

碩士學位論文

濟州市 下水管渠의 I/I 및 漏水量 分析

指導教授 李 容 斗



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

康 東 浩

2003

# 濟州市 下水管渠의 I/I 및 漏水量 分析

指導教授 李 容 斗

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2003년 6월 일

濟州大學校 産業大學院



康東浩의 工學 碩士學位 論文을 認准함.

2003년 6월

委員長 오 윤 근 인

委 員 감 상 규 인

委 員 이 용 두 인

# 목 차

Summary	
I. 서 론	1
II. 이론적 고찰	3
1. I/I, 누수의 정의 및 산정방법	3
1.1 I/I 및 누수의 정의	3
1.2 I/I와 누수의 산정방법	5
2. I/I 관련 국·내외의 연구 및 적용사례	6
III. 조사지역 현황 및 연구방법	7
1. 조사지역 현황 및 위치도	7
1.1 조사지역의 하수처리 현황	7
1.2 조사지역의 특성 및 위치도	8
2. 유량조사	9
3. 수질조사	10
3.1 수질조사 항목 및 횟수	10
3.2 시료 채취 및 운반방법	10
4. I/I 및 누수량 분석	11
4.1 분석을 위한 기본 입력 자료	11
4.2 I/I 및 누수량 산정방법	14
IV. 결과 및 고찰	22
1. 각 지점별 유량 및 수질변동 특성	22
1.1 유량 변동 특성	22
1.2 수질 변동 특성	25
1.3 오염부하량 분석	34
2. I/I 및 누수량 분석결과	38
V. 결 론	46
VI. 참고문헌	48

## 표 목 차

<Table 1>Status of sewerage in Jeju City .....	8
<Table 2>Characteristics of study area .....	9
<Table 3>List of basic data and items for I/I analysis .....	13
<Table 4>List of analyzed items and area .....	14
<Table 5>Average flow rate with a day of the week .....	24
<Table 6>Daily average concentration of Jeju-1 .....	27
<Table 7>Daily average concentration of Jeju-2 .....	29
<Table 8>Daily average concentration of Jeju-3 .....	32
<Table 9>Pollutant load and average concentration of Jeju-1 area ..	35
<Table 10>Pollutant load and average concentration of Jeju-2 area ..	36
<Table 11>Pollutant load and average concentration of Jeju-3 area ..	37
<Table 12>Results of I/I analysis in Jeju-1 area .....	40
<Table 13>Results of I/I analysis in Jeju-2 area .....	42
<Table 14>Results of I/I analysis in Jeju-3 area .....	44

## 그 립 목 차

<Fig 1>Diagram of infiltration and inflow .....	4
<Fig 2>Location site .....	9
<Fig 3>Process of infiltration assessment .....	16
<Fig 4>Process of inflow assessment .....	17
<Fig 5>Process of storm runoff assessment .....	18
<Fig 6>Process of design storm inflow assessment .....	20
<Fig 7>Process of leakage assessment .....	21
<Fig 8>Average flow rate in dry period of Jeju-1 .....	23
<Fig 9>Average flow rate in dry period of Jeju-2 .....	23
<Fig 10>Average flow rate in dry period of Jeju-3 .....	24
<Fig 11>Average flow rate with a day of the week .....	25
<Fig 12>Daily average concentration of Jeju-1 .....	27
<Fig 13>Daily average concentration in dry period of Jeju-1 .....	28
<Fig 14>Daily average concentration in rainfall period of Jeju-1 .....	28
<Fig 15>Daily average concentration of Jeju-2 .....	30
<Fig 16>Daily average concentration in dry period of Jeju-2 .....	30
<Fig 17>Daily average concentration in rainfall period of Jeju-2 .....	31
<Fig 18>Daily average concentration of Jeju-3 .....	32
<Fig 19>Daily average concentration in dry period of Jeju-3 .....	33
<Fig 20>Daily average concentration in rainfall period of Jeju-3 .....	33
<Fig 21>Results of I/I analysis in Jeju-1 area .....	41
<Fig 22>Results of I/I analysis in Jeju-2 area .....	43
<Fig 23>Results of I/I analysis in Jeju-3 area .....	45

# **Analysis of Infiltration / Inflow and Leakage in Sanitary Sewer of Jeju City**

Dong-Ho Kang

DEPARTMENT OF CONSTRUCTION AND ENVIRONMENTAL  
ENGINEERING GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY



(Supervised by Professor Yong-Doo Lee)

## **Summary**

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  $81.4\text{m}^3/\text{day}$  at Jeju-1

area, 4,959.5m<sup>3</sup>/day at Jeju-2 area and 1,190.9m<sup>3</sup>/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 average water quality in the dry period was measured relatively lower early in the morning and this was considered that the dilution effect was occurred by the infiltration water. In the rainy period the water quality was not changed worse rapidly and this is considered that the water quality of sewage was not influenced by the first flush of the early storm.

3. The amount of infiltration through the sewer was 15.1m<sup>3</sup>/day at Jeju-1 area, 219.2m<sup>3</sup>/day at Jeju-2 area and 108.7m<sup>3</sup>/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%.

4. The amount of accumulated inflow at Jeju-2 area was 26.4-17,122.7 m<sup>3</sup> and the average amount of inflow was 847.1m<sup>3</sup>/day. The amount of storm inflow at Jeju-2 area was 8,549.0 m<sup>3</sup>/day.

## I. 서 론

우리나라 하수도는 1980년대초 하수도법을 제정, 본격적인 하수처리사업을 시작하여 '86 및 '88 아시안게임 및 올림픽유치를 계기로 하수도에 대한 관심이 급증하고, 본격적인 투자증대가 이루어진 이래 최근에는 소규모 마을하수도사업, 관거정비사업, 하수 고도처리사업·연계처리 및 통합 운영관리분야까지 빠른 속도로 선진화 되고있다. 1993년의 하수도보급율 41.3%에서 2001년에 73.2%로 신장된 것은 최근 우리나라의 하수도가 얼마나 많이 발전했는지를 정량적으로 나타내 준다. 이 중 하수관거의 보급률은 1993년의 60.7%에서 2001년의 63.8%로 3% 정도 증가하였다. 지난 10여년간 하수도정책이 얼마나 하수관거 보급을 상대적으로 경시하고 하수처리장 신·증설에 치중해 왔는지를 단적으로 보여주고 있다.

1996년도 환경부 자료에 의하면 하수가 처리장으로 운반되는 과정에서 관거 불량으로 지하수 유입이 43%, 하수누수가 36%로 처리장 도달하수는 발생하수의 107%가 되는 것으로 조사되었다. 이와같이 하수관거에 부실이 생기면 발생하는 현상 중에 대표적인 것이 침투수/유입수(Infiltration/Inflow, 이하 I/I라 함)와 누수이다. I/I는 유량을 증가시켜 통수능을 저하시키고 관거내 하수성상을 변화시켜 하수도체계에 악영향을 주고 토사도 같이 유입되어 관내에 퇴적물을 증가시키기도 하며, 누수는 토양과 지하수를 오염시키는 원인으로 작용하게 된다. 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 오래전부터 관거의 I/I 분석을 통한 하수관거 유지시스템의 개발에 대한 연구가 진행되어 오고 있다. Crouch(1995)는 합류식 하수관거에서 월류수를 통제하여 인근 방류구역

의 수질관리를 위하여 I/I량을 조사한 바 있으며, Harvey 등(1995)에 의하면 우천시 최대  $1.1 \times 10^9$  gpd에 달하던 하수량을 I/I 조절 프로그램을 시행함으로써  $0.765 \times 10^9$  gpd로 감소하였다는 보고가 있다. 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 I/I 가 발생하지 않는다는 보고서가 첨부되어야만 국고보조금을 승인하고 있으며 여기에 추가적으로 I/I 분석과 관거시설평가조사에서 I/I를 보고하고 관거 및 맨홀을 보수하는 비용효과적인 방안을 제시하도록 하고 있다. 따라서 현재 미국내 대부분의 도시에서 I/I 및 월류수를 관리하고 하수관거 정비의 타당성을 조사하기 위하여 하수도관리 종합시스템을 개발하여 운영 중에 있다.

일명 불명수량이라 불리는 I/I 등의 문제로 인해 처리장의 실제 유입수질이 설계 유입수질에 미달되어 많은 재정의 투자에도 불구하고 하수처리의 효율이 낮게 나타났다. 부실한 하수관거에서 I/I 문제를 바로 잡고 집수설비를 정비하면 하수관거의 과부하와 폐수의 역류나 월류와 관련된 문제점이 적어지고, 하수처리시설의 보다 효율적인 운전과 I/I 대신에 처리를 요하는 폐수 집수설비의 수리학적 용량을 활용할 수 있는 등 지역사회에 많은 이익을 주게 된다. 이러한 관점에서 정부에서는 2002년을 하수관거 정비 원년의 해로 정하고 하수관거 정비사업을 본격적으로 진행시키고 있는 것은 매우 바람직한 정책방향이라고 생각한다. 이런 중앙정부의 정책에 부응하여 제주시에서도 대대적인 하수관거 정비를 계획중에 있으며, 하수처리의 효율적인 관리를 위하여 하수처리 구역내 기존 하수집수 계통의 문제점을 검토하고 하수관거 유지관리에 필요한 기초자료의 확보가 매우 시급한 시점이다.

따라서 본 연구는 제주시 하수처리구역 중 합류식 배제구역, 분류식 배제구역 및 혼합 형태의 지역을 각각 1개소씩 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 기초자료의 확보를 목표로 하여 실시하였다.

## II. 이론적 고찰

### 1. I/I, 누수의 정의 및 산정 방법

#### 1.1 I/I 및 누수의 정의

하수관거에 부실이 생기면 발생하는 현상 중에 대표적인 것이 I/I이다. I/I는 유량을 증가시켜 통수능을 저하시키고 심지어는 맨홀 밖으로 월류(SSOs, Sanitary Sewer Overflows)되어 침수지역을 발생시키기도 하며, 처리장의 하수농도를 저하시켜 하수처리장 효율을 크게 저하시키는 악영향을 준다.

한편, 누수는 지하수위가 하수관보다 낮게 내려갈 때 관거의 불량부위로부터 하수가 새는 현상으로 주변 토양과 지하수를 오염시키는 원인이 된다. 침투수와 유입수는 아래와 같이 정의할 수 있으며, Figure 1은 하수관거에 도입되는 외부 흐름인 침투수와 유입수를 도시한 것이다.

#### 1) 침투수(Infiltration)

파손된 관, 연결부 또는 맨홀벽 등 관거의 불량부위를 통하여 지하에서 하수 이외의 지하수 등 물이 하수관거로 침투하는 것을 의미한다.

#### 2) 지속적 유입수(Steady Inflow)

지하실, 기초 배수구, 냉각수 배출, 샘이나 습지의 배수구 등에서 배출되는 물, 이러한 유형의 유입수는 지속적이며, 침투수와 같이 인식되고

측정된다.

### 3) 직접 유입수(Direct Inflow)

강우유출수가 하수관거에 직접 연결된 형태로 거의 즉시 폐수량을 증가시킨다. 가능한 발생원은 지붕물받이, 정원 및 마당의 배수구, 맨홀 뚜껑, 우수관거와 집수관거의 교차 연결부와 합류식 하수관거이다.

### 4) 지연 유입수(Delayed Inflow)

하수관거를 통해 배출되기까지 여러 날 또는 그 이상이 필요한 우수를 말한다. 이것은 연못이 있는 지역에서 맨홀을 통하여 서서히 유입되는 지표수뿐만 아니라, 지하실 배수구에서 양수되는 물도 포함할 수 있다.

### 5) 총 유입수(Total Inflow)

하수관거의 어느 지점에서 직접 유입수와 그 지점 상류에서의 유출수량, 양수장으로 우회유량 등을 합한 값이다.

