

# GIS를 이용한 수질오염물질 배출량 산정 및 예측모델링에 관한 연구 -온천천을 중심으로-

환경조사과 · 부산대학교 토목공학과\*

정현철 · 김도순 · 김도훈 · 최성화 · 김성림 · 빈재훈 · 이상훈 · 강두기\* · 신현석\*

## Study on Estimation of the Pollutant Loading with GIS at On-Cheon River in Busan

*Environmental Research Division  
Department of Civil Engineering, Pusan National University\**

Hyun-Chel Jeong, Do-Soon Kim, Do-Hun Kim, Seong-Hwa Choi, Seong-Nim Kim,  
Jae-hun Bin, Sang-Hun Lee, Du-Gi Gang\* and Hyun-Suk Shin\*

### Abstract

GIS(Geographic Information System) and the effect of CSO(Combined Sewer Overflow) were used in order to offer the data for the policy to decrease the pollutant loading at On-Cheon river in Busan.

In the area treated by Su-Yeong sewage treatment Plant(2nd), the ratio of pollutant loading from the population, the industry and non-point source was 65%, 34%, 1%, respectively.

If precipitation is above 2.7mm/day in the area treated by Su-Yeong sewage treatment Plant(2nd), CSO could be produced.

It is needed to make the channel of rain water in order to maintain the flowing amount of On-Cheon river.

Key Words : GIS, pollution loading, CSO, SWMM

## 서론

우리나라는 연간강수량의 2/3가 하절기 3개월에 집중되고, 유역의 대부분이 산지로 구성되어 하천의 구배가 크며, 표토층은 얇아 토양함수량이 적은 관계로 강우의 대부분이 바로 강, 바다로 유출되는 특성을 갖고 있다.

특히, 부산의 하천은 연안해역과 연결되어 남해 및 동해로 흐르고 있으며, 대부분 하천연장이 짧고 하상구배가 급한편으로, 우수시를 제외하고는 건천화 현상으로 수질이 악화되어, 해양오염을 유발시키고, 도시의 미관을 해치며, 악취를 발생시키고 있다.

따라서, 하천 수질의 관리를 위해 환경기준이 설정되어 정책적으로 관리해오고 있지만, 부산의 하천은 국가하천인 낙동강 등 4개 하천과 수영강을 비롯한 44개의 지방2급하천(준용하천)이 있어 하천정화대책 수립시 예산 및 그 효율성의 증대를 위한 정확한 오염도의 현황 및 GIS(Geographic Information System)를 이용한 보다 합리적인 하천관리가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 수영하수처리구역(2단계)을 대상으로 수치지도에서 대상유역을 추출하고, 각종 속성자료를 나타내며, 합류식 하수관거로부터의 월류수(CSO : Combined Sewer Overflow)의 온천천에 대

한 영향을 파악하기 위하여 온천천의 수질 및 하수관거에서의 오염도, 하수처리장 유입수의 수질과 유입량, 하수차집관거 등을 조사하여 온천천의 수질 개선책을 강구하고자 하였다.

또한, 본 연구에서는 1975년 EPA에서 도시유출과 합류식 하수관거 계통에 관련된 유출량과 수질의 변화를 동시에 모의할 수 있도록 개발된 SWMM(Storm Water Management Model)모델 및 GUI(Graphic User Interface)로 CHI(Computational Hydraulic Int.)에서 개발된 PCSWMM 2002를 이용하여 온천천 유역의 비점오염원 발생량을 산정하였다.

## 연구 방법

### 1. 유역설정

2단계 수영하수처리장의 처리구역을 처리분구로 나누고, 이 처리분구에 해당되는 법정동을 추출하여, 하나의 영역으로 설정하였다.

이렇게 하여 장전·부곡·사직·수민·연산처리분구로 5개 영역으로 나누었다.

### 2. 인구수와 법정동 선정

인구수는 2001년 12월말 24:00기준으로 주민등록인구통계를 사용하였고, 해당 법정동은 부산광역시행정지도와 금정구, 동래구, 연제구, 부산진구행정지도, 수영처리구역 차집관로 시설평면도를 비교하

며, 결정하였다.

법정동의 면적은 해당 구청 지적과에서 ‘지적공부등록지 현황 (2001. 12. 31일 기준)’에서 동별 지목별 면적을 조사하였다.

다만, 거제동은 사직처리분구와 연산처리 분구로 나뉘어 있어, 행정동 면적 비율로 면적을 나누었다.

### 3. 하수발생량과 강우유출량 산정

하수발생량은 수영하수처리장(1·2단계)의 유입수량으로 역산하여 구하였다. 먼저 수영하수처리장으로 생활오수가 유입되는 지역을 설정하고, 그 지역내의 인구수를 구하였다. 또한 ‘구(군)별 급수현황 2001. 12. 31일 기준’에서 1인1일 급수량을 조사하였고, 여기서 수영하수처리장 처리구역에서의 총급수량을 산정하여, 유입수량과 비교하였다. 총급수량을 초과하는 유입수량은 불명수로 산정하였고, 발생원인은 지하수 침투 및 상류부 계곡수의 유입 등으로 생각되어졌다.

수영하수처리구역(1·2단계)은 금정구의 청룡·남산·구서·장전·부곡동, 동래구 전역, 연제구 전역, 부산진구 양정동, 해운대구 반여동, 수영구 망미·수영·광안 1,2,3동으로 인구수는 984,364명이었다. 인구수에 구별 1인1일 급수량을 곱하여 처리구역에서의 총급수량은 309,000m<sup>3</sup>/일이었다.

수영하수처리장(1·2단계) 유입량은 386,255 m<sup>3</sup>/일이었으며, 따라서 불명수량은 77,255 m<sup>3</sup>/일이었고, 총급수량의 25%이었다. 그

러므로, 하수발생량은 분구별 급수량에 불명수량을 포함한 계수 1.25를 곱하여 산정하였다.

강우유출량은 계산식(1), (2)의 KAJIYAMA 월평균 유출고 공식을 이용하여 월별 유출량을 구하였는데, 유역특성에 따른 계수 값 f는 0.8을 적용하였고, 그 내용은 표 1에 나타내었으며, 2001년도 월 강수량을 사용하였고 표 2에 나타내었다.

### 4. 수질 조사

각 처리분구 하수관거에서의 수질은 환경시설공단 수영사업소에서 1~3개 조사지점을 선정하여 월 1회 조사한 결과를 이용하였으며, 온천천의 수질은 4개 조사지점을 선정하여 월 1회 직접 조사하였다.

또한, 온천천의 유량은 온천교 지점에서 월 1회 유속계로 유속을 측정하고, 단면적을 계산하여 실측하였다.

### 5. 오염배출량 산정

오염물질 배출부하량은 환경부 고시 제 1999-143호(1999. 9. 15)인 ‘오염총량 관리계획수립지침’에 의거하여 산출하였으며, BOD만을 평가하였다.

#### 5.1 비점오염원에 의한 배출부하량

위 지침에 근거하여 토지이용별 발생원 단위에 토지이용면적을 곱하고, 여기에 배출계수 0.25를 곱하여 산정하였다.

다만, 토지이용면적은 금정구, 동래구, 부산진구는 2001. 12. 31일을 기준으로

$$C = \sqrt{R^2 + (138.6f + 10.2)^2} - 138.6f + E \quad (1)$$

$$Q = C \times A \times 10^3 / MS \quad (2)$$

여기서 Q : 유출량(m<sup>3</sup>/일)

C : 유출고(mm)

R : 월별 강우량(mm)

f : 유역의 상황에 의하여 변화하는 계수(0.6~1.4), 주로 0.8적용

E : 월보정치로서 대개 무시함

A : 유역면적(km<sup>2</sup>)

MS : 월의 일수(일)

$$\begin{aligned} \text{배출부하량} = & \{ \text{유역 인구} \times \text{발생원단위}(50\text{g}/\text{인}/\text{일}) \times (1 - \text{분뇨부하비}(0.35)) \} \\ & + \{ \text{유역 인구} \times \text{발생원단위}(50\text{g}/\text{인}/\text{일}) \times \text{분뇨부하비}(0.35) \\ & \times (1 - \text{정화시설처리율}(50)/100) \} \end{aligned} \quad (3)$$

표 1. The Value of Factor (f) in KAJIYAMA Equation

| 유역 특성                           | f   |
|---------------------------------|-----|
| 경작지 및 임야가 많고, 경사가 완만하여 손실우량이 최대 | 1.4 |
| 경작지 및 임야가 많고, 경사가 완만하여 손실우량이 대  | 1.2 |
| 경작지 및 임야가 적고, 경사가 완만하여 손실우량이 중  | 1.0 |
| 경작지 및 임야가 적고, 경사가 급하여 손실우량이 소   | 0.8 |
| 경작지 및 임야가 적고, 경사가 급하여 손실우량이 최소  | 0.6 |

표 2. 2001년도 부산지역의 강수량

(단위 : mm)

| 월   | 1    | 2    | 3   | 4    | 5    | 6     | 7     | 8     | 9    | 10    | 11   | 12   |
|-----|------|------|-----|------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|
| 강수량 | 60.4 | 53.3 | 6.1 | 42.4 | 57.8 | 274.9 | 271.5 | 144.7 | 74.4 | 144.2 | 12.9 | 28.7 |

하였으며, 연제구는 2002. 2. 28일을 기준으로 하여 조사하였다.

### 5.2 인구에 의한 배출부하량

인구에 의한 배출부하량은 계산식(3)에 따라 산정하였다.

### 5.3 산업폐수에 의한 배출부하량

산업폐수에 의한 배출부하량은 폐수배출시설 방류량과 방류농도를 곱하여 산정하여야 하나, 평균적인 방류농도의 자료를 조사하기가 어렵고, 사실상 폐수배출시설 배출허용기준을 적용하는 것보다 폐수배출시설 발생원단위를 적용하는 것이 더 타당하다고 판단되어, 폐수배출시설 방류량에 폐수배출시설 발생원단위를 곱하여 배출부하량을 산정하였다.

폐수배출시설 방류량은 부산광역시 환경보전과의 내부자료를 이용하여 조사하였다.

### 5.4 가축에 의한 배출부하량

가축 사육 현황은 부산광역시 농업행정과 내부자료로부터 2001년 12월 31일 기준으로 젖소, 한우, 말, 돼지, 양, 사슴, 가금의 사육 두수를 파악하였다.

가축에서 발생하는 분뇨는 대부분 퇴비화하여 처리하고 있으므로 배출량은 계산식(4)에 따라 산정하였다.

$$\begin{aligned} \text{배출부하량} &= \text{축종별 사육두수} \times (\text{축산분뇨 발생원단위} - \text{축산폐수 발생원단위}) \\ &\times (1 - \text{축산분뇨자원화시설 처리율}(50)/100) \times \text{농지배출계수}(0.10) \\ &\times \text{비점오염원배출계수}(0.25) \end{aligned} \quad (4)$$

## 6. 수치표고모델 및 수치지도의 추출

부산광역시수치지도에서 조사 대상구역의 수치표고모델 및 수치지도를 그림 1과 같이 추출하였다.

## 연구결과

### 1. 각 처리분구별 일반현황 및 수질, CSO 발생량

#### 1.1 장전처리분구

장전처리분구는 금정구의 청룡동, 남산동, 구서동, 장전동으로 이루어져 있으며, 인구수는 143,728인으로 면적은 22.12 km<sup>2</sup> 이었다.

하수관거에서 오염도는 남산교밀, 구서동, 장전동 등 3개 지점에서 조사하였고, 온천천의 조사지점으로 청룡2호교, 태광산업 등 2개 지점에서 조사하여 표 3과 같았다.

하수발생량은 인구수에 금정구의 1인1일 급수량과 하수발생율을 곱하여 구하였는데, 55,155m<sup>3</sup>/일로 평가되었다. (143,728인 × 307 ℓ/인/일 × 1.25).

강우유출량은 KAJIYAMA 월평균 유출고 공식을 이용하여 구하였는데 41,310 m<sup>3</sup>/일로 산정되었다.

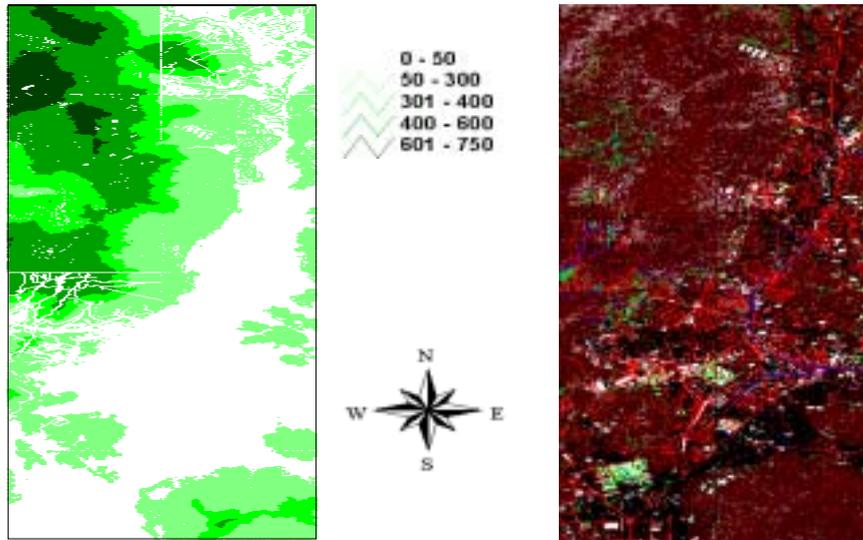


그림 1. 온천천유역의 수치표고모델 및 수치지도

표 3. 장전처리분구의 하수관거 및 하천 수질 현황 (2001년 평균)

| 구분   | 지점명   | 수온 (°C) | pH  | DO (mg/l) | BOD (mg/l) | COD (mg/l) | SS (mg/l) | T-N (mg/l) | T-P (mg/l) |
|------|-------|---------|-----|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| 하수관거 | 남산교밑  | 18      | 7.4 | 2.7       | 52.7       | 36.6       | 37.8      | 17.988     | 2.015      |
|      | 구서동   | 19      | 7.4 | 2.1       | 129.8      | 63.7       | 86.8      | 29.328     | 3.658      |
|      | 장전동   | 19      | 7.2 | 2.0       | 136.2      | 94.0       | 105.8     | 32.347     | 3.435      |
| 하천   | 청룡2호교 | 17      | 7.2 | 6.5       | 10.4       | 9.8        | 12.6      | 6.635      | 1.188      |
|      | 태광산업  | 18      | 7.8 | 9.3       | 15.0       | 17.1       | 8.7       | 12.285     | 1.428      |

차집관거의 지름이 0.8m, 유속이 1.510 m/s 로 만관유량은 65,578m<sup>3</sup>/일이었으며, 따라서 하수발생량과 강우유출량의 합에 만관유량을 빼면 차집되지 못하고 온천천으로 유입된 CSO의 양으로서 30,887m<sup>3</sup>/일로 산정되었다.

