

지리정보시스템과 결합된 강우·유출모형의 적용

심명필 (인하대학교 토목공학과 교수)

김경탁 (인하대학교 토목공학과 박사과정)

1. 서론

수자원 관련 분야에 있어서 GIS는 수문현상에 영향을 미치는 기상학적 요인, 토양, 토지이용도, 배수 유역의 형태 등 수문정보를 획득하기 위한 수단으로 사용될 수 있을 뿐만 아니라 단조롭고 시간이 많이 드는 기존의 자료 추정방법과는 달리 유역에서의 지형학적, 기후학적 특성을 시간과 인력을 절약하여 정량화할 수 있다는 것이 다각적으로 입증되고 있다. 국내에서도 1990년대 들어 수자원 관련 분야에 있어서 GIS의 활용에 대한 연구가 이루어지고 있으나 아직 그 연구성과는 미흡한 상태이다. 수리·수문분야에서 GIS의 활용을 극대화하기 위해서는 GIS 기법과 수리·수문학적 모형들이 상호 결합된 상태(coupling)에서 일괄된 처리가 가능하여야 하며 본고는 저자가 한국수자원공사의 "경인운하의 안정적 주운을 위한 수리·수문학적 분석연구"에서 GIS와 강우·유출프로그램인 HEC-1과의 결합된 상태에서 모의가 가능한 WMS를 이용하여 수행한 연구 결과를 요약한 것이다.

2. GIS/수리·수문 프로그램의 예

2.1 GISIWAM(GIS Interactive Watershed Analysis Model)

GISIWAM은 수문컴퓨터모델(hydrologic computer models)의 매개변수(parameter)를 산출하기 위해 미국의 R.K.R. Hess사(Rinker, Keifer and Rake Hess Associates, Inc.)와 환경시스템연구소(Environmental Systems Research Institute,

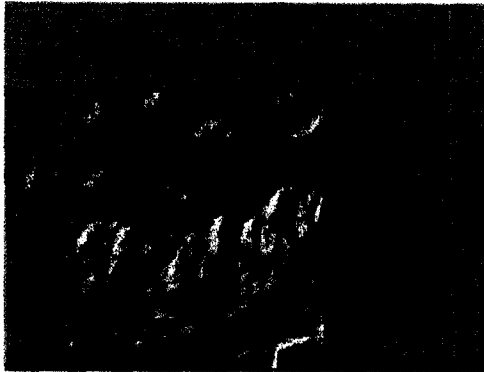
ESRI)에 의해 개발된 GIS와 유역모델(watershed model)을 결합한 프로그램이다. GISIWAM은 유역 경계선을 자동으로 그려주고 유역면적, 배수방식(drainage pattern), 도달시간, 지체시간 등을 계산하고 토양도 및 토지이용도를 중첩함으로써 유출곡선지수(SCS runoff curve number, CN)를 계산하고 여러 수문컴퓨터모델에서 필요한 불침투 지역의 백분율을 계산할 수도 있고 비점오염해석도 가능하다. 초기 GISIWAM은 미육군 공병단의 HEC-1을 중심으로 개발되었으나 최근에는 TR-20, SWMM, ILLUDAS, PSRM-QUAL 등 여러 가지 수문모델에 적용가능하며 유역의 치수계획 및 수자원 개발계획 등에 응용가능하며 그림 1(A)에 GISIWAM의 실행 화면을 수록하였다.

2.2 Geo-STORM

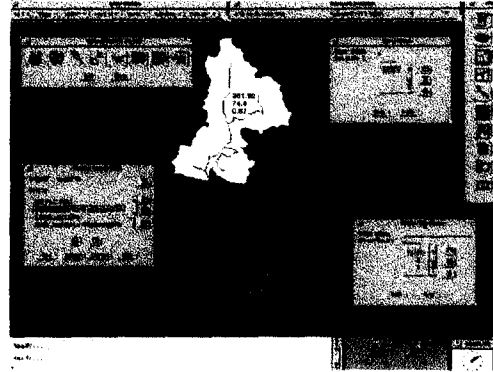
Geo-STORM은 미국의 Innovative System Developers, Inc.에서 개발된 ARC/INFO의 데이터 베이스를 이용한 유역의 수문·수리학적 과정을 모의하는 응용프로그램으로 단위 유역으로부터의 유출해석, 하천망에서의 홍수추적, 하천수리해석 등을 수행할 수 있다. AML(arc macro language)로 작성된 Geo-STORM은 ARC/INFO안에서 Geo-GUIDE로 불리는 그래픽 사용자 인터페이스(GUI) 환경을 이용하여 TR-55, TR-20과 HEC-2 모델을 연결하여 작동된다. 그림 1(B)는 Geo-STORM의 실행 화면이다.

