

LANDSAT 영상을 이용한 CN값 산정에 관한 연구

A Study of Runoff Curve Number Estimation Using Landsat Image

조 홍 제* / 김 광 섭** / 이 충 희***

Cho, Hong Je / Kim, Gwang Seob / Lee, Choong Hee

Abstract

CN procedure has been proven to be useful method for evaluating the effects of changes in land-use and treatment on hydrology. In this study, the use of Landsat multi-spectral image was investigated for analyzing the land-use distribution. From the Landsat data, forest areas were classified according to the density of trees. Watershed CN's were calculated to analyze the effects of the density of trees and soil cover types on direct runoff. According to the results, the density of trees had a little effect while soil cover types had a large effect on CN. From the comparison of estimated runoffs from CN method with observed runoffs, detailed soil cover map provides improved results.

keywords : LANDSAT, CN, soil cover

요 지

CN법은 토지이용변화로 인한 수문학적 영향을 판단하는 경우, 그 적용성이 매우 우수한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 토지이용의 공간적분포를 분석하기 위해 Landsat 다중분광영상을 이용하였다. 분석된 영상자료로부터 산지지역을 식생밀도에 따라 재분류하고, 식생밀도가 유출에 미치는 영향을 분석하기 위해 CN법을 이용하였다. 토양도의 종류(정밀토양도, 개략토양도)에 따라 분석한 결과, CN은 식생밀도에 따라서는 변화가 미미한 반면 토양도의 종류에 따라서는 매우 큰 차이를 보였다. 실측강우·유출자료와 비교해본 결과 CN추정에 있어 정밀토양도를 사용하는 것이 향상된 결과를 보였다.

핵심용어 : LANDSAT, CN, 토양도, 식생밀도

* 울산대학교 토목환경공학부 교수
Prof., Dept. of Civil & Environmental Eng., Ulsan Univ., Ulsan 680-749, Korea
(E-mail : hjcho@mail.ulsan.ac.kr)
** Post-Doc., Division of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, USA
*** 울산대학교 토목환경공학부 석사과정

1. 서론

SCS법에서는 주요한 입력변수들이 토양종과 지표면 피복의 향으로 정의되므로 토지개발로 인한 영향을 판단하고 대처방안을 수립함에 있어 매우 유용하다. 유역의 합리적인 계획과 관리를 위해서는 대상지역에 공간적으로 분포되어져 있는 토지피복 분포를 정확히 파악해야 한다. 넓은 면적을 가지는 유역에 대해 SCS법을 적용할 경우, 유역의 피복상태 및 토지이용의 공간적 분포를 정량화하는 것은 매우 어려운 작업이며, SCS법의 적용성을 감소시키는 요인이 된다. 본 연구에서는 위성영상자료를 이용하여 대상지역의 토지피복의 공간적 분포를 정량화시켜 SCS법의 적용성을 증대시켰다. 위성영상자료는 넓은 지역을 포함하고 있으며 수치화된 토양도와 호환될 수 있는 형태로 변환이 가능하기 때문에 CN 산정을 매우 신속히 수행할 수 있도록 한다. SCS CN법이 널리 사용되는 이유는 계산이 간단하고 입력자료의 획득이 쉬우며 미계측 유역에 적용이 가능하기 때문이다. CN은 초기토양함수조건, 토지이용, 그리고 피복상태의 함수로서 2.6km미만의 수문학적 토양 및 피복조건이 균일한 지역을 대상으로 개발되었다. 또한 기존에는 수치지도와 토양도를 이용하여 분석하는 방법이 일반적이었으나, 최근에는 광범위한 지역의 정보를 쉽게 획득할 수 있는 위성영상자료를 이용한 수문 분석이 활발하게 수행되고 있다. Rangan 등(1980)은 Landsat 영상자료를 이용하여 토양피복을 분류하고 영상자료로부터 분류된 피복상태에 적합한 CN 값을 제시한 바 있다. 특히, SCS CN법은 토지이용변화에 기인한 수문학적 영향을 판단함에 있어 그 적용성이 우수한 것으로 알려져 있다.(1980, Rallison) 심명필 등(1997)은 지형정보추출 및 유출모의 프로그램인 WMS를 이용하여 위성영상자료 및 정밀토양도로부터 CN 값을 산정한 바 있다. 임상준 등(1997)은 강우-유출 자료로부터 논의 최대 잠재저류량의 확률적 특성을 분석하여 선행강우조건에 따른 CN을 추정하였다. 박희성(1998)에 의하면 위성영상을 사용한 유출곡선번호의 추정은 기존의 방법에 비하여 증가하거나 향상된 결과를 보여 주었으며, 단일의 토지이용을 가정하였을 때보다 복합적인 토지이용을 가정하였을 때 좀 더 향상된 결과를 보였으나, 큰 차이는 보이지 않았다. 방재연구소(1998)의 보고서에서는 토양레이어(정밀, 개략토양도)와 토지이용레이어(분류 1, 2, 3)에 따라 6가지 조합으로 각각 분류한 결과를 비교하였으며 GIS자료 및 속성값의 재입력

