

중수도의 현황과 시설의 유지·관리

〈상〉



崔勝一

(고려대 환경공학과 교수)

목차

- I. 중수도의 필요성 및 현황
- II. 일본국의 중수도 현황
- III. 세계 각국의 중수도 현황
- IV. 우리나라의 중수도 현황
- V. 중수도 시설의 유지·관리
- VI. 결언

I. 중수도의 필요성 및 현황

우리나라는 연 평균 강수량이 1274mm로서 세계의 평균 강수량 970mm를 능가하고 있으나 인구 1인당 강수량은 3000m³/년으로 세계의 평균 34000m³에 비하여 훨씬 못 미치고 있다. 또한 강수의 계절적 편차가 심하여 6-9월 우기에 전체 년 평균 강수량의 60% 이상이 집중되고 있어 1-2월 및 10월의 건기에는 계절적인 수량의 부족을 겪고 있다. 더하여 우리나라의 하천은 길이가 짧고 경사가 커서 수자원이 내륙에 머무는 시간이 매우 짧은 편이다. 이를 극복하기 위하여 많은 다목적 댐이나 저수지 등을 건설하여 대처하고 있으나, 최근에 이르러서는 이제 더 이상 대규모 댐을 건설할 만한 곳은 없는 실정으로 물의 저장능력은 한계에 가까워졌다고 할 수 있다. 반면 물의 사용량은 공업 생산량의 증가, 국가·생활수준의 향상, 인구증가 등의 요인으로 인하여 계속 증대되고 있다. 더욱이 하천 및 호소의 오염은 그나마 사용가능한 물의 양을 줄여

물 부족을 더욱 가속화하고 있는 실정이다. 지역별로도 수자원의 부존량과 용수수요가 균형을 이루지 못하여 현재도 울산 등 일부 공업지대는 용수의 부족이 생산활동의 위축을 초래할 지경에 이르고 있다. 이러한 물 부족 현상은 점점 더 심화되면 국민의 물 사용을 제한하게 되어 위생적인 생활환경의 저하를 초래할 우려마저 안고 있다. 따라서 한번 사용한 물을 처리하여 수세식화장실 세척용수 및 청소용수 등으로 순환 재사용함으로써 상수의 사용요구량과 하수방류량을 줄여 물 부족 현상을 타개하고, 하천의 오염을 감소시키며, 상·하수 처리시설의 실질적인 용량 증가를 달성하는 지혜가 필요하다 하겠다. 또한 상수처리는 원수의 수질악화로 인하여 점차 고도처리로 진행될 전망인 바, 물의 재사용방법이 확립되지 않는다면 고가의 처리비용을 들인 극히 깨끗한 물이 수세식화장실, 가로 살수용수, 정원용수, 자동차 세척용수 등으로 쓰여지는 모순을 안게 될 것이다. 이러한 상황에 대비하기 위하여 정부는 1991년 12월 14일 수도법(법률 제4429호)을 개정하면서 중수도에 대한 정의와 함께 중수도 도입의 법적근거를 마련하였다. 수도법에 따르면 중수도란 사용한 수도물을 생활용수, 공업용수 등으로 재활용할 수 있도록 다시 처리하는 시설을 총칭하는 것으로 정의하고 있으며 국가 또는 지방자치단체는 물을 다량으로 사용하는 자로서 대통령령이 정하는 자에게 중수도를 설치, 관리하도록 권장할 수 있도록 하고 있다.

물의 재사용은 우리나라 뿐만 아니라 일본에서도 1953년에 설치되기 시작하여 1986년에 전국에 844개소

의 잠용수 이용시설이 설치되어 수세식화장실 세척용수로 대부분 활용되고 있으며, 미국은 지질관계상 수중의 무기염류 농도가 500mg/l에 이르고 있는 캘리포니아 주 남단을 중심으로 중수도 개념이 도입되어 로스앤젤레스시와 샌디에고시에 약 10여개소의 중수도 이용시설이 있다. 동남아에서는 도시국가인 싱가포르가 물 부족을 해소하기 위하여 1915년에 이미 하수처리수를 수세식화장실 및 화초재배에 사용하였으며, 1960년 중반에는 20,000m³/일 규모의 중수도를 Jurong 공업단지에 설치하여 냉각수와 세척수로 사용하고 있다. 이제 중수도의 제도적 도입시기에 우리나라와 활용개념이 유사한 일본을 비롯하여 세계 각국의 중수도 현황을 살펴보는 것도 우리에게 많은 도움이 되리라 사료된다.

