

Landsat 영상과 DTM자료의 하천유역 해석에의 응용기법 개발*†

조성익** · 박경윤*** · 최규홍**** · 최원식***

** KAIST 시스템공학센터 12그룹

*** 한국건설기술원

**** 연세대학교 천문기상학과

(1986년 7월 25일 받음; 1986년 8월 15일 수리)

Applications of Landsat Imagery and Digital Terrain Model Data to River Basin Analyses

S.I. Cho, **J.K. Park, **K.H. Choi, ****W.S. Choe ***

** 12Gr., System Engineering Research Institute, KAIST, Seoul, Korea

*** Korea Institute of Construction Technology, Incheon, Korea

**** Dept. of Astronomy and Meteorology, Yonsei Univ., Seoul, Korea

Abstract

The purpose of this study was to develop techniques acquiring hydrologic parameters that affect runoff conditions from Landsat imagery.

Runoff conditions in a study area were analyzed by employing the U.S. Soil Conservation Service(SCS) Method. SCS runoff curve numbers(CN) were estimated by the computer analysis of Landsat imagery and digital terrain model(DTM) data. The SCS Method requires land use/cover and soil conditions of the area as input parameters.

A land use/cover map of 5 hydrological classes was produced from the Landsat multi-spectral scanner imagery. Slope-gradient and contour maps were also made using the DTM topographic data. Inundation areas depending on reservoir levels were able to be mapped on the Landsat scene by combining the contour data.

* Yonsei University Observatory Contribution, No. 49.

† 이 연구는 1986年度 科學技術處 特定研究課題의 일환으로 遂行된 것입니다.

I. 서 론

원격탐사 기술은 항공사진의 발달과 더불어 그 응용이 시작되었으나, 최근 컴퓨터 및 우주항공기술의 발달에 따른 여러 가지 지구관측위성의 발사로 인하여 그 기법 및 응용분야에 있어 상당한 발전을 이룩하고 있다. 그 중 Landsat 자료를 이용하는 원격탐사 기술의 경우 항공사진 등에 비하여 보다 광범위한 지역을 일시에 탐사할 수 있으므로 토지이용 상태조사, 자연환경 변화 및 오염확산 상태파악, 농작물의 작황분석, 홍수예측 및 관련 자료수집 등에 광범위하게 사용이 되고 있다.

홍수예측 및 관련자료 수집에는 특히 동시에 관측된 방대한 양의 수문자료를 입력하거나 시간적 변화에 따른 자료의 수문학적 특성을 갱신시키는 것이 요구되고 있다. 따라서 주기적으로 수집이 가능한 인공위성 자료를 이용하여 이러한 자료를 입력, 갱신하면 상당히 경제적인 효과를 얻을 수 있다.

인공위성 자료로부터 지표의 수문학적 특성을 입력, 갱신하여 홍수 예측 등에 활용할 수 있는 방법으로는 미국 토양보존국(U. S. Soil Conservation Service; SCS)의 유출해석법(SCS법)이 있다. SCS법은 유역의 유출에 영향을 미치는 지표의 수문학적 특성을 알면 호우시의 잠재유출량을 계산할 수 있기 때문에 홍수예측 등을 하기 위한 방법으로 많이 사용이 되고 있다. SCS법에서 입력자료로 사용하는 유역의 수문학적 특성에는 지표피복 및 토지 이용 상태, 토양형의 분포, 토양의 초기 수분함유 상태 등이 있다. 이러한 자료가 입력이 되면 유역에 있어서의 잠재유출량을 계산할 수 있기 때문에 홍수예측 등을 하기 위한 방법으로 많이 사용이 되고 있다. SCS법에서 입력자료로 사용하는 유역의 수문학적 특성에는 지표피복 및 토지 이용 상태, 토양형의 분포, 토양의 초기 수분함유 상태 등이 있다. 이러한 자료가 입력이 되면 유역에 있어서의 잠재유출량을 구할 수 있고 특정 호우시의 호우 강도가 주어지면 그 유역의 총 유출량을 구할 수 있어 홍수 예측 등에 활용이 가능하다.

본 논문에서는 Landsat 및 기타 자료를 활용하여 SCS법에서 필요로 하는 수문학적 인자를 추출하는 기법을 개발하였다. 수문학적 인자 추출을 위하여 CCT(Computer Compatible Tape)의 형태로 수록된 MSS(Multi-spectral Scanner)영상과 수치 지형 모델(Digital Terrain Model; DTM)자료로부터 지표피복 및 토지이용 상태를 조사하였고 농촌진흥청 식물환경연구소 발행 개략토양도로부터 수문학적 토양형분포를 수치자료로 입력, 유출해석을 할 수 있는 기본 기법을 개발하였다. 본 연구에서 조사한 지역은 충주 다목적댐 상류의 소구역으로 이 지역에 대하여 잠재유출량을 나타내는 유출번호(Curve Number; CN)를 구하였다. 또한, 충주 다목적댐 건설로 인한 침수구역을 DTM자료로부터 구하여 이를 Landsat 자료와 결합함으로써 댐건설로 인하여 생기는 인공 호반 및 침수구역에 상도를 수위에 따라 작성할 수 있게 하였다.

