

우리나라 중수도의 현황과 발전방향 (하수처리수의 재이용)

신 항 식 (한국과학기술원 토목공학과 교수)

안 현 희 (한국과학기술원 토목공학과 석사과정)

1. 서 론

우리나라는 계속되는 인구증가와 산업발전에 따라 물수요가 급격히 증가하고 있다. 물수요는 지금부터 37년전인 1961년에는 하루의 수도물 사용량이 60만 톤으로 현재 대구시가 사용하는 물의 양의 절반 가량 밖에 되지 않았다. 당시의 수도물 사용인구는 17%에 불과하였고 1인당 물사용량은 102 L 수준에 머물렀다. 그러나 1996년에는 수도물 공급능력이 하루에 1588 만톤으로 1인당 물사용량은 409 L로 크게 늘어났으며 상수도 보급인구도 전인구의 83.6%에 달하고 있다. 30여년만에 전국적인 물사용량은 26배, 1인당 하루 물사용량은 4배나 늘어난 것이다.

이러한 물수요의 증가를 따르기 위해 다목적 댐을 건설하여 수자원의 합리적인 사용을 도모하거나 지하수개발등에 노력을 기울이고 있으나 댐건설에 따른 막대한 건설비, 공사기간, 지역 주민과의 마찰과 환경 파괴 문제 등이 야기되고 있으며, 표 1과 같이 2000년대초까지 각종 개발이 이루어지지 않으면 수자원의 부족이 지속되기 때문에 다른 형태의 수자원 개발을 준비하여야 한다. 한편 우리나라 연평균 강수량은 1274 mm로 세계 연평균 강수량인 970 mm의 1.3배에 달하고 있으나 1인당 연평균 강수량으로 환산해보면 3000 m³/person으로 세계 평균치인 34000 m³/person에는 1/11에도 미치지 못하고 있는 실정이다. 더우기 강수량의 계절적 편차가 심하여 2/3가 6~9월에 집중되며 하천의 연중 유량 변화폭이 크고 유속이 빠르고 삼림자원이 부족하여 우수가 일시에 바다로 유출해버리는 특성이 있어 강수량의 계절적

편차에 따른 수량 확보에 어려움이 있다.

또한 수도권 지역이나 공단지역이 대량의 물을 필요로 하는데 반해 지역적인 강수량의 편차도 심하여 경남지역 특히 포항지역의 계속적인 갈수 현상이 지속되고 있다.

따라서 지역적, 계절적으로 발생하는 용수 부족 현상이 21세기에는 전국적으로 나타날 것으로 볼 때, 용수 부족현상에 대한 새로운 대안이 필요한 것이다. 본고에서는 이러한 용수부족 현상의 대안으로서 하수처리수를 중수도로 재이용하는 방안에 대해 논의해 보고자 한다.

1.1 중수도의 정의

일상생활과 생산활동에 필수불가결한 물은 주로 수

표 1. 수자원 수급전망 (단위:백만톤)

구 분	94	2001	2006
용수 수요량	29,901	33,640	34,991
- 생활용수	6,209	7,435	8,073
- 공업용수	2,585	3,873	4,071
- 농업용수	14,877	15,027	15,226
- 유지용수	6,233	7,305	7,619
용수 공급량	19,125	19,191	19,079
- 하천수	16,881	16,657	16,464
- 지하수	2,244	2,534	2,615
부족량	10,776	14,449	15,912
댐공급량	12,376	14,267	14,511
- 기존댐	12,376	12,376	12,376
- 건설중 및 기계획댐	-	1,891	2,135
총 과부족량	+1,600	-182	-1,401
신규 수자원 개발 계획 (다목적댐)	-	702	3,365
		(702)	(2,663)
개발후 과부족량	+1,600	+520	+1,964

환경 백서, 1997

도시시설을 통하여 수도물로서 소비자에게 공급된다. 전체 수도물 중에서 음용, 취사, 목욕, 세면용과 변기 세정, 세탁, 청소, 세차등의 가정용이 70%로서 대부분을 차지하고 있고 영업용으로 20%, 기타 목욕탕, 공공용, 소방용등으로 약10%가 소비되고 있다. 중수도는 수도물이 공급되고 있는 여러 용도중에서 음용수와 같은 정도의 청정도를 필요로 하지 않는 용도에 대하여 각각에 알맞은 물을 공급하는 시설을 말한다. 그리고 수도법 제3조 제14호에서 '중수도'라 함은 '사용한 수도물을 생활용수, 공업용수등으로 재활용할 수 있도록 다시 처리하는 시설을 말한다'라고 정의하고 있다. 다시 말하면, 우수 → 하천 → 취수 → 1회 사용 → 배출 → 하천 → 해양의 현재의 물순환 체계에서 인공적으로 물순환을 가속시키는 방법으로 배출 단계전에 처리 → 재사용의 단계를 추가하여 수자원의 합리적인 이용을 도모하는 것이 바로 중수도의 개념이다.

