

수문계획모델에 있어서 Landsat 영상의 응용(1)

An Application of Landsat Image in Development of Hydrologic Planning Model(1)

양인태* · 김옥남** · 이권중***

Yang, In Tae · Kim, Uk Nam · Yi, Kweon Joong

Abstract

Landsat data are valuable in itself, and if they are classified in quantitative information and transformed to practical users, they will be more useful. In this view, it is very important to extract hydrologic parameter from Landsat data and to develop the hydrologic model that can be transformed to hydrologist to use it. This study is primary step for accomplishment of such purpose. This paper include output of hydrologic model which define the relation between soil condition and discharge and process of analysis of optical image or digital image that is adapted for hydrologic model. Finally, this paper present that Landsat image is very useful, economic and produce sufficiently accurate information for hydrologic model in large area watershed.

요 지

Landsat 자료는 그 자체만으로도 가치가 있으며, 이를 양적인 정보로 분류하여 실사용자에게 전수하면 그 가치는 더욱 증대될 것이다. 이러한 관점에서 Landsat 자료로부터 수문 매개변수를 양적으로 산정하고, 이를 이용할 수문학자에게 전수될 수 있는 수문모델을 개발하는 것은 매우 가치가 있다. 이 연구는 그러한 목적을 수행하기 위한 첫단계이다. 본 논문은 토지조건과 유출의 관계로 결정될 수 있는 수문모델의 결과와 그 모델에 적용할 수 있는 사진영상 및 수치영상의 해석절차를 포함한다. 결국 이 논문은 Landsat 영상이 매우 유용하고 경제적이며, 광역의 유역에서 수문모델에 대하여 충분히 정확한 정보를 제공한다는 것을 보인다.

1. 서 론

Landsat의 발사는 수자원 관리자들과 수문학자들에게 실시간 자료를 효과적으로 획득할 수 있는

가능성을 폭넓게 제시하였다.⁽¹⁾ 이러한 자료들은 수문학적인 토지이용평가, 지표수 목록 및 토양성질에 관한 정보를 추출해 내는데 이용될 수 있다.⁽²⁾ 이러한 정보는 단지 그것 자체로만으로도 가치가 있을 뿐만 아니라, 강우량으로부터 침투유출량을 측정할 목적을 갖는 수문계획모델에 있어서 유역의 전위함수를 추출해내기 위해서도 중요하다.⁽³⁾

* 정회원 · 강원대학교 공과대학 부교수

** 정회원 · 신구전문대학 조교수

*** 정회원 · 강원대학교 대학원 석사과정

인공위성 자료를 실용적이고 유용한 정보로 분류하기 위해서는 이러한 자료들을 양적인 수문 매개변수로 전환할 수 있는 확실하고도 적용이 가능한 방법을 이용하여야 한다. 그러한 방법을 개발하고, 이것을 수문학적으로 이용하려는 사람들에게 전수하는 것이 본 연구의 근본적인 목표이다. 그러한 기술전수는 Landsat의 능력, 예를들면 Landsat의 일정한 주기와 그로 인한 계절적 변수를 유역의 상태에 따라 결정할 수 있는 능력을 충분히 이용할 수 있도록 특별히 고안된 개발과 병행하는 것이 훨씬 효과적이다.

따라서 본 논문에서는 일차적으로 Landsat 영상로부터 모델에 입력하기 위한 Manning의 N값과 침투에 영향을 주는 토지이용에 대한 분류, 수로의 경사도, 유로의 길이 등을 고려한 유출모델을 개발하는데 목적을 두고 있다.

결과적으로 본 논문은 두개의 근거하에서 이루어졌다. 두개의 근거는 원격탐사된 자료를 모델에 적용할 정량적인 매개변수로 변환하여 수문모델의 입력자료로 만드는 것과 Landsat 자료를 이용할 수 있는 수문계획모델의 개발이다. 이러한 목적을 수행하기 위하여 다음과 같은 네가지 작업을 고려하였다.

첫번째 작업은 수문계획모델의 구축이다.⁽⁴⁾ 이것은 소형 컴퓨터상에서 작업을 진행하기 위하여 Fortran 77으로 작성되어졌다.

두번째 작업은 이미 구축된 수문모델에 적용할 수문 매개변수를 정량화하기 위한 세번째 작업의 전단계 작업으로, 춘천지역에서 분류하고자 하는 대표적인 토지이용을 보이는 지역에 대하여 분류를 실시하여 수문모델에의 그 적용 가능성을 판단하는 것이다.