II. 조사 지역의 개요

본 논문에서 연구한 지역은 남한강에 위치한 충주 다목적댐에 인접한 상류 지역으로 한반도 및 한강 유역에 있어서의 위치는 그림 1, 그림 2와 같다.

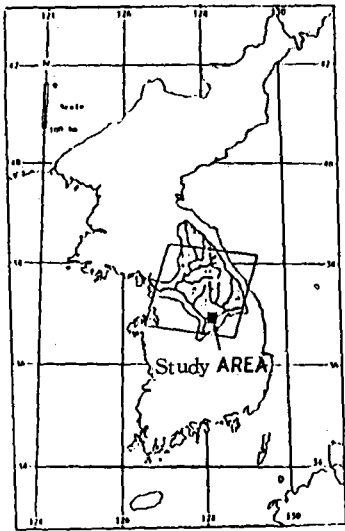


그림 1. 조사지역의 위치.

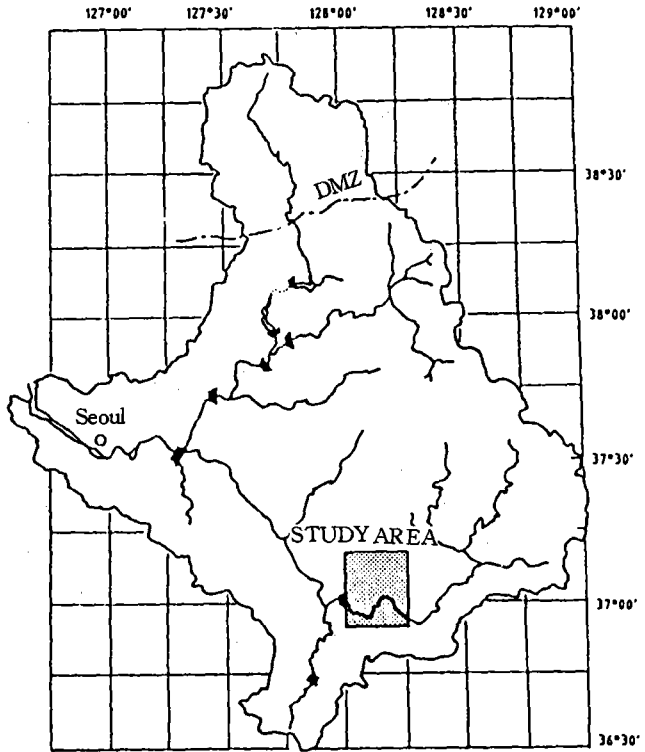


그림 2. 한강유역에서의 조사지역 위치.

본 소유역을 택한 이유는 기법개발의 원칙을 검토하는 데 영상처리의 효율을 감안하고 침수 지역 확인이 용이하기 때문이다.

조사 지역은 행정구역상으로는 주로 제원군지역이 포함되며 중원군, 단양군의 일부 지역이 포함되어 있고, 좌표상으로는 경도 $128^{\circ} 00' 00'' E \sim 128^{\circ} 15' 00'' E$, 위도 $36^{\circ} 55' 00'' N \sim 37^{\circ} 00' 00'' N$ 로, 1:50,000 축척의 지형도 도폭 1매에 해당하는 크기이며, Landsat MSS 영상에서 389 Column \times 487 Line의 크기를 갖는다.

이 지역의 지세는 동북방에 해발고도 807 m의 천둥산이 가장 높은 지형이고, 충주 다목적댐 부근의 고도 80 m인 강유역이 가장 낮은 지형이며, 대부분 고도 200 m \sim 400 m 정도의 급

한 경사를 이룬 지형으로 기복도 심한 편이다. 지질은 선캠브리아기 변성암류와 조선계 석회암 및 시대미상의 퇴적원 변성암류로 구성되어 있다.

지표피복 및 토지 이용면에 있어서는 대부분의 지역이 산림으로 덮여 있고 약간의 논과 밭, 그리고 자연취락 및 도시(제천시)로 구성되어 있다. 조사 지역의 하단에는 남한강 본류가 흐르고 있으나 현재는 충주 다목적댐의 건설로 인하여 인공호반을 조성하고 있어 이로 인한 자연환경 변화 및 수문학적 유출영향 인자의 변동이 예상되고 있다.

Ⅲ. Landsat, DTM 및 토양자료의 Digital 처리

호우시 어떤 유역의 종단점을 통하여 흘러나오는 유출량은 그 유역의 여러 가지 수문학적 요인에 의해 결정될 수 있다. 유출에 영향을 미치는 요소로는 그 유역의 토지이용 및 식생분포 등의 지표피복상태, 경사도 및 경사방향성 등의 지형학적 상태, 하도의 굴곡, 형태, 길이, 차수 등의 기하학적 상태, 토양의 투수성 및 습윤 상태 등 토양조건, 지하수의 수위, 암반의 투수성 등 여러 가지가 있다. 그러나 우리는 이 모든 조건을 다 고려할 수 없으므로 그 중 영향이 큰 인자만을 고려하여 유출량 예측모델을 만든다.