2.3 MIKE 11

덴마크의 DHI(Danish Hydraulic Institute)에서



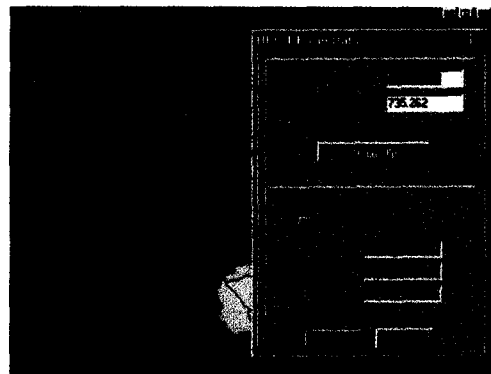
(A) GISIWAM



(B) Geo-STORM



(C) MIKE 11



(D) WMS

그림 1. GIS-홍수유출 프로그램

개발된 MIKE계열의 프로그램중 홍수해석 및 홍수터 관리용 수치모형 MIKE 11은 의사결정 지원시스템 (Decision Support System, DSS) 기법을 사용한 통합홍수터관리(integrated floodplain managemet)를 위하여 사용 가능하며 하구언, 하천, 관개시스템, 수로 등에서 흐름, 수질, 유사이동 등을 모의할 수 있고 단일 혹은 복잡한 하천 및 수로 시스템에 대한 설계 및 유지관리를 위한 일차원 모델링 프로그램이다. 의사결정지원시스템안에서 MIKE 11은 "What if" 시나리오에 의해 모의된 가상의 홍수에 대한 홍수범위, 침수깊이, 현재 혹은 미래 상황에 따른 피해정도를 해석할 수 있다. 편익·비용분석(benefit/cost analysis)에 의한 홍수피해평가가 가능하며 최적화 기법을 이용하여 홍수피해를 완화하기 위한 여러 가지 대안에 대한 모의가 가능하므로 의사결정자로 하여금 보다 명확한 판단을 내릴 수 있도록 도와준다.

MIKE 11 GIS는 홍수범람지도(flood inundation maps), 홍수영향지도(flood impact maps) 및 관련 통계치 등도 제시해 준다. 그림 1(C)는 MIKE 11의 실행화면이다.

2.4 WMS(Watershed Modelling System) v4.1

미육군 공병단(U.S. Army Corps of Engineers)과 Brigham Young 대학의 공학컴퓨터그래픽 연구실(Engineering Computer Graphics Laboratory)에 의해 개발된 WMS는 수문모델링(hydrologic modelling)을 위한 포괄적인 그래픽 사용자 환경(graphical user environment)을 제공해주는 프로그램이다. WMS는 수치고도데이터를 이용하여 형성된 불규칙삼각망(triangulated irregular networks, TINs)으로부터 유역도 및 소유역 경계선 등을 자동으

로 그려주고 강우-유출 프로그램인 HEC-1, TR-20, 합리식(Rational Method) 및 NFF(National Flood Frequency Program)에 대한 그래픽 사용자 인터페이스(graphical user interface, GUI)를 제공한다. 유역의 위상 관계를 자동으로 나타내주고 강우-유출 모형의 매개변수는 사용하기 편리한 대화형 박스(dialog box)를 통해 입력 가능하며 제공된 모든 강우-유출모형은 WMS안에서 직접 실행할 수 있고 결과값 및 수문곡선 또한 같은 환경안에서 출력된다. 그림 1(D)는 WMS의 그래픽 사용자 환경을 나타낸다.

2.5 WMS의 주요기능 및 국외 적용 사례

WMS는 다양한 운영체제에서 운영할 수 있도록 프로그램화되어 있으며 이는 6가지 기본모듈로 이루어져 있고 각각의 주요기능은 표 1과 같다.

WMS는 이미 국외 여러 지역의 유출해석을 위해 적용된 바 있으며 이들 중 몇 가지 사례를 요약하면 다음과 같다.

① Sava River Basin

미육군 공병단 수로국(U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station : WES)과 미육군 극한지역공학연구소(U.S. Army Cold Region Research and Engineering

Laboratory : CRREL)는 보스니아(Bosnia)의 세이바강 유역의 유출현상을 모델링하기 위하여 WMS를 사용하였다. 이 세이바강 유역은 88,022 km² 나 되는 넓은 지역으로 WMS를 이용하여 성공적으로 유출모형을 구성할 수 있었다. 또한 이 모델은 군의 주둔지이며 폰툰교(Pontoon Bridge)가 건설된 지역의 수위와 유출을 예측하는데 많은 도움을 주고 있다.

② Black River Watershed

152~1,113 m의 고저차를 가진 아디론댁 산악지역(Adirondack mountain) 서쪽의 약 5,178 km²에 해당하는 블랙강-허드슨지구(Black River-Hudson Regulation District)에 대해 적용되었다. 이 유역은 캐나다 남부의 온타리오(Ontario)호수에 이르는 Black River와 그 지류에 의해 결정되는 유역이다.

③ Cedar Creek Watershed

미 수로국(WES)과 공동연구를 통해 아이오와주의 체더크릭 유역(The Cedar Creek Watershed)에 대해 모델링하였다. 본 연구는 미시시피강을 따라 광범위한 지역에 발생한 1993년도 홍수이후 미 내무성(U.S. Dept. of the Interior)의 지원을 받아 이루어졌다. 이 연구의 목적은 상류지역의 토지이용도를 달리하여 침투유량을 감소시킬 수 있는 대안을 마련하기 위한 것이었다.

④ American Fork Catchment Basin

아메리칸 포크모형(The American Fork Model)을 통해 WMS를 이용한 도시지역의 유출모델링의 가능성이 입증되었다. 호우시 수로의 역할을 하는 포장도로, 도랑, 배수로 등 여러 가지 도시지역의 특성들이 하천(streams)으로 모델화되었다. 아메리칸 포크(American Fork)는 유타주(Utah)의 작은 지역으로, 모델화된 전체 지역은 약 13 km²이다.

