

제주시 하수관거의 유량특성 및 I/I 분석

이 용 두 · 강 동 호 · 김 창 영*

제주대학교 환경공학과

*제주산업정보대학 환경시스템관리과

Analaysis of Flow characteristics and Infiltration/Inflow in Sanitary sewer of Jeju City

Yong-Doo Lee, Dong-Ho kang and Chang-Young Kim*

Dept. Environmental Engineering, Cheju National University, Jeju-Do. 690-756, Korea

**Dept. of Environmental Engineering, Jeju College of Technology, Jeju-Do. 690-714, Korea*

This study was performed to find out the basic informations for the investigation on the problems occurred in the sewer and the maintenance of the sewer constructed in the area of Jeju city. The amount of sewage and the infiltration/inflow were analysed to get the data.

The results of this study were summarized as follows:

1. The amount of sewage was measured continuously at the 3 stations and the average amount of sewage were 81.4 m³/day at Jeju-1 area, 4,959.5 m³/day at Jeju-2 area and 1,190.9 m³/day at Jeju-3 area. The minimum flow was checked at 3 to 5 a.m. and then the flow was increased after 6 a.m.. The maximum flow was showed at 8 to 10 a.m. and the peak flow was occurred at 8 th 10 p.m..
2. The amount of infiltration through the sewer was 15.1 m³/day at Jeju-1 area, 219.2 m³/day at Jeju-2 area and 108.7 m³/day at Jeju-3 area. The infiltration ratio against to the flow in the dry period at Jeju-1 area showed the minimum value of 4.42 % and that at Jeju-3 area showed the maximum value of 18.5 %.
3. The amount of exfiltration was 190.1 m³/day at Jeju-2 area, 29.1 m³/day at Jeju-3 area and almost 0 m³/day at Jeju-1 area.
4. The amount of accumulated inflow at Jeju-2 area was 26.4-17,122.7 m³ and the average amount of inflow was 847.1 m³/day. The amount of storm inflow at Jeju-2 area was 8,549.0 m³/day.
5. The amount of storm runoff was 1.2-2,597.6 m³/day at Jeju-1 area, and 10.7-13,045.4 m³/day at Jeju-3 area.

Key words : infiltration, inflow, infiltration ratio, exfiltration, storm inflow, storm runoff

서론

최근 환경부에 의하면 관거불량으로 하수가 처리장으로 운반되는 과정에서 지하수 유입이 43%, 하수누

수가 36%로 처리장 도달하수는 발생하수의 107%가 되는 것으로 조사되었다(환경부, 2001). 이와같이 하수관거에 부실이 생기면 발생하는 현상 중에 대표적인 것이 침투수/유입수(Infiltration/Inflow, 이하 I/I라 함)와 누수이다. I/I는 유량을 증가시켜 통수능을 저

하시키고 관거내 하수성상을 변화시켜 하수도체계에 악영향을 주고 토사도 같이 유입되어 관내에 퇴적물을 증가시키기도 하며, 누수는 토양과 지하수를 오염시키는 원인으로 작용하게 된다. 따라서 I/I와 누수의 제어를 위해서는 하수관거의 지속적인 유지관리 및 관거정비가 필수적이며 보다 정확한 I/I량과 누수량의 파악 및 관거정비 우선순위 선정, 신설관거의 부실도, 노후관거의 교체시기 등의 결정을 위해서는 하수관거 유지관리를 위한 영구시스템(Permanent System)의 도입이 무엇보다 절실히 필요한 시점이다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 외국의 경우에는 1980년대부터 관거의 I/I 분석을 통한 하수관거 유지시스템의 개발에 대한 연구가 진행되어 오고 있다(Swarner, 1995). Harvey 등(1995)은 합류식 하수관거에서 월류수를 통제하여 인근 방류구역의 수질관리를 위하여 I/I량을 조사한 바 있으며, Harvey 등에 의하면 우천시 최대 1.1×10^9 gpd에 달하던 하수량을 I/I 조절 프로그램을 시행함으로써 0.765×10^9 gpd로 감소하였다는 보고가 있다(Harvey et. al., 1995). 또한 미국의 경우 수질오염방지개정법(Water Pollution Control Act Amendments, 1972)에 근거하여 국고보조금 신청자는 해당지역 관거시스템 현황을 조사하도록 규정하고 있다. 또한 관거 평가 및 정비에 관한 법률 규정(40CFR35.927)에 의하면 해당지역 관거시설에서 과잉 침입수/유입수가 발생하지 않는다는 보고서가 첨부되어야만 국고보조금을 승인하고 있으며 여기에 추가적으로 I/I 분석과 관거시설평가조사(SSIS)에서 I/I를 보고하고 관거 및 맨홀을 보수하는 비용효과적인 방안을 제시하도록 하고 있다(US EPA, 1995). 따라서 현재 미국내 대부분의 도시에서 I/I 및 월류수를 관리하고 하수관거 정비의 타당성을 조사하기 위하여 하수도관리 종합시스템을 개발하여