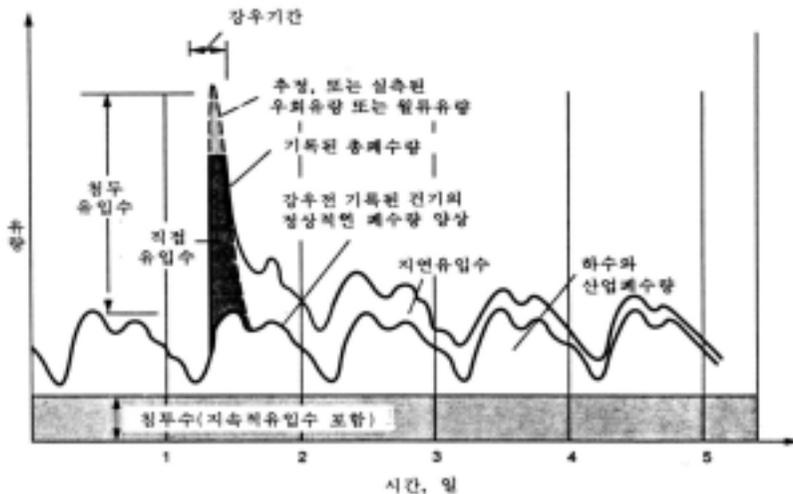


Figure 1. Diagram of infiltration and inflow

## 1.2 I/I와 누수의 산정 방법

### 1) 물 사용량 평가 방법 (Water Use Evaluation)

본 방법은 상수사용량을 이용하여 가정에서 관거로 배출하는 하수량을 산정하고 이를 측정지점에서의 측정유량에서 감하여 관거로 침투하는 유량을 산정하는 방법이다.

### 2) BOD 평가 방법 (BOD Evaluation)

본 방법은 가정과 공장 등에서 발생하는 BOD 부하를 이용하여 침투수량을 산정하는 방법으로서, 침투수가 없는 가정하수의 평균 BOD 농도를 200mg/L로 가정하여 부하량을 산정하고 이를 측정지점에서의 BOD 부하량에서 제하여 침투수량을 산정하는 방법이다.

### 3) 일 최저 유량 평가 방법 (Minimum Daily Flow Evaluation)

본 방법은 일 최저 유량이 발생하는 시점에서의 야간발생 하폐수유량을 '0'으로 간주하여 야간최저유량 즉, 일 최저 유량을 침투수량으로 산정하는 방법이다.

### 4) 일 평균·최저 유량-수질 평가 방법

본 방법은 대상 측정지점에서의 유량 및 수질(BOD, COD 등)을 실측하여, 일 평균, 일 최저유량(야간최저유량) 및 수질 자료를 이용하여 야간발생 하폐수를 산정하고 침투수량을 산정하는 방법이다.

### 5) 일 최대-최소 유량 평가 방법 (Maximum-Minimum Daily Flow Evaluation)

본 방법은 건기시 일중 유량 변동이 모두 가정하수에 기인하는 것으로 가정하고 일 최대 유량과 일 최소 유량간의 변화량을 가정하수 발생량으로 간주하여 이를 측정지점의 유량에서 감하여 침투수량을 산정하는 방법이다.

### 6) 유입수 평가방법(Inflow Evaluation)

유입수 평가방법은 강우시 유량과 건기시 유량의 차를 통해 산정하는 방식으로서, 강우시 일최대 유량과 건기시 평균유량을 각각 산정하여 이를 일최대 유입수량으로 간주하고, 강우시 첨두유량과 건기시 첨두유량의 차를 산정하여 이를 강우유발 첨두율로 간주하는 방식이다.

## 2. I/I 관련 국내·외의 연구 및 적용 사례

국내의 경우 하수관거 부실에 대한 정비대책 수립을 위한 노력의 일환으로 불명수 차단을 위한 연구는 일부 있었으나 하수관거 내에서 발생하는 I/I 산정을 위한 정량화된 방법을 제시하는 체계적인 연구는 미흡한 실정이다. 그러나 선진외국의 경우에는 I/I분석을 통한 하수도시설의 정상화를 위해 다양한 전산모델을 개발하고 이를 통한 하수도시설의 실시간 제어로 하수관거 시설의 효율적인 운영을 도모하고 있다.

미국의 여러 도시에서는 하수도 운영에 전산시스템을 이용한 효율적인 시스템을 개발하여 환경적, 경제적 이익을 창출하고 있는 바, 특히 Washington주의 King County에서는 하수관 예측제어시스템과 하수처리장 자동운영시스템을 연계 운영하고 있으며, California주의 LA시는 하수관거에 의한 태평양 연안의 해양오염을 방지하기 위하여 관거해석 전산모형과 해양오염관리를 위한 유역관리 GIS, 원격계측시스템(TMS)을 통합적으로 구축하여 운영하고 있다. 미국 EPA에서 1969년에서 1971년에 사이에 개발된 SWMM 모형은 도시지역의 수량 및 수질을 모델링하기 위하여 개발된 모형으로서 유역내 강우, 지표유출, 수질변화에 관계된 모든 부분의 해석을 수행할 수 있게 개발되었으며, 유역내의 우수관로, 합류식 관로, 자연배수로 등에서의 유동, 수위, 오염물 농도 등을 해석하는데 사용되고 있다. 또한 Cincinnati의 경우 분류식 및 합류식 하수관거의 하수관망을 시뮬레이션하는 수리수문 모델링 프로그램 SWM(System Wide Model)을 개발하여 프로그램의 설치 이후 2002년 말까지 수정을 하고 지속적으로 업데이트와 유지관리, 추가개발을 할 예정이다.

한편, 미국보다 하수도 개발의 역사가 긴 유럽의 경우, 프랑스는 실시간

제어시설을 설치, 운영하고 있으며, 덴마크의 DHI(Danish Hydraulic Institute)사는 통합적 유역모델링시스템(하수관, 하수처리장 제어모형, 수질해석모형 등)을 개발하여 이 시스템을 고가로 판매하고 있다. 이탈리아 Venice의 경우에도 부영양화된 베니스 연안의 수질 개선을 위하여 하수관거에서 하수처리장에 이르는 통합적 하수도 관리 시스템을 구축하고 있으며 노르웨이의 Halmstad시에서도 하수관거 및 하수처리장의 최적 활용을 위하여 하수도 실시간 제어를 시행하고 있어 하수관 I/I 저감과 하수처리장의 처리율 향상에 상당한 효과를 나타내고 있다.

일본의 경우에는 동경시에 하수도정보관리시스템을 구축하여 하수도대장 전산화, 하수도 시설관리, 하수도 시설 전산 운영 체제 확립을 수행하고 있으며, 일본에서는 불명수를 분석해 내는 기능을 갖추고 있는 소프트웨어를 독자 개발하여 사용 중에 있다.

### III. 조사지역 현황 및 연구방법

#### 1. 조사지역 현황 및 위치도

##### 1.1 조사지역의 하수처리 현황

본 연구의 대상인 제주시 전체면적은 255.36km<sup>2</sup>이며, 17개소의 지방 2급 하천이 산재되어 있다. 제주시 하수도정비 기본계획에 의하면 제주시 전역을 6개 배수구역으로 구분하고, 이중 49.29km<sup>2</sup>을 6개의 처리구역으로 정하여 하수처리를 하고 있다.

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

제주시의 1일 발생 생활하수는 86,440m<sup>3</sup>/d이며, 이중 처리구역 내에서 발생하는 83,280m<sup>3</sup>/d의 하수는 처리용량 130,000m<sup>3</sup>/d 규모의 하수종말처리장 1개소, 중계펌프장 14개소 및 총 연장 49km의 차집관로 등에 의해 처리되고 있다.

Table 1. Status of sewerage in Jeju City

(2001. 12. 31)

Total population (person)	Treated population (person)	Supply rate ( % )	Lenght of sewer( km )				
			Planned length	Sewer types			
				Total	Combined sewer	Sanitary sewer	Storm sewer
285,097	273,693	96.0	1,568	966	662	181	123

## 1.2 조사지역의 특성 및 위치도

본 연구는 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 특성 및 위치를 Table 2 와 Figure 2에 나타내었다.

### 1) 제주-1지역

제주시 연동 제원아파트 지역으로 주로 주거지역이며, 합류식 하수배제 방식이다.

### 2) 제주-2지역

상가 및 저밀도 주거지역으로서 가령교 남쪽지역과 법원 주변지역이며 분류식 하수배제 방식이다.

### 3) 제주-3지역

가령교 북쪽인 고·저밀도 주거 합병지역으로 합류 및 분류식 혼합형 배제방식이다.

Table 2. Characteristics of study area

Station	Types of sewer system	Landuse type	Population (per.)	Area (ha)	Sewer			Water consumption (m <sup>3</sup> /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

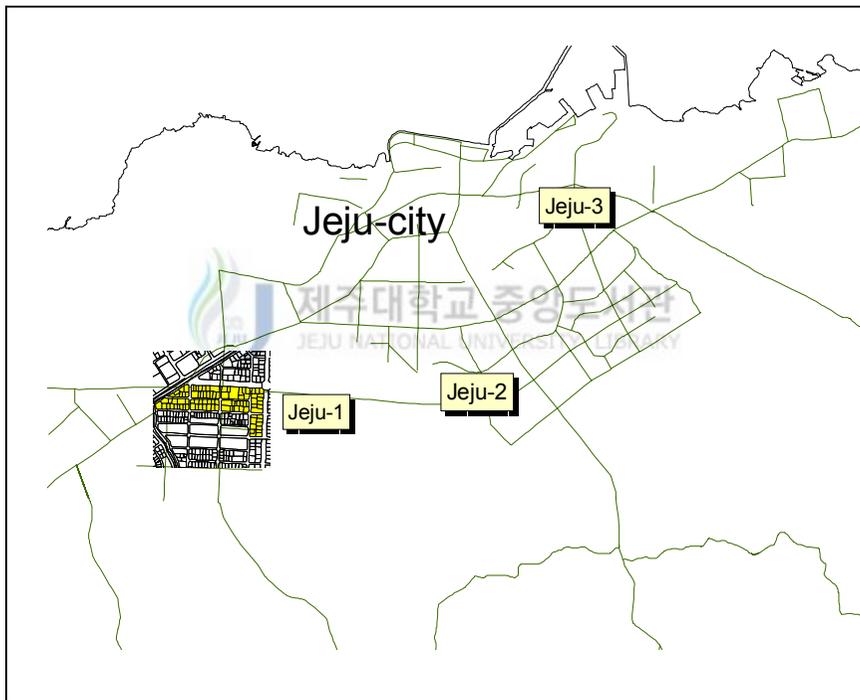


Figure 2. Location site

## 2. 유량조사

유량조사는 2002. 2. 23 - 5. 12까지 약 80일간 유량계(Flo-Tote II, Marsh Mc Birney, USA)를 설치하여 연속적으로 실시하였다. 유량계는 단

면을 통과하는 흐름의 속도와 수면을 측정하여 유량을 계산하는 방식으로 자동측정 및 자료저장이 가능한 전자식으로 유속측정 범위는  $-1.5 \sim 6.1\text{m/s}$ 이고, 정밀도는  $\pm 2\%$  이다.

유량측정은 건기시와 우기시를 포함하여 실시하였으며, 건기시는 선행 건기일수를 5일 이상 고려하여 측정하였다. 분류식의 경우 우수관거는 건기시와 우기시 모두 측정하고, 우수관거는 건기시 유량이 있을 경우에 측정하였으며 유량측정은 야간 최저유량에서 우기시 최대유량까지 측정이 가능하도록 계획하였다. 측정 지점별로 매5분 간격으로 연속 측정된 자료는 1주일마다 data를 down load하고, data 이상유무 점검시 센서 고정장치 점검과 이물질 퇴적여부 점검 및 청소를 실시하여 유량 측정에 방해가 되는 요인을 최대한 배제하였다.

### 3. 수질조사

#### 3.1 수질조사 항목 및 횟수

수질조사는 유량측정 지점에 대하여 건기시와 우기시를 구분하여 건기시 총 6회, 우기시 총 2회를 실시하였다. 수질 조사항목은  $\text{BOD}_5$ ,  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ , TSS, T-N, T-P 등 6개 항목에 대하여 측정하였다.

#### 3.2 시료채취 및 운반방법

##### 1) 시료채취 및 보존

시료는 grab sampling을 원칙으로 하여 매회 2시간 간격으로 24시간 연속으로 채취하였으며, 채취된 시료는 수질오염공정시험법에 준하여 보존하고, 최대 보존기간 이내에 모든 분석을 완료하였으며, 현장에서 채취된 시료는 실험실에 도착하기 전까지 Ice box에서  $4^\circ\text{C}$ 로 유지하였다.

##### 2) 시료의 운반

각 지점별로 1일 채취한 12개의 시료는 용량  $50\ell$ 의 Ice box

(728×368× 402cm)에 얼음과 함께 보관 운반하였다.

### 3.3 수질분석방법

운반된 시료는 수질오염공정시험법(2001) 및 Standard Method(1995)에 의거하여 분석을 실시하였다.

