

## 위성영상의 토양수분 정보와 공간적 요인을 고려한 가뭄 민감도 분석

박은주\* · 황철수\*\* · 성정창\*\*\*

### The analysis of drought susceptibility using soil moisture information and spatial factors involved in satellite imagery

Eun-Joo Park\* · Chul-sue Hwang\*\* · Jeong-Chang Seong\*\*\*

#### 요 약

본 연구에서는 위성 영상을 이용하여 경작지에 나타나는 봄가뭄의 가뭄 심도와 공간적 패턴을 분석하고 그 효용성을 평가하였다. 가뭄이 심각한 우심지역에 대한 신속한 분석은 효과적인 정책 수립과 피해를 감소시키는데 필수적 요소이다. 우선 농작물 생육에 가장 큰 영향을 주는 토양수분에 관한 정보는 Tasseled cap 변환으로 얻어진 Wetness value를 통해 확인하였다. 그리고 NDVI와 Wetness의 상관관계분석을 통해 가물어가는 농경지의 상태 파악이 가능하며, 피복 정도를 통해 발작물에 대한 가뭄 영향력을 이해할 수 있었다. 또한 설명력이 높은 주성분 요인들과 Wetness의 상관관계분석에서 건조한 지역을 가려내어 가뭄지역을 밝힐 수 있었다. 마지막으로 분석을 통해 확인된 가뭄 민감지역과 실제 가뭄 대책비와의 높은 상관관계는 국지적 가뭄 연구의 가능성과 가뭄 정책 수립 시 의사결정지원 가능성을 보여주었다.

주요어: 가뭄, 토양수분정보, 공간분석, Tasseled cap 변환

**Abstract** : The severity and spatial patterns of spring drought on the croplands are investigated using satellite imagery(Landsat ETM+). It is necessary to analyze the area droughty conditions in order to decrease the damage and make the efficient policies. In this context, the information about soil moisture levels, which were fatal factors to the crop growth, was acquired from wetness values calculated from Tasseled cap transformation. We confirmed that the wetness values have a strong correlation with NDVI and the principal components. The result showed that the intensity of vegetation covering the surface could be understood as the

\* ㈜쓰리지코어 위성영상사업팀(RS Business Team, 3Geore Inc., venerator@hanmail.net)

\*\* 경희대학교 지리학과 조교수(Department of Geography, Kyung Hee University, hcs@khu.ac.kr)

\*\*\* 북미시건대학교 지리학과 조교수(Department of Geography, Northern Michigan University, jseong@nmu.edu)

index of the impacts of drought on croplands and these relationships were effective to classify dry areas in satellite imagery.

**Keywords** : Drought, Soil moisture value, Spatial analysis, Tasseled cap transformation

## 1. 서 론

우리 나라는 2001년에 고온 현상과 강수량 부족으로 인하여 극심한 봄 가뭄을 겪었다.

특히 평균 강수량이 기상관측 이래 90년만에 최저치를 기록하여 전국적으로 대가뭄의 피해를 입게 되었다. 가뭄은 특별히 인지할 시간적 여유 없이 그 심도가 급격히 발전되는 특성을 갖는다.

가뭄의 강도, 범위, 기간, 영향 등의 정보를 얻기 위한 모니터링 연구는 주로 기상 데이터에 의존하여 이루어져 왔다. 그러나 기상 데이터가 고르게 분포하지 않거나 불완전할 때 이 자료만으로는 특히 가뭄에 대한 국지적인 모니터링을 하기에 부족하다(Albert et al., 2002). 더욱이 우리나라는 조밀하고 복잡한 지형을 지녔고 관개시설에 따른 지역적 차이 때문에 다양한 지점에서 나타나는 가뭄의 현황을 반영해 줄 수 있는 지표와 국지적 연구가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 기존의 연구와는 달리 각 경작지 내에서 나타나는 가뭄의 심도와 그 공간적 패턴을 국지적으로 좀 더 세밀히 탐지하고자 한다.

경작지에 나타나는 농업적 가뭄은 작물의 생육을 결정짓는 토양수분이 실제적인 피해여부를 결정한다. 토양 수분의 부족은 작물 성장과 발아를 방해하여 작물의

개체수와 최종 수확량의 감소를 초래하기 때문에 봄철 농업적 가뭄에 큰 영향을 미친다(NDMC, 2002). 특히 작물 성장의 초기단계는 매우 중요한 시기인데, 표층수분 공급량이 원활하여야 작물이 고사하거나 성장에 피해를 입지 않는다. 그러나 우리나라에 자주 일어나는 봄 가뭄은 벼의 모내기철인 5~6월에 농업용수 부족을 초래하여 이앙지연과 발작물 고사 등으로 인한 수확량 감소의 피해를 초래한다(농림부, 2001). 이를 극복하기 위해 정부와 지방자치단체에서는 관정이나 양수기 설치, 성금 모금활동 등의 다양한 대책을 강구한다.

