용수 사용량 절감 및 폐수 재활용 방안

〈1〉

냉각수계에서 발생되는 대표적 장해인 부식 · 스케일 · 슬라임의 위험을 배제하기 위해 일반적으로 적용되는 관리기준은 폐수의 방류 기준에 비해 현격히 엄격한 수질기준이므로 결국 일반적인 방류수는 냉각수의 보급수로 적용키 어려우며 목적 수질 용도에 적합한 수질이 되도록 처리 방안의 검토가 필요하다.

전병준
(주)한수 기술부 부장대행

목 차

Ⅱ. 물에 의한 장해의 현상과 대책
Ⅲ. 용수 절감을 위한 기본방안
Ⅳ. 중수도 시스템에 의한 Reuse
Ⅴ. Reuse를 위한 산업폐수의 업종별 특성 고찰
Ⅵ. Reuse를 위한 오염물의 분리 기술
Ⅶ. 산업 폐수의 Reuse Case Study

고도성장이 이루어짐에 따라 용수의 사용량은 급격히 증가된 것이 현실이나 한정된 강우량에 의하여 도시 집중화 된 일부지역에서는 갈수기에 용수부족 현상까지도 나타나는 것이 우리의 실정인 것이다.

따라서 향후에는 공업화가 진행됨에 따라 용수의 사용량은 비례하게 됨으로 한정된 용수의 사용효율 증진 방법과 함께 재활용 방법들이 계속적으로 연구될 것이다. 용수 확보에 있어 한국은 주로 하천수에 의존하고 있으며, 이들 하천을 권역별로 구분해 보았을 때 6대 하천권역으로 구분할 수 있다.

이들 6대 수계의 유역 면적은 국토면적의 약 2/3을 점하고 있는 정도로서 산업화에 의한 용수량의 증가와 함께 폐수량도 증가되어 주요 하천의 수질오염은 점차 심각해지는 상황에 있다.

특히 상류지역의 공업화가 아직은 미진한 한강과 섬진강을 제외한 대부분의 수계에서 오염도가 높아지고 있어 용수의 사용량 절감과 함께 폐수의 재활용 방안에 대한 적극적인 검토가 요청되고 있는 실정이다.

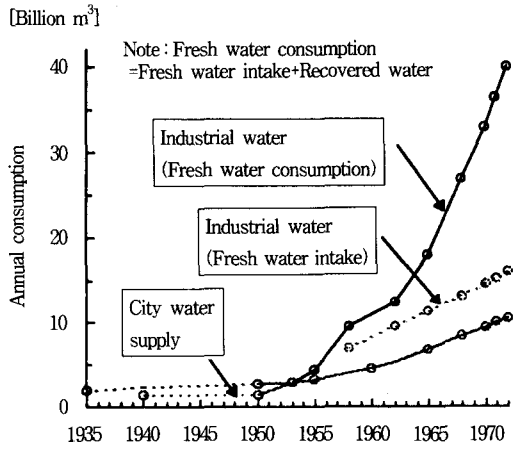
한국은 협소한 국토면적에 비하여 인구 증가율이 높아 1964년 2,800만명, 1983년에는 3,995만명으로 경제개발이 추진되는 20년 동안 약 43%의 인구증가를 나타내었으며, 1km^{2}당 404명의 높은 인구밀도를 갖는 것으로 나타났다.

강우량은 연평균 1,159mm로 세계 평균 750mm보다 높으나, 강우량 분포가 6~9월에 연간 강우량의 2/3가 편재되어 계절적 수질 변화폭이 큰 인자로 작용한다.

표 1-1. 유역별 월평균 강우량(1972년~1980년 강우량)

(단위 : mm)

구분 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	연 간 강우량
전 국	24.9	24.8	45.8	81.3	90.7	146.2	271.7	208.0	136.7	50.2	40.5	34.4	1,159.2
낙동강	27.5	32.5	66.3	134.9	118.6	166.0	224.6	205.3	110.3	59.4	49.8	24.7	1,220.2
금 강	31.6	33.5	66.0	119.6	96.5	142.1	238.5	237.5	103.1	53.7	57.3	34.3	1,206.7
영산강	39.9	48.1	68.9	156.0	142.9	157.1	252.0	244.7	93.7	65.4	61.6	41.7	1,386.9
섬진강	34.6	42.7	73.2	168.9	148.5	160.6	283.9	231.5	100.3	63.6	59.2	36.8	1,404.7