세번째 작업은 Landsat 영상으로부터 정량적인 수문 매개변수의 추출과 이를 위한 일반화된 과정의 개발이다. 그 결과들은 수문계획모델을 구축하기 위해서 비교적 간단한 기술들로 적합한 결과를 산출할 수 있음을 보여준다.

마지막 작업은 예상되는 사용자 그룹의 검증과 모델의 교육이다.

현단계의 연구에서는 첫번째 작업으로 목적에 맞는 수문모델을 구축하여 이를 실험지역에 적용시켜 보았으며, Landsat 영상을 이용한 토지이용 분류방

법은 이미 발표된 광학영상법에 의한 방법⁽³⁾과 수치영상법에 따라, 춘천지역의 토지이용 분류를 실시하였고, 이의 성과와 항공사진에 의한 토지이용 분류 성과를 비교하였다. 세번째 단계의 해석과정 유도와 네번째 단계의 검증은 차후의 연구과제가 되겠다.

2. 수문모델에 있어서 토지피복의 중요성

가장 간단한 수문모델이라 할지라도 대부분 토지 피복을 고려한다.⁽⁶⁾ 수행방법상에 특별할 것도 있지만 일반적으로 a) 초기 지체유량의 계산, b) 지표류에 대한 지표면의 저항계수, c) 강우량을 지표류와 침투량으로 구분, d) 가능한 증발산량의 산정, e) 불침투지역 영향의 정량화 등을 포함한다.⁽⁶⁾

Landsat에서 얻은 자료들의 빈도와 해상력은 수문모델에서 요구하는 정도를 충족시키는데 충분하다. Landsat은 9일에서 18일마다 새로운 토지피복 영상을 제공할 수 있다. 이러한 빈도는 구름으로 인해 가리워져 모습이 보이지 않는다 할지라도 현재 모델들의 요구조건을 모두 충족시킬 뿐만 아니라 그 이상의 가치를 가진다.⁽⁷⁾

인공위성 영상을 이용한 모델은 대형유역을 평가하는데 용이하다. 대형 유역상의 요구사항은 토지 분류로 그 요구를 충족시킬 수 있는데, 이런 토지 이용 분류는 인공위성자료로 만들어진다. 그러므로 수문모델을 구축할 때에는 a) 도시지역, b) 농촌지역(수확전, 휴작지), c) 표면수, d) 목초지, e) 숲 등의 토지분류 능력을 갖고 있어야 한다.

이와 같은 세부 사항 분류는 지역적인 요소들 즉, Manning의 N값, 불투과성 지역의 측량 및 표면수 지역의 산출 등을 계산하는데에 큰 도움을 준다. 수문모델에서 사용되어지는 지표상관매개변수인 Manning의 N값, S.C.S. curve number 등은 필요한 정확도를 갖춘 Landsat 영상으로부터 얻어질 수 있다.

2.1 Landsat 밴드내의 토지이용 정보

Landsat 자료가 수문학적인 해석에 이용될 수 있도록 하기 위해서는 센서들의 해상력이 요구되는 정도와 측정에 충분해야 한다.⁽⁷⁾ 그리고 최적의 밴드를 피복 유형에 따라 설정해야 한다. 첫번째 범

주에 관해서 초기 Landsat의 최소한의 해상가능 영역은 약 0.4 ha(1 arc, 66×66 m) 정도였다. 그러므로 Landsat 응용능력은 상당히 넓은 지역에 해당되었다. 그러므로 초기 Landsat의 수문해석은 규모가 큰 해빙해석이나 홍수예보 등에 활용되었다. 그러나 TM 영상이나 SPOT 영상들은 상당한 해상력을 갖고 있어 좁은 지역의 해석도 가능해졌다. 그러나 아직도 해상력이 10~20 m의 경우를 벗어날 경우는 제외해야 한다. 두번째는 한가지 밴드로는 수문해석을 위한 모든 정보를 얻기가 쉽지 않지만 모든 밴드안에 받아들여진 탐측기의 정보는 많은 정보를 획득하기에 충분하다. 따라서 이들의 조합은 수문해석을 위한 토지 분류작업에 큰 도움을 준다. 예를 들어서 MSS 영상의 경우, 밴드 5(0.6~0.7 μm)는 식물로부터 낮은 반사율을 받는데, 그 이유는 파장의 길이가 엽록소에 의해 흡수되기 때문이다. 이와는 대조적으로 밴드 7(0.8~1.1 μm)은 완전한 녹색 식생으로부터 방출되는 투과량의 약 50%를 받아들인다.⁽⁸⁾