에 따라 유출모의 결과값이 많은 차이를 보일 수 있음을 밝히고 있다. 한편 최근의 경우, SCS법에 적용하는 외에도 채효석 등(1999)은 위성영상을 이용하여 환경변화관측이나 지하수·지표수 등의 수문인자와 관련된 정량적 정보를 획득하고 분석하는 연구를 수행하였고, 이 용관 등(2000)은 RS와 GIS를 이용하여 범용토양손실량(USLE)에 적용시킨 바 있으며 김상민 등(2001), 권형중 등(2001), 박종화 등(2001)도 역시 관련 연구를 수행한 바 있다. 김승준(2001)은 그리드를 기반으로 RS와 GRASS를 이용하여 토양유실과 퇴적에 관한 연구를 수행한 바 있다.

본 연구에서는 산림분포 밀도가 유출특성에 미치는 영향을 분석하였다. 위성영상자료를 이용하여 산림분포 밀도를 정량화하고 산림분포 밀도가 유출특성에 미치는 영향을 CN 값으로부터 검토하였다. 또한, 적용시 관측치 역시 지나치게 값이 튀는 경우가 많은 것도 사실이므로 관측데이터 자체의 신뢰도에도 문제가 있을 것으로 보여진다.

본 논문의 경우, 분류의 정도(精度)를 향상시킬 수는 있으나 이렇게 추출된 데이터가 실제 강우사상에 반드시 잘 맞지는 않을 것이라는 데 초점을 맞추어 위성영상을 통해 분류된 자료를 비교하여 산출된 CN 값이 분석방법에 따라 어느 정도의 차이를 보이는지에 대하여 살펴보았다.

2. 이론적 배경

수공분야에서의 설계홍수량 추정에 가장 중요한 인자 중 하나가 유효우량 추정이며 현재 국내에서 설계홍수량 추정에 사용되는 방법으로 미국 SCS에서 개발한 유출곡선번호가 있다. SCS 유출곡선번호는 토지이용, 경작방법, 수문학적 토양군, 그리고 선행함수조건(Antecedent Moisture Condition)에 의해 결정되어질 수 있다. 토지이용과 수문학적 토양군의 자료를 이용하여 유출곡선번호를 추정하여 면적기중평균법으로 대표 CN값을 도출할 수 있다. SCS의 초과우량 산정식은 아래와 같이 계산된다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (1)$$

Q : 누가 유출량

P : 누가강우량

S : 최대 잠재저류량

표 1. 선행토양함수조건

AMC	선행토양수분상태	5일 선행강우량 P_5 (mm)	
		성수기	비성수기
I	토양이 건조상태로 유출률이 낮은 상태	$P_5 < 35.56$	$P_5 < 12.70$
II	토양의 수분과 유출률이 보통인 상태	$35.56 < P_5 < 53.34$	$12.70 < P_5 < 27.94$
III	선행강우로 인하여 토양이 포화 상태로 유출률이 높은 상태	$P_5 > 53.34$	$P_5 < 27.94$

한편, 유출곡선번호 CN값은

$$CN = \frac{25400}{254 + S} \quad (2)$$

CN값이 결정되면 식 (2)로부터 최대 잠재저류량 S를 구하고 식 (1)에서 Q를 구할 수 있다. 토양분류와 지면피복상태를 나타내는 토지이용을 알면 이에 대한 유출곡선번호값을 토양피복형 유출곡선번호(AMC-II, $I_a=0.2S$)로부터 결정할 수 있으나 이 값은 토양의 수분상태가 건조하거나 습하지 않은 중간값이므로 강우이전 토양의 수분상태에 따라 CN값을 조절하여야 한다. 이에 따라 SCS는 선행함수조건을 설정함으로써 5일 선행강우량 P_5 를 기준으로 표 1과 같이 정량적인 조건을 제시하였다. 이로부터 AMC-II조건에 대한 CN을 결정한 다음 건조상태(AMC-I)와 습윤상태(AMC-III)에 대한 CN은 다음식으로부터 산정한다.

