

부산시 수자원 확보를 위한 하수처리수 재이용 방안

김 정 배*, 문 승 건*, 박 룰**

동의대학교 건축설비공학과

Reuse Methods of Treated Sewage for securing Water Resource in Busan

Jung-Bae Kim*, Seung-Gun Moon*, Yool Park**

Department of Building System Engineering, Donggeui University, Busan 614-714, Korea

Abstract: Recently, we often encounter water shortage problem due to drought during dry season. Although we have built dams and expanded our tap water system greatly to meet the increasing demand of water, this approach has its inherent limitation including environmental destruction in the course of the dam construction. Therefore, this paper is aimed to analyze the water recycling models developed in other countries and modify them to fit into our system. Also the water recycling system in Busan municipal area was analyzed to propose an alternative method for reusing the recycled water from wastewater treatment area.

Key words: Environment(환경), Water resource(수자원), Reuse(재이용), Treated sewage(하수처리수)

1. 서론

우리나라의 연평균 강수량(1,245mm)은 세계평균(880mm)보다 1.4배 많지만, 높은 인구밀도 때문에 1인당 연간 평균 강수량(2,591m³)은 세계 평균(19,635m³)의 약 13%밖에 되지 않는다. 또한 강수량의 약 2/3정도가 손실되어 사용되는 총량은 강수량의 30% 미만에 그쳐 사실상 이용 가능한 강수량은 많지 않으며 우리나라의 1인당 물 사용량은 OECD의 다른 나라에 비해 높은 편이다. 그 이유는 생활패턴의 차이, 상수도 시설투자 및 수도요금 수준 등 여러 가지가 있다할 것이다. 이러한 상황이 지속되어 현재 갈수기에는 물 공급의 부족으로 단수지역이 발생하고 있으며 현재 전 세계적인 기상이변으로 인해 계절적, 시간적, 지

역적으로 강수량의 편중이 일어날 것으로 예상되어 안정적인 용수확보와 물 관리에 대한 대책이 시급하다.¹⁾

현재 부산시의 하수처리장은 9개소로 일정량을 처리하고 있으며, 처리된 물은 인근의 바다나 강으로 유출 시키고 있다. 이러한 처리수를 수질에 맞는 용도로 재이용하고 앞으로 건설되는 하수처리장의 위치나 시설을 재이용을 고려하여 반영한다면 큰 가치를 가질 수 있다.

부산시는 늘어나는 도시용수 수요에 따라 1987년 낙동강 하구둑을 건설하고 광역상수도를 확충하여 왔다. 하지만 댐건설을 통한 수자원개발은 환경적 측면에서의 문제뿐만 아니라 공사기간, 재정적 문제 등 많은 어려움을 지니고 있다. 이렇듯 현재까지의 물 수급 대책은 수요에 맞추는 공급형식이기에 국내의 수자원부족이란 현상을 감안할 때 상수도 위주의 공급체계에서 하수처리를 통한 사용용도에 따른 수자원의 재이용 방안이 요구되고 있다.

† Corresponding author

Tel.: +82-51-890-1984; fax: +82-51-890-2625

E-mail address: pyool@deu.ac.kr

이에 본 연구에서는 부산시 하수처리장의 처리량 및 주변현황 분석을 통해 하수처리수의 재이용 및 활용방안을 제시함으로써 수자원의 효율적 확보를 위한 기초자료로 제시하고자 한다. 이를 위해 현재 부산시에서 운영되고 있는 9개소의 하수처리장에서 2008년 6월부터 가동한 정관 하수처리장을 제외한 8개소를 대상으로 처리량, 수질현황, 처리구역, 처리구역 내 용도를 파악하였다. 또한 현재 부산시의 물 공급 대책의 문제점을 분석하고, 국내·외의 하수처리수 재이용 사례를 바탕으로 하수처리수 재이용의 여러 방안을 도출하였다. 이를 통해 하수처리장이 위치한 주변부를 중심으로 하수처리수와 각 용수의 수질을 비교하여 적정 용도를 선정하고, 각 하수처리장 인근의 이용 가능한 지역을 분별하여 재이용 방안을 검토하였다.