위와같은 MSS 영상의 특성을 이용하여 해당 지역에 합당한 영상과 색깔을 이용할 수 있다. 만약 연구하고자 하는 유역이 집중적으로 식물이 많은 지역을 포함하고 있다면 밴드 5를 붉은색 영상으로 암호화 할 수 있다. 이 경우 식물은 붉은색으로 나타나게 된다. 이와 함께 밴드 5는 뚜렷하게 붉은색을 띄게 되고, 밴드 6과 7도 주어진 색들을 뚜렷하게 나타내게 된다. 그 결과가 식생분포 분류를 위한 영상이 된다.

그러나 구분하기 어려운 것도 있다. MSS 영상에 있어서 숲과 들의 지역이 거의 동일한 반사율로 같은 색을 갖게 되기 때문에, 이런 경우에는 시계열 영상(multi-temporal image)이 준비되어야 한다. 2월의 영상과 10월의 영상은 침엽수가 있는 숲지역의 경우 동일하게 나타나지만, 활엽수와 들지역은 전혀 그 반사율이 달라져 구분이 쉽기 때문이다.

TM 영상은 이런 색깔의 대조를 MSS 영상보다 더 분명하게 해준다. TM 영상은 7가지 밴드로 구성되어 밴드마다 각기 다른 파장으로 영상자료를 감지하도록 되어 있다. 각 밴드들의 특징은 다음과 같다.⁽⁹⁾

- 제 1밴드(0.45~0.52 μm) ; 토지이용과 토양 식

물의 특성 해석을 보조할 뿐 아니라 물속으로 많이 침투하도록 설계된 밴드.

- 제 2밴드(0.52~0.60 μm) ; 식생분류와 활력소 분석을 위한 녹색반사 정점을 측정하기 위해 설계한 밴드로 문화형태의 확인에도 유용하다.

- 제 3밴드(0.63~0.69 μm) ; 식물종류가 달리 섞여 있는 곳에서 엽록소 흡수를 감지하기 위해 설계된 파장이며 문화형태의 확인에도 유효하다.

- 제 4밴드(0.76~0.9 μm) ; 한 영상안에 존재하는 현재의 많은 식물 자원에 응답되도록 선택되어진다. 이것은 물질 분류에 부가되며 토양과 물질, 토지와 물의 대비를 강조한 식생형태, 활력소 및 생체내용의 결정과 수체의 선작도 및 토양함수 식별을 위해서 유용하다.

- 제 5밴드(1.55~0.75 μm) ; 식생의 함수량과 토양함수의 결정과 구름으로부터 눈을 식별하기 위해 유용하다.

- 제 6밴드(2.08~2.35 μm) ; 식생의 스트레스 분석, 토양습도 구분 및 열지도화 응용에 유용하다.

- 제 7밴드(10.04~12.50 μm) ; 광물과 암석 형태의 구분에 유용하며 식생의 함수량에 민감하다.

2.2 수문모델과 토지피복의 상관성

홍수의 유출량으로 되는 강수의 작은량은 대부분 그것이 흐르는 토지표면 위의 조건과 특징들에 의해 좌우된다. 유역상에 내리는 비는 토지피복의 저지력을 받게 되는데, 이 저지력은 땅위를 흐르는 물의 침투와 증발되어지는 물의 비율을 차례차례 조정한다. 예를들면, 두터운 잔디나 나무들로 덮인 지방 유역은 그 상태가 도시 유역일 경우와 매우 다른 강우 결과를 나타낸다. 하천 유량으로 되는 많은 양의 강우는 그것이 흐르는 지표면의 조건과 특성에 따라 크게 좌우된다. 한 유역상에 내린 강우는 피복상의 방해요인들에 의해 영향을 받고, 또 이 방해물은 땅위로 흐르다가 스며들거나 증발되어지는 수량의 일부에 영향을 준다.^(3,10) 예를들어, 풀과 나무로 뺨뺨하게 뒤덮여진 한 지방의 유역은 최고 강우의 경우 도시화된 유역보다 훨씬 더 다양한 반응을 나타낸다.⁽³⁾

피복의 복합상태의 변화와 계절적인 변화는 침투 유출에 영향을 미친다. 따라서 주기적으로 피복정

보를 입수해 두는 것은 수문계획자에게 있어서 매우 값진 자료가 된다.

