

공업 분야별 공업 용수 수질 기준

이승배·임공례·김홍대·김동화·홍현기·이종섭
국립공업기술원 종합분석부 공업용수시험과

1. 서 언

공업용수는 모든 산업의 혈매파도 같은 필요불가결한 원동력의 역할을 하며 해수에서 초순수에 이르기까지 매우 다양한 수질을 공정마다 요구하고 있다. 현재 우리나라의 각 공단에서 사용중인 용수는 주로 하천수, 맴수 등이며 일부 지하수도 사용하고 있으나, 초보적인 일차 처리만 한것을 그대로 사용하고 있어서 스케일의 생성, 부식발생 등으로 열효율을 저하시킬 뿐만아니라 생산기자재의 수명도 단축되어 원가상승의 요인이 되기도 하고 제품 품질을 저하시키는 사례들이 많이 있다.

공업용수는 염색, 제지, 피혁, 도금 공장 등에서 생산공정에 직접 투입되는 주원료 또는 부원료로서 사용되고 있으며 기계, 금속, 철강 공장을 포함한 여타 공정에서는 냉각수, 보일러수, 온도, 습도조절에 필수적으로 이용되고 있고, 제품처리나 생산공정에서 세정용으로 물이 많이 사용되고 있다.

우리원(국립공업기술원)에서는 우리나라 공업이 짹트기 시작한 1900년대 초기부터 오늘에 이르기까지 수질조사를 실시하여 왔다. 그 당시의 조사 기록을 보면 함경도에서 제주도에 이르기까지 한반도 전역에 걸쳐서 지하수를 시추하고 수질조사를 실시함은 물이 그만큼 중요한 위치에 있음을 입증하는 것으로 볼 수 있다.

우리나라 자연수는 다행스럽게도 수질이 양호하여 어딜가나 그대로 마실 수 있고, 산업에서도 부담없이 이용되어 왔다. 그러나 근래에는 인구의 도시 집중화와 산업의 급속한 발전으로 물의 수요는 급증하고 자연수의 자정능력으로는 감당하지 못할 정도의 생활하수와 악성폐수의 발생으로 인하여 수질이 심각하게

오염되고 있어서 음용수는 물론 공업용수의 수질개선이 요구되고 있다.

우리나라 공단의 공업용수는 대부분 지표수를 수원으로 하고 있기 때문에 탁도가 높아서 응집, 침전, 여과 처리과정을 거치는 1차처리를 한 후 공급되고 있다.

원수로부터 1차처리, 멸균처리, 유기물처리, 경수연화처리, 탈염처리 및 고도처리단계를 지나면서 원수중에 함유된 분순물들이 차례로 제거되는 순서를 그림 1에 나타냈다. 그림 1과 같이 원수를 채수하여 여러 단계의 처리단위공정을 거치는 동안에 원수의 수질은 차츰 정화되어 결국 최후의 고도처리를 받으면 초순수에 이른다.

예를들면, 각 용도별로 쓰이는 물의 요구 수질은 일정하지 않으며 큰 차가 있어서 바닷물을 그대로 끓어 들여 냉각수로 이용하는 발전소의 경우도 있고 반도체공업이나 전자공업 등의 분야에서는 이론수(理論水)에 접근한 수질의 물 즉, 초순수(超純水)를 이용해야만 하는 경우도 있다.

최근 산업이 눈부시게 발전되어 전국에 산재되어 있는 공업단지의 수도 늘어나고 또한 공업용수의 수요량도 급증되고 있을 뿐만 아니라 요구되는 수질도 고급화되고 있는 실정이다.

그러므로 공업용수의 각종 공업에 알맞는 수질을 정하기 위해서 각 분야별 공장에서 현재 기준으로 삼고 사용하는 공업용수의 수질을 조사하였고, 선진외국의 기존자료들을 수집하여 참고하였으며, 우리나라의 전국 주요 공단에서 현재 공급받고 있는 공업용수 및 상수도수의 수질특성을 1987년부터 1991년까지 5년동안 도금공업, 섬유공업, 전자공업, 반도체공업, 철강공업, 제지공업, 염색공업, 정밀기계공업 및 화학공업(유기합성분야, 무기화학분야, 요업분야, 정밀화

