

## Dr. Wastewater program의 적용을 통한 하수처리장 운전에 미치는 유입수 변동 영향평가

### Evaluation of influent changing effect on the STP performance using Dr. Wastewater

김연권<sup>1</sup> · 김홍석<sup>1</sup> · 서인석<sup>1</sup> · 김병군<sup>1</sup> · 한인선<sup>1</sup> · 김진상<sup>2\*</sup>

Kim, Youn Kwon<sup>1</sup> · Kim, Hong Suck<sup>1</sup> · Seo, In Seok<sup>1</sup> · Kim, Byung Goon<sup>1</sup> · Han, In Sun<sup>1</sup> · Kim, Jin Sang<sup>2\*</sup>

1 한국수자원공사 수자원연구원 상하수도연구소, 2 한국수자원공사 수도사업처

(2008년 10월 20일 접수; 2008년 11월 18일 1차수정; 2008년 11월 25일 2차수정; 2008년 11월 27일 채택)

#### Abstract

Sewer Rehabilitation Project (SRP) is planned, designed and constructed to perform its intended performance as sewerage delivery systems. Recently, a subject of performance evaluation methodology development for SRP has become a great deal of concern among researchers in Korea. From the view point of Sewage Treatment Plant (STP), however, the estimation of improvement efficiency for SRP is in lack of reliability due to the fact that affections for the treatment efficiency and operating condition are not reflected on SRP design and construction. In this study, statistical methodology was used in the analysis of data, which are taken during 1,186 days (1<sup>st</sup> Jan. 2005 - 31<sup>th</sup> Mar. 2008) from the influent, effluent and operating conditions of full-scale STP(25,000m<sup>3</sup>/d). Then the effect of SRP on the influent characteristics and operating conditions changing was compared and evaluated. Results from the statistical evaluation show that SRP causes characteristic changes in influent and exerts a significant effect especially on the performance of STP.

**Key words :** Sewer Rehabilitation, Wastewater Characteristics, Dr. Wastewater, Statistical evaluation

**주 제 어 :** 하수관거정비, 폐수특성, 하수처리장, 통계적 평가

#### 1. 서론

하수관거는 분류식 또는 합류식 하수배제 시스템을 통해 인간의 활동으로부터 기인하는 생활, 산업 및 공장폐수 등을 배수구역의 말단 하수종말처리시설까지 이송하는 기간시설이다. 하수배제 시스템은 지하에 매설되는 특성으로 인해 다양한 문제점들을 가지고 있다. 특히 국내 하수관거의 문제점들은 부실시공과 같은 근원적 문제와 함께 타관통과, 우·오수관의 오점, 관 파손과 침하, 이음불량 등의 유지·관리상

의 문제를 가지고 있다(최, 2001). 이러한 문제점들은 다양한 불명수들로 인해 하수종말처리시설로 유입되는 유입수의 실제농도를 설계수질보다 현격히 낮게 만드는 원인이 되거나(신, 1994), 계획유입유량 이상의 과다유량을 유입시키거나 하수내 오염물질의 농도를 희석시킴으로서 하수처리장이 당초 계획한 처리효율을 달성하지 못하게 만드는 원인이 되고 있다(송, 2004; 정, 2007; 최, 2007).

하수관거정비사업 시행 이전인 99년말을 기준으로 125개 소의 하수처리시설 시설용량 대비 유입하수량의 비율은 평

\*Corresponding author Tel: +82-42-629-2694, Fax: -82-42-629-2698, E-mail: jskim@kwater.or.kr(Kim, J.S.)

Table 1. Comparison of Influent characteristics in Seoul (신, 1994)

STPs	Q (103 m <sup>3</sup> /d)			Concentration BOD (mg/L)			Load BOD (10 <sup>3</sup> kg/d)		
	Design	Status	Ratio	Design	Status	Ratio	Design	Status	Ratio
JR	210	223	1.11	250	101	0.40	53	24	0.46
TCh	600	772	1.29	200	95	0.48	120	73	0.61
GY	1000	1671	1.67	200	103	0.52	200	173	0.87
NJ	500	963	1.93	170	66	0.35	85	63	0.74

균 88.3 %로 나타났으며, 정상가동 중인 145개소 중 32.4 %가 분뇨 연계처리전 유입수질이 BOD 50 mg/L 미만인 것으로 나타나 체계적인 하수관거정비계획수립의 필요성으로 대두되었다(최, 2001). 이에 정부는 2002년을 '하수관거정비 원년의 해'로 선포하고 한강수계 하수관거정비사업, 전국적인 하수관거정비 BTL 사업 및 댐 상류지역의 하수도시 설 확충사업 등 다각도의 노력을 지속적으로 기울여 왔다. 전국적으로 수행된 하수관거정비사업은 불명수 조사를 위한 다양한 조사기법의 정립계기를 마련하였을 뿐만 아니라, 지역별 특성을 고려한 불명수 저감방안 및 사업효과 평가기법의 개발로 발전되었다(정, 2002; 황, 2003; 최, 2007). 이러한 노력들로 인해 최근 많은 하수처리장에서는 하수처리시설로 유입되는 유입유량의 점진적인 감소와 오염물질별 농도증가가 나타나는 것으로 조사되고 있다.

이렇듯 하수관거정비사업은 하수누수로 인한 토양오염 및 지하수 오염방지는 물론 최종적으로는 하수처리시설로 유입되는 유입수의 농도를 증가시킴으로서 저부하 유입수 특성을 갖는 국내 하수처리장의 처리효율을 안정화 시키는데 그 목적을 두고 있다. 그러나 하수관거정비사업의 성패를 판단하는 평가방식은 대부분 불명수 차단과 하수내 농도증가에 주로 집중되어 있어 정비사업이 완료된 배수유역내 하수처리장에 대한 영향평가 연구결과는 국내·외를 막론하고 전무한 실정에 있다. 일반적으로 하수처리장의 성능과 효율을 평가는 장기간 운영결과를 BOD, COD, SS 등의 항목별 방류수내 농도, 제거효율과 슬러지 발생량에 대한 분석에 그치고 있다(WEF, 1994; Bertanza, 1997; Collivignarelli, 1999; Ra, 2000). 하지만 최근 들어 객관적인 하수처리장 진단과 효율평가를 위해 다양한 통계적 기법의 활용과 진단 Tool이 개발되고 있으며 활용범위 역시 점진적으로 늘어가고 있는 추세이다(신, 2002; 김, 2006).