그러나 피해 감소와 가뭄 현장에서 효율적인 자원할당을 위해서는 지속적인 감시와 우심지역에 대한 정확한 파악이 선행되어야 한다.

본 연구에서는 각 지표의 특성을 그대로 감지하는 위성영상을 가뭄 분석에 이용하고자 한다. 즉, 작물이 성장하는 초기 단계에 용수부족으로 인한 가뭄 피해는 각 경작지의 지표면 특성에 반영되기 때문에 이를 위성영상으로 분석하여 국지적 공간 패턴과 가뭄의 정도를 상대적으로 비교하는데 초점을 두었다. 특히 논외의 경우 수분이 가장 필요로 되는 이앙시기에 작물의 발아를 돕는 적정 수분공급은 가뭄 극복을 위해 가장 중요시 되는 조건이다. 그러므로 이앙시기의 영상에서 토양

수분 정보를 추출함으로써 직접적인 분석을 할 수 있다. 본 연구는 가뭄 심도에 중요한 역할을 하는 토양수분을 통해 봄철 농업가뭄을 탐지해 보고 이후 가뭄의 정책 행위와의 관계를 평가해 봄으로써 국지적 가뭄연구의 타당성을 검토하였다.

## 2. 연구지역

2001년은 평년의 20 ~ 30%에 불과한 강수량으로 인하여 전국이 봄가뭄의 영향권 안에 들었는데, 특히 경기북부와 중부지방이 심각한 가뭄의 피해를 입은 것으로 나타났다(기상청, 2001). 봄 가뭄에 영향을 주는 4월까지의 강수량을 보면, 1~2월 강수량은 95.5mm로 평년(51.1mm)보다 월등히 많으나 3~4월 강수량은 18.6mm로 평년(110.6mm)보다 크게 미달하였으며, 5월 강수량도 예년에 비해 적고 건조한 날이 많았다(농림부, 2001).

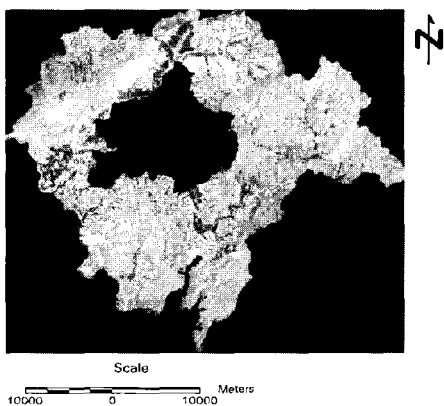
이렇게 전국적인 강수량 부족은 작물의

성장에 피해를 주는 농업용수의 부족으로 이어졌다. 본 연구의 대상지역(그림 1)으로 선정한 충청북도 청원군은 봄 가뭄을 극복하기 위한 정보의 대책비가 전국 최초로 긴급 지원될 정도로 가뭄에 의한 피해가 심각하였다. 강수량의 저하로 저수율이 낮아졌으며, 이로 인해 110ha가 용수 부족으로 인해 미이양 상황이 발생하였다(이환기 외, 2001). 담배·고추·봄배추 및 원예 등의 발작물은 시들음 현상으로 생육에 지장을 받았고 고사의 피해 발생까지 우려되었다. 2001년 가뭄의 피해가 두드러졌던 충북 청원군은 경작지 내의 논과 밭의 토지이용이 고루 분포되어 있어 작물들의 피해를 초래하는 농업적 가뭄의 심도를 살피기에 적절하다.

## 3. 자료의 처리

### 3.1 기하보정 및 이미지 표준화

가뭄에 의한 경작지 내의 작물 피해는 성장에 직접적인 영향을 미치는 토양수분 인자를 통해 효율적으로 설명할 수 있다. 이와 같이 물리적 속성으로 위성영상에 내재된 정보를 이용하여 매우 건조하며 가뭄에 민감한 경지를 파악하기 위해 가뭄의 피해가 극대화된 시기의 영상, 즉 2001년 5월 27일 Landsat ETM+ 중부 영상(path 115, row 35)을 연구 대상으로 선정하였다. 농업용수의 공급이 가장 요구되는 이앙기 시기로서, 수리시설이 양호한 곳은 영상 내에서도 물을 댄 수리답의 상태를 확연히 보여지고 있었다. 선정된 영



[그림 1] 연구대상 지역 (충청북도 청원군: 연구지역에서 청주시 제외)

상은 1:25,000 수치지형도를 참조하여 이차 변환과 Cubic convolution을 이용한 기하보정 및 재배열을 실시하였으며 RMSE는 0.46 픽셀로 유지하였다. 농업적 가뭄의 연구 범위인 경작지는 1:25,000 축척의 수치지도와 현지 답사를 참조하여 감독분류를 통해 제작하였다. 한편 본 연구는 영상처리를 위해 ER-Mapper 6.0와 ERDAS 8.4를 이용하였다.