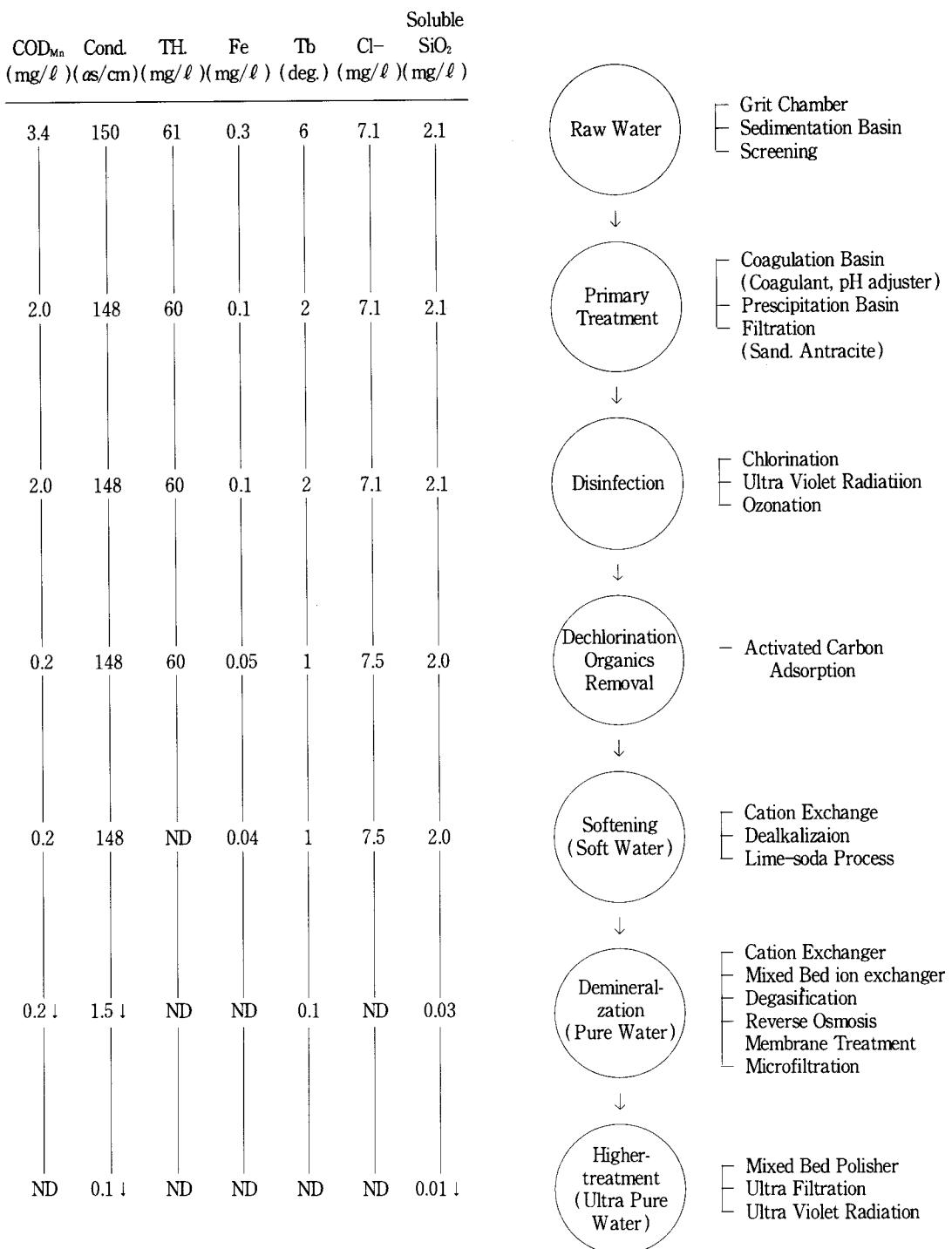


Fig. 1. Water treatment steps and water quality

학분야)의 분야별로 용도에 따라 8종류의 수질 기준치를 제정하였다.

끝으로, 본 수질기준을 제정하는 작업으로 각 전문분야별 업체에서 경험을 쌓은 실무자, 관련분야의 대학교수, 연구기관의 전문가, 그리고 수질관리업체의 기술자 등 전문위원에 참고자료와 조언에 감사드립니다.

2. 도금공업과 용수

전기도금이나 화학도금은 습식표면 처리공정에서 수용액속에서 표면 반응을 기초로 하기 때문에 물이 곧 부원료적 역할을 하고 있다. 도금공업에서 물이 쓰이는 용도는 전처리액 조제, 수세용수, 도금공정에서의 도금용액 조제 및 수세용수 후처리공정에서의 처리액 조제로써 비교적 많은 물이 소요된다.

물에 함유된 불순물로 인해서 도금공업에 미치는 장해현상은 도금의 종류 및 공정에 따라서 조금씩 차이는 있으나 장해현상으로는 도금층의 밀착불량, 도금표면의 광택불량, 거친 도금, 출무늬 현상, 피막의 변색검은 반점, 안개현상 등으로 그 현상이 각각이다.

도금공정에서 전처리 및 후처리공정중의 수세수에 칼슘, 마그네슘, 염화이온, 황산이온 등이 녹아 있으면, 도금의 밀착 및 금속표면이 거칠고 품질이 저하된다.

2.1. 도금공업 용수의 수질

도금공업 공업용수로 바람직한 수질은 일반도금인 경우 공업용수 상수도의 수질이면 무리없이 사용이 가능하지만 귀금속 도금이나 무전해 니켈 도금 등과 같은 정밀도금에서는 이온을 제거한 탈염수(脫鹽水)를 사용해야하는 경우가 있으므로 도금용수의 수질기준을 3단계로 분류하여 표 1에 나타냈다.

도금용수 1급은 반도체, 메모리 디스크의 박막도금, 세라믹 콘덴서용 귀금속 도금 등에 사용되는 초순수급의 물이다.

도금용수 2급수질은 용존염류를 제거한 탈염수(순수) 정도의 수질로서 무전해 니켈도금, 인디움 도금, 주석-납 합금 도금 등에 사용한다.

도금용수 3급은 우리나라 강물을 1차 처리한 정도의 물로서 일반구리도금, 아연도금, 니켈도금, 티탄도금 등과 구리-주석, 주석-아연 등 합금도금에 사용할 수 있다.

표 1. 도금공업 분야의 공업용수 수질기준

항 목	1 등 급	2 등 급	3 등 급
탁도 (도)	-	0.5	3
전기전도율 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0.059	5.0	200
[비저항] [$\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$]	[17]	[0.2]	[0.005]
수소이온농도(pH) (20°C)	-	5.8-8.0	7±1.0
총증발찌기 (mg/ℓ)	0.05	2.0	200
총경도 ($\text{mg CaCO}_3/\ell$)	-	0	50
철 (mg/ℓ)	-	0.1	0.1
구리 (mg/ℓ)	0.002	-	0.05
크롬 (mg/ℓ)	0.002	-	0.05
염소이온 (mg/ℓ)	0.02	1.0	10
질산이온 (mg/ℓ)	-	-	6.0
용해성실리카 (mg/ℓ)	0.005	1.0	10
미생물 ($\text{ea}/100\text{mL}$)	1	-	-

비 고	○ 반도체의 도금	○ 금, 백금, 은, 로듐, 카드뮴, 인듐, 주 석-납 및 무전해니 켈도금	○ 납, 구리, 크롬, 니 켈, 티타 늄, 아연- 카드뮴, 아연, 구 리-주석, 주석-아 연, 아연- 니켈도금
	-대규모 집 적회로 (LSI)		
	-초대규모 집적회로 (VLSI)		
	-자기 디스크		
	-세라믹 콘 덴서		

3. 섬유공업과 용수

섬유공업에서 사용되는 물은 섬유 제조공정중의 장시간 섬유제품이 물과 접촉되어 있기 때문에 수질이 제품품질에 큰 영향을 미치고 있다. 특히 탁도, 총경도, 철 및 망간 등은 섬유제조 가공공정에서 큰 장해를 일으키므로 되도록 이들 항목이 적게 함유된 양질의 물을 사용해야 한다.

섬유제품의 생산과정을 보면 섬유의 제조, 방적, 제포, 염색가공 및 봉제 등 과정을 거쳐서 완제품이 생산된다. 그러므로 염색작업을 제외한 천연섬유의 정련, 인조섬유의 합성, 방적, 제사 및 제포공정에서 사용되는 용수만을 국한한다.

섬유원료는 크게 천염섬유, 재생섬유 및 합성섬유로 구분되나 같은 천연섬유에도 성질이 다른 몇 가지의 섬유원료로 나눌 수 있으므로 수질에 대한 영향도 서로 다르다.

- 천연섬유 종류인 셀룰로오즈계 섬유에도 면 섬유와 마섬유로 구성하며 섬유 가공방법에 따라서 요구수질도 달라진다. 마섬유의 원료

를 정련하는 경우 원료 자체에 무기물이 함유되어 있으므로 되도록 깨끗한 물을 사용해야 된다. 단백질계인 견섬유의 경우 누에고치에서 실을 뽑아서 제포하는데, 제사공정 세리신 처리공정 등에서 사용하는 용수에 무기염류인 칼슘, 마그네슘, 철, 망간 등이 많으면 정련효과가 낮아지고 윤택이 나지 않으며 황변현상이 유발되어 촉감도 나빠진다.

