

하수처리수의 하천유지용수 활용을 위한 역순환시스템의 비교

The Inverse Circulation System for Using Treated Waste Water as Instream Flow

김기형* / 최계운** / 안태진*** / 김진홍**** / 심명필*****

Kim, Gee Hyoung / Choi, Gye Woon / Ahn, Tae Jin
/ Kim, Jin Hong / Shim, Myung Pil

Abstract

In this paper, it was studied on a device for maintaining the instream flow by using treated waste water from sewage treatment plant, and discussed on using the inverse circulation system in stream for directly utilizing treated waste water as instream flow.

This system is to secure insufficient discharge at upstream, as treated water is pumped from treatment plant which is located at down stream. Therefore, it will be improved water quality with simple water treatment plant, as it is composed of optimal system by consist various types of scheme for transporting.

Also, influx method of transferred treated water to a stream will be improved water quality by aeration and be shown environmental friendly spaces.

It was considered water quality and present using condition to use for maintenance water in stream by treated water. The guide line for application of inverse circulation system in domestic streams is suggested.

Keywords : treated sewage water, maintaining the instream flow, inverse circulation system

요 지

본 연구에서는 하천의 유지용수를 확보하기 위하여 하수처리장에서 처리하여 방류하는 하수처리수를 활용하기

-
- * 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사수료
Ph. D. Student, Dept. of Civil & Environmental System Engineering, Univ. of Incheon, Incheon 402-749, Korea
(E-mail : water@incheon.ac.kr)
 - ** 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수
Prof., Dept. of Civil & Environmental System Engineering, Univ. of Incheon, Incheon 402-749, Korea
 - *** 환경대학교 토목공학과 교수
Prof., Dept. of Civil Eng., Hankyong National University, Ansung, 45-749, Korea
 - **** 중앙대학교 토목공학과 교수
Prof., Dept. of Civil Eng., Chung-Ang University, Seoul, 156-756, Korea
 - ***** 인하대학교 토목공학과 교수
Prof., Dept. of Civil Eng., Inha University, Incheon, 402-751, Korea

위한 방안을 검토하고 이를 하천유지용수로 직접 활용하기 위하여 역순환시스템의 활용을 검토하였다. 역순환시스템은 하천 하류에 위치한 하수처리장으로부터 방류되는 하수처리수를 펌핑하여 하천상류부로 이송함으로써 하천에 부족한 유지유량을 확보하는 방법으로 여러 가지 형태의 이송방안을 조합하여 하천의 특성에 맞는 최적의 시스템을 구성하고 간단한 수처리를 적용함으로써 하수처리수의 수질을 추가적으로 개선할 수 있는 특징이 있다. 또한 이송된 하수처리수를 하천에 유입시키는 방안들은 시각적으로 친수적인 경관을 제공하고 폭기 등에 의한 수질개선효과를 얻을 수 있다. 이러한 하수처리수를 활용한 역순환시스템을 하천유지용수확보에 적용하기 위하여 국내 하수처리장의 처리수 활용실태 및 수질 상태 등을 검토하였고, 국내의 하수처리수 활용 사례를 조사하였으며 외국의 유사 사례 조사를 통해 국내에 적용하기 위한 방안을 마련하고 실제 하천을 대상으로 역순환시스템의 적용방안을 제시하였다.

핵심용어 : 하수처리수, 하천유지유량, 역순환시스템

1. 서론

최근 국내에서는 유역규모의 수문순환체계를 정상화 시키기에 앞서 건전화된 하천에 대하여 하천 하류에 설치된 하수처리장에서 방류되는 하수처리수를 하천 상류로 이송하여 유량을 확보하려는 시도가 진행되고 있다. 대구의 신천은 하수처리수와 금호강의 유량을 1:1비율로 희석하여 신천의 상류에 공급함으로써 유지유량을 확보하고 있으며 경기도 안양의 안양천은 하수처리장의 처리수를 안양천과 학의천 상류로 이송하여 안양천 유지유량을 확보하기 위한 공사가 진행 중에 있다. 또한 서울, 경기도, 인천 등 3개의 시도를 통과하는 굴포천의 경우 유량을 확보하기 위하여 굴포하수처리장으로부터 방류되는 처리수를 활용하기 위한 계획이 진행중에 있으나 처리수의 수질이 적합하지 않아 이를 해결하기 위한 방안이 마련되고 있다.

이처럼 하천의 하류에 위치한 하수처리장으로부터 방류되는 하수처리수를 하천의 유지용수로 활용하기 위해서는 하천의 상류부로 이송하기 위한 인위적인 시설이 요구되기도 하고 때로는 하수처리수의 수질이 적합하지 못하여 하수처리수의 수질상태를 확보하기 위한 노력이 요구되는 경우도 발생하기 때문에 하수처리수를 하천 유지용수로 활용하기 위해서는 이러한 요구를 동시에 해결할 수 있는 시스템이 필요하다. 일반적으로 하천을 중심으로 할 때 유량의 순환은 하천상류에서 출발하여 유량을 사용한 후 하천하류로 되돌아오는 시스템을 구성하고 있는데, 하수처리수를 활용한 유지유량의 확보는 이러한 시스템을 변형하여 순환시스템의 최종단계가 하천 하류가 아닌 하천 상류가 되도록 하는 하천의 역순환시스템이 주로 사용되고 있다. 역순환시스템을 적용하기 위해서는 대상하천에서 필요한 유량이 얼마인지를

결정하고, 결정된 유량을 하천의 상류부로 이송하기 위해 필요한 설비들을 결정하며, 하수처리수를 이송하는 과정에서 수질을 개선시킬 수 있는 방안을 마련하고 이송된 하수처리수를 하천에 유입시키는 방법을 결정하는 등의 검토가 이루어져야 하며 이들은 서로 유기적인 연계가 될 수 있어야 한다.

하수처리수의 활용에 대한 연구는 타 분야의 연구에 비하여 많은 연구가 진행되지는 않고 있으며 국내의 경우 하수처리수를 활용한 하천유지유량 확보와 관련된 연구사례는 거의 없으나 최근 들어 많은 연구가 진행 중에 있다. 국토개발원(1998)은 “하천유지용수의 수급에 관한 연구”에서 하수처리수의 활용에 대하여 언급하였고, 김영란 등(1999)은 하수처리수를 재이용하기 위한 타당성에 대한 연구를 수행한 사례가 있으며, 환경관리공단(2001)은 하수처리수를 재이용하기 위한 기술에 대한 연구를 수행하여 하수처리수의 재이용에 대한 기본 개념을 정립하고 제안하였다. 서규우 등(1996)은 부평 배수권역을 중심으로 유역개발에 따른 도시하천에서의 유출변화에 대하여 연구한 바 있고, 노재경(1996)은 대전 대동천의 건전화에 대한 대안으로 생활하수를 현장 처리하여 직접 대동천에 방류하여 부족수량을 충족시키고, 유지유량을 공급하기 위하여 기본적으로 상류에 위치한 저수지 용수를 이용하는 방안을 제시한 바 있다. 장철희 등(2001)은 GIS 및 RS 활용기술을 이용하여 안성천 유역의 도시화에 따른 지형 및 토지이용변화를 평가하였으며, 이로부터 유출량의 변화를 분석하였고 최계운 등(2001, 2002)은 인천 송기천의 환경개선과 관련하여 하수처리수를 배출하기 위한 일정유량 배출시스템과 하수처리수의 이송방안을 연구하였다.

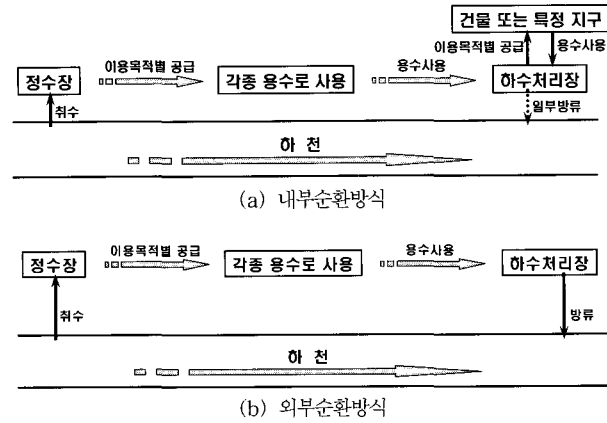


그림 1. 역순환시스템의 구분

2. 국내외의 하수처리수 재활용

2.1 국외의 하수처리수 재활용

미국의 처리수 재이용은 1975년부터 실제로 이루어져 왔는데 1975년 당시 재이용량은 약 5억m³에 달했고 이중 약 95%가 서남부의 건조지대 및 반건조지대에서 이용되었으며 주로 관개, 공업, 레크리에이션, 생활용수, 양어용 등으로 이용되었다(국토개발연구원, 1998).