본 연구에서 사용한 SCS법은 미국 토양보존국에서 미국의 많은 강 유역에 대한 자료를 수집, 분석하여 가장 보편적으로 적용할 수 있도록 만든 모델로 지표의 피복조건 및 토지이용상태와 토양조건만을 입력자료로 하여 유역의 유출량을 산정해 내는 방법이다.

본 연구에서는 SCS법에서 사용하는 입력자료 중 토지 이용상태를 세분하여 DTM자료로부터 얻어지는 유역의 경사도를 또 하나의 입력자료로 하도록 하였다. SCS법에서 입력자료로 요구되는 수문학적 인자를 추출하기 위하여 Landsat 자료를 이용하여 수문학적 지표피복 및 토지 이용상태를 입력하였으며, DTM자료를 이용하여 경사각도를 입력하였고 식물환경연구소에서 제작된 토양도를 수치화(Digitize)한 후 Raster 영상으로 만들어 수문학적 토양형의 분포를 입력하였다.

1. Landsat 자료처리

유역의 지표피복상태, 식생의 종류, 토지이용의 형태 등에 따라서 유출량은 많은 영향을 받는다. 지표피복상태가 양호하여 노출된 흙이 적거나 낙엽 등이 많이 쌓인 경우, 토지 이용의 형태가 물의 자연적인 흐름을 방해하는 경우는 배수가 잘 되지 않기 때문에 유역의 유출량이 줄게 되며, 노출된 흙이 많거나 도심지 등에서 배수도가 잘 발달된 경우는 유출량이 많아지게 된다. 따라서 유역의 지표피복이나, 토지이용상태에 대한 조사가 필요하다.

본 연구에서는 이러한 조건을 조사하기 위하여 Landsat MSS 자료를 이용하여 조사지역의 토지이용 분류를 하였고, 이 결과를 조합하여 수문학적인 조건에 따라 5개의 수문학적 토지이용분류를 하였다. 본 연구에서 사용한 Landsat MSS 자료는 CCT의 형태로 수록된 1979년

8월 28일의 Path 124-Row 34의 영상으로 일본 RESTEC에서 Bulk 보정이 되어 BIL(Band Interleaved by Line)로 수록된 자료이다. 이 화상에서 조사지역의 처리를 위하여 초기지역으로 총 주 다목적범을 포함한 620 Column × 570 Line의 지역을 추출하였다. 실제로 처리할 지역의 크기는 이보다 작은 389 Column × 487 Line의 지역이었으나, 기하학적 보정시는 이보다 약간 더 큰 지역이 필요하였기 때문이다. 이 초기 지역에 대하여 14개의 GCP(Ground Control Point)를 사용하여 기하학적 보정을 한 후, Tasseled Cap 변환을 하여 영상의 차원수(Dimension)를 줄이고 특징을 강조하였다. Tasseled Cap 변환에 의해 구해진 2개의 Band와 DTM 자료를 처리하여 얻은 경사도를 BIL로 만든 후 분류를 하여 초기의 토지이용군을 11 가지로 분류하였고, 이를 다시 조합하여 5개의 수문학적 토지이용군을 구하였다.

가. 기하학적 보정

Landsat 에서 지상에 대한 정보를 수집시 인공위성의 자세, 지구의 회전, 폭울 등에 따른 왜곡을 가진 영상을 만들게 된다. 이러한 왜곡이 보정된 영상이라 하더라도, 지상물체의 고도, 지도투영법 등에 따라 우리가 기준으로 삼는 지도와 차이가 생기기 때문에 기하학적 보정처리를 해야 한다.

본 연구에서는 다음과 같은 1차 Polynomial 을 써서 왜곡을 보정하였다.

$$\begin{aligned} X' &= a_0 + a_1 X + a_2 Y \\ Y' &= b_0 + b_1 X + b_2 Y \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (1)$$

이 Polynomial 은 다음과 같은 6 가지의 상태에 대한 보정을 하게 된다(Billingsley et al., 1983).

- 인공위성 진행방향에 대한 보정
- 지구의 회전에 의한 왜곡의 보정
- 수평방향으로의 위치이동(X축과 Y축)
- Global Rotation의 Skew 보정
- 고도변화의 보정

이 Polynomial 의 식은 화상의 좌표와 이에 대응하는 지도상의 GCP 를 대응시켜 얻을 수 있는데, 이 식에서 미지수인 $a_i, b_i (i=0, 1, 2)$ 는 이러한 GCP 를 만족하는 값을 가져야 한다. 이 식을 풀기 위한 GCP 의 수는 6개만이 필요하지만 실제의 경우 각 GCP 가 정확하다고 볼 수 없기 때문에 이보다 많은 GCP 를 주고 Least-Square Fitting 을 하여 계수를 구한다.