운영 중에 있다(Crouch, 1995).

일명 불명수량이라 불리는 I/I 등의 문제로 인해 처리장의 실제 유입수질이 설계 유입수질에 미달되어 많은 재정의 투자에도 불구하고 하수처리의 효율이 낮게 나타났다. 하수처리의 효율적인 관리를 위하여 하수처리 구역내 기존 하수집수 계통의 문제점을 검토하고 하수관거 유지관리에 필요한 기본자료의 확보가 매우 시급한 시점이다.

따라서 본 연구는 제주도 하수처리구역 중 합류식 배제구역, 분류식 배제구역 및 혼합 형태의 지역을 각각 1개씩 선정하여 각 처리구역별로 건기시 및 우기시의 하수관거내의 유량 및 수질특성을 파악하고, I/I 및 누수량을 검토하여, 하수처리의 효율적인 관리와 향후 추진 예정인 하수관거 정비사업의 배수구역별 투자 우선 순위 결정 등에 필요한 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

조사지역 현황 및 연구방법

조사지역 현황 및 특성

본 연구의 대상인 제주시는 전체면적은 255.36 km²이며, 17개소의 지방 2급하천이 산재되어 있다. 제주도정비 기본계획(제주시, 2001)에 의하면 제주시 전역을 6개 배수구역으로 구분하고, 이중 49.29 km²을 6개의 처리구역으로 정하여 하수처리를 하고 있다.

제주시의 하수도 관거시설은 합류식과 분류식 관거가 혼재되어 있으며, 2011년을 목표로 하는 하수도 계획연장 1,567 km 중 2001년 말 현재 합류식 관거 662 km, 분류식 관거 304 km(우수관거 181 km, 오수관거 123 km)의 하수도가 설치되어 있다.

Table 1. Characteristics of study area

| Station | Types of sewer system | Landuse type | Population (per.) | Area (ha) | Sewer | | | Water consumption (m ³ /d) | Population density |
|---------|-----------------------|------------------------|-------------------|-----------|----------------|------------|-----------|---------------------------------------|--------------------|
| | | | | | Mean dia. (mm) | Length (m) | Pipe type | | |
| Jeju-1 | Combined | Residential | 1,908 | 1.3 | 512 | 471 | R.C | 329 | High |
| Jeju-2 | Seperated | Residential/commercial | 5,507 | 33.3 | 675 | 6,831 | R.C | 1,269 | Low |
| Jeju-3 | Combined+seperated | Residential | 13,563 | 60.10 | 853 | 13,222 | R.C | 2,743 | High/ low |

본 연구의 대상지역은 제주시 전체 배수구역 중 용도별 특성, 하수관거 현황 및 하수배제 방식 등을 기준으로 제주시의 유형별 특성을 대표할 수 있는 지역 3개소를 대상으로 하여 수행하였으며, 대상지역의 특성은 Table 1에 나타내었다.

유량조사

유량조사는 2002. 2. 23 - 5. 12까지 약 80일간 유량계를 설치하여 연속적으로 실시하였다. 유량계는 단면을 통과하는 흐름의 속도와 수면을 측정하여 유량을 계산하는 방식으로 자동측정 및 자료저장이 가능한 전자식으로 유속측정 범위는 -1.5~6.1 m/s이고, 정밀도는 ±2% 이다(Marsh-McBirney, 1995).

