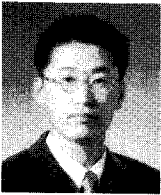


도시지역 홍수재해방어를 위한 우수관망 설계 및 검토방안



최 성 열 >>

(주)방재안전기술원 대표이사 · 공학박사
ceo@dpsi.or.kr



최 철 관 >>

(주)방재안전기술원 과장 · 공학석사
ironpipe@dpsi.or.kr

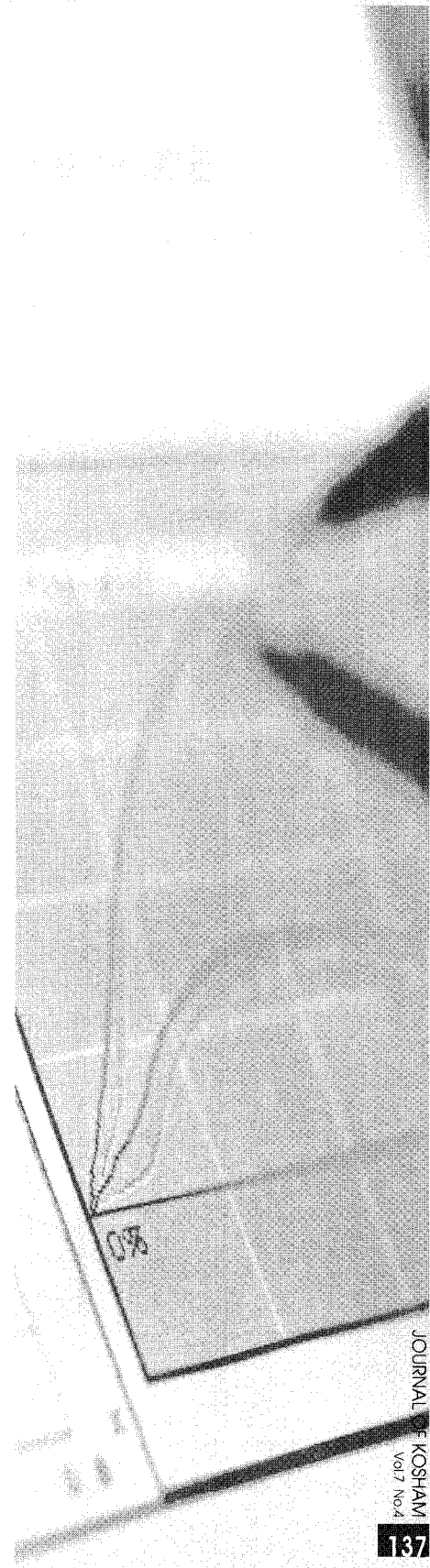


정 대 명 >>

(주)방재안전기술원 대리 · 공학석사
dmjeong@dpsi.or.kr

1. 서 언

최근의 기상이변에 따라 단시간에 특정지역에 집중하는 국지적 호우에 의한 돌발홍수가 빈번히 발생하고 있으며, 이에 따른 위험과 손실이 증가하고 있다. 이러한 경향은 전 세계적인 것으로서 우리나라도 예외는 아니며 계절라성 집중호우로 인한 피해가 커짐에 따라 돌발홍수에 대한 각별한 대책이 요구되고 있다. 돌발홍수 발생시에 단지설계와 우수배제체계와 관련하여 나타나는 가장 중요한 문제점으로는 우수관망의 배수불량으로 인한 단지 내수침수 문제를 고려할 수 있다. 기존 사업지구 우수관망의 설계빈도는 20년을 넘지 못하고 있는 실정이나 돌발홍수로 인한 호우



는 이를 훨씬 상회하므로 국부적인 단지내 배수불량은 파악 수 없는 현상이다. 하지만 기존의 하수관망해석 기법은 합리식을 기본으로 하는 정적개념의 설계기법으로 국부적인 관망의 손실수두 발생에 의한 국지적 침수양상을 파악하기는 부적절한 것으로 여겨져 왔다.

따라서 본 연구에서는 기존의 정적인 우수관망해석 기법에서 벗어나 단지내의 지표수의 월류량과 하수관망해석이 가능한 도시홍수예측모형(DPSI-SWMM)을 개발하고, 개발된 도시홍수예측모형을 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)과 한국토지공사의 단지설계시스템과 연계 모의하여 현재 우수관망해석기법에 대한 문제점을 개선방안을 제시하고자 한다.

2. 다양한 도시홍수유출모형의 종류 및 소개

우리나라에서는 1970년대 도시개발이 시작되면서 하수관망 설계를 위하여 합리식을 적용하였다. 1980년대 이후 본격적인 도시유출 해석모형에 대한 필요성이 대두되었으며 이에 관한 연구가 한국수자원학회를 중심으로 소개·발표되기 시작하였다.