II. 일본국의 중수도 현황

1. 일본국의 수자원

일본국의 년 평균 강수량은 1750mm로서 전세계 평균 강수량의 약 2배이나 인구 1인당의 강수량은 약 5500m³로서 전세계 평균의 약 1/6에 불과하다. 연간 담수유출량은 갈수년에 약 3000억m³이고 1985년의 담수사용량은 약 890억m³로서 전국 평균 담수유출량의 약 1/4 정도이다. 일본국 국토청의 자료에 의하면 생활용수와 공업용수의 합인 도시용수의 사용량은 1965년 부터 1975년까지 10년 사이에 189억m³/년으로 부터 306억m³/년으로 1.6배 가량 증가하였는 바, 이는 경제가 급격히 성장하여 대도시권의 생산활동이 현저하게 활발해 지고, 인구의 절반가량이 도시에 집중된 결과라고 분석하고 있다. 대도시권에서 갑작스런 물 수요의 증가로 물 부족 현상을 우려할 정도가 되자 그 해결책으로 하수의 재이용이 본격적으로 시작되었는데 1964년 동경과 1979년 후쿠오카의 대 가뭄이 이를 더욱 촉진시켰다. 1975년 이후 10년간은 물 수요량에 큰 변동이 없이 1986년에도 약 306억m³/년 가량의 도시용수를 사용한 것으로 집계되고 있는 바, 이중 공업용수는 약 154억m³/년이고 생활용수는 약 152억m³/년으로 집계되고 있다.

2. 일본국의 물 사용 행태

일본국 수도협회의 “잠용수도 기준조사 보고서”에 환경관리인. 1993. 9

물 부족 현상이 점점 더 심화되면 국민의 물 사용을 제한하게 되어 위생적인 생활환경의 저하를 초래할 우려마저 안고 있다. 따라서 한번 사용한 물을 처리하여 수세식화장실 세척용수 및 청소용수 등으로 순환 재사용함으로써 상수의 사용요구량과 하수방류량을 줄여 물 부족 현상을 타개하고, 하천의 오염을 감소시키며, 상·하수 처리시설의 실질적인 용량 증가를 달성하는 지혜가 필요하다 하겠다.

〈표 1〉 일반 가정의 용도별 물사용

구 분	백 분 율(%)
음료, 취사용수	20-30
목욕 용수	15-20
세면, 수세용수	5-15
세탁용수	25
청소용수	4- 8
수세식 화장실	20
세차, 살수용수	2- 5

〈표 2〉 일반 빌딩의 용도별 사용수량

		취사	수세식 화장실	세면	차	청소	계
		ℓ	%	ℓ	%	ℓ	%
평일	ℓ	3	82	46.5	0.5	1	133
	%	2.3	61.7	35.0	0.4	0.6	100
휴일	ℓ	3	53	31.5	0.5	-	88
	%	3.4	60.2	35.8	0.6	-	100

〈표 3〉 건물별 수세식화장실 물사용비

빌딩종류	규 모	수세식 화장실(%)	냉각용수(%)
사무실 빌딩	대규모	30-50	25
	소규모	50-80	
병 원		20-30	30-40
백 화 점		15-35	30-50
대 학 교	문과계	35-70	
	이과계	10-20	