- 재생섬유의 경우에도 물중의 철, 망간, 칼슘, 마그네슘 성분 등은 정련효과를 방해하고 백색도를 떨어뜨리며 오염물이 섬유에 남게되어 염색작업을 어렵게 만든다.
- 합성 또는 반합성섬유의 제조공정에서는 습식방사나 칩(chip)세정공정에서 물을 많이 사용하는데 무기염류(無機鹽類)가 많은 물을 사용할 경우 방사 노즐이 쉽게 막히거나 세정 불충분으로 품질이 저하되어 제작성이 떨어진다. 특히 워터제트(Water jet) 직기나 에어텍스처드 가공기(Air textured processing 기)에 사용되는 물은 순수(純水)를 사용해야 생산성이 높아진다. 그밖에 작업상의 온·습도 조절용, 잡용수 등을 공급되는 공업용수의 수질로서 죽하다.

3. 1. 섬유공업용수의 수질

섬유의 제조로부터 제포에 이르는 공정에서 물이쓰이는 용도는 원료의 정련용수, 화학반응용수, 습식방사용수, 칩(Chip)세정용수, 제포 제작용수 및 온습도 조절용수 등으로 다양하게 사용되고 있다. 그러므로 섬유의 종류도 다양하고, 섬유제품의 고품질화와 생산성 향상을 도모하기 위하여, 수질도 세분화된 기준을 요구하고 있으나 수질관리의 복잡성을 고려하여 4등급으로 구분하여 섬유공업의 수질기준을 표 2에 나타냈다.

섬유공업용수 1급 수질은 물에 함유된 양이온과 음이온을 모두 제거한 순수로써 고급합성섬유의 방사 및 칩세정용수, 워터제트(Water jet)직기용수, 에어텍스처드(Air testured)가공용수 등으로 사용된다.

섬유공업용수 2급 수질은 칼슘, 마그네슘 등의 양이온만을 이온교환처리한 연수로써 섬유의 습식방사용수, 제사용수, 나이론 칩 세정용수 등으로 사용된다. 섬유공업용수 3급 수질은 일반공업용수에서 용존물(무기염류) 일부를 제거한 준연수로써 비스코스, 레이온과 같은 반합성섬유 및 재생섬유의 제조공정용수로 사용된다. 섬유공업용수 4급 수질은 우리나라 지표수를 1차 처리한 환경보전법에서 정한 공업용수 수질로서 온·습도조절용수, 세정용수 및 일반 잡용수로 사용한다.

표 2. 섬유공업 분야의 공업용수 수질기준

항 목	1 등 급	2 등 급	3 등 급	4 등 급
탁도 (도)	1	1	1	10
수소이온농도(pH) (20°C)	6.5±1	6.5±1	6.5~7.5	7
전기전도율 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0.5	150	90	160
총경도 ($\text{mg CaCO}_3/\ell$)	검출안됨	검출안됨	25	50
M-알칼리도 ($\text{mg CaCO}_3/\ell$)	—	검출안됨	7	50
철 (mg/ℓ)	0.01	0.05	0.03	0.1
망간 (mg/ℓ)	—	0.05	0.01	0.1
염소이온 (mg/ℓ)	1	10	6.0	15
총증발찌기 (mg/ℓ)	—	100	80	150
COD _{Mo} (mg/ℓ)	0.5	1.0	1.3	3.0
비 고	<ul style="list-style-type: none"> ○ 에어텍스처드 가공 ○ Chip세척용 ○ 합성섬유 방사용 ○ Water Jet 제작 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 아크릴섬유 ○ 습윤방사 ○ 나이론 chip 세정 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공정용수 — 비스코스 — 섬유 — 레이온섬유 — 아세테이트 — 섬유 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 일반공정 용수 — 세정용 — 냉각수 — 온습도 조절용

4. 전자 및 반도체 공업과 용수

전자공업은 정밀화학분야, 신소재분야, 생명공학분야 등과 같이 공정용수로서 초순수를 사용하는 대표적인 산업이다. 이와같이 최첨단 기술을 바탕으로 초정밀 가공을 요하는 작업환경 때문에 청정도 유지는 물론 사용하는 물도 고도로 정화된 초순수(超純水)이어야한다. 전자공업분야에서도 반도체 소재 산업은 최근 몇년동안 기술 수준이 급격히 높아졌고 산업규모도 확장되고 있어서 초순수의 수요도 증가 추세에 놓여있다. 반도체산업의 기술혁신에 따라 집적회로의 회로선 폭이 점점 좁아지고 집적도는 기하급수적으로 증대되고 있어서 여기에 사용되는 초순수의 수질도 더욱 강화되고 있다.

전자 및 반도체공업 분야에서 물이 이용되는 용도는 전자관 제조 공정용수, 음극재료의 처리용수, 세라믹콘텐서의 저항체 제조공정용수, 브라운관의 형광막 제조용수, 영상관의 타겟(Target)제조용수, 반도체디바이스(Device) 세정용수, 웨이퍼(Wafer)의 표면가공용수, 재료의 연마 및 세정용수, 하드디스크(Hard Disk)의 박막처리 용수 등으로서 탈지, 산세, 수세, 에팅, 절단, 접착, 프린트, 도포, 증착 등의 공정용수로 사용된다.

위와 같은 용도로 사용되는 물은 고도의 용수 처리 과정을 거쳐서 일정 수준 이상의 순도를 갖는 순수 또는 초순수를 사용해야 하나 간혹 용수 처리가 미흡

하여 제품의 불량율이 발생하는 요인은 유기물질, 무기물질, 미립자, 미생물류와 같은 불순물에 의해서 장해현상이 발생한다. 예를들면, 생균으로 인해서 웨이퍼에 있는 리드프레임이 산화되어 항복전압(Break down voltage)에 이상이 오거나 결합력(Bond ability)이 떨어지는 경우가 있다. 용해성 실리카가 물에 남아 있으면 반도체 소자의 표면에 스케일을 쳐출시켜서 회로 단락현상을 일으켜서 못쓰게 된다.

미립자나 중금속 등은 모두 회로에 부착하여 전기 특성을 잊게 하므로 제품의 신뢰성을 떨어뜨리는 원인이 된다.

4.1. 전자 및 반도체 공업용수의 수질

반도체공업이나 전자공업에서는 모든 공정에서 다같이 초순수를 사용할 필요는 없다.

선진외국의 예를 들면 미국의 ASTM 규격에서는 전자공업용수로서 E(I), E(II)의 두 가지 형으로 규정하여 E(I) 형은 고품질의 초순수 수질이고 E(II) 형은 보통의 초순수급 수질로 각 공정별로 선택 사용토록 하였다.

