

# 하수도 시설 관리 시스템의 개발 및 적용

## Development and Application of Sewer Facility Management System

김 준 현\*      한 영 한\*\*  
Kim, Joon Hyun      Han, Young Han

### Abstract

An integrated sewer management system was developed for the analysis of sewer flow and for optimal operation of sewer works using ArcView and SWMM. SWMM and ArcView were dynamically linked together using Avenue in order to construct user-friendly management system. The developed system was applied to a residential area in Choonchun city to verify its utilities. All the relevant field data were analyzed on the basis of developed system, and the modeling of sewer flow was implemented using RUNOFF, EXTRAN, TRANSPORT in SWMM. This system is now in the process of connection to the management system of watershed and surface environment in order to develop an integrated environmental management system. Futhermore, this system will be a critical part of overall control system of sewer works including sewer line and wastewater treatment plant. As this system can provide comprehensive prediction of flow and pollution profiles, it could serve as a tool not only for optimal management, but also for decision support system to examine the efficiency of planning and implementation of sewer projects.

키워드 : 하수도 관리, ArcView, SWMM, Avenue, 하수도 유동 및 오염

Keywords : sewer management, ArcView, SWMM, Avenue, sewer flow and pollution

### 1. 서 론

국내의 하수도는 공사부실 및 노후화로 인해 시설의 상태가 매우 심각하여 하수의 누수, 불명수의 유입, 강우시 월류수 방류 등의 문제점을 가지고 있으며 이로 인해 하수처리 효율저하, 상수 및 지하수의 오염, 하천 및 연안 등 방류수계의 부영양화 문제를 초래한다. 또한, 하수도관리에 있어서도 운영요원의 비전문성, 시설물대장의 부정확, 관리체계 미흡 등 운영상의 문제점을 안고 있다.[1][2] 이러한 문제점을 개선하기 위하여 적절한 하수도 관리가 필요하다. 이러한 사업을 효과적으로 수행하기 위해서는 각종 현장조사를 입체적으로 분석할 수 있는 전산시스템이 필요하다. 하수도에 관련된 현장조사는 각 유역별 하수관거

내 유동특성, 수질특성, 불명수의 유입, 누수, 월류수의 특성 등을 분석하기 위해 유역현황, 하수관로 상태, 강우, 수리·수문, 하수발생량 등을 포함한다. 이러한 조사자료는 시·공간적으로 변동적이며 자료의 양이 방대하므로 데이터베이스, 전산모형 및 지리정보 시스템을 연계하여 효과적으로 해석하는 방안을 도출하는 것이 바람직하며, 특히 하수도시설의 공간정보 및 속성정보를 효율적으로 분석하여 사용자가 편리하게 사용할 수 있는 종합적인 관리도구를 개발하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 이러한 필요성을 충족시키기 위해, 방대한 속성 및 공간자료를 효과적으로 저장·관리하고, 하수의 변화를 입체적으로 해석하여 하수도시설을 최적 운영할 수 있도록, SWMM 모형과 ArcView GIS를 이용하여 통합하수도 관리시스템을 개발하였으며, 다중 사용자가 시·공간적 제약 없이 사용할 수

\* 강원대학교 환경·생물공학부 부교수, 공학박사

\*\* 강원대학교 환경·생물공학부 박사과정

있는 Web 기반의 시스템 구축을 시도하였다. SWMM(Storm Water Management Model)은 미국 EPA에서 개발하였으며, 유역에서의 강우유출 및 하수관로내 유량 및 오염물의 이동을 모델링할 수 있는 범용적인 모형이다.[7] 본 연구에서는 사용자가 시스템상에서 GUI를 이용하여 모형을 용이하게 운영할 수 있도록 하였다. ArcView GIS는 미국 ESRI사에서 개발한 대표적 GIS 소프트웨어로서 다양한 자료 저장 및 처리, 편리한 GUI, 공간정보의 다양한 검색 및 분석도구를 제공하며 Avenue를 이용한 시스템(응용소프트웨어) 개발, 타 시스템과의 연계 운영이 가능하다.[8]