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad (3)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad (4)$$

CN(I), CN(II), CN(III)은 각각 AMC-I, II, III에 대한 곡선번호이다.

3. 대상지역의 지형특성 및 연구방법

토지이용분류에 많이 이용되는 위성영상은 Landsat의 MSS(Multi-Spectral Scanner sensor)영상과 TM(Thematic Mapper sensor)영상, SPOT의 HRV(High Resolution Visible sensor)영상 등이 있으나 공간적, 시간적, 분광적인 해상력 면에서 수문연구에 가장 적합하다고 판단되어지는 Landsat TM영상

을 활용하였다.

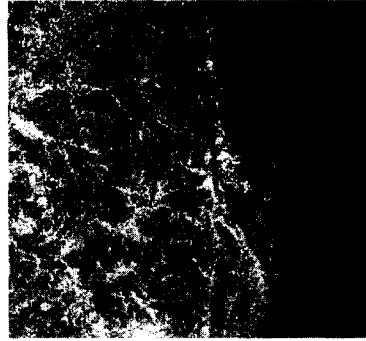


그림 1. 분석에 사용된 영상

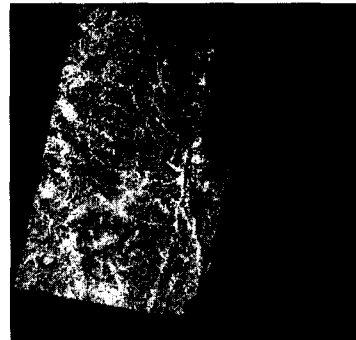


그림 2. 기하보정후의 영상

그림 1은 경상남도과 경상북도 일원을 포함하는 Path 114 Row 35의 2000년 3월 Landsat ETM+ 영상이며 그림 2에 나타난 바와 같이 전체영상을 기하보정한 후, 해당유역을 잘라내는 방법을 통해 분석하였다. 연구대상유역은 우리나라의 대표시험유역 중 하나인 그림 3의 위천유역이다. 수치고도모델을 이용한 음영기복도는 그림 4에 나타난 바와 같다.

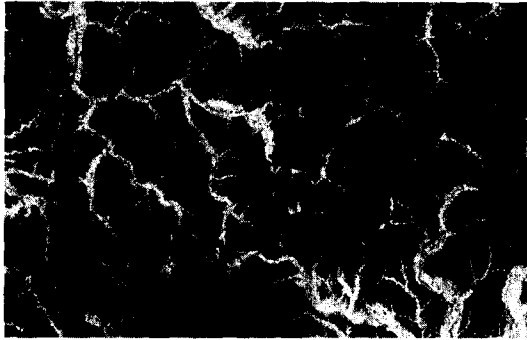


그림 3. 위천유역 위성영상

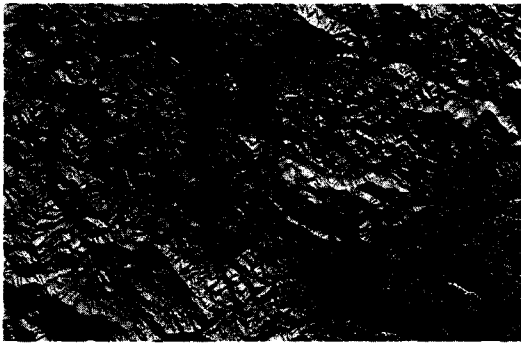


그림 4. 위천유역 음영기복도

위천유역은 경북 군위군을 중심으로 의성군, 구미시, 칠곡군, 대구광역시, 영천군 및 청송군으로 둘러싸여 있으며 수치고도모형을 통해 본 위천유역의 수문학적 지형특성은 다음과 같다. 유역의 표고가 90~1100m 사이에 분포하고 있으나 전체면적의 78.5%가 표고 100~400m 사이에 위치하고 있으며, 경사도는 전체면적 중 42.0%가 10°이하의 완만한 지형으로 경사방향은 골고루 분포하고 있음을 알 수 있다. 유역출구표고 92m, 유역면적 470.5km², 유역형상계수는 1.097, 최장하천길이는 46.02km이며 총 하천 길이는 18248.135km이다. 영상은 환경부자료와 동경원점 이격량 10.405"를 고려하여 WGS 84 타원체 상의 UTM좌표를 7-매개변수변환법을 사용하여 Bessel 1841 타원체 상의 TM 직각좌표로 변환하여 사용하고 이때의 RMSE는 0.32이었다. 보정된 위성영상은 Arc/Info를 이용하여 추출된 유역경계를 바탕으로 하여 분류하였고, 분류기법으로는 가장 많이 사용되는 최대우도분류법을 이용하였다. 영상분류 방법은 크게 감독 분류와 무감독 분류로 구분되어지며 감독분류란 분류자가 특정한 훈련지역을 선정하여 분광