여기서, 차집관거에서의 유속은 하수도

정비기본계획보고서의 자료를 사용하였다.

#### 1.2 부곡처리분구

부곡처리분구는 금정구의 부곡동으로 이루어져 있으며, 인구수는 73,260인으로 면적은 3.95km<sup>2</sup> 이었다.

하수관거에서 오염도는 부곡동 1개 지

점에서 조사하였고, 온천천의 조사지점으로 온천교 1개 지점에서 조사하여 표 4와 같았다.

하수발생량은 인구수에 금정구의 1인1일 급수량과 하수발생율을 곱하여 구하였는데, 28,114m<sup>3</sup>/일로 평가되었다(73,260인×307ℓ/인/일×1.25).

강우유출량은 KAJIYAMA 월평균 유출고 공식을 이용하여 구하였는데 7,377m<sup>3</sup>/일로 산정되었다.

온천교에서의 측정된 온천천의 연평균 유량은 3,701m<sup>3</sup>/일이었다.

차집관거의 지름이 1.0m, 유속이 1.460m/s 로 만관유량은 99,073m<sup>3</sup>/일이었으며, 따라서 하수발생량과 강우유출량의 합보다 만관유량이 많으므로 차집되지 못하고 온천천으로 유입되는 CSO의 양은 없는 것으로 산정되었다.

### 1.3 사직처리분구

사직처리분구는 동래구의 온천동, 사직동, 연제구의 거제동(거제1·2동)으로 이루어져 있으며, 인구수는 166,817인으로 면적은 11.94km<sup>2</sup> 이었다.

하수관거에서 오염도는 온천동, 사직동 등 2개 지점에서 조사하여 표 5와 같았다.

하수발생량은 인구수에 동래구의 1인1일 급수량(315ℓ/인/일) 또는 연제구의 1인1일 급수량(312ℓ/인/일)과 하수발생율을 곱하여 구하였는데, 65,540m<sup>3</sup>/일로 평가되었다[(128,373인×315ℓ/인/일+38,444인×312ℓ/인/일)×1.25].

강우유출량은 KAJIYAMA 월평균 유출고 공식을 이용하여 구하였는데 22,298m<sup>3</sup>/일로 산정되었다.

차집관거의 지름이 1.35m, 유속이 1.074m/s 로 만관유량은 132,824m<sup>3</sup>/일이었으

표 4. 부곡처리분구의 하수관거 및 하천 수질 현황 (2001년 평균)

| 구분   | 지점명 | 수온 (°C) | pH  | DO (mg/ℓ) | BOD (mg/ℓ) | COD (mg/ℓ) | SS (mg/ℓ) | T-N (mg/ℓ) | T-P (mg/ℓ) |
|------|-----|---------|-----|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| 하수관거 | 부곡동 | 20      | 7.4 | 2.0       | 87.0       | 44.0       | 77.0      | 36.082     | 5.227      |
| 하천   | 온천교 | 17      | 8.4 | 11.4      | 4.7        | 8.1        | 3.8       | 5.571      | 0.660      |

표 5. 사직처리분구의 하수관거 수질 현황 (2001년 평균)

| 구분   | 지점명 | 수온 (°C) | pH  | DO (mg/ℓ) | BOD (mg/ℓ) | COD (mg/ℓ) | SS (mg/ℓ) | T-N (mg/ℓ) | T-P (mg/ℓ) |
|------|-----|---------|-----|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| 하수관거 | 온천동 | 22      | 7.2 | 2.1       | 80.6       | 38.3       | 49.5      | 19.907     | 2.046      |
|      | 사직동 | 19      | 7.3 | 1.8       | 96.0       | 49.1       | 84.0      | 28.627     | 3.406      |

며, 따라서 하수발생량과 강우유출량, 상류의 장전처리분구 만관유량의 합에 만관유량을 빼면 차집되지 못하고 온천천으로 유입된 CSO의 양으로서 20,592m<sup>3</sup>/일로 산정되었다.

1.4 수민처리분구

수민처리분구는 동래구의 명장동, 안락동, 칠산동, 낙민동, 복천동, 수안동, 명륜동으로 이루어져 있으며, 인구수는 165,542인으로 면적은 7.48km<sup>2</sup> 이었다.

하수관거에서 오염도는 동래간선, 명장간선, 안락간선 등 3개 지점에서 조사하여 표 6과 같았다.

하수발생량은 인구수에 동래구의 1인1일 급수량과 하수발생율을 곱하여 구하였는데, 65,970m<sup>3</sup>/일로 평가되었다(167,542

인×315 ℓ/인/일×1.25).

강우유출량은 KAJIYAMA 월평균 유출고 공식을 이용하여 구하였는데 13,969m<sup>3</sup>/일로 산정되었다.

차집관거의 단면은 한번 길이가 1.5m인 정사각형이며, 유속은 0.884m/s 로 만관유량은 171,850m<sup>3</sup>/일이었으며, 따라서 하수발생량과 강우유출량, 상류의 부곡처리분구 만관유량의 합에 만관유량을 빼면 차집되지 못하고 온천천으로 유입된 CSO의 양으로서 7,162m<sup>3</sup>/일로 산정되었다.

1.5 연산처리분구

연산처리분구는 연제구의 거제동(거제3·4동), 연산동과 부산진구의 양정동으로 이루어져 있으며, 인구수는 230,491인으로 면적은 11.44km<sup>2</sup> 이었다.

표 6. 수민처리분구의 하수관거 수질 현황 (2001년 평균)

| 구분   | 지점명  | 수온 (°C) | pH  | DO (mg/ℓ) | BOD (mg/ℓ) | COD (mg/ℓ) | SS (mg/ℓ) | T-N (mg/ℓ) | T-P (mg/ℓ) |
|------|------|---------|-----|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| 하수관거 | 동래간선 | 19      | 7.3 | 1.9       | 96.6       | 43.4       | 68.3      | 29.300     | 3.381      |
|      | 명장간선 | 18      | 7.3 | 2.6       | 59.6       | 40.7       | 47.5      | 36.215     | 2.757      |
|      | 안락간선 | 18      | 7.3 | 2.1       | 82.2       | 47.8       | 102.8     | 29.888     | 3.037      |

표 7. 연산처리분구의 하수관거 및 하천 수질 현황 (2001년 평균)

| 구분   | 지점명  | 수온 (°C) | pH  | DO (mg/ℓ) | BOD (mg/ℓ) | COD (mg/ℓ) | SS (mg/ℓ) | T-N (mg/ℓ) | T-P (mg/ℓ) |
|------|------|---------|-----|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| 하수관거 | 양정거제 | 19      | 7.4 | 1.8       | 50.7       | 50.7       | 67.3      | 30.798     | 2.684      |
|      | 연산간선 | 19      | 7.4 | 1.9       | 86.7       | 44.7       | 59.5      | 31.109     | 3.206      |
| 하천   | 연안교  | 19      | 8.3 | 11.4      | 11.1       | 14.2       | 19.3      | 5.883      | 0.948      |

하수관거에서 오염도는 양정거제, 연산간선 등 2개 지점에서 조사하였고, 온천천의 조사지점으로 연안교 1개 지점에서 조사하여 표 7과 같았다.

하수발생량은 인구수에 연제구의 1인1일 급수량(312 l/인/일) 또는 부산진구의 1인1일 급수량(318 l/인/일)과 하수발생율을 곱하여 구하였는데, 90,208m<sup>3</sup>/일로 평가되었다[(188,324인×312 l/인/일+42,167인×318 l/인/일)×1.25].

강우유출량은 KAJIYAMA 월평균 유출고 공식을 이용하여 구하였는데 21,364 m<sup>3</sup>/일로 산정되었다.

차집관거의 단면은 한변 길이가 2.0m인 정사각형이며, 유속은 1.216m/s로 만관유

량은 420,250m<sup>3</sup>/일이었으며, 따라서 하수 발생량과 강우유출량, 상류의 사직처리분구 만관유량의 합보다 만관유량이 많으므로 차집되지 못하고 온천천으로 유입되는 CSO의 양은 없는 것으로 산정되었다.

## 2. 수영하수처리장(2단계)의 유입수 수질 및 처리용량과 CSO의 관계

앞서 언급한 각 처리분구에서 발생한 생활오수가 하수관거를 통해 수영하수처리장(2단계)으로 유입되는데, 유입수의 수질은 월 1회 조사하였으며 표 8과 같았다.

하수처리장으로 유입되는 차집관거는 2개이며, 단면은 한변 길이가 2.0m인 정

표 8. 수영하수처리장(2단계) 유입수 수질 현황 (2001년 평균)

| 구분  | 유입량 (m <sup>3</sup> /일) | BOD (mg/l) | COD (mg/l) | SS (mg/l) | T-N (mg/l) | T-P (mg/l) |
|-----|-------------------------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| 방류수 | 197,579                 | 92.6       | 47.1       | 89.6      | 24.320     | 3.223      |

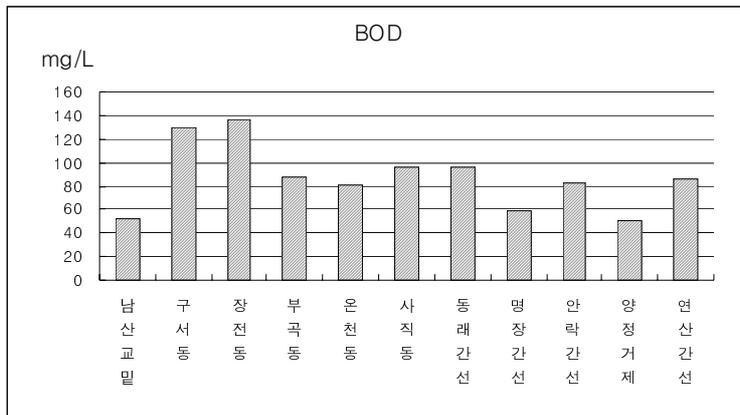


그림 2. 각 하수차집관거에서의 연평균 BOD (2001년).

사각형이다. 유속은 1.216m/s로 만관유량은 840,499m<sup>3</sup>/일이었으나, 수영하수처리장(2단계)의 처리용량이 264,000m<sup>3</sup>/일로 전량 다 처리할 수 없는 상태이었다.

수영하수처리장(2단계)만을 고려하면 처리 용량에서 일평균 유입량을 뺀 양은 강우시에 추가로 처리 가능한 유량으로 66,421m<sup>3</sup>/일이었다. 이 유량은 월 강수량이 81.4mm일 때의 강우유출량에 상응하므로 월 강수량이 81.4mm이상이면, CSO가 발생한다고 계산되어졌다.

### 3. 각 하수차집관거에서의 수질 현황

각 하수차집관거에서의 BOD는 그림 2와 같으며, 양정거제 지점과 남산교밑 지점의 오염도가 가장 낮았다. 이것은 두 지점 모두 우수의 유입이 많다는 반증이며, 따라서 분류식 하수관거는 오염도의 역순으로 설치해 나아가야 할 것으로 판단되었다.

### 4. 온천천의 수질 현황

온천천의 수질 현황은 아래 그림 3에 나타내었는데, 상류지점인 청룡2호교에서는 하수차집관거가 설치되어 있지 않아, 인근 생활오수로 다소 수질이 나빠졌으며, 중류지점인 태광산업 역시 수량이 적고, 부분적으로 생활오수가 유입되어 수질이 가장 나빴다. 그러나 보다 하류에 위치한 온천교 지점의 수질은 하천의 자정활동 등으로 인하여 가장 개선된 수질을 나타내었으며, 하류지점인 연안교 지점은 바닷물의 영향 등으로 하상퇴적물의 용출 및 이류, 오염물질의 정체 등으로 다소 수질이 악화된 것으로 조사되었다.

### 5. 각 처리분구별 배출부하량

#### 5.1 비점오염원에 의한 배출부하량

각 처리분구별 토지이용별 면적과 발생원단위는 표 9에 나타내었고, 비점오염원에 의한 배출부하량은 표 10에 나타내었다.

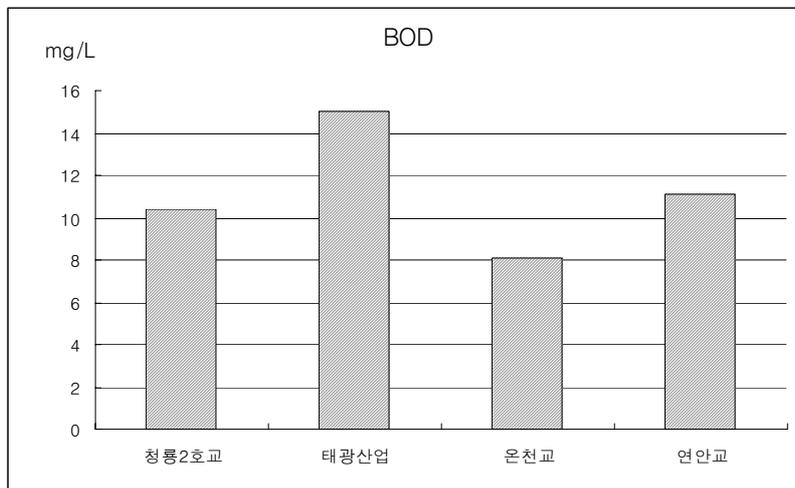


그림 3. 온천천의 연평균 BOD (2001년).



