 사용하면 연간 성능 저하율이 type2에 비하여 낮으나 재생효율이 안 좋아 재생제 투입량이 증가한다.

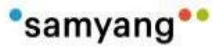
유기오염물질 부하량이 높고 SiO₂%가 30% 이하일 경우에는 Layered bed (WBA+SBA)를 사용하는 것이 바람직하다. Layered bed downflow의 경우 Chamber가 격벽으로 구분되지 않아 입자 크기로 분리가 가능한 AW90LB+KA18LB 조합이 추천되고, Layered bed upflow의 경우 Chamber가 격벽으로 구분되어 있어 AW30L+MA-12 조합이 추천된다.

상기와 같이 이온교환수지 검토가 완료되면 처리수 조건 및 유량 등을 검토하여 프로세스 검토를 지속하게 된다

처리수 조건	처리수량, 설치면적, 재생폐수 처리	1) 처리수량이 적고 고순도의 순수를 얻고자 하면서 설치면적이 협소할 경우 Working MB(재생 가능) 선택 2) 상기와 같은 조건 + 재생 폐수 처리 불가일 경우는 Non-regenerable MB 선택
	탈탄산탑 설치	1) Alkalinity($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_2$) > 20ppm : 탈탄산탑(Degasifier) 적용 (2B3T, 3B3T, 4B3T) 2) Alkalinity($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_2$) < 20ppm : 탈탄산탑(Degasifier) 미적용 (2B2T)
	저순도 순수 ($5 \sim 20 \mu\text{S}/\text{cm} \downarrow$)	1) MBP(Mixed bed polisher) 필요하지 않으나 향류재생방식 수처리 시스템 적용 필요
	고순도 순수 ($0.1 \mu\text{S}/\text{cm} \downarrow$) (Silica 0.01ppm \downarrow) (Na 0.01~0.1ppm \downarrow)	1) MBP(Mixed bed polisher) 추가 2) Cation Polisher 추가 : 음이온탐 후단 leak되는 NaOH를 제거하여 Na 농도를 낮추고자 할 때
	초순수 ($18.0 \sim 18.2 \text{M}\Omega \cdot \text{cm} \uparrow$) ($\Delta\text{TOC} 1 \sim 5 \text{ppb} \downarrow$)	1) 초순수 시스템 추가 설치 : RO(Reverse osmosis), UV(Ultra violet), Non-regenerable MB(초순수수지)
유량	Cycle length	1) 1일 운전시간 및 평균 순수필요량 확인 필요 (재생에 소모되는 순수사용량 반드시 고려해야 함) 예) 실제 1일 순수생산량 = 1일 순수필요량 + 재생수량 2) 1회 재생/day (20hr 운전, 4hr 재생) (일정한 시간에 재생이 이루어지면 관리 용이)
	Max./Nor./Min. 유량 시스템 구성	1) Storage 또는 Buffer Tank 용량 결정 (재생수량 + 재생시간 동안 순수공급물량 보유 용량 필요) 2) 설계유량은 최소 LV 5m/hr이상 유지 / 최대 50m/hr를 초과하지 않는다 (너무 낮은 유량은 역반응으로 처리수질에 영향을 줌) 3) 운전정지를 최소화할 수 있는 연속운전 고려 처리유량 100% 기준으로 수지량 계산하여 수지탑 사이즈가 설치하기에 너무 큰 경우, 수지탑 용량을 50%/33%/25%와 같이 병렬운전 방식 고려한다, $2+1/3+1/\dots (= \text{Duty} + \text{Stand-by})$ 예) 처리수량 및 원수수질을 고려하여 수지량을 계산하여 수지량이 30,000ℓ/Tower가 산출되었다고 가정하면, 수지탑 단면적을 줄여 최대 LV에 가깝게 적용하면 수지층고는 너무 높아지고, 수지탑 단면적을 넓혀 최소 LV에 가깝게 적용하면 너무 낮은 수지층고로 이상적인 설비 구성이 어렵게 된다. 이런 경우, 50% x 3 line(2 line operation + 1 line Stand-by)로 구성하는 것을 추천한다

3) 이온교환수지탑 설계 사례

① 2B3T(Counter-current regeneration, Packed bed system, SBA Type2, HCl regeneration)



Packed Bed System Ion Exchange Resin Calculation Sheet (1st Step)

1. Vendor name :

2. IER System : 2B3T(Counter-current regeneration, Packed bed system, SBA Type2, HCl regeneration)

3. Flow rate : 150m³/hr × 20hr/cycle : Input data4. Cycle length : 3,000m³/cycle

5. Raw water analysis	epm(equivalence per million)					비고
	Items	Units	Value	Units	Value	
	Ca ²⁺ (Calcium)	ppm as CaCO ₃	50.0	epm(meq/l)	1.00	Total ionic loads General : 50~500ppm Maximum : 800ppm as CaCO ₃
	Mg ²⁺ (Magnesium)	ppm as CaCO ₃	50.0	epm(meq/l)	1.00	
	Na ⁺ (Sodium)	ppm as CaCO ₃	65.0	epm(meq/l)	1.30	
	K ⁺ (Potassium)	ppm as CaCO ₃	0.0	epm(meq/l)	0.00	
	Total Cations	ppm as CaCO₃	165.0	epm(meq/l)	3.30	
	HCO ₃ ⁻ (Bicarbonate)	ppm as CaCO ₃	40.0	epm(meq/l)	0.80	Free Mineral Acids (FMA)
	Cl ⁻ (Chloride)	ppm as CaCO ₃	100.0	epm(meq/l)	2.00	
	SO ₄ ²⁻ (Sulfate)	ppm as CaCO ₃	25.0	epm(meq/l)	0.50	
	NO ₃ ⁻ + PO ₄ ³⁻ (Nitrate + Phosphate)	ppm as CaCO ₃	0.0	epm(meq/l)	0.00	
	Total Anions	ppm as CaCO₃	165.0	epm(meq/l)	3.30	
	SiO ₂ (Silica)	ppm as CaCO ₃	10.0	epm(meq/l)	0.20	
	Total Iron	ppm as Fe	0.0	ppm as Fe	0.0	< 0.1ppm as Fe
	Chlorine	ppm as Cl ₂	0.0	ppm as Cl ₂	0.0	< 0.1ppm as Cl
	COD	ppm	2.0	ppm	2.0	< 2.0ppm
	Turbidity	°	1	°	1	< 1°
	pH		7.5		7.5	
	Conductivity	μs/cm	330	μs/cm	330	
	Temperature	°C	15.0	°C	15.0	

6. Treated water quality	Items	2B2T outlet	MBP outlet
	Conductivity	1μs/cm ↓	0.1μs/cm ↓
	SiO ₂	0.1ppm ↓	0.01ppm ↓
	pH	7~9.5	6.5~7.5

7. Regenerant HCl : 35% 50.0g/l-Resin (Regeneration level)
 NaOH : 50% 45.0g/l-Resin (Regeneration level)

8. Raw water summary (ppm as CaCO₃) (meq/l)

Total Cations	:	165	3.30
TEA	:	145	2.90
Na%	:	39.4%	
Alkalinity(%)	:	24.2%	
SiO₂%	:	6.9%	
Cl%	:	69.0%	

TEA(Total Exchangeable Anions)=FMA + HCO₃⁻ + SiO₂
 If a degasifier exists, HCO₃⁻ is data after degasifier and generally 10ppm as CaCO₃ or 0.2meq/l

Higher Na%, lower operating capacity of cation exchange resin

Higher alkalinity, lower operating capacity of cation exchange resin

When SiO₂% is 30% or more, layered bed is not applicable

Higher Cl%, lower operating capacity of anion exchange resin

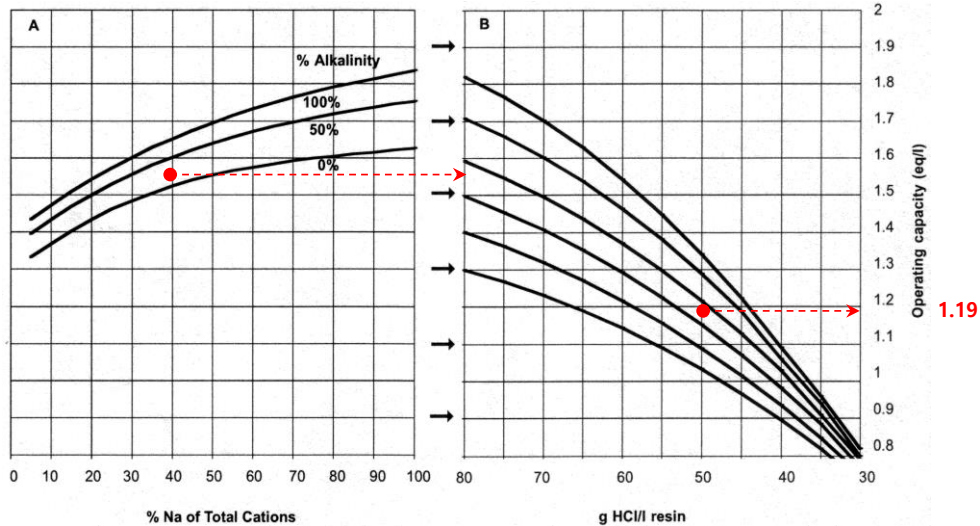
Packed Bed System Ion Exchange Resin Calculation Sheet(2nd Step)

