

Landsat ETM+ 영상을 활용한 경작지역내 가뭄민감도의 연구

박은주* · 성정창** · 황철수***

(주) 쓰리지코어*, Northern Michigan대학 지리학과**, 경희대학교 지리학과***

A Study of Drought Susceptibility on Cropland Using Landsat ETM+ Imagery

Eun-Joo Park*, Jeong-Chang Seong**, and Chul-Sue Hwang***

3Gcore Inc.*, Department of Geography, Northern Michigan University**

Department of Geography, KyungHee university***

Abstract : This research investigated the 2001 spring drought on croplands in South Korea using satellite imagery. South Korea has suffered from spring droughts almost every year. Meteorological indices have been used for monitoring droughts, however they don't tell the local severity of drought. Therefore, this research aimed at detecting the local, spatial pattern of drought severity at a cropland level. This research analyzed the agricultural drought using the wetness of remotely sensed pixels that affects the growth of early crops significantly in the spring. This research, specifically, analyzed the spatial distribution and severity of drought using the tasseled cap transformation and topographical factors. The wetness index from the tasseled cap transformation of Landsat 7 ETM+ imagery was very useful for detecting the 2001 spring drought susceptibility in agricultural croplands. Especially, the wetness values smaller than -0.2 were identified as the croplands that were suffering from serious water deficit. Using the water deficit pixels, drought severity was modeled finally.

Key Words : Agricultural Drought, Tasseled Cap Transformation, Soil Moisture, Drought Susceptibility, Satellite Imagery, Remote Sensing.

요약 : 이 연구는 위성 영상을 이용하여 경작지에 나타나는 2001년 봄가뭄의 가뭄심도를 탐지하였다. 우리나라에 매년 피해를 주는 봄가뭄은 주로 기상학적 가뭄지수에 의해 모니터링되기 때문에 미시적 차원에서의 가뭄 현황 파악이 어렵다. 따라서, 각 경지에 대한 지표특성을 반영해주는 가뭄의 국지적 연구가 필요하다. 이 연구는 농작물 생육과 성장에 가장 큰 영향을 주는 토양수분을 지표로 2001년의 농업적 가뭄에 대해 분석하였다. 특히, 태슬 모자형(Tasseled cap)변환과 지형적 요인들을 이용하여 가뭄의 정도와 공간적 분포를 탐지하였다. 연구지역의 가뭄분석에서 Landsat 7 ETM+ 영상의 태슬 모자형 변환을 통해 추출된 수분 지수가 농경지의 가뭄 민감도를 잘 나타내었다. 수분지수는 다양한 토양 수분의 정도를 잘 표현해 주기 때문에, 수분 지수로 가뭄의 심도를 확인 할 수 있

었다. 특히, -0.2 이하의 수분지수 값이 나타내는 화소(Pixel)들은 2001년 봄가뭄으로 심각한 용수부족 피해를 겪고 있던 경작지로 나타났다. 그 화소들과 지형변수를 이용하여 가뭄심도를 구하는 모델을 구현하였다.

1. 서론

대부분의 자연재해는 인간에게 사회·경제적으로 막대한 피해를 주고 있는데, 그 중 가뭄은 광역적으로 피해를 주고 있다. 특히 2001년에는 평균 강수량이 기상관측 이래 90년만에 최저치를 기록하는 대가뭄이 찾아와 많은 어려움을 겪었다. 가뭄은 그 강도, 범위, 기간, 영향 등에 대한 적절한 정보를 가진다면 그 피해를 최소화할 수 있다(Kogan, 1997). 따라서 가뭄에 대한 현상파악과 면밀한 모니터링 연구는 학술적, 경제적 관점에서 매우 중요하다.

우리 나라의 농업 가뭄은 벼의 모내기 철인 5~6월에 물이 부족한 이양지연형 가뭄과 물이 가장 필요한 이삭패는 시기인 7~8월에 물이 부족한 생육장애형 가뭄으로 구분되며 가뭄으로 인하여 수확량 감소와 품질저하가 발생한다(농림부, 2001). 우리 나라는 거의 매년 봄 가뭄에 피해를 입고 있으며, 이는 초기 작물의 성장에 큰 피해를 입히고 있다. 이러한 가뭄은 넓은 지역을 포함하는 기상학적 가뭄지수에 의해 주로 모니터링되고 분석되었기 때문에, 각 지점에서 발생하는 가뭄현상의 규모나 분포를 세밀히 추정하기에는 어려움이 있다.