본 연구는 하수관거정비사업 수행에 따른 하수특성의 변화정도와 변화된 하수특성이 하수처리장에 미치는 영향을 분석하기 위해 통계적 분석기법과 하수처리장 기술진단 전문 Tool을 이용하였다. 수행된 발생하수특성변화의 통계평가와 하수처리장 공정기술진단 결과는 장기간에 걸쳐 수행된 하수관거정비사업에 대한 장기적 영향에 관한 이해와 정보를 제공할 뿐만 아니라, 하수처리장에 미치는 영향평가 및 대응운전전략마련에 실질적인 정보를 제공할 것으로 기

대한다. 또한, 차기 하수관거정비사업의 추진전략수립과 기대효과 분석시 하수관거와 하수처리장을 연계하는 평가결과수립을 위한 기초정보제공에 기여 할 것으로 기대한다.

## 2. 연구방법

본 연구는 하수관거정비사업의 영향을 하수처리장 유입수에 대한 특성변화와 하수처리장 운전조건변화의 변화로 구분하여 분석하였다. 2005년 1월부터 2008년 3월까지 조사대상 하수처리장으로 유입된 유입하수와 방류수 및 운전조건 데이터를 수집하여 유입유량, BOD, COD, SS, TN, TP에 대해 통계적 분석을 실시하였다. 또한 조사대상 하수처리장이 위치한 배수유역에서 실시된 하수관거정비사업의 시행초기인 2005년도 하수처리장 유입수와 하수관거정비사업이 단계적으로 종료되는 2007년도의 하수처리장 유입수를 대상으로 하수관거정비사업에 관한 영향을 통계적 분석기법을 적용하여 평가 하였다. 마지막으로 하수처리장 유입수의 특성에 따른 하수처리장 운전조건변화에 대한 통계적 분석과 슬러지 발생량 변화에 대한 비교평가를 실시하였다. 단, 금번 연구에서 다루는 COD는 하수처리장의 유입수와 방류수의 자료를 활용하므로 망간법에 의해 분석된 COD를 의미한다.

### 2.1. 조사대상지역 특성

금번연구의 조사대상지역인 A시는 2002년 한강수계 하수관거정비사업의 시발지역 중 하나로 지속적인 관거정비사업계획을 가지고 있다. 위치상 수도권 인근 상수원 지역에 위치하고 있으며 약 90.7 km<sup>2</sup>의 배수구역면적과 다양한 하수배제시스템(2000년 기준)이 적용되어 있다(Table 2).

2003년 말부터 2007년 하절기까지 구역별·단계별로 불명수조사와 하수관거개보수사업이 수행된 A시 지역은 2000년말을 기준으로 분뇨수거율이 100 %로 불명수 감소와 정화조 폐쇄 후 발생하수의 직투입으로 인한 하수농도의 지속적인 상승이 기대되는 지역이다. A시 하수도정비기본계획에 따르면, A 하수처리장이 위치한 배수유역은 총 90.7 km<sup>2</sup>의 배수면적을 갖으며, 도시계획구역(18.7 %)과 도시계획외지역(13.3 %), 그리고 녹지/기타(68 %)의 토지이용특성을 갖는다. A 도시는 2001년, 2006년, 2011년 및 2016년의

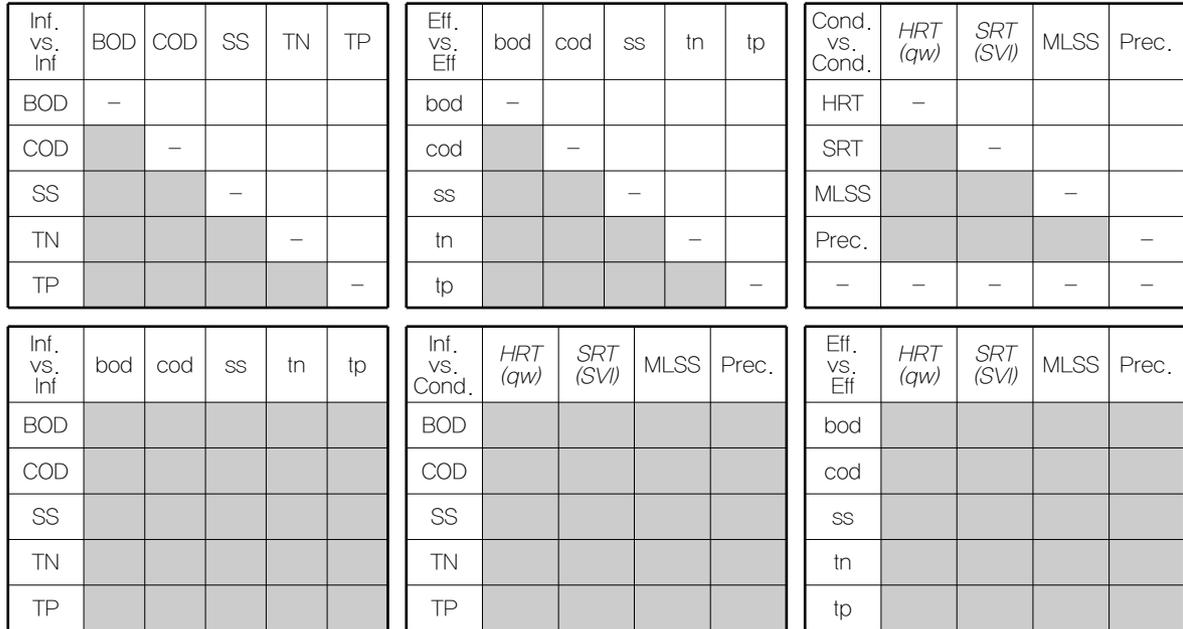


Fig. 1. Correlation Matrix in Dr. wastewater.