영상에서 표현되는 DN 값은 대부분 노이즈를 포함하고 있는데, 연구지역의 영상을 위성 내 반사값으로 변환시킴으로써 낮은 수준의 노이즈로 감소시켰다. Huang 등(2000)에 의해서 제안된 이 표준화 방법은 영상에서 노이즈를 감소시키는데 효과적임이 입증되었고 더욱이 다른 2차적인 변환 시 좀 더 상세한 분광값을 표현해 주기 때문에 유용한 기법이다.

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

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

$$d^2 = 1/E_0 \quad (3)$$

식에서  $L$ 와  $P$ 는 각각 위성의 방사와 반사이다.  $\lambda$ 는 분광밴드를 말한다. Landsat7 ETM+에서 각각 gain과 bias, 태양의 고도 값은 이미지 헤더 파일에서 찾을 수 있다. 태양 방사도  $ESUN_{\lambda}$ 는 Landsat7 Science Data Users Handbook(Irish, 2000)에서 제공된다. 연도와 일별에 따른 표준화된 태양과 지구와의 거리  $d$ 는 이심률 보정 factor  $E_0$ 로부터 계산할 수 있다.  $E_0$ 는 Iqbal (1983)의 표(부록)를 참조하여 계산하였다.

### 3.2 Tasseled cap 변환

식생지수 중 하나인 Tasseled cap변환은 Brightness(밝기), Greenness(식생), Wetness(수분)의 세 가지 정보를 도출함으로써 전체 분광변이에 대해 95%가 넘는 설명력을 가진다(Jensen, 1996). 이러한 지수들은 연구지역에 대한 식생 상태, 수분의 분포, 밝기의 패턴 등의 특징을 드러내줌으로써 환경상태에 대한 효과적인 이해를 돕는다. 가뭄은 극심한 표토층의 수분부족과 불량한 피복상태, 나지와 같은 황폐한 상태로 나타난다. 따라서 이 세가지 정보는 각 지표면의 상태를 분광특성에 따라 여실히 보여주기 때문에 가장 적합한 변환 기법이다.

Brightness는 토양의 밝기 차이를 드러내 주는데, 가뭄에 영향을 받아 발작물이 마르거나 고사하면 반사값이 높아져 화상에서 밝게 나타난다. Greenness는 식생의 활력도를 감지하는데 정확한 능력을 보이며, 피복 예측시 토양의 종류와 수분의 변이에 의한 영향을 덜 받는다. 이에 비해 NDVI는 습기 있는 토양에서 좀 더 높은 값을 갖는다. Greenness는 NDVI에 비해 높은 대조 이미지(contrast image)를 제공하여 보다 효과적인 해석을 가능하게 한다(Aufmuth, 2001). Wetness는 중적외선 파장대에서 식생과 토양의 수분이 많은 곳은 낮은 반사도를 보임으로써, 대상물 전반에 관한 수분을 정확히 감지하는 밴드이다. 토양과 작물의 상태를 여실히 드러내 줌으로써, 경지내의 낮은 수분값은 가뭄에 민감할 수 있는 경작지 상태를 나타내 준다.

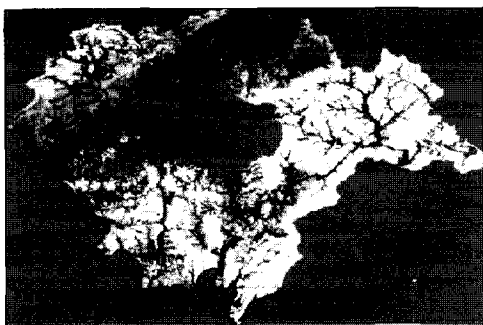
### 3.3 주성분 분석

주성분 분석(Principal Component Analysis)은 원래 화상을 변환하여 해석이 보다 용이한 새로운 화상을 만들어내는데(Jensen, 1996), 영상에서 물리적인 분광특성에 따른 가뭄 정보를 탐색하기 위해 사용하였다. 연구지역의 주성분 1, 2 요인은 전 밴드에 대해 95%의 설명력을 차지하고 있으며, 이들 요인들을 가뭄을 분석하기에 적합한 것으로 판단하였다.

표 1은 각 요인들의 특징을 자세히 보여주는 Eigen value matrix이다. 제 1요인은 대부분 높은 값을 가지고 있으나, 특히

<표 1> Eigen value matrix.

PC \ Band	1	2	3	4	5	6
1	0.25	-0.24	-0.33	0.76	0.22	-0.39
2	0.30	-0.23	-0.36	0.08	0.09	0.85
3	0.48	-0.40	-0.35	-0.59	-0.09	-0.36
4	0.03	0.71	-0.63	-0.01	-0.28	-0.06
5	0.57	0.47	0.28	-0.10	0.60	-0.01
6	0.54	0.06	0.40	0.24	-0.69	0.04



[그림 2] 연구지역의 NDVI 분포

밴드 5, 6에서 0.5 이상의 상관관계를 가지므로 증적외선을 주로 반영해 준다. 제 2요인은 밴드4에서 높은 상관관계를 나타내므로 근적외선의 분광특성이 반영되고 있다. 이 요인은 식생의 정보를 두드러지게 나타낼 수 있으며, 영상 내에서 특히 식생의 밀도가 높은 곳을 희고 선명하게 나타내고 있다.