침투율을 예측할 수 있는 능력은 수자원 계획자와 기술자에게 있어서 중요한 관심사 중의 하나이다. 대규모로 재현되는 홍수의 크기와 강도에 견딜 수 있는 시설의 용량에 대한 결정과 설계하는데 있어서의 정확성은 시설의 비용에 중요한 영향을 준다. 이러한 목적을 위하여 계획자가 이용할 수 있는 수단은 수문모델이다. 다른 모델에 입력된 정보들이 다양하다 할지라도 모두 매우 많은 양의 지문 및 수문 정보를 필요로 한다. 이 자료들을 얻는데에는 매우 많은 비용이 들고, 때로는 그 자료들 중에서 매우 적은 부분만이 이용되기도 한다. 원격탐사는 이제까지 매우 큰 노력에 의하여 얻어지거나 전적으로 인식되지 않았던 정보에 대하여 새로운 근원을 제공한다.

수문에 대한 원격탐사 결과, 토지피복은 즉시 이용할 수 있는 Landsat 영상으로부터 추출될 수 있다는 것을 보여주었다. 그러나 사실상 간단하고, 값이 저렴하며, 정확한 방법으로 요구자료를 추출하기 위한 Landsat 영상의 이용 가능성에 대한 문제는 표준절차가 없다는 것이다.

따라서 이러한 연구의 한가지 목적은 유역의 피복을 결정하는데 Landsat 자료를 이용하기 위한 과정을 개발하는데 있다. 중요한 결과는 결국 개발된 과정이 여기에서 개발된 특별 모델에 적용되어질 뿐만 아니라, 모든 수문모델에도 일반화되어질 수 있다는데 있다.

3. 수문모델과 토지이용 분류

Landsat 자료는 두가지 형태 즉, CCT 테이프와 사진영상으로 되어 있기 때문에, 그의 해석도 컴퓨터와 시각적으로 분류하고 측정할 수 있는 두가지 방법이 존재한다.⁽³⁾

단일 Landsat 밴드는 모든 수문 정보를 포함하고 있지는 않다. 각각의 파장대는 다른 분광 범위에서 그 표면의 영상을 끌어낸다. 영상 차이의 많은 잇점은 일반적으로 시각적 해석에서는 나타나지 않는다. 과거의 작업은 대부분 단일 선택성으로부터 나온 유형과 형상을 Landsat 영상에 의하여 동일화하는 지형 특성의 분석에 의존하였다.

수문 토지피복 분석은 유역의 경계 설정으로부터 시작된다. 아주 두드러진 지역을 제외하고는 일반적으로 약간의 부수적인 정보가 요구된다.

즉, 인공위성 영상을 관독함에 있어서 지상검증을 위해 크게 도움이 되는 유용한 자료들로는 1) 지형도, 2) 토지측량 성과, 3) 항공사진 등이 있다.

분석자는 분리할 수 있는 주제들과 색깔들이 화면안에 얼마나 많이 존재하는지를 결정해야 한다. 분석가는 동일함을 증명할 수 있는 주제들의 형상을 수집한다. 이 과정에서 원격탐사를 이용한 계획모델에 대하여 다음과 같은 여러가지 기준이 개발되었다.

- 1) 최고 유출율과 강우지속기간에 중요하게 영향력을 미치는 표면과정과 표면화 과정인 모델은 모든 수문의 조정 및 관리자들을 고려해야 한다.
- 2) 현재 실현가능한 원격탐사에 의한 피복 분류의 장점을 최대로 취해야 하고, 그것들이 개발됨에 따라