2. 국내·외 하수처리수 재이용 사례

2.1 국내

2007년 기준으로 전국에 가동 중인 하수처리장은 연간 유입되는 총 하수량은 약 65억³m³에 이른다. 이중 재이용된 방류수의 양은 9.9%인 6.4억³m³

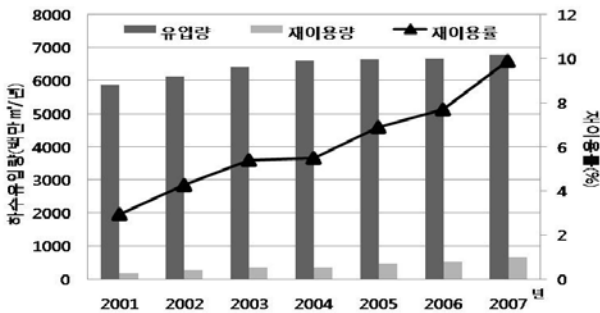


Fig. 1 연간 하수유입량 및 재이용율

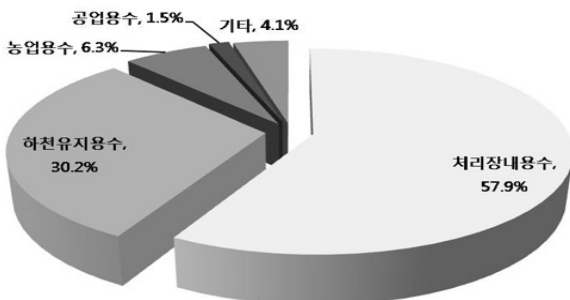


Fig. 2 용도별 재이용 비율

으로서 57.9%가 하수처리장내용수로 재이용되고 있으며, 농업용수, 하천유지용수 등으로 재이용하고 있다. 공업용수는 1.5%(0.1억³m³)에 불과하다. 하수처리수의 재이용율은 Fig. 1과 같으며, 매년 점진적으로 증가추세를 나타내고 있다.²⁾

대구의 경우 도심을 통과하는 신천은 하천의 수량이 부족하여 건천화가 진행되고 있었는데, 이의 방지를 위해 1997년부터 대구 신천하수처리장의 방류수를 신천 상류로 이송하여 하천유지용수로 재이용되고 있다. 경기도 부천시에서는 굴포천하수처리장의 방류수를 재처리하여 상동택지개발 지구에 비음용 생활용수로 공급하고, 같은 지역 내에 인공하천인 시민의 강에 하천유지용수로 공급하고 있다.

2.1 국외

1) 미국

미국에서는 하수처리장 방류수가 중수이용의 가장 중요한 수원이라는 것과 그 이용방식이 광역적인 특성을 보이고 있다. 미국은 수자원보호, 용수의 효율적인 이용, 대체 수자원 확보라는 관점에서 오래전부터 하수처리장 방류수 재이용을 추진해 왔으며, 방류수의 이용은 지역에 따라 다소 차이가 있지만 Table 1과 같이 7가지 용도로 분류할 수 있다.

2) 일본

하수처리수 재이용의 현황을 보면 하수처리장 밖에서 재이용되는 하수처리수의 총량은 최대 약

Table 1 미국 하수처리장 방류수 재이용용도

구분	주 이용처
농업용수	농작물 관개용수
조경용수	학교정원, 식물원 용수, 정원수
산업용수	냉각수, 보일러 용수, 공정수
지하수 함양	지하수보충 및 해수침입 방지용수
레크레이션	호수, 연못 및 습지 보충수, 하천 유지용수
생활용수	소화용수, 수세식 화장실 용수, 청소용수
음용수	지하수 또는 지표수와 혼합, 음용수로 이용

