

碩士學位論文

# 下水處理場 放流水의 再利用에 關한 研究

- 國內外 事例를 中心으로 -



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

土木工學專攻

李 正 彦

2 0 0 5

碩士學位論文

# 下水處理場 放流水의 再利用에 關한 研究

- 國內外 事例를 中心으로 -

指導教授 楊 城 基



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

李 正 彦

2 0 0 5

# 下水處理場 放流水의 再利用에 關한 研究

- 國內外 事例를 中心으로 -

指導教授 楊 城 基

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2005 年 1 月 日



建設環境工學科

土木工學專攻

李 正 彦

李正彦의 工學 碩士學位論文을 認准함.

2005 年 1 月 日

委 員 長 印

委 員 印

委 員 印

# 目 次

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 目 次 .....                        | i   |
| LIST OF TABLES .....             | ii  |
| LIST OF FIGURES .....            | iii |
| I. 서 론 .....                     | 1   |
| II. 하수처리장 방류수의 재이용 기술 .....      | 3   |
| 1. 중수도의 개념과 분류 .....             | 3   |
| 2. 하수처리장 방류수 재이용기술 .....         | 4   |
| 3. 하수처리장 방류수 재이용기술의 장·단점 .....   | 37  |
| III. 국내외 하수처리장 방류수의 재이용 현황 ..... | 39  |
| 1. 국내의 하수처리장 방류수 재이용 현황 .....    | 39  |
| 2. 제주도의 하수처리장 현황 .....           | 43  |
| 3. 외국의 하수처리수 재이용 현황 .....        | 48  |
| IV. 하수처리수 재이용의 문제점 .....         | 82  |
| 1. 경제적 요인 .....                  | 82  |
| 2. 기술적 측면 .....                  | 83  |
| 3. 위생상의 문제점 .....                | 84  |
| 4. 관리상의 문제점 .....                | 85  |
| 5. 법적 제도적 문제점 .....              | 85  |
| 6. 기타 문제점 .....                  | 86  |
| V. 하수처리수의 적절한 재이용 방안 .....       | 87  |
| 1. 재이용 방식 및 상호보완 시스템 .....       | 87  |
| 2. 재이용 방식 의 장·단점 .....           | 95  |
| 3. 하수재이용 확대 방안 .....             | 96  |
| 4. 하수재이용 보급 방안 .....             | 99  |
| 5. 제주도의 하수재이용 보급방안 .....         | 107 |
| VI. 결 론 .....                    | 110 |
| 참고문헌 .....                       | 112 |

## LIST OF TABLES

|   |     |
|---|-----|
| Table 1. Rapid filter apparatus .....   | 9   |
| Table 2. Quantity of activated carbon added by the quality of inflow water in activated carbon adsorption tower .....             | 17  |
| Table 3. Chloride injection rate .....  | 27  |
| Table 4. Required pressure and quantity of mixed industrial water in chloride injector .....                                      | 29  |
| Table 5. Latent heat of vaporization by temperature of chloride .....   | 31  |
| Table 6. Strong points and weak points of recycling of effluent from sewage plant .....   | 38  |
| Table 7. Status of construction of recycled water supply system by city and province of the country (as of the end of 2002) ..... | 40  |
| Table 8. Maintenance quantity by function in Gwangju stream .....   | 42  |
| Table 9. Wastewater Treatment Plants in Jeju .....  | 44  |
| Table 10. Sewage Inflow in Wastewater Treatment Plants in Jeju .....  | 45  |
| Table 11. Quarterly Sewage Inflow in Wastewater Treatment Plants in JeJu .....  | 46  |
| Table 12. Quality Comparison of Water Discharged from Water Disposal Plants in Jeju and in the Main Land .....                    | 47  |
| Table 13. Usage and limited factor of treated sewage in the U.S.A. ....   | 61  |
| Table 14. Status of industrial water recycling (U.S.A.) .....   | 62  |
| Table 15. Examples of recycling of treated sewage in Los Angeles .....  | 72  |
| Table 16. Process selection for various utilization of water .....  | 77  |
| Table 17. Characteristics by circulatory utilization method .....   | 94  |
| Table 18. Strong points and weak points of recycling .....  | 95  |
| Table 19. Support rate of national treasury to environment basic facilities .....   | 103 |

## LIST OF FIGURES

|  |    |
|--|----|
| Figure 1. Classification of types of rapid filters .....   | 5  |
| Figure 2. Examples for diagram of advanced method of sewage treatment including activated carbon adsorption facility ..... | 12 |
| Figure 3. Examples for diagram of physiochemical treatment facility with activated carbon adsorption facility .....        | 12 |
| Figure 4. Relationship of pressure and water flux on ultrafiltration membrane .....  | 20 |
| Figure 5. Examples for membrane separation by cross flow method .....  | 20 |
| Figure 6. Mechanism of reverse osmosis .....   | 21 |
| Figure 7. Plate module .....   | 23 |
| Figure 8. Spiral module .....  | 24 |
| Figure 9. Hollow fiber type module .....   | 24 |
| Figure 10. Basic diagram of membrane separation method .....   | 25 |
| Figure 11. Examples of module arrangement .....  | 25 |
| Figure 12. Required area and arrangement for 3600kg chloride injector .....  | 30 |
| Figure 13. Specification of general ultraviolet lamp .....   | 35 |
| Figure 14. Diagram of module and bank of UV lamp .....   | 36 |
| Figure 15. Water Disposal Process in Wastewater Treatment Plants in Jeju .....   | 43 |
| Figure 16. Circulatory recycling method of treated sewage in Japan .....   | 50 |
| Figure 17. Additional treatment method by the purpose of recycling .....   | 52 |
| Figure 18. Open circulation method .....   | 88 |
| Figure 19. Closed circulation method .....   | 92 |
| Figure 20. Circulation method by purpose of use .....  | 94 |
| Figure 21. Procedure on treated sewage recycling plan execution .....  | 97 |

# Study on Recycling of Effluence from Sewage Plant

– focused on domestic and foreign cases –

Jung-eon Lee

*Department of Construction and Enviromental Engineering*



*Gradate School of Industry*  
제주대학교 중앙도서관  
*Cheju National University*

*Supervised by Porfessor Sung-kee Yang*

## ABSTRACT

Recycled water is the water that is used once or repeatedly regardless the type of use and 'recycled water supply system' is the system to supply with recycled water. Most of sewage, of which the source is recycled water, is almost constantly maintained and produced in spite of drought, thus, it is a soured if it is appropriately treated. Although sewage

is recognized as a dirty and unclean subject, sewage of which 99% is consisted of water may be treated to produce very clean water, thus it is a good subject that may be utilized as an alternative water resource.

Current total sewage treatment capacity of the country is 6,460 million cubic meters a year in 150 plants; 121 plants (app. 80%) execute recycling of sewage and recycling performance is 150 million cubic meters a year with merely 2.3% recycling ratio in treatment capacity.

In case of jeju island, there are three sewage plants with 450 million cubic meters of capacity a year, however, recycling performance is zero at the moment. Recycled water from effluent from sewage is rarely used as drinking water or washing water and is mostly used as municipal water, agricultural water, gardening of golf course, and industrial water. If effluent from sewage plant is recycled in Jeju Island, quantity of ground water pumped may be decreased and utilization of effluent as artificial recharge water of ground water may elevate quantity of unused ground water. Additional effect such as prevention of seawater penetration and removal of potential drying up of ground water is also possible with expected result of large elevation of social convenience and profit in Jeju territory because effluent removes negative influence on marine ecosystem.



# I. 서 론

물은 어떠한 물질로도 대체할 수 없는 자원이며 물이 없으면 어떤 생명체도 제대로 생존할 수 없다. 이같이 전 세계적으로 소중한 자원인 물은 급속하게 진행된 산업화와 도시화의 진전으로 심각하게 오염되고 수요량 또한 급격히 증가하여 최근에는 사용가능한 물마저 점점 부족해지고 있는 실정이다. 그 동안 물에 대해 별 어려움 없이 지내왔던 우리나라도 도시화, 산업화 및 생활수준의 향상에 따라 용수수요는 급증하는 반면 가용수자원은 한계에 달하여 2006년 이후 전국적으로 물 부족 현상이 발생할 것으로 전망되고 있다. 그러나 대규모 댐개발 등에 의한 새로운 수자원이 개발은 개발적지의 부족과 많은 수몰민 발생에 따른 지역주민의 반대 및 환경파괴에 대한 우려 등으로 한계점에 도달하고 있는 실정이다.

우리나라에서는 장래 예상되는 물 부족에 대비하기 위하여 쓰고 버린 각종 오·폐수를 재처리하여 식수와 같이 청정하지 않아도 되는 허드렛물, 즉 수세식변소용수, 살수용수, 조경용수, 세차·청소용수 등으로 재이용하는 중수도 제도를 도입하여 대형 빌딩이나 공장등 다량의 물을 사용하는 건축물이나 시설에 대하여 중수도의 설치를 권장하고 있다(환경부, 1999). 2001년 개정된 수도법에 의해서는 물을 효율적으로 이용하기 위하여 일정규모 이상의 시설물은 단독 또는 공동으로 사용수량의 10퍼센트 이상을 재이용할 수 있는 중수도를 설치·운영하도록 의무화 되어 있다.

우리나라의 수자원은 연평균 강수량이 1,274mm로서 세계 평균 973mm의 1.3배에 달하고 있으나, 높은 인구밀도 때문에 연간 1인당 평균 강수량은 세계 평균인 22,096m<sup>3</sup>에 비해 12.5%인 2,755m<sup>3</sup>에 불과한 실정이다. 더구나 강수량이 대부분 6~9월에 집중됨으로써 갈수기에는 하천수가 부족하여 용수확보와 수질관리에 어려움을 겪고 있는 반면, 홍수기에는 물이 넘쳐 수해가 빈발하는 등 수자원관리에 매우 불리한 조건을 가지고 있다(국무총리수질개선 기획단, 2000).

1년 동안 내리는 강수량 1,267억m<sup>3</sup> 가운데 이용가능한 양은 약 24%인 301억m<sup>3</sup>에 불과하며, 수질오염으로 인해 이용 가능한 지표수 자원은 줄어들고 있다. 지하수의 경우

에도 지질구조상 대규모 개발이 곤란할 뿐 아니라 오염으로 인해 연간 26억<sup>m<sup>3</sup></sup>정도가 개발·이용될 뿐 대체 수자원으로서의 역할에는 한계가 있다. 이러한 물부족 상황에 대처하기 위해서는 댐건설을 통한 신규 수자원 개발도 중요하지만, 수자원을 효율적으로 이용하기 위한 물절약 운동뿐만 아니라 방류되는 하수처리수를 순환시켜 재이용하고자 하는 노력이 필요하다(환경부, 1999).

제주도의 경우 연평균강우량은 1,978mm에 이르지만 다우년(1999년 2,944mm)과 과우년(1996년 1,422mm)간의 편차가 1,500mm에 이를 정도로 매우 커 지하수 함양량과 적정 개발량은 안정된 상태를 유지 못하고 강수량에 따라 불안정한 상태를 유지하고 있다.

제주도의 향후 물 관리정책은 지하수 - 빗물 - 하수를 연계한 통합 물 관리체계로 전환할 필요성이 있다. 특히, 향후의 수자원 개발 및 이용에 있어 경제성과 현실성에 너무 집착해 손쉬운 방법으로만 해결하고자 한다면 지하수 과다개발로 인해 생겨나는 여러 가지 문제를 해소하지 못할 뿐만 아니라 지하자원을 고갈과 오염으로부터 보호하지 못하는 결과를 초래할 수 있음을 경계해야 할 것이다.

어승생 저수지 및 광역상수도는 모두 지하수를 수원으로 개발하고 있는데 반하여 하수처리장 방류수 재이용은 그동안 추진해온 수자원개발 및 이용과는 다른 “물 재이용”개념이다. 다시 말해서 지금까지는 자연적인 물 순환과정으로부터 필요로 하는 수량을 확보하는 수동적 수자원개발에 얽매어 왔지만 하수처리장 방류수 재이용 프로젝트는 수처리 기술을 이용해 물 순환의 불확실성을 극복할 수 있는 적극적인 수자원 확보 방안이다(제주도, 2003).

이 연구에서는 장래의 물 부족 사태에 대비하기 위해서 막대한 양으로 방류되는 하수처리수의 재이용 보급 및 확대를 위해서 국내외 및 제주도의 하수처리수 재이용 사례 및 문제점을 살펴보고 방류수를 효율적으로 재이용하기 위한 기술적인 방안을 제시하였다.

## II. 하수처리장 방류수의 재이용 기술

### 1. 중수도의 개념과 분류

#### 1) 중수도의 개념

일반적으로 용수의 재이용이란 “한번 사용한 물을 처리하여 다시 이용하는 것”을 말하며, 한번 사용한 물을 어떠한 형태로든 한번 혹은 반복적으로 사용하는 물을 중수(中水)로 정의하고 있다. 또한 수도법에서는 사용한 수돗물을 생활용수·공업용수 등으로 재이용 할 수 있도록 다시 처리하는 시설을 중수도로 정의하고 있다(건설부, 1994).

#### 2) 중수도의 분류



##### (1) 중수도는 시설 및 이용형태에 따른 분류

중수도는 시설 및 이용형태에 따라 단독이용방식, 복합이용방식, 공공이용방식의 3가지 유형으로 다음과 같이 분류할 수 있다.

##### ① 단독이용방식

단독 건축물이나 공장에서 발생하는 오·폐수를 자체 처리시설에서 처리한 후 재이용하는 유형으로 우리나라에서 가동중인 중수도의 대부분은 이 방식을 채택하고 있다.

##### ② 복합이용방식

인접한 여러개의 건축물이나 공동주택 등에서 발생하는 오·폐수를 한곳으로 모아 처리 한 후 재이용하는 유형이다.

##### ③ 공공이용방식

하수처리장이나 폐수처리장에서 처리된 처리수(방류수)를 한번 더 처리한 후 재이용하는 유형으로서 하와이주 오아후섬의 호노울리우리(Honouliuli) 방류수 재

이용시설은 공공이용방식의 좋은 사례이다.

## (2) 중수도의 순환방식에 따른 분류

중수도는 순환방식 측면에서 개별순환방식, 지구순환방식, 광역순환방식으로 구분할 수 있다.

### ① 개별순환방식

개별순환방식은 단독이용방식과 같은 의미로서 대형 건축물, 공장 등에서 발생하는 오·폐수를 자체적으로 처리한 후 동일 건축물이나 공장에서 재이용하는 형태를 말하며, 수도법(제1조 및 같은 법 시행령 제15조)에서 규정하고 있는 중수도 설치 대상은 이 유형에 해당한다.

### ② 지구순환방식

지구순환방식은 대규모 공동주택단지나 신도시 등 일정 지역내에서 발생하는 오·폐수를 처리하여 그 지역내에 재사용하는 방식으로서 복합이용방식과 같은 의미이다.

### ③ 광역순환방식

광역순환방식은 일정지역내의 하수처리장에서 배출되는 처리수를 재처리 한 후 비교적 넓은 지역에 공급하는 재이용하는 형태로서 앞에서 설명한 공공이용방식과 같은 의미이다.

## 2. 하수처리장 방류수 재이용기술

하수처리장 방류수는 수질환경보전법에서 정하는 수질기준이하로 하수처리 공정을 통해 처리가 된 물이기 때문에 고농도의 오염물질을 포함하고 있지는 않지만 질소화합물·유기물질·유기화합물·염류 등이 포함돼 있을 수 있기 때문에 기존의 표준활성슬러지법과 같은 공정으로는 이들 물질을 효과적으로 걸러내는데 어려움이 있다(서울시정개발연구원, 1999). 하수처리수를 재이용하기 위한 공정은 기존 하수처리장의 1·2차 처리공정과 급속사여과, 활성탄 흡착, 막공법, 염소소독 또는 UV소독 등으로 구성되어 있다.(환경부, 2001)

이 연구에서는 2차 처리시설의 설치기준은 일반화되어 있기 때문에 1·2차 처리시

설은 제외하고 재이용을 위한 추가 공정인 급속여과, 활성탄 흡착, 막공법, 염소소독 또는 UV소독 등을 중심으로 살펴보고자 한다.

### 1) 급속여과법

급속여과법은 안정된 처리성을 얻을 수 있고, 운전도 용이하며, 2차 처리수질의 향상을 기대할 수 있는 고도처리의 기본공정이다. 급속여과법은 모래, 안트라사이트 등의 입상여재로 이루어진 여층에 비교적 높은 속도로 유입수를 통과시켜 여재에의 부착 또는 여층내에 걸리는 등의 처리기작에 의해 부유물을 제거하는 방법이다(강등, 1995; 곽, 1998).

활성슬러지법 등에 의한 하수의 2차처리수에는 통상 5~20mg/ℓ 정도의 미생물플록을 주체로 한 SS가 포함되어 있다. 이 SS를 제거하면 더욱 청정한 처리수를 얻을 수 있다. 또한 질소, 인 제거를 목적으로 한 처리공정의 처리수중에 포함된 SS를 제거함으로써, 보다 안정된 질소, 인 제거를 기대 할수 있다. 더욱이 처리수의 재이용에 있어서 SS의 제거에 의해 탁도가 감소되어 처리수의 미관이 향상되며, 소독전에 부유물을 제거함으로써 소독의 효과가 증대한다. 급속여과지의 형식은 여과방식에 따라 Fig. 1과 같이 분류할 수 있다.

처리수의 장래 재이용을 위한 여과시설로서는, 압력식 여과장치와 상향류 이동상형 여과장치가 대다수를 점하고 있지만 고도처리, 장래 재이용을 위한 대형시설로서는 중력식 하향류 여과지 및 상향류 여과지가 많이 채용되고 있다(서울시정개발연구원, 1999; 환경부, 2001).

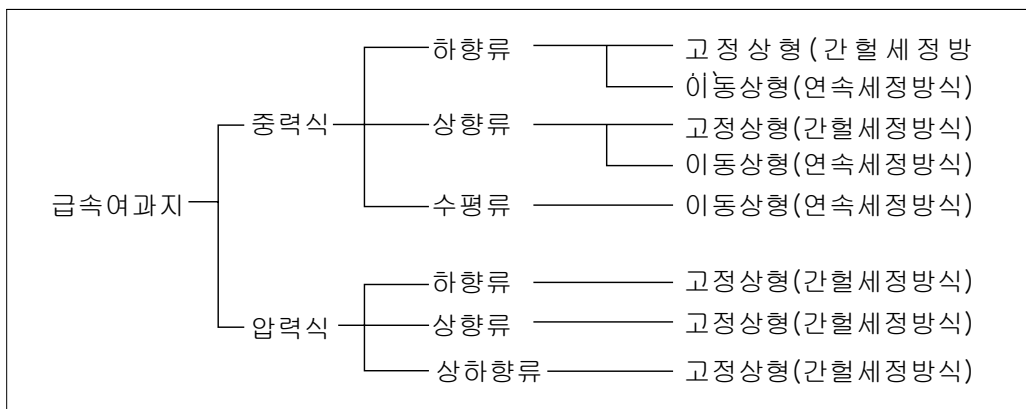


Fig. 1. Classification of types of rapid filters

### (1) 급속여과장치

여과방법은 중력식과 압력식이 있고, 그 선택은 설치조건, 계획수량 등에 따라서 정한다. 일반적으로 쓰이는 급속여과장치를 나타내면 Table 1과 같다. 중력식 여과장치는 여과지내에 자유수면을 가지며, 지내의 수위와 유출수 수위의 수두차를 이용해서 여과가 이루어지고, 강재 또는 철근콘크리트재로 제작된다. 압력식 여과장치는 밀폐구조로 되어 있는 여층의 위쪽면에 압력이 걸리게 되어있다. 중력식에서는 손실수두를 크게 취하기 위해 측벽을 높게 하지만, 압력식에서는 유입압력을 높이는 것만으로도 여과조작이 가능하다. 그러나 압력식에서는 내압이 걸리므로 재질은 강판이어야 하고, 형상도 원통형으로 하는 것이 일반적이다. 또 계획수량이 비교적 적은 경우에 주로 사용된다.

여층의 구성은 SS의 제거율이 높도록 선정한다. 일반적으로 하향류식 여과의 경우에는 안트라사이트(Anthracite)와 모래로 구성된 2층 구조로 사용하고, 상향류식 여과의 경우에는 모래로만 된 단층을 사용한다. 여과속도는 유입수와 여과수의 수질, SS의 포획 능력 및 여과지속시간을 고려하여 정하되 일반적으로 300m/일 이하로 한다.

여층의 역세척은 세정효과를 고려해서 공기, 여과수 등을 병용하기도 한다. 여과능력의 재생을 위하여 여층을 역세척 한다. 역세척은 여층의 하부에서 역세척수를 주입하여 여층의 상부에서 배수하는 방법이 일반적이다. 또한 역세척을 촉진하기 위해 하향류식 여과에서는 표면세척과 공기세척을 함께 하고, 상향류식 여과에서는 여층의 하부에서 역세척수와 공기를 동시에 주입하여 세척한다.

### (2) 여과면적 및 지수와 형상

여과면적은 계획여과수량을 여과속도로 나누어서 구한다.

계획여과수량을  $Q$  ( $m^3/일$ ), 여과속도를  $v$  ( $m/일$ )라 하면 소요 여과면적  $S$  ( $m^2$ )는 다음 식과 같다.

$$S = \frac{Q}{v}$$

지수는 1지당의 최대여과면적, 역세척수량 확보 등의 역세척조건, 역세척시 여과

운전중의 여과지 유입수량 증대, 예비지, 계획여과수량 등을 고려하여 결정한다. 여과수를 이용하여 연속적으로 역세척하는 경우, 전지의 역세척수량을 확보할 수 있는 역세척수조를 설치하는 것은 조용량이 커져 비경제적이기 때문에 1지를 역세척하는 동안 나머지 여과지의 여과수량으로 역세척수량을 확보하도록 한다.

$$(n_{\min} - 1) \cdot A \cdot v_w = A \cdot I$$


여기서,  $n_{\min}$  : 예비지를 포함하지 않는 최소지수

$I$  : 세정시간중 평균세정속도(m/일)

$A$  : 1지당 여과면적(m<sup>2</sup>)

$v_w$  : 1지 세정할 때 남아있는 다른 여과지의 여과속도(m/일)

$n_{\min}$  은 다음 식으로 구할 수 있다.



$$n_{\min} = \frac{I}{v_w} + 1$$

2차 처리 계통으로 반송되는 역세척폐수의 수량, 부유물, BOD 등의 부하를 균등하게 2차처리계통에 반송하기 위한 역세척 폐수조를 설치하지 않고, 또한 2차처리계통이 역세척폐수에 의해 과부하로 되지 않게 하기 위해서는 저수량시에 여과지의 역세척을 하는 것이 바람직하다. 저수량시에 1지씩 연속세정을 한다고 가정하면 다음 식이 성립된다.

$$T = t \cdot n_{\max}$$

여기서,  $T$  : 역세척 가능 시간(분)

$t$  : 1지당 역세척시간(분)

$n_{\max}$  : 예비지를 포함하지 않는 최대지수

$n_{\max}$  는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$n_{\max} = \frac{T}{t}$$

여과지가 역세척될 때, 다른 여과지의 여과속도( $v_w$ )는 다음 식과 같다.

$$v_w = \frac{n}{n-1} \cdot v$$

여기서,  $v$  :  $n$  지가 모두 운전되고 있을 때의 여과속도(m/일)

$n = 4, 6, 8, 10$ 의 경우, 1지 역세척에 의해 다른 여과지의 여과속도는 역세척전과 역세척중의 유입수량에 변화가 없다고 하면, 역세척전의 여과속도의 1.33, 1.20, 1.14, 1.11 배가 된다. 역세척에 의한 여과운전 중 여과지의 여과속도 증가로 인해 여과수질이 나빠지지 않도록 지수를 결정해야 한다. 그리고 형상은 철근콘크리트제의 경우 직사각형을 표준으로 한다.

### (3) 여재

급속여과에 사용하는 여재는 다음 사항을 고려한다. 여재는 여사의 품질, 유효경, 균등계수 등을 고려하여 선택한다.

여재로 사용할 여사의 품질조건으로는 여사는 석영질이 많고 단단하며 균질한 모래로 불순물이 적은 것이라야 한다. 새로운 여사의 역세척각도는 30도 이하, 유기물 함량은 0.7%를 넘지 않아야 한다. 그리고 새로운 여사의 염산가용율은 3.5%를 넘지 않아야 한다. 또한 여사의 비중은 2.55~2.65 범위, 여사의 마모율은 3% 이하이어야 한다. 여재의 유효경과 균등계수에 대해서는 Table 1에 나타내었다.

다층여과지에 있어서 여사이외의 여재 품질에 대해서는 충분한 여과, 세정 기능 및 여층구성을 유지할 수 있는 것이어야 한다. 안트라사이트(Anthracite) 여재는 양질인 안트라사이트의 파쇄물로서 비중은 1.4이상이어야 한다. 사용중 마모를 줄이기 위해 파쇄성이 적고, 마모율은 1%이하이며 여과수로의 성분용출을 줄이기 위해 염산가용율은 1.5%이하이어야 한다. 이 이외의 인공경량사는 염산가용율 1.5%이하, 마모율 1.5%이하의 것이어야 한다. 가넷(Garnet)와 일루미나이트여재는 불순물이 적고 염산가용율 5%이하, 비중은 3.8이상이어야 한다(서울시정개발연구원, 1999; 환경부, 2001).



Table 1. Rapid filter apparatus

| 여과의 형식     |           |           | 여 층 의 구 성  | 최대여과<br>속도<br>(m/일) |
|------------|-----------|-----------|--|---------------------|
| 여과압<br>의종류 | 여과의<br>방향 | 여층의<br>형태 |  |                     |
| 중력식        | 상향류       | 이동상형      | ① 여재로서 모래를 사용할 경우, 모래의 유효경은 1.0mm 정도를 표준으로 한다<br>② 단층여과장치를 표준으로 하고, 여사 두께는 1m를 표준으로 한다<br>③ 모래의 균등계수는 1.4이하로 한다  | 300                 |
|            |           | 고정상형      | ① 여재를 모래로 할 경우, 단층을 표준으로 하고, 여사두께는 1.0~1.8m를 표준으로 한다<br>② 여사는 유효경 1~2mm 정도, 균등계수 1.4이하를 표준으로 한다<br>③ 여층표면하 10cm에 grit를 설치한다  |                     |
| 압력식        | 하향류       | 고정상형      | ① 안트라사이트와 모래로 된 2층여과지를 표준으로 하고 모래층의 두께는 안트라사이트층의 60%이하로 함.<br>② 안트라사이트의 유효경은 1.5~2.0mm를 표준으로 함.<br>③ 안트라사이트의 유효경은 모래 유효경은 모래 유효경의 2.7배이하로 한다.<br>④ 안트라사이트와 모래의 균등계수는 1.4이하를 목표로 한다.<br>⑤ 안트라사이트와 모래로 된 여층의 두께는 60~100cm로 한다. |                     |

## 2) 활성탄 흡착법

### (1) 활성탄 흡착법의 개요

활성탄(Activated Carbon)은 다양한 종류의 유기화합물을 흡착하므로 정수처리, 하수의 고도처리 그리고 유기산업폐수의 처리에 광범위하게 사용되고 있다. 하수의 활성탄 처리는 일반적으로 정상적인 생물학적 처리를 거친 물의 최종처리 공정으로 이용되고 있으며, 이때 활성탄은 잔류용존유기물의 제거에 사용된다. 흡착이란 흡착

제(Adsorbent)를 사용하여 용액으로부터 오염물을 제거하는 것으로서 흡착장치는 회분식(Batch), 컬럼식(고정상과 역류이동) 또는 유동층 흡착조 등이 있으며 하수 처리에서 사용되는 활성탄은 과립 형태의 입상활성탄을 일반적으로 사용하고 있다 (서울시정개발연구원, 1999).

흡착은 통상 물리적 흡착과 화학적 흡착으로 분류되는데, 물리적 흡착은 주로 Van der waals힘에 의하여 가역적으로 발생한다. 즉, 용질과 흡착제 사이에서 분자의 인력이 용질과 용매사이의 인력 보다 클 때 용질은 흡착제표면에 달라붙게 된다. 활성탄에 의한 흡착은 이와 같은 물리적 흡착의 대표적인 예이다. 화학적 흡착은 화학반응이 흡착제와 흡착된 용질 사이에서 발생하며 그 반응은 보통 비가역적으로 하수처리의 경우에는 매우 미약하므로 고려하지 않는다.

흡착제에 흡착될 수 있는 흡착질의 양은 흡착질의 농도와 온도의 함수이다. 일반적으로 흡착되는 물질의 양은 일정 온도에서 농도의 함수로 나타내는데, 이를 흡착 등온선(Adsorption Isotherm)이라 한다. 실험 등온선 자료를 나타내는데 자주 쓰이는 식으로는 Freundlich, Langmuir 그리고 Brunauer, Emmet 및 Teller(BET 등온선) 등의 식이 있다. 활성탄을 이용한 하수처리에서는 Freundlich와 Langmuir의 식이 주로 사용된다(곽, 1998).

① Freundlich 흡착등온선

$$\frac{x}{m} = X = kC^{\frac{1}{n}} \quad (\text{실험식})$$

여기서, x : 흡착된 용질의 양

m : 흡착제(활성탄)의 양

X : 흡착제단위 질량당 흡착된 용질의 질량

C : 용질의 평형농도

K,n : 상수

앞의 식은 log 그래프상에서 x/m을 y축에, C를 x축에 놓았을 때 직선으로 나타남을 알 수 있다. 이 직선의 기울기(1/n)로부터 n값을 구할 수 있고, K값은 절편으로부터 구한다.

② Langmuir 흡착등온선

$$\frac{x}{m} = X = \frac{abC}{1 + aC} \quad (\text{이론식})$$

여기서, x : 흡착된 용질의 양

m : 흡착제(활성탄)의 양

X : 흡착제 단위 질량당 흡착된 용질의 질량

C : 용질의 평형농도

a,b : 상수

보통 하수처리를 위하여 필요한 활성탄량은 Freundlich의 식을 주로 이용하고 있다. 활성탄은 원료 및 활성화방법에 따라서 그 흡착능력이 다르다. 활성탄과 액체간의 흡착에 영향을 미치는 요소들을 열거하면, 용질에 대한 활성탄의 인력, 용매에 대한 활성탄의 인력, 용질에 대한 용매의 용해능력, 분자의 회합(Association), 이온화, 두 물질간의 경계면에서 전위(Orientation)에 대한 용매의 영향, 여러 종류의 용질이 존재하는 경우 흡착면에 대한 상호경쟁, 공흡착(Co-adsorption), 분자의 크기, 활성탄의 공극크기 분포, 활성탄의 표면적, 용질의 농도 등이다.

활성탄을 흡착제로 사용하면 공극이 유기물에 의해서 점유되므로 활성탄의 흡착능력은 저하되게 된다. 따라서 활성탄을 재생시켜야 하며, 활성탄의 재생방법은 다음과 같다.

- 활성탄층에 저압의 수증기를 통과시키면 피흡착제는 증발 또는 제거된다.
- 용매를 사용하여 피흡착제를 추출시킨다.
- 열을 이용하여 재생시킨다.
- 산화력이 있는 가스에 노출시킨다.

Fig. 2와 같이 활성탄흡착시설은 하수의 고급처리방법으로 채택될 수 있는데, 흡착시설 이전에 하수내의 부유물과 용해된 미생물에 의해서 분해가능한 유기물이 모두 제거되어야 하며, 응집침전도 흡착이전에 실시되어야 한다. 고도처리법으로 활성탄흡착을 실시하는 이유는 2차 처리수에 존재하는 소량의 미생물에 의하

여 분해되지 않는 유기물을 제거하기 위함이다.

활성탄은 Fig. 3에 주어진 바와 같이 물리·화학적 처리수내의 용해된 유기물을 제거하기 위하여도 채택된다. 이때 물리·화학적 처리과정에서는 1차 처리수 내의 부유물과 그에 관련된 유기물을 제거하기 위하여 응집, 침전 및 여과를 실시한다.

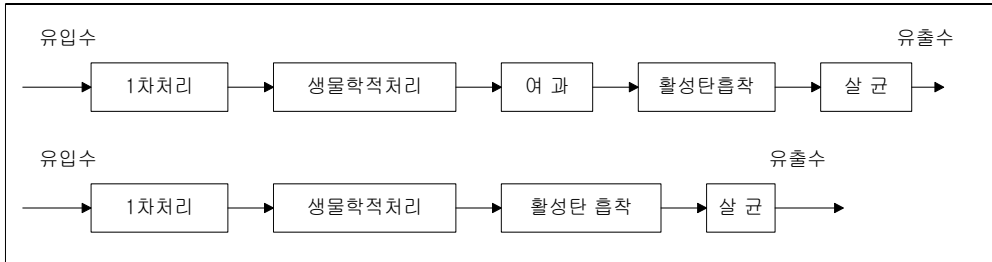


Fig. 2. Examples for diagram of advanced method of sewage treatment including activated carbon adsorption facility

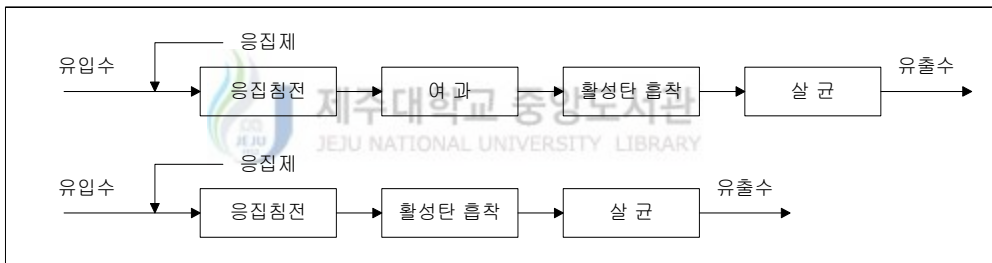


Fig. 3. Examples for diagram of physiochemical treatment facility with activated carbon adsorption facility

## (2) 유입하수의 수질

활성탄 흡착시설의 유입수는 가능한 한 수질이 일정하고 부유물을 함유하지 않도록 설계시 고려한다. 효율적인 처리를 위해서 흡착시설로 유입되는 유입수는 수질이 균등해야 하고 유량변동이 크지 않아야 한다. 또한 기타 부유물, 유기물, 폐놀, 용존산소 등도 흡착시설의 운영에 영향을 미치며, 하수의 pH와 온도도 중요한 변수가 된다. 부유물이 흡착제의 능력에 미치는 영향에 관해서는 확실히 알려진 바 없지만, 흡착제의 표면에 부유물이 침적하면 흡착제간의 공극이 막히게 되어 수중의 유기물들이 흡착제와 접촉하기에 불리해지므로 활성탄층내에 부유물이 축적되면 손

실수두가 증가하고 결과적으로 하수의 통과가 어렵게 된다. 마찬가지로 유입하수의 pH, 온도, 그리고 유량이 크게 변해도 흡착시설의 처리효율이 저하된다(곽, 1998; 김, 2003).

### (3) 흡착탑의 운영방법

활성탄 흡착조를 설계할 때, 유체의 흐름은 하향 또는 상향으로 하며, 흡착조의 운전방법은 고정상(Fixed Bed) 또는 유동상(Fluidized Bed)으로 한다. 활성탄 흡착탑에는 운영방법에 따라 여러 가지로 분류될 수 있다. 첫째는 동력요구에 따라 중력식과 압력식이 있는데 가능하다면 중력식으로 하는 것이 운영비가 적게 요구된다. 둘째는 유체의 흐름에 따라 상향식과 하향식으로 구분되며, 마지막으로 활성탄층이 고정되는지 아니면 팽창되는지에 따라 고정상과 유동상으로 구분된다.

상향식에서는 하수가 밑에서 위로 흐르기 때문에 활성탄이 유기물을 흡착함에 따라 활성탄 입자의 겉보기 비중이 증가하여 입자의 밀도가 증가하여 흡착탑의 바닥 또는 유입구로 소모된 활성탄을 떨어뜨리려는 경향을 가지게 된다. 그리고 상향식에서는 하향식에 비하여 유출수에 미세한 탄소입자를 더 많이 함유한다. 하향식 활성탄 흡착탑은 통상 2~3개의 흡착탑이 직렬로 연결되어 사용되며 유체의 흐름이 바뀌어도 계속 사용할 수 있도록 배관되어 있다. 하향식을 채택하면 유기물의 흡착과 여과가 동시에 일어나는 이점이 있지만 배관이 좀 더 복잡하기 때문에 시설비의 절감은 기대할 수 없다. 여과는 상향식에 비해서 잘되는 장점도 있지만 부유물이 많을 경우 손실수두가 커지고 활성탄의 흡착능력이 감소되는 단점이 있다.

고정상흡착탑을 사용하면 하수내의 부유물이 축적되므로 역세척이 필요하다. 고정상에서 상향식이면 부유물을 역세척으로도 제거하기 어렵게 상의 바닥에 모이므로 통상 하향식으로 하며, 상의 바닥에는 모래나 자갈을 깔아서 활성탄층을 지지하도록 할 수도 있다. 상향식 흡착탑에서는 하수가 밑에서 위로 흐르며, 활성탄층은 유동상이 되도록 하여 부유물이 층내에 축적되지 않도록 한다. 흡착능력이 소모된 활성탄은 밑에서 제거되고 새로운 혹은 재생된 활성탄을 그 만큼 위에서 보충시켜야 한다. 유동상에서 유기물제거율은 고정상과 비슷하지만, 반면에 낮은 펌프압력이 요구되고 휴지기간이 짧으며, 활성탄 표면의 포기가 보다 쉽다. 많이 이용되는 운영방법은 아니지만 역류흡착을 할 수도 있다. 역류흡착의 원리는 한번 사용된 활성탄

도 하수내의 오염물농도가 대단히 높으면 오염물을 더 제거할 수 있다는 점에 근거를 두고 있다. 이런 경우 하수는 먼저 한번 사용된 활성탄과 접촉하게 되고 그 다음 새로운 활성탄과 접촉하게 된다.

