수치주제도에 따른 유출특성의 분석

○최윤석*, 김경탁**

1. 서 론

유출해석에 있어서의 GIS는 주로 유출해석모델의 입력 변수의 추출에 이용되어지고 있다. GIS를 이용한 지형인자의 추출은 DEM, 종이지도 및 항공측량 등에 의해서 제작된 수치지도를 바탕으로 이루어지기 때문에 기존의 방법보다 정확한 자료를 편리하게 얻을 수 있다. 본 연구에서는 IHP 유역중의 하나인 낙동강 수계의 위천 유역에 대한 유출해석에 GIS를 적용하기 위하여 위천 유역의 수치고도자료, 토지이용도, 토양도, 수문관측소의 좌표 및 기 관측된 수문자료를 이용하였다. 이러한 자료를 바탕으로 유출해석에 GIS를 적용함으로써 수치자료에 따른 위천 유역의 유출특성을 파악하고, 유출해석에 있어서의 GIS의 합리적인 적용방안에 관하여 검토하고자 한다.

2. 유역의 개황

본 연구에서는 GIS를 이용하여 유역의 홍수유출해석을 할 경우 그 결과를 충분히 검증할 수 있는 수문자료가 풍부한 지역으로 IHP 대표유역중의 하나인 낙동강 수계의 위천 유역을 대상유역으로 선정하였다. 위천 유역은 약 474km^{2}의 면적을 가지며 경북 군위군을 중심으로 의성군, 구미시, 칠곡군, 대구광역시, 영천군 및 청송군으로 둘러싸여져 있다.

위천 유역에는 11개의 자기강우계와 6개의 자기수위계가 있으며 IHP 사업의 일환으로 1982년부터 운영하고 있다. 그림 1은 위천 유역의 개황과 유역내의 수문관측소를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 지형분석을 위해 1:25,000 지형도로부터 추출한 DEM을 사용하였다. 위천 유역은 국립지리원에서 발간한 1:25,000 축척의 도엽 중 군위, 우보, 옥정, 용소, 다부, 대율, 신령의 7개 도엽을 포함하며, 그림 2는 이 7개 도엽의 배치를 나타낸 것이다.

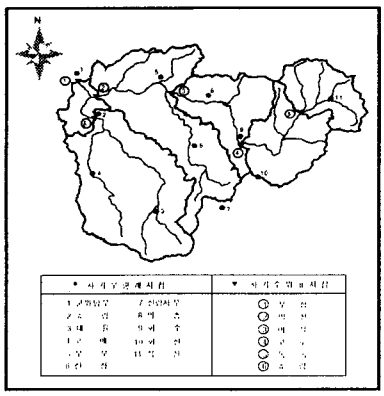

그림 1 위천 유역의 모식도

(36° 15′ 00″, 128° 30′ 00″)

군위	우보	옥정	용소
NJ52-14-25-1	NJ52-14-25-2	NJ52-14-26-1	NJ52-14-26-2
다부	대율	신령	
NJ52-14-25-3	NJ52-14-25-4	NJ52-14-26-3	

(36° 00′ 00″, 129° 00′ 00″)

그림 2 위천 유역의 도엽명(1:25,000)

* 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원
** 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원

본 연구에서는 수문관측소의 정확한 위치 파악을 위하여 건설교통부, 수자원공사에서 제공하는 좌표 및 현지 GPS 측량을 통해 얻은 좌표를 지형도 상의 위치와 비교하여 가장 적합하다고 판단되는 것을 선택하여 적용하였다. 표 1은 본 연구에서 사용한 위천 유역의 우량관측소와 수위관측소의 좌표를 나타낸 것이다. 결정된 경위도 좌표를 바탕으로 Arc/Info를 이용하여 TM좌표로 변환하였으며, TM좌표로 변환시의 기준점은 중부원점(127° 00′ 10.405″ E, 38° 00′ 00″ N)을 사용하였다.

