

## 미얀마 건조지 토지피복 변화와 식생온도조건지수간의 관계분석\*

최솔이<sup>1</sup> · 이우균<sup>2\*</sup> · Hangnan YU<sup>2</sup> · 강호덕<sup>3</sup> · 김용석<sup>1</sup>

### Analysis of Relationship between Land Cover Change and Vegetation Temperature Condition Index in Central Dry Zone of Myanmar\*

Sol-E CHOI<sup>1</sup> · Woo-Kyun LEE<sup>2\*</sup> · Hangnan YU<sup>2</sup>  
Ho-Duck KANG<sup>3</sup> · Yong-Suk KIM<sup>1</sup>

#### 요 약

본 연구에서는 미얀마 내 Mandalay, Magway 지역에 대해 Landsat 4-5 TM 위성영상을 이용하여 토지피복 변화와 식생온도조건지수(Vegetation Temperature Condition Index; VTCI)의 관계를 분석함으로써, 미얀마 토지피복 변화와 건조 정도의 관계를 밝히고자 하였다. 토지피복 변화를 분석한 결과, 연구 대상 지역에서 산림은 감소하는 것으로 나타난 반면, 주거지와 농경지의 면적은 증가하였다. VTCI 분석을 수행한 결과, (a)지역에서는 매우 건조한 지역의 면적이 점차 감소하고, 건조한 지역 및 보통, 습윤한 지역의 면적이 증가하여 건조의 정도가 다소 감소되는 것으로 나타났다. (b)지역 또한 매우 건조한 지역의 면적이 증가하여 건조 정도가 심각해지는 것을 파악할 수 있었다. VTCI와 토지피복 변화의 관계 분석결과는 두 지역의 매우 건조한 지역에서 산림 및 주거지의 농경지로의 변화 비율이 비교적 높게 나타나고, 변화된 지역의 VTCI 평균이 감소하여 토지피복의 변화와 건조 정도의 변화의 관련성을 찾을 수 있었으며, 건조지역이 점차 증가하고 있음을 확인하였다.

주요어 : 원격탐사, 사막화, 미얀마, 건조지, 식생온도조건지수, 토지피복변화

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the cause of increasing dry zones through analyzing relationships between land cover and Vegetation Temperature

2014년 2월 14일 접수 Received on February 14, 2014 / 2014년 6월 9일 수정 Revised on June 9, 2014 / 2014년 6월 26일 심사완료 Accepted on June 26, 2014

\* 본 연구는 산림청 '산림과학기술개발사업(과제번호:S211214L030320)'의 지원을 받아 수행되었음(건조지 사막화 방지 연구사업단).

1 국립산림과학원 산림수토보전과 Dept. Forest Soil & Water Conservation, Korea Forest Research Institute

2 고려대학교 환경생태공학과 Dept. Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University

3 동국대학교 산림자원학과 Dept. Biological and Environmental Science, Dongguk University

※ Corresponding Author E-mail : leewk@korea.ac.kr

Condition Index(VTCI) using Landsat 4-5 TM satellite images in Central Dry Zones of Myanmar. As a result of land cover classifications, while vegetation areas gradually decrease, residential area and cropland were increased. VTCI analysis shows that region (a) showed a gradual decrease in the area of severely arid, and increase in the area of moderate dry and wet, which sums up to a slight decrease in aridity. Region (b) also showed to increase in dry areas and severe aridity. The result of relational analysis between VTCI and land cover change showed high ratio of land cover change, from severe arid area to forest and residential farmland. The average VTCI decreased in the changed land covers, which indicates the relationship between aridity and land cover change and a gradual increase in the arid area was identified.

**KEYWORDS** : Remote Sensing, Desertification, Myanmar, Arid-Areas, VTCI, Land Cover Change

## 서론

전 지구의 사막화 및 토지 황폐화는 심각한 사회, 경제, 환경적 문제 중의 하나로 인식되고 있다(Asseng *et al.*, 2011). 국제 환경기구인 United Nations Environment Programme (UNEP)는 사막화를 “인간의 활동으로 인한 건조지와 반 건조지의 토지 황폐화”로 정의하였고, United Nations Convention to Combat Desertification(UNCCD)는 사막화를 “인간의 활동과 기후요인과 같은 다양한 인자에 의해 건조, 반 건조지의 토지가 황폐화됨”으로 정의함으로써 사막화가 인간의 활동과 환경적 요인에 의해 발생하는 것으로 보고 있다. 이렇듯 사막화는 지구 규모 대기 순환 변화의 기후 및 환경적 요인과 산림의 과도한 벌채, 과잉 방목, 무리한 농경지 확대 등의 인위적 요인과 자연적 요인과 인위적 요인이 결합되었을 때 사막화는 더욱 가속화될 수 있다.