표 12. 장전처리분구에서의 산업폐수에 의한 업종별 배출부하량

| 업종             | 업소수 | 폐수방류량 (m <sup>3</sup> /일) | 발생원단위 (mgBOD/ℓ) | 배출부하량 (kgBOD/일) |
|----------------|-----|---------------------------|-----------------|-----------------|
| 운수장비 수선 및 세차시설 | 37  | 97.5                      | 58              | 5.66            |
| 제사, 방적 및 직조시설  | 1   | 1,550.0                   | 1,198           | 1,856.90        |
| 이화학시험시설        | 1   | 55.0                      | 104             | 5.72            |
| 병원시설           | 2   | 33.0                      | 137             | 4.52            |
| 계              | 41  | 1,735.5                   | -               | 1,872.80        |

표 13. 부곡처리분구에서의 산업폐수에 의한 업종별 배출부하량

| 업종                   | 업소수 | 폐수방류량 (m <sup>3</sup> /일) | 발생원단위 (mgBOD/ℓ) | 배출부하량 (kgBOD/일) |
|----------------------|-----|---------------------------|-----------------|-----------------|
| 운수장비 수선 및 세차시설       | 18  | 58.8                      | 58              | 3.41            |
| 세탁시설                 | 1   | 4.0                       | 198             | 0.79            |
| 소주, 탁주, 청주, 과일주 제조시설 | 1   | 1.0                       | 407             | 0.41            |
| 계                    | 20  | 63.8                      | -               | 4.61            |

표 14. 사직처리분구에서의 산업폐수에 의한 업종별 배출부하량

| 업종                      | 업소수 | 폐수방류량 (m <sup>3</sup> /일) | 발생원단위 (mgBOD/ℓ) | 배출부하량 (kgBOD/일) |
|-------------------------|-----|---------------------------|-----------------|-----------------|
| 운수장비 수선 및 세차시설          | 35  | 168.8                     | 58              | 9.79            |
| 이화학시험시설                 | 1   | 10.0                      | 104             | 1.04            |
| 달리 분류되지 않은 기타 화학제품 제조시설 | 1   | 82.0                      | 1,793           | 147.03          |
| 전분 및 당류 제조시설            | 1   | 2,558.0                   | 2,230           | 5,704.34        |
| 주정 제조시설                 | 1   | 351.0                     | 25,136          | 8,822.74        |
| 계                       | 39  | 3,169.8                   | -               | 14,684.94       |

표 15. 수민처리분구에서의 산업폐수에 의한 업종별 배출부하량

| 업종                        | 업소수 | 폐수방류량<br>(m <sup>3</sup> /일) | 발생원단위<br>(mgBOD/ℓ) | 배출부하량<br>(kgBOD/일) |
|---------------------------|-----|------------------------------|--------------------|--------------------|
| 먹는샘물 제조시설                 | 1   | 2,200.0                      | 15                 | 33.00              |
| 달리 분류되지 않은 비철금속 압연 및 압출시설 | 1   | 0.6                          | 30                 | 0.02               |
| 달리 분류되지 않은 광업 및 채석업       | 1   | 0.6                          | 35                 | 0.02               |
| 운수장비 수선 및 세차시설            | 24  | 84.1                         | 58                 | 4.88               |
| 기타 섬유제품 제조 가공시설           | 1   | 730.0                        | 356                | 259.88             |
| 조립제품 제조시설                 | 1   | 1.0                          | 885                | 0.89               |
| 계                         | 29  | 3,016.3                      | -                  | 298.69             |

표 16. 연산처리분구에서의 산업폐수에 의한 업종별 배출부하량

| 업종                  | 업소수 | 폐수방류량<br>(m <sup>3</sup> /일) | 발생원단위<br>(mgBOD/ℓ) | 배출부하량<br>(kgBOD/일) |
|---------------------|-----|------------------------------|--------------------|--------------------|
| 금속 주조시설             | 1   | 0.1                          | 22                 | 0.00               |
| 운수장비 수선 및 세차시설      | 40  | 87.5                         | 58                 | 5.08               |
| 이화학 시험시설            | 3   | 60.1                         | 104                | 6.25               |
| 병원시설                | 3   | 31.0                         | 137                | 4.25               |
| 기타 섬유제품 제조 가공시설     | 1   | 5.0                          | 356                | 1.78               |
| 달리 분류되지 않은 식료품 제조시설 | 1   | 2.0                          | 560                | 1.12               |
| 육지동물 가공, 처리시설       | 1   | 15.0                         | 1,170              | 17.55              |
| 계                   | 50  | 200.7                        | -                  | 36.03              |

표 17. 각 처리분구별 산업폐수에 의한 배출부하량

(단위 : kgBOD/일)

| 구분    | 장전       | 부곡   | 사직        | 수민     | 연산    | 계         |
|-------|----------|------|-----------|--------|-------|-----------|
| 배출부하량 | 1,872.80 | 4.61 | 14,684.94 | 298.69 | 36.03 | 16,897.07 |

표 18. 각 처리분구별 가축 사육 두수 및 발생원단위

(단위 : 두)

| 구분<br>처리분구    | 젖소  | 한우  | 말   | 돼지  | 양  | 사슴 | 가금  |
|---------------|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|
| 장전            | 56  | 42  | 0   | 27  | 0  | 25 | 0   |
| 부곡            | 0   | 2   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   |
| 사직            | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   |
| 수민            | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   |
| 연산            | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 136 |
| 축산분뇨<br>발생원단위 | 556 | 528 | 259 | 109 | 17 | 17 | 5   |
| 축산폐수<br>발생원단위 | 117 | 67  | 30  | 32  | 5  | 5  | 0   |

※ 발생원단위의 단위는 g/두/일임.

표 19. 각 처리분구별 가축에 의한 배출부하량

(단위 : kgBOD/일)

| 구분    | 장전   | 부곡   | 사직   | 수민   | 연산   | 계    |
|-------|------|------|------|------|------|------|
| 배출부하량 | 0.58 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.60 |

#### 5.4 가축에 의한 배출부하량

각 처리분구별 가축 사육 두수와 발생원단위는 표 18에 나타내었고, 가축에 의한 배출부하량은 표 19에 나타내었다.

전체 배출부하량의 94~99%를 차지하고 있었고, 장전·사직처리분구의 산업폐수에 의한 부하량이 각각 24%, 67%를 차지하고 있었다.

#### 5.5 배출부하량에 대한 고찰

처리구역 및 각 처리분구에서의 배출부하량은 그림 4에 나타내었다.

부곡·수민·연산처리분구의 배출부하량은 인구에 의한 부하량이 각 처리분구별

처리구역 전체 배출부하량을 살펴보면, 인구에 의한 부하량이 65%, 산업폐수에 의한 부하량이 34%, 비점오염원에 의한 부하량이 1%로 조사되었으며, 따라서, 생활오수에 의한 오염물질 배출량이 가장 많은 것으로 조사되었다.

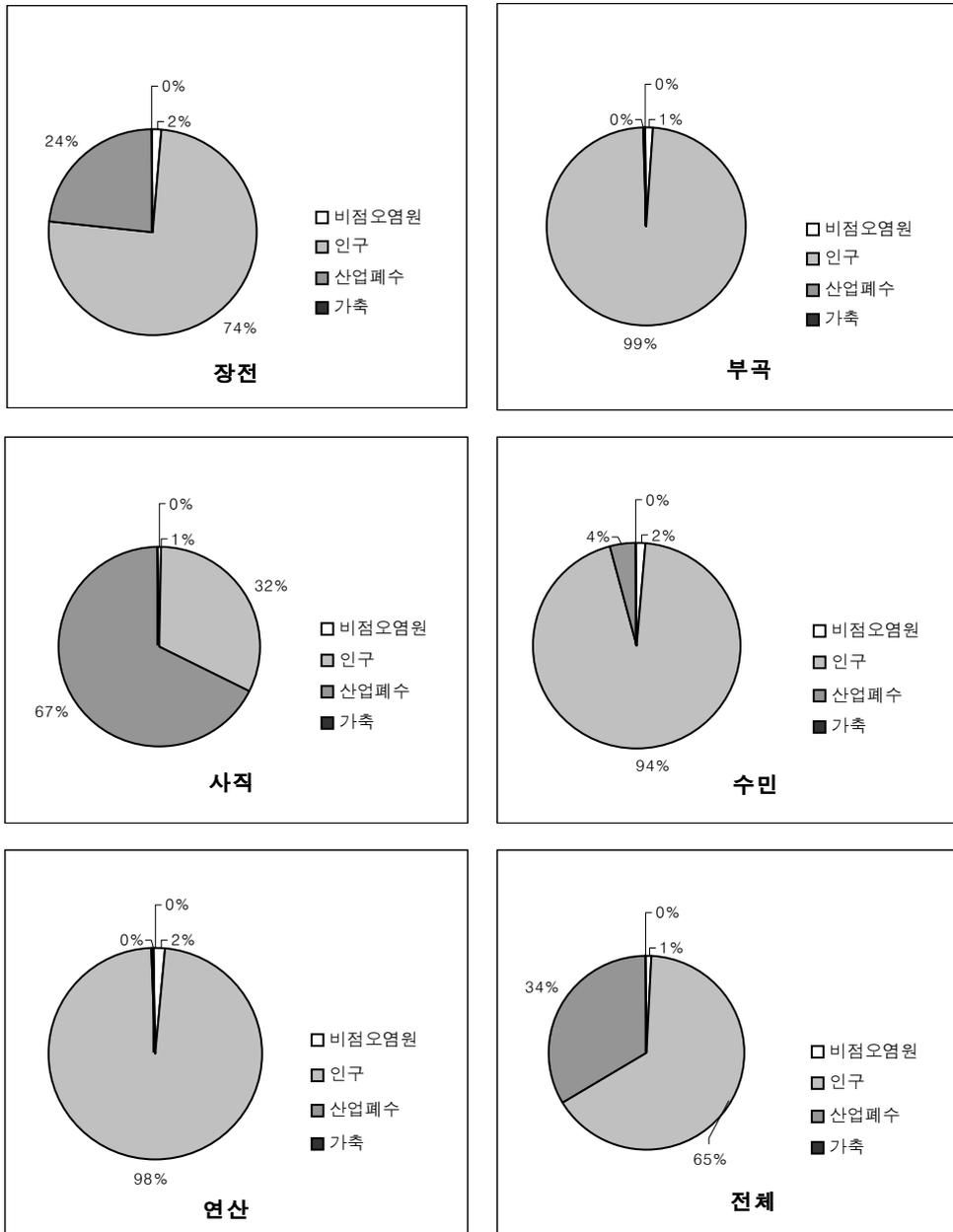


그림 4. 처리구역 및 각 처리분구에서의 배출부하량.

## 6. 수치지도상의 처리분구별 일반현황 및 배출부하량

각 처리구역별 인구수, 면적, 하수발생량, 강우유출량을 그림 5에 나타내었으며, 비점오염원, 인구, 산업폐수, 가축에 의한 배출부하량을 그림 6에 나타내었다.

또한 각 처리분구별 총 배출부하량은 그림 7과 표 20, 그림 8에 나타내었는데, 수영하수처리구역(2단계) 중 사직처리분구에서의 배출부하량이 가장 컸으며, 부곡처리분구에서의 배출부하량이 가장 작았다.

수영하수처리구역(2단계)에서의 총 배출부하량에서 있어서 각 처리분구별 배출부하량의 비율은 장전·부곡·사직·수민·연산처리분구가 각각 16%, 6%, 43%, 15%, 20%이었다.

## 7. SWMM을 이용한 CSO's 유출량 및 오염부하량 산정

### 7.1 SWMM에서의 유출량 및 CSO's 부하량 산정(RUNOFF BLOCK)

비점오염물의 발생과 유출량 추정 및 비점오염원 제거기법의 효율성 분석을 위해 사용되는 수학적 모델은 원단위를 이용한 단순모델에서 수문학적 시뮬레이션 기법을 이용한 모형까지 다양하다. 본 연구에서는 1975년 EPA에서 도시유출과 합류식 하수관거 계통에 관련된 유출량과 수질의 변화를 동시에 모의할 수 있도록 개발된 SWMM(Storm Water Management Model) 모델 및 GUI(Graphic User

Interface)로 CHI(Computational Hydraulic Int.)에서 개발된 PCSWMM 2002를 이용하여 온천천 유역의 비점오염원 발생량을 산정하였다.

SWMM 모형은 도시 유역 내에서 강우 사상으로서 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하 흐름, 배수 관망에서의 유량 추적, 저류량 산정, 오염물의 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형으로 본 연구와 관련된 모델의 내용을 살펴보면 다음과 같다.

#### 7.1.1 모형의 구성

SWMM은 그림 9와 같이 RAIN block, TEMPERATURE block, COMBINE block, STATISTICS block 등의 보조 모듈(Service module)과 RUNOFF block, TRANSPORT block, EXTRAN block, STORAGE/TREATMENT block 등의 수문/수리 모듈(hydrology/hydraulic module)로 구성되어 있다.