특성을 추출한 후 그 분광특성에 따라 화소를 분류해 나가는 방법이고 무감독 분류란 훈련지역에 대한 분광 특성을 입력하지 않고 단지 분류 갯수나 분류하고자 하는 유형만을 지정하여, 군집분석법(Clustering Method)에 의하여 영상을 분류하는 방법이다.

본 연구에서는 수문학적 토양군을 농업과학기술원에서 제작한 정밀토양도를 이용해 SCS의 수문학적 토양 분류 단계로 재분류하여 사용하였으며, 선행함수조건은 IHP보고서상의 경우자료를 이용하여 분석하였다. 영상 분류시 산지, 초지, 나지, 시가지, 경작지, 도로, 수계의 7가지로 구분한 내용과 수계, 초지, 나지, 시가지, 밭, 도로, 산지(Good, Fair, Poor) 9가지로 구분하여 분석하였다. 이때 식생의 분류등급(Good, Fair, Poor)은 NDVI를 이용하여 나타난 결과를 이용한 것으로 밝은 색에 가까울수록 식생의 상태 및 밀도가 양호하고 어두울수록 식생이 불량하다 할 수 있다.

위에서의 분류기준을 살펴보면 분류의 세분화기준이 산지가 됨을 알 수 있다. 이는 산지가 차지하는 면적이 넓기도 하거니와 산림지역의 식생의 건강 정도와 식생 종에 따라 유출특성이 크게 변화하기 때문이다. 일반적으로 산림상태가 좋아질수록 산복사면의 토심이 두껍게 형성되어 갈 것을 가정할 때, 산복사면에 있어서 수류 마찰 저항력의 유일한 변수인 조도계수에 변화가 나타난다. 산복사면에 있어서 조도계수는 유역 내의 지형, 토양, 식생 등의 유역특성에 의해서 특정한 값을 가지기 때문에 산림의 상태에 따라 변화한다. 임업연구원 광릉시험림의 활엽수림 및 침엽수림에 대하여 사방사업으로 산림 상태가 변화 전후의 유출 수문곡선을 비교하여 산림상태가 호전될 경우 침투유량 및 직접유출량이 감소함을 확인하였고, 산림 벌채 전후의 수문곡선을 비교하여 산림이 50% 벌채된 경우 수문곡선 상의 침투유량이 급격히 증가하고 감수부의 기울기가 급변하는 사실을 확인했다(김경하, 1996). 산림의 홍수유량 감소기능은 산림 토양의 지표류 감소와 침투수 저류에 의한 유출속도의 저하 기능, 산림 식생의 증산에 의한 토양 수분 감소 및 강우 차단 작용에 의한 것이다. 연구에 사용된 Landsat 다중분광영상을 이용하면 산림지역의 적절한 분류가 가능하며 이에 따라 산림지역의 건강상태에 따라 구분하였다. 다중분광 위성영상으로부터 산출할 수 있는 식생지수를 이용하면 산림지역을 세분화할 수 있으며 식생지수(Vegetation Index)는 위성영상으로부터 식생의 분포와 상태 등을 표현하기 위해 고안된 기법이다. 식생지수의 산출은 정규식생지수

(Normalized Difference Vegetation Index), 녹색 식생지수(Greenness Vegetation Index), 엽면적지수(Leaf Area Index) 등이 있다. 그러나 NDVI의 경우 밴드간 간단한 수학적식에 의해 편리하게 산출할 수 있는 반면, GVI, LAI 등은 현재 계수가 개발되지 않았으므로 NDVI만을 사용하였다. 한편, 그림 5는 위천의 소유역별 분포도를 도시한 것으로 1번 소유역 무성, 2번 소유역 동곡, 3번 소유역 병천, 4번 소유역 미성, 5번 소유역 고로 6번 소유역 효령으로 도시되어 있다. 본 연구에 사용된 토양도는 행정자치부 국립방재연구소 자료이며 그림 6은 개략토양도(1:250,000), 그림 7은 정밀 토양도(1:25,000)이다.