1.2 중수도의 원수와 이용방식

중수도에 이용하는 원수는 빌딩 잡배수, 수세식 변소배수, 냉동·냉각 배수, 하수처리수, 오염된 하천수, 우수, 지하수, 해수등을 들 수 있다. 이 중 하천수와 우수는 지역성, 자연조건의 영향을 크게 받으므로 각각의 경우에 대해 검토할 필요가 있다. 또 지하수는 지역에 따른 지질에 크게 좌우되며 양수량이 과다할 경우 지반 침하의 우려가 있다. 따라서 일반적으로 중수도의 원수로서는 일반하수, 즉 건물 또는 기타 시설들의 잡배수, 수세식 변소용수와 하수처리수를 사용한다. 이들 중 하수처리수를 원수로 하여 이용할 수 있는 중수도의 용도는 하천 등의 공공수역에 방류하여 하천의 유지수량을 확보하는 것과 생활용수, 공업용수, 농업용수, 환경용수 등이 있다. 보통 빌딩의 잡배수의 중수도는 소규모로 운영되지만 수량이 풍부하고 수질 변동이 적은 하수처리수를 대상으로 하는 경우에는 앞으로 도시재개발이나 하수도 정비등과 때를 맞춰 운영할 경우 많은 효과를 얻을수 있다. 95년에는 우리나라의 하수처리율은 44%에 머물러 있었으나 96년말 하수처리율이 53%가 되었으며 2005년말까

지 80%를 목표로 많은 하수처리장이 새로이 건설되고 있으며 처리수의 방류기준도 96년 1월을 기점으로 더욱 강화되어 수질과 양면에서 우리나라의 중수도의 원수로서 하수처리수의 이용 효율은 더욱 높아질 것으로 보인다. 이처럼 원수와 이용범위에 따라 달라지는 중수도 이용방식은 개별순환방식, 지역순환방식, 광역순환방식 등으로 나뉠수 있는데 개별순환방식이란 사무소, 빌딩등에 있어 그 건물에서 발생하는 폐수를 자가처리하여 빌딩내에서 다시 이용하는 것을 의미한다. 두번째로 지역순환방식이란 비교적 한 곳에 집중되어 있는 지구 즉 아파트 단지나 새로 건설되는 주거지역등에 있어 사업자와 건축물등의 소유자가 공동으로 중수도를 운영하고 해당 건축물의 수요에 따라 중수를 급수하는 방식을 말한다. 세번째로 광역순환방식은 일정지역내에서 해당지역내의 빌딩과 주택 등 일반적인 중수의 수요에 따라 중수도로부터 광역적, 대규모적으로 공급하는 방식을 말하며 대규모 하수종말처리장 유출수나 공단폐수종말처리장 유출수를 이용한다. 또한 하수처리수 재이용방식은 개방순환방식과 폐쇄순환방식의 두 가지로 나눌 수 있다. 개방순환방식은 하수처리수를 하천등 공공용 수역으로 환원한 후 다시 수자원으로 이용하는 방법으로 하천상류부에 방류한 처리수를 하천수와 혼합후 하류부에서 취수하는 형태로 일반적인 자연 유탐 방식과 재이용을 목적으로 상류까지 양수한후 재이용하는 유탐 조정방식을 들수 있다. 폐쇄순환방식은 앞에서 설명한 세 가지 중수도 이용방식을 말하는데 그중 광역순환방식이 일반적인 하수처리수의 재이용 방법이 되는 것이다.

2. 중수도 현황

2.1 국내 하수처리수의 재이용 현황

국내에는 표 2와 같이 소규모로 빌딩이나 개인 사업체에서 하수처리수를 원수로 하여 중수도 시설을 가동 혹은 계획하고 있으며 대규모의 공공 하수처리수 재이용의 예는 아직 없다.

