

원격탐사기법에 의한 소유역의 홍수 수문곡선 결정

남현옥 · 박경윤 · 조성익
한국과학기술원 시스템공학센터
(1988년 12월 10일 받음 ; 1988년 12월 15일 수리)

Determination of Flood Hydrograph by Remote Sensing Techniques in a Small Watershed

Hyun Ok Nam, John Kyungyoon Park and Seong Ik Cho
Systems Engineering Research Institute
Korea Advanced Institute of Science & Technology
(Received December 10, 1988 ; Accepted December 15, 1988)

Abstract

In recent years satellite data have been increasingly used for the analysis of flood-prone areas. This study was carried out to demonstrate the usefulness of repetitive satellite imagery in monitoring flood levels of the Pyungchang watershed.

Runoff characteristics parameters were analyzed by Soil Conservation Service(SCS) Runoff Curve Number(RCN) based on Landsat imagery and Digital Terrain Model data. The RCN average within the watershed was calculated from RCN estimates for all the pixels(picture elements) and adjusted by antecedent precipitation conditions. The direct runoff hydrograph was derived from the unit hydrograph using SCS dimensionless unit hydrograph and effective rainfalls estimated by the SCS method.

In comparison of the direct runoff hydrograph with the measured rating curve their peak times differ by one hour and peak discharges differ by 5.9 percents of the discharge from each other. It was shown that repetitive satellite imagery could be very useful in timely estimating watershed runoffs and evaluating ever-changing surface conditions of a river basin.

I. 서론

유역의 유출은 수계 내의 물관리에 매우 중요한 요소이며, 이에 영향을 미치는 인자들은 시

간적·공간적으로 변화하기 때문에 광범위한 지역에 대해 주기적으로 필요한 정보를 얻을 수 있는 위성자료를 사용함으로써 유역 유출량 산정에 있어서 정확성과 객관성을 높이게 된다.

최근 선진국에서는 수자원 분야에 원격탐사(Remote Sensing, RS)기법을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 특히 미 공병단 Hydrologic Engineering Center(HEC, 1979)에서는 유역유출모델인 HEC-1 model에서 필요로 하는 지형학적 인자들을 위성자료를 분석하여 구하였고, 미 항공우주국(NASA, 1980)을 비롯한 많은 기관에서도 수자원 전반에 걸쳐 많은 연구결과들이 발표되고 있다.

본 연구에서는 남한강 상류의 평창강 소유역을 대상으로 Landsat MSS(Multispectral Scanner)자료를 사용한 수문학적 토지이용 분류와 수치지형자료에 의한 경사각 분류 및 미국 토양보존국(Soil Conservation Service : SCS)의 4군으로 분류한 토양형에 따라 유역의 유출번호를 결정하였다. 이 유출번호를 사용하여 1986년 7월 19일 호우에 대해 직접 유출량을 구하고 SCS의 단위도 합성방법을 이용하여 유역 출구에서의 직접유출 수문곡선을 얻음으로써 원격탐사기법을 이용하여 구한 유역유출 특성계수인 유출번호의 수문학적 응용을 보이고자 하였다.

II. 대상유역의 개황

남한강 상류의 평창강 소유역은 하천이 비교적 단순한 편이고 수공구조물이 없어서 인위적으로 유량조절이 되지 않아 유출분석이 쉬운 지역임을 고려하여 연구대상지역으로 선정하였다. 그림 1은 한강 유역에서 연구지역의 위치를 보여 주고 있는데, 빗금친 부분이 이에 해당하고 지역의 위치는 경위도 좌표를 기준으로 하여 왼쪽 하단이 동경 128°14'0", 북위 37°24'18"이고, 오른쪽 상단이 동경 128°32'0", 북위 37°45'0"으로 경도상으로 18'(약 26.5Km), 위도상으로 20'42"(약 38.3Km)에 걸쳐 있다. 그림 2는 연구지역 내에 포함되는 평창강 수계를 나타낸 것으로, 평창수위표 지점을 출구로 한 유역면적은 692.2Km², 유로 연장 76.1Km, 유역평균 경사는 0.008이다(건설부, 1980).

평창강 유역의 연평균 강우량은 1200~1400mm대에 속하고 유역의 방향은 대체로 남북으로 길게 뻗어 있다. 행정구역상으로는 강원도 평창군의 대화면, 봉평면, 진부면 등이 포함된다. 이 지역의 지세는 해발고도 1577m의 계방산이 가장 높은 지형이고 하류 부근의 고도 360m가 가장 낮은 지형으로 급경사를 이루고 있다. 지질은 석회암층으로 이루어져 있으며 유역의 지질구조는 동 지역 내의 지하수 활동에 많은 영향을 주고 있다(산개공, 1978).