### 3.4 NDVI

NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)는 가시광선(특히 적색 영역)과 근적외선에서 녹색 식물의 반사율 차이가 크게 나는 것을 이용하여 식생의 분포상태를 추출하는 지수이다. 이 식생지수는 가뭄 평가에 유의한 지표로 활용되고 있다. 식생의 상태와 범위를 통한 가뭄연구는 일반적인 기법으로써, Kogan(1997)은 식생 스트레스(Vegetation Stress)의 정도에 따른 식생상태지수(Vegetation Condition Index)를 만들어 농작물과 식생에 영향을 주는 가뭄을 효율적으로 파악하고 넓은 지역에 유리한 연구임을 보여주었다.

$$NDVI = \frac{band4 - band3}{band4 + band3} \quad (4)$$

NDVI(그림 2)는 Tasseled cap에서 얻어지는 Wetness와 정(正)의 상관관계를 가지는데(Aufmuth, 2001), NDVI의 수치가 높아질수록 수분의 상태는 증가한다. 반대로 두 지수의 낮은 값은 식생의 수분상태가 매우 낮아 건조한 지역에서 나타나므로 이를 통해 가뭄의 범위와 분포, 강도, 평가에 유용한 지표가 된다.

## 4. 위성 영상을 이용한 가뭄민감지역 추출

### 4.1 분광특성을 통한 가뭄특성분석

Tasseled cap으로부터 도출된 Wetness값은 그 분포와 군집(clustering)의 패턴에 따라 매우 건조하거나 나지인 지역을 보여준다. 단순한 수분 상태를 나타내주는 Wetness는 가뭄에 영향을 받는 식생이나 토양의 건조한 수분 수준을 가려내 주지 못하기 때문에 여러 요인과의 고찰이 필요하다. 논과 밭이 혼재된 경작지 범위 안에서의 Wetness와 다른 요인과의 상관관계는 민감도 있는 수준을 효과적으로 보여준다. 각 경지 상태를 반영해 주는 이들 분광특성을 통해 가뭄이 나타나는 유형과 실제 영향을 받는 농경지를 찾아볼 수 있다.

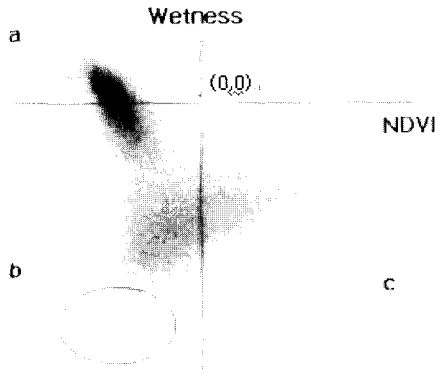
그림 3에서 NDVI는 Wetness와 높은 정적(正的) 상관관계를 나타냈다. c처럼 두 수치가 매우 높은 곳은 식생과 작물 성장이 활발한 밭을 보여주고 있으며, 그림 3 ~ 7까지 Wetness가 양의 값인 모든 a면은 수분함량이 매우 높게 나타나 물을 댄 논 특징을 명확히 드러내고 있다. 토양과 식생의 수분 상태가 불량한 가뭄 지역은 NDVI와 Wetness의 값이 가장 낮은 곳인 b에서 찾을 수 있다. 이러한 패턴은 Greenness(그림 7)에서도 유사하게 나타나고 있다. 특히 -0.2 이하로 매우 낮은 수분 분포들은 가뭄에 매우 민감한 지역들로 관찰되었다. 그림 3 ~ 7까지 원으로 표시된 이들 지역은 다른 요인과 낮은 수분값을 통

해 가물어가는 경지에 대해 잘 표현을 해주고 있다.