조사지역의 경우 남한강 상류지역으로 GCP로서 적당한 인공구조물이 없어 특징이 뚜렷한 18개의 저수지점과 구배가 심한 지류의 꺾임점 1개를 GCP로 사용하였다. GCP를 찾기 위해서 영상에서는 물이 뚜렷이 나타나는 Band 7을 주로 사용하였고, 지상좌표는 국립지리원 발행 1:50,000 축척의 지형도로부터 구하였다. GCP로 사용한 위치는 수위변화 등에 따라 수평

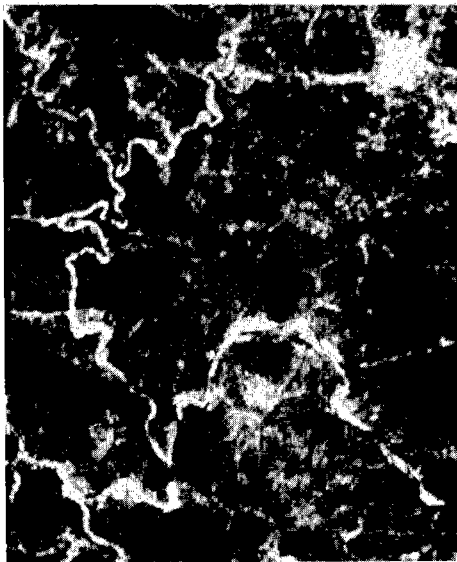
의 위치 변동이 없도록 하기 위하여 제방의 찍임점, 제방과 급한 경사의 지형이 만나는 점 등을 사용하였다. 표 1은 GCP의 위치와 보정 결과 추정된 오차를 나타낸다.

(1)식에 의하여 보정식이 정해진 후 지도의 좌표와 영상의 좌표가 일치하지 않기 때문에 Resampling을 하여야 한다. 본 연구에서는 가장 간단하고 시간이 적게 소요되는 Nearest Neighbor 방법을 써서 Resampling을 하였다. 그림 3(a)와 그림 3(b)는 GCP Correction과 Resampling이 된 후의 조사지역 Band 5와 Band 7 영상을 각각 나타낸다.

표 1. GCP의 위치 및 보정

지역명	Column	Line	고도 (m)	오차 (pixel)	지역명	Column	Line	고도 (m)	오차 (pixel)
합지못	64	517	90	1,250	의림지	430	15	300	0.260
호암지	74	491	90	0,059	뒤뜰방죽	420	45	290	0.466
대기미못	72	464	90	0,969	산꼭저수지	420	166	310	0.630
백마저수지	140	74	300	0,174	월림저수지	405	198	200	0.003
한치저수지	221	202	190	0,151	우암제 1 지	446	296	290	0.053
명암저수지	306	49	270	0,268	우암제 2 지	427	301	270	0.267
백곡계	379	34	360	0,976	명서교 옆	196	261	160	1,142

GCP의 갯수 : 14개
 평균 보정오차 : 0.8 Pixel
 기본도 : 1:50,000 축척 지형도
 변환식 : 1차 Polynomial



(a) Band 5의 영상



(b) Band 7의 영상

그림 3. 기하학적 보정이 된 후의 조사지역 영상.

나. 침수구역 예상도 작성

본 연구에서 사용한 Landsat MSS 영상은 충주 다목적댐이 완공되기 전의 자료로, 댐의 건설로 인하여 생성된 인공호수의 형태가 나타나지 않았다. 그러나 DTM자료와 Landsat 자료를 조합하면 댐이 건설되기 전의 자료라 하더라도 이를 Simulation 하여 볼 수 있다. 이러한 기법은 댐을 계획하는 초기단계에서 댐의 건설에 따른 환경변화 예측이나 침수시 발생하는 토지 이용상태 변화를 산정하는 데 유용하게 이용할 수 있다.

침수구역예상도를 만들기 위해서는 먼저 Landsat 자료와 DTM자료를 Resampling하여 두 자료가 공간적으로 같은 크기의 Pixel size를 갖도록 해야 한다. 그 후 DTM자료로는 침수구역범위를 확정하고 Landsat 자료에서는 각 Band 마다의 물의 밝기를 파악한 후, 침수구역범위에 있는 지역은 모두 물의 밝기를 갖도록 하면 된다. 그림 4는 이와 같은 방법으로 하여 Color Composite에 침수구역을 조합한 영상이다.



그림 4. 침수지역을 조합한 조사지역의 Color Composite 영상.

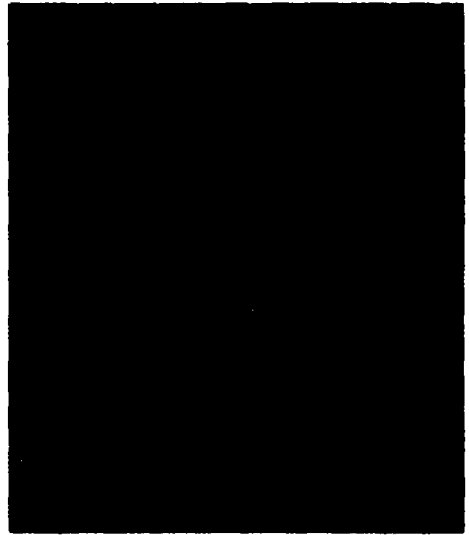


그림 5. 조사지역의 수문학적 피복형 분류.