III. 유역유출 해석

유역의 유출에 영향을 주는 요소로는 크게 지형학적인 인자와 기상학적인 인자로 나눌 수 있

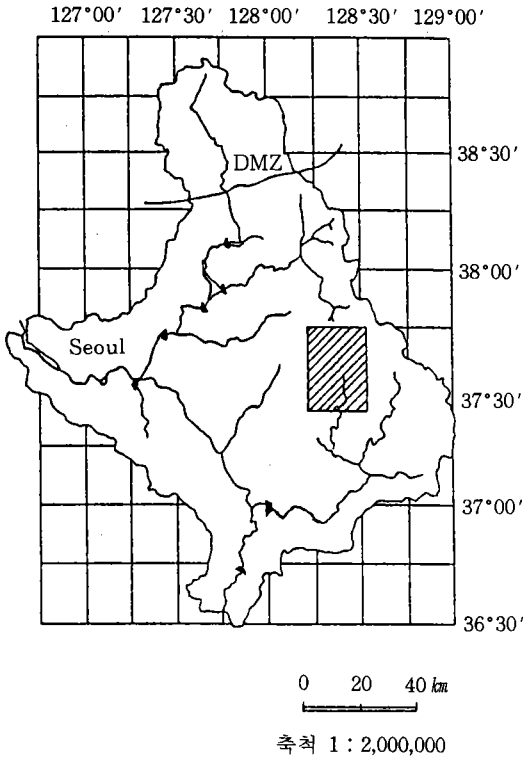


그림 1. 한강유역과 연구지역의 위치(빗금친 부분).

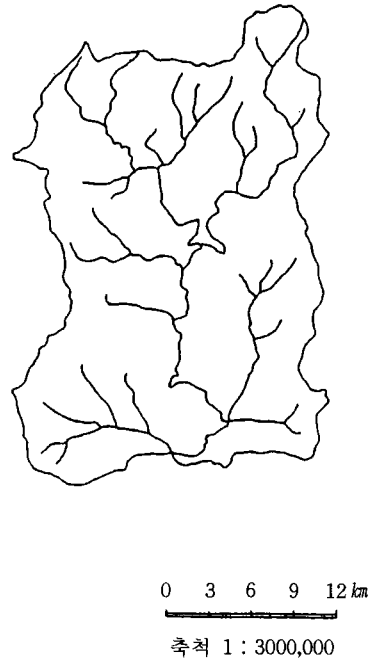


그림 2. 평창강 수계.

다. 지형학적인 인자는 유역면적과 형상, 수로의 분포, 수로 및 지표면의 경사, 지표의 상태 등이며, 기상학적 인자로서는 강우의 강도와 지속시간, 강우의 시간적·공간적 분포, 강우의 진행 방향 등이다.

유역의 유출 특성에 영향을 미치는 요인은 소유역과 대유역의 경우에 차이가 있는데 소유역의 경우, 지상으로 내린 강우가 유역의 유출점에서 최종 유출량으로 되는 과정에서 유역 자체의 지표특성인 토양이나 식생 등의 영향을 주로 받게 되고 대규모 유역의 경우는 유역유출보다 하도 유출이 더 중요한 과정이 되므로 하도 특성에 의해 영향을 많이 받는다.

본 연구에서는 평창강 소유역에 대한 유출 특성 인자로서 SCS에서 지표의 피복상태 및 토지 이용과 토양형에 따라 정한 유출번호를 이용하여 유효강우량을 계산하였다. 그리고 유역의 지형 특성을 고려하여 만든 직접 유출 수문곡선인 단위 유량도를 이용하여 유효 강우량에 대한 유출 수문곡선을 유도하였다. 이에 대한 전체 흐름은 그림 3과 같다.

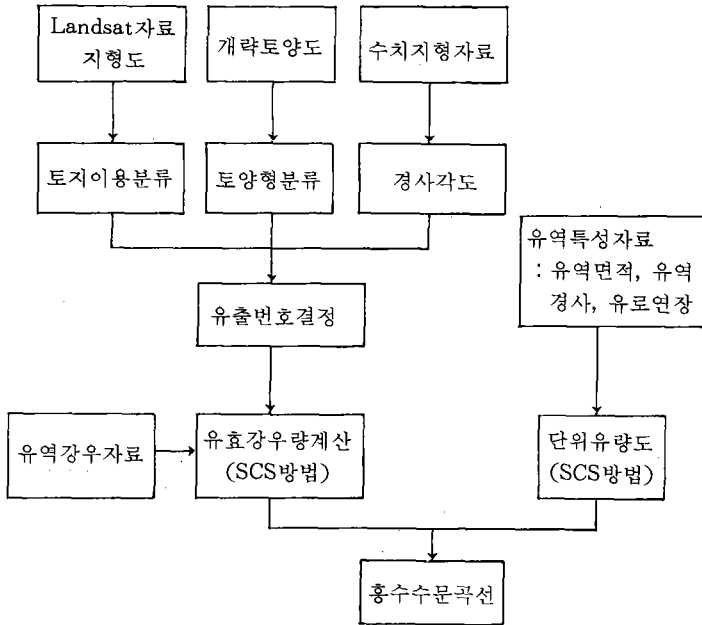


그림 3. 홍수수문곡선 유도 과정.