#### 7.1.2 보조모듈

강우 모듈(RAIN block)은 강우기록으로부터 장기간의 시계열 자료를 읽어 들여 호우 사상에 대한 분석을 실행하고 RUNOFF block으로 입력될 인터페이스 파일을 생성한다. 강우 모듈은 EPA의 SYNOP 모형의 강우분석 능력을 포함하고 있으며 NWS(National Weather Service), AES (Environment Canada's Atmospheric Environment Service)의 강우 입력양식

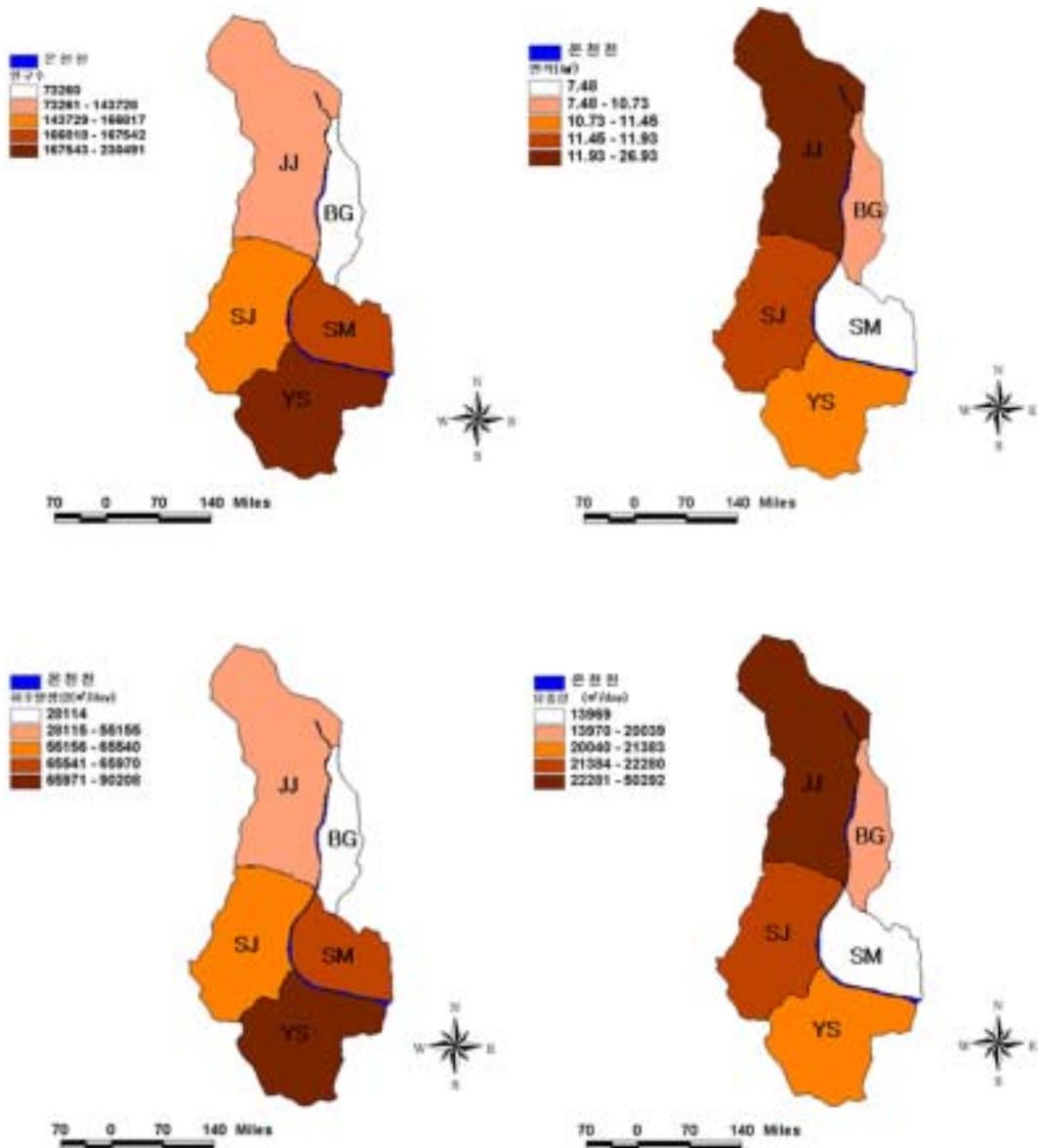


그림 5. 각 처리분구별 인구수, 면적, 하수발생량, 강우유출량.

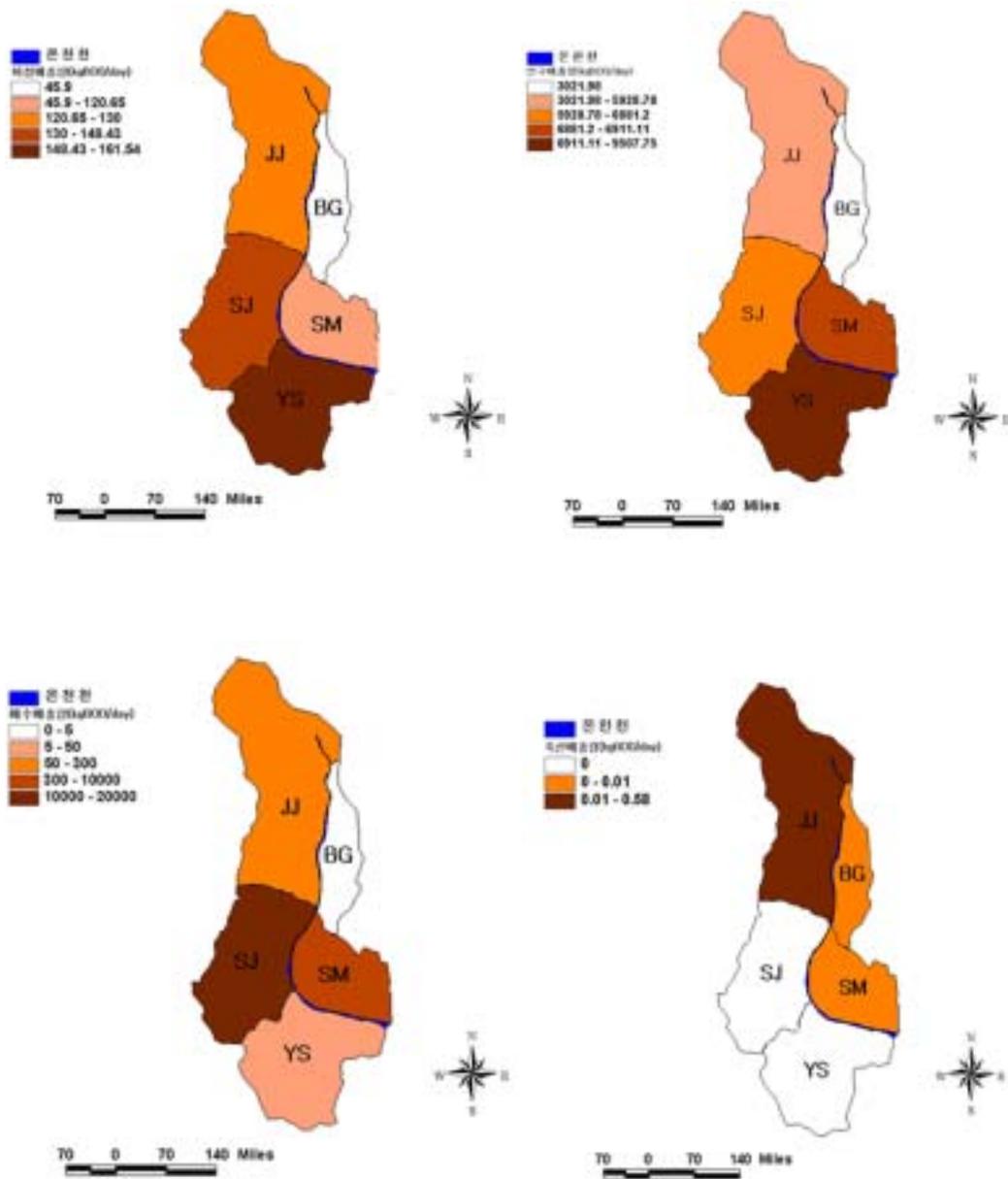


그림 6. 각 처리분구별 비점오염원, 인구, 산업폐수, 가축에 의한 배출부하량.

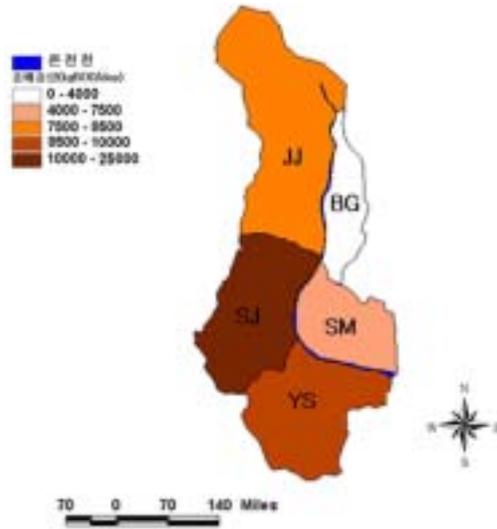


그림 7. 각 처리분구별 총 배출부하량.

표 20. 각 처리분구별 총 배출부하량

(단위 : kgBOD/일)

| 구분      | 장전       | 부곡       | 사직        | 수민       | 연산       | 계         |
|---------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| 총 배출부하량 | 7,932.16 | 3,072.50 | 21,714.57 | 7,330.45 | 9,705.33 | 49,755.01 |

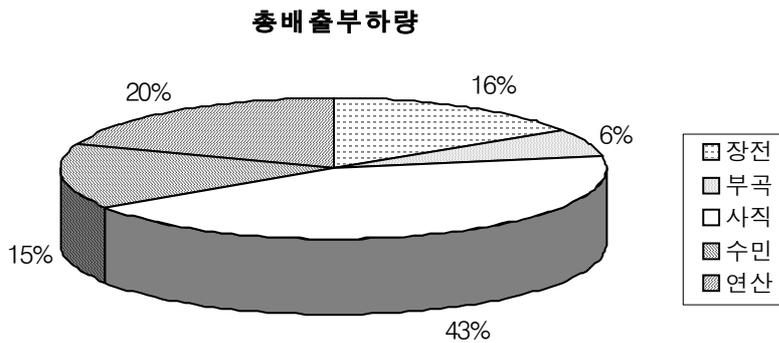


그림 8. 각 처리분구별 총 배출부하량 비율.

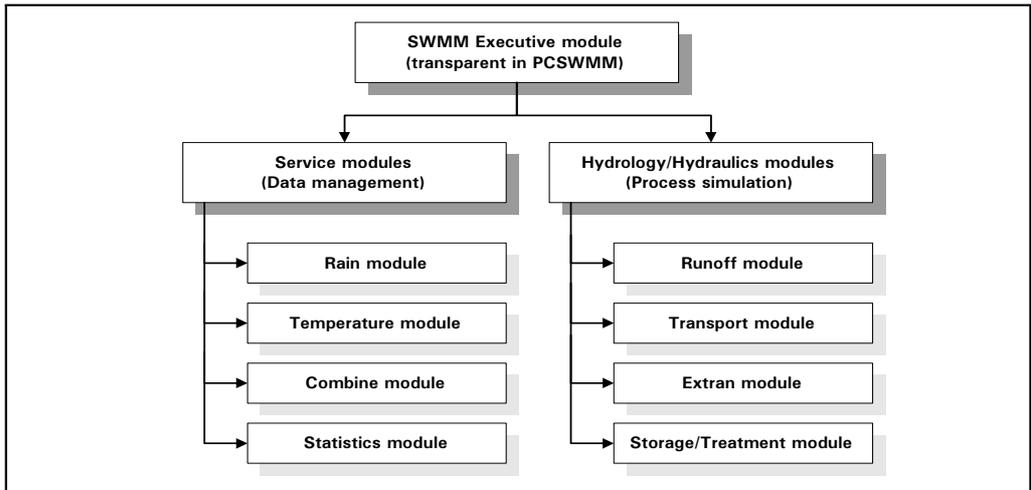


그림 9. SWMM 모형의 구조.

과 사용자에게 의해 정의된 강우 시계열 자료를 읽어 들일 수 있다.

기상 모듈(TEMPERATURE block)은 기온, 증발, 그리고 풍속 자료 등을 RUNOFF block으로 입력하기 위한 모듈로 용설량 계산에 중요한 요소이며, 증발산량 계산의 기본자료가 되고 NWS의 기온, 증발, 풍속 입력양식과 사용자에게 의해 정의된 시계열 자료를 읽어 들일 수 있다.

조합 모듈(COMBINE block)은 서로 다른 모듈로부터의 실행 결과를 조합하여 전체 유역을 모형화한다. 어떤 다른 모형의 결과도 조합 모듈에 의해 SWMM 과 일과 조합될 수 있으며 두 개의 다른 인터페이스 파일을 모든 지점에 대하여 수문/오염도 곡선을 포함하는 하나의 인터페이스 파일로 조합한다. 또한 다른 인터페이스 파일에 대한 수문/오염도 곡선을 하나의 수문/오염도 곡선으로 조합하며

인터페이스 파일을 외부 프로그램으로 읽을 수 있는 ASCII나 텍스트 파일로 변환한다.

통계 모듈(STATISTICS block)은 유량과 수질에 대하여 간단한 통계 분석을 수행하고 연속적인 사상을 사상의 재현기간과 빈도 등으로 사상을 분리할 수 있다. 통계적 분석은 인터페이스 파일을 읽어 들여 수행되며 강우, 유출 체적, 평균 유량, 침투 유량, 지속기간, 오염물질 등에 대하여 분석이 가능하다.

### 7.1.3 수문/수리 모듈

(hydrology/hydraulic module)

RUNOFF block은 배수 유역에서의 유출로 인한 유량과 수질, 주관로에서의 유량과 오염물질의 추적을 모의하기 위해 발달되었으며 소유역과 관로를 합성함으로써 전체 유역을 나타내고, 임의의 강우

주상도를 받아들여 용설, 투수역에서의 침투 손실, 표면 저류, 지표류, 유입 절점으로의 오염물 쓸림 등을 단계적으로 행하여 다수의 수문곡선과 오염도 곡선을 계산한다.

TRANSPORT block은 RUNOFF block에서 연산된 결과를 기본자료로 수지상의 관거 시스템을 통하여 유량과 오염물을 추적한다. 또한 건기시 유량, 관거로의 배수 침투 산정 및 유사의 침식과 퇴적을 모의할 수 있다. 하지만 유입 절점에서의 유입량은 RUNOFF block에서 직접 계산되어지므로 TRANSPORT block에서는 산정하지 않는다.

EXTRAN block은 개수로 또는 관수로 시스템에 대한 수리학적 흐름을 추적하기 위한 모형으로 RUNOFF block과 같은 상위 모듈로부터 인터페이스 파일에 의해 특정한 위치의 절점에 수문곡선이 입력된다.