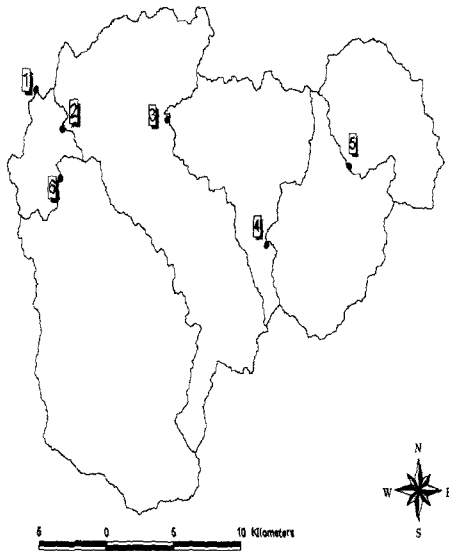


그림 5. 위천유역 분포도

개략토양도



그림 6. 위천 유역의 수문학적 토양군 분류도(개략)

정밀토양도

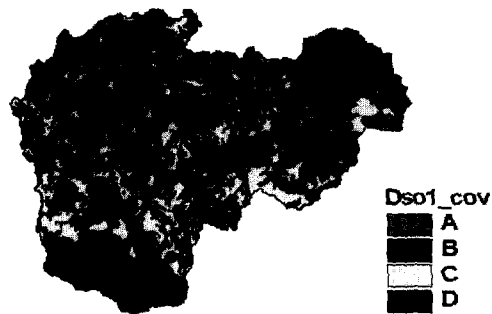


그림 7. 위천 유역의 수문학적 토양군 분류도(정밀)

각 토양군의 경우, 유역내 토양특성은 유출과정에 직접적인 영향을 미친다. 그러나 토양의 성질을 양적으로

표 2. 수문학적 토양군

토양형	토양의 성질	침투율(cm/hr)
A	낮은 유출률(lowest runoff potential) 깊은 자갈층으로 높은 침투율 배수 매우 양호	0.76~
B	비교적 낮은 유출률(moderately high runoff potential) 사질토로서 대체로 높은 침투율 배수 대체로 양호	0.38~0.76
C	비교적 높은 유출률(moderately high runoff potential) 대부분 점토토양 콜로이드 천적으로 낮은 침투율 배수 대체로 불량	0.13~0.38
D	높은 유출률(highest runoff potential) 점토질 토양으로 거의 불투수성이고 낮은 침투율 배수 매우 불량	0.0~0.13

표시하기는 힘들기 때문에 미국 SCS는 토양의 침투능을 기준으로 표 2와 같이 4개의 토양군으로 분류하고 있다.

4. 결과 및 고찰

그림 8은 산림지역을 세분류하지 않은 경우로 각각 7개의 클래스로 구분하여 분석된 결과이며 그림 9는 산림의 상태를 보다 세분류하여 9개의 클래스로 구분하여 나온 결과이다.

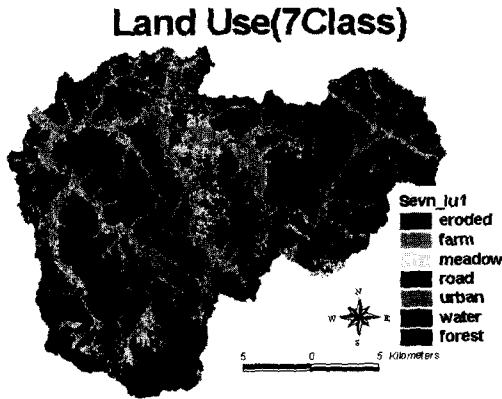


그림 8. 토지이용도(7 Class)

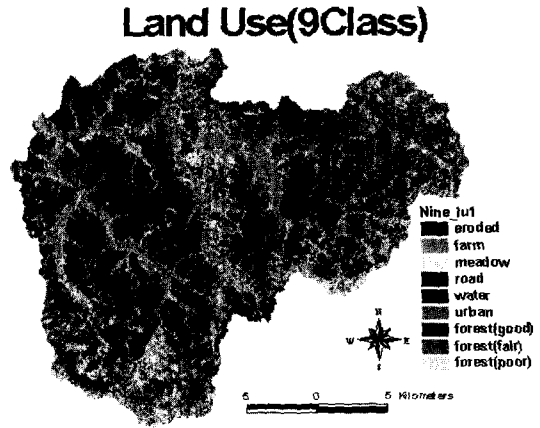


그림 9. 토지이용도(9 Class)

Envi에서 분류된 데이터를 Arc/Info에서 사용 가능한 파일포맷인 BIL 파일로 변환하여 각각의 소유역과 전체유역(무성, 효령, 병천, 미성, 고로, 동곡)에 대해 속성정보 가공을 실시하였다.