1. 직접 유출량 산정

SCS에서는 유역의 직접 유출량을 구하는 방법으로 다음과 같은 강우-유출-저류량 간의 관계식을 제시하였다(McCuen, 1982).

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서 Q : 직접 유출량 (mm)
- P : 강우량 (mm)
- I_a : 초기 손실량 (mm)
- S : 흙이 완전 포화되었을 경우 저류량 (mm)

유출이 발생하기 이전의 초기손실(I_a)은 흙의 최대 저류 가능량(S)의 20%이며 이 초기 손실은 표면굴곡에 의한 저류, 차단, 초기 침투 등을 포함하며 나머지 80%는 유출이 진행되면서 침

투에 의한 손실이라고 할 수 있다. 따라서 S의 결정은 침투의 진행상태에 따라 크게 다르기 때문에 SCS에서는 흙의 종류, 지표상태에 따라 S를 다음과 같은 방법으로 추정하였다.

$$S = \frac{25,400}{RCN} - 254 \dots\dots\dots (2)$$

여기서 RCN은 유출번호(Runoff Curve Number)로서 흙의 종류, 토지사용도, 흙의 초기함수상태 등의 함수이다.

1.1 토양형 분류

하천유역의 유출과 관련한 토양분류 방법에는 SCS에서 정한 분류 기준이 일반적으로 많이 이용되고 있다. SCS 토양의 종류는 유출률, 투수성, 토질, 배수성 등에 따라 A, B, C, D형으로 분류되는데(McCuen, 1982), A형은 배수율, 투수율이 커서 유출률이 낮고 입자의 크기가 큰 토양이며 D형으로 갈수록 높은 유출률을 가지게 된다.

평창강 유역 토양분류에 관한 자료는 농촌진흥청 식물환경연구소 발행 1:50,000 강원도 개략토양도를 이용하였다. 개략토양도에 정의된 흙의 성질을 설명하는 기준의 하나인 배수를 평가하는 어구에 5가지 구분이 있는데, 이에 따른 1차 분류를 한 후, SCS의 토양분류 기준에 맞추어 재분류를 실시한 결과 표 1과 같이 분류하였다.

표 1. SCS 분류기준에 의한 토양 분류

토양형(SCS)	토양분류(토양도)
A	Fba, Fbb, Rea
B	Fmb, Fmg, Afa, Afb, Afc, Afd, Apg, Anb, And, Rab, Rad, Rsa, Rsc, Rvc, Mab, Mac, Mja, Mla, Mib, Mmd, Mmb, Msa, Msb, Mub, Mva, Mvb
C	Fmk, Apc, Ana, Anc, Raa, Rac, Rla, Rib, Rsb, Rva, Rvb, Rvd, Rxa, Maa, Mua
D	Fta, Fmb, Fmc, Fmd, Fml, Apa, Aph, Apd, Ro

이와 같이 분류한 토양형을 digitizer를 사용하여 입력, 처리시켰으며, 이에 의해 만들어진 연구지역의 토양도는 그림 4와 같다. 그림 4에서 Group A가 가장 많이 분포하고 있으며 Group D는 없는 것으로 나타났다.





1.2 토지이용 분류

유역에 내리는 총강우량 중 하천 유출에 직접 공헌하는 유효우량은 토지이용 형태와 식생피복(Vegetation Cover)에 따라 크게 영향을 받는다. 본 연구에서는 수문학적 토지이용 분류를 하기 위하여 Landsat MSS자료의 band별 반사특성을 이용하였다. Landsat MSS자료는 1979

SOIL MAP



GROUP (%)

-  A (49.4)
-  B (29.1)
-  C (21.5)
-  D (0.0)

PYUNGCHANG WATERSHED

그림 4. 평창강 유역의 토양도.

년 8월 28일 화상으로 1차 변환식(Affine 변환식)을 사용하여 기하학적 보정치를 계산한 후 nearest neighbor법을 사용하여 resampling하였다(박경윤 등, 1986). 서로 다른 토지이용군간의 분리척도로써는 통계적 분리 거리인 Mahalanobis 거리를 사용하였으며 Gaussian 분포를 가정하고 지도자료를 이용한 감독분류기법을 사용하였다.

토지이용 등급은 일반적인 Landsat MSS자료의 분류방법과 수문학적 성질에 따라 논, 밭, 자연취락, 물, 산림의 5가지로 나누어 토지이용 형태를 조사하였다. 특징분류를 하기 위한 자료는 연구지역의 Landsat MSS의 물의 특성을 잘 나타내는 band 7과 band 조합 영상인 ND 7(Normalized Difference), GVI(Green Vegetation Index)의 영상자료를 사용하였다. ND 7은 다음과 같은 식으로 나타낸다(박경윤 등, 1987).

$$ND\ 7 = \frac{MSS\ 7 - MSS\ 5}{MSS\ 7 + MSS\ 5} \dots\dots\dots (3)$$

이 식은 초목의 반사특성과 연관성이 큰 band 7의 MSS자료와 초목에 의한 영향이 적은 band 5의 영상간에 차이를 구하는 방법으로 초목의 밀집도가 큰 산림 등에서는 높은 값을 가지게 되고 초목이 거의 없는 도로, 물, 도심, 주거지역 등에서는 낮은 값을 가지게 된다. 그리고 Landsat MSS에서 추출되는 GVI는 다음과 같은 식으로 표현이 된다(박경윤 등, 1987).

$$GVI = -0.290\ MSS\ 4 - 0.562\ MSS\ 5 + 0.600\ MSS\ 6 + 0.491\ MSS\ 7 \dots\dots\dots (4)$$

그림 5는 이와 같은 방법으로 분류된 연구지역의 토지이용도를 나타낸다.