일본의 경우에는 반도체 분야의 각 제조회사별 또는 협회별로 수질 기준을 정해놓고 엄격히 관리하고 있다. 국내에서도 몇 개 반도체 제조업체에서 개별적으로 수질 기준을 정하고는 있으나, 대체적으로 초순수 제조장치의 수입원에서 제시한 기준이거나 외국의 기준을 따르는 정도이다.

표 3. 전자 및 반도체공업 분야의 공업용수 수질기준

항 목	1 등 금	2 등 금	3 등 금
전기전도율 [비저항] [$\mu\text{S}/\text{cm}$] [$\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$]	0.055 [18]	0.071 [14]	0.1 [10]
유기체탄소 (mg/l)	30	100	150
용존산소 (mg/l)	10	50	100
나트륨 (mg/l)	0.2	2	10
염소이온 (mg/l)	2	20	200
용해성실리카 (mg/l)	5	25	50
입자수 ($>0.2\mu\text{m}$, 개/100ml)	10	50	1000
생균 (CFU/100ml)	1	10	100
비 고	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공정용수 - 1MD Ram 이상 초대규모집접회로 - 음극선과 타겟 제조 ○ 세정용수 - 웨이퍼 제조 - 반도체 장치 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공정용수 - 256KD Ram이하 대규모집접회로 - 박막제조용 무전해 니켈도금 - 전자관 음극 물질의 처리 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공정용수 - 전자부품의 일반도금 용 - 인쇄회로기판 제조용 ○ 세정용수 - 전자관 - 반도체의 도금

반도체공업이나 전자공업에서 사용되는 물은 가급적 최고 순도의 고품질 순수를 써야하나 모든 공정에서 다같이 요구되는 것은 아니므로 3등급으로 나누어 표 3에 수질을 나타냈다.

전자공업용수 1급 수질은 전기전도율이 $0.055\mu\text{s}/\text{cm}$ (비저항 $18M\Omega \cdot \text{cm}$), 미립자(입경 $0.2\mu\text{m}$ 이하) $100\text{m}\ell$ 에 10개 이내, 생균 $100\text{m}\ell$ 에 1군 이내로 규정하고 1MD RAM이상의 VLSI 공정용수, 반도체디바이스 세정용수, CRT target 제조용수, 웨이퍼 세정 용수 등으로 사용한다.

전자공업용수 2급 수질은 전기전도율이 $0.071\mu\text{s}/\text{cm}$ (비저항 $14M\Omega \cdot \text{cm}$), 입자수(입경 $0.2\mu\text{m}$ 이하) $100\text{m}\ell$ 에 50개 이내, 생균 $100\text{m}\ell$ 에 10군 이내의 수질로 256KD RAM 이하의 직접회로 공정용수, 전자관의 음극재료의 처리용수 등으로 사용된다.

전자공업용수 3급 수질은 전기전도율이 $0.1\mu\text{s}/\text{cm}$ (비저항 $10M\Omega \cdot \text{cm}$), 입자수(입경 $0.2\mu\text{m}$ 이하) $100\text{m}\ell$ 에 1000개 이내, 생균 $100\text{m}\ell$ 에 100군이내로 규정하고 전자부품의 일반도금용수, 전자관의 세정용수, PCB 제조공정용수 등으로 사용된다.

5. 제지공업과 용수

제지공장은 자고로 강가나 큰 하천 주변에 설립, 가동되고 있음을 볼 수 있는데 이것은 제지공업에서 많은 물을 필요로 하고 있다는 것을 의미한다. 그러므로 제지공업은 전형적인 용수산업형 공업으로서 양

질의 물을 풍부하게 사용하는 특징을 갖고 있다. 종이 제조공정에서 물의 용도는 종이원료의 스크리닝, 정련, 표백공정과 초기 공정에서 조업용수로 사용되고 있으며 또 사이즈제, 충전제, 지력증강제, 염료 등의 약품을 녹이는 데에도 물이 사용되고 있으며, 그 밖의 온습도 조절을 위한 냉각수, 보일러수, 기타 잡용수 등이 다른 공업들과 마찬가지로 쓰이고 있다.

제지공업에서 수질에 의해 장해를 일으킬 수 있는 현상은 제품의 품질 저하, 에너지 낭비, 생산성 저하 현상으로 나타낼 수 있다. 탁도가 높은 물로 종이를 뜯 경우 제지공정에서 금망이나 초지기를 손상시켜서 종이에 흰홀이 생기게 하거나, 침색되어 백색도를 저하시키는 원인이 되기도 한다.

색도는 종이를 오염시켜서 상품가치를 떨어뜨리며 칼슘과 마그네슘은 표면 사이징 공정에서 사이즈제 Rosin의 콜로이드와 작용하여 응결시키므로 사이즈제가 종이나 판지위에 고르게 펴지지 못하게 된다.

철은 종이의 색을 누렇게 변화시키며, 망간은 검은 반점을 유발시킨다. 염화아온이나 용존가스류는 부식성을 갖고 있어서 기계의 부식, 마모현상으로 생산기의 수명이 단축한다. 기타 COD나 BOD, 유기물로 미생물의 번식을 촉진시켜서 제품의 품질에 손상을 입히고 작업성을 나쁘게 한다.

5. 1. 제지공업용수의 수질

앞에서 언급했듯이 물속의 불순물에 의해 발생 가능한 장해현상은 각 항목에 따라서 다르게 나타나고 있

표 4. 제지공업 분야의 공업용수 수질기준

항 목	1 등급	2 등급	3 등급	4 등급
탁도 (도)	1	10	40	100
색도 (도)	1	5	30	100
수소이온농도(pH) (20°C)	7 ± 0.5	7 ± 0.5	7 ± 0.5	7 ± 0.5
총경도 ($\text{mg CaCO}_3/\ell$)	10	100	100	200
M-알칼리도 ($\text{mg CaCO}_3/\ell$)	30	75	75	150
철 (mg/ℓ)	0.05	0.1	0.3	1.0
망간 (mg/ℓ)	0.03	0.05	0.1	0.5
염소이온 (mg/ℓ)	10	30	50	100
총증발찌기 (mg/ℓ)	50	200	300	500
COD _{Mn} (mg/ℓ)	6	6	8	10
비 고	<input type="radio"/> 절연지 <input type="radio"/> 상질아트지 <input type="radio"/> 담배용지 <input type="radio"/> 감광지 <input type="radio"/> 감열지	<input type="radio"/> 백상지 <input type="radio"/> 평판화장지 <input type="radio"/> 한지	<input type="radio"/> 신문용지 <input type="radio"/> 백판지 <input type="radio"/> 화장지	<input type="radio"/> 골판지 <input type="radio"/> 골심지 <input type="radio"/> 재생지

으며 장해가 일어날 수 있는 농도도 항목별로 다르기 때문에 사용가능한 수질의 범위를 종이제품의 종류별로 제정하였다.