본 연구에서는 기존의 연구와는 달리 각 경작지 내에서 나타나는 가뭄의 심도와 그 공간적 패턴을 국지적으로 좀 더 세밀히 탐지하고자 한다. 농업 가뭄의 심도에 있어 고려되어야 할 것은 강수부족이 주 원인이지만, 결국 작물이 발아하여 추수기까지 성장과정에 있어 가장 큰 영향을 미치는 인자는 토양수분이다(NDMC, 2002; 강인주 2000). 즉, 토양 수분의 부족은 작물 성장과 발아를 방해하여 작물의 개체수와 최종 수확량의 감소를 초래한다. 그러나 초기 단계의 작물 성장에 필요한 표

층수분이 충분히 공급되면, 하층토 수분의 부족은 작물 성장 시기 때 수분이 공급된다면, 최종 수확량에 영향을 주지 않을 것이다(NDMC, 2002). 따라서 작물의 발아에 필요한 지표면 토양수분이 봄철의 농업적 가뭄에 중요한 역할을 한다.

농업적 가뭄에 가장 중요한 지표로 등장하는 토양수분은 지표면의 특성을 그대로 반영하는 위성영상에 이용하여 효율적으로 추출될 수 있다. 특히 경작지 내에 있는 각 지점의 토양수분을 통해 가뭄의 심도와 규모에 대한 직접적인 정보를 자세히 획득할 수 있다. 본 연구는 태슬 모자형(Tasseled cap)변환을 통해 추출된 수분지수와 지형적 요인들을 이용하여 경작지에 나타난 가뭄의 정도와 공간적인 분포를 연구하였다.

2. 연구지역

우리 나라의 2001년 봄가뭄은 강수량 부족과 고온현상으로 매우 극심했다. 특히 서울·경기도, 충청도 및 경북 북부 일부지역의 강수량은 25~60mm로 평년의 20~30%에 불과하여 가뭄이 심각하였다. 월 평균기온은 13.4(대관령)~20.5°C(대구)의 분포로 전반적으로 평년보다 1.5°C이상 높았다(기상청, 2001). 평균 강수량이 기상관측 이래 90년만에 최저치를 기록하면서 해안·도서 지방, 경북, 전남일대의 우심지역 이외에도 전국적으로 용수부족과 미이양 형태로 가뭄의 피해를 입었다.

충청북도의 경우, 영농기인 3월부터 강우가 시작된 6월 중순까지 평균 강수량이 38.3mm로 전년 대비 41%, 평년대비 20%로 최저치를 기록하였다. 이러한 강수량의 감소는 농업용 저수지의 저수율 저하를 초래하여, 평년에 비해 62%로 낮았다. 충청북도내 저수지 824 개 가운데 고갈된 저수지가

Table 1. Reservoir water level, ChungCheongBuk-Do, Spring, 2001.

Sum	Exhaustion	30% and below	31 ~ 50%	51% and above
824	147	298	272	107

Source: Ministry of Agriculture & Forestry, 2001.
Units : Number of reservoirs.

147(18%) 개였고, 저수율 30%이하가 445(54%) 개나 되어, 대부분의 농경지에서 저수율 저하로 인한 심각한 용수부족을 겪었다(Table 1 참고).

충청북도 청원군의 경우(Fig. 1) 특히 봄 가뭄 극복을 위한 대책비를 전국 최초로 긴급 지원을 정도로 가뭄에 의한 피해가 심각하였다. 강수량의 저하로 저수율이 낮아졌으며, 이로 인해 110ha가 용수부족으로 인해 미이양 상황이 발생하였다(이환기 외, 2001). 담작물의 경우 마늘은 키가 덜 크고 뿌리 비대에 지장을 받는 등 생육지장이 나타났다. 담배·고추·봄배추 및 원예 등은 시들음 현상으로 생육에 지장을 받았고, 가뭄이 계속될 경우 적기 식재 추진이 어렵고 고사의 피해 발생까지 우려되었다. 따라서, 이 연구에서는 2001년 가뭄의 피해가 두드러졌던 충북 청원군을 연구 대상지역으로 선정하였다. 이 지역은 비교적