다. 수문학적 토지이용 및 피복상태 조사

기하학적 보정이 끝난 영상에 대하여 지표피복상태를 조사하기 위하여 4 Band의 영상에 대한 Tasseled Cap 변환을 한 후, DTM자료인 경사도를 BIL 형식으로 조합하여 특징을 분류하였다. 초기분류로서 11개의 토지이용군을 나누었고, 이를 다시 조합하여 SCS법에서 사용하는 기준에 따라 지표피복상태를 5개의 군으로 재분류를 하였다.

1) 영상압축

4 Band Landsat MSS 영상에서 차원수(Dimension)를 줄이고 특징을 강조하기 위하여 Tasseled Cap 변환을 하였다. Tasseled Cap 변환을 함으로서 Landsat MSS의 4 Band에서 가장 중요한 특징을 나타내는 두 축인 SBI(Soil Brightness Index)와 GVI(Kauth Green Vegetation Index)의 자료를 사용하는 2 차원(Band)으로 줄였다. 그 변환식은 다음과 같다(양 영규, 1985).

$$\begin{aligned} \text{SBI} &= 0.43 \text{ MSS } 4 + 0.63 \text{ MSS } 5 + 0.59 \text{ MSS } 6 + 0.26 \text{ MSS } 7 \\ \text{GVI} &= -0.29 \text{ MSS } 4 - 0.56 \text{ MSS } 5 + 0.60 \text{ MSS } 6 + 0.49 \text{ MSS } 7 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2)$$

2) 토지이용 분류

이와 같이 하여 만들어진 2Band의 영상과 DTM으로부터 얻어진 경사도를 BIL형식으로 조합하여 토지이용상태를 분류하였다. 분류의 전략(Strategy)은 Maximum Likelihood로 하여 Training Set를 이용한 감독분류(Supervised Classification)를 하였다. 분류하는 토지이용군(Land use Class)의 기준은 Anderson et al.,(1976)에서 제시한 분류법에 따라 정하였고, Training Set를 정하기 위한 Ground Truth는 1:50,000 지형도를 참조하여 구하였다. 분류를 하기 위한 자료로서 경사도를 같이 사용한 이유는 강물, 논 등의 지역은 통상적으로 볼 때 경사가 거의 없는 지역에 분포되어 있고, 철도, 습지 등은 낮은 경사도를 가진 지역에 분포하여 있으며 산림지역은 대부분이 경사각이 커서 농지 등으로 이용할 수 없는 지역에 분포되어 있는 등 Landsat 자료와 높은 연관성(Correlation)을 가지고 있었기 때문이다.

수문학적 지표피복형을 조사하기 위한 초기 분류로서 11개의 토지이용군 분류를 하였다. 11개의 분류군은 자연취락 및 농가, 밭(I), 밭(II), 노출된 모래땅, 습지, 도시 및 포장도로, 철도, 강물 및 저수지, 논, 산림(I), 산림(II) 등이다. 밭과 산림을 둘로 나누어 분류한 이유는 분류의 정확도를 기하기 위하여 지도상에 밭으로 나타나는 지역 중 반사율이 높아서 추수가 끝난 것으로 추정되는 지역을 밭(I)로, 반사율이 낮은 지역을 밭(II)로 하였고, 산림의 경우 반사율이 낮은 음지를 산림(I)로 양지를 산림(II)로 하였기 때문이다.

3) 수문학적 지표피복형조사

초기 분류된 11개의 토지이용군을 다시 조합하여 SCS법에서 사용하는 수문학적 지표피복형으로 분류하였다. 조합의 기준은 General Electric(1975), HEC(1979) 등을 참고로 하여 표 2와 같은 수문학적 성질을 갖도록 분류하였다. 그 결과 만들어진 수문학적 피복도는 그림 5에 나와 있으며 표 3은 이들의 분포를 나타낸다.

표 2. 수문학적 피복형 분류 및 성질

수문학적 피복형	토지이용군	수문학적 성질
Small Grain	밭, 농가 자연취락	흙이 노출되어 있거나 식생이 약간 있고, 관개 시설은 거의 없어 유출이 조금 지연됨.
Residential or Barren Land	모래, 습지, 철도 도시 및 포장도로	흙, 맨땅이 많이 노출되고 식생은 약간 있거나 거의 없는 경우. 지표면 흡수가 없고 배수시설이 완비된 경우로 강우 즉시 유출현상 초래.
Water*	강물(저수지)	강우 즉시 배수됨.
Rice Paddy	논	식생은 거의 없으나 논둑 등으로 인하여 저수 효과가 있음.
Forest	산림	식생이 두껍게 덮여 있어 유출에 있어 초기 손실이 상당히 크고 함수력이 커서 유출이 상당히 지연됨.

