

처리분구별 하수발생 특성 조사 - A시 O, M 처리분구 -

Investigating Wastewater Flow Characteristics - O and M Treatment Basins of A City -

황 병 기*

Hwang, Byung-Gi*

상명대학교 토목환경공학부

(2005년 3월 9일 논문 접수; 2005년 5월 31일 최종 수정논문 채택)

Abstract

Water quality sampling surveys and continuous measurement of flow were conducted to identify wastewater flow characteristics for representative catchment of O and M treatment basins in A city. For HS-1 station representing commercial area, wastewater flow rises in the beginning of office-working hours, moves up and down within narrow range, and lasts till office-leaving hour, and falls gradually reflecting worker's returning home. However, in HS-2 station representing residential area, wastewater flow has two peaks, which are before office-going hour and after office-leaving hour. In residential area, the flow rate of weekends is higher than that of weekdays because it reflects population, being not contributed to generate wastewater during the working hours of weekdays, stay home and produce wastewater for weekends period. To determine the priority for rehabilitation of sewer system, infiltration rate was computed by dividing infiltration flow by mean diameter and total length of sewer, and HS-1 station ranked the first.

Key words: wastewater sampling, continuous flow measurement, treatment basins

주제어: 하수샘플링, 연속유량측정, 하수처리구역

1. 서 론

공공수역의 수질보존을 위해 수립된 "물관리 종합 대책('96~'05)"은 전국의 상수원을 수질환경기준 2 급수 이상으로 개선하기 위해 지난 5년('96~'00) 동

안 하수종말처리시설 및 하수관거에 각각 6조 3,426 억 및 3조 8,071억 원을 투자하여, 하수도 보급률이 높아지고, 하수관거 연장 및 보급률이 증가하는 등 하수도 전반에 대한 양적인 성과는 이룩하였으나(김, 2001), 상수원의 수질은 크게 나아지지 않고 있는 실정이다. 이는 하수관거정비 불량으로 관 파손, 관 이

*Corresponding author Tel: +82-41-550-5307, FAX: +82-41-550-5313, E-mail: bh4a@smu.ac.kr (Hwang, B.G.)

음부 접합불량, 연결관 접속불량 등 관거의 불량부위를 통하여 관내로 여러 형태의 불명수가 유입되거나, 관내의 불량부위를 통하여 하수가 지하수로 흘러나갔거나, 맨홀부의 시공불량, 우수관의 오접 등으로 강우시 관거내로 우수가 유입되어 차집관거의 용량부족으로 월류수가 하천으로 방류되어 수원을 오염시킨 데 원인이 있었던 것으로 조사되었다(황 등, 2002).

관거불량으로 하수가 처리장으로 운반되는 과정에서 지하수유입이 43%, 하수누수가 36%로 되어 도달되는 하수는 총 107%가 되는 것으로 조사되어(최 등, 2000), 하수종말처리시설의 유입수질은 낮고, 유입하수량이 시설용량에 비하여 과대하여 지는 것이 문제점으로 보고되었다. 이에 따라 정부는 2005년까지 5조 7천 억을 투자하여 168개 지자체의 하수관거 24,601km를 정비하는 사업을 추진하고 있다(김, 2001).

본 연구는 하수관거정비사업의 일환(환경관리공단, 2002)으로, 아산시 관내 하수처리구역에서 발생한 시간에 따른 하수량 및 수질을 조사하여 용도지역별, 요일별(주중 및 주말) 하수발생특성을 파악하고 기존 하수관거정비 미비에 따른 문제점을 처리구역 및 처리분구별로 세분화하여 침입수/유입수(Infiltration/Inflow) 및 누수 등을 정량화하기 위한 기초자료로 활용하는데 목적이 있다.

2. 연구방법

2.1. 대상지역 현황

A시의 하수처리 구역은 Fig. 1에서와 같이 6개의 처리구역으로 구성되어 있다(아산시, 2003). 본 연구에서는 상업지역 및 주거지역을 대표하는 표본지역을 O 및 M 처리구역에서 선정하여, 채수 지점명을 각각

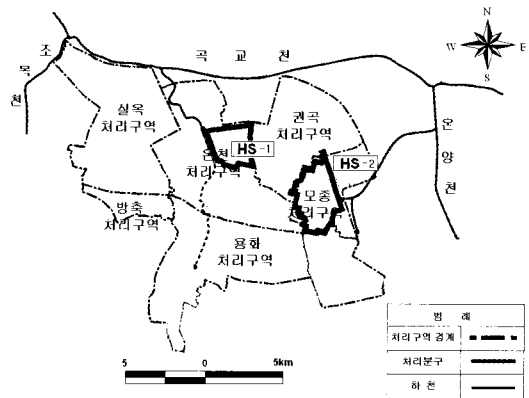


Fig. 1. Location of the study area showing wastewater treatment basins.