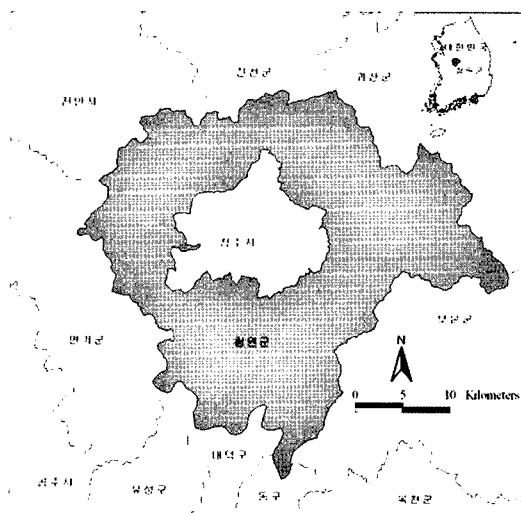


Fig. 1. Study area, Choengwon-Gun, ChungCheongBuk-Do.

농업적 경관이 뚜렷하고, 논밭 경작 비율이 다양하게 혼재 되어 있으므로 작물의 생산량에 큰 영향을 주는 농업적 가뭄 연구에 적합하다.

3. 자료의 처리

1) 기하보정 및 비검정 반사율(at-satellite reflectance)로의 변환

농업적 가뭄에 영향을 주는 토양수분 인자를 통해 경작지 내에서 매우 건조하고 가뭄에 민감한 경지를 파악하기 위해 가뭄이 한창 절정에 다다른 2001년 5월 27일의 Landsat ETM+영상을 취득하여 분석하였다. 취득된 영상은 눈에 물을 댄 수리답을 확연히 보여주며, 발작물의 특징을 잘 보여주었다. 선정된 영상은 1:25000 수치지형도를 참조하여, 이차 변환과 3차 중첩 내삽법(Cubic convolution)을 이용한 기하보정 및 재배열을 실시하였다. 이때, RMS 오차(Root Mean Square Error)가 한 화소 이내로 유지되도록 하였다. 그리고 1:25,000 축척의 수치지도와 영상의 무감도분류를 이용하여 경작지를 분류하였다.

일반적으로 위성영상의 화소값인 (Digital Number: DN)들은 검정(Calibration)전에 잡음(noise)을 포함하고 있는데, Huang 등(2000b)은 DN 값을 비검정 반사율(at-satellite reflectance)로 변환함으로써 잡음의 많은 부분을 줄일 수 있음을 보여 주었다. 특히 그들은 구름이 거의 없는 영상의 경우, 비검정 반사율로의 변환은 잡음 제거에 매우 효과적임을 입증하였으며, 태슬 모자형 변환과 같은 이차적 변환을 위한 영상 자료의 전처리로 비검정 반사율의 이용을 제시하였다. 본 연구에서도 DN을 비검정 반사율로 변환한 후, 수분지수를 구하였다. 부연하면, 지형과 대기의 영향을 고려하지 않고 DN을 비검정 반사율로 변환하는 방법으로 Markham and Barker(1986)가 제시한 방정식을 이용하였다(Huang et al., 2000b).

$$L_{\lambda} = Gain_{\lambda} \cdot DN_{\lambda} + Bias_{\lambda} \quad (1)$$

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \sin\theta} \quad (2)$$

식(1)과 (2)에서 L 은 비검정 복사휘도(at-satellite radiance), ρ 는 비검정반사율(at-satellite reflectance), 첨자로 표시된 λ 는 분광대역(spectral band), θ 는 태양고도, $ESUN$ 는 태양조도(solar irradiance)이다. Gain과 Bias 그리고 θ 값들은 기록된 영상 헤더파일(header file)에서 제공된다. 식(2)의 d 는 태양-지구간의 정규화 거리고 이심률보정계수(eccentricity correction factor) E_0 을 적용하면 $d^2 = 1/E_0$ 가 된다(Iqbal, 1983; Huang *et al.*, 2000b)