단계별 하수도정비기본계획을 갖고며 각각 88,107명, 111,846명, 141,132명, 172,580명의 계획인구를 갖고 있다. 금번 연구대상인 A 하수처리장(25,000 m<sup>3</sup>/d)의 설계 유입 하수는 BOD 166 mg/L, COD 146 mg/L, SS 163 mg/L, TN 48 mg/L 그리고 TP 6 mg/L로 계획 되었으며, 1차 침전지, 혐기조, 간헐포기조 및 최종 침전지로 구성된 연속 유입식 생물학적 고도하수처리공정이 적용되어 있다.

2.2. Dr. Wastewater ver.2를 이용한 공정진단

조사대상 기간 중 수집된 하수처리장 유입수 데이터에 대해 월평균 시계열 변화패턴 분석을 실시하여 유량과 수질의 변화추이를 평가하였다. 이후 하수관거정비사업 초기에 해당하는 2005년도 하수처리장 유입수 자료와 하수관거정비사업의 부분적 종료시점에 해당하는 2007년도 자료에 대해 건기와 우기시, 그리고 건우기 통합으로 구분하여 시계열 변화패턴의 분석과 기초통계(평균, 표준편차, 분산)분석을 실시하였다. 이 외에도 통계적 가설검정기법을 적용하여 통계학적 관점에서의 하수처리장 유입하수특성의 변화도를 평가하였으며, 금번 연구와 같이 동일 대상지역에 대한 하수관거

정비사업의 영향여부를 판단하는 특성으로 인해 “짝지어진 표본 검정법(Paired T-test)”을 적용하였다.

공학적 관점에서, 구성물질 또는 특정 조건간의 상관관계는 해당 조건에 대한 이해와 대응전략수립에 많은 정보를 제공한다. 본 연구에서는 수집된 자료간의 발생특성 및 상관관계분석을 위해 하수처리장 전문운영관리 및 진단프로그램(Dr. Wastewater ver.2)의 상관관계(Correlation, r)분석 Tool을 이용하였다. Fig. 1에서 보는바와 같이, 유입수 수질 항목(대문자로 표기)와 방류수 수질항목(소문자로 표기), 그리고 공정내 미생물량(MLSS), 수리학적 체류시간(HRT), 슬러지 체류시간(SRT), 슬러지 인발량(qW), 미생물 침강특성(SVI) 등 다양한 운전조건(6개의 매트릭스)에 대해 상관관계를 도출하였으며 다음 식과 같이 표현된다.

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^x x_i^2 - \bar{n}x^2 \tag{1}$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^x y_i^2 - \bar{n}y^2 \tag{2}$$

Table 2. Status of sewer system in research area

Area	Total			Combined sewer system		Separated sewer system			
	Plan	Status	Ratio (%)	Plan	Status	Sanitary sewer		Storm sewer	
						Plan	Status	Plan	Status
Korea	107,622	68,194	63.4	40,637	42,877	34,100	12,340	32,883	12,976
A province	18,537	11,038	59.5	5,773	5,137	7,691	3,128	5,071	2,772
A city	625	376	60.2	131	91	441	282	52	2,600

$$S_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n} - \bar{x} \bar{y} \quad (3)$$

이렇게 구해진 두 변수 x, y간의 상관계수는 최종적으로 다음 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\gamma = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}} \sqrt{S_{yy}}} \quad (4)$$

### 2.3. 폐슬러지 발생량 변화추이 및 특성 평가

하수관거정비사업으로 인한 유입하수특성의 변화는 해당 공정의 운전특성변화를 유발함으로써 방류수질의 변화를 야기할 뿐만 아니라 폐슬러지 발생량에도 직접적인 영향을 미치게 된다. 유입수내 먹이농도의 증가는 해당 공정내 미생물 증식을 유발하게 되고, 공정내 적정 미생물 농도유지를 위해서는 반드시 증가된 슬러지의 폐기과정이 수반되어야만 하기 때문에 폐슬러지의 발생량 변화는 유입수 특성변화와 운전특성평가의 중요 지표가 된다. 금번 논문에서는 하수관거정비사업으로 인한 유입하수특성의 변화와 하수처리장 폐슬러지 발생량 변화추이를 비교·분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 유입수 특성변화

2005년부터 2008년 초까지 총 1,186일간 수집된 하수처리장 유입수 중 유량, BOD, TN, TP에 대한 월평균 시계열

변화추이는 다음 Fig. 2와 같다.

그림에서 보듯이, 유입유량의 변화를 제외한 대부분의 항목에서 시간경과에 따른 평균값의 점진적 증가, 최소값과 최대값 간의 편차가 시간이 흐를수록 증가함을 확인 할 수 있다. 계절적 관점에서, 월평균 유입유량의 변동은 매년 하절기에 강우로 인한 일시적 유량증가현상이 나타났으며, 유량 변화와 함께 유입수내 BOD, TN, TP의 월평균 농도변화 역시 하절기 강우로 인한 농도감소가 규칙적으로 확인되었다. 이러한 결과는 강우사상과 불명수간의 실제적 관계성을 잘 보여주는 사례로 불명수 저감을 위한 하수관거정비사업의 명분과 타당성을 뒷받침 하는 결과로 사료된다.