UNEP는 산림 및 식생의 파괴는 사막화의 매개변수 중 하나로써 사막화를 모니터링할 수 있는 지침으로 사용할 수 있다고 제시하였다(Zhengyi *et al.*, 2008). 이러한 이유로 지역 및 국가적 다중 규모로 장기적인 관측과 분석이 가능한 위성영상을 이용한 산림 및 식생변화에 대한 모니터링 연구가 활발히 이루어지고

있다. 위성영상을 이용한 사막화의 연구에서는 식생지수와 토지피복 변화와의 관계를 분석하는 연구가 진행되었고, 최근의 연구에서는 식생피복 변화와 영향인자들 간의 관계를 규명하여 모형을 구축하는 연구가 수행되고 있다(Tao *et al.*, 2001; 2005; 2006). 또한, 지표면온도(Karnieli and Dall'Olmo, 2003)와 기상관측 자료를 이용하여 강수량과 풍향 및 풍속이 사막화에 미치는 영향을 분석한 연구들도 진행되었다(Tao, 2008). 하지만 많은 연구가 중국과 몽골을 중심으로 한 동북아시아 지역과 호주, 아프리카 등에 집중되어 수행되고 있고, 사막화 모니터링 연구에서는 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index; NDVI)와 지표 반사율을 이용한 사막지역의 상태 해석 연구가 대부분이었다(Lee *et al.*, 2008). NDVI를 이용한 습윤 지표는 건조 상황을 고려할 수 있지만, 매우 복잡하게 나타나는 가뭄현상의 전부를 포착하기에는 어려움이 존재한다(Kim *et al.*, 2009). 또한 기존의 연구는 사막화 및 산림의 감소에 대한 인간의 활동으로 인한 인위적인 요인 분석이 부족하며, 단순한 모니터링으로 사막화의 인과 관계를 밝히는데 한계점이 존재한다.

최근 사막화에 대한 영향과 심각성을 깨달은 동남아시아의 미얀마에서는 과다 벌목과 농경지의 증가, 강수량의 감소로 인하여, Sagaing, Mandalay, Magway 지역에 걸쳐 사막화가 빠

르게 진행되고 있다. 또한 미얀마에서는 위성영상을 이용한 사막화 진전 모니터링에 관한 연구가 부족한 실정이며, 이를 관리하고 적응대책을 수립해야 하는 정부 부처에서도 기술력의 한계와 자본의 부족으로 인하여, 사막화의 모니터링과 원인을 밝힐 수 있는 자료의 수집이 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 Landsat4-5 TM 위성영상을 이용하여 미얀마 내 건조지역을 대상으로 기존의 단순 식생지수 분포 변화 분석이 아닌 식생온도조건지수 (Vegetation Temperature Condition Index; VTCI)로 식생분포 및 정도에 따른 지표면 온도를 통하여 건조 정도를 분석하고, 이와 토지피복의 변화 방향을 분석하여 미얀마 건조 지역 내에서 인위적인 요인이 건조 정도에 미치는 영향을 파악하여 건조 지역 모니터링과 원인분석에 대한 자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

## 자료 및 방법

미얀마 내의 건조지는 국토의 중앙에 위치하여, Central Dry Zone이라 불리며,  $21^{\circ} 04' 03.50''$  N,  $95^{\circ} 25' 53.02''$  E에서  $19^{\circ} 44' 22.03''$  N,  $96^{\circ} 21' 01.06''$  E에 이르고, 이 지역의 기후는 6월 10월(우기)은 열대 사바나 기후를 나타내며, 평균 최고기온이  $45^{\circ}\text{C}$  정도에 이르며, 3월-5월에는 건기로 온대 동계 건조기후가 나타난다. 강수량 또한 1,000mm 미만으로, 미얀마의 남부 지방의 강수량이 연 5,000mm인 것에 비교하면 적은 양을 나타낸다 (Ministry of Forestry in Myanmar, 2010). 또한, 이 지역은 미얀마 국토의 9.2%에 해당되고 빈곤과 생계를 위한 불법 벌채, 화전 등으로 사막화 및 토지의 황폐화가 빠르게 진행되고 있는 지역이다. 본 연구에서 이용한 위성영상은 Landsat 4-5 TM이며, 우기의 구름의 영향을 최소화 하기 위하여 1989년 2월 19일, 1996년 2월 25일, 2009년 1월 15일 영상을 이용하였다. 각 시기 별로 Mandalay, Magway 지역 일대를 중심으로 2개의 위성영상이 해당하는 지역을 선정하여, 그림 1과 같이 위성영상의

북쪽 지역을 (a)지역, 남쪽 지역을 (b)지역으로 나누어 분석 하였다.

