

용수 사용량 절감 및 폐수 재활용 방안(3)



전 병준
(주) 한수 기술부 부장 대행

4. 중수도 시스템에 의한 Reuse

하절기 전력난을 해결하기 위한 일부 방편으로 빙축열 시스템이 빌딩에 도입되고 있듯이 물 또한 부족함을 해결하기 위하여 한번 쓰고난 물을 그냥 방류하지 않고 정수하여 재이용하는 것을 두고 중수도(中水道)라고 부르고 있으며 이 용어를 처음 사용한 곳은 일본이다. 또 다른 표현으로는 잡용수도(雜用水道)라고도 하며 우리나라에서는 1991년 12월 14일 수도법을 개정하면서 공식 명칭을 중수도라고 표기하고 있다.

가. 중수도 표준 Process

빌딩의 배수를 재생하여 잡용수로 쓰고 있는 중수도 시스템은 결과적으로 상수의 소비량과 하수 방수량을 동시에 절감할 수 있는 방식이며 국내에는 도입이 초기단계이다.

재생된 중수는 화장실 세척용, 조경용수, 세차용 등으로 재이용되며 일반적인 표준 프로세스는 다음과 같이 5가지로 구분하고 있다.

① 스크린-유량조정조-미생물 처리조-침전조-여과조-소독조-처리수조

② 스크린-유량조정조-미생물 처리조-침전조-미생물처리조-침전조-여과조-소독조-처리수조

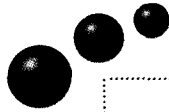
③ 스크린-유량조정조-미생물 처리조-(침전조)-막(膜)처리-소독조-처리수조

④ 스크린-유량조정조-막(膜)처리-활성탄 흡착조-소독조-처리수조

⑤ 스크린-유량조정조-응집처리

[표 4-1. 잡용수의 수질기준 예(일본 경우)]

분류 항목	I류			I류				목표치
	용도	화장실	공조용	목표치	세차	산수(散水)	청소용	
탁도(SS)	30 이하	10 이하	10 이하	10 이하				
색	불쾌감이 없는 범위 →							
냄새	불쾌감이 없는 범위 →			→				
pH	6.5 ~ 9.0	6.5 ~ 9.0	6.5 ~ 9.0	6.5 ~ 9.0	6.5 ~ 9.0	6.5 ~ 9.0	6.5 ~ 9.0	6.5 ~ 9.0
BOD	20 이하	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하
COD	40 이하	20 이하	20 이하	20 이하	20 이하	20 이하	20 이하	20 이하
용해성 칼슘	5,000 이하	1,000 이하	1,000 이하	500 이하	1,000 이하	500 이하	1,000 이하	500 이하
NH ₃ -N	20 이하	20 이하	20 이하	10 이하	→			
경도	400이하	300이하	300이하	200이하	300이하	200이하	300이하	200이하
Cl ⁻ 이온	400이하	300이하	→	200이하	300이하	200이하	300이하	200이하
ABS	2 이하	1 이하	1 이하	1 이하	2 이하	1 이하	→	
철·망간	1 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.3 이하	1 이하	0.3 이하	1 이하	0.3 이하
잔류염소	-	-	-	0.2 이상	→		0.2 ~ 0.5	0.2 ~ 0.5
대장균수	-	-	-	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)



조-막처리-소독조-처리수조

나. 중수도의 국내 도입사례

국내에서 중수도 설비를 시설한 곳은 아직 많지 않으며 폐열 회수와 공업용수 재이용을 하기 위한 시설로는 흥원제지가 1984년에 폐수처리 시스템을 보완하여 설치하였고 본격적인 중수처리 시스템을 설치한 곳은 1987년 J 컨츄리 골프장, L호텔이 있으며 LW사는 1989년에 설치하였다.

빌딩쪽으로 보면 현재 10여개소 설치에 머물고 있어 초기 보급단계이며

그중 L호텔은 설치하였으나 가동에 부족함이 있는 것으로 알려지고 있으며 가동 성공의 예는 LW사 중수도 시스템이다.