9. Calculation of volume for CER(cation exchange resin)

The calculation of volume for cation exchange resin depends on total cations of raw water and operating capacity, operating capacity can be calculated as shown below according to Na%, alkalinity, regeneration level. (Fig1)

Na%	39.4%
Alkalinity	24.2%
Regeneration level	50.0 (g/l-R)

Fig1) Operating capacity of TRILITE MC-08



Operating capacity of CER = 1.19eq/l-Resin

Volume of CER = Total cation loads / operating capacity

$$= 3.3\text{eq/m}^3 \times 3,000\text{m}^3/\text{cycle} \div 1.19\text{eq/l-R} = 8,319\text{l}$$

Applying safety factor, $8,319\text{l} \times 1.05 \approx 8,800\text{l}$

10. Engineering verification of CER volume

- ① Diameter of tower(packed bed system) : 2,000~3,000mm
- ② Flow rate : LV 20~40m/hr
- ③ Maximum bed depth : < 3,000mm
- ④ Minimum bed depth : > 500mm

Items	Output	Remark
Diameter of tower	2,500mm	2,000~3,000mm
Sectional area	4.91m ²	
Volume of CER	8,800l	
CER Bed depth	1,794mm	Min 500mm
Flow rate(SV)	17.0	SV 2~60
Flow rate(LV)	30.6	LV 20~40m/hr

Adjustment
→

Items	Output	Remark
Diameter of tower	2,500mm	2,000~3,000mm
Sectional area	4.91m ²	
Volume of CER	8,800l	
CER Bed depth	1,794mm	Min 500mm
Flow rate(SV)	17.0	SV 2~60
Flow rate(LV)	30.6	LV 20~40m/hr

No adjustment needed

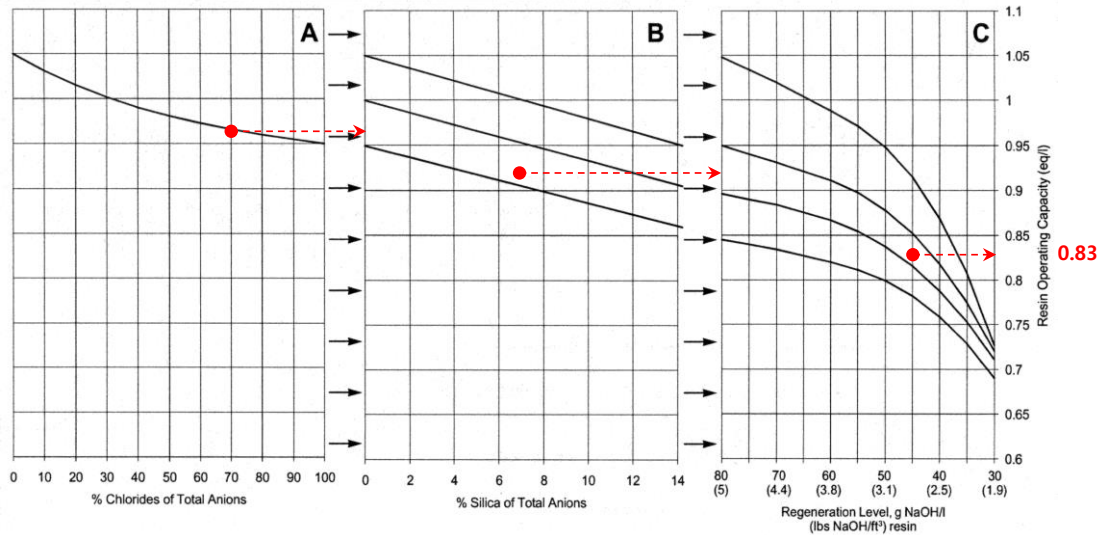
Volume after adjustment = 8,800l

11. Calculation of volume for AER(Anion exchange resin)

The calculation of volume for anion exchange resin depends on TEA of raw water and operating capacity, operating capacity can be calculated as shown below according to Cl%, SiO₂%, regeneration level. (Fig2)

Cl%	69.0%
SiO ₂ %	6.9%
Regeneration level	45.0 (g/l-R)

Fig2) Operating capacity of TRILITE MA-20



Operating capacity of AER **0.83eq/l-Resin**

Multiply the correction factors of Fig. 3, 4 and 5 to calculate operating capacity adjusted.

0.83eq/l-Resin × 1.0 (from Fig3) × 1.03(from Fig4) × 1.00 (from Fig5)

Adjusted operating capacity **0.85eq/l-Resin**

Fig3) Silica end point correction factor of MA-20

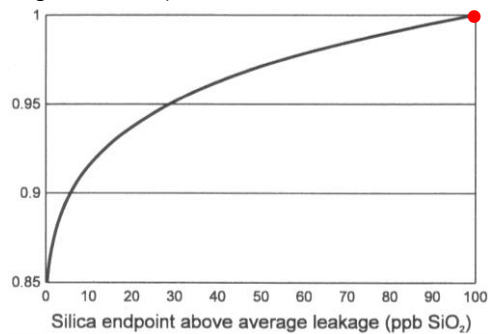


Fig4) Regenerant temperature correction factor of MA-20

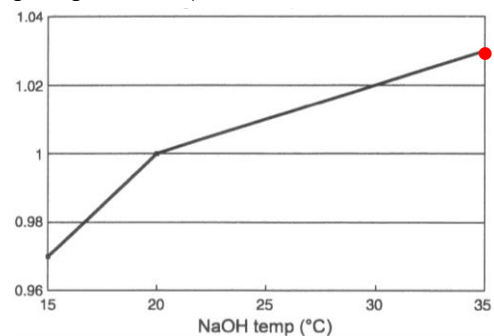
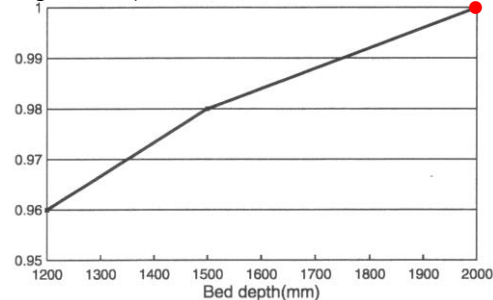


Fig5) Bed depth correction factor of MA-20



$$\text{Volume of AER} = \text{TEA loads} / \text{operating capacity} = 2.90\text{eq/m}^3 \times 3,000\text{m}^3/\text{cycle} \div 0.85\text{eq/l-R} = 10,177\text{l}$$

$$\text{Applying safety factor, } 10,177\text{l} \times 1.05 \approx 10,700\text{l}$$

12. Engineering verification of AER volume

- ① Diameter of tower(packed bed system) : 2,000~3,000mm
- ② Flow rate : LV 20~40m/hr
- ③ Maximum bed depth : < 3,000mm
- ④ Minimum bed depth : > 500mm

Items	Output	Remark
Diameter of tower	2,600mm	2,000~3,000mm
Sectional area	5.31m ²	
Volume of CER	10,700ℓ	
AER Bed depth	2,016mm	Min 500mm
Flow rate(SV)	14.0	SV 2~60
Flow rate(LV)	28.3	LV 20~40m/hr

Adjustment

Items	Output	Remark
Diameter of tower	2,600mm	2,000~3,000mm
Sectional area	5.31m ²	
Volume of CER	10,700ℓ	
AER Bed depth	2,016mm	Min 500mm
Flow rate(SV)	14.0	SV 2~60
Flow rate(LV)	28.3	LV 20~40m/hr

No adjustment needed

Volume after adjustment = 10,700ℓ

13. Result of calculation

IER tower	Cation(mm)	2,500Φ	2,179H
	Anion(mm)	2,600Φ	2,504H
Volume of IER	CER	8,800ℓ	
	Inert resin	1,227ℓ	
	AER	10,700ℓ	
	Inert resin	1,327ℓ	

Flow rate

LV 30.6 SV 17.0

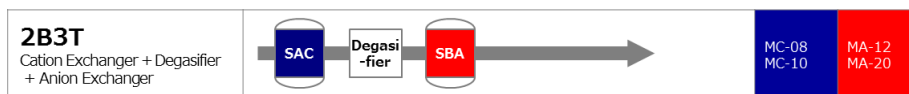
LV 28.3 SV 14.0

Swelling rate 8.0%

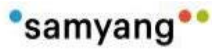
(Bed depth 250)

SBA Swelling rate 14.0%

(Bed depth 250)



② 2B3T(Counter-current regeneration, Packed bed system, SBA Type1, HCl regeneration)



Packed Bed System Ion Exchange Resin Calculation Sheet (1st Step)