유량측정은 건기시와 강우시를 포함하여 실시하였으며, 건기시는 선행 건기일수를 5일 이상 고려하여 측정하였다. 분류식의 경우 오수관거는 건기시와 강우시 모두 측정하고, 우수관거는 건기시 유량이 있을 경우에 측정하였으며 유량측정은 야간 최저유량에서 강우시 최대유량까지 측정이 가능하도록 계획하였다. 측정 지점별로 매 5분 간격으로 연속 측정된 자료는 1주일마다 data를 down load하고, data 이상유무 점검시 센서 고정장치 점검 및 이물질 퇴적여부 점검 및 청소를 실시하여 유량 측정에 방해가 요인을 최대한 배제하였다.

I/I 및 누수량 분석

분석을 위한 기본 입력 DATA

유량측정 지점별로 I/I 및 누수량을 분석하기 위하여 다음과 같은 기초자료를 활용하였다. Table 2에 기초자료의 목록과 내용을 나타내었으며, Table 3에 분석항목별 분석대상을 나타내었다.

1) 유량데이터

2002년 2월 23일 00:00 ~ 2002년 5월 12일 24:00 사이에 각 측정 지점별로 측정된 유량자료를 이용하였다.

2) 기초현황자료

하수배제방식, 용도, 인구, 면적, 하수관거의 평균관

경 및 관거연장, 관중, 상수도사용량, 지형적 특성, 관선관거연장(km) 등 각 지역에서 조사된 자료를 사용하였다.

3) 강우 DATA

I/I 분석에 필요한 강우자료는 제주시에서 제공한 강우 DATA를 활용하였다.

4) 유량 DATA의 필터링

유량데이터의 적정성 여부를 다음과 같은 조건으로 판단하여 불량 데이터를 추출함으로써 분석 결과의 신뢰도를 향상시키고자 유량 측정 센서 설치부의 이물질, 토사 등으로 인해 측정 센서 오작동 기간의 데이터는 불량데이터로 처리하여 침투수량 산정시 제외하였다

침투수 산정

침투수량을 산정하는 데 있어서, 연속적인 측정에 따른 유량해 방법을 통해 산정된 침투수량을 기준으로 함이 타당할 것으로 판단되어 이 방법을 이용하여 I/I 및 누수량을 분석하였다.

침투수(Infiltration)의 평균값(m^3/d)은 유량해로부터 산정한 침투수량을 평균하여 구하며, 침투수 비율 및 침투율은 다음과 같이 계산하였다.

- 침투수 비율(%) : 건기 평균 유량 대비 평균 침투수량
- 침투율 ① ($\times 0.01 m^3/d\text{-km}\text{-mm}$)
= 침투수량(m^3/d) / {관거연장(km) \times 평균관경(mm)}
- 침투율 ② ($m^3/d\text{-ha}$)
= 침투수량(m^3/d) / 면적(ha)
- 침투율 ③ ($\times 0.01 m^3/d\text{-capita}$)
= 침투수량(m^3/d) / 인구(명)

유입수 산정

해당 지역의 강우시 발생하는 유입수는 건기시의 일유량 평균 자료와 강우시의 일유량 자료를 차감하여 산정하게 된다. 이러한 과정에 의해 강우자료를 입력하고 유량자료를 입력하여 건기시의 평균 자료를 산정하고 강우시의 자료와 비교하여 그 차를 유입수로 산정하였다.

Table 2. List of basic data and items for I/I analysis

| List of basic data | | Items |
|-------------------------------------|------------------|---|
| Sewer system | | Combined type, Seperated type, Combined type + Seperated type etc |
| Landuse type | | Residential, commercial etc |
| Population | | Populayion by study area(person) |
| Area | | Area by study area(ha) |
| Population density | | Population density by study area(per/ha) |
| Sewer | Average diameter | Average diameter by study area(mm) |
| | Length | Length by study area(m) |
| | Pipe type | Hume pipe, PE pipe, VR pipe etc |
| | Established year | Established year by study area |
| Status of sewer installed flowmeter | | Diameter, inclination, pipe type |
| Amount of water usage | | Amount of water usage during survey(m ³ /day) |
| Geological characteristics | | Hill, urban land, plain land etc |
| Length of main sewer | | Length of main sewer by study area(km) - Seperated sewer type |
| Data of storm | | Data from Meterological office or Provincial government |