## 4. I/I 및 누수량 분석

### 4.1 분석을 위한 기본 입력 자료

유량측정 지점별로 I/I 및 누수량을 분석하기 위하여 다음과 같은 기초 자료를 활용하였다. Table 3에 기초자료의 목록과 내용을 나타내었으며, Table 4에 분석항목별 분석대상을 나타내었다.

#### 1) 유량 자료

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

#### 2) 기초현황자료

하수배제방식, 용도, 인구, 면적, 하수관거의 평균관경 및 관거연장, 관중, 상수도사용량, 지형적 특성, 간선관거 연장(km) 등 각 지역에서 조사된 기초자료를 사용하였다.

#### 3) 강우 자료

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

#### 4) 유량 자료의 필터링

유량자료의 적정성 여부를 다음과 같은 조건으로 판단하여 불량 데이

터를 추출함으로써 분석 결과의 신뢰도를 향상시키고자 하는 것이 필터링의 목적이며 판단기준 및 방법은 다음과 같다(황 등, 2002).

- 유량 측정 Sensor 설치부의 이물질, 토사 등으로 인해 측정 센서 오작동 기간의 자료는 불량데이터로 처리하여 침투수량 산정시 제외하였다
- 유량 측정 센서의 오작동에는 해당하지 않으나 객관적으로 판단할 때 측정 데이터의 오류가 확실한 경우에는 아래의 필터링 기법을 적용하여 보정한 후 침투수량 산정에 반영하였다
- 건기 유량 중 일정패턴을 보이지 않고 그 변화폭이 매우 심하여 신뢰성이 낮은 데이터는 오류데이터로 판단하고 아래의 필터링 기법을 적용하여 보정한 후 침투수량 산정에 반영하였다.



Table 3. 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		Plation 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 <sup>3</sup> /d)
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 Meteorological office or Provincial government

Table 4. List of analyzed items and area

Analyzed items	Analyzed area
Maximun, Minimum, Average flowrate ( $Q_{max}$ , $Q_{min}$ , $Q_{ave}$ )	- All area
Average amount of Infiltration ( $Q_{infi}$ )	- Combined sewer - Sanitary sewer of the seperated system
Infiltraion 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 inflow	- Sanitary sewer of the seperated system
Inflow rate	- Sanitary sewer of the seperated system
Amount of storm runoff	- Combined sewer
Average amount of leakage( $Q_{exfi}$ )	- Combined sewer - Sanitary sewer of the seperated system
Analysis of storm	- All area

#### 4.2 I/I 및 누수량 산정 방법

I/I 및 누수량의 산정은 ISeM(Integrated Sewer Management System)을 이용하여 산정하였다. ISeM은 하수관거에 설치된 유량계와 강우계에서 실시간으로 측정, 모니터링된 정보를 수집, 상수사용량 등 입력정보와 함께 하수처리장 관리센터 내 서버에 취합, 연산처리하여 저장한 후 I/I, 누수량, 원단위, 강우오염부하, CSOs 오염부하 등 각종 자료를 분석할 수 있는 하수관거의 체계적인 모니터링 및 유지관리시스템이다. 각 항목별 산정 방법은 다음과 같다.

#### 4.2.1 침투수 산정

침투수량을 산정하는 방법으로는 물사용량 평가방법, 일최저유량 평가방법, 일평균·최저유량 - 수질평가방법, 유입수 평가방법 등이 있다. 유량-수질해석 방법은 spot 측정이며 수질채수와 최저유량이 일치해야 한다는 가정 등으로 인해 유량해석 방법보다는 다소 신뢰성이 떨어지는 것으로 판단된다. 또한 상수사용량해석 방법은 상수사용량이 정확해야 하며 기타 사용수량이 산정되지 않았기 때문에 타 방법에 비하여 신뢰성은 다소 낮은 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 침투수량을 산정하는 데 있어서, 상기 4가지 방법에 의하여 계산한 침투수량 중 최대 및 최소값을 제외한 2가지 값의 평균값으로 하였으며, Figure 3의 침투수량 산정절차에 따라 침투수량·침투수 비율 및 침투율을 다음과 같이 계산하였다.

여기서 침투율 ①은 관거연장 및 평균 관경에 대한 침투수량의 비율이며, 침투율 ②는 단위 면적당, 침투율 ③은 인구당 침투수량의 비율을 의미한다.

- 침투수 비율(%) : 평균 침투수량 / 건기 평균 유량 × 100
- 침투율 ① (× 0.01 m<sup>3</sup>/d-km-mm)  
= 침투수량(m<sup>3</sup>/d) / {관거연장(km) × 평균관경(mm)}
- 침투율 ② (m<sup>3</sup>/d-ha) = 침투수량(m<sup>3</sup>/d) / 면적(ha)
- 침투율 ③ (× 0.01 m<sup>3</sup>/d-capita) = 침투수량(m<sup>3</sup>/d) / 인구(명)

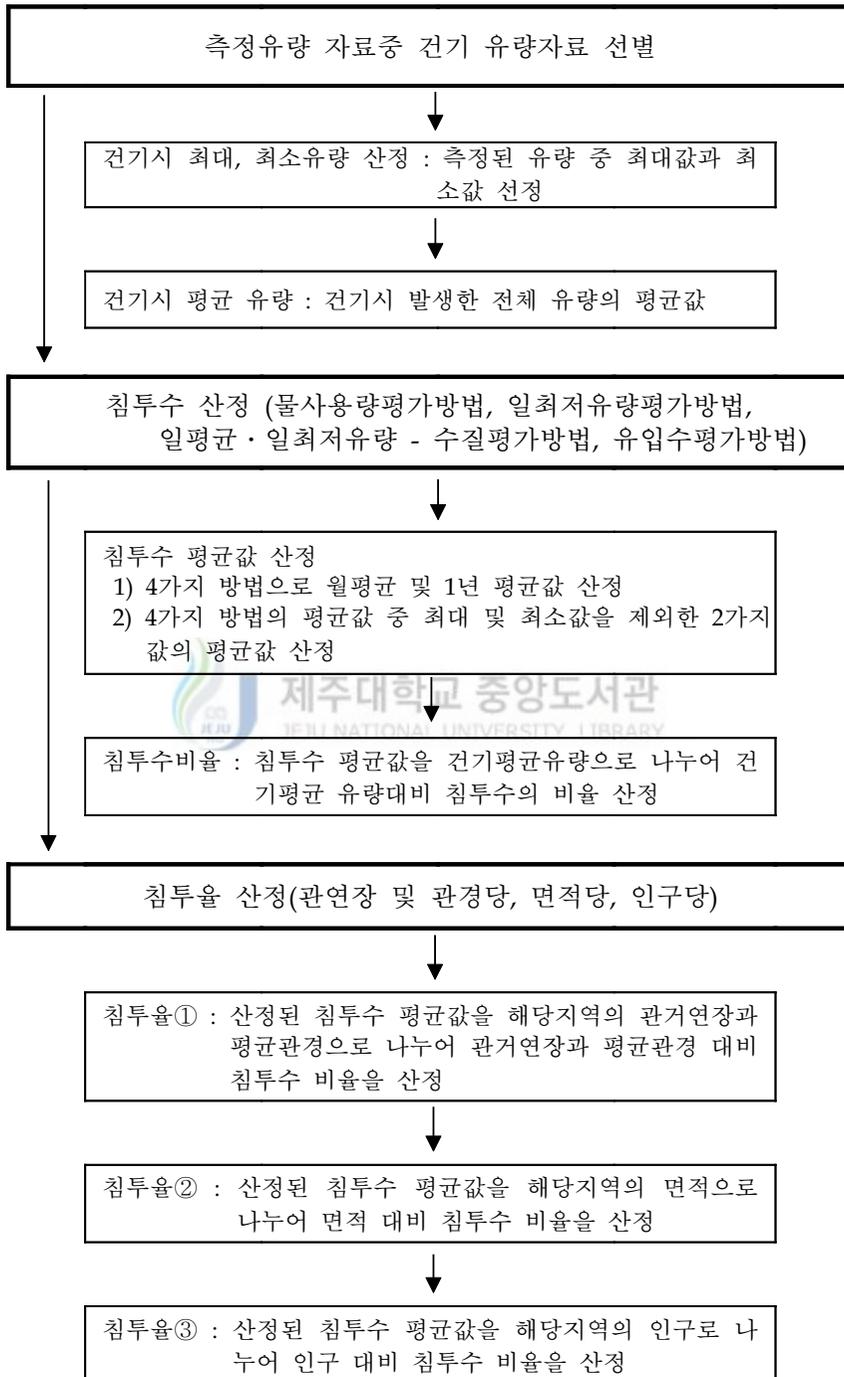


Figure 3. Process of infiltration assessment

#### 4.2.2 유입수 산정

해당지역의 강우시 발생하는 유입수는 건기시의 일유량 평균 데이터와 우기시의 일유량 데이터를 차감하여 산정하게 된다. Figure 4와 같은 과정에 의해 강우데이터를 입력하고 유량데이터를 입력하여 건기시의 평균 데이터를 산정하고 강우시의 데이터와 비교하여 그 차를 유입수로 산정하였다.

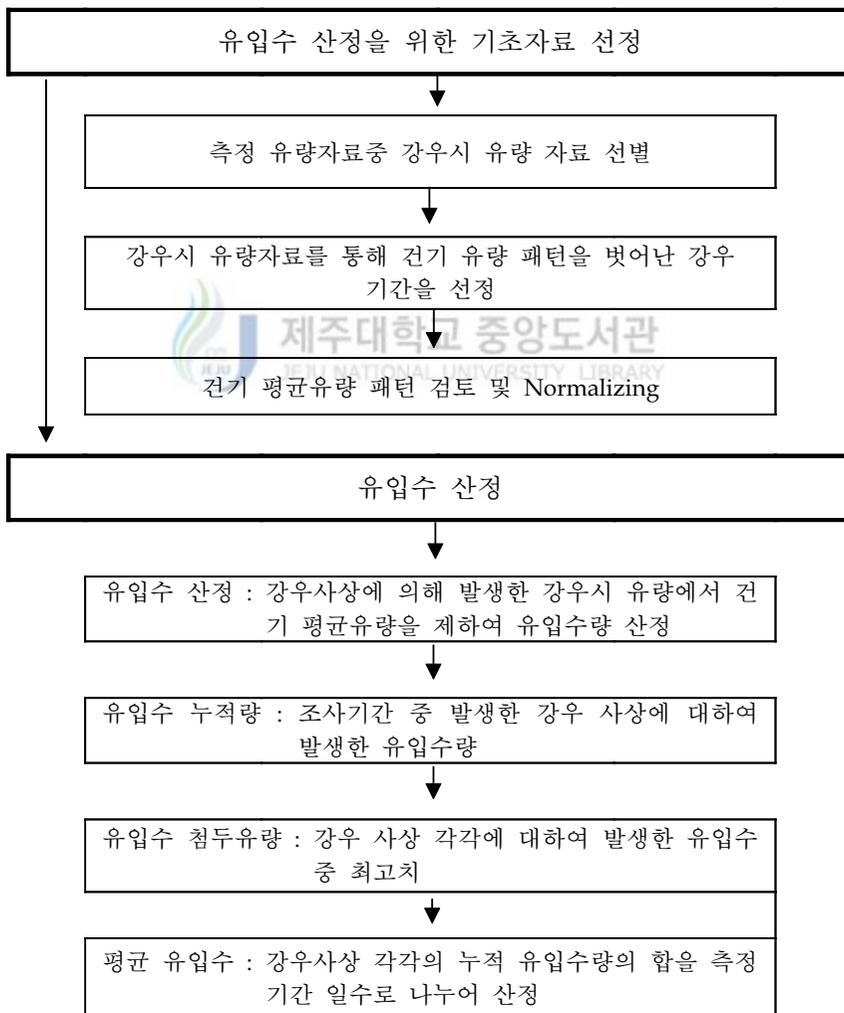


Figure 4. Process of inflow assessment

#### 4.2.3 강우유출수량 산정

합류식관거에서 강우로 인하여 발생한 강우사상에 의해 강우시 유량에서 건기 평균유량을 제하여 강우유출수량을 산정하고, 강우 사상 각각에 대하여 발생한 유입수 중 최고값 유입수량 강우유출수 침투유량으로 산정하였다. 전체적인 흐름도는 Figure 5와 같다.