1.3 경사각도의 작성

유역의 경사는 유출에 큰 영향을 준다. 본 연구에서는 미국 DMA(Defence Mapping Agency)에서 제작한 경위도 간격 3" 단위의 수치지형자료를 사용하여 경사각도를 작성하였다. 361 Column(18')×415 line(20'42")의 3"자료를 추출한 후 연구지역의 격자점에 맞추기 위하여 bilinear interpolation 방법으로 resampling하여 465×672 pixels의 고도자료를 재구성하였다. 수치지형자료에서 각 격자점의 경사각은 주변부 고도로부터 구할 수 있으며 식 (5)와 같다.

$$\theta = \tan^{-1} [(\tan\theta_x)^2 + (\tan\theta_y)^2]^{1/2} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 $\tan\theta_x = \frac{E(I, J+1) - E(I, J-1)}{2g}$
 $\tan\theta_y = \frac{E(I-1, J) - E(I+1, J)}{2g}$
 E(I, J) : (I, J)점의 고도
 g : 좌표점간의 거리

식 (5)에 의해 구한 경사각을 유출해석에 적용하기 위해 10° 이하, 10°~20°, 20° 이상으로 3등분하여 나타낸 각 지점별 경사분포는 그림 6과 같다. 그림에서 보면 10°~20°의 분포가 가장 많은데 이는 연구지역의 지세가 대체로 급한 경사로 이루어진 지역임을 보여 준다.

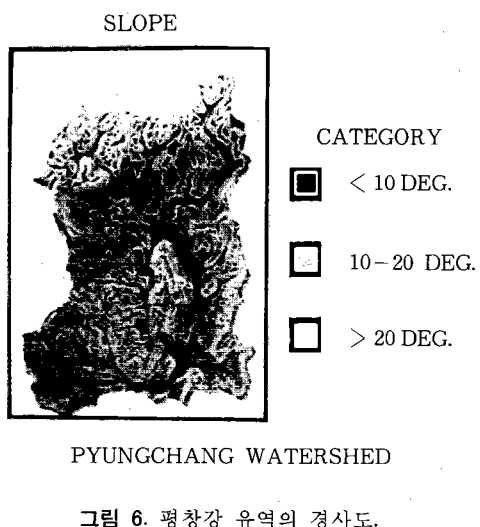
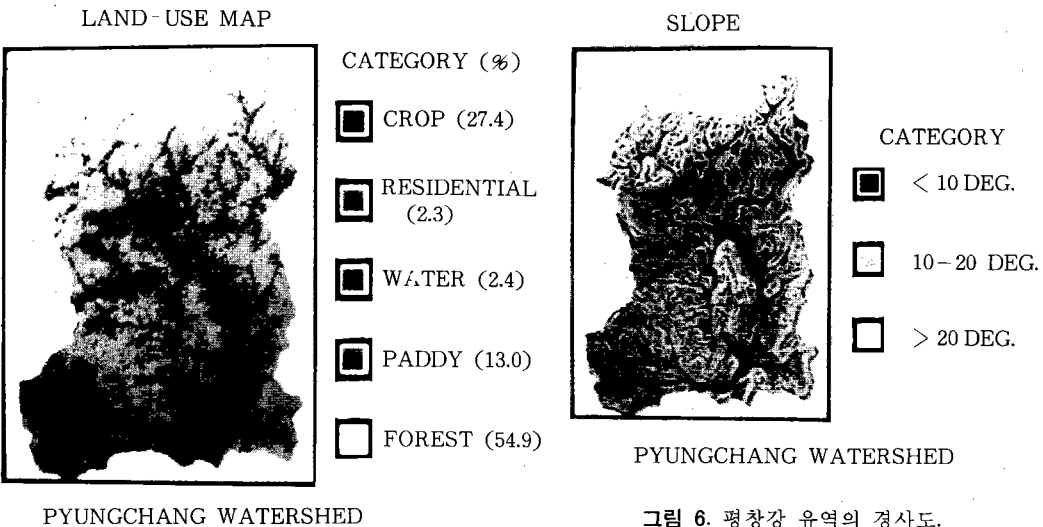


그림 6. 평창강 유역의 경사도.

그림 5. 평창강 유역의 토지이용도.