1. Vendor name :

2. IER System : 2B3T(Counter-current regeneration, Packed bed system, SBA Type1, HCl regeneration)

3. Flow rate : 150m³/hr × 20hr/cycle : Input data4. Cycle length : 3,000m³/cycle

		epm(equivalence per million)				
5. Raw water analysis	Items	Units	Value	Units	Value	비고
	Ca ²⁺ (Calcium)	ppm as CaCO ₃	50.0	epm(meq/l)	1.00	Total ionic loads General : 50~500ppm Maximum : 800ppm as CaCO ₃
	Mg ²⁺ (Magnesium)	ppm as CaCO ₃	50.0	epm(meq/l)	1.00	
	Na ⁺ (Sodium)	ppm as CaCO ₃	65.0	epm(meq/l)	1.30	
	K ⁺ (Potassium)	ppm as CaCO ₃	0.0	epm(meq/l)	0.00	
	Total Cations	ppm as CaCO₃	165.0	epm(meq/l)	3.30	
	HCO ₃ ⁻ (Bicarbonate)	ppm as CaCO ₃	40.0	epm(meq/l)	0.80	Free Mineral Acids (FMA)
	Cl ⁻ (Chloride)	ppm as CaCO ₃	100.0	epm(meq/l)	2.00	
	SO ₄ ²⁻ (Sulfate)	ppm as CaCO ₃	25.0	epm(meq/l)	0.50	
	NO ₃ ⁻ + PO ₄ ³⁻ (Nitrate + Phosphate)	ppm as CaCO ₃	0.0	epm(meq/l)	0.00	
	Total Anions	ppm as CaCO₃	165.0	epm(meq/l)	3.30	
	SiO ₂ (Silica)	ppm as CaCO ₃	10.0	epm(meq/l)	0.20	
	Total Iron	ppm as Fe	0.0	ppm as Fe	0.0	< 0.1ppm as Fe
	Chlorine	ppm as Cl ₂	0.0	ppm as Cl ₂	0.0	< 0.1ppm as Cl
	COD	ppm	2.0	ppm	2.0	< 2.0ppm
	Turbidity	°	1	°	1	< 1°
	pH		7.5		7.5	
	Conductivity	μs/cm	330	μs/cm	330	
	Temperature	°C	15.0	°C	15.0	

6. Treated water quality	Items	2B2T outlet	MBP outlet
	Conductivity	1μs/cm ↓	0.1μs/cm ↓
	SiO ₂	0.1ppm ↓	0.01ppm ↓
	pH	7~9.5	6.5~7.5

7. Regenerant HCl : 35% 50.0g/l-Resin (Regeneration level)
 NaOH : 50% 60.0g/l-Resin (Regeneration level)

8. Raw water summary (ppm as CaCO₃) (meq/l)

Total Cations	:	165	3.30
TEA	:	145	2.90
Na%	:	39.4%	
Alkalinity(%)	:	24.2%	
SiO₂%	:	6.9%	
Cl%	:	69.0%	

TEA(Total Exchangeable Anions)=FMA + HCO₃⁻ + SiO₂
 If a degasifier exists, HCO₃⁻ is data after degasifier and generally 10ppm as CaCO₃ or 0.2meq/l

Higher Na%, lower operating capacity of cation exchange resin

Higher alkalinity, lower operating capacity of cation exchange resin

When SiO₂% is 30% or more, layered bed is not applicable

Higher Cl%, lower operating capacity of anion exchange resin

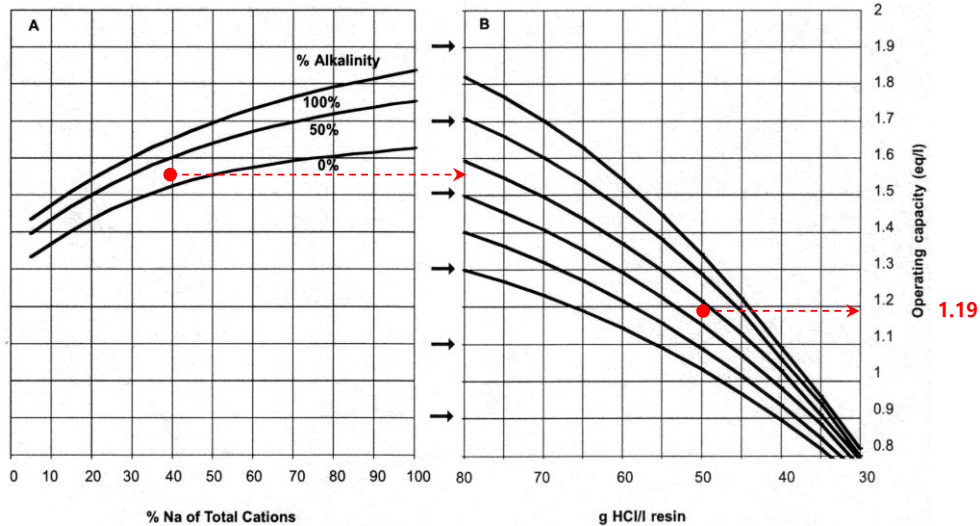
Packed Bed System Ion Exchange Resin Calculation Sheet(2nd Step)

9. Calculation of volume for CER(cation exchange resin)

The calculation of volume for cation exchange resin depends on total cations of raw water and operating capacity, operating capacity can be calculated as shown below according to Na%, alkalinity, regeneration level. (Fig1)

Na%	39.4%
Alkalinity	24.2%
Regeneration level	50.0 (g/l-R)

Fig1) Operating capacity of TRILITE MC-08



Operating capacity of CER = 1.19eq/l-Resin

Volume of CER = Total cation loads / operating capacity

$$= 3.3\text{eq/m}^3 \times 3,000\text{m}^3/\text{cycle} \div 1.19\text{eq/l-R} = 8,319\text{l}$$

Applying safety factor, $8,319\text{l} \times 1.05 \approx 8,800\text{l}$

10. Engineering verification of CER volume

- ① Diameter of tower(packed bed system) : 2,000~3,000mm
- ② Flow rate : LV 20~40m/hr
- ③ Maximum bed depth : < 3,000mm
- ④ Minimum bed depth : > 500mm

Items	Output	Remark
Diameter of tower	2,500mm	2,000~3,000mm
Sectional area	4.91m ²	
Volume of CER	8,800l	
CER Bed depth	1,794mm	Min 500mm
Flow rate(SV)	17.0	SV 2~60
Flow rate(LV)	30.6	LV 20~40m/hr

Adjustment

Items	Output	Remark
Diameter of tower	2,500mm	2,000~3,000mm
Sectional area	4.91m ²	
Volume of CER	8,800l	
CER Bed depth	1,794mm	Min 500mm
Flow rate(SV)	17.0	SV 2~60
Flow rate(LV)	30.6	LV 20~40m/hr

No adjustment needed

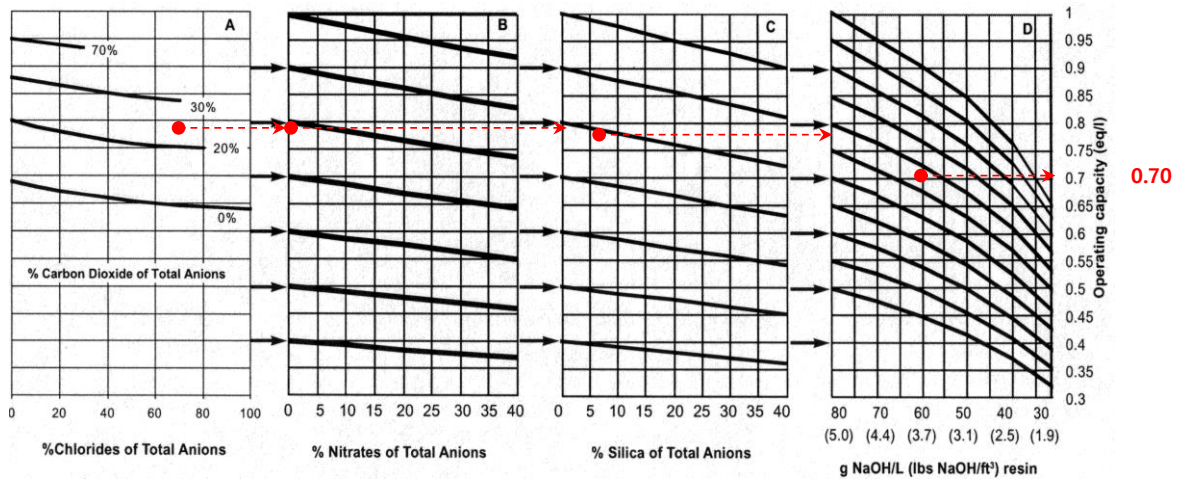
Volume after adjustment = 8,800l

11. Calculation of volume for AER(Anion exchange resin)

The calculation of volume for anion exchange resin depends on TEA of raw water and operating capacity, operating capacity can be calculated as shown below according to Cl%, SiO₂%, regeneration level. (Fig2)

Alkalinity	24.2%
Cl%	69.0%
NO ₃ ⁻ %	0.0%
SiO ₂ %	6.9%
Regeneration level	60.0 (g/ℓ-R)

Fig2) Operating capacity of TRILITE MA-12



Operating capacity of AER **0.70eq/ℓ-Resin**

Multiply the correction factors of Fig. 3, 4 and 5 to calculate operating capacity adjusted.