⑤ Alpine Watershed

알파인 유역은 중부 유타주에 위치하고 있다. 이 지역은 도시와 농촌지역의 소유역이 결합된 지역이다. 이 모델은 워사츠 산악지역(Wasatch Mountain)의 작은 지역에서 도시개발의 영향을 조사하기 위해 사용되었다.

표 1. WMS의 모듈별 기능

구 분	주 요 기 능
TINs Module	- 불규칙 삼각망(TIN) 형성 - 유역의 지형학적 특성 분석 - 소유역 구분
DEM Module	- 미지질조사국(USGS)의 DEM 자료 및 Arc/Info, GRASS, 등 GIS 프로그램에서 제공하는 DEM 형식을 WMS형식으로 변환 - DEM을 이용한 준3차원 영상 출력
Map Module	- 하천, 경계선 등 주요 지형자료의 디지털이징 - DXF 파일의 변환 - Image 파일의 변환
Tree Module	- HEC-1, TR-20, 합리식, NFF 프로그램과 인터페이스 제공
2D Grid Module	- CASC2D(현재 비매품) 강우-유출해석모형과의 인터페이스 제공
2D Scatter Point Module	- 불규칙한(scatter)형태의 자료를 격자형 자료로 변환

3. 적용대상구역의 수문분석

적용대상구역은 경인운하사업구역내의 굴포천 유역으로 선정하였다. 굴포천 유역은 한강 하류부 좌안에 위치한 하천으로서 인천광역시 남동구 간석동에 위치한 철마산(EL. 201 m)에서 발원하여 인천광역시 북구의 도심지와 공업단지를 거쳐 부천시를 지나서 김포군 고촌면 신곡리의 신곡양배수펌프장에 이르는 유역면적 133.58 km²(본 연구에서 산정), 유로연장 20.9 km(본 연구에서 산정)의 준용하천이다. 그러나 본 굴포천 유역내에는 유량 관측 자료가 전무하므로 신뢰할 수 있는 유량의 추정치 어려운 실정이고 유역내 우량관측소로는 김포공항 관측소(1984년부터 기상월보 수록)와 부천시 관할의 보통우량 관측소가 있으나 관측 기록이 짧기 때문에 치수계획수립을 위한 수문분석 자료로서의 효용성은 부족한 것으로 판단된다. 유역내 부천 관측소의 강우 기록과 인근의 인천, 서울 관측소의 강우 기록을 조사한 바에 따르면 동일 강우에서 강우의 시간별 분포에 대하여 인천 관측소와 부천 관측소의 기록이 상관성이 높은 것으로 나타나므로(건설부/한국수자원공사, 1991) 홍수량 산정에 필요한 강우자료는 인천 관측소의 1952년 ~ 1996년의 45년간의 일 최대강우 자료를 이용하였다.

확률처리에는 2변수 대수정규분포, 3변수 대수정규분포, Gumbel분포, Pearson-Type III 분포, Log-Pearson Type III 분포에 대하여 검토하였으며 각 확률분포에 대한 신뢰도의 검토결과 Log-Pearson Type III를 채택하였다. 산정된 재현기간 100년에 해당하는 확률 일강우량은 353.69 mm이다. 강우지속기간내에 설계강우량을 분포시키는 기법으로는 과거 강우사상의 통계적 특성 값을 고려하는 Huff의 4분위법(Huff's quartile method)을 선정하였다. 한국건설기술연구원(1989)의 연구결과에 의하면 인천지점의 19시간-24시간의 호우는 1구간이 19개, 2구간이 26개, 3구간이 66개, 4구간이 7개로 되어있으며, 백분율로 환산하였을 때 각각 25.7%, 35.1%, 29.7%, 9.5%이다. 여기서 제 2구간 호우의 무차원 누가확률곡선 중 50% 누가계열은 제 2구간의 중앙값을 나타

내고 있고, 가장 유용한 값을 제공한다고 할 수 있다. 따라서, 제 2구간 누가확률곡선을 채택하였고, 지속기간을 72개, 즉 24시간을 20분 간격으로 구분한 무차원 누가우량값을 산정하기 위해서 식 (1)과 같은 6차 다중회귀(polynomial regression)방정식을 이용하였으며 회귀분석을 통해 얻어진 각 계수들은 다음과 같다.

$$Y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + fx^5 + gx^6 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} a &= -0.049855949183 & b &= 0.813104619388 \\ c &= -0.034667550955 & d &= 0.003236729141 \\ e &= -0.000073658214 & f &= 0.000000660153 \\ g &= -0.00000002107 \end{aligned}$$

위 회귀식을 사용하여 Huff의 4분위법으로 계산된 지속기간 24시간의 시간분포를 20분 간격으로 구하였으며 그림 2는 이를 HEC-1에 의한 홍수유출해석을 위하여 WMS상에서 입력한 것이다.