1990년 9월 대홍수가 발생하면서 도시유출에 대한 관심이 증가되었으며, 전병호(1988, 1991)는

ILLUDAS 및 ILSD모형 등을 적용하고 분석하였으며 이종태(1991, 1993), 서규우(1991), 이재호(1993) 등은 합리식, RRL, ILLUDAS, SWMM 모형들을 우수지 및 배수구역 설계 등에 적용하는 연구들을 발표하였다(도시홍수재해관리연구보고서, 2004).

도시유출에 관한 국외의 연구로서는 Mulvaney(1850)는 합리식(Rational Method)을 이용하여 홍수유출량의 산정법을 제시한 것이 최초이다. 이어서, Watkins(1962)는 British Road Research Laboratory Method 모형을 개발하였으며, 미국 환경 보존국, U.S.EPA(1971)에서 SWMM(Storm Water Management Model) 모형, Stall & Terstriep(1974)는 ILLUDAS(Illinois Urban Drainage Area Simulator) 모형을 개발하였다(도시홍수재해관리연구보고서, 2004).

3. 도시홍수예측모형(DPSI-SWMM)의 개발

3.1 도시홍수예측모형(DPSI-SWMM) 개념

본 연구에서 도시홍수예측모형은 다양한 토지이용 상황에 따른 지표유출량을 모의하고 우수관거의 통수

표 2.1. 주요 도시유출모형(도시홍수재해관리연구보고서, 2004)

모델명	년 도	주요 연구 내용
합리식	1850	• 아일랜드의 Mulvaney(1850)에 의하여 제안되었으며 1889년 미국의 Emil Kuichling는 유출량과 강우강도와의 관계, 유역의 크기와 도달시간 등과의 관계를 규명하여 합리식으로 제시.
CHICAGO 수문곡선법	1960	• Tholin과 keifer에 의해 계산방법이 발표된 이후 1970년에 Keifer에 의해 프로그램화되어 합성단위유량도법을 도시유역의 유출계산에 응용.
BRRL	1964	• BRRL 방법은 도시 소유역으로부터 강우-유출자료를 사용하기 위해 2차 세계대전 이후 영국에서 개발.
SWMM	1971	• 미국 EAP에 의해 호우사상별로 혹은 연속적으로 계산이 가능한 모형 개발.
ILLUDAS	1974	• 투수지역 및 간접연결 불투수지역의 유출도 유출계산에 고려토록 BRRL 모형을 수정하고 프로그램화하여 개발(Terstiep and Stall).
MIKE11	1990	• 유량, 수위, 유사, 용존 또는 부유물질의 이송의 모의를 위하여 Danish Hydraulic Institute에 의하여 개발.

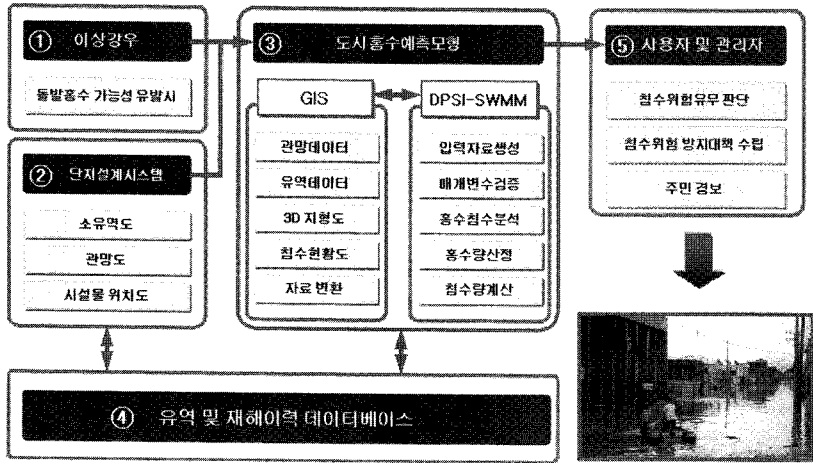


그림 3.1. 도시홍수예측모형(SWMM-DPSI) 적용과정

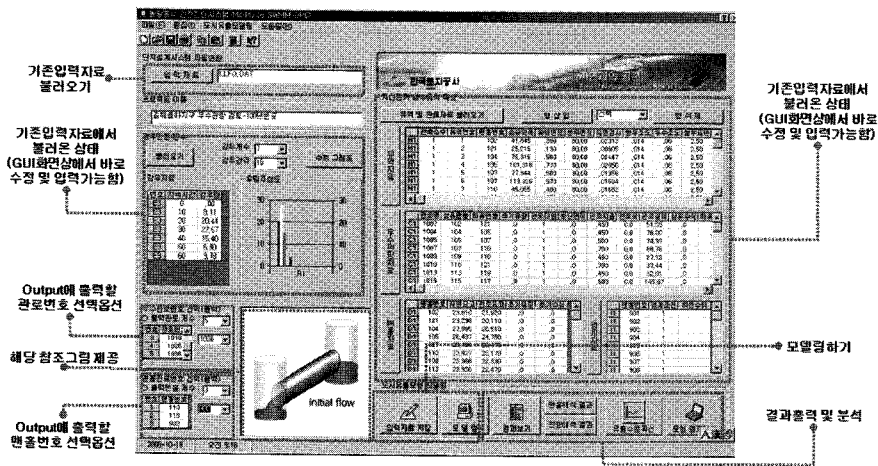


그림 3.2. 도시홍수예측모형(DPSI-SWMM) 기본화면

능력을 검토함으로써 홍수침수 등에 안전한 단지설계를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