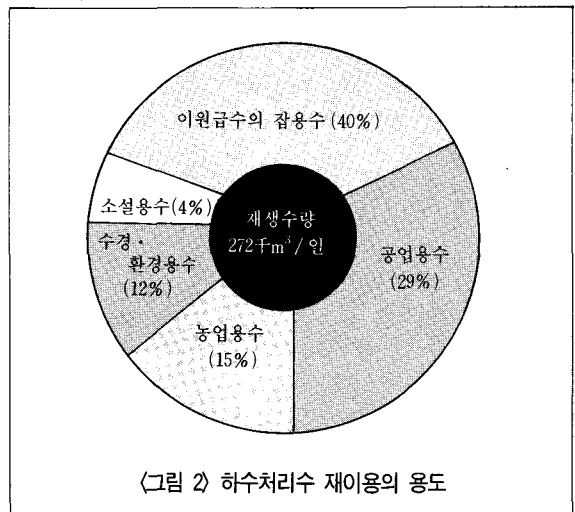
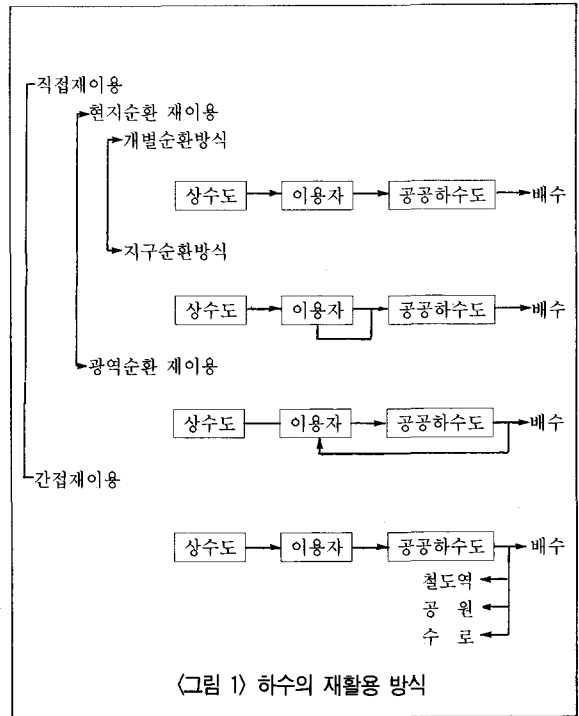
동경도 수도정비국 : 물의 순환이용 적합성 예비 조사 보고서 I. II.

처리수의 광역재이용 중에는 후꾸오까의 천신지구와 동경도 신숙부도심지구의 도심 빌딩지역의 잡용수로서 이용하고 있는 경우가 있다. 신주꾸 부도심 물 recycle 사업은 오치아이 하수처리장의 고도처리수를 신주꾸 국제빌딩 지하의 수 recycle center의 지하배수지에 저장하였다가 부도심 지역의 필요로 하는 빌딩의 수수조를 통하여 수세식화장실용수로 공급해 주는 것으로써, 공급가액은 1m^3 당 250엔으로 상수도가 300엔 / m^3 인 것과 비교하여 충분히 경제성을 지니고 있다.

따르면 일반 가정의 물 사용 목적은 표 1에서와 같이 재활용수가 사용될 수 있는 수세식화장실 용수가 약 20%를 점유하고 있으며, 동경도 수도정비국의 “물의 순환이용 적합성 예비조사 보고서”에 의하면 일반 빌딩의 용도별 사용수량은 표 2에서와 같이 화장실 세척용수가 약 60%를 차지하고 있다. 수세식화장실 용수를 건물 종류별로 보다 자세히 분석한 결과는 표 3에 보여지고 있다.

3. 하수의 재활용 방식

하수처리수의 재이용은 하수처리수가 하천에 방류된 후, 하류에서 상수도의 수원으로 이용되는 것을 제외하고는 비음용인 잡용수 등으로 활용되고 있다. 하수 재이용 형태는 그림 1과 같이 직접 재이용과 간접재이용으로 분류할 수 있고 직접재이용은 현지순환 재이용방식과 광역재이용으로 나뉘어지며, 현지순환방식은 더 세분하여 개별순환방식과 지구순환방식으로 나눌 수 있다. 개별순환방식이란 오피스 빌딩이나 호텔 등의 건물에 직접 처리시설을 갖추어 놓고 개개의 건물에서 배출하는 하수를 처리한 재생수를 동일 건물내에 2원 급수방식으로 잡용수로 공급하는 방식이다. 이에 대하여 지구순환방식은 비교적 협소한 지구, 즉 대규모 공동주택 단지나 재개발지구 등 복수의 건물에서



나오는 하수를 처리하여 동일지구내의 잡용수로 이용하는 방식이다. 개별순환방식의 처리시설은 민간의 사업자가 설치하나 지구순환 이상의 단위가 되면 처리시설이 공공시설이 된다.

직접재이용 수량은 1986년에 평균 $272,000\text{m}^3$ / 일로서 직접 재이용수의 원수가 대부분 생활용수로 부터 나오는 것을 감안하면 생활용수 사용량 $152\text{억}\text{m}^3$ / 년

의 약 0.6%가 재활용되고 있음을 알 수 있다. 직접 재이용수는 2원급수방식의 잡용수, 공업용수, 농업용수, 조경·환경용수, 제설용수 등의 목적으로 쓰이고 있는 바, 그 용도의 분포는 그림 2와 같다. 단 제설용수 및 농업용수와 같이 계절적 요인이 큰 것은 연간 사용량의 평균으로 분포시켰으며 공장배수의 공장내 순환재이용이나 하수처리수의 하수처리장 내의 재순환은 제외시켰다.