Table 2 부산시 하수처리장 현황

처리장명	개설 년도	처리용량 (m ³ /일)	방류량 (m ³ /일)	인구 (명)	처리구역	
수영	(1)	1988	286,000	231,846	929,021	동래구, 연제구전역과 금정·부산진·해운대·수영구일부
	(2)	1998	264,000	193,646		
강변	(1)	1990	330,000	206,498	945,124	사하구, 사상구, 북구전지역, 서구일원
	(2)	2001	285,000	150,020		
남부	1981	340,000	316,712	801,594	남구-전역, 부산진구·수영구·동구-일부	
서부	2003	15,000	7,021	26,078	강서구 강동동 및 대저1동 일원	
해운대	1996	65,000	36,715	424,455	해운대구, 좌동, 중동일부(청사포, 달맞이)	
녹산	2001	160,000	56,318	29,078	강서구(녹산, 명지동일부), 경남 진해시 일원	
중앙	2005	120,000	81,412	178,950	중구·서구전역, 동구일부지역	
기장	2006	27,000	16,251	81,159	기장군 기장읍 및 일광, 해운대구 송정일원	

480,000m³/일이다. 이는 고도 처리되는 전체 하수량의 1.5%에 상당하는 수량이다. 한 하수처리장 외부로 하수처리수를 공급하고 있는 하수처리장의 총수는 162개로서 전체 하수처리장 1,221개소의 13%에 달하며, 일 최대 재이용 수량은 전체 하수량의 3.9%에 해당하는 비율이다.

재이용의 용도는 조경용수로 가장 많이 이용되고 있으며, 다음으로 공업용수, 농업용수, 용설용수, 수세용수 등의 순으로 사용되고 있다.

3) 이스라엘

Kishon강 재이용 project는 Haifa 하수처리장에서 나오고 있는 57,000m³/일의 물을 30km 떨어진 Yzre'el Valley의 15,000ha 목화밭에 관개용수로 공급하는 사업이다. 이사업에는 4개월 동안 하수처리수를 저장할 수 있는 대형저수지가 포함되어 있으며 하수처리수는 이스라엘의 비제한적 관개용수 수질기준을 만족하기 위해 곳곳에서 염소주입을 통하여 소독되고 있다. Dan Region Wastewater Reclamation Project는 2단계에 걸친 총 19만m³/일 규모의 하수처리 재이용 사업으로서 농업관개용수의 공급이 주목적이다. 1970년부터 시작된 1단계 사업에서는 남부 Tel Aviv에서의 하수를 받아 pond 처리 및 화학침전으로 처리 후 이 물을 spreading basin에 담아 침투시켜 그 지역의 해안 지하 대수층을 재충전하였다. 2단계에서는 하수를 활성슬러지법과 고도질소처리 후 약 300일 체류 용량의 모래 대수층에 충전시키고 농사철에 필요시 관정으로 물을 뽑아내어 80km 정도 떨어진 남부건조지대인 Negev로 직경 178cm의 관

Table 3 방류수 수질기준

구 분	특정지역	기타지역
BOD(mg/L)	10 이하	20 이하
COD(mg/L)	40 이하	40 이하
SS(mg/L)	10 이하	20 이하
T-N(mg/L)	20 이하	60 이하
T-P(mg/L)	2 이하	8 이하
대장균군수(개/mL)	3,000 이하	3,000 이하

부산광역시 특정지역 : 낙동강수계지역 [부산광역시 금정구, 북구, 사상구, 강서구, 사하구]

로를 통하여 농업용수로 공급한다.³⁾

3. 부산시 하수처리장 현황

3.1 시설현황

부산시 환경시설공단에서 관리하고 있는 하수처리장은 2004년도에는 3개소로 운영 하였으며, 이후에 1개소씩 증가하여 2009년 현재 9개소로 운영중이다. 각 하수처리장은 담당하는 구역을 나누어 하수를 처리하고 있다. 정관 하수처리장을 제외한 하수처리장의 현황은 Table 2와 같다.