1.4 유출번호 결정

유출번호란 유출을 양적으로 표시하는 지표로서 유출발생 잠재력의 크기에 따라 번호를 부여한 것이다. 본 연구에서는 Landsat data를 이용하여 분류한 5개의 토지이용상태와 수치지형자료(Digital Terrain Model, DTM)를 사용한 지표면 경사각의 분류, 토양도를 재분류한 토양형에 따라 SCS Table에 준하여 작성한 표 2의 유출번호표를 사용하였다.

표 2. 토지이용, 토양형, 유역경사에 따른 유출번호표(AMCII) (박경윤 등, 1986)

Land Cover	Slope Gradient	Soil Group			
		A	B	C	D
Small-Grain	High	61	72	79	82
	Medium	60	71	78	81
	Low	59	70	78	81
Residential or	High	77	86	91	94
	Medium	72	82	87	89
Barren Land	Low	65	78	85	88
Water		100	100	100	100
Rice Paddy	High	66	74	80	82
	Medium	64	72	79	81
	Low	62	71	78	81
Forest	High	45	66	77	83
	Medium	36	60	73	79
	Low	25	55	70	77

본 유역의 유출번호 분포에서 70~77번이 가장 많이 나타났으며 유출번호 Image는 그림 7과 같다. 선행 토양 함수조건(Antecedent Soil Moisture Condition, AMC) II에 대해 계산한 유역의 평균 유출번호 (RCN)는 약 73이었고, 홍수기의 강우에 대한 초기함수 상태를 고려할 때 AMC III에 속하므로 AMC조건에 대한 유출번호표에서 구간 평균 배분법을 사용하여 RCN값 90을 얻었다.

1986년 일최대 강우량 기록을 가진 7월 19일 강우로 유역 내 우량관측소 평창, 대화, 방림, 봉평의 시간별 우량자료(표 3)의 평균치를 유역의 대표우량으로 하여 RCN 90을 사용한 (1)식에 의해 시간별 직접 유출량을 계산하였다.

2. 단위유량도 합성

유출을 측정하고자 하는 유역출구에서 시간대 유량곡선을 유역의 수문곡선이라 하며, 수문곡선은 유역의 강우와 유출간의 관계를 지배하는 지형학적, 기후학적 특성을 나타내어 준다. 이 유출 수문곡선은 지표면 유출과 복류수 유출의 직접유출과 지하수에 의한 유출인 기저유출로

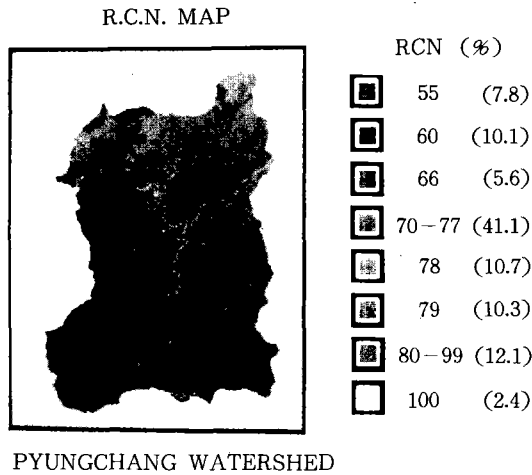


그림 7. 평창강 유역의 유출번호도.

표 3. 관측소별 매시간 강우량(한강홍수통제소, 1986) (단위 : mm)

관측소	일시	방법	평창	봉평	대화
	1986. 7. 19				
	1 : 00	5	8	8	5
	2 : 00	6	9	10	7
	3 : 00	14	10	25	12
	4 : 00	11	13	26	12
	5 : 00	15	24	29	14
	6 : 00	19	18	20	20
	7 : 00	9	13	9	11
	8 : 00	19	17	10	13
	9 : 00	7	6	2	6
	10 : 00	4	15	.	3

나누어진다. 여기서 직접유출 수문곡선은 유효 강우량과 유역의 단위도로부터 구할 수 있다.

유역의 단위유량도 합성은 지형인자와 단위유량도의 각 요소(침투유량, 침투발생시간, 기저시간 등)간의 관계식으로부터 합성할 수 있으며 본 연구에서는 SCS 방법을 사용하여 평창강 유역의 단위도를 작성하였다. 유역 출구점에서 최대의 유량이 되는 시간인 침투시간은 유역의 형태에 따라 다르며 이 때의 침투유량도 유역의 크기와 형태에 영향을 받는다. 침투발생시간 t_b 는 도달시간, 지체시간, 강우지속시간과의 관계로부터 구할 수 있다. 도달시간 t_r 는 Kirpich공식을 사용하였으며 Kirpich공식은 다음과 같다(Raudkivi, 1979).

$$t_c = \frac{0.01947 \cdot L^{0.77}}{S^{0.385}} \dots\dots\dots (6)$$

여기서 t_c : 지표면에서의 유하시간(min)
 L : 지표면 길이(m)
 S : 지표면 경사

강우 중심시간으로부터 침투유량이 되는 시간까지의 지체시간 t_i 은 보통 도달시간의 0.6배가 됨을 고려하여 계산하였다. 따라서 침투시간 t_p 는 지체시간과 강우지속시간 t_r 으로부터 다음과 같이 결정된다.