도시홍수예측모형은 기존 SWMM모형을 수정·보완하여 적용하였다. 주요 침수분석내용으로는 모형적용을 위한 기본입력자료 생성(강우자료, 유역자료, 우수관거자료, 맨홀자료, 하천자료 등), 매개변수 설정, 통수능 부족 및 침수지역 분석 등이며, 그림 3.1과 같이 도시홍수예측모형의 전체 모의 흐름도를 나타내고 있다.

기상청의 기상예보에 따라 돌발호우나 집중호우가 예상되어질 경우, 대상지역의 홍수침수로부터 안전성을 검토하고자 할 때 한국토지공사의 단지설계시스템

으로부터 소유역도, 관망도, 시설물 위치도 우수관망 검토자료 등을 제공받는다. 제공되어진 자료는 지리정보시스템(GIS)을 통해 공간데이터로 변환되어 도시홍수예측모형의 입력자료로 활용되어진다. 입력자료는 크게 5개 자료로 나누어 볼 수 있으며, 강우자료, 소유역 자료, 관망자료, 맨홀자료, 하천자료 등이다.

본 연구에서 개발되어진 도시홍수예측모형은 단지설계시스템의 출력자료로부터 소유역 번호, 우수관거 번호, 맨홀 번호 등을 자동 생성하여 입력자료를 구성하여 모형을 수행하게 된다. 침수분석의 주요 결과값으로는 우수관거와 맨홀에서의 홍수량과 침수발

생량 등이 있으며, 이러한 자료를 기본으로 사용자는 침수위험 유무를 판단하고 그에 따른 방재대책 수립 및 주민경보 등에 활용할 것으로 기대된다. 또한 도시홍수예측모형은 그림 3.2와 같이 다양한 그래픽환경을 제공함으로써 사용자가 편리하게 프로그램을 운용할 수 있도록 하였다. 메뉴바에는 파일, 편집, 입력자료, 도시홍수예측모형의 모델링, 도움말 등으로 구성하였으며, 메인화면에는 크게 4가지 개별요소를 추가하였다.

첫 번째 단계로 단지설계시스템으로부터 입력자료를 제공받아 소유역의 번호, 우수관로 번호, 맨홀번호 등을 자동생성할 수 있는 모듈을 추가하여 유역자료, 우수관로자료, 맨홀자료, 하천의 경계조건 등을 추출하도록 하였다. 이러한 과정은 단지설계시스템의 우수관로 설계자료와 긴밀하게 연계되도록 구성하였으며, 사용자 편의를 위하여 간단하게 입력자료 파일 이름만을 제공하도록 하였으며, 변환된 자료를 쉽게 확인할 수 있도록 메모장 기능을 부여하였다.

두 번째 단계로 단지설계시스템에서 변환된 파일로부터 사용자의 필요에 의해 수정할 수 있는 부분이다. 이는 강우자료, 유역자료, 관망자료, 맨홀자료, 하천자료, 제어자료 등으로 구성되어진다. 강우자료는 사용자에게 의해 설계강우 및 실강우를 입력할 수 있는 기능과 강우시간간격, 강우의 개수 등이 입력할 수 있는 화면이 제공된다. 유역자료는 지표면의 유출량을 계산하기 위한 유역면적, 유역경사, 유역폭, 불투수면적, 조도계수 등을 수정할 수 있는 기능과 함께 각종 인터페이스를 제공한다. 관망자료는 단지설계시스템의 출력자료에서 제공된 각종 정보를 정리하며 대표적인 관망자료는 관로길이, 관로경사, 관로형태, 사용자에게 의해 출력하고자 하는 관로번호 등을 기입할 수 있는 인터페이스가 제공된다. 맨홀자료는 맨홀번호, 지표면표고, 초기유량 등을 입력할 수 있는 인터페이스와 함께 출력하고자 하는 맨홀의 위치를 지정할 수 있는 화면을 제공한다. 하천자료는 대상지역이 하천을 포함하고 있거나 하천의 기점수위에 의해 우수관망 배수위에 영향을 미치는 경우에 적용

할 수 있는 화면으로 각종 경계조건을 정의할 수 있는 인터페이스를 제공한다. 제어자료는 이상의 강우자료, 유역자료, 관망자료, 맨홀자료, 하천자료 등을 제어하여 금회 도시홍수예측모형의 입력자료를 구성할 수 있는 화면을 제공한다.