0.70eq/ℓ-Resin × 0.99 (from Fig3) × 1.10(from Fig4) × 1.00 (from Fig5)

Adjusted operating capacity **0.76eq/ℓ-Resin**

Fig3) Silica end point correction factor of MA-12

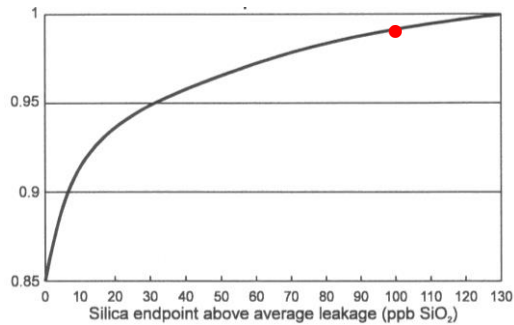


Fig4) Regenerant temperature correction factor of MA-12

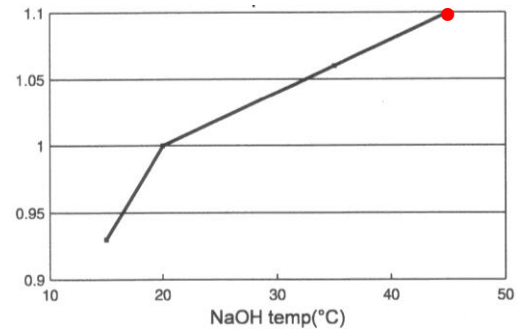
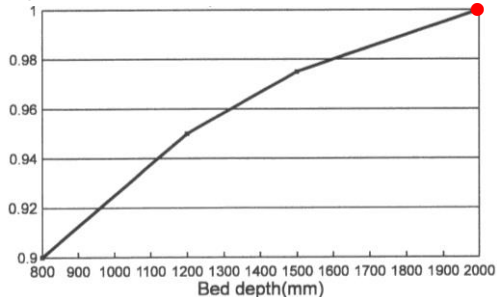


Fig5) Bed depth correction factor of MA-12



$$\begin{aligned} \text{Volume of AER} &= \text{TEA loads} / \text{operating capacity} \\ &= 2.90\text{eq/m}^3 \times 3,000\text{m}^3/\text{cycle} \div 0.76\text{eq/ℓ-R} \\ &= 11,413\text{ℓ} \end{aligned}$$

$$\text{Applying safety factor, } 11,413\text{ℓ} \times 1.05 \approx \mathbf{12,000\text{ℓ}}$$

12. Engineering verification of AER volume

- ① Diameter of tower(packed bed system) : 2,000~3,000mm
- ② Flow rate : LV 20~40m/hr
- ③ Maximum bed depth : < 3,000mm
- ④ Minimum bed depth : > 500mm

Items	Output	Remark
Diameter of tower	2,700mm	2,000~3,000mm
Sectional area	5.72m ²	
Volume of CER	12,000ℓ	
AER Bed depth	2,097mm	Min 500mm
Flow rate(SV)	12.5	SV 2~60
Flow rate(LV)	26.2	LV 20~40m/hr

Adjustment

Items	Output	Remark
Diameter of tower	2,700mm	2,000~3,000mm
Sectional area	5.72m ²	
Volume of CER	10,700ℓ	
AER Bed depth	1,870mm	Min 500mm
Flow rate(SV)	14.0	SV 2~60
Flow rate(LV)	26.2	LV 20~40m/hr

No adjustment needed

Volume after adjustment = 10,700ℓ

13. Result of calculation

IER tower	Cation(mm)	2,500Φ	2,179H
	Anion(mm)	2,700Φ	2,341H
Volume of IER	CER	8,800ℓ	
	Inert resin	1,227ℓ	
	AER	10,700ℓ	
	Inert resin	1,431ℓ	

Flow rate

LV 30.6 SV 17.0

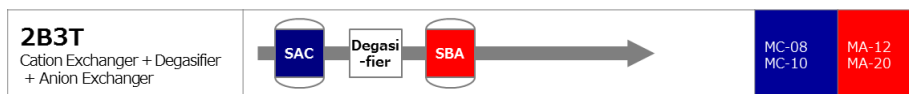
LV 26.2 SV 14.0

Swelling rate 8.0%

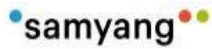
(Bed depth 250)

SBA Swelling rate 14.0%

(Bed depth 250)



③ 3B3T(Counter-current regeneration, Packed bed system, Layered anion, HCl regeneration)



Packed Bed System Ion Exchange Resin Calculation Sheet (1st Step)

1. Vendor name :

2. IER System : 2B3T(Counter-current regeneration, Packed bed system, Layered anion, HCl regeneration)

3. Flow rate : 150m³/hr × 20hr/cycle : Input data4. Cycle length : 3,000m³/cycle

5. Raw water analysis	epm(equivalence per million)					비고
	Items	Units	Value	Units	Value	
	Ca ²⁺ (Calcium)	ppm as CaCO ₃	50.0	epm(meq/l)	1.00	Total ionic loads General : 50~500ppm Maximum : 800ppm as CaCO ₃
	Mg ²⁺ (Magnesium)	ppm as CaCO ₃	50.0	epm(meq/l)	1.00	
	Na ⁺ (Sodium)	ppm as CaCO ₃	65.0	epm(meq/l)	1.30	
	K ⁺ (Potassium)	ppm as CaCO ₃	0.0	epm(meq/l)	0.00	
	Total Cations	ppm as CaCO₃	165.0	epm(meq/l)	3.30	
	HCO ₃ ⁻ (Bicarbonate)	ppm as CaCO ₃	40.0	epm(meq/l)	0.80	Free Mineral Acids (FMA)
	Cl ⁻ (Chloride)	ppm as CaCO ₃	100.0	epm(meq/l)	2.00	
	SO ₄ ²⁻ (Sulfate)	ppm as CaCO ₃	25.0	epm(meq/l)	0.50	
	NO ₃ ⁻ + PO ₄ ³⁻ (Nitrate + Phosphate)	ppm as CaCO ₃	0.0	epm(meq/l)	0.00	
	Total Anions	ppm as CaCO₃	165.0	epm(meq/l)	3.30	
	SiO ₂ (Silica)	ppm as CaCO ₃	10.0	epm(meq/l)	0.20	
	Total Iron	ppm as Fe	0.0	ppm as Fe	0.0	< 0.1ppm as Fe
	Chlorine	ppm as Cl ₂	0.0	ppm as Cl ₂	0.0	< 0.1ppm as Cl
	COD	ppm	2.0	ppm	2.0	< 2.0ppm
	Turbidity	°	1	°	1	< 1°
	pH		7.5		7.5	
	Conductivity	μs/cm	330	μs/cm	330	
	Temperature	°C	15.0	°C	15.0	

6. Treated water quality	Items	2B2T outlet	MBP outlet
	Conductivity	1 μs/cm ↓	0.1 μs/cm ↓
	SiO ₂	0.1ppm ↓	0.01ppm ↓
	pH	7~9.5	6.5~7.5

7. Regenerant HCl : 35% 50.0g/l-Resin (Regeneration level)

NaOH : 50% 45.0g/l-Resin (Regeneration level)

8. Raw water summary (ppm as CaCO₃) (meq/l)

Total Cations	:	165	3.30
TEA	:	145	2.90
Na%	:	39.4%	
Alkalinity(%)	:	24.2%	
SiO₂%	:	6.9%	
Cl%	:	69.0%	
FMA/Weak acids	:	3.1	
Cl/FMA%	:	80.0%	

TEA(Total Exchangeable Anions)=FMA + Weak acids(HCO₃⁻ + SiO₂)
 If a degasifier exists, HCO₃⁻ is data after degasifier and generally 10ppm as CaCO₃ or 0.2meq/l

Higher Na%, lower operating capacity of cation exchange resin

Higher alkalinity, lower operating capacity of cation exchange resin

When SiO₂% is 30% or more, layered bed is not applicable

Higher Cl%, lower operating capacity of anion exchange resin

Higher FMA/Weak acids, higher WBA ratio

Higher Cl/FMA%, lower operating capacity of anion exchange resin

TEA	FMA	WBA, SBA can exchange From inorganic materials(Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻)
	Weak acids	SBA can exchange From organic materials(HCO ₃ ⁻ + SiO ₂)

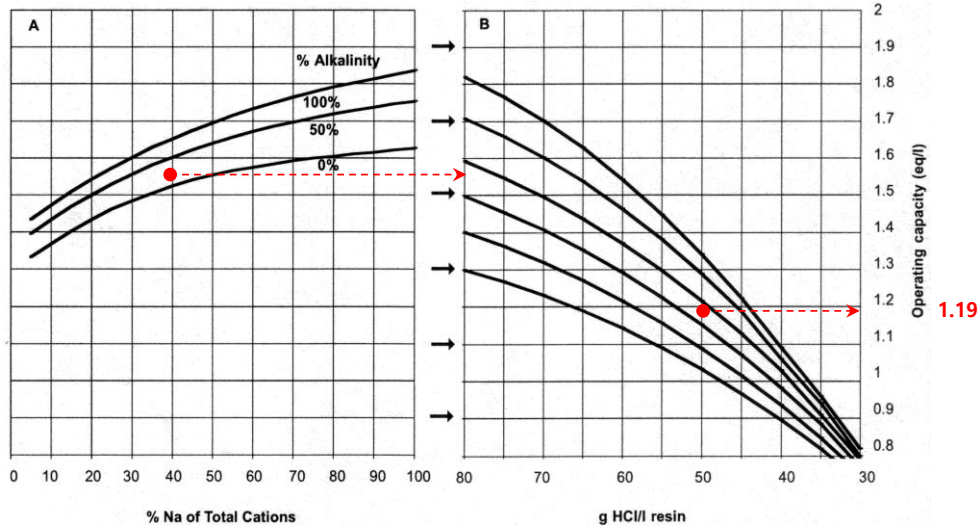
Packed Bed System Ion Exchange Resin Calculation Sheet(2nd Step)