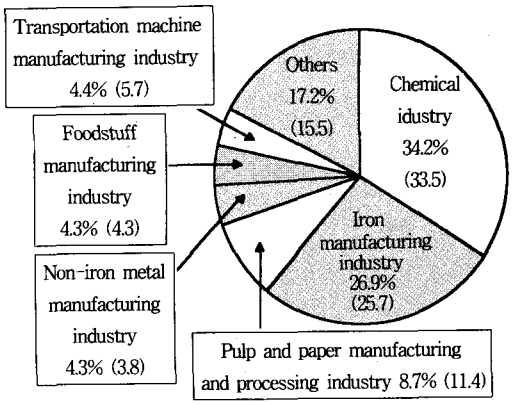
〔그림 1〕 연도별 용수 사용량 추이

표 1-2. 제품 1톤당 용수 소요량(m^3)

	사용수량(m^3-개략치)	비 고
철 강	40~100	
Pulp	300~700	
화 학 섬 유	300~4,000	
합 성 고 무	117~2,800	
Cellulose	3,000	
Cement	30~60	
정 유	10~20	해수사용량 제외

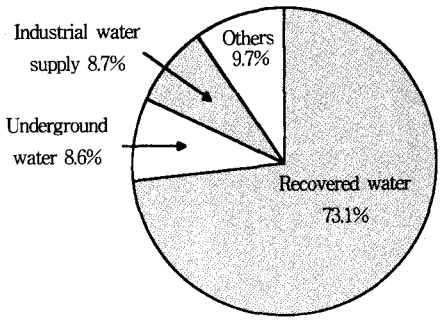
표 1-3. 주요 공업용수 지역별 수질-한수 Data : '89~'95 평균

항목 \ 지역	Cond. (μS/cm)	pH	Turb. (degree)	Ca-H ($CaCO_3$)	Cl^- (ppm)	T-Fe (ppm)	비 고
서 울	219.2	7.47	2.0	36.2	21.7	0.23	팔당 1차 처리수
울 산	176.3	7.08	8.8	33.4	16.2	0.13	낙동강 원수
여 천	80	7.04	1.83	14	10.5	0.11	주암댐 용수
서 산	1,217.7	7.59	10.7	53.7	347.1	0.98	대호댐, 삽교천 원수
구 미	194.8	7.45	1.2	47.2	23.7	0.20	낙동강 1차 처리수
포 항	102.7	7.04	1.1	21	11.2	0.16	영천댐 1차 처리수

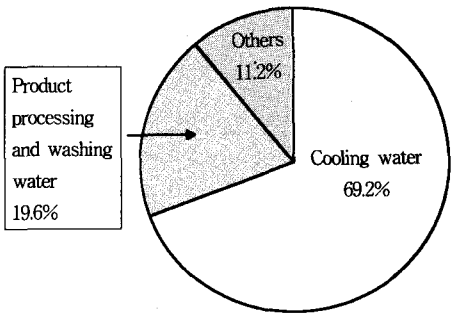


(Figures in parentheses show the ratios of fresh water)

〔그림 2〕 산업체별 용수 사용량 분포



〔그림 3〕 수원별 담수량 구성비



〔그림 4〕 용도별 담수량 구성비

공업용수의 용도는 제조 업종별로 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 1-4. 업종별 · 용도별 공업용수의 적정 표준수질(공업시험원 임의 제정)