Table 3. List of analyzed items and area

| Analyzed items | Analyzed area |
|---|--|
| Maximum, Minimu, Average flowrate (Q_{max} , Q_{min} , Q_{ave}) | - All area |
| Average amount of infiltration(Q_{infi}) | - Combined sewer - Sanitary sewer of the seperated system |
| Infiltration ratio(%) | - Combined sewer - Sanitary sewer of the seperated system |
| Infiltration Rate | - Combined sewer - Sanitary sewer of the seperated system |
| Amount of inflow during rainfall period | - Sanitary sewer of the seperated system |
| Design storm runoff | - Sanitary sewer of the seperated system |
| Inflow rate | - Sanitary sewer of the seperated system |
| Amount of storm runoff | - Combined sewer |
| Average amount of leakage(Q_{leak}) | - Combined sewer - Sanitary sewer of the seperated system |
| Analysis of storm | - All area |

강우유출수량 산정

합류식 관거에서 강우로 인하여 발생한 강우사상에 의해서 발생한 강우시 유량에서 건기 평균유량을 제하여 강우유출수량을 산정하고, 강우 사상 각각에 대하여 발생한 유입수 중 최고값 유입수량을 강우유출수 첨두유량으로 산정하였다.

기준강우 유입수량 산정

기준강우는 해당지역의 강우확률빈도 및 유역의 특성 등을 고려하여 결정되는 것으로서, 유입수(Inflow)량을 이용하여 대상 지역의 하수관거 부실도를 상대

적으로 비교하기 위해 적용되는 기준 강우 사상이다. 본 연구에서는 제주시 인근 지역의 과거 강우자료를 이용하였으며, 기준 지속시간은 조사지역의 관망자료를 근거로 하여 각 지점별로 지속시간을 구한 후 이를 확률 분석하여 적용하여 기준강우빈도(10년)와 지속시간(60분)을 적용하여 59.4 mm의 누적강우량을 기준강우로 선정하였다.

기준 강우 유입수량 산정은 기준 강우량 59.4 mm를 제주시의 분류식 오수관거 지역인 제주-2 지역에 적용하여 상대비교가 가능한 기준 강우 유입수량으로

산정하였으며, 기존강우의 유입률은 다음과 같이 구분하여 산정하였다.

- 유입률 ① ($\times 0.01 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{km}\cdot\text{mm}$)

$$= \text{유입수량}(\text{m}^3/\text{d}) / \{ \text{관거연장}(\text{km}) \times \text{평균관경}(\text{mm}) \}$$
- 유입률 ② ($\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{ha}$)

$$= \text{유입수량}(\text{m}^3/\text{d}) / \text{면적}(\text{ha})$$
- 유입률 ③ ($\times 0.01 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{capita}$)

$$= \text{유입수량}(\text{m}^3/\text{d}) / \text{인구}(\text{명})$$

누수량 산정

누수량은 유량과 수질을 동시에 측정한 경우만 분석이 가능하며, 각 수질 분석 결과를 토대로 누수량을 산정한 후 이를 평균하여 기간 중의 누수량으로 산정하였고, 일유량 비례상수를 산정하여 이를 통하여 야간활동 인구유량과 침투수량을 산출하고, 물질수지식을 통해서 누수량을 산정하였다.

결과 및 고찰

유량 변동 특성

유량측정 지점인 3개소의 유량을 측정한 결과를 토대로 건기 평균유량을 산정한 결과, 주로 고밀도 주거지역인 제주-1 지역은 81.4 $\text{m}^3/\text{일}$, 주거 및 상업지역인 제주-2 지역은 4,959.9 $\text{m}^3/\text{일}$, 고·저밀도 주거지역인 제주-3 지역은 1,190.9 $\text{m}^3/\text{일}$ 을 보였다.

각 지역의 건기 일평균 유량의 변화 형태를 Fig. 1 - 3에 나타내었다. 제주-1지역은 오전 3~4시를 전후로 하여 최소유량이 발생하였으며, 오전 6시 이후로 유량이 증가하는 양상을 보여 8시경에 최대값을 나타냈으며, 그 후 점차 감소하다가 오후 8시~10시경에 다시 침투 유량이 발생하였다. 제주-2와 제주-3 지역의 경우에는 오전 4시~5시를 전후로 하여 최소유량이 발생하였으며, 오전 10시를 전후하여 최대값이 발생한 후 점차 감소하다가 오후 9시를 전후하여 침투 유량을 나타낸 후 감소하는 추세를 보였다.