세 번째 단계로 이상에서 구성되어진 입력자료를 확인하고 도시홍수예측모형을 통하여 모델링을 실시하는 단계이다. 금회 도시홍수예측모델의 결과자료는 매우 방대하고 복잡하게 구성되어 있어 모델링에 경험이 없는 초보자에는 결과자료를 정확하게 분석하기가 쉽지 않다. 따라서 월류관로지점, 월류맨홀지점버튼을 만들어 가능한 간단하게 원하는 결과자료만을 출력할 수 있도록 구성하였다.

마지막 단계로서 모델링 되어진 자료를 이용하여 원하는 지점에서 유출수문곡선을 생성하는 화면을 추가하였다. 이는 사용자가 간단하게 버튼 클릭으로 수문곡선을 생성할 수 있도록 구성하였으며, 엑셀파일 등으로 활용 가능하도록 하여 다양한 분석에 응용할 수 있도록 하였다.

3.2 GIS와 연계한 도시홍수예측모형(DPSI-SWMM)

본 연구에서는 국내 도시지역의 침수형태 및 원인을 파악하고 집중호우시 국지적 침수양상, 국부적인

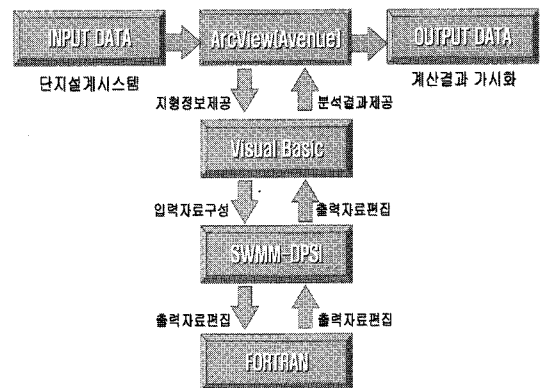


그림 3.3. GIS/DPSI-SWMM 연계도

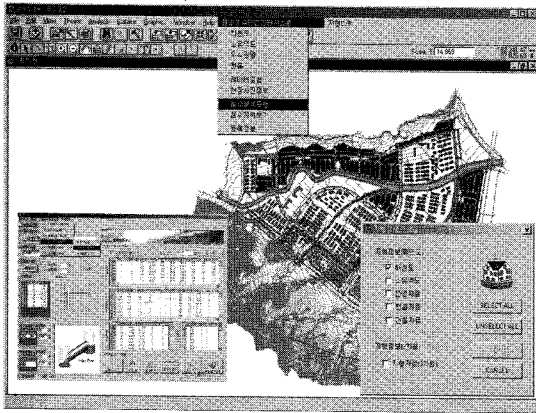


그림 3.4. GIS와 연계된 도시홍수예측모형 GUI 화면

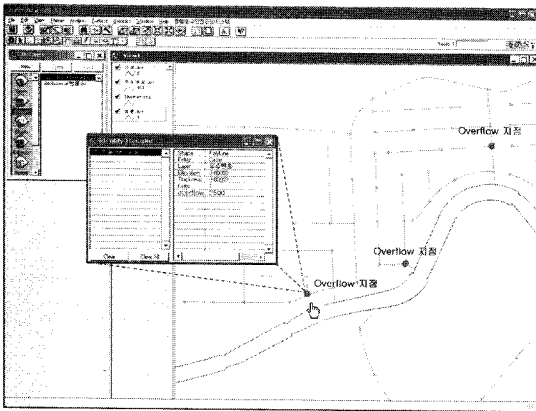


그림 3.5. 도시홍수예측모형 침수정보 표시

만관, 역류발생 및 지역별 내배수 특성 등을 고려한 도시홍수예측모형 및 GIS를 이용한 의사결정을 지원할 수 있으며 각종 수공구조물의 간섭효과, 배수계통내의 수리현상 등에 대한 국내 도시특성에 맞는 적절한 모델링이 되도록 구성하였다.

GIS와 도시홍수예측모형(DPSI-SWMM) 연계개념은 외부모형의 입력화일에 대한 필요한 정보를 GIS 내부 프로그램에서 생성하도록 하는 것이다. 따라서 GIS 소프트웨어는 적절한 형식의 입력화일을 얻기 위하여 formatting된 프로그램을 수행하고 그 다음에 도시홍수예측모형을 수행한다. 최종적으로 모형의 결과가 처리되고 GIS로 다시 import되며 chart, table 및 view로 도시된다.

본 연구의 도시홍수예측모형의 GUI 구성은 실무

사용자가 사용할 때 편리하게 이용할 수 있도록 설계하였으며, 기존 상용 프로그램의 기능과 상호적용성 등을 비교·판단하여 가능한 안전한 시스템이 되도록 구성하였다. 어렵고 기존 상용 프로그램의 기능과 배제되는 GUI는 사용자로 하여금 시스템에 대한 이해도나 활용도를 떨어뜨리는 결과를 초래하므로 설계시주의를 기울여야 한다. 이러한 GUI 구축하기 위해서 사용된 언어는 Avenue로서 이는 ArcView에 포함되어 있는 객체지향 프로그램 언어이며, 지도 컨트롤, 데이터베이스, 그래프 등의 모든 기능을 직접적으로 이용할 수 있는 개발환경으로 자료를 수정·보완하거나 새로운 분석기능을 추가하여 완전한 응용프로그램을 개발할 수 있는 장점이 있다(ESRI, 1998).