Strip Model with Soil Moisture Accounting

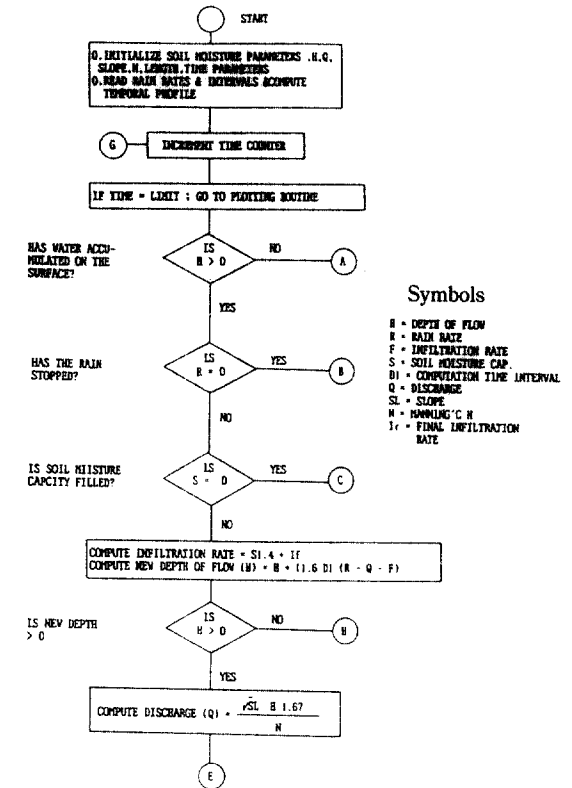
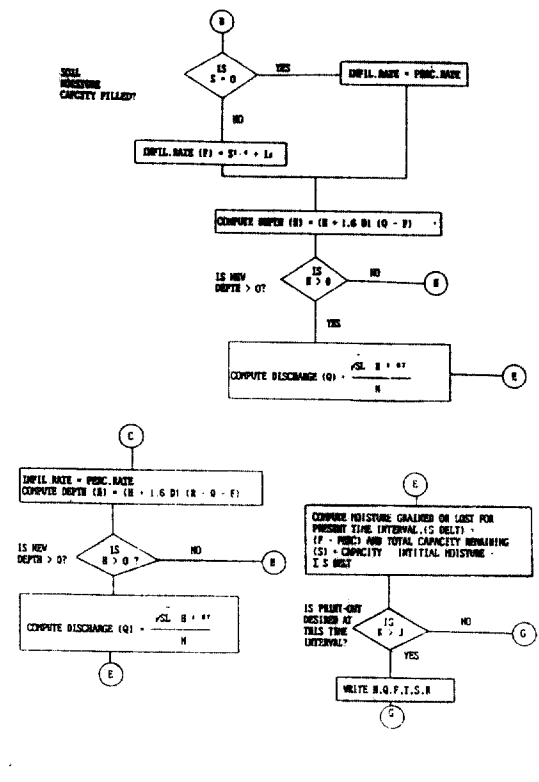
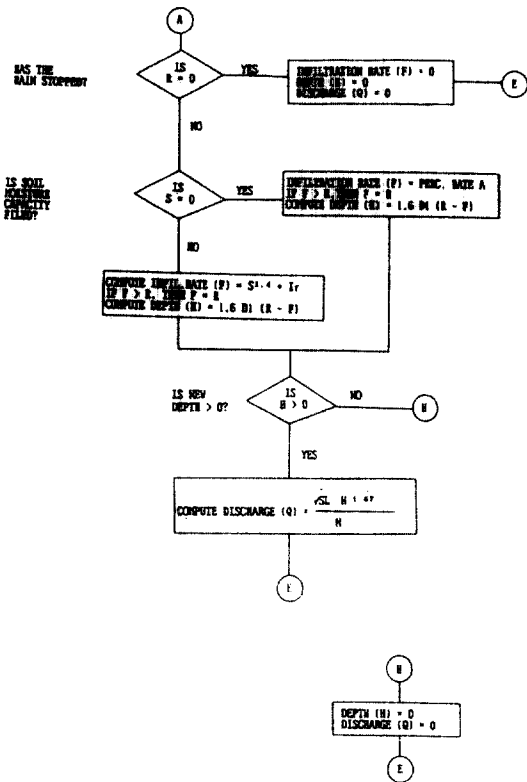


그림 1. 토양의 침투유출을 계산하기 위한 모델의 흐름도



토양, 습도 등에도 적용되어야 한다.

3) 연구의 중요 기능은 원격탐사 기술이 유역 자료를 계획모델에서 일반 분류에 어떻게 실제로 적용할 수 있는가 하는 것을 예견된 이용자들에게 보여주는 것이다.

그림 1은 피복상태의 토양습도를 계산하기 위한 모델의 흐름도이다. 이 경우 실험지역의 유로의 길이를 24.61 m, 경사율 0.005, Manning의 N값을 0.0112이라고 할 때, 그의 결과를 그림 2와 같이 나타낸다.