표 2. 중수도 시설 설치 건축물 현황

환경산업총람, 1998

구 분	건 물 명	중수도 공급원	공급 능력	용도(톤/일)	비 고	
소계				138,259		
가동중 (30)	롯데 월드(잠실)	세면수, 목욕수	1850	청소, 화장실		
	롯데 호텔(본점)	"	150	"		
	인터콘티넨탈 호텔	"	300	"		
	포항종합제철(대치동)	"	300	"		
	부산롯데호텔	"	1500	"		
	수원삼성전기	오수처리수	1500	"		
	수원삼성전관	공업용수	1700	"		
	수원삼성코닝	오수처리수	500	"		
	부천 LG백화점	"	500	"		
	용인 삼성반도체	오수	6000	"		
	수원 학촌수영장	수영장 + 수도수	1200	수영용수	하절기 가동	
	군포시 산본동 가야A 3단지	생활하수	83	청소수	93-95 상반기까지 가동, 현재는 교육용 보존	
	LG화학 여천공장	수도수	1200	공장 용수	세정탑 보충수	
	여수화력 발전처	"	60	"	진공펌프 밀봉수	
	남해화학 여천공장	"	1420	"	냉각수	
	호남화력 발전처	"	300	"		
	펌프 밀봉수 저탄장 살수용수					
	전남 한화종합화학	"	1300	"		
	광양 제철소	"	40000 (비산먼지방지)	"	원료살수용	
	전남 럭키화학 SM	"	900	"	보일러 보충수	
	전남 한양화학	"	8000	"	냉각수, 소방수	
	전남 LG칼텍스 정유	"	8000	"	냉각소방, 세척수	
	경북 강원산업	수도 + 공업용수	1500	"		
	경북 포항제철	공장 배출수	40000	"		
	경북 제일합섬1공장	공업용수	3240	연마용수,	세척수	
	경북 한국전기초자	"	6300	공업용수		
	경북 LG전자 영상1	"	1500	"		
	경북 (주)코오롱	"	1590	"		
	경북 동국합섬(주)	"	1768	"		
	경북 LG마이크론	"	4988	"		
경북 실트론 2공장	"	610	"			

2.2 국외 하수처리수 재이용 현황

2.2.1 일 본

일본의 하수처리장에서는 연간 약 3억 m³의 처리수를 처리 공정수, 장내 청소수등으로 이용하며 공업용수와 농업용수등 다른 용도로 연간 약 54만 m³를 재이용한다. 하수처리수의 수온은 겨울에도 15 ℃정

도이므로 눈이 많은 지역에서는 융설용수로 이용하기도 한다. 최근에는 Heat pump의 기술개발에 의한 열회수로 동경의 낙합처리장 등에서 관리동의 냉난방을 비롯하여 주변도시에 하수처리수를 이용한 열공급 사업이 행해지고 있다. 생활용수로의 재이용 예로 동경 근방의 千葉縣에서는 Convention center, Techno-

garden, World business garden, Prince hotel 등의 건물의 수세식 화장실 용수, 식재 살수, 공원의 연못 보급수나 광장 분수, 경관 녹지용 수경용수 등으로 사용한다. 하수처리수는 응집침전 → 급속여과 → 오존처리 → 염소살균 단계를 거쳐 각 수조로 송수, 사용자가 필요에 따라 사용한다. 중수의 이송을 위해 별도의 관을 설치하며 이때 상수관과의 오접합에 유의해야 한다. 공급자는 미리 연간 사용수량을 사용자와 협의해서 정하고 실 사용량이 계약한 연사용량보다 적을 경우라도 계약요금을 징수하는 '책임수량제'를 채택하고 있다. 그외에도 분수나 수로 조성 등에 사용되는데 동경의 수처리 센타와 명성 처리장에서는 하수처리수를 처리장 상부의 공원분수에 이용하고 있다. 또한 'my town 동경' 건설의 일환으로 과거에 생활용수, 상수 공급수로 건설되었으나 동경의 도시화에 따라 건천이 된 수로에 하수처리수를 하천 유지용수로 공급한 예도 있다. 이 경우 하수처리수를 분말활성탄 처리와 모래 여과한 후 오존처리를 하여 어류 등의 서식 생물에 악영향을 주지 않도록 했으며 아울러 조류의 이상번식도 막았다.

2.2.2 미 국

미국은 중수도의 원수로 하수처리수만을 이용한다. 가장 큰 용도는 농업 및 관개용으로 캘리포니아주에서는 전국의 25%인 일 1억 4천만톤을 사용하며 두 번째는 공업용수로서 주로 냉각수나 공정용수로 이용된다. 공업용수의 요구 수질은 공장마다 다르며 경우에 따라 2차 처리후 별도의 처리가 필요한 곳도 있다. 세번째 용도는 지하수 함양으로 처리된 하수를 지하수층에 저장하거나 염수의 침입을 방지하는 것이다. 네번째는 레크리에이션이나 수세변수수와 같은 잡용수로 쓰는 것이나 미국의 이러한 잡용수 용도는 전체 사용량의 5%정도에 불과하다. 지금까지 나열한 용도의 하수재이용 시설의 대부분은 캘리포니아주와 같이 건조지역이나 준건조지역에 위치하고 있으며 플로리다와 같은 습윤지역에도 계획되고 있다.