$$t_p = t_i + \frac{t_r}{2} \dots\dots\dots (7)$$

또한, 단위강우 1cm에 대한 침투유량 q_p 는 SCS에서 제시한(McCuen, 1982) 다음 공식을 이용하였다.

$$q_p = \frac{2.082}{t_p} \cdot A \dots\dots\dots (8)$$

여기서 q_p : 침투유량(m³/s)
 t_p : 침투시간(hr)
 A : 유역면적(km²)

식 (7), (8)에서 침투시간 t_p , 침투유량 q_p 를 강우지속기간 2시간에 대한 단위유량도를 얻은 결과 그림 8과 같다.

3. 유출수문곡선

단위유량도를 이용하여 유역의 유출량을 결정하는 기본식은 다음과 같다(한강홍수통제소, 1985).

$$Q_i = \sum_{j=1}^i ER_j \cdot U_{i-j+1} \dots\dots\dots (9)$$

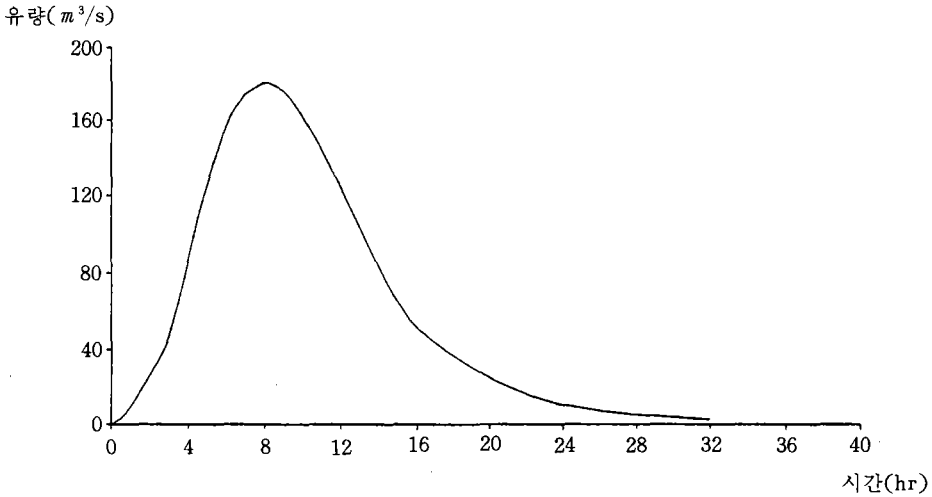


그림 8. 평창강 유역의 2-hr 단위유량도.

- 여기서 Q_i : i 시간의 유출량
 ER_j : j 시간의 유효강우량
 U_{i-j+1} : 단위유량도에 있어서 $i-j+1$ 시간의 값

식 (9)를 사용한 1986년 7월 19일 경우에 대한 직접 유출수문곡선은 그림 9에 실선으로 나타내었다.

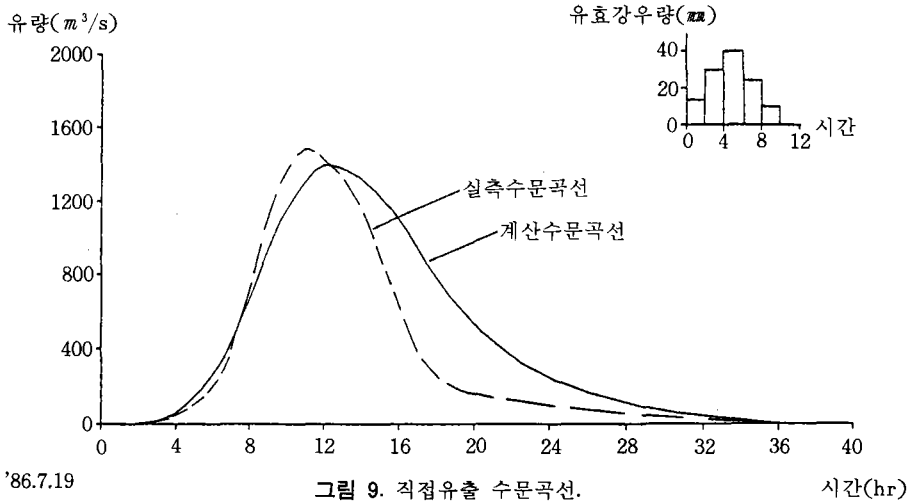


그림 9. 직접유출 수문곡선.

'86.7.19

시간(hr)

그리고 단위도를 이용한 유출량과 실측 수위에 의한 유량을 비교하기 위해 식 (10)의 수위-유량관계식을 이용하였다.

$$H > 2.0, Q = 86.59 H^{2.1748} \dots\dots\dots (10)$$

여기서 Q : 유량(m³/s)
 H : 수위(m)

식 (10)에 의한 유량 수문곡선으로부터 N-day법을 사용하여 직접유출과 기저유출을 분리한 실측 수위에 대한 직접유출 수문곡선은 그림 9에 점선으로 표시하였다.