수문모델에 적용하기 위한 정량화된 수문 매개변수를 구하기 위해서는 Landsat 자료로부터 광학영상법과 수치영상법을 이용하여 토지이용 분류를 실시하는 것이 우선한다. 광학영상법으로 토지이용을 분류할 때 사용된 Landsat 사진영상을 보여주는 것이 사진 1이다. 이는 Landsat TM 2, 3, 4밴드를 각각 청색, 녹색, 적색으로 합성시킨 위색사진영상이다. Landsat 사진영상을 광학영상법을 이용하여 해석하는 절차⁽³⁾는 다음과 같고, Landsat 수치영상을

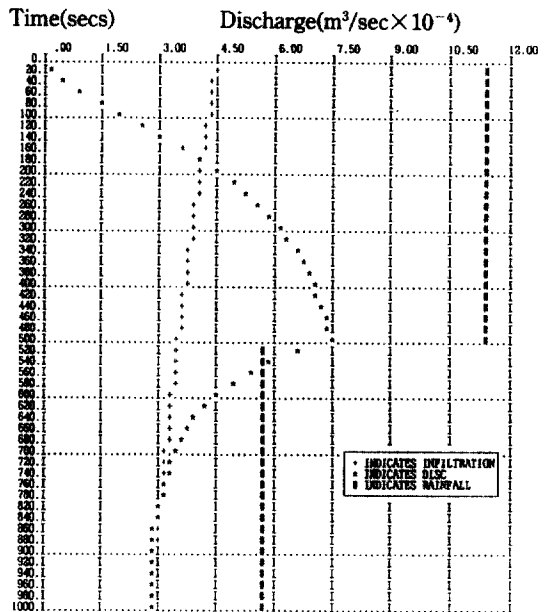


그림 2. 모델에 의한 출력 예

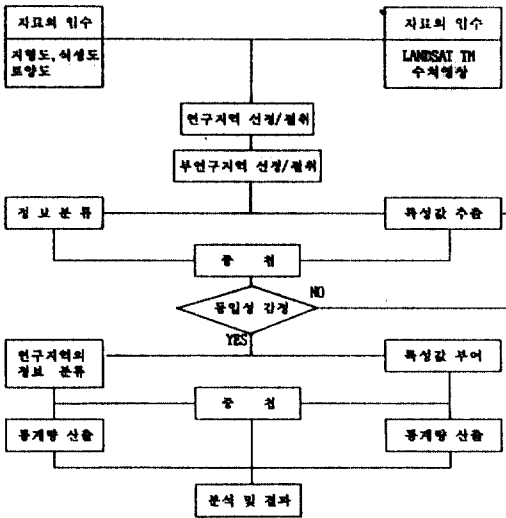


그림 3. 수치영상법에 의하여 토지이용을 분류하는 절차의 흐름도

표 1. 항공사진과 광학영상법에 의한 토지이용 분류 성과의 비교

구분 분류	Landsat 사진영상		항공 사진		비교오차 (1-(a/b))
	면적 (Km ²)	%면적 ^(a)	면적 (Km ²)	%면적 ^(b)	
도시	1.226	4.24	1.722	5.96	0.29
논	9.442	32.67	8.994	31.12	-0.05
밭	4.330	9.98	2.286	7.91	-0.26
삼림	13.224	50.76	14.623	50.60	-0.01
호수	0.678	2.35	0.832	2.88	0.18
기타	-	-	0.443	1.53	1.00
계	28.90	100	28.90	100	1.16

표 2. 항공사진과 수치영상법에 의한 토지이용 분류 성과의 비교

구분 분류	Landsat 사진영상		항공 사진		비교오차 (1-(a/b))
	면적 (Km ²)	%면적 ^(a)	면적 (Km ²)	%면적 ^(b)	
도시	1.448	1.55	1.722	5.96	0.74
논	7.444	25.75	8.994	31.12	0.17
밭	3.510	12.14	2.286	7.91	-0.53
삼림	16.387	56.71	14.623	50.60	-0.12
호수	1.111	3.84	0.832	2.88	-0.33
기타	-	-	0.443	1.53	1.00
계	28.90	100	28.90	100	0.93

수치영상법에 의하여 해석하는 절차는 그림 3과 같다.

광학영상법으로 토지이용을 분류하는 절차

- 1) 합성영상의 준비
- 2) 영사투사/지상검증 중복
- 3) 경계선 그리기
- 4) 지상검증 해석
- 5) 토지이용의 분류
- 6) 수문 매개변수의 정량화

광학영상법에 의하여 토지이용을 분류한 성과는 다음의 표1과 같다.