3.2 운영현황

우리나라는 환경정책기본법에 의해 수역 및 항목별로 수질환경기준이 설정되어있다. 수역별로는 하천, 호소, 해역으로, 항목별로는 생활환경기준과

Table 4 하수처리장 2008년 수질 현황⁵⁾

구 분	수영		강변		남부	녹산	서부	해운대	중앙	기장	
	(1)	(2)	(1)	(2)							
BOD (mg/L)	유입	137.6	129.2	146.3	151.3	100.7	98.1	129.3	231.5	106.0	89.2
	방류	8.6	7.9	5.4	6.1	6.6	2.8	0.9	2.3	2.7	1.2
COD (mg/L)	유입	79.7	74.9	106.6	110.1	53.3	74.4	82.0	140.9	65.5	36.1
	방류	10.8	8.6	16.0	17.3	10.2	13.4	6.9	8.8	8.9	5.2
S S (mg/L)	유입	135.6	128.0	200.8	203.9	101.2	72.1	124.1	241.5	107.1	95.4
	방류	4.0	4.2	6.7	6.6	3.2	2.6	0.9	1.1	3.6	1.1
T-N (mg/L)	유입	35.1	32.6	48.6	49.5	31.6	31.4	23.1	53.6	31.2	25.5
	방류	18.2	13.2	19.5	16.5	16.6	11.0	8.2	13.0	9.0	10.4
T-P (mg/L)	유입	4.7	4.3	5.3	5.3	3.1	3.3	3.2	6.5	3.1	2.7
	방류	1.5	1.5	0.7	0.7	1.5	1.2	0.9	1.1	0.5	0.9
대장균 (개/ml)	유입	201,394	195,460	73,276	76,882	120,372	20,085	104,320	212,107	114,214	23,880
	방류	477.1	402.8	87.2	86.3	99.3	36.3	51.7	360.8	289.0	247.8

Table 5 기타지역의 수질과 특정지역 수질 비교

구 분	특정 지역	남부	해운대	중앙	기장
BOD (mg/L)	10 이하	6.6	2.3	2.7	1.2
COD (mg/L)	40 이하	10.2	8.8	8.9	5.2
SS (mg/L)	10 이하	3.2	1.1	3.6	1.1
T-N (mg/L)	20 이하	16.6	13	9	10.4
T-P (mg/L)	2 이하	1.5	1.1	0.5	0.9
대장균 (개/mL)	3,000 이하	199.3	360.8	289	247.8

건강보호기준으로 구분되어 있다. 생활환경기준으로는 pH, BOD, COD, SS, DO, 대장균군수, T-N, T-P 등 8개로 규정되어 있으며, 건강보호기준으로는 Cd, As, CN, Hg, 유기인, Pb, Cr+6, PCB, 음이온계면활성제 등 6개로 구분하고 있다.⁴⁾

하수처리장이 지역에 따른 방류수 수질기준에 적합한 수질에 만족하는지에 대한 검토를 위하여 가동중인 하수처리수의 방류수 수질은 Table 4와 같으며, 하수도법(시행규칙 별표1)에서의 방류수 수질기준은 Table 3과 같다.

하수처리장의 방류수의 수질은 Table 5와 같이 기타지역의 하수처리장에서도 특정지역의 수질기준에 만족하도록 유입수가 처리되고 있음을 볼 수 있다.

4. 재이용 방안 검토

하수처리수를 재이용을 하기 위해서는 선행되어야 해야될 것은 하수처리장의 주변 지역의 물 사용 용도를 파악해야 될 것이다. 다음으로 하수처리장 주변 용도에 맞추어 하수처리수의 수질을

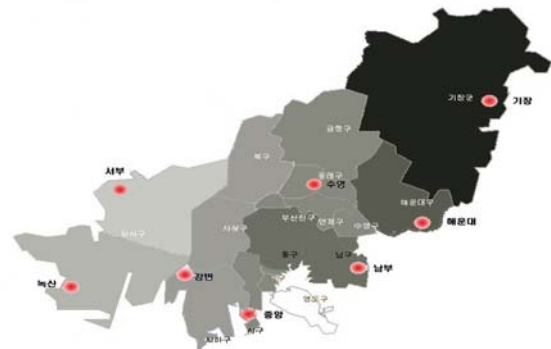


Fig. 3 하수처리장별 처리구역

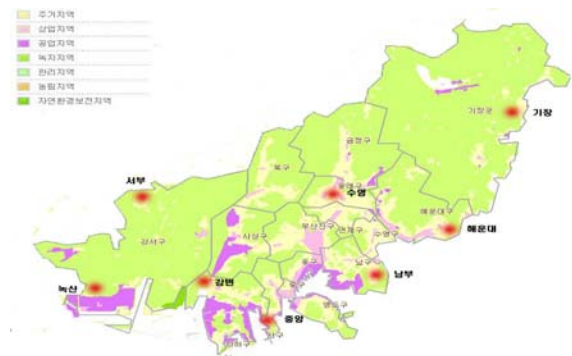


Fig. 4 지역별 용도구역

적정기준까지 처리하여 재이용이 이루어져야 될 것이다.