2.2.3 기 타

중국은 주로 북부지역에서 하수 처리수의 재이용을 촉진하는데 하수처리장을 포함한 하수도 시스템의 계획이나 설계시에는 하수의 재이용에 관한 사항이 꼭 고려되어야 한다. 처리된 하수는 농경지, 산업용, 도시용의 순으로 이용된다. 예를 들어 북경에는 1990년에 일 50만톤의 용량을 가진 2차 하수처리시설을 건설하여 도시에서 발생하는 하수의 40%를 처리하는데 하수처리수중 10만톤은 발전소의 냉각용수로서 재이용하고 있다. 남아프리카에서는 별도의 배관을 하여 하수처리수를 발전소의 냉각용수나 공장에서 여러 가지 종류의 공정용수로 사용하고 있다는 보고가 있다. 또한 이스라엘에서는 하수처리 재이용수가 주요한 생명수의 자원으로 생각하고 있으며 2010년에는 연간 4억 2천만톤을 사용하도록 계획되어 있으며 이는 전체 물공급의 19%를 차지하고 농업지역에 할당된 물의 1/3을 차지한다.

지금까지 국외의 하수처리수는 공업용수, 농업 관개 용수등으로 주로 이용되고 건물 자체의 수세식 변기용수의 이용은 적었다. 이는 일반 빌딩에서는 자체적으로 소규모의 처리시설을 두고 개별 순환 방식으로 재이용을 하는 것이 하수 처리수를 재이용하는 것보다 유리하기 때문이다. 하수처리수는 특성상 대규모로 공급되는 광역 순환방식의 채택이 유리하며 재이용수 보급 관로 매설문제를 최소화하는 방식으로 운영되어야 하므로 관로매설의 문제가 야기되는 도심의 빌딩보다 새로운 공단지역의 공업용수나 농업용수, 공원조성 용수로 쓰이는 것이 바람직하다. 현재 우리나라 울산지역과 같이 지속적인 물부족 현상을 겪고 있는 공단지역에서는 이러한 하수처리수 재이용에 대한 수요가 충분할 것으로 예상되므로 공업용수로의 재이용에 대한 논의가 적절하다.

2.3 국내 하수처리수의 수질조사

하수처리수의 재이용을 위해서는 재이용 용도별 수질기준과 원수로 이용되는 하수처리수 자체의 수질을 알아야 그 오염정도에 따라 알맞은 기술 설비를 갖추

표 3. 낙동강 권역 하수처리장 유입, 유출수 수질 (97년 3/4분기 현재)

처리장명	용량 (천톤/일)	수 질 (mg/l)									
		BOD		COD		SS		TN		TP	
		유입수	방류수	유입수	방류수	유입수	방류수	유입수	방류수	유입수	방류수
울산	250	96	1.7	50.7	8.5	79	7	12.81	14.39	0.91	0.84
회야	32	25.6	1.9	13.5	7.7	24	8.7	7.63	7.93	1.01	0.81
구미	330	42.4	5.6	44.5	9.1	64	6.4	19.11	12.96	1.69	0.69
진주	110	53.6	3.7	33.4	9.1	43	7	25.68	38.77	1.65	1.31
마산	280	20.2	14.6	27.5	16.2	42	26	49.45	18.75	1.71	3.05

수 있다. 그러므로 본 절에서는 국내 하수처리장의 하수처리 최종 방류수의 수질을 조사해보고자 한다. 수량 부족 현상이 발생하여 하수처리수 재이용이 요구되는 낙동강 권역의 울산 하수처리장의 현황을 알아보면 울산에는 울산하수처리장과 회야하수처리장 등 현재 2개의 하수처리장이 가동되고 있고 방어진, 언양, 온산 하수처리장이 계획하여 있다. 96년 1월부터 TN = 60mg/l, TP = 8mg/l 등으로 하수처리수의 방류기준이 강화된것에 대해 울산지역 하수 종말 처리장의 97년 3/4분기 현재 표 3과 같이 BOD, COD는 유입, 유출수 모두 농도가 낮아 하수처리수내 유기물량이 적음을 알 수 있다. TN, TP는 방류기준이하로 잘 처리되고 있으나 우리나라 수질 기준의 TN, TP항목이 실제 하수처리장 유입수보다 높게 책정되어 실제로는 명목상의 기준일뿐이며 현재 TN의 방류농도는 수계오염뿐만 아니라 중수도에도 매우 높은 농도이다.

2.4 농업, 공업용수, 환경용수의 수질기준

일반적으로 중수도의 수질기준은 재이용수의 용도에 따라 달라지며 이용장와 접촉정도에 따라 수질기준이 달라진다. 본 절에서는 앞절에서 조사한 수질을 가진 하수처리수의 농업, 환경용수와 공업 각 업종의 목표 수질을 알아보겠다.