* Water는 강물(유출률 100%)과 저수지(유출률 0%)를 분리하여 처리하여야 하지만 분리하는 것이 어려워 동일군으로 처리하였다.

표 3. 조사지역의 수문학적 피복형 분포

Class	수문학적 피복형	면적(㎡)	분포율(%)	Color
1	Small Grain	168.1	27.3	Pink
2	Residential or Barren Land	13.0	2.1	Black
3	Water	63.6	10.3	Dark violet
4	Rice Paddy	70.4	12.4	Sky blue
5	Forest	294.3	47.8	Yellow

4) 분류의 정확도 추정

분류의 정확도를 알기 위해서는 각 점을 실제의 지역과 비교하여 보아야 한다. 그러나 여기에서는 Training Set가 Ground Truth를 올바르게 나타내고 있다고 가정하여 Sung & Miller (1977)가 사용한 방법으로 Training Set의 분류된 결과를 가지고 분류의 정확도를 추정하였다. 이 경우 분류의 정확도는 원래의 Training Set에서 한 Class로 분류될 것이 예상되었던 점이 다른 Class로 분류된 경우 이를 전체의 Training Set로 나누어 구한다. 표 4는 5개의 최종 분류된 Class에 대한 분류 정확도 추정 결과이다. 백분율로 표시된 정확도는 Class 3인 물을 제외하고는 모두 82% 이상인데, 물의 경우는 63%이나 sample 숫자가 적어 전체적인 정확도에는 별 영향을 주지 못하고 있다.

표 4. Training Set의 분류 결과 및 정확도

피복형	Training Set 의 개수	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	정확도
Class 1	422	354	15	2	30	21	84
Class 2	400	14	383	3	0	0	96
Class 3	60	2	16	38	0	4	63
Class 4	261	46	0	0	215	0	82
Class 5	609	40	2	0	6	561	92

2. 수치지형자료 처리

지표의 피복상태가 같은 지역이라 하더라도, 경사가 크면 유출되는 양이 많아지게 된다. 따라서 경사량도 영역의 유출량을 계산하기 위한 한 인자로 작용한다. 이를 위하여 조사 지역의 경사도를 작성하였고, 댐건설에 따른 침수구역 조사를 위하여 등고선도를 구하였다.

수치지형자료는 기존의 지형도를 이용하거나 Stereograph으로 촬영된 항공사진을 기초로 하여 지표면에 일정한 간격으로 격자점(Grid)을 설정한 후, 각 격자점마다의 고도를 수록한 수치자료이다. 이같이 격자점별로 주어진 고도자료를 컴퓨터를 이용하여 분석, 처리하면 일반적인 지형도 또는 등고선도에서 하기 힘든 여러 가지 유용한 결과를 도출해 낼 수 있다. 이 수치지형자료를 이용하면 등고선도뿐만 아니라, 각 격자점별 경사각을 구하여 지도로 나타낸 경사각도나 경사면의 방향을 나타내는 경사방위각도, 그리고 입체적인 지형모식도 등을 구할 수 있다.

본 연구에서는 3" 간격의 격자점별로 고도가 수록되어 있는 수치지형자료를 이용 등고선도, 경사각도 등을 작성하여 유출해석에 적용하였으며 댐건설에 따른 침수구역 예상도를 작성, Landsat 자료와 결합함으로써 그 변화 양상을 알아보았다.

가. 등고선도의 작성

등고선도란 문자 그대로 높이가 같은 지점을 선으로 연결한 지도로, 수치지형자료의 경우 각 격자점별로 고도를 수록시켜 놓았기 때문에 이를 이용하여 등고선도를 작성할 수 있다. 등고선도를 만드는 방법은 먼저 임의의 시작점에서의 고도값을 상하좌우로 인접한 각 점과 비교하여 높이가 같은 점만을 연결하여 가면 된다. 이와 같은 작업을 각 고도별로 반복 수행하면 대상 지역 전체의 등고선도가 작성된다. 등고선도의 표현에는 선만이 필요하므로 수치지형자료를 처리하여 선으로 표시되는 부분(즉, 등고선)과 선으로 표시되지 않는 부분으로 자료를 재구성하면 된다. 그림 7은 이러한 방법에 의해서 작성된 조사지역의 등고선도를 나타낸다.

본 연구에서 사용한 수치지형자료는 충주 다목적댐 건설 이전의 자료로 댐건설로 인한 침수구역이 나타나 있지 않다. 이를 현재의 지형에 맞추기 위하여 충주 다목적댐의 상시 만수위인 해발 고도 141 m 이하를 침수된 것으로 처리하였다. 이 등고선도에서 등고선 간격은 100 m이며 수위상승에 따른 침수구역은 화살표로 표시한 부분이 된다.