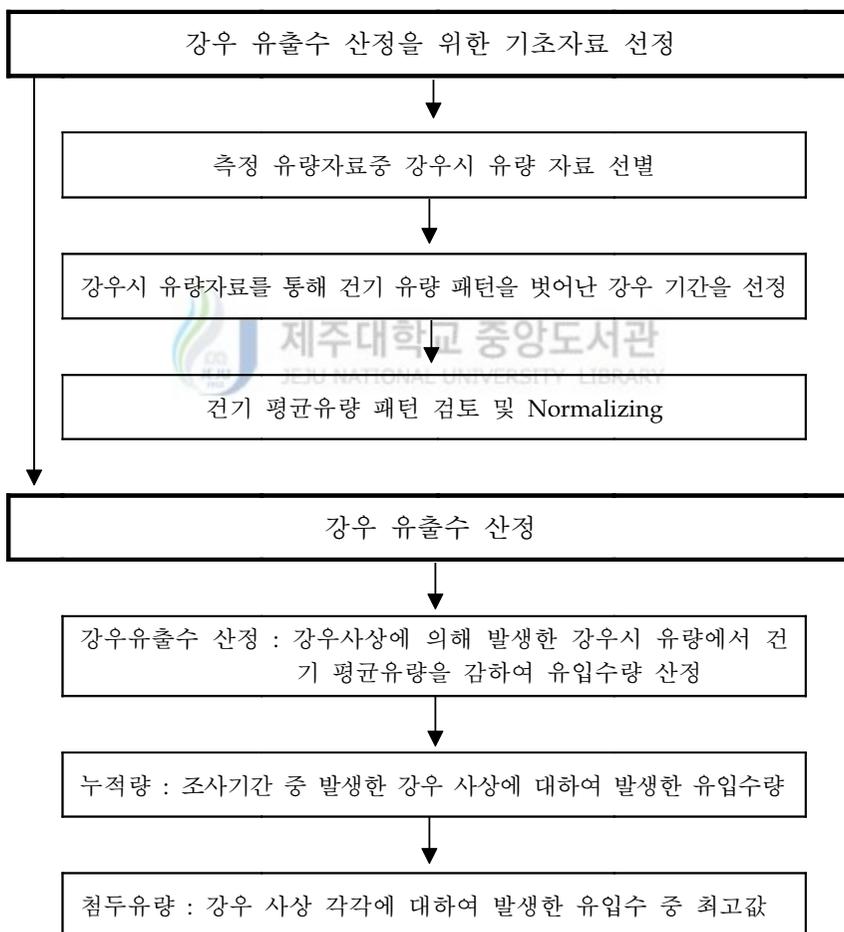


Figure 5. Process of storm runoff assessment

#### 4.2.4 기준강우 유입수량 산정

기준강우는 비교 대상 지역의 하수관거 부실도를 유입수(Inflow)량을 통해 상대적으로 비교하기 위해 적용되는 기준 강우 사상으로서 해당지역의 강우확률빈도 및 관거 구역의 특성을 고려하여 결정한다. 본 연구에서는 제주시 인근 지역의 과거 강우자료를 이용하였으며, 기준 지속시간은 조사 지역의 관망자료를 근거로 하여 각 지점별로 지속시간을 구한 후 이를 확률 분석 적용하고 기준강우빈도(10년)와 지속시간(60분)을 적용하여 59.4mm의 누적강우량을 기준강우로 선정하였다.

기준 강우 유입수량 산정은 기준 강우량 59.4mm를 제주시의 분류식 오수관거 지역인 제주-2 지역에 적용하여 상대비교가 가능한 기준 강우 유입수량으로 산정하였으며, 기존강우의 유입률은 다음과 같이 구분하여 Figure 6의 기준 강우 유입수량 산정순서와 같이 하였다.

- 유입율 ① ( $\times 0.01 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{km}\cdot\text{mm}$ )  
= 유입수량( $\text{m}^3/\text{d}$ ) / {관거연장(km)  $\times$  평균관경(mm)}
- 유입율 ② ( $\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{ha}$ ) = 유입수량( $\text{m}^3/\text{d}$ ) / 면적(ha)
- 유입율 ③ ( $\times 0.01 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{capita}$ ) = 유입수량( $\text{m}^3/\text{d}$ ) / 인구(명)

#### 4.2.5 누수량 산정 순서(유량-수질해)

누수량은 유량과 수질을 동시에 측정한 경우에 한해 분석이 가능하며, 각 수질 분석 결과를 토대로 누수량을 산정한 후 이를 평균하여 기간 중의 누수량으로 간주하는 것으로 다음 Figure 7 누수량 산정순서와 같이 일유량 비례상수를 산정하여 이를 통해 야간활동 인구유량과 침입수량을 산출하고, 물질수지식을 통해서 누수량을 산정하였다.

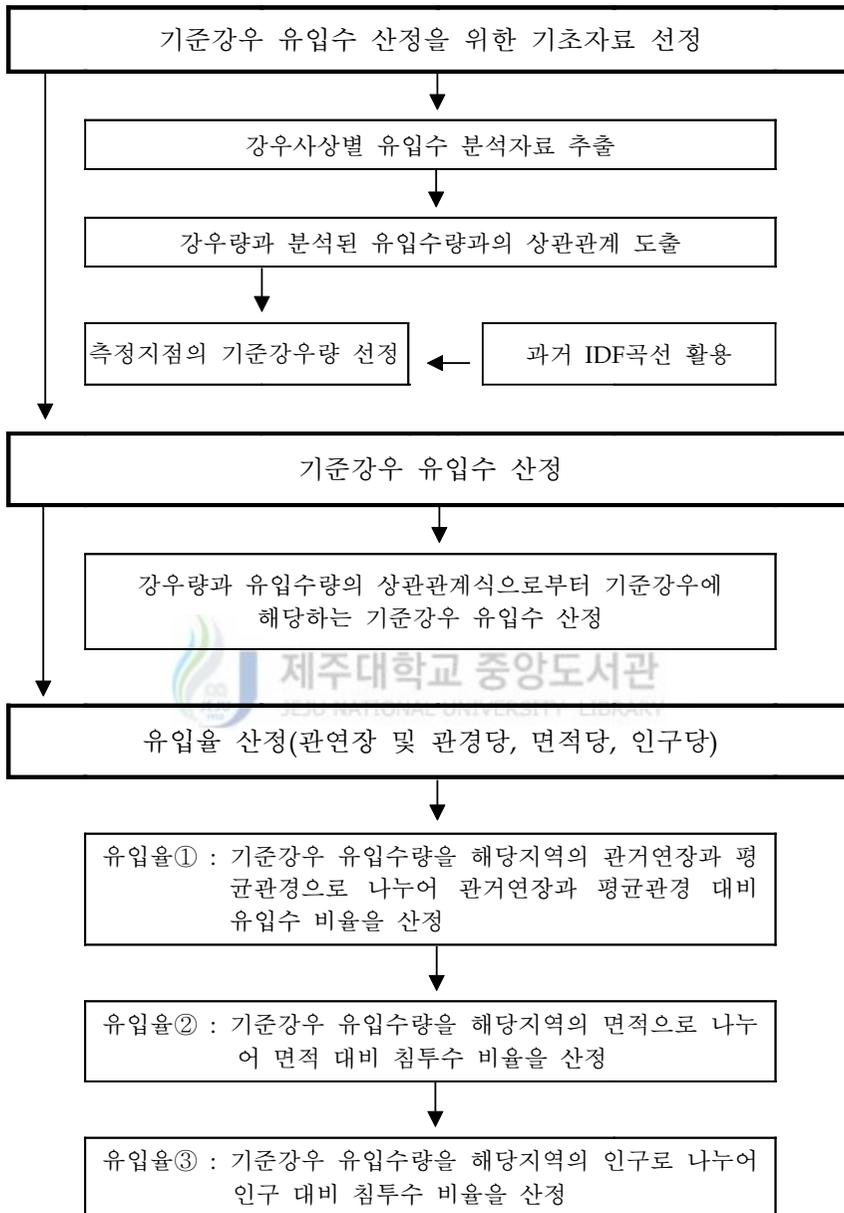


Figure 6. Process of design storm inflow assessment

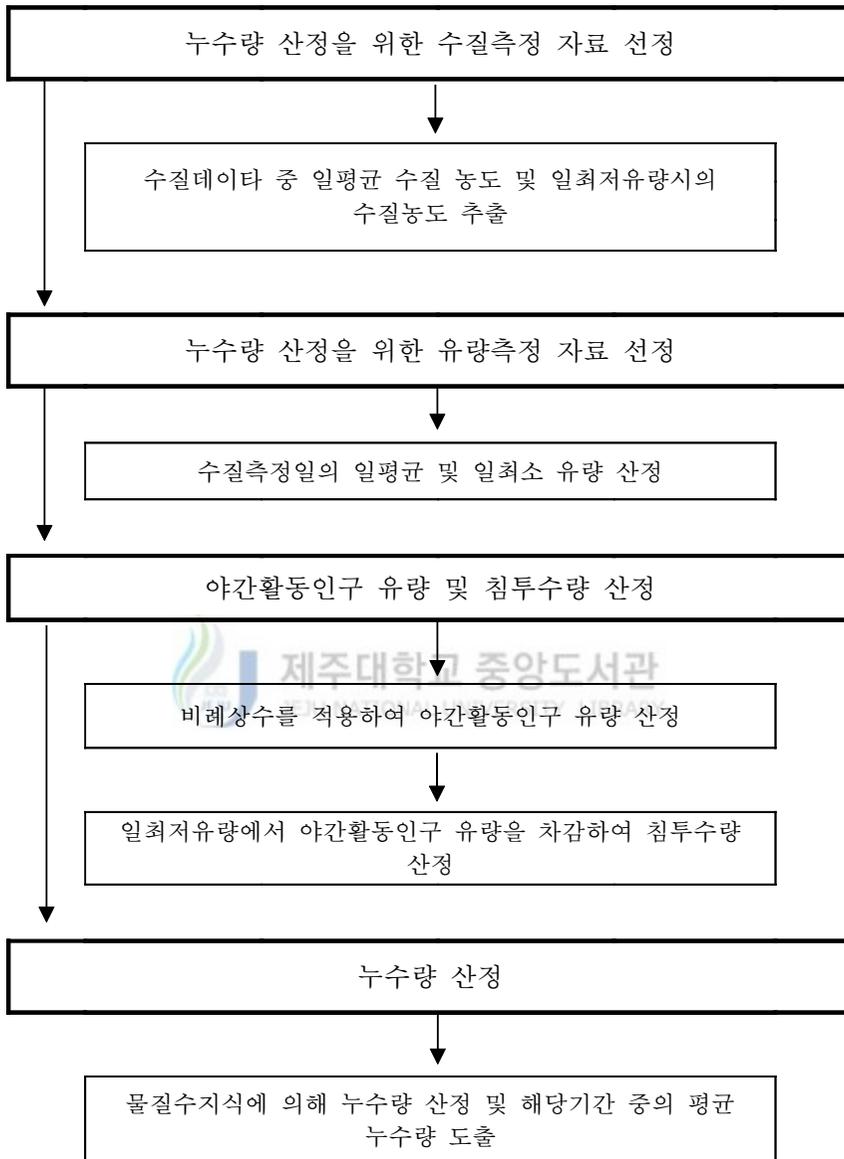


Figure 7. Process of leakage assessment

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 각 지점별 유량 및 수질 변동 특성

#### 1.1 유량 변동 특성

##### 1.1.1 건기시의 유량특성

###### 1) 유량의 일변동 특성

유량측정 지점인 3개소의 유량을 측정한 결과를 토대로 건기 평균유량을 산정한 결과 주로 고밀도 주거지역인 제주-1 지역은 81.4m<sup>3</sup>/일, 주거 및 상업지역인 제주-2 지역은 4,959.9m<sup>3</sup>/일, 고·저밀도 주거지역인 제주-3 지역은 1,190.9m<sup>3</sup>/일을 보여, 제주-2 지역이 제주-1 및 제주-3 지역에 비해 각각 60.9배, 4.2배의 유량을 보이는 것을 알 수 있었다.

각 지역의 건기 일평균 유량의 변화 형태를 Figure 8 - 10에 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 침투유량을 나타낸 후 감소하는 추세를 보였다.

제주-1과 제주-3 지역은 전형적인 주거지역의 오수발생 양상을 보이며, 상가지역인 제주-2 지역의 경우와는 달리 오후시간대에 하강곡선을 보임을 알 수 있다.

###### 2) 요일별 유량 특성

측정지점별 건기평균 유량을 각 요일별로 살펴보면 Table 5 및 Figure

11과 같으며, 요일에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 지역별로는 제주-1 지역의 경우 금요일에 최소값, 일요일에 최대값을 보였으며, 제주-2 지역은 수요일에 최소값, 일요일에 최대값을 보였다. 또한 제주-3 지역은 화요일에 최소값, 일요일에 최대값을 보였다.