제주-1과 제주-3 지역은 전형적인 주거지역의 오수 발생 양상을 보이며, 상가지역인 제주-2 지역의 경우와는 달리 오후시간대에 하강곡선을 보인다.

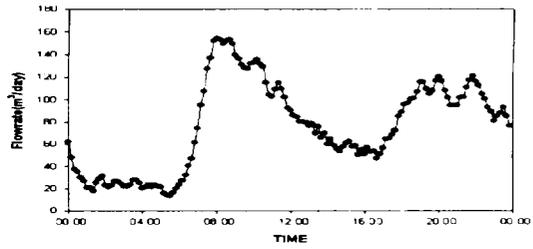


Fig. 1. Average flow rate in dry period of Jeju-1.

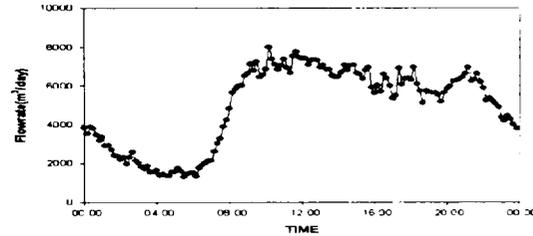


Fig. 2. Average flow rate in dry period of Jeju-2.

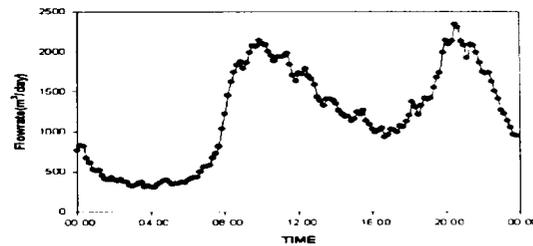


Fig. 3. Average flow rate in dry period of Jeju-3.

I/I 및 누수량 분석결과

건기 유량

건기 평균유량은 제주-1지역의 경우 81.4 $\text{m}^3/\text{일}$, 제주-2 지역은 4,959.8 $\text{m}^3/\text{일}$, 제주-3 지역은 1,190.9 $\text{m}^3/\text{일}$ 로 조사되어 제주-2 지역의 건기 평균유량이 가장 크고 제주-1 지역이 가장 작은 것으로 조사되었다.

침투수량

관거내에서 발생하는 침투수량은 제주-1 지역 15.1 $\text{m}^3/\text{일}$, 제주-2 지역 219.2 $\text{m}^3/\text{일}$, 제주-3 지역 108.7 $\text{m}^3/\text{일}$ 로 분석되어 양적으로는 제주-1 지역이 최소값, 제주-2 지역이 최대값을 갖는 것으로 조사되었으며, 건기 평균 유량에 대한 침투수량의 비율로 살펴보면 제주-2 지역이 4.4%로 최소값을, 제주-1 지역이 18.6%

Table 4. Results of I/I analysis in Jeju-1 area

| Station | Measured flows for dry period | | Anlys of Infiltration/Inflow | | | | | | | | | | | Anlys of storm: | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|------|----------------|---------------------------------|------|
| | Max./Min. (m ³ /d) | Avg. (m ³ /d) | Infiltration: | | | Inflow | | Design Storm Inflow | | | Storm Runoff | | I / I | | date | rain-fall (mm) | Avg. rainfall intensity (mm/hr) | |
| | | | Avg. (m ³ /d) | Ratio (%) | Infiltration rate | Acc. amount of flow (m ³) | Peak flow (m ³ /d) | Avg. Inflow (m ³ /d) | Amount of inflow (m ³) | Inflow rate | Acc. amount (m ³) | Peak flow (m ³ /d) | Avg. (m ³ /d) | avg. (m ³ /d) | | | | |
| Jeju-1 (Combined sewer system) | 493.4 | 81.4 | 15.1 | 18.50 | 6.25 | 11.59 | 1.37 | | | | | | | 15.1 | ≈ 0 | 02/24 | 3.0 | 1.00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 02/27 | 18.0 | 1.38 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 03/01 | 1.0 | 1.00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 03/05 | 23.0 | 1.35 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 03/14 | 8.0 | 1.35 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 03/21 | 14.0 | 0.42 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 03/29 | 9.0 | 0.38 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 04/06 | 12.0 | 0.92 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 04/14 | 6.0 | 0.14 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 04/20 | 19.0 | 1.50 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 04/22 | 18.0 | 1.50 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 05/03 | 55.0 | 2.62 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 05/05 | 2.0 | 1.00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 05/09 | 3.0 | 0.43 |