4. 유출해석에 필요한 공간데이터의 구축

4.1 수치고도자료

수치고도자료(Digital Elevation Model : DEM)는 인공위성영상, 항공사진영상 및 수치지도 등을 통해 구축할 수 있다. 본 연구의 홍수유출해석을 위하여 사용된 수치고도자료는 국립지리원의 수치지도를 이용하여 구축하였다. 입수된 수치지도 61개 도엽을 AutoCAD에서 결합하는 작업을 하였으며 각 도엽을 결합하기 전에 수치지도 내부에는 존재하지 않고 코드만 삽입된 레이어를 제거하는 작업을 먼저 수행하였다. 도엽의 결합은 각각의 도엽을 순차적으로 삽입시켜서 경계가 없는 수치지도로 만든 후 주곡선(5 m)과 계곡선(25 m)으로 등고데이터를 추출하고, 등고선 간격이 넓은 지역은 표고점을 사용하였다. 즉, 수치지도중 등고선레이어와 표고레이어를 포함한 DXF 파일을 UNIX ARC/INFO에서 WMS에서 입력 가능한 격자(gird)형태의 DEM 데이터로 변환하였으며 격자형의 DEM자료는 각 지점마다 해발고도가 부여

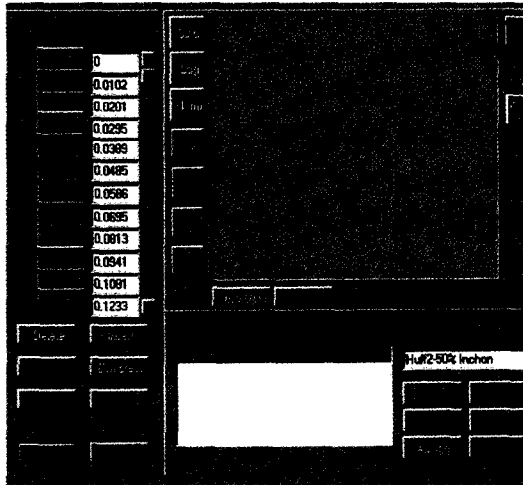


그림 2. 강우의 시간적 분포

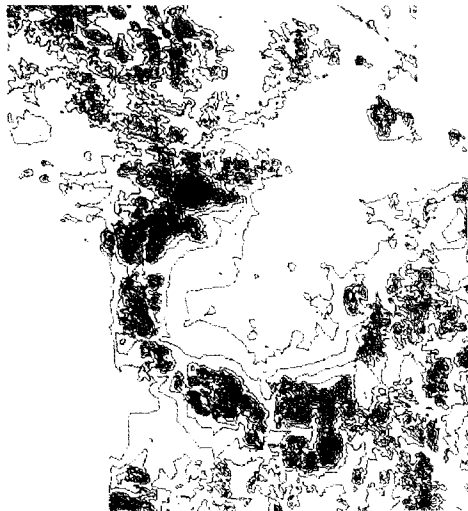


그림 3. 굴포천 유역의 등고선도

된 20×20 m²의 면적을 가진 동일 간격의 격자로 배치하였다. 그림 3은 굴포천 유역에서 DEM데이터로부터 등고선을 추출한 것이다.

4.2 굴포천 유역의 수계망

국립지리원 수치지도에서 하천레이어를 추출하였다. 그러나 이 레이어는 그림 4와 같이 지형도상에 나타난 하천만을 나타내고 있고 굴포천 유역과 같이 도시화 지역의 복개된 하천은 나타나지 않으므로 실제 유출해석을 위한 하천망 형성에는 부적합하게 구성되

어 있다. 따라서 본 연구에서는 그림 5와 같이 수치지도에서 추출한 하천망과 부천시 및 인천시 하수과 및 방재과에서 작성된 배수유역도를 참고하여 굴포천 유역의 복개된 하천 및 도시화 지역에 대한 배수관망 중간선관로를 WMS상에서 디지털라이징(digitizing)하여 유출해석을 위한 수계망을 형성하였다. 최종적으로 형성된 수계망도는 그림 6과 같다.

4.3 유역경계선 추출 및 소유역 분할

수치지도로부터 구축한 DEM데이터와 수계망도를 사용하여 WMS상에서 TINs해석을 수행하였으며 그



그림 4. 수치지도의 하천레이어

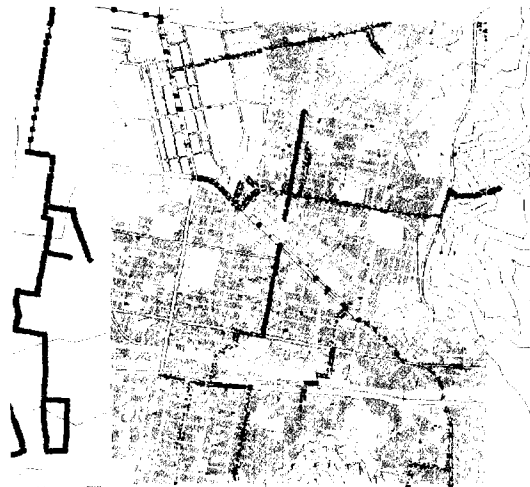


그림 5. WMS를 이용한 디지털라이징 예



그림 6. 유출해석을 위한 수계망도

림 7의 내부 경계선은 굴포천 유역을 포함하는 대략적인 경계선을 형성한 후 TINs해석을 통해 자동으로 추출된 유역경계선을 나타낸다. 이때 경계선상의 vertex간격은 100 m로 하였다. 굴포천 유역은 도시화 지역이 포함되어 있을 뿐 아니라 농업용 간선수로 인 동·서부간선수로가 포함된 복잡한 지역이므로 그림 8과 같이 지역 배수구역도를 중심으로 11개의 소유역으로 분할하였다. 또한 WMS로부터 산정된 지형 특성인자의 정확성을 검토하고자 표 3과 같이 경인운하건설사업 기본계획 및 기본설계에 포함된 유역의 평면적 특성치를 비교해 본 결과, 그 정확성을 확인할 수 있었다. 표 4는 WMS에서 산정 가능한 유역의 지형학적 특성값들 중 일부를 정리한 것이다.