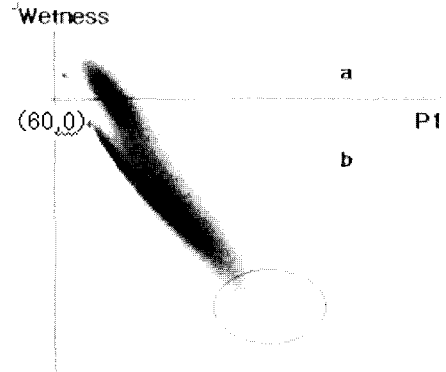
그림 4, 5에서도 주성분 요인과 Wetness는 강한 상관성을 보이고 있는데, 각 주성분의 특징을 가뭄과 연관하여 이해하기에 유용하다. 설명력이 가장 높은 주성분 제1요인은 Wetness와 강한 부(負)의 상관관계를 표시함으로써, 각 화소의 군집을 통해 실제 사상들의 특성을 명확히 보여주고 있다. 연구지역의 주성분 제1요인은 중적외선에서 가중치를 많이 가짐으로써 밝기와 관련이 있다. 이것은 수분이 적을수록 지표의 반사도가 높아지는 일반적인 분광특성을 이해함으로써 데이터의 경향을 파악할 수 있다. 수분이 가장 낮은 값에서는 밝기와 연관된 주성분 제1요인값이 높아지므로 이 지점에서 가뭄에 민감한 농경지를 찾을 수 있다. 이는 토양의 밝기 차이에 크게 반응하는 Brightness와 비슷한 경향을 보이고 있었다. 제2요인은 식생상태를 나타내주는 근적외선을 많이 반영하므로, 성분값이 제일 떨어지는 지점에서 낮은 수분값을 확인할 수 있었다. 이 곳에서 식생의 수분이 매우 낮아, 건조한 지점을 찾을 수 있다.

Wetness는 NDVI, 주성분 요인, Tasseled cap에서 추출된 Brightness와 Greenness의 상관관계를 통해 이들과 관련된 지표면의 상태를 공간적으로 파악해 볼 수 있었다. 상관관계는 가뭄의 공간적 분포와 지점에 대한 세밀한 탐지력을 보여준다. 용수부족으로 물을 못 대어 이앙이 지체되는 곳이나 밭작물이 성장에 만족할 만한 수분 공급이 되지 않아 가뭄에 영향을 받는 경지들은 극히 건조한 -0.2의 특정 수준 이

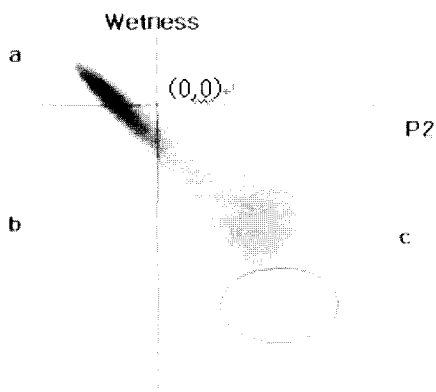
위성영상의 토양수분 정보와 공간적 요인을 고려한 가뭄 민감도 분석



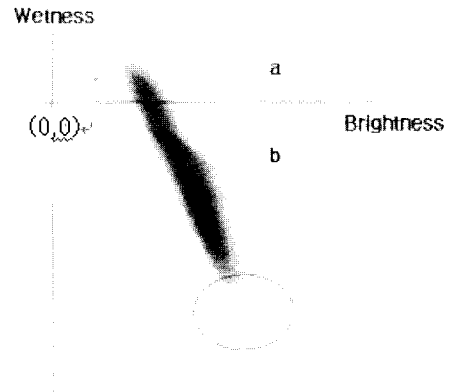
[그림 3] 연구지역의 NDVI 분포



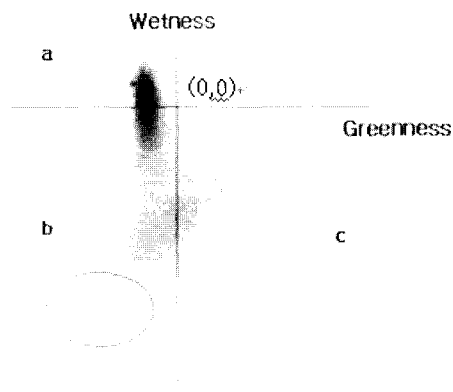
[그림 4] Wetness와 주성분 1요인



[그림 5] Wetness와 주성분 2요인



[그림 6] Wetness와 Brightness



[그림 7] Wetness와 Greenness

하의 값들로 관찰되었다. 원으로 표시된 이들 특정 화소군(clustering)의 분포는 토양과 식생들의 낮은 수분 상태를 표시해 줌으로써 가뭄에 민감한 경지의 특징을 그대로 드러내 주고 있다. 이들 지역은 가뭄의 패턴과 확산, 심도에 관한 중요한 정보를 제공해 주고 있으며, 행정구역별로 가뭄 민감 경지에 대한 가시적인 비교를 통해 가뭄에 대한 해석을 보다 용이하게 해 줄 수 있다.

#### 4.2 가뭄민감지역의 공간 분포

관찰된 값을 통해서, 좀 더 구체적으로 각 행정구역별 가뭄 심도를 분석하였다. 이것은 가시적인 공간 분포의 특징을 파악함으로써 가뭄의 현황에 대한 이해를 도울 뿐만 아니라, 가뭄 대책이 필요한 행정구역의 지원요구를 객관적으로 파악할 수 있기 때문이다. 가뭄이 심한 우심 지역의 확인은 가뭄의 대책을 수립하는데 가장 중요한 정보이기 때문에, 각 지역성을 반영해 주는 공간적 변수를 함께 고려함으로써 가뭄에 민감한 지역을 추출할 수 있다.