영국의 경우 공급되는 수도의 약 33%는 하천에서 취수하고 있으며 취수원수 중에는 하수처리수가 일부 포함되어 있다. 템즈강은 런던지구 수도의 약 70%를 공급하고 있으며 하류에 있어 하수처리수의 활용비율은 평균 취수량의 약 14%이다. 하수처리수의 직접 재이용

은 국가적인 사항은 아니고 특수한 지방의 상태에 따라 개발되어 주로 제철소와 모직물공업, 그리고 발전소 및 석유정제, 제지공업 등의 냉각수로 주로 이용되고 있다. 독일의 경우 통상적으로 하천의 취수구 상류에서 우수 등이 유입되고 있기 때문에 하수처리수의 간접적 재이용을 하고 있는데 1929년 여름에는 하천수-하수처리수-하천수의 사이클을 3회 이상 반복했다는 보고가 있으며 1969년 독일의 공장내 하수처리수 재이용 비율은 석탄광업이 86%로 단연 가장 많은 부분을 차지하고 있으며, 석유정제가 80.5%, 제당분야가 81.9%의 하수처리수 재이용율을 보이고 있다(김영란 등, 1999).

네덜란드는 수원의 대부분을 라인강과 Meuse강에 의존하고 있지만 이 하천들은 공업화한 지역의 하수가

표 1. 국내 하수처리장 처리수의 재이용 현황(1999년)

재이용용도	재이용량 (1,000m ³ /년)	비율 (%)
화장실용수	0.5	0.0
세정용수	71,654.9	46.3
공업용수	2,778.8	1.8
냉각용수	13,072.9	8.5
회석용수	8,724.9	5.6
농업용수	3,924.9	2.5
환경용수	36,662.2	23.7
식수대살수	483.4	0.3
기타용수	17,304.0	11.2
총계	154,605.9	100.0

자료 : 환경관리공단(2001)

유입되어 상당히 오염되어 있다. 따라서 신중하게 처리된 하수를 가정의 잡용수 또는 궁극적으로 음용수로 재이용하거나 공장내 물 순환이용을 개선하는 등의 연구가 계획되어 있으며 생물학적으로 처리된 하수를 역삼투하는 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하여 음용수의 수질까지 정화하도록 하였다. 역삼투를 포함한 이러한 시스템은 1978년 초부터 시운전이 개시되었으며 역삼투를 포함하지 않는 시스템은 1979년부터 전면적인 운전이 시작되었다(환경관리공단, 2001).

2.2 국내의 하수처리수 재활용

국내에서 운영중인 하수처리장에서 발생하는 하수처리수의 재이용 실적은 154,605.9m³/년으로서 처리용량 대비 재이용량의 비율은 2.4%에 불과한 실정이다. 재이용 용도별로 살펴보면 세정용수가 71,654.9m³/년으로서 전체 재이용량에서 차지하는 비율이 46.3%를 점하고 있으며, 그 다음은 환경용수로 이용량이 36,662.2m³/년으로서 전체 중에서 약 23.7%를 점유하고 있다. 표 1은 하수처리장 방류수의 재이용 현황을 보여주고 있다.

또한, 하수처리장에서 처리되어 방류되는 방류수를 재 이용하는 경우 방류수는 사용되는 목적에 따라 적절한 수질을 만족하여야 하며 이를 위해서는 사용 목적별 수질기준이 마련되어야 한다. 그러나 아직까지 국내에서는 구체적으로 세분화된 하수처리수 재이용시의 수질기

준이 정립되어 있지 않으며, 상수도를 재이용하기 위한 중수도의 기준이 마련된 정도이다.

3. 하수처리수 역순환시스템

3.1 역순환시스템의 구분

하수처리수를 하천의 유지유량 또는 기타 목적으로 사용하고자 하는 경우 그 목적에 따라 최종 배출지점이 하천이 되느냐 또는 건물이나 특정 구역이 되느냐에 따라 역순환시스템을 내부순환형과 외부순환형으로 구분할 수 있다. 그림 1은 하수처리수 역순환시스템의 내부순환형과 외부순환형의 개념을 보여주고 있는데 그림에서와 같이 하수처리수를 하천에 직접 방류하지 않고 하수처리장에서 처리수를 필요로 하는 건물이나 특정 구역으로 이송하여 하수처리수를 직접 사용하고 이를 다시 하수처리장으로 보내 처리 후, 처리수를 다시 사용하는 방식을 내부순환방식이라 할 수 있다. 내부순환방식은 다시 무처리방식, 공정추가방식, 고도처리병행방식 등으로 세분할 수 있다.

또한 하수처리장에서 처리된 방류수를 하천의 상류지역으로 이송하여 방류함으로써 하천의 유량을 확보하거나 또는 취수를 통해 다시 용수로 활용할 수 있도록 하는 방식을 외부순환방식이라고 할 수 있다. 지금까지 하천을 중심으로 하는 국내의 하수처리수 활용은 대부분

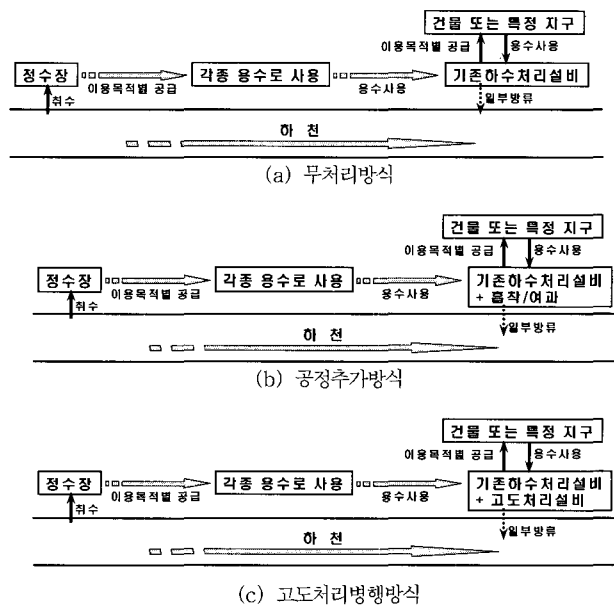


그림 2. 내부순환형 역순환시스템

외부순환방식을 이용하고 있다고 볼 수 있다. 외부순환방식은 자연방류방식, 유량조절방식, 지하침투방식으로 세분되며 유량조절방식은 수질개선효과가 있는 경우와 없는 경우로 다시 구분할 수 있다.

3.2 내부순환형 역순환시스템

내부순환방식은 하수처리수를 하천 등에 직접 방류하지 않고 건물 또는 특정지구로 이송하여 처리수를 이용하는 순환이용방식으로써 하천의 유량을 확보한다기보다는 하수처리수를 특정 용수로 직접 이용하기 위한 직접이용방식에 해당된다. 따라서 처리수에 대한 별도의 추가적인 수처리가 이루어지지 않기 때문에 처리수를 사용목적이 적합한 수질이 되도록 하수처리장 내에서 추가적인 수처리가 이루어져야 한다.

따라서 내부순환방식은 하수처리장내에서 하수처리수의 재처리 방식에 따라 무처리방식, 공정추가방식, 고도처리병행방식 등 세가지로 구분될 수 있다. 무처리방식은 기존에 운영되는 하수처리시스템만을 이용하고 별도의 수처리설비나 공정을 추가하지 않는 방식이다. 내부순환형의 무처리방식은 기존의 하수처리시스템만을 이용하므로 별도의 추가비용이 소요되지 않으며 하수처리장 방류수 전체를 이용하여 처리수량 확보에 매우 유리한 장점이 있으나 방류수질 이상의 수질이 요구되는

목적에는 사용할 수 없는 단점이 있다.

이러한 경우 처리수의 이용 목적에 맞도록 수질을 향상시키기 위하여 하수처리장 내부에 1개~2개 정도의 간단한 수처리시설 또는 공정을 추가할 수 있다. 기존의 시설에 급속사여과, 흡착 또는 소독 등의 간단한 설비를 추가하는 경우 비용의 추가적인 소요는 크지 않으면서 어느 정도의 수질개선효과를 얻을 수 있는데 이러한 방식을 공정추가방식 이라고 할 수 있다. 그러나 이 방식은 수질개선효과가 충분히 크지 않을 수 있기 때문에 처리수를 이용할 수 있는 범위가 작고 이용되는 처리수량의 한계가 있으며 처리공정도 소규모이다. 한편, 1개~2개의 처리시설을 추가하지 않고 별도의 고도처리공정을 추가하여 기존의 하수처리시스템과 병행하는 고도처리 병행방식이 있다. 이 방식은 병행되는 고도처리공정이 처리수의 목적별 수질에 따라 설치될 수 있기 때문에 이용하려는 하수처리수의 수질을 충분히 유지할 수 있으나 고도처리공정의 설치에 따른 비용이 크다는 단점이 있다. 그림 2는 내부순환형 역순환시스템을 보여주고 있다.