## 2. 연구방법

### 2.1 기초조사

개발된 시스템을 적용하기 위하여 건기 및 우기시 하수 유동, 배수유역에서의 강우유출, 하수관로의 누수, 불명수 유입 등을 조사하였다. 현장 답사 및 하수대장 등의 문헌조사를 통해 춘천시 후평동의 주공 2단지 지역의 합류식 하수관로를 조사지역으로 선정하였으며, 하수관로에 대한 유량 및 수질조사를 건기 및 우기에 대해 총 5회('97년 3회, '98년 2회) 실시하였다. 유량은 매 20분 간격으로 24시간 측정하였으며, 수질은 매 2시간마다 시료를 채취하여 현장 및 실험실 분석을 수행하였다. 또한, 춘천시 하수도 관리대장 및 현장조사를 근거로 하여 시설정보 입력, 하수발생량 산정, 불명수의 유입 및 누수확인을 위한 하수관로내 내부 목측 및 촬영, 불명수(I/I) 산정, 불명수 유입을 및 누수율 평가 등을 수행하였다. 모든 자료를 ArcView에 구축하여 모델링의 기본자료로 사용하였다.

### 2.2 SWMM의 이론 연구

본 연구에서는 하수도 유동 및 유역 유출 모형중 세계적으로 가장 많이 사용되고 있으며 많은 적용사례로부터 비교적 그 정확성이 높은 것으로 평가된 SWMM(Window Ver. 4.3) 모형을 사용하였다. 1969년에 개발이 시작되어 도시지역의 지표유출 해석에 광범위하게 사용되었으며, 유역내의 우수관로, 합류식 관로, 자연배수로 등에서의 배수의 유속, 수위, 오염농도 등을 해석한다.[7]

SWMM은 유출, 이동, EXTRAN, 저류 및 처리 등 4개의 모형 및 한 개의 실행 모형으로 구성되어 있다(그림 1). 실행모형은 모델링을 제어하는 기능을 수행

한다. 즉, 각 모형간 자료를 구성하고, 입출력을 제어한다. 유출모형은 강우에 의해 유역내에서 발생하는 지표유출과 오염도 변화를 추적하여, 수문곡선과 오염도 곡선을 출력한다. 유출모형의 계산결과를 다른 모형에서 이용하여 모델링을 수행한다. 이동모형은 우기 및 건기의 하수관로내 유동 및 하수수질변화를 계산한다. EXTRAN은 하수관망에서의 유량 및 수심 등의 유동 상황을 추적한다. 저류 및 처리 모형은 수리, 수질에 대한 저류 및 처리장치의 효율을 평가한다.

적용 대상 유역은 도시유역 및 인위적 배수계통을 갖는 소유역이며, 단일 및 연속강우에 의한 계산이 가능하며, 강우간격은 임의로 설정할 수 있다. 소 배수 유역에서 큰 배수유역까지 적용이 가능하며, 배수유역은 최대 200개의 소유역 및 관로로 구성될 수 있으며, 배수유역의 합성 및 분리가 가능하다. 강우 및 용설에 의한 유출을 해석할 수 있으며, 비선형 저류방정식을 사용하여 유출을 해석하고, 침투량 산정에는 Horton 또는 Green-Ampt 식을 사용하고, 하수관로내 유동은 연속방정식과 운동방정식을 연계하여 해석한다. 본 모형은 하수방류수계의 수질해석을 위하여, WASP, DYNHYD, HEC, STORM, QUAL-II 등의 모형과 연계 적용이 가능하다.

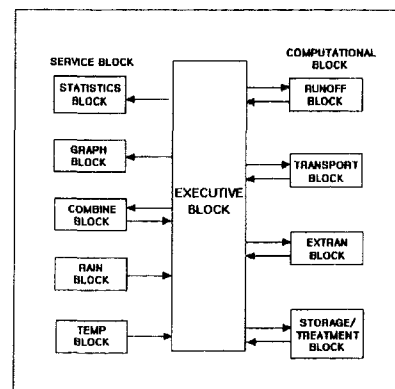


그림 1. SWMM 모형의 구조

### 2.3 ArcView를 이용한 통합시스템 구축방안

최근에는 지역의 지형적 특성 등 도면과 함께 오염농도 등의 속성정보 분석이 용이한 지리정보시스템(GIS)의 활용에 대한 관심이 고조되고 있다.[3] 특히, GIS의 환경분야 적용은 환경정보, 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어, 인적자원이 종합된 개념으로 활용될 수 있다. 이러한 각각의 요소들이 유기적으로 연계되면 환경영향평가 등 환경 정책 수립 및 관리 도구로 그 활용성이 증대될 수 있다. 또한 GIS를 활용한 환경관리시스템을 효과적으로 구축하고 활용도를 높이기 위해서는 속성정보, 도형정보 및 원격탐사정보 등의 다

양한 실시간 정보가 DB형태로 저장되어 유기적인 분석이 수행되어야 한다.