GIS와 연계된 도시홍수예측모형은 계산된 결과를 GIS를 이용하여 침수량 및 침수지점 등의 정보를 제공할 수 있다. GIS기반으로 구축된 각각의 데이터는 레이어 형식으로 불러들여지며 이들은 그림 3.4와 같이 중첩시킬 수 있다. 여기에 도시홍수예측모형의 결과를 적용시키면 그림 3.5와 같이 침수지점이 표시되며 이 부분을 클릭하면 윌류된 우수관의 세부정보를 확인할 수 있다.

3.3 단지설계시스템과 연계한 도시홍수예측모형(DPSI-SWMM)

3.3.1 단지설계시스템

단지설계시스템은 한국토지공사의 설계기준을 기반으로 하여 제작되었으며 기존의 부분적으로 전산화되어 있던 환경하의 설계작업에 비해 단지설계에 필요한 각 공종별 작업을 통합화시킴으로써 작업의 효율 증대 및 작업시간의 단축, 설계변경시의 빠른 수정작업을 지원한다.

단지설계시스템은 토공, 상수, 우·오수, 구조, 토질, 포장의 공종으로 이루어져 있으며 AutoCAD MAP® R2를 기반으로 하는 일관된 사용환경을 설계자에게 제공하여 작업의 특성상 도면의 입·수정이 필요시 별다른 작업환경의 전환과정 없이 해당작업을

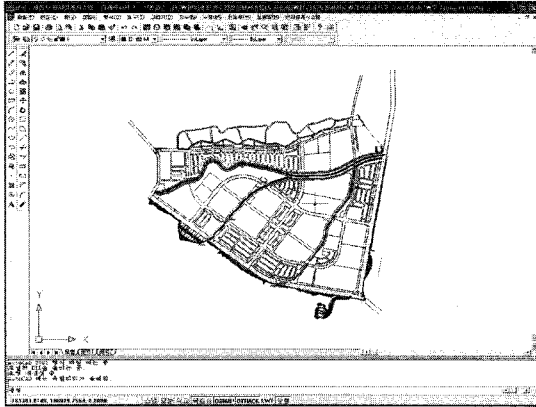


그림 3.6. 단지설계시스템 프로젝트 화면

수행할 수 있다.

3.3.2 단지설계시스템 및 도시홍수예측모형의 연계

본 연구에서 사용되는 도시홍수예측모형의 경우, 강우자료, 유역자료, 관망자료, 맨홀자료, 하천자료, 기타 모형제어자료 등의 다소 복잡하고 다양한 입력자료가 필요한 모형이다. 일반적으로 도시유출모델링 경험이 많은 전문가라 할지라도 강우자료 분석, 유역도 작성 및 지형인자 추출, 관망도 구성 등의 일련의 과정은 많은 시간과 경비가 소요되며, 사소한 사용자의 실수로 인해 잘못된 모의 결과를 도출할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 도시홍수예측모형과 단지설계시스템의 연계방안과 더불어 도시홍수예측모형의 입력자료를 기존 설계자료로부터 자동적으로 구축할 수

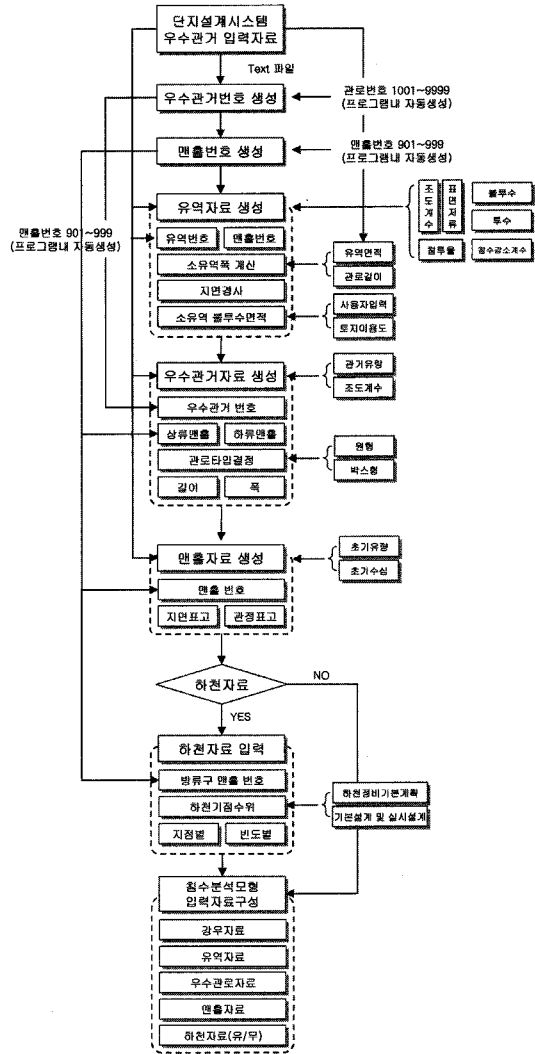


그림 3.8. 단지설계시스템 자료변환 흐름도

있는 방안을 수립하여 사용자의 시간과 노력을 절감시키며 보다 정확한 입력자료 구성이 되도록 하였다.