이러한 맥락에서 Tasseled cap 변환으로 얻어진 Wetness의 값 중에서 가뭄에 민감하게 관찰되었던 -0.2이하의 수분의 범위를 추출하여 분류하였다. 이 범위의 Wetness값은 원예 작물을 재배하는 비닐 하우스나 특용작물을 재배하는 곳 등의 경작지의 다양한 토지 이용을 반영하지 못하므로 국지적인 오차를 가진다. 또한 Wetness값은 취득한 영상의 단일 시기의 값을 나타내므로 가뭄에 영향을 받던 농

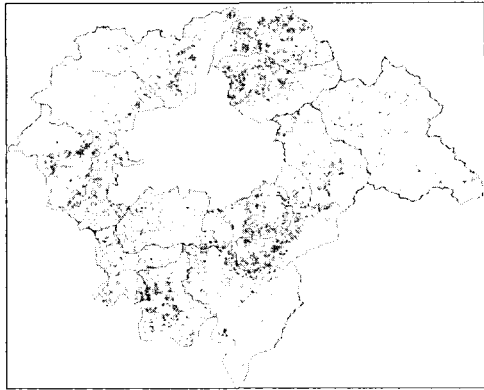
경지에 그 전날 양수를 하는 가뭄 대책에 의해서 그 값이 단순히 높아질 수 있다. 수리 시설이 갖추어진다면 양수는 빠른 시간에 이루어질 수 있으며 꾸준한 대책이 진행되기 때문에 인위적인 요인도 고려해야 한다. 따라서 Wetness 값의 국지적 편차를 줄이고 일반적인 통계적 경향을 살피기 위해 평균 필터링을 수행하였다.

이렇게 얻어진 가뭄민감지수(drought severity index)는 0.0에서 1.0의 범위를 가지게 된다. 1.0은 주변 100개의 화소 가운데 Wetness값이 0.2이하인 화소가 하나도 없는 화소를 의미하며, 가뭄에 심각한 영향이 없는 농경지의 양호한 상태를 나타낸다. 0.0은 그 화소를 포함한 주변 100개의 화소의 Wetness 값이 모두 0.2 이하인 것을 의미하는데, 이는 가뭄에 매우 심각하게 영향을 받는 농경지의 상태를 나타내어준다.

평균 필터링된 Wetness는 수자원과의 근접성이 높은 지역을 제거 함으로써 보다 상세한 가뭄 민감지역을 가려내었다. 수자원으로부터 근접성이 높은 지역은 상시 양수가 가능하므로, 잠재적으로 가뭄에 대해 민감도가 상대적으로 낮다. 따라서 대규모 하천과 같은 수원으로부터 75미터 이내의 지역을 가뭄 민감화소에서 제외하였다. 그림 8은 이들 지역에서 가뭄 민감지수가 0.2 이하인 화소들만을 나타내므로써, 특히 가뭄에 심각하게 영향을 받은 농경지들을 보여주고 있다. 이러한 화소들이 실제로 가뭄을 겪었는지를 알아보기 위하여 실시한 현장 답사 결과, 2001년에 대부분 심각하게 가뭄을 겪었으며 논보다는 수리 시설이 제대로 갖추어



지지 않은 밭에서 그 피해가 더 심했음을 알 수 있었다.



[그림 8] 가뭄 민감 픽셀의 공간적 분포

같은 행정구역내에 비율이 높은 두 변수의 상관성을 찾기 위해 스피어만의 순위상관분석(Spearman's rank correlation)을 시행하였다. 변수들의 순위 비교를 통해, 관련성을 보이기 때문에 본 연구의 목적에 가장 부합하는 상관관계 분석이다. 순위상관관계는 자료가 정규성의 전제조건을 만족시키지 않을 경우 주어진 자료를 순위화한 후 순위상관관계를 분석한다(이희연, 1999). 청원군에 속해 있는 14개의 면은 샘플 수가 적어 정규성의 조건을 만족시키지 못하지만 이 분석을 통해 자료의 직접적 파악과 상관관계 도출이 가능

## 5. 위성 영상을 이용한 가뭄 탐지력 평가

### 5.1 가뭄민감지역과 실제 대책과의 상관관계 분석

가뭄에 매우 심각했던 행정구역에 대한 정확한 탐지는 정책적 지원을 위한 대책 수립과 피해저감에 기여할 수 있으므로 중요한 정보이다. 가뭄이 심한 행정구역은 관정 개발, 하상굴착, 저설호수 설치, 양수기 구입 등 구조적대책을 마련하므로 대책비의 투입률이 다른 지역보다 상대적으로 매우 높다. 따라서 분석된 가뭄 심도는 높은 수준의 대책비에서 그 관련성을 찾을 수 있다. 이들 간의 비교는 우선 지역과 지역 전반의 가뭄 정보에 대해 명확한 이해를 가져다 준다.