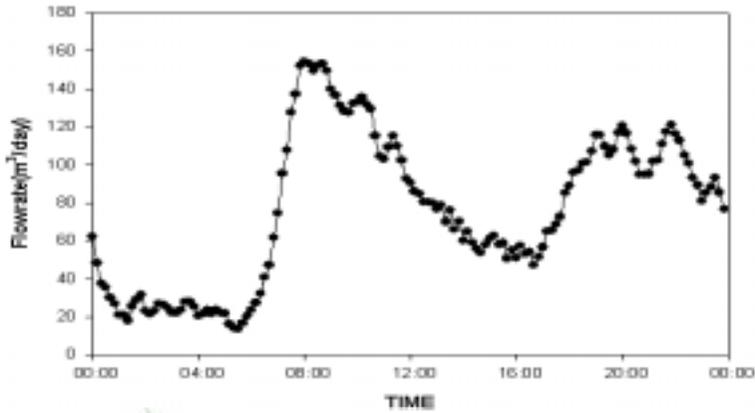


Figure 8. Average flow rate in dry period of Jeju-1

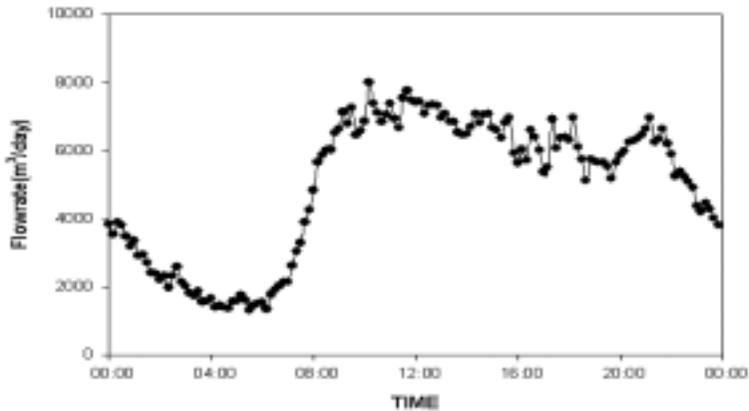


Figure 9. Average flow rate in dry period of Jeju-2

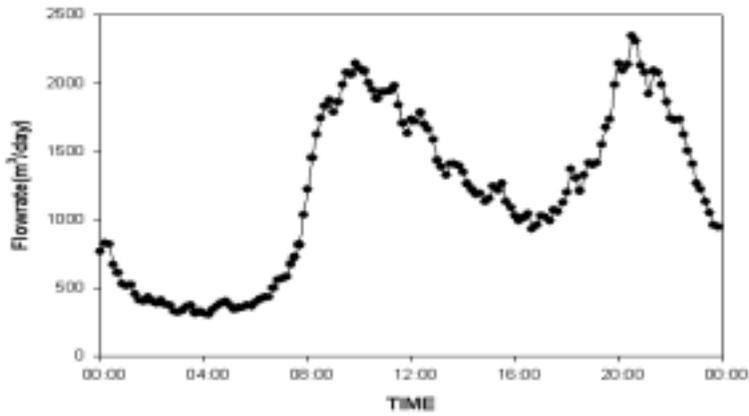


Figure 10. Average flow rate in dry period of Jeju-3

Table 5. Average flow rate with a day of the week  
(unit : m<sup>3</sup>/d)

day	Jeju-1	Jeju-2	Jeju-3
Monday	71.4	5,784.7	1,120.2
Tuesday	78.0	5,234.1	891.2
Wednesday	87.1	2,908.6	1,142.6
Thursday	63.3	4,788.2	1,311.0
Friday	58.8	5,364.8	1,233.9
Saturday	66.1	5,061.1	1,329.7
Sunday	90.2	6,183.1	1,387.9
Average	81.4	4,959.9	1,190.9

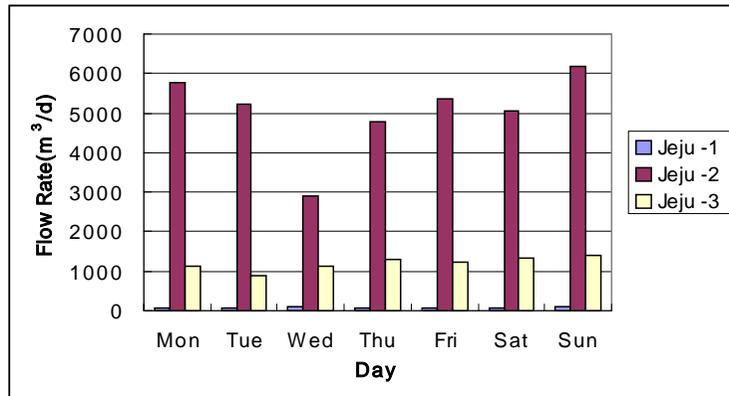


Figure 11. Average flow rate with a day of the week

### 1.1.2 우기시의 유량특성

강우시 하수관거의 유량은 강우강도, 강우지속시간, 강우유출 정도, 유역 면적 등에 따라 차이가 크다. 조사기간 중 1mm 이상의 강우가 기록된 강우일수는 12일이었으며, 하수관거 내로 유입되는 우수는 합류식의 경우에는 강우유출수에 의해, 분류식의 경우에는 유입수의 개념으로 침투유량과 누적량을 산정하였다.

합류식인 제주-1 지역의 우기시 침투 강우유출수량은 36.1 - 20,400.2m<sup>3</sup>/d, 제주-3지역은 281.0 - 169,041.7m<sup>3</sup>/d 이었으며, 건기시 평균 유량에 비해 각각 250.6배 및 141.9배의 유량을 나타내었다.

분류식인 제주-2 지역의 강우유입에 의한 침투 유입수량은 465.4 - 105,382.7 m<sup>3</sup>/d, 평균 유입수량은 847.1 m<sup>3</sup>/d 이었으며, 건기시 평균유량에 비해 각각 21.2배 및 0.17배로 나타났다.

## 1.2 수질 변동 특성

측정기간동안 건기시는 6회, 우기시는 2회, 총 8회에 걸쳐 조사지점 별

로 2시간마다 시료를 채취하여 수질을 분석하였다. 시간대별로 측정된 수질을 평균하여 각 조사지점별로 Table 6-8 및 Figure 12, 15, 18에 나타내었으며, 이것을 건기 및 우기시로 구분하여 각각의 수질을 Figure 13, 14, 16, 17, 19, 20에 나타내었다.

분석된 수질자료를 토대로 I/I 조사지점의 건기평균 수질특성을 살펴보면, 전반적으로 오전 시간대로 갈수록 수질이 낮은 농도를 보이는 추세이며, 이는 하수발생량이 감소하는 시점에서 침투수에 의한 희석 효과 등이 발생하는 것으로 판단되었다.

강우시 도시지역의 우기유출수의 수질 특성은 유출지역 별로 지표면의 지질, 토지 이용별 개발 정도, 평소 시가지의 청결정도 등에 따라 다를 뿐만 아니라 동일지역에서도 강우의 강도에 따라 다르며, 강우 지속시간에 따라서도 다르다. 일반적으로는 건조상태의 지표면을 씻어내리는 초기강우 또는 초기세척(First flush)시에 가장 오염도가 높게 나오는 것으로 알려져 있다(신 등, 1998).

본 조사의 경우 Figure 14, 17 및 20과 같이 우기 시 수질 농도는 강우 사상에 따라 차이가 발생하는 것으로 판단되며, 전반적으로 일정 시간대에 농도가 급격히 증가하는 양상이 보이지 않는 것을 근거로 할 때 초기 강우에 의한 First flush의 영향은 적은 것으로 판단된다.

#### 1) 제주-1지역 일평균 농도 변화

제주-1 지역은 전형적인 고밀도 주거지역으로 특별한 수질 변화추이는 나타나지 않으나 전반적으로 가사활동시간, 오전 및 오후(퇴근후) 시간대의 일반적인 도심지 오염물질 변화특성을 잘 나타내고 있었다.

BOD의 경우 건기에는 침투유량과 동시에 고농도를 나타내나 우기의 경우는 거의 변화가 없으며, 일평균 농도는 80mg/ℓ로 나타났다.

Table 6. Daily average concentration of Jeju-1

(unit : mg/ℓ)

Time	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Mn</sub>	COD <sub>Cr</sub>	TSS	T-N	T-P
02:00	58.3	30.5	67.0	23.8	30.8	4.3
04:00	61.7	29.6	71.3	23.4	27.8	4.0
06:00	72.3	35.2	107.7	45.1	24.5	3.2
08:00	96.4	37.3	109.7	39.3	22.0	3.3
10:00	90.4	35.8	87.7	47.8	22.0	2.8
12:00	84.4	39.6	127.3	40.5	21.7	2.9
14:00	78.1	36.0	97.5	36.1	23.5	2.8
16:00	81.1	34.4	98.4	32.8	22.8	2.8
18:00	83.3	35.2	112.5	43.0	18.5	2.9
20:00	84.7	33.9	101.0	42.6	21.3	2.9
22:00	70.8	33.3	103.6	38.0	26.6	3.0
24:00	71.6	34.4	85.3	22.4	26.1	3.2
Average	77.8	34.6	97.4	36.2	24.0	3.2

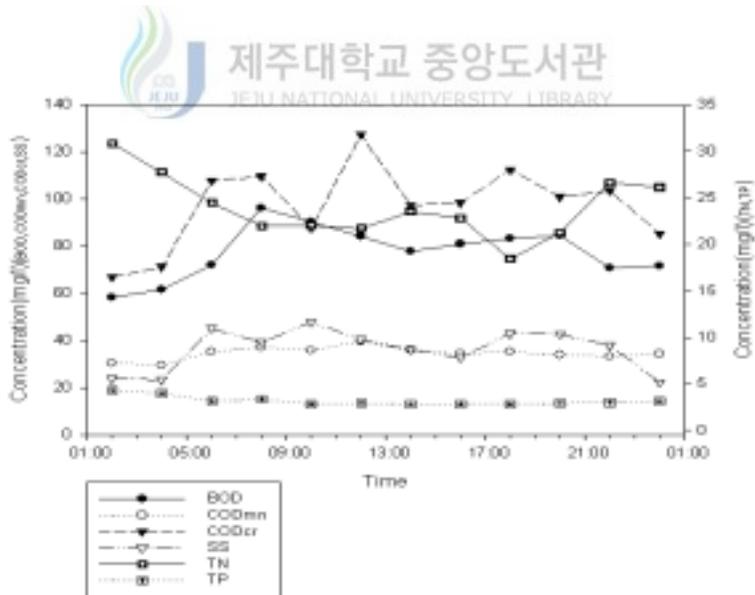


Figure 12. Daily average concentration of Jeju-1

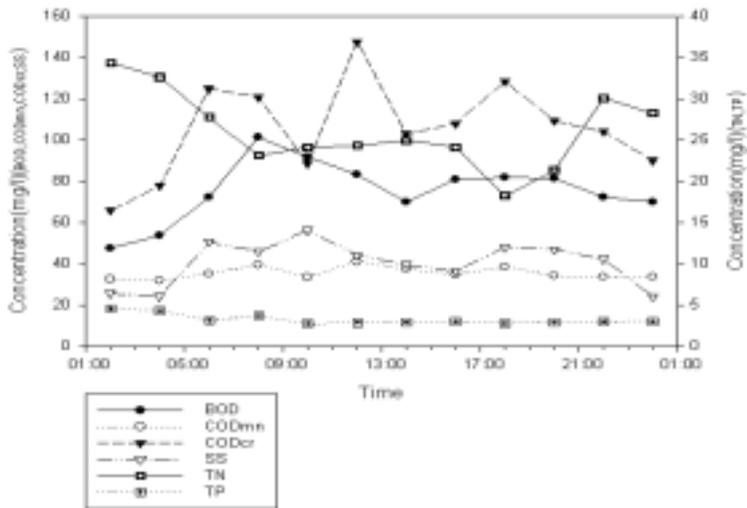


Figure 13. Daily average concentration in dry period of Jeju-1

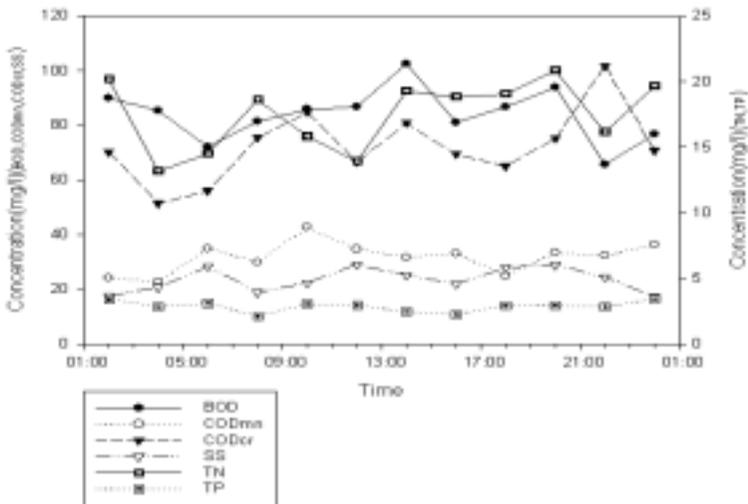


Figure 14. Daily average concentration in rainfall period of Jeju-1

2) 제주-2지역 일평균 농도 변화

제주-2 지역은 상가 및 저밀도 주거지역으로서 이 지역의 수질 특성은 오전시간의 농도보다 오후시간의 농도가 더 높은 것으로 나타났다. 이는 물사용량과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

BOD의 경우 건기에는 주로 영업시간대인 오후부터 저녁까지 상가지역의 특성을 잘 나타내며, 그 범위는 50 - 110mg/ℓ로 나타났다. 반면 우기에는 큰 변화없이 100mg/ℓ 전후를 나타내었다.