9. Calculation of volume for CER(cation exchange resin)

The calculation of volume for cation exchange resin depends on total cations of raw water and operating capacity, operating capacity can be calculated as shown below according to Na%, alkalinity, regeneration level. (Fig1)

Na%	39.4%
Alkalinity	24.2%
Regeneration level	50.0 (g/l-R)

Fig1) Operating capacity of TRILITE MC-08



Operating capacity of CER	1.19eq/l-Resin
Volume of CER = Total cation loads / operating capacity	$= 3.3\text{eq/m}^3 \times 3,000\text{m}^3/\text{cycle} \div 1.19\text{eq/l-R}$
	$= 8,319\text{l}$
Applying safety factor,	$8,319\text{l} \times 1.05 \approx 8,800\text{l}$

10. Engineering verification of CER volume

- ① Diameter of tower(packed bed system) : 2,000~3,000mm
- ② Flow rate : LV 20~40m/hr
- ③ Maximum bed depth : < 3,000mm
- ④ Minimum bed depth : > 500mm

Items	Output	Remark
Diameter of tower	2,500mm	2,000~3,000mm
Sectional area	4.91m ²	
Volume of CER	8,800l	
CER Bed depth	1,794mm	Min 500mm
Flow rate(SV)	17.0	SV 2~60
Flow rate(LV)	30.6	LV 20~40m/hr

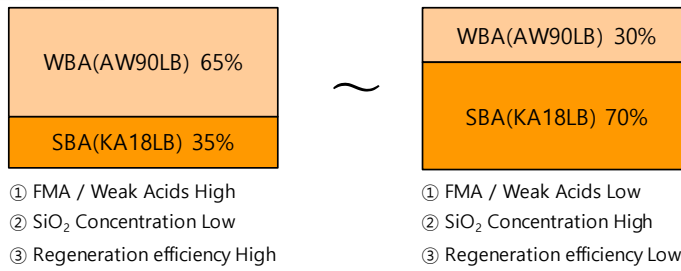
Adjustment

Items	Output	Remark
Diameter of tower	2,500mm	2,000~3,000mm
Sectional area	4.91m ²	
Volume of CER	8,800l	
CER Bed depth	1,794mm	Min 500mm
Flow rate(SV)	17.0	SV 2~60
Flow rate(LV)	30.6	LV 20~40m/hr

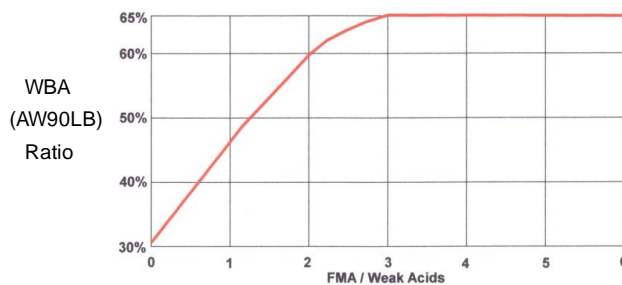
No adjustment needed

Volume after adjustment = 8,800l

11. Calculation of volume for AER(Anion exchange resin)



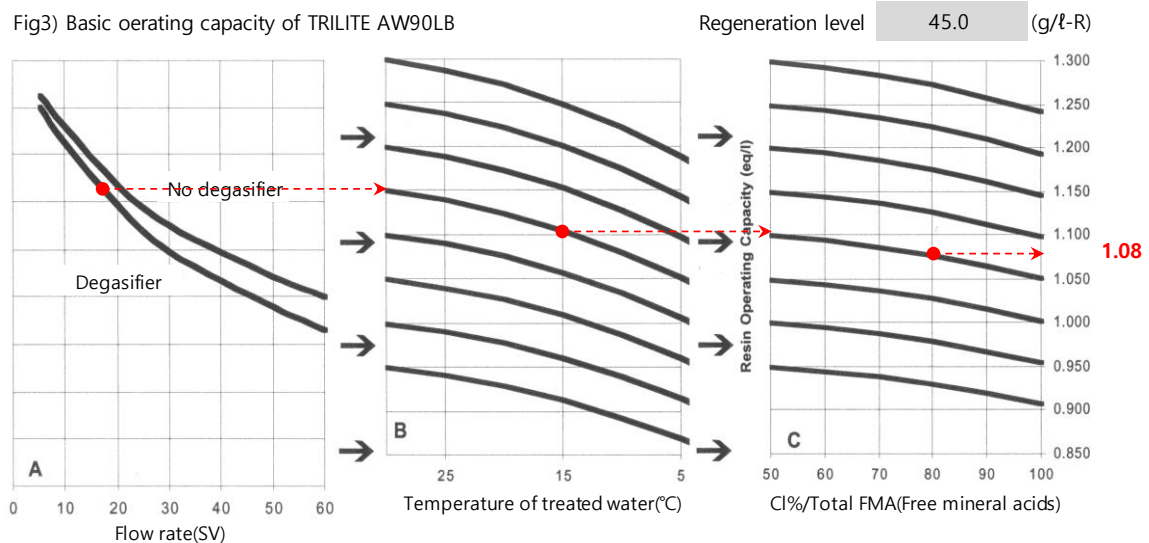
The determination of ratio of anion layered bed depends on the composition of raw water, and is generally changed by FMA/Weak acid ratio, SiO₂% as shown below Fig2)



FMA/Weak acids = 3.1
WBA(AW90LB) ratio = 65%
SBA(KA18LB) ratio = 35%

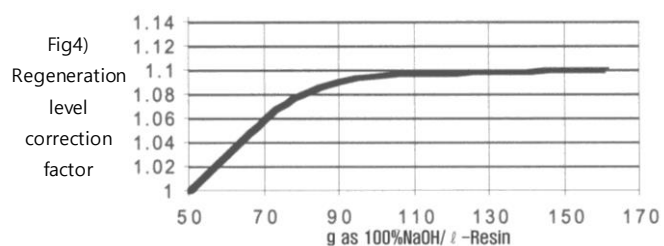
12. Calculation of operating capacity for WBA(AW90LB)

Fig3) Basic operating capacity of TRILITE AW90LB



- ① The flow rate of anion tower is calculated by the flow rate of cation tower SV 17.0
- ② Temperature of treated water 15°C Cl/FMA% 80.0%
Basic operating capacity of WBA 1.08eq/l-Resin (From Fig3)
- ③ Adjusted operating capacity is calculated by multiplying regeneration level correction factor in the figure below

$$1.08 \times 1.00 \text{ (from Fig4)} = 1.08 \text{eq/l-Resin}$$



13. Calculation of volume for WBA(AW90LB) and SBA(KA18LB)

WBA volume = Cycle length × FMA / adjusted operating capacity of WBA

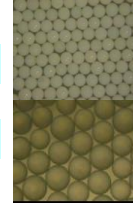
$$3,000\text{m}^3/\text{cycle} \times 2.50\text{eq}/\text{m}^3 \div 1.1\text{eq}/\text{L-R} = 6,944\text{L}$$

$$\text{Applying safety factor, } 6,944\text{L} \times 1.05 = 7,300\text{L}$$

SBA volume = WBA volume × SBA volume ratio / WBA volume ratio

$$7,300\text{L} \times 35\% \div 65\% = 4,000\text{L}$$

WBA + SBA volume 11,300L (Before verification)



14. Engineering verification of AER volume

- ① Diameter of tower(packed bed system) : 2,000~3,000mm
- ② Flow rate : LV 20~40m/hr
- ③ Maximum bed depth : < 3,000mm
- ④ Minimum WBA depth : > 500mm
- ⑤ Minimum SBA depth : > 600mm

Items	Output	Remark
Diameter of tower	2,700mm	2,000~3,000mm
Sectional area	5.72m²	
WBA Volume	7,300L	
WBA Bed depth	1,276mm	Min 500mm
SBA Volume	4,000L	
SBA Bed depth	699mm	Min 600mm
WBA+SBA Volume	11,300L	
WBA+SBA Bed depth	1,975mm	Max 3,000mm
Flow rate(SV)	13.3	SV 2~60
Flow rate(LV)	26.2	LV 20~40m/hr

Adjustment →

Items	Output	Remark
Diameter of tower	2,700mm	2,000~3,000mm
Sectional area	5.72m²	
WBA Volume	7,300L	
WBA Bed depth	1,276mm	Min 500mm
SBA Volume	4,000L	
SBA Bed depth	699mm	Min 600mm
WBA+SBA Volume	11,300L	
WBA+SBA Bed depth	1,975mm	Max 3,000mm
Flow rate(SV)	13.3	SV 2~60
Flow rate(LV)	26.2	LV 20~40m/hr

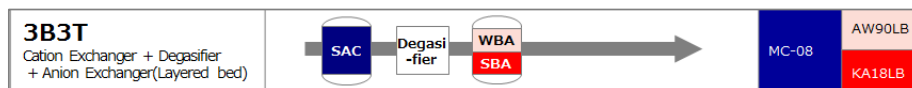
No adjustment needed

Volume after adjustment = 11,300L

15. Result of calculation

		Diameter	Height	Flow rate	
IER tower	Cation(mm)	2,500Φ	2,131H	LV 30.6	SV 17.0
	Anion(mm)	2,700Φ	2,524H	LV 26.2	SV 13.3
Volume of IER	CER	8,800L		Swelling rate 8.0%	
	Inert resin	1,000L		(Bed depth 200)	
	AER	11,300L		SBA Swelling rate 14.0%	
	Inert resin	1,800L		(Bed depth 300)	