4. 도시홍수예측모형(DPSI-SWMM)의 적용

4.1 시범지역 선정 및 데이터베이스 구축

도시홍수예측모형 적용을 위한 대상지역은 기존의 단지설계시스템으로 설계된 지역 중에서 김해울하지

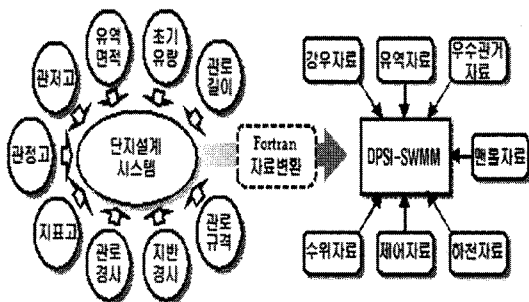


그림 3.7. 단지설계시스템의 자료변환

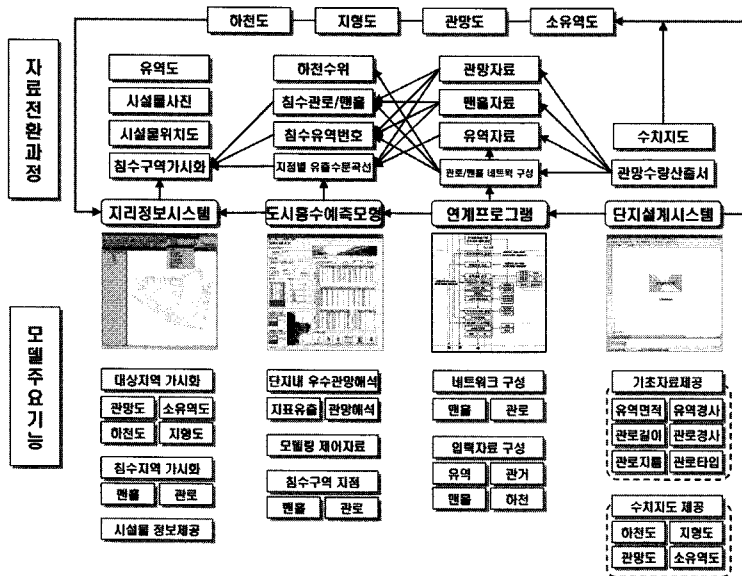


그림 3.9. 도시홍수예측모형 전체 연계도

■ 시범지역 선정(김해율하지구)

- 김해시 장유면 율하리, 관동리, 장유리 일원
- 총배수유역 : 3.11.19ha
 지구내 : 185.29ha
 지구외 : 125.90ha
- 하천
 : 율하천(지방2급)-100년
 : 구관동천(소하천)-50년
 : 신리천(소하천)-50년
- 시범유역 현장조사

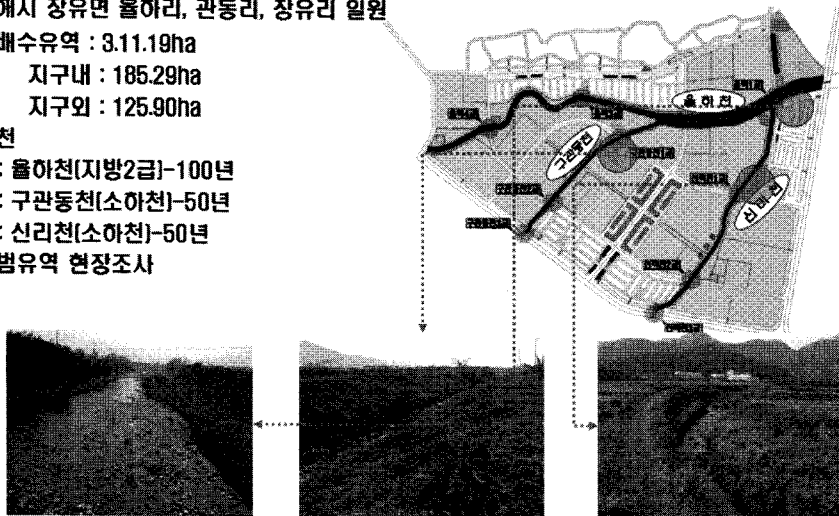


그림 4.1. 시범지역의 유역개황

구를 선정하였으며 그림 4.1과 같다.