표 1 위천 유역의 우량/수위 관측소

구 분	관측소	경위도 좌표(경도, 위도)		TM 좌표 (127° 00′ 10.405″ E, 38° 00′ 00″ N 기준)	
우량 관측소	군위남부	128° 34′ 00″	36° 11′ 45″	340634.9510	300929.3907
	효 령	128° 35′ 20″	36° 09′ 12″	342710.6864	296245.8955
	대 율	128° 39′ 28″	36° 03′ 37″	349085.7368	286023.5921
	고 매	128° 35′ 03″	36° 05′ 40″	342392.0845	289704.5061
	우 보	128° 39′ 47″	36° 11′ 33″	349310.5333	300703.5815
	산 성	128° 41′ 55″	36° 07′ 30″	352639.4143	293268.7617
	신령서부	128° 44′ 00″	36° 03′ 45″	355888.6380	286388.5911
	의 흥	128° 42′ 58″	36° 10′ 24″	354120.1820	298659.7170
	화 수	128° 45′ 15″	36° 07′ 45″	357632.3550	293819.8378
	화 산	128° 46′ 22″	36° 05′ 38″	359378.9942	289935.5815
	석 산	128° 51′ 25″	36° 10′ 20″	366793.1101	298769.3050
수위 관측소	무 성	128° 34′ 00″	36° 11′ 28″	340643.3983	300405.3968
	효 령	128° 35′ 13″	36° 09′ 08″	342525.2213	296119.5429
	병 천	128° 35′ 18″	36° 10′ 26″	342623.4391	298525.9902
	미 성	128° 40′ 28″	36° 10′ 44″	350368.6908	299195.5330
	고 로	128° 45′ 25″	36° 07′ 25″	357888.6470	293201.6189
	동 곡	128° 49′ 28″	36° 09′ 30″	363895.6625	297163.4205

3. GIS 적용을 위한 자료의 구축

본 연구에서는 위천 유역의 유출해석에 GIS를 적용하기 위하여 수문모델과 GIS가 결합된 WMS v6.1을 사용하였다. 또한 유출해석은 WMS와 결합된 모델 중 HEC-1을 이용하였고, HEC-1을 이용한 유출해석시 유효강우량과 합성단위도의 산정을 위하여 각각 SCS CN 값과 SCS 무차원단위도법을 이용하였다.

유출해석에 GIS를 적용하기 위해서는 수치화 된 유역자료가 필요하다. 본 연구에서는 1:25,000 지형도를 이용하여 제작한 등고선 수치지도로부터 30m 간격으로 추출된 DEM을 이용하여 유역 지형인자 계산에 사용하였다. SCS CN 값을 산출하기 위해서는 유역면적과 유역내의 토지피복상태와 토양의 성질을 나타내는 수치데이터가 필요하다. 토지피복상태를 나타내는 자료로는 Landsat TM 영상을 이용하여 환경부에서 1998년에 1:50,000의 축척으로 제작한 토지피복도를 사용하였으며, 토양자료로는 1:50,000 개략토양도와 1:25,000 정밀토양도를 이용하였다.

DEM을 이용하여 지형을 분석하는 방법으로 TIN해석과 GRID해석을 수행하였다. TIN 해석시의 하천망은 1:25,000 수치지도에서 추출한 하천망을 이용하였고, GRID 해석시의 하천망은 WMS에 내장되어있는 TOPAZ tool을 이용하여 계산된 최소흐름누적수 중 위천의 총 연장인 795,608m에 해당하는 최소흐름누적수 172일 때 추출된 하천망을 이용하였다. 그림 3은 수치지도에서 추출된 하천망과 GRID 해석에서 추출된 하천망을 중첩시킨 것이고, 그림 4는 TIN해석과 GRID 해석에 의한 위천의 6개 소유역 경계를 중첩시킨 것이다.