EXTRAN block은 배수시스템을 통한 호우 유량의 동역학적인 추적을 수행하므로 웨어, 오리피스, 저류지, 펌프장 등에 의한 조석효과, 자유수면 흐름, 압력류, surcharge, 역류 등으로 인한 수지상 또는 루프형 관망, 배수(backwater) 현상 등을 모의할 수 있다.

STORAGE/TREATMENT block은 다섯 개 이상의 장치나 공정을 포함하는 건기 또는 우기의 저류/처리 시설을 통하여 유량과 오염물을 추적하며 단일모의와 연속모의가 모두 가능하다. 다양한 장치들은 여러 가지로 배열되어 연결되고 부가

적으로 각각의 장치에 대하여 자본과 가동, 유지비용을 산정할 수 있으며 유량의 추적뿐만 아니라 세 개까지의 오염물 추적이 가능하다. 표 21에서는 각 모듈의 특성을 비교하였다.

#### 7.1.4 수질모의 이론

##### 1) 오염물의 축적 (Build up)

도시에서의 오염물 축적은 상당히 복잡한 자연현상으로서 청천기간, 도로의 청소빈도, 토지이용, 강우 등 여러 가지 요인에 따라 그 변화가 심하고 대부분의 축적자료는 시간에 대하여 선형함수이지만 비선형인 경우도 있다. 오염물의 축적에 대해서 적당한 함수 형태를 사용할 수 있으며 “dust and dirt(DD)”의 축적 표 22와 각 수질 요소에 대하여 다음 표 23의 세가지 방법이 있다.

여기서, DDLIM은 DD의 한계 축적량(lb, kg), DDPOW는 지수, DDFACT는 계수이며, PSHED는 오염물량(lb, kg), #는 시간(days), QFACT(1)은 오염물 한계량, QFACT(2)는 지수, QFACT(3)는 계수이다.

##### 2) 오염물의 쓸림 (Wash off)

쓸림은 유출기간동안 소유역의 표면으로부터 축적된 오염물이 침식되거나 용해되는 과정으로 지수적 관계로 쓸림의 형태를 설명할 수 있다.

$$POFF(t) = PSHED_0(1 - e^{-kt})$$

여기서, POFF는 시간 t에서 누적된

표 21. 각 모듈의 특성 비교

|                                                                     | RUNOFF                                   | TRANSPORT                          | EXTRAN                                          |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1. 흐름 추적 방법                                                         | Non-linear reservoir, cascade of conduit | Kinematic wave, cascade of conduit | Complete equations, interactive conduit network |
| 2. 동일한 관망에 대한 상대적인 계산 비용                                            | Low                                      | Moderate                           | High                                            |
| 3. 수문곡선 침투치의 감소                                                     | Yes                                      | Yes                                | Yes                                             |
| 4. 수문곡선 침투시간의 지체                                                    | Weak                                     | Yes                                | Yes                                             |
| 5. 관거 내의 저류                                                         | Yes                                      | Yes                                | Yes                                             |
| 6. 배수 또는 하류에서의 조절로 인한 영향                                            | No                                       | No                                 | Yes                                             |
| 7. 흐름의 역류                                                           | No                                       | No                                 | Yes                                             |
| 8. surcharge                                                        | Weak                                     | Weak                               | Yes                                             |
| 9. 압력류                                                              | No                                       | No                                 | Yes                                             |
| 10. 수지상의 관망                                                         | Yes                                      | Yes                                | Yes                                             |
| 11. 루프형으로 연결된 관망                                                    | No                                       | No                                 | Yes                                             |
| 12. Number of pre-programed conduit shapes                          | 3                                        | 16                                 | 8                                               |
| 13. Alternative hydraulic elements (e.g., pumps, weirs, regulators) | No                                       | Yes                                | Yes                                             |
| 14. 건기시 유량 및 침투발생 (기저유량)                                            | No                                       | Yes                                | Yes                                             |
| 15. 오염도 곡선 추적                                                       | Yes                                      | Yes                                | No                                              |
| 16. 고형물 침식/퇴적                                                       | No                                       | Yes                                | No                                              |
| 17. 수문/오염도 곡선의 입력                                                   | No                                       | Yes                                | Yes                                             |

표 22. Dust와 Dirt에 대한 축적 산정공식

| 유 형              | 방 정 식                                       |
|------------------|---------------------------------------------|
| Power-linear     | $DD = DDFACT \cdot tDDPOW$                  |
|                  | $DD \leq DDLIM$                             |
| Exponential      | $DD = DDLIM \cdot (1 - e^{-DDPOW \cdot t})$ |
| Michaelis-Menton | $DD = DDLIM \cdot t / (DDFACT + t)$         |

t = time (days), DD = Dust & Dirt (lb)

표 23. 수질 요소에 대한 축적 산정공식

| 유 형              | 방 정 식                                                |
|------------------|------------------------------------------------------|
| Power-Linear     | $PSHED = QFACT(3) \cdot t^{QFACT(2)}$                |
|                  | $PSHED \leq QFACT(1)$                                |
| Exponential      | $PSHED = QFACT(1) \cdot (1 - e^{-QFACT(2) \cdot t})$ |
| Michaelis-Menton | $PSHED = QFACT(1) \cdot t / QFACT(3) + t$            |

슬림량,  $PSHED_0$  는 강우시작시점에서 지표 위의 초기량,  $K$  는 계수이다.

### 7.2 온천천유역 SWMM 모형구축

온천천유역 중 수영하수처리구역(2단계)에 대한 SWMM모형 구축은 배수 유역에서의 유출로 인한 유량과 수질을 모의하기 위한 목적으로 RUNOFF Block을 이용하여, 2001년 부산지역 일강우자료를 이용하여 투수역에서의 침투 손실, 표면저류, 지표류, 유입 절점으로의 오염물 슬림 등을 단계적으로 수행하여 각 처리분구별 수문곡선과 오염도 곡선을 산정하였으며, 수영하수처리장 유입하수량의 현황

자료를 이용하여 CSO's 유출량 및 부하량을 산정하였다. 오염물의 축적 (Build up) 산정은 Power-Linear 식을 이용하였다.

#### 7.2.1 유역분할

모형구축 시 유역분할은 이후 비점오염원 모니터링 및 저감대책 수립을 위해 수영하수처리구역 처리분구와 동일하게 선정하였다. 유역분할도는 그림 10에 나타내었다.

#### 7.2.2 기상자료

기상자료는 부산기상청 2001년 일강우자료(1,171.30mm/yr)를 사용하였으며, 증발자료는 1971~2000년까지의 월평균값을 사용하였다(표 24).

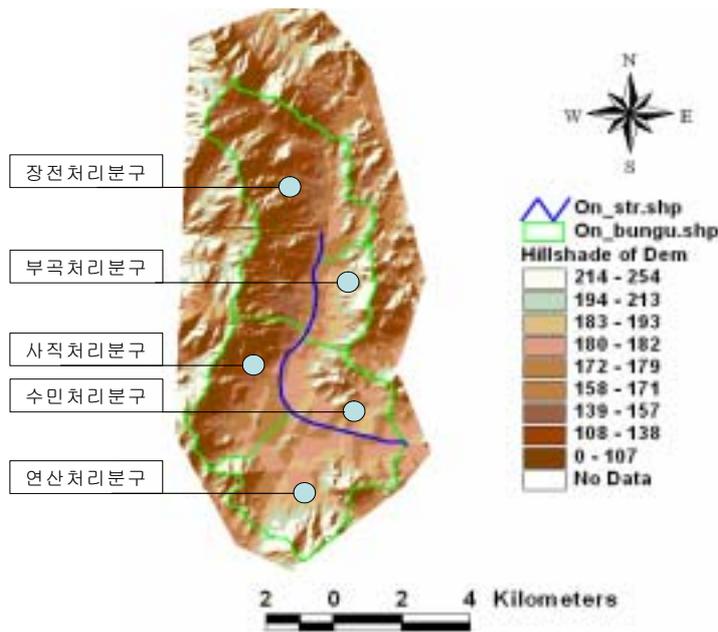


그림 10. 유역분할도.

표 24. 증발량 자료

(단위 : mm/day)

| 구 분 | 1월   | 2월   | 3월   | 4월   | 5월   | 6월   | 7월   | 8월   | 9월   | 10월  | 11월  | 12월  |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 증발량 | 2.22 | 2.51 | 2.92 | 3.65 | 4.05 | 3.72 | 3.91 | 4.35 | 3.55 | 3.28 | 2.55 | 2.30 |

표 25. 유역 지형자료

| 처리분구 | 폭(m)  | 면적(ha) | 불투수면적(%) | 평균경사도(m/m) | 조도계수(n) |      | 비고 |
|------|-------|--------|----------|------------|---------|------|----|
|      |       |        |          |            | 불투수     | 투수   |    |
| 장전   | 6,651 | 2,193  | 26.72    | 0.298      | 0.011   | 0.15 |    |
| 부곡   | 2,811 | 390    | 54.36    | 0.163      | 0.011   | 0.15 |    |
| 사직   | 4,887 | 1,172  | 58.45    | 0.094      | 0.011   | 0.15 |    |
| 수민   | 3,868 | 712    | 78.65    | 0.006      | 0.011   | 0.15 |    |
| 연산   | 4,783 | 1,133  | 66.02    | 0.075      | 0.011   | 0.15 |    |

7.2.3 유역자료

각 처리분구별 유역 지형자료는 표 25에 나타내었다.

7.3 수영하수처리구역(2단계) 강우유출량 산정결과

각 처리분구별 강우유출량을 SWMM모형 및 KAJIYAMA 월평균 유출고 공식을 이용하여 산정한 결과는 표 26과 같았다.

총 유출량을 일 평균값으로 환산한 값은 SWMM 모형에서는 82,615m<sup>3</sup>/일, KAJIYAMA 월평균 유출고 공식에 의한 값은 106,318m<sup>3</sup>/일로 산정되었다.

7.4 수영하수처리구역(2단계) 비점오염 부하량 산정결과

각 처리분구별, 월별 비점오염 부하량은 표 27와 같았다.

토지이용상태를 주거지역, 상업지역 및 산림/리조트 지역으로 구분하여 비점오염 부하량을 산정하였으며, 각 처리분구별 비점오염원 원단위는 표 28과 같이 산정되었다.

발생원별 부하량은 표 29에서 나타난 바와 같이 비점오염원, 생활계, 산업계 및 축산계가 각각 6.54%, 61.33%, 32.13%, 0.00%로 산정되었다.

표 26. 강우유출량 산정결과(SWMM)

(단위 : m<sup>3</sup>)

| 구분                      | 장 전<br>처리분구 | 부 곡<br>처리분구 | 사 직<br>처리분구 | 수 민<br>처리분구 | 연 산<br>처리분구 | 합 계        |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| 1월                      | 275,738     | 99,572      | 317,488     | 248,994     | 345,114     | 1,286,906  |
| 2월                      | 97,294      | 35,143      | 112,255     | 88,384      | 122,098     | 455,173    |
| 3월                      | 138,935     | 50,288      | 161,845     | 130,961     | 176,472     | 658,501    |
| 4월                      | 108,065     | 38,948      | 122,386     | 90,630      | 132,296     | 492,325    |
| 5월                      | 245,174     | 88,682      | 284,620     | 229,529     | 310,284     | 1,158,289  |
| 6월                      | 2,864,876   | 682,711     | 2,101,838   | 1,478,660   | 2,162,426   | 9,290,513  |
| 7월                      | 1,908,382   | 557,305     | 1,732,838   | 1,299,640   | 1,838,484   | 7,336,649  |
| 8월                      | 809,330     | 273,917     | 863,334     | 669,359     | 932,065     | 3,548,005  |
| 9월                      | 194,634     | 70,358      | 225,947     | 181,850     | 246,218     | 919,008    |
| 10월                     | 1,034,431   | 335,520     | 1,052,550   | 813,668     | 1,131,872   | 4,368,042  |
| 11월                     | 34,632      | 12,434      | 38,246      | 26,150      | 40,986      | 152,449    |
| 12월                     | 103,162     | 37,303      | 120,028     | 97,153      | 130,932     | 488,578    |
| 합계                      | 7,814,653   | 2,282,184   | 7,133,375   | 5,354,978   | 7,569,248   | 30,154,439 |
| KAJIYAMA 공식<br>에 의한 유출량 | 15,078,150  | 2,692,605   | 8,138,770   | 5,098,685   | 7,797,860   | 38,806,070 |

표 27. 비점오염부하량 산정결과(SWMM)

(단위 : kgBOD)

| 구분  | 장 전<br>처리분구 | 부 곡<br>처리분구 | 사 직<br>처리분구 | 수 민<br>처리분구 | 연 산<br>처리분구 | 합 계       |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 1월  | 10,500      | 3,350       | 12,000      | 9,370       | 13,200      | 48,420    |
| 2월  | 3,530       | 1,130       | 4,050       | 3,190       | 4,470       | 16,370    |
| 3월  | 5,430       | 1,740       | 6,270       | 5,060       | 6,940       | 25,440    |
| 4월  | 4,250       | 1,360       | 4,800       | 3,580       | 5,270       | 19,260    |
| 5월  | 8,690       | 2,790       | 10,000      | 8,110       | 11,100      | 40,690    |
| 6월  | 136,000     | 27,300      | 93,600      | 64,800      | 97,000      | 418,700   |
| 7월  | 84,400      | 21,200      | 73,500      | 54,600      | 78,800      | 312,500   |
| 8월  | 32,900      | 9,760       | 34,400      | 26,600      | 37,600      | 141,260   |
| 9월  | 7,030       | 2,250       | 8,100       | 6,510       | 8,950       | 32,840    |
| 10월 | 43,200      | 12,200      | 42,800      | 32,900      | 46,600      | 177,700   |
| 11월 | 1,200       | 384         | 1,330       | 912         | 1,440       | 5,266     |
| 12월 | 3,500       | 1,120       | 4,040       | 3,250       | 4,470       | 16,380    |
| 합계  | 340,630     | 84,584      | 294,890     | 218,882     | 315,840     | 1,254,826 |