3.3 외부순환형 역순환시스템

외부순환형은 하수를 처리하여 하천 등에 직접 방류함으로써 하천의 유량을 확보함과 동시에 이를 다시 취

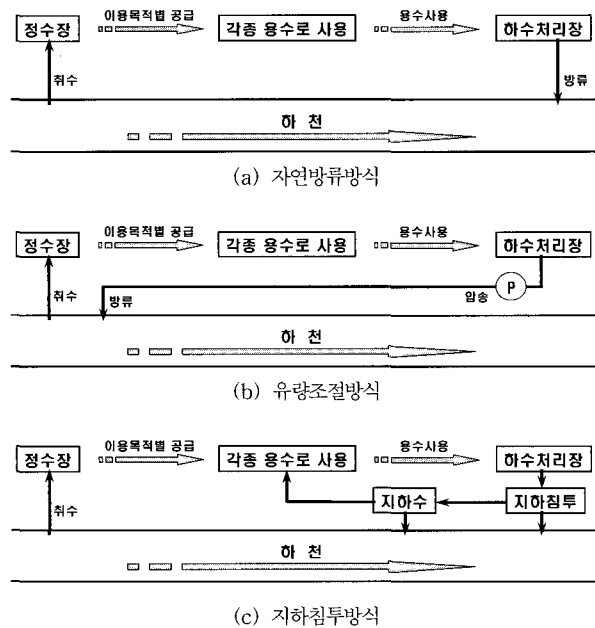


그림 3. 외부순환형 역순환시스템

수하여 사용할 수 있도록 하거나 처리수를 지하에 침투시켜 하천으로 유입하도록 함으로써 하천유량확보 및 재이용을 할 수 있도록 하는 방식이다. 이 경우 방류된 하수처리수가 방류된 지점을 기준으로 하류에서 다시 취수되어 재이용되는 방식이 가장 일반적이며 하수처리수를 상류로 압송하여 방류하는 경우도 있다.

외부순환형을 세분화하면 자연방류방식, 유량조절방식, 지하침투방식 등으로 구분할 수 있다. 그림 3은 외부순환형 역순환시스템을 보여주고 있다.

자연방류방식은 가장 일반적인 방식으로 하수처리수를 하천 하류에 방류하는 형태로 현재까지의 국내 하천수 이용의 대부분은 거의 이 자연방류방식에 의해 이루어졌다고 할 수 있다. 한편, 건천화된 하천의 유지유량을 확보하기 위하여 하수처리수를 하천에 방류하지 않고 상류구간으로 압송하여 방류함으로써 부족한 하천수를 보충할 수 있는데 이를 유량조절방식이라 한다. 유량조절방식은 하수처리장으로부터 상류구간으로 처리수를 이송하는 중간에 저류조 등을 통하여 하수처리장의 외부에서 수질개선 효과를 얻을 수도 있다. 특히 최근 대부분의 도시하천은 오염이 심각하게 진행되었거나 수량이 매우 부족한 경우가 많은데 유량조절방식의 외부순환형 역순환시스템은 상류쪽으로 처리수를 방류함으로써 하천의 기능을 어느정도 회복시킬 수 있다. 실제로 도시하천의 건천화 방지를 목적으로 하수처리수를 하천 상류로 이송하여 건천화를 방지하고자 역순환시스템이 적용되거나 계획중인 사례가 있다. 지하침투방식은 용수가 부족하거나 용수확보를 위해 지하수에 의존하는 지역에서 주로 이용할 수 있으나 수질확보에 문제가 발생할 가능성도 있다.

4. 하천유지유량 확보를 위한 역순환시스템의 구성

본 연구는 하수처리수를 활용하여 하천의 유지유량을 확보하기 위한 역순환시스템을 검토하기 위한 것으로 앞 절에서 검토된 내부순환형과 외부순환형 가운데 하천의 유지유량 확보에 유리한 외부순환형 역순환시스템에 대한 구성방안을 검토하였다.

4.1 외부순환형 역순환시스템의 구성

4.1.1 제1방안(단순이송을 통한 1점 배출)

제1방안은 자연방류형으로써, 특별한 수질개선 없이 파이프를 통해 하수처리수를 상류부로 송수 후 하천에 유입하는 방법으로 시스템이 단순하기 때문에 시설의

유지관리가 용이하며 특별한 부지가 필요하지 않기 때문에 제방이나 고수부지를 이용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 시스템에 문제가 발생시 유량공급이 불가능하며 추가적인 수질개선효과를 기대하기가 어렵고, 하천유입수의 수질이 하수처리장의 처리효율에 직접적인 영향을 받는 단점을 가지고 있다.

4.1.2 제2방안(단순 이송을 통한 다점 배출)

제2방안은 1방안과 마찬가지로 자연방류형으로써, 특별한 수질개선 없이 하수처리수를 파이프를 통해 송수 후 구간별로 하천에 방류하는 방법이다. 제2방안은 1방안과 마찬가지로 특별한 부지의 사용이 없으며, 시스템 문제시 문제되는 구간을 제외한 구간에서는 유량공급이 가능하다. 또한 하천 구간내의 유량 조절을 할 수 있어 지류유입에 대한 대처가 용이하다. 그러나 초기 설비비용이 많이 드는 단점이 있으며 설치에 앞서 하천 구간별 유입지점에 대한 검토가 먼저 이루어져야 할 것이다. 하수처리장으로부터 방류되는 하수처리수의 추가적인 수질개선은 기대할 수 없다.

4.1.3 제3방안(간이수질개선설비를 통한 다점 배출)

제3방안은 2방안과 같이 하수처리수를 상류로 도수 후 구간별로 방류하는 자연방류형이나, 하천으로 방류하기 전에 고수부지에 접촉산화설비를 구성하고 이를 통하여 하수처리수의 수질을 추가적으로 개선하고 하천에 유입시키는 방법이다. 하수처리장에서 처리된 처리수를 접촉산화설비를 통하여 다시 처리를 하기 때문에 수질개선 효과가 크며, 처리수의 하천 유역별 공급으로 시스템 문제시에도 무리없이 유량공급이 가능하다. 그러나 접촉산화설비 등의 설비의 정기적인 유지관리가 요구되며, 다른 방법보다 운영비가 증가하고, 여러 개의 설비가 요구되므로 많은 부지가 필요한 단점이 있다.

4.1.4 제4방안(습지를 통한 다점 배출)

제4방안도 자연방류형으로써, 3방안과 비슷하나 접촉산화설비가 아니고 자연습지 또는 인공습지를 통하여 하수처리수의 수질을 한번 더 개선하고 하천으로 유입시키는 방법이다. 이 방법은 자연친화적이므로 수질뿐만 아니라 생태계의 회복도 가능하다. 그러나 습지 조성을 위한 많은 부지가 필요하며, 여름철 모기 등의 해충의 서식이 가능하여 큰 단점으로 작용할 수 있으며 또한 습지지역에 조성된 많은 식생들은 하천의 접근을 어렵게 할 수 있는 단점이 있다.

4.1.5 제5방안(산화저류조를 통한 배출)

제5방안은 역순환시스템 내에 한 개의 지하저류 및

산화처리조를 통해 하수처리수의 수질을 개선하며 저류조에서 유량을 조절하여 하천으로 배출하는 방법이다. 장점으로는 하천 유입수 전체를 동일한 수질로 개선할 수 있으며, 저류조 및 산화저류조가 지하에 매설되므로 지면의 고수부지를 친수공간으로 조성하여 활용할 수 있다. 단점으로는 시스템에 문제 발생시 하천내 유량공급이 불가능하며, 하천내 유량조절이 어렵다는 것이다. 또한 저류조내 침전물제거와 같은 유지관리가 어려우며, 대규모의 저류조가 필요하므로 공사비가 큰 단점이 있다.