나. 경사각도의 작성

경사각도란 지표면 각 격자점에 있어서의 최대 경사각을 나타내는 지도이다. 경사각은 경사의 방향을 나타내는 경사방위각과 함께 유출계산, 토양유실량 계산, 사면안정도 산출 등에 사용이 가능하다. 일반적으로 사용하는 지형도는 등고선만이 나타나 있기 때문에 경사각 등을 계산하는 데 상당히 많은 인력과 시간을 요하지만 수치지형자료를 이용, Computer로 처리하면 상당한 비용 절감 효과를 기대할 수 있다.

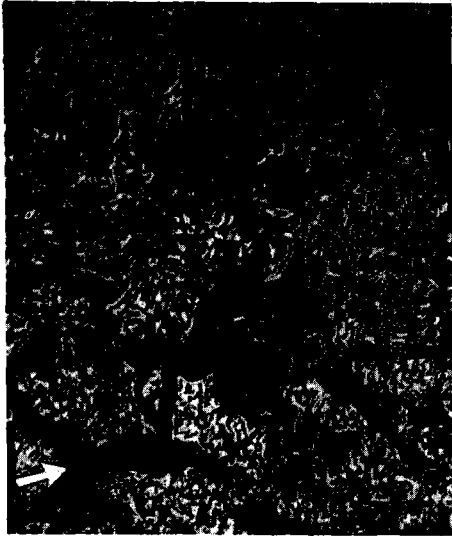


그림 7. 조사지역의 등고선도.
(등고선 간격: 100m)



그림 8. 조사지역의 경사각도

수치지형자료에서 경사각도를 구하는 방법도 등고선도와 같이 임의의 시작점을 중심으로 인접한 4점의 자료를 이용 중심점의 경사 정도를 구할 수 있다.

격자화된 고도자료에서 한 중심점은 주위점에 대하여 X방향의 경사각 θ_x 와 Y방향의 경사각 θ_y 를 가지고 있게 되며 그 크기는 다음과 같이 된다.

$$\text{TAN } \theta_x = \frac{E(i, j+1) - E(i, j-1)}{2d} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{TAN } \theta_y = \frac{E(i-1, j) - E(i+1, j)}{2d} \dots\dots\dots (4)$$

여기에서 $E(i, j)$ 는 (i, j) 점의 고도이며 d 는 격자점간의 거리를 나타낸다. 이 때 중심점의 경사각을 θ 라 하면 $\text{TAN } \theta$ 는 다음과 같이 나타난다.

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

그림 8은 이와 같은 방법을 사용하여 처리한 조사지역의 경사각도를 나타낸다. 이 그림에서는 경사가 클수록 밝기가 밝도록 하였으며, 표 5는 이 지역의 경사분포를 나타낸다.

표 5. 조사지역의 경사각 분포(0~39)

경사각(도)	면적 (ha)	분포율(%)
0 ~ 4	266.4	48.3
5 ~ 9	104.5	17.0
10 ~ 14	74.9	12.2
15 ~ 19	64.6	10.5
20 ~ 24	69.7	8.1
25 ~ 29	30.3	4.9
30 ~ 34	15.8	2.6
35 ~ 39	9.4	1.5

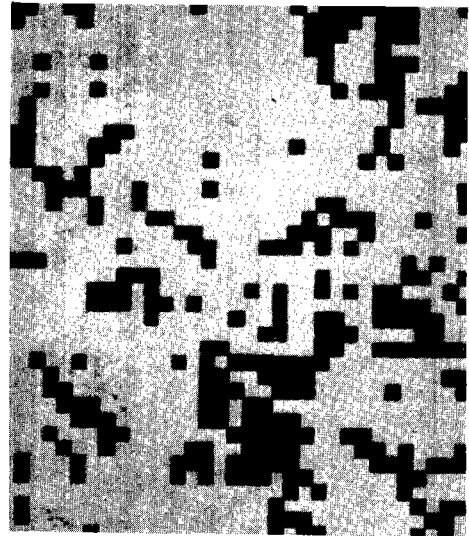


그림 9. 조사지역의 토양도

3. 토양자료 입력

유역의 유출상태를 반영하는 인자로서 토양의 분포 및 그 양상이 있다. 토양은 물을 흡수하여 저장하는 함수 능력이 있고, 이러한 능력은 토양의 종류에 따라 커다란 차이가 있으므로 흙의 종류가 유출에 영향을 주는 효과가 상당히 크게 된다. 또한, 흙의 종류에 따라 물이 스며드는 침투성이 다르고 이는 지하수면 등에도 영향을 미치므로 흙의 종류가 유출량을 결정짓는데 중요한 요인이 된다.

SCS법에서는 토양을 투수성과 함수성 등에 따라 4가지로 분류 사용하고 있다. 본 연구에서는 SCS법의 분류에 따라 토양을 4개의 수문학적 토양군으로 분류하고, 이를 조사 지역의 토양도에 적용시켜 Raster 자료로 입력하였다. 본 연구에서는 먼저 흙의 성질을 나타내 기준 중의 하나인 배수성에 의한 어구로 1차 분류를 하고 구성 성분에 따른 기준에 따라 재분류하였다. 그 기준은 표 6과 같다. 그림 9는 이와 같이 하여 입력된 토양도를 나타내고 있으며 표 7은 토양의 면적별 분포를 나타내고 있다.