우리나라 수질환경 기준에서는 하천의 등급에 따라

공업용수 수질이 표 4와 같이 1-3급으로 나뉘어진다. 이 농도기준은 우리나라 하천, 호수등의 생활환경에 대한 개괄적인 분류에서 나오는 기준으로서 앞절에서 살펴본 하수처리수의 방류농도는 대체적으로 기준에 잘 부합된다. 그러나 이 기준은 추가적인 정수과정을 필요로 하는 기준이므로 각각의 업종이나 공정에 따른 공업용수 기준을 조사하여 하수처리수를 중수로 이용하기 위한 처리기술을 정해야 한다. 공장이나 사업장에서 사용되는 공업용수는 보일러용수, 냉각용수, 온·습도 조절용수, 제조 조정용수, 세정용수, 원료용수등으로 그 용도가 광범위하기 때문에 수질기준을 일률적으로 정하는 것은 곤란하지만 일본 공업용수회의 '공업용수 수질기준 판정에 관한 보고서'에 의하면 표 5와 같으며 1971년 일본 공업용수협회 공업용수 수질기준 제정위원회가 약 500여개의 전업종을 대상으로 요구 수질을 조사한 '업종별, 용도별 공업용수 표준요구수질'은 표 6과 같다. 공업용수의 수질은 각 업종 및 용도에 따라 다양하며 일반적인

표 4. 우리나라 공업용수 수질 기준

등급	pH	BOD (mg/l)	SS (mg/l)	대장균 군수 (MPN / 100 ml)
1급	6.5~8.5	6이하	25이하	5000이하
2급	6.0~8.5	8이하	100이하	-
3급	6.0~8.5	10이하	쓰레기등이 떠있지 아니할것	-

표 5. 공업용수 수질기준

업종	탁도(mg/l)	pH	알칼리도(mg/l)	경도(mg/l)	증발 잔류물	염소 이온	철망간
표준치	20	6.5~8.0	75	120	250	80	0.3
참고치	동경	12도	5.8~8.5	.	.	200	0.3
	후생성	2도	5.8~8.5	.	300	500	200

중수도 기술개발 방안연구, 건설부

표 6. 업종별, 온도별 공업용수 표준요구수질

중수도 기술개발 방안연구, 건설부

업종	온도별	탁도	pH	알칼리도	경도	중발 잔유물	염소이온	철	망간
식료품 제조업	냉각용	10	7	35	50	75	30	0.1	0.1
	세정용	5	7	35	50	80	20	0.1	0.1
	원료용	1	7	60	60	80	20	0.1	0.1
	온습조절	10	7	50	50	80	30	0.1	0.1
	제품처리	1	7	40	30	80	10	0.1	0.1
섬유	냉각	20	7	60	50	200	30	0.1	0.1
	세정	20	7	50	50	200	20	0.1	0.1
	온습조절	20	7	60	60	150	20	0.1	0.1
	제품처리	20	7	50	50	150	15	0.1	0.1
화학	냉각	20	7	50	50	200	80	0.1	0.05
	세정	10	7	50	50	80	20	0.1	0.05
	원료	10	7	40	40	70	10	0.1	0.05
	온습조절	15	7	70	60	130	20	0.1	0.05
	제품처리	10	7	50	50	100	15	0.1	0.05
석유제품	냉각	30	7	40	50	200	10	0.1	0.05
	세정	6	7	40	50	200	5	0.05	0.01
	원료	6	7	40	50	150	5	0.05	0.01
	온습조절	6	7	90	80	200	5	0.1	0.01
	제품처리	1	7	50	50	100	5	0.05	0.01
고무, 피혁모피	냉각	20	7	60	50	200	30	0.1	0.1
	세정	20	7	50	50	200	20	0.1	0.1
	온습처리	20	7	60	60	150	20	0.1	0.1
	제품처리	20	7	50	50	150	15	0.1	0.1
비철금속 제조업	냉각	20	7	40	60	300	20	0.1	0.1
	세정	16	7	40	50	300	10	0.1	0.1
	원료	20	7	40	60	200	10	0.1	0.1
	온습조절	20	7	40	60	200	10	0.1	0.1
	제품처리	20	7	40	50	300	10	0.1	0.1

로 명확하게 되어 있지 않은 경우가 많으며 일반적으로 수질에 대한 기준보다도 수량과 수온에 대한 것이 더욱 중시된다.