4.1.6 제6방안(다단계산화저류조를 통한 배출)

제6방안도 유량조절방식이나, 5방안에서 적용한 지하저류조 및 산화조를 다단계로 설치하여 수질개선효과를 증대시키는 방안으로 산화처리조의 상하에 저류조를 설치하여 단계별로 산화폭기-침전-산화폭기 또는 침전-산화폭기-침전 등을 통해 산화처리를 유도하는 방법이다. 이 방법은 침전과 폭기를 동시에 적용하는 방법으로 동일한 면적에서 고효율의 수질 개선효과가 기대되며 T-N가 T-P의 제거도 가능한 것으로 알려져 있다. 수질개선효과에 비하여 설비가 비교적 간단하다고 볼 수 있으나 하수처리수가 단계적으로 처리되므로 2층 이상의 구조가 필요할 수 있어 다른 방법에 비해서는 구조가 상대적으로 복잡하며, 공사비의 소요가 많은 단점이 있다.

4.1.7 제7방안(제방 폭기를 통한 배출)

제7방안은 자연방류방식으로써, 제방 상단에 매설된 하천역순환 시스템의 관로를 통해 하수처리수를 송수하여 제방의 경사면을 통해 방류함으로써 폭기 효과에 의해 수질을 개선하고 하천으로 유입시키는 방법이다. 이 방법은 제방의 경사면을 폭기를 위한 시설로 활용하므로 특별한 설비가 요구되지 않고, 하천내 구역별로 유입되므로 하천내 유량 조절이 용이하다. 그러나 수질개선을 위한 폭기 효과의 면적이 협소하며, 제방 호안을 적절히 변경해야 하는 단점이 있다.

4.1.8 제8방안(고수부지내 저류를 통한 배출)

제8방안은 유량조절방식으로써 제방을 통해 배출된 유량을 고수부지내 유속 조절 및 수질개선을 위한 간이 설비를 통하여 재처리된 하수처리수를 하천에 유입시키는 방법이다. 이 방법은 제방과 고수부지를 동시에 이용하므로 수질개선 효과가 크고 부지선정에 어려움이 없으며, 강우시 유출수를 저류하여 하천유량 조절에 기여할 수 있고, 수질개선설비의 변경 및 수정이 용이한 장

점을 가지고 있다. 단점으로는 여러개의 설비를 이용시 고수부지의 사용 면적이 증가하며 부지선정에는 문제가 없으나 지상 설치가 어렵고 지하에 설치하여 수질개선 효율 저하시 하천 전체에 영향을 미칠 수 있다.

4.1.9 제9방안(침투를 통한 배출)

제9방안은 지하침투방식으로써, 하수처리장에서 처리되어 이송된 방류수를 하천에 직접 배출하지 않고 고수부지 또는 기타 부지의 지면이나 지하의 침투조에 배출하여 땅 속에서 토양을 통해 지하수나 하천으로 유입시키는 방법이다. 이 방법은 지하수 이용이 큰 비중을 차지하는 지역에서는 효과적일 수도 있으며 토양을 통해 처리수가 이동하면서 어느 정도의 수질개선을 기대할 수 있는 장점이 있다. 그러나 배출된 처리수가 토양을 통해 지하수로 유입되어 다시 사용되는 경우 하천으로의 유입이 차단되어 하천 유지유량에는 기여하지 못하는 경우가 발생하는 경우도 있기 때문에 하천의 유량을 확보하는 데에는 확실성이 다소 부족하다는 단점이 있다.

4.1.10 제10방안(각 방안의 조합을 통한 배출)

제10방안은 유량조절방식으로써, 제1방안~제9방안까지의 배출방법 중 장점이 있는 내용을 조합하여 복합적으로 구성한 방법이다. 하수처리장으로부터 방류되는 처리수를 처리장 외부에서 다단계 폭기 및 산화저류조를 통해 수질을 개선하고 이를 하천 구간별로 이송·배출함으로써 하천내 구간별 유량조절이 가능하며 하천에 배출시에는 제방의 경사면을 통해 계단형태 또는 폭포형태로 배출함으로써 시각적으로 양호하며 폭기에 의한 추가적인 수질향상을 기대할 수 있다. 또한 하천에 최종적으로 배출되어질 때 고수부지 저면에 일정유량배출시스템을 설치하여 하천에 유입되는 유량이 항상 일정하도록 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 전체적으로 비용이 많이 소요된다는 단점이 있을 수 있다.

그림 4는 역순환시스템의 유량조절 및 수질개선을 위한 10가지 방안을 보여주고 있다.

4.2 외부순환형 역순환시스템의 비교검토

4.2.1 시스템의 장단점 분석

이상에서 제안된 10가지의 저류조 및 수질개선시스템을 비교 검토하여 각각의 장단점을 파악하고 표 2에 이를 나타내었다.

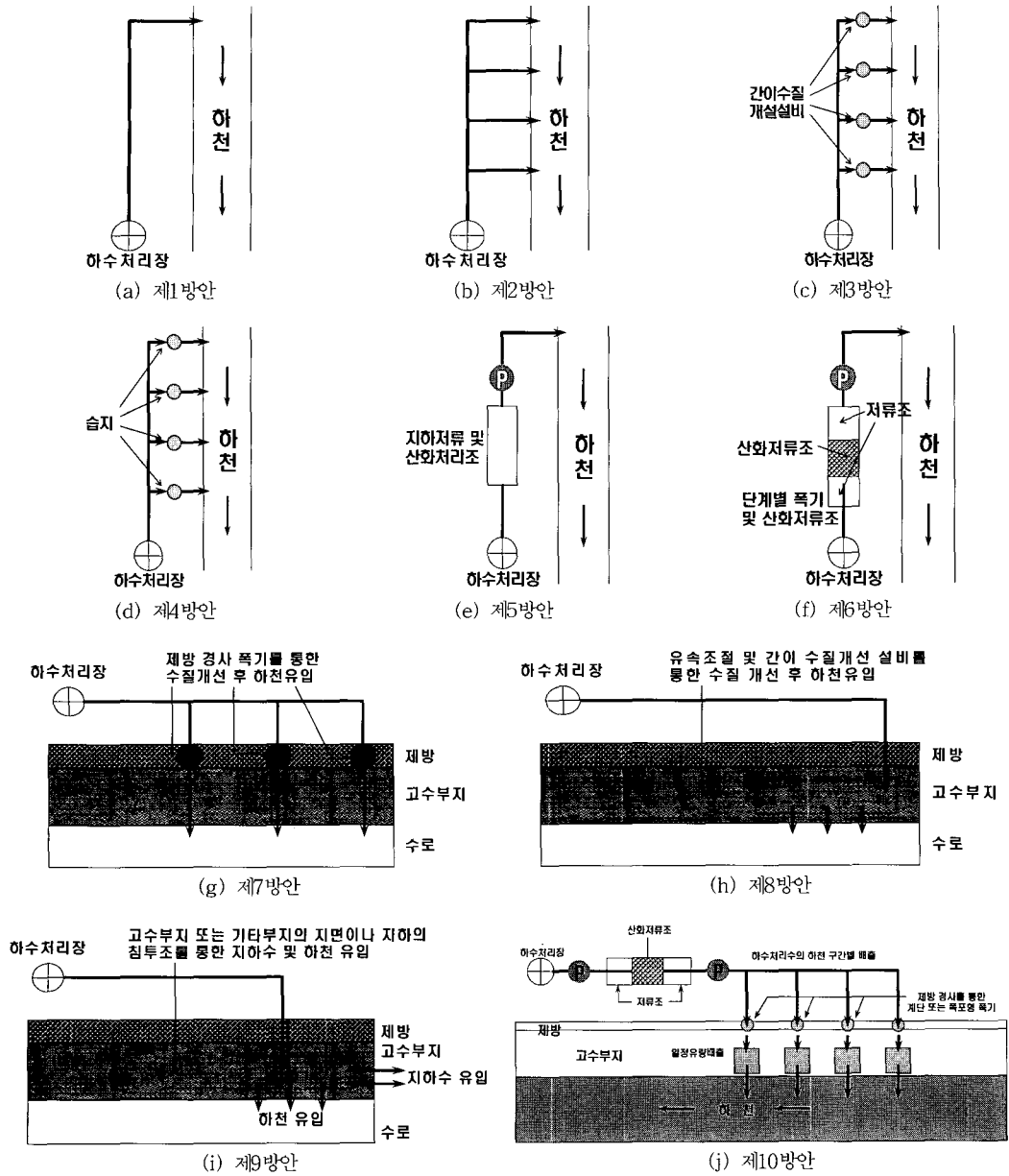


그림 4. 역순환시스템의 저류 및 수질개선방안

1방안과 2방안의 경우는 하수처리수를 특별한 저류조나 수질개선 없이 상류부로 이송만 하는 시스템으로 특별한 수질개선 효과는 없으며 설비는 가장 단순하고 간단한 것으로 검토되었다. 하수처리수를 간이 수질설비를 통하거나 습지를 통하여 추가적으로 수질개선을 시행하고 하천에 배출하는 3방안과 4방안의 경우는 많은