HS-1, HS-2로 명명하였다. Table 1에서와 같이 HS-1 지점의 하수배제 방식은 분류식으로 관공서 등이 있는 상업지역으로 조사되었으며, HS-2 지점은 상업/주거 혼합지역으로 합류식으로 구성되어 있다.

2.2. 유량 및 수질조사 방법

유량측정은 건기와 우기를 포함하여 자동유량계인 PCM-3, SIGMA 950를 사용하여 10분 간격으로 연속 측정하였다. 수질조사는 선정된 2개 표본지역에 대하여 Table 2와 같이 유량측정과 동일한 기간에 조사하였으며, 우기시 2회, 건기시 4회, 총 6회 수행하였다. 건기는 지점별로 24시간 동안 1시간 간격으로 24회 채수하였으며, 우기는 강우초기에 10~30분 간격으로, 강우중반부터 종료 시까지 1~2시간 간격으로 탄력적으로 채수하였다. 채수한 샘플은 냉장보관하여 실험실로 옮겨 BOD, CODcr, SS, T-N, T-P 등 5개 수질 항목을 수질오염공정시험법에 의하여 정량 분석하였다.

대상지역 하수량의 특성을 파악하기 위해 2004년

Table 1. Characteristics of sewage treatment basins

Station	Catchment	Types of sewer system	Population (capita)	Water consumption (m ³ /d)	Area (ha)	Sewer		Landuse types
						mean diameter (mm)	total length (km)	
HS-1	Onchun	separated	1,448	618	24.4	322	5.4	residential(30%)/commercial(70%)
HS-2	Mojong	combined	8,543	3,594	38.8	589	13.6	residential(60%)/commercial(40%)

Table 2. Flow measurement and water quality surveys

Station	Wet weather period		Dry weather period		day
	Flow	Water Quality	Flow	Water Quality	
HS-1	2004. 9. 6	1st : 2004. 9. 6 ~ 9. 7	2004. 11. 10 ~ 12. 04	1st : 2004. 11. 18 ~ 2004. 11. 19	WD
	~ 9. 11	2nd : 2004. 9. 10 ~ 9. 11		2nd : 2004. 11. 25 ~ 2004. 11. 26	WD
HS-2				3rd : 2004. 11. 26 ~ 2004. 11. 27	WK
				4th : 2004. 12. 03 ~ 2004. 12. 04	WK

WD: weekdays

WK: weekends

11월 10일~12월 4일 까지 10분 간격으로 유량을 연속 측정하였으며, 청천시 유량자료를 일별로 추출하여 이를 시간대별로 평균하여 일평균 하수발생량 변화 자료를 생성하였다. 또한 기간내 총 4회 수질 조사한 자료를 시간대별로 평균하여 각 수질항목별에 대하여 평균수질농도를 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 건기시 하수발생 특성

3.1.1. 용도지역별 하수량 및 농도의 시간적 변화

시간대별 하수발생량 및 수질 농도변화를 Fig. 2에 도시하였다. HS-1 지점에서 최대유량은 오전 10시경 425m³/d, 최소유량은 새벽녘인 오전 5시경 138m³/d로 조사되었다. 이 지역은 시청, 학교 등 공공기관과 하이마트 등 대형유통업체를 포함하는 상업지역이 우세한 지역으로 하수량은 오전 업무시간이 시작하는 오전 8시경부터 점차적으로 증가하기 시작하여 오후 4시경까지 지속되다가 오후 퇴근 시간대를 전후하여 감소하는 것으로 조사되었으며, 이는 관공서가 업무를 마치면서 활동인구가 줄어든 것을 반영하는 것으로 보인다. 수질농도는 하수량 패턴을 따르는 것으로 즉, 하수량이 증가할 때 수질농도도 대체적으로 증가하는 것으로 나타났다.