IER Diameter	Inert resin bed depth
< 1,000mm	150mm
1,000~2,500mm	200mm
> 2,500mm	300mm



10. 이온교환수지 충전 및 보관 방법

1) 이온교환수지 보관방법

① 이온교환수지 보관상 영향을 줄 수 있는 Factor

- 건조 : 이온교환수지는 50%정도의 수분 함유율을 가지고 있기 때문에 건조된 수지가 다시 수분을 가질 때는 삼투압(Osmotic Shock)에 의하여 수지에 균열이 발생할 수 있다.
- 동결과 해동 : 이온교환수지는 수분 함유율이 높기 때문에 동결과 해동 시 이온교환수지에 치명적인 영향을 줄 것으로 생각되지만, 실제로는 크게 영향 받지 않는다. 동결과 해동은 일반적으로 급격하게 이루어지지 않기 때문이다. 만약 동결과 해동이 급격하게 이루어지면 이온교환수지 내에 물리적 영향을 줄 수 있다. (Porous Type의 경우는 특히 동결과 해동을 피해야 한다.)
- 급격한 온도변화 : 급격한 온도변화는 이온교환수지 표면에 균열을 발생시켜 물리적 열화를 발생시킬 수 있다.
- 물리적 충격 : 이온교환수지는 물리적 충격에 깨지기 쉽기 때문에 주의해야 한다.
- 화학적 형태 : 이온교환수지의 화학적 안정성은 그 이온의 화학적 형태에 따라 다르다
 - A) 재생된 H-Type이거나 이온을 흡착하여 Na또는 Ca-Type일 경우 강산성, 약산성 양이온 교환수지는 모두 화학적으로 안정하다.
 - B) 많은 Cycle을 거친 강산성 양이온교환수지는 재생된 H-Type이거나 이온을 흡착하여 Na 또는 Ca-Type일 경우 모두 화학적으로 안정하다. 그러나 H-Type으로 공급된 수지의 경우 장기간 보관 시 문제가 발생할 수 있으므로 신품 수지를 장기간 보관할 시에는 Na-Type으로 보관하는 것이 좋다.
 - C) 약염기성 음이온교환수지의 경우 이온을 흡착한 형태나 OH-Type 모두 안정하다.
 - D) 모든 형태(Styrene, Acrylic, I 형, II형)의 강염기성 음이온교환수지는 Cl-Type이 더 안정하다. 온도가 상승하면 강염기성 음이온교환수지의 교환기가 열화되어 약염기성으로 바뀌어 교환용량 저하가 발생할 수 있다. 따라서 장기간 보관시 Cl-Type으로 보관하고 보관온도는 40℃를 넘지 않는 것이 바람직하다.

② 상품상태의 보관방법

이온교환수지는 수분이 있고, 완전히 수화(Hydration)된 상태로 PE Bag에 담겨 공급된다. 이것은 완벽하게 밀봉되지 않았기 때문에 수개월에 걸친 장기간 보관을 할 때에 탈수될 가능성이 있다. 이러한 가능성이 있는 경우 정기적으로 수분을 Spray해 주는 것이 바람직하다.

이온교환수지는 50℃가 넘는 고온 상태에서 보관하면 탈수가능성이 있고 음이온교환수지의 경우 화학적 성능 열화가 발생할 수 있기 때문에 이를 피하여야 한다. 매우 고온의 기 후에서 보관할 때 이온교환수지는 직사광선을 피해 정기적으로 수분을 공급해 주어야 한다.

이온교환수지는 급격한 동결, 해동을 피하고 온도 변화도 삼가 해야 한다. 그러나 기상적

인 온도변화는 급격하지 않기 때문에 이온교환수지에 영향을 줄 정도는 아니다. 따라서 보관 시 적정 온도가 유지되는 창고에 보관할 필요가 없고 운반 시 일반 트럭(온도 조절 장치가 부착 안됨)으로 운반하여도 무방하다.

이온교환수지는 물리적 충격으로부터 보호되어야 한다. Pallet에 적재 시 12Bag이상 쌓지 않아야 한다. 이것은 운반시 발생할 수 있는 물리적 충격으로부터 보호하기 위함이다. 그리고 화학적으로 가장 안정한 형태로 보관이 이루어져야 하며(예 : 양이온교환수지의 경우 Na-Type, 음이온교환수지의 경우 Cl-Type), 특히 음이온교환수지가 Silica를 많이 함유하고 있는 경우 보관 중에 Silica가 이온교환수지와 중합되어 "Silica 오염"을 유발할 수 있다. Silica 오염된 수지는 운전 중 Silica 누출과 교환용량 저하현상이 일어날 수 있으므로, 보관 전 Silica를 제거하기 위해 재생을 하고 NaCl용액(5~10%의 NaCl용액을 2~4BV)이나 염산(5%의 HCl을 3BV)에 통액시켜 Cl-Type으로 전환시켜 주는 것이 바람직하다.

상기한 조치들은 보관이 이루어지는 설비들과 문제를 일으킬 수 있으므로 주의하여야 한다.

예를 들어 수지탑 내부가 Stainless Steel로 구성되었을 경우 장기간에 걸친 염산의 접촉은 설비에 치명적일 수 있다. 동결되는 것을 방지하기 위해 소금물에 H-Type의 양이온교환수지를 보관하면 염산이 생성될 수 있기 때문이다.

③ 수지탑 내에서의 보관방법

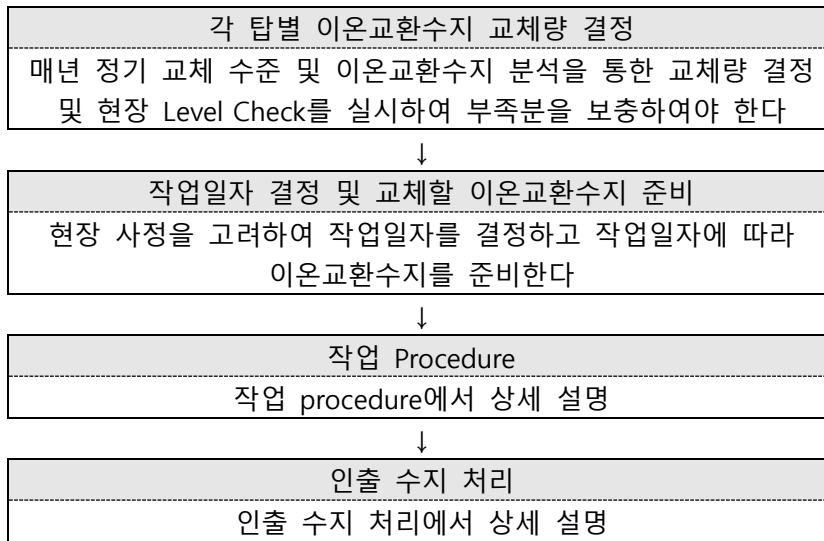
설비가 Shutdown되었을 때 등의 경우 새 수지나 사용하던 수지를 수지탑 내에서 보관해야 하는 필요성이 생긴다. 저장기간에 성능열화가 일어나지 않도록 주의가 필요하다. 이온교환수지는 수분을 유지해야 한다. 겨울철 보관 시 수지의 동결과 수지탑의 파손을 막기 위해 NaCl용액에서 보관하는 것이 바람직하다. 간헐적으로 사용되거나 장기간 사용되지 않는 설비는 미생물이나 수상식물 등의 오염을 받을 수 있다. 10%이내의 NaCl용액으로 이러한 오염을 방지할 수 있다.

④ 이온교환수지 장기 보관방법(종합)

- a) 양이온교환수지는 H형으로 장기 보관하여도 성능저하가 크게 일어나지 않으나 음이온교환수지를 OH형으로 장기간 방치할 경우 성능저하가 일어나므로 부하형(Exhausted form)인 Cl형으로 이온교환 후 보관하여야 한다.
- b) 음이온교환수지를 Cl형으로 만들기 위해서는 10% NaCl로 통수하는 방법과 규정 채수 후 부하형으로 하여 보관하는 방법이 있다.
- c) 양이온, 음이온교환수지 모두 부하형으로 하더라도 장기간 보관 시 미생물 번식에 의한 오염 가능성이 있어 아래 방법으로 미생물 방지 대책을 세워 보관하여야 한다.
 - ㉠ 가능하면 1일, 1회 저유속으로 수지수량의 2배 수량으로 수세 후 탑 내 물을 새로운 물로 치환하는 방법이 이상적이다.
 - ㉡ 1일, 1회 통수 불가능할 때 수지탑 물을 10% NaCl수준이 되게 하여 보관하여야 한다.
 - ㉢ NaCl투입이 불가능할 때 pH를 산성으로 조절, 미생물 번식을 방지할 목적으로 HCl을 투입, 탑 내 pH를 산성으로 유지하여 보관하여야 한다.