금번 연구에서는 하수관거정비사업의 결과로 나타나는 하수특성변화를 물리·화학적 관점에서 비교하기 위해 하수관거정비사업 시행초기인 2005년과 종료시인 2007년으로 구분하고, A 하수처리장 유입하수를 강우시와 건기시로 나누어 유입유량, BOD, COD, SS, TN, TP 발생특성 기초통계분석을 실시하였다(Table 3). 기초통계분석시 사용한 강우사상자료는 자료확보의 용이성과 신뢰성 등을 고려하여 금번 연구대상지역의 기상청 자료를 사용하였다. 기초통계분석결과 거의 모든 분석대상항목은 강우와 건기에 대한 구분 없이 전구간에 걸쳐 2005년도에 비해 2007년도가 높은 수준을 나타내고 있으며, 이러한 결과는 앞선 Fig. 2의 월평균 변화추이 분석결과와도 무관하지 않음을 알 수 있다. 2005년도 대비 2007년도의 전체기간(우기/건기)에 대한 항

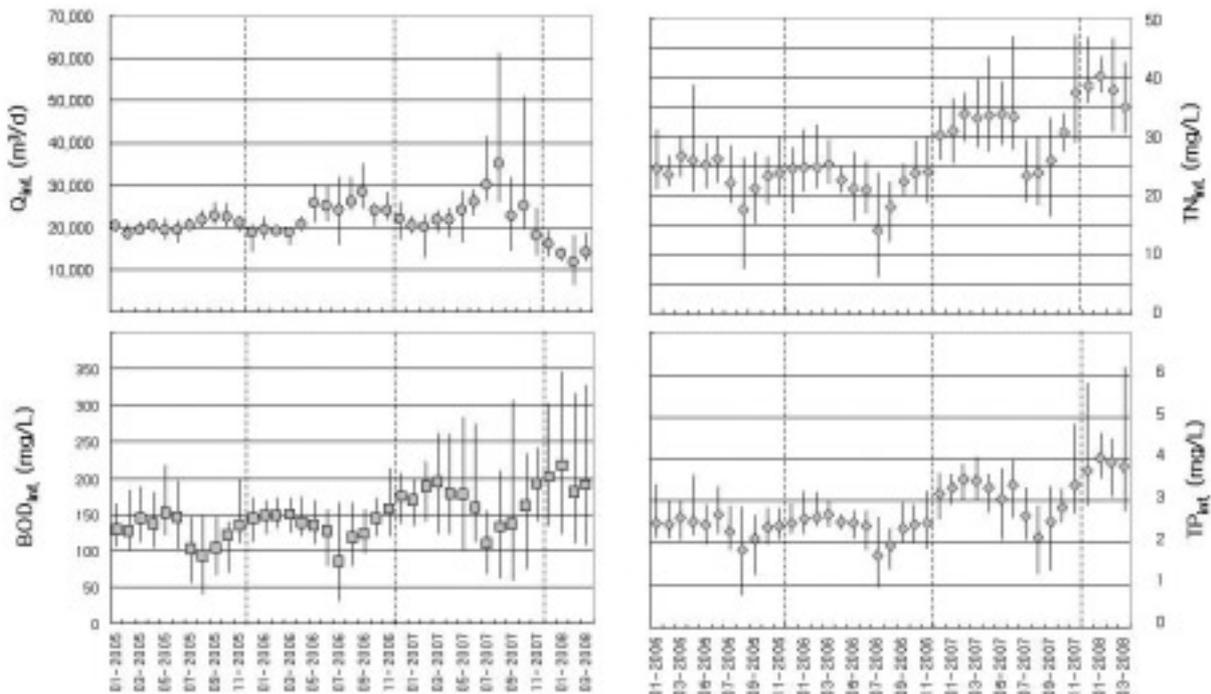


Fig. 2. Variation of Q, BOD, TN and TP in influent.

목별 평균값의 증가율은 각각 유량 3(15/-2) %, BOD 30(26/32) %, COD 2(5/2) %, SS 23(25/22) %, TN 32(28/35) %, TP 29(26/33) % 변화한 것으로 나타났다. 유량변화의 경우, 2007년 9월부터 점진적인 유량감소가 관찰되긴 했으나, 해당 기간 중 관거공사 사고발생 또는 타지역으로의 물량이송과 같은 구체적 원인행위가 없었던 점과 하수관거정비사업의 종로시점에 부합됨을 고려하여 본 논문에서는 하수관거정비사업의 결과로 추정하고자 하였다.

일반적으로 환경공학에서 다루는 자료들의 분포형태는 대부분 정규분포를 따르며(Berthouex, 1994), 이 경우 히스토그램은 대칭성을 보이게 되고, 로그축을 사용하지 않은 확률지에 도시하면 직선형태를 나타내게 된다. 하지만 대수정규분포를 따를 경우, 일반 확률지에서는 S자 모양의 곡선을 나타내고 대수확률지에 도시하였을 때에는 직선의 형태를 나타내게 된다(Henz, 1995). 금번 연구에서는 누적발생확률분포를 이용하여 2005년도와 2007년도 유입하수내 오염물질별 발생추이와 특성을 파악하고, 자료의 분포형태분석을 통해 하수관거정비사업과 같은 외부영향인자에 의한 영향여부와 특성을 평가하였다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이, 신뢰수준 95 %에서 분석된 결과들은 2005년의 경우, 모든 정규분포에 가까운 이상적 추세를 보이는 반면 2007년도 자료에서는 추세분석을 통해 유량과 TN에 급격한 변화가 유

발되었음을 확인 할 수 있었다. 또한 2007년도의 유입유량과 유입수내 BOD, SS 성분은 상당부분이 당초 설계수질(점선으로 표기) 보다 그 수준을 초과하여 하수처리장으로 유입되었음을 확인 할 수 있었다.