4. 재생수의 수질기준

재생수의 수질기준은 사용용도 별로 사람의 피부와 접촉 가능성에 따른 위생적인 측면과 사용자에게 불쾌감을 주지 않게 하는 선에서 설정되고 있다. 규제항목으로는 탁도, 색, 냄새, 발포성, 관 및 기기 등에 대한 부식성, 관련항목 등으로 정하고 있는 바, 건설성 주택국과 후생성에서는 표4와 같은 용도별 수질기준을 정하여 필요한 최소한의 것으로 하고 있으며 동경도는 표5와 같은 기준을 정하여 시행하고 있다.

〈표 4〉 건설성의 중수도 수질기준

항 목	단 위	수세식 화장실	살수용수	조경용수
기준수질	대장균군수 개/mL	10이하	불검출	불검출
	잔류염소 mg/L	검출될 것	0.4이상	-
목표수질	외관	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것
	탁도 도	-	-	10이하
	BOD mg/L	-	-	10이하
	냄새	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것
	pH	5.8-8.6	5.8-8.6	불쾌하지 않을 것

〈표 5〉 동경도의 중수도 수질기준

기 준 항 목	단 위	기 준 치
냄 새	-	불쾌한 냄새가 없을 것
색 도	도	10도 이하
탁 도	도	5도 이하
중발 잔류물	mg/L	500 이하
부유물	mg/L	5 이하
pH		5.8-8.6
KMnO ₄ 소비량	mg/L	20이하
BOD ₅	mg/L	10이하
인산 이온	mg/L	1.0이하
음이온계면활성제	mg/L	1.0이하
대장균군	개/ml	검출되지 아니할 것
일반세균군	개/ml	100이하
잔류염소	mg/L	0.2이하
TOC	-	15

5. 현지 순환형 재이용 실태

5.1 현황

일본의 잡용수 이용시설 설치는 1953년 부터 시작되어 1980년 이후 급격히 설치 건수가 증가하여 최근에는 매년 70개소 정도가 신설되는 추세이다. 후꾸오카시는 1979년에, 동경도는 1984년에 잡용수 이용시설에 대한 지도지침을 정하여 동경도는 연 건축면적 30,000m² 이상이거나 순환이용가능 수량이 100m³/일 이상인 경우에 잡용수 이용시설을 설치하도록 지도하고 있다. 1987년 8월 시점으로 전국에 844개소의 잡용수 이용시설이 있는데 동경도에 264개소, 후꾸오카현에 179개소로 전체의 52%를 점하고 있다. 844개소의 잡용수 이용수량은 평균 112,775m³/일로서 수량분포는 표 6과 같이 개별순환방식이 약 58.9% 지구순환방식이 24.8%, 광역순환방식이 약 16.3% 정도를 차지하고 있다. 잡용수를 이용하는 건물의 종류는 학교가 약 18.1%, 사무실 빌딩이 17.3%를 차지하여 전체이용건수의 약 35%를 점하고 있으며 사용수량은 사무실 빌딩이 전체의 약 20% 공장이 약 15%의 수량을 활용하고 있다. 1개소 당 평균 사용수량은 133mm³/일이며 공장은 244m³/일, 사무실 빌딩은 157m³/일 이었다.

〈표 6〉 잡용수 이용의 방식

방 식	개 소 수	건수(건)	잡용수량(m ³ /일)	
현지순환형재이용	개별순환방식	-	590	66,528.4
	지구순환방식	21	58	27,987.6
광역순환방식	27	196	18,259.1	
합 계	-	844	112,775.1	

5.2 시설의 특징

재생수의 처리시설은 원수의 수질 처리수의 활용목적에 따라 달라지게 되는데 1986년 국립공중위생원에 서 동경도내 잡용수 이용시설 120개소를 대상으로 앙케이트 조사한 결과 85개소로 부터 회답을 받아 분석한 결과를 보면 다음과 같다.