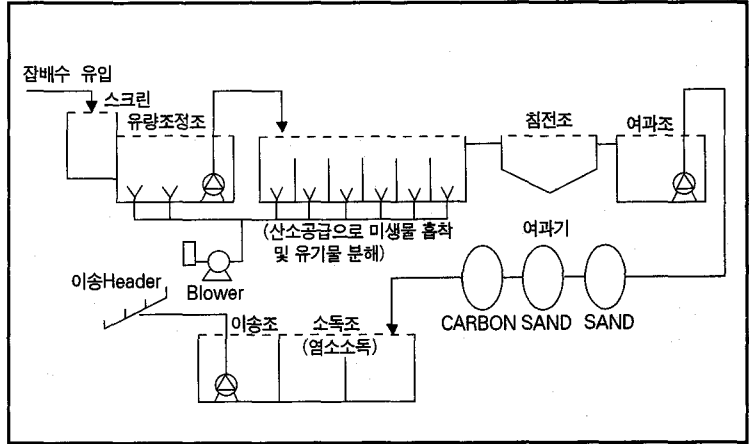
LW사는 1989년 6월에 개관하였으며 대지 면적이 128,246㎡, 건축물 총 연면적이 559,235㎡(약 169,168평)로서 상주인구가 8,400명, 유동인구가 18,500명이나 되는 대단위 복합 빌딩군이며 용도 구성은 호텔(17.9%), 백화점·쇼핑몰(28.6%), 어드벤처(30.8%), 스포츠·기타(23.2%)로 구성되어 있어 물 사용량이 많은 곳이다.

동사의 중수도 시스템은 건축 초기에 완공되어 충분한 시운전을 할 수 있었으므로 빌딩군이 완공되었을 때는 중수도 보급을 하는데 문제가 없었으며 중수 사용 주 용도는 화장실 세척수, 청소용수, 조경용수, 세차용수 등으로 쓰고 있다.

1) 채택 Process

LW사에서 채택하여 사용하고 있는 중수처리 시스템의 프로세스는 <그림 4-1>과 같으며 이 방식은 앞서 설명한 표준 프로세스중 ①번 시스템에 해당되고 있다.

<그림 4-1>에서 중수폭기조는 미생물(활성오니)이



[그림 4-1. 중수도 시스템의 Flow Sheet 예]

잡배수 속에 함유되어 있는 유기물을 분해하는 미생물 처리조이며 오니가 생성하기 쉽도록 내부에 에어 디퓨저를 블로어로 산소를 공급하고 있다.

중수도 시스템에 유입되는 잡배수(원수)는 욕실배수, 샤워장 배수 등이며 BOD(생물 화학적 산소 요구량)는 평균 150ppm이고 중수도는 프로세스를 거친 처리수(중수)의 BOD는 5~7ppm, 탁도 0.3정도로서 양호한 수질을 얻게 된다.

이 시스템의 일일 최대처리량(시설용량)은 1,850㎥이며 1991년도 사용실적을 보면 연간 286,500㎥로서 일일평균 약 800㎥를 생산하여 사용하고 있어 시설용량의 이용율은 43.2%에 머물고 있다. 따라서 처리수의 사용처를 추가 개발하더라도 설계시 시설용량을 과대하게 계산하였다는 점이 발견된다.

2) 중수도 시스템의 경제성

중수도 시스템을 설치 운용하는 대형 건물인 LW사의 사용 실적 분석을 통한 경제성은 비교적 양호하게 평가되고 있으며 세계 감면 혜택이 추가되면 경제성은 더욱 증가될 것으로 판단된다. 그러나 잡배수의 사용량이 작은 장치산업체나 일반 설비 산업체의 경우는 상대적으

로 활용성이 다소 낮아 중수도는 대형 건물위주로 적용성이 검토 추진되고 있는 실정이다.