4.1 하수처리장별 용도 구분

부산시는 행정구역별로 16개의 구로 구분되어 지고 있으며, 하수처리장별 처리구역을 나타내면 Fig. 3과 같다.

하수처리장이 행정구역별로 담당하고 있지만, 행정구역만큼의 하수처리장이 설치되어 있지 않아 다른 구의 하수를 인접한 하수처리장으로 연계하여 하수를 처리하고 있다.

하수처리수를 재이용을 하기 위해서는 용도에 맞게 처리하여 공급이 되어 질 수 있게 하수처리장 주변의 지역을 용도별로 주거·상업·공업지역 등을 Fig. 4에 나타내었으며, 녹지지역은 물 사용량이 미비한 지역이므로 재이용지역의 용도로는 제외시킨다.

주거·상업지역의 분포는 16개의 모든 구에 분포되어있으며, 특히 주거지역은 강서구와 기장군을 제외하고는 주거지역이 고루 분포되어짐을 알 수 있다. 공업지역의 분포를 보면 강서구의 녹산공단과 사상·사하·동구에서 주로 분포 되어 있으며 나머지 지역에서도 공업지역이 미비하지만 분포됨을 알 수 있다.

하수처리수를 환경용수와 농업용수에 재이용하기 위해서는 하수처리장 주변에 하천이 위치해 있어야 되며 하수처리장 주변 하천의 위치를 파악하여야 한다. 하수처리장 주변의 하천을 지도에 나타내면 Fig. 5와 같다.

8개소의 하수처리장이 하수처리장 주변에 하천이 분포되어 있는 것을 볼 수 있다. 4대강인 낙동강의 주변에는 강변하수처리장이 위치되어 있고, 중앙·남부·해운대·기장하수처리장은 해안가와 인



Fig. 5 하수처리장 주변 하천

접해있다. 나머지 3개소에도 주변에 하천이 흐르고 있다.

4.2 용도에 따른 하수처리수 재이용 방안 검토

용도구역을 주거·상업·공업으로 나누면 Table 6에서와 같이 하수처리수의 재이용 용도를 나타낼 수 있다. 소화·청소용은 주거·상업·공업에서 공통적으로 재이용이 가능하다.

하수처리수의 효율적인 활용을 위해 처리장 주변의 용도를 파악하였고, 1차적으로 처리장 주변의 용도가 비율이 높은 용도에 하수처리수를 공급할 수 있을 것이다. 하수처리구역 내 행정구별 용도 비율은 Table 7과 같다.

하수처리수의 재이용은 광역적인 측면과 국소적인 측면으로 재이용 가능하다. 두 가지 측면에서 공통적으로 재이용용도 구분이 파악하는게 선

Table 6 용도구역별 재이용 용도

구 분	재이용 용도
주거	청소용, 소화용, 조경용
상업	소화용, 냉방용, 보일러용, 청소용
공업	냉각용, 보일러용, 제조공정용, 건설용 제품처리용수, 원료용, 청소용, 소화용

Table 7 하수처리구역 내 행정구별 용도 비율 (단위:%)

구 분	처리구역	주거	상업	공업
수영	금정구	15.05	0.95	1.47
	연제구	0.23	5.62	61.89
	동래구	60.16	7.03	-
	수영구	66.19	4.65	0.70
강변	북구	25.71	1.48	-
	사상구	22.68	1.25	18.89
	사하구	24.97	1.26	24.16
남부	남구	34.53	6.98	17.26
	동구	20.63	21.30	25.22
	부산진구	37.99	16.00	-
서부	강서구	4.43	0.66	6.19
해운대	해운대구	18.39	5.93	1.56
녹산	강서구	4.43	0.66	6.19
	서구	6.82	6.53	32.01
중앙	중구	33.44	52.43	8.35
	기장군	5.76	0.16	0.82

행이 되어져야 한다. 광역적인 측면에서는 하수처리장의 처리구역내의 용도에 맞는 수질에 적합하도록 공급이 이루어져야 하며, 국소적인 측면에도 각 용도에 맞는 수질이 적합하도록 이루어져야 한다. 아울러 처리장 구역의 인근에 재개발이나 신규개발지역에서는 인프라설비 구축 시 관로매설이 용이하므로 이런 지역에서는 하수처리수의 공급이 용이할 것이다. 특히 하수처리장 주변 용도에 맞게 하수처리수의 수질을 만족시켜야 재이용이 가능해진다.