<표 2> 가뭄 대책비와 가뭄 민감 픽셀 비율의 서열순위

순번	읍단위	대책비	민감 픽셀	d	d2
1	내수	5	2	3	9
2	낭성	5	5	0	0
3	미원	5	4	1	1
4	가덕	5	3	2	4
5	남일	5	3	2	4
6	남이	5	4	1	1
7	문의	5	3	2	4
8	현도	5	3	2	4
9	부용	4	4	0	0
10	강내	5	4	1	1
11	강외	3	4	1	1
12	옥산	2	5	3	9
13	오창	1	2	1	1
14	복이	4	1	3	9
합계					48

하다. 순위상관관계수를 산출하기 위해 우선 각 변수를 서열화하여 순위를 정해야 한다.

본 연구에서는 가뭄이 가장 심각한 우심지역의 탐지 능력을 명확히 알아보기 위해 서열의 차이가 없는 자료는 같은 수준의 그룹으로 나누었다. 표2에서 5개 그룹으로 분류된 가뭄 민감픽셀비율의 심도 순위와 투입비율의 서열 자료는 그룹간의 강도에 따라 명확한 서열 차이를 갖고 있기 때문에 순위상관분석에 용이하다.

순위화된 두 변수간의 순위의 차이(D)를 계산 한 후 다음의 방정식에 따라 순위상관계수를 산출하였다(이희연, 1999). 그 결과 두 변수는 0.89(rs)의 높은 정(正)의 상관관계를 나타냈으며, 이를 통해 가뭄에 민감한 픽셀이 많은 지역에 높은 대책비가 할당되고 있음을 보여주었다. 이것은 실제 가뭄 정책을 추진하기 위한 의사결정과정에서 이와 같은 객관적 분석이 실제 도움을 줄 수 있음을 의미한다.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)} \quad (5)$$

## 5.2 행정구역별 조사와 오차평가

경작지내의 낮은 수분값은 이앙을 하지 못했거나, 작물의 수분이 거의 없어 고사하거나 다른 상태를 표시해 주기 때문에 가뭄에 영향을 받은 경지를 여실히 드러내 준다. 이렇게 영상으로 분석된 가뭄 민감 픽셀의 비율이 매우 높고 대책비가 제일 많았던 오창면은 실제 답사 시 배후의 북쪽 산지가 조밀하게 분포되어, 관개하기에 크게 한계가 있는 곳으로 나타났다. 그러나 남쪽은 미호천을 따라 길게

이어지는 미호 평야의 중심부에 위치하여, 잘 정비된 논외 경작지역을 보여줌으로써, 민감 픽셀도 낮게 나타났다.

가뭄 민감 픽셀의 비율은 낮지만, 대책비가 두번째로 많았던 옥산면은 농경지의 면적이 우세한 다른 면과는 달리 넓은 평야나 잘 정비된 농경지가 드물었다. 옥산면의 산업은 시설 원예를 설치하여 방울 토마토, 오이, 상추 등의 특산품을 생산하고 있었으며, 일부에서는 낙농업이 발달하였기 때문에 가뭄이 고조되던 시기에 축산용수나, 농업용수가 많이 요구되던 면이었다. 그러나 이러한 지역별 토지이용이 고려되지 않아 토양수분이 급격하게 떨어지는 농경지에 대해서는 정확도가 떨어지게 되었다.

민감 픽셀이 가장 많아 우심 지역으로 나타났던 북이면은 논과 밭의 경작 면적이 비슷한 지역이다. 북서쪽의 하천이 있는 곳은 넓은 곡저 평야가 크게 발달하고 있어서 대부분 이앙을 무리 없이 끝내, 민감 픽셀의 가뭄 탐지력이 향상을 보였다. 그러나 과수 재배나 원예작물의 재배, 콩, 고추, 담배 등의 생산이 많아지는 곳으로 갈수록 가뭄에 영향을 받는 경지로 과분류되어 정확도가 떨어졌다. 이들 산업은 지역의 높은 소득과 직결되어 있기 때문에 가뭄 고조시기때 관개시설이 정비된 수리답보다는 밭이 피해가 더 민감하다. 광암리의 경우, 레미콘을 동원하여 양수를 할 정도로 심각하였으며, 실제 대책은 관개시설이 미비한 전작위주로 이루어졌다. 가뭄 민감 픽셀은 수분이 급격히 떨어진 대상물에 높은 가중치를 가지기 때문에 과분류가 많지만, 토지이용이나

건강한 발작물을 명확히 고려할 수 있다면 실제 피해가 많았던 발지역에 대해 높은 정확도 획득의 가능성을 보였다.