A 하수처리장 배수구역에서 발생하는 하수특성에 대한 하수관거정비사업의 영향여부를 평가하기 위해 짝지어진 표본 검정법을 이용하여 통계적 가설검정을 수행하였다. 본 논문에서는 가설검정을 위해 다음과 같은 가정을 하였다. 하수관거정비사업의 효과가 미미하였다면 '2005년도와 2007년도 하수특성은 통계적 관점에서 유사하거나 같다'고 평가되어야만 하며, 반대로 하수관거정비사업의 효과가 있었다면 '2005년도와 2007년도 하수특성은 통계적 관점에서 다르다'고 평가되어야만 한다. 따라서 "2005년도와 2007년도의 하수특성은 같다"를 귀무가설로 정의하고, 2005년과 2007년에 수집된 하수특성 중 5개 항목(유량, BOD, SS, TN, TP)의 자료와 미니탭을 이용하여 1년치와 각 계절별로 구분하여 "짝지어진 표본 검정"을 실시하였다(Table 4). 이때의 자유도(degree of freedom)은 전체일 경우 364, 각각의 계절에 대해 봄과 여름은 91, 가을 및 겨울은 각각 90과 89이다. 표에서 확인할 수 있듯이, 1년치 유량 데이터를 제외하면 모든 비교데이터의 P 값이 0.05보다 작은 것으로 나타나 귀무가설은 기각됨을 알 수 있었다. 즉, 통계학적인 관점에서

Table 3. Comparison of statistical value

Period	Values	2005						2007						
		Flow	BOD	COD	SS	TN	TP	Flow	BOD	COD	SS	TN	TP	
Total	min.	14,086	39.8	20.2	43.0	7.4	0.7	6,700	57.6	25.8	32.0	16.4	1.3	
	Max.	25,888	218.9	97.8	200.0	38.9	3.6	61,388	305.5	116.8	370.0	47.2	5.8	
	Ave.	20,324	127.3	63.5	85.6	23.7	2.4	20,960	165.2	65.0	105.0	31.4	3.1	
	SD*	1,706	26.8	15.2	18.6	3.6	0.3	8,464	43.9	15.6	34.1	5.7	0.6	
	Dist.**	2.9×10 <sup>6</sup>	715.7	231.6	346.1	13.2	0.1	7.2×10 <sup>7</sup>	1,931.1	244.1	1,164.5	32.4	0.3	
Dry weather	min.	14,086	39.8	25.6	43.6	10.6	1.0	6,826	62.1	26.0	44.0	18.4	2.0	
	Max.	24,978	218.9	97.8	194.0	38.9	3.6	61,388	282.4	97.0	176.0	47.2	4.8	
	Ave.	20,152	130.1	65.6	84.9	24.0	2.4	19,668	171.6	66.8	103.2	32.4	3.2	
	SD*	1,642	24.3	14.2	16.0	3.4	0.3	7,284	39.2	14.2	24.4	4.9	0.5	
	Dist.**	2.7×10 <sup>6</sup>	591.6	202.5	257.5	11.6	0.1	5.3×10 <sup>7</sup>	1,532.8	201.6	597.0	24.4	0.2	
Wet weather	min.	15,779	41.8	20.2	43.0	7.4	0.7	6,501	57.6	25.8	32.0	16.4	1.3	
	Max.	25,888	187.7	95.8	200.0	31.3	3.0	60,845	305.5	116.8	370.0	41.4	5.8	
	Ave.	20,782	120.0	58.1	87.5	22.9	2.3	23,818	151.2	61.1	109.1	29.2	2.9	
	SD*	1,775	31.1	16.3	23.9	4.0	0.4	10,148	50.6	17.7	49.2	6.6	0.7	
	Dist.**	3.2×10 <sup>6</sup>	938.9	266.6	571.1	16.3	0.2	1.0×10 <sup>8</sup>	2,556.3	312.2	2,418.6	43.1	0.6	
>3 (mm/d)	Ave.	Spring	19,956	149.1	76.8	88.6	24.6	2.4	22,774	185.6	73.7	132.6	33.8	3.4
		Summer	21,120	101.7	47.8	100.8	20.4	2.1	35,029	123.7	54.4	123.4	24.3	2.4
		Autumn	22,470	105.6	47.0	76.7	22.3	2.2	19,452	145.1	55.3	89.7	27.4	2.7
		Winter	19,280	123.2	38.6	77.5	22.5	2.4	14,768	201.4	78.2	105.5	33.8	3.3
< 3 (mm/d)	Ave.	Spring	20,375	144.2	77.7	83.6	26.0	2.5	22,629	184.5	66.9	126.6	34.5	3.4
		Summer	20,415	117.1	53.3	82.5	22.7	2.3	28,616	114.6	58.5	96.5	26.6	2.8
		Autumn	22,426	111.6	50.3	78.9	22.2	2.2	18,284	116.5	48.9	83.5	25.5	2.5
		Winter	18,857	136.5	69.4	90.9	25.1	2.5	10,914	187.3	73.6	97.5	36.6	3.8

\* SD (Standard Deviation) \*\* Dist. (Distribution)

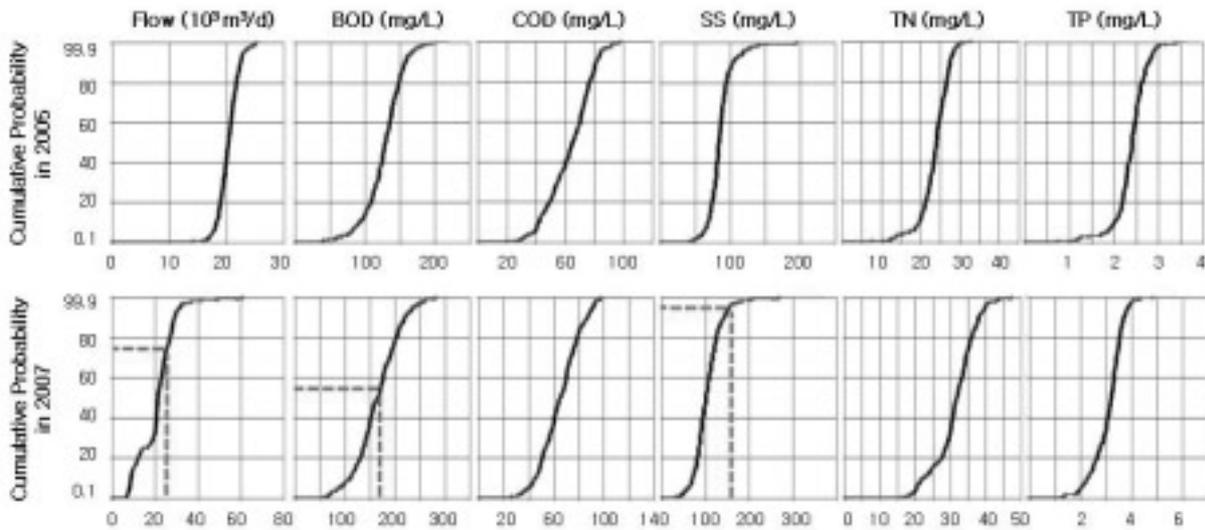


Fig. 3. Comparison of cumulative probability in influent.