표 3은 토지이용등급에 따라 분포하고 있는 면적비를 유역별로 나타낸 것이며, 이때 토지이용등급은 7 class로 분류된 것이며 표 4에서는 산림지를 다시 Good, Fair, Poor로 분리하여 세분화시킨 다음 면적비

표 3. 토지이용등급에 따른 면적비(7 Class, 단위 : %)

	산림	초지	도시	농지	나지	도로	수계
1. 무성	74.3	7.7	0.9	13.8	2.1	0.5	0.7
2. 효령	69.5	9.0	0.8	15.8	2.9	0.9	1.1
3. 병천	75.2	6.3	0.7	12.9	3.1	0.7	1.2
4. 미성	82.9	6.8	0.3	6.9	1.0	0.4	1.7
5. 고로	82.3	8.0	0.3	5.3	2.4	0.1	1.6
6. 동곡	78.6	8.8	0.8	7.8	3.0	0.4	0.5

표 4. 토지이용등급에 따른 면적비(9 Class 단위 : %)

	산림			초지	도시	농지	나지	도로	수계
	Good	Fair	Poor						
1. 무성	36.2	28.3	9.8	7.7	0.9	13.8	2.1	0.5	0.7
2. 효령	31.0	29.3	9.2	9.0	0.8	15.8	2.9	0.9	1.1
3. 병천	26.0	35.6	13.5	6.3	0.7	12.9	3.1	0.7	1.2
4. 미성	22.2	42.0	18.7	6.8	0.3	6.9	1.0	0.4	1.7
5. 고로	15.9	46.6	19.8	8.0	0.3	5.3	2.4	0.1	1.6
6. 동곡	43.0	24.8	10.9	8.8	0.8	7.8	3.0	0.4	0.5

표 5. 각 유역별 CN값 비교

	개략+7Class	정밀+7Class	개략+9Class	정밀+9Class
1. 무성	43	70	43	70
2. 효령	43	67	42	67
3. 병천	42	71	44	72
4. 미성	39	70	42	72
5. 고로	38	70	42	72
6. 동곡	44	71	44	71