본 연구에서는 자료처리 및 저장능력이 뛰어나고, 자체개발언어의 사용이 편리한 Avenue를 내장하고 있어 필요에 따른 개발환경을 용이하게 제공하며, 또 사용자에게 쉬운 사용환경을 제공하는 ArcView를 GIS 도구로 이용하였다. 연구대상지역은 유역 면적이 비교적 작기 때문에 대축척 수치지도를 사용하여 유역현황을 재현하는 대신에 맨홀의 공간좌표 및 고도값으로부터 등고선을 생성하여 이용하였다. 또한 하수관로와 맨홀 등의 도면자료를 구성하고 하수대장을 이용하여 각각의 도면에 대한 속성정보를 입력하였다.

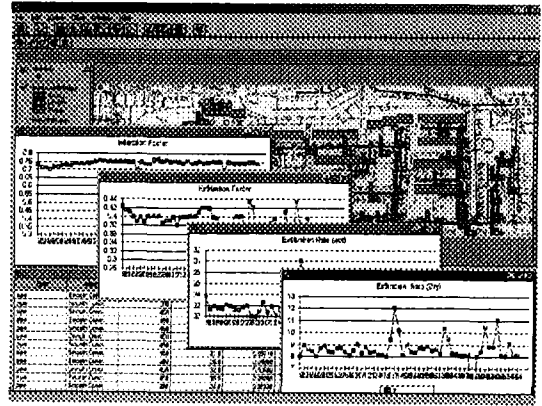


그림 3. 불명수 유입계수, 누수계수(건기 및 우기)의 해석

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 유역 및 환경질 현황

본 조사 지역은 주거지 중심의 도시 하수 배출 특성의 55개의 맨홀, 54개의 관거, 관경 250-800mm, 평균경사 46%, 총관거길이 1713.5m, 유역면적 52,020m<sup>2</sup>, 인구 2,108명, 가구수 660호로 구성된 유역이다. 배수 유역은 소규모 지역이기 때문에 단일 유역으로 구분되며 각각의 자료는 MS-Excel로 작업하여 ArcView에 저장하였다. 하수관거내로 잠행하여 수행한 관거 내부 목측 결과는 데이터베이스에 연결하여 원하는 지점을 검색하여 확인할 수 있도록 구성하였다(그림 6). 하수관로내 수질항목(BOD, COD, DO, T-N, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, T-P, PO<sub>4</sub>-P, SS, TDS, pH, Cl<sup>-</sup>, E-coli, 수온 등) 및 유량자료에 관한 측정지점, 항목 및 분석 결과를 ArcView에 도시하였으며, 모델링의 기본자료로 이용하였다(그림 2).

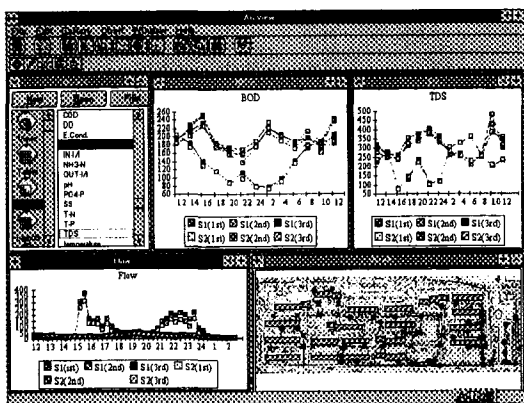


그림 2. 배수유역내 수질 및 유량자료(건기 및 우기) 구축

#### 3.2 GIS 및 수리모델링을 이용한 I/I 및 누수율 평가

하수발생량은 GIS에 정의된 집수유역도와 인구현황도를 중첩하여 인구를 산정하고 하수발생원단위(227L/인·일)를 곱하여 하수발생량을 산정하였다. I/I는 다음과 같은 식으로 구하였다.