LW사의 중수도 시스템 경제성을 가동 실적 기준으로 알아보면 다음과 같이 정리되었다. 1991년도 연간 중수 생산량은 286,551m³이었고 연간 절감액(중수 생산량× [표 4-2. 연간 운용결과 경제성 ('92년)]

연간 생산량(m ³)	286,551
처리 비용(m ³ 당)	397원
차액(m ³ 당)	상수도가 중수도 생산가(1150-397=753원)
연간 절감액(천원)	215,730
투자비(천원)	590,000
단순 회수기간	투자비÷연간 절감액=2.7년

m³당 시수단가 - m³당 중수단가)은 2억 1천573만원으로 나타나고 있어 투자비 5억9천만원은 2.7년(33개월)이면 단순 회수할 수 있다는 결과로 나타났다.(표 4-2 참조)

여기서 전력은 자체 생산하여 공급되고 있으므로 전력 단가가 kw당 45원에 불과하다는 것과 중수 생산량의 평균이 시설 용량의 50%에도 미치지 못하다는 것은 과잉설계로 판단된다.

3) 중수도 관리상의 주의점

LW사의 중수도 시스템 운용은 1989년 5월부터 하였으며 가동기간은 3년을 넘고 있다. 그간 중수용 라인의 공급수는 전량 잡배수를 수처리하여 공급하고 있으며 원수(잡배수)에 시수나 지하수를 희석하여 수처리 한 적은 없다 한다.

유입 원수 수질악화로 중수처리 상태가 나빠질 우려가 있으면 <그림 4-1>의 유량 저장조에서 유량을 조정하거나 외부로 방류하는 등으로 수질 조정 운전을 하고 있었으며 처리된 중수상태를 점검하기 위해서

월 1회 정도 전문 수처리업체에게 수질검사를 의뢰하여 확인하고 수질기준의 BOD(생물 화학적 산소요구량), 대장균수 등은 법규에 정한 바가 없어 자체 기준을 설정하여 관리하고 있다.

정상적으로 처리된 중수에서 나는 냄새는 약품처리(염소소독)를 하여 잔류염소에 의한 냄새가 약간 발생되고 있으나 사용자측의 불평이나 혐오감은 없으며 중수처리 과정에서 원수 수질변화나 악화로 활성오니 활동이 위축되거나 멈추게 되면 냄새가 발생하고 회복기가 몇일 걸리므로 주의를 요하는 관리상 테크닉도 필요한 것으로 알려지고 있다.

일상관리에 있어서는 정기적 수질검사와 육안에 의한 수시 수질점검 등이 중요하며 후각에 의한 냄새 점검도 필요하다. 오니 생성을 왕성하게 하기 위해서는 블로어로 충분한 산소공급이 이루어져야 하며, 원수의 이물질 유입에 의한 이송펌프 임펠러에 찌꺼지가 끼이지 않도록 해야 하며 여과탱크(카본과 모래 탱크)의 누적물질 제거는 3일에 1회씩 역수(逆水)시켜 세척하고 있다.

다. 해외의 중수도 시스템 적용 사례

빌딩의 중수도 시스템 설치는 Europe에도 일부 설치되었다 하나 가장 발전시킨 나라는 일본이다. 일본은 1965년 이전부터 중수도 이용 시설을 설치하였으며

[표 4-3. 일본의 중수도 시스템 설치 추이]

연 도	~ 1965	1966 ~1970	1971 ~1975	1976 ~1980	1981 ~1985	1986	1987	1988	1989 (계)
설 치 수	10	27	70	167	389	66	63	(52)	(844)
누 계 구 분	빌 딩	-	4	35	129	138	155	173	197
	기 타	-	-	103	239	534	637	671	

주) • 국토청 수자원부 수자원 정책과 자료 (1988년 8월)
• 공업 신보사 막법 중수도 시스템 현황자료 (1989년 1월)



1970년대 중반 이전부터 빌딩에도 설치하기 시작하였다. 또한 지방 자치 단체별로 설치기준과 관계법령을 만들어 사용하고 있으며 설치를 장려하기 위하여 장려보조금 교부제도를 만든 곳도 있다.

1) 최근에 설치하는 방식

일본 빌딩들에 설치한 중수도 시스템 추이를 보면 80년대 초반을 기점으로 본격적으로 보급되기 시작하

였으며 1988년 기준시에는 전 중수도 시스템 설치수의 25.8%에 이르고 있다.

빌딩에 설치된 197개소 중 20.3%(40개소)가 미쓰이 석유화학공업(주)가 개발한 막형(膜形 : Membrane) 바이오 리액터(Bio Reactor)식 중수도 시스템을 채택하고 있는데 이는 중수도 시스템 운영을 무인화, 자동화하는 추세에 맞추어 개발된 것이다.