4.4 토양도

HEC-1은 미 토양보존국(U.S. Soil Conservation

표 3. 유역의 평면적 특성치 비교

구분	출처	경인운하건설사업 기본계획 및 기본설계보고서 (1996.7)	WMS
유역면적 (A, Km ²)		133.8	133.58
유로연장 (L, Km)		20.7	20.9
유역평균폭(A/L, Km)		6.5	6.4
형상계수 (A/L ²)		0.31	0.31

표 4. WMS에서 구해지는 특성치

구분	굴포천 유역
유역 평균경사	0.0616
평균 지표면 유출 연장 (m)	248.24
유역 평균 고도 (m)	29.56
최대 흐름 연장(Maximum Flow Distance, m)	21,134.44
최대 흐름 연장(MFD)의 경사	0.0041
최대 하천 연장(Maximum Stream Length, m)	20,901.35
최대 하천 연장(MSL)의 경사	0.0060

Service, SCS)에서 개발한 유출곡선지수(runoff curve number, CN)를 이용하고 있으므로 토양도 및

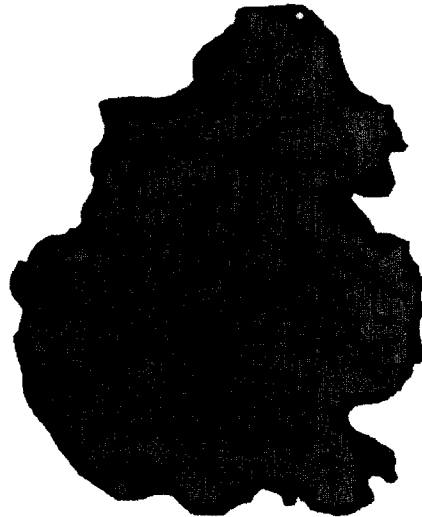


그림 7. 유역경계선 추출

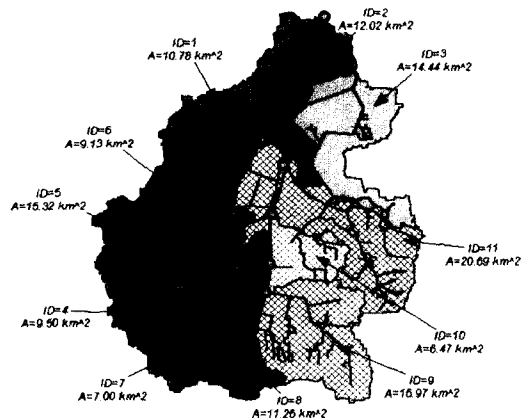


그림 8. 소유역 구분

토지이용도의 작성이 필요하다. WMS에서는 토양레이어, 토지이용레이어와 TIN이 형성된 유역레이어의 위상관계를 이용하여 소유역별로 HEC-1의 유출해석에 필요한 매개변수를 구한 후 HEC-1에 입력되도록 되어 있다. 본 연구에서는 시범소유역의 유출모의를 위해 개략토양도(1:50,000)와 정밀토양도(1:25,000)를 사용하였으며 이들이 유출해석에 미치는 영향을 분석하였다.

개략토양도는 58가지의 토양군으로 분류되어 있으므로 토양명칭별 특성을 고려하여 Type A~D형으로 구분되어 있는 SCS의 수문학적 토양군으로 재분류하였다. 토양도의 작성은 개략토양도를 트레이싱지에 그린 뒤 스캐너를 이용하여 래스터 자료로 만들고 GEOVEC을 이용하여 벡터라이징하여 수치지도화하였다. AutoCAD의 DXF파일 형태로 변환된 토양도를 WMS에서 Polygon 형성작업을 거친 후 속성 값을 부여하였으며 그 결과는 그림 9와 같다. 한편, 정밀토양도는 농업과학기술원의 협조를 받아 연구 지역에 해당하는 시군별 수치지도자료를 획득하였으며 각각의 독립된 Arc/Info 형식으로 작성된 수치지도를 하나의 Arc/Info coverage로 결합하는 작업을 수행하였다. 정밀토양도는 358개의 토양통으로 분류되고 있으며 토양통이란 모암, 토적양식 및 토양생성면에서 유사한 토양에 대한 표토의 토성을 제외한 심토의 물리·화학적 특성이 유사한 토양 집단을 말한다. 따라서 이들을 SCS의 수문학적 토양군으로 재분류하였으며 분류 기준은 “한국토양의 수문학적분류 및 그 응용(허와정, 1987)”의 연구결과를 토대로 하였다. Arc/Info에서 굴포천 유역에 해당하는 부분만 분리하여 WMS에서 입력 가능한 Shape파일(SHP.) 형태로 변환하였으며 WMS로 변환된(import) 결과는 그림 10과 같다.