업 종	용도별	탁도 (degree)	pH	알칼리도 (ppm as $CaCO_3$)	경 도 (ppm as $CaCO_3$)	증 발 잔류물 (ppm)	염소이온 (ppm as Cl^-)	철 (ppm as Fe)	망 간 (ppm as Mn)
식품제조업	냉 각 용	10	7.0	35	50	75	30	0.10	0.10
	세 척 용	5	7.0	35	50	75	20	0.10	0.10
	원 료 용	1	7.0	60	60	80	20	0.10	0.10
	온습조정용	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) 의류 · 기타 섬유제조업	냉 각 용	20	7.0	60	50	200	30	0.10	0.10
	세 척 용	20	7.0	50	50	200	20	0.10	0.10
	온습조정용	20	7.0	60	60	150	20	0.10	0.10
	제품처리용	20	7.0	50	50	150	15	0.10	0.10
염색가공업	냉 각 용	20	7.0	50	50	100	100	0.10	0.10
	세 척 용	1	7.0	50	100	50	20	0.05	0.05
	원 료 용	1	7.0	50	10	50	10	0.10	0.01
	온습조정용	1	7.0	50	20	50	10	0.05	0.05
	제품처리용	1	7.0	50	10	50	10	0.05	0.05
펄프제조 종이가공품 제 조 업	냉 각 용	10	7.5	50	100	150	30	0.05	0.02
	세 척 용	5	7.5	30	30	100	10	0.05	0.02
	원 료 용	5	7.0	50	80	80	30	0.05	0.02
	온습조정용	2	7.0	50	50	100	10	0.05	0.02
	제품처리용	5	7.5	40	50	100	50	0.05	0.02
화학공업	냉 각 용	20	7.0	50	50	200	80	0.10	0.05
	세 척 용	10	7.0	50	50	80	20	0.10	0.05
	원 료 용	10	7.0	40	40	70	10	0.10	0.05
	온습조정용	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	냉 각 용	30	7.0	40	50	200	10	0.10	0.05
	세 척 용	6	7.0	40	50	200	5	0.05	0.01
	원 료 용	6	7.0	40	50	150	5	0.05	0.01
	온습조정용	6	7.0	90	80	200	5	0.10	0.01
	제품처리용	1	7.0	50	50	100	5	0.05	0.01
고무 · 재혁 · 모피제조 동제품제조업	냉 각 용	20	7.0	60	50	200	30	0.10	0.10
	세 척 용	20	7.0	50	50	200	20	0.10	0.10
	온습조정용	20	7.0	60	60	150	20	0.10	0.10
	제품처리용	20	7.0	50	50	150	15	0.10	0.10
철 강 업	냉 각 용	30	7.0	100	200	300	100	-	-
	세 척 용	30	7.0	100	200	300	100	-	-
	온습조정용	20	7.0	100	100	200	50	-	-
	제품처리용	20	7.0	100	100	300	50	-	-
비철금속 · 금속제품 · 가 공 업	냉 각 용	20	7.0	40	60	300	20	0.10	0.10
	세 척 용	16	7.0	40	50	300	10	0.10	0.10
	원 료 용	20	7.0	40	60	200	10	0.10	0.10
	온습조정용	20	7.0	40	60	200	10	0.10	0.10
	제품처리용	20	7.0	40	50	300	10	0.10	0.10

부족한 용수자원을 대체하기 위해 검토될 수 있는 다양한 방법들 중 가장 우선적으로 실시되고 있는 방안은 대형 건물을 대상으로 한 중수도로서 신규건물에 채택되고 있다.

중수도란 식수와 같은 청정도를 필요로 하지 않는 용도에 대하여 각각의 용도에 알맞은 물을 공급하는 시설을 말한다.

국내에서는 1991. 12. 14 법률 제4,429호로 전문 개정된 수도법에서 「사용한 수돗물을 생활용수, 공업용수 등으로 재활용할 수 있도록 다시 처리하는 시설」로 정의하며 1일 물 사용량이 1,000톤 이상인 공장 등 물을 다량으로 사용하는 건물 · 공장 등에 설치토록 권장하고 있으며 권장대상은 다음과 같다.

- 공장설립에 관한 법률 2조 규정에 의해 설립된 공장으로 1일 용수 사용량 1,000톤 이상의 공장
- 숙박업 · 목욕탕업으로 1일 용수 사용량 500톤 이

표 1-5. 중수도 시설의 장해요인 및 생성요인

구 분	부 식	스 케 일	슬 라 임
장해요인	누수, 배관기관의 내용년수 단축, 수질저하, 열교환기관의 효율저하, 압력손실 증대	세관부의 폐쇄, 국부부식, 열교환기관의 열효율저하, 관로의 저항 증가에 따른 압력손실	관로의 폐쇄, 냄새발생, 국부부식, 열교환기관의 효율저하
생성요인	용존염류, 용존산소 수온, pH, 용존가스, 슬라임 등	냉각수 원수의 칼슘경도, 알칼리도, 수온, pH, 열교환의 튜브표면 온도, 표면상태	수온, pH, 영양원, 금속표면 상태, 표면온도, 유속