그림 9에서 상단의 우량주상도는 SCS방법의 직접유출 산정식 (1)에서 구한 유효강우량 주상도(hyetograph)이다. 실측 강우로부터 계산하여 얻은 계산 수문곡선과 실측 수위에 의한 실측 수문곡선에서 침투유량은 실측 수문곡선이 다소 높은 값을 보였으며 침투시간은 계산 수문곡선이 1시간 늦게 나타났다.

한편, 빈도별 확률 일 최대 강우량은 하천 수계 내의 각종 수공구조물의 설계에 기본이 되는 자료이며 확률 일 최대 강우량에 의한 홍수량 추정에 있어서 특히 구조물의 안전을 위해 정확한 침투유량 결정이 무엇보다 중요한 점을 고려하여 평창지역의 1908~1976년까지의 강우자료에 대해 Gumbel-Chow법을 사용하여 얻은 빈도별 일 확률 강우량 자료(표 4)를 이용하여 직접유출 수문곡선을 얻었다. 빈도별 확률 일 최대 강우량에 대한 우량주상도를 구하는 방법으로 SCS의 무차원 배분표를 이용하였으며 SCS의 무차원 배분표의 정확성을 보기 위하여 1986년 7월 19일 실측강우의 지속시간 10시간에 대해 비교한 결과 그림 10과 같다. 그림에서 수문곡선의 폭에는 약간의 차이가 있었으나 침투시간 및 침투유량은 같게 나타났다. 그림 11, 12은 빈도별 일 확률 강우량에 의한 직접유출 수문곡선이다.

표 4. 빈도별 일 확률 강우량(산개공, 1978) (단위 : mm)

재현기간	1일 연속 최대 강우량
200	236
100	217
80	211
50	198
25	179
10	154
5	134
2	103

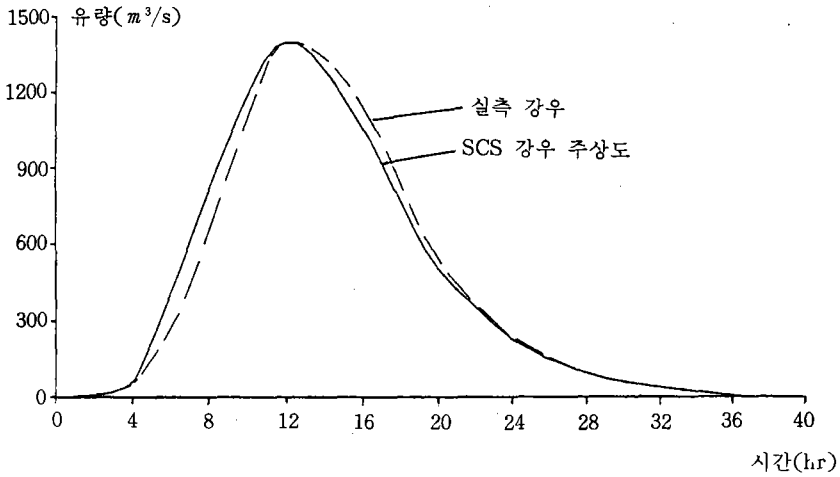


그림 10. 직접유출 수문곡선.

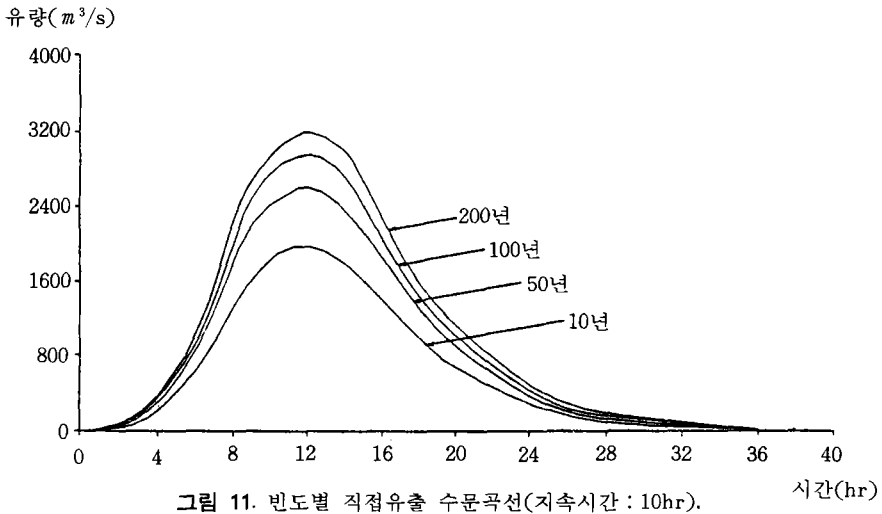


그림 11. 빈도별 직접유출 수문곡선(지속시간 : 10hr).