표 28. 비점오염원 발생원단위 산정

(단위 : kgBOD/ha/year)

| 구분  | 장 전<br>처리분구 | 부 곡<br>처리분구 | 사 직<br>처리분구 | 수 민<br>처리분구 | 연 산<br>처리분구 | 수영하수처리구<br>역 (2단계) |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
| 원단위 | 155.33      | 216.88      | 251.61      | 307.42      | 278.76      | 224.08             |

표 29. 각 처리분구별 발생원별 오염부하량 산정

(단위 : kgBOD/일)

| 구분    | 장 전<br>처리분구 | 부 곡<br>처리분구 | 사 직<br>처리분구 | 수 민<br>처리분구 | 연 산<br>처리분구 | 합 계       |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 비점오염원 | 933.23      | 231.74      | 807.92      | 599.68      | 865.32      | 3,437.88  |
|       | 10.683%     | 7.112%      | 3.611%      | 7.679%      | 8.313%      | 6.538%    |
| 생 활 계 | 5,928.78    | 3,021.98    | 6,881.20    | 6,911.11    | 9,507.75    | 32,250.82 |
|       | 67.871%     | 92.746%     | 30.755%     | 88.496%     | 91.341%     | 61.329%   |
| 산 업 계 | 1,872.80    | 4.61        | 14,684.94   | 298.69      | 36.03       | 16,897.07 |
|       | 21.439%     | 0.141%      | 65.634%     | 3.825%      | 0.346%      | 32.132%   |
| 축 산 계 | 0.58        | 0.01        | 0.00        | 0.00        | 0.01        | 0.60      |
|       | 0.007%      | 0.000%      | 0.000%      | 0.000%      | 0.000%      | 0.001%    |
| 합 계   | 8,735.39    | 3,258.34    | 22,374.06   | 7,809.48    | 10,409.11   | 52,586.38 |
|       | 100.00%     | 100.00%     | 100.00%     | 100.00%     | 100.00%     | 100.00%   |

7.5 수영하수처리구역(2단계) CSO's  
유출량 및 부하량 산정

합류식하수도는 배출된 하수를 차집관을 통하여 하수처리장으로 보내어 처리 후 방류토록 되어 있으나 우천시는 하수량이 크게 증가하여 전량을 하수처리장에서 처리할 수 없으므로, 일정량을 차집하여 하수처리장으로 보내고 그 이상의 양

은 우수토실에 의하여 공공수역으로 방류된다. 또한, 합류식하수도는 관용량에 비하여 청천시 하수량이 작아 고형물이 하수관 내에 침전되어 초기 강우시 고농도 하수로써 수역에 배출되는 현상이 발생한다.

비점오염부하량 중 차집되어 처리되는 양을 제외한 월류수를 대상으로 CSO's (Combined Sewer Overflows) 부하량

표 30. 수영하수처리구역(2단계) 하수 차집현황 (2001년)

| 구 분                   | 설계처리용량  | 연평균차집하수량 | 여유용량   | 비 고                      |
|-----------------------|---------|----------|--------|--------------------------|
| 용량(m <sup>3</sup> /일) | 264,000 | 197,579  | 66,421 | 0.769m <sup>3</sup> /sec |

표 31. CSO's 유출량 산정결과

(단위 : m<sup>3</sup>)

| 구분  | 장 전<br>처리분구 | 부 곡<br>처리분구 | 사 직<br>처리분구 | 수 민<br>처리분구 | 연 산<br>처리분구 | 합 계        |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| 1월  | 179,406     | 80,924      | 260,503     | 210,629     | 289,346     | 1,020,809  |
| 2월  | 55,732      | 25,070      | 81,428      | 67,687      | 91,422      | 321,340    |
| 3월  | 111,305     | 45,050      | 145,436     | 119,552     | 160,456     | 581,800    |
| 4월  | 75,859      | 31,669      | 100,616     | 77,281      | 110,416     | 395,842    |
| 5월  | 127,658     | 65,538      | 214,981     | 185,472     | 242,665     | 836,341    |
| 6월  | 2,721,827   | 655,549     | 2,018,560   | 1,423,134   | 2,080,609   | 8,899,679  |
| 7월  | 1,746,691   | 528,286     | 1,643,018   | 1,238,180   | 1,750,842   | 6,907,018  |
| 8월  | 649,505     | 244,526     | 774,407     | 612,860     | 845,564     | 3,126,863  |
| 9월  | 115,682     | 55,714      | 181,228     | 152,114     | 202,604     | 707,342    |
| 10월 | 885,316     | 307,192     | 965,678     | 755,413     | 1,047,046   | 3,960,644  |
| 11월 | 7,117       | 6,534       | 20,898      | 15,948      | 23,832      | 74,329     |
| 12월 | 36,551      | 22,770      | 74,736      | 65,970      | 86,580      | 286,607    |
| 합계  | 6,712,675   | 2,068,823   | 6,481,490   | 4,924,242   | 6,931,382   | 27,118,613 |

을 산정하였다.

수영하수처리구역(2단계) 하수 차집현황은 표 30과 같았다. 여유용량은 66,421 m<sup>3</sup>/일로 강우로 인한 유출량중 0.769m<sup>3</sup>/sec는 하수관거로 유입되어 처리되는 수량으로 산정하였다. 차집유량은 처리분구별 면적비로 배분하여 산정하였으며, 차집되어 처리되는 양을 제외한 하수발생

량을 CSO's 유출량으로 산정하였으며, 그 결과는 표 31, 표 32와 같았다.

CSO's 부하량 산정결과 및 전체유역의 비점오염발생량, 차집 처리되는 부하량을 산정한 결과, 표 33에 나타내었는데, 전체 비점오염발생량 중 8.89%는 차집되어 처리되고 있으며, 91.11%는 강우시 수역으로 유출되고 있었다.

표 32. CSO's 부하량 산정결과

(단위 : kgBOD)

| 구분  | 장 전<br>처리분구 | 부 곡<br>처리분구 | 사 직<br>처리분구 | 수 민<br>처리분구 | 연 산<br>처리분구 | 합 계       |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 1월  | 7,020       | 2,765       | 9,970       | 8,048       | 11,216      | 39,019    |
| 2월  | 2,082       | 829         | 3,013       | 2,492       | 3,424       | 11,840    |
| 3월  | 4,370       | 1,568       | 5,671       | 4,656       | 6,345       | 22,610    |
| 4월  | 2,867       | 1,079       | 3,842       | 2,954       | 4,277       | 15,019    |
| 5월  | 4,713       | 2,125       | 7,811       | 6,747       | 8,934       | 30,330    |
| 6월  | 129,994     | 26,329      | 90,350      | 62,721      | 93,791      | 403,185   |
| 7월  | 77,820      | 20,179      | 69,963      | 52,215      | 75,327      | 295,504   |
| 8월  | 26,716      | 8,741       | 30,925      | 24,395      | 34,190      | 124,967   |
| 9월  | 4,332       | 1,832       | 6,673       | 5,588       | 7,561       | 25,986    |
| 10월 | 37,389      | 11,267      | 39,536      | 30,765      | 43,382      | 162,339   |
| 11월 | 243         | 198         | 710         | 541         | 821         | 2,513     |
| 12월 | 1,293       | 708         | 2,600       | 2,277       | 3,046       | 9,924     |
| 합계  | 298,830     | 77,620      | 271,064     | 203,400     | 292,315     | 1,143,236 |

표 33. 오염부하량 비교 (비점오염원, CSO's 및 처리율)

(단위 : kgBOD)

| 구분      | 장 전<br>처리분구 | 부 곡<br>처리분구 | 사 직<br>처리분구 | 수 민<br>처리분구 | 연 산<br>처리분구 | 합 계       |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| CSO's량  | 298,830     | 77,620      | 271,064     | 203,400     | 292,315     | 1,143,236 |
| 비점오염원   | 340,630     | 84,584      | 294,890     | 218,882     | 315,840     | 1,254,826 |
| 차 집 량   | 41,800      | 6,964       | 23,826      | 15,482      | 23,525      | 111,590   |
| 처리율 (%) | 12.27       | 8.23        | 8.08        | 7.07        | 7.45        | 8.89      |

## 결 론

1. 수영하수처리장(2단계)의 처리구역은 금정구 일부, 동래구 일부, 연제구 전역, 부산진구 일부이었으며, 총면적은 56.93km<sup>2</sup>이었다.
2. 하수차집관거의 만관유량과 하수발생량 및 강우유출량을 비교해 보면, 장전·사
3. 온천천의 유역에 월 강수량이 81.4mm 이상이면 합류식 하수관거로 인하여 CSO가 발생하는 것으로 계산되었다.
4. 수영하수처리장(2단계) 처리구역에서의 최우선 과제는 강우시에도 오수만을 유입시켜 처리할 수 있는 완전한 분류식

직 · 수민처리분구의 하수차집관거에서 CSO가 발생하는 것으로 조사되었다.

- 하수관거 지선의 설치가 가장 중요한 것으로 판단되었다.
5. 하수차집관거의 수질 조사지점 중 양정거제 지점과 남산교밑 지점의 오염도가 가장 낮았으며, 이것은 두 지점 모두 우수의 유입이 많다는 반증으로 거제천 유역과 청룡동 및 남산동에 대한 분류식 하수관거 지선의 설치가 우선되어야 할 것으로 판단되었다.
  6. 수영하수처리구역(2단계)에서의 전체 배출부하량을 살펴보면, 인구에 의한 부하량이 65%, 산업폐수에 의한 부하량이 34%, 비점오염원에 의한 부하량이 1%로 조사되었으며, 따라서, 생활오수에 의한 오염물질 배출량이 가장 많은 것으로 조사되었다.
  7. 수영하수처리구역(2단계)에서의 총 배출부하량에서 있어서 각 처리분구별 배출부하량의 비율은 장전·부곡·사직·수민·연산처리분구가 각각 16%, 6%, 43%, 15%, 20%이었으며, 사직처리분구의 배출부하량이 가장 큰 것으로 조사되었다.
  8. 온천천의 유지용수의 부족은 합류식 하수관거에 의한 강우유출수의 소멸에 있다고 생각되며, 우수로를 확보하는 등의 방법이 선행되어야 할 것으로 판단되었다.

9. SWMM을 이용한 CSO's 유출량 및 오염부하량 산정 결과, 전체 비점오염원 발생량 중 8.89%는 차집되어 처리되고 있으며, 91.11%는 강우시 수역으로 유출되고 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 서봉철, “PCSWMM과 GIS를 이용한 도시 CSO 및 오염물 유출 해석 연구”, 석사학위논문, 부산대학교, 2001.
2. 정현철, “부산시 하수처리구역의 준용하천 및 차집관거에서의 오염도와 하수처리장 유입부하량”, 석사학위논문, 부산대학교, 1999.
3. 하수도정비기본계획변경보고서, 부산광역시, 1999.
4. GIS를 이용한 농업용수 수질정보관리 시스템 구축, 농어촌진흥공사 농어촌연구원, 1999.
5. 온천천마스터플랜, 부산광역시, 2002.
6. 전형섭 외 3명, “GIS를 이용한 비점오염의 원인지역 추출에 관한 연구”, 한국환경공학회 논문집, 한국환경공학회, 제18권, 제4호, pp 451~463, 1996.
7. 상수도통계연보, 부산광역시상수도사업본부, 2002.
8. 수영하수처리장건설(2단계)공사 실시설계보고서, 부산광역시, 1992.
9. 수영하수처리장(2단계) 건설공사 준공도, 부산광역시, 1998.

## 부 록

### 1. 온천천의 수질현황 (2001년)

(단위 : mg/l)

