

## 효율적이고 안정 관리를 위한 산업폐수 처리기술<34>



전 병 호  
(주)프라이텍인더내소날  
기술지원부장

### 목 차

1. 산업폐수 처리를 위한 기초 개념
  - (1)현탁 입자의 제거방법
  - (2)슬러지의 침전 부상처리
  - (3)용해성 물질의 제거방법
  - (4)저농도 유기물의 제거방법
  - (5)무기상 오염물의 제거방법
2. 석유화학공장의 폐수처리
  - (1)정유공장의 폐수처리
  - (2)일반 석유화학 공장의 폐수처리
3. 제지·펄프공장의 폐수처리
4. 합섬·염색공장의 폐수처리
5. 식품공장의 폐수처리
6. 제철·철강공장의 폐수처리
7. 미수·위생처리장의 폐수처리
8. 특정 오염물질의 처리기술
9. 폐수처리 신기술에 대한 이해
10. 폐수 재활용기술과 인정관리

### IX. 폐수재활용기술과 인정관리

폐수처리 기술은 산업체의 기술과 함께 장년기를 맞아 발전적 기술수준을 유지하고 있으나 폐수의 발생량에 대한 축소의지와 용수의 사용량감소를 목적으로 다양한 방법들이 검토되고 시도되는 실정에 있다.

따라서, 본 란에서는 폐수의 재활용을 목표로하는 경우에 응용될수 있도록 간략히 정리하고자 한다.

#### 1. 재활용을 위한 적정 수질 및 용도고찰

부족한 용수자원을 대체하기 위해 검토될 수 있는 여러가지 방법들 중 우선적으로 실시되고 있는 것은 주지의 사실과도 같이 대형 건물을 대상으로 한 중수도로의 재활용이 우선되고 있다.

중수도란 식수와 같은 청정도를 필요로 하지 않는 용도에 대하여 각각의 용도에 알맞는 물을 공급하는 시설을 말하며, 한국은 1991. 12. 14 법률 제4429호로

전문 개정된 수도법에서 『사용한 수도물을 생활용수, 공업용수 등으로 재활용할 수 있도록 다시 처리하는 시설』로 정의하며 1일 물 사용량이 1,000톤 이상인 공장 등 물을 다량으로 사용하는 건물 공장등에 설치토록 권장하는 것을 시발점으로 중수도를 통한 재활용과 용수의 사용량 절감을 유도하고 있다.

중수도의 적용은 용수의 부족 상황을 고려해 볼 때 당위적인 선택이나 국내의 경험과 기술축적이 부족한 현 단계에서는 설치시 예상되는 문제점에 대한 적극적 대응 방안의 검토가 필요하다.

《 표 10-1. 중수도 시설의 장애요인 및 생성요인 》

구분	부식	스케일	슬라임
장애요인	누수, 배관기관의 내용년수 단축, 수질저하, 열교환기관의 효율저하, 압력손실 증대	세관부의 폐쇄, 국부부식, 열교환기관의 열효율 저하, 관로의 저항 증가에 따른 압력 손실	관로의 폐쇄, 냄새발생, 국부부식, 열교환기관의 효율 저하
생성요인	용존염류, 용존산소 수은, pH치, 용존가스, 슬라임 등	냉각수 원수의 칼슘경도, 알칼리도, 수은, pH치, 열교환의 튜브표면 온도, 표면상태	수은, pH치, 영양원, 금속표면 상태, 표면온도, 유속

《 표 10-2. 중수도 수질 기준 》

중수도의 용도	화장실 세척수	살수용수	조경용수
대장균 균수	1ml당 10을 넘지 아니할 것	검출되지 아니할 것	검출되지 아니할 것
잔류염소(결합형)	검출될 것	0.2mg/l 이상일 것	-
외관	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것
탁도	5도를 넘지 아니할 것	5도를 넘지 아니할 것	10도를 넘지 아니할 것
생물학적 산소요구량(mg/l)	10도를 넘지 아니할 것	10도를 넘지 아니할 것	10도를 넘지 아니할 것
탁도	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것
수소이온농도	pH5.8이상 ~ 8.5이하일 것	pH5.8이상 ~ 8.5이하일 것	pH5.8이상 ~ 8.5이하일 것

수도법 시행규칙, 건설부령 제 519 호, '92년 12월 12일 공포)

- ♣ 비 고
- 1. 『살수용수』라 함은 도로 청소작업, 건설공사 등을 하는 경우에 뿌리는 물로 이용되는 중수도를 말한다.
- 2. 『조경용수』라 함은 주먹단지 등의 인공연못, 인공폭포, 인공하천 및 분수 등에 이용되는 중수도를 말한다.
- 3. 공업용으로 쓰이는 중수도에 대하여는 수질기준을 적용하지 아니한다.