$$I/I = \text{하수량} - \text{하수발생량} + \text{하수누수량}$$

(하수발생량 - 하수누수량)은 건기시 하수관으로부터의 하수유출량이다. 따라서, I/I의 양은 우기와 건기시 하수관으로부터 하수유출량을 측정함으로써 구하였다. 이러한 I/I의 양은 강우강도가 클수록 늘어나고, 비례계수 R은 하수관거에 관련된 소구역별 토양피복도, 식생, 토질 등 유역의 특성에 관계되는 유입특성 계수이며 다음과 같이 산정하였다.

$$R = (I/I)/(iA) \\ = (774.73\text{ton/day})/(20\text{mm/day}) / (52020\text{m}^2) \\ = 0.7445 = 74\%$$

R계수는 일반적으로 지표유출모형에서 (1-유출계수) 값보다 약간 높은 수치를 나타내고 있어, I/I의 양은 비교적 높을 것으로 예상된다. 장래의 각 하수관거별 I/I의 양은 위에서 계산된 유입계수 R에 강우강도  $i^*$ 와 배수대상면적 A를 곱하여 산정한다.

하수의 누수량은 하수관로의 결함 정도에 따라 달라질 것이다. 따라서 하수누수량은 지역별로 하수관로의 특성에 따라 결정되며 누수계수는 다음 식으로 정의된다.

$$\beta = \text{누수량} / iA$$

누수계수의 값을 계산하기 위해서 누수량을 계산하였다. 누수량은 '97년 1차조사시는 130.19ton/day, '97년 2차조사시는 86.96ton/day, 우기에는 428.36ton/day이었다. 누수량은 강우량에 따라 늘어난다는 것을 알 수 있었다. 위에 제안된 식을 적용하여 본 연구대상지역의 누수계수를 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\beta = E/iA$$

$$= (428.36\text{ton/day}) / (20\text{mm/day})(52020\text{m}^2)$$

$$= 0.4114 = 41\%$$

따라서, 본 지역에서 전체 강우에 의해서 발생하는 누수율은 41% 정도로 매우 높은 것을 알 수 있다(그림 3). 이러한 수치는, 본 조사지역에 100mm의 강우가 내릴 경우, 누수량은 약 2141.8톤/일에 해당하는 상당한 양으로 평가되었다.

### 3.3 종합적 하수도시설 정보 구축

배수구역내의 하수관거에 대한 속성정보(관경, 구배, 길이 등), 맨홀에 대한 속성정보(형상, 위치, 고도), 건물에 대한 속성정보(동, 주거인구, 세대수, 상수 사용량 등)등을 구축하여 종합적인 하수도시설 정보 관리체제를 구축하였다. 하수도시설내의 수질, 유량, 유동특성, I/I, 누수율 등의 환경질 관련 속성정보를 하수도 시설정보와 결합하여 환경영향인자를 종합적으로 분석할 수 있도록 하였다. 사용자는 구축된 시스템을 이용하여 하수도의 신·증설공사시 하수관거의 위치, 매설깊이, 관경, 매설깊이, 길이 등에 관한 공간 및 속성정보를 쉽게 확인할 수 있고, 변경사항이 있는 경우는 사용자가 직접 하수도 시스템 정보를 GUI를 이용하여 갱신하여 신속·정확하게 업무를 처리할 수 있다(그림 4). 또한, 입력된 시설정보를 이용하여 구역의 면적측정, 윤변연산, 버퍼링, 인접성분석, 중첩연산 등의 공간 연산 및 통계기능을 수행하여 시설관리 및 관리방안 수립 등에 관한 참고자료로 이용할 수 있다(그림 5). 하수도 관리자는 관거내부 모니터링을 통하여 하수관로의 파손, 관이음불량, 지관의 집합실태, 지하수의 유입 등 하수도의 이상유무를 확인하고 필요한 조치를 취해야 한다. 본 시스템에서는 구축된 하수도 시설정보에 이미지 자료를 결합하여 원격에 위치한 하수관거 내부 및 맨홀 상태를 하수도관리 시스템의 GUI를 이용하여 확인할 수 있도록 하였다(그림 6). 이와 같이 본 시스템은 단순한 텍스트정보 뿐만 아니라 멀티미디어 정보도 데이터베이스화하여 자료 관리의 다양성을 확보하였다. 현재는 이미지자료를 주기적으로 갱신시켜 주어야 하지만 향후에는 2차원 이미지 정보뿐만 아니라 3차원 동영상정보를 구축하여 시스템상에서 실시간으로 모니터링 할 수 있을 것이다. 본 시스템은 현재 수질 및 유량, 유동특성, 불명수 및 유입수 관리에 효과적으로 이용할 수 있을 뿐만 아니라 집수구역도 및 인구현황도 등을 공간 연산하여 하수발생량 등을 산정하여 환경질의 기초자료로 이용할 수 있다. 이러한 모든 업무는 GUI를 이용하