본 연구에서는 WMS와 결합된 HEC-1 모형을 사용하며 유효우량의 산정과 합성단위도의 유도는 SCS 방법을 사용한다. WMS에서는 SCS CN 값을 이용하여 유효우량을 산출할 경우 토양의 피복상태를 나타내는 속성을 부여하기 위하여 81개의 항목으로 나누어 진 SCS Land use table을

제공한다. Landsat TM 영상으로부터 추출된 토지피복도의 분류 항목은 7가지로 나누어진다. 표 2는 위천 유역 토지피복도의 7개 분류 항목과 각각의 항목에 해당하는 SCS Landuse table의 속성을 나타낸 것이다. 이러한 Landuse table의 속성의 입력은 영상에서 분류된 항목에 해당하는 속성을 그대로 입력하기보다는 유역의 수문학적 특성을 고려하여 해당 분류항목의 유출특성을 가장 적합하게 반영할 수 있는 것을 입력하는 것이 중요하다. 표 3은 본 연구에서 사용한 개략토양도와 정밀토양도를 SCS 수문학적 토양군으로 분류할 때 SCS 토양군에 해당하는 각 토양도의 분류항목을 나타낸 것이다.

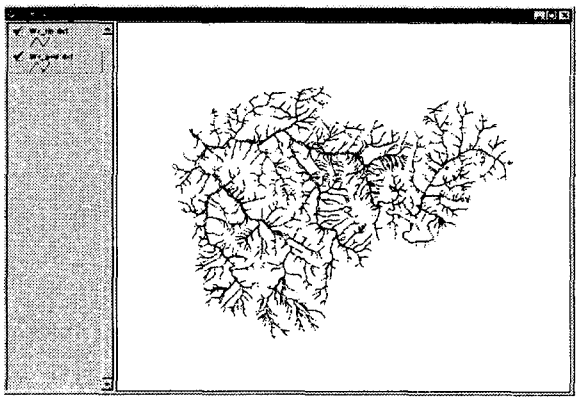

그림 3 위천 하천망의 중첩(TIN+GRID)

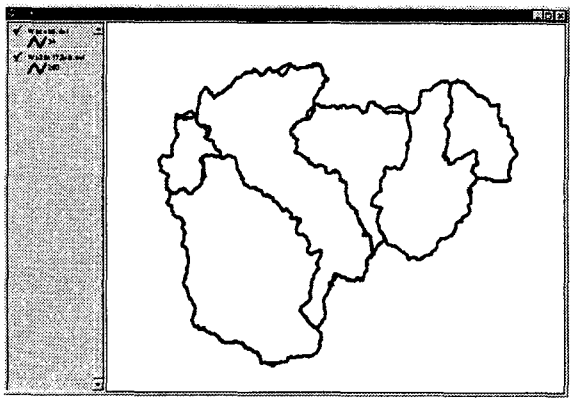

그림 4 위천 유역경계 중첩(TIN+GRID)

표 2 토지피복도의 속성입력

토지피복도 분류항목	WMS 속성번호	속 성
나지	34	Cultivated agr. - fallow - bare soil
농업지역	38	Cultivated agr. - row - straight row(SR) - Good
산림지역	27	Woods - grass combination - orchard - Poor
수역	5	Paved streets with curbs and storm sewwes(excel. ROW)
습지	38	Cultivated agr. - row - straight row(SR) - Good
시가화/건조지역	33	Farmsteads - buildings, lanes, surrounding lots
초지	67	Arid - herbaceous(grass, weeds, etc.) - Poor