2) 태슬 모자형 변환

Gram-Schmidt의 연속직교기법을 이용한 태슬 모자형 변환은 MSS, TM 그리고 ETM+의 다중분광 밴드자료로부터 명도(brightness), 녹색식생(greenness) 그리고 수분(wetness)에 관한 특징(feature)을 추출할 수 있다(Kauth and Thomas, 1976; Crist and Cicone, 1984; 정강호, 1998). 표2는 ETM+자료의 비검정 반사율에 기초한 태슬 모자형 계수를 나타낸다. 본 연구에서는 ETM+ 6개 밴드의 비검정 반사율로 입력되는 6개 변수와 표2의 36개 계수들과의 일차결합을 통하여 6개 지수가 산출된다. 그리고 명도·녹색식생 및 수분지수가 추출된 정보량의 95% 이상을 차지한다(Lillesand and Kiefer, 2000).

명도, 녹색식생, 수분은 여러 분야에서 이용되고 있는데, 이들은 산불에 의해 나타난 식생과 토양의 특성과 직접적인 관계를 가지므로 산불피해도 작성시 이용하거나 (원강영 외, 2001), Seong

과 Lucas(2002)의 연구처럼 인간의 영향에 의한 습지 변화를 살피는데 이용되기도 한다.

본 연구에서는 다양한 방면에서 연구되고 있는 태슬 모자형 변환을 가뭄 현상을 파악하는데 활용하였다. 기존의 가뭄 연구는 주로 기상학적 데이터로 측정되어 왔기 때문에 각 경작지에서 나타나는 가뭄의 심도와 공간적 패턴을 세밀히 파악하기에 어려움이 있다. 그러나 태슬 모자형 변환에서 얻어지는 수분지수는 각 지점의 토양과 식생의 상태를 그대로 반영해주기 때문에 토양수분에 영향을 받는 농업적 가뭄 연구에 가장 적절하게 활용될 수 있다. 본 연구에서는 연구지역에 대한 태슬 모자형 변환을 시행하여 명도, 녹색식생, 수분지수를 추출하였다. 파장별 가중치에 따라 연산되는 이들 정보 중 특히 수분지수는 지표 수분상태에 매우 민감하게 반응하기 때문에 지표 온도와 식생을 통해 가뭄의 간접적인 심도를 유추하는 기존 영상 연구 이외, 이를 이용한 새로운 탐지 가능성을 보여준다.

이것은 태슬 모자형 변환에서 얻어지는 수분지수 이외, 명도와 녹색식생 역시, 가뭄과 연관하여 설명하기에 필요하다. 명도는 토양의 반사특성과 밀접한 연관이 있으므로, 식생이 없는 나지나 수분의 상태가 불량한 가뭄 지역을 효과적으로 나타내준다. 두 번째, 녹색식생은 식생의 상태를 나타내주는데, 클로로필 흡수에 따라 식생 상태를 보여주는 적색밴드와 밀도가 높을수록 그 반사도가 증가하는 근적외선 밴드의 계수가 높은 가중치를 가지며, 이를 통해 식생의 정보를 효율적으로 나타내준다.

Table 2. Tasseled cap coefficients for Landsat 7 ETM+ at-satellite reflectance(Source: Huang *et al.*, 2000a).

Index	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7
Brightness	0.3561	0.3972	0.3904	0.6966	0.2286	0.1596
Greenness	-0.3344	-0.3544	-0.4556	0.6966	-0.0242	-0.263
Wetness	0.2626	0.2141	0.0926	0.0656	-0.7629	-0.5388
Fourth	0.0805	-0.0498	0.195	-0.1327	0.5752	-0.7775
Fifth	-0.7252	-0.0202	0.6683	0.0631	-0.1494	-0.0274
Sixth	0.4000	-0.8172	0.3832	0.0602	-0.1095	0.0985

4. 연구결과

1) 수분지수의 공간적 분포

태슬 모자형 변환으로부터 얻어진 수분지수는 공간적으로 매우 역동적으로 변하는 모습을 보여 주었다. Fig. 2는 수분지수의 공간적 분포를 보여 준다. 그림에서 보는 바와 같이 건물이 밀집해있고 도시화된 지역인 a의 상단 부분은 검게 표현됨으로써 수분이 매우 낮음을 보여준다. 반면, 물은 댄 논인 b와 원 가운데에 대청호가 있는 c의 경우는 흰색에 가깝게 표현됨으로써 수분의 함량이 매우 높음을 알 수 있다. 한편, 산림지대인 d는 회색으로 표현되어 나타나고 있다.