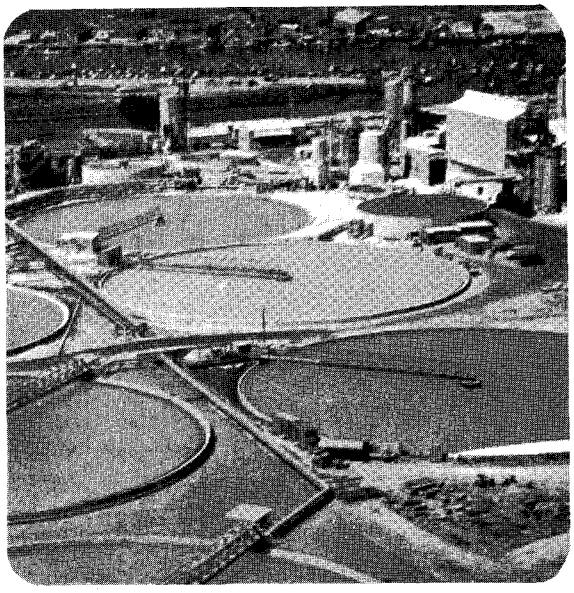
상의 시설

- 300세대 이상의 공동주택
- 1일 용수 사용량 500톤 이상의 공중 위생시설이나 일반 시설

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.

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

중수도 이외의 용도로 재활용을 적극적으로 검토하는 경우에서는 냉각용수로의 활용이 우선적으로 검토되고 있으나, 냉각수를 다량으로 사용하는 대부분의 공장에 있어서 냉각용수의 수질 특성에 전체 설비의 수명



이나 제품의 품질과 직결될 수 있기 때문에 쉽게 적용되기 어려운 실정이다.

냉각수계에서 발생되는 대표적 장해인 부식·스케일·슬라임의 위험을 배제하기 위해 일반적으로 적용되는 관리기준은 폐수의 방류 기준에 비해 현격히 엄격한 수질기준이므로 결국 일반적인 방류수는 냉각수의 보급수로 적용키 어려우며 목적 수질 용도에 적합한 수질이 되도록 처리 방안의 검토가 필요하다.

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_{Mn}: 10이하 정도) 정도를 요구하게 되므로 현재까지 재이용율은 극히 낮은 실정이다.

표 1-6. 중수도의 수질 기준

중수도의 용도 / 항목	화장실 세척수	살 수 용 수	조 경 용 수
대장균 균수	1ml당 10을 넘지 아니할 것	검출되지 아니할 것	검출되지 아니할 것
잔류염소(결합형)	검출될 것	0.2mg/l 이상일 것	-
외 관	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할 것
탁 도	5도를 넘지 아니할 것	5도를 넘지 아니할 것	10도를 넘지 아니할 것
생물학적 산소요구량 (mg/ℓ)	10을 넘지 아니할 것	10을 넘지 아니할 것	10을 넘지 아니할 것
냄 새	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것
수소이온 농도	pH 5.8 이상~ 8.5 이하일 것.	pH 5.8 이상~ 8.5 이하일 것.	pH 5.8 이상~ 8.5 이하일 것.

(수도법 시행규칙, 건설부령 제519호, '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 주택단지 등의 인공연못, 인공폭포, 인공하천 및 분수 등에 이용되는 중수도를 말한다.
3. 공업용으로 쓰이는 중수도에 대하여는 수질기준을 적용하지 아니한다.

※ 관련법규

-법률 제4,429호('91년 12월 14일 개정 수도법)

-수도법시행령(대통령령 제13,771호, '92년 12월 9일 공포)

표 1-7. 냉각수의 일반적인 관리 지표

대표적인 항목	기 준
COD_{Mn}	10 ppm 이하
SS(Suspended Solid)	10 ppm 이하
세 균 수	10^4개/ml 이하
부 식 도	20 mdd 이하
스케일 부착도	15 mcm 이하

표 1-8. 폐수 방류 기준(일반)

(단위 : ppm)

