

工業用水로서 下水處理水の 再利用

(釜山地域을 中心으로)

Reuse of a Treated Sewage as a Industrial water

— with regard to Pusan region —

釜山市 市政研究團

全 裕 燦

東亞大學校 教 授

姜 龍 太

I. 머리말

최근 급속한 도시의 팽창과 생활수준의 향상, 산업의 급속한 발전 등으로 사회기반 시설인 상수도의 용수수요량은 계속적인 증가 추세에 있다.

부산의 경우 상수도 급수사용량을 살펴 보면, 1991년말을 기준으로 25년전 제1차 상수도확장사업이 끝난 1966년의 일평균 급수량 92천톤과 비교해 볼때, 17배가 넘는 1,579천톤으로서 단위급수량이 96L에서 415L로 증가하였다. 그러나 정부의 200만호 주택건설사업의 일환으로 시행하는 택지조성사업과 지역경제 활성화를 위한공단조성사업 등의 활발한 추진으로 향후의 용수부족에 대비하여 현재 800천톤 규모의 제6차 상수도 확장사업과 300천톤 규모의 전용공업용수 공급사업이 추진중에 있다. 한편 이렇게 늘어나는 용수사용량에 비해서 상수원수의 대부분을 낙동강에 의존하고 있는 부산은 상류지역의 환경기초시설 미비로 인한 수질오염으로 원수수질이 3급

수에 해당되어 정수비용 증가와 함께 그 처리에도 어려움이 따르고 있으며, 강우의 계절적인 편중으로 안정적인 상수원수 확보에 문제가 되고 있다.

본 橋는 이러한 부산지역의 용수수급 상황을 극복하기 위하여 하수처리수를 공업용수로 이용하는 방안에 대해 검토해 보고자 한다.

II. 부산의 산업구조 및 용수이용 실태

2.1 부산의 산업구조

부산은 지리적으로 한반도 최남단에 위치한 임해공업지역으로서 국내최대의 무역항으로, 전국 컨테이너 물동량의 95.3%(2,447천TEU, 1991년말 기준)를 차지하고 있다.

산업구조는 취업인구를 기준으로 1차산업 1.8%, 2차산업 37.3%, 3차산업이 60.9%로 구성되어 있으며, 2차산업중 업종별 제조업체 현황을 살펴보면, 신발, 섬유, 조

립금속 등으로 노동집약형 경공업이 주종을 이루고 있다.

업종별 제조업체 현황

〈표 1〉

(1990. 12. 31 현재)

업종	구분	업체 수 (개)	종업원 수 (인)	년간생산액 (백만원)	공장연면적 (m ²)
음료·식료품		246	15,957	1,065,372	777,983
섬유·의복·피혁		1,229	79,450	2,327,355	1,642,503
나무제품		344	6,661	294,024	212,115
종이·인쇄·출판		272	6,372	240,852	171,865
화학·고무·플라스틱		1,590	160,067	4,466,840	1,955,028
비금속광물제품		105	3,472	277,842	135,147
제1차 금속산업		212	14,355	1,521,981	717,704
조립금속·기계장비		2,541	70,554	3,066,852	1,941,410
기타		202	7,338	212,720	172,384
계		6,741	364,196	13,473,838	7,726,139

2.2 부산의 용수수급 현황

날로 증가하는 인구와 생활향상 및 상공업의 발달 등으로 부산의 상수도는 이의 수요에 대처하기 위하여 5차에 걸친 시설 확장사업으로 1991년도의 상수도 보급율은 97.8%이며, 단위급수량은 415L이다.

상수원으로서는 낙동강 본류와 회동·범기 2개의 수원지를 사용하고 있으나 취수량의 대부분을 낙동강에 의존하고 있기 때문에 源水의 수질관리가 어렵고, 정수처리에 많은 문제가 따르고 있다. 따라서 수돗물의 톤당 單價도 1992년도의 경우 356원/m³로서 타도시들에 비해 높은 편에 속한다.

상수도 확장사업 개요

〈표 2〉

(單位：천톤/日, %, 천명, 1/人, 日)

구분	기존	1차	2차	3차	4차	5차	6차
증산년도	1945	1966	1970	1976	1982	1989	2001
시설용량	30	133	261	585	945	2,000	2,800
생산실적		92	242	505	751	1,362	1,854
급수사용량		52	114	271	465	795	—
유수율		0.56	0.47	0.54	0.62	0.58	—
급수인구		966	1,391	2,059	3,009	3,760	4,446
단위급수량		96	174	245	250	362	417

2.3 공업용수 이용실태 및 수요추정

부산지역의 공업용수 이용실태를 파악하기 위하여 1989년부터 1992년까지 4년간의 부산지역 공업용수(영업1, 2종) 사용량을 통계자료를 근거로 업종별로 조사해 본 결과, 1992년도의 하루평균 사용량은 193,453m³으로 추정되었다. 한편 이 값에 대한 비교판단으로서 표. 4의 제조업종별 공업용수 원단위를 이용하여 1990년도의 용수수

요량을 추정·비교해 본 결과, 제조업종별 원단위에 의한 용수추정량은 하루평균 181,380m³으로 통계에 의한 공급량 하루평균 172,688m³보다는 약간 많으나 근사값이 구해졌다.