#### (4) 흡착탑의 크기

활성탄 흡착탑을 설계할 때 다음 사항을 고려한다.

##### ① 접촉시간

흡착탑에서의 접촉시간은 보통 활성탄에 의해서 점유된 부피를 기준으로 계산된다. 통상 적용방법, 하수의 특성, 요구되는 수질에 따라 15~35분의 접촉시간이 채택된다. 고도처리의 경우 유출수의 COD가 10~20mg/l로 되도록 요구된다면, 15~20분의 접촉시간을 주고, 그리고 5~15mg/l이면 30~35분의 접촉시간을 준다. 물리·화학적 하수처리 방법에서는 접촉시간이 통상 20~35분이지만 평균 30분 정도이다. 상향류식 흡착탑의 바닥형상은 평면, 원추, 접시모양 등 여러 가지의 용기가 있으며, 상부에 활성탄을 붙잡아두기 위한 스크린, 하부의 바닥에는 지지용 그리트(Grit)가 설치되어 있다. 일반적인 높이:직경의 최소비는 2:1이다.

##### ② 수리학적 부하율

상의 단면 1m<sup>2</sup>에 대하여 상향식인 경우 2.5~6.8 l/초, 하향식인 경우에는 2.0~3.3 l/초의 수리학적 부하가 적용된다. 실제 운영시 압력은 상의 깊이 0.3m당 0.07kg/cm<sup>2</sup> 이상이 되는 경우가 드물다.

##### ③ 활성탄층의 깊이

상의 깊이는 주로 접촉시간에 따라 상당히 변하는데 3~12m 정도이다. 활성탄층의 최소 깊이는 3m 이상으로 4.5~6m가 보통이며 역세척이나 유동상의 경우 10~50%의 팽창을 고려하여 여유고를 두어야 한다. 정해진 상의 팽창을 위하여 필요한 역세척수량은 활성탄의 입자크기와 수온에 의하여 결정된다.

##### ④ 흡착탑의 수

어떤 규모의 처리장에서도 최소한 2개의 흡착탑을 병렬로 배치해야 한다. 이렇게 해야만 1개의 흡착탑을 재생시키거나 새로운 활성탄으로 교환할 때 나머지 1개로 하수처리를 계속할 수 있게 된다.

## (5) 역세척

활성탄 흡착탑은 역세척이 가능하도록 배관을 설계한다.

활성탄흡착탑의 역세척은 흡착탑내에 축적된 부유물을 제거하기 위하여 충분한 양의 물을 통과시킴으로써 실시되는데, 역세척율과 횟수는 수리학적 부하, 하수내 부유물질(SS)의 성질과 농도, 탄소입자의 크기 그리고 접촉방법에 의하여 좌우되는데, 역세척 회수는 시간간격, 손실수두, 탁도와 같은 운전기준에 따라 결정되고, 역세척시간은 대략 10~15분이다.

하향식 흡착탑은 유기물을 흡착 제거하면서 동시에 부유물을 여과시킬 수도 있다. 그러나 부유물의 축적때문에 역세척을 주기적으로 철저히 실시해야 한다. 일반적으로 역세척수의 양은 층의 두께가 0.8m인 경우, 처리된 물의 5% 이하이며, 층의 두께가 4.5m인 경우에는 10~20% 정도된다. 입상 활성탄에서 일반적인 역세척수의 유량은  $8 \times 12$  혹은  $12 \times 30$  체눈(mesh)의 활성탄에서  $8.2 \sim 13.7 \text{ l/m}^2 \cdot \text{초}$ 이다. 상향식의 충전상에서 축적된 부유물을 제거하기 위하여 두가지 단계를 거쳐야 한다. 먼저 상을 임시로 하향식으로 운영함으로써 바닥에 축적된 부유물을 느슨하게 하며, 그 다음에 상의 중앙에 축적된 부유물은 상을 팽창시켜서 제거해야 한다. 상향식 흡착탑을 역세척시키는 경우 상의 바닥이 부유물에 의하여 막히는 것을 방지하기 위하여 역세척시간이 더 길어야 하고 수질이 좋은 물을 대량 사용해야 한다. 상향식인 충전상흡착탑의 역세척시간은 일반적인 흡착탑의 역세척 시간인 10~15분 보다 두배 더 길다. 흡착탑의 역세척과 제어를 위한 기기는 정수용 모래여과지에서와 거의 비슷하다. 상향식 및 하향식 흡착탑 모두 비슷한 밸브 및 배치가 요구되며, 상향식 흡착탑은 하향식으로도 이용될 수 있고, 역세척이 가능하도록 배관되어야 한다. 각 흡착탑은 개별적으로 역세척이 가능하도록 배관하고, 몇개의 흡착탑이 연속으로 연결된 하향식에서는 개개의 흡착탑 위치를 상호 교환 가능하도록 밸브 및 배관을 하고, 직렬로 연결된 경우에는 흐름방향이 바뀔 수 있도록 배관해야 한다.

## (6) 제어장치

각각의 흡착탑은 유량 및 손실수두의 측정이 가능하도록 설계시 고려한다.

흡착탑에 하수를 균등하게 공급하고 실제 활성탄과의 접촉시간을 알기 위하여 각 흡착탑에 유량측정장치를 설치해야 한다. 또한 흡착탑에서 수두손실을 파악하여 역세척의 필요성을 판단할 수 있어야 한다.

#### (7) 미생물에 의한 영향

활성탄을 흡착제로 사용하여 하수를 처리하는 경우 흡착현상과 미생물의 활동에는 밀접한 관계가 있다는 것이 관찰되었다. 미생물도 흡착능력이 있으며 하수내의 유기물을 제거할 수 있는 능력이 있다. 따라서 흡착탑 내의 활성탄층에 미생물이 번식하여 실험실 결과에 의해서 예측했던 값보다 유기물 흡착능력이 50~100% 더 클 수도 있다. 이런 경우 예측했던 흡착능력이 다 소모된 후에도 미생물의 활동 때문에 흡착은 계속 일어나게 된다. 흡착탑에서 용존산소공급이 불충분하면 혐기성상태가 발생할 수도 있다. 이러한 경우 질산염, 황산염, 탄수화물 등의 산화물과 미생물에 의하여 잘 분해되는 유기물이 함께 존재하면 이들 산화물과 유기물이 혐기성 미생물에 의하여 반응하여 질소, 황화수소, 메탄가스 등이 발생하게 된다. 황화수소의 발생은 혐기성 상태 하에서 황산염을 환원시키는 박테리아에 의해서 일어나는데, 흡착탑 내에서 환원상태는 체류시간이 너무 길거나 유입하수의 용존산소농도가 너무 낮으면 발생할 수 있다. 흡착탑 내에서 황화수소 발생을 방지하기 위하여 다음과 같은 방법을 채택할 수 있다.

- ① 하수를 흡착탑에 유입시키기 전에 철저히 처리하여 BOD를 유발하는 유기물질을 가능한 한 많이 제거한다.
- ② 유출수의 용존산소농도에 근거해서 흡착탑에서 체류시간을 줄인다.
- ③ 유입수의 용존산소농도를 높게 유지한다.
- ④ 적당한 시간 간격을 두고 흡착탑을 역세척한다.
- ⑤ 상향식유동상에서는 흡착탑내부를 호기성으로 유지시키기 위하여 공기나 과산화수소를 주입한다.

#### (8) 활성탄의 공급 및 제거

활성탄 흡착탑을 설계할 때에는 흡착탑으로부터 활성탄제거, 흡착탑으로의 활성탄 공급에 필요한 시설을 고려한다. 활성탄 흡착탑에서 사용된 활성탄은 제거되어



야 한다. 하향식흡착탑에서는 모든 활성탄을 한꺼번에 제거하고, 다시 재생된 활성탄 또는 새로운 활성탄을 채운다. 그러나 상향식유동상흡착탑에서는 재생시키기 전에 활성탄을 철저히 이용하기 위하여 전체의 5~25%만을 한번에 제거한다. 흡착탑에서 활성탄을 제거할 때 층이 수평이 되도록 일정하게 제거해야 하는데 흡착탑의 밑부분을 원추형으로 하고 물분사 설비를 하면 이 목적을 달성할 수 있다. 이때 활성탄 층을 지지하기 위한 자갈이 활성탄과 함께 제거되지 않도록 주의해야 한다.

#### (9) 활성탄 재생설비

다량의 활성탄을 사용하는 경우에는 활성탄 재생설비를 갖추도록 설계시 고려한다.

활성탄재생설비의 규모를 결정하기 위한 활성탄주입율은 흡착탑 유입하수의 수질과 요구되는 유출수의 수질에 따라 결정된다. 도시하수의 처리를 위한 활성탄주입량의 대표적인 값을 Table 2에 나타냈다.

Table 2. Quantity of activated carbon added by the quality of inflow water in activated carbon adsorption tower

| 전 처 리                 | 활성탄 주입률(g/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------|----------------------------|
| 응집, 침전, 여과된 활성슬러지 유출수 | 24~48                      |
| 여과된 2차 유출수            | 48~72                      |
| 응집, 침전, 여과된 유입하수      | 72~216                     |

주) 각 재생사이클 동안의 활성탄 손실은 5~10%이다.

활성탄 보충량은 활성탄 주입량과 재생된 활성탄의 질에 의하여 좌우된다. 활성탄의 재생방법의 종류로는 ① 피흡착제의 제거, 혹은 증발을 위해 낮은 압력의 증기 통과, ② 용매로 피흡착제 추출, ③ 열처리방법에 의한 재생, ④ 산화가스에 활성탄을 노출시키는 방법등이 있다.

열처리법이 가장 널리 이용되는 재생방법으로 그 종류에는 로타리킬른, 다단로가 있다. 다단로는 충분한 온도를 가하여 재생시설에서 생성되는 일산화탄소, 수소를 태운다. 이 공정의 재생율은 90~95% 정도이며, 재생된 활성탄은 새 활성탄과 거의 비슷한 흡착능을 갖는다. 다단로는 활성탄으로부터 흡착된 유기물을 제거하기에

가장 좋은 재생방법이다. 열처리법에 의한 운전차레는 다음과 같다(환경부, 2001; 환경관리공단, 2001).

- 활성탄 슬러리를 재생시설로 이송
- 흡착된 오염물을 산화, 휘발시키기 위해서 활성탄을 탈수 및 재생로로 이송
- 활성탄의 수냉각
- 미세입자 제거를 위한 수세척
- 재사용을 위한 활성탄 이동
- 연소가스 제거

### 3) 막 분리법

#### (1) 분리막의 선정시 고려사항

##### ① 분리막의 성능

일반적으로 역삼투막을 제외한 막의 분리성능을 표시하는 지표로는 분획분자량이 이용된다. 이것은 막에 의해 거의 완전히 저지되는 물질의 분자량을 말하며, 기지의 분자량을 가진 표준물질을 이용하여 그 값을 정한다. 이것에 의하여 분획분자량을 지표로하여 분리하는 대상물질에 따른 막의 종류를 선택할 수 있다. 한 외여과막에서는 분획분자량으로 역삼투막에서는 특정조건의 운전조건에서의 염제거율(예를 들면, 공급수 1,500mg/ℓ 식염수, 압력 30kg/cm<sup>2</sup>, 온도 25℃, 회수율 75%)로 나타낸다(곽, 1998).

##### ② 투과능력

막의 투과능력은 막면적당 투과수량인 투과유속, 또는 투과계수 등으로 나타내며, 그 관계는 다음 식과 같다. 단, 모듈에서는 모듈당 순투과수량으로 통상 표시한다.

$$J = A \times \Delta P$$

여기서,  $J$  : 투과유속 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·일)

$A$  : 투과계수

$\Delta P$ : 막에 걸리는 압력차(kg/cm<sup>2</sup>)

온도별 압력과 투과 유속의 관계의 예는 Fig. 4와 같은데, 투과유속은 압력에 비례하고 온도에 의존하는 것을 알 수 있다. 이 그림에서 기울기가 투과계수이다. 투과능력은 온도의 영향을 받기 때문에 통상 25℃에서의 값으로 처리특성을 평가한다(곽, 1998).

### ③ 내구성

막의 수명은 막의 폐쇄에 의한 투과수량의 감소 또는 막의 물리적 손상이나 화학변화에 의한 분리성능의 저하로 결정된다. 한외여과막은 물론 역삼투막도 응집 침전 및 모래여과 등으로 수질개선을 철저히 한 뒤에 막에 공급하면 이론상 만시간 이상 경과해도 성능저하는 적으나 제작회사에 따라 큰 차이가 있다(안등, 1998).

## (2) 종류

주요 막분리시설로는 다음과 같은 시설들이 있으며 각각의 특징을 파악하여 처리 목적에 적합하게 선택한다.

### ① 한외여과시설

한외여과는 용존물질 또는 콜로이드물질을 제거하기 위해 다공성 막을 이용하여 가압 운전하는 시설로서, 보통 콜로이드 물질과 분자량 5,000이상인 고분자의 제거에 이용된다. 한외여과막 공경의 크기는 보통 0.001~0.02 $\mu\text{m}$ 이다. 이 시설은 역삼투보다 상대적으로 낮은 압력에서 운전되는데 일반적으로 1~10kg/cm<sup>2</sup>정도이다. 한외여과의 응용분야로는 물로부터의 기름제거와 유색 콜로이드로부터의 탁도 제거 등이 있다. Fig. 5은 가압에 의해서 처리수중의 미립자가 물과 분리되는 상황을 표시한 것이다. 이 방식을 교차(Cross)흐름방식이라 하며 흐름의 방향과 압력이 걸리는 방향이 수직이다. 유입수는 투과수와 농축액으로 분리된다. 한외여과법에서의 막의 투과기구(구멍)는 세공설에 의해 설명할 수 있다. 한외여과막은 막에 다수의 세공을 가지고 있는데, 용매는 다공성막을 통과하는 다른 성분 즉, 용질은 막표면에 걸리게 되는 성질에 의해 용매로부터 물리적인 여과에 의해 분리된다. 한외여과막에 의해 분리되는 물질은 막의 구멍의 크기와 용질의 분자의 크기 및 형상에 의해 좌우된다. 한외여과막으로는 셀룰로즈 아세테이트, 폴리아미드, 폴리술폰, 폴리비닐클로라이드 등이 사용된다(박등 1997; 안등, 1998; 이등, 1999)).

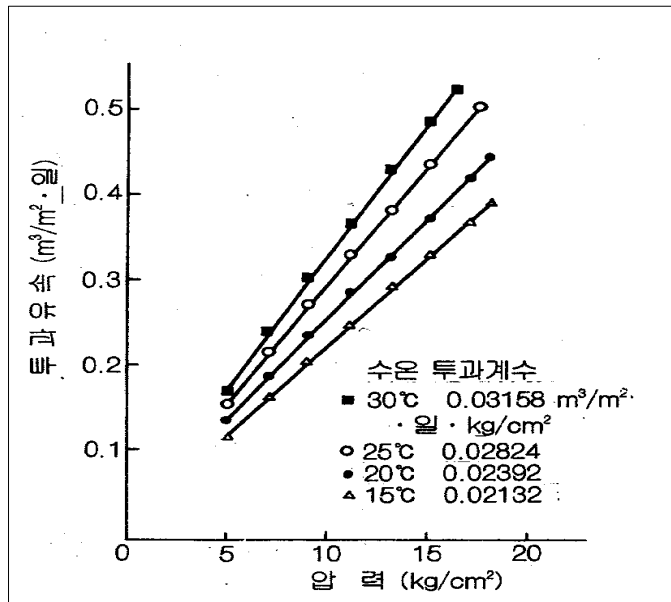


Fig. 4. Relationship of pressure and water flux on ultrafiltration membrane

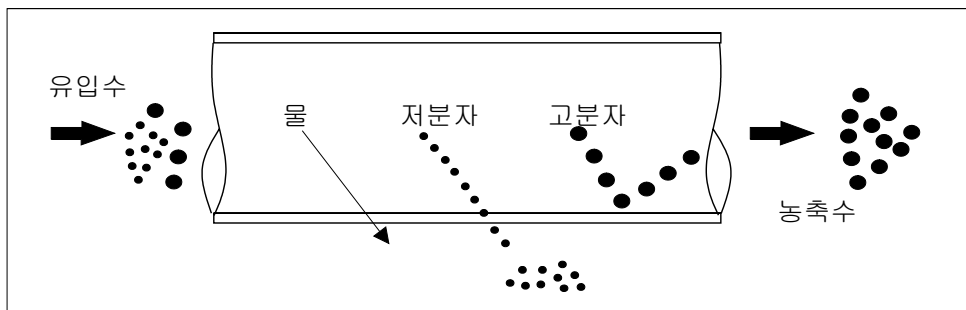


Fig. 5. Examples for membrane separation by cross flow method

(2) 역삼투시설

역삼투시설은 용매는 통과하지만 용질은 통과하지 않는 반투막 성질을 이용한 처리 시설이다. 원리를 나타내면 다음 Fig. 6과 같다. 물은 자유롭게 통과하지만 용질은 통과하지 않는 반투막에 의해서 2개의 실로 나뉜 용기 A에 염류용액을, B에는

물을 넣은 경우 B의 물 일부는 A의 용액으로 침입하여 평행에 달한다. 이때 A,B 사이에서 압력차가 발생하여 Fig. 6의 I의 상태로 된다. 이 압력차를 삼투압이라고 하며, 이 삼투압에 견딜 수 있는 만큼의 외압을 가하면 Fig. 6의 II와 같이 역으로 용액중의 용매가 수축으로 이동한다. 이 현상을 역삼투라고 한다. 이것을 이용하여 용액에서 용매를 분리하는 방법이 역삼투법이다. 삼투압과 농도와의 관계에는 다음 식이 성립한다(이, 1994; 곽, 1998; 환경부, 2001).

$$\Pi = \Delta CRT$$

여기서,  $\Pi$  : 삼투압 (Pa)

$\Delta C$  : 농도차 ( $\text{mol}/\text{m}^3$ )

$R$  : 기체상수 =  $8.314(\text{J}/\text{mol}/\text{K})$

$T$  : 절대온도(K)

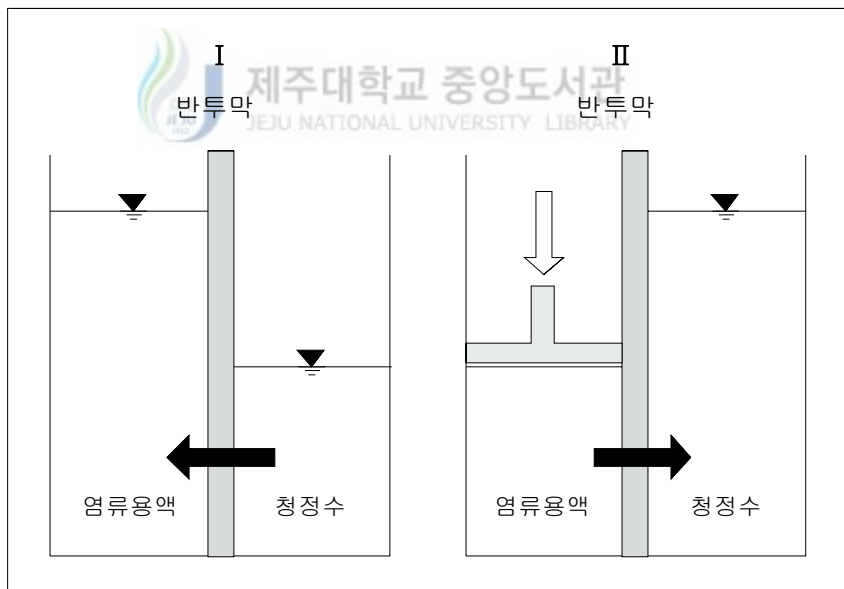


Fig. 6. Mechanism of reverse osmosis

### (3) 분리막 모듈의 형식

막에는 막 자체만으로 구성된 것, 얇은 막과 그것을 지지하는 다공층이 하나로 되어 있는 비대상막, 얇은 막과 지지막을 별도로 만들어 조합시킨 복합막이 있다.

복합막은 얇은 막과 지지막의 조합을 자유롭게 할 수 있기 때문에 최근에 개발은 이 경향으로 향하고 있다. 이러한 투과막을 공업적으로 이용 가능하도록 한 장치를 모듈이라 한다. 분리막 모듈에는 다음과 같은 형식이 있다.

### ① 판형

판형은 Fig. 7와 같이 평면상의 막을 여러 장 겹쳐서 조이는 형이며, 구조가 간단하고 조립되어 있어 분해하여 보수하기가 용이하다. 한외여과용에 주로 사용되고 대상 원액은 슬러지에서 고분자용액까지 비교적 폭이 넓다. 원수 유로의 폭을 매우 좁게하여 유속을 크게 하면 막면에 겔층이 부착하는 것을 방지한다. 물리적 세척은 불가능하고 약품세척을 실시한다.

### ② 관형

관형은 원통형으로 만들어진 막을 같은 원통형의 통수성을 갖는 내압지지체의 내측 또는 외측에 장착하고 있다. 내경은 10~20mm, 길이는 1.5~3m의 것이 많이 사용되고 있다. 단관식과 복수 개로 구성된 다관식 모듈이 있다. 공급액의 유로폭이 크기 때문에 전처리는 조대입자를 제거하는 것만으로 충분하다. 공급액의 유속을 크게하기 쉽고 막면에 스케일 부착이 적다. 세척이 용이하며 물리적 세척법을 적용할 수 있다. 약품세척도 수시로 병용한다. 막교환은 용이하지만 막면적당 장치용량이 크고 설비용적도 커진다. 통상 고유속으로 운전하기 때문에 여과량당 소비동력이 크다.

### ③ 나선형

나선형(소용돌이상)모듈은 Fig. 8에 나타난 것과 같이 막, 막지지대, 스페이서, 투과액 채수관 등으로 이루어진다. 2장의 평막 사이에 통수성 지지물질을 끼워 넣고, 막의 외측 면에는 망상의 스페이서를 겹치고 막의 세 변을 접착제로 봉하여 투과액 채수관을 중심으로 말아넣은 것이다. 원수는 스페이스부에 들어가고 막을 통과한 액은 지지체부에서 투과액 채수관을 통과하여 배출된다. 나선형 모듈은 모듈당 막면적이 크고 투과속도도 빠르기 때문에 장치의 콤팩트화가 가능하다. 스페이서는 난류 촉진효과를 갖고 있기 때문에 막으로의 공급량이 적어도 막면에서의 유속이 커지고 염분이 막 표면 부근에 농축되어 염분제거율이 저하되는

농도 분극현상을 방지할 수 있다. 따라서, 소비동력이 적게 드는 에너지절약형이다. 반면 유로 단면이 작기 때문에 유로폐쇄를 방지하기 위한 전처리를 필요로 한다.

④ 중공사형

중공사형은 Fig. 9에서 볼 수 있듯이 내면적 중의 한면 또는 외측면이 0.1~1 $\mu$ m 정도의 활성막면으로 되어 있는 중공사 여러개를 하나의 모듈에 수납하고 있다. 다른 형식과는 달리 지지체를 사용하지 않고 자기지지구조로 되어 있기 때문에 막 자체에 어느 정도의 기계적 강도가 요구된다. 원수가 중공사의 외측과 내측에 공급되는 두가지 형이 있다. 단위용적당 유효면적이 크고, 보다 낮은 압력으로 소정의 처리 능력을 달성 할 수 있어 소비동력이 적다. 출구측에서 압입하는 역세척과 약품세척을 실시한다.

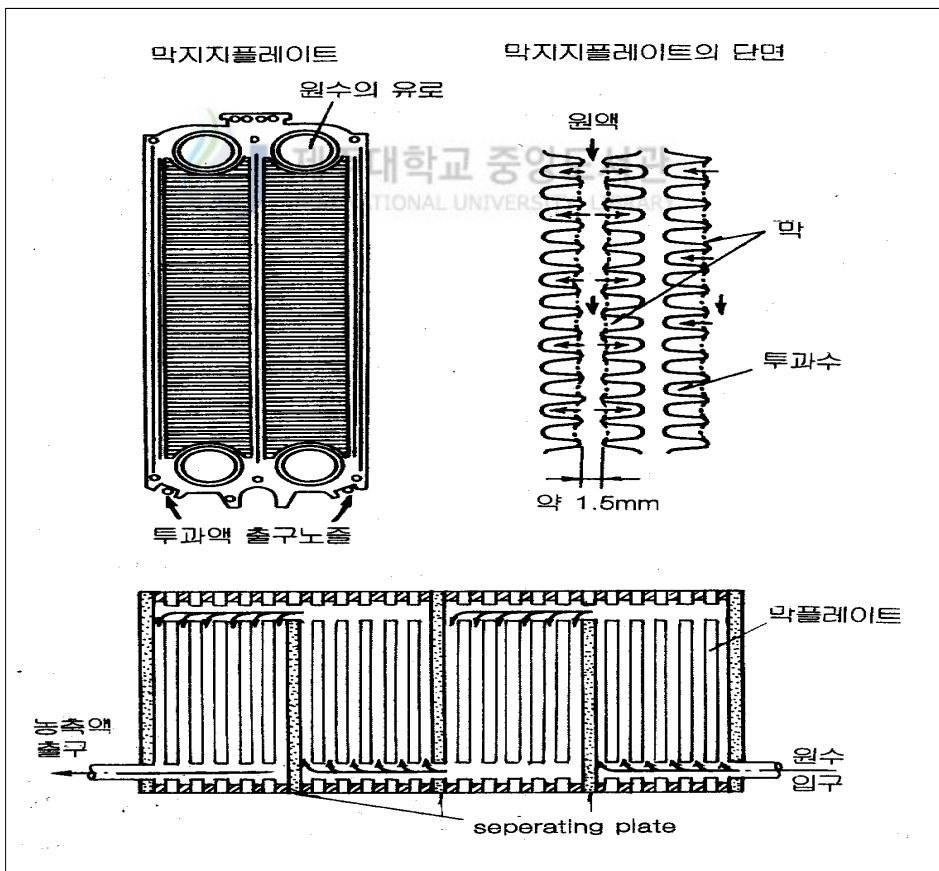


Fig. 7. Plate module

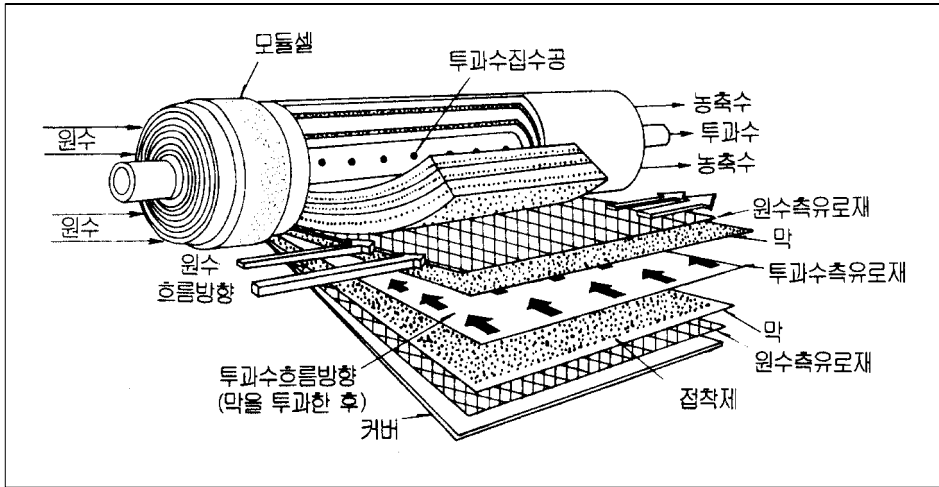


Fig. 8. Spiral module

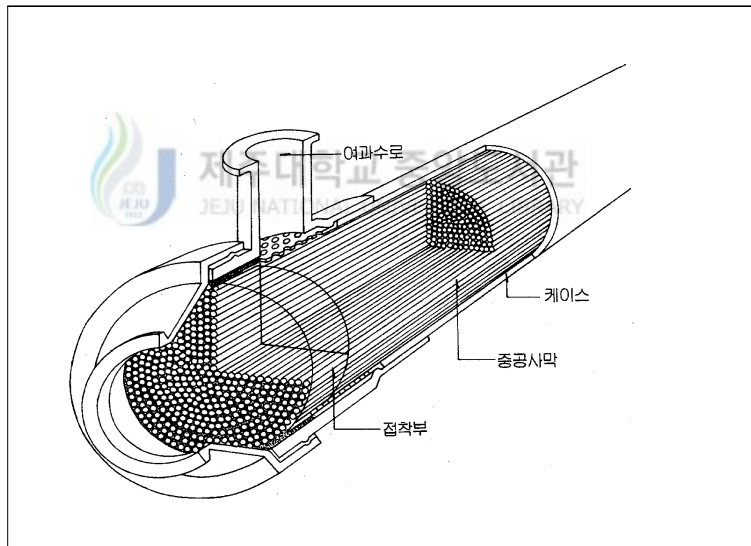


Fig. 9. Hollow fiber type module

#### 4) 막분리시설의 구성

막분리시설은 모듈, 가압펌프로 구성되며, 농축수를 순환시켜 원수와 혼합시킨 뒤 재투과시키는 경우도 있다. 막분리 시설의 기본흐름을 Fig. 10에서 보면 원수는 펌프로 가압되어 모듈로 보내지고 투과수와 농축수로 분리된다. 농축수는 순환해서 유입수와 혼합하여 재투과시키는 경우도 있다. 또, 유입수는 응집침전, 모래여과 등으로



전처리하는 경우가 많다. 실용적으로는 단일막으로 처리하는 경우가 적고 여러 단에서 투과수를 통과하는 것이 보통이다. 모듈의 배열 예인 Fig. 11에서도 볼 수 있듯이 직렬 또는 병렬로 여러 단을 연결하여 처리한다. 예를 들면, 제1단에서 50%를 회수하여 그 농축수를 제2단에 통과시키고 25%를 회수하여 다시 제3단에 통과시켜 합계 85%정도를 회수한다(박등, 1998; 곽, 1998; 김등, 2003).

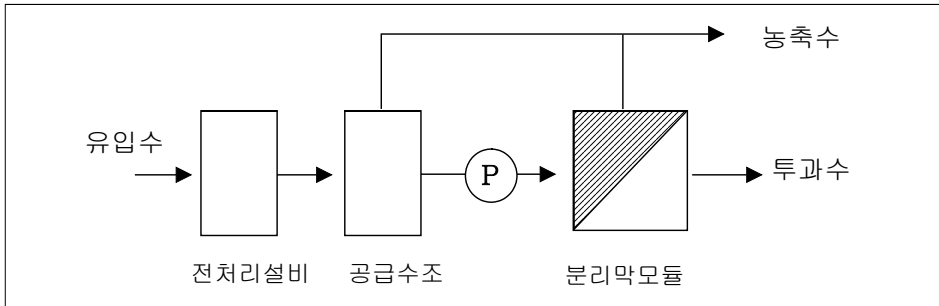


Fig. 10. Basic diagram of membrane separation method

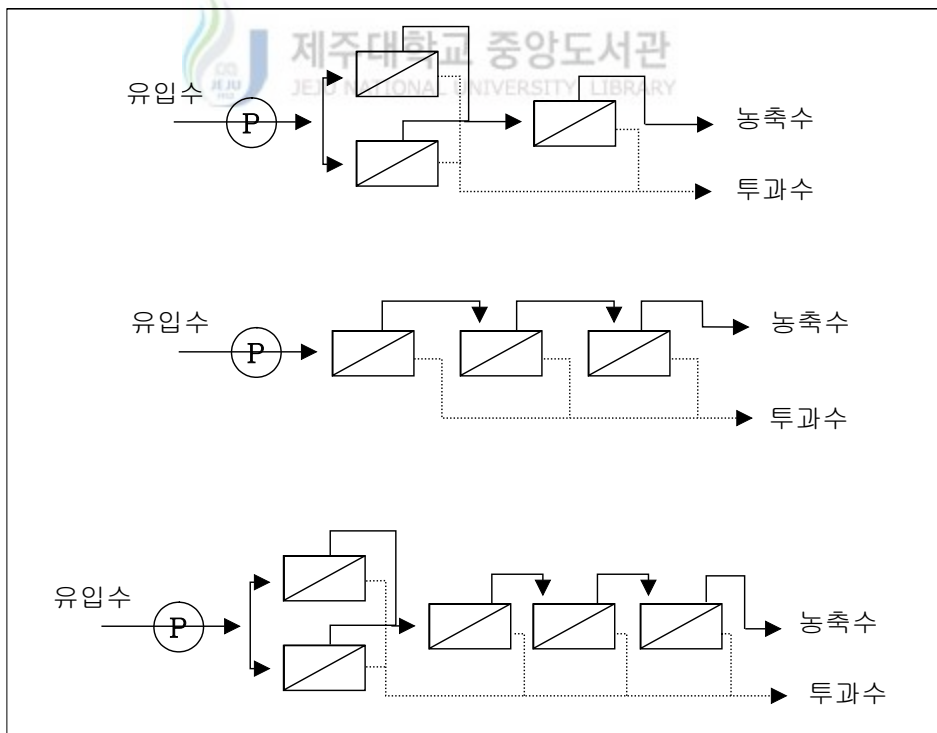


Fig. 11. Examples of module arrangement

#### 4) 염소소독

##### (1) 주입위치

염소는 하수가 접촉조에 유입하기 전에 주입되어야 하며, 주입되는 즉시 하수와 잘 혼합되어야 한다. 소독용 염소는 염소접촉조의 입구나 혹은 접촉조 앞에 별도로 설치된 염소주입조에 주입되며, 주입되는 즉시 하수와 잘 혼합되도록 하는 것이 소독효과를 크게 한다. 그러나 접촉조에서 단회로를 방지하기 위하여 가능한 한 혼합이 일어나서는 안된다. 염소주입조에서의 혼합은 도관이나 수리학적 도수를 이용하여 실시될 수 있는데 그렇지 못한 경우에는 혼합기를 설치하는 것이 좋다(곽, 1998; 서울시정개발연구원, 1999; 환경부, 2001).

##### (2) 접촉조

접촉조는 염소가 주입된 후 소독이 진행되도록 하수가 머무는 조이다. 접촉조는 다음 사항을 고려하여 설계한다. 소독을 대상으로 하는 하수량은 계획1일 오수량으로 하는 것이 좋으나 합류식에 있어서는 강우량에 따라서 수중의 대장균수가 현저하게 변동하기 때문에 그 관계를 미리 고려해 둘 필요가 있다. 즉 강우량이 많은 경우에는 희석에 의해서 세균농도가 감소하지만 강우량이 적은 경우에는 부근의 오물이 혼입되기 쉽기 때문에 세균수가 증가할 수도 있으므로 이 점을 염두에 두고서 소독시설을 설계한다. 접촉조의 주목적은 주입된 염소에 의하여 박테리아의 수가 허용치로 감소될 수 있도록 충분한 체류시간을 부여하는 것이다. 염소의 소독효과는 하수의 성질, 접촉시간, 혼합도, 온도 및 염소주입율에 의해서도 영향을 받는다. 소독효과를 높이기 위해서는 접촉시간은 최저 15분간으로 하고, 염소를 충분히 혼합 및 접촉시킬 필요가 있다. 또 방류관거에서 접촉시간이 충분히 확보되는 경우에는 접촉조를 생략하는 것도 가능하다. 접촉조는 단회로가 생기거나 사공간(dead space)이 형성되지 않는 플러그흐름형의 구조로 한다. 하수에 염소를 주입하면 고형물의 침전성을 향상시킨다. 따라서 접촉조를 2개 만들어 교대로 침전물을 제거하든지 또는 슬러지제거시설을 갖추어야 하며 저류판(baffle)을 설치하여 스크이 유실되지 않도록 해야 한다. 그 외에도 유속의 증가, 포기, 경사진 바닥 등 여러 가지 방법에 의하여 고형물의 침전을 방지할 수 있으나 권장되는 방법은 아니다. 접촉조 다음에 침전지를 두어서 접촉조에서 씻겨 내려오는 침전물을 침전시킬 수도 있다.

처리수를 방출시키는 방류관도 플러그흐름형 접촉조로 이용될 수 있는데 이런 경우 하수가 방류관을 흘러가는데 최소한 15~20분은 소요되어야 하며, 관내면에 미생물막이 생성되는 것을 방지하기 위하여 잔류염소농도를 충분히 유지시켜야 한다 (곽, 1998; 서울시정개발연구원, 1999).

### (3) 염소주입

일반적으로 염소소독시설의 설계에서 맨 먼저 고려해야 할 사항은 처리장에서 요구되는 염소의 양으로, 소독을 위하여 요구되는 염소주입은 처리되는 하수의 수질에 따라 다르고, 결정된 주입률은 주어진 접촉시간에서 요구되는 소독효과를 줄 수 있어야 한다. 그러나 잔류염소가 과다하게 투입되면 비경제적일 뿐만 아니라 방류수역의 수생생물에 영향을 미치기 때문에 방류수역의 수질오염 한계를 초과하지 않는 정도로 한다.