여 공간검색 및 연산, 자료관리도구를 이용함으로써 절차를 단순화시켰다. 또한 개별적인 업무를 하나의 시스템으로 통합하여 담당자가 효율적으로 이용할 수 있으며 업무의 일원화를 통해 관련 경비를 절감할 수 있다.

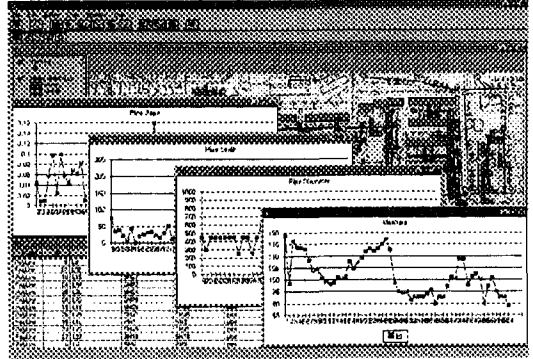


그림 4. 하수관거별 구배, 길이, 직경, 맨홀고도등의 시설정보 검색

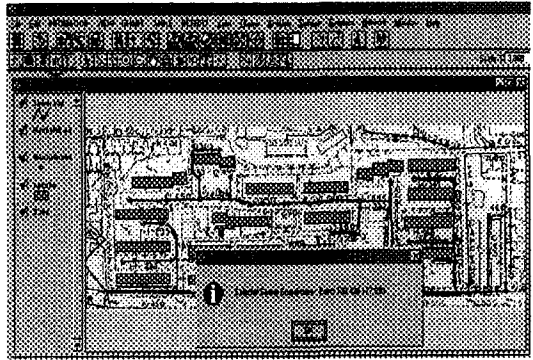


그림 5. 하수도시설 분석 (거리, 면적, 위치측정, 버퍼링, 윤변연산, 인접성분석, 중첩연산)

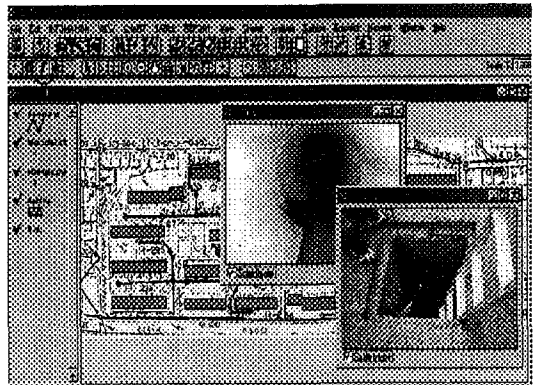


그림 6. 하수시스템의 시설 정보 (하수관 내부 및 맨홀 모니터링)

### 3.4 SWMM 모형과 ArcView의 통합모델링

SWMM의 모델링을 위한 기본자료로서 구역현황 및 유동특성, 하수도 시설정보 등을 ArcView상에 입력하였다. 구역의 지형을 재현하기 위해 맨홀의 x, y 좌표 및 고도속성(z-factor)를 이용하여 등고선(Polyline)을 생성하여 수치지도로 이용하였다. 등고선

의 생성은 내부적으로 Spline나 IDW 같은 보간법을 사용하며, TIN (Triangulated Irregular Network) 기법을 통해 생성된 등고선의 고도값을 3차원 지표면으로 보간하여 지역의 지형현황을 나타내었다. 생성된 3차원 지표면은 3D Scene을 이용하여 조감도 형식으로 가시화함으로써 지역의 형상을 보다 직관적으로 해석할 수 있게 하였다. 이러한 기능으로 등고선이나 음영을 해석할 필요가 없이 지역의 경사도를 시각적으로 확인할 수 있다. 구역내의 인구현황은 아파트의 동별 인구수를 아파트의 고도값으로 나타냄으로서 인구분포를 시각적으로 해석할 수 있도록 하였다(그림 7). 이와 같은 3차원 가시화 기법은 지하에 매설된 하수관거 등의 지하구조물의 특성을 해석하는데 효과적이다. 이와 같이 각종 모델링 입력자료 및 결과는 3차원으로 가시화하여 입력자료 분석 및 결과치의 변화양상을 해석하는데 효율적으로 이용된다.