또한 2000년대에 부산의 공업구조 변화에 따른 공업용수 수요량을 공단별로 추정하면 <표 5>와 같으며, 한편 市에서는 1999년까지 사업기간을 2단계로 구분하여 공업용수공급사업을 추진하고 있다.

부산의 공업용수 이용현황

<표 3>

(단위 : m³/일)

구 분	영 업 용			전용공업용	계
	1 종	2 종	3 종		
1984	65,356	69,540	61,013	3,520	199,429
1989	70,720	82,193	87,412	—	240,325
1990	80,159	92,529	103,091	—	275,779
1991	87,119	95,184	111,008	—	293,311
1992	89,902	103,551	111,594	—	305,047

제조업종별 용수원단위

<표 4>

(1990. 12. 31 기준)

구 분 업 종	용수원단위 (m ³ /m ² ·日)	공장연면적 (m ²)	공업용수량 (m ³ /일)
음료·식료품	0.031	777,983	24,117
섬유·의복·피혁	0.042	1,642,503	68,985
나무제품	0.011	212,115	2,333
종이·인쇄·출판	0.038	171,865	6,531
화학·고무·플라스틱	0.023	1,955,028	44,966
비금속광물제품	0.009	135,147	1,216
제1차 금속산업	0.010	717,704	7,177
조립금속·기계장비	0.012	1,941,410	23,297
기 타	0.016	172,384	2,758
계		7,726,139	181,380

공업용수 수요추정

〈표 5〉

구 분	부지면적 (천m ²)	용수수요량 (m ³ /일)	비 고
계	17,551	300,000	시설용량
녹 산 공 단	5,242	90,000	300,000
사 상 공 단	4,867	76,000	
장 립 공 단	4,642	91,000	
감 천 공 단	2,205	35,000	
다 대 공 단	595	8,000	

Ⅲ. 공업용수로서 하수처리수의 재이용

3.1 중수도 도입의 필요성

부산의 경우 공업지역에 위치한 공장의 폐수배출 실태조사 결과에 의하면, 대부분의 공장들이 폐수배출량 3,000m³미만으로서 공장폐수의 배출허용 기준치인 BOD, COD, SS가 150ppm 이하로 방류되고 있으며, 한편 현재 가동중인 수영 및 장림하수처리장의 1991년도 방류수질현황을 살펴보면, 생물학적 산소요구량 BOD는 각각 8.4-16ppm, 8.3-27ppm이며, 부유물질 농도 SS는 각각 3.5-8.7ppm, 10.3-32ppm으로 현재의 방류수질기준에는 만족하나 1996년 1월부터 적용되는 수질기준에는 미흡하며, 특히 수온이 낮은 겨울철이나 악성폐수가 유입되는 경우, 또는 유량변동이 심한 경우에 窒素와 磷을 처리하기 위한 하수의 3차 처리 공정이 필요하다.

한편 1993년에 수립한 하수도정비 기본계획을 보면, 하수도정비가 완료되는 2011년에는 기존하수처리장을 포함하여 총13개

하수처리장에서 하루평균 2,487천톤의 하수가 처리되는 것으로 계획되고 있다.

따라서 급속한 도시의 팽창과 생활수준의 향상, 산업의 급속한 발전 등으로 각종 용수 수요량이 급속히 증가 추세에 있는 이즈음, 공업용수로서 중수도를 도입하여 용수부족에 보다 능동적으로 대처하고, 상수수급의 완화와 대체수원 확보측면에서 하수처리수를 재활용하는 중수도의 도입은 필요한 일이다.

3.2 공업용수의 용도별 수질기준

중수도를 공업용수로 사용하기 위해서는 우선 공업용수의 용도 및 수질기준을 살펴볼 필요가 있다. 공업용수는 용도에 따라, ① 보일러 용수, ② 원료용수, ③ 제품처리용수 및 세정용수, ④ 냉각용수 및 온도조절용수 등으로 구분되며, 그 기준도 생산품의 질, 생산기기의 유지관리, 생산과정의 효율성 등의 영향을 고려하여 결정한다.