중수도의 주요 용도는 화장실 세척수, 살수용수, 조경용수로서 위생환경을 위해 잡용수용도에 사용되는 것이 일반적이며 수질기준은 하기와 같다.

중수도 이외의 용도로 재활용을 적극적으로 검토하는 경우에는 냉각용수로의 활용이 우선적으로 검토되고 있으나, 냉각수를 다량으로 사용하는 대부분의 공장에 있어서 냉각용수의 수질 특성에 전체 설비의 수명이나 제품의 품질과 직결될 수 있기 때문에 쉽게 적용되기 어려운 실정이다.

## 2. 업종별·용도별 재활용 고찰

공업용수의 용도는 제조업종별로 다양하며, 각 공정에서 요구되는 수질 또한 다양하므로 이를 위해서는 적합한 전처리를 실시후 사용하게 된다.

그러나 전처리의 처리효율이나, 안정운전을 위해서 가급적 오염도가 낮은 공업용수를 사용하여야 하며 이때 요구되는 적정 표준 수질은 하기와 같다.(표 10-3 참조)

공업용수중 가장 많은 용도로 사용되는 것은 냉각용수이며, 전체 공업용수 사용량의 약 70%정도에 달하므로 냉각용수의 용도로 재활

용을 검토할 수도 있다.

그러나, 냉각수계에서 발생하는 대표적 장애인 부식 스케일 슬라임의 위험을 배제하기 위해 일반적으로

〈 표 10-3. 업종별 용도별 공업용수의 적정 표준수질(공업시험원 임의 제정) 〉

업종	용도별	탁도 (degree)	pH	알칼리도 (ppm as CaCO <sub>3</sub> )	경도 (ppm as CaCO <sub>3</sub> )	총 발산류분 (ppm)	염소이온 (ppm as/Cl)	철 (ppm as/Fe)	망간 (ppm as/Mn)
식음료제조업	냉각	10	7.0	35	50	75	30	0.10	0.10
	세척	5	7.0	35	50	75	20	0.10	0.10
	원료용	1	7.0	60	60	80	20	0.10	0.10
	문송조성용	10	7.0	50	50	80	30	0.10	0.10
	제품처리용	1	7.0	40	30	80	10	0.10	0.10
섬유공업 (염색 제외)	냉각	20	7.0	60	50	200	30	0.10	0.10
	세척	20	7.0	50	50	200	20	0.10	0.10
	원료용	20	7.0	60	60	150	20	0.10	0.10
	제품처리용	20	7.0	50	50	150	15	0.10	0.10
염색공업	냉각	20	7.0	50	50	100	100	0.10	0.10
	세척	1	7.0	50	100	50	20	0.05	0.05
	원료용	1	7.0	50	10	50	10	0.05	0.05
	문송조성용	1	7.0	50	20	50	10	0.05	0.05
	제품처리용	1	7.0	50	10	50	10	0.05	0.05
펄프제조 용이공업	냉각	10	7.5	50	100	150	30	0.05	0.02
	세척	5	7.5	30	30	100	10	0.05	0.02
	원료용	5	7.0	50	80	80	30	0.05	0.02
	문송조성용	2	7.0	50	50	100	10	0.05	0.02
	제품처리용	5	7.5	40	50	100	50	0.05	0.02
화학공업	냉각	20	7.0	50	50	200	80	0.10	0.05
	세척	10	7.0	50	50	80	20	0.10	0.05
	원료용	10	7.0	40	40	70	10	0.10	0.05
	문송조성용	15	7.0	70	60	130	20	0.10	0.05
	제품처리용	10	7.0	50	50	100	15	0.10	0.05
석유·석탄 제품제조업	냉각	30	7.0	40	50	200	10	0.10	0.05
	세척	6	7.0	40	50	200	5	0.05	0.01
	원료용	6	7.0	40	50	150	5	0.05	0.01
	문송조성용	6	7.0	90	80	200	5	0.10	0.01
	제품처리용	1	7.0	50	50	100	5	0.05	0.01
고무·제혁·모피제조 동제품제조업	냉각	20	7.0	60	50	200	30	0.10	0.10
	세척	20	7.0	50	50	200	20	0.10	0.10
	문송조성용	20	7.0	60	60	150	20	0.10	0.10
	제품처리용	20	7.0	50	50	150	15	0.10	0.10
철강업	냉각	30	7.0	100	200	300	100	-	-
	세척	30	7.0	100	200	300	100	-	-
	원료용	20	7.0	100	100	200	50	-	-
	제품처리용	20	7.0	100	100	300	50	-	-
비철금속·금속제품·가공업	냉각	20	7.0	40	60	300	20	0.10	0.10
	세척	16	7.0	40	50	300	10	0.10	0.10
	원료용	20	7.0	40	60	200	10	0.10	0.10
	문송조성용·제품처리용	20	7.0	40	60	200	10	0.10	0.10