부지가 소요되는 단점이 있으나 비교적 수질개선 효과가 뚜렷할 것으로 검토되었다. 산화저류조를 이용하여 수질을 개선하고 하천에 배출하는 5방안과 6방안은 3방안과 4방안에 비하여 필요 부지의 면적이 작고 수질개선 효과도 좋은 것으로 검토되었으며 특히 6방안의 경우는 산화저류조를 다단계로 구성함으로써 수질개선효

표 2. 외부순환형 역순환시스템의 장·단점

구분	장 점	단 점	비 고
1방안	<ul style="list-style-type: none"> 유지관리용이 시스템단순 	<ul style="list-style-type: none"> 수질개선효과부족 하수처리장 처리효율이 수질에 직접적인 영향을 미침 	자연방류방식 수질개선 없음
2방안	<ul style="list-style-type: none"> 하천구간내 유량조절가능 지류유입에 대한 대처용이 	<ul style="list-style-type: none"> 수질개선효과 부족 구간별 유입지점에 대한 수리검토 필요 	자연방류방식 수질개선 없음
3방안	<ul style="list-style-type: none"> 수질개선효과 뚜렷 시스템문제시에도 유량공급가능 	<ul style="list-style-type: none"> 운영비 증가 많은 부지소요 	자연방류방식 수질개선 있음
4방안	<ul style="list-style-type: none"> 자연친화적 수질 및 생태계 복원가능 	<ul style="list-style-type: none"> 습지조성부지 필요 해충서식가능 	자연방류방식 수질개선 있음
5방안	<ul style="list-style-type: none"> 유입수에 대한 수질개선가능 수질개선설비는 지하에 매설되어 외관상 문제없음 	<ul style="list-style-type: none"> 하천내 유량 조절이 어려움 시스템문제 시 유량공급이 어려움 	유량조절방식 수질개선 있음
6방안	<ul style="list-style-type: none"> 침전과 폭기를 동시에 실시가능 고효율의 수질개선 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 저류조 비용 및 폭기조설비비용 증가 많은 부지필요 	유량조절방식 수질개선 있음
7방안	<ul style="list-style-type: none"> 제방을 여과지로 활용 하천내 유량조절 용이 	<ul style="list-style-type: none"> 수질개선시 하천의 침전물 등의 처리 곤란 수질개선 면적 협소 	자연방류방식 수질개선 있음
8방안	<ul style="list-style-type: none"> 하천유량조절 용이 수질개선설비의 변경 및 수정이 용이함 	<ul style="list-style-type: none"> 지상설치가 어려움 지하에 설치하므로 수질개선효율 저하시 하천 전체에 영향을 미침 	유량조절방식 수질개선 있음
9방안	<ul style="list-style-type: none"> 특별한 수질개선 설비 없음 지하수 및 하천수 동시 확보 	<ul style="list-style-type: none"> 수질개선을 위한 토양의 유지관리가 어려움 하천수 확보에 확실성이 없음 	지하침투방식 수질개선 있음
10방안	<ul style="list-style-type: none"> 하천유량조절 용이 수질개선효과 큼 방류시 미려한 시각적 효과 제공 	<ul style="list-style-type: none"> 타 방안에 비해 설치 및 유지관리 비용이 많이 소요 	유량조절방식 수질개선 있음

과를 극대화 할 수 있으며 고수부지 지하에 설치되므로 지상의 고수부지를 다른 용도로도 활용할 수 있는 장점이 있다. 제방을 활용하는 7방안과 고수부지를 활용하는 8방안은 다른 방안과 조합이 용이한 장점이 있어 6방안과 함께 병행하여 활용하면 효과가 더욱 증대될 것으로 검토되었다. 9방안은 수질개선을 위해 특별한 설비가 필요하지 않으나 토양을 직접 이용하므로 유지관리가 어렵고 지하수로 이용되는 경우도 있어 하천유수용수 확보가 확실하지 않은 단점이 있다. 마지막 10방안은 시스템 구성에 비교적 많은 비용이 소요되나 수질개선효과가 확실하고 시각적으로도 양호한 경관을 제공하고 제방 및 고수부지를 효과적으로 이용할 수 있는 장점이 있다.

4.2.2 시스템의 수질개선 효과

이상에서 검토한 10가지 방안은 하천의 고수부지 규모나 고수로 제방 또는 저수로 제방의 형태에 따라 적합한 형태를 선택하여야 하며 제방에 매설된 관을 통해

이송되어 하천으로 유입되는 하수처리수는 대상하천에 필요한 유량과 목적별 수질을 만족하여야 한다. 또한 필요시에는 각 방안별로 그 목적에 맞도록 필요한 기타 설비를 통해 유량의 일정한 배출과 수질 개선을 달성할 수 있을 것이다. 표 3은 10가지 방안에 대한 수질개선 효과를 나타낸 것인데 이는 직접 실험을 통한 것이 아니고 검토된 시스템에 적용된 수질정화기법에 대한 논문 등의 문헌 연구를 통해 예상되는 수질개선 효과를 분석한 것이다.

앞에서 언급했듯이 본 연구는 하수처리장에서 고도처리 등을 통해 최상의 수질을 유지한 처리수가 방류되는 경우를 하천유수용수로 활용하는 것에 대한 내용을 검토한 것이므로 역순환 시스템에 의한 수질개선은 하수처리장 이후부터의 방류수가 하천에 유입될 때까지의 수질개선을 의미한다.

현재 공사중인 안양천의 하수처리수 활용에 있어서는 본 연구에서 제안된 제1방안과 동일하게 적용되어 공사

표 3. 하수처리수 이용방안의 수질개선효과 추정

구분	특징적 개요	수질개선 효과 추정
제1방안	• 하수처리장으로부터 하천 상류부로 단순 펌핑	• 수질 개선 없음
제2방안	• 하수처리장으로부터 하천 상류부로 단순 펌핑하되 구간별 배출	• 수질 개선 없음
제3방안	• 간이수질정화시설을 통과한 후 구간별로 배출	• COD : 6.3% • T-N : 5.9%
제4방안	• 4방안의 간이수질정화시설 대신 인공습지를 이용	• T-N : 1~34% • T-P : 60~75%
제5방안	• 1개의 접촉 산화조를 통과한 후 하천에 배출	• T-N : 20% • T-P : 24%
제6방안	• 1개의 접촉 산화조 대신 다단계 접촉산화조를 이용	• COD : 87.5% • T-N : 10.38%
제7방안	• 제방의 경사면을 통해 폭기 후 하천에 배출	• COD : 33%~43%
제8방안	• 고수부지를 활용하여 수질 개선 후 하천에 배출	• T-N : 20% • T-P : 24%
제9방안	• 고수부지 또는 기타부지의 침투조를 통해 지하로 침투시켜 지하수 및 하천수로 유입	-
제10방안	• 1방안~9방안을 조합하여 최적의 처리수 배출시스템을 구성	• T-N : 20% • T-P : 24%

주 : 수질개선 효과 추정은 각 방안에서 적용된 정화기법에 대한 기존의 Pilot 및 실험실 규모로 실시된 문헌연구에 따른 것임

중에 있으며 하수처리장에서 고도처리를 통해 배출되는 유량은 흡수정에서 펌프를 통해 상류구간으로 이송되며 이송 중 특별한 수질개선은 이루어지지 않고 있으며 펌프가 가동되는 경우에만 하천으로 유량이 유입되도록 설계되어 공사 중에 있다.

1방안과 2방안은 하수처리장으로부터 직접 펌핑하여 방류하기 때문에 특별한 수질개선 효과가 없을 것으로 판단된다.

3방안의 경우 간이수질개선설비인 자갈접촉산화법을 이용하면 COD에서 6.3%감소효과 및 T-N의 5.9%감소효과를 볼 수 있을 것으로 예상되며(유용규, 2002) 접촉산화를 위한 조의 크기가 상이할 경우 처리효과는 다소 변동될 것으로 판단된다.

4방안의 경우 습지를 이용하는 방법으로 다른 방안에 비하여 T-N과 T-P의 감소효과를 크게 볼 수 있을 것이다. 특히, T-P의 경우 60~75%이상의 감소효과를 볼 수 있을 것으로 나타나 있으며, 이는 습지에서의 체류시간과도 관련된다(양홍모, 2002).