항목	수소이온농도	노말헥산추출물질함유량		페놀류함유량	시안함유량	크롬함유량	용해성철함유량	아연함유량	구리함유량	카드뮴함유량	수은함유량	유기인함유량	비소함유량	납함유량	6가크롬함유량	용해성망간함유량	불소함유량	PCB함유량	대장균균수	색도(도)	온도℃	총질소	총인	트리클로로에틸렌	테트라클로로에틸렌	음이온계면활성제	BOD	COD
		광유류	동식물유지류																								
청정	5.8 ~ 8.6	1 이하	5 이하	1 이하	0.2 이하	0.5 이하	2 이하	1 이하	0.5 이하	0.02 이하	불검출	0.2 이하	0.1 이하	0.2 이하	0.1 이하	2 이하	3 이하	불검출	100 이하	200 이하	40 이하	30 이하	4 이하	0.06 이하	0.02 이하	3 이하	40 이하	50 이하
가.	5.8 ~ 8.6	5 이하	30 이하	3 이하	1 이하	2 이하	10 이하	5 이하	3 이하	0.1 이하	0.005 이하	1 이하	0.5 이하	1 이하	0.5 이하	10 이하	15 이하	0.003 이하	3,000 이하	300 이하	40 이하	60 이하	8 이하	0.3 이하	0.1 이하	5 이하	80 이하	90 이하
나.	5.8 ~ 8.6	5 이하	30 이하	3 이하	1 이하	2 이하	10 이하	5 이하	3 이하	0.1 이하	0.005 이하	1 이하	0.5 이하	1 이하	0.5 이하	10 이하	15 이하	0.003 이하	3,000 이하	400 이하	40 이하	60 이하	8 이하	0.3 이하	0.1 이하	5 이하	120 이하	130 이하
특례	5.8 ~ 8.6	5 이하	30 이하	5 이하	1 이하	2 이하	10 이하	5 이하	3 이하	0.1 이하	0.005 이하	1 이하	0.5 이하	1 이하	0.5 이하	10 이하	15 이하	0.003 이하	3,000 이하	400 이하	40 이하	60 이하	8 이하	0.3 이하	0.1 이하	5 이하	30 이하	40 이하

- 청정지역 : 환경기준 I 등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정하는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부 장관이 정하여 고시하는 지역
- 가지역 : 환경기준 II등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정하는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부 장관이 정하여 고시하는 지역(폐수종말 처리시설의 방류수)
- 나지역 : 환경기준 III, IV, V등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정하는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부 장관이 정하여 고시하는 지역
- 특례지역 : 환경부 장관이 공단 폐수종말 처리구역으로 지정하는 지역 및 시장·군수가 산업입지 및 개발에 관한 법률 제8조의 규정에 의하여 지정하는 농공단지
- BOD, COD : 1일 폐수 배출량 3,000m^3미만 기준임.

또한 이를 위한 처리 방법도 R/O(Reverse Osmosis) 처리법, Ion Exchanger법, 전기영동법(Electric dyalysis) 등이 소개되고 있는 상태이나 초기 투자비가 대단히 높고, 고농도의 오염폐수에는 적용이 어려운 단점이 있으므로, 경제성을 고려한 신중한 검토가 필요하다.

표 1-9. 폐수 재활용을 위해 제거해야 할 물질

항 목	원인물질	현 상	처리방법
취 기	H_2S, NH_3, CH_3SH	부패와 동반된 악취	염소살균, 산화처리 등
외 관	고형물, 탁도, 색도	불쾌한 색도나 탁액 형성	침전, 응집처리, filtering
슬 라 임	세균, 유기물, 광선	녹조류·이끼 등을 형성	살균, 유기물 제거(N·P), 광선차단
스 케 일	경도, 실리카	배관 막힘등 초래	경도제거(이온교환수지처리), pH조정
거 품	ABS, LAS	거품에 의한 불쾌감	활성탄 흡착, 장기 폭기법

항 목	원인물질	현 상	처리방법
물 때	유기물, 철분, 망간	위생기구에 물때 부착	활성탄 흡착, 응집처리 등
부 식	염류, 슬라임	적수 형성, 점부식 진행 등	슬라임 제거, 염류 제거
저류시 부패	유기물, 세균 DO 부족	침전물등의 부패, 악취	살균, 유기물 제거, 폭기
현탁물질의 증가	슬라임, 침전물 Over flow	탁도 증가	슬라임 제거
적 수	배관등의 부식	적색의 색도증가	방식제 사용, 재질변경, 염류제거