로 적용되는 관리기준은 폐수의 방류 기준에 비해 현저히 엄격한 수질기준이므로 결국 일반적인 방류수는 냉각수의 보급수로 적용키 어려우며 목적 수질 용도에 적합한 수질이 되도록 재처리 방안의 검토가 필요하게 된다.

〈 표 10-4. 냉각수의 일반적인 관리 지표 〉

대표적인 항목	기준
COD <sub>Mn</sub>	10ppm 이하
SS(Suspended Solid)	10ppm 이하
세균수	10 <sup>7</sup> 개/ml 이하
부식도	20mdd 이하
스케일 부착도	15mcm 이하

따라서 재이용의 시행은 먼저 재사용할 용도에 적합한 수질여부가 가장 중요하며, 이를 만족시키기 위한 처리방법과 경제성 검토 등이 다각적으로 이루어져야 한다.

공업용수의 경우에도 폐수 처리수의 재활용 방안 검토가 여러 공장에서 논의되고 있으나 공업용수의 주용도가 전술한 바와 같이 냉각수로 사용되고 있으므로, 이 경우 목표수질 기준이 오염도가 대단히 낮은 (COD<sub>Mn</sub> : 10이하 정도) 정도를 요구하게 되므로 현재까지 재이용율은 극히 낮은 실정이다. 또한 이를 위한 처리 방법도 R/O(Reverse Osmosis) 처리법, Ion Exchanger법, 전기영동법(Electric dialysis) 등이 소개되고 있는 상태이나 초기 투자비가 대단히 높고, 고농도의 오염

폐수에는 적용이 어려운 단점이 있으므로, 경제성을 고려한 신중한 검토가 필요하다. (표 10-5 참조)

### 3. 용수절감을 위한 기본적 사항의 검토

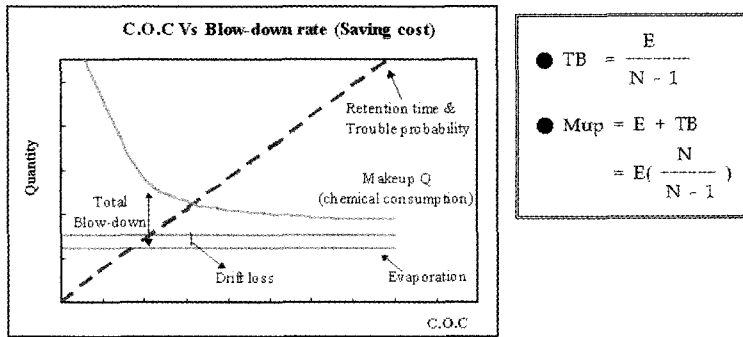
#### 가. 운전방법의 최적화를 통한 용수절감

공업용수의 사용량이 큰 석유화학이나 기타공장의 경우 가장 주요한 용수의 사용처는 냉각용수이며, 냉각용수의 사용량 절감은 용수량의 절대적 감소를

〈 표 10-5. 폐수 재활용을 위해 제거해야할 물질 〉

항 목	원 인 물 질	현 상	치 리 방 법
취 기	H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , CH <sub>3</sub> SH	부패와 동반된 악취	염소살균, 산화처리등
외 관	고형물, 탁도, 색도	불쾌한 색도나 탁액 형성	침전, 응집처리, Filtering
슬 라 임	세균, 유기물, 광선	녹조류·이끼등을 형성	살균, 유기물제거 (N·P), 광선차단
스 케 일	경도, 실리카	배관 막힘등 초래	경도제거(이온교환수지 처리), pH조정
거 품 물 때	ABS, LAS 유기물, 질문, 망간	거품에 의한 불쾌감 위생거구에 물때 부착	활성탄 흡착, 장기 폭기법 활성탄 흡착, 응집처리등
부 식	염류, 슬라임	적수 형성, 점부식 진행 등	슬라임제거, 염류제거
저류시 부패	유기물, 세균 DO 부족	침전물등의 부패, 악취	살균, 유기물제거, 폭기
현탁물질의 증가	슬라임, 침전물 Over flow	탁도 증가	슬라임 제거
적 수	배관등의 부식	적색의 색도증가	방식제사용, 재질변경, 염류제거

【 그림 10-1. 냉각수의 농축배수와 용수 사용량 관계 】



좌우할 수 있는 인자가 된다.