Table 7. Daily average concentration of Jeju-2

(unit : mg/ℓ)

Time	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Mn</sub>	COD <sub>Cr</sub>	TSS	T-N	T-P
02:00	68.6	32.4	93.0	27.6	35.2	4.3
04:00	77.2	29.9	82.0	25.3	30.2	4.1
06:00	63.3	26.2	69.0	26.0	28.5	3.5
08:00	68.1	31.7	93.6	49.8	32.4	3.5
10:00	92.5	37.0	85.9	52.1	29.3	3.9
12:00	87.4	38.6	96.1	53.4	32.8	3.5
14:00	93.6	39.7	104.1	43.6	23.6	3.5
16:00	104.7	43.6	117.8	48.2	24.0	5.3
18:00	89.9	39.6	132.5	53.6	28.3	5.5
20:00	94.2	46.3	115.0	48.3	28.7	4.9
22:00	110.6	41.9	117.4	45.9	24.0	5.4
24:00	96.2	42.0	110.1	36.6	33.0	4.9
Average	87.2	37.4	101.4	42.5	29.2	4.3

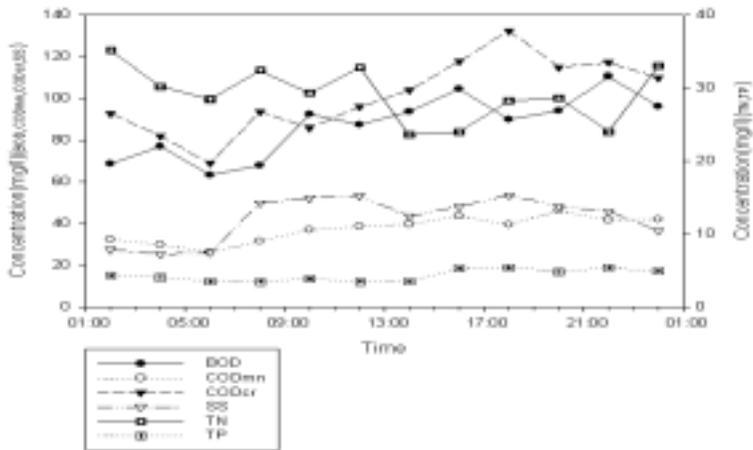


Figure 15. Daily average concentration of Jeju-2

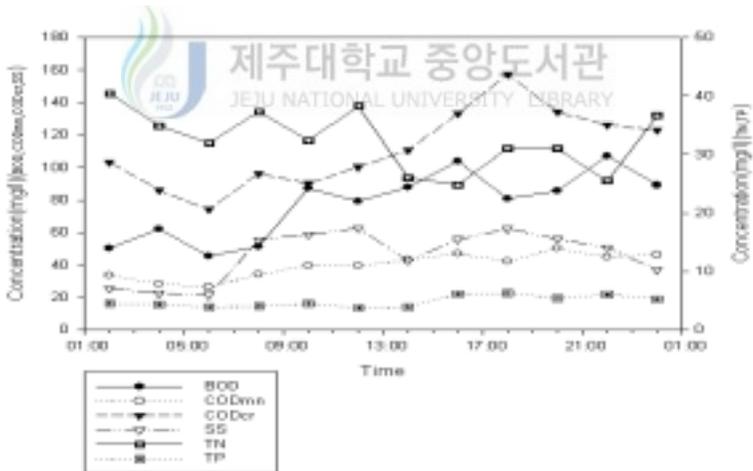


Figure 16. Daily average concentration in dry period of Jeju-2

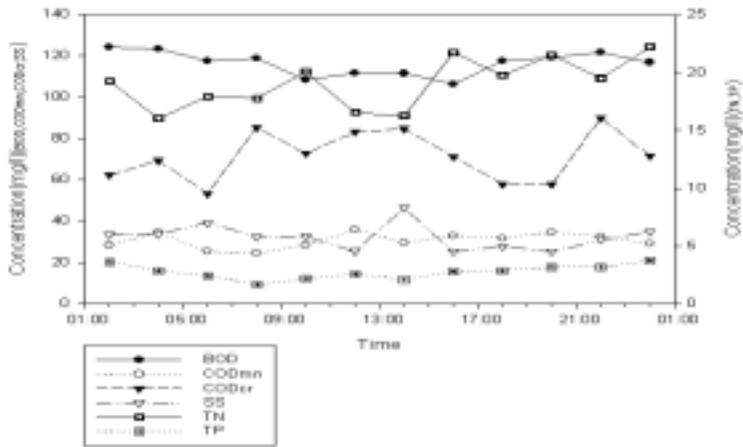


Figure 17. Daily average concentration in rainfall period of Jeju-2

### 3) 제주-3 지역 일평균 농도 변화

제주-3 지역은 전형적인 주거지역으로 특별한 수질 변화추이는 나타나지 않으나 전반적으로 주간 활동시간대에서 높은 오염도를 나타내고 있다.

BOD의 경우 제주-2 지역과 유사하게 건기에는 60~150mg/ℓ로 비교적 높게 나타났으며, 우기에는 평균 110mg/ℓ 전후를 나타내었다.

Table 8. Daily average concentration of Jeju-3

(unit : mg/ℓ)

Time	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Mn</sub>	COD <sub>Cr</sub>	TSS	T-N	T-P
02:00	111.0	44.9	125.5	33.3	37.8	4.7
04:00	85.5	41.2	122.9	26.9	29.7	5.0
06:00	75.6	38.5	101.2	32.1	36.0	4.7
08:00	91.6	36.4	101.2	38.7	34.2	6.5
10:00	91.9	35.4	116.3	53.0	31.0	6.2
12:00	101.0	35.2	128.2	45.5	28.5	5.0
14:00	134.7	53.0	184.5	57.8	30.8	3.8
16:00	142.8	50.0	151.9	59.9	33.3	3.9
18:00	111.2	45.0	142.0	49.0	28.2	4.0
20:00	116.7	44.5	134.1	53.2	30.2	4.2
22:00	133.7	53.5	164.8	68.9	26.0	4.2
24:00	138.5	51.9	157.7	67.4	33.3	5.4
Average	111.2	44.1	135.8	48.8	31.6	4.8

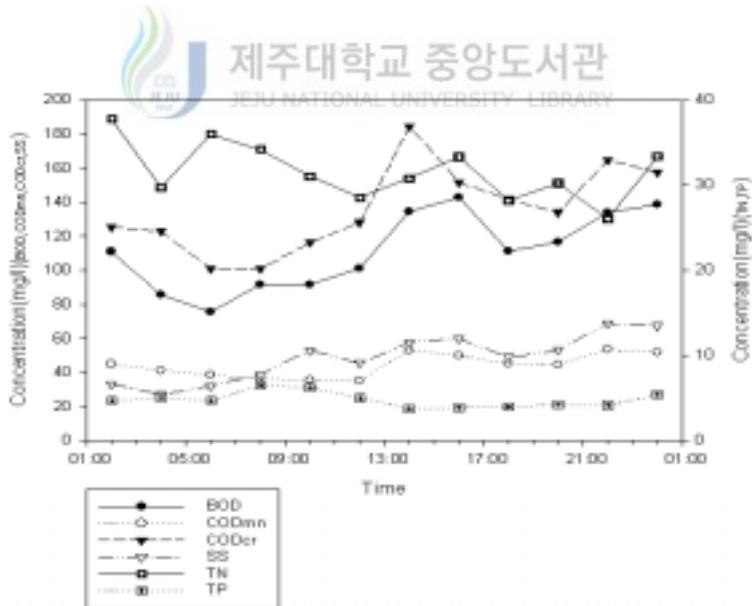


Figure 18. Daily average concentration of Jeju-3

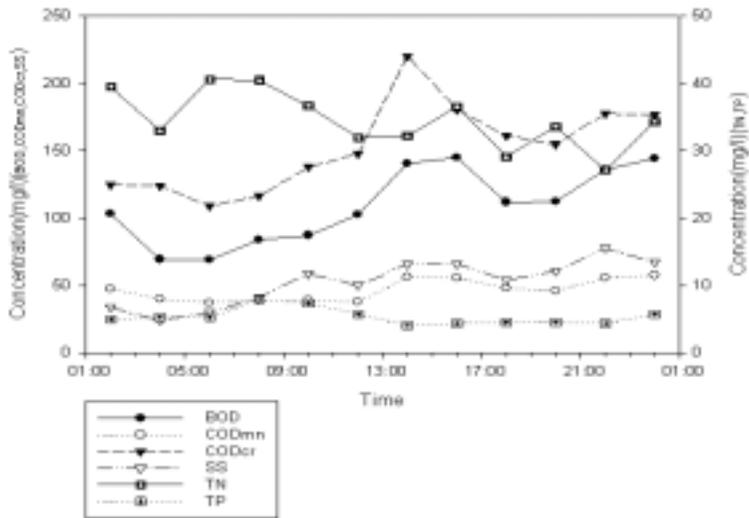


Figure 19. Daily average concentration in dry period of Jeju-3

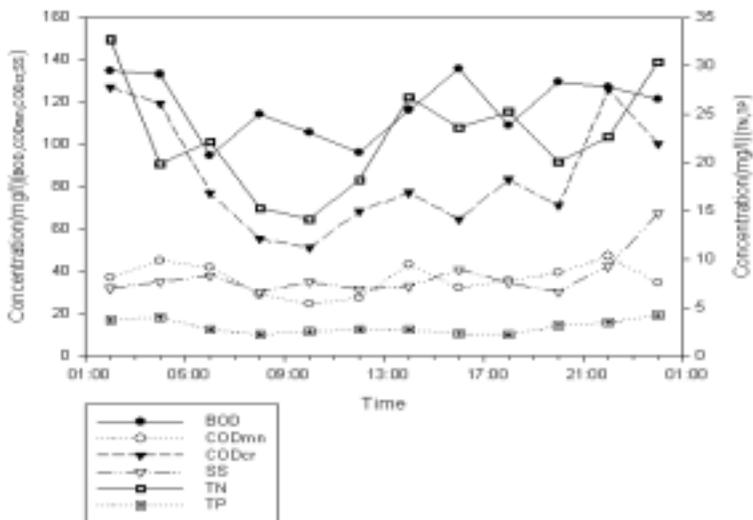


Figure 20. Daily average concentration in rainfall period of Jeju-3

### 1.3 오염부하량 분석

우기시 하수관거로 유입되는 강우유입수, 강우유출수에는 부유물질, 유기물질 등의 각종 오염성분을 포함하고 있으며, 다량의 유입수 등에 의해 월류수가 발생할 경우에는 방류선인 하천이나 연안해역을 오염시킬 수가 있다. 월류수의 성상은 해당 지역의 강우일수, 강우강도, 강우지속시간 등의 수문·지형특성과 토지용도, 거리청소 주기, 대기오염 정도, 도로포장 형태 등의 인문특성에 의해 다르게 나타난다(신 등, 1998).

본 연구에서는 침투수 및 유입수의 산정과 강우에 의해 유입되는 오염물질로 인한 방류수역의 오염예방을 위하여 하수도 정비사업의 수행시 처리구역별 사업우선 순위 결정에 필요한 하수의 수질 및 오염부하량을 산정하였다.