HS-2지점은 주거 및 상업이 차지하는 비율이 각각 60% 및 40%로 주거지역 성향이 다소 높은 지역으로, 최대유량은 오전 10시경에 3,388m³/d, 최소유량은 새벽녘인 오전 5시경 1,737m³/d를 보이는 것으로 조사되었다. 하수발생 패턴은 상업지역인 HS-1 지점과는 다르게, 오전 6시경부터 상승하였고, 직장인의 출근준비로 하수량이 상승하였기 때문으로 추정되며, 오전 12시경을 기점으로 하수량이 감소하는 것으로

나타났으며, 이는 가정에서 청소, 세탁 등 가사 일을 마치는 시간대를 반영한 것으로 추정되며, 오후 5시 이후 하수량이 증가하였으며, 직장에 나갔던 인구가 돌아오면서 하수량의 증가에 일조하는 것을 반영하여 작은 피크유량을 나타내는 것으로 사료된다. 수질농도 변화는 HS-1 지점에서와 같이 하수량 변화와 대체로 유사하게 나타났다.

3.1.2. 용도지역별 하수량 및 수질농도의 공간적 변화

가. 지점별 유량변화

지점별 유량 변화를 파악하기 위하여 최대 유량비 및 최소 유량비를 산정하여 Table 3에 나타내었다. 최소유량비는 평균유량에 대하여 최소유량이 차지하는 비율을, 최대유량비는 평균유량에 대하여 최대유량이 차지하는 비율을 나타낸다. HS-1 지점에서 최소유량비와 최대유량비는 각각 0.47과 1.78를 나타내었으며, HS-2 지점에서는 최소유량비 및 최대유량비를 각각 0.66 및 1.34로 나타내어 두 지역 모두 하수발생량 변동 폭이 작은 것으로 조사되었다.

일반적으로 상업지역의 경우 늦은 오후나 야간에 도 지역의 활성도가 계속되어 이에 대한 영향을 받아 하수량이 크게 줄지 않게 되어 최소유량비는 1에 가까운 값을 나타내고, 최대유량비도 1보다 크게 차이가 나지 않게 된다. 그러나, 주거지역은 이와 달리 보통 심야영업이 활성화되어 있지 않기 때문에 일반주거지역의 특성을 반영하여 새벽녘에 하수량이 상당히 감소하게 되어 최소유량비가 1에서 많이 떨어져 0에 가까운 값을 보이고, 최대유량비는 1에서 많이 떨어져 종종 10을 넘는 경우도 있다(황 등, 2003). 본 연구의 산정 결과는 이러한 지표로 판단하는 데 어려움이 있다.