표 6. SCS 기준에 따른 토양형의 분류(McCuen, 1982)

SCS 토양군	구분기준
Group A	Deep Sand, Deep Loess, Aggregated Silts
Group B	Shallow Laess, Sandy Loam
Group C	Clay Loam, Shallow Sandy Loam, Soils low in Organic Content, and Soils usually high in Clay
Group D	Soils that swell significantly when wet, Heavy plastic Clays, and Certain saline Soils

표 7. 토양의 면적별 분포

토양형	면적 (km ²)	분포율 (%)
Group A	9.6	1.6
Group B	472.0	76.7
Group C	67.6	11.0
Group D	66.3	10.8

IV. 유출해석에의 응용

Landsat, DTM, 토양 자료로부터 추출한 유출특성 인자를 조합하여 SCS법에서 정한 유출번호를 구하면 유역의 유출특성을 조사하고, 유출량을 계산할 수 있다. 유역의 유출특성을 나타내는 유출번호(CN)는 이러한 토지이용-토양형이 결정되면 SCS에서 정한 표를 이용하여 선행토양함수조건(Antecedent Soil Moisture Condition; AMC)에 맞추어 구할 수 있다. AMC는 유역에 있어서 현재 토양의 수분함유상태를 나타내는 지수로 이 조건에 따라 유출번호가 크게 바뀌게 된다.

본 연구에서는 유역의 AMC조건이 II라고 가정하고 SCS의 유출번호를 약간 수정하여 표 8과 같은 유출번호 계산표를 만들었다. 조사구역에 대하여 이 표를 사용하여 AMC II일 때의 각 점마다의 유출번호를 구하고 이를 영상좌표에 삽입해 넣어 유출번호 영상을 만들었다. 전 지역에 대한 대표값으로는 면적가중법을 써서 전체 조사구역의 유출번호를 계산해 본 결과 평균 유출 번호로서 70을 얻을 수 있었다. 이와 같이 하여 얻어진 유역의 유출번호는 유역에 내린 강우량자료와 합하여 유역의 총 유출량을 계산하는 데 쓰이게 된다.

표 8. 수정된 유출번호 계산표(AMC II 조건)

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	High	66	74	80	82
Paddy	Medium	64	72	79	81
	Low	62	71	78	81
Forestry	High	45	66	77	88
	Medium	36	60	73	79
	Low	25	55	70	77

V. 결 론

본 연구에서는 주기적으로 수집이 가능한 Landsat 자료와 유역의 지형학적 특성을 알 수 있는 DTM자료, 그리고 토양자료를 입력하여 SCS법을 사용, 유역의 수문학적 특성을 분석할 수 있는 기본기법을 제안하였다. 충주댐 상류 소구역울 시험지역으로 정하고,

- Landsat 자료를 분석하여 수문학적 지표피복형을 5 가지로 분류하고,
- DTM 자료를 이용하여 유역의 경사도를 구하고
- 토양도를 입력하여 수문학적 토양형을 3 가지로 분류한 후

수정된 SCS표로부터 유역의 각 격자점에 대한 유출번호를 계산하여 조사지역 전역에 대한 유출번호 영상을 만들었다. 하천 유역전체에 대한 대표값으로는 면적가중치법을 사용한 전 지역 평균치가 된다.

Landsat 자료와 DTM자료의 또 다른 응용으로서 댐 건설에 따른 침수구역을 댐의 수위에 따라 침수범위를 도면화할 수 있는 Digital DataBase를 구축하여 도면화하는 방법을 개발하였다.

VI. 참 언

본 연구는 과학기술처 특정연구비에 의해 수행된 연구결과 중 일부이다. 이 사업을 수행하는데 많은 도움을 주신 한국과학기술원의 양 영규, 김 의홍 박사와 배 영래 씨에게 감사를 드린다.

참고문헌

- 양 영규 1985, "Microcomputer Techniques for the Creation and Analysis of 7 1/2 Image Map from Landsat MSS, RBV, and Thematic Mapper Images, Ph. D. Thesis, Texas A & M Univ.
- Anderson, J. R. et al. 1976. "A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensing Data," *Geologic Survey Professional Paper 694*, U.S. Dept. of Interior.
- Billingsley, F. C. et al. 1983, "Data Processing and Reprocessing," ed. Cowell R. W. et al., *Manual of Remote Sensing*, Vol. I, American Society of Photogrammetry.
- General Electric 1977, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley.
- HEC. 1979, *Determination of Land Use from Landsat Imagery: Application to Hydrologic Modelling*, Hydrologic Engineering Center, U. S. Corps of Engineering.
- McCuen, R. H. 1982, *A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall.

Sung, Q. C. & Miller, L. D. 1977, "Landuse/Landcover Mapping(1:25,000) of Taiwan, Republic of China by Automated Multispectral Interpretation of Landsat Imagery," X-923-77-210, *GSFC.*