조사 지점별로 분석한 수질조사 결과와 실측유량을 근거로 하여 평균수질을 산정한 후 수질측정 기간 동안 발생된 유량을 이용하여 오염부하량을 계산하였으며, 우기시의 경우에도 유입수 분석결과 유입수가 발생하지 않은 때는 건기로 판단하여 유량가중 평균농도를 산정하였다. 실측수질 및 유량을 이용하여 산정한 건기시의 오염부하량 및 항목별 수질 산정결과는 Table 9 - 11에 나타낸 바와 같다.

BOD의 경우는 강우에 의해 유입되는 유기물질 등의 영향으로 오염부하량의 증가는 물론 유량가중 평균농도에 있어서도 약간의 증가가 있었으나, T-N, T-P 등 다른 항목의 경우에는 오염부하량의 증가에도 불구하고, 유량가중 평균농도는 낮게 나타났다. 이것은 앞에서 언급한 것처럼 초기강우에 의한 First Flush의 영향이 적었으며, 또한 지속되는 강우에 의해 유입되는 유입수는 상대적으로 수질이 양호한 상태여서 하수가 강우유입수 등에 의한 희석효과에 기인한 것으로 사료된다.

Table 9. Pollutant load and average concentration of Jeju-1 area

Item	BOD <sub>5</sub>		COD <sub>Min</sub>		COD <sub>Cr</sub>		TSS		T-N		T-P		Sampling times	
	pollutant load (kg/d)	Average concentration (mg/ℓ)												
Dry period	Max.	7.03	116.84	3.63	49.31	13.13	171.93	4.69	56.70	2.12	35.16	0.31	5.12	6
	Min.	2.98	44.77	1.63	28.65	3.63	70.54	1.54	29.96	1.24	14.67	0.12	1.72	
	Avg.	4.91	76.98	2.40	36.45	7.54	113.57	2.89	43.65	1.62	25.53	0.21	3.34	
Rainfall period	Max.	177.68	96.74	78.07	26.57	203.64	81.85	70.44	23.98	52.18	17.76	9.68	3.29	2
	Min.	21.76	60.47	5.95	26.44	18.41	69.31	4.71	20.95	3.90	17.35	0.61	2.73	
	Avg.	99.72	78.61	42.01	26.51	111.03	75.58	37.58	22.46	28.04	17.56	5.15	3.01	

Table 10. Pollutant load and average concentration of Jeju-2 area

Item	BOD <sub>5</sub>		COD <sub>Mn</sub>		COD <sub>Cr</sub>		TSS		T-N		T-P		Sampling times
	pollutant load (kg/d)	Average concentration (mg/ℓ)											
Dry period	Max.	841.79	567.58	52.36	2252.72	207.19	552.35	87.64	346.50	51.07	56.35	9.46	6
	Min.	208.38	148.60	29.97	224.85	67.49	112.66	39.70	144.94	19.84	17.97	2.34	
	Avg.	599.69	307.09	42.56	914.02	118.97	372.90	51.08	221.56	32.86	32.51	4.99	
Rainfall period	Max.	910.69	282.38	31.57	642.84	78.29	273.13	32.86	191.67	21.43	34.14	3.82	2
	Min.	801.38	177.94	26.80	519.79	71.86	218.16	30.53	100.16	15.09	5.97	0.90	
	Avg.	856.04	230.16	29.18	581.31	75.07	245.65	31.70	145.92	18.26	20.06	2.36	

Table 11. Pollutant load and average concentration of Jeju-3 area

Item	BOD <sub>5</sub>		COD <sub>Mn</sub>		COD <sub>Cr</sub>		TSS		T-N		T-P		Sampling times
	pollutant load (kg/d)	Average concentration (mg/ℓ)											
Dry period	Max.	154.59	80.08	61.13	200.61	236.90	68.49	80.64	53.47	50.27	11.09	9.10	6
	Min.	65.67	20.84	24.53	128.05	88.49	52.58	38.87	20.77	21.88	2.69	2.81	
	Avg.	121.60	52.94	45.92	156.72	150.21	61.52	56.68	38.66	33.64	6.38	5.54	
Rainfall period	Max.	1,127.41	481.46	38.99	964.51	86.88	401.78	37.04	323.44	22.93	53.50	3.79	2
	Min.	612.82	163.50	34.14	364.29	68.39	155.30	28.49	71.35	17.02	5.65	1.35	
	Avg.	870.12	322.48	36.57	664.40	77.63	278.54	32.76	197.40	19.97	29.57	2.57	

## 2. I/I 및 누수량 분석

ISeM(Integrated Sewer Management System)을 이용하여 I/I 및 누수량 분석한 결과를 각 조사 지점별로 Table 12-14 및 Figure 21-23에 나타내었다.

### 1) 침투수량

관거내에서 발생하는 침투수량은 제주-1 지역 15.1m<sup>3</sup>/일, 제주-2 지역 219.2m<sup>3</sup>/일, 제주-3 지역 108.7m<sup>3</sup>/일로 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%로 최대값을 나타내었다.

### 2) 침투율

분석된 침투수량과 기초현황, 즉 관거연장, 평균관경, 인구, 면적 등을 토대로 침투율을 산정한 결과,

- 관거연장과 평균관경을 통해 산출된 침투율 ①은 1.0(제주-3)~6.3(제주-1)(×0.01m<sup>3</sup>/km-mm-d)로서 제주-1 지역이 최대값, 제주-3 지역이 최소값으로 분석되었다.
- 조사지역의 면적을 통해 산출된 침투율 ②는 1.8(제주-3)~11.6(제주-1)(m<sup>3</sup>/ha-d)로서 제주-1 지역이 최대값, 제주-3 지역이 최소값으로 분석되었다.
- 조사지역의 인구를 통해 산출된 침투율 ③은 0.8(제주-3)~3.98(제주-2)(m<sup>3</sup>/capita-d)로서 제주-2 지역이 최대값, 제주-3 지역이 최소값으로 분석되었다.

침투율 ①, ②, ③은 모두 제주-3 지역이 최소값을 나타냈으며, 침투율 ①과 ②는 제주-1, 침투율 ③은 제주-2 지역이 최대값을 보였다.

### 3) 유입수

분류식 지역인 제주-2지역을 대상으로 유입수를 산정한 결과 26.4~17,122.7m<sup>3</sup>의 유입수가 발생하는 것으로 조사되었으며, 평균 유입수는 847.1m<sup>3</sup>/일인 것으로 분석되었다.

### 4) 기준강우유입수

강우빈도, 강우강도 등을 토대로 59.4mm의 기준 강우를 선정하여 분류식지역인 제주-2 지역에 대하여 기준 강우 유입수를 산정한 결과, 8,549.0m<sup>3</sup>의 기준강우유입수가 발생하는 것으로 분석되었다.

### 5) 강우유출수

합류식 및 합병식 지역을 대상으로 강우유출수를 산정한 결과 제주-1 지역 1.2~2,597.6m<sup>3</sup>, 제주-3 지역 10.7~13,045.4m<sup>3</sup>인 것으로 분석되었다.

### 6) 누수량

수질측정자료와 유량측정 자료를 토대로 누수량을 산정한 결과 제주-2 지역이 190.1m<sup>3</sup>/일, 제주-3 지역이 29.1m<sup>3</sup>/일로 조사되었으며, 제주-1 지역은 거의 '0'에 가까운 값을 보였다.