본 연구의 시범지역인 김해율하지구의 지형 공간 데이터를 구축하기 위하여 기본적으로 단지설계시스템의 Project 자료를 활용하였다. 단지설계시스템에 제공하는 도면에서 추출가능한 데이터는 하천도, 관

망도, 맨홀위지도 등이다. 이러한 자료를 GIS 공간데이터로 변환하기 위해서는 불필요한 레이어 삭제 등의 작업이 선행되어야 한다. 그 외의 건물주제도, 도로, 3차원 지형도 등은 별도의 수치지형도를 확보하여 주제별 위상관계를 구축하였다.

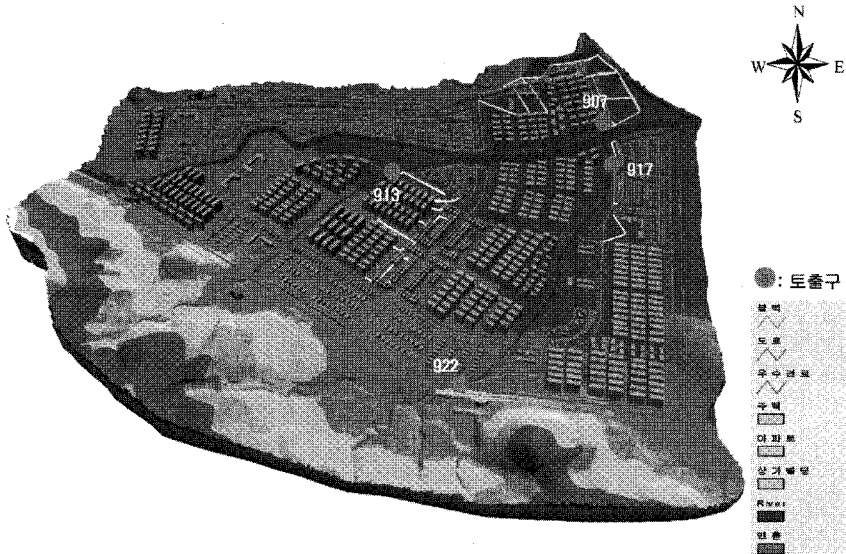


그림 4.2. 시범지역 지형자료 구축

4.2 시범지역 시나리오별 침수지역 예측

본 연구에서는 돌발홍수 시나리오를 작성하여 시범지역의 예상되는 침수정보지역을 검토하였으며, 돌발홍수 시나리오는 다음과 같이 정리하였다.

- 시나리오 I: 설계강우 100년 빈도의 집중호우, 하천 외수위 적용
- 시나리오 II: 실제강우(2001. 7.14) 적용

4.2.1 시나리오 I

도시홍수예측모형의 적용성을 검토하기 위하여 가상의 100년 빈도에 해당하는 설계강우를 작성하였다. 이는 우수관망의 설계빈도 최대 20년 빈도를 훨씬 초과하는 강우량이며 적용결과, 30곳에서 월류량이 발생하였고 침수심의 경우 대부분 10cm이하로 분포하였다. 이는 유역의 상류지역에서 5, 10년 빈도로 설계된 우수관로에서 통수능 초과로 인한 월류량이 발생하였으며 그림 4.3과 같다.

4.2.2 시나리오 II

시나리오 II에서는 과거의 실제호우를 적용하여 김해율하지구의 침수지역에 대한 안전성을 검토해보고자 하였다. 과거의 실제호우는 2001년 7월 14일~15일에 발생한 강우로 지하철 7호선 및 고속버스터미널의 침수피해를 발생시켰으며, 침수의 주원인 중 하나는 시설물의 설계빈도를 초과하는 강우로 조사된 바 있다. 본 연구에서는 이러한 강우를 시범지역에 적용하여 침수형상을 검토하였으며, 총강우량 280mm, 지속시간 410분을 적용하였다.