잡용수의 원수를 ① 수세식화장실 배수 ② 주방배수 ③ 주방배수이외의 잡배수 ④ 우수 ⑤ 기타로 구분하여 원수의 종류를 조사한 바, 표7과 같이 나타났다. 총 71건의 회답중에서 원수에 수세식화장실 배수를 포함하는 경우는 20건으로 약 28.2%를 점하였다. 원수의 수질은 수세식 화장실 배수를 포함하는 경우와 포함하지 않는 경우로 나누어 비교하여 보면 표 8에서 보는바와 같이 수세식화장실 배수를 포함하지 않는 쪽이 SS,

〈표 7〉 중수도 원수의 종류

원 수 종				건 수
1				1
2				3
3				14
4				1
5				1
2		(4/5)		2
3		(4/5)		10
1	2	(4/5)		5
1	3	(4/5)		3
2	3	(4/5)		20
1	2	3	(4/5)	11
유효응답수				71

1: 수세변소배수 2: 주방배수

3: 주방배수이외의 잡배수 4: 우 수

5: 기타 4/5: 우수 또는 기타

〈표 8〉 개별방식 잡용수도의 원수수질

항 목	수세변소배수를 포함			수세변소배수를 불포함		
	건 수	범 정	평균	건 수	범 정	평균
pH(-)	12	7.1~8.9	7.6	32	5.2~7.7	6.8
대장균군(개/ml)	2	17,000~56,000	36,000	* 2/6	60~335	200
탁 도(도)	1	-	50	4	1~7.9	2.9
SS(mg/l)	12	23~268	114	28	1~591	130
BOD(mg/l)	12	55~516	150	25	1~726	192
COD(mg/l)	10	5.6~182	75	20	6~1,140	122
색 도(도)	3	10~30	21.7	5	2~54.6	27.8
경 도(mg/l)	1	-	78.0	3	47~75	62.1
중발칸유물(mg/l)	-	-	-	2	146~290	218
염소이온(mg/l)	1	-	75.0	4	16~140	50.7
음이온계면활성제(mg/l)	3	0.8~24.2	9.0	5	0.1~43	11.3

BOD, COD 등이 조금씩 높은 경향을 보이고 있다. 다만 대장균군은 화장실 배수를 포함하는 쪽이 높은 값을 보이고 있다.

잡용수 생산을 위한 처리방식을 8가지로 나누어 조사한 바에 의하면 표 9와 같았으며 모두 염소소독처리를 최후에 행하고 있었다. 생물처리를 주체로 하는 경우는 처리방식 1부터 3까지로 약 58%를 차지하고 있었고 생물처리 방식은 활성오니법, 회전원판법, 접촉 포기법 등이 있었다. 막처리는 한외여과막을 활용하여 생물반응조 혼합액의 고액분리를 하기 위한 것이 대부분이었으며 막처리를 활용하는 처리방식은 비교적 소규모로 79%가 200m³/일 이하의 것 들 이었다.

잡용수도의 사용용도는 표 10에서 보는 바와 같이 수

세식화장실용수로 이용하는 경우의 수가 67%로서 가장 많았다. 국립 공중위생원과는 별도로 건설성이 1988년 3월에 행한 앙케이트 조사에 의하면 표 11에서와 같이 화장실 세정용수가 이용건수와 수량면에서 압도적으로 많음을 볼 수 있다.

전술한 국립공중위생원의 앙케이트 조사에서 처리수의 수질이 사용시 문제가 되었다고 응신한 경우는 총 19건으로 총 회신건수의 약 26.4%에 달하였으며 그 처리방식과 발생 문제점은 표 12와 같다. 생물처리를 주로 하는 처리방식에서 약 20%의 문제가 막처리를 활용하는 처리방식에서는 29%의 문제 발생을 보였다.

〈표 9〉 처리방식과 건수

번호	처 리 방 식		건 수
	개 요		
1	생물처리+여과처리		24
2	생물처리+여과처리+활성탄처리		10
3	생물처리+여과처리+오존처리		7
4	생물처리+막처리		11
5	생물처리+막처리+활성탄처리		8
6	막처리		2
7	막처리+활성탄처리		3
8	기타		6
유효 회 답 수			71

〈표 10〉 처리방식과 이용용도 분포

이용용도	처 리 방 식								
	1	2	3	4	5	6	7	8	계
수세변소용수	24	10	7	11	8	2	3	6	71
냉각·냉방용수	7	4	2					2	15
산 수 용 수	5	1	1		2			2	11
세 차 용 수	2		1					1	4
세 정·청소용수	1								1
환경·수경용수	3	1	1						5
기 타 용 수	3	2						2	7
계	45	18	12	11	10	2	3	13	114