농경지에서 태슬 모자형의 특징이 어떻게 공간적으로 변하는가를 알아보기 위하여 수분지수의 공간적 단면을 살펴본 결과가 Fig. 3에 나타나 있다. Fig. 3에서 밑부분은 확대된 수분 화상 위에 토지이용 상황을 보여주는 수치지도를 중첩한 그림이다. 화살표는 수분 단면을 그리기 위하여 선정



Fig. 2. Tasseled cap wetness image in the study area.

한 절단선으로서, 선을 통과하는 각 지점의 분광 반사율을 그래프로 나타내 준다. 절단선의 방향은 밝게 나타나는 물을 댄 논에서 출발하여 검게 나타나는 가뭄을 겪고있는 논을 지나 산 밑부분의 밭을 거쳐 산으로 이어지게 하여 전체적인 수분 양상을 살펴볼 수 있었다. Fig. 3의 윗부분은 수분

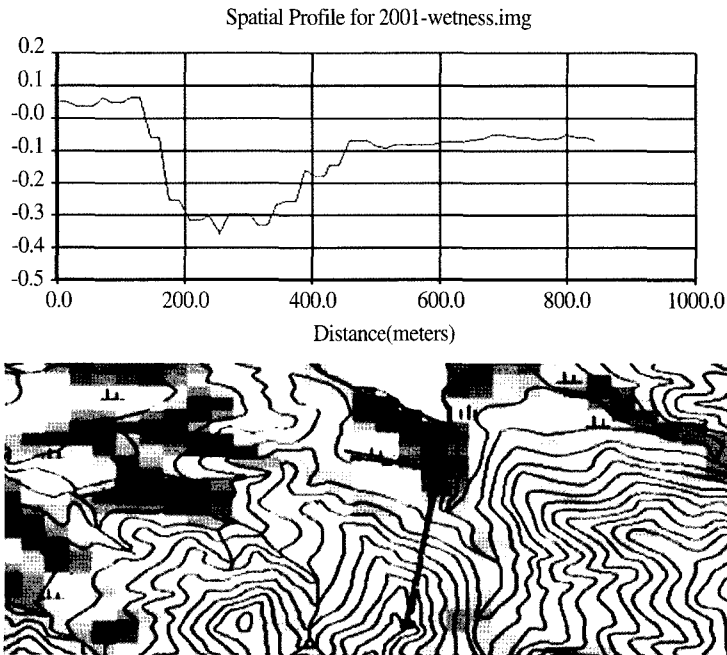


Fig. 3. Spatial changes in wetness value regarding landuse.

의 단면도를 보여준다. 물을 댄 논외의 경우 그림에서 보듯이 양의 수분지수를 보여주었으며, 호수 위나 하천에서도 양의 수분지수가 일정하게 나타났다. 산림의 경우에는 수분지수가 -0.1에서 0.0 사이에서 조금씩 변화하는 양상을 볼 수 있었으며, 물을 못댄 논과 식물의 생장이 가뭄으로 인하여 영향을 받고 있는 밭의 경우는 수분지수가 -0.2 이하로 나타남이 관찰되었다.

2) 수분지수와 공간적 변수와의 관계

태슬 모자형으로부터 도출된 수분의 공간적 분포 패턴을 수자원과 관련하여 파악하는 것은 농업적 가뭄의 이해에 중요하다. 그러나 낮은 수분지수가 반드시 가뭄 민감도를 제공해 주는 것은 아니므로, 다양한 지역성을 반영해야 한다. 따라서 지역적 특색을 나타내는 지형변수 중 몇 가지를 선정하여 수분지수와와의 관련성을 찾아보았다. 공간적 변수와 수분지수는 실제 어떠한 상관성을 보이는지 살펴보고, 이를 통해 가뭄 민감도에 영향을 주는 요인을 알아보았다. 적용된 수분지수는 평균 필터링된 값을 사용함으로써 국지적인 편차를 줄이고 전반적인 경향을 나타내었다.