5방안과 6방안의 경우 산화처리조를 이용하는 방법

으로 산화처리조에 관한 수질개선의 효과에 관한 연구가 상당히 많은 것으로 나타나고 있으며, 그 수질 효과 또한 큰 것으로 알려져 있다. T-N과 T-P에서의 수질개선효과가 20%내로 발생하는 것으로 연구되었다(윤명희, 1994), (김대영, 2001).

7방안의 경우 순수하게 폭기에 의한 수질개선효과에 대한 실험에서 김성훈 등(1997)은 COD가 33%~43%의 개선효율이 있는 것으로 언급하였다. 8방안은 수질개선을 위해 고수부지에 어떤 설비를 하는가에 따라 수질개선 효과가 달라지며 접촉산화시설인 경우는 5방안과 유사한 개선효과가 있을 것으로 예상된다.

9방안은 처리수를 지하의 자연 토양을 통해 배출하므로 토양에 의한 수질개선이 이루어지는데 자연상태의 토양에서 수질개선 효과에 대한 구체적인 연구는 아직 많이 수행되지 않은 상태이며 10방안은 폭기, 산화접촉 등이 함께 병행되므로 타 방법에 비하여 수질개선효과가 크며 산화접촉에 의한 T-N 20%, T-P 24% 그리고 폭기에 의한 COD 43%의 수질개선 효율보다 높은 수질개선효과가 있을 것으로 예상된다.

4.3 역순환시스템의 설계방안

4.3.1 유량의 결정

하천유지용수(또는 하천유지유량)은 사실상 치수 관리와는 대립과 동시에 연계가 되고 기본적으로 하천의 보전 및 복원 등을 위한 자연적 기능, 그리고 이수 관리와 하천환경관리를 바탕으로 하천 개발과 이용을 위한 인위적 기능을 유지하고 관리하는 데 필요한 최소한의 하천유량이라 할 수 있다. 이와 같은 하천의 기능을 하천유지용수 개념에서 대략적으로 분류하면 자연적 기능과 인위적 기능으로 구분될 수 있다.

자연적 기능은 하천이 갖는 고유 유량에 의해 유지가 가능한 것으로서 하천 고유의 갈수량 유지, 어류 등과 같은 수생 생물의 생태계 보호, 정서함양 공간으로서 하천 경관, 그리고 하류부 지하수 취수를 위한 지하수위의 유지 등이다. 이 자연적 기능은 하천관리상 특별히 이와 같은 기능 중에서 어떤 기능을 강화하거나 저감되지 않는다면 시간이 경과한다하더라도 이를 유지하기 위해 필요한 유량이 증가하거나 감소되지 않고 연중 계절과 시간에 따라 일정한 유량이 필요할 수도 있다. 인위적 기능은 하천이 갖는 고유 유량만으로는 사실상 하천의 정상적인 기능을 유지하기가 어렵고, 인위적인 요인에 의해 발생되거나 이용할 목적으로 설정된 기능들로서 주로 하천을 교통 및 관광 수단으로 이용하는 하천 수운, 하천관리를 위해 개발된 각종 시설물의 보호, 악화된 수질을 개선하기 위한 수질보전, 하구에서 조류 침입에 따른 염수침입 방지, 하구에서 유사퇴적에 의한 하구 막힘 방지, 그리고 유수 점용 허가에 따른 이수유량 등이다. 특히 이와 같은 인위적 기능 중에서 하천수질 개선 및 유수의 청결 유지를 위한 필요유량은 하천에 유입되는 오염부하량을 처리하여 연도별로 하천수질을 어느 수준으로 개선하느냐에 따라 달라질 수 있기 때문에 통상적으로 목표년도를 설정하여 산정하게 된다(한국전

설기술연구원, 1990, 1995, 1998).

역순환시스템 적용시 결정되는 유량은 하천이 이러한 자연적 기능과 인위적 기능을 충분히 수행할 수 있도록 하며 갈수량, 생태계(어류), 하천 경관, 하천 수질, 수상 이용, 기타 항목 등을 고려하여 결정하여야 한다. 이상에서 검토한 방법에 따라 하천에서 필요한 항목별 유지유량이 얼마인지를 결정하고 가장 큰 값을 하천의 유지유량으로 선택한다. 선택된 유지유량을 확보하기 위한 방안을 검토하여 하수처리수를 활용하고자 할 때에는 대상 하수처리장의 시설규모를 검토하여 유지유량 확보를 위한 적절한 하수처리수 활용 수량을 결정한다.

4.3.2 환경의 결정

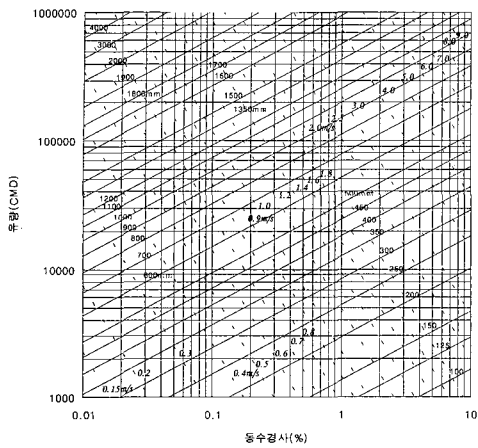
역순환시스템을 위한 환경은 동수경사로서 고려할 수 있는 최소의 경우에 대해서 결정하면 안전하데 환경의 결정에 있어 시점의 수위는 저수위, 종점의 수위는 고수위를 기준으로 하고, 상수도관의 경우에 덕틸일주철관 또는 강관을 사용하는 경우는 통수년수의 경과에 따라 통수능력이 감소하므로 설계시 15~20년 후를 고려하여 산정하나 하수처리수의 경우는 좀 더 충분한 여유를 감안하는 것이 바람직하다. 다만, 시멘트모르타르, 액상에 폭시수지도료 등으로 내구성이 있는 도장을 시공한 경우는 통수능력이 거의 감소하지 않는 것으로 보기도 한다. 또한 펌프를 이용한 송수의 경우에는 펌프양정과 관경과의 경제적 관계를 고려하여야 한다. 이러한 사항들을 고려하여 환경을 결정할 때 Hazen-Williams 공식을 사용하며 해당 관의 조도에 따라 제시된 유량도를 이용하여 결정한다.

일반적으로 매설된 C 값은 관내면의 조도에 따라 다르나 신설된 주철관의 경우 130정도로 수질의 영향에 따라 상이하하다. 통수년수의 경과에 따라 점차적으로 유속계수는 감소되므로, 15~30년 후를 고려하여 설계해야 한다. 신설관 설계시 고려되는 C값은 표 4에서와 같

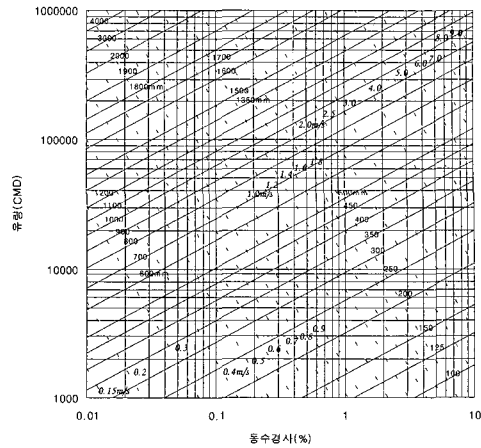
표 4. 설계시 유속계수(C) 값

관종	C 값	비고
주철관 도폭장강관	110	부설 후 20년
원심력철근관 콘크리트관 P.S. 콘크리트관	130	굴곡부 손실 등을 고려하여 C=110~130이 안전
경질염화비닐관	110	

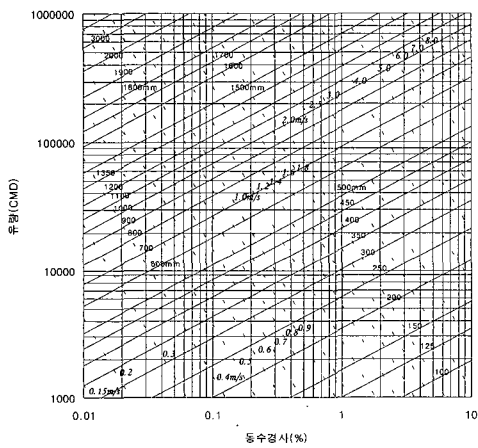
자료 : 환경부(1997), 상수도시설기준



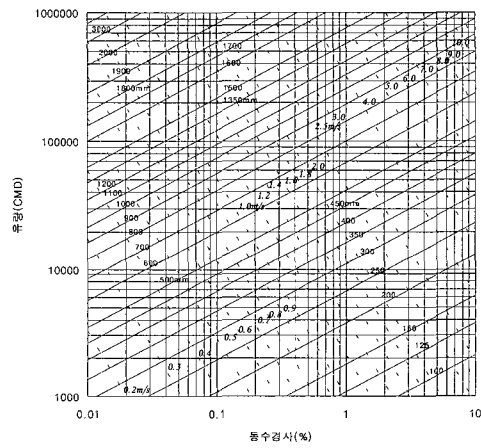
(a) 관경결정을 위한 유량도(C=90)



(b) 관경결정을 위한 유량도(C=100)



(c) 관경결정을 위한 유량도(C=110)



(d) 관경결정을 위한 유량도(C=120)

그림 5. 관경결정을 위한 유속계수별 유량도

이 사용되며 그림 5는 관의 유속계수에 따른 유량도를 보여주고 있다.