注) 유효회답수: 71

〈표 11〉 잡용수의 용도

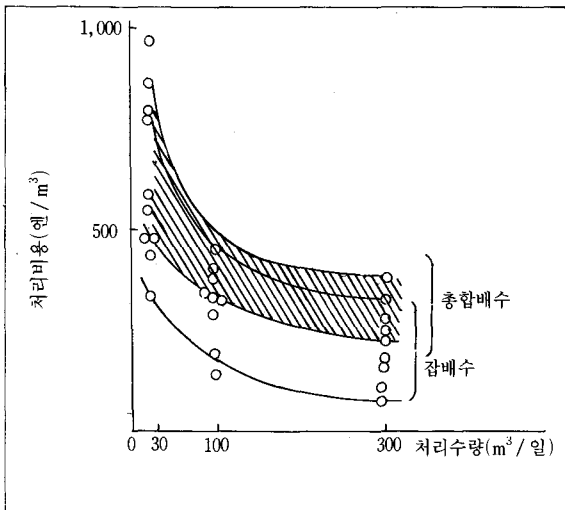
용 도	건 수	순환이용수량 (m ³ /일)
변 기 세 정 수	80	13,986
냉각탑·변기세정수	4	478
냉각탑·변기세정수·산수	2	492
합 계	86	14,956

〈표 12〉 처리방식과 잡용수도 수질 문제점

처리방식	수질 기준치 초과				문제점					계
	대장균	pH	잔염기	취취	외관	취취	착색	발포	탁도	
1		○	○							3(24)
2		○			○					1(10)
3	○			○	○	○	○			4(7)
				○		○				
4							○	○		3(11)
		○	○							
5							○			3(8)
				○		○				
6				○		○				1(2)
7										0(3)
8			○							3(6)
						○	○	○		
-				○	○	○	○			1(1)
계	1	3	5	6	4	8	6	5	1	19(72)

5.3 경제성

재생처리의 비용은 원수와 처리방식에 따라 다르지만 원수가 수세식화장실 배수를 포함시키지 않는 잡배수인 경우와 포함시키는 총합배수로 나누어 보면 시설



규모에 따른 처리비용의 분포는 그림 3과 같다. 여기에는 시설의 감가상각비와 유지관리비는 포함시키고 있으나 인건비, 오니처리비, 이중배관비는 포함시키지 아니한 값이다. 그림3에서 보면 원수와 처리방식, 처리시설규모에 따라서 다르기는 하나 재생처리 비용은 재생수 1m³당 300~500엔 정도로서 특수한 할증요금을 채용하는 지역을 제외하면 상수도와 하수도 요금을 합한 것보다 비싸다. 그러나 동경도 지역인 경우 1일 300m³의 물을 사용하는 경우 상수도와 하수도 요금의 합계가 670엔 / m³로서 충분히 경제성이 있다. 일본 주택설비 시스템 협회가 조사한 바에 의하면 재이용 잡용수시설을 채용한 이유는 표 13과 같았다.

〈표 13〉 잡용수 이용시설 채용 이유

이유	시설수	비율
절수	32에	51%
행정지도	12	19
배수의 방류규제 · 고도처리지역	7	11
경제적 이유	7	11
무방류지역	2	3
실험 · 실증시험용	2	3
상수증가 곤란	1	2
합계	63에	100%

6. 하수처리수 광역재이용

하수처리수의 광역재이용은 1960년대 전반 대도시의 공업용수 수요량 증가에 대응하기 위하여 이용되기 시작하였으나 현재에는 건물의 잡용수, 조경 · 환경용수 제설용수 등 다양한 용도로 쓰이고 있다. 1986년에 전국의 하수 재이용수를 공업용수로 사용한 수량은 94,000m³ / 일로서 동경도가 32,000m³ / 일, 나고야시가 20,000m³ / 일을 활용하고 있다. 공업용수로 활용하는 중에는 14개 분뇨처리장 회석수로 쓰이는 20,000m³ / 일의 수량도 포함되어 있다.

처리수의 광역재이용 중에는 후쿠오카의 천신지구와 동경도 신숙부도심지구의 도심 빌딩지역의 잡용수로서의 이용하고 있는 경우가 있다. 신주꾸 부도심 물 recycle사업은 오치아이 하수처리장의 고도처리수를 신주꾸 국제빌딩 지하의 수 recycle center의 지하배수지에 저장하였다가 부도심 지역의 필요로 하는 빌딩의 수수조를 통하여 수세식화장실용수로 공급해 주는 것으로서, 공급가격은 1m³당 250엔으로 상수도가 300엔 / m³인 것과 비교하여 충분히 경제성을 지니고 있다.