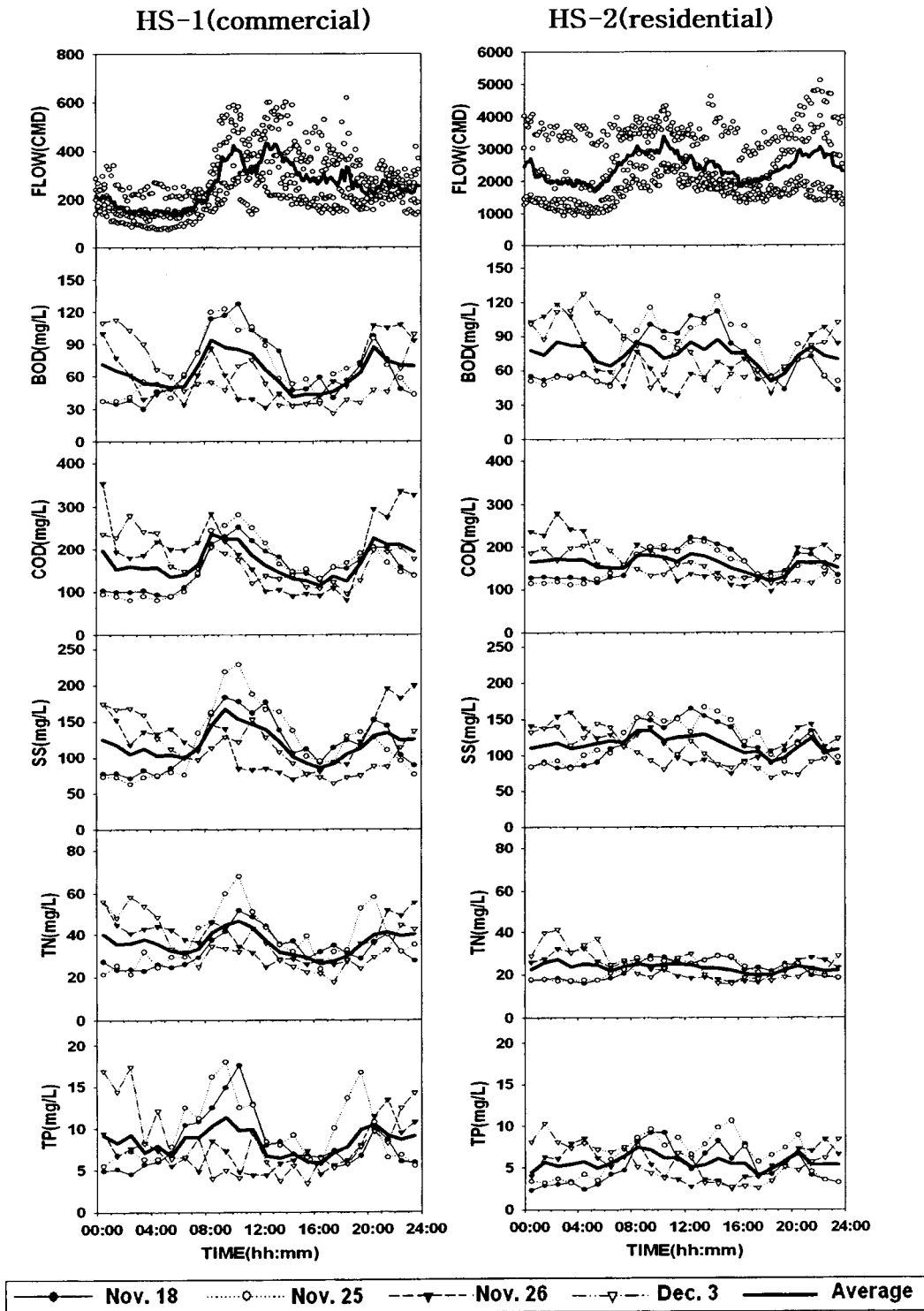


Fig. 2. Diurnal variation of wastewater flow and concentration for dry weather (Nov. 10 ~ Dec. 4, 2004).

Table 3. Maximum, minimum, and average flows and their ratios for landuse types (Unit: m³/d)

Station	Mean Flow	Minimum Flow	Ratio ¹⁾	Maximum Flow	Ratio ²⁾
HS-1	256	121	0.47	456	1.78
HS-2	2,834	1,871	0.66	3,787	1.34

1) Ratio of minimum flow to mean flow
2) Ratio of maximum flow to mean flow

나. 지점별 수질농도 변화

처리분구별 하수의 수질농도를 파악하기 위하여 건기 4회 채수하여 분석한 수질자료를 지점별로 같은 시간대별로 평균하여 평균, 최소, 최대 값으로 나타내었다.

상업지역을 대표하는 H-1 지점의 수질농도는, BOD 64mg(35~114), COD 161mg/L(89~273), SS 119mg/L(67~193), TN 36mg/L(23~54), TP 8mg/L(5~16)로, 주거지역을 대표하는 HS-2 지점의 수질농도는 BOD 74mg(17~32), COD 160mg/L(115~223), SS 115mg/L(77~151), TN 23mg/L(17~132), TP 6mg/L(3~9)로 평균 수질농도는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

상업지역의 경향을 나타내는 HS-1 지점에서 모든 수질항목의 농도변화 폭이 큰 반면, 주거지역의 경향을 나타내는 HS-2 지점의 농도변화 폭은 작으므로 나타났다. 이것은 주거지역에서는 비교적 일정한 유량 및 농도를 가진 하수를 배출하나, 관공서를 포함한 상업지역에서는 업무시간대에 활성도가 커서 하수발생량도 많고 이에 따라 수질농도도 대체로 높았으나, 직장인의 퇴근 시간대가 지나면서 지역의 활성도가 떨어져 급격한 하수량 및 수질농도의 감소로 인해 수질농도 폭에 큰 차이가 나타나는 것으로 추정된다.

다. 1인 1일 평균하수량 산정

지점별로 일일 평균 하수량에 시간을 곱하여 일일 총 하수발생량을 구하고 이를 처리구역내 인구로 나누어 1인 1일 하수발생량을 산정하여 **Table 4**에 요약하였다.

산정결과를 1인 1일 물소비량(350~400L)에 오수 전환율(0.85)을 곱하여 계산한 값과 비교하면, HS-1 지점은 1인 1일 물소비량의 절반에도 못 미치는 177L로 나타난 반면, HS-2 지점은 332L로 범위 내에 속하는 것으로 조사되었다.