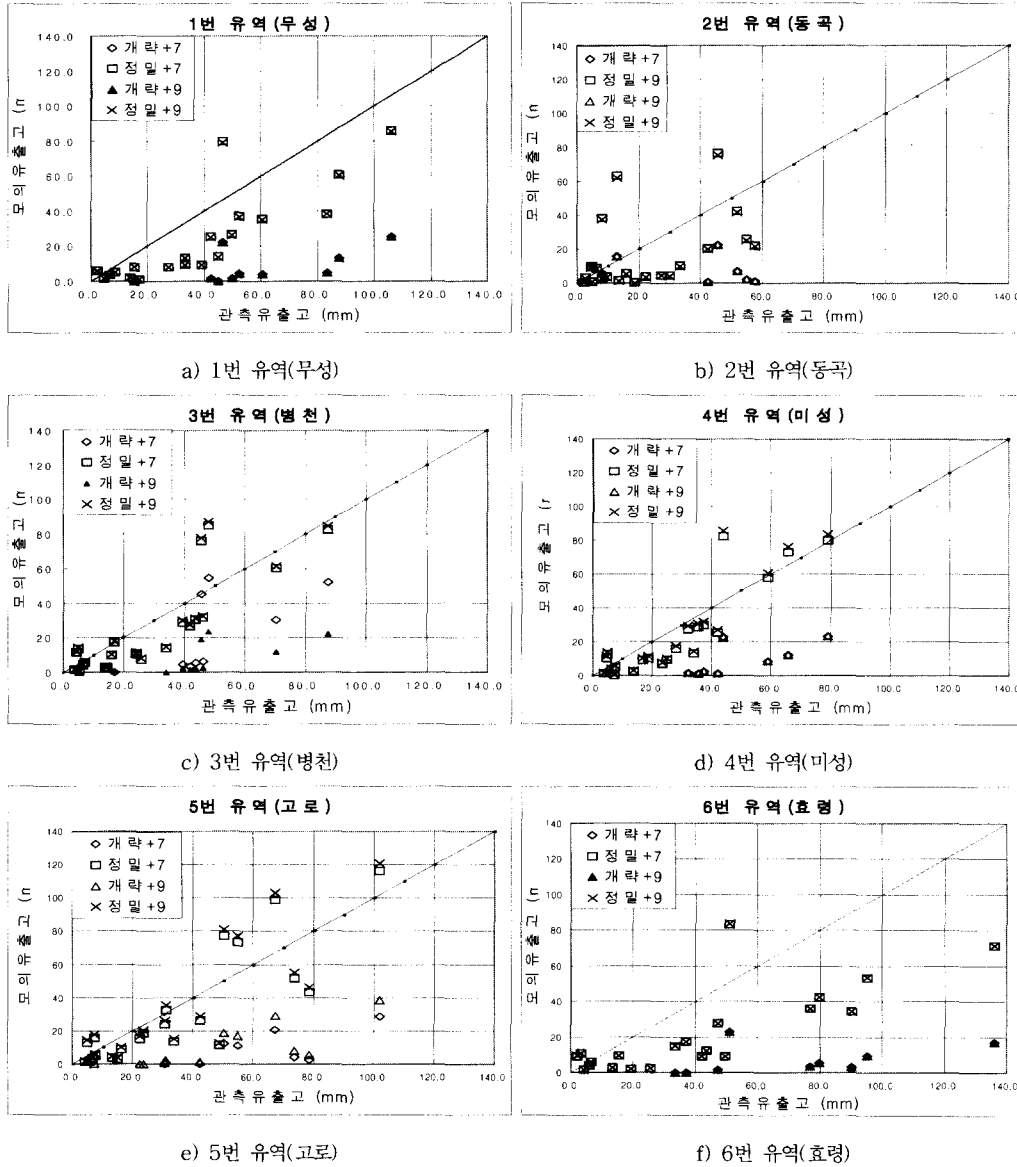


그림 10. 각 유역별 관측·모의유출고

표 6. 관측유출고와 모의유출고간의 RMSE

	1번 유역	2번 유역	3번 유역	4번 유역	5번 유역	6번 유역
개략+7	55.27	79.59	29.79	37.34	50.16	31.97
정밀+7	31.28	49.03	19.43	18.96	25.72	31.37
개략+9	55.27	79.59	41.25	37.34	46.97	31.97
정밀+9	31.51	47.08	21.67	19.09	26.13	31.30

를 산출한 값이다.

표 5는 각 유역별 CN값 토양도의 종류와 토지이용도에 따라 각각 비교한 것이다.

분석결과 표 5에서 볼 수 있듯이 7 Class와 9 Class로 나누어 분석한 결과가 토양도의 정밀도에 따라 유출곡선번호값이 크게 바뀔 수 있다. 여기서 산지를 기준으로 세분류된 영상과 산지를 단일지로 묶은 영상의 분류결과가 큰 차이를 보이지 않는 것은 해당 분석유역의 식생밀도가 비교적 양호하고 균일하기 때문인 것으로 판단된다.

기존 연구에 따르면 SCS 법은 P/S의 값이 0.46보다 큰 호우에 대해 그 적용성이 우수한 것으로 알려진 바, 최대 잠재저류량(S)을 식 (5)로부터 계산하고 각 호우사상에 대해 P/S 값을 기준으로 호우사상을 선별하였다.

$$S = 5(P + 2Q - \sqrt{4Q^2 + 5PQ}) \quad (5)$$

그림 10은 1992년~1998년까지 관측된 위천유역 강우사상중 $P \geq 0.2S$ 조건을 만족하는 호우사상을 선정하여 각각의 유역에 대한 관측유출고와 모의유출고를 비교하여 나타낸 것이다. 그림 10에서 보이는 바와 같이 토지이용도를 7가지로 분류한 결과와 9가지로 분류한 각각의 CN값이 거의 비슷하므로 유출고 또한 유사하게 나타나고 있다. 대부분의 경우 관측유출고에 비해 모의유출고 값이 과소추정된 결과를 보이고 있으나, 정밀도양도를 이용하여 산정된 유출고가 개략도양도를 사용한 것보다 관측유출고에 접근하고 있음을 알 수 있다. 표 6은 그림 10에 대한 정량적 분석에 대한 결과를 RMSE 값으로 나타낸 것이다. 비교된 값을 볼 때, 개략도양도를 이용한 경우보다 정밀도양도를 이용한 경우가 관측유출고에 근접함을 알 수 있다.