제지공업용수 수질기준은 외국의 자료와 우리나라 제지공장에서 사용중인 용수의 수질 및 종이의 종류 등을 감안하여 제지공업용수 수질기준을 표 4와 같이 4등급으로 구분 제정하였다.

제지용수 1급 수질은 불순물의 혼입을 극히 제한하고 예민한 기능을 보유한 감광지 감열지 등의 기능지와 담배종이 등을 제조하는데 사용되는 용수로서 무색, 투명을 유지하고 침전유발물질이 전혀 없어야 하며 백색도나 염색을 저해하는 요인이 없는 수질이어야 한다.

따라서 1급 수질은 총경도 $10\text{mgCaCO}_3/\ell$, 철 $0.05\text{mg}/\ell$ 정도의 연수로 용존염류를 완전히 제거처리한 순수의 수질에는 훨씬 못 미치는 수질이다. 제지용수 2급 수질은 총증발찌끼가 $200\text{mg}/\ell$ 이하로 우리나라 지표수는 물론 대부분의 지하수의 수질이 이 범위내에 들지만 철분은 $0.1\text{mg}/\ell$ 이하이므로 탈철(脫鐵) 처리를 해야 하는 경우가 있다.

제지공업용수 3급 수질은 총증발찌끼 $300\text{mg}/\ell$ 이하이고 철분이 $0.3\text{mg}/\ell$ 이하로 우리나라의 대부분의 자연수는 사용이 가능하며, 신문용지, 백판지, 화장지 등의 제조용수로 사용된다. TAPPI에서는 같은 수준의 수질에서 탁도는 50도 염화물이온은 $75\text{mg}/\ell$ 이었으나 실제로 우리나라 공단용수의 탁도와 염화이온은 최상치가 그보다 훨씬 낮기 때문에 낮은 값으로 정하여도 이 기준을 지키는데 무리가 없을 것으로 본다. 제지공업용수 4급수질은 고지 등을 원료로 하는 골판지 원지나 골심지 등을 제조하는데 사용할 수 있는 수질로서 철 $1.0\text{mg}/\ell$, 총증발찌끼 $500\text{mg}/\ell$ 이다.

이 기준은 종이제품의 외관 즉 백색도나 색감 등을 중요시 하지 않고, 다만 일정한 강도를 유지해야 하는 포장용 내장재 등의 제조에 사용할 수 있는 물로서 경우에 따라서는 재생용수를 이용할 수 있도록 수질을 완화 제정하였다.

6. 염색공업과 용수

염색공업은 제지공업과 같이 물을 많이 사용하는 용수형 산업으로 입지선정에서 가장 중요한 요인은 공업용수의 수질과 수량의 확보문제이다. 염색공장에서 사용되는 물은 80% 이상이 염료욕에 직접 사용

되어 하나의 원료적 역할을 하고 있으므로 수질은 제품의 품질과 직결되고 있다. 염색 공업용수로서 주요 시되는 수질항목으로는 탁도, 색도, 철, 망간, 총경도, 알칼리도 등을 꼽을 수 있다.

이들 성분은 염료를 소모하거나, 염반의 발생, 색상의 변화 등의 장해를 유발한다. 특히 사염인 경우 철분이나 탁도성분은 실 사이에 찌꺼기가 끼어서 염색이 고르게 되지 않는다.

총경도성분인 칼슘과 마그네슘이온은 정련공정에서 비누의 소비를 증대시키며 비누매를 형성하여 정련효과를 떨어뜨린다. 아조염료, 직접염료, 황화염료, 분산염료 등은 칼슘, 마그네슘이온과 반응하여 침전을 형성시키므로 염료의 손실이 따르고, 얼룩이나 염반이 생겨서 제품의 품질이 저하된다. 탄산염 경도가 높은 물을 써서 열탕에서 염색을 하면 탄산칼슘의 침전이 석출되어 포지표면이 거칠어지고 촉감도 나빠진다. 또한 상수도수의 염소소독용으로 첨가된 잔류염소는 산화성이 있어서 염료를 산화분해하므로 완전히 폐기해야 한다.

6.1. 염색공업 용수의 수질

염색용수의 수질은 양호할수록 좋으나 경제성을 감안하여 물에 의한 장해를 피할 수 있는 범위로 표 5와 같이 2등급으로 나누었다.

표 5. 염색공업 분야의 공업용수 수질기준

항 목	1 등 급	2 등 급
탁도 (도)	1	5
수소이온농도(pH) (20)	6.5~7.5	6.5~7.5
총경도 ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$)	10	60
M-알칼리도 ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$)	50	50
철 (mg/L)	0.01	0.1
망간 (mg/L)	0.01	0.05
염소이온 (mg/L)	10	50
잔류염소 (mg/L)	검출안됨	검출안됨
비 고		
○ 반응성 염료염색		
○ 분산 염료염색		
○ 직접 염료염색		
○ 실의 매염 염색		
○ 용해성 건염 염색		
○ 황화 염료염색		
○ 황화 건염 염료 염색		
○ 산화 염료염색		

염색용수 1급 수질은 혼탁물질을 제거처리하고 용존 무기물을 일부 제거하여 총경도 $10\text{mgCaCO}_3/\ell$ 이하의 수질로서 반응염료, 분산염료, 직접염료 등으로 염색할 때 사용하며 실타래의 매염제 염색에도 사용한다.

염색용수 2급 수질은 일반공업용 상수도수준의 수질로서 산성염료, 염기성염료, 유화염료, 산화염료 등으로 염색할 때 사용하며 바트염색에서도 사용할 수 있다.

7. 철강공업과 용수

철강공업의 작업공정은 제강, 제철, 분과, 압연(냉간 또는 열간)공정 등으로 나눌 수 있으며 각 공정에서 모두 물이 사용되고 있다. 철강공업에서 사용되는 용수의 용도는 세척용, 제품처리용, 온·습도 조절용 등이다. 철강공업에서 용수사용의 특징은 Quenching 등의 제품처리용에 비하여 온도조절용 즉, 냉각용수의 사용량이 월등히 많다는 점이다. 냉각수로서 구비 조건은 무엇보다도 수온이 낮아야 하는데 철강공장에는 용광로 등 고열 설비가 인접해 있어서 수온을 낮게 유지하기 위하여 급수관을 도로의 지하에 깊숙히 매설하는 경우가 많아서 보수관리에 어려움이 따른다. 또한 시간별로 물 사용량이 달라서 급수량의 파악이 곤란하며 용도별로 요구수질도 달라서 물에 대한 제반 사항을 집중관리하는 방법이 채택되고 있다.