국내의 산업체 냉각용수는 대부분 농축운전을 실시하는 순환 냉각방식을 채택하며, 보급수로는 하천수와 상수도가 대부분 사용되고 있다. 지역적인 특성으로 서산 아산지역은 담수(Blackish Water)를 공업용수로 사용하고 있으나 용수중의 염소이온(Cl-)의 농도가 극히 높아 RO시스템을 전처리로 채택하고 있으며 처리된 순수를 공업용수로 사용하고 있는 실정이다.

냉각수와 같은 용수의 절대량을 줄이기 위해서는 일반적으로 농축도를 상향 조정하는 방법을 적용할

수 있으나, 냉각 회의 가동이나 pump sealing등에 의하여 일부가 계외로 배출되기 때문에 무한 농축은 불가능하다. (그림 10-1 참조)

또한 농축도가 상승할수록 용수 사용량과 Chemical 사용량 등의 운전비용은 감소하나 각종 용존염류의 농도 상승으로 인하여 장해 발생율도 증가하게 된다.

예로서 증발량(Evaporation Loss) 100m<sup>3</sup>/hr 규모의 냉각탑을 갖는 냉각수계(순환량 5,500m<sup>3</sup>/hr, ΔT = 10°C)의 농축도(Cycles of concentration)에 따른 용수의 사용량은 다음과 같다. (표 10-6 참조)

결국 보급수량의 사용량은 농축도(COC)가 상승할수록 감소하지만, 농축도가 상승할수록 수량의 감소폭도 절대적으로 감소하게 되어 8배이상의 농축운전 이상에서는 용수절감의 커다란 기

대효과를 추가 상승에 의해 얻기 힘들다.

한편 농축도에 따른 장해 발생 가능성은 농축도의 상승에 비례하는 형태가 예상되므로 고농축 조건에서 추가 농축도의 상승으로 인해 얻어지는 용수 사용량의 감소분이 적은 반면에 장해 발생율은 절대량이 증가하게 되므로 유의하여야 한다.

또한 Blow down을 완전 배제한 Zero-Blow down 운전의 경우에도 농축도는 Leak수량이나 비산수량(Drift Loss)에 의하여 간접적인 Blow down이 이루어지게 되어 무한농축은 불가능하다.

참고로 전술한 냉각수계의 최대 가능 농축도는 비산

〈 표 10-6. 농축도에 따른 보급수량 변화 예 〉

농축도(C.O.C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
배출수량 (m <sup>3</sup> /hr)	5,500	100	50	33.3	25	20	16.7	14.3	12.5	11.1
용수사용량 (Make up Water, m <sup>3</sup> /hr)	5,500	200	150	133.3	125	120	116.7	114.3	112.5	111.1

수량을 순환수량의 0.1%로 환산했을 경우 최대 농축도는 19.2배에 해당되며, 일반적인 비산수량인 0.2%로 환산시에는 최대 농축도는 10.1배에 불과하여 농축도의 한계인자로 작용하게 된다.

안 모색이 필요하다.

냉각수 이외의 수계에서는 보일러수계가 주요 절감 포인트가 될 수 있으며 이 경우 압력 용기라는 설비 조건 때문에 보일러수 농축도의 무한 상승보다는 사용된 증기의 회수량을 증가시켜 용수 사용량을 절감시키는 방법이 바람직하다. 이는 압력용기의 장해현상은 설비의 파열 폭발이라는 치명적 안전사고로 직결될 수 있기 때문이다.

- 총배출량 (TB) = 강제 Blow down + 비산수량(Drift Loss)
- 강제 배출량 = 0, 비산수량 = 5.5m<sup>3</sup>/hr(0.1% RR)
- TB = DL = 5.5m<sup>3</sup>/hr

$$TB = \frac{E}{N - 1} \text{ 이므로 } \quad \underline{N = 19.2 (Max)}$$

다음호에 계속