또한 막분리 여과장치(UF : Ultra Filtraion)를 사용하게 되면 모래 여과장치보다 섬세하게 필터링(박테리아도 제거할 수 있다)되고 여과조와 여과기를 하나로 묶을 수가 있어 중수도 시스템이 차지하는 면적이 줄어들게 된다.

그러나 막분리 기술은 초기 투자비가 높고 운전경비가 높은 등 경제적인 문제와 함께 처리대상의 폐수가 오염도가 높을 경우에는 막의 투과공극(pore)의 폐쇄로 인하여 안정운전이 어려운 단점이 있어 오염도가 낮은 폐수를 대상으로하고 있는 실정이다. 특히 막처리에 의한 오염물의 분리 기술은 현탁입자를 배제한 분자나 이온형태의 물질을 제거토록 하는 용도로 적용되므로 응집침전이

[표 4-4. 일본의 중수도 지도기준과 지침의 개요]

지역명	동경도(東京親)	후쿠오카시
기본적 지도기준	<ul style="list-style-type: none"> • 동경도에서의 잠용수이용에 관한 지도지침 • 동경도에서의 잠용수 이용에 관한 지도 • 잠용수 이용시설의 구조 및 유지관리에 관한 지도요강(상기사항은 1984년 1월 24일 시행) 	<ul style="list-style-type: none"> • 후쿠오카 절수형 물이용에 관한 강령(1979) • 대형 건축물의 건축에 따른 절수대책 사무처리 요령 • 잠용수도의 기술 기준(1979)
대상 건축물	<ul style="list-style-type: none"> • 연면적이 30,000m²이상인 건축물 또는 이용수량(계획가능 수량)이 1일 100m³이상 건축물 	<ul style="list-style-type: none"> • 직경 5mm이상 급수장치를 설치한 건축물 • 연면적 5,000m²이상의 건축물
관계 부처 및 관계법령	<ul style="list-style-type: none"> • 도시계획국, 위생국, 수도국, 하수도국 (각 부처의 역할에 따라 시설의 안전 및 적정 관리 지도함) • 수도법, 시급수조령, 시공업용수도 조령, 하수도법, 시하수도 조령 	<ul style="list-style-type: none"> • 건축국(건축확인신청시에 절수 계획서를 요구한다. 심의후 절수계획 승인서를 발급한다.) • 잠용수도 장려보조금 교부제도가 있으며 시장 앞으로 신청하면 이자상당액을 5년간, 고정자산세 상당액을 3년간 보조 받게 된다.
수질기준 (주 참조)	<ul style="list-style-type: none"> • 외관은 불쾌하지 않아야 한다. (pH 5.8~8.6) • 냄새는 불쾌하지 않고 잔류염소는 유지되어야 한다. • 대장균수는 ml당 10마리 이하 	<ul style="list-style-type: none"> • 외관이 불쾌하지 않아야 한다. (pH 5.8~8.6) • 냄새는 불쾌하지 않고 COD는 30mg/l 이하가 되어야 함. • 대장균수는 ml당 10마리 이하
구조기준 의 요점	<ul style="list-style-type: none"> • 잠용수가 수도물에 혼입되지 않을 것. • 잠용수에는 표시등을 부착하여 수도물과 구별할 것. • 잠용수 급수관은 색깔로 표시할 것. • 수질검사용 검수 코크를 설치할 것 • 냄새가 다른곳에 영향을 주지 않도록 하고 전용 급배수 설비를 설치한다. • 잔류염소 유지를 위하여 염소처리 설비를 설치할 것 • 수세식 화장실(세면대)에 세정용 탱크를 이용하지말 것. 	<ul style="list-style-type: none"> • 잠용수임을 표시할 것. • 수세식 화장실에는 세면대에 로우탱크를 설치할 것. • 수질검사용에 검수용 키가 부착된 수도꼭지를 설치한다. • 타용도 배관과는 접속시키지 않는다. • 수량계측 미터를 설치할 것 • 수질변화와 수량부족에 대처하기 위하여 수도수를 보급할 수 있도록 한다. • 배관마다 식별이 가능하도록 한다. • 환기와 채광에 유의할 것.
용도	-	수세식 변기의 세정용수로 한다.