4.5 토지이용도

굴포천 유역의 유출해석에 필요한 토지이용도 작성을 위하여 가용한 자료로는 1972년 국립지리원에서 제작된 토지이용현황도, 도시계획도 및 인공위성영상자료 등이 있다. 국립지리원의 토지이용현황도는 제작 년도가 오래되어 굴포천 유역과 같이 도시화로 인

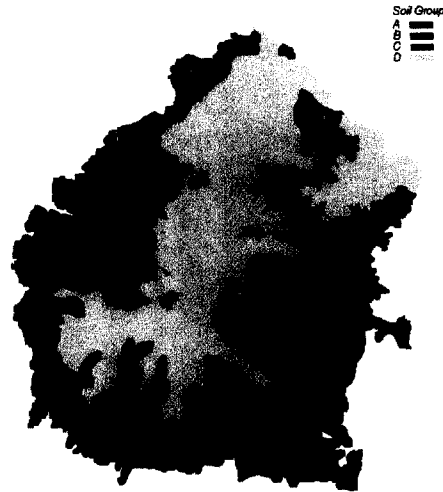


그림 9. 굴포천 유역의 수문학적 토양군 (개략토양도 이용)

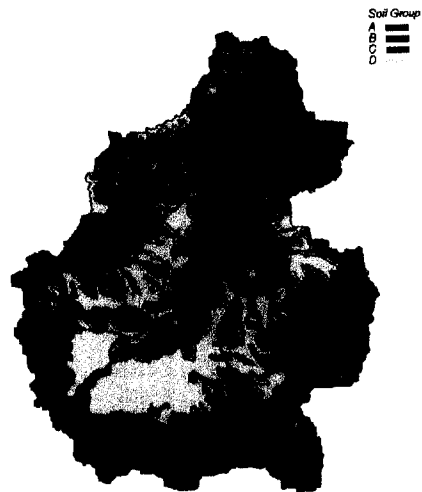


그림 10. 굴포천 유역의 수문학적 토양군 (정밀토양도 이용)

한 토지이용 상황이 급변한 지역에서는 사용하기가 어렵다. 따라서 1997년 제작된 수도권도시계획총괄도(1:50,000)와 SPOT HRV 영상자료(1995년 10월6일 촬영된 2개의 scene)를 사용하였다.

HEC-1의 유출모의에 필요한 SCS의 CN값은 SCS의 수문학적 토양군과 토지이용도표(SCS landuse table)를 이용하여 산정된다. 따라서 도시계획도를 이용한 토지이용도 작성에서 도시계획법례를 이용하여 이를 SCS의 토지이용도표의 식생피복 및

토지이용상태에 따른 분류기준으로 재분류할 필요가 있다. 본 연구에서는 표 5의 분류기준을 설정하여 굴포천 유역의 토지이용현황을 6가지 속성으로 분류하였다. 또한 SPOT위성 영상자료로부터 제작한 토지이용도는 수면, 농지, 나대지, 산림, 공장 및 주거지역으로 분류되었고 굴포천 유역인 경우, 수면을 제외한 4가지 속성이 포함되어 있으므로 이를 표 6과 같은 기준으로 SCS 토지이용도표의 식생피복 및 토지이용상태에 따른 속성을 입력하였다. SCS 토지이용도표에서는 공장 및 주거지역을 포함하는 속성값은 제공하고 있지 않으므로 부득이 CN값이 중간치를 갖는 도시의 공업지역에 해당하는 속성을 입력하였다. 수도권도시계획총괄도 및 위성영상을 통해 완성된 토지이용도는 각각 그림 11, 12와 같다.

5. 모형의 적용 및 분석

WMS에서는 토양레이어, 토지이용레이어와 TIN이 형성된 유역레이어의 위상관계를 이용하여 HEC-1의 입력자료로 사용되는 여러 가지 변수들을 계산할 수 있다. 이를 위하여 그

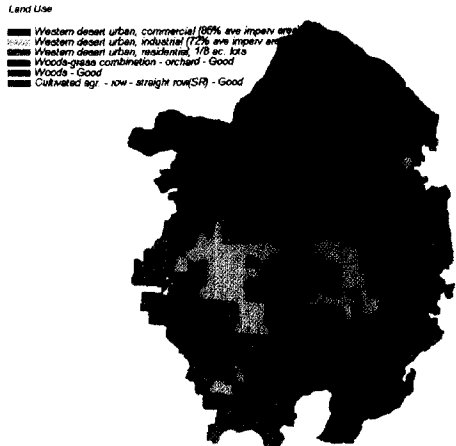


그림 11. 토지이용도(수도권도시계획총괄도)

표 5. 수도권도시계획총괄도에 대한 토지이용의 재분류

도시계획범례	SCS 토지이용도표	토양형			
		A	B	C	D
전용주거지역 일반주거지역 준주거지역	주거지역	77	85	90	92
중심상업지역 일반상업지역 근린상업지역 유통상업지역	도시지역 (상업 및 사무실 지역)	89	92	94	95
전용공업지역 일반공업지역 준공업지역	도시지역 (공업지역)	81	88	91	93
공원 개발제한구역 (산지)	산림	30	55	70	77
개발제한구역 (평지)	이랑 경작지(논)	67	78	85	89
보전독지지역 생산독지지역 자연독지지역 시설독지지역	산림, 초지 혼합지역	32	58	72	79