선정된 변수는 수분지수와 수자원의 규모를 나타내주는 하천 누적흐름, 수자원과의 근접성을 나타내주는 수계까지의 거리, 그리고 지형요인을 받

영해 주는 경사이며, 수분지수와와의 관계는 산포도를 통해 파악하였다.

수분지수와 하천 누적흐름에 대하여 정의 강한 상관관계가 일반적으로 예상되었으나, 어느 한 누적흐름의 양에 대하여 매우 다양한 수분지수를 나타냈다. 상관성이 없는 이들의 관계는 가뭄 대책이 가능한 하천 수원의 용량이 클수록 수분지수가 높지 않으므로, 낮은 가뭄 민감도를 설명해 주지 않는다. 즉, 수자원의 규모를 보여주는 하천의 누적흐름이 가뭄에 영향을 주는 실제 수분분포를 결정하고 있지 않았다.

그러나 수자원과의 근접성을 나타내주고 있는 수계까지의 거리는 이와는 다른 양상을 보이고 있다. 수자원과의 거리가 멀어질수록, 수분지수는 급격히 떨어지는 부의 상관관계가 나타날 것으로 보였으나, 수원과 근접한 거리에서는 다양한 수분지수가 강도 있게 나타나다가 그 거리가 증가함에 따라 한 수분지수로 수렴되는 패턴을 보여주었다 (Fig. 4). 수자원과 근접성이 높을수록 나타나는 높은 강도(intensity)의 수분지수는 가뭄 민감도가 떨어지는 지역을 보여준다. 따라서 가뭄에 민감한 지역은 수자원의 규모보다는 그 근접성이 영향을 미치는 것으로 나타났다.

수분지수와 경사와의 관계 또한 수계까지의 거리와 유사한 양상이 관찰되었다. 즉, 경사가 높아질수록 수분지수의 다양성이 점점 줄어들어 결국, 수분값이 수렴되어가는 패턴을 보여주었다.

3) 수분지수와 공간적 변수를 고려한 가뭄민감지역 파악

앞에서 살펴봤듯이, 태슬 모자형에서 얻어진 수분지수는 농경지의 상태를 역동적으로 반영해 주고 있었다. 이는 가뭄 민감 지역의 파악에 수분지수가 효율적인 지표로서의 역할을 명확히 보여주고 있다. 이러한 수분지수의 특징과 실제 수분분포에 영향을 주는 수계까지의 거리는 가뭄 민감도와 가장 연관 있는 요인으로 나타났다.

이러한 요인을 토대로 가뭄의 심도를 가시적으로 표현해 보고, 그 공간적 패턴을 살펴보려 한다.

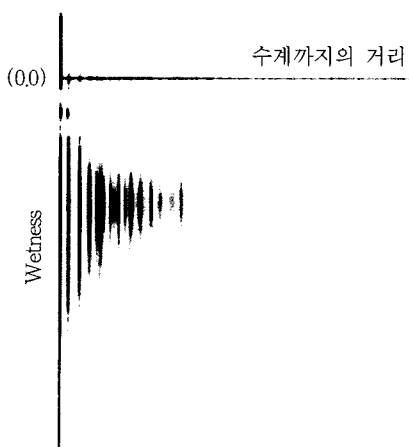


Fig. 4. Relationship between wetness and distance from water.

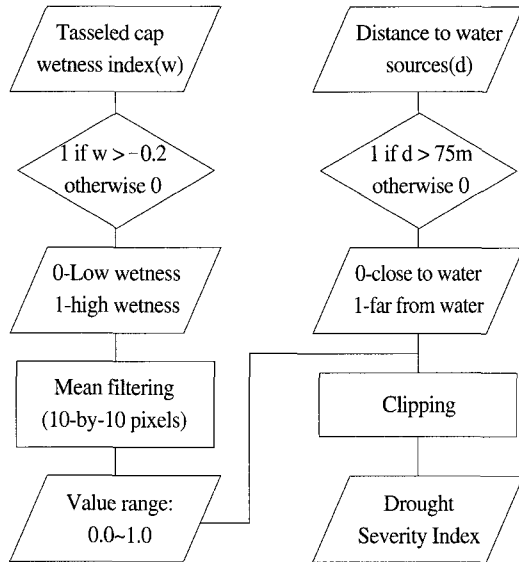


Fig. 5. Drought susceptibility calculation model considering the tasseled cap wetness and spatial factors.