일본의 예를 보면 염소주입률이 대장균수로 1cm<sup>3</sup>중 3000개 이하로 정하고 있으며, 이를 초과하는 경우에는 염소주입 후 15분 후에 잔류염소가 0.1mg/l 정도 되도록 하면 대장균을 사멸할 수 있다고 한다. 각종 하수의 소독에 요구되는 염소주입농도는 일반적으로 다음 Table 3과 같다(서울시정개발연구원, 1999; 환경부, 2001).

Table 3. Chloride injection rate

| 하 수 의 종 류 | 주 입 률 (mg/l) |
|-----------|--------------|
| 유 입 하 수   | 7~12         |
| 일차침전지 유출수 | 7~10         |
| 2차 처리수    | 2~4          |

### (4) 액체염소주입장치

염소주입장치의 용량은 다음 사항을 고려한다(건설부, 1994; 이등, 1994).

첫째, 염소주입장치의 용량은 계획1일 최대오수량에 주입율을 곱하여 정한다. 합류식의 경우에는 우천시를 고려하여 염소주입장치의 용량을 결정한다.

둘째, 염소주입기는 실린더 또는 기화기에서 연속적으로 공급되는 염소가스를 안전하고 정확하게 계량해서 물에 녹여 이를 처리하려는 물에 주입하는 것이다. 염소주입기의 용량 및 대수는 처리수의 수량 및 수질 변동에 대응할 수 있도록 정한다. 또 염소주입기의 제어는 정격치의 60~80%범위에서 조작하는 것이 가장 사용하기 쉬우므로 일상적인 운전시 이 범위가 되도록 염소주입기의 용량, 대수 등을 정하는 것이 좋다. 또한 염소주입을 위한 혼합용수의 소요압력 및 수량은 염소주입기의 종류와 용량에 따라 다르지만 Table 4을 표준으로 한다.

액체염소의 주입량 제어는 직접 염소주입기를 조작하는 방법과 소정의 주입율에 방류수량에 따라 비례하여 제어하는 방법 등이 있다. 비례주입제어는 주입비율 설정기에 의해 필요한 주입율을 정하여 방류수량의 증감에 맞게 염소량 조절계를 작동시켜 정해진 비율의 염소를 주입한다.

셋째, 염소주입기는 안전성 및 유지관리 면에서 널리 쓰이고 있는 장치로 습식 진공형 염소주입기를 사용하고 있다. 습식 진공형 염소주입기에서는 실린더로부터 염소가스가 도관을 통하여 통제밸브(Control valve)로 유도되어 벨자르(Belljar)내로 방출된다. 벨자르의 하부는 물로 봉해져 있기 때문에 염소가스는 오리피스(Orifice)계량기로 계량되어 인젝터(Injector)로 유도된다. 한편 압력수를 공급감압밸브로 조절하여 벨자르내가 항상 -40 mm H<sub>2</sub>O를 유지되도록 인젝터에 급수하며(인젝터의 고유의 흡인력은 700mmHg이상), 여기에서 염소가스를 흡인, 혼합하여 필요한 농도의 염소수를 만들어 처리수에 주입한다. 소요 염소량은 눈금이 있는 관을 대조하여 오리피스 계량기의 진공가감관을 상하로 조절하여 계량한다. 또 다른 종류의 습식진공형 염소주입기에서는 실린더로부터의 염소가스를 여과하여 유도밸브로 -90mmHg를 유지하도록 감압시킨 뒤에 캐피린리 계량기로 계량하여 진공조절밸브, 역지밸브를 통하여 인젝터로 유도한다. 한편 압력수는 급수조절밸브로 조절하여 인젝터로 유도하며, 여기에서 염소가스를 혼합시켜서 필요한 농도의 염소수를 만들어 처리수에 주입시킨다. 이 장치는 압력이 내려가면 기계내의 진공도가 0으로 되고, 그 결과 자동정지 밸브도관을 통하여 자동정지밸브가 작동하여 실린더로부터 염소가스의 공급을 중지시킨다. 또한 어떤 사고로 인하여 물이 인젝터로부터 기계내로 역류하는 경우에는 물 역지밸브의 부자가 작동하여 물의 침입을 방지하는 구조로 되어 있다. Table 4에서 설명된 진공형은 보통형과 비교하여 높은 압력수를

필요로 하지만 실린더에 염소가 남지 않으며, 새지 않는 특징이 있다.

넷째, 염소주입기는 고장 및 소독강화를 고려하여 반드시 예비 또는 비상용 소독 장치(예를 들어 수동식)를 설치할 필요가 있다. 예비대수는 1대인 경우에는 1대를 예비로 더 설치하고, 2대 이상의 경우에는 필요에 맞게 예비대수를 정하여 설치한다(환경부, 1999).

Table 4. Required pressure and quantity of mixed industrial water in chloride injector

| 종 별<br>수압<br>기계용량 (kg/시간) | 보통형 (단위: ℓ/분)         | 진공형 (단위: ℓ/분)         |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                           | 0.5kg/cm <sup>2</sup> | 2~3kg/cm <sup>2</sup> |
| 0.5까지                     | 10                    | 10                    |
| 1.0                       | 10                    | 15                    |
| 1.5                       | 10                    | 20                    |
| 2.0                       | 13                    | 25                    |
| 2.5                       | 17                    | 30                    |
| 3.0                       | 20                    | 35                    |
| 4.0                       | 27                    | 40                    |
| 5.0                       | 33                    | 45                    |
| 6.0                       | 40                    | 50                    |
| 10.0                      | -                     | 60                    |
| 20.0                      | -                     | 120                   |
| 25.0                      | -                     | 150                   |
| 50.0                      | -                     | 300                   |
| 100.0                     | -                     | 600                   |
| 200.0                     | -                     | 1200                  |

#### (5) 염소주입기실

염소주입기실은 다음 사항을 고려하여 설계한다.

첫째, 염소주입기실은 일반기계실, 휴식실과 완전히 격리시켜 독립되게 설치한다. 또한 지하실이나 낮은 곳을 피하여 지면보다 높게 하는 것은 염소가스가 공기보다도 2.5 배나 무겁기 때문에 새는 경우에도 마루바닥에 정체하여 배제시키기가 곤란하다는 것과 또한 염소는 습기가 있으면 강한 부식성을 나타내므로 습기가 많은 장

소를 피하기 위함이다.

둘째, 건물을 내화성으로 하는 것은 염소가 폭발하는 염려가 있기 때문이다. 또한 염소가 새어서 위험이 따를 경우에는 건물을 밀폐시키면 외부에 대한 위험을 방지할 수 있다. 환기용의 작은 창을 측벽하부의 마루바닥 부근에 설치하면 염소가스가 새는 경우 바닥부근에 머물므로 배제시키기가 쉽다. 개폐식의 갤러리나 외부조작이 가능한 환기용 선풍기를 설치하는 것도 좋다. 실내온도를 15℃이상으로 유지하는 것은 온도가 너무 낮으면 기화가 완만하며 염소의 수화물 형성을 쉽게 하기 때문이다. 가능하면 21℃이상으로 유지하는 것이 좋으며, 염소의 주입과 저장에 별도의 방에서 실시된다면 염소저장실의 온도가 10℃이하로 떨어지지 않도록 해야 한다. 그러나 온도가 너무 높으면 실린더내의 액체염소의 용량과 가스압이 증대하여 파열될 우려가 있으므로 35℃를 넘지 않도록 주의를 요한다.

셋째, 염소주입기실의 요구면적 및 배관은 염소주입기 생산업자에 의하여 보통 제안되며, 그 예를 Fig. 12에 나타내었다.

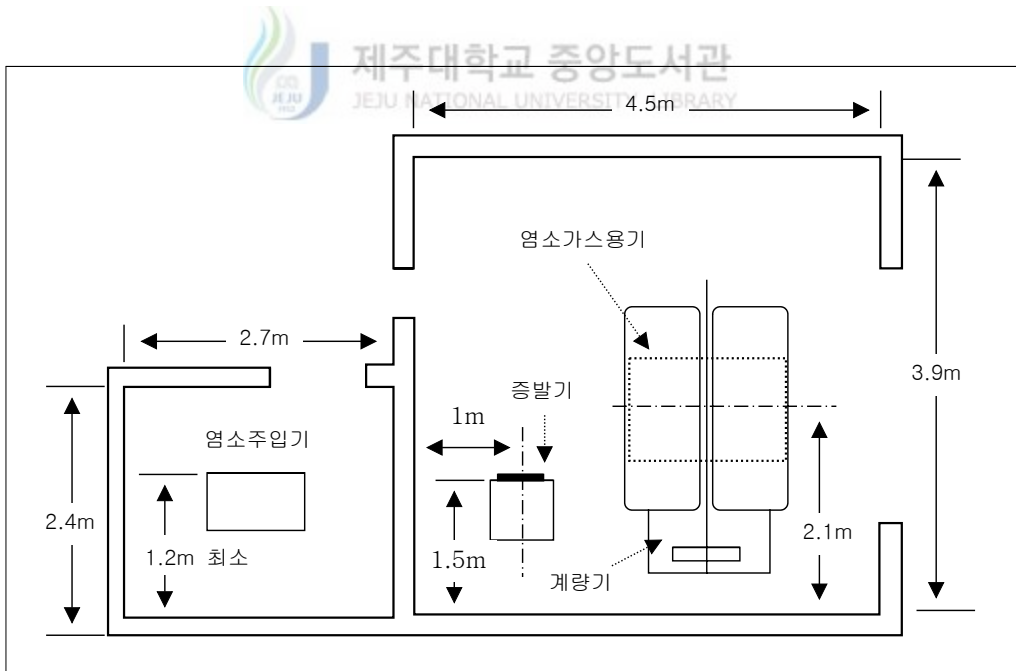


Fig. 12. Required area and arrangement for 3600kg chloride injector

모든 기기에 접근이 용이하고 기기와 염소용기의 취급에 편리한 공간이 부여되어

야 한다. 일반적으로 다음 사항을 만족시키면 된다.

- 한 대의 염소주입기로 90kg/일 이하의 염소를 주입하는 경우 염소주입시설을 위하여 약 6㎡의 면적이 요구된다.
- 두 대의 염소주입기로 180kg/일 이하의 염소를 주입하는 경우 약 15㎡의 면적이 요구된다.
- 염소증발기 1대당 15㎡가 제공되어야 한다.

그리고 3대 이상의 염소주입기를 설치할 경우에는 1대 당 3㎡ 정도의 면적을 제공하는 것이 좋다.

그리고 적당한 작동압을 유지하도록 주입기의 용량 1kg/시에 대하여 50kg실린더 1대의 비율로 장치될 수 있도록 설비한다. 실린더에서 유출되는 염소가스는 주입기의 감압밸브(유도밸브)로 감압된 다음 사용되지만 일시에 다량의 가스가 사용되면 Table 5에 주어진 증발잠열 때문에 온도가 내려가고 가스의 유출이 나빠져서 소요량의 주입이 불가능하게 되기 쉽다. 실린더내의 액체염소가 가스화하는 양과 주입량간에 균형이 유지되기 위해서는 실온 15~19℃에서는 경험상 1kg/시의 사용량에 대해서 50kg 실린더 1 대의 비율로 하는 것이 적당하다. 또한 감압설비와 주입설비 사이의 배관에는 역류방지장치를 설치한다.

Table 5. Latent heat of vaporization by temperature of chloride

| 온 도(℃) | 증발잠열(kcal/kg) | 온 도(℃) | 증발잠열(kcal/kg) |
|--------|---------------|--------|---------------|
| -20    | 66.96         | 10     | 62.58         |
| -15    | 66.28         | 15     | 61.78         |
| -10    | 65.58         | 20     | 60.95         |
| - 5    | 64.86         | 25     | 60.09         |
| 0      | 64.12         | 30     | 59.20         |
| 5      | 63.36         | 40     | 57.33         |

#### (6) 액체염소의 저장

액체염소의 저장은 다음 사항을 고려하여 정한다.

- ① 액체염소의 저장량은 평균주입량의 7~8일분으로 하는 것이 바람직하다. 저장

량은 저장실의 크기에 관계되지만 액체염소의 반입빈도가 너무 많게 되지 않도록 항상 어느 정도의 저장량의 여유를 갖고 있도록 고려하는 것이 좋다.

② 저장방법은 실린더에 의한 것과 조에 의한 것이 있다. 일반적으로 실린더의 용량은 100kg과 1ton이다. 실린더의 용량은 100kg 또는 1ton 이지만 하루의 염소주입량에 따라 실린더의 교환회수를 고려하여 실린더의 크기를 선정한다.

③ 조에 의한 저장방법은 대규모 살균시설에 이용되며 2조 이상을 병설한다.

조에 의한 저장은 대규모의 소독시설에 이용되는데 고장 혹은 보수에 대비하여 2조 이상으로 나누어서 설치하는 것이 좋다. 조로 액체염소를 받아들이기 위해서는 탱크차로부터 관을 접속시켜 실시하는데 이때 고압건조공기가 필요하다. 고압건조공기를 얻기 위해서는 다음과 같은 시설이 요구된다.

- 공기제습조 : 건조제를 통과시킴으로서 공기중의 습기를 제거한다.

- 공기압축기 : 고압공기제조용 공기압축기에서 압력은 상온에서 10kg/cm<sup>2</sup>로 한다.

- 냉각분리기 : 압축된 고온의 공기를 물로써 냉각시킨다.

- 공기조 : 고압건조공기를 저류하는 것으로서 안전밸브를 설치한다.

④ 주입량과 잔류량을 검사하기 위하여 계량장치를 설치한다.

주입기의 계량기와 실제 실린더나 조에서 유출되는 양을 비교하여 주입기가 유효하게 작동하고 있는가를 확인함으로써 주입에 정확을 기하고, 실린더나 탱크의 잔류량을 검사하여 손실 없이 사용할 수 있도록 액량계 등의 계량장치를 설치한다(건설부, 1994; 광, 1998; 환경부, 2001).

## 5) 자외선(UV) 소독시설

### (1) 소독수로

자외선 소독시설에서는 UV 램프 모듈이 설치되는 소독수로를 함께 설계해야 한다. 용량이 작은 하수처리장에서는 스테인레스 스틸 재질의 반응조를 제작하여 최종방류수의 배관에 플랜지를 연결하여 사용할 수도 있으나 용량이 큰 하수처리장에서는 철근콘크리트 구조물의 수로에 소독장비를 장착하여 운영한다. 모듈은 수개의 램프를 하나의 단위로 묶은 것이며 뱅크는 수개의 모듈이 합쳐져서 구성된다. 램프와 모듈, 뱅크의 규격은 설계시 제품의 특성을 충분히 파악하여 결정하여야 한다.



소독수로는 다음 사항을 고려하여 설계하여야 한다(김, 2002; 박등, 2003; 김등 2003).

설계유량은 1일 최대 유량으로 하고 합류식의 경우에는 우천시의 설계 유량을 고려한다. 합류식 지역의 하수처리장에서는 우천시 발생하는 유량을 일차침전지 및 우회 수로를 통해 소독시켜 방류시켜야 한다. 그러나 통상 우천시의 유량은 청천시 하수량의 3배에 달하므로 이를 모두 자외선으로 소독하는 것은 경제적으로 낭비가 된다. 또한 우회된 하수는 일차처리만을 거친 것이므로 탁도가 높아 이차처리수와 혼합하여 UV 소독을 하면 오히려 소독효과가 저하되어 비효율적이다. 따라서 이 경우 이차처리수만을 UV로 소독하고 우회 유량은 별도의 수로에서 비상 염소소독에 의해 소독을 하거나, 그대로 방류시키는 것이 불가피하다. 비상시 염소소독은 설비비가 적은 차아염소산소다 또는 클로르칼키 소독이 좋다.

수로의 치수는 설계안전인자를 고려하여 UV 램프 모듈이 밀집하여 배치될 수 있고 적은 소요부지를 요하도록 설계한다. 수로는 요구되는 램프 수의 배치형태에 의해 규격이 결정되고 자외선이 병원성 미생물을 소독할 수 있도록 체류시간을 충분히 가져야 한다. 저압램프의 경우는 처리 대상 수질에 따라 다르지만 4~14초로 광범위하고 중압램프의 경우에는 1초 정도로 하며 소독의 안전성 확보를 위하여 가급적 접촉시간이 길수록 유리하다.

램프 배열에 의해 수로 깊이가 지나치게 깊어지지 않도록 주의해야 하고 유속이 커져서 손실 수두가 커지지 않도록 수리계산을 적절히 수행하여 플러그흐름형 흐름을 유지하며 전체 영역에 걸쳐 자외선이 방사되어 소독될 수 있도록 UV설비에 적합한 구조를 가져야 한다. 수로의 규격은 UV설비 제작 회사에 따라 달라지게 되므로 설계 전에 UV 제작설비업체에 문의하여 설계하여야 한다.

설계유량이 5,000m<sup>3</sup>/일 이상인 경우에는 소독효과를 높이기 위해 두 개 이상의 뱅크를 설치한다.

수로내 뱅크를 두 개 이상 뒹으로써 소독의 효과를 높이고 램프와 석영슬리브의 교체 및 청소시 또는 기타 유지보수시 전수로를 폐쇄시키지 않고서도 작업할 수 있는 환경을 제공한다.

수로 유입부에는 스크린을 설치하여 작은 부유물이나 조류 덩어리가 램프와 모듈 사이에 걸리는 것을 방지하며, 유출부에는 수위조절장치를 둔다.

1차 처리수를 소독할 경우에는 수로 상단에 전처리설비를 갖추면 조류와 작은 부유물이 램프 사이에 끼어 램프가 손상되는 것을 줄이고 오염도를 최소화 시킬 수 있으며, 결국 자외선 소독의 효과를 증대시키게 된다. 그러나 통상적으로 이차처리수의 소독에는 전처리 설비를 하지 않는다. 또한 방류 수문을 설치하여 수위를 항상 일정하게 유지해야 하고, 살균에 효율적인 단면적을 제공하여 최종유출수가 소독되지 않고서 방류되는 것을 막을 수 있도록 한다. 또한 플러그흐름형 흐름을 도모하기 위해 자외선 램프 전단부에 정류벽을 두는 것이 좋다. 수로에는 격자모양의 뚜껑을 덮어 유지관리를 용이하게 한다. 수로 전체 길이에 걸쳐 격자상의 그레이팅을 설치하면 유지보수 및 운영자의 안전을 도모하며, 외부물질이 수로 내에 유입되어 소독에 영향을 미치지 않도록 한다. 이때 램프, 모듈 또는 기타 부수장비의 유지관리를 위한 적당한 공간이 수로 주변에 마련되어야 한다(안동, 2003).

## (2) 자외선 소독설비의 구성

### ① UV 램프와 UV 모듈

UV 모듈은 석영 슬리브로 보호된 여러 개의 램프로 구성되는데, 램프가 수면 위로 노출되면 램프의 성능에 영향을 준다. 이는 램프 전극의 한 극이 물에 잠겨 있고 다른 한 전극이 대기에 노출되어 있는 상태가 되어 두 전극이 다른 온도에서 운영되므로 램프수명이 짧아지게 된다. 또한 램프의 on/off 빈도를 증가시키면 램프 수명 단축의 원인이 된다. 자외선에 노출되는 금속은 스테인레스 스틸제이거나 테프론으로 코팅되어야 하고, 램프와 램프 보호용 석영 슬리브를 다룰 때에는 충격에 주의하여야 한다. 자외선 램프의 조립은 UV 램프, 석영슬리브, 전선 및 슬리브 끝을 봉하는 조작을 포함하며, 설비의 유지, 보수를 위해 램프 모듈을 운전되고 있는 상태에서 꺼낼 때는 반드시 전원공급기와 연결된 플러그를 분리시켜야 하나, 부득이한 경우 뱅크내에서 램프 모듈을 꺼낼 때 얼굴가리개를 착용하도록 한다. 일반적으로 하수 이차처리수 소독의 경우 저압 램프는 12,000시간의 운전후에도  $25\text{mW초}/\text{cm}^2 \sim 35\text{mW초}/\text{cm}^2$  의 조사량이 유지되고 중압 램프의 경우에는 5,000시간 운전 후에  $45\text{mW초}/\text{cm}^2$  이상의 값이 조사될 수 있게 설계한다. 그러나 이는 일반적인 사양이므로 대장균의 다소에 따라 필요 UV 조사량이 결정되어야 한다(곽, 1998).

#### 가) 자외선 램프

현재까지 살균력이 가장 크게 나타나는 UV-C(200~280nm)를 85%~90%까지 발생시키는 저압 수은 아크램프(Low Pressure Mercury Slimline Lamp)가 가장 널리 소독시스템에 이용되어 왔다. 일반적인 램프의 구조는 Fig. 13과 같은데, 램프 속에 채워진 수은 증기가 진공상태 또는 아르곤 상태의 최적압력에서 최대의 살균력을 나타내는 253.7nm를 효과적으로 방출시키도록 되어 있다.

또한, 전자를 방출할 때 수은증기압이 낮을수록 253.7nm의 파장에서 수은 공명도가 더욱 강해지도록 하여 UV-C를 90%까지 출력시킬 수 있다는 원리로 제작되고 있다. 저압램프(통상 100W~300W)는 긴 실린더형으로 램프의 길이 및 두께는 제작사에 따라 달리 제작 생산되고 있으며 램프길이가 길수록 경제적이다.

최근 하·폐수 처리장의 소독을 위하여 기존의 저압 램프를 대체시키기 위한 중압램프(1.8kW~3.0kW)와 고압램프가 개발되었는데, 그 기본원리는 저압램프와 동일한 수은증기 전자방출에 의해 소독에 필요한 자외선을 출력시킨다. 이들 중 근자에 가장 활발하게 사용되는 중압램프는 높은 자외선 강도와 함께 저압램프보다 넓은 파장 대역을 특징으로 하여 보다 적은 수량의 램프가 요구된다. 또한 소요부지가 적고 램프수가 적으며 유지관리 빈도를 줄일 수 있어 대규모 하수처리장에 적용되고 있으나 사용시간이 저압램프에 비해 짧으며, 수로내 유속이 빨라 손실수두가 큰 것으로 알려져 있다(이등, 2002; 안등, 2003).

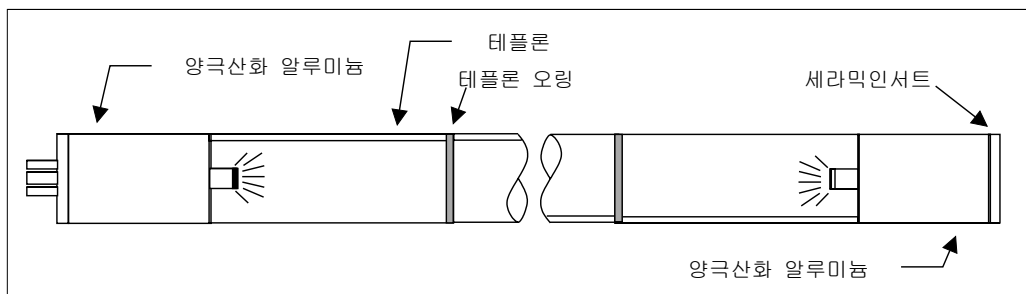


Fig. 13. Specification of general ultraviolet lamp

나) UV 모듈

Fig. 14에 도시된 바와 같이 UV 반응조에 UV 램프를 2개, 4개, 6개 및 최

대 20개까지 설치가 용이하도록 묶은 형태를 말하며, 이러한 모듈의 집합이 한 단위를 형성하게 되는데 이것을 통상 UV 뱅크라 칭한다.

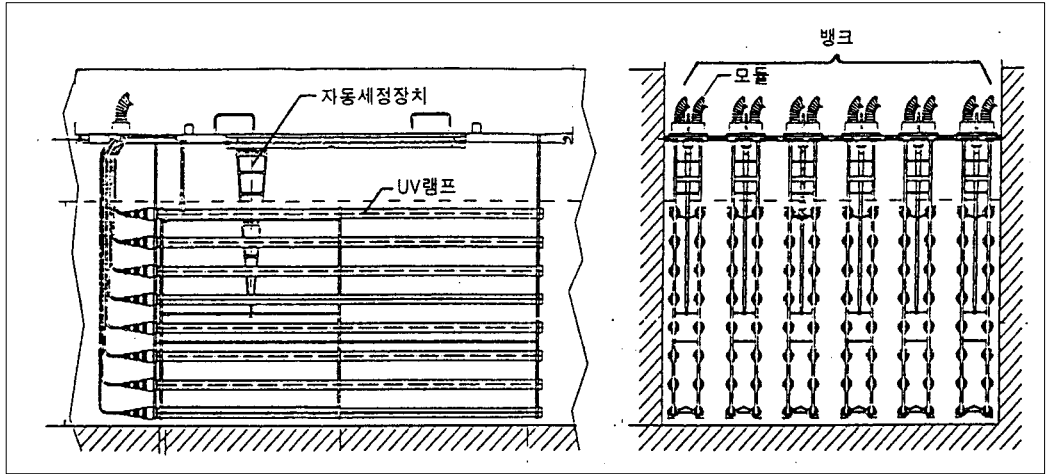


Fig. 14. Diagram of module and bank of UV lamp

② 모듈 지지대

수로 내에 램프 모듈을 유수의 흐름에 안정되게 지지하고 부식에 견딜 수 있도록 스테인레스 스틸제로 제작된다.

③ 자외선 검출 시스템

UV 검출 센서는 장시간 사용해도 성능이 저하되지 않고 254nm에서 90% 이상을 측정할 수 있는 것으로 하고, 공장에서 조정되어야 하며, 현장에서 조정이 되는 감지기의 사용은 바람직하지 않다. 검출기로는 UV 센서(UV sensor)와 UV 광도계(UV photometer)가 주로 사용된다. UV 센서는 램프의 이상 상태를 측정하여 램프의 교체시기를 알려주며, UV 광도계는 UV 램프 세정시간 및 램프, 모듈의 이상 상태를 감지하여 설비의 이상유무를 알 수 있게 한다.

④ 전력 분배장치와 시스템 제어장치

전력분배장치는 UV 램프에 전기를 공급할 수 있는 완전 조립형으로, 시스템 제어장치까지 접속단자, 전원공급 및 분배, 연결통신 선로로 구성된다. 시스템 제어장치에는 자외선 램프의 운전상태가 나타나며, 각 부분의 비정상적인 상태를 경보로 운영자에게 알려주는 방식이 사용된다. 또한 이 장치에 원격감시 시스템

을 부착하여 원격지역(중앙제어실)에서 본 장비의 이상 유무를 확인할 수 있도록 하는 것이 이상적이다.

#### ⑤ 수위조절장치

한 개의 뱅크로 운영되는 처리장에서는 수위조절을 위해 전폭 웨어 등을 이용하며, 1개 이상의 뱅크로 구성되는 중규모 이상의 소독처리 시스템에서는 일반적으로 균형추에 의해 작동되는 자동수위조절장치, 초음파 수위조절센서의 신호에 대응하여 작동하는 모터 구동형 자동수위 조절장치 등이 이용된다.

#### ⑥ 세척시스템

세정방법은 처리용량에 따라 수동세척과 자동세척으로 구분된다. 소규모의 처리시스템에 사용되는 수동세척방법은 간단히 세척 랙크에 자외선 모듈을 걸어 놓고 직접 손으로 세척하는 방법이며, 이보다 다소 큰 처리시스템에 적용되는 바퀴 등이 달린 이동이 가능한 소형 세척탱크에 날개의 모듈을 넣고 세척하는 방법이 있다. 그러나 수동세척은 소요시간이 길고 화학약품을 다루는데 위험성이 따른다. 중규모와 대규모처리시스템에서는 오버헤드 크레인 등을 이용하여 전체 모듈 묶음을 들어내어 세척탱크에 넣고 세척한다. 소형 세척탱크 내에서의 세척효과를 높이기 위해 약산이 첨가된 물을 이용하여 세척한다. 자동세척은 최근에 개발된 방법으로 소독처리 중에 동시에 세척이 가능한 자외선 장비에 내장된 세척 시스템을 말하며, 주로 대용량의 처리시스템에 적용되며, 세척주기는 현장 여건에 따라 세척주기를 입력하여 자동으로 수행하며 1년 정도에 한번씩 화학세정을 한다. 세척액은 인산이나 석회석용액이 주로 사용되며, 화학세제나 희석된 산성 용액이 사용되기도 한다(곽, 1998; 환경부, 2001).

### 3. 하수처리장 방류수 재이용기술의 장·단점

하수처리장 방류수 재이용기술은 공법별로 사용 용도가 각각 다르게 활용할 수 있다. 또한 고도처리를 요구할 경우 여러공법을 병합하여 사용하면 양질의 처리수를 얻을 수 있다. Table 6 같이 재이용 기술의 장·단점을 비교하여 주변 여건과 사정을 고

려하여 적합한 공법을 적용할지를 선택할 수 있다.

Table 6. Strong points and weak points of recycling of effluent from sewage plant

| 공 법       | 장 점   | 단 점  |
|-----------|---|--|
| 급속여과법     | <ul style="list-style-type: none"> <li>안정된 처리성을 얻을 수 있다</li> <li>운전이 용이하며 2차 처리수질의 향상을 기대할 수 있는 고도처리의 기본공정이다.</li> <li>질소,인 제거를 목적으로 SS를 제거하면 안정된 수질을 얻을 수 있다.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>여과능력의 재생을 위하여 주기적으로 역세척을 하여야 한다.</li> <li>계획수량이 비교적 적은 경우에 사용한다.</li> <li>여재로 사용하는 여사는 석영질이 많고 단단하며 균질한 모래로 불순물이 적은 것이라야 한다.</li> </ul>   |
| 활성탄 흡착법   | <ul style="list-style-type: none"> <li>활성탄을 재생하여 다시 사용할 수 있어 경제적이다.</li> <li>하수처리수에 존재하는 소량의 미생물에 의하여 분해되지 않는 유기물까지 제거가 가능하다.</li> </ul>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>유입수의 수질이 균등해야 하고 유량변동이 크지 않아야 한다.</li> <li>부유물,유기물,페놀,용존산소등도 흡착시설의 운영에 영향을 미친다.</li> <li>고정상 흡착탑을 사용하면 하수내의 부유물질이 축적되므로 역세척이 반드시 필요하다.</li> </ul>                                       |
| 막분리법      | <ul style="list-style-type: none"> <li>처리효율 면에서 아주높은 처리수를 얻을 수 있다.</li> <li>구조가 간단하여 분해하고 보수하기가 용이하다.</li> <li>시설관리가 용이하다.</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>장치가 비교적 고가이다.</li> <li>막의 물리적 손상이나 화학적 변화에 의해 성능이 저하될 수 있다.</li> <li>주로 3-5년 주기로 막을 교체해야 한다.</li> <li>정기적으로 약품세척을 하여야 한다.</li> </ul>  |
| 염소소독      | <ul style="list-style-type: none"> <li>시설비용이 저렴하며 시설면적 또한 적게 차지한다.</li> <li>많은양의 하수를 처리할 수 있다.</li> <li>유입수의 수질이 불규칙적이고 유량변동이 커도 안정적으로 처리할 수 있다.</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>처리효율이 비교적 낮다.</li> <li>잔류염소가 과다하게 투입되면 비경제적일 뿐만 아니라 방류수역의 수생생물에 영향을 미친다.</li> <li>염소는 습기가 있으면 강한 부식성을 나타내므로 습기가 많은 장소를 피하는 것이 좋다.</li> <li>염소저장실의 온도가 10℃이하로 떨어지지 않도록 해야 한다.</li> </ul> |
| 자외선(UV)소독 | <ul style="list-style-type: none"> <li>대장균 및 탁도 제거에 효과가 높다.</li> <li>접촉시간을 길게 할수록 소독 효과가 높다.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>전력소모량이 높다.</li> <li>램프배열에 의해 수로 깊이가 깊지 않도록 하여야 하며 유속이 커지면 손실수두가 높다.</li> </ul>  |

### Ⅲ. 국내외 하수처리장 방류수 재이용 현황

일반적으로 하수를 더럽고 유해한 것으로 인식하고 있으나 하수의 99%는 물로 이루어져 있기 때문에 재이용을 할 수 있는 좋은 대체 수자원이라고 할 수 있다. 특히 환경보전에 대한 주민의식이 높아지면서 쾌적한 환경에 대한 욕구가 증가하고 있고, 예기치 못한 잦은 이상가뭄과 세계적인 물 부족위기에 대한 경고가 이어지면서 중수도의 확대 필요성이 꾸준히 제기되고 있다. 이와 더불어 국내외적으로 오·폐수처리기술이 급속히 발전하면서 하수를 먹는 물로 이용하더라도 전혀 손색이 없을 정도로 깨끗하게 처리 할 수 있는 수처리 기술이 크게 향상되고 있다(환경부, 1996; 서울시정개발연구원 1999). 국내 중수도 시설현황을 비롯하여 하수처리장 현황과 방류수 재이용 실태 및 미국, 일본을 비롯한 국외의 방류수 재이용 사례에 대하여 검토하고자 한다.



#### 1. 국내 하수처리장 방류수 재이용 현황

##### 1) 국내의 하수처리량과 재이용 현황

환경부의 하수종말 처리장 운영결과분석결과에 따르면 2002년도말 기준 전국에 가동중인 하수종말처리장은 모두 201개소이다. 201개소의 시설 총량은 총 19,976천 $m^3$ /일이며, 이 중 연간 6개월 이상 가동된 190개소에서 처리된 하수량은 16,819천 $m^3$ /일이다. 또한 전국하수처리장에서 발생하는 방류수 재이용 현황은 연간 총 하수유입량 61억 $m^3$ 중 4.2%인 2억6천2백만 $m^3$ 이 재이용되고 있다. 재이용된 하수 방류수중 64.3%는 하수처리장내에서 화장실 용수, 세정용수, 냉각용수, 희석용수, 기타용수 등으로 사용되고 있으며, 나머지 35.7%는 하수처리장 외에서 공업용수, 농업용수, 환경용수(하천유지용수)등으로 사용되고 있다(환경부, 2003; 제주도, 2003).

## 2) 국내의 중수도 시설 현황

환경부의 2002년기준 전국 중수도 현황보고에 의하면 Table7에서 보는 바와 같이 2002년말 현재 국내의 중수도 시설 현황은 총115개소로 447,077m<sup>3</sup>/일의 시설용량을 갖추고 있다.

지역별로 보면 서울이 26개소로 가장 많고 경기도가 16개소, 경북 11개소, 부산 10개소순이고, 제주가 3개소가 설치되어있다.

지역별·시설용량별로 보면 전남이 시설수는 7개소이나 시설용량은 120,960m<sup>3</sup>/일로 가장 많고, 다음으로는 전북 7개소, 시설용량 95,560m<sup>3</sup>/일, 경북이 11개소, 시설용량64,080m<sup>3</sup>/일, 울산이 3개소, 시설용량 33,800m<sup>3</sup>/일순으로 나타났다. 이 같은 현상은 공업단지 또는 대규모 공장이 입지해 있는 지역을 중심으로 대용량이 중수도가 시설돼 있는데서 비롯된 것으로 사료된다. 전국에 시설된 중수도 중 최대 시설용량은 전남의 광양제철로서 106,000m<sup>3</sup>/일의 시설용량의 규모를 갖추고 있으며, 포항에 있는 포스코는 40,00m<sup>3</sup>/일, 인천국제공항도 20,000m<sup>3</sup>/일 규모의 시설 용량을 갖추고 있다(환경부, 2003).

Table 7. Status of construction of recycled water supply system by city and province of the country (as of the end of 2002)

| 지 역 명   | 시설수 | 시설용량(m <sup>3</sup> /일) |
|---------|-----|-------------------------|
| 서울특별시   | 26  | 10,770                  |
| 부산광역시   | 10  | 4,271                   |
| 대구광역시   | 2   | 5,150                   |
| 인천광역시   | 6   | 22,400                  |
| 광주광역시   | 6   | 6,730                   |
| 대전광역시   | 4   | 1,520                   |
| 울산광역시   | 3   | 33,800                  |
| 경 기 도   | 16  | 43,480                  |
| 강 원 도   | 6   | 16,256                  |
| 충 청 북 도 | -   | -                       |
| 충 청 남 도 | 5   | 21,190                  |
| 전 라 북 도 | 7   | 95,560                  |
| 전 라 남 도 | 7   | 120,960                 |
| 경 상 북 도 | 11  | 64,080                  |
| 경 상 남 도 | 3   | 600                     |
| 제 주 도   | 3   | 310                     |
| 계       | 115 | 447,077                 |



### 3) 국내의 하수처리수 재이용 현황

#### (1) 대구 신천하수처리장 방류수의 하천 유지 용수 이용

대구시는 하수처리율이 1999년 현재 85.8%로써 전국 1위로 알려져 있지만, 도심을 흐르는 하천은 하수를 거의 차집함으로 인해 유지용수가 부족하게 되었다. 대구광역시의 신천 하수처리장은 신천에 유입되는 대구시의 중구, 동구, 남구, 북구, 수성구 지역의 하수를 처리하여 금호강으로 방류하는 대구에서 가장 큰 규모의 하수처리장으로써 하루 처리량이 680,000m<sup>3</sup>/일이다. 처리방식은 표준 활성법이고, 하수처리 인구는 1,081,850명에 달한다. 이 처리장은 처리 방류수 680,000m<sup>3</sup>/일 중 100,000m<sup>3</sup>/일을 신천의 하천유지용수를 보충해 줄 목적으로 신천 상동교까지 송수하여 맑고 푸른 물이 흐르도록 하고 있다(환경관리공단, 2001).