표 6. SPOT위성영상에 대한 토지이용의 재분류

도시계획범례	SCS 토지이용도표	토양형			
		A	B	C	D
농지	이랑 경작지(논)	69	78	85	89
나대지	개활지 (초지피복률 50% 이하)	69	79	86	89
산림	산림	30	55	70	77
공장 및 주거지역	도시지역 (공업지역)	81	88	90	93

림 13과 같이 각 레이어를 중첩하여 유역의 지형학적 자료에 대한 계산을 수행하고 소유역별 SCS의 CN값

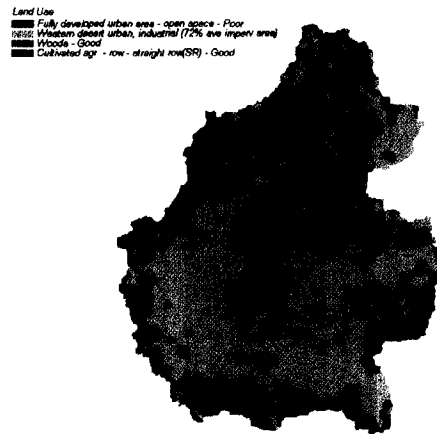


그림 12. 토지이용도(SPOT 위성영상)

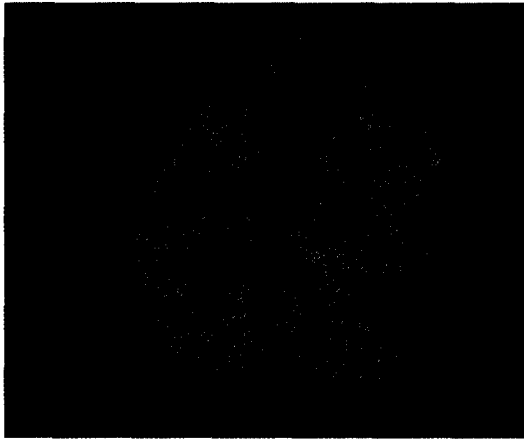


그림 13. 각 Layer의 중첩을 통한 소유역별 CN값의 산정

및 HEC-1의 입력자료를 계산하였다. 또한, 그림 14와 같이 4가지 경우로 분류하여 각 CASE에 대한 소유역별 CN값을 산정하였다.

한편, HEC-1은 매우 다양한 방법을 이용한 단일 호우사상에 대한 홍수유출해석이 가능하다. 본 연구에서는 일차적으로 손실률 계산을 위해서 SCS Curve Number Method를 이용하였고 합성단위도의 유도를 위해 SCS 무차원 단위도법을 이용하였으며 Muskingum - Cunge방법을 이용하여 하도홍수추적을 실시하였다. 굴포천 유역의 서부간선수로의 경우 통수능이 약 48 m³/sec이므로 HEC-1에서 제공하는 Diversion기능을 이용하여 침투홍수량이 통수능을 넘지 않게 하였다. 한편, 동부간선수로는 삼척천 유역과 여월천 유역을 지나가며 일부의 양이 홍수시 동부간선수로로 유입되는 것으로 조사되었다. 그러나 그 양이 많지 않고 유입량에 대한 정확한 정보가 부족하므로 본 연구에서는 이들 지역의 홍수시 배수계통에서 동부간선수로 유입되는 양을 없는 것으로 가정하여 소유역을 구분하였다. 따라서 동부간선수로인 경우는 본 연구의 소유역 구분에 의해 하도홍수추적이 필요치 않아 통수능을 고려하지 않았다.

GIS를 이용한 홍수유출해석시 대부분의 지형자료는 GIS로부터 산정 가능하다. 그러나 HEC-1의 Muskingum-Cunge방법에 의한 홍수추적과정에서 필요한 입력데이터인 하천단면자료는 TINs해석을 통

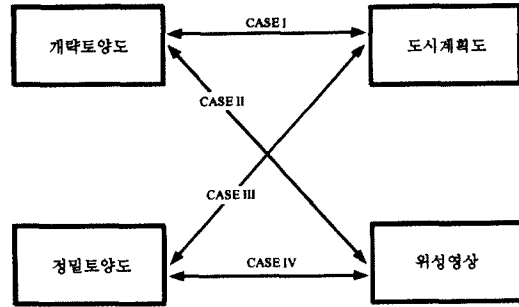


그림 14. CASE별 CN값의 산정

해 산정할 수 없으므로 홍수추적구간의 길이 산정을 제외한 입력데이터는 굴포천 방수로 및 부대시설공사 추가실시설계 보고서(건설교통부/한국수자원공사, 1995)의 자료를 사용하였으며 동·서부간선수로에 대한 자료는 한강농지개발조합에서 입수한 자료를 사용하였다.

위 4가지 CASE에 대하여 홍수유출해석을 실시하였으며 입력변수의 CN값 이외의 값은 토지양도와 토지이용도에 무관하게 산정되므로 CASE별로 일정한 값을 사용하였고 선행토양함수조건(Antecedent Soil Moisture Condition, AMC)은 AMC II 및 AMC III 조건으로 달리하였다. 그림 15는 WMS에서 제공하는 GUI환경을 이용하여 유출모의 결과를 나타낸 것이다.