이를 위해서 관찰된 요인들에 대한 조건문을 구성해 간단한 가뭄 민감 모델을 만들고, 민감지수를 산정하였다(Fig. 5).

Fig. 5에서 보듯이, 태슬 모자형변환으로부터 얻어진 수분지수들을 조사한 결과 -0.2를 경계로 가뭄지역과 그렇지 않은 지역으로 구분되었으므로, -0.2를 기준으로 자료를 분류한 후, 국지적인 오차를 제거하기 위하여 평균 필터링을 실시하였다. 단순한 수분지수는 농경지 내의 여러가지 상황을 반영한다. 따라서, 낮은 수분지수라고 해서 반드시 가뭄에 민감하다고 볼 수 없는 경우가 있다. 예를 들어, 수리답이며 관계 여건이 좋아 가뭄에 영향을 극히 적게 받는 논이라고 하여도, 일부러 물을 안뺐거나 논농사가 아닌 다른 특용작물의 재배를 위하여 사용하는 경우 수분지수가 매우 낮게 나타날 것이다. 농경지의 이용이 매우 다양화되어 가고 있는 현재의 추세에 비추어볼 때, 그와 같이 의도적으로 수분지수를 떨어뜨린 화소들은 가뭄 지역의 파악에 오차를 불러올 수 있다. 또한, 큰 수계까지의 거리가 매우 가까운 농경지들은 언제나 양수가 가능하기에 비록 수분지수가 낮게 나타



Fig. 6. The spatial distribution of drought-susceptible pixels.

난다고 해도 가뭄 민감화소들이라고 보기는 힘들 것이다. 따라서 평균 필터링을 통해 이러한 국지적 오차를 줄이고, 전체적인 통계값을 유지시켰다.

이렇게 산출된 수분지수는 가뭄 민감도에 영향을 덜 받는 지형변수를 반영해야 한다. 대규모 하천과 같은 수원으로부터 75미터 이내의 지역을 가뭄 민감지역에서 제외하였다. 최종적으로 얻어진 가뭄민감지수(drought severity index)는 0.0에서 1.0의 범위에 있으며, 1.0은 주변 100개의 화소 가운데 수분지수가 -0.2이하인 화소가 하나도 없는 화소를 의미하며, 이는 가뭄에 매우 둔감한 화소라고 볼 수 있다. 반면, 0.0은 그 화소를 포함한 주변 100개의 화소의 수분지수가 모두 -0.2 이하인 것을 의미하는데, 이는 가뭄에 매우 심각하게 영향을 받는 지역을 나타내어준다.

Fig. 6은 Fig. 5의 모델로부터 얻어진 가뭄에 심각하게 영향을 받은 화소를 보여주고 있다. 한편, Fig. 6은 가뭄민감지수가 0.2 이하인 화소들만을 나타냄으로써, 특히 가뭄에 심각하게 영향을 받은 농경지들을 보여주고 있다. Fig. 6의 화소들이 실제로 가뭄을 겪었는지를 알아보기 위해, 현장 답사와 오차 검증을 실시한 결과, 이러한 화소들은 2001년에 대부분 심각하게 가뭄을 겪었으며, 논보다는 수리시설이 적은 밭에서 대부분 그 피해가 심각한 것으로 나타났다.