Table 5. Results of I/I analysis in Jeju-2 area

| Station | Measured flows for dry period | | Anlys of Infiltration/Inflow | | | | | | | | | | | Anlys of storm: | | | | |
|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|----------------|---------------------------------|------|
| | Max./Min. (m ³ /d) | Avg. (m ³ /d) | Infiltration: | | | Inflow | | Design Storm Inflow | | | Storm Runoff | | I / I | | date | rain-fall (mm) | Avg. rainfall intensity (mm/hr) | |
| | | | Avg. (m ³ /d) | Ratio (%) | Infiltration rate | Acc. amount of flow (m ³) | Peak flow (m ³ /d) | Avg. Inflow (m ³ /d) | Amount of inflow (m ³) | Avg. Inflow (m ³ /d) | Acc. amount (m ³) | Peak flow (m ³ /d) | Avg. (m ³ /d) | avg. (m ³ /d) | | | | |
| Jeju-2 (Separated sewer system) | 21926.0 | 4959.9 | 219.2 | 4.42 | 4.75 | 6.58 | 3.98 | 847.1 | 8549.0 | 165.40 | 256.73 | 155.24 | | 1066.3 | 190.1 | 03/01 | 1.0 | 1.00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 03/05 | 23.0 | 1.35 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 03/14 | 8.0 | 1.33 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 03/21 | 14.0 | 0.42 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 03/29 | 9.0 | 0.38 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 04/06 | 12.0 | 0.92 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 04/14 | 6.0 | 0.14 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 04/20 | 19.0 | 1.00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 04/22 | 18.0 | 1.50 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 05/03 | 55.0 | 2.62 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 05/05 | 2.0 | 1.00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 05/09 | 3.0 | 0.43 |

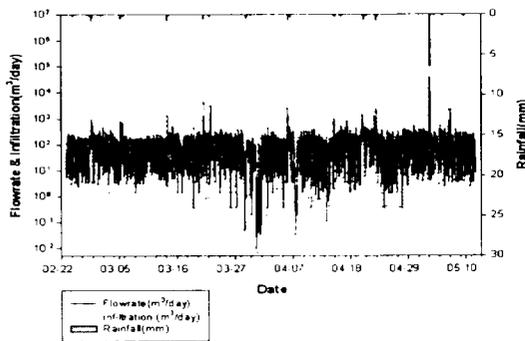


Fig. 4. Results of I/I analysis in Jeju-1 area.

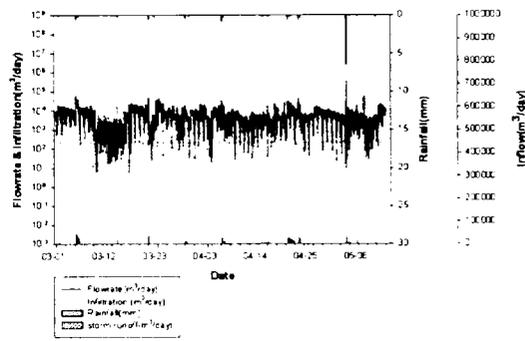


Fig. 5. Results of I/I analysis in Jeju-2 area.

강우유출수

합류식 및 합병식 지역을 대상으로 강우유출수를 산정한 결과 제주-1 지역 1.2~2,597.6 m³, 제주-3 지역 10.7~13,045.4 m³인 것으로 분석되었다.

발생하는 것으로 분석되었다.

5. 합류식 및 합병식 지역을 대상으로 강우유출수를 산정한 결과 제주-1 지역 1.2~2,597.6 m³, 제주-3 지역 10.7~13,045.4 m³인 것으로 분석되었다.