6. 결론

1) GIS-홍수유출프로그램인 WMS를 이용하여 굴포천 유역의 홍수유출해석을 실시하였다. 본 유역은 유량측정자료가 전무한 상태이므로 모형의 최적 매개변수의 추정은 불가하였으나 GIS를 이용하여 HEC-1의 입력자료로 사용되는 유역의 지형학적 인자 및 신뢰성있는 SCS CN값을 산정할 수 있었다.

2) 토양도와 토지이용도를 CASE별로 달리하고 선행토양함수조건을 AMC II 조건으로 한 결과 굴포천 하구지점에서의 침투홍수량 및 강우시작 시점으로부터의 발생시각은 각각 CASE I 은 864.14 m³/s, 10시간 55분, CASE II 는 884.03 m³/s, 10시간 50분,

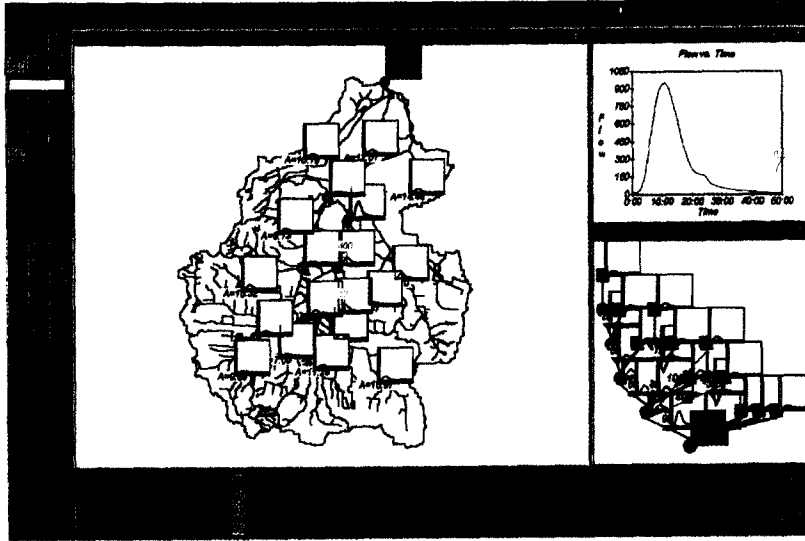


그림 15. WMS에 의한 HEC-1의 유출모의 결과

CASE Ⅲ는 835.48 m³/s, 11시간 5분, CASE Ⅳ는 871.41 m³/s, 10시간 50분으로 CASE Ⅱ의 첨두홍수량이 가장 크게 나타났다.

3) 또한, 토양도와 토지이용도를 CASE별로 달리하고 선행토양함수조건을 AMC Ⅲ 조건으로 한 결과 굴포천 하구지점에서 첨두홍수량 및 강우시작 시점으로부터의 발생시각은 각각 CASE Ⅰ은 951.96 m³/s, 10시간 25분, CASE Ⅱ는 954.32 m³/s, 10시간 25분, CASE Ⅲ는 933.83 m³/s, 10시간 30분, CASE Ⅳ는 955.59 m³/s, 10시간 25분으로 나타났다.

4) 정밀토양도를 이용하는 것이 개략토양도를 이용하는 것보다 첨두홍수량이 다소 작게 나타났으며 인공위성영상을 이용하는 것이 수도권도시계획총괄도를 이용하는 것에 비해 다소 크게 나타났다. 그러나 이는 단지 이들이 유출에 미치는 영향만을 조사한 것이고 본 유역에 유량 측정자료가 없는 관계로 최적 매개변수 추정을 위해 어느 것이 타당하다는 결론을 내리기는 어렵다.

5) 기존 보고서의 연구결과를 토대로 개략토양도와 정밀토양도의 분류기준을 SCS의 수문학적 토양군으로 분류한 경우 앞의 그림 9와 그림 10에서 비교할 수 있듯이 산지인 경우는 유사하나 굴포천 하류측지역에서는 확연히 차이가 남을 볼 수 있으므로 앞으로 이에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 토지계획도 및 SPOT 위성영상으로부터 분류된 토지이용현황의 분류기준을 SCS의 토지이용도표의 분류기준에 맞게 재분류하는데 있어서 아직까지 많은 문제점이 있으며 이에 대한 보다 많은 연구가 요구된다. ●

〈참고문헌〉

건설부/한국수자원공사 (1991.12). 경인운하 타당성조사 및 굴포천 종합치수사업 기본계획 보고서.
 농촌진흥청 농업기술연구소 (1992.6). "중보 한국토양총설"
 한국건설기술연구원 (1989.12) 지역별 설계 강우의 시간적 분포.
 한국수자원공사 (1996.7) 경인운하 건설사업 기본계획 및 기본설계 보고서.
 한국수자원공사 (1997.8) 경인운하의 안정적 주운을 위한 수리·수문학적 분석연구 보고서.
 허기술, 정정화 (1987). "한국토양의 수문학적분류 및 그

응용." 농업진흥공사 농업토목시험연구 소농업기술 제 4권 제 4호, 농업진흥공사 농업토목시험연구소 pp. 48-61.

Brigham Young University - Engineering Computer Graphics Laboratory (1996). WMS 4.1 Reference Manual.

HEC (1990.9) HEC-1 Flood Hydrograph Package User's manual., US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. CPD-1A Version 4.0.