| 채수지점  | 채수일자  | 수온  | pH   | DO   | BOD  | COD  | SS     | T-N    | T-P   |
|-------|-------|-----|------|------|------|------|--------|--------|-------|
| 청룡2호교 | 1/17  | 4   | 6.8  | 11.4 | 6.7  | 12.0 | 11.2   | 14.256 | 1.814 |
|       | 2/21  | 9   | 7.3  | 8.1  | 9.8  | 9.3  | 10.1   | 10.224 | 1.469 |
|       | 3/15  | 15  | 6.9  | 8.1  | 7.8  | 7.5  | 5.4    | 9.584  | 1.186 |
|       | 4/18  | 19  | 7.4  | 8.2  | 9.3  | 9.0  | 7.2    | 5.264  | 0.797 |
|       | 5/28  | 25  | 7.4  | 3.5  | 13.7 | 11.4 | 11.9   | 8.784  | 1.450 |
|       | 6/13  | 22  | 7.4  | 2.8  | 7.7  | 8.9  | 6.0    | 6.312  | 1.099 |
|       | 7/24  | 26  | 7.4  | 6.1  | 19.5 | 22.3 | 46.2   | 6.461  | 2.472 |
|       | 8/13  | 23  | 7.2  | 5.6  | 9.0  | 8.0  | 5.3    | 5.400  | 0.542 |
|       | 9/18  | 24  | 7.3  | 4.1  | 10.7 | 8.9  | 16.1   | 5.117  | 1.190 |
|       | 10/18 | 18  | 7.0  | 5.6  | 7.9  | 6.6  | 7.9    | 0.984  | 0.518 |
|       | 11/15 | 13  | 6.7  | 6.5  | 12.3 | 7.3  | 14.3   | 3.960  | 0.900 |
|       | 12/7  | 9   | 7.2  | 8.2  | 9.8  | 6.9  | 9.7    | 3.276  | 0.816 |
| 평균    | 17    | 7.2 | 6.5  | 10.4 | 9.8  | 12.6 | 6.635  | 1.188  |       |
| 태광산업  | 1/17  | 1   | 7.1  | 10.3 | 14.8 | 13.3 | 8.1    | 8.694  | 1.291 |
|       | 2/21  | 9   | 8.2  | 10.4 | 15.5 | 22.7 | 18.5   | 18.432 | 2.520 |
|       | 3/15  | 18  | 7.1  | 6.3  | 18.5 | 22.7 | 13.5   | 12.288 | 1.910 |
|       | 4/18  | 24  | 8.7  | 14.1 | 18.6 | 21.3 | 12.8   | 12.672 | 1.200 |
|       | 5/28  | 30  | 8.6  | 8.5  | 15.1 | 16.5 | 9.0    | 13.776 | 0.941 |
|       | 6/13  | 22  | 8.0  | 8.5  | 11.6 | 20.0 | 7.2    | 12.696 | 1.440 |
|       | 7/24  | 29  | 7.6  | 6.0  | 15.0 | 22.3 | 11.9   | 9.139  | 1.176 |
|       | 8/13  | 25  | 7.8  | 8.5  | 7.8  | 8.5  | 2.6    | 9.302  | 0.638 |
|       | 9/18  | 27  | 8.0  | 9.0  | 10.7 | 11.3 | 3.4    | 9.490  | 1.238 |
|       | 10/18 | 17  | 7.9  | 9.9  | 11.8 | 13.0 | 4.1    | 8.472  | 0.931 |
|       | 11/15 | 12  | 7.6  | 9.8  | 21.7 | 19.0 | 7.2    | 16.740 | 2.364 |
|       | 12/7  | 7   | 7.5  | 10.0 | 18.4 | 14.7 | 6.1    | 15.720 | 1.482 |
| 평균    | 18    | 7.8 | 9.3  | 15.0 | 17.1 | 8.7  | 12.285 | 1.428  |       |
| 온천교   | 1/17  | 3   | 7.2  | 11.8 | 6.2  | 6.2  | 5.3    | 11.676 | 0.888 |
|       | 2/21  | 9   | 8.0  | 12.2 | 3.8  | 6.2  | 2.8    | 6.000  | 0.566 |
|       | 3/15  | 15  | 8.4  | 12.7 | 5.2  | 9.8  | 3.3    | 7.136  | 1.253 |
|       | 4/18  | 18  | 9.4  | 10.8 | 5.6  | 10.8 | 3.8    | 3.101  | 0.696 |
|       | 5/28  | 23  | 8.4  | 6.5  | 6.7  | 11.4 | 4.1    | 4.128  | 0.701 |
|       | 6/13  | 20  | 8.5  | 10.7 | 4.7  | 9.4  | 3.0    | 2.832  | 0.773 |
|       | 7/24  | 31  | 8.7  | 13.0 | 7.1  | 13.1 | 7.6    | 7.608  | 1.166 |
|       | 8/13  | 23  | 8.3  | 11.5 | 3.0  | 7.0  | 3.2    | 5.069  | 0.374 |
|       | 9/18  | 25  | 9.2  | 11.3 | 2.8  | 5.8  | 3.3    | 4.646  | 0.427 |
|       | 10/18 | 18  | 8.7  | 11.8 | 1.8  | 5.4  | 2.9    | 1.560  | 0.259 |
|       | 11/15 | 14  | 7.8  | 15.0 | 5.6  | 6.4  | 4.4    | 6.762  | 0.474 |
|       | 12/7  | 10  | 7.7  | 9.9  | 4.4  | 5.4  | 2.1    | 6.330  | 0.348 |
| 평균    | 17    | 8.4 | 11.4 | 4.7  | 8.1  | 3.8  | 5.571  | 0.660  |       |
| 연안교   | 1/17  | 3   | 7.3  | 8.9  | 6.7  | 13.6 | 7.2    | 8.664  | 0.811 |
|       | 2/21  | 9   | 7.7  | 8.0  | 8.1  | 9.0  | 5.6    | 7.320  | 0.653 |
|       | 3/15  | 17  | 8.2  | 15.3 | 5.8  | 9.0  | 5.3    | 5.480  | 0.965 |
|       | 4/18  | 27  | 8.2  | 8.3  | 15.3 | 20.5 | 14.0   | 8.621  | 1.498 |
|       | 5/28  | 28  | 8.2  | 5.7  | 16.4 | 21.0 | 21.7   | 5.832  | 2.189 |
|       | 6/13  | 23  | 9.1  | 16.4 | 24.7 | 23.3 | 53.8   | 6.648  | 1.483 |
|       | 7/24  | 30  | 7.7  | 6.3  | 5.6  | 9.6  | 13.5   | 5.170  | 0.816 |
|       | 8/13  | 25  | 9.2  | 20.0 | 11.9 | 20.0 | 45.3   | 5.832  | 1.147 |
|       | 9/18  | 26  | 9.0  | 15.7 | 14.3 | 15.2 | 28.3   | 4.795  | 0.590 |
|       | 10/18 | 18  | 8.5  | 13.9 | 10.6 | 12.0 | 19.0   | 1.872  | 0.403 |
|       | 11/15 | 13  | 8.1  | 13.0 | 8.1  | 8.6  | 11.9   | 1.962  | 0.234 |
|       | 12/7  | 9   | 7.9  | 5.8  | 5.7  | 8.8  | 6.2    | 8.394  | 0.588 |
| 평균    | 19    | 8.3 | 11.4 | 11.1 | 14.2 | 19.3 | 5.883  | 0.948  |       |

※ 단, 수온은 °C, pH는 무차원임.

2. 하수관거에서의 수질현황 (2001년)

(단위 : mg/ℓ)

| 번호 | 채수지역 | 관거<br>번호 | 구분    | 수온   | pH  | DO    | BOD   | COD   | SS     | T-N    | T-P   |
|----|------|----------|-------|------|-----|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| 1  | 남산교밀 | 140      | 1/11  | 10.5 | 7.6 | 3.8   | 28.7  | 23.4  | 13.0   | 14.251 | 1.321 |
|    |      |          | 2/28  | 12.0 | 7.6 | 2.8   | 36.8  | 16.8  | 13.0   | 12.413 | 1.035 |
|    |      |          | 3/22  | 15.5 | 7.6 | 3.0   | 78.4  | 38.4  | 28.0   | 18.423 | 1.987 |
|    |      |          | 4/19  | 18.5 | 7.5 | 2.8   | 57.4  | 41.3  | 32.0   | 17.687 | 1.458 |
|    |      |          | 5/25  | 22.0 | 7.5 | 2.6   | 33.5  | 31.1  | 35.0   | 16.944 | 1.169 |
|    |      |          | 6/14  | 24.0 | 7.4 | 2.4   | 46.7  | 39.4  | 39.0   | 17.332 | 1.634 |
|    |      |          | 7/19  | 25.0 | 7.3 | 1.8   | 52.0  | 40.0  | 43.0   | 15.347 | 2.529 |
|    |      |          | 8/22  | 26.0 | 7.2 | 1.9   | 52.8  | 41.5  | 39.0   | 14.665 | 2.324 |
|    |      |          | 9/14  | 24.0 | 7.3 | 2.4   | 33.2  | 34.8  | 38.0   | 12.856 | 1.523 |
|    |      |          | 10/17 | 21.0 | 7.5 | 2.8   | 73.7  | 49.1  | 56.0   | 25.612 | 2.736 |
|    |      |          | 11/27 | 12.0 | 7.4 | 3.0   | 65.6  | 42.2  | 50.0   | 23.730 | 3.380 |
|    |      |          | 12/13 | 10.0 | 7.4 | 3.0   | 73.5  | 40.8  | 68.0   | 26.591 | 3.082 |
|    | 평균   |          | 18.4  | 7.4  | 2.7 | 52.7  | 36.6  | 37.8  | 17.988 | 2.015  |       |
| 2  | 구서동  | 113      | 1/11  | 11.3 | 7.6 | 3.6   | 125.4 | 36.1  | 78.0   | 28.135 | 2.864 |
|    |      |          | 2/28  | 12.0 | 7.5 | 2.7   | 147.2 | 43.2  | 86.0   | 26.978 | 2.987 |
|    |      |          | 3/22  | 16.0 | 7.5 | 2.9   | 136.5 | 56.2  | 68.0   | 21.514 | 3.024 |
|    |      |          | 4/19  | 19.5 | 7.5 | 2.2   | 128.5 | 72.5  | 78.0   | 23.935 | 3.986 |
|    |      |          | 5/25  | 22.0 | 7.5 | 1.8   | 132.7 | 77.5  | 107.0  | 32.492 | 3.553 |
|    |      |          | 6/14  | 25.0 | 7.3 | 2.0   | 122.8 | 67.8  | 84.0   | 27.241 | 3.945 |
|    |      |          | 7/19  | 25.5 | 7.2 | 1.5   | 117.6 | 68.4  | 85.0   | 27.254 | 3.248 |
|    |      |          | 8/22  | 26.5 | 7.3 | 1.5   | 132.3 | 75.8  | 94.0   | 33.582 | 3.845 |
|    |      |          | 9/14  | 24.0 | 7.1 | 1.6   | 111.4 | 51.8  | 68.0   | 28.998 | 3.162 |
|    |      |          | 10/17 | 21.5 | 7.4 | 1.7   | 129.8 | 72.1  | 89.0   | 33.942 | 3.945 |
|    |      |          | 11/27 | 13.5 | 7.5 | 1.6   | 135.2 | 63.3  | 96.0   | 31.890 | 4.440 |
|    |      |          | 12/13 | 10.0 | 7.4 | 2.5   | 138.2 | 79.8  | 108.0  | 35.978 | 4.894 |
|    | 평균   |          | 18.9  | 7.4  | 2.1 | 129.8 | 63.7  | 86.8  | 29.328 | 3.658  |       |
| 3  | 장전동  | 83       | 1/11  | 11.5 | 7.5 | 3.9   | 85.3  | 43.2  | 56.0   | 25.587 | 2.843 |
|    |      |          | 2/28  | 12.5 | 7.6 | 2.6   | 83.2  | 35.8  | 56.0   | 25.435 | 2.645 |
|    |      |          | 3/22  | 16.0 | 7.2 | 3.1   | 112.4 | 78.4  | 58.0   | 34.454 | 4.315 |
|    |      |          | 4/19  | 20.5 | 7.1 | 1.5   | 138.8 | 101.2 | 118.2  | 34.845 | 3.845 |
|    |      |          | 5/25  | 21.0 | 7.3 | 1.2   | 141.4 | 83.4  | 127.0  | 30.881 | 2.175 |
|    |      |          | 6/14  | 21.5 | 7.1 | 1.7   | 158.1 | 120.8 | 110.2  | 32.158 | 3.556 |
|    |      |          | 7/19  | 21.5 | 7.3 | 1.5   | 147.2 | 103.1 | 117.3  | 33.210 | 3.545 |
|    |      |          | 8/22  | 20.5 | 7.2 | 1.4   | 143.8 | 104.0 | 118.2  | 34.570 | 3.310 |
|    |      |          | 9/14  | 25.0 | 7.2 | 1.7   | 120.0 | 58.8  | 78.0   | 27.183 | 2.071 |
|    |      |          | 10/17 | 22.0 | 7.2 | 1.5   | 158.9 | 115.5 | 125.8  | 36.128 | 3.545 |
|    |      |          | 11/27 | 13.5 | 7.2 | 1.5   | 170.9 | 155.3 | 160.0  | 36.870 | 5.180 |
|    |      |          | 12/13 | 21.0 | 7.1 | 1.8   | 174.5 | 128.1 | 144.5  | 36.848 | 4.184 |
|    | 평균   |          | 18.9  | 7.2  | 2.0 | 136.2 | 94.0  | 105.8 | 32.347 | 3.435  |       |
| 4  | 부곡동  | 59       | 1/11  | 10.5 | 7.7 | 3.2   | 52.4  | 33.8  | 48.0   | 31.245 | 3.001 |
|    |      |          | 2/28  | 12.5 | 7.7 | 2.8   | 56.4  | 31.5  | 63.0   | 27.356 | 3.021 |
|    |      |          | 3/22  | 15.5 | 7.4 | 3.0   | 107.8 | 34.2  | 47.0   | 29.478 | 2.987 |
|    |      |          | 4/19  | 21.5 | 7.2 | 2.1   | 93.4  | 34.7  | 76.0   | 39.667 | 4.527 |
|    |      |          | 5/25  | 22.0 | 7.6 | 1.6   | 101.2 | 57.0  | 119.0  | 50.318 | 8.136 |
|    |      |          | 6/14  | 20.5 | 7.6 | 1.7   | 108.7 | 60.2  | 110.0  | 44.762 | 6.972 |
|    |      |          | 7/19  | 21.5 | 7.7 | 1.3   | 92.0  | 40.5  | 78.0   | 41.627 | 6.627 |
|    |      |          | 8/22  | 22.0 | 7.2 | 1.8   | 99.4  | 46.7  | 72.0   | 36.224 | 5.324 |
|    |      |          | 9/14  | 25.0 | 7.1 | 1.3   | 58.9  | 40.0  | 66.0   | 41.063 | 7.306 |
|    |      |          | 10/17 | 23.5 | 7.3 | 1.9   | 98.4  | 54.1  | 82.0   | 34.227 | 6.240 |
|    |      |          | 11/27 | 15.5 | 7.5 | 2.1   | 80.0  | 44.6  | 76.0   | 23.470 | 2.480 |
|    |      |          | 12/13 | 23.5 | 7.3 | 1.4   | 95.7  | 51.0  | 87.0   | 33.542 | 6.104 |
|    | 평균   |          | 19.5  | 7.4  | 2.0 | 87.0  | 44.0  | 77.0  | 36.082 | 5.227  |       |

※단, 수온은 °C, pH는 무차원임.