표 3 개략토양도와 정밀토양도의 SCS 토양군으로의 분류

토양형	개략토양도(29개)	정밀토양도(288개)
A	mab mac msa msb mva mvb rsa	Ce DF Dq Gq Gz IIr IIw IIy IbB Jd Ke Nd Ng Ny Oo PuB PuC Px Pz PzB PzC RC RCS RS SAC SuB SuC Wo WoB WoC
B	afa afd ana anb anc apb apc apg mua raa rab rac rad rsb rsc rva rvb rvc rxa	CrE CrE2 CrF CrF2 CsE CsE2 CsF CsF2 DaE2 DaE3 DBB DBC DEC DED DEE DjE2 DTC DTD DxC DxD EgB EgC EoB EoC GkB GkC GkD GmB GmC GmD Gt Gy Hg HgB IIM IIMB Ih IrE2 IrE3 IrF2 IsC2 IsD2 IsD3 IsE2 IsE3 IsF2 IsF3 IvE2 IvF2 JoB JoC JoD MhC MhD MhE MoB MoC MoD MzF2 NaC2 NaD2 NaE2 NaE3 NaF2 Np NrE2 NrE3 NrF2 SbC SbD SbE SE SgC2 SgD2 SgD3 SgE2 SgE3 SgE4 SgF2 SID SIE SmE2 SmE3 SmE4 SmF2 SND2 SNE2 SNF2 SpB SqC SqD SRF2 SsC SsD SsE StC StD StE SvE2 SvF2 Tc Tt
C	afb apa	AkB AkC AkD AnD ArC ArD AsC2 BcB BcC BhC BLB BLC BLD BzB CGB CGC CGD CkC Co IIh IIl IIlB IIl JiB JiC JuB KtC2 KtD2 KtE2 KtF2 PhC Pt SaB ScB ScC ScD ScS SfB Sh SoC2 SoD2 SoD3 SoE2 SxC2 SxD2 SxD3 SxE2 SxE3 TaD2 TaE2 UoB UoC VgB VgC VgD YcB YjB YjC YjD Yu YuB YuC Yw YwB YwC Yx YxB YzB YzC
D	ro	BcB BcC2 DfC2 DfD2 DfE2 DfE2F DfF2 DgC2 DgD2 DgE2 DgF2 DpF2 Dy DyB ESE2 ESE3 Gr GrB GxE2 GxF2 IIbD2 IIbE2 IIbF2 IId IIdB IIdC IIjB IIKE2 IIpF2 IIzF2 IIzF3 JwC JwD MdE MdF2 MvF2 MxF2 Oc OcB RB RL RO SrC2 UpB UpC W YcB YcC YcD YgC YgD YNC YND

그림 4 ~그림6은 본 연구에서 사용한 위천 유역의 토지피복도와 개략토양도 및 정밀토양도를 나타낸 것이다. 그림 4에서 위천 유역의 대부분은 산지 속성을 가지고 있는 것으로 나타나 있다. 따라서 토지이용분류의 다른 속성에 비해 산림 속성이 CN 값의 계산에 큰 영향을 미칠 것으로

판단된다. 또한 그림 5의 개략토양도에서는 침투율이 큰 A형 토양이 많이 분포되어 있는 것을 알 수 있으며, 그림 6의 정밀토양도에서는 유출율이 비교적 큰 C와 D 형이 넓게 분포되어 있는 것을 알 수 있다. 따라서 개략토양도와 정밀토양도를 유출해석에 적용할 경우 정밀토양도를 이용한 해석결과가 개략토양도를 이용한 해석결과에 비해 큰 유출량을 나타낼 것을 유추할 수 있다.

그림 4 토지피복도

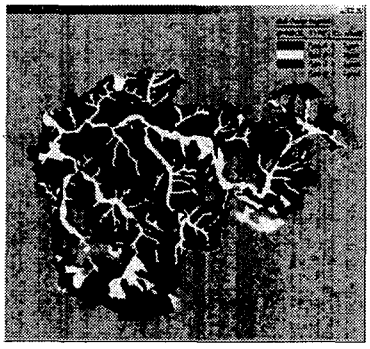

그림 5 1:50,000 개략토양도

그림 6 1:25,000 정밀토양도

4. 지형인자의 계산

유역의 유출해석시에 GIS를 이용할 경우 유출모델에서 필요로 하는 많은 수문지형인자를 손쉽게 구할 수 있다. 따라서 소유역 구분에 의한 유출해석시 소유역으로부터 필요로 하는 많은 양의 지형인자를 계산하는데 있어서 기존의 방법에 비하여 적은 시간과 비용으로 정확한 자료를 얻을 수 있다. 본 연구에서 사용한 WMS v6.1은 유역의 DEM과 하천망을 이용하여 지형인자를 자동으로 계산하며, 계산된 지형인자는 유출해석시에 적용된다.

본 연구에서는 DEM을 이용한 유역의 지형인자 산정을 위해 TIN 해석과 GRID 해석을 수행하였다. 표 4는 위천의 6개 수위표 지점에 해당하는 자기유역과 무성지점 상류를 포함하는 위천 전체 유역의 지형인자를 TIN과 GRID 해석에 의해 계산한 결과를 나타낸 것이다.