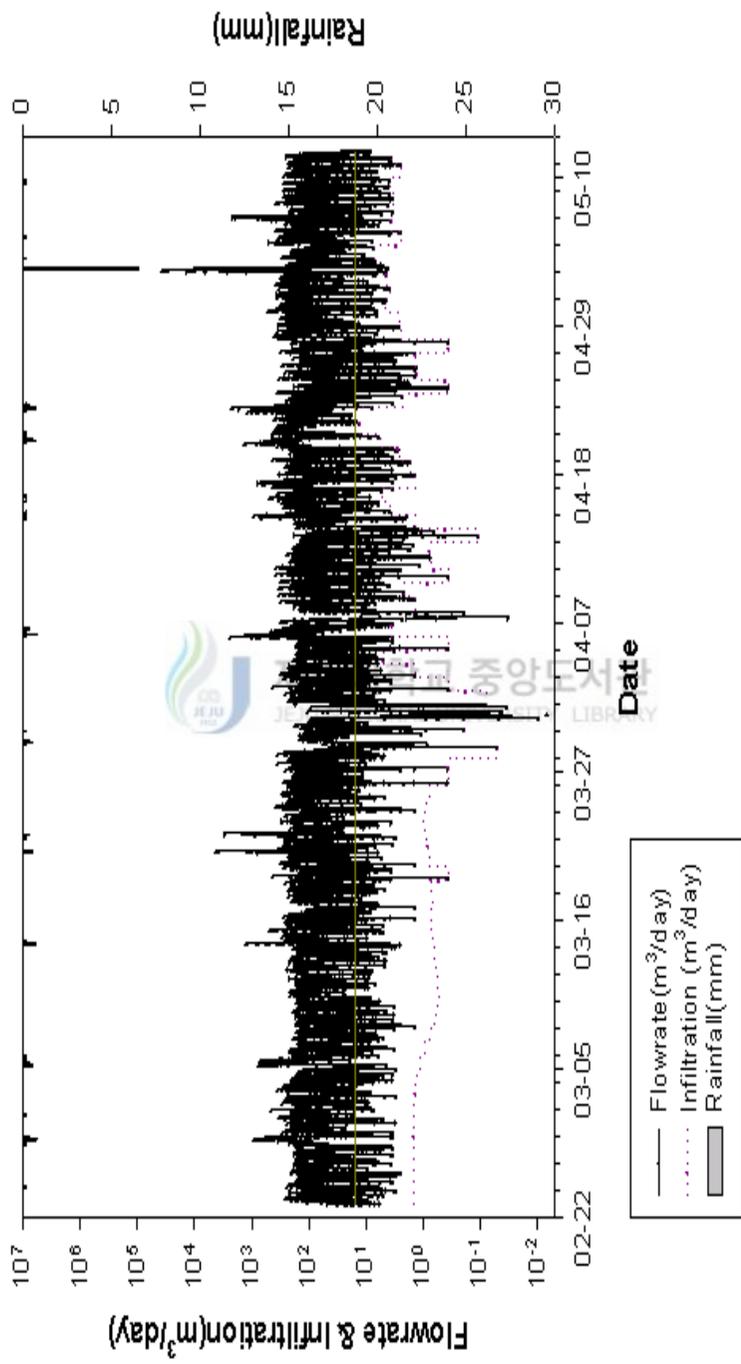


Figure 21. Results of I/I analysis in Jeju-1 area



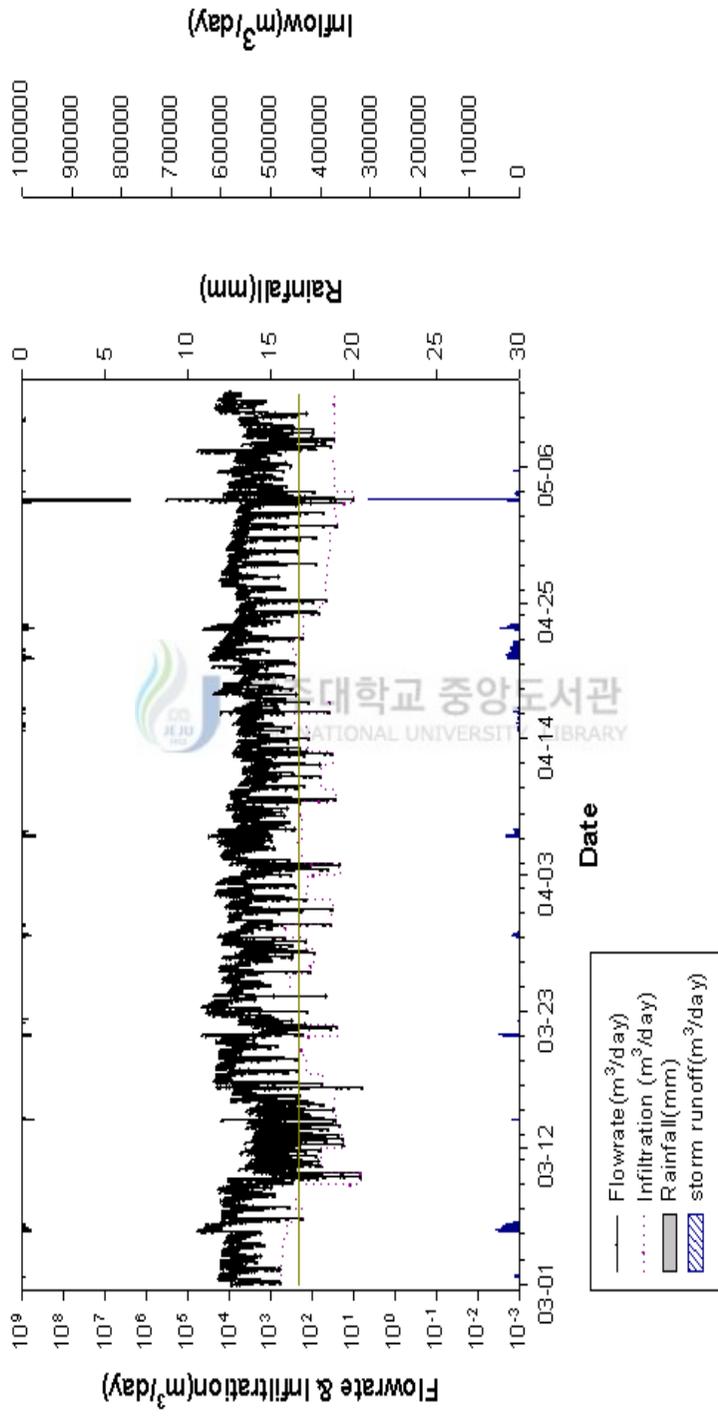


Figure 22. Results of I/I analysis in Jeju-2 area



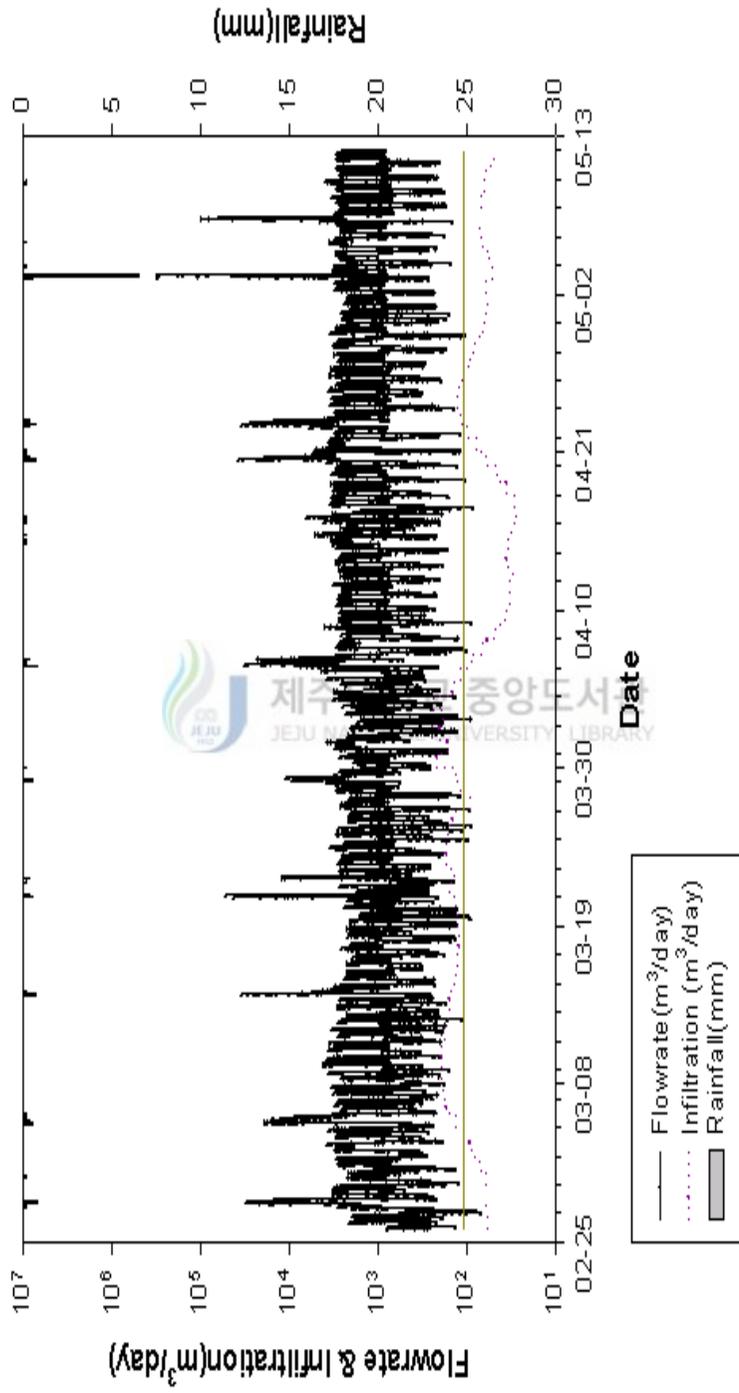


Figure 23. Results of I/I analysis in Jeju-3 area

## V. 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 측정한 결과 제주-1 지역은 81.4m<sup>3</sup>/일, 제주-2 지역은 4,959.9m<sup>3</sup>/일, 제주-3 지역은 1,190.9m<sup>3</sup>/일을 보였다. 각 지역별 건기 일평균 유량의 변화 형태는 오전 3~5시를 전후로 하여 최소유량이 발생하였다. 오전 6시 이후로 유량이 증가하여 오전 8~10시경에 최대값을 나타내었으며, 그 후 점차 감소하다가 오후 8시~10시경에 다시 침투 유량이 발생하였다. 또한 요일별로는 최소값은 지역별로 다르나, 최대유량은 모든 지역에서 일요일에 가장 크게 나타났다.
2. 조사지점의 건기평균 수질특성은 전반적으로 오전 시간대로 갈수록 오염물질농도가 감소하는 추세를 보이고 있어 하수발생량이 감소하는 시점에서 침입수에 의한 희석 효과 등이 발생하는 것으로 판단되었다. 또한 우기시 수질 농도는 전반적으로 일정 시간대에 농도가 급격히 증가하는 양상을 보이지 않는 것으로 보아 초기 강우에 의한 First flush의 영향은 적은 것으로 판단된다.
3. 관거내에서 발생하는 침투수량은 제주-1 지역 15.1m<sup>3</sup>/일, 제주-2 지역 219.2m<sup>3</sup>/일, 제주-3 지역 108.7m<sup>3</sup>/일로 조사되었으며, 건기 평균 유량에 대한 침투수량의 비율은 제주-2 지역이 4.42%로 최소값을, 제주-1 지역이 18.50%로 최대값을 나타내었다.
4. 수질측정자료와 유량측정자료를 토대로 누수량을 산정한 결과 제주-2 지역이 190.1m<sup>3</sup>/일, 제주-3 지역이 29.1m<sup>3</sup>/일로 조사되었으며, 제주-1



지역은 거의 '0'에 가까운 값을 보였다.

5. 분류식 지역인 제주-2 지역의 유입수를 산정한 결과 26.4~17,122.7m<sup>3</sup>의 유입수가 발생하는 것으로 조사되었고, 평균유입수는 847.1m<sup>3</sup>/일인 것으로 분석되었으며, 강우빈도, 강우강도 등을 토대로 59.4mm의 기준 강우를 선정하여 기준 강우 유입수를 산정한 결과 8,549.0m<sup>3</sup>의 기준강우유입수가 발생하는 것으로 분석되었다.
6. 합류식 및 합병식 지역을 대상으로 강우유출수를 산정한 결과 제주-1 지역 1.2~2,597.6m<sup>3</sup>, 제주-3 지역 10.7~13,045.4m<sup>3</sup>인 것으로 분석되었다.



## VI. 참고문헌

- 최근웅, 이상일, 2000, 하수관거 정비의 기본방향, 환경관리공단, pp 25-41
- 이상일, 2001, 선진외국의 하수관거사업 추진 현황, 하수도 연찬회 발표자료집, pp. 81-138
- 정권철, 박규홍, 1999, 하수관거 정비의 필요성 및 추진방법, 대한토목학회, 47(11), pp. 5-11
- 제주시, 2001, 제주시 하수도 정비기본계획 변경(안)
- 환경부, 2001, 하수관거정비 타당성 조사 관리계획, 환경부 상하수도국
- 신응배, 윤현식, 1998, 도심지 합류식 하수관거 월류수 오염물질 침강특성, 물환경학회지 14(4), pp. 425-432
- 윤현식, 1999, 합류식 하수관거 월류수의 오염부하특성과 처리, 한양대학교 박사학위 논문
- 황병기, 김원경, 정효준, 2002, 하수관거 I/I 분석 프로그램 개발 및 구리시 관내 하수처리 구역에 적용, 상하수도학회지, 16(4), pp. 481-492
- 이현동, 2001, 하수관거의 불명수 해석을 위한 유량 모니터링 시스템의 현장적용방안, 제주대학교 해양과 환경연구소, 제11회 심포지엄 자료집 PP, 70-83
- Crouch, D. 1995, A case study in inflow and infiltration management, Proc. of National Conference on sanitary sewer overflows, US EPA
- 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
- 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
- US EPA, 1990, Rainfall induced infiltration into sewer system, Report to Congress, EPA/430/09-90/005
- APHA, 1995, Standard Methods for the Examination of water and wastewater

- 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), pp. 103-110
- Metcalf & Eddy, Inc. 1991, *Wastewater Engineering*, 3rd edition., McGraw-Hill, New York
- US EPA, 1993, *Manual of combined sewer overflows control*, EPA/625.R-93/007
- Pitts et al., 1996, *Groundwater contamination from Stormwater Infiltration*, Ann Arbor press
- 田中他, 1995, 下水道雨水対策施設の合理的設計法に関する調査, 土木研究所資料 第3374号, pp. 165-168, 建設省土木研究所
- Sakakibara, T. and Xanthopoulos, C., 1994, Load reduction ration in two solid-liquid separation, 土木學會, 第49回年次學術講演會 講演集 第2部門, pp. 1030-1031
- 田中, 横田, 1997, 河川とその流域での総合的な浄化対策に関する調査報告書, 平成8年度下水道関係年次報告書集
- 建設省, 1997, 平成9年度下水道事業豫算概算要求概要, 建設省
- 建設省監修, 1996, 流域別下水道総合計策定指針と解説(平成8年度版), 下水道協會
- 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*, Vol. 18, pp. 297-306
- 關東地方建設局, 1997, 東京灣流域別下水道整備総合計策に関する基本方針策定調査, 下水道総合計策に関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
- 淺野監譯, 1997, 沿岸都市域の水質管理, 技報堂出版

## 감사의 말씀

꿈에도 생각하지 못했던 산업대학원 환경공학 석사학위 취득을 눈앞에 두고 돌이켜보니 그동안 주변에서 많은 도움을 주신 분들이 떠오릅니다.

아내의 권유로 직장생활을 하면서 대학을 마치고 산업대학원에 입학한지 엇그제 같은데 벌써 감사의 글을 올리게 되었습니다.

처음 입학 할 때는 아무 탈없이 대학원 생활에 적응할 수 있을지 두려움도 많았습니다만 옆에서 늘 걱정하여 주시고 격려하여 주신 이용두 지도교수님을 비롯한 오윤근 교수님, 허목 교수님, 허철구 교수님, 감상규 교수님, 이기호 교수님, 조은일 교수님들께 감사하는 마음 금할 길이 없습니다.

그리고 바쁘신 와중에도 많은 도움을 주신 산업정보대 김창영 교수님께 고마운 마음을 전합니다. 대학원의 배움의 터전에서 오기로 뚝뚝 땀 흘린 5기 동기생(김상현, 정근식, 오명철, 김은영)들과 6기 후배(현윤석, 오순미, 고수용, 지창규, 오승태)님들 영원히 잊지 못할 것입니다.

특히, 대학원 입학시부터 등록금 50%를 지원해주신 우근민 지사님께 감사를 드리며, 직장에서 학업에 충실히 임할 수 있도록 배려하여 주신 현재현 제주도광역수자원관리본부장님, 문창기 기술담당관님, 강문필 과장님과 안성희님을 비롯한 직장동료 여러분께 감사를 드립니다.

대학원 생활하면서 더욱더 열심히 하지 못한 것에 대한 아쉬움이 많이 있지만 이를 뒤로하고 저의 주위의 모든 분들에게 실망시키지 않고 앞으로 열심히 노력하는 사람이 되겠습니다.

끝으로 이 결실의 기쁨을 누릴 수 있도록 도와준 사랑하는 아내(오윤선)와 자녀들 함께 나누고 싶습니다.