#### (2) 광주천 건천화 방지사업

광주천 건천화 방지사업의 목적은, 도시하수처리사업을 위한 차집관거 및 하수처리장의 건설로 인하여 하천 유지용수량이 감소되어 광주천의 적정유지용수를 확보하여 하천의 기능을 재생시키고 하천의 오염방지를 통하여 시민에게 쾌적하고 친밀감 있는 하천환경을 조성코자 시도하였다. 현재 광주천은 하수처리장 차집관거가 하천고수부지 양안으로 매설되어 있고 하천유입 하수관거가 대부분 차집관거에 연결되어 있기 때문에 갈수기에는 하천의 유하량 부족으로 인해 저질토의 퇴적 및 오염이 가속화되어 도심하천으로써의 기능을 상실하고 있는 바 하천의 기능회복 및 친수형 수변공간으로의 전환이 요구되어 본 사업을 계획·시행하게 되었고 선정기준은 다음과 같다(광주광역시, 1995).

##### ① 선정기준

- 수면 폭은 유량감을 느낄 수 있는 최저비율인 하천폭의 20%이상을 확보
- 도시를 관류하는 하천이기 때문에 어느 정도의 흐름을 느끼게 하고 친수활동에 적합한 유속(0.2m/sec) 유지
- 산책이나 어린이 놀이터가 가능한 수위
- 붕어, 메기 등이 서식할 수 있는 생태계적 측면 고려
- 광주천 하천수질기준 달성

##### ② 유지유량

광주천이 도심하천으로써의 정상적인 기능을 유지하기 위한 사항 중 경관, 생태계, 수질보전과 같은 친수기능의 유지 및 회복 차원에서 유지유량이 설정되었는데 위의 사항들에 준하여 설정된 하천 기능별 유지수량을 정리하면 다음 Table 8과 같다. 수질은 영산강하천 복류수를 집수매거방식으로 취수하기 때문에 여과, 흡착 등의 작용으로 BOD 등이 상당히 낮아지게 될 것으로 예상되며, 취수량은 하천유지수량에서 갈수량을 제외한 0.5m<sup>3</sup>/sec로 설정하였다.

Table 8. Maintenance quantity by function in Gwangju stream

| 구분                      | 경관       | 친수활동    | 생태계     | 수질보전                             | 하천특성      | 광주천 적용 |
|-------------------------|----------|---------|---------|----------------------------------|-----------|--------|
| 수면폭(m)                  | 10~14    | 20~25   | 20~25   | 목표수질Ⅲ 및<br>Ⅳ등급 유지<br>(BOD6~8ppm) | 갈수량<br>기준 | 20~25  |
| 유속(m/sec)               | 0.2      | 0.2     | 0.2     |                                  |           | 0.2이상  |
| 수심(m)                   | 0.1      | 0.2     | 0.1     |                                  |           | 0.1이상  |
| 유량(m <sup>3</sup> /sec) | 0.2~0.28 | 0.8~1.0 | 0.4~0.5 | 0.756                            | 0.256     | 0.756  |

### ③ 기대효과

광주천 건천화 방지사업으로 인한 기대 효과는 다음과 같다.

- 광주천 하천유지용수의 안정적 확보
- 광주천오염도 저하 및 수질기준 달성
- 하천 생태계의 복원
- 수변환경의 정화로 친수성 제고
- 시민의 수변휴식공간 제공
- 하수처리장 방류수의 재이용으로 수자원의 효율적 이용

### (3) 인천광역시 가좌하수처리장 방류수 재이용 사례

인천광역시 동구에 소재한 INI스틸 인천공장은 연간 365만m<sup>3</sup> 이상의 상수도를 냉각용수로 사용하고 약 40억원에 달하는 비용을 상수도 요금으로 지출하여 오고 있다. 이처럼 과도한 상수도 요금과 가뭄시 용수부족 문제를 해결하기 위하여 INI스틸에서는 인천시 가좌동 하수종말처리장의 방류수를 재처리하여 공업용수로 이용하기 위한 계획을 추진하였다.

우선적으로 하수처리장방류수를 공업용수로 재이용하는데 필요한 방류수의 수질

성사분석과 수질조건을 만족시키기 위한 단위공정의 선정, 최적의 조합공정등을 선정하였다. INI 스틸에 설치된 방류수 재처리시설은 3단계로 구성이 되어있는데, 부유물질 제거를 위해 응집 처리후 디스크 드럼필터를 이용해 여과처리하는 전처리 공정과 콜로이드같은 미세부유물질을 제거하기위한 미세모래를 이용한 와류식 다층 여과처리 공정, 무기염류 등을 제거하기 위한 고도처리 공정으로 역삼투막 공정으로 구성되었다. INI 스틸은 2002년 9월 인천광역시와 가좌하수종말처리장으로부터 1일 16,000m<sup>3</sup>의 방류수를 이용하는데 협약하여, 2002년 11월 1일 12,000m<sup>3</sup>의 공업용수를 생산 할 수 있는 재처리 시설 공사를 완료하여 현재 가동중에 있다. INI 스틸은 방류수를 공업용수로 재이용함으로써 연간 약 34억5천만원의 상수도 용금을 절역하는 효과를 얻고 있다(제주도, 2003).

## 2. 제주도의 하수처리장 현황

### 1) 시 지역 현황(濟州市 및 西歸浦市)

2002년 말 현재 제주도 내에 운영중인 하수종말처리장은 제주시 도두를 비롯하여 서귀포시 중문(서부) 및 보목(동부)의 3개소이다. 이들 하수처리장에서는 생물학적 처리방식인 Fig15와 같이 표준활성슬러지법에 의해 하수를 처리하고 있으며, 시설용량은 평균 165천m<sup>3</sup>/일이다. 하수처리장 집수구역 내에서 발생하는 하수량은 1일 122,735m<sup>3</sup>이고, 이 중 91%인 111,491m<sup>3</sup>/일이 차집되어 처리되고 있다.

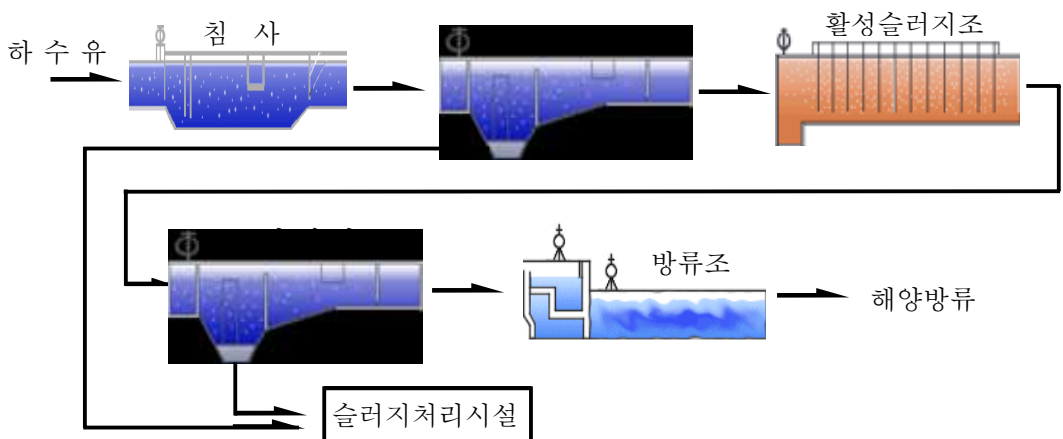


Fig. 15. Water Disposal Process in Wastewater Treatment Plants in Jeju

하수종말처리장별 하수 처리현황은 Table 9과 같이 .제주시 도두처리장은 시설용량이 130,000m<sup>3</sup>/일이며, 처리구역 내에서 발생하는 99,668m<sup>3</sup>/일의 하수 중 95,570 m<sup>3</sup>/일(96%)을 처리한 후 해안으로부터 834m 떨어진 곳까지 매설된 해양 방류관을 통해 해역으로 배출하고 있다.

Table 9. Wastewater Treatment Plants in Jeju

(Unit : m<sup>3</sup>/day)

| 처리장별   | 위 치      | 처리방법     | 시 설 용 량 | 하수 발생량  | 처리량     |
|--------|----------|----------|---------|---------|---------|
| 계      | 3개소      |          | 165,000 | 122,735 | 111,491 |
| 제 주    | 제주시 도두2동 | 표준활성 슬러지 | 130,000 | 99,668  | 95,570  |
| 서귀포 동부 | 서귀포시 보목동 | "        | 20,000  | 13,937  | 10,920  |
| 서귀포 서부 | 서귀포시 색달동 | "        | 15,000  | 9,130   | 5,001   |

<자료 : 2002년 하수종말처리시설 운영결과, 제주도 내부자료>

하수종말처리장별 하수 처리현황은 Table 9과 같이 .제주시 도두처리장은 시설용량이 130,000m<sup>3</sup>/일이며, 처리구역 내에서 발생하는 99,668m<sup>3</sup>/일의 하수 중 95,570 m<sup>3</sup>/일(96%)을 처리한 후 해안으로부터 834m 떨어진 곳까지 매설된 해양 방류관을 통해 해역으로 배출하고 있다. 서귀포시 보목(동부) 처리장은 1일 20,000m<sup>3</sup>/일을 처리할 수 있는 시설이 갖춰져 있고, 1일 평균 10,920m<sup>3</sup>의 하수가 처리되어 해안에서 1,096m 떨어진 곳으로 보내져 방류되고 있다. 서귀포시 중문(서부) 처리장의 시설용량은 12,000m<sup>3</sup>/일이고, 1일 평균 5,001m<sup>3</sup>의 하수가 처리된 후 방류되고 있다(해양 방류관 길이 1,040m).

## 2) 군지역 현황(北郡 및 南郡)

북제주군과 남제주군 지역 즉, 군 지역의 하수를 처리하기 위한 처리장 건설사업은

지난 1997년부터 추진되고 있다. 이 사업은 3,049억원을 투자하여 군 지역 5개소에 총 44,000m<sup>3</sup>/일의 하수를 차집해 처리할 수 있는 시설을 갖추고 있는데 2006년에 완공될 예정이며, 2003년 6월 현재 60%의 공정율을 보이고 있다. 북제주군 지역에는 금능과 월정처리장 2개소가 건설되고 있는데, 이들 2개소의 시설용량은 각각 1일 12,000m<sup>3</sup>이 된다. 남제주군 지역에는 성산·태흥·하모처리장 3개소가 건설되고 있고, 시설용량은 태흥과 하모처리장은 각각 8,000m<sup>3</sup>/일이며, 성산처리장은 4,000m<sup>3</sup>/일 규모이다. 이들 군 지역 하수처리장이 완공되는 2006년에는 기존 하수처리장 3개소에서 방류되는 방류수를 포함해 1일 약 140,000m<sup>3</sup>의 방류수가 해역으로 방류될 것으로 전망된다.

### 3) 하수유입량 변화

제주지역에 운영 중인 3개 하수종말처리장의 하수 유입량을 보면(Table 10), 제주 시 도두처리장의 경우 최대 114,181m<sup>3</sup>/일, 최소 75,867m<sup>3</sup>/일, 평균 90,638m<sup>3</sup>/일을 나타냈다. 서귀포동부처리장(보목)은 최대 15,101m<sup>3</sup>/일, 최소 10,030m<sup>3</sup>/일, 평균 11,456m<sup>3</sup>/일이었으며, 서귀포서부처리장(중문)의 경우에는 최대 6,194m<sup>3</sup>/일, 최소 3,657m<sup>3</sup>/일, 평균 4,551m<sup>3</sup>/일을 나타내었다.

Table 10. Sewage Inflow in Wastewater Treatment Plants in Jeju

(Unit : m<sup>3</sup>/day)

| 구 분 | 제 주     | 서귀동부   | 서귀서부  | 기 간               |
|-----|---------|--------|-------|-------------------|
| 최 대 | 114,181 | 15,101 | 6,194 | 2001. 1 ~ 2003. 6 |
| 평 균 | 90,638  | 11,456 | 4,551 | 2001. 1 ~ 2003. 6 |
| 최 소 | 75,867  | 10,030 | 3,657 | 2002. 1 ~ 2003. 6 |

2001 ~ 2003. 6월까지 3개 하수처리장으로 유입된 분기별 하수유입량을 보면, 하절기가 포함되는 3/4분기에 하수 유입량이 전반적으로 증가하고 있음을 알 수 있는데, 이는 여름철 물 사용량의 증가에 따른 것으로 해석된다(Table 11). 또한, 분기별 하수 유입량 변화를 보면, 1/4분기에서 3/4분기로 가면서 유입량이 증가해 3/4분기에 최고치에 도달했다가 4/4분기에는 감소하는 현상을 3개 처리장에서 모두 나타냈다. 이러한 현상은 봄철부터 물 사용량 증가세가 이어져 가을철까지 지속되다가 겨울철로 접어들면서 감소하고 있음을 간접적으로 나타내 주고 있는 것이라 할 수 있다.

Table 11. Quarterly Sewage Inflow in Wastewater Treatment Plants in JeJu  
(Unit : m<sup>3</sup>/day)

| 년도별  | 분기  | 제주시     | 서귀동부   | 서귀서부  |
|------|-----|---------|--------|-------|
| 전체평균 |     | 90,638  | 11,456 | 4,551 |
| 2001 | 1/4 | 77,790  | 10,847 | 3,787 |
|      | 2/4 | 81,707  | 11,415 | 4,346 |
|      | 3/4 | 87,908  | 13,022 | 4,560 |
|      | 4/4 | 80,571  | 10,512 | 3,912 |
|      | 평균  | 81,994  | 11,449 | 4,151 |
| 2002 | 1/4 | 81,327  | 10,310 | 4,346 |
|      | 2/4 | 91,823  | 10,937 | 4,462 |
|      | 3/4 | 110,733 | 12,736 | 5,191 |
|      | 4/4 | 97,896  | 11,382 | 4,370 |
|      | 평균  | 95,445  | 11,341 | 4,592 |
| 2003 | 1/4 | 96,829  | 10,926 | 4,820 |
|      | 2/4 | 99,796  | 12,468 | 5,712 |
|      | 평균  | 98,313  | 11,697 | 5,266 |

4) 하수처리장 방류수의 수질평가

Table 12. Quality Comparison of Water Discharged from Water Disposal Plants in Jeju and in the Main Land

| 구 분          |       | BOD<br>(mg/ℓ) | COD<br>(mg/ℓ) | SS<br>(mg/ℓ) | T-N<br>(mg/ℓ) | T-P<br>(mg/ℓ) | 대장균<br>균 수 |
|--------------|-------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|------------|
| 수질기준         | 특정지역  | 10            | 40            | 10           | 20            | 2             | 1,000      |
|              | 기타지역  | 20            | 40            | 20           | 60            | 8             | 3,000      |
| 제주지역<br>(평균) | 제주    | 13.8          | 12.2          | 5.3          | 19.5          | 1.4           | -          |
|              | 서귀동부  | 10.0          | 9.5           | 3.8          | 17.1          | 1.7           | -          |
|              | 서귀서부  | 8.6           | 15.0          | 10.9         | 29.0          | 2.5           | -          |
| 전국<br>(평균)   | 2001년 | 11.6          | 13.4          | 8.8          | 21.6          | 1.3           | -          |
|              | 2002년 | 10.9          | 13.2          | 8.1          | 20.9          | 1.3           | -          |

※ 제주지역은 기타지역의 수질기준이 적용된다.

※ 전국 평균자료는 환경부 2002년 하수종말처리장 운영결과 보고서 인용

제주지역 3개 하수처리장의 방류수에 대한 수질상태를 종합해 보면, 다음과 같은 몇 가지 특징을 찾을 수 있다.

(1) 염소이온 농도는 최대 117.6 ~ 3,523.9mg/ℓ (평균치 범위 529.6 ~ 730.0mg/ℓ) 범위를 나타내 내륙지역 하수처리장 방류수보다 훨씬 높으며, 지하수법상의 농업용수 수질기준(250mg/ℓ)을 초과.

(2) BOD(생물학적 산소요구량) 역시 26.5 ~ 2.9mg/ℓ (평균치 범위 8.6 ~ 13.8mg/ℓ) 의 범위로서 지하수법상의 농업용수 수질기준(8mg/ℓ)을 초과

(3) 대장균군(100ml 당)은 3,200~42개(평균치 범위 400~930개) 범위에서 검출되고 있으며, 질산성질소는 2.1~27mg/l (평균치 범위 6.0~15.3mg/l)을 나타내 지하수법상의 농업용수 수질기준을 초과하고 있지는 않다.

(4) TCE(트리클로로에틸렌)을 비롯하여 페놀, 유기인, 비소, 시안, 카드뮴, 6가크롬, 수은 등 특정유해물질은 검출되지 않았다.

(5) BOD를 비롯한 일반오염물질 성분들은 여름~가을철 기간이 낮고 겨울~봄철 기간이 다소 높은 계절변화의 경향을 나타내고 있다.

이상과 같은 방류수의 수질성상에 비추어 볼 때, 중수도처리(고도처리)를 하지 않은 상태로 농업용수 및 조경용수로 재이용하는 것은 외국의 방류수 재이용 수질기준 또는 권장사항을 고려할 때, 공중보건상의 문제뿐만 아니라, 농작물에 영향을 미칠 수 있기 때문에 곤란한 것으로 판단다. 따라서, 제주지역 하수처리장에서 발생하는 방류수를 재이용하기 위해서는 적절한 공정에 의한 3차처리가 요구되고 있다.

### 3. 외국의 하수처리장 방류수 재이용 현황

#### 1) 일본의 하수처리수 재이용

##### (1) 일본의 하수처리수 재이용 경위 및 형태

동경올림픽이 개최되었던 1964년에 일본에서는 동경 인근 지방이 겪었던 긴 가뭄을 계기로 하여 물의 순환이용의 검토가 시작되었다. 그리하여 공장 및 대규모빌딩에서의 순환이용이 이뤄졌으며, 東京都 및 名古屋市 등에서는 하수처리수를 공업용 수도원수로서 재이용하게 되었다. 또한 고급수를 필요로 하지 않은 공장과 분뇨



처리장에서는 하수처리장 인근에 위치할 경우 하수처리수를 재이용하게 되었다. 그러나, 댐 건설에 의한 수자원개발이 진행되었음에도 불구하고 경제성장과 인구의 도시집중에 의해, 關東, 東海, 近畿, 北九州 등의 지역에서는 공업용수와 도시생활용수의 수요증가로 용수수급의 어려움이 계속되었다. 이러한 상황에서 大阪市에서는 1970년 만국박람회 개최에 즈음하여 도시의 상징인 大阪城의 경관을 보호하기 위해 주변 연못인 外湖의 수위감소에 대한 대책으로서 하수고도처리수의 도입을 개시하였다. 이것이 바로 일본 최초로 하수처리수를 조경용수로 이용한 예이다. 이러한 하수처리수의 재이용은 1980년경부터 하수도건설에 수반하여 수원이 고갈된 도시내의 작은 하천에 하수처리수를 도입하여 수변공간을 회복시킴으로서 하수도 홍보도 겸할 수 있었기 때문에 각지에서 하수처리수의 재이용이 이뤄지게 되었다. 이러한 하수처리수의 재이용 형태가 일본에서의 하수처리수 재이용의 중심적인 형태로 자리잡게 되었다. 용수 수요의 압박은 고유한 수자원이 부족했던 北九州의 福岡市에서 특히 심각하였으며 물부족 현상이 자주 발생하였다. 더구나 1978년도의 가뭄은 283일이나 지속되어 부득이 제한급수를 행할 수밖에 없었고 이는 시민들에게 큰 불편을 초래하였다. 이러한 장기간의 가뭄을 경험함으로써 福岡市에서는 근본적인 갈수대책으로, 유역을 초월하여 筑後川으로부터 대규모 도수로에 의해 수자원을 확보함과 동시에 하수처리수의 재이용을 적극적으로 행하게 되었고, 하수처리수를 원수로 한 광역적 중수도사업을 대대적으로 착수하였다. 이것이 일본에서의 광역순환형 하수재이용의 최초 사례가 되었다. 정부건물을 포함한 개별 빌딩 등의 용수순환이용설비에 대한 용자제도 및 세금공제제도가 시행됨과 동시에 음료수 이외 용도의 재이용수에 대한 잠정적 수질기준이 설정되어 모델사업을 추진하는 등 순환이용설비 도입을 원활하게 진행시키기 위한 제반 시책들이 시행되었다. 이후 福岡市가 행한 모델사업은 東京都, 千葉縣, 神戸市 등에서도 도입되게 되었다. 한편, 겨울에 적설량이 많아 도로 제설이 중요한 임무로 되는 일본의 북부지방에서는 지하수에 의한 용설 및 기계식 제설과 더불어 하수처리수에 의한 流雪溝 및 融雪槽를 설치·운영함으로써 겨울철에도 시민들에게 쾌적한 생활을 영위할 수 있게 하고 있다. 최근에는 하수처리수를 이러한 용도로 재이용하는 것도 증가 추세에 있다.

일본에서 인위적인 경로를 거쳐서 구축된 용수의 순환이용은 개별건축물로부터 하수처리구역까지 크고 작은 여러 단위로 이루어졌고, 그 규모 또는 사업주체의 중

류에 따라 재이용 형태는 Fig. 16에 나타낸 것처럼 개별순환방식, 지구순환방식, 광역순환방식, 기타용도 공급방식, 하천유량조절방식 등으로 구분 할 수 있다(佐治太一, 1993; Takahashi, 1998; 환경관리공단, 2001).

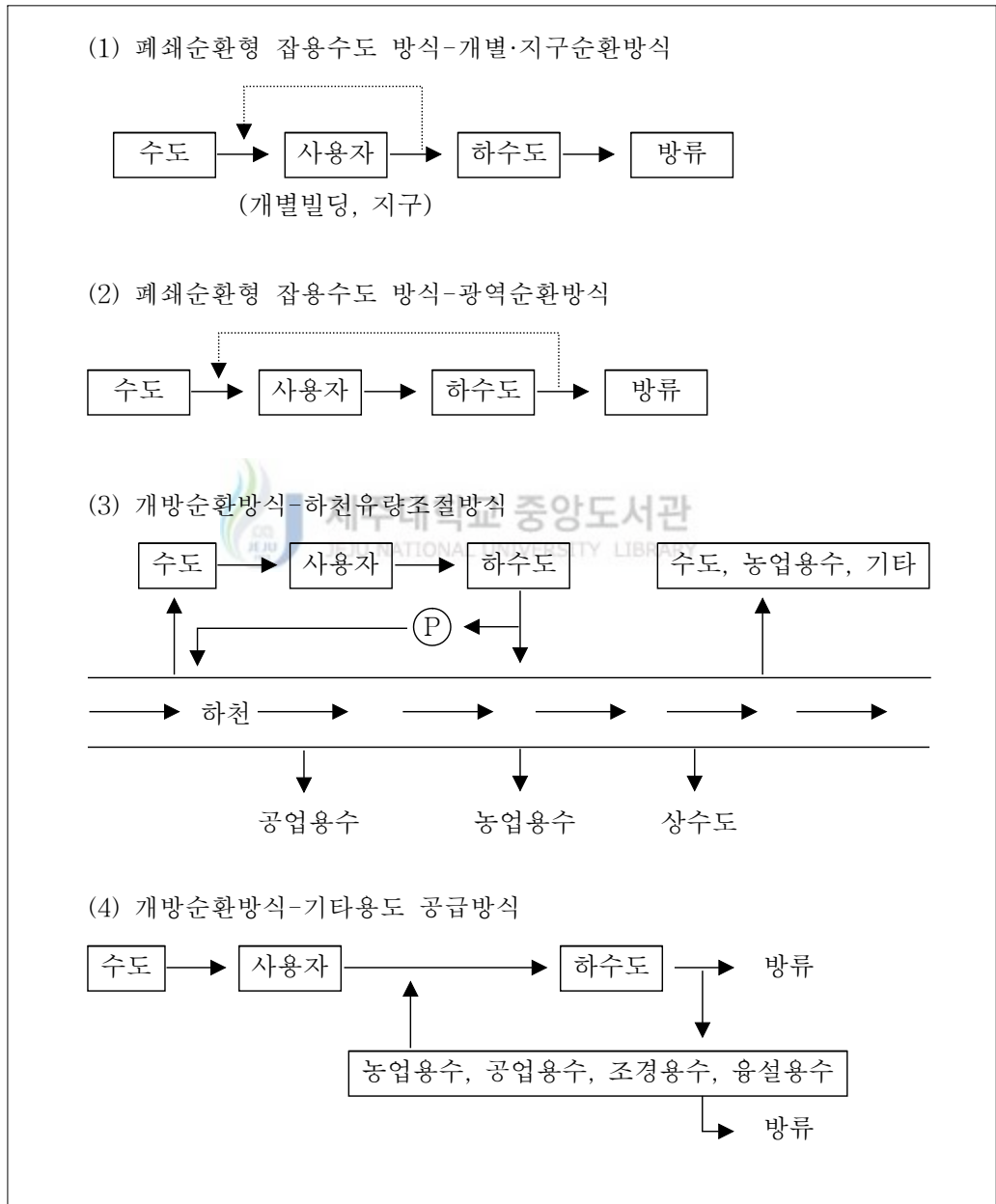


Fig. 16. Circulatory recycling method of treated sewage in Japan

## (2) 재이용 용도와 추가처리방식

재이용 용도와 추가처리방식의 관계를 보면(Fig.17), 농업용수와 용설용수로 공급되는 하수처리수는 95%이상은 통상적인 2차 처리수를 그대로 이용하거나 소독을 추가한 것이다. 공업용수로의 재이용에서도 분뇨처리시설의 희석용수로 이용되는 경우가 비교적 많고, 또한 공업용 수도의 원수로서 이용되는 경우가 많기 때문에 추가처리 없이 공급되는 경우가 70%이상을 점하고 있다. 그리고 공업용수로의 재이용을 위해 추가되는 처리공정은 응집여과가 주된 공정이다.

하수처리수를 농업용수, 공업용수, 용설용수로 재이용하고자 할 때 이들 용도에 대한 수질 기준이 지침으로 정해지지 않았기 때문에 수요자와의 협의에 의해 재이용 여부가 결정되고 있는 실정이다. 농업용수에 대한 수질기준은 있지만, 실제로는 없는 것처럼 간주되고 있고, 관계에 필요한 수량확보가 우선되는 지역에서는 하수처리수가 중요한 수원으로 되고 있다. 하수처리수의 용설용수로의 재이용에서는 하수처리수가 수송매체 및 열원으로서 이용되기 때문에 수질은 중요하지 않게 된다. 따라서, 하천에 방류 가능한 하수처리수가 추가처리 없이 그대로 이용되는 것이다. 용설용수로 이용할 때 염려되는 것은 수집된 눈 속에 포함되어 있는 부유물에 의해 수질이 방류수 수질기준 이상으로 될 가능성이 있기 때문에 용설조 출구에 침전처리 공정 등을 추가할 필요가 있을 수 있다. 한편, 수세용수, 조경·친수용수로의 재이용에서는 일부 예외적인 경우를 제외하면 추가적인 처리가 행해지고 있다. 가장 많이 이용되는 것은 여과처리를 행한 다음 오존처리를 행하는 방법이다. 하수처리수를 조경·친수용수로 공급할 때 활성탄 흡착처리 및 역삼투 처리 등 고도의 수질을 얻기 위한 처리를 행하는 경우도 일부 있었다. 살수 용수로의 이용에서는 추가처리 없이 2차처리수를 그대로 이용하는 경우, 여과처리를 행하는 경우, 생물막여과를 행하는 경우로 구분된다. 하수처리수를 살수용수, 수세용수, 조경·친수용수로 이용하는 경우에는 수질기준이 제시되어 있기 때문에 이 수질 기준을 만족하기 위한 처리가 행해지고 있다. 살수 용수로 이용할 때 미처리의 비율이 높은 것은 사용수량이 적고 소독의 강화만으로 수질기준을 만족시킬 수 있기 때문이라고 생각된다(佐治太一, 1993; Takahashi, 1998).

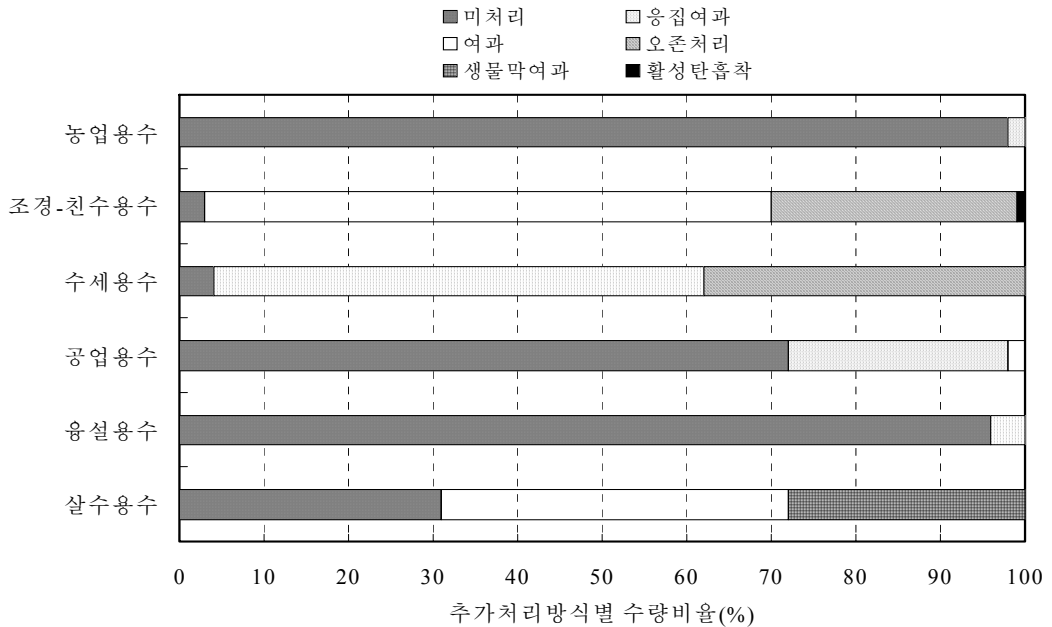


Fig. 17. Additional treatment method by the purpose of recycling

(3) 하수처리수의 재이용 예

① 광역순환형의 예

하수처리수를 재이용하기 위한 시설을 건설하여 수세용수 등의 잡용수로 공급하는 광역 물순환 사업이 여러 도시에서 행해지고 있는데, 여기서는 千葉市, 神戸市, 福岡市의 예를 소개한다(佐治太一, 1993; 환경관리공단, 2001).

가) 千葉市의 하수처리수 재이용사업

千葉縣은 확보 가능한 수원이 부족한 상태에서 幕張地區에 새로운 都心을 건설하여 과밀한 東京의 기능을 흡수하고자 하였는데, 인접지구에 있는 花見川 하수종말처리장의 처리수를 신도심의 수세용수 등으로 순환이용하게 되었다. 하수처리수의 공급구역 면적은 0.62km<sup>2</sup>(계획 1.1km<sup>2</sup>)로 幕張 신도심 지구의 見本市會場, 상업빌딩, 호텔, 업무빌딩, 그밖에 구역 내에 설치된 공원의 정원에도 공급되었다. 하수처리수의 공급능력은 4,120m<sup>3</sup>/일이었고, 일 최대 공급실적은 2,372m<sup>3</sup>/일이었다. 1989년 10월에 공급 개시가 이뤄졌으며 하수처리수의 추

가처리시설은 花見川 하수종말처리장내에 설치되었다.

花見川 처리장의 2차 처리수(표준활성슬러지법 처리수)를 원수로 하여 응집 침전, 급속여과, 오존산화, 염소주입의 순서로 처리하여 공급하고 있다. 하수처리수의 이용요금은 210엔/m<sup>3</sup>으로 종량제이며, 공급받는 빌딩이 공공시설일 경우 요금이 절반으로 줄어든다. 1998년 하절기까지 하수처리수 재이용으로 인한 문제는 발생하지 않았다.

#### 나) 神戸市 六甲아일랜드 물 循環事業

신호시도 확보 가능한 수원이 부족한 도시이지만, 향만기능의 강화 및 확대를 위해 조성한 매립지에 새로운 職住近接의 업무지구를 설치하면서 건너편 해안의 東灘하수처리장의 하수처리수를 지구내의 수세용수, 살수용수로 순환 이용하게 되었다. 하수처리수의 공급면적은 1.66km<sup>2</sup>로서 약 30개의 상업빌딩, 업무빌딩, 학교, 녹지에 하수처리수가 공급되고 있다. 하수처리수의 공급 능력은 2,100m<sup>3</sup>/일이고 1997년도의 실적은 일 최대 급수량 995m<sup>3</sup>, 일평균 급수량 415m<sup>3</sup>이었다. 1986년 4월에 공급이 개시되었으며, 하수처리수의 추가처리시설은 東灘하수처리장과 六甲아일랜드 내에 있는 리사이클 센터에 각각 설치되어 있다. 東灘하수처리장에서는 2차처리수(활성오니법)에 급속여과처리를 행하여 리사이클 센터로 압송한다. 리사이클 센터에서는 오존 처리와 염소처리 추가로 행한 후 각 수요처로 공급한다. 하수처리수의 재이용 요금은 업무용인 경우 200엔/m<sup>3</sup>, 일반용은 120엔/m<sup>3</sup>으로서 종량제를 따르고 있다. 살수용수의 수요가 계절적으로 변동이 심할 뿐만 아니라 시설용량이 정상적인 이용수량을 크게 상회함으로서 경영상의 문제를 안고 있는 실정이다.

#### 다) 福岡市 하수처리수 재이용 사업

福岡市에서는 1978년에 겪은 혹독한 가뭄경험을 계기로 중심시가지부터 순차적으로 광역순환방식에 의한 잡용수도의 건설이 추진될 수 있었다. 1997년 현재 공급구역면적은 7.7km<sup>2</sup>이고 건물의 연상면적이 3,000m<sup>2</sup>이상이거나 급수관의 관경이 50mm이상인 건물을 대상으로 하수처리수의 공급을 행하고 있다. 하수처리수량은 4,500m<sup>3</sup>/일이고, 일 최대 실공급 수량은 3,900m<sup>3</sup>/일이었다. 1980년 6월에 공급이 개시되었으며, 공급능력은 400m<sup>3</sup>/일, 공급받는 수요처는 3개소였다. 하수처리수의 추가처리시설은 中部하수처리장에 설치되었으며, 中

部하수처리장의 2차처리수(A/O법 처리수)를 원수로 하여 급속여과, 오존처리, 염소주입의 순서로 처리하여 공급하고 있다. 하수재이용 요금은 종량 누진제를 따르고 있으며 평균적으로 356엔/m<sup>3</sup>이다.

## ② 조정·친수 용수로의 이용 예

### 가) 수로의 경관회복에 이용된 예

일본 주요도시의 대부분은 중세 이후의 봉건영주가 요새와 행정부를 겸하기 위해 축조한 성곽을 중심으로 발전하여 온 성곽도시이다. 여러 층의 天守閣을 중심으로 주변에 깊은 수로를 설치한 성곽은 그 도시의 상징이 되었고, 현재에도 중심부에 있는 주요 공공용 공간임과 동시에 사적으로서 시민들이 자주 찾게 되는 곳이다.

하지만, 주변의 도로와 하수도가 정비되어 침수면적이 감소되었고, 도시내 하천의 수량·수질이 저하되었다. 이에 따라 성곽주변 수로의 수량·수질도 저하되어 경관을 유지할 수 없는 상황이 초래되었다. 따라서, 성곽주변 경관의 회복 및 개선을 위해 하수처리수를 공급하게 되었는데, 大阪市, 大分市, 長岡京市 등에서 그 예를 볼 수 있다.

大阪市에서는 1970년부터 성곽의 북동쪽에 위치한 中浜하수처리장에서 2차 처리수를 급속여과하여 2.65km 떨어진 大阪城의 외곽수로에 공급하고 있는데 배수관의 직경은 300~450mm, 관중은 주철관을 이용하고 있으며, 공급량은 1일 5,000m<sup>3</sup>이다.

京都府 長岡京市에서는 16세기에 축조된 勝童寺 성곽 수로의 악화된 수질을 개선하기 위해 1990년부터 부근에 있는 洛西정화센터의 하수처리수를 급속여과를 행한 후 공급하고 있다.

### 나) 기존 도시의 하천유지용수로의 이용 예

시가지를 흐르는 중소규모의 하천은 대부분 도시에서 발생하는 침출수, 배수, 우수를 수원으로 하고 있다. 하수도가 정비되면 이러한 중소 규모의 하천은 자체의 수원이 감소되어 우수 배수로로 전락하고, 고형물의 축적에 의해 미관이 크게 손상되어 있다. 여기에 하수처리수를 공급하게 되면 하천의 유수량을 늘릴 수 있을 뿐만 아니라 악화된 하천의 수질환경을 개선할 수 있게 된다. 하수

처리수를 하천 유지용수로 이용한 예는 大阪市, 名古屋市, 東京都, 札幌市 등의 대도시에서 찾을 수 있다.

東京都 多摩地區에서 역사·문화적 유산의 보전사업으로 시행된 野火止 용수 사업, 玉川上水 등의 부활사업도 비슷한 목적을 가진 것이라고 말할 수 있다.