하수관로의 유동상황을 모델링하기 위하여 지표 및 맨홀고도, 유입유량, 하수관 직경 및 길이, 구배, Manning의 조도계수, 맨홀의 형태 등의 입력자료를 사용하였으며, 실제의 하수관거 및 맨홀을 단순화 시켜 11개의 맨홀 및 10개의 관거로 하수관망을 구성하였다. 유입지점은 1, 3, 27, 28번 맨홀이며 배출지점은 38번 맨홀이다. 각 유입지점별 유입량은 실측 자료를 기초로 하여 결정하고 원그래프로 유입량을 도시하여 유량의 차이를 보이는 것을 쉽게 알 수 있다(그림 8).

배수관망의 유동상황 추적을 위하여 USEHP 및 EXTRAN 모델을 사용하였고 ArcView의 Script Language인 Avenue를 사용하여 GUI를 만들고 시스템상에서 직접 모델링 할 수 있도록 SWMM을 연계시켰다(그림 9). 12:00에서 24:00시까지 12시간 동안 모델링을 수행하여, ArcView의 Theme 속성중 Chart 기능을 이용하여 시간에 따른 유동, 유속 및 수심의 변화를 하수관거별로 나타내었다(그림 10).

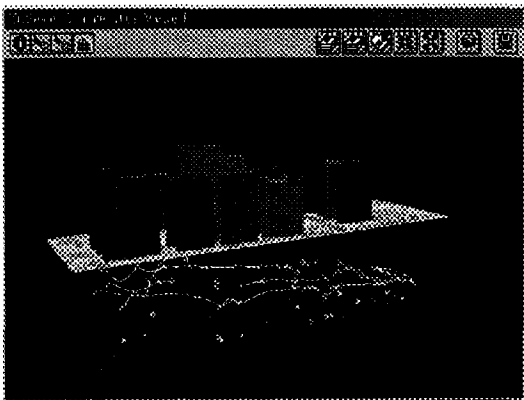


그림 7. 구역의 하수발생량(인구현황) 및 하수관거별 불명수 유입 분석

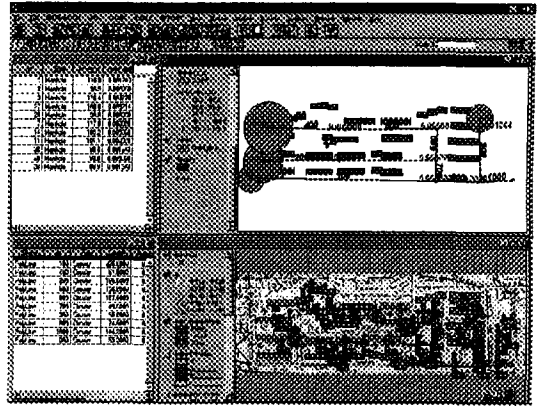


그림 8. SWMM 모형의 입력자료(유입구별 유입유량) 및 불명수 유입 계수

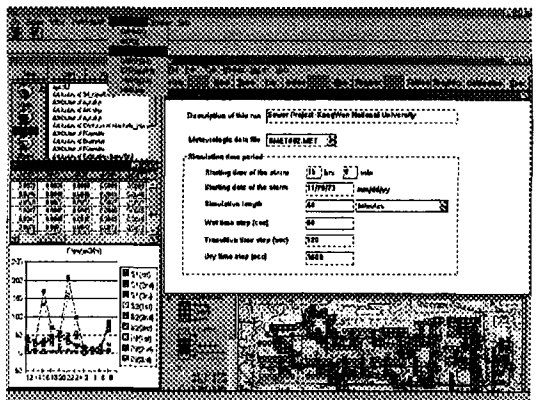


그림 9. ArcView상에서 SWMM 모형의 연계 운영

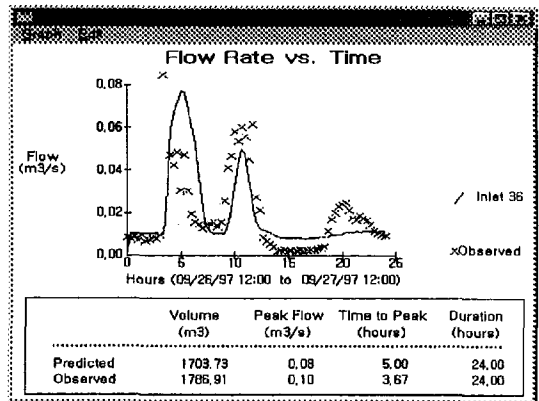


그림 10. 유량 예측결과 보정 (Inlet 36)

시간별로 보면 12시대와 8시를 전후로 하여 유량 및 유속이 높고 일정한 주기를 보이는 것을 알 수 있다. 하수관거별로는 하루로 갈수록 유량이 많아지며 유속은 관거의 직경 및 구배, 유량 등의 원인으로 600번 관거가 가장 빠르다. 이러한 결과는 모델링시 불명수의 유입이나 하수의 누수를 고려하지 않았기 때문이다.

구역에서 발생하는 지표유출과 오염도 변화를 추적