결 론

제주시 하수처리구역 중 합류식 배제구역, 분류식 배제구역 및 혼합 형태의 지역을 대상으로 유량 및 수질특성을 파악하고, I/I분석을 통하여 하수집수 계통의 문제점을 검토 및 하수관거 유지관리에 필요한 기초자료 확보를 위하여 실시한 본 조사 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 3개 지점에서 연속하여 하수관거의 유량을 측정된 결과 제주-1 지역은 81.4 m³/일, 제주-2 지역은 4,959.9 m³/일, 제주-3 지역은 1,190.9 m³/일을 보였다. 각 지역별 건기 일평균 유량의 변화 형태는 오전 3~5시를 전후로 하여 최소유량이 발생하였으며, 오전 6시 이후로 유량이 증가하여 오전 8~10시경에 최대값을 나타내었으며, 그 후 점차 감소하다가 오후 8시~10시경에 다시 첨두 유량이 발생하였다. 또한 요일별로는 최소값은 지역별로 다르나, 최대유량은 모든 지역에서 일요일에 가장 크게 나타났다.
2. 관거내에서 발생하는 침투수량은 제주-1 지역 15.1 m³/일, 제주-2 지역 219.2 m³/일, 제주-3 지역 108.7 m³/일로 조사되었으며, 건기 평균 유량에 대한 침투수량의 비율은 제주-2 지역이 4.42%로 최소값을, 제주-1 지역이 18.50%로 최대값을 나타내었다.
3. 유량측정자료를 토대로 누수량을 산정한 결과 제주-2 지역이 190.1 m³/일, 제주-3 지역이 29.1 m³/일로 조사되었으며, 제주-1 지역은 거의 '0'에 가까운 값을 보였다.
4. 분류식 지역인 제주-2 지역의 유입수를 산정한 결과 26.4~17,122.7 m³의 유입수가 발생하는 것으로 조사되었고, 평균유입수는 847.1 m³/일인 것으로 분석되었으며, 강우빈도, 강우강도 등을 토대로 59.4 mm의 기준 강우를 선정하여 기준 강우 유입수를 산정한 결과 8,549.0 m³의 기준강우유입수가

참고문헌

윤현식. 1999. 합류식 하수관거 월류수의 오염부하특성과 처리. 한양대학교 박사학위 논문.

이상일. 2001. 선진외국의 하수관거사업 추진 현황. 하수도 연찬회 발표자료집. pp. 81-138.

정권철 · 박규홍. 1999. 하수관거 정비의 필요성 및 추진방법. 대한토목학회47(11): 5-11.

제주시. 2001. 제주시 하수도 정비기본계획 변경(안).

최근용 · 이상일. 2000. 하수관거 정비의 기본방향. 환경관리공단. pp. 25-41.

환경부. 2001. 하수관거정비 타당성조사 관리계획. 환경부 상하수도국.

高島 · 田中 · 中村. 1995. 手賀沼流入河川における汚濁負荷量の流出特性及び年間負荷量の把握. 水環境學會誌, 18: 297-306.

關東地方建設局. 1997. 東京灣流域別下水道整備總合計劃に關する基本方針策定調査. 下水道總合計劃に關する基本方針策定調査. 平成7年度成果概要報告書. 建設省.

Crouch, D. 1995. A case study in inflow and infiltration management. Proc. of National Conference on sanitary sewer overflows. US EPA.

Harvey, T. E., Paeker, J. D. and Giguere, P.R. 1995. Correcting sanitary sewer overflows : An evaluation of the East Bay I/I correction program. Proc. of National Conference on sanitary sewer overflows. US EPA.

Marsh-McBirney Inc. 1995. Using the Flo-Tote system.

Merril, M. S. and Butler, R. 1994. New dimensions in infiltration/inflow analysis. Proc. of a Global Perspective for Reducing CSOs. WEF.

Shin, E. B., Yoon, H. S., Lee, Y. D., Pae, Y. S., Hong, S. W. and Joo, B. H. 2001. The effects of particle size distribution on the settleability of

- CSOs pollutants. Water Science and Technology. 43(5): 103-110.
- Swarner, R. and Thompson, M. 1995. Modeling inflow and infiltration in separated sewer systems. Proc. of National Conference on sanitary sewer overflows. US EPA.
- US EPA. 1990. Rainfall induced infiltration into sewer system. Report to Congress. EPA/430/09-90/005.
- US EPA. 1993. Manual of combined sewer overflows control. EPA/625.R-93/007.