철강공업에서 수질에 의해 유발 가능한 장해현상으로는 탁도, 총경도, 용존산소, SiO_2 등의 성분에 의한 스케일의 부착으로 열교환 효율의 저하현상이다. 이는 가열기의 경우에는 국부과열에 의한 변형력부식의 원인이 되기도 하고 에너지 낭비를 초래한다. 냉각계통에서는 냉각시간의 지역으로 작업성이 저조해진다. 낮은 pH나 염화물 또는 황산이온이 많은 물은 부식성이 커서 강재에 부식이 발생된다. COD가 높은 물은 부쾌성이 있고 미생물이 번식하여 냉각계통에 스파이어가 발생되어 조업에 지장을 초래한다. 미생물이나 슬라임의 발생은 공식, 균열, 틈새부식 등으로 발전하여 철강 생산기자재의 수명을 단축하는 예가 있다.

칼슘이온이나 마그네슘이온은 알칼리도 성분인 탄산이온 또는 탄산수소이온과 반응하여 탄산칼슘이온의 연질 스케일을 형성시킨다. 또 칼슘과 마그네슘이온은 물속의 용해성 실리카와 고온에서 반응하여 규산염계통의 경질스케일을 형성한다. 이 스케일이 열교환

기애 부착되면 열 전달을 방해하여 연료의 손실을 가져올 뿐 아니라 국부 과열에 의하여 변형력 부식이 일어나 균열이 생기기도 한다.

7. 1. 철강공업용수의 수질

철강공업에서 사용하고 있는 물은 담수에서 해수에 이르기까지 광범위하게 사용되고 있다. 즉 간접 냉각용수로서 기계냉각에는 해수를, 로체의 냉각에는 담수를 사용한다. 그 밖에 고로가스 청정장치나 집진장치에는 해수를 그리고 박판 탈황장치나 스케일제거용 세척용수는 담수를 사용하고 있다.

철강용수 수질기준은 담수가 사용되는 직접 및 간접 냉각용수와 제품처리용수 수질에 한하였으며 관리 항목으로는 pH, 전기전도율, 총경도, 탁도, M-알칼리도, 염화물이온, 황산이온 및 화학적산소 요구량에 대한 기준을 마련하였다.

현재, 제철 제강공장 등에서 사용하고 있는 용수는 대부분 지표수를 침전, 여과 등 1차 처리를 하여 사용하고 있으며, 환경보전법에서 정한 하천의 수질인 환경기준의 공업용수 1급에 해당하는 수질이면 철강공업용수로서 무리없이 이용이 가능하다.

철강 공업용수 수질은 사용 목적별로 냉각용과 제품처리용의 2등급으로 구분 제정하였으며 그 수질기준은 표 6에 나타냈다.

철강공업용수 1급 수질은 총경도 $100\text{mg CaCO}_3/\ell$ 이하, 염화이온 $100\text{mg}/\ell$ 이하로 직·간접 냉각수로 사용하며 철강공업용수 2급 수질은 1급과 동일하나 염화이온을 $50\text{mg}/\ell$ 이하로 제한하였으며 공정용수로 사용한다.

표 6. 철강공업 분야의 공업용수 수질기준

항 목	1 등급	2 등급
탁도 (도)	5	5
전기전도율 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	300	300
수소이온농도(pH) (20°C)	6.5~7.5	6.5~7.5
총경도 ($\text{ng CaCO}_3/\ell$)	100	100
M-알칼리도 ($\text{mg CaCO}_3/\ell$)	100	100
염소이온 (mg/ℓ)	100	50
COD _{Mn} (mg/ℓ)	6	6
비 고	○ 냉각수	○ 제품처리용수

8. 화학공업과 용수

화학공업은 분야별 종류도 다양하고 제품에 따른

제조공정에서 사용하는 용수의 수질도 천차만별이다. 일반적으로 화학공업에 사용하는 용수는 제품을 제조하는 원료용수, 제품을 처리하는 처리용수 및 세척용수, 온·습도 조절용 냉각수, 보일러수 등이 있으며, 이외에도 현장에서 사용하는 수질의 용도에 따라 여러 가지로 나누어지기 때문에 구체적으로 구분하는 것은 어렵다.

그러므로 화학공업에서 공업용수를 선정하는 일반적인 기준은 제품생산에 적합한 수질 및 수량과 제품생산에 장해반응이 일어나는지, 부식성수질인지, 경제성이 있는가 등을 검토하여 선정한다.

화학공업은 산, 알칼리, 비료, 안료 등을 제조하는 무기화학공업, 고무, 플라스틱, 석유화학제품 등을 생산하는 유기합성공업, 도자기, 유리, 시멘트 등을 제조하는 요업, 사진, 향료, 염료, 거울 등을 제조하는 정밀화학 공업분야로 대별된다.

이와같이 화학공업은 서로 특성이 전혀 다른 원료와 특정한 화학반응을 이용하는 공업이므로 사용하는 물은 하나의 원료적 역할을 하고 있으며 부반응(副反應)이 일어나지 않도록 수질에 각별한 주의를 해야한다.

그러므로 무기화학공업에서 시약급의 무기산(無機酸)류나 알칼리류, 염류(鹽類) 등을 제조할 때는 이온교환처리한 순수를 사용해야 하며, 전해소오다 공

업에서는 총경도 $10\text{mg CaCO}_3/\ell$ 이하의 물을 요구한다. 수성페인트의 제조용수, 고급지방산의 제조용수 등은 순수를 써야하나 플라스틱성형이나 공업용 유지, 고무 등의 제조에는 수질이 그리 문제되지 않는다.

유리제조나 도자기제조 등의 요업분야에서는 원료의 정제공정에서 물을 사용하며 콘크리트 비빔용 물은 반응수로서 원료처럼 사용되나 수질의 허용범위가 매우 커서 염화이온이 $200\text{mg}/\ell$ 이하, 철과 망간은 합하여 $1.0\text{mg}/\ell$ 이하로 KS규격(KS F 4009)에서 정하고 있다. 그러나 고급 백색 도자기 원료를 정련하는데 사용하는 물은 철분이 많으면 백색도를 유지하지 못하므로 $0.1\text{mg}/\ell$ 이하로 제한해야 한다.

정밀화학공업은 향료, 염료, 사진재료 등을 제조하는 공업으로 제품의 순도가 중요시 되는 공업이다. 제조공정에서 물에 의해 순도가 저하될 우려가 있으므로 되도록 깨끗한 물을 써야한다. 사진현상액 제조용수에 염류가 많으면 필름이나 인화지 위에 얼룩현상이 나타나고, 표면이 거칠어진다.

8.1. 화학공업 분야의 공업용수 수질

화학공업용수의 수질을 단순하게 나타내기는 곤란하고 더욱이 각 분야별로 수질기준을 세분화하는 것은 수질관리의 복잡성 때문에 비현실적이다.