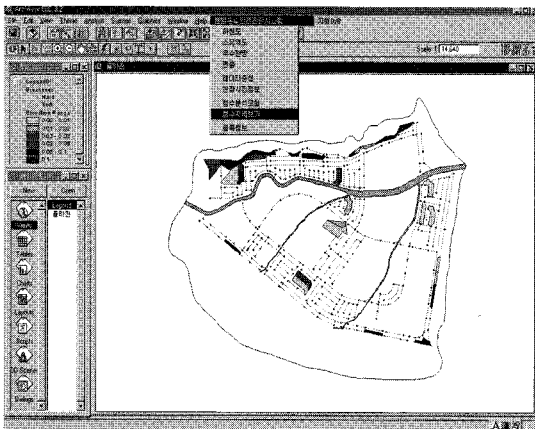


그림 4.3. 설계강우 100년 빈도 침수지역

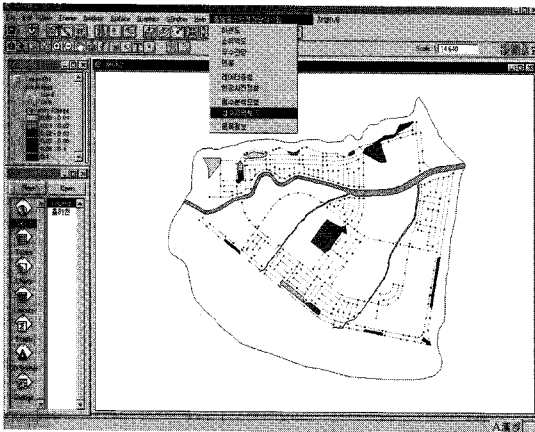


그림 4.4. 실제강우 적용 침수지역

- 재난 및 재해 발생시 관리자 및 결정권자의 의사결정을 지원할 수 있는 근거자료 제시(홍수 침수예상 지역 설정, 주민대피경로 등).
- 단지설계시스템(한국토지공사)의 우수관망, 지형자료, 건물자료 등의 기초자료를 고도화하여 모델링 시간 단축.
- 단지설계시스템 기초자료의 수정·보완을 위한 근거자료 제시(통수능 부족관계 설정 및 통수 가능한 관계제원의 제시 등).
- 돌발홍수에 의한 단지내 침수면적 및 침수량을 산정하여 예상 주민 대피경로 등의 기초자료 제시.

5. 도시홍수예측모형 활용방안 및 기대효과

도시홍수예측모형 및 단지설계시스템의 연계과정은 상호 유기적으로 자료의 변환이 이루어지도록 구성하였으며, 단지설계시스템은 우수관망자료, 맨홀자료, 소유역자료, 지형자료, 건축물자료 등을 GIS 데이터로 변환하여 공간데이터 및 모형의 입력자료로 변환시키도록 기본자료를 제공한다. 제공된 소유역, 관망, 맨홀자료는 도시홍수예측모형의 입력자료가 완성되고 공간데이터는 GIS를 이용하여 3차원 지형도 및 지형정보의 가시화 자료로 변환되어 활용되어진다.

도시홍수예측모형은 제공된 입력자료를 기반으로 월류지점 및 월류관로를 분석하고 경계조건에 따라 하천수위의 배수영향을 계산하여 정확한 결과를 제공한다. GIS는 단지설계시스템에서 제공된 지형자료를 공간데이터로 변환하여 가시화시키며, 도시홍수예측모형의 월류지점 및 월류관로를 공간데이터에 위치를 표시하여 사용자가 편리하게 문제점을 파악할 수 있도록 의사결정을 위한 자료를 지원한다.

본 모형적용을 통한 단지계획시 기대되는 효과는 다음과 같다.

- 돌발홍수에 의한 단지조성 지역내 발생 가능한 홍수침수현황 및 침수원인을 분석하여 향후의 비상사태를 예방할 수 있는 근거자료를 제시.

6. 결론

본 연구에서는 우수관거 시스템에서의 배수흐름과 시스템 과부하로 인한 특성을 분석할 수 있는 도시홍수예측모형을 제시하였다. 또한 한국토지공사의 단지설계시스템과 연계하여 우수관망자료, DEM자료, 지형자료, 토지이용도 등을 제공받아 지형분석, D/B 구축, 침수위험지역 설정, 관거의 통수능 검토 등을 GIS와 연계가능하도록 개발하였으며, 개발된 도시홍수예측모형을 김해 울하지구에 적용하고 침수위험지역에 대한 검토를 수행하였다.

본 연구에서 개발된 모형의 적용성을 검토한 결과, 차후 도시지역에서의 돌발홍수로 인한 단지조성 지역내 발생 가능한 홍수침수현황 및 침수원인을 분석하여 향후의 비상사태를 예방할 수 있는 근거자료를 제시하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이종태, 최성열, 김문모(2004), “도시하천 유출해석모형의 특성비교”, 도시홍수재해관리기술연구보고서, FFC03-01, 건설교통부

2. 한건연, 김광섭, 박재홍(2004), “국내 도시홍수 침수원인조사 및 분석”, 도시홍수재해관리기술연구보고서, FFC03-09, 건설교통부
3. 김형수, 이상렬(2004), “도시홍수피해발생 잠재위험도 및 피해액 평가기술”, 도시홍수재해관리기술연구보고서, FFC03-16, 건설교통부
4. 이종태 등(1993). “유수지 설계를 위한 계획강우의 임계지속시간”. 한국수자원학회
5. 이종태 등(1994). “국내도시유역에 대한 SWMM의 적용성 분석”. 한국수자원학회
6. 이종태 등(1996). “도시유역에서의 배수계통 설계를 위한 SWMM 모형”, 제4회 수공학 워킹교재
7. 이종태 등(1997). “강우 공간분포 및 소유역 분할이 유출특성에 미치는 영향”. 한국수자원학회
8. 한국토지공사(2004). “김해울하지구 택지개발사업 기본설계 및 실시설계보고서”.