원료용수는 원료 또는 원료의 일부로서 사용되는 물이며 수질의 양호여부는 그대로 제품의 양호 여부와 직결되기 때문에 하수처리수의 사용은 곤란하다. 제품처리 용수는 화학적으로 원료나 반제품과 반응하거나 제조과정에서 접촉하므로 원료용수와 같은 정도의 양질수가 요구되며 특히 철이나 망간이 없어야 한다. 하수처리수는 유기물질 및 용해물질이 많으므로 제품처리에 사용하는 약품과 화학반응을 일으키기 쉬워 제품·품질이 영향을 받는 등 문제가 많다. 냉각용수는 저온이며 온도 변화가 적은 것이 바람직하며 제품을 직접 냉각할 경우는 오염, 부식, 화학변화, 오염을 일으키지 않고 간접 냉각하는 경우는 부식, 침식,

스케일, 각종 미생물등의 발생원인을 갖지 않아야 한다. 냉각용수에 하수처리수를 사용할 때 순환사용하면 부식이 진행되지만 방부제를 투입하면 10회정도까지 사용가능하다. 같은 냉각수라도 가는 관을 흐르는 것은 슬라임등에 의해 통수 불능이 되므로 사용 곤란하다. 그리고 보일러 보급용수 수질기준은 운전중의 보일러 압력에 의해 정해진다. 고압의 보일러일수록 증류수와 같은 양질의 물이 필요하다.

농업용수 수질기준은 표 7과 같이 1970년 일본의 농림성에서 설정하였다. 이 기준은 비농사에 대한 농업용수의 수질기준으로서 댐등에 저수된 용수의 수질을 규제한다. 하수처리수를 농업용수로 이용할 경우 SS와 총질소기준이 문제시 되는데 이는 유기성 SS 중의 질소만으로도 기준치를 초과하는 경우가 많기 때문이다. 이 기준치에서 총 질소가 1 mg/l 이하로 되어 있지만 하수 처리수를 비농사의 관개에 이용할 때에

는 시비량의 조정도 포함되기 때문에 실제로 총질소 농도 7 mg/l 정도까지 이용가능하다.

미국의 경우, 정수전체량의 40%이상을 농업용수로 이용하며 특히 농업이 주요사업인 서부지역은 90%에 달한다. 농작물이나 목초지의 관개를 위한 수질은 작물의 품질에 영향을 주는 단기적인 영향, 토양에 영향을 주는 장기적인 영향, 그리고 수확물 이용상의 잠재적인 영향 등의 여러가지 인자에 의해 결정된다.

하수처리수를 환경용수로 재이용할 때는 다른 재이용 용수에 비해 인간과의 접촉이 쉽기 때문에 미생물학적 안전성을 가장 고려하여 대장균군 지표로 살수

용수, 수경용수에 대해서는 검출되지 않는 것으로 정해져 있다. 살수용수는 도로 청소 작업, 건설공사 등을 하는 경우에 뿌리는 물로 이용되는 것이고 조경용수는 주택단지 등의 인공연못, 인공 폭포, 인공 하천 및 분수 등에 이용되는 물이다. 우리나라 수도권의 신도시 개발에 있어서 하수처리수를 조경용수로 이용할 수 있도록 계획한다면 도시 전체적으로 수자원 재이용과 함께 인간 친화적 환경조성에 큰 역할을 하게 될 것이다.

2.5 하수처리수 재이용을 위한 적용 기술

중수도는 유입되는 원수의 수질과 용도, 목표 수질에 따라 그 처리방법이 크게 달라진다. 일반적으로 원수가 잡배수 및 오수인 경우 생물화학적 처리법이 채택되고 하수처리수 및 생물화학적으로 처리된 물은 응집침전법, 사여과법등의 방법이 채택된다. 중수도에서 처리대상이 되는 물질은 탁도, 냄새, 색도, 유기물, 질소, 인, 용존염류, 세균, 바이러스 등인데 이들을 제거하는 방법은 표 9에 나타나있다. 하수처리수를 원수로 하는 경우, 그 수질은 원하수의 수질 및 처리법에 의해 좌우된다. 우리나라 하수처리수의 유기물 함유량은 낮으므로 생물학적 처리보다 물리화학적 처리가 적합하며 총질소의 농도가 높기 때문에 이를 제거하는 처리공정이 요구된다. 또한 이용상의 장애가 되는 무기염류를 제거하는 것도 중요하다. 하수처리수의 고도처리는 급속모래여과법과 활성탄 흡착법, 막분리 등으로 공업용수와 농업용수의 수질기준에 알맞게 처리할수 있다. 또한 하수처리장의 2차 처리 시설이 질소, 인을 같이 제거할수 있는 공정을 구비하고 있지 않을 경우, 하수처리수에 의한 중수도 보급을 위

표 7. 일본 농업용수 수질기준

항목	수질 기준치	항목	수질 기준치
pH	6.0 ~ 7.5	전기 전도도	0.3 μ ohm/cm이하
COD	6이하	ABS	5
SS	100이하	코발트	0.1
총질소	1이하	니켈	1
용존산소	6이하	카드뮴	0.03
비소	0.05	염소 이온	1.000
동	0.02	아연	0.5