4.3.3 관종의 결정

송수관의 관종은 역순환시스템에서 요구되는 하천의 유지유량을 송수하기 위하여 적당한 재질의 관을 사용하고 부식 등을 방지하기 위하여 덕타일주철관, 도복장강관 프리스트레스트콘크리트관, 프리스트레스트실린더관, 원심력철근콘크리트관 또는 동급 이상의 상수도용관을 사용한다. 이때 덕타일주철관은 부식성과 스케일형성 등을 방지하기 위하여 내면에 모르타르라이닝을 실시하

고 외면에는 외부부식에 대한 고려를 하여 역청질계도료의 도장 등이 필요하다. 도복장강관의 외면에는 폴타르에나멜도복장, 아스팔트도복장, 수도용 타르에폭시수지도료 도장, 또는 동급 이상의 도장을 사용하는 것이 좋다. 내면에는 관내부에서 수질악화를 초래할 가능성이 적은 수도용 액상에폭시수지도료 도장을 하는 것이 바람직하다. 또한 실제로 작용하는 내압 또는 외압을 고려하여 관종별로 규격에 맞는 압력관을 사용하여야 한다.

관종의 결정시 내압, 외압에 대해서 안전하고, 매설 환경에 적합하며 내구성도 뛰어난 관종으로 하여야 한

표 5. 일반적인 관종비교

관종 항목	도복장강관	덕타일주철관
생산규격	D80mm~D3,000mm (KSD3565 수도용 도복장강관)	D80mm~D1,200mm (KSD4311 수도용 원심력 덕타일주철관)
장 점	<ul style="list-style-type: none"> · 인장강도와 신장율이 커서 내외압 및 충격에 강하므로 압력관으로 적합 · 신축, 연약지반, 부동침하에 내구력이 크고 수밀성이 양호하다. · 강도가 크고 내·외압 및 충격에 저항이 크다. · 용접에 의한 접합이므로 누수에 가장 안전하고 수밀성이 양호함. · 덕타일주철관의 2/3 정도로 비교적 중량이 가벼워 운반 및 거치가 용이하다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 시공성, 가소성, 신축성, 내전식성에 우수함 · 신속한 시공 및 지하수 침투시에 유리하다. · 전식방지공이 불필요 · 관내면에 몰탈라이닝을 하여 부식과 스케일 발생을 방지할 수 있다. · 일반적으로 생산되는 규격품은 같은 구경의 강관보다 저렴하다. · 보수가 용이하고 보수완료후 문제점이 별로 없으며 이설 및 철거시 분해가 용이하다.
단 점	<ul style="list-style-type: none"> · 용수구간의 시공이 비교적 어렵다 · 보수시 현장용접 후 내부용접이 불가능 · 소구경(600mm이하)에서는 내부용접이 불가능 · 온도변화나 매질환경의 변화에 따라 도복손상 쉽고 관의 수명이 단축됨 · 염분이나 해수 및 철박테리아가 많아 토양에서 부식이 쉽고 전식에 의한 부식이 약하다. · 생산환경이 열악하다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 현장가공이 불가능하다 · 내·외압의 작은 경우에는 압관으로도 가능하나 국내생산 불가 · 중량이 무거워 장대관 생산 불가 · 곡관 설치부에 별도의 보호공이 필요하며, 고수압이나 콘크리트 블록 중량으로 국부적인 부동침하가 예상되는 지점은 콘크리트 보호공 및 이탈방지 이음을 병용할 필요가 있다.
일반 적용도	<ul style="list-style-type: none"> · 내·외압이 큰 중요한 관로 · 연약지반 관로 · 수관과 및 하천 횡단관로 · 복잡한 구제 및 구내배관 	<ul style="list-style-type: none"> · 분기가 많은 급·배수관로 · 관 생산규격이 최대 D1,200mm까지 생산되어 대형 관로에는 상용관 · 관로 노선중 연약지반 구간이 있는 경우 별도의 이음관이 필요하다.

다. 즉, 관은 내압 또는 외압 등에 충분한 강도를 지니고 있어야 하므로 무근콘크리트관, 도관, 목관, 죽관의 종류는 사용하지서는 안된다. 내압은 실제 작용하는 최대정수압과 수격압을 고려하여야 하고 그에 맞는 하중조건을 고려하여 관의 두께를 비교하여 큰 값으로 결정하나 각 관종은 KS규격으로 규격화가 되어있어 특별한 경우를 제외하고는 그에 상응하는 규격 관종을 사용하도록 한다. 표 5는 관종에 따른 장단점을 나타내고 있다.

4.3.4 펌프의 결정

펌프는 계획1일 최대송수량을 기준으로 하고 계획유량에 따라 표 6을 표준으로 하여 펌프대수를 결정하며 2대 이상이 소요되는 경우에는 같은 용량의 펌프를 사용한다. 또한, 역순환시스템내 펌프가 송수관로 중간에 설치되는 경우에는 상류측에 부압이 발생하지 않도록 장소를 결정하여야 한다.

펌프의 구경은 흡입구경과 토출구경으로 표시하고 두 가지가 같은 경우는 한가지 구경으로 결정하되, 흡입구경은 토출유량과 펌프 흡입구의 유속에 의하여 결정하

표 6. 계획 유량에 따른 송수펌프 대수

유량(m ³ /day)	대수, ()는 예비대수	계
2,800까지	1 (1)	2
2,500~10,000	2 (1)	3
9,000이상	3 (1)이상	4이상

자료 : 환경부(1997), 상수도시설기준

도록 한다. 또한 흡입구의 유속은 1.5~3m/sec를 표준으로 하나 원동기의 회전수, 흡입실양정 등을 고려하여 결정한다. 펌프의 전양정에 있어서는 실양정과 흡입관로 및 토출관로의 손실수두를 고려하여 결정하며 실양정은 토출수면의 계획최고수위와 흡입수면의 계획최저수위와의 차를 최대치로 하고 토출수면의 계획최저수위와 흡입수면의 계획최대수위와의 차를 최소치로 하여야 한다. 펌프의 구경과 양정고가 결정되면 펌프의 표준 특성을 고려하여 펌프를 결정하는데 전양정이 6m이하이고, 구경이 200mm이상의 경우에는 사류 혹은 축류펌프를 선정하고, 전양정이 20m이상이고 구경이 200mm이하의 경우

표 7. 원심펌프의 토출량과 흡입구경

흡입구경 (mm)	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	500
토출유량범위 (m ³ /min, 60Hz)	0.11 ~ 0.22	0.18 ~ 0.36	0.28 ~ 0.56	0.45 ~ 0.90	0.71 ~ 1.40	1.12 ~ 2.24	1.80 ~ 3.55	2.8 ~ 5.6	4.5 ~ 9.0	7.1 ~ 14.0	9.0 ~ 18.0	11.2 ~ 22.4	18.0 ~ 35.5

자료 : 환경부(1997), 상수도시설기준

표 8. 전양정과 흡입구경의 범위(60Hz 기준)

종 류	상한값		하한값	
	전양정 (m)	흡입구경 (mm)	전양정 (m)	흡입구경 (mm)
소형원심펌프	35	150	6	40
소형다단원심펌프	130	150	15	40
양흡입 원심펌프	125	500	9	200

자료 : 환경부(1997), 상수도시설기준

표 9. 유량별 중간가압장 예상 공사비(2002년 기준)

(단위 : 천원)

용량 (m ³ /day)	양 정			
	H=30m	H=50m	H=80m	H=100m
50,000	2,268,000	2,525,000	2,791,000	3,048,000
150,000	4,128,000	4,733,000	5,394,000	5,999,000

는 원심펌프를 선정하도록 한다. 또한 흡입실양정이 -6m 이상이거나 또는 구경이 15mm를 초과하는 사류펌프나 축류펌프는 입축펌프를 선정하는 것을 원칙으로 한다. 표 7은 원심펌프의 토출량과 흡입구경을 나타내고 있으며 표 8은 전양정과 흡입구경의 범위를 보여주고 있다.