Table 4. Unit wastewater loading rate for each station

Landuse types	Commercial	Residential
Station	HS-1	HS-2
Flow (L/capita/day)	177	332

HS-1 지점에서 1인 1일 하수발생량이 낮게 나타난 것은 학교, 시청 등 공공기관에 종사하는 인구는 업무시간에만 물소비를 하고, 그 이후는 물소비를 하지 않기 때문에 물소비량 측면에서 사용시간이 1일을 기준으로 할 때 1/3일 이하이고, 출근 준비시간 및 퇴근 후 등에 하수 발생에 기여를 하지 않기 때문에 전체적으로 하수발생량이 낮게 조사된 것으로 추정된다.

3.2. 침입수량 산정

3.2.1. 침입수량 산정결과

황 등(2002)에서 제시한 유량해 및 수질유량해를 이용하여 침입수량을 산정하여 **Table 5**에 나타내었다. 유량수질해(infiltration A)의 결과가 유량해(infiltration B)보다 대체로 높게 나타났으며, 이는 유량해는 야간 활동인구에 의한 하수발생량을 고려하지 않았기 때문으로, 가장 간단하고 경제적인 방법으로 보편적으로 사용하는 방법이나, 야간 활동인구가 많은 도심권을 포함하는 하수처리구역의 침입수량을 산정할 경우 오차가 크게 발생할 수 있다. 유량수질해는 야간 활동인구에 의한 하수발생량을 고려할 수 있는 방법이기에는 하나 유량해와는 달리 하수량 이외에 하수발생 시간대별 수질농도(BOD, COD 등)가 필요하여, 비용이 많이 드는 단점이 있다. 따라서 일평균최저유량 즉, 유량해로 간주하는 산정방법이 가장 간단하고 경제적이기 때문에 보편적으로 사용하기는 하나, 도심권을 포함하는 하수처리구역에는 야간활동인구에 의한 하수량을 반드시 고려해야 할 것으로 판단되어 유량수질해 방법을 통해 산정된 침입수량을

Table 5. Calculation of infiltration using infiltration A and B methods
(Unit: m³/d)

Station	Mean flow for dry period	Infiltration	
		Infiltration A	Infiltration B
HS-1	251	79(31%)	127
HS-2	2,834	1,181(42%)	1,765

위주로 함이 타당할 것으로 사료된다.

3.2.2. 침입율(Infiltration Rate)에 의한 우선순위 선정

침입수량을 관거연장과 평균관경으로 나누어 침입률을 산정하였으며, Table 6에 나타내었다. 침입수량은 HS-1 지점에서 79m³/d(31%)로 HS-2 지점에서 1,181m³/d(42%)로 나타났다. 각 지점에서 건기시 평균유량의 31%, 42%가 침입수량으로 선정되었으며, 이를 표준화하기 위하여 단위 관로연장당 단위 관경당 침입률을 산정하였다. HS-1, HS-2 지점에서 각각 0.046, 0.148m³/d/mm-km로 산정되어 HS-2 지점의 침입률이 높게 산정되어 HS-1 지점보다 문제가 심각한 것으로 나타났다.

3.2.3. 요일별 하수발생 특성

요일별로 용도지역별 하수발생 특성을 파악하기 위하여 60일 이상 연속 측정된 유량데이터를 공휴일을 제외하고 월요일 오전 0시부터 금요일 오후 12시 까지를 주중으로 그 나머지를 주말로 이분화하여 데이터를 생성하였다. 장우기간을 제외하고 건기시 주중 및 주말의 유량자료를 시간대별로 평균하여 Fig. 3 과 같이 하수발생량의 변화를 도시하였다.

HS-1 지점은 상업지역을 대표하며 관공서의 영향으로 주말이나 휴일에 관공서가 업무를 하지 않으므로 주말의 하수량이 주중보다 낮게 나타나는 것으로 조사되었다. HS-2는 주거지역을 대표하며 주중에 비해 주말의 하수발생량이 현저히 높은 것으로 나타났으며, 이는 주말 및 휴일에 직장인들이 가정에 머무르면서 하수발생인구가 증가한 것을 반영하는 것으로 판단된다. 황 등(2003)은 남양주시 하수처리구역에 대하여 주말 및 주중 하수발생 특성 연구를 수행한 바 있으며, 주거취락지역인 조안 처리구역 내 표본지역에서 HS-2 지역과 같이 주말의 하수발생량이 주중의 하수발생량 보다 상당히 높은 결과를 나타내었다.