표 4의 지형인자와 표 1의 우량관측소 좌표를 이용하여 WMS에서는 티센망을 형성한다. 그림 7은 WMS에서 형성된 티센망을 나타내고 표 5는 위천 유역의 티센계수를 나타낸 것이다.

표 4 위천 수위표지점별 자기유역 지형인자(TIN/GRID 해석)

지형인자	무 성		효 령		병 천		미 성		고 로		동 곡		무 성(전체유역)	
	TIN	GRID	TIN	GRID	TIN	GRID	TIN	GRID	TIN	GRID	TIN	GRID	TIN	GRID
A	21.70	19.93	148.63	149.98	131.36	130.90	63.71	62.70	75.03	75.60	33.50	33.14	473.94	472.26
BS	0.2335	0.2526	0.2816	0.3117	0.2216	0.2497	0.2174	0.2482	0.3698	0.4121	0.3747	0.4143	0.2747	0.3069
AOFD	190.59	318.18	209.88	278.58	160.90	265.67	164.59	288.39	176.76	263.17	197.96	275.08	183.31	275.26
%NF	0.57	0.63	0.61	0.61	0.53	0.56	0.51	0.56	0.55	0.55	0.46	0.47	0.55	0.57
%SF	0.43	0.37	0.39	0.39	0.47	0.44	0.49	0.44	0.45	0.45	0.54	0.53	0.45	0.43
L	4885.41	6402.38	18118.04	18196.95	7553.04	18644.39	9563.48	12294.47	6968.14	11973.31	6690.63	6600	30282.34	30502.02
P	24034.22	30387.68	65185.43	79076.25	85969.97	104210.94	48397.14	58948.79	49399.03	61204.79	32236.89	37746.80	126732.80	153863.81
Shape	1.10	2.06	2.21	2.21	0.43	2.66	1.44	2.41	0.65	1.90	1.34	1.31	1.93	1.97
Sin	1.68	1.26	1.20	1.22	3.85	1.50	1.62	1.27	2.52	1.52	1.23	1.27	1.45	1.44
AVEL	169.17	167.13	335.11	334.63	209.96	210.40	212.89	208.21	381.65	381.22	443.28	443.22	291.41	291.42
MFD	8891.36	8812.13	22501.11	22843.11	29774.51	28793.73	16232.86	16279.77	18063.70	18717.78	8909.20	9052.05	44560.03	44571.05
MFS	0.0319	0.0339	0.0396	0.0393	0.0239	0.0258	0.0366	0.0208	0.0210	0.0213	0.0501	0.0458	0.0127	0.0120
MSL	8223.50	8040.29	21668.29	22163.40	29055.90	28051.89	15457.26	15610.36	17572.17	18143.52	8242.54	8365.07	43893.38	43884.06
MSS	0.0129	0.0126	0.0316	0.0310	0.0159	0.0166	0.0114	0.0102	0.0173	0.0144	0.0303	0.0302	0.0085	0.0085
CTOSTR	213.93	369.41	2709.02	247.28	710.32	242.13	110.51	0	76.48	30	515.13	42.43	4314.77	0
CSD	4141.24	4059.85	13001.75	10854.59	11788.38	13110.95	6882.85	6697.13	7567.62	7745.36	3628.30	3941.91	15176.92	18543.71
CSS	0.0002	0.0000	0.0069	0.0162	0.0025	0.0047	0.0030	0.0030	0.0049	0.0052	0.0122	0.0256	0.0021	0.0022