표 7. 화학공업 분야의 공업용수 수질기준

항 목	1 등 급	2 등 급	3 등 급
수소이온농도(pH) (20°C)	6.5 ± 0.5	7 ± 1	7 ± 1
탁도 (도)	1	5	10
용해성증발찌기(mg/ℓ)	2	150	250
M-알칼리도 ($\text{mg CaCO}_3/\ell$)	—	40	100
총경도 ($\text{mg CaCO}_3/\ell$)	검출안됨	50	100
철 (mg/ℓ)	0.05	0.1	0.1
망간 (mg/ℓ)	0.05	0.05	—
염소이온 (mg/ℓ)	1	20	30
COD _{Mn} (mg/ℓ)	1	3	—
비 고		<ul style="list-style-type: none"> ○ 전해소오다공업용 ○ 사진현상 ○ 시약급 무기약품 공업용 ○ 시약급 유기약품 공업용 ○ 수용성 페인트 제조용 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공업용 산·알칼리 공업 ○ 비료제조공업 ○ 고무제조공업 ○ 고분자재료 공업 ○ 잉크제조 ○ 석유화학공업 ○ 고급도자기 원료 정련 ○ 온·습도조절용수

그러므로 화학공업에서 특별한 수처리를 한 물을 사용하는 분야를 제외하고는 일반적으로 관리가 필요한 공통항목으로 pH, 탁도, 총용해성 증발찌기, 총경도, 철, 망간, 염화이온, 알칼리도 및 COD_{Mn}의 9개 항목에 대한 수질기준을 다음 표 7에서와 같이 3등급으로 구분하여 각분야의 제조공정에 적합한 수질로 구분했다.

화학공업용수 1급 수질은 공급된 공업용수를 2차 처리 즉 용존물 제거처리를 하여 순수(純水) 수질로 처리한 것으로 전해소오다공업이나, 사진재료 및 현상, 시약급 무기약품, 수용성 폐인트 등의 제조용수로 사용한다.

화학공업용수 2급 수질은 양질의 공업용 상수도수로서 철이 0.1mg/l 이하, 망간이 0.05mg/l 이하, 그리고 COD가 3mg/l 이하로 항상 신선한 수질을 유지해야 하며 공업용 산·알칼리공업, 비료, 잉크, 석유화학공업 등에 이용하며 고급 도자기 원료의 정련에도 사용하고, 공장내 온·습도 조절용수로도 사용한다.

화학공업용수 3급 수질은 범위가 좀더 넓어진 것으로 총경도 100mg CaCO₃/l 이하이며, 탁도가 10도 이하이므로 일반공업용 상수도는 모두 해당되리라 본다. 공업용 안료제조, 플라스틱 성형, 공장내 세정용수, 유지 가공용수, 잡용수 등으로 사용한다.

9. 정밀기계 공업과 용수

기계공업은 크게 일반 기계분야와 정밀 기계분야로 분류되는데 항공기, 선박, 기차, 자동차 등의 수송기계와 기계가공에 쓰이는 선반, 밀링, 드릴 등의 공작기계가 일반기계에 속하며, 카메라, 안경, 현미경 등을 포함하는 광학기기와 계측기 등이 정밀기계에 속한다.

기계공업에서는 주로 비철, 철강 등의 금속재료, Engineering Plastic 등의 고분자 복합재료, 유리, 석연, 보석 등의 Ceramic소재 등이 원재료로 쓰이고 있으며, 습식가공공정에서 물이 이용되고 있다.

기계공업에서 물이쓰이는 용도는 철강재의 전처리공정, 표면처리공정, 연마공정 등에서 처리액의 조제나 수세용으로 이용되며, 열처리공정에서는 quenching 처리용으로, 그리고 주조공정에서는 쿠풀려냉각수 등으로 다양하게 사용되고 있다.

일반 기계공업에서도 이와같이 다양하게 물을 많이 사용하고 있으나, 수질은 별로제되지 않는다.

그러나 정밀기계 가공공정에서는 제품의 품질, 수명, 정밀도유지 등의 제 기능이 수질의 영향을 크게 받으므로 일정수준 이상의 순도를 갖는 물을 사용해야 한다. nano meter 단위의 정밀계측기제조 ppb 또는 ppt 단위의 극미량 분석기에 쓰이는 광학기 및 고배율의 렌즈 등을 가공할 때는 작업장 환경의 청정도 유지는 물론, 사용하는 물의 수질 또한 고순도이어야 한다.

광학기의 가공용수에는 혼탁물질의 입자크기를 제한한다. 이는 연마제 자체의 입자보다 물중의 혼탁입자가 더 클경우 연마한 표면에 흠이 생기므로 제품의 상품가치와 신뢰성이 저하되며, 다음 처리공정인 도금이나 진공증착 등의 표면 코팅이 잘되지 않는다. 따라서 마이크로 필터 등의 세공 여재로 물을 걸러서 사용해야 한다. 또한 용존무기염류(溶存無機鹽類)가 많은 물 즉, 총용해성 증발찌기가 많은 물로 광학기의 표면 세정을 하면 건조후 그 표면에 찌꺼기가 남게 되어 광택불량, 광학면과 코팅면 손상이 일어난다. 에칭공정에서 etchant 배합용수도 물이 나쁘면 막 두께 불균일, 막 강도 약화, 해상도 저하, 핀홀의 발생 등 장해현상이 나타난다.

정밀기계분야의 주된 가공공정은 광학렌즈의 연마와 코팅, 표면가공 및 세공 등이므로 위에서 말한 장해현상을 미연에 방지하기 위해서는 순수 수준의 물을 사용해야 한다.

9. 1. 정밀기계 공업용수 수질

수송기계 공업이나 일반기계 공업에서는 우리나라의 자연수 즉 하천, 호소, 강 등의 지표수나 지하수를 그대로 사용할 수 있을 정도이므로, 기계 공업의 수질기준은 정밀기계공업분야로 국한하였다.

실제로 동업종의 업체들이 현재 사용하고 있는 물의 수질은 순수의 수준을 유지하고 있으며 특히 혼탁입자의 크기를 제한한 점이 타 공업용수 수질 기준과 다르다.

그러므로 정밀기계 공업용수의 권장수질을 표와 같이 순수수준의 1급 금수와 혼탁물만 제거한 일반 공업용수를 2급수로 정하였다. 하여 정밀기계 공업용수의 수질기준을 표 8과 같이 2등급으로 구분제정하였다.

정밀기계 공업용수 1급 수질은 물을 고도처리한 것으로 비저항 1MΩ · cm 이상의 탈염수이며 혼탁입자의 크기를 2μm 이하로 제한하였으며, 에칭액 배합용수, 표면처리가공시 최종 세정용수로 사용한다.

정밀기계공업 2급 수질은 일반공업용 상수도 수질이나, 혼탁입자만 걸러낸 정도의 물로 총경도 100mg

CaCO_3/ℓ 이하, KMnO 소비량 $10\text{mg}/\ell$ 이하로 연마액 조제, 밀링, 혼ning, 절삭, 연마 등 공정용수로 사용한다.