大阪市에서는 今川과 駒川の 하천환경기준을 달성하기 위해 平野하수처리장의 2차처리수를 급속여과하여 송수하고 있는데, 일부는 하천변에 설치되어 있는 조경수로 및 약간 떨어져 있는 친수 수로에도 공급하고 있다. 여기에 송수되는 하수처리수의 수량은 1일 8,480m<sup>3</sup>이다.

名古屋市에서는 시를 관통하여 흐르는 소하천인 荒子川の 하천유지용수 및 수변공간의 부활을 목적으로 打出하수처리장의 2차처리수를 급속여과하여 1일 7,900m<sup>3</sup>을 송수하고 있다.

札幌市에서는 도시화로 인해 고갈된 安春川 및 屯田지구의 소하천에 創成川 하수처리장의 2차 처리수를 급속여과하여 송수하고 있다. 이들 하천의 일부에는 수변공간시설이 설치되었고, 송수량은 1일 35,200m<sup>3</sup>이다(환경관리공단, 2001).

다) 쾌적한 수변공간조성 및 하수도홍보를 겸한 조경·친수시설에의 이용 예

도시내의 공공용지에 조경시설을 설치하고, 새로이 조경용 수로 등을 설치하여 쾌적한 환경을 조성하기 위해 하수처리수가 이용된 경우로서, 대부분 하수도의 정비효과를 홍보할 목적도 함께 하는 경우이다. 이와 같은 이용은 다음에 열거하는 예 외에도 많은 도시에서 시행된 바 있다.

豊中市에서는 우수배제용 간선수로를 정비하면서 하수도의 홍보를 위해 상부 공간에 경관설비를 설치하였다. 경관설비로서 작은 수로가 설치되었고, 猪名川 유역하수도의 原田하수처리장의 2차처리수를 급속여과, 오존처리를 행한 후 공급하고 있으며, 송수량은 1일 5,920m<sup>3</sup>이다.

宮崎市에서는 물이 있는 녹지 공간을 확보하기 위해 시내의 중앙공원에 작은 수로와 일본식 정원을 꾸미고 여기에 宮崎 처리장의 2차처리수를 생물막 여과와 오존처리를 행한 후 흐르게 함으로서 하수처리수를 친수용수로 이용하고 있으며, 송수량은 1일 2,880m<sup>3</sup>이다.

黒部市에서는 모델하천을 보여주기 위한 아쿠아 파크를 조성하고, 자연환경

보존을 위한 하수도의 기능을 홍보하기 위해 黒部 정화센터의 2차 처리수를 급속여과, 오존처리를 행한 후 공급하고 있다. 아쿠아 파크는 거대한 폭포와 계곡 모양의 수로를 축조한 것으로 하수처리수는 아쿠아 파크 내에서 순환되며, 1일 보급 수량은 1,500m<sup>3</sup>이다.

名古屋市에서는 시 승격 100주년을 기념하여 시가지를 관통하는 고가도로 밑에 있는 공간에 가로 갤러리(Street Gallery)를 설치하고, 물을 모티브로 한 상징물, 수로, 분수 등을 배치하여 여기에 하수처리수를 공급함으로써 도심환경의 쾌적성을 주고자 하였다. 하수처리수는 일본 최초의 산기식 활성슬러지처리장인 堀留 처리장의 2차 처리 방류수를 응집침전, 급속여과, 활성탄 흡착의 순서로 처리하여 공급되고 있으며, 1일 송수량은 200m<sup>3</sup>이다.

神戸市에서는 하수도 홍보사업으로서 垂水처리장 상부 공원에 조경시설을 설치하고, 처리장에서 발생된 2차처리수를 응집여과, 역삼투막 처리, 오존처리 등을 행하여 공급하고 있다. 공급수는 정원수로에서 순환되고, 보급수량은 1일 50m<sup>3</sup>이다. 최근에는 공원 내에 설치된 유료 세차장에서 공급수의 일부가 세차용수로 이용되고 있다.



### ③ 관개용수로의 이용 예

일본의 농업은 관개에 의한 벼농사가 중심이므로 관개용수의 다량확보가 필요하다. 이 때문에 수량확보를 목적으로 하여 하수처리수가 이용되는 경우가 있다. 하수처리수의 방류 지점이 농업용 수로인 경우 하수처리수를 농업용수로 이용하고자 하는 의도와는 상관없이 하수처리수는 간접적으로 농업용으로 재이용 되지만, 이 경우에는 벼농사에 피해를 주지 않도록 고도처리가 행해졌더라도 통계상으로 처리수의 재이용에는 포함되지 않았다.

熊本市의 有名海연안에 있는 농경지에서는 하천으로부터의 취수 가능량이 적어 항상 관개용수의 부족상태에 있었다. 이에 따라 토지 개량조합에서는 1976년에 熊本市에 대해 蓮台寺 하수처리장(현재는 中部정화센터로 개명)의 하수처리수의 공급을 요청하였다. 이에 熊本市의 농정당국에서는 하수처리수를 농경지 관개용수로 이용했을 경우 발생할 문제점에 대해 수년에 걸친 시험재배를 반복하여 검토한 결과 하수처리수를 혼합하여 사용하는 것으로 결정하였다. 벼농사 기간 중



中部정화센터의 방류수 일부가 수로를 통해 농업용수를 취수하는 하천인 平井川으로 방류되고 있다. 공급수량은 1일 32,000m<sup>3</sup>이고, 공급받는 농경지의 면적은 2.25km<sup>2</sup>이다.

關東平野 北線에 위치한 足利市の 渡良瀬川에 연해 있는 농경지에서도 농업용수원이 별도로 없고 마을하수가 포함된 작은 하천수로부터의 불안정한 취수에 의존하여 벼농사를 행하고 있었다. 상류에는 주택단지가 개발되어 오염이 진행되었을 뿐만 아니라 인근에 하수처리장이 건설되는 것을 계기로 하여 토지개발조합에서 足利市에 대하여 하수처리수의 농업용수로서의 공급을 요청하게 되었다. 이에 따라 벼농사 기간 중에 한하여 渡良瀬川에 방류되는 하수처리수의 일부를 농업용수로에 공급하게 되었다.

벼농사에 문제되는 성분은 하수처리수 내의 질소이고 특히 암모니아성 질소의 영향이 크다. 이 때문에 처리장에서는 공급기간 중에는 가능한 한 질산화를 크게 위한 운전을 행하고 있다. 또한, 이용자 측에서도 질소비료의 시비량을 줄임으로서 과다성장으로 인한 피해 방지에 노력하고 있다. 공급수량은 1일 20,000m<sup>3</sup>이고, 공급받는 농경지의 면적은 0.4km<sup>2</sup>이다(佐治太一, 1993; 환경관리공단, 2001).

#### ④ 용설용수로의 재이용 예

일본의 북쪽 지방에서는 겨울철 제설작업이 가장 중요한 행정업무로 되고 있다. 도로제설차, 消雪 관로, 로드히팅(Road Heating) 등 여러 방법들에 의해 도로로부터 눈을 제거하여 원활한 교통흐름을 도모하고 있지만, 제설뿐만 아니라 도로에서 수집된 눈을 쌓아두는 비용 또한 막대한 재정부담으로 되고 있다. 하수처리수 또는 하수의 잠열을 이용한 流雪 및 融雪 기술은 이와 같은 부담을 경감시켜 겨울철 도로환경을 쾌적하게 하는데 매우 효과적이어서 北海島를 중심으로 급속하게 도입되고 있다.

旭川市에서는 積雪대책사업으로서 西部하수처리장 내에 눈 처리시설(融雪槽)을 설치하고 시내에서 제설된 눈을 운반하여 하수와 혼합하여 녹인 후 石狩川에 방류하고 있다. 용설조에 주입되는 물은 西部하수처리장의 2차처리수이고 송수량은 1일 72,960m<sup>3</sup>이다(佐治太一, 1993; 환경관리공단, 2001).

## ⑤ 공업용수 이용 예

東京都와 名古屋市에서는 하수처리수가 일반적인 공업용수의 원수로서 이용되고 있다. 이것은 지하수의 이용이 규제되어 공업용수의 부족분을 보충하기 위해 공업용수 수원으로 사용되고 있으며, 하수처리장으로부터 2차처리수를 공급받아 공업용수를 생산하는 정수장에서 응집침전, 여과를 행한 후 공업용 수도 배관에 의해 배수되고 있다. 名古屋市 千年하수처리장에서는 1965년부터 공급하고 있으며 현재에는 1일 이용량이 8,888m<sup>3</sup>이고, 東京都 三河島 처리장에서는 1955년부터 공급하기 시작하여 1996년도 이용량은 1일 18,442m<sup>3</sup>이 이르고 있다(佐治太一, 1993; 환경관리공단, 2001).

## 2) 미국의 하수처리수 재이용

### (1) 미국의 하수재이용의 배경

미국에 있어서 하수처리장 처리수의 재이용은 수자원의 보호, 용수의 효과적인 이용 및 새로운 용수원 확보의 폐수의 토지처리 및 처분과 깊은 관련이 있다. 19세기에 하수도 관망 시스템이 계획된 이래, 도시하수는 농경지에서 사용되어 왔는데, 당시 농경지는 주로 폐기물의 처분지로 여겨졌다. 최근 들어 하수처리장의 처리수는, 농업용수로의 재이용과 관련한 사업이 수행되고 있다. 미국에서 최초로 재이용을 적용한 곳은 1926년 아리조나주에 있는 Grand Canyon National Park로서, 공원내에서 발생하는 오수를 처리하여 수세식 화장실의 세정용수, 잔디밭의 살수용수, 냉각용수 등으로 사용되었다. 1929년 캘리포니아에 있는 포모나시에서는 재생 처리수를 잔디밭이나 정원의 살수용수로 사용하고 있다. 한편 1912년 샌프란시스코에 있는 Golden Gate Park에서는 미처리된 폐수, 이후에는 정화조 처리수를 잔디밭의 살수용수로 사용하다가 1932년 공원 인근에 하수처리장이 건설되면서 1985년까지 처리된 하수를 재사용해 왔다. 하수처리수를 공업용수로 재이용한 곳은, 1942년 Bethlehem Steel Company로서 메릴랜드주 발티모아시의 염소 처리된 하수처리수를 공급받기 시작하여, 이후에는 100Mgal/d이상의 2차 처리수를 냉각용수로 사용하고 있다. 산업체에서 하수처리수에 관심을 갖게 된 근본적인 이유는 다른 용수 공급원을 확보가 어려웠기 때문이었다. 콜로라도주 콜로라도 스프링스에서

는 1960년에 재생된 도시하수를 골프장, 공원 및 묘지에 사용하기 시작하였고, 1977년에는 플로리다주 세인트 피터스버그 시에서 위와 유사한 재이용이 시작되었는데, 이곳에서의 재이용은 재생처리수를 200mile 이상의 관을 통해서 공원, 골프장, 학교 운동장, 정원의 살수용수 및 냉각용수로 공급한 것이 특징이다. 한편 지하수의 보급수로서 하수처리수가 이용된 것은 1962년 캘리포니아의 Whitter Narrows로서 여기서는 재생된 처리수를 지하수로 보급하는 사업(Groundwater recharge project)이 시작되었다.

미국에서의 처리수 재이용은 대부분 용수원 확보가 곤란한 아리조나, 캘리포니아, 콜로라도, 텍사스와 같은 건조한 남부 및 남서부지역에서 실시되고 있으나, 플로리다 및 사우스 캐롤라이나와 같은 습윤지역에서도 용수공급 차원에서 뿐만 아니라 수질오염의 방지를 목적으로 재이용이 실시되고 있다. 재이용의 특징은 보건위생상의 관점에서 처리수의 재사용은 주로 관개용 또는 공원과 골프장과 같은 비음용수로서의 재이용만을 고려해 왔으나, 용수원의 확보가 어려운 일부 지역에서는 음용수로서의 재이용을 계획하는 곳도 있었지만, 그 양은 극히 미미한 수준이다(환경부, 1999; 환경관리공단, 2001).



## (2) 하수 재이용수의 이용 형태

하수처리수 재이용 용도는 지역에 따라 차이가 있으나 용도별로 분류하면 크게 다음과 같이 6가지 범주로 구분할 수 있다(EPA, 1992).

- ① 농업용수 재이용(Agriculture Reuse)
- ② 공업용수 재이용(Industrial Reuse)
- ③ 지하수 충전(Ground Water Recharge)
- ④ 레크레이션 재이용(Recreation Reuse)
- ⑤ 도시용수 재이용(Municipal Reuse)
- ⑥ 기타

미국에 있어서 처리수 재이용은 1975년부터 재이용이 실제로 적용되기 시작하였는데 재이용은 현황은 다음과 같다. 1975년 당시 재이용량은 약 5억m<sup>3</sup>에 달했고, 약 95%가 서남부의 건조지대 및 반건조지역에서 시행되었는데, 재이용 용도는 주

로 관개, 공업, 레크레이션, 생활용수, 양어용으로 공급되었다. 이 중에서도 농업용수의 재이용은 주로 관개용으로 농작물, 목초지, 잔디·조경, 가축용수로서 연간 약 2.9억 $m^3$ 의 하수가 이용되었다.

공업용수의 재이용은 15개의 공장에서 연간 약 201억 $m^3$ 의 하수가 재이용 되었고, 이중 12개의 공장에서는 주로 냉각용수로 재이용하였다. 냉각용으로 재이용된 처리수의 대부분은 메릴랜드주 볼티모아시의 베들레헴 제철소에서의 재이용 예가 있는데, 연간 재이용량은 1.7억 $m^3$ 에 달했다.

당시 미국에서는 3개소의 하수처리수가 캘리포니아주 남다호, 선데이호, 랭카스터호의 레크레이션 용수로 공급되었는데, 3개 처리장 모두 양질의 3차 처리수를 호수에 공급하였기 때문에 레크레이션용으로 이용하는 데에 아무런 장애가 없었던 것으로 알려지고 있다.

생활용수로서 하수처리수를 재이용한 것은 아리조나주의 그랜드 캐년 뿐이었다 여기서 약 1,163.6 $m^3/d$ 의 하수처리수가 수세식 화장실용수, 세차, 기타의 생활용수로 사용되었다. 처리법은 주로 생물처리 후에 여과(안트라사이트를 이용)와 염소처리 공정이 이용되었다. 이상에서 살펴본 바와 같이, 미국에 재이용수의 용도는 주로 농업용(관개용)으로 가장 많이 이용되고 있었다. 특히 캘리포니아주는 미국 전체의 25%인 1억 4천만 $m^3$ 의 처리수가 농업 및 관개용수로 재이용되고 있다.

다음으로 많이 사용되는 용도는 공장의 냉각용수나 공정용수이며 기타 지하수 충전 및 레크레이션용으로 재이용되고, 생활용수로 재이용되고 있는 양은 극히 일부분에 불과한 실정이다. 1975년에 조사된 보고에 의하면, 미국에서 하수처리수를 재이용하는 곳은 536개소로 총시설용량은 257만 $m^3/일$ 에 이르고 있다.

미국에서의 재이용은 강수량의 지역적인 편차에 따른 영향이 크게 작용하는데 주로 건조 및 반건조 지역에 해당하는 캘리포니아, 플로리다, 텍사스, 콜로라도 및 아리조나에서 재이용이 활발히 도입되고 있다. 특히 연평균 강우량이 30mm 정도 밖에 되지 않는 남캘리포니아는 미국의 처리수 재이용 시스템을 선도하는 지역으로서 하수처리수를 지하수로 재공급하여 상수원 및 기타 용도로 재이용하는 Ground Water Recharge System이 적극적으로 도입되고 있다.

하수처리수는 건강이나 안전상의 이유 때문에 공원이나 골프장의 관개용수와 같은 비음용의 목적으로만 사용되고 있지만, 상수원 확보가 극히 곤란한 지역에서는

처리된 하수를 상수와 희석하여 음용으로의 사용까지 계획되고 있는 실정이다. 하수처리수의 재이용 계획이나 시행시 처리의 정도나 처리공정의 신뢰도 선택은 재이용 용도에 따라 달라진다. 미국에서 하수처리수를 사용하는 용도와 제한인자는 Table 13과 같다(EPA, 1992; Rowe, 1995).

Table 13. Usage and limited factor of treated sewage in the U.S.A.

| 하수처리수 재이용 용도      | 제 한 조 건                    |
|-------------------|----------------------------|
| <u>농업용 관개</u>     |                            |
| 농작물 관개            | 염해 등 농작물에 대한 영향            |
| 상업적 원예            | 농작물의 시장성과 대중의 인식도          |
| 조경용 관개            |                            |
| <u>공원</u>         | 전염병(박테리아, 바이러스)            |
| <u>학교</u>         | 전염병(박테리아, 바이러스)            |
| 고속도로              | 적절한 관리가 없을 때 지표수, 지하수 오염초래 |
| 골프장               |                            |
| <u>산업용 재이용</u>    |                            |
| 냉각수               | 스케일, 부식, 미생물 성장            |
| 보일러공급             | 관의 막힘 초래                   |
| 공정수               | 미생물 함유 거품에 의한 이동           |
| <u>지하수 충전</u>     |                            |
| 지하수 충전            | 하수중 유기화학물질의 독성             |
| 염수침입 방지           | 총고형물질, 금속, 전염병균            |
| <u>레크레이션/환경용</u>  |                            |
| 호수/연못             | 박테리아, 바이러스                 |
| 갈대밭 조성            | N, P에 의한 부영양화              |
| <u>비음용수용 도시사용</u> |                            |
| 소방용수              | 거품에 의한 병원균 이동              |
| 에어컨디션용수           | 공중보건의 우려                   |
| 수세식 화장실용수         | 스케일, 부식, 미생물 성장, 관막힘       |
| <u>음용수로 재사용</u>   |                            |
| 수돗물 희석            | 유기화학물질의 독성                 |
| 직접 공급             | 바이러스 등 병원균                 |

(3) 용도별 재이용 사례

① 공업용수 재이용 사례

현재 미국에서는 환경관련 법규의 강화 및 방류수에 대한 배출세액의 강화로 각 산업체에서 물의 합리적 사용과 재이용을 위한 설비투자 및 연구가 활발히 이루어지고 있다. 캘리포니아와 같이 물이 부족한 지역에 소재한 산업체들은 용수 부족에 대처하기 위해서, 또한 용수가 풍부한 지역에서는 배출기준 강화에 대처하기 위해서 재이용 및 고도처리를 실시하고 있다. 미국에 있어서 공업용수로 도시하수를 이용하는 주된 업종은 금속공업, 화력발전소가 많으며, 그 용도는 Table 14에서 보는 바와 같이 주로 냉각용수로 많이 이용되고 있다. 캘리포니아 수자원국의 대책은 산업용수 보전 프로그램을 운영하여 전자, 도금공업의 경우, 1차 세척수는 냉각탑 또는 Scrubber로 보내고 2, 3차 세척수는 다시 1차 세척을 위한 용수로 재사용하는 Cascade System을 도입하여 물의 합리적 사용을 도모하고 있다.

Table 14. Status of industrial water recycling (U.S.A.)

| 사 용 용 도 | 공 장 수 | 비 율(%) | 사용량(m <sup>3</sup> /d) |
|---------|-------|--------|------------------------|
| 보일러보급수  | 3     | 17     | 3,790                  |
| 공 정 용 수 | 3     | 17     | 3,790                  |
| 냉 각 용 수 | 12    | 66     | 582,900                |

캘리포니아주 산호세 소재의 Gangi - Brothers 업체는 식품공업의 조리 및 타 공정에서 배출되는 증기를 재이용하는 시스템을 도입하여 용수량을 56만m<sup>3</sup>/일에서 21만m<sup>3</sup>/일로 감소시켰다. 로스엔젤레스 수자원 당국은 모든 물사용자들로 하여금 사용량을 1986년도의 10%이하로 절감시키는 계획을 수립하였으며, 최대사용자인 Unocal Corp.의 Wilmington 공장에서는 Steam Turbine의 전기모터를 교체하고, RO 장치를 도입하여 물사용량을 21만m<sup>3</sup>/일에서 2천m<sup>3</sup>/일로 감소시켰다.

또한 California에서는 하수처리수를 냉각용수로 이용하는 경우가 많기 때문에

1993년에 Chervon Corp.의 Richmond 공장은 필요한 냉각용수의 절반을 하수 처리수로 이용할 계획으로 2차 처리수를 침전, pH조정, 여과, 염소처리하여 공급하는 시스템을 도입하였다.

Arizona의 사막지역에서는 Phoenix시 하수처리장의 2차 처리수를 살수여상, Gold Lime Soda Ash Process, 중력침전을 거쳐 Palo Verde Nuclear Power Plant의 냉각수로 보급하고 있다.

한편 폐수 및 자원의 재사용 사례로서는 Stone & Webster Engineering Corp.(SWEC)이 Canada의 제지공장에서 폐수 및 폐지를 재사용하는 시설을 설치하여 450톤/일의 Fiber를 회수 사용하고 있으며 Texas Ethylen Complex에는 1135L/d의 함유 폐수를 재사용하는 시스템을 설치하였다.

미국은 국토가 넓기 때문에 부지를 크게 사용하는 Land Treatment의 이용도 많은데, Kentucky주 Rusellville의 Logan Aluminum Inc.에서는 1992년 16ha에 달하는 Overland Flow-Wetland System을 설치하여 재이용뿐 아니라 야생 동식물의 서식지를 마련해 주는 부차적인 효과도 거두고 있다(환경관리공단, 2001)



## ② 농업용수 재이용 사례

Florida 주 St. Petersburg의 연간 강우량은 1,400mm로서 비교적 풍부한 수자원을 가지고 있으나 6~8월에 약 1/2의 강우가 집중되고 있으며 그 중 1,000mm가 증발로 인해 손실되므로 실제로 이용 가능한 양은 400mm에 불과하다. 특히 Florida의 지질 특성상 Dam을 건설하거나 물을 공급하기 위한 저류시설 설치가 어렵고 400mm의 강우가 대부분 대서양이나 Mexico의 Gulf만으로 유출되어, 단지 30mm의 강우만이 지하수로 침투되고 있다. 따라서 South Florida는 전적으로 지하수에 의존할 수밖에 없는 실정이다. 이러한 상황에서 급격한 도시발전과 인구집중으로 인해 Florida 해안에 새로운 신거주지가 형성되었고, 이로 인하여 주요 신거주지에서는 물 공급원인 지하수에 대한 해수침입이 발생하게 됨으로써 해안지역에서는 물 문제가 발생하게 되었다. 이러한 배경하에서 Florida의 St. Petersburg에서는 1970년대 미국에서 가장 진취적이고 모험적인 Water Conservation Program을 착수하였다(환경부, 1999; 환경관리공단,

2001).

가) St. Petersburg의 Water Reuse Program

St. Petersburg는 인구 250,000명의 Florida주에서 네 번째로 큰 도시로서 1950~1970년 중반까지 급속히 성장하였고, 용수는 주로 인근 4개 도시로부터 공급을 받아 왔지만, 이후 물 공급상의 압박을 받게 되었고 이러한 국면을 타개하기 위해서 물수지를 맞추기 위한 노력을 지속적으로 실시해 왔다.

St. Petersburg의 지역 현황은 지형학적으로는 반도상에 위치하여 삼면이 바다로 둘러싸여 있고, 수리학적으로 이 지역은 섬이기 때문에 물공급을 위한 큰 강이나 지하수원을 갖고 있지 못한 실정이다. 1900년경 생활용수로 이용하기 위해 개발된 우물은 인구증가로 인해 양수량이 줄어들기 시작하였고, 1980년 중반에는 해수침투로 인해 지하수의 염분농도가 급격히 증가하게 되었다. 이에 따라 St. Petersburg에서는 새로운 수원지를 개발하기 위해 개인회사와 접촉하고, 회사는 인접 군의 부지를 구입하여 Wellfield를 개발하고 여기에 정수장을 건설하고, 도시 북부에 건설된 Water Repumping Station과 정수장 사이에 직경 90cm, 길이 48km의 급수관을 설치하였다.

1940년초 St. Petersburg는 Hernando County에 위치한 Weeki -Wachee Springs를 포함한 두 번째 미개발된 부지를 구입(회사의 입장에서는 장래에 비용가치가 있을 것으로 예상하고 수원지로 이용하기 위해 Springs의 부지를 구매한 것임)하였는데 Springs는 St. Petersburg에서 97km(60mile) 떨어진 곳에 위치하고 있었다.

1960년초 미개발된 부지가 두번째 Wellfield로 개발됨으로써, St. Petersburg는 세 개의 다른 County에 일련의 공급 시설을 소유하게 되었으나 이들 세 County에서도 자체 물수급에 위기감을 느끼게 되었다. 이런 가운데서 1960년 후반 세 번째 부지를 구매하여 Wellfield로 개발하였다. 1970년대 초 인접 County에 네 번째 Wellfield를 개발하려고 시도하였으나 세 개의 County가 연합해서 관할 구역 내에서 개발지지 협약을 체결하게 되면서 물수급에 심각한 영향을 받게 되었다. St. Petersburg는 1970년대 초 두 가지 문제에 봉착하게 되었는데 하나는 추가적인 물이 필요했으나, 새로운 수원을 개발하기 위한 허가를 얻는 것이 불확실해졌고, 비용 및 환경적 측면에서 다른



County와 이미 관계가 악화될 가능성이 높아졌기 때문에 St. Petersburg시는 Weeki-Wachee의 개발을 선택사항으로 고려할 수가 없게 되었다. 또 다른 문제는 급속한 도시성장으로 인해 도시내 4개 하수처리장의 확장이 필요하게 되었는데, 이는 당시 Florida주에 의해 하수처리장 유출수에 대한 규제(즉 배출 금지를 포함한 고도처리 실시)가 채택되었기 때문이었다. 따라서 Tampa Bay Area에 위치한 처리장 유출수는 3차처리 및 영양물질 제거를 위한 고도처리를 실시하게 되었다. Florida주는 물소비 활동이 잔디용 살수용수(Turf Irrigation)라는 점을 인식해서 특히 지하수위가 최저로 되는 건기동안 하수처리와 물공급 문제를 해결하기 위한 매우 혁신적이고 대담한 계획을 수립하여 추진하기로 결정하였다. 즉, 하수처리장을 3차 처리시설의 고도처리시설로 확장하되, 영양물질은 제거하지 않고, “Reclaimed Water” Pipe Network 또는 Secondary Line을 통해 상업 또는 레크레이션 지역의 관개용수로 고도처리된 처리수를 재이용하게 함으로써 표류수에 대한 배출을 용이하게 하는 계획을 수립하게 되었다.

한편 지하수 충전 시스템(Ground Water Recharge System)도 보조시스템으로 건설되었다. 즉, 재생수에 대한 요구가 처리시설의 배출 또는 저류능력 이상으로 커질 때, 지반 아래의 지하수 층으로 침투시켜 다시 Pumping하는 Backup System을 구축하는 것이다. 이는 70년대 초에는 대담한 생각으로서 St. Petersburg City에서는 순환되는 처리수를 이용하여 주요 도시 내에 관개용수를 공급하는 계획에 착수하여 1977년에 운전을 시작하였다. 1975~1987년 St. Petersburg는 4개 하수처리장의 확장 및 관거설치를 주내용으로 한 Reclaimed Water Piping 건설을 위해 100억 달러를 투자하였다. 1999년 현재 St. Petersburg에서는 76,000m<sup>3</sup>의 재생수가 약 6,547명의 고객에게 관개용수로 공급되고 있다.

#### 나) Project Greenleaf(1966~1968)

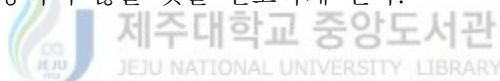
St. Petersburg시에서 하수처리수를 관개용수로 이용할 경우 농작물 및 나무에 미치는 영향을 조사 연구한 결과, 염분농도가 어떤 관상용 식물에 심각한 영향을 미치는 것을 발견하였다.

염분농도가 400mg/L이하에서는 단지 몇 종의 식물에서만 지장이 있었으나

염분농도가 높을 경우에는 대부분의 식물에 영향을 미친다는 점이다. 하지만, 하수처리수를 공급받은 농작물은 성장속도가 빠른 것으로 결론지었다.

또 다른 문제는 매년 약 60%의 배출수가 지하층으로 주입됨에도 불구하고 무더운 기간동안에는 수요가 공급에 거의 육박하고 있다는 점인데, 이는 무더운 기간동안에는 관개용수의 사용이 급증하고, 낮아진 지하수위로 인해 지하 침투량이 감소하기 때문이다.

또 다른 문제는 지하로 공급되는 보충수의 감소, 해수의 침투에 의한 지하수의 염분농도가 증가한다는 점인데, 2개 해안지역에 공급하는 4개의 재생처리시설 처리수의 염분농도가 700mg/L까지 이르기 때문에 재생처리시설로의 양수가 금지되기도 하였다. 따라서 시는 염분농도를 유출 수질의 Parameter로 추가하여 만일 유출수가 염분농도가 600mg/L를 초과할 때는 이 물이 재생처리시스템으로 펌핑되지 않도록 규정하고 있다. 이 경우 해안지역에서의 물 공급은 위기 상황을 맞이함으로 시에서는 해안지역의 주민은 재생수를 관상용 관개용수로 재이용하지 않을 것을 권고하게 된다.



### ③ 레크레이션을 위한 재이용 사례

하수처리수를 레크레이션용으로 재이용하는 것에는 다음과 같은 경우가 있다 (환경관리공단, 2001).

- 보트장, 낚시, 수영이 허가되지 않는 레크레이션 호수, 그러나 일반인이 부주의하여 물과 접촉할 가능성은 존재
- 보트장, 낚시가 허가된 레크레이션 호수, 단, 수영은 금지되어 있다. 일반인이 물을 마실 우려가 있으며 잡힌 고기는 사람에게 먹히는 것으로 가정
- 수영이 허가된 레크레이션 호수, 전신이 물에 잠기는 것으로 고려
- 때때로 예상치 않은 낚시가 이루어지는 하수처리수를 저류한 호수
- 레크레이션 지구내에 있는 식물의 관개용

#### 가) 캘리포니아 다호호 (남다호 공익사업조합)

1950년대 초반에 네바다주와 캘리포니아주 남다호의 수질보전을 도모하기 위해서 예외적인 경우를 제외하고 남다호 내에 하수를 방류하지 못하게 하였다. 이 정책은 유역의 발전이 급속도로 진행된 기간 내에도 준수되었다. 1968

년에 3차 처리 시설의 운전을 개시하여 남다호유역에서 알핀구로 처리수의 송수를 개시하였다. 처리수를 445.4m의 높이, 22.5km의 거리를 펌핑하고 여기서 20.9km의 거리를 자연유하의 Pipe Line으로 송수하여 10,220m<sup>3</sup>/일의 송수량을 인디안 크리크 저수지로 송수하고 있다. 인디안 크리크 저수지의 용량은 3,937천m<sup>3</sup>으로서 이 저수지의 물은 인체와 접촉되는 수영이 허용되고 낚시를 할 수 있는 레크레이션 호로 활용되고 있다.

나) 로스엔젤레스 랭카스터 하수처리장(로스엔젤레스 County 위생조합)

레크레이션 재이용 Project가 로스엔젤레스 County 위생조합에 의해 랭카스터 Oxidation Pond 유출수의 수질개선 시설을 이용해서 시작되었다. 4년에 걸친 연구와 Pilot Plant 실험결과 Oxidation Pond 유출수가 적합한 것으로 결정되었다. 처리된 물은 로스엔젤레스 county가 관할하고 있는 아폴로호에 수영과 낚시를 위한 물로 공급되고 있다. 랭카스터 처리장의 3차 처리 프로세스는 전염소처리, Alum에 의한 응집·침전, 여과 및 소독 등으로 구성되었으며, 재이용 수량은 1,890m<sup>3</sup>/일이다.

다) 캘리포니아주 Sunday County 용수조합

이 사업은 레크레이션 호수를 위해 가정하수의 처리수를 이용하는 대표적인 사례로서 1961년이래 Sunday County에서는 처리한 하수처리수를 레크레이션 호수에 유입시키는데 따른 잠재적 건강장해에 관한 많은 연구자료가 축적되어 있고, 결과적으로 전염병에 대해서 건강상의 장해가 없음을 실증하고 있다.

Sunday Conuty에서는 현재 보트놀이나 낚시는 허용되어 있으나 전신이 잠기는 수영은 허용되지 않고 있다. 1965년에 선데이 호 근처 부지에 호수와는 분리되어 흐르는 물을 사용하는 풀장을 개설하였다. 이 풀장에서는 응집, 여과 및 염소 처리한 하수처리수를 사용하고 있으며, 재이용 수량은 3,790m<sup>3</sup>/일이다.

#### ④ 생활용수 재이용 사례

캔사스주 체누트에서는 짧은 기간동안 하수처리수를 생활용수로 직접 이용한 사례가 있는데, 1952년부터 걸쳐 약 6개월간 12,000명의 주민이 하수처리장의 방류수를 거의 직접 생활하수로 이용하였다. 평상시의 수원인 네오쇼와호가

1956년 여름에 거의 바닥을 드러냈기 때문에 2차 처리시설에서 염소 살균된 방류수를 하상의 저수지 뒤쪽에 집수하여 이용하게 되었다.

이 저수지의 체류일수는 거의 17일로서 이 물은 정수장에서 응집, 침전, 여과 및 살균을 거쳐 각 마을의 음료수로 공급되었다. 이 물은 음료수 기준에 적합하지 않은 것은 아니었으나, 청백색 및 황색을 띠고 불쾌한 냄새를 나타낼 뿐 아니라 거품이 많이 발생하고 또한 높은 염화물, 나트륨, 증발잔류물 및 유기물 함량을 포함하고 있었다. 이 지역에서는 공적인 다른 대체 수원이 빈약했기 때문에 약 70개소의 우물이 굴착되었으나, 대부분이 무기물 함량이 높은 것이었다.

한편 아리조나주 그랜드 캐년의 하수처리시설은 국립공원 당국에 의해 운전이 개시되어 비음용의 목적으로 공원에 공급되었다. 5월부터 9월까지 물이용이 많은 계절에는 평균 113,6m<sup>3</sup>/d의 하수처리수를 수세식 화장실용수, 세차, 관개 및 건설용으로 사용하였는데, 이 양은 공원 내에서 사용하는 전체 물 사용량의 7%에 해당하였다. 처리 프로세스는 활성슬러지 처리를 거친 후 안트라사이트에 의한 여과와 염소처리가 적용되었고, 잔류염소 농도는 5mg/L로 유지되었다. 그랜드 캐년의 하수처리장은 자동화되어 있지 않았기 때문에 잔류염소 농도는 안전을 확보하기 위해 주된 수질항목으로 취급되고 있으며 상주직원이 24시간 감시하였다.

또 다른 사례로 콜로라도 주 바이크스 파크에서는 생활용수로의 재이용 시스템이 검토되었다. 이 레크레이션 구역에서 발생하는 수세식 화장실배수와 재래식 화장실배수를 수세식 화장실의 세정용수로 이용되는 처리가 실시되었다. 처리시스템은 콤팩트한 것으로서 활성슬러지법과 Ultra Filtration 장치로 구성되어 있다. 바이크스 파크 하수처리장에서는 56.8m<sup>3</sup>/d의 처리수를 얻고 있다(환경관리공단, 2001).

##### ⑤ 지하수 충전(Ground Water Recharge)

미국의 남서부에 위치하고 있는 캘리포니아주는 미국 제 2의 대도시인 로스앤젤레스를 중심으로 Orange, San Diego County 등으로 구성되어 있고, 주 전체 인구의 약 80%가 이 지역에 집중되어 있다. 이 지역의 연평균 강우량은 약 30mm로서 겨울철에 강우가 집중되는 반건조 지역이다.

1900년대까지는 표류수와 지하수를 이용해서 물을 공급하였으나, 수원이 부족

하게 되면서 물이 풍부한 다른 지역으로부터 개수로를 통해 도수를 시도하게 되었다. 1907년 로스엔젤레스시에서 시애틀까지 400km의 도수로를 건설하기 시작하여 1941년 완공하여 200만명의 인구가 사용할 수 있는 물을 공급하게 되었다. 그 이후에도 지속적으로 증가하는 물 수요에 대처하기 위해 1963년부터 1970년까지 제 2의 도수로 공사를 실시하였고 그 결과 약 160만톤/일의 물을 공급하게 됨으로써 전 시민의 80%인 약 480만명에게 물을 공급할 수 있게 되었다.

한편 캘리포니아주 전역의 수자원 확보를 위해 Orange, San Diego Community 및 로스엔젤레스시를 중심으로 12개 자치체가 남캘리포니아 물관리조합 (Metropolitan Water District of Southern California)을 결성하여 아리조나주로부터 사막을 가로질러 Colorado 강물을 도수하기로 결정하였다. Hoover Dam이 완성된 후 하류의 Baker Dam을 기점으로 하는 콜로라도강의 개수로 공사가 1941년 완공되면서 도수 가능량은 380만톤/일로 늘어나게 되었다. 1960년대 들어서 도시활동의 팽창과 성장에 따른 물 사용량의 증가와 콜로라도강의 도수량이 감소하게 되었다. 이는 아리조나 주가 개발을 위해 콜로라도강의 물을 사용하게 됨에 따라, 1959년 도수량 감소협정을 체결하면서 1985년에 도수량을 절반 수준으로 줄이기로 했기 때문이었다. 또한 콜로라도강 물의 총 용해성물질 (TDS)이 500mg/L 이상으로 높았기 때문에 이용상 문제가 대두되면서 주 정부는 북캘리포니아에 개수로 건설계획을 수립하여 폐자강을 수원으로 하는 북캘리포니아 개수로 공사를 1973년 완공하였는데, 이 공사는 최남단 San Diego까지는 약 800km나 되는 개수로 공사로서 200만톤/일의 도수가 가능하게 되었다.