덧붙여, 이번 분석에 사용된 Landsat 영상이 3월 영상이어서 논과 밭의 경우 구분하기 힘들어 농작지로 묶어 분류하였으며, 이외의 분류 인자들에 대한 세세한 구분 역시 매우 작은 영역을 갖고 있었으므로 대표 유

출곡선번호값에 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단되어 분류기준에서 제외시켰다.

5. 결 론

Landsat 7 ETM+ 2000년 3월 위성영상을 이용하여 유출곡선번호 산정에 대한 연구를 수행하였다. 분석 대상유역은 대표시험유역인 위천의 6개 소유역을 선정하였고 개략도양도와 정밀도양도 그리고 산림지역내 식생밀도의 세분류에 따른 유출곡선번호의 변화를 검토하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 유역자체의 산림이 양호하고 균일하여 식생밀도의 세분류는 유출곡선번호에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.
- 2) 정밀도양도를 이용한 경우가 개략도양도를 이용한 것보다 유출곡선번호가 약 40% 정도 크게 나타났다.
- 3) 정밀도양도에 의한 유출곡선번호를 이용하여 산정된 유출고는 관측유출고에 매우 근접한 결과를 나타내었으며, 개략도양도를 이용하여 산정된 유출고는 관측유출고에 비해 과소추정되었다.
- 4) 기존의 SCS법은 개략도양도를 사용하였고 유출고가 과소 추정되는 경향이 있다. 따라서 SCS법을 이용할 때는 정밀도양도를 이용하는 것이 보다 합리적이다. 또한 최근에는 위성영상의 분석 비용이 점차 감소되고 있어 기존의 방법에 비해 효율적이다.

감사의 글

본 연구는 2001년 울산대학교 교내연구비 지원에 의한 결과로서 지원당국에 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김경하, 원형규, 이천용, 정용호 (1996). "산림 소유역의 수문특성(I)", 산림과학논문집, 54 : pp 71-80.
 김상민, 박승우, 강문성(2001). "GIS와 USLE를 이용한 담수호 상류로부터의 유사량추정", 한국수자

- 원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp 981-986.
- 권형중, 김성중 (2001). "GIS와 RS를 이용한 범용토양손실량(USLE)적용", 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 409-415
- 박중화, 전택기, 이상혁, 신용희 (2001). "Remote Sensing 기법에 의한 자연하천수와 토양의 분광반사특성", 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 1020-1025.
- 박희성 (1998). 위성영상을 이용한 토지이용 분류 및 유출곡선번호의 추정. 석사학위논문, 서울대학교, pp. 30-40.
- 국립방재연구소(1997). "위성자료를 이용한 미세측정지역의 하천재해 분석을 위한 기초연구", NIDP-97-07, pp. 170-186.
- 이용관, 심명필(2000). "GIS를 이용한 범용토양손실공식의 활용에 관한 연구", 한국수자원학회 논문발표집, 한국수자원학회, pp. 371-376.
- 임상준, 박승우 (1997). "논의 유출곡선번호 추정", 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제 30권 제 4호, pp 379-387.
- 윤태훈 (1997). 응용수문학. 청문각, pp. 246-255.
- 채효석, 송영수 (1999), "Landsat TM자료를 이용한 지표면 수문인자 변화분석", 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 319-324.
- Allen T. Hjelmfelt, Jr. (1989). Curve Numbers As Random Variables, Rainfall-Runoff Relation ship, *Water Resource publications*, pp. 365-370
- E. T. Engman. (1993). *Handbook of Hydrology*, McGrawHill, pp 24.1-24.19
- John B. Ritter, Thomas W. Grander (1991). "Runoff Curve Numbers for Reclaimed Surface Mines in Pennsylvania", *Journal of IRRi. and Drain. Eng.*, Vol. 117, No.5, pp. 656-666
- Robert E. Rallison (1982). Past, Present and Future SCS Runoff Procedure, Rainfall-Runoff Relationship, *Water Resources publications*, pp. 353-364
- Richard H. Hawkins (1973). "Improved Prediction of Storm Runoff in Mountain Watershed", *Journal of Irr. and Drain. Div.*, ASCE, Vol. 99, No. 4, pp.519-523
- Robert M. Ragan and Thomas J. Jackson (1980). "Runoff Synthesis Using Landsat and SCS Model", *Journal of the Hydraulics Division*, May, 1980. pp. 667-678.
- Thomas M. Lillesand, Ralph W. Kiefer (2000). *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley & Sons, Inc. pp. 470-605.
- (논문번호:01-076/접수:2001.11.06/심사완료:2001.12.05)