4.3 재이용 시 문제점 및 활성화 방안

최근 처리기술의 발달로 인해 양질의 안정적인 용수공급이 가능하게 되어 그 사용범위가 점차 확대될 것으로 예상된다.

현재 본 연구에서는 하수처리수 재이용의 목표는 대체 수자원으로써 용수활용을 목표로 하는 단순 재이용이다. 즉, 하수처리장 방류수를 농업·공업·환경·청소용수 등으로 재이용함으로써 별도의 수자원 개발 없이 부족한 용수를 공급하여 지속가능한 물 공급체계를 구축하는 것이다. 그러나 정부의 노력에도 불구하고 재이용 산업은 답보를 거듭하고 있는데 그 원인은 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 중수도와 방류수 수질기준을 비교하면 항목에서 차이가 나며, 방류수 수질기준이 더 완화되어 있다. 하수처리장의 BOD와 COD는 중수도 수질기준을 만족하나 그 외 항목은 중수도 수질기준과 비교할 수 없다. 하수처리수를 중수도 등으로의 재이용 가능성을 평가하기 위해서는 다양한 기준으로 조사가 이루어져야 하며 이에 적합할 경우 세부적인 용도별 기준이 마련되어야 한다.

둘째, 하수처리수 재이용 사업은 사업규모에 비해 상수도 대체에 의한 수익규모가 작아 사업비의 70%이상을 국고에서 지원하는 기형적 재원구조이다. 현재 상대적으로 저렴한 수도재원확충이 정부 부담으로 인해 적극적인 사업 추진이 어려울 수밖에 없을 것이다. 이를 해결하기 위해 상수도 요금의 현실화를 통한 경제성 확보방안과 민간자본 유치를 통한 국고지원 부담 경감 등이 논의되고 있으나 물부족에 대한 체감에 비추어 볼 때 어느 하나 여의치 않다.

셋째, 하수처리기술의 발전으로 인해 방류수 수질이 크게 개선되었다고는 하나, 여전히 이를 재이용하는 문제에 대해서는 위생 및 심미적 불안감으로 인한 기피현상이 만연하다.

5. 결 론

하수처리수를 재이용을 하기 위해서는 물 부족 지역에서 용도별로 요구되는 수질과 기존의 하수처리수 수질을 비교하여 수질이 적합하도록 처리하여 재처리 없이 바로 공급이 되어져야 한다.

국소적인 재이용계획의 경우에는 하수처리장 인근지역의 물 사용량이 가장 많은 용도를 파악하여 하수처리수의 인근지역에 직접 공급되어 관로 매설설비의 비용을 줄이면서 하수처리수의 재이용을 극대화시킬 수 있을 것으로 사료된다.

또한 광역적인 하수처리수의 재이용계획을 수립하기 위해서는 선행되어야 할 것은 하수처리장 주변의 용도지역을 구분하고 공업·농업·환경·청소용수의 예상수량을 파악하여야 해당 용도에서의 하수처리수의 재이용이 효율적으로 활용이 이루어질 것이다. 하수처리장에서 거리가 먼 지역은 용도별로 공급방법이 연구되어야 할 것이며 물사용 용도별로 정확한 예상수량 파악은 향후 자세한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 환경부, 2007, 환경백서
2. 환경부, 2009, 물 재이용 활성화·가뭄 극복의 새로운 대안
3. 손정기, 2006, 하수처리장 방류수의 재이용을 위한 한외여과막 공정의 적용, 부경대 대학원
4. 박명술, 2004, 국내 하수처리시설 설계 및 운영 자료 분석을 통한 효율적 하수고도처리의 기술 정책적 연구, 건국대 대학원
5. 부산광역시 환경시설공단, 2008