타 지역에서 도수해 오는 물을 수입수(Imported Water), 강우 및 지하수 등 지역 내에서 충당할 수 있는 물을 지역수(Local Water)라 하는데, 이들 지역의 지역수 의존 비율은 로스엔젤레스의 경우 15%, Orange County 25%, San Diego County 30% 이하로서 전반적으로 지역수의 의존비율이 낮다.

콜로라도강의 도수한계, 캘리포니아 북부 및 중부지역의 개발에 따른 북캘리포니아로부터의 도수도 충분히 기대할 수 없게 되고 또한 수입수의 단가 상승으로 인해 처리수의 재이용에 대한 관심이 증가하게 되었다. 이 지역에서의 재이용 형태는 크게 다음 세 가지로 분류할 수 있다.

- 직접 이용형: 처리수를 공장, 관개용수로 직접 이용

- 표면 저류형: 처리수를 인공호수에 저류하여 레크레이션용으로 이용
- 지하수 충전: 처리수를 지하에 침투시켜 지하수원의 보급수로 이용

이 지역은 반건조 지역이기 때문에 표류수의 증발산량이 많아서 귀중한 수자원을 유효하게 사용하기 위해서 예전부터 지하수 층에 물을 침투시켜 사용하는 방법을 이용하였다. 현재 Orange County에서는 콜로라도 강에서 도수한 수입수의 50% 이상을 지하에 주입하여 County 전체 용수량의 65%를 지하수에 침투시켰다. 지하수로 주입하는 경우에는 침투과정에서 토양이 갖는 정화능력을 최대한 이용할 수 있는 장점이 있다. 이와 같은 시설은 현재 California주 전역에 약 250여 군데가 있으며 계속 증가하고 있는 추세이다(환경관리공단, 2001).

#### 가) Orange County

Orange County는 60% 이상의 물을 지하수원에 의존하고 있다. 양수량이 증가하면서 1956년에는 지하수위가 저하하여 해수 수위보다 낮아지게 되는 사태가 발생하였다. 이 때문에 해안과 접해 있는 지역에서는 지하수층에 해수가 침투함으로써 염분농도가 높아지고 이로 인해 이용 가능한 수원이 염분으로 인해 사용할 수 없게 되었다. 일반적으로 상류에서 침투량을 증가시키는 것이 당면 대책이 되겠지만, 해수의 침입에 대한 우려 때문에 해안을 따라 담수를 주입하여 수리학적 장벽을 만들어 해수의 침입을 방지하였다. 주입되는 원수로는 심정호수, 수입수, 해수의 담수화수, 하수처리수 4종류가 검토되었다. 해수의 담수화수와 처리수 중에 경제성 면에서 최종적으로 처리수가 선정되었다. 재이용 처리시설은 하수처리장 근처에 건설되어 있고 처리수(6만 m<sup>3</sup>/d)는 24개월 우물을 통해 지하에 주입되었다.

#### 나) San Diego County

인구 약 4만인 Sunday 시에서는 독특한 표면저류형의 재이용이 실시되고 있다. Sunday는 San diago시 근처의 반사막 한가운데 위치한 도시로서 물을 중심으로 하는 도시를 만들고자 하는 주민의 요망에 따르기 위해 하수관거에서 4,000m<sup>3</sup>/d의 하수를 양수하여 처리한 후 수개월 동안 안정화지에 유입시킨다. 유출수는 측면 및 하부의 불투수층이 있는 지하층을 통과해서 나온 물로 공원 내 7개의 연못(수면적 약 30ha)에 공급되고 있다.

#### 다) 로스엔젤레스 시

로스엔젤레스 시에서는 1962년부터 지하수 충전 시스템(Ground Water Recharge System)을 대규모로 실시하고 있는데, 주로 염소살균 후 처리수를 살수지를 통해서 지하에 주입하고 있다. 살수지는 로스엔젤레스시를 관통하는 San Gabriel강, Rio Hond강의 2개 하천 근처에 설치되어 있는데 3개의 처리장 처리수를 홍수조정 수로에 흘려 보내어 상수용 수원인 지하수 층에 침투시키고 있다.

침투량은 3,000m<sup>3</sup>/일 정도로서 약 280ha의 살수지를 2~8ha 정도의 블록으로 나누어 6일간 관수, 6일간 침투, 6일간의 건조기간을 합하여 18일을 주기로 주입하고 있다. 지하 주입시 수질적인 문제가 되는 것은 질소농도인데 질산성 질소의 농도가 지중에서 10mg/L이하가 되도록 처리수를 개수로의 수입수로 3배정도 희석시키고 있다.

지하수의 양수량은 연간 약 2.2억m<sup>3</sup> 정도로서 이중 7,400만m<sup>3</sup>(전체의 1/3)은 표류수, 천층수 및 용출수 등의 지역수이고 나머지 1.5억m<sup>3</sup>이 하수처리수와 수입수이다. 하수처리수의 지하 환원량은 연간 약 3,300만 m<sup>3</sup>로서 전체의 약 15%정도를 차지하고 있다.

Los Angeles 시 및 California주 전역의 재이용 시스템 중 독특한 것은 하수도 간선의 적당한 위치에 재이용 처리시설을 설치하여 필요한 양의 하수를 양수하여 목적에 맞게 처리하고 처리과정에서 발생하는 오니는 하수간선에 보내어 처분하는 방식을 채택하고 있다. 즉, 수질에는 차이가 있지만 하수간선은 항상 일정 수량을 저류하고 있는 취수용 하천이라는 개념이다.

재이용 처리시설(Water Reclamation Plant)은 하수처리장(Sewage Treatment Plant)과는 완전히 구별되는데, 전자는 오니 처리시설이 없는 것이 보통이다. 재이용 처리시설에서 소정의 수량을 추출할 하수는 하수간선을 통해서 최하류의 하수처리장에 유입되고 여기서 오니와 분리되어 바다에 방류되는데 Los Angeles 시에서는 현재 약 10개의 재이용 처리시설이 가동되고 있다. Los Angeles시에 있어서 처리수의 용도별 사용현황은 Table 15과 같다(charles등, 1989).

Table 15. Examples of recycling of treated sewage in Los Angeles

| 이 용 용 도 | 실시 수 | 이용면적(Acre) | 이용량(m <sup>3</sup> /s) | 백분율(%) |
|---------|------|------------|------------------------|--------|
| 지하수 충전  | 2    | -          | 1.20                   | 66     |
| 조 경 용 수 | 64   | 3,900      | 0.25                   | 14     |
| 제 지 공 장 | 2    | -          | 0.17                   | 9      |
| 살 수     | 1    | 200        | 0.16                   | 9      |
| 농 업 용 수 | 5    | 850        | 0.04                   | 2      |
| 합 계     | 74   | 4,950      | 1.82                   | 100    |

\* 자료 : Charles W. Carry et al ., Wat. Sci. Tech., vol. 21, 1989

### 3) 유럽 및 기타 국가의 하수처리수 재이용

유럽도 나라에 따라서 물 사정이 상당히 다르기 때문에 물의 순환이용을 계획, 혹은 실시하고 있는 나라에 대해서 개별로 서술하였다.

#### (1) 영국



영국 수도의 약 1/3은 하수처리수를 포함한 강에서 취수하고 있다. 강에 배출된 모든 하수가 1차, 2차, 혹은 3차 처리되기 때문에 이 강의 수질은 오락방지라는 점에서는 만족할 것이라고 생각되지만 이와 같은 상태는 명확히 가장 광대한 하수처리수 재이용의 형식을 나타내는 것이다(Anderson, 1995).

##### ① 템즈강 유역에 있어서 간접적 재이용

템즈강 유역은 약 9,760km<sup>2</sup>이고, 런던지구 수도의 약 70%를 조달하고 있다. 이 강의 유량은 상당히 낮은 수치이며, 가령 Teddington에서는 80년간 평균 68.0m<sup>3</sup>/s와 비교해 1934년에 7.4m<sup>3</sup>/s를 기록하고 있다. 하류에 있어 하수처리수의 비율은 평균 유량의 경우 약 14%이다. 런던 수도 취수점에 있어 하수처리수의 비율은 붕소의 함유량에 의해 나타내고 있다. 일반용 합성세제는 표백제로서 과불산염을 상당히 함유하고 있고, 하수처리수중 평균 함유량은 약 1.5mg/L가 되어 있다. 런던 수도 취수점에 있어 붕소의 평균 농도는 약 0.2mg/L이지만, 붕소는 하천의 자정작용의 영향은 받지 않는다고 생각되기 때문에 하수처리수의 혼



입율은 거의 13%가 된다.

## ② 공업용수로서의 직접 재이용

영국에 있어 배수 직접 재이용은 국가적인 것이 아니고, 특수한 지방의 상태에 따라 개발되어 왔다. 다음 2,3가지의 예를 서술하겠다.

### 가) 제철소의 재이용

Appleby-Frodingham 제철소는 철 1톤 생산하는 데에 물 200m<sup>3</sup> 이상을 필요로 하였지만 고도의 순환이용에 의해 철 1톤당 물 5m<sup>3</sup>로 감소했다. 소비한 물의 대부분은 대기 증으로 증발한다. 하수처리수의 평균 사용량은 67L/s이고, 이용률은 79%이다. Ancholme강의 물은 계절의 영향을 받아 염화물 농도는 보통 40~60mg/L이지만, 건조계절이 오래 계속되면 하수처리수의 비율이 증가하여 1,200~1,500mg/L가 된다. 또 Ashby Ville의 물은 오염물질(특히 세제)의 농도가 높지만 수질적으로는 안정되어 있다. 이 물은 용광로의 가스 세정 시스템의 보급수로 사용되고 있다.

### 나) 모직물 공업에 있어 하수처리수의 재이용

인구 약 4만의 Pudsey 거리는 요크셔의 모직물 공업지대이다. 큰 공장은 원료에서 최종 의류까지 일괄 생산을 하는 경향이 있고, 이와 같은 공장에 있어 모든 물의 사용량은 약 13 l/s이다. 수자원은 3가지이지만, 장래 확장을 생각하면 불충분하고, 하수처리수의 재이용이 제안되었다.

모직물 공업은 고급 수질의 물을 필요로 하지만 모직 공업 연구협회의 연구 결과, 탁도, 색, 현탁물질을 제외한 요구 수질에 적합한 것을 알았다. 하수처리장 내의 파일럿 플랜트를 설치하여 모래여과와 염소 처리의 실험을 했을 때, 염색공장의 약 반수의 기계에까지 하수처리수를 사용할 수 있는 것을 알았다.

연구 결과 하수처리수를 직접 재이용하기 위해 공장의 전 프로세스(과정)를 바꾸는 제안이 나왔다. 한편 하수처리장은 과부하 때문에 확장될 것이고, 장래에는 수도국에 의해 부과된 수질 기준, 즉 BOD 10mg/L, 현탁물질 10mg/L, 암모니아 10mg/L에 적합한 처리수로 할 것이다.

### 다) 하수처리수의 냉각 용수로의 재이용

영국에 있어 물의 최대 용도는 냉각용수이고 전 용수량이 2/3이상을 차지하

고 있다. 또 냉각용수의 사용량으로는 발전소가 특히 많고, 석유정제소, 제철소, 제지공업 및 화학공업이 여기에 따르고 있다. 유기물의 침적을 방지하기 위해서는 마이크로 스트레이너, 슬라임의 발생을 억제하기 위해서는 염소처리(유리 잔류염소 0.5mg/L 이하), 또 스케일 방지를 위해서는 pH조정(7이하)가 필요할 것이다.

## (2) 독일

독일은 인구 6,120만명, 면적 248,000km<sup>2</sup>로 1891년부터 1930년까지의 평균년간 강우량은 803mm이다. 연간 강우량 중 112mm 즉 280억m<sup>3</sup>은 침투에 의해 지하수가 되고 276mm, 680억m<sup>3</sup>은 직접 하천으로 유출된다. 라인강, 엘베강, 다뉴브강의 독일령 유역은 타국으로 확대되고 있고, 또 국내 강의 몇 개는 타국으로 흘러가고 있다.

이와 같은 자연 조건으로 인해 독일은 수자원 관리, 물 이용, 수질 오염 방지, 항해등의 문제에 관해 국제 협력을 하고 있다. 그 예로 라인강 수질 오염 방지 국제 위원회, 다뉴브강의 국제 위원회가 있다. 독일은 인구 밀도가 높은 공업화한 지역에 있어 자연수로는 급수와 배수 처리처분에 이용하지 않으면 안되기 때문에 배수 처리 관계를 생각하지 않고 지표수에 기초한 급수계획을 세우는 것은 불가능하다.

통상 하천의 취수구 상류에서 배수가 유입하고 있기 때문에 배수의 간접적 재이용을 하고 있을 뿐이다. 당연히 위생학적, 미학적 관점에서 세운 배수 재생 이용의 문제가 발생한다. 적절한 배수 처리는 배수 재이용을 위해 필요하다. 가령, 배수의 재이용은 North Rhine-Westphalia 중공업 지대에 상수, 공업 용수를 공급하는 하천수에 있어 중요한 수원이고, 또 Ruhr 지역의 다량의 배수가 유입하는 Ruhr강에 있어 수원관리를 위해 매우 중요하다.

1929년 건조했던 여름에는 Ruhr강의 물 대부분은 단기간이지만 물-배수-물의 사이클을 3회 이상했다고 한다. 근래 Ruhr강의 유량에 대한 오염 배수량의 비율은 적절한 수원관리에 따라 일정 기준 이하로 보존되고, 건조한 계절의 하천 유량이 최저가 되는 기간은 최고 22%로 유지된다(환경관리공단, 2001).

### ① 공업용을 위한 하수 재이용

독일에서는 공장의 외부에서 폐수의 직접 재이용은 하고 있지 않지만, 표류수

로 유입한 폐수 처리수의 간접적 이용은 하고 있다. 공업용수로 공급된 물의 약 2/3은 표류수를 수원으로 하고 있지만 상당히 폐수가 혼입 되고 있다. 수질에 관한 공장의 요구는 업종에 따라 다르다. 식품공업은 음료수와 같이 엄격하지만 냉각용수는 저급의 수질도 가능하다. 또 보일러 용수는 특수한 요구에 적합하지 않으면 안 된다.

공장 안에서 발생한 폐수의 재이용은 공업하수도나 자연수로에의 배수량을 감소할 수 있기 때문에 많은 공장에서 채용되어 왔다. 공장내에서의 폐수의 순환 이용은 그 물이 냉각, 물질수송, 원료 혹은 제품의 세정 등에 이용된다. 재생처리에 그다지 비용이 들지 않는다는 점에서는 특히 유효하고 또 다량의 물을 필요로 하는 공장에서는 재이용에 의지하지 않을 수 없다.

독일에서는 공장내 순환 이용은 석탄 세정, 석유 정제, 제지 공업, 제철소, 가스 공업, 전기 도금 공업 등 많은 공장에 있어 이루어지고 전공업 용수의 사용량의 60%가 순환 이용되고 있다.( 통계국 자료)

### (3) 네덜란드



네덜란드 세계에서 인구 1인당 연간 유효 강우량이 적은 나라의 하나이다. 수원의 대부분은 라인강과 Meuse강에 의존하고 있지만, 이것들의 강은 인구 약 5,000만의 세계에서 가장 공업화한 지역의 하수가 유입되고, 오염되어 있다. 그렇기 때문에 신중하게 처리한 하수를 가정의 잡용수로 또한 궁극적으로는 음료수로 재이용하거나, 또 공장에 있어 물의 순환이용을 개선하거나 하는 연구가 계획되어 있다.

도시 하수와 공장 폐수의 간접적 재이용을 하는 경우 문제점을 조사하는 것과 함께 감시조작 등의 기술을 개발하기 위해 Dordrecht 시에서 파일릿 플랜트에 의한 실험을 개시했다. 이 플랜트에서는 Dordrecht시의 생물학적으로 처리된 하수를 탈염(역삼투)을 하는 경우와 하지 않는 경우의 2가지 처리 시스템에 따라 음료용수의 수질까지 정화된다. 역삼투를 포함한 시스템 방법은 규모 1.5m<sup>3</sup>/hr 이고, 1978년 초부터 시운전이 개시되었지만 다른 시스템은 1979년 초에 전면적으로 운전에 들어갔다(환경관리공단, 2001).

### (4) 남아프리카

수원이 그다지 많지 않은 남아프리카에서는 도시 용수와 공업용수의 수요가 매년 7%증가하고 있고 금세기말에는 물부족이 될 것이다. 그렇기 때문에 하수의 재이용은 수급 밸런스를 효과적으로 맞추기 위해 국가의 물 경제로서 연구하게 되었다. 하수 2차 처리수 혹은 3차 처리수의 농업 및 발전소 냉각 용수를 위한 재이용은 충분히 확립시키고 있지만 1956년에 규정된 법은 하수 처리수를 자연 수로에 배출하거나 재생수를 이용하기 위해 수질 수준을 만드는 것에 의해 재생 이용을 촉진시켰다. 결국 1977년에 규정된 새로운 보건법(위생법)은 전국에 있어 이것들의 기준 달성을 촉진하는 것에 큰 역할을 할 것이라고 생각된다.

시의 물 공급 시스템으로 물의 재생 이용을 한 유명한 예는 남서 아프리카의 Windhoek시이다. 시에서는 물 수요의 증가와 수원이 부족하기 때문에 1960년대 후반에 물 부족 현상이 나타났지만 이미 1958년에는 Goreangab댐의 상류에 새로운 하수처리장을 또한 댐의 하류 수처리 플랜트를 만들어 물 관리 계획으로 하수 재이용을 받아들이고 있다.

하수처리수는 댐을 바이패스하여 수처리 플랜트로 보내진다. 1962년부터 1968년까지 시에서는 국립수연구소와 공동으로 물 재생 연구를 하고, 1968년에는 세계에서 최초로 급수 시스템의 일부로 재생 플랜트를 가동하게 되었다. 재생 처리 프로세스는 부상 분리, 포말 분리, 침전, 여과, 파괴점 염소처리, 2단식 활성탄 흡착 및 후염소 처리로 되어있지 시행개시후 2년간은 이 플랜트는 시의 모든 물 사용량의 13~14%를 조달하고 동시에 처리수 수질은 세계 보건 기구(WHO)의 음료수 기준으로 적합했다.

남아프리카에 있어 물 재생 이용의 중요성으로 인해 국립수연구소(NIWR)은, 하수 2차 처리수에서 음료수를 생산하기 위해 현존하는 물리 화학적 프로세스를 더욱 개선하는 개발을 계속하게 되었다. 그래서 Pretoria의 Daspoort 하수처리장 내의 규모, 4,500m<sup>3</sup>/일의 Stander 물 재생 플랜트를 만들고, 1970년에 실증 플랜트로 운전을 개시했다.

원수는 Bio Filter Humus Tank 처리수와 활성슬러지 공법 처리수 2종류로 처리 프로세스는 현재 시점에서 석회 처리, 암모니아 회수, 재탄산화, 염소처리, 2단식 활성탄 흡착 및 후염소 처리이다(환경관리공단, 2001).

Table 16. Process selection for various utilization of water

| 재이용의 적용                | 프로세스선택  |
|------------------------|---|
| 관개용<br>(골프코스, 공원, 운동장) | ○ 모래여과<br>○ 석회처리-침전-조정조-암모니아스트리핑-재탄산염화-<br>모래여과-염소처리-이온처리-활성탄흡착(최종처리) |
| 공업용                    |   |
| 발전소냉각용수                | ○ 모래여과 ○ 최종처리   |
| 증기의 발생(저,중압)           | ○ 석회처리 ○ 침전 ○ 최종처리 ○ 모래여과 ○ 연화처리                                      |
| 섬유습식 프로세스용수            | ○ 석회처리 ○ 침전 ○ 최종처리 ○ 활성탄 흡착   |
| 양모세정                   | ○ 모래 여과 ○ 최종처리  |
| 목재의 펄프화                | ○ 석회처리 ○ 침전 ○ 최종처리  |
| 판지, 신문인쇄용지 제조          | ○ 석회처리 ○ 침전 ○ 최종처리  |
| 양질지(표백)                | ○ 모래 여과 ○ 활성탄 흡착 ○ 최종처리   |
| 식품 프로세스 용수             | ○ 음료수의 경우와 동일   |
| 가죽 무두질                 | ○ 모래여과  |
| 철강업                    | ○ 모래여과  |
| 광업                     | ○ 최종처리  |
| 광석수송                   | ○ 최종처리  |

※ 최종 처리는 모든 처리를 하고 있는 것만이 아니고, 수질에 따라 처리 프로세스의 조합을 결정하고 있다.

※ 케이프 다운에서는 공업용수로 물 재이용에 있어 재생수의 Factor(인자)는 일반적으로는 TDS이지만, 섬유 습식 프로세스와 양질의 종이 제조에는 색이고, 섬유 습식 프로세스, 양모 세정 및 목재 펄프화에는 硬度이고, 또 제지제조에는 부식성이다.

#### (5) 이스라엘

천연수가 적은 이스라엘에 있어 중, 대도시의 하수는 적절하게 정화시킨 후 국가의 수도로 통합해야하는 유력한 수원이라고 생각되고 있다. 과거 10년간에 몇 개의 하수 재생 이용이 계획되었고 일부는 실시되었지만 그 안에서 최대 또한 가장 진보한 것은 텔아비브 수도권하수를 고도 처리한 후, 지하에 주입하여 재이용이라는

Dan 지역 프로젝트이다.

텔아비브 수도권은 1985년에는 인구 130만이었다고, 1억 5,000만 $m^3$ /년 의 하수처리수가 나올 것으로 예상되었지만 그 처리수는 텔아비브의 남쪽에 있는 Rishon Lezion 지역에 있어 수평으로 된 모래 언덕 위에 간헐적으로 살수하여 지하 주입하였고, 거기에서 500~1,500m 떨어진 지점에서 펌프로 국영수도관 안에 재생수를 양수로 하여 여러 가지를 한해에 사용할 계획으로 세웠다.

Dan 지역 하수 재생 프로젝트는 2단계로 나누어진다. 제1단계는 지역의 남부를 대상으로 하여 규모 1,500만 $m^3$ /년을 최종적(제2단계)으로는 2,000~3,000만  $m^3$ /년 재생 처리하도록 하였다. 프로세스는 바 스크린, 순환형 산화지, 석회처리, 암모니아 스트리핑, 재 탄산화, 염소처리의 순서이다. 제2단계는 규모 1억 $m^3$ /년인 것으로 1980년에 완성했다. 처리프로세스는 바 스크린, 그리트 챔버, 활성슬러지법에 의한 질산화·탈질, 최종 침전지, 활성탄 흡착(임의), 염소 처리이다. 그리고, 2000년에는 이 지역은 인구 170만으로 약 2억 $m^3$ /년의 하수처리수가 배출될 것으로 예측되었다(환경관리공단, 2001).



#### (6) 사우디아라비아

사우디아라비아의 Riyadh에서는 가정 하수의 2차 처리수를 양질의 공업용 프로세스용수로 전환하는 규모 약 19,000 $m^3$ /일의 물 재이용 시스템 계획을 결정했다. 계획을 세울 때에는 세 가지 요구가 나와 있다. 그 첫째는 소방 용수, 냉각용 보급수 및 보일러 용수를 급수 대상으로 포함하는 경우가 있지만, 보일러 용수는 경도 0, 전 용해성물질 10mg/L이하, 암모니아와 COD 0 mg/L, 실리카 0 mg/L, 5mg/L 이하, 현탁물질 0.5mg/L 이하의 고급 수질까지 처리해야 한다. 두 번째는 이 지역의 수원은 극히 한정되어있기 때문에 저수와 순환을 최고로 해야한다. 또 세 번째는 전용해성 물질이 3,000mg/L 이상의 2차 처리수에서 고급 수질의 물을 만드는 기술은 조작성 간단하고 신뢰도도 높은 동시에 또한 유지 관리비용을 최저로 해야 한다.

계획된 재생 이용 프로세스는 조목스크린, 포기조정지, 포기식 조여과기, 중간에 재탄산화(recarbonation)설비를 갖춘 2가지의 접촉침전지, 염소처리, pH조정, 클린 타워(Clean Tower), 폴리머 혼합, 중력식 복층여과기, 입상 활성탄 흡착탑, 2개의

역삼투 장치 및 이온 교환기이다. 소방용수는 활성탄 처리와 염소 처리 후에 저류되고, 클린 타워의 보급수는 역삼투 1단 처리후 저류된다. 또 비용을 낮추기 위해 노폐탄을 재생하여 석탄 오니에서 칼슘을 회수하는 동시에 석탄 재생용 가스로에서 나오는 CO<sub>2</sub>는 재탄산염화에 사용한다(환경관리공단, 2001).

## (7) 인도

인도에서는 수자원 개발과 시의 물 공급 시스템이 인구 증가를 따라 공급되지 못하여 봄베이나 카르카타와 같은 대도시에서는 필요 수량의 반절은 급수되지 못하고 있는데다가 더구나 비가 적게 내리는 해에는 그것도 되지 않는 상황이다. 그렇기 때문에 물이 부족한 지역인 도시나 공장은 물의 재이용을 계획 혹은 실시하고 있는 지역이 많다. 다음에는 인도에 있어서 약간의 하수 재이용 예에 대해 서술한다(환경관리공단, 2001).

### ① 공업 용수로서의 하수 재이용

봄베이는 지하수가 적고 관개수가 되어 지하수 의존이 불가능한 까닭에 특히 물의 재이용이 진보하고 있다. 1970년에 봄베이의 어떤 공장에서는 규모 5,000 m<sup>3</sup>/일의 하수 재생 처리 플랜트를 만들었고 원수인 하수는 플랜트에서 2.75km 떨어진 지점에 있는 시의 하수구에서 펌프로 도수하였다. 처리 프로세스의 특징으로는 기온이 높고 (동계의 평균 기온 약 23℃) 큰 상공업 지대라는 것을 고려하여 냄새가 없는 호기처리를 확실하게 하기 위해 장시간 포기를 이용한 점이고, 이것에 따라서 하수의 BOD가 약 200mg/L에 대해 침전 처리수의 BOD가 약 5~10mg/L라는 낮은 수치를 항상 얻을 수 있었다.

모래 여과수의 일부는 연화 처리되고 일부는 바이패스하여 새로운 시의 물과 같이 섞은 후, 경도가 약 40mg/L가 되도록 하였다. 또 탈염전까지 처리 수량의 약 15%가 보일러로 급수하기 때문에 또한 탈염 장치로 보내진다. 이 플랜트의 자본비는 원수도수비, 토지대를 포함하여 약 70만달러(1970년 가격)이지만 장래 1만 m<sup>3</sup>/일의 규모로 쉽게 확장할 수 있도록 설계하였다. 또 운전비는 연화 처리까지 1m<sup>3</sup>당 0.09달러(US)이다.

### ② 고층빌딩에 있어 물의 재이용

봄베이에서는 최근 설계된 7개의 20~25층 건물의 고층 상업 빌딩에 있어 냉

각용수를 목적으로 한 물의 재이용이 이루어지고 있다. 빌딩 오수 재생이용의 재생처리 플랜트는 지하에 설치하고 동시에 콤팩트할 필요가 있다. 또 거의 사무실 건물이기 때문에 용배수가 주로 근무 시간내인 것을 고려하여 도시 하수를 취수하여 플랜트에 통하여 유량을 증가할 수 있도록 하거나 처리수의 저류조를 설치하거나 한다. 처리 프로세스의 특징으로 조작상 냄새가 나지 않도록 하는 것에서, 혐기슬러지 소화 등은 채용하지 않고 장기 포기를 채용하고 있다는 점 등을 들 수 있다. 또 탈염 이외는 전 항목에서 서술한 처리 프로세스와 거의 같다. 다음에 비용에 대해 서술하면 규모 200m<sup>3</sup>/일의 재생 처리 플랜트를 건설하기 위해 자본비는 약 5만달러(US, 1970년 현재가격)로, 대출금의 상환과 이자를 포함한 운전비는 거의 0.04달러 (US)/m<sup>3</sup>이다. 단 플랜트의 토지대는 포함하지 않는다. 또 봄베이의 물값은 동시기 0.58달러(US)/m<sup>3</sup>이다.

#### (8) 싱가포르

싱가포르시는 면적 약 580m<sup>2</sup>, 인구 약 225만이고 세계에서 인구밀도가 높은 지역의 하나이고 만족할 급수를 할 수 없기 때문에 공공 사업국은 물의 재이용을 연구해 왔다. 일찍이 1915년에 하수처리수가 일반적인 세정 과정의 관개용으로 사용하였다. Ulu Pandan 하수처리장의 2차 처리수를 재이용하기 위해 가까이에 규모 약 2만 m<sup>3</sup>/일의 재생 처리 플랜트를 건설하였고, 그곳에 전 염소처리, 2층 여과, 포기 후 염소 처리를 한 후, Jurong 공업지대에 공급하여 냉각용수나 제지, 섬유의 공업용수 외, 공원의 관개용수, 도로의 살수 용수로 사용했다. 사용 공장에서의 비용은 0.020 ~ 0.063달러/m<sup>3</sup>이다.

1971년에는 6개 아파트를 선택해 2중 배관 시스템으로 하여 Jurong의 재생수를 수세식 화장실 용수로 사용하였던 바, 사용자의 고충은 플러싱할 때에 약간 거품이 일어난다는 점과 장기간 체류하면 냄새가 난다는 점뿐이었다. 이 문제는 염소주입량의 증가로 대처했다. 이 성공에 의해 당국은 계획을 확대하여, 4,000여개의 아파트에 대해서도 하기로 했다.

이와 같이 수질을 좋게 하면 재이용을 촉진할 수 있다는 점이 명확하게 되었기 때문에 규모 약 380m<sup>3</sup>/일의 고도 처리 플랜트가 1973년에 건설되었고, 1974년 9월에 운전을 개시했다. 하수 2차 처리수를 원수로 하는 처리 프로세스 플로우는 화



학 처리, 암모니아 회수, 여과, 황성탄 흡착, 탈염, 염소, 혹은 오존 처리이다. 이 실증 플랜트에 의한 처리는 음료수 수질 기준으로까지 하수를 처리할 가능성을 측정하는 것이다(환경관리공단, 2001).

#### (9) 오스트레일리아

오스트레일리아가 지구상에서 가장 건조한 대륙인 것은 잘 알고 있지만 오스트레일리아의 하천이 어떤 지역에서는 장기간 유량이 없는 일이 보통인 것과 같이 유량에 크게 변화를 나타낸다는 것과 같은 것은 일반적으로 그다지 알려져 있지 않다. 수자원 개발은 영국의 이민이 시작된 이래 200년간에 몇 개의 지표수원의 개발이 진행되어 온 것이지만, 물의 재이용에 대해서도 관심이 있고, 현재 다음과 같은 프로젝트가 있다.

- 1897년 이래 Victoria의 Werribee 농장에서는 메르폴린의 하수를 소와 양을 위한 목장의 관개로 사용하고 있다.
- 서부 오스트레일리아의 시골 거리에 있는 운동장의 관개를 위해 물 재이용
- 남부 오스트레일리아에 있어 환경 용수
- 남부 오스트레일리아에 있어 포도주용 포도생산에 이용된 포도원 관개 이외의 조사, 연구도 증가해 왔지만 그 안에서는 야채의 생육, 목재의 생육, 바이러스를 포함한 위생관계 등을 연구하고 있는 Victoria의 재생수에 위원회의 연구가 특히 주목되고 있다(환경관리공단, 2001).

## IV. 하수처리수 재이용의 문제점

환경부는 1991년 이후 중수도 보급확대를 위하여 여러 가지 정책적 노력을 기울였으나 아직까지 그 효율은 미비한 편이다(환경부, 1999). 우리나라의 하수처리수를 중수로 이용 확대에 장애가 되는 경제적, 기술적, 위생상, 관리상, 법적 제도적, 기타 요인이 있다. 이들 요인을 대상으로 문제점을 고찰하고자 한다.

### 1. 경제적 요인

먼저 중수도 확대를 저해하는 요인 중에 가장 중요한 요인은 경제적 문제이다. 즉 수도물 사용요금이 생산원가에도 미치지 못하는 수준을 유지하고 있어 수도물 사용자들은 수도물을 아껴야 할 필요성을 가지지 못할 뿐만아니라 중수도를 설치할 유인을 가지고 있지 못하다.

현재 우리 나라의 수도요금은 지역과 사용수량에 따라 차이가 있지만 서울시를 기준으로 대략 가정용의 경우 톤당 300-500원, 영업용의 경우 톤당 500-700원정도로 미국이나 일본 등 외국의 1000-2000원/톤에 비해 매우낮은 수준이다. 따라서 중수도 시설을 설치함으로써 얻는 경제적 이득이 적기 때문에 중수도의 설치를 기피하는 것이 사실이다. 이를 해결하기 위해 수도요금 인상 등의 방안이 논의되고 있으나 현실적으로 적용되기에는 여러 가지 어려움이 있다.

하수처리수 재이용 제도의 확대 보급에서의 최대 장애요인은 하수처리수 생산비가 수도요금보다 높다는 점이다. 따라서 하수처리수 재이용 제도를 확대 보급시키기 위해서는 상·하수도, 공업용수에 대한 행정상 및 법제상의 조치에 준한 시책을 강구하는 것과 금융·조세상의 촉진책을 마련해서 경제성을 높여야 한다. 하수처리수 재이용 생산비와 수도요금과의 격차를 줄이고, 상수도 재정의 적자를 줄이기 위해서는 수도요

금의 인상이 불가피한 실정이다.

환경부는 이러한 문제를 해결하고 중수도 시설 설치로 인한 경제적 이득을 늘이기 위해 다음과 같은 정책적 방안을 제시하고 있다(환경부, 1999).

1) 수도요금 및 환경개선부담금 감면

지역에 따라 20-50%가량 수도요금을 감면 지원하여 중수 사용이 경제적 이득을 가지게 한다.

2) 조세 감면 및 금융지원확대

중수도 시설 투자비에 대한 조세감면과 설치 시 금융지원을 실시한다.

3) 지방 양여금에서의 지원

중수도 시설 설치를 다른 환경기초시설과 마찬가지로 보고 지방 양여금 중 일부를 지원한다.



4) 중수도 시설 설치의 의무화

우선 신축 건물에 대하여 중수도의 설치를 의무화하고 점차 일정규모 이상의 건물에 대해 중수도 설치를 의무화시킨다.

5) 수질환경보전법에 중수도 시설의 법적 규정 명료화

중수는 사용목적상 상수로 구분될 수 있으므로 수도법으로 규율하도록 한다.

## 2. 기술적요인

현재까지 초보단계에 머물고 있는 우리나라의 중수도 보급을 확대하기 위해서는 여러 가지 문제점들이 해결되어야하나 이러한 문제점을 중 기술적 문제점을 크게 4가지로 나누어 논의하고자 한다.

첫째, 중수생산비용을 저감 할 수 있는 중수처리기술의 개발 및 설계운영기술이 낙후 되어 있다. 양질의 중수도 생산을 위하여 지금까지 기술적으로 많은 진보를 해왔지만 현재 국내에서는 막분리법 중심의 처리기술에 대한 연구가 활발히 진행중이나 아직까지는 처리효율 및 처리비용면에서 개선해 나아가야 할 사항들이 많다.

둘째, 하수처리수를 원수로 이용하는 방식의 중수도 시설에서는 하수의 처리정도가 중수 생산에 많은 영향을 미치며, 원수에 포함된 무기염류, 및 응집, 침전과정에서 발생하는 슬러지의 처분이 문제시되고 있다. 따라서 막분리법 중심의 처리기술뿐만 아니라 처리비용이 상대적으로 저렴한 기존의 생물학적 처리기술의 지속적인 개발 및 슬러지의 처리방안에 대한 연구도 계속적으로 수행되어야 하나 이의 연구가 미흡할 뿐만 아니라 중수도 가동시 발생하는 슬러지에 관한 지침도 마련되어 있지 않다(윤등, 2003).

셋째, 중수도 시설 및 기구의 기능에 지장을 초래하는 요인인 부식, 스케일, 슬라임 등의 장애요인의 해결 및 색도, 악취 등으로 인한 물쾌감을 해소하기 위한 방안등이 미흡하다.

마지막으로, 중수도의 특성상 부지사용이 제한되는 지역에 설치하는 경우가 많으므로 장치의 간소화를 통한 부지소요의 감소가 필요하며, 지속적인 유지를 위해서는 전문인력이 필요치 않은 간편한 운전이 가능한 공정의 개발이 필요하다(서울시정개발연구원, 1999; 환경부, 1999; 환경부, 2001).

중수도의 보급확대를 위하여 기술적 측면에서의 고려해야할 방안은 요약하면 1)공정의 간소화를 통한 부지 소요 감소, 2) 운전 조작의 단순화를 통하여 전문인력의 소요를 최소화시킴, 3) 막의 막힘 현상 등의 운전상의 문제점 해결, 4) 중수처리시설의 수질과 수량의 안정적 보급 방안 모색등으로 구분 할 수 있다.

### 3. 위생상의 문제점

하수처리수 재이용시 위생상의 문제에 대한 대책 마련의 일환으로 중수도의 이용 용도에 다른 목표수질의 설정과 세균, 바이러스 등과 같은 병원균이 인체에 미치는

영향 등을 규명함으로써 사용자의 건강을 보호하고 이용시의 쾌적성과 안정성 확보없이 중수도의 확대이용에 큰 장애가 될 것이다(환경부, 2001; 강등, 2002).