1) 보일러용수

보일러용수로서 자연수를 그대로 사용하면 용수중의 불순물로 인해 여러가지 장애의 원인이 되며, 그중 가장 문제가 되는 것은 硬度性分에 의한 스케일의 생성과 용존 산소 및 부식성 물질에 의한 보일러 재질의 부식, 보일러水 농도와 실리카 농도의 증가에 의한 Carry-over등을 들 수 있다.

2) 원료용수

용수가 원료로서 또는 그 일부로서 이용되는 경우, 수질의 조건이 바로 제품의 질을 좌우하는 경우가 크며, 그 중에서도 양

조, 제빙, 청량음료, 식품가공 등의 제조용수는 수질이 문제되는 경우가 많다. 특히 이들은 음용수의 수질기준에서 뿐만 아니라, 무미투명하고 이취미가 없어야 하며, 세균학적으로도 안전해야 한다. 따라서 제약회사의 약품제조용수는 고도의 純水가 필요하다.

3) 제품처리·세정용수

용수가 화학적으로 원료 혹은 반제품과 반응하거나 또는 제조과정에서 접촉하여 물리적인 조작을 할 경우에 이용되는 용수로서 종이나 펄프제조용수로서 많이 사용되며, 요구되는 수질은 제품의 품질에 따라 달라진다.

4) 냉각 및 온도조절용수

공업용수의 용도가운데 양적으로 가장 많이 쓰이는 것으로서, 냉각용수의 조건은 가능한 한 低溫으로서 년중 온도변화가 적고, 스케일 또는 슬러지 등의 부착에 의한 장애가 없으며, 금속에 대한 부식성 등이 없어야 한다.

한편 하수처리수를 공업용수로 사용하기 위해서는 용수수요처의 업종별 용도를 충분히 파악한 후, 목표수질을 결정하고 처리시스템을 구성하도록 하여야 한다. <표 1>에서 부산지역 공업의 주종산업을 살펴보면, 화학·고무·플라스틱과 섬유·의복·피혁 및 조립금속·기계장비업종으로서 보일러용수는 화학공업, 냉각용수는 화학공업

일본의 공업용수 용도별 수질한계치

<표 5>

區 分	障 害	냉각용수	보일러용수	제품처리세정	온습조정
濁 度	腐 蝕	10도이하	5도이하	5도이하	5도이하
電氣傳導度		150 $\mu\Omega$			150 $\mu\Omega$
鹽 素 이 온		15ppm이하	10ppm이하		15ppm이하
p H	스케일	7.5이하	7.0이하	6.0-8.5	7.5이하
알 카 리 度		50ppm이하			50ppm이하
硬 度		50ppm이하	50ppm이하		50ppm이하
蒸發殘留物			100ppm이하	100ppm이하	
실 리 카			10-15ppm이하		
色 度	變 色			10도이하	
鐵		0.5ppm이하		0.5ppm이하	0.5ppm이하
망 간	슬라임			0.1ppm이하	
암모늄이온		1ppm이하		1ppm이하	1ppm이하
B O D		1ppm이하		1ppm이하	1ppm이하
C O D	發 泡	2ppm이하	2ppm이하	2ppm이하	2ppm이하
A B S				0.5ppm이하	0.5ppm이하

및 철강업, 온습조절용수는 섬유공업, 제품 처리 및 세정용수는 종이·펄프공업, 원료용수는 식품공업 등을 들 수 있다.

〈표 5〉는 일본의 공업용수에 대한 용도

별 수질한계치이며 〈표 6〉은 일본의 공업용수 기준과 東京都의 江東地區 南千住淨水場 및 부산장림하수처리장의 방류수질을 나타낸 것이다.

공업용 공급수질 기준 및 실적

〈표 6〉

項 目	供給水質 基準		江東地區 南千住淨水場	釜山 長林 下水處理場
水 溫 (°C)	27 이하		20.8	—
濁 度 (度)	15 이하		1.2	14
水 素 이 온 濃 度	5.8 — 8.6		6.9	7.26
鹽 素 이 온 (ppm)	江東地區	城北地區	66.7	545
	1,500이하	200이하		
鐵 이 온 (ppm)	0.7이하	0.3이하	0.06	0.321
酸 消 費 量 (ppm)	—		75.0	—
全 硬 度 (ppm)	—		99.9	290
蒸 發 殘 留 物 (ppm)	—		340	—
色 度 (度)	—		15	100
電氣傳導率(μS/cm)	—		621	—

IV. 일본의 사례

일본의 공업용수 이용현황을 살펴보면, 공업용수로서 공업용 수도를 비롯한 지하수, 수도수 등을 이용하고 있으며, 1988년 현재 이용현황 〈표 7〉은 58,612개 사업장에 1일 176,794천톤에 이르고 있다. 이 가운데 淡水는 79%인 139,525천톤, 海水는 21%인 37,269천톤을 차지하고 있다. 淡水中 再生水對 보급수의 비율은 75:25로서 보급수의 水源別 內譯보면, 공업용 수도가 12,009천톤(34.8%), 井戶水가 10,292천톤(29.8%), 地表水 등이 12,184천톤(35.4%)

이며, 또한 담수의 용도별 사용량〈표 8〉을 보면, 냉각용수가 67.4%, 세정용수가 19.2%, 온도조정·보일러용수 등이 13.4%를 차지하고 있다.