5. 실제 하천의 적용

지금까지 검토된 역순환시스템의 실제 적용을 위하여 하수처리수 활용계획을 수립하고 있는 인천 승기천의 6.2km 구간을 대상으로 역순환시스템의 설계를 통해 적용방안을 검토하였다.

수생어류 등의 서식에 있어 최소로 필요한 조건으로 승기천에서의 수면폭은 20m이며, 이때의 유속은 0.15 m/sec, 수심은 0.2m로 유지되며 이때의 유지유량은 약 50,000m³/day이다. 수생어류의 서식과 친수적 레크리에이션 등을 고려한 경우에는 유속은 0.25m/sec, 수심이 0.4m이며 이때의 유지유량은 150,000m³/day가 된다. 따라서 승기천에서 필요로 하는 하천 유지유량을

50,000m³/day과 150,000m³/day로 결정하였고, 이때 환경은 그림 5. 환경결정을 위한 유량계수별 유량도의 (b) C=100인 경우를 이용하여 산출하였으며 50,000 m³/day일 때 900mm, 150,000m³/day일 때 1,500mm로 산출되었다. 승기천은 저수로 폭에 비하여 고수부지의 폭이 넓고 하도가 거의 직선으로 형성되어 제방 또한 직선으로 설치되어 있으며 하천 하류에 승기하수처리장이 운영되고 있다. 이와 같은 승기천에 하수처리수를 활용하여 유량을 공급하기 위한 역순환시스템은 승기천의 형태적 특성에 대한 장점을 충분히 살리면서 유량조절 효과와 수질개선효과를 동시에 얻을 수 있는 10방안을 채택하는 것으로 하였다.

이때 하수처리장에서 배출되는 유량은 다단계 접촉산화조를 통해 수질을 개선하고 이를 하천 상류부로 이송 하되 구간별로 나누어 배출하도록 하며 최종 배출시에는 제방을 통해 폭기를 발생시켜 추가적인 수질개선이 이루어지도록 하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. 또한 최종 처리수가 하천에 일정한 유량으로 유입되도록 하기 위하여 일정유량배출시스템(최계운, 2001)을 적용

표 10. 관종별 부설 단가(2002년 기준)

관경 (mm)	부설단가(덕타일주철관) : 원/m				
	자재비	관공사비		합계	
		토사구간	도로구간	토사구간	도로구간
900	213,000	266,000	559,000	479,000	772,000
1500	-	-	-	-	-

관경 (mm)	부설단가(강관) : 원/m				
	자재비	관공사비		합계	
		토사구간	도로구간	토사구간	도로구간
900	207,000	379,000	671,000	586,000	878,000
1500	477,000	779,000	1,104,000	1,256,000	1,671,000

하는 경우 유량조절에도 좋은 효과를 보일 것으로 판단된다.

이러한 시스템을 적용하여 6.2km 구간에 하수처리수를 압송하는 경우 유량, 중간가압장, 관종 및 관경 등을 고려하여 승기전에 필요한 유량이 50,000m³/day인 경우와 150,000m³/day인 경우에 대한 개략적인 비용을 평가하였다.

필요유량이 50,000m³/day인 경우 중간가압장의 비용은 양정에 따라 2,268,000천원~3,048,000천원이 소요되며 150,000m³/day인 경우 4,128,000천원~5,999,000천원이 소요될 것으로 예상된다.

필요유량이 50,000m³/day일 때 하수처리수의 이송을 위한 관종별 부설 공사비는 관을 덕타일주철관으로 하는 경우 7,631,100천원, 강관으로 하는 경우는 8,930,400천원으로 예상되며 150,000m³/day의 유량인 경우 강관일 때 19,086,900천원이 소요될 것으로 예상된다. 표 9는 유량별 중간가압장의 비용을 보여주고 있으며 표 10은 관종별 부설 단가를 보여주고 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 하천의 유지용수 확보를 위하여 하수처리장으로부터 방류되는 하수처리수를 활용하기 위한 역순환시스템에 대하여 검토하고 문헌을 통해 국내외의 하수처리수 활용실태를 조사하였으며 인천의 도시하천인 승기전에 연구결과의 적용성을 검토하여 실제 적용을 추진하고 있다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 하수처리수를 활용한 역순환시스템 적용시 시스템 내의 관종, 관경, 펌프 등 설비에 대한 설계가이드를 제안하였다.

- 2) 저류 및 수질개선을 고려한 역순환시스템을 검토하여 10가지 방안을 제안하고 각 방안들에 대한 장단점을 비교 분석하였으며 각 방안에 적용된 수질정화기법에 관련된 문헌연구를 통해 10가지 방안이 적용되는 경우 각각의 방안에 대한 수질개선 효과를 예측하였다.

- 3) 인천의 도시하천인 승기전에 대해 적용성을 검토하여 저류 및 수질개선시스템을 복합적으로 조합하여 승기전의 유량을 확보할 수 있는 하수처리수 활용방안을 제시하였다.

- 4) 인천의 승기전에 적용된 역순환시스템에 대한 유량, 관종, 관경, 펌프 등의 설계를 통해 개략적인 비용을 평가하였다.

향후 본 연구에서 검토되고 실제 적용된 방안에 대한 비용편익분석이 이루어진다면 본 연구결과는 하수처리장이 하천 하류에 설치되어 있는 국내의 실제 하천에 적용하는데 매우 효과적일 것으로 판단되며 이와 유사한 하천의 유량을 확보하기 위한 연구에 좋은 기초자료가 될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 2-5-1)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

국토개발연구원(1988). 하천유지용수의 수급에 관한 연구, 국토개발연구원.
 김대영(2001). 접촉산화법을 이용한 상수원수의 수질개선, 부경대학교 석사논문.

- 김성훈 등(1997). “소규모 호소 내에서 표면 폭기가 수질에 미치는 영향”, **한국수질보전학회, 추계학술발표회 논문초록집**, pp. 45-48.
- 김영란, 이상희, 진상엽(1999). **하수처리수 재이용의 타당성 연구**, 서울시정개발연구원.
- 노재경(1996). “대동천의 하천 기능 회복방안 연구”, 한국수자원학회, **1996년 학술발표회 논문집**, pp. 514-520.
- 서규우, 허준행, 조원철(1996). “유역개발에 따른 도시 하천에서의 유출영향분석”, 한국수자원학회, **1996년 학술발표회 논문집**, pp. 349-353.
- 양홍모 등(2002). “하천수 정화 근자연형 인공습지의 초기 질소 제거”, **한국환경농학회지**, 제21권, 제4호, pp. 269-273.
- 유용규 등(2002). “자갈점축산화법을 이용한 상류 하천수 처리에 관한 연구”, 한국환경농공학회, **2002 춘계학술연구발표회**, 논문집(I), pp. 239-241.
- 윤명희 등(1994). “소규모 오수처리 공법 연구-침전분리점축산화법을 중심으로-”, 한국물환경학회, **94년도 학술연구발표회 요지집**, pp. 33-35.
- 장철희, 장석길, 김성준(2001). “안성천 유역의 도시화 진전에 따른 수문 환경 변화”, 한국수자원학회, **2001년 학술발표회 논문집**, pp. 273-279.
- 최계운, 김건홍, 조강현, 정태하(2001). **승기천의 환경개선 및 복원을 위한 종합대책연구(1차년도)**, 인천지역환경기술개발센터.
- 최계운, 김건홍, 조강현, 정태하(2002). **승기천의 환경개선 및 복원을 위한 종합대책연구(2차년도)**, 인천지역환경기술개발센터.
- 한국건설기술연구원(1990). **한강 하천유지유량 조사연구 보고서**, 한국수자원 공사.
- 한국건설기술연구원(1995). **하천유지유량 결정방법에 개발 및 적용**, 한국수자원공사.
- 한국건설기술연구원(1998). **한강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서**, 건설교통부 서울지방국토관리청.
- 환경관리공단(2001). **하수처리수의 재이용 기술에 관한 연구**, 환경관리공단.
- 환경부 (1997). **상수도시설기준**, 한국수도협회.

(논문번호:03-69/접수:2003.08.16/심사완료:2003.09.27)