하여 수문곡선과 오염도 곡선을 출력하기 위하여 MET, RUNOFF모형을 사용하였고, 그 실행결과를 TRANSPORT 모형에 입력하여 하수시스템내의 유량 및 수질변화를 모델링하였다 (그림 11).

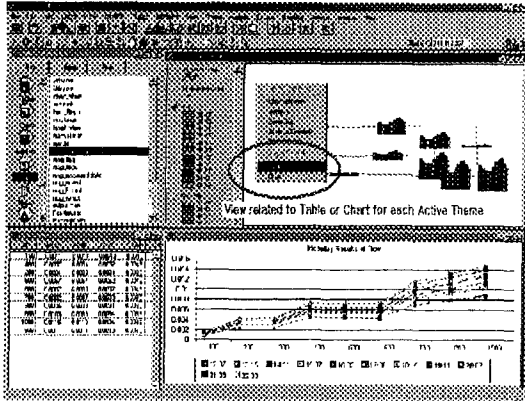


그림 11. SWMM모형의 모델링 결과(유량 및 수질)

SWMM의 모델링 결과는 텍스트형태의 Output을 제공하기 때문에 MS-Excel을 연계하여 dBaseIV형식의 데이터베이스 파일로 저장하여 ArcView에 입력하였다. 입력된 결과는 View, Table, Layout, Chart 및 3차원형상으로 재구성되어 그래픽 자료, 테이블자료, 통계 그래프 등의 시각적인 해석을 시도하였다. 한편, 모델링 결과를 별도의 데이터베이스 서버에 저장하고 본 시스템과 연결하면, SQL로 검색하여 dBASE, INFO, ASCII-delimited 파일로 저장할 수 있는데, 이러한 자료들은 ArcView로 직접 처리가 가능하기 때문에 SQL 검색이 필요없어 편리하게 사용할 수 있다. 본 시스템에서는 풀다운메뉴, 팝업메뉴, 툴바, 대화상자 등의 이용으로 Document로 구성된 모델링 결과를 보다 신속하고 효율적으로 해석 할 수 있도록 하였다.

Avenue는 Visual Basic, C++, Java 등과 같은 객체지향언어로서 윈도우 개발환경을 지원하며, 특정응용에 대한 새로운 기능성 구현 등의 자체 개발 기능뿐만 아니라 이미 개발되어 있는 전산모형, 기타 응용프로그램을 연계하여 운용할 수 있다. 이러한 기능은 전체 시스템의 구축 및 변경을 용이하게 하였다. Avenue는 여러 운영체제에서 표준 프로토콜을 통해 응용 시스템과 통신을 가능하게 하여 클라이언트와 서버 양쪽 모두의 역할을 수행할 수 있게 해준다. ArcIMS, ArcView IMS, MapObject IMS 등을 사용하여 인터넷에 GIS를 구축하여 시·공간적인 제약없이 누구나 시스템을 운영할 수 있다. 이러한 기능들은 본 연구진이 목표로 삼고 있는 Web 기반의 GIS형 하수도시설관리, 원격 모델링 및 하수도시설제어 등의 시스템을 구축하는데 유용하게 이용되고 있다.