2) 이온교환수지 충전 방법

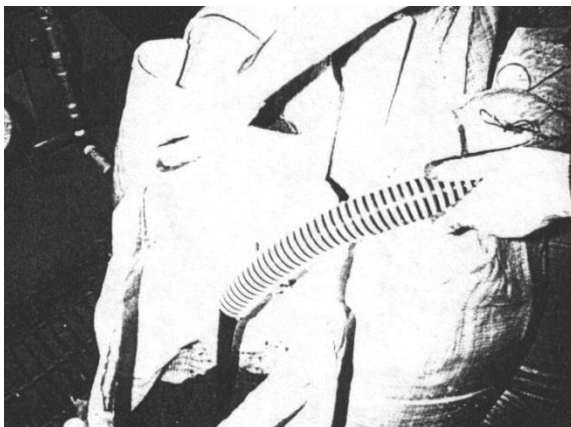
① 이온교환수지 교체 작업 개요



② 작업 Procedure (전량 교체할 경우)

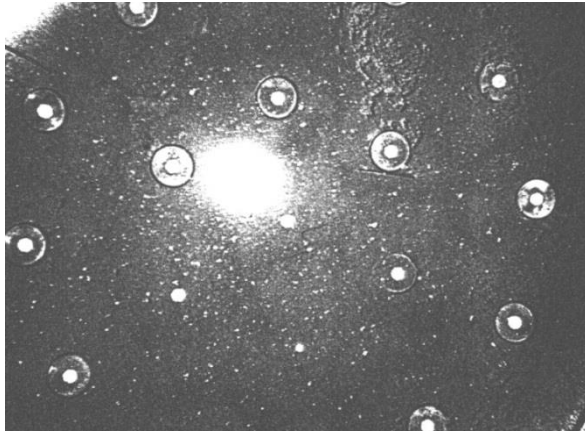
Step1) 폐수지 인출

- ㉠ 작업 시 필요한 공구 준비(맨홀 개방용 공구 및 수지 인출관) 및 폐수지 인출용 마대 또는 Ton bag 을 준비한다.
- ㉡ 작업인원을 편성하여 1 조는 폐수지 인출, 2 조는 수지탑 개방 및 점검으로 업무 분담을 한다.
- ㉢ 수지탑 상부에서 작업 시 위험하므로 안전교육을 실시한 후 안전장치를 한 후 수지탑을 개방한다.
- ㉣ 수지탑 내에 충분히 물을 채우고 Siphon 원리를 이용하여 이온교환수지를 적정 농도의 Slurry 상태로 인출한다. (수중 Pump 가 있을 경우 이용하여 인출한다)



(폐수지 인출)

- ㉤ 인출된 폐수지 + 물을 배수가 되는 Ton bag 또는 마대를 이용하여 수지만 걸러낸다.
- ㉦ 폐수지 인출이 끝난 후 내부 점검을 실시한다. (Strainer, Rubber lining 파손 여부, Collector 정상 유무 등)
이 때 수지탑 내부에 사람이 들어갈 경우 안전에 유의한다. (기기 조작 금지)



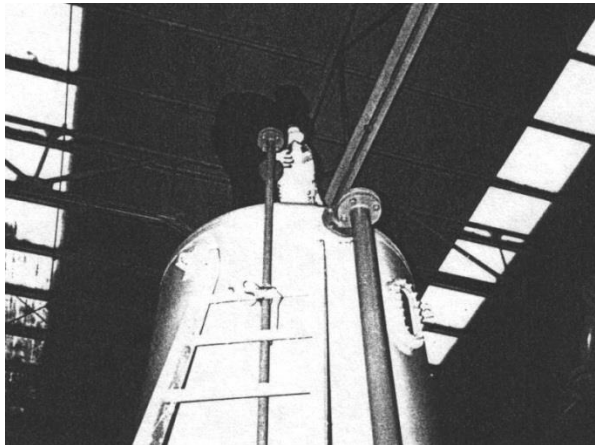
(내부 점검)

Step2) 신품 수지 충전

- ㉑ 수지탑 점검을 마친 후 준비된 이온교환수지를 수지탑 위로 운반하여 투입한다. 이 때 수지탑 내부에 Collector정도까지 물을 채워 이온교환수지가 투입될 때 내부 파손 및 이온교환수지 파쇄를 막고 고르게 분포되게 한다.



(신품 이온교환수지 준비)



(신품 이온교환수지 투입)

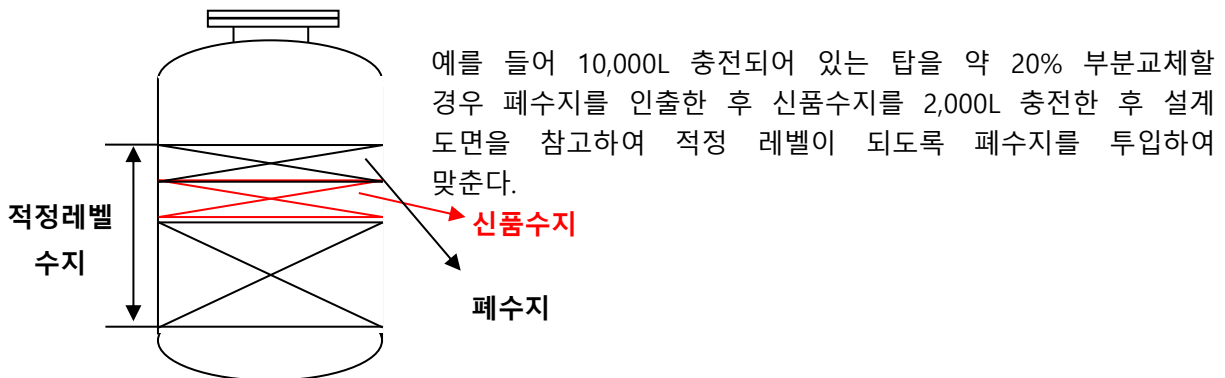
- ㉒ 투입 시 이온교환수지가 2종 이상일 경우 혼입되지 않게 주의한다.
 ㉓ 투입 후 남은 제품 포장지는 분류하여 정확히 Counting하여 수량을 Check한다.
 ㉔ 적정량을 투입한 후 전역세를 약 10분 정도 실시하여 수지층을 평평하게 한 후 Sight glass를 통하여 Level을 확인한다.
 ㉕ 확인이 끝나면 맨홀을 닫고 압력 Test를 실시한다.
 ㉖ 작업일지를 기록한다.

③ 작업 Procedure (부분 교체할 경우)

부분 교체할 경우 2가지 방법으로 구분된다. 첫째는 이온교환수지 인출을 모두 실시한 후 내부 점검을 한 후 다시 일정량을 투입하고 신품수지를 투입하는 방법이 있으며 다른 방법은 상기 방법을 실시하기에 작업 여건이 안되거나 내부 점검을 생략하고 싶을 경우 실시하는 방법으로서 일부량을 인출한 후 신품수지를 투입하는 것이 있다. 첫번째 방법은 전량교체 방법과 유사하므로 언급하지 않기로 하고 두번째 방법에 대하여 서술한다.

- ㉠ 작업 시 필요한 공구 준비(맨홀 개방용 공구 및 수지 인출관) 및 폐수지 인출용 마대 또는 Ton bag을 준비한다.
- ㉡ 작업인원을 편성하여 1조는 폐수지 인출, 2조는 수지탑 개방 및 점검으로 업무 분담을 한다.
- ㉢ 수지탑 상부에서 작업 시 위험하므로 안전교육을 실시한 후 안전장치를 한 후 수지탑을 개방한다.
- ㉣ 부분 교체할 수지탑을 전역세를 약 30분 실시하여 파쇄수지 및 미립자가상부에 위치하게 한다. 교체할 수지량을 참고하여 수지탑 내에 충분히 물을 채우고 Siphon원리를 이용하여 이온교환수지를 적정 농도로 인출한다.(수중Pump가 있을 경우 이용하여 인출한다) 이때 인출량은 교체량 보다 약간 과량으로 하여 신품수지 투입 후 레벨 조정용으로 사용하는 것이 바람직하다.
- ㉤ 인출된 폐수지 + 물을 배수가 되는 Ton bag 또는 마대를 이용하여 이온교환수지만 걸러낸다. 일반적으로 Ton bag에 받았을 경우 충분히 채웠을 경우 약 7~800L 정도로 추정하면 된다.
- ㉦ 계획량을 인출한 후 전역세를 약 10분 정도 실시, 침정을 약 5분 실시하여 수지층을 평평하게 한 후 Level을 측정한다. 수지탑 설계도면을 참고하여 현재 수지량을 산출한 후 신품수지를 투입하고 인출한 폐수지를 이용하여 적정 Level을 맞춘다.

(적정 레벨로 이온교환수지 투입 방법)



- ㉧ 전역세를 약 10분 정도 실시하여 수지층을 평평하게 한 후 레벨을 확인한 후 수지탑의 Manhole을 폐쇄한다. 배량재생 실시 후 시운전을 개시한다.

3) 인출 수지 처리

① 폐기하는 경우

- ㉠ Ton bag으로 작업 시 폐수지의 수분이 배수된 후 Ton bag상부의 끈을 이용하여 묶은 후 지게차를 이용하여 지정장소로 운반한다. 마대로 작업 시 역시 봉한 후 작업차량 등을 이용하여 지정장소로 운반한다.
- ㉡ 폐수지는 일반 폐기물로 분류되므로 일반 폐기물 처리 규정에 따라 폐기한다.