주말 하수발생량 평균에서 주중 하수발생량 평균

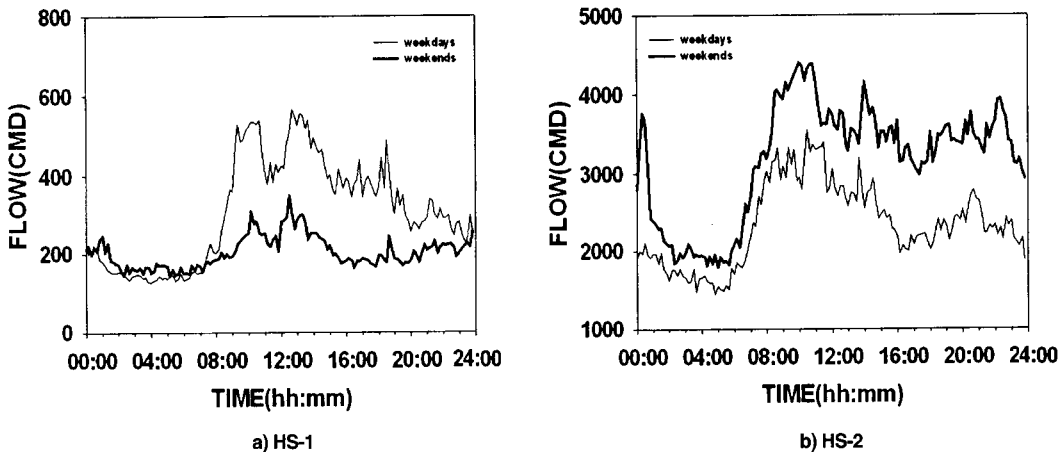


Fig. 3. Diurnal variation of wastewater flow by weekdays and weekends for landuse types.

Table 6. Calculation of priority by infiltration rate

Station	Area (ha)	Population (capita)	Sewer Length (km)	Mean Diameter (mm)	Infiltration (m ³ /day)	Infiltration rate (m ³ /day/mm-km)	Priority
HS-1	24.4	1,448	5.4	322	79.4	0.046	2
HS-2	38.8	8,543	13.6	589	1,181.1	0.148	1

Table 7. Characteristics of wastewater flowrates for weekday and weekend in dry weather periods

	Flowrates of weekday(m ³ /d) ^A	Flowrates of weekend(m ³ /d) ^B	Ratio*
HS-1	308	204	- 33.8
HS-2	2500	3167	26.7

$$* \frac{B-A}{A} \times 100$$

을 감하고 이를 주중 하수발생량 평균으로 나누어 변동 폭을 산정하였으며, 이를 **Table 7**에 나타내었다. HS-1 지점은 주중에 비하여 주말의 하수량이 낮은 것으로 조사 되었으며, HS-2 지점은 주중에 비하여 주말에 발생하는 하수량이 많은 것으로 나타났다.