이와같은 수치영상법을 이용하여 Landsat 영상을 해석한 성과가 표 2에 실려있고, 이는 다시 수문모델에의 적용 가능성을 검증하기 위하여 동일 지역에 대한 항공사진의 분류 성과와 비교되었다. 전체적인 오차는 약 7%로 수문모델의 토지피복요소의 계산에 적용할 수 있는 것이다.

Landsat TM 1, 2, 4밴드의 수치영상을 토지이용에 따라 색깔을 부여하고, 각 밴드를 중첩시켜 분류를 명확하게 판단할 수 있게 보여준 것이 사진 2이다. 사진 3은 2, 3, 4밴드의 합성영상이고, 사진 4는 사진 3의 흑백영상이다. 합성영상과 흑백영상을 비교하는 것은 분류작업에 있어서 좋은 참고자료를 제공한다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 얻어진 분석결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

첫째, 수문모델에서 요구하는 토지피복 정보는 Landsat 영상으로부터 충분히 제공할 수 있다. 유역의 면적, 수로의 길이, 토지피복 분류 등은 수문모델에서 요구하는 수문매개변수들로서 이들은 Landsat 영상으로부터 실질적으로 측정되어질 수 있다.

둘째, 계절에 따른 Landsat 영상의 해석은 특별한 가치가 있다. 예를들면 10월의 영상은 식물이 차지하는 범위 정도가 낮은 때의 유역을 잘 나타내고 고차하천들을 식별할 수 있게 해주며 더 많은 수로가 같은 축척의 지도상에 나타난 것보다 측정되어질 수 있었다. Landsat 영상은 확실히 효율적인 배수능도가 연중내내 순회적으로 변한다는 것을 보여주었다.

셋째, 이미 간행된 기록은 시간이 지남에 따라

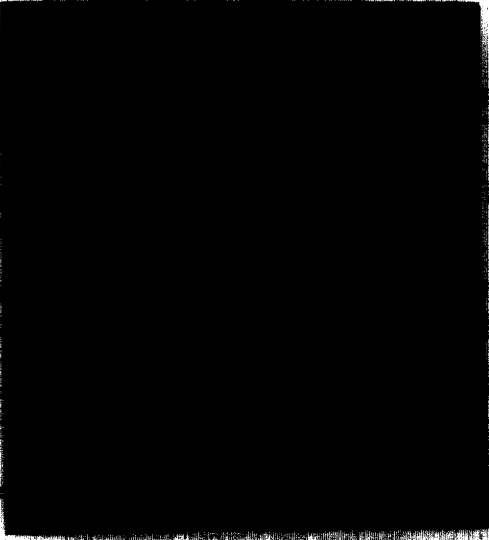


사진 1. LANDSAT TM 2-3-4밴드를 각각 청, 녹, 적색으로 합성시킨 사진영상(광학영상법으로 토지이용분류를 행할 경우의 자료영상 : 1984 10월 11일)

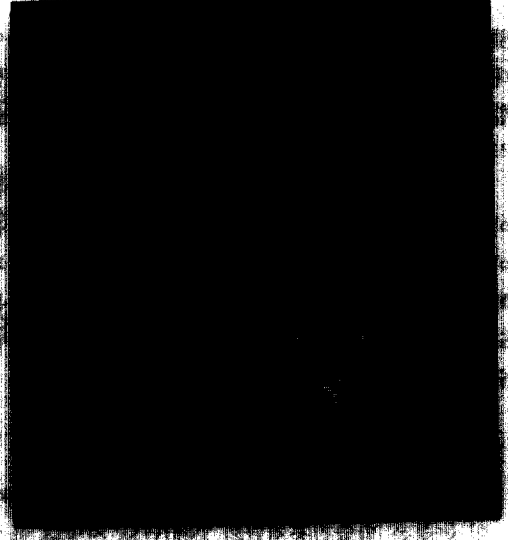


사진 2. LANDSAT TM 1, 2, 4밴드로부터 각 밴드별로 분류된 정보들을 종합시킨 영상(1밴드 도시, 2밴드 논, 밭, 삼림, 3밴드 호수 : 1989년 10월 26일)