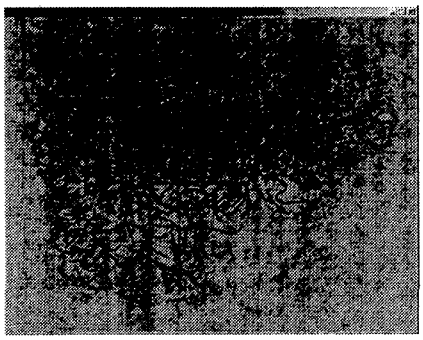

그림 7 위천 유역의 티센망

표 5 위천 유역의 티센계수

구분	군위남부	효령	대율	고매	우보	산성	신령서부	의흥	화수	화산	석산	합계
무성	0.257	0.743										1
효령		0.139	0.464	0.308		0.08	0.009					1
병천	0.063	0.087	0.017		0.37	0.275	0.116	0.015	0.03	0.027		1
미성					0.023	0.001		0.589	0.333	0.033	0.021	1
고로									0.272	0.372	0.356	1
동곡											1	1
무성상류	0.281	0.099	0.152	0.098	0.105	0.101	0.348	0.083	0.089	0.061	0.149	1

5. CN / Lag Time의 계산

SCS CN 값을 이용하여 유효우량을 계산할 때는 유역의 지형자료와 함께 토지피복도와 토양도가 필요하다. 본 연구에서는 3절에서 기술한 자료를 사용하였으며, 지형자료는 DEM을 이용한 TIN해석 결과를 적용하였다. 유역의 Lag Time은 지형인자와 SCS CN값의 영향을 받아서 변화한다. 이때 CN 값은 강우의 선행함수조건에 따라 변화하므로 Lag Time 또한 선행함수 조건에 따라 그 값을 달리 하게 된다. 표 6과 표 7은 WMS에서 계산된 CN값과 AMC2 조건과 AMC3 조건에서의 Lag Time을 나타낸 것이다.

표 6 위천 유역의 CN 값

유역	개략토양도+토지피복도		정밀토양도+토지피복도	
	상류유역	자기유역	상류유역	자기유역
무성	64	63	75	79
효령	63	63	76	76
병천	65	61	74	73
미성	68	65	75	72
고로	69	67	76	76
동곡	74	74	79	79

표 7 위천 유역의 Lag Time

유 역		토지피복도 + 개략토양도		토지피복도 + 정밀토양도	
		상류유역	자기유역	상류유역	자기유역
AMC2	무 성	5.305	1.559	3.818	1.010
	효 령		3.000		2.117
	병 천		4.388		3.285
	미 성		2.501		2.055
	고 로		1.988		1.594
	동 곡		0.922		0.850
AMC3	무 성	3.068	0.958	2.485	0.666
	효 령		1.890		1.384
	병 천		2.270		2.081
	미 성		1.538		1.341
	고 로		1.238		1.031
	동 곡		0.587		0.520

6. 유출해석

본 연구에서는 유출모의를 위해 위천 유역에서 기 관측된 사상별 강우-유출 자료 중 3개를 선정하여 적용하였다. 표 8는 선정된 강우-유출 사상을 나타낸 것이다. 그림 8 ~ 그림 10은 적용사상 중 '위천사상2'에 대하여 무성 단일 유역과 6개 소유역으로 구분하였을 때의 유출해석 결과를 나타낸 것이다. 그림 8은 개략토양도와 토지피복도를 이용한 유출모의 결과를 나타낸 것이고, 그림 9는 정밀토양도를 적용한 결과이다. 그림 8과 그림 9에서 단일유역의 모의보다는 6개 소유역으로 구분하여 모의한 결과가 첨두유량이 크게 산정 되며 실측치에 가깝게 나타나는 것을 알 수 있다. 그림 10은 6개 소유역으로 구분하여 모의한 결과 중 정밀토양도와 개략토양도에 의한 결과를 함께 나타낸 것이다. 그림 10에서 정밀토양도를 이용하여 유출해석한 결과가 개략토양도를 이용한 유출해석 결과에 비하여 첨두유량은 크게 산정 되고, Lag Time은 짧게 나타나며 실측치에 가까운 모습을 보이는 것을 알 수 있다.