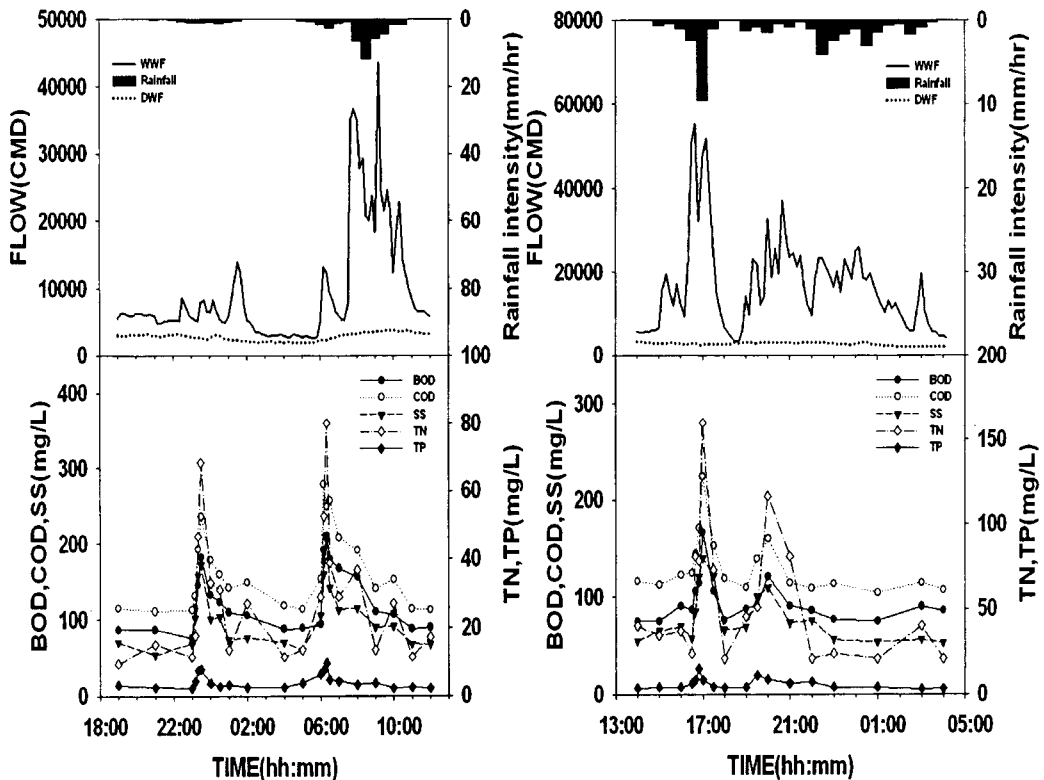
주중에 대한 주말의 하수 변동율을 용도지역별로 산정한 결과에 의하면, 상업지역인 HS-1 지점에서 -33.8%값이 산정된 것은 시청, 학교 등 주중에는 정상적으로 출근과 등교를 하지만 주말에는 출근을 하지 않아 하수량의 활성화가 없기에 음수 값이 산정된 것으로 판단된다. 주거지역인 HS-2 지점은 주중에

출근 시간대와 퇴근 시간 후의 하수발생량에만 기여를 하던 직장인이 주말엔 온종일 가정에 머물면서 하수발생량에 기여한 결과를 반영한 것이라 판단된다.

3.3. 우기시 하수발생 특성

조사기간내 1차(9월 6일~7일), 2차(9월 10일~11일) 2차례 강우사상이 있었으며, HS-2 지점의 유량 및 수질조사 결과를 **Fig. 4**에 나타내었다.

1차 강우시 총 강우량은 22mm, 최대 강우강도는 9월 6일 오후 8시 30분경 11.6mm/h로 조사되었으며, 유량 및 수질농도변화 추이를 **Fig. 4(a)**에 도시하였다.



(a) 1st rainfall(Sep. 6~7, 2004)

(b) 2nd rainfall(Sep. 10~11, 2004)

Fig. 4. Temporal variation of wastewater flow in wet weather (HS-2).

이 지역은 합류식으로 9월 7일 오전 9시경 43,469 m³/d로 최대유량을 보였으며 이는 같은 시간대 건기시 유량(점선)의 24배 이상에 해당하는 유량이 수질농도에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 유량이 상승하는 시간대에 수질농도도 상승하는 것으로 나타났으며 큰 유량이 지나간 후에 강우에 의한 희석 효과가 약해지면서 수질농도가 회복하는 경향을 나타내고 있다. 1차 강우시 오염물질의 농도는 BOD 76.5~210.0mg/L, COD_{Cr} 111.2~278.4mg/L, SS 53.9~203.9mg/L, T-N 14.7~50.0mg/L, T-P 2.2~9.6mg/L 농도로 건기시 수질농도의 2~3배 높게 조사되었다.

2차 강우시 총 강우량은 18.9mm이었으며, 최대 강우강도는 9월 10일 오후 5시경 9.6mm/h이었다. Fig. 4(b)는 2차 강우시 유량 및 수질변화추이를 나타내고 있으며, BOD 75.2~166.8mg/L, COD 104.6~223.9mg/L, SS 53.1~140.0mg/L, T-N 16.3~58.0mg/L, T-P는 최저 3.2~15.1mg/L로 분포하였다. 여기서 BOD, COD, SS 등의 수질농도가 1차 강우시보다 낮게 나타나는 것으로 조사되었으며, 이는 2차 강우시 선행무강우일수가 3일로 짧아 오염물질이 축적되는 시간이 충분하지 않아, 10일로 오염물질의 축적기간이 길었던 1차강우시 보다 수질농도가 낮게 나타난 것으로 추정된다.