주) 수질에 대하여는 각군, 도, 부, 현 지사에게 통보된 환경청 환경위생국장의 통보서(환경 제 40호, 1981년 4월 1일부)와 축정 행정청의 건축 주무부장 앞으로 통보된 건설성 주택국 건축 지도과장의 통보(1981년 4월 27일부)가 있고 후자의 통보에서는 생물 처리방식으로는 BOD 20mg/l이하, 막방식의 경우에는 COD 30mg/l이하로 되어 있다.

나 활성오니 처리 등을 통하여 처리된 최종 방류 단계의 폐수를 막처리를 위한 공급수로 사용하여야 한다.

2) 기타의 처리 방식

단순한 막분리를 통하여 폐수를 처리하는 방법은 실제 많은 운전상의 문제를 유발하여, 활성오니를 통과한 처리수를 Ultra Filter Membrane의 공급수로 사용하는 바이오리액터 방식(Bio-Reactor-Method)가 소개되고 있다.

바이오 리액터식 중수도 시스템의 계통 개요는 스크린 - 원수 조정조 - 저류조 - 반응조(활성오니) - 여과기(UF) - 중수조로 되어 있으며 일부 여과되지 못한 원수는 반응조로 환류 순환시키게 되어 있는데 순환시 이젝터(Ejector : 방출기)를 경유하여 활성오니가 필요한 공기를 자동 흡입되도록 되어 있다.

다. 중수도 시스템의 향후 과제

대형건물을 중심으로 실시되는 중수도 시스템은 수자원을 Reuse하고 배출을 줄임으로써 효율적 에너지 이용, 수질 환경 보호라는 이중효과를 얻게 되어 향후 보편화될 전망이다.

빌딩 관리에 있어서 한국, 미국, 일본에 동일한 규모의 빌딩을 건설하고 동일한 재질을 사용하였다더라도 빌딩 라이프 사이클은 다르게 된다. 그 이유는 그 나라의 문화와 습관, 자연환경, 관리방법 등으로 인해 빌딩의 내·외장재와 설비의 내용수명이 달라지기 때문이다. 중수도 시스템도 이와 마찬가지로이다.

미국의 빌딩과 일본의 빌딩 잡배수(원수)는 한국의 빌딩 잡배수와 수질이 다를 수 있다. 미국의 수질이 철분이 많다면 일본의 수질은 칼슘분이 많을 수 있으며 우리의 수질은 다른 광물질이나 산성분이 높을 수 있기 때문이며 원수를 사용한 특성에 따라 잡배수 속에 함유 물질도 다르게 나타날 수도 있다.

중수도 시스템을 여러 곳에서 사용하고 있는 일본의 경우 빌딩의 중수도 시스템을 무인화, 자동화, 소형화 운전을 하고 있으며 정기적인 패트롤(경비원이나 관리자)과 정기적인 외부업자 메인テナンス와 오버 홀, 정기적 수질검사 등으로 중수도 운영을 정착시키고 있다. 한국의 빌딩 역시 이러한 시스템으로 발전하도록 지속적인 노력을 경주해야 한다.

또한 이론과 짧은 실증 실험 결과만으로는 시행착오와 경제적 손실을 유발시킬수 있으므로 재고되어야 하며 학계, 연구계는 중수도 시스템 기술개발과 이론 정립을 위한 학회나 단체를 설립하여 기술을 구체화하고 실무자나 현장에 기술을 보급 하여야 하고 전문가를 체계적으로 양성시켜야 한다.

특히, 설계자는 초기설계를 성공적으로 할 수 있도록 이론과 실무를 익힌 뒤 설계에 임하여야 한다. 빌딩의 경우 잘못 설계된 전기와 기계 설비시스템은 철거하고 교체하면 되지만 중수도 시스템은 건물 기초바닥에 설치하는 것이므로 잘못된 시설은 고치기가 대단히 어렵기 때문이다.