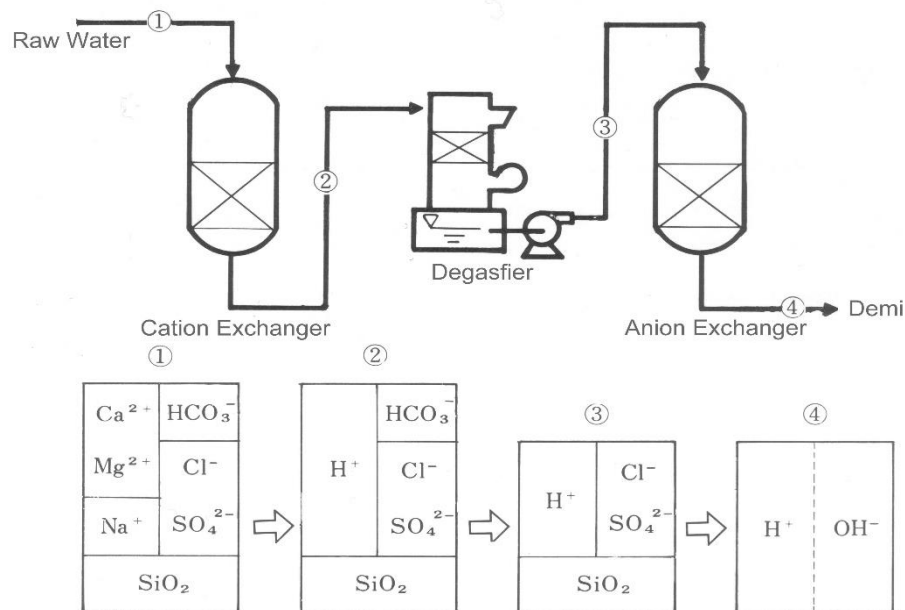
② 재 사용하는 경우

- ① 폐기하는 경우와 동일 작업으로 지정장소(보관하는)까지 운반 한 후 보관한다. 보관 시 아래 사항을 유념하여야 한다.
- ② 공기와 접촉하지 않게 수지탑이나 기타 용기에 소금물을 채워 보관하는 것이 가장 이상적이나 수량이 많을 경우 불가능하기 때문에 일반적으로 Ton bag에서 보관하며 수분을 보존하기 위하여 정기적으로 수분을 공급한다.
- ③ 또한 장기 보관 시 미생물 번식에 위하여 오염될 수 있으므로 이에 주의한다.

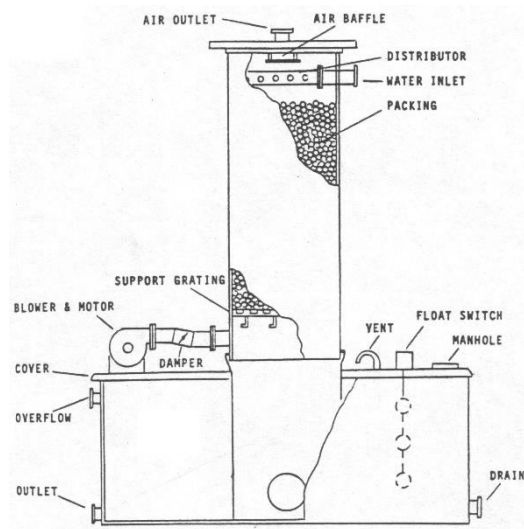
11. Degasifier 관련

탈탄산탑(Degasifier)은 원수 중의 용해되어 있는 Gas 를 용해도 차이에 의하여 제거하는 설비로서 일반적인 수처리에서는 2B3T(2Bed 3Train, 양이온탑→탈탄산탑 →음이온탑)에서 원수 중 용해되어 있는 이산화탄소 이온을 제거하여 음이온탑의 부하를 줄이는 목적으로 사용된다. M-Alkalinity

(HCO_3^-)가 높은 원수 처리할 경우, $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_2 \geq 20\text{ppm}$ 일 경우 2B2T(2Bed 2Tower, 양이온탑→음이온탑) 보다 2B 3T 가 경제성이 있는 것으로 판단된다.

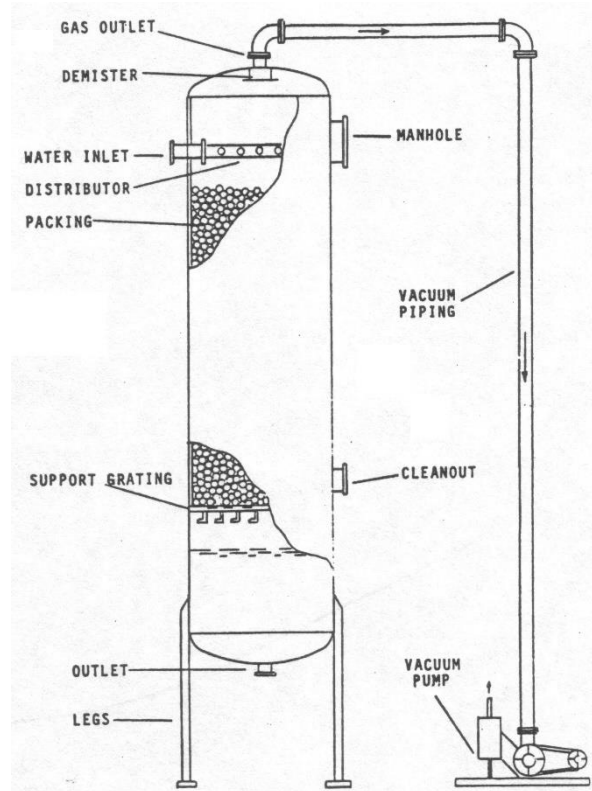


일반적으로 수처리에 사용되는 Degasifier 는 물속의 이산화탄소만의 농도를 낮추는 역할을 하기 때문에 Decarbonator 하는 표현이 적절하다. Degasifier 는 2 가지 종류로 구분되며 수처리에 사용되는 이 있으며 Vacuum degassing system 이 있다. 수처리에 사용되는 Force-draft system 은 여러 개의 칸막이나 충전물로 채워진 탑 상부로부터 원수를 투입하고 Blower 를 이용하여 탑 하부에서 위로 공기를 불어 넣어 기압을 낮추면 원수 중의 이산화탄소 용해도가 떨어져 기체 상태로 변환되어 계외 배출된다. Force-draft system 은 원수 중의 이산화탄소만을 일반적으로 5~10ppm 이하로 제거하며 산소(O_2)를 제거할 수 없다.



Force-draft system (Decarbonator)

원수 중 산소(O_2)를 제거할 필요성이 있는 초순수 제조장치 등의 설비에는 Vacuum degassing system 이 사용되며 여러 개의 칸막이나 충전물로 채워진 탑에 Vacuum pump 또는 Steam eductor 를 연결하여 탑 내부에 진공을 걸어 원수 중 이산화탄소를 5ppm 이하, 산소를 0.2ppm 이하로 제거할 수 있다.



Vacuum degassing system

Force-draft system decarbonator 의 기본 사양 및 운전 조건을 알아보면 다음과 같다.

적용범위

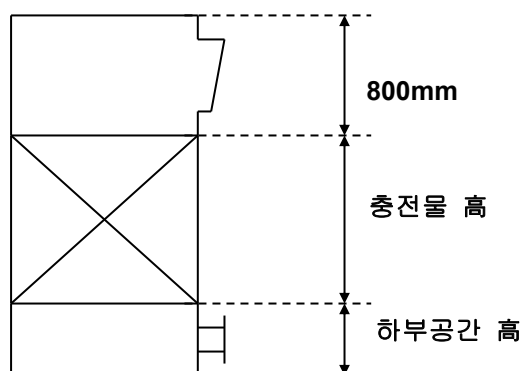
원수 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_2$: 60ppm as CaCO_3 이하

처리수 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_2$: 10ppm as CaCO_3 이하

설계기준 : 원수 LV 70m/hr 이하

송풍량 : $0.2\text{Nm}^3/\text{min}$ / 처리수(m^3/hr)

표준사양



처리수량 (m ³ /hr)	Φ (mm)	단면적 (m ²)	충전물 高 (mm)	하부공간高 (mm)	풍량 (Nm ³ /min)	풍압 (mm/Aq)
~12	460	0.159	1,425	500	2.4	50
13~23	650	0.332	1,425	500	4.6	50
24~32	750	0.442	1,425	500	6.4	50
33~52	960	0.708	1,425	500	10.4	50
53~68	1,100	0.950	1,425	500	14.0	50
69~92	1,250	1.23	1,425	600	19.0	50
93~104	1,400	1.54	1,425	600	21.0	50
105~146	1,600	2.01	1,425	600	30.0	50
147~168	1,800	2.54	1,425	600	34.0	50
169~254	2,100	3.46	1,425	700	51.0	50
255~328	2,400	4.52	1,425	700	66.0	50
329~386	2,600	5.31	1,425	700	78.0	50
387~446	2,800	6.16	1,425	700	90.0	50

상기 표준 사양은 원수 중 HCO₃⁻ + CO₂ 농도가 60ppm as CaCO₃ 이하일 경우 해당되며 그 이상일 경우 다른 설계 기준이 요구됨.