표 8. 정밀기계공업 분야의 공업용수 수질기준

항 목	1 등 급	2 등 급	항 목	1 등 급	2 등 급
수소이온농도(pH) (20°C)	6~7	6~8	잔류염소 (mg/ℓ)	검출안됨	검출안됨
용해성고형물 (mg/ℓ)	1	200	미생물 (colony/ m^2)	50	—
전기전도율 [비저항] [$\mu\text{S}/\text{cm}$] [$\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$]	0.5 [1]	2 [—]		○ 후처리 세척용 ○ 부식 가공용	○ 공정용수 — 연마용 — 절삭용 — 절단용 — 내경연마용 — 세척용
혼탁입자 (μm)	2	2	비 고		
총경도 ($\text{mg CaCO}_3/\ell$)	—	100			
철 (mg/ℓ)	—	0.1			
망간 (mg/ℓ)	—	0.1			
COD (mg/ℓ)	—	3			

참고 : 환경보전법 시행규칙(1989. 1. 5 개정)의 수질기준

○ 하 천

구분	등급	이 용 목 적 별 적 용 대상	기 준				
			수소이온 농 도 (pH)	생물화학적 산소요구량 (BOD) (mg/ℓ)	부유물질량 (SS) (mg/ℓ)	용존산소량 (DO) (mg/ℓ)	대장균군수 (MPN/100)
생 활	I	상수원수 1급 자연환경보전	6.5~8.5	1 이하	25 이하	7.5 이상	50 이하
	II	상수원수 2급 수산용수 1급 수영용수	6.5~8.5	3 이하	25 이하	5 이상	1,000 이하
환경	III	상수원수 3급 수산용수 2급 공업용수 1급	6.5~8.5	6 이하	25 이하	5 이상	5,000 이하
	IV	공업용수 2급 농업용수	6.0~8.5	8 이하	100 이하	2 이상	—
V	공업용수 3급 생활환경보전	6.0~8.5	10 이하	쓰레기등이 떠 있지 아니할 것	2 이상	—	—
사람의 건강보호	전 수 역		카드뮴(Cd): $0.01\text{mg}/\ell$ 이하, 비소(As): $0.05\text{mg}/\ell$ 이하, 시안(CN): 검출되어서는 안됨, 수은(Hg): 검출되어서는 안됨. 유기인: 검출되어서는 안됨, 납(Pb): $0.1\text{mg}/\ell$ 이하, 6가크롬(Cr^{+6}): $0.05\text{mg}/\ell$ 이하, 포리크로리네이티드비페닐(PCB): 검출되어서는 안됨. 음이온 계면활성제(ABS): $0.5\text{mg}/\ell$ 이하				

○ 호 소

구 분	등급	이 용 목 적 별 이용대상	기 준						
			수소이온 농 도 (pH)	화학적산 소요구량 (COD)(mg/l)	부유물질량 (SS)(mg/l)	용존산소량 (DO)(mg/l)	대장균군수 (MPN/100mg)	총 인 (T-P)(mg/l)	총 질 소 (T-N)(mg/l)
생 활 환 경	I	상수원수 1급 자연환경보전	6.5~8.5	1 이하	1 이하	7.5 이상	50 이하	0.010 이하	0.200 이하
	II	상수원수 2급 수산용수 1급 수영용수	6.5~8.5	3 이하	5 이하	5 이상	1,000 이하	0.030 이하	0.400 이하
	III	상수원수 3급 수산용수 2급 공업용수 1급	6.5~8.5	6 이하	15 이하	5 이상	5,000 이하	0.050 이하	0.600 이하
	IV	공업용수 2급 농업용수	6.0~8.5	8 이하	15 이하	2 이상	—	0.100 이하	1.0 이하
	V	공업용수 3급 생활환경보전	6.0~8.5	10 이하	쓰레기 등이 떠 있지 아니할 것	2 이상	—	0.150 이하	1.5 이하
사 람 의 건강보호	전 수 역	카드뮴(Cd): 0.01mg/l 이하, 비소(As): 0.05mg/l 이하, 시안(CN): 검출되어서는 안됨. 수은(Hg): 검출되어서는 안됨. 유기인: 검출되어서는 안됨, 포리크로리네이티드비페닐(PCB): 검출되어서는 안됨. 납(Pb): 0.1mg/l 이하, 6가크롬(Cr ⁶⁺): 0.05mg/l 이하, 음이온 계면활성제(ABS): 0.5mg/l 이하							

참 고 문 헌

- James M. Montgomery, "Water Treatment principles and Design"(1985) John Wiley & Sons U.S.A
- Frederich A Lowenheim "Electroplating" McGraw-Hill
- Graham "Electroplating" Eng. Handbook
- 한국화학 연구소, 한전기술 연구원 "평택화력수질오염규명 및 대책"(1985)
- 川崎等 "實用電氣 めっき"(1980), 日本日刊新聞社
- 電氣鍍金 研究會 "めっき 教本"(1986), 日本日刊新聞社
- 稻垣春雄等 "めっき 實用 便覽"(1988), 日本工學圖書
- 三田等 "表面技術總覽"(1978), 日本廣信社
- 해외심유정보 "섬유기술자료 편람"(1989), 형설 출판사
- 小地勝美 "半導體 工業と 水", 化學技術 Vol. 24, No. 2 (1986)
- 日本環境技術研究會 "Super Clean Technology Manual"(1986)
- 官原昭三 "分析化學に 使用する 水", 化學 Vol. 42, No. 3(1987)
- 西村正人 "超純水, 無菌純水の 製造法と 水質評價法", 水處理技術 Vol. 27(4) (1986)
- "Proposed Standard for Electronics grade

- Water" ASTM vol. 10.05(1982), part F.57
15. 環境技術研究協會 “スーパークリーンテクノロジーメニュアル”(1988) 日本 大阪 オプトロニクス社
 16. “用水 廢水 便覽”, 用水廢水便覽 編輯委員會, 丸善(株) 日本 1964
 17. “用水 廢水 便覽”, 用水廢水便覽 編輯委員會, 丸善(株) 日本 1973
 18. TAPPI Standard(Technical Association of the pulp and paper industry)
 19. Quality criteria for water U.S. EPA(1973)
 20. 환경처, 환경정책 기본법 시행령, 수질 환경기준 (1991)
 21. 秋山知行 工業用水, Vol 1, 327(1956)
 22. 한국산업개발원, 상공부 “공업입지 원단위 조사 연구”(1984)
 23. 繊維學會編 “纖維便覽 加工編”, 丸善(株) 日本 1969
 24. JACK Edward McKee, HAROLD W.Wolf “Water Quality criteria”(1963)
 25. 須永一郎: Stainless steel, Vol. 18, No. 5(1974)
 26. 변인석, 이재익: 한국 부식 학회지 Vol. 13, No. 1, p. 7(1984)