표 8. 환경용수의 수질기준

항목\용도	살수용수	조경용수
대장균군수	검출되지 않을 것	검출되지 않을 것
잔류염소	0.2mg/l이상일 것	
외관	불쾌감을 느끼지 않을 정도	불쾌감을 느끼지 않을 것
탁도	5도를 넘지 않을 것	5도를 넘지 않을 것
BOD	10mg/l을 넘지 않을 것	10mg/l를 넘지 않을 것
냄새	불쾌한 냄새가 나지 않을 것	불쾌한 냄새가 나지 않을 것
pH	5.8~8.5	5.8~ 8.5

표 9. 제거 대상 물질에 따른 각종 처리법

	유기성 물질	무기성 물질
용해성 물질	COD(TOC): 활성탄 흡착, 산화, 이온교환, 역삼투	NO ₃ ⁻ : 생물학적 탈질, 이온교환, 역삼투
	계면활성제: 활성탄, 생물학적 산화, 역삼투	NH ₃ : 스트리핑, 산화, 이온교환, 역삼투
	색도: 화학적 생물학적 산화, 활성탄	PO ₄ ³⁻ : 응집 침전, 생물학적 탈질
	유해물질: 화학적 산화, 활성탄	용해성 물질: 이온교환, 역삼투, 전기투석
부유성 물질	COD: 응집 부상, 침전 여과, 생물학적 환원처리	광물질: 응집 부상, 침전 여과
	병원미생물: 응집부상, 침전 여과, 화학적 산화	금속: 화학적 산화, 응집 침전, 여과

해서는 하수처리장의 2차 처리시설의 보완이 필요하다.

2.6 경제성 분석

중수도의 보급은 적용에 있어서 경제성의 문제가 장애요인이 될 수 있다. 우리나라는 물가 안정정책으로 인해 수도요금인상이 억제되어 왔기 때문에 물에 대한 관념이 대다수의 사람들에게 낭비해도 되는 것처럼 인식되어왔다. 정부의 '물관리 종합대책'의 일환으로 상하수도 요금을 각각 평균 25.3%와 84.7% 올려 상하수도 원가의 90% 수준(현재 지방 상수도는 원가의 77.4%, 하수도는 48.7%수준)까지 끌어올리는 인상 정책이 발표되었으며, 그에 따라 물이용에 대한 관념도 많이 변화하리라 생각되는 시점에서 중수도 도입은 시기 적절하다고 볼 수 있다. 중수도가 적용될 때 경제성을 가지고 있는 것은 일반가정용보다는 업무용이다. 이는 업무용수에 대한 수도의 요금체제가 대량으로 물을 사용하면 요금이 높게 책정되는 누진제 요금제도를 채용하고 있으며 근래에 와 그 경

향이 더욱 강화되어 업무용수의 단가(가정 용수의 약 6배)가 급격히 상승하고 있고 하수도 요금도 동일한 누진제가 채용되었기 때문이다. 공업용수 요금을 기준으로 하여 공업용수의 경제성을 분석하기 위한 중수도 시설의 건설비와 생산비, 그리고 현행 공업용수 요금이 각각 표 10와 표 11에 나타나있다. 두 표에 나타나 있는 중수와 현행 공업용수의 단가를 비교해보면 중수가 상대적으로 더 높음을 알수 있으며 중수 처리시설의 용량이 클수록 중수 단가는 낮아짐을 알수 있다. 결국 처리규모 5000톤/일 이상일 경우는 침전수 및 정수의 중수 생산비가 공업용 요금보다 저렴하여 경제성이 있으나 5000톤/일 이하의 처리규모에 대해서는 경제성이 떨어지기 때문에 중수도 보급을 위해서는 수도 요금 감면과 같은 지원책이 필요하다. 이러한 요금 감면액을 원수별로 계산한 값이 표 12에 나와 있다. 따라서 국가적 차원에서의 용수 절감효과를 기대하기 위해서는 소규모 사업소를 대상으로 삼기보다는 5000 톤/일 이상의 대규모 물소비 사업소를 대상으로 중수도를 확대, 보급시키는 것이 효과적이다.

이러한 사업소들은 수도요금 감면 혜택이 없어도 경제적인 운영이 가능하기 때문이다.