IV. 결론

본 연구에서는 자원탐사위성 Landsat 자료 및 기타 보조자료를 원격탐사기법으로 처리하여 평창강 소유역의 유출영향인자를 분석하고 이 인자들로부터 유역의 유출 수문곡선을 작성하였다.

평창강 유역의 1986년 7월 19일 호우에 대한 직접 유출수문곡선은 유역의 유출에 영향을 미치는 지표의 수문학적 특성을 잘 반영하는 미국 토양보존국의 유출 해석법과 유역의 지형학적

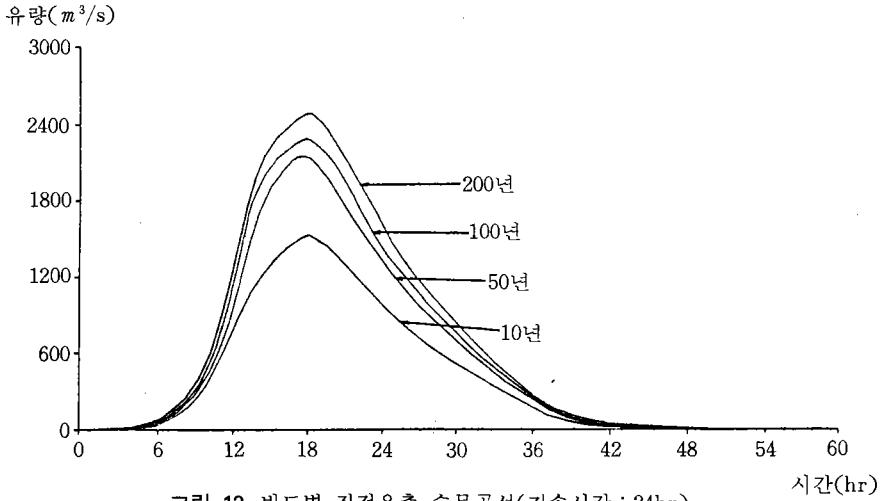


그림 12. 빈도별 직접유출 수문곡선(지속시간 : 24hr).

특성으로부터 유도되는 단위 유량도를 이용하였다.

실측수위에 의한 수문곡선과 비교한 결과 침투시간은 1시간, 침투유량 $80\text{m}^3/\text{s}$ (5.9%)의 차이를 보였다. 그러나 유역의 경사가 급하고 투수성이 매우 높은 석회암질로 이루어져 수문곡선의 하강 부분에서는 큰 차이를 나타내었다. 이것은 단위도에서 지질의 영향이 고려되지 않기 때문인 것으로 보이며, 본 방법은 이와 같은 지질환경에서의 상류유역보다 중·하류유역에 적합할 것으로 여겨지며 홍수예경보에서와 같이 침투시간과 침투유량을 중요시할 때는 근사하게 맞는 것으로 생각된다.

앞으로 지속적인 수문자료 수집과 위성자료로부터 각종 필요한 수문인자의 분석기법 및 유역의 특성을 잘 반영하는 수문모델 개발 등이 이루어지게 되면 하천 유역관리에 크게 기여할 것으로 사료된다.

첨 언

본 연구는 과학기술처 특정연구비에 의해 수행된 연구 결과 중 일부분이다. 특히 이 연구에 도움을 준 시스템공학센터 양영규, 김의홍 박사팀, 한국동력자원연구소 강필중 박사팀, 결과를 검토해 준 충북대 심순보 교수와 과학기술처 연구관리 담당자 여러분께 깊이 감사드린다.

참고문헌

- 1) 건설부(1980), 국제수문개발계획(IHP) 대표 유역 연구조사 보고서.
- 2) 박경윤·최원식·조성익 등(1986), 원격탐사응용기술연구(I): 한강 홍수위와 침수구역조사, 과기처 특정연구과제 보고서.
- 3) 박경윤·조성익 등(1987), 원격탐사응용기술연구(II): 한강 홍수위와 침수구역조사, 과기처 특정연구과제 보고서.
- 4) 산업기지개발공사(1978), 한강유역조사 보고서, 건설부.
- 5) 식물환경연구소(1971), 강원도 개략토양도, 농촌진흥청.
- 6) 한강홍수통제소(1985), 한강홍수예경보, 건설부.
- 7) 한강홍수통제소(1986), 우량자료, 건설부.
- 8) HEC(1979), *Determination of Land Use from Landsat Imagery: Applications to Hydrologic Modeling*, The Hydrologic Engineering Center, Corps of Engineers U.S. Army, Research Note, No.7.
- 9) McCuen, R. H.(1982), *A Guide to Hydrologic Analysis using SCS Methods*, Prentice-Hall.
- 10) NASA(1980), *Guidelines for the Hydrologic Processes Special Study*, Workshop Report NASA Goddard Space Flight Center.
- 11) Raudkivi, A. J.(1979), *Hydrology: An Advanced Introduction to Hydrological Processes and Modeling*, Pergamon Press.
- 12) Salomonson, V. V., et al.(1983), "Water Resources Assessment," *Manual of Remote Sensing*, Vol.II, American Society of Photogrammetry.