5. 산업폐수의 Reuse

산업폐수는 일반 도시 하수등과 같이 일정한 성분이나 농도를 표준적으로 나타내기 어렵고 각 단위 생산 공정에서 발생하는 다양한 종류의 폐수가 처리 대상이 되기 때문에 플랜트의 특성이나 생산제품 등을 사전에 고려하고 발생된 폐수의 주요처리 대상 물질에 적합한 처리 방법을 선정해야 최대의 처리 효과와 문제발생을 피할 수 있다.

또한 처리수를 Reuse하려고 할 경우에도 처리수의 수질 특성을 고려하여 사용용도에 적합한 수질이 되도록 처리 방법을 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



가. Reuse를 위한 산업폐수의 업종별 특성

Reuse를 적극적으로 검토할 수 있는 공장은 우선 폐수중의 오염물질이 비교적 양적으로 적고 또한 용수 사용량이 많은 공장이 될 것이다.

그러나, 이러한 폐수조건이 일반적인 상황이 될 수 없기 때문에 각 산업체의 폐수 특성을 고찰해 볼 필요가 있다.

1) 정유공장 폐수의 특성

정유공장의 재활용 가능한 용수원으로는 폐수 방류수 및 오수 처리수가 될 수 있다. 일반적으로 배출 환경기준치를 만족하는 냉각수 배출수의 경우 직접방류나 오

[표 5-2. 기타 폐수의 주요 특성]

구분 항목	Ballastwater	Storage tank drain폐수	냉각수, 보일러수	우 수
pH	6.5~7.5	6.5~7.5	7~9	6.5~7.5
oil(ppm)	10~50	100~1,000	-	5~30
특 성	오일함량 낮으나 염류농도가 높아 화학처리 효과 저하	대원유의 200 ~ 2,000ppm오일함량이 높고 여러물질에 의해 유화오일이 많다.	인산염 함유로 약 풀 처리하지 않고 Bio reactor로 직접 유입시켜 영양제로 활용 또는 오수처리	바닥유출 오일의 함유

수처리(정화조 등)를 통하는 점을 고려해 볼 때 냉각수 배출수도 재활용의 대상으로 활용할 수도 있다. 그러나 냉각수계의 배출수를 다시 냉각수계의 보급수로 사용하기 위해서는 별도의 후처리를 필요로 하며 이 경우 파생 될 수 있는 문제점으로는 역삼투막(Reverse Osmosis

Membrane)의 공극이 냉각수계의 Scale Inhibitor에 의하여 fouling을 가속화시키는 점 등이 있다.

정유공장의 공정별 폐수 특성은 다음과 같다.

폐수처리의 방법으로는 Oil Separator와 가압 부상설비에 의한 Oil의 제거가 가장 일반적이며 경우에 따라 활성오니 처리를 병행하는 경우도 있으나 국내의 대부분의 경우는 물리 화학적 처리만을 실시하는 실정에 있으며 최근 후처리 설비를 추가 도입하는 경향이다.

후처리 설비로는 Active carbon filter와 혐기성 소화조가 검토 대상이며, 설치 목적은 처리 효율의 증가와 환경 규제 강화에 대응하는 것이 주요 목적으로 알려지고 있다.

[표 5-1. 폐수의 발생량과 농도의 단위 공정별 분류]

Process	Wastewater Q'ty	BOD ₅	Phenol	Sulphides	Other Contaminants
	(l / kl)				
Crude oil storage	95	0.0028	-	-	Oil
Desalting of crude oil	48	0.0056	0.2849	0.0056	Chloride and oil
Rectification	1,190	0.0006	2.8490	0.0028	Ammonia and oil
Pyrolysis	48	0.0028	5.6980	0.0028	Oil
Catalytic cracking	714	0.0285	56.9800	0.0085	Heavy metal, ammonia and oil
Reforming	143	tr	1.9943	0.0028	Ammonia
Polymerization	33	0.0085	1.1396	0.2849	-
Alkylation	1,428	0.0028	0.2849	0.0285	Heavy metals, chloride and acid
Solvent refining	190	-	8.5470	tr	-
Dewaxing	547	1.4245	4.2735	tr	Oil
Hydro-treating	24	0.0056	0.0285	0.0056	-
Drying and sweetening	952	0.1425	28.4900	-	Ammonia and oil