#### 4. 결 론

최근 정부의 막대한 재원의 투자에도 불구하고, 자체적으로 많은 문제점을 지니고 있으며 또한 방류수계, 지하수 및 토양에 대한 오염 현상을 유발하고 있는 하수도 시설에 대한 문제점을 극복하기 위하여 하수도 시설 관련 사업의 효율적인 수행을 위한 통합 하수도 관리 시스템을 개발하였다. 일반 사용자가 쉽게 사용하면서 효율성이 높은 시스템을 개발하기 위해, GIS 도구는 범용성이 뛰어나면서도 사용이 쉬운 ArcView를, 강우유출 및 하수 해석 모형은 국제적으로 그 타당성을 널리 인정받은 SWMM 모형을 이용하였다.

춘천시의 연구 대상 지역에서 수행된 현장 조사 및 문헌조사 결과를 바탕으로 하여 하수관로내 수리 및 수질 변화를 모델링하였으며, ArcView를 이용하여 각종 현장 조사 자료 및 계산 결과를 GIS 기반에서 해석하였다. 이러한 시스템은 사용자 환경에 적합한 GUI 방식으로 설계되었다.

건·우기시 하수유량, 수질, 불명수의 유입, 누수, 모델링 결과를 분석하였다. 하수관로 시설을 효과적으로 관리하기 위하여 하수관로내 카메라 검측 등의 멀티미디어 자료, 통계 그래프, 도면, 속성테이블 등을 이용하여 시설의 형상을 실제와 유사하게 재현하고 공간검색 및 연산기능으로 관리효율을 높일 수 있도록 설계되었다. 특히 입체적인 분석을 위하여 3차원 분석 기능을 활용하였다. Avenue를 이용하여 모형 연계 및 시스템 구축에 개발 인력 및 시간을 절약할 수 있었다.

본 시스템은 하수도 모델링 및 시설관리 통합운영 방안을 제시하여 하수도 시설 설계 및 운영에 이용될 뿐만 아니라 하수 유동 해석 및 예측을 수행하여 최적관리방안을 도출하고 장래 하수도계획 등의 의사결정도구로 이용될 수 있을 것이다. 또한, 통합 하수도 관리 시스템은 단순히 하수도 관련시설 뿐만 아니라 방류수계 보전 및 지하수, 토양오염 방지를 위한 적극적인 관리체제로 운영될 수 있을 것으로 기대된다. 현재 유역관리시스템, 지하환경관리 시스템, 하수처리장 제어시스템 등의 수환경 관련 여러 시스템과 통합하여 Web기반의 통합환경관리시스템을 구축하는 연구가 진행되고 있다.

## 사 사

본 연구는 1996-1997년도 국립환경연구원 환경기초 및 기반기술개발사업(하수도 시설) 및 1998년도 국립환경연구원 공공기반기술개발과제(G7)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

### 참고문헌

- [1] 신용배, 김준현, "하수도 시설개축 및 기능개선 전략 연구, 1차년도 최종보고서", 국립환경연구원, 1997.
- [2] 신용배, 김준현, "하수도 시설개축 및 기능개선 전략 연구, 2차년도 최종보고서", 국립환경연구원, 1998.
- [3] 김준현, 한영한, "SWMM과 ArcView를 결합한 하수도 시설 관리 시스템의 개발", 대한환경공학회 추계학술대회 논문초록집, pp.243-244, 1998.
- [4] 김준현, "하수누수 및 지하오염도 평가 기법", 한국수질보전학회 춘계발표회 논문초록집, pp.177-180, 1998.
- [5] 김준현외 4인, "하수관거의 I/I 분석을 위한 GIS 및 수리모델링 결합기법", 한국수질보전학회 춘계발표회 논문초록집, pp.77-80, 1998.
- [6] 김준현외 4인, "하수의 I/I 및 누수의 간이 평가 방법의 개발", 대한환경공학회 춘계학술대회 논문초록집, pp.459-460, 1998.
- [7] EPA, "SWMM Windows Interface User's Manual", 1995
- [8] ESRI, "ArcView GIS", 1998.
- [9] ESRI, "Customization and Application Development for ArcView GIS", 1998.