2005년과 2007년의 하수특성은 하수관거정비사업의 결과로 인해 그 특성이 독립적인 것을 확인 할 수 있었다. 다만, 1년치 유량 데이터의 경우, 귀무가설이 성립됨을 나타내고 있는데 이는 통계적 개념에서 '데이터 상쇄효과'의 결과로 판단된다. 상쇄효과란 대상집단의 특성이 특정 비교구간내에서 상호 정반대적 추이를 나타냄으로서 전체구간으로 확대해석을 할 경우, 그 영향이 상쇄되어 마치 변화가 없는 것처럼 보이게 되는 것을 말하는데 흔히 통계에서 말하는 평균값의 오류와 유사한 성격을 가진다. Fig. 2에서 확인 할 수 있듯이, 유량 변화추이는 점진적인 증가추이를 나타내다가 2007년 9월을 기점으로 급격한 감소추이를 나타내게 되는데, 이때의 감소정도가 전체 데이터의 증가분에 대해 상쇄효과를 나타낸 것으로 판단되었다.

### 3.2. 하수처리장 운전특성변화

Dr. Wastewater ver.2의 사전평가(Pre-evaluation)기능을 이용하여 2005년과 2007년 A 하수처리장의 수준진단

을 실시하였다. Dr. Wastewater ver.2의 사전평가기능은 조건에 따라 임의 또는 규정된 수준의 수질기준에 따라 각 수질항목별 기준초과 여부를 각각 Level I(다소 심각), Level II(심각), Level III(매우 심각)의 3단계로 구분하여 보여준다(김, 2008). 여기서 각각의 Level은 해당 하수처리장이 운전되는 전체의 기간 중 방류수질 누적발생확률 분석에 기초하여 특정항목의 수질기준 초과정도가 전체의 5% 미만, 5~10%, 10% 이상으로 구분하고, 최근 발생빈도에 가중치를 두어 최종 Level의 수준이 결정되도록 구성되어 있다.

Dr. Wastewater ver.2를 이용한 수준진단결과, 2005년도 A 하수처리장은 하수처리장으로 유입되는 유입하수특성에 대해 방류수 수질기준 준수를 위해 공정을 운전함에 있어 매우 안정적이고도 우수한 처리능력을 나타내고 있는 것으로 평가되었다. 반면 2007년도 A 하수처리장은 BOD(Level III)와 SS(Level II), TN(Level I) 수준으로 평가되었으며, 하수처리장으로 유입되는 유입하수특성에 대해 적절하게 대응운전 되지 못하고 있는 것으로 평가되었다. 이러한 결과는

Table 4. Comparison of paired T-test and P-value

Items	Values	Period				
		Total	Spring	Summer	Autumn	Winter
Flow	T	-1.25	-10.12	-12.71	11.83	5.39
	P	0.213	0.000	0.000	0.000	0.000
BOD	T	-17.47	-7.93	-4.92	-9.46	-15.93
	P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SS	T	-9.82	-8.15	-3.45	-2.93	-6.76
	P	0.000	0.000	0.001	0.004	0.000
TN	T	-26.34	-15.9	-7.80	-13.29	-22.22
	P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TP	T	-25.63	-17.02	-8.15	-10.63	-22.83
	P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