5. 결 론

이 연구에서는 위성 영상을 이용하여 경작지에 나타나는 가뭄민감도와 그것의 공간적 분포를 고찰하였다. 각 지점에 대한 지표특성을 그대로 반영해 주는 태슬 모자형 변환과 지형적 요인들은 가뭄의 국지적 연구에 대한 가능성을 열어주었다. 그리고, Landsat ETM+ 영상의 태슬 모자형 변환을 통해 추출된 수분 지수는 농경지의 가뭄파악에 유용함을 보여주었다. 특히, -0.2 이하의 수분지수 값은 심각한 용수 부족으로 피해를 입는 경작지를 잘 나타내어 주었다. 지형의 경사, 수계까지의 거리, 하천의 누적흐름을 포함한 지형 요인들은 가뭄 민감도와 직접적인 상관관계를 찾기 어려웠다. 이는 많은 토지이용유형이 같은 지형 조건에서 관찰되었기 때문이다. 농업적 가뭄에 가장 큰 요인인 토양수분과 상관관계를 통해 밝힌 근접성 요인을 이용하여 구성된 가뭄민감모형은 가뭄민감지역을 가시적으로 나타내 주었다.

단일 시기의 Landsat ETM+ 영상을 이용하여, 가뭄 탐지 능력에 대한 가능성을 파악해 보고, 이를 통해 여러 변수 적용과 일반적인 가뭄 연구로서의 가능성을 모색하였다. 이러한 결과는 시계열 영상을 토대로 한 수분지수의 지속적인 변화고찰과 토지피복, 식생지수, 토양도 등의 다양한 변수 적용을 수행함으로써, 보다 정확하고 일반적인 가뭄 모니터링 기법으로 발전 시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

강인주, 2000. 가뭄관리를 위한 수문학적 의사결정에 관한 연구, 고려대학교 박사학위논문, pp. 11-12.
 기상청, 2001. 기상월보, pp. 3-5.
 농림부, 2001. 가뭄극복백서, pp. 15-17.
 원강영, 임정호, 2002. 단일 시기의 Landsat 7 ETM+ 영상을 이용한 산불피해지도 작성,

대한원격탐사학회지, 17(1): 85-97.
 이환기, 최병만, 이한구, 2001. 2001년 전국 가뭄현황 및 가뭄극복 대책, 한국수자원학회지, 34(4): 32-43.
 정강호, 1998. 위성TM자료와 GIS기법을 이용한 서울시 연무추출 연구, 국민대학교 석사학위논문, 56p.
 Crist, E. P. and R. C. Cicone, 1984. Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data- The TM Tasseled cap, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-22(3): 256-263.
 ERDAS, 2002. Imagine(tm) Version 8.4, Atlanta, Georgia, URL: <http://www.erdas.com>.
 Huang, C., B. Wylie, L. Yang, C. Homer, and G. Zylstra, 2000a. Derivation of a Tasseled Cap Transformation Based on LANDSAT 7 at-Satellite Reflectance, USGS, EROS data center, Sioux Falls, SD, 10p.
 Huang, C., L. Yang, Homer, and C., B. Wylie, J. Vogelman, and T. DeFelicce, 2000b. At-Satellite Reflectance : A First Order Normalization of LANDSAT 7 ETM+ Images, Raytheon ITSS, EROS data center, Sioux Falls, SD, 9p.
 Irish, R. R., 2000. Landsat 7 science data user's handbook, Report 430-15-01-003-0, National Aeronautics and Space Administration, URL:http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html.
 Iqbal, M., 1983. *An Introduction to solar radiation*, Academic Press, Toronto, 390p.
 Jensen, J. R., 1996. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA.
 Kauth, R. J. and G. S. Thomas, 1976. The Tasseled Cap - a graphic description of spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat, *Proceedings of Symposium on Machine Processing of Remote Sensed*

- Data, Purdue Univ., West Lafayette, USA, pp. 326-335.
- Kogan, F. N., 1997. Global Drought Watch from Space, *American Meteorological Society*, URL: <http://orbit-net.nesdis.noaa.gov/crad/sat/surf/vci/>.
- Lillesand, T. M. and R. W. Kiefer, 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- NDMC (National Drought Monitoring Center Home page), 2002. Understanding and Defining Drought, URL:<http://enso.unl.edu/ndmc/enigma/def2.htm>.
- Seong, J. C. and A. Lucas, 2000. Characterizing Human Impacts On Wetlands Using Satellite Imagery at Seney, Michigan, U.S.A., *지리학 연구*, 36(1): 51-61.