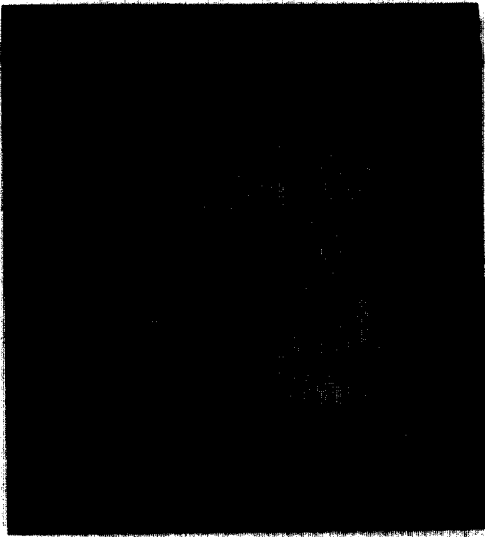


사진 3. LANDSAT TM 2-3-4밴드를 각각 청, 녹, 적색으로 합성시킨 영상(1989년 10월 26일)

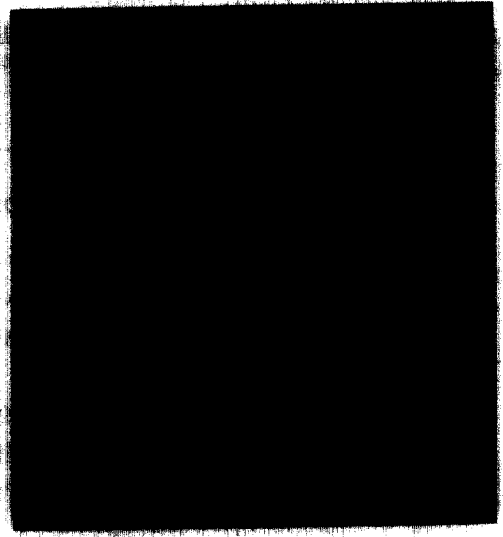


사진 4. 사진 3을 흑백으로 표현한 영상(사진 3과 비교하면 호수의 구분, 지형 형상 등의 판단을 돕는다)

변화된 유역상의 토지이용 상황을 현재 요구하는 정도만큼 만족시켜 주지 못한다. 지형도나 기타 도면을 이용하여 토지피복 매개변수를 결정하던 기존

의 방법은 도면의 제작년도를 기준으로 경과된 시간에 따라 변화된 사항들을 나타내주지 못한다. 이에 반하여 Landsat 영상은 이런 문제를 해결할 수 있는

동시성을 가지고 있다.

넷째, Landsat 영상은 유역으로부터 토지이용에 대한 정보를 제공받음으로서 불침투성 영역을 식별할 수 있는 능력을 가지게 되므로 불침투성 영역을 식별하는데 이용될 수 있다.

다섯째, 춘천지역에 대한 Landsat TM 영상을 이용하여 토지이용 분류를 수행한 결과 항공사진을 이용하여 그 수행성과의 정확성을 검증한 결과, 광학영상법은 약 16%, 수치영상법은 약 7%로 수문모델의 토지피복요소 계산에 적용할 수 있는 허용오차 범위내에 있다.

감사의 글

이 논문은 학술진흥재단의 1990년도 지방대 육성연구비의 보조로 이루어진 것으로, 이에 심심한 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Nicholas M.S., "The Landsat Tutorial Workbook", NASA, 1982, pp.309-326.

2. 内田 論, "廣域蒸發散量と地形條件 土地利用との關係", 日本リモートセンシング學會誌, Vol.10, No.2, 1990, pp.45-54.

3. 양인배, 권병덕, "수문해석을 위한 지표정보 추출의 광학이미지법에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 제10권, 제3호, 1990, pp.77-85.

4. Soil Conservation Service, "Computer Programs for Project Formulation-Hydrology", Technical Release No. 20, U.S.D.A., 1965.

5. L.W. Larson & E.L. Peak, "Accuracy of Precipitation Measurements for Hydrologic Modeling", A.G. U. Spring Meeting, 1974.

6. Soil Conservation Service, "Aerial-Photo Interpretations in Classifying and Mapping Soils", U.S.D. A., Agriculture Handbook, 1966, pp.284-293.

7. ASPRS, "Manual of Remote Sensing", Second Edition, 1983, pp.1497-1498.

8. Lillisand & Kiefer, "Remote Sensing and Image Interpretation", John Willey & Sons, New York, 1987, pp.579-583.

9. Curran P.J., "Principles of Remote Sensing", Longman, New York, 1985, pp.141-148, p.218.

10. S.C.S., "Soil Group Classes", S.C.S. Hydrology Handbook.

(接受: 1991. 12. 17)