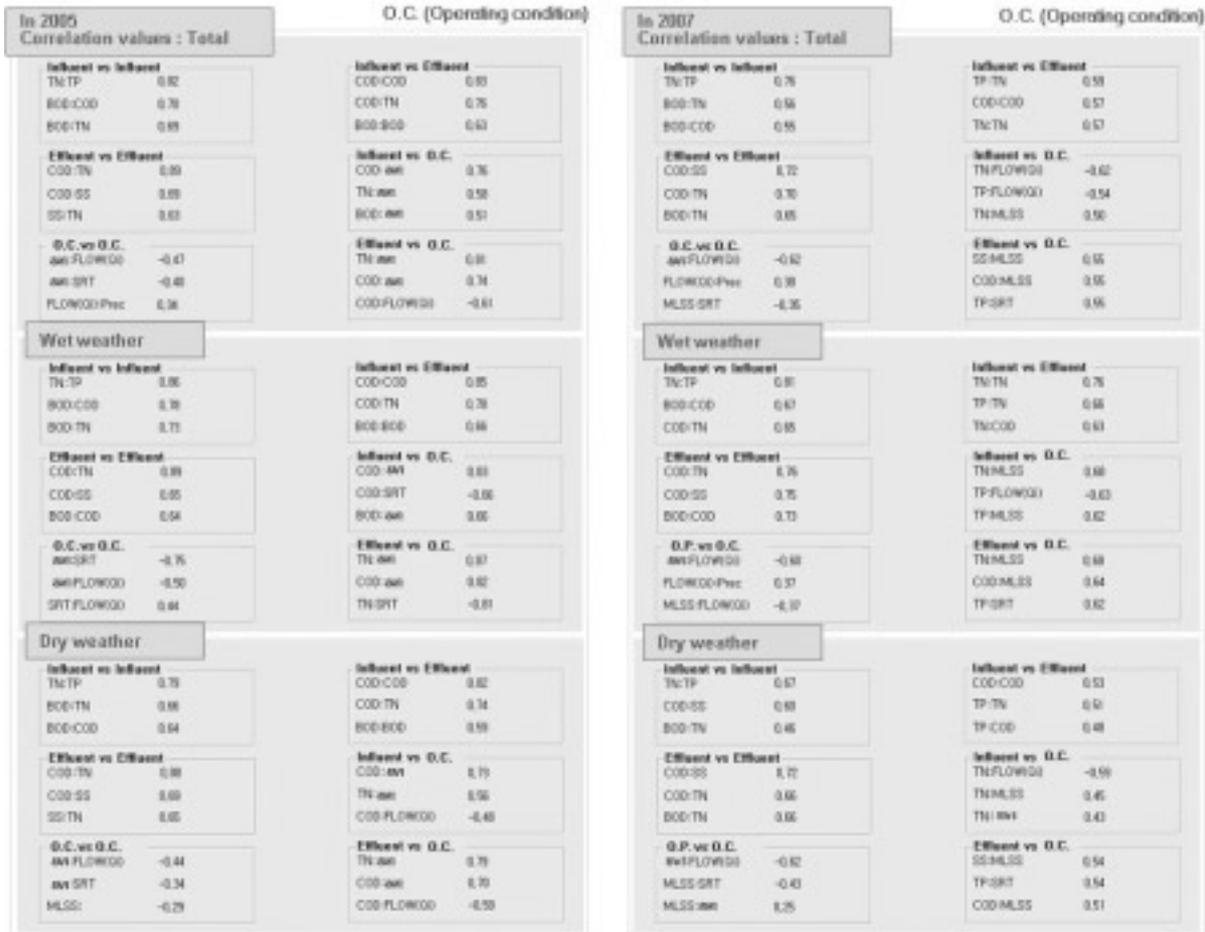


Fig. 4. Comparison of correlation(r) value.

앞선 2007년도에서의 유입유량, 유입수내 BOD, SS 성분의 누적발생화물분포표의 분석을 통해 확인 할 수 있는 결과와 일치하는 내용으로 당초 설계수질을 초과하여 유입되는 유입하수특성으로 인해 해당 항목의 방류수 수질이 악화된 것으로 추정되었다. 물론 하수처리장의 처리효율을 지배하는 인자로는 유입하수의 특성 이외에도 미생물 특성, 운전조건, 설비특성 및 사고발생 유무 등 다양한 원인을 들 수 있지만, 이들은 단시간 또는 일정 기간에서 영향을 미칠 수는 있으나 A 하수처리장은 평상시에 정상운전되고 있음을 고려한다면 이들 방류수에 영향을 미친 주요인자는 하수관거정비사업으로 인한 유입수 특성변동을 가장 지속적이고도 영향이 큰 지배인자로 추정할 수 있게 한다.

Dr. Wastewater ver.2를 이용한 각 인자별 상관관계 도출은 건기와 우기, 그리고 건·우기 통합으로 구분하여 수행되었다. 일반적으로 상관계수(r)은 두 변수간의 관련성의 정도를 측정하는 것으로 상관관계가 1에 가까울수록 두 변수간의 관련성이 매우 높으며 밑으로 치닫는 직선은 음(-)의 상관관계를 점증적으로 증가되는 직선의 형태는 양(+)의 상

관관계를 의미한다. Fig. 4의 전체(Total) 구간에서 확인 할 수 있듯이, 전체구간, 강우 및 건기에 대해 2007년 건기를 제외하고는 모두 조건에서 TN과 TP, BOD와 COD 그리고 BOD와 TN 등이 주로 높은 관계성을 나타내고 있었다. 높아진 방류수내 수질항목별 농도와 운전된 조건간의 상관관계를 살펴보면, 2005년도에 비해 2007년도 상관계수 값이 전반적으로 낮아지는 경향을 나타냈으며, 방류수 농도에 영향을 미친 주요 운전조건 역시 SVI에서 공정내 MLSS와 SRT로 바뀌는 것을 확인 할 수 있다. 이는 변화된 유입수질 특성에 대해 방류수 수질기준준수를 위한 운전조건의 변화가 필요했음을 나타낸 결과이다.

### 3.3. 폐슬러지 발생량 변화

하수관거정비사업으로 인한 유입하수특성의 변화가 해당 하수처리장의 수처리공정에 미치는 영향평가와 함께 폐슬러지 발생량 변화추이에 미치는 영향을 분석한 결과, Fig. 5에서 보는 같이, 2005년부터 폐슬러지 발생량은 점증적으로 증가하는 추세를 보이는 것으로 나타났다. 이는 앞선 Fig. 2

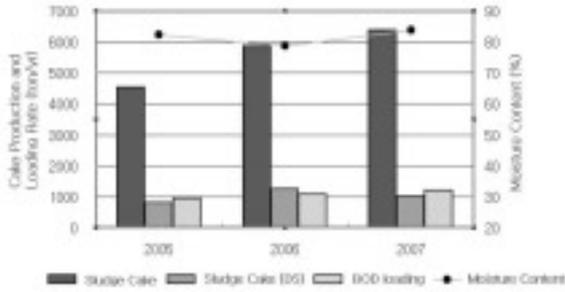


Fig. 5. Comparison of wasting sludge production for each year.

에서의 오염물질 농도증가추이와 유사한 증가양상으로, 동일유역에서의 유입수 특성변화가 해당 하수처리장의 슬러지 처리계통에도 직접적인 영향인자가 될 수 있음을 보여주고 있는 결과로 사료된다. A 하수처리장 기본 및 실시설계 보고서에 의하면, 2016년 계획 일일 슬러지 케익 발생량(함수율 75%)은 저농도와 고농도 유입수에 대해 각각 11 및 18톤/일으로 추정하고 있으나, 2006년과 2007년 일일 슬러지 케익 발생량은 각각 16 및 17톤/일로서 이미 2016년 계획 설계 발생량에 근접해 있음을 확인 할 수 있다.