그러므로 하수처리수 재이용의 용도가 피부접촉이나 음용이외의 사용에 제한되어 있으므로 이에 대한 다음과 같은 관리 대책이 필요하다.

- 물 사용단계에서의 오염, 오사용방지
- 세균, 바이러스 등의 병원성 미생물의 효과적인 제거
- 냉각탑이나 처리공정 등에서 발생하는 휘발물질의 비산에 따른 악영향 해소 등이 해결되어야 한다.

#### 4. 관리상의 문제점

하수처리수 재이용 설비의 원활한 유지관리를 담당할 일정 기술을 소지한 관리자가 있어야 한다. 그러나 규모가 작은 단독이용 방식에는 별도의 기술 관리자를 둔다는 것은 쉬운 일이 아니다. 따라서 정기적으로 관리 기술자가 점검할 수 있는 순회체도를 이용하는 것도 좋은 방법이 될 수 있다. 또한 하수처리수 재이용 시설의 유지관리 기준을 처음 설계 및 시공 단계에서 전수하는 것을 의무화하고, 수질검사 및 사업보고를 해당 시·군의 하수처리수 재이용 담당 부서에 보고할 수 있게 한다(환경부, 1999).

#### 5. 법적 제도적 문제점

현재 하수처리수 재이용과 관련한 법제도의 뒷받침이 미비한 상태이다.

수도법이나 조세특례제한법에서 각종 혜택을 제고하고 있으나 실효성이 미미한 실정이다. 먼저 수도법에 의한 수도요금 감면은 몇몇 지자체에서 지방조례로 제정하고 있으나 실제로 중수도 설치가 보편화 될 수 있는 광역시 등의 대도시에서는 거의 조

례가 제정되어 있지 않다. 다음으로 조세특례제한법에 의한 시설자금에 대한 소득세 및 법인세의 감면혜택은 법인소득의 5%로 막대한 초기투자에 비해 그 혜택은 미미하다. 중수도시설에 대한 법적규제가 명확하지 않다, 즉, 수질환경보전법에 의해 수질오염방지시설과 배출시설로 이중으로 포함되어 있어 이중 신고 또는 허가 절차를 밟아야만 하고 지도·점검대상으로 되어 있다. 그리고 현행 수도법에서 중수도의 설치를 권장 사항으로 하고 있으나 2001.09월부터 일정규모 이상의 건축물을 신축할 시에는 중수도 설치를 권장 사항에서 의무 사항으로 개정하였다. 본 제도의 장점이 개인이나 국가의 물 이용 합리화에 커다란 영향을 미칠 수 있는 새로운 제도이므로 법제도 및 기술적 문제점을 해결해 나간다면 빠른 시일 내에 새로운 물 이용제도로 정착될 수 있을 것이다(환경부, 1999; 환경관리공단, 2001).

## 6. 기타 문제점



하수처리수 재이용의 또 다른 문제는 이용자의 감각적 거부감에 대한 것이다. 하수처리수 재이용은 개인의 이익뿐만 아니라 물을 절약해 줌으로써 공익이 수반될 수 있다는 점을 인식시켜야 할 것이며, 나아가 하수처리수를 이용함에 있어서 장애 요인이 발생되지 않는 하수처리시설의 설계 및 유지관리가 수반되어야 한다.

또한, 중수도 이용에 대한 지속적인 홍보 활동이 필요하다. 중수도 이용을 물절약을 위한 국가적 차원의 대책으로 규정하고 이를 이용 할 수 있는 사회적 편익이 창출될 뿐만 아니라 효율적으로 물을 절약할 수 있음을 국민들에게 인식시키는 것이 매우 중요하다(서울시정개발연구원, 1999; 환경부, 2001).

## V. 하수처리수의 적절한 재이용 방안

### 1. 재이용 방식 및 상호 보완 시스템

#### 1) 개방 순환 방식(Open Reuse System)

하수처리수 재이용 방식은 공급 형태에 따라 개방순환방식(Open Reuse System)과 폐쇄순환방식(Closed Reuse System)으로 대별된다.

개방순환방식(Open Reuse System)은 Fig. 18에서와 같이 하수를 처리하여 하천 등의 공공수역에 방류하여 하천 유량(하천유지용수)을 확보함과 동시에 이를 취수하여 생활용수(잡용수), 공업용수, 농업용수 등의 용도로 재이용하거나, 처리수를 지표에 살수 또는 재충진시킨 후 취수하여 재이용하는 방식이다. 이 경우 상류에서 하수 처리하여 방류한 물이 하류에서 재이용되는 방식이 일반적이며, 처리수의 반복이용을 목적으로 하수처리수를 상류까지 양수시키는 경우도 있다.

개방순환방식을 세분한다면 자연유하방식, 유량조절방식, 지표살수 및 침투방식 등으로 구분할 수 있다. 자연유하방식은 현재까지 행해지던 방식으로서 하수처리수를 공공수역에 방류하는 방식으로서 현재까지 우리나라에서의 수이용 시스템은 거의 이 방식에 의해 이뤄졌다고 할 수 있다. 즉, 하천, 댐, 호소 등의 수역에서 물을 취수하고 처리하여 이용한 후 하수관로로 수집하여 처리하여 공공수역에 방류하고 하류에 있는 수요지역에서 취수하여 반복 이용하여 왔다고 할 수 있다. 따라서 수계에 존재하고 있는 물은 최상류를 제외한 대부분의 하류 지역에서는 상류지역에서 이용하고 다시 공공수역으로 유입시킨 물이 혼합되어 있다고 볼 수 있으며, 하류에서는 이 물을 반복적으로 이용한다고 볼 수 있다.

수량이 풍부하지 않은 하천수를 상류에서 취수하여 도시에서 이용한 후 하류에 방류하게 되면 취수 지점과 방류 지점사이 구간에는 하천유지수량이 부족하여 하천의

건천화를 초래할 수 있다. 따라서 이러한 하천 건천화를 방지하기 위해서는 하수처리수를 하류에 방류하지 않고 하천수량이 부족한 구간의 상류지점에 압송하여 하천수의 수량을 보충해 줄 수 있는데 이러한 순환방식이 유량조절방식에 해당한다고 할 수 있다. 특히 오늘날에는 대개 도심을 관통하는 소규모 하천들은 오염이 심각하게 진행되었거나 수량이 급격히 감소되어 하천으로서의 기능을 상실한 경우가 많다. 이와 같이 하천의 오염이 심각한 지역 또는 하수도 보급에 따라 도심의 하천이 건천화 된 하천을 대상으로 하수처리수를 인위적으로 상류로 양수할 경우 하천의 기능을 어느 정도 복원시킬 수 있다. 도심하천의 건천화 방지를 목적으로 하수처리수를 상류로 양수시켜 하천의 건천화를 방지하려고 시도한 예는 우리나라에도 몇 군데 있다(건설부, 1994; 환경관리공단, 2001).

#### 자연유하방식



#### 유량 조정방식



#### 지표살포 및 침투방식



Fig. 18. Open circulation method



광주천의 경우 하수도의 보급에 따라 광주천으로 유입되는 하수가 거의 차집되어 도심을 관통하여 흐르는 광주천이 거의 건천화 되었다. 이를 보완하기 위해 광주광역시 하수처리장에서 방류되는 유량 600,000m<sup>3</sup>/day 중 약 43,200m<sup>3</sup>/day(=0.5m<sup>3</sup>/sec)의 유량을 하수처리장으로부터 12km 상류로 양수하여 방류하고 있다.

또한 대구광역시의 신천 하수처리장에서도 하수처리량 680,000m<sup>3</sup>/day중 약 100,000m<sup>3</sup>/day를 상류로 압송하여 방류함으로써 도심의 신천의 건천화를 방지하고 있다.

그 밖에 안양천, 굴포천 등이 이러한 목적으로 하수처리수를 하천에 방류할 계획을 갖고 있는 것으로 알려져 있다.

지표살수 및 침투방식은 엄격한 의미에서는 용수가 부족하거나 용수의 확보를 지하수에 의존하는 지역에서 이용할 수 있는 방법으로서 하수처리수를 지표에 살수하거나 도랑 등에 침투시켜 지하로 침투시키는 방식이다. 하지만 우리나라의 경우에는 지하수로 충전시키는 방법보다는 농업용수로서 재이용함으로써 농작물에 관개용수로서 이용할 수 있을 뿐만 아니라 이용 후에는 지하수 함양, 하천 등으로의 배수로서 이용하는 것이 이에 해당된다고 할 수 있을 것이다(광주광역시, 1995).

## 2) 폐쇄 순환 방식(Closed Reuse System)

폐쇄순환방식(Closed Reuse System)은 Fig. 18에서와 같이 처리수를 하천 등의 공공수역에 방류하지 않고 건물 또는 일정 범위의 폐쇄공간에서 이중 배관에 의해 반복적으로 이용하는 순환이용방식으로서 직접이용방식(Direct Reuse System)에 해당한다. 폐쇄순환방식(Closed Reuse System)은 원수의 유입형태, 이용범위, 처리방법, 사업주체 및 시설규모에 따라 개별순환방식, 지역순환방식, 광역순환방식으로 구분된다(건설부, 1994; 서울시정개발연구원, 1999; 환경관리공단, 2001).

### (1) 개별순환방식

개별순환방식은 단일 건축물이나 공장, 또는 하수처리장 등에서 자체적으로 처리하여 자체 내에서 수세식화장실 용수, 냉각용수, 청소용수, 처리용수(탈수기, 약품 희석용수 등) 등으로 이용하는 방식이다. 중수도 시스템일 경우(단일 건축물, 공장

등)에는 대상원수를 수세식화장실 배수를 제외한 농도가 낮은 잡배수만을 대상으로 하는 경우와 수세식변소 배수와 잡배수를 혼합한 것이 원수가 될 수 있다. 농도가 낮은 잡배수를 원수로 할 경우 원수의 수질은 양호할 수 있지만, 수량확보에 문제가 있을 수 있다. 또한, 처리공정이 생물학적 처리공정인 경우 농도가 낮은 잡배수만을 대상으로 하는 것보다 수세식 화장실 배수와 농도가 낮은 잡배수를 혼합한 것이 처리가 보다 용이하다는 점에서 수세식화장실에서 발생하는 오수와 농도가 낮은 잡배수를 혼합하여 처리하는 것이 유리할 것이다. 하지만, 하수처리수를 원수로 하여 개별순환방식으로 재이용하고자 할 때는 수량확보에는 거의 문제가 되지 않을 것이며, 재이용 용도에 따라 급속샤여과, 흡착, 소독 등의 재이용 용도에 맞는 처리공정을 부가하면 될 것이다. 따라서, 공장, 빌딩에서의 중수도의 개별순환이용방식에서는 처리공정, 수량확보의 문제가 있지만, 하수처리수를 개별순환방식으로 이용할 때는 처리공정, 또는 수량확보의 문제보다는 처리량을 충분히 이용할 수 없다는 문제가 발생할 수 있다. 즉, 하수처리수를 개별순환방식으로 이용하는 경우는 대부분 하수처리장내에서 세정용수, 냉각용수, 약품 희석용수, 청소 용수 등으로만 이용되기 때문에 이용 수량에 한계가 있게 되고, 따라서, 현재 하수처리장내에서 하수처리수를 재이용하기 위해 설치된 처리공정도 소규모이다. 개별순환방식의 장점으로 는 자체 내에서 필요한 용수를 주로 소량 공급하는 방식이기 때문에 처리시설 외에 별도의 원거리 배관망 등이 필요하지 않다는 점이다. 하지만, 개별순환방식에서는 규모가 작기 때문에 원수의 수량, 수질의 변동에 직접 영향을 미칠 수 있고, 처리비용이 높다는 점 외에도 적은 이용량에 비해 유지관리를 위한 기술자의 추가 확보 등 해결해야 할 문제가 많이 발생한다.

## (2) 지역순환방식

지역 순환방식은 비교적 좁은 지역에 수요에 맞게 하수처리수를 공급하여 이용하게 하는 방식이다. 즉, 하나이상의 건축물, 공동주택(아파트 단지), 산업단지, 도시재개발지역, 대규모 공동주택단지 등에 하수를 재처리하여 공급하여 재이용하는 방식이다. 개별순환방식보다 재이용량의 규모가 크므로 상대적으로 처리비용이 비교적 저렴하고 처리시설의 관리가 보다 용이하다는 장점이 있다. 반면, 지역순환방식은 광역순환방식에 비해서는 처리시설의 규모가 작아 처리비용 또한 경제적이지 못

하다. 지역순환방식에서도 시설의 설치 장소 확보, 관리 주체의 설정, 비용부담 등 해결해야 할 문제는 있다. 지역순환방식의 이용형태는 Fig. 19와 같이 일정 지역에서 발생하는 하수를 재처리하여 그 지역 내에서 필요한 용수의 일부를 공급하는 방식이다. 따라서, 지역순환방식은 대규모 하수처리장보다는 일정 소규모 지역에서 발생하는 하수를 수집하여 처리한 후 그 지역에 다시 공급하여 재이용하고자 할 때 적합할 것으로 판단된다.

### (3) 광역순환방식

광역순환방식은 대규모 하수처리장의 처리수를 재이용 용도에 맞게 처리를 행한 후 용도지역에 공급하는 것으로서 대규모 이용방식이다. 이 방식의 장점은 다량의 하수처리수를 이용하기 때문에 수량 및 수질 면에서 안정적이고 관리의 주체가 중앙정부, 지방자치단체 또는 전문 위탁관리업체가 중심이 되는 공적사업으로 이뤄지므로 수요자 입장에서는 시설물에 수수배관만 이중으로 설치하기 때문에 비용부담이 적을 것이다. 또한, 하수처리장내에 대규모의 고도처리시설이 설치되기 때문에 시설의 유지관리 및 수질관리가 용이하고 대규모 처리시설을 운영함으로써 처리비용 또한 저렴할 것이다. 단점으로는 처리시설에서 수요지점까지 송수관, 배수관 등의 시설을 추가로 설치해야하기 때문에 막대한 초기 투자비가 소요될 뿐만 아니라 시가지 중심부로 송수관, 배수관을 매설해야하기 때문에 공사의 난이성, 도로 점용 등의 문제점이 있을 수 있다. 또한, 기존에 매설된 각종 지하매설물(상수관, 하수관, 전기시설, 가스관 등)과의 충돌문제, 오접합의 발생가능성 등이 있을 수 있다. 더구나, 재이용 용도별로 요구되는 수질이 상당히 차이가 있기 때문에 처리공정 또한 어느 용도로든지 사용이 가능할 정도의 고도의 재처리 시설이 필요할 것이다. 그로 인해 처리수량의 대규모로 인해 생기는 경제성보다는 고급수를 생산해내기 위한 처리공정의 복잡화로 처리 단가가 매우 높아질 가능성도 배제 할 수 없을 것으로 판단된다. 이러한 의미에서 시가지 전역, 또는 재개발 지역이라도 전체 지역을 대상으로 하기보다는 수요가 집중되고 대규모 용수를 단일 용도로 사용할 지역에 대해 선별적으로 보급하는 것이 보다 바람직할 것으로 판단된다.

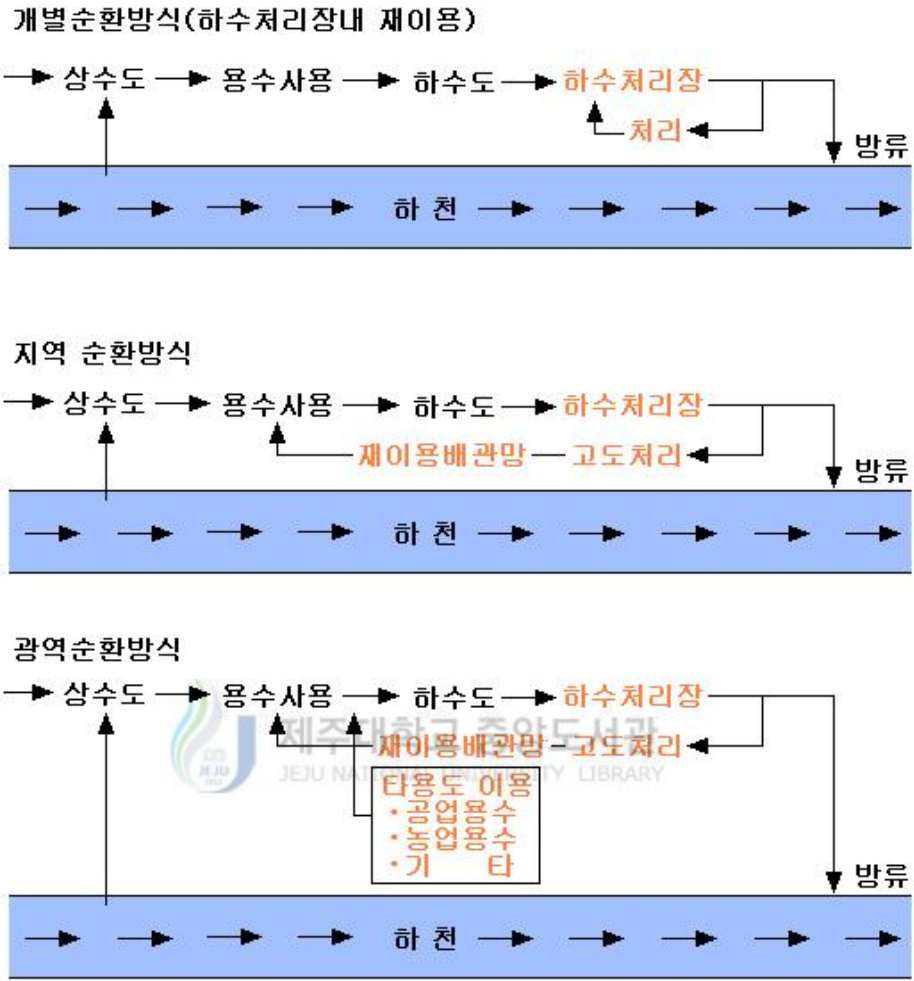


Fig.19. Closed circulation method

### 3) 상호 보완 시스템

앞에서 서술한 것처럼 하수처리수의 재이용 방식을 순환방식 면에서의 구분한다면 개방순환형과 폐쇄순환형으로 구분하였다. 각 순환방식을 좀 더 세분하여 보면, 개방순환형은 ①자연유하방식, ②유량 조정방식, ③지표살포 및 침투방식 등이 있고, 폐쇄순환형에는 ①개별순환형, ②지역순환형, ③광역순환형 등으로 구분하였다. 하지만 모든 경우에 대해 이 구분 방식에 의해 엄격하게 구분할 수 없을 것이다.

본 연구에서는 하수처리수의 재이용 용도를 ①환경용수, ②공업용수, ③농업용수, ④수세식 화장실 세척용수로의 이용을 고려하였는 바, 환경용수 및 농업용수로의 이용은 개방형 순환이용방식에 가깝다고 할 수 있고, 공업용수 및 수세식변소용수로의 이용은 폐쇄형 순환이용방식에 근접한다고 할 수 있다.

각 순환방식별 이용가능성을 살펴보면, 단기적으로는 개별순환방식 또는 지역 순환방식을, 장기적으로는 광역순환방식의 폐쇄순환형 및 지역순환형으로 방향을 잡는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이는 장래 우리나라의 물 수요가 많아져 물부족국가로 되었을 때 부족한 수자원을 보충하기 위해서는 사회 전 분야에 걸쳐 물을 재이용하는 시스템이 구축되어야 할 것이기 때문이다(건설부, 1994; 환경부, 1999; 환경관리공단, 2001).

하지만, 광역순환방식은 기존의 도시 등에서는 투자비가 많이 들고 지금 당장 계획하고 시행하기에는 문제점이 많이 있다. 따라서, 단기적으로 현재 일부 재이용이 이뤄지고 있고, 또한, 시행이 비교적 쉬운 개방순환방식(환경용수 또는 농업용수이용)이나, 개별순환방식 또는 지역 순환방식(공업용수, 수세식화장실 세척용수)을 계획하여 시행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 앞에서 언급한 것처럼 기존의 도시에 하수처리수를 공급하기는 많은 어려움이 있게 된다. 기존의 도시에 하수처리수를 공급하기 위해서는 송배수관 및 부대시설, 급수관 등을 여러 시설물들이 매설되어 있는 도시에 새로이 설치해야 하기 때문에 매우 어려울 것으로 판단된다. 따라서, 기존의 도시에 하수처리수를 공급하기 좋은 경우는 그 도심이 재개발되는 경우라고 할 수 있다. 일본 동경도의 모델사업에서도 그 예를 찾아 볼 수 있다. 일본 동경도에서는 신쥬꾸(新宿)의 모델사업을 시행한 바 있는데, 이 사업은 신쥬꾸 중앙지구의 재개발 사업과 병행하여 洛合하수처리장의 하수처리수를 신쥬꾸 중심지구의 초고층 빌딩에 화장실 세척용수로 공급하였는데 1일 공급량이 4,000m<sup>3</sup>에 달하였다.

기존 도시에 재개발 등의 큰 변화가 없는 경우에 정책적으로 하수처리수를 재이용하기 위한 시설설치를 추진하는 경우에는 앞에서 언급한 문제들 보다 훨씬 큰 용수수급의 문제가 있을 때에 가능 할 것이다. 이 때에는 용수를 대량으로 필요로 하는 시설들(대형 경기장, 공립학교, 시청, 구청, 우체국등의 관공서, 정부산하기관 등 공시설)에 대해 거의 강제적으로 하수처리수를 재이용하게 방안이 있을 수 있다.

개방순환형 이용방식의 예를 본다면, 하수처리수를 농업용수로 사용하는 경우 기존

의 농업용 담수는 다른 용도(상수원수 등)로 사용할 수 있게 되는 이점이 있게 되고, 농사철이 지나 수요가 없을 때는 하천유지용수로 이용하는 등 이용가능성이 매우 높다고 볼 수 있다. 또한 지역 또는 개별 순환형 이용 방식은, 하수처리장 인근에 농업용수의 수요가 많은 산업단지가 위치해 있거나 생활용수 수요가 많은 주택밀집지역 또는 신도시가 개발지역이 입지해 있을 때는 이용가능성이 높고 시행에 유리할 것으로 판단된다. 하수처리수의 재이용 용도와 관련한 순환이용방식별 특성을 요약하면 Table 17과 같다. 또한 용도별 순환 방식은 Fig. 20에 나타내었다.

Table 17. Characteristics by circulatory utilization method

|         | 개방순환방식   |                  | 폐쇄순환방식 |              |
|---------|----------|------------------|--------|--------------|
|         | 농업용수     | 환경용수             | 공업용수   | 화장실세척용수      |
| 재이용 용도  | 농사철에만 공급 | 홍수기, 풍수기에 공급 불필요 | 비교적 일정 | 비교적 일정       |
| 용수수요변동  | 농사철에만 공급 | 홍수기, 풍수기에 공급 불필요 | 비교적 일정 | 비교적 일정       |
| 입 지 조 건 | 인근 농경지   | 도시심 조하천          | 산업단지   | 재개발도시 또는 신도시 |
| 요 구 수 질 | 비교적 저급   | 비교적 저급           | 매우 다양  | 비교적 고급       |
| 시행 용이성  | 비교적 용이   | 비교적 용이           | 보통     | 비교적 어려움      |
| 수 익 성   | 비교적 작음   | 거의 없음            | 비교적 큼  | 비교적 큼        |

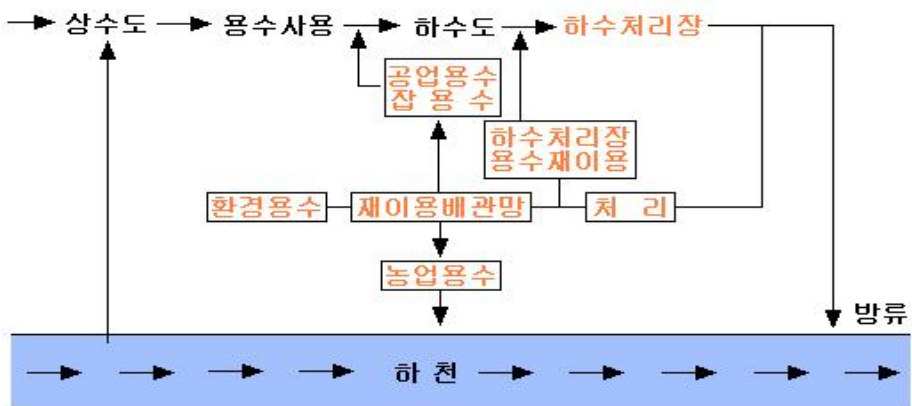


Fig. 20. Circulation method by purpose of use

## 2. 재이용 방식의 장·단점

하수처리장 재이용 방식에서 개방순환방식에는 자연유하방식,유량조정방식,지표살포 및 침투방식이 있으며 폐쇄순환방식에는 개별순환방식,지역순환방식,광역순환방식이 있다. 이와같은 방법들의 장·단점을 비교하여 여건에 맞는 적합한 방법을 적용할 수 있도록 하여야 한다.

Table 18. Strong points and weak points of recycling

| 공 법         | 장 점  | 단 점  |
|-------------|--|--|
| 개 방<br>순환방식 | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 자연유하방식은 하수를 처리하여 하천등 공공수역에 방류하여 하천유량을 확보함과 동시에 이를 취수하여 생활용수,공업용수,농업용수등의 용도로 재이용할 수 있다.</li> <li>· 지표살포 및 침투방식은 용수가 부족하거나 용수의 확보를 지하수에 의존하는 지역에서 유리하다.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 자연유하방식은 수량이 풍부하지 않은 하천수를 상류에서 취수하여 도시에서 이용한 후 하류에 방류하게 되면 취수지점과 방류지점사이 구간에는 하천유지 수량이 부족하여 하천의 건천화를 초래할 수 있다.</li> </ul>   |
| 폐 쇄<br>순환방식 | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 개별순환방식은 자체내에서 필요한 용수를 주로 소량 공급하는 방식이기 때문에 처리시설외에 별도의 원거리 배관망등이 필요하지 않다.</li> <li>· 지역순환방식은 개별순환방식보다 재이용량의 규모가 크므로 상대적으로 처리비용이 비교적 저렴하고 처리시설의 관리가 보다 용이하다.</li> <li>· 광역순환방식은 다량의 하수처리수를 이용하기 때문에 수량 및 수질면에서 안정적이며 수질관리가 용이하고 대규모 처리시설을 운영하므로써 처리비용 또한 저렴하다</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 개별순환방식은 농도가 낮은 잡배수를 원수로 사용할 경우 원수의 수질은 양호하나 수량확보에 문제가 있을수 있으며 처리공정이 비교적 소규모이다.</li> <li>· 지역순환방식은 광역순환방식에 비해서는 처리시설의 규모가 작아 처리비용 또한 경제적이지 못하며 시설의 설치장소 확보,관리주체의 설정,비용부담등의 문제가 있다.</li> <li>· 광역순환방식은 처리시설에서 수요지점까지 송수관,배수관등의 시설을 추가로 설치해야 하기 때문에 막대한 초기 투자비가 소요된다.</li> </ul> |

### 3. 하수재이용 확대 방안

#### 1) 하수처리수 재이용계획추진 절차

국내에서는 아직까지 구체적이고 자세한 추진절차에 의해 하수처리수를 재이용한 예가 없었고, 하수처리장 내부에서 음용수 이외의 용도로 사용하였거나 용수가 부족한 지역별로 수요자의 요구에 응하여 하수처리수를 재이용하여 왔던 것이 우리나라 하수처리수 재이용 실태이었다. 하지만, 물부족이 예상되는 우리의 현실을 고려한다면 머지 않은 장래에 하수처리수의 재이용은 크게 증대될 것으로 예상된다. 따라서, 지금까지와는 달리 보다 체계적으로 하수처리수 재이용을 추진하기 위해서는 개략적으로나마 추진절차가 필요할 것으로 판단된다(환경부, 1999; 환경관리공단, 2001).

본 연구에서 기술한 바와 같이 하수처리수를 재이용하기 위해서는 하수처리수의 재이용에 관련된 법적인 체계 및 경제성 분석 체계, 기술적인 면에서의 타당성 검토, 행정적인 면에서의 지원체계 등이 필요하다. 다음 Fig. 21은 각 지방자치단체에서 하수처리수 재이용 계획을 수립하여 재이용을 추진하기 위한 절차를 개략적으로 표시하였다. 하수처리수의 재이용계획을 수립하기 위해서는 우선, 각 지자체의 용수수급(공업용수, 생활용수, 농업용수, 환경용수) 전망치를 파악하여 장래 확보가능한 용수량이 수요량보다 작을 때에 하수처리수의 재이용을 검토하겠지만, 그렇지 않고 용수수요량보다 확보가능량이 클 때는 기존의 수원을 이용한 용수수급 계획을 세우게 될 것이다.

그 다음 단계에서는 물부족지역에서 용도별로 요구되는 수질과 기존의 하수처리수 수질을 비교하여 하수처리수를 그대로 사용하더라도 문제가 없을 경우라면 추가처리 없이 그대로 사용가능하겠지만, 그 반대로 추가처리가 필요하다고 판단되면 추가처리 등에 관련한 하수처리수 재이용에 대한 경제적 타당성을 검토할 것이다. 경제적으로 타당성이 확보된다면 하수처리수 재이용 계획을 구체적으로 수립하여 시행하게 되겠지만, 경제성이 없는 것으로 평가된다면 다른 수원을 이용한 용수수급 계획을 수립할 것이다. 하수처리수의 재이용 계획을 수립하는 기관이 지방자치단체가 아닐 때에도 Fig. 21에 제시된 추진 절차에 거의 준하면 될 것이지만, 이 때는 각 지방자치단체



또는 하수처리장 운영·관리 주체와의 협의 과정 및 지역 특유의 조건 등에 대한 조사가 추가되어야 할 것으로 판단된다.

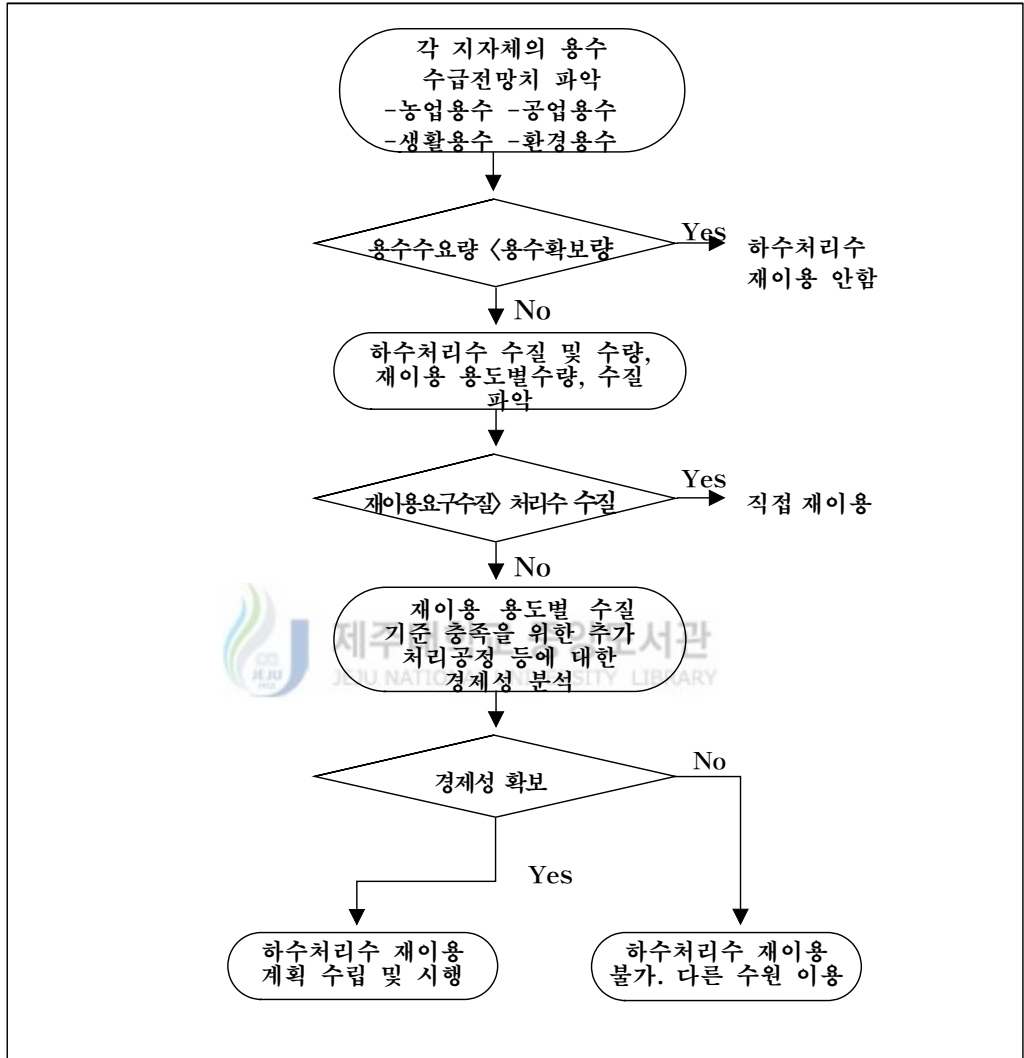


Fig. 21. Procedure on treated sewage recycling plan execution

## 2) 제도 개선 방안

### (1) 재이용수 관련 담당 부서의 설치

상하수도 업무와 관련하여 지방자치단체의 행정부서를 보면 상수도에 관련해서는 광역시의 경우 상수도사업본부 등이 있고, 소도시의 경우 수도과, 상수과 등이 있

다. 하수도 관련분야도 하수과, 수질보전과 등으로 세분되어 있다. 재이용 분야에서 보면 중수도 분야의 경우 관련법규가 수도법이기 때문에 상수도 관련 분야에 가깝지만, 하수의 재이용관련부서는 현재로서는 없는 실정이다. 기존의 상하수도 분야 담당부서들의 긴밀한 협조체계가 구축된다면 기존의 담당부서만으로도 어느 정도 하수의 재이용에 관련된 업무를 추진할 수 있겠지만, 하수의 재이용사업을 활성화시키고, 하수의 재이용 업무를 효율적으로 추진하기 위해서는 하수재이용 관련 전담부서의 신설이 요구된다. 전담부서의 역할, 인적 구성 등에 대해서는 보다 더 심층적인 연구조사가 필요하겠지만, 우선적으로 고려할 수 있는 것은 기존의 담당부서가 상수관련분야, 하수관련분야로 구분되어 있는데, 이에 더하여 중수도 분야와 하수 재이용 분야를 총괄할 수 있는 재이용수 분야를 신설하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이는 중수도 분야와 하수 재이용 분야는 서로 밀접한 상관성이 있을 뿐만 아니라, 기존의 상수분야와 하수분야에도 밀접히 관련되어 있기 때문이다(환경부, 2001; 환경관리공단 2001).

### (2) 다량 용수소비시설의 용수절약계획 수립의무화

일본의 경우 하수처리수의 재이용을 시행하기 위해서 물을 다량으로 소비하는 시설은 건축확인단계에서 잡용수도 설치등과 관련하여 절수대책을 기재한 “절수 계획서”를 제출케하는 행정지도를 실시하고 있다. 우리나라도 대형건축물의 신축 신청시에 이와 비슷한 이러한 제도를 도입하여 다량 물소비시설의 재이용 시설의 설치를 유도하고, 만약 자체적인 재이용시설을 갖추지 않을 때는 공공하수처리장에서 처리한 하수처리수를 이용하게 제도를 도입하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이러한 제도의 도입은 민간분야부터 시행하는 경우 비효율적일 수 있고, 설비 비용 또한 적지 않으므로 공공기관부터 선도적으로 도입하고 점차 확대하여 민간분야로 확대 보급하는 것이 바람직할 것으로 여겨진다(대한주택공사, 1994; 환경부, 2001).

### 3) 재원 조달 방안

공공성이 강하고 위험도가 큰 사업은 정부가 담당해야하고 반면에 재원조달의 규모가 크고 민간의 창의성 활용이 주요 목적인 경우는 민간 단독이 좋은 것으로 판단된다. 그러므로 본 사업과 같이 신속한 사업추진을 요하고, 규모가 크지 않는 경우에는

공공부문 직영이 유리할 것이다. 국고지원은 원칙적으로 지방비 재원으로 투자비 충당이 어려운 경우에 시행된다. 따라서 국고지원은 각 도시의 사업계획 또는 예산을 검토하여 지방비로의 투자비 충당 가능성을 판단해야 할 것이다. 단기적으로는 연간 예산을 검토하여 지원규모를 결정하고, 장기적으로는 하수처리수의 적정한 요금인상 및 원가절감을 통하여 국고지원 규모를 최소화하여야 할 것이다.