2. 하수관거에서의 수질현황 (2001년) (계속)

(단위 : mg/l)

| 번호    | 채수지역 | 관거<br>번호 | 구분    | 수온    | pH   | DO    | BOD    | COD   | SS     | T-N    | T-P   |
|-------|------|----------|-------|-------|------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|
| 5     | 은천동  | 41       | 1/11  | 11.0  | 7.7  | 3.4   | 83.1   | 32.5  | 35.0   | 17.258 | 2.134 |
|       |      |          | 2/28  | 13.0  | 7.5  | 2.9   | 67.8   | 38.4  | 41.0   | 17.321 | 2.156 |
|       |      |          | 3/22  | 15.5  | 7.6  | 2.8   | 86.4   | 41.5  | 38.0   | 18.542 | 2.135 |
|       |      |          | 4/19  | 23.0  | 7.2  | 2.2   | 73.0   | 38.9  | 46.0   | 19.624 | 2.035 |
|       |      |          | 5/25  | 24.0  | 7.3  | 1.8   | 69.3   | 33.8  | 52.0   | 20.913 | 1.974 |
|       |      |          | 6/14  | 25.5  | 7.0  | 1.5   | 68.7   | 35.4  | 40.0   | 18.662 | 1.887 |
|       |      |          | 7/19  | 27.5  | 7.1  | 1.6   | 72.4   | 42.0  | 46.0   | 19.254 | 1.966 |
|       |      |          | 8/22  | 26.5  | 6.9  | 1.4   | 65.4   | 38.0  | 40.0   | 17.240 | 1.624 |
|       |      |          | 9/14  | 28.0  | 6.9  | 1.6   | 90.1   | 35.8  | 68.0   | 14.852 | 1.705 |
|       |      |          | 10/17 | 24.0  | 7.3  | 1.5   | 105.2  | 37.5  | 78.0   | 23.563 | 2.035 |
|       |      |          | 11/27 | 21.0  | 7.2  | 1.9   | 109.2  | 43.1  | 70.0   | 26.335 | 2.528 |
| 12/13 | 18.5 | 7.1      | 2.8   | 76.4  | 42.2 | 40.0  | 25.320 | 2.370 |        |        |       |
|       | 평균   |          | 21.5  | 7.2   | 2.1  | 80.6  | 38.3   | 49.5  | 19.907 | 2.046  |       |
| 6     | 사직동  | 27       | 1/11  | 12.0  | 7.6  | 3.8   | 79.2   | 39.8  | 86.0   | 28.354 | 2.485 |
|       |      |          | 2/28  | 13.0  | 7.5  | 2.7   | 95.8   | 42.5  | 78.0   | 23.756 | 2.624 |
|       |      |          | 3/22  | 16.0  | 7.2  | 2.9   | 103.1  | 54.1  | 87.0   | 30.215 | 3.354 |
|       |      |          | 4/19  | 18.5  | 7.3  | 1.6   | 105.4  | 56.4  | 93.0   | 28.652 | 3.735 |
|       |      |          | 5/25  | 21.5  | 7.5  | 1.4   | 110.7  | 56.8  | 97.0   | 30.898 | 3.647 |
|       |      |          | 6/14  | 23.5  | 7.2  | 1.2   | 101.1  | 57.4  | 90.0   | 31.020 | 3.529 |
|       |      |          | 7/19  | 25.5  | 7.1  | 1.0   | 95.8   | 53.4  | 95.0   | 28.025 | 3.618 |
|       |      |          | 8/22  | 24.5  | 7.4  | 1.1   | 83.1   | 50.2  | 72.0   | 27.140 | 3.687 |
|       |      |          | 9/14  | 24.0  | 7.2  | 1.2   | 68.9   | 36.6  | 66.0   | 29.755 | 3.203 |
|       |      |          | 10/17 | 22.5  | 7.3  | 1.4   | 99.5   | 40.5  | 67.0   | 28.354 | 3.825 |
|       |      |          | 11/27 | 13.5  | 7.3  | 1.6   | 101.1  | 48.9  | 86.0   | 27.640 | 3.420 |
| 12/13 | 11.5 | 7.6      | 2.2   | 108.4 | 52.1 | 91.0  | 29.711 | 3.745 |        |        |       |
|       | 평균   |          | 18.8  | 7.3   | 1.8  | 96.0  | 49.1   | 84.0  | 28.627 | 3.406  |       |
| 7     | 동래간선 | 17       | 1/11  | 11.5  | 7.6  | 3.9   | 68.4   | 41.5  | 52.0   | 31.462 | 2.864 |
|       |      |          | 2/28  | 12.5  | 7.3  | 2.5   | 78.9   | 37.2  | 38.0   | 29.413 | 2.986 |
|       |      |          | 3/22  | 15.0  | 7.8  | 3.1   | 129.4  | 46.2  | 45.0   | 28.476 | 3.004 |
|       |      |          | 4/19  | 17.0  | 7.4  | 1.5   | 136.5  | 49.5  | 54.0   | 28.645 | 3.128 |
|       |      |          | 5/25  | 21.0  | 7.3  | 1.2   | 98.3   | 50.4  | 68.0   | 28.382 | 3.215 |
|       |      |          | 6/14  | 22.5  | 7.2  | 1.1   | 96.2   | 48.4  | 60.0   | 28.549 | 3.305 |
|       |      |          | 7/19  | 25.5  | 7.2  | 1.1   | 85.4   | 44.5  | 68.0   | 30.234 | 3.354 |
|       |      |          | 8/22  | 24.5  | 7.2  | 1.2   | 102.1  | 42.1  | 86.0   | 26.071 | 3.361 |
|       |      |          | 9/14  | 25.0  | 7.1  | 1.5   | 50.4   | 32.5  | 48.0   | 27.160 | 3.106 |
|       |      |          | 10/17 | 21.5  | 7.4  | 1.4   | 82.8   | 38.7  | 62.0   | 28.004 | 3.845 |
|       |      |          | 11/27 | 16.0  | 7.3  | 1.6   | 122.3  | 45.5  | 127.0  | 32.018 | 4.202 |
| 12/13 | 14.0 | 7.2      | 2.5   | 108.3 | 44.4 | 112.0 | 33.180 | 4.200 |        |        |       |
|       | 평균   |          | 18.8  | 7.3   | 1.9  | 96.6  | 43.4   | 68.3  | 29.300 | 3.381  |       |
| 8     | 양정거제 | 15       | 1/11  | 10.5  | 7.7  | 3.2   | 44.6   | 42.9  | 67.0   | 24.547 | 1.624 |
|       |      |          | 2/28  | 12.1  | 7.7  | 2.8   | 43.5   | 45.5  | 67.0   | 24.325 | 1.531 |
|       |      |          | 3/22  | 15.5  | 7.7  | 2.8   | 87.6   | 77.4  | 76.0   | 38.403 | 3.164 |
|       |      |          | 4/19  | 16.5  | 7.5  | 1.7   | 72.4   | 75.8  | 78.0   | 36.542 | 3.452 |
|       |      |          | 5/25  | 21.0  | 7.3  | 1.5   | 26.2   | 40.6  | 75.0   | 27.370 | 2.750 |
|       |      |          | 6/14  | 23.5  | 7.2  | 1.2   | 46.5   | 48.0  | 65.0   | 30.883 | 2.635 |
|       |      |          | 7/19  | 24.5  | 7.1  | 1.1   | 41.7   | 40.2  | 64.0   | 30.122 | 2.541 |
|       |      |          | 8/22  | 26.0  | 7.1  | 1.0   | 40.5   | 52.0  | 59.0   | 31.057 | 2.842 |
|       |      |          | 9/14  | 25.5  | 7.2  | 1.2   | 35.3   | 30.1  | 52.0   | 31.548 | 2.611 |
|       |      |          | 10/17 | 23.0  | 7.3  | 1.2   | 52.0   | 54.2  | 62.0   | 33.471 | 3.191 |
|       |      |          | 11/27 | 14.6  | 7.4  | 1.9   | 53.6   | 36.5  | 66.0   | 25.870 | 2.210 |
| 12/13 | 14.0 | 7.5      | 2.3   | 65.0  | 65.7 | 77.0  | 35.441 | 3.654 |        |        |       |
|       | 평균   |          | 18.9  | 7.4   | 1.8  | 50.7  | 50.7   | 67.3  | 30.798 | 2.684  |       |

※ 단, 수온은 °C, pH는 무차원임.

2. 하수관거에서의 수질현황 (2001년) (계속)

(단위 : mg/ℓ)

| 번호 | 채수지역 | 관거<br>번호 | 구분    | 수온   | pH   | DO    | BOD    | COD   | SS    | T-N    | T-P   |
|----|------|----------|-------|------|------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|
| 9  | 명장간선 | 10(1)    | 1/11  | 10.0 | 7.7  | 3.5   | 65.2   | 19.4  | 25.0  | 19.435 | 1.725 |
|    |      |          | 2/28  | 12.0 | 7.5  | 2.9   | 68.7   | 23.4  | 27.0  | 29.215 | 1.621 |
|    |      |          | 3/22  | 15.5 | 7.5  | 2.7   | 62.4   | 53.4  | 38.0  | 26.305 | 2.579 |
|    |      |          | 4/19  | 18.5 | 7.4  | 2.6   | 66.5   | 50.6  | 46.0  | 39.671 | 3.195 |
|    |      |          | 5/25  | 21.5 | 7.3  | 3.2   | 62.3   | 43.9  | 58.0  | 43.760 | 2.568 |
|    |      |          | 6/14  | 22.5 | 7.2  | 2.5   | 58.0   | 48.7  | 50.0  | 38.952 | 3.253 |
|    |      |          | 7/19  | 24.0 | 7.2  | 2.1   | 54.4   | 44.8  | 46.0  | 37.360 | 2.964 |
|    |      |          | 8/22  | 25.5 | 7.1  | 1.8   | 43.5   | 41.2  | 53.0  | 35.620 | 2.548 |
|    |      |          | 9/14  | 25.5 | 7.1  | 2.0   | 35.8   | 27.0  | 44.0  | 40.266 | 2.519 |
|    |      |          | 10/17 | 23.5 | 7.1  | 2.1   | 50.6   | 46.5  | 60.0  | 43.332 | 3.054 |
|    |      |          | 11/27 | 11.0 | 7.1  | 2.4   | 78.0   | 38.5  | 50.0  | 34.530 | 3.360 |
|    |      |          | 12/13 | 11.0 | 7.2  | 3.2   | 69.8   | 51.2  | 73.0  | 46.135 | 3.695 |
| 평균 | 18.4 | 7.3      | 2.6   | 59.6 | 40.7 | 47.5  | 36.215 | 2.757 |       |        |       |
| 10 | 연산간선 | 5        | 1/11  | 11.0 | 7.6  | 3.8   | 62.8   | 30.4  | 32.0  | 23.134 | 2.435 |
|    |      |          | 2/28  | 12.5 | 7.6  | 2.8   | 60.1   | 27.6  | 32.0  | 26.413 | 3.682 |
|    |      |          | 3/22  | 15.5 | 7.9  | 2.6   | 119.1  | 38.1  | 45.0  | 38.476 | 3.351 |
|    |      |          | 4/19  | 19.5 | 7.5  | 1.9   | 87.4   | 54.1  | 69.0  | 34.201 | 3.024 |
|    |      |          | 5/25  | 21.0 | 7.4  | 1.4   | 90.2   | 57.9  | 71.0  | 26.326 | 3.571 |
|    |      |          | 6/14  | 23.0 | 7.3  | 1.5   | 101.3  | 54.8  | 89.0  | 34.025 | 3.647 |
|    |      |          | 7/19  | 24.5 | 7.2  | 1.6   | 95.4   | 58.1  | 78.0  | 32.012 | 3.452 |
|    |      |          | 8/22  | 25.5 | 7.4  | 1.5   | 86.7   | 55.8  | 65.0  | 29.631 | 3.027 |
|    |      |          | 9/14  | 25.5 | 7.1  | 1.6   | 53.4   | 37.5  | 54.0  | 29.394 | 2.851 |
|    |      |          | 10/17 | 23.5 | 7.2  | 1.8   | 94.6   | 39.8  | 37.0  | 32.787 | 2.864 |
|    |      |          | 11/27 | 13.5 | 7.2  | 1.4   | 84.0   | 45.1  | 68.0  | 30.240 | 3.050 |
|    |      |          | 12/13 | 12.0 | 7.4  | 1.3   | 105.2  | 37.5  | 74.0  | 36.668 | 3.521 |
| 평균 | 18.9 | 7.4      | 1.9   | 86.7 | 44.7 | 59.5  | 31.109 | 3.206 |       |        |       |
| 11 | 안락간선 | 4        | 1/11  | 11.5 | 7.5  | 3.4   | 78.4   | 27.8  | 48.0  | 37.251 | 2.864 |
|    |      |          | 2/28  | 12.0 | 7.8  | 2.7   | 78.9   | 28.3  | 61.0  | 34.970 | 3.315 |
|    |      |          | 3/22  | 16.0 | 7.5  | 2.8   | 89.3   | 41.0  | 67.0  | 29.221 | 2.999 |
|    |      |          | 4/19  | 18.0 | 7.3  | 2.4   | 85.4   | 52.3  | 142.1 | 31.251 | 3.051 |
|    |      |          | 5/25  | 21.0 | 7.3  | 1.9   | 93.7   | 60.7  | 120.0 | 29.009 | 3.116 |
|    |      |          | 6/14  | 23.0 | 7.5  | 1.5   | 86.0   | 54.8  | 161.5 | 28.457 | 3.015 |
|    |      |          | 7/19  | 25.0 | 7.2  | 1.3   | 78.3   | 58.9  | 85.4  | 33.215 | 3.521 |
|    |      |          | 8/22  | 24.0 | 7.3  | 1.4   | 91.3   | 63.4  | 100.5 | 28.154 | 2.745 |
|    |      |          | 9/14  | 24.5 | 7.2  | 1.6   | 56.5   | 40.2  | 118.0 | 28.393 | 2.822 |
|    |      |          | 10/17 | 19.0 | 7.0  | 1.8   | 85.4   | 39.4  | 110.5 | 24.584 | 3.101 |
|    |      |          | 11/27 | 9.5  | 7.3  | 1.9   | 89.3   | 49.4  | 106.0 | 32.930 | 3.210 |
|    |      |          | 12/13 | 10.0 | 7.3  | 1.9   | 74.1   | 57.1  | 114.1 | 21.215 | 2.690 |
| 평균 | 17.8 | 7.3      | 2.1   | 82.2 | 47.8 | 102.8 | 29.888 | 3.307 |       |        |       |

※ 단, 수온은 ℃, pH는 무차원임.

3. 구(군)별 급수현황

(2001. 12. 31)

| 구 별        | 부산진구 | 동래구 | 해운대구 | 금정구 | 연제구 | 수영구 |
|------------|------|-----|------|-----|-----|-----|
| 1인1일급수량(ℓ) | 318  | 315 | 321  | 307 | 312 | 321 |