한편, 일본은 수자원의 합리적 이용을 위하여 사용한 공업용수를 회수하여 재이용하고 있다. 그 회수율의 추이를 살펴보면, 1965년도에 36.5%에서 1970년 51.7%, 1975년 66.9%, 1980년 73.6%, 1988년 75.3%에 이르고 있다.

또한, 이것을 제조업종별로 살펴보면, 1988년도의 경우 수송용 기계기구 제조업, 철강업, 화학공업등은 92.4%, 89.9%, 80.9%로 회수이용율이 높으나 섬유공업, 목재

제품 제조업에서는 20.6%, 14.1%로 저조하며, 일반적으로 물을 많이 소비하는 펄프
 • 종이 가공품 제조업종은 41.1%를 차지하고 있다.

日本の工業用水 使用現況

〈표 7〉

區分 年度	事業 體數	使用量			淡水 内 譯							
		海水	淡水	計	補給水						回收水	計
					工業用 水道	上水道	地表水 伏流水	地下水	其他	小計		
1980년	53,831	(22.9) 41,313	(77.1) 138,927	(100.0) 180,204	(32.7) 12,015	(6.9) 2,517	(27.1) 9,955	(32.1) 11,775	(1.2) 441	(100) 36,703	(26.4) <73.6>	(100.0) <100.0>
1985년	57,420	(21.8) 38,282	(78.2) 137,309	(100.0) 175,591	(33.9) 11,829	(6.9) 2,423	(27.6) 9,633	(30.4) 10,625	(1.2) 419	(100) 34,929	(25.4) <74.6>	(100.0) <100.0>
1988년	58,612	(21.1) 37,269	(78.9) 139,525	(100.0) 176,794	(34.8) 12,009	(7.0) 2,406	(27.1) 9,341	(29.8) 10,292	(1.3) 437	(100) 34,485	(24.7) <75.3>	(100.0) <100.0>

日本の工業用水(淡水) 用度別 使用量

〈표 8〉

(單位: 千m³/日, %)

구 분	보일러 용 수	원료용수	제품처리 세척용수	냉각용수	온도조정 용 수	기 타	계
1980년	(1.4) 1,968	(0.3) 385	(19.8) 27,511	(69.0) 95,841	(5.9) 8,119	(3.6) 5,023	(100.0) 138,927
1985년	(1.3) 1,733	(0.2) 271	(19.7) 27,112	(68.7) 94,290	(6.4) 8,728	(3.7) 5,175	(100.0) 137,309
1988년	(1.3) 1,754	(0.3) 376	(19.2) 26,799	(67.4) 93,998	(6.8) 9,487	(5.0) 7,111	(100.0) 139,525

V. 맺 음 말

부산과 같이 지리적으로 강 하구에 위치하고 있어 도시들은 양질의 상수원수 및 공업

용수 확보에 어려움이 많다. 한편 1996년부터 적용되는 방류수 수질기준은 하수의 고도처리를 요구하고 있으며, 따라서 하수종말처리장에서 처리, 방류되는 하수는 향후 새로운 대체수원으로서 그 가치가 부각되고 있

다. 중수도제도의 초기단계에 있는 우리나라는 수자원의 합리적인 이용방안의 하나로 하수처리수를 공업용수로서 재이용하기 위해서 이에 대한 수처리기법을 시급히 개발토록 노력해야 한다.

〈參考文獻〉

1. 부산직할시, 市政白書. 1992
2. 통계청, 광공업 통계조사 보고서. 1992
3. 부산직할시, 부산통계연보. 1979, 1992
4. 부산직할시 상수도사업본부. 업무보고, '93. 8
5. 부산직할시, 부산직할시 수도급수조례, (별표 3) 업종구분표, 현행자치법규집 (Ⅲ). pp.777, 1992
6. 한국산업개발연구원, 녹산공단 공업배치 기본계획. 1991
7. 부산직할시, 臨海工團工業用水道 基本設計 報告書. 1986
8. 栗林 宗人, 高度處理と再利用, 山海堂. 1989
9. 村田 恒雄, 下水の高度處理技術, 理工圖書. 1992
10. 日本總務廳 行政監察局, 水資源の開發・利用の現狀と問題點. p.26, 1990
11. 일본공업용수협회, 공업용수 수질기준제정위원회. 1971