지방비는 하수처리수 판매 수익, 일반회계보조 및 외부 차입으로 구성되며, 이중 가장 기본적인 것은 하수처리수 판매 수익이 될 것이다. 하수처리수 요금은 최소한 하수처리수 생산비용과 차입금 이자를 상환할 수 있는 수준을 유지해야 하나, 수도요금 이 현실화 되지 못한 상황에서 기대하기 어려울 것이다. 그러므로 하수처리 재이용사업의 촉진을 위해서는 중앙정부의 재정지원이 필요하다. 수질오염방지 시설에 대하여 정부는 '85년 이전에 착공한 국가공단 하수처리장은 전액 국고 지원한 바 있으나, '86년 이후에 착공한 공단 하폐수처리장은 재특용자로 우선 투자를 지원하고 중소기업 지원공단 등은 국고보조(50%) 지원하였으나, '97년부터 국가경쟁력강화를 위해 50% 국고보조를 하고 있고 지방양여금 제도를 통하여 하수처리장 건설(시·군의 경우)에 행정자치부 교부금 포함하여 국고지원 : 지방비부담은 70% : 30%(환경기본 통계편람 2000년, 환경부)를 지원하고 있다. 지방양여금은 중앙정부가 징수한 토초세, 전화세, 주세, 농어촌특별세의 일부 또는 전부를 도로, 농어촌지역개발, 수질오염방지, 청소년육성, 지역개발사업 등 5개의 한정된 사업에 지원하는 제도이다. 수질오염방지 지원사업에는 하수종말처리시설, 하수도 관거 정비 사업, 분뇨 및 축산폐수처리시설, 오염하천정화사업, 농어촌 하수도 사업 등이 있다. 하수처리수 재이용 사업은 상수 취수량을 줄여 하천의 유량을 확보하고 수질을 향상 시키므로 지방양여금 지원사업에 포함하여 하수처리수 재이용사업을 지원하여야 할 것으로 판단된다(서울시정개발연구원, 1999; 환경부, 2001; 환경관리공단, 2001).

#### 4. 하수의 재이용보급 방안

하수처리장 처리수를 사회적으로 널리 보급하기 위해서는 여러 가지 방안이 강구될

수 있고 각 방안이 상호 연관성을 가지고 있으나 여기에서는 크게 행정적 측면 보급 방안, 경제적 측면 보급 방안, 법적 측면 보급 방안, 기술적 측면 보급 방안으로 나누어 고찰하였다.

## 1) 행정적 측면의 보급방안

### (1) 하수처리수 10% 재이용 지도

국무총리실에서 발간한 “2001년도 물관리 종합대책 실천계획”에 의하면 하수처리장 처리수의 10% 재이용을 규정하고 있다. 하수처리수 10%이용은 시범사용을 통해 장래 재이용수 사용자에게 하수처리장 처리수를 재이용하였을 때 여러 장점을 가지고 있는 것을 보여주면 자연스럽게 이 목표를 이룰 수 있을 것이다. 즉, 하수처리장이 위치한 여건을 최대한 이용하여 하수처리장 처리수를 재이용하는 경우 경제적으로 큰 장점이 있다는 것을 보여주었을 때 하수처리장 처리수는 자연적으로 재이용될 것이다. 그러므로 본 연구에서 도출된 시범사업 방안에 대한 구체적인 사업을 추진하여 하수처리장 처리수의 재이용을 효과적으로 보여주면 전체적인 하수처리장 처리수 재이용률을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 신도시나 신규 공업단지를 건설하는데 있어서 용수 공급이 큰 문제로 부각되고 있는데, 이 같은 곳에서 하수처리장 처리수를 재이용할 수 있도록 중수관을 매설하는 방안이 적극적으로 검토되어 재이용수가 사용될 수 있도록 강력한 행정지도를 펴는 것이 중요하다(국무총리 수질개선기획단, 2000).

또한 물 사용량이 많은 논이 많이 분포한 지역에 처리수를 방류하는 하수처리장의 경우에 있어서는 처리수의 농업용수화가 가능한 단위 공정 설치를 의무화하여 가뭄과 같은 유사시 농업용수 부족사태가 발생하는 경우 하수처리장 처리수를 효율적으로 농업용수로 사용 가능하도록 하는 행정지도가 필요하다고 판단된다. 4대강 수질 보전을 위해 2002년부터 점차적으로 4대강 유역 하수처리장은 고도 하수처리장화하는 것으로 환경부 시행령에 의해 설정되었다. 이 같은 고도 하수처리장의 처리수는 기존 처리장에서 배출되는 것보다 수치적으로 2배 이상 깨끗한 것으로 판단되므로 이 처리수를 재이용하면 하수처리장 처리수 재이용 측면에서 상당히 긍정적인 결과를 도출할 것이다. 그러므로 4대강 유역 고도하수처리장에서 하수처리장 처

리수 재이용에 대한 행정지도를 실시하면 소규모의 단위 공정 설치를 통해 효과적으로 처리수 재이용을 시행할 수 있는 것으로 판단된다.

## (2) 용수이용계획 수립시 하수 재이용계획수립 의무화

현재 각 지방자치단체는 장래 증가할 용수 수요량에 대비하여 용수이용계획(상수도계획)을 세울 때 새로운 상수원 개발 등에 기반하여 상수도 기본계획을 수립하고 있는 경향이 크다. 하지만, 국내 수자원은 한정되어 있으므로 장래에는 용수의 수요 관리도 중요하게 고려하지 않으면 안될 시점에 이르게 되었다. 즉, 공급만을 염두에 둘 것이 아니라, 물질약 운동을 펼침으로서 장래의 용수수요를 상당량 절감시킬 수 있을 것이며, 발생하는 하수를 재이용함으로써 부족한 수자원을 충분히 대체할 수 있을 것이다(국무총리 수질개선기획단, 2000; 환경부, 2001; 환경관리공단, 2001).

하수 재이용 및 절수운동을 활성화하기 위한 방안의 하나로 각 자치단체에게 용수의 이용계획을 수립하게 하는 방안을 제시하고자 한다. 용수 이용계획서에는 다음과 같은 사항들이 포함되는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

- 장래 연도별 필요량(생활용수, 농업용수, 공업용수 등)
- 수자원 확보 가능량
- 절수 가능량
- 하수 발생량
- 하수 재이용계획 수립

지자체별로 장래의 용수수요량에 대처하기 위해 용수이용계획을 수립할 때 지역에 따라 수자원이 풍부한 곳도 있지만, 그 반대로 확보가능한 수자원이 부족하여 다른 유역에서 별도로 확보하는 곳도 있을 것이다. 하지만 각 지자체에서 필요한 용수를 다른 지역에서 확보하기보다는 물질약을 통해서, 또는 하수재이용을 통해서 장래의 수요량에 대처할 수도 있을 것이다. 따라서, 수자원이 부족한 지역에서는 하수의 재이용을 의무사항으로 하기 위해서 하수도 계획을 세울 때뿐만 아니라 용수 이용계획 수립시에도 위의 사항을 포함시키도록 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

## 2) 경제적 측면의 보급방안

한국은 UN에 의해 물 부족 국가로 분류되어 있음에도 불구하고 국민 1인당 물 사용량은 매년 증가하고 있으나 용수 공급 단가는 크게 증가하지 못하고 있는 실정이다. 이 같은 이유로 하수처리장 처리수는 단순 버리는 물의 개념으로 파악되고 있지 용수라는 개념으로 판단되고 있지 않고 있다. 그러므로 본 연구에서 도출된 하수처리장 재이용수 생산단가를 고려하여 도시 또는 공업지역에 공급되는 용수단가를 결정하면 재이용수는 가격 경쟁력을 가질 수 있어 자연적으로 하수처리장 재이용수 보급은 확산될 것이라 판단된다. 이를 위해서는 다음과 같은 조치들이 필요할 것으로 판단된다(국무총리 수질개선기획단, 2000; 환경부, 2001; 환경관리공단, 2001).

### (1) 수도요금의 현실화

경제성 분석 분야에서 조사된 것처럼 상수의 생산원가는 톤당 437.8원이지만, 이용요금은 톤당 316.2원으로서 생산원가가 이용요금보다 낮게 책정되어 있는 것이 현실이다. 이로 인해 물절약 운동도 큰 실효를 거두지 못하고 있으며, 물의 소중함에 대한 인식 또한 낮은 실정이다.

하수를 재이용하기 위해서는 재이용수의 이용단가가 상수이용요금보다 저렴할 때에 경쟁력을 가질 수 있게 되고, 또한, 물은 소중한 자원이므로 하수 또한 재활용하는 것이 귀중한 자원의 재이용이라는 인식을 확산 시키는데에도 도움이 될 것으로 판단된다.

### (2) 하수 재이용수의 요금 감면

하수의 재이용이 장래 활성화되기 위해서는 우선 가격 경쟁력을 확보하는 것이 최우선 사항이겠지만, 수자원부족국가로 될 위기에 처해 있는 나라로서 하수의 재이용은 부족한 수자원을 보충해줄 뿐만 아니라 타 자원의 절약운동에도 크게 영향을 미칠 수 있기 때문에 하수 재이용이 활성화 단계에 이를 때까지는 대폭적인 지원을 통해 하수 재이용 요금을 감면해주는 것이 타당할 것으로 판단된다.

### (3) 하수재이용 시설 설치비의 대폭 지원

현재 시행되고 있는 환경기초시설에 대한 국고지원비율을 보면 다음 Table 19에 나타난 것처럼 광역시, 도청소재시, 기타 시 군 등으로 분류되어 대규모 지자체는 지원비율이 낮고, 소규모 지자체일수록 지원비율이 크게 되어 있다. 지원되는 시설은 하수관거, 하수처리시설, 폐수처리시설 등으로 한정되어 있는데, 하수 재이용시설(처리장 건설비, 송배수 관로비용 등)에 대한 지원도 이에 준하는 정도 또는 그 이상의 시설지원비가 있어야 하수재이용의 활성화에 도움이 될 것으로 판단된다.

Table 19. Support rate of national treasury to environment basic facilities

| 구분             |        | 국고지원비율(%) |    |
|----------------|--------|-----------|----|
| 하수처리시설         | 광역시    | 10        |    |
|                | 도청소재 시 | 50        |    |
|                | 기타시군   | 70        |    |
| 하수관거           | 신설     | 광역시       | 30 |
|                |        | 도청소재 시    | 50 |
|                |        | 기타시군      | 70 |
|                | 개보수    | 광역시       | 10 |
|                |        | 도청소재 시    | 20 |
|                |        | 기타시군      | 30 |
| 폐수처리시설         | 산업단지신설 |           | 30 |
|                | 농공단지   | 일반농공단지    | 50 |
|                |        | 추기농공단지    | 70 |
|                |        | 우선농공단지    | 10 |
|                |        | 도청소재 시    | 20 |
|                |        | 기타시군      | 30 |
| 분뇨·축산폐수 공공처리시설 |        | 80        |    |

### 3) 법적 측면의 보급방안

#### (1) 하수재이용 관련법의 정비 및 추가

용수의 재이용에 관한 법적 규정은 주로 중수도에 관련된 것으로서 공공 하수처리장의 처리수를 재이용하는 것에 대하여는 하수도법에 2001년도 9월 시행 예정으로 되어 있는 바, 지방자치단체장은 하수도 정비에 관한 종합적인 기본계획을 수립할 때에 하수종말처리시설에서 처리된 물의 재이용계획 및 재이용시설의 설치에 관한 사항을 반드시 포함시키도록 하고 있다(환경부, 1996). 하지만, 이 법규의 규정의 이행을 뒷받침할 수 있는 세부적인 사항이 시행령이나 시행규칙 등에 명문화되어 있지 않은 실정이다. 따라서, 하수의 재이용을 활성화시키기 위해서는 이러한 법적 규정의 정비가 필요할 것으로 판단된다.

또한, 수도법에 의하면 일정규모 이상의 개별사업장에서는 각 사업장이 오수처리장을 설치하도록 되어 있고 이곳에서 배출되는 오수의 재이용을 법적으로 설정하고 있다. 이 같은 문제로 하수처리장 처리수 재이용수의 최대 사용처로 판단되는 대규모 사업장은 이미 실질적으로 하수처리수의 재이용을 시행하고 있고 재이용수의 효과적인 보급을 어렵게 하고 있다.

그러므로 일정규모 이상의 대규모 사업장은 개별 오수처리장을 설치하여 중수도를 이용하게 하거나 선택적으로 하수처리장 처리수를 이용할 수 있도록 하기 위한 법제화가 필요하다고 판단된다.

#### (2) 재이용 하수처리수 수질기준의 적용 완화

하수를 재이용하기 위해서는 용도별로 정해진 수질기준을 충족해야만 할 것이다. 그리고 일부 용도로의 재이용을 제외하면, 제시된 수질기준을 만족하기 위해서는 처리공정의 추가가 불가피한 실정이다. 하지만, 법적 수질기준과 상관없이 일부지역에서는 농업용수, 공업용수, 환경용수 등으로 하수처리수가 재이용되고 있는 실정이다. 이처럼, 재이용이 활성화 될 수 있는 용도는 수질기준과 크게 상관없이 재활용되는 실정에 있으므로, 재이용 용도별 수질기준이 설정되더라도 그 재이용수의 수질기준 준수여부에 대해서는 다른 수질기준보다는 덜 엄격히 시행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다(환경부, 1999).



#### 4) 기술적 측면의 보급방안

##### (1) 유지관리가 용이한 저비용의 처리공법 개발·보급

현재 국내에 보급되어 있는 하수처리공법은 기존 하수처리장의 경우 대부분이 생물학적 처리에 의존하고 있으며, 그 중에서도 표준활성슬러지법이 근간을 이루고 있다. 또한, 방류수 수질기준이 강화됨에 따라 고도하수처리공법들이 채택되고 있다. 하지만 이러한 하수처리공법들은 대부분 일반적인 수질 항목인 BOD, SS, 질소, 인 등을 주로 처리대상으로 하고 있으며, 처리의 목적이 주로 공공수역의 수질 보전을 목표로 하고 있으며, 하수처리수의 재이용에는 중점이 주어지지 않는다. 고도처리를 행하게 되면 그만큼 하수재이용수로서 이용되기에 근접한 수질을 갖게 되는 것은 사실이지만, 재이용 요구수질을 맞추지 못하게 되는 경우도 있게 된다. 따라서, 장래에는 공공수역의 수질보전도 고려해야 되지만, 하수의 재이용도 목표로 할수 있도록 유지관리가 용이하고, 비용 또한 저렴한 하수처리공법이 도입될 수 있도록 기술개발이 필요할 것으로 판단된다(박등, 1998; 김등, 2003).

예를 들어 본다면 하수처리장 처리수를 재이용하는데 있어서 가장 많이 필요로 하는 단위 공정은 처리수중의 부유물질을 제거하는 여과지이다. 선진국에서는 하수처리수의 여과를 위해서 역세척이 연속적으로 되는 Continuous Backwash System이나 Cell 별로 역세척이 일어나는 Traveling Bridge Type의 여과지를 개발하여 사용하고 있으므로 국내에서도 이에 대한 연구 개발이 필요할 것으로 판단된다. 그러므로 하수처리장 처리수의 재이용 보급을 기술적으로 확대하기 위해서는 대량의 하수처리장 처리수를 경제적으로 여과할 수 있는 여과시스템 개발이 선행되어야 할 것으로 판단된다(성등, 1996; 강, 2003).

또 다른 예를 든다면, 처리수 재이용을 위해 이차 침전지가 필요없이 생물 반응조, 주로 포기조에 Membrane을 삽입하여 고도로 처리된 처리수를 얻고있는 Membrane Bio-Reactor (MBR)이 상용화된 제품으로 만들어지고 있는데, 이를 하수처리에 적용하여 처리수를 재이용하는 방안에 대한 연구를 수행하여 이를 보급하면 하수처리장 처리수를 기술적으로 보급할 수 있을 것으로 판단된다(이등, 2002; 임등, 2002; 김등 2004).

## (2) 하수처리수 재이용을 고려한 고도하수처리공정의 도입

현재 하수처리장 방류수 수질기준은 일부 지역을 제외한 대부분의 지역은 BOD 20mg/L, SS 20mg/L, 총 질소 60mg/L, 총인 8mg/L이다(환경부, 2003). 실제 하수처리수의 방류수의 수질도 이 수질기준을 만족하고 있으며, 대부분은 이 값보다 훨씬 낮은 것은 사실이다. 하지만, 하수처리수를 재이용하고자 할 때 재이용 용도별 수질기준을 만족하기 위해서는 용도별로 차이는 있지만 추가 처리가 필요하다.

환경부 시행령에 의해 연차적으로 4대강 유역을 중심으로 보다 엄격한 처리수 배출기준이 적용될 예정이다. 즉, BOD와 SS는 각각 10mg/L이하, T-N은 20mg/L이하 그리고 T-P는 2mg/L이하로 설정될 예정이다. 하지만, 이 기준치를 아주 양호하게 만족하지 않고는 수질항목에 따라서는 재이용 용도별로 설정된 수질기준(안)을 만족할 수 없으므로 재이용을 위해서는 추가적인 처리가 필요하게 될 것이다. 또한, 재이용 수질기준(안)에 제시되어 있지만, 방류수 수질기준에는 없는 수질항목(예, 공업용수 수질기준에 질소 기준은 암모니아로 되어 있지만, 방류수 수질기준에는 총질소로 되어 있음)도 있다. 따라서, 강화될 하수처리장 방류수 수질기준을 만족하기 위해서 고도하수처리공정을 도입할 때는 하수처리수의 재이용을 고려한 고도하수처리공정의 도입이 필요할 것으로 판단된다(이등, 1998; 이등, 1999; 강등, 2002).

## (3) 처리공법의 평가를 위한 자료의 표준화

하수처리수의 재이용을 위한 처리공정을 선택함에 있어서는 처리공정의 경제적 평가와 더불어 처리효율, 처리의 안정성 등을 검토하게 된다. 외국의 경우 처리공법별, 처리용량별 건설비 및 운영관리비등이 정립되어 있는 것에 반해서 국내의 경우 활성오니법, 회전원판법, 산화구법 등의 2차처리 공법이 많이 보급되어 있음에도 아직까지 그 건설 및 운영관리에 대한 공식적이고 표준적인 비용 자료가 없는 실정이며 자료마다 상당히 큰 차이를 보이고 있는 실정이다. 또한, 각 공법별로 얻을 수 있는 처리항목별 처리효율에 대한 자료가 표준화되어 있지 않아 어떤 처리공법을 적용할 경우 얻을 수 있는 처리수 수질에 대한 확신을 갖지 못하는 실정이다. 따라서, 차후에는 이와 관련하여 표준화를 위한 연구작업이 필요할 것으로 판단된다(환경관리공단, 2001).

#### (4) 재이용 용도의 개발

본 연구에서는 하수처리수의 재이용 용도를 공업용수, 농업용수, 잡용수(화장실 세척수), 환경용수(하천유지용수)에 국한하였지만, 하수처리수의 재이용을 촉진하고 확대하기 위해서는 재이용 용도를 보다 세분화하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 공업용수의 경우 업종별로 요구하는 수질이 매우 다양하며, 농업용수 또한 농작물 종류별로 요구하는 수질이 다르며, 잡용수 또한 화장실 세척수 외에도 다양한 용도로 이용될 수 있을 것이다. 따라서, 하수처리수의 재이용을 확대하기 위해서는 이에 대한 연구가 필요할 것이다.

### 5. 제주도의 하수재이용 방안

#### 1) 통합 물 관리체계의 구축



제주도는 대륙과 격리된 도서지역이기 때문에 지하수 적정 개발량이 한정되어 있으며, 제주지하수는 가뭄에 매우 민감한 특성을 지니고 있어 극단적인 이상가뭄이 지속되는 경우에는 함양량 부족으로 인한 지하수 장해발생 우려가 발생한다. 2002년말 현재 도내에는 총 4,896개의 지하수관정이 개발되어 있고, 지하수 개발량은 적정 개발량의 88%에 이르고 있어 신규 지하수 개발이 상당히 제한되고 있는 상황이다. 특히, 이상 가뭄 때에도 평상시 수준으로 지하수를 계속 채수해 이용하는 경우에는 해안지역을 중심으로 해수침투현상이 발생해 지하수의 염수화로 인한 막대한 경제적 손실과 함께 사회적 혼란을 초래할 수 있다.

제주국제자유도시종합계획(2002, 제주도)에 의하면 2011년 제주도의 인구는 62만 명으로 2000년(54.2만명)대비 7만8천명이 증가하고, 관광객은 2000년(411만명)보다 244만명이 증가한 655만명에 이를 것으로 전망하고 있다. 이와 같이 제주도의 인구와 관광객이 증가하고 도민의 생활수준이 향상되면 될 수록 물 사용량은 증가하게 되어 2011년 상수도 수요량이 2001년보다 169천 $m^3$ /일이 증가한 524천 $m^3$ /일에 이를 것으로 예측되고 있다. 아울러, 식량작물 위주로 이어져 내려오던 농업형태가

단위면적 당 수입이 높은 시설원에 및 특용작물 재배 쪽으로 전환이 이루어지면서 농업용수 사용량도 꾸준히 증가하고 있다. 또한, 골프장을 비롯하여 테마파크등 관광과 관련된 각종 위락시설도 지속적으로 늘어나고 있어 이들 시설의 운영에 필요한 용수 수요도 결코 묵과할 수 없다. 그렇지만 지하수 개발량이 이미 적정 개발량에 육박해 있는 상황이기 때문에 가뭄에도 안정적으로 이용이 가능한 대체수자원 개발이 절실히 요구되고 있다(제주도광역수자원본부, 2003).

상수도, 목욕용수등 고수질을 요구하는 용도의 용수는 지하수를 이용하고, 농업용수·골프장관개용수·조경용수·공업용수 등은 하수처리장 방류수(재처리수)나 지표수를 이용하는 방향으로 물 관리정책의 과감한 전환이 필요하다. 또한, 기상이변에 의한 강우량 부족과 토지이용 변화에 기인하는 지하수 함양량의 감소, 점 및 비점오염원에 의한 수질저하등 지하수를 둘러싼 부정적인 문제에 능동적으로 대응하기 위해서는 지하수 인공함양 프로젝트도 고려해야 할 것이다.

외국의 사례에서와 같이 수자원관리를 통합관리정책으로 전환함으로써 한정된 지하수자원을 합리적으로 개발·이용함과 동시에 농업 및 관광산업의 지속적 발전을 통한 지역경제의 안정화를 도모함과 아울러, 국제자유도시의 성공적 추진기반을 확고하게 조성해야 한다.

## 2) 제주도의 방류수재이용 기술과 보급방안

### (1) 제주도의 방류수재이용 기술방안

제주지역 3개 하수처리장의 방류수의 수질상태를 보면 염소이온농도는 최대 117.6-3,523mg/l로서 지하수법상의 농업용수 수질기준인 250mg/l를 초과하고 있으며 BOD(생물학적산소요구량) 역시 2.9-26.5mg/l로서 농업용수 수질기준 8mg/l를 초과하고 있다. 그밖에 일반오염물질 성분들은 여름-가을철 기간이 낮고 겨울-봄철 기간이 다소 높은 계절변화의 경향을 나타내고 있다.

이상과 같은 방류수의 수질성상에 비추어 볼때, 3차처리(고도처리)를 하지 않은 상태로 농업용수 및 조경용수로 재이용하는 것은 외국의 방류수 재이용 수질기준 또는 권장사항을 고려할 때 공중보건상의 문제뿐만 아니라 농작물에 영향을 미칠수 있기

때문에 제주지역 하수처리장에서 발생하는 방류수를 재이용하기 위해서는 적절한 공정에 의한 3차처리가 요구된다. 3차처리에서 주제거 대상물질은 염분으로 판단되며 이를 달성하기 위해서는 분리막 공정에 의한 재처리가 가장 효과적인 방법이다.

분리막의 전처리 공정 장치로는 모래여과와 Micro Filter가 있으며 모래여과에 사용되는 모래입자의 크기는 0.3-1.5mm 범위이고 균등계수는 1.5이하인 것을 사용하며 부유물질이 과다하게 함유되어 있는 경우에는 2단의 모래여과를 적용하며 적용후의 수질이 분리막 유입수 수질기준인 SDI(슬러지 밀도지수) 5이하를 만족시키는 경우에는 일반적으로 안전개념의 Cartridge MF를 거쳐 분리막으로 유입시킨다. 이러한 분리막의 전처리 선정은 분리막 시스템의 원활한 운전과 멤브레인의 수명에 직접적인 영향을 미쳐 방류수 재이용에 분리막 적용시 전체시스템의 성패를 가름하는 가장 중요한 요소가 된다.

## (2) 제주도 하수처리수의 재이용방안

제주시 도두하수처리장인 경우 방류수를 재처리한 후 제주공항 주변에 입지 예정인 “제주공항 자유무역지역”에 비음용 생활용수로 공급함과 아울러 서부관광도로 주변의 해발 약430m까지 중산간 도로를 따라 가압이송 후 골프장용수·공장용수·농업용수·지하수 인공함양 용수 등으로 재이용하는 것이다. 방안으로써 급수대상시설 또는 지역은 서부관광도로 주변에 공사중이거나 건설예정인 골프장(약8개소), 제주시 외도동을 비롯하여 애월읍,한림읍,한경면 지역의 농지, 그리고 이들 지역에 입지해 있는 물 사용량이 많은 공장등이 될 수가 있다. 또한, 농업용수의 수요가 적은 겨울철 등에는 잉여수량을 지하로 인공함양시켜 지하수량을 증대시켜줌으로서 하류지역의 해수침투 및 지하수량 부족문제에 대응하기 위한 것이다.

## 3) 제주지역의 방류수 재이용 기대효과

제주공항 자유무역지역 용수문제를 해결하고, 골프장 건설에 따른 지하수 과다개발 문제를 해소하며, 전천후 농업용수 공급기반을 구축한다. 또한, 인공함양을 통한 지하수 저류량의 증대하고, 이용자에 대한 사적 편익을 제공할 수도 있다.

## 6. 결 론

이 연구에서는 우리나라가 장래 물부족 상황에 놓이게 될 경우에 대비하여 하수처리수를 재이용하기 위한 방안을 국내외 하수처리장 방류수의 재이용 사례를 비교·분석하였다. 또한 하수처리수를 재이용하기 위한 방안을 도출하기 위해 국내외 하수처리수의 재이용 용도, 재이용 수량, 하수 재이용에 관련된 전반적인 사항들을 조사하여 하수처리수에 대한 재이용 가능성을 파악하였다.

하수는 가뭄이 들더라도 거의 일정한 양이 지속적으로 발생하므로 적절한 처리과정을 거치면 유익하게 이용할 수 있는 광대한 자원이라 할 수 있다. 많은 사람들이 하수를 더럽고 불결한 대상으로만 인식하고 있으나 현대의 수처리 기술은 99%가 물로 이루어진 하수를 매우 깨끗하게 처리할 수 있기 때문에 이를 대체 수자원으로 충분히 이용할 수 있는 좋은 대상이다.

국내외의 하수처리수 재이용 현황 및 관련 사항들을 조사하여 하수처리수의 재이용을 위한 적정 재이용 방안과 하수처리수의 재이용을 확대보급하기 위해서는 행정적 측면 보급 방안, 경제적 측면 보급 방안, 법적 측면 보급 방안, 기술적 측면 보급 방안 등으로 구분하여 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 하수처리수 재이용을 위한 적정 방안과 하수처리수의 재이용을 확대보급하기 위한 행정적 측면의 보급방안으로는 하수처리수 10%이용 지도, 용수이용계획 수립시 하수 재이용계획수립 의무화 등이다.

둘째, 경제적 측면의 보급방안으로는 수도요금의 현실화 및 하수 재이용수의 요금 감면 정책, 하수재이용 시설 설치비의 국가적 차원에서 대폭 지원하는 방안이다.

셋째, 법적 측면의 보급방안으로는 하수재이용 관련법의 정비 및 추가, 재이용 하수처리수 수질기준의 용도별 수질 기준 적용 완화등이다.

넷째, 기술적 측면의 보급방안으로 유지관리가 용이한 저비용의 처리공법 개발·보급, 하수처리수 재이용을 고려한 고도하수처리공정의 도입, 재이용 용도별 수질기준설정 연구, 처리공법의 평가를 위한 자료의 표준화, 그리고 재이용 용도의 개발 등이 있다.

우리나라의 총 하수처리량은 150개소에서 약 64억 6천만  $m^3$ /년이며 제주도의 하수처리량은 현재 3개소에서 약 4천5백만  $m^3$ /년의 하수가 발생한다. 제주도의 경우 하수처리장 방류수는 재처리(3차처리)를 필요로 하며, 재처리 시설은 역세형정밀여과막에 의한 전처리→역삼투압(RO)→소독의 공정으로 구성하는 것이 적당하다. 향후 기술개발 및 방류수의 수질변화에 따라 처리공정의 조합을 개선하여 경제성을 확보하며, 재처리의 수질은 어떠한 경우에도 먹는물 수질기준에 적합하도록 처리되어야 하며, 미생물등으로 인한 인체·농작물·기계 및 설비·지하수의 수질에 부정적 영향을 미치지 않도록 하여야 한다. 이러한 하수의 재이용을 적정하게 이용함으로써 다음과 같은 사회적 편익을 증대할 수 있다. 하수처리장 방류수를 농업용수, 골프장조경수, 공업용수 등으로 재이용하는 경우 이용자들에게 물 사용료 부담을 현재보다 줄일 수 있다. 또한 현행 수도법 규정에 의한 개별 건축물별로 중수도를 설치하지 않아도 중수도 설치에 따른 시설 및 유지관리비 부담을 경감시켜 주는 사적 편익이 기대된다. 그리고 현재와 같이 방류수를 해양으로 방류하지 않음으로서 지역 어민들과의 분쟁은 물론 해양 생태계에 미치는 부정적 영향을 제거할 수 있다. 따라서 하수처리장 방류수의 방류문제를 놓고 생겨나는 극단적인 대립과 갈등문제를 근원적으로 해결할 수 있다.

제주지역 하수처리장에서 발생하는 방류수를 재이용하기 위해서는 적절한 공정에 의한 3차처리가 요구된다. 3차처리에서 주제거 대상물질은 염분으로 판단되며 이를 달성하기 위해서는 분리막 공정에 의한 재처리가 가장 효과적인 방법이다. 제주도 하수처리수의 재이용 방안으로는 골프장용수·공장용수·농업용수·지하수 인공함양 용수 등으로 재이용하는 것이 바람직하며 또한, 농업용수의 수요가 적은 겨울철 등에는 잉여수량을 지하로 인공적으로 함양시켜 지하수량을 증대시켜줌으로서 하류지역의 해수침투 및 지하수량 부족문제에 대응할 수도 있다.

## 참고문헌

- 강요태, 김정현, 이기동, 활성슬러지공정과 급속여과공정 연계에 의한 처리 특성과 처리수 재이용, 1995, 한국수처리기술연구회, 제3권 제1호 61-73
- 강요태, 김화석, SFC-Biofilter에 의한 하수 재이용을 위한 중수도 시스템의 구성, 2003, 한국수처리기술연구회, 제11권 제2호 13-22
- 강용태, 한동우, 김태기, 조용현, 장영일, 2002, 분뇨를 포함한 도시하수의 재이용을 위한 BMB 중수도 시스템의 개발, 한국수처리기술연구회, 제10권 제1호, 11-19
- 강호, 신경숙, 김유리, 한범수, 2002, 전자선조사를 이용한 하수처리장 방류수내 대장균 제거, 대한상하수도학회 추계학술발표회 논문집, 87-90
- 건설부, 『중수도 기술개발 방안 연구』, 1994
- 곽중운, 1998, 물리화학적 수처리 원리와 응용, 도서출판 지샘
- 광주광역시, 『광주천 건천화 방지사업 실시설계보고서』, 1995
- 국무총리 수질개선기획단, 『물관리백서』, 2000
- 김승현, 2002, Water Factory 21에 의한 하수의 재이용, 상하수도학회지, 16권1호 29-34
- 김영철, 장인성, 이동률, 2003, 하수처리장 2차 처리수 재이용을 위한, 처리시설의 기초 설계인자 및 구상, 대한환경공학회지, 제25권 8호, 946-954
- 김진모, 김지훈, 김형수, 염익태, 이용훈, 나승우, 하수의 재이용을 위한 GAC-MF 하이브리드 시스템, 대한환경공학회지 제26권1호, 2004, 89-94
- 김진한, 도시하수처리장 방류수의 재이용 공정 설계를 위한 기초 연구, 2003, 환경관리학회지, 제9집 제4호 423-432
- 대한주택공사 주택연구소, 『중수도 설치평가연구』, 1994
- 박세준, 이흥구, 오병수, 김경숙, 송승주, 주철, 강준원, 하수처리장 방류수 재이용을 위한 오존 및 오존/UV 공정평가, 대한환경공학회지 춘계학술발표회 논문집,



2003, p973-980

- 박홍석, 조영국, 김종혁, 서인석, 신항식, 하수처리수 재이용 시스템에 기초 연구, 대한환경공학회지 추계학술대회논문초록집, 1998, 55-57
- 서울시정개발연구원, 『하수처리수 재이용의 타당성 연구』, 1999
- 성일화, 민달기, UF를 이용한 오수처리수의 재이용에 관한 연구, 1996, 환경관리학회지, 제2집1호 122-123
- 안규홍, 송경근, 하수재이용(중수도)를 1한 한외여과 공정에서의 역세적 운전인자, 한국수처리기술연구회, 제6권 제 1호, 25-32, 1998
- 안규홍, 안석, 정민우, 김준성, 맹승규, 김기팔, 홍준석, 2003, 하수 2차처리수 재이용을 위한 자외선/과산화수소 고도산화공정, 대한환경공학회, 춘계학술연구발표회 논문집, 904-907
- 안규홍, 안석, 맹승규, 김기팔, 홍준석, 정민우, 권지향, 2003, 하수 2차처리수 재이용을 위한 저압 및 중압 고도산화시스템의 성능평가, 상하수도학회지, 제17권 4호, 542-549
- 윤춘경, 정광욱, 전지홍, 함중화, 2003, 농업적 용수재이용 수질기준을 고려한 적정 하수처리에 관한 연구, Korean J. Limnol, 36(3), 356-368
- 이기완, 이남경, 김우홍, 최충현, 1999, MF를 이용한 막결합형 하수처리시스템에 관한 연구, 대한환경공학회지 추계학술대회논문집, 1999, 101-102
- 이면주, 정여도, 노영창, 손종식, Co-60  $\gamma$  선을 이용한 하수처리수의 공업용수로의 재이용, 공업화학회지, 제10권 6호, 1999, 838-842
- 이봉훈 역, 中水道便覽, 도서출판 동화기술, 1994
- 이원우, 박인규, 김원재, 오현제, 김광녕, 오존산화처리후 재이용 방안 연구, 대한환경공학회지 추계학술대회논문초록집, 1998, 339-341
- 이태준, 황재동, 이진영, 정윤철, 나재식, 반도체공장의 불산폐수 재이용 공정기술 개발, 대한환경공학회지 추계학술대회논문초록집, 1998, 376-379
- 이흥구, 이경혁, 강준원, 2002, 방류수 재이용을 위한 O3/AOP 공정의 평가, 대한환경공학회지 춘계학술발표회 논문집, 13-14
- 임현만, 박재로, 김훈, 소규모 생활하수의 유지용수 재이용에 적합한 막여과(MSR) 공정의 적용에 관한 고찰, 2002, 대한상하수도학회추계학술발표회 논문집, 9-12

- 제주도광역수자원관리본부,광주과학기술원,코오롱건설(주)기술연구소, 제주지역 하수  
처리장 방류수 재이용 방안연구 보고서(1), 2003
- 환경관리공단, 2001, 하수처리수 재이용 기술에 관한 연구
- 환경부, 『2001 하수도통계 2002』, 2003
- 환경부, 『중수도 시설기준 및 관리방안 등 마련에 관한 연구』, 2001
- 환경부, 『중수도 이용확대를 위한 정책 방안연구』, 1999
- 환경부, 수도법(법령), <http://www.moenv.go.kr/>
- 환경부, 『중수도 이용확대를 위한 정책방안 연구』,1999
- 환경부, 『환경기본통계편람』, 2000
- 환경부, 『하수도 시설기준』, 1996
- 佐治太一, 日本にける下水處理水の再利用 について, 한국수처리기술연구회, 제1권 제2  
호, 107-114, 1993
- Charles W. Carry et al ., Wat. Sci. Tech., vol. 21, 1989
- D.R., Rowe, I. M., Abel-Magid, 『Handbook of Wastewater Reclamation and  
Reuse』, Lewis Publishers, 1995
- EPA, Guidelines for Water Reuse, 1992
- G. Kenneth Anderson, FCIWEM, 1995, Wastewater Re-Use in the UK, J.of  
KTSWT Voi. 3 No.4 89-90
- Takahashi Asano, 『Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse』,  
Water Quality Management Library, 1998

## 감사의 글

변함없는 모습으로 저를 지켜보고 계신 모든 분들께 감사드립니다.

한편의 논문을 마무리 하면서 올바르게 지도해 주시고 연구자의 자세를 가르쳐주신 양성기교수님께 감사드리며 논문이 나오기까지 교정 및 심사를 하시느라 고생하신 김상진교수님, 김성근교수님께도 고마움을 금할 길이 없습니다.

사랑하는 저의 가족들에게도 감사합니다.

정직, 성실, 근면, 절약정신으로 밤낮으로 일만하시는 아버님, 어머니, 무언의 격려를 보내주시는 장인, 장모님 그리고 나름대로 열심히 최선을 다하는 삶을 살아왔다고 자부하는 나를 자랑스러운 아빠라고 생각해주는 큰아들 지현, 항상 운동을 좋아하고 불의를 보면 참지 못하는 둘째 지석, 아직은 어려서 군것질만 좋아하는 철없는 막내 지학, 끝으로 결혼 후 오늘이 있기까지 힘들고 어려운 형편에도 인내와 사랑으로 불평한번 없이 밤잠을 설치며 뒷바라지 하면서 자식들을 건강하게 잘 키워온 사랑하는 아내 효실과 함께 이 기쁨을 함께 나누고 싶습니다.