내수습도 역시 비슷한 양상을 보였다. 군내 최대의 농경지를 보유하고 있는 곳으로 논면적이 우세하지만, 2001년 가뭄 대책은 논보다는 밭에 수로건설을 하는데 많은 재원이 투자되었다. 밭 지역은 논에 비해 저수지나 수로 등 뚜렷한 관개시설을 가지고 있지 않기 때문에 이들 지역이 가뭄에 피해가 많았다. 이들 지역에 대한 관정이나 지하수로 건설 등의 항구책을 통해 가뭄에 극복하려는 대책활동을 실제 접해 볼 수 있었다.

## 5. 결론

본 연구는 각 경작지 내에 나타나는 가뭄의 심도와 그 공간적 패턴을 Landsat ETM+ 영상을 통해 국지적으로 분석함으로써 위성영상을 활용한 가뭄 연구의 효용성을 평가해 보았다. 특히 각 지점의 지표특성을 그대로 반영해 주는 Tasseled cap 변환과 지형적 요인들을 통한 분석 기법은 가뭄 연구의 국지적 접근에 효과적임이 입증되었다. 그리고 농작물 생육에 큰 영향을 주는 토양수분은 Tasseled cap 변환으로 추출된 Wetness value와 매우 높은 상관성을 갖고 있음을 확인하였다. Wetness와 경작지의 환경상태를 그대로 나타내주는 몇 가지 요인들과의 상관관계는 가뭄 민감지역의 패턴과 분포를 명확히 나타내었다.

Wetness와 NDVI는 강한 정적 상관관계

를 보였는데, 식생 수분이 많은 밭과 토양 수분이 매우 적어 건조한 지점에서 가뭄 민감 지역을 확인하였다. Wetness와 주 성분 제 1요인과 제 2요인은 강한 부의 상관관계를 보여, Wetness값이 매우 낮고 주성분값이 가장 높은 곳에서 가뭄에 영향을 받는 경지가 관찰되었다. -0.2 이하의 Wetness값은 심각한 용수 부족으로 피해를 입는 경작지를 잘 나타내고 있다.

이렇게 조사된 Wetness값과 공간적 변수를 고려하여 가뭄 민감도 모델을 구현하였다.

행정구역별로 구해진 가뭄 민감 픽셀 비율과 가뭄 대책비 비율은 0.89의 높은 상관계수를 나타내었다. 가뭄 민감 픽셀과 대책비 비율이 매우 높은 오창면은 수리답이 많은 평야지대로 갈수록 가뭄 탐지력의 향상을 보였지만, 전체적으로 원예나 낙농, 특용작물을 재배하는 다른 지역으로 갈수록 수분지수의 가중치가 떨어져 과분류되는 현상이 나타났다.

단일 시기의 Landsat ETM+ 영상으로 분석된 본 연구는 토양수분으로 가뭄의 공간적 분포를 연구함으로써, 지속적인 고찰을 통해 일반적인 가뭄 연구로 발전시킬 가능성을 보여주었다. 앞으로 지속적인 Tasseled cap 지수에 대한 연구와 다양한 사례 적용 및 비교를 통해 좀 더 정확하고 일반화가 가능한 가뭄 분석 기법의 모형이 개발된다면 국지적 차이가 심각한 우리나라의 가뭄 대책과 정책적 의사결정에 도움을 줄 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- 기상청, 2001, 기상월보.
- 농림부, 2001, 가뭄극복백서.
- 이환기 · 최병만 · 이한구, 2001, 2001년 전국 가뭄현황 및 가뭄극복 대책, 한국수자원학회지, 34(4), pp.32-43.
- 이희연, 1999, 지리통계학, 법문사.
- Albert, J.P., Elizabeth, A.W-S, Lel J., Andres, V., Michael, H. and Mark D.S., 2002, "Drought Monitoring with NDVI-Based Standardized Vegetation Index", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 68(1): 71-75.
- Aufmuth, J. L., 2001, A Comparison of The Normalized Difference and Tasseled Cap Vegetation Indices: A Case Study of Using Satellite Remote Sensing Imagery For Assessment of Environmental Impact of A Hydroelectric Power Project on The River Danube, MA Thesis, University of Florida.
- Crist, E.P. and Cicone, R.C., 1984, "Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data-The TM Tasseled cap", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-22 (3), pp.256-263.
- ERDAS, 2002, Imagine(tm) Version 8.4, Atlanta, Georgia, URL: <http://www.erdas.com>
- Huang, C., Yang, L., Homer, C., Wylie, B., Vogelman, J. and DeFelicce, T., 2000, At-Sattelite Reflectance: A First Order Normalization of LANDSAT 7 ETM+ Images, Raytheon ITSS, EROS data center, Sioux Falls, SD.
- Jensen, J.R., 1996, Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing, Perspective, Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA.
- NDMC(National Drought Monitoring Center Home page), 2002, Understanding and Defining Drought, URL: <http://enso.unl.edu/ndmc/enigma/def2.htm>.