3. 우리나라 중수도의 발전방안

위에서 살펴본 바와 같이 우리나라는 일정 규모이상의 사업장이 아니면 중수도의 적용에 있어서 경제성이 없기 때문에 중수

표 10. 중수도 시설의 건설비 및 중수 생산비 중수도 기술개발 방안연구, 건설부

처리규모 (톤/일)	건설단가 (천원/톤)	건설비용 (백만원)	년간중수생산비 (백만원/년)	중수 생산단가 (원/톤)
50	1974	98.7	6.6	360.5
100	1471	147.1	9.8	268.7
300	933	276.8	18.5	168.5
500	743	371.5	24.8	135.7
1000	554	5583.7	36.9	101.1
5000	280	1399	93.3	51.1

표 11. 공업용수 요금(현행)

구 분	원 수	침전수	정 수
단가(원/톤)	45.56	48.53	90.52

표 12. 수종별 손익발생액 및 예상 요금감면액

중수도 기술개발 방안연구, 건설부

처리규모 (톤/일)	중수생산비 (백만원/년)	손익 발생액(백만원/년)			요금 감면액(원/톤)		
		원수	침전수	정수	원 수	침전수	정 수
50	5.9	-5.1	-5.0	-4.2	277.0	274.0	232.1
100	8.8	-7.1	-7.0	-5.5	195.5	192.6	150.6
300	16.7	-11.7	-11.4	-6.8	107.0	104.0	62.0
500	22.3	-14.0	-13.4	-5.8	76.6	213.4	31.7
1000	33.2	-16.6	-15.5	-0.2	45.4	42.4	0.4
5000	84.0	-0.9	4.6	81.2	0.5	-	-

도의 이용을 촉진시키기 위해서는 정부차원의 노력이 요구된다. 먼저 상수도료를 현실화 해야한다. 최근 상하수도료가 약간 인상되긴 하였으나 역시 생산비에 못미치는 수준이고 상수도료가 저렴하여 오히려 수자원에 대한 잘못된 인식을 심어주어 낭비를 초래하고 있는 상황에서, 상수도료 현실화를 통해 상수 품질향상과 우리나라에 적합한 중수도의 기술개발을 꾀하는 것이 궁극적인 수자원 절약에 위해 필요하다. 또한 중수도 이용 사업장에는 설치비 보조, 세제 감면등의 혜택을 부여하여 중수도 사용을 유도하여야한다. 그리고 새로 건설되는 도시, 건축물, 대규모 사업장에 대해서는 중수도 시설 설치를 의무화하도록 하고 중수원수로서의 하수처리수 수질향상을 위해 기존 처리시설의 보완 및 중수처리기술 개발이 시급하다.

4. 결 론

하수처리수는 대량의 중수도 원수로서 우리나라는 아직 그 이용예가 없으며 외국의 이용현황을 고려해 보았을 때 대량의 물을 필요로 하는 농업용수와 경제

성이 높은 공업용수에 적용하는 것이 가장 합리적임을 알 수 있었다. 또한 신도시 등의 환경용수로 계획, 이용하는 것도 적절하다. 우리나라 하수 2차 처리수의 수질을 살펴보면 대체로 유기물의 농도는 낮고 질소의 농도는 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 이러한 성상을 가진 하수처리수를 공업 및 농업용수로 이용하기 위해서는 무기염류 제거를 통한 관로의 부식방지, 색도, 냄새 제거, 질소의 제거 등이 중요하다. 하수처리수는 이미 생물학적 처리 공정을 거쳤으므로 재이용을 위한 처리는 물리화학적 처리 방법을 이용하는 것이 바람직하며 이들의 처리방법으로 사여과, 활성탄 흡착, 막분리 등을 이용할수 있다. 특히 중수도 시설은 5000 톤/일 이상의 대규모 시설에 경제성이 있으므로 중수도를 널리 보급하기 위해서는 중수도 사업장에 대해 정부차원의 각종 혜택이 강화되어야 한다. 또한 공업지대는 인구가 밀집되어 근방에 하수처리장이 반드시 존재하여 하수처리수를 원수로 하여 공업용수로 공급할 수 있으므로 경제적인 중수도의 보급을 위해 부단한 노력을 경주하여야 할 것이다. ●

〈참고문헌〉

곽결호, 중수도 제도 도입 시책, 환경보전, 1994. 2
 박기영, 박중현 중수도의 경제성, 상하수도 학 회지, 1993.1
 안규홍, 중수도 신기술 및 외국의 적용사례, 첨단 환경기술, 1994. 8
 외국의 중수도제 시행현황, 한무영, 환경보전 1994.3
 이봉훈 역, 중수도 편람, 건설대신 관방청 영선부
 제거대상 물질에 따른 각종 처리법, 첨단 환경 기술,

1994. 8
 중수도 기술개발 방안 연구, 건설부
 하수처리수의 재이용에 관한 기술적 검토, 첨단 환경기술, 1996.3
 환경 산업 총람 제4집, 1998, 환경관리 연구소
 한국의 환경 오십년사, 한국환경기술개발원 환경백서, 1997, 환경부