4. 결 론

본 연구에서는 A시 O 및 M 처리구역에서 상업지역 및 주거지역을 대표하는 온천 및 모종 표본지역에 대하여 건기시 시간적, 공간적 하수발생량 및 농도 변화, 요일별 하수발생 특성, 강우시 하수발생특성을 조사하였으며 도출된 결과는 아래와 같다

1) 용도지역별 하수발생량 분석 결과, HS-1(온천) 지점은 상업지역으로, 하수량은 직장인의 업무시작 시간대인 오전 8시경부터 증가하여 오후 4시경까지 변화 없이 일정하게 지속되다가, 오후 퇴근 시간대를 지나면서 감소한 반면, HS-2(모종) 지점은 주거지역으로 직장인의 출근 준비 시간대인 오전 7시경부터 상승하여 유지되다가 가정에서 가사 일을 마치는 시간대인 오전 12시 부근에서 하수량이 감소하며, 직장

인이 귀가하는 퇴근 시간대를 지나면서 다시 증가하는 것으로 나타났다.

2) 수질농도의 시간적 변화는 하수발생량 패턴을 따라, 하수발생량이 많은 낮 시간대에 수질농도가 높고, 최저 유량을 보이는 새벽 시간대에 농도가 낮은 것으로 조사되었다. 용도지역별로 평균 수질농도는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 상업지역인 온천 지역에서 최저 및 최고 농도의 폭이 큰 것으로 나타난 반면, 주거지역인 모종 지역에서는 폭이 작은 것으로 나타났으며, 이는 온천 지역에서 공공기관의 하수발생량 비중이 커서 일과시간대와 나머지 시간대에 하수발생량의 차이가 컸으며, 이로 인하여 수질농도도 큰 폭으로 나타난 것으로 추정된다.

3) 요일별 하수발생 특성 조사결과, HS-1 지점의 주말과 주중의 하수발생변동량이 -33.8%로 나타났으며, 이는 주중에는 시청과 학교 등의 상업이 활성화 되어 이에 대한 영향이 반영된 것으로 판단되나 주말에는 영업을 하지 않아 이에 대한 하수량의 활성화가 없기 때문인 것으로 판단된다. HS-2 지점은 26.68%로 나타났으며, 이는 조사대상 지역내 상당부분의 하수량이 상업지역의 의한 발생량으로 추측되고, 또한 주중 가정에 머물지 않던 상당수의 인구가 표본지역 내로 이동함으로써 이에 대한 영향을 나타낸 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 2004학년도 상명대학교 교내연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

- 국립환경연구원 (1998) 하수도 시설개축 및 기능개선전략 연구.
- 김인섭 (2001) 하수관거정비 5개년계획 수립을 위한 타당성 조사, 2001년도 하수도연찬회 발표 자료집, pp.35-53.
- 아산시 (2003) 아산시 하수도정비 기본계획 변경.
- 윤현식 (2001) 한강수계 하수관거정비 시범사업 타당성조사 용역 추진현황, 2001년도 하수도연찬회 발표 자료집, pp.55-80.
- 이두진, 신용배, 윤현식, 선상운, 곽수동 (2003) 분류식 우수유출 오염부하 비교를 통한 CSOs 저감목표 설정 기

- 초연구. *대한환경공학회*, **25**(11), pp.1420-1428.
- 이두진 (2003) 강우시 도시지역 하수도 시스템의 통합운영 관리, 한양대학교 대학원 박사학위 논문.
- 정철권, 박규홍 (1999) 하수관거정비의 필요성 및 추진방법, *대한토목학회*, **47**(11), pp.5-11.
- 최근용, 이상일 (2000) 하수관거정비의 기본방향, 환경관리공단, pp.25-41.
- 한국건설기술연구원 (2001) 하수관거에서 발생하수량의 모니터링 시스템 구축방안연구(중간보고서).
- 환경관리공단 (2002) 아산시 하수관거정비 시범사업 타당성 조사 보고서.
- 환경부 (1997) 하수도시설기준.
- 황병기, 김경원, 정효준 (2002) 하수관거 I/I 분석 프로그램 개발 및 구리시 관내하수처리구역에 적용, *상하수도학회지*, **16**(4), pp.481-492.
- 황병기, 이의상, 김경원, 손정은 (2003) 남양주시 하수발생 특성연구, *한국환경영양평가학회*, **12**(2), pp.73-86.
- Harvey, T.E. (1995) Correction Sanitary Sewer Overflows: An Evaluation of the East Bay I/I Correction Program, Proc. of National Conference on Sanitary Sewer Overflows, US EPA.