표 8 위천 유역의 강우-유출 사상

구 분	강 우 일 시	유량일시	AMC
위천사상1	85.08.17 01:00 ~ 08.18 00:00	85.08.17 01:00 ~ 08.19 05:00	3
위천사상2	87.07.15 15:00 ~ 07.16 12:00	87.07.15 15:00 ~ 07.18 02:00	2
위천사상3	96.07.04 21:00 ~ 07.05. 13:00	96.07.04 21:00 ~ 07.07 06:00	3

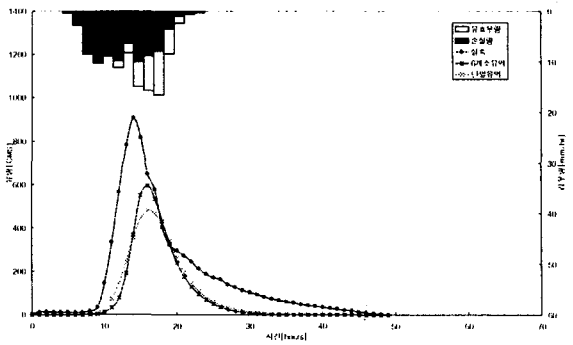

그림 8 개략토양도를 이용한 모의 결과

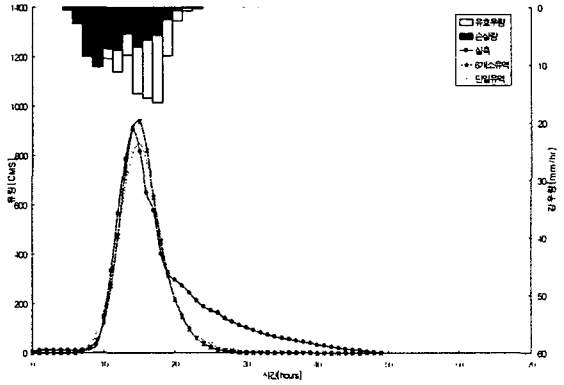

그림 9 정밀토양도를 이용한 모의 결과

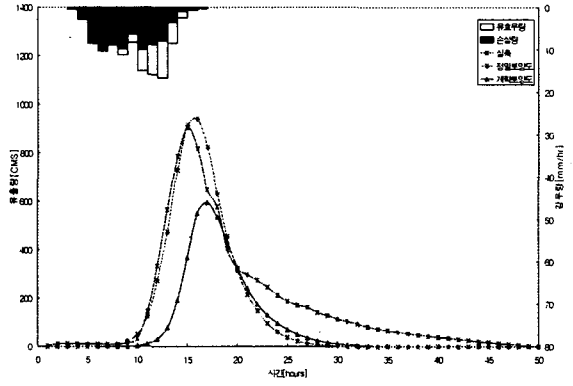

그림 10 개략토양도와 정밀토양도의 모의결과

7. 결 론

유역의 유출해석을 위한 GIS의 적용은 사용하는 수치데이터의 영향을 크게 받는다. 1:25,000 수치지도에서 추출한 DEM을 이용하여 위천 유역의 유출해석을 실시한 결과 지형인자는 기존의 건교부 자료(1989, IHP보고서) 및 Arc/Info를 이용하여 계산된 지형인자와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 유효우량 산정을 위한 토양도와 토지피복도의 적용결과 정밀토양도를 이용한 유출해석이 실측치에 가깝게 나타났으며, Landsat TM 영상으로 제작한 토지피복도의 경우 토지피복 상태를 나타내는 항목에 어떠한 수문학적 특성을 부여하여 사용하는 가에 따라서 유출결과에 큰 영향을 미치므로 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 할 수 있다.

8. 참고문헌

(1) 건설부. (1983-2001). 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.
(2) 김경탁. (1998). "GIS 적용에 따른 유출응답에 관한 연구". 박사학위논문. 인하대학교.
(3) 윤용남. (2001). 공업수문학. 청문각
(4) 최윤석. (1999). "GIS를 응용한 홍수유출해석에 관한 연구". 석사학위논문. 인하대학교.
(5) 행정자치부. (1998). 위성자료를 이용한 미계측 특정지역의 하천재해 분석을 위한 기초연구.
(6) Brigham Young University - Engineering Computer Graphics Laboratory.(1997). *WMS v5.0 Reference Manual.*
(7) Lillesnad, T. M., and Kiefer, R. W. (1994). *Remote Sensing and Image Interpretation.* John Wiley & Sons, Inc.