이상의 결과를 종합하면, 하수관거정비사업의 성공적 수행은 불명수 저감과 하수관거내 오염물질의 농도증가라는 '순기능' 이외에도, 장기적으로는 하수처리장 유입수의 특성변화와 유입부하의 과도한 증대로 이어져 해당 하수처리장의 정상운전 곤란 및 방류수질 준수곤란 등의 '역기능'을 나타낼 수 있는 것으로 판단되었다. 사안의 시급성에 따라 유입하수특성변화에 능동적으로 대응하기 위한 방법으로는 해당시설의 증설 또는 부가공정의 도입 등의 공정개량(Process Retrofitting)을 통한 적극적 대응방안의 마련과, 정밀공정진단을 통한 공정최적화 방안의 마련이 필요할 것으로 사료되었다. 그러나 이러한 대응방안들은 전자의 경우 소요부지확보 및 예산확보의 어려움이, 후자의 경우 해당 시설의 여유용량에 따라 제한을 받을 수 있어 적절한 의사결정 시스템의 마련이 시급한 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

하수관거정비사업이 대상지역의 유입하수특성변화 및 해당 지역 하수처리장의 운전특성에 미친 영향에 대해 통계적으로 비교·분석한 결과는 다음과 같다.

1. 하수관거정비사업 시행초기인 2005년과 종료시인 2007년으로 구분하여 유입하수특성변화에 대한 기초통계분석을 실시한 결과, 2005년도 대비 2007년도의 전체기간(우기/건기)에 대한 항목별 평균값의 증가율은 각각 유량 3(15/-2)%, BOD 30(26/32)%, COD 2(5/2)%, SS 23(25/22)%, TN 32(28/35)%, TP 29(26/33)%

인 것으로 나타났다.

2. 2005년과 2007년에 수집된 유입하수의 특성 중 5개 항목(유량, BOD, SS, TN, TP)에 대해 각각 1년과 계절별로 기간을 구분하여 "짜지어진 표본 검정"을 실시한 결과, 1년간 유량변동 항목을 제외한 전 항목의 하수발생 특성이 하수관거정비사업으로 인해 크게 달라졌음을 확인 할 수 있었다.
3. 저농도 하수유입특성을 보이던 2005년도의 경우, A 하수처리장의 운전결과는 우수하고 안정적인 방류수질특성을 나타낸 반면, 상대적으로 증가된 유입하수농도에 영향을 받은 2007년도 A 하수처리장 운전결과는 BOD, SS, TN 등의 항목에 문제가 발생한 것으로 나타났다. 2005년도와 2007년도를 대상으로 실시된 유입하수, 방류수, 하수처리장 운전조건 간의 상관관계분석결과는 비교대상 항목 및 각각의 계수 값에 많은 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 폐슬러지 발생량 역시 유입하수의 농도증가추이에 따라 점증적인 증가추이를 나타냄을 확인 할 수 있었다.

전국에 걸쳐 장기간 수행된 하수관거정비사업은 시행 초기부터 현재에 이르기까지 불명수 차단을 통한 하수관거내 유량감소와 오염물질의 농도증가에 집중해 왔었고 이를 하수관거정비사업의 성과를 가름하는 중요한 평가인자로 인식해 왔다. 그러나 금번 연구를 통해 하수처리장에 미치는 영향이 고려되지 않은 하수관거정비사업은 상황에 따라 그 결과가 당초 기대와는 달라질 수 있음을 확인 할 수 있었다. 모쪼록, 금번 연구주제에 대한 지속적인 비교연구가 수행되어 보다 발전적이고도 미래지향적인 차기 하수관거정비사업의 수립과 수행에 기여하게 되기를 기대한다.



#### 참고문헌

1. 김연권 (2006) *하수처리장 진단프로그램(Dr. Wastewater)을 이용한 하수처리장 진단*, 상반기 물종합기술연찬회
2. 김연권, 김홍석, 김병균, 한인선 (2008) *Dr. Wastewater ver.2를 이용한 실무모 하수처리장 기술진단, 한국물환경학회·대한상하수도학회 2008년 공동 춘계학술발표회 논문집*.
3. 선상운 (2002) *신뢰성에 기초한 하수처리장의 설계 및 처리효율평가*, 한양대학교, 석사학위 논문
4. 송영일, 김현중, 임항선, 이성기 (2004) 광주시의 합류식 및 분류식 하수관거의 침입수/유입수(I/I) 조사, *수처리학회지*, 12(1), pp. 83-96
5. 신응배, 손대권, 이해승, 박문숙, 윤현식 (1994) 통계적 기법에

- 의한 하수처리장의 효율 평가: 서울시 하수처리장을 중심으로, **대한토목학회 1994년 학술발표대회 논문집**.
6. 정철권, 이재훈, 박규홍, 정연규 (2002) 불명수처리 및 관거보수 비용을 고려한 하수관거정비 최적화모델의 정비 효과 평가, **대한환경공학회지**, 24(12), pp. 2089-2100
  7. 정시문, 하성룡 (2007) 하수관거정비 사업을 통한 관거 내 침입수/유입수 변화 분석 : 경기도 여주군을 대상으로, **대한상하수도학회 2007년 추계학술발표회 논문집**
  8. 최근웅, 이상일 (2001) **하수관거정비의 기본방향**, 상하수도학회 특별심포지움 논문집
  9. 최계운, 이호선 (2007) 하수관거 정비사업 성과측정 및 유지관리 모니터링 시스템, **대한환경공학회지**, 29(8), pp. 857-863
  10. 황병기, 김경원 (2003) 구리시 발생하수특성 분석, **한국물환경학회지**, 19(4), pp. 425-434
  11. Berthouex P. M. (1994) **Statistics for Environmental Engineers**, Lewis Publishers
  12. Bertanza G. (1997) Simultaneous nitrification-denitrification process in extended aeration plants: pilot and real scale experiences, **Wat. Sci. Tech.** 35(6), pp. 53-61
  13. Collivignarelli C. and Bertanza G. (1999) Simultaneous nitrification-denitrification process in activated sludge plants: performance and applicability, **Wat. Sci. Tech.** 40(4-5), pp. 187-194
  14. Henze M. (1995) **Wastewater Treatment**, 2nd ed.
  15. Ra C. S., Lo K. V., Shin J. S., Oh J. S. and Hong B. J. (2000) Biological nutrient removal with an internal organic carbon source in piggery wastewater treatment, **Wat. Res.** 34(3), pp. 965-973
  16. Water Environment Federation (1994) **Existing Sewer Evaluation and Rehabilitation**, WEF Manual of Practice FD-6, pp. 68-79