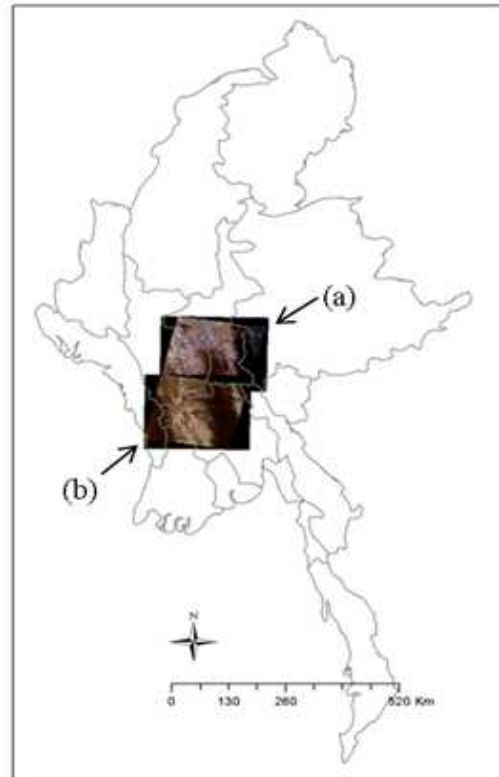


FIGURE 1. The study area. Northern area is region a, Southern area is region b.

## 연구방법

### 1. 토지피복분류

본 연구에서는 감독분류의 최대우도법으로 토지피복 분류를 수행하였다. 토지피복별로 미얀마에서 7월에 획득한 22개의 GPS 자료를 참고하여 훈련지역의 Training set을 설정하고, 6개의 항목(수역, 주거지, 산림, 농경지, 나지, 사구)으로 토지피복 분류를 수행하였다. 주거지는 도시, 포장도로, 주택을 포함하고, 산림은 온대 활엽수림과 상록수림, 농경지는 논과 밭, 암석지대는 토지와 포장되지 않은 도로, 바위 등을 포

함하였다. 또한, 감독분류의 정확도 평가를 위하여 분류 오차 표와 Kappa 계수를 이용하였다.

## 2. 식생온도조건지수(Vegetation

### Temperature Condition Index: VTCI)

본 연구에서는 지표면의 건조 정도를 잘 나타내는 VTCI 지수를 이용하여 다중 시기 건조 정도를 분석하였다. VTCI는 LST(Land Surface Temperature) 지수와 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)를 이용하여 산출되는 지수로 지표면 0-20cm의 토양수분의 정보를 잘 나타내는 것으로 알려져 있으며(Su *et al.*, 2009), 가뭄의 발생과 건조 정도를 모니터링하기 위한 지수로 이용되고 있다. 또한, VTCI는 특정 시기와 지역 수준의 가뭄 정도의 모니터링에 적합하며, 건조지역의 공간적 분포를 나타내는데 자주 이용되고 있다(Wang *et al.*, 2001). VTCI 추출에 필요한 LST는 지표면 온도를 나타내며 대기의 열교환에 의해 지상기온이 결정되기 때문에 많은 연구에서 위성으로부터 관측이 가능한 LST를 사용하여 경험적인 방법으로 지표면온도를 추정하여 이용하였다(Lee *et al.*, 2007). LST는 Landsat TM/ETM+의 6번 밴드인 열적외선 파장영역을 사용하여 추출하는데, 각 DN값에 대하여 방사적 검정값(Qcal)으로부터 식 1과 같이 분광방사휘도  $L_{\lambda}$ 를 구할 수 있으며, 이로부터 절대온도( $^{\circ}K$ )를 구하여 추출한다(식 2).

$$L_{\lambda} = \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Qcalmax - Qcalmin} * (Qcal - Qcalmin) + LMIN_{\lambda} \quad (1)$$

$$T(^{\circ}K) = \frac{K2}{\ln(K1/L_{\lambda} + 1)} \quad (2)$$

K1 : 고유상수 분광방사휘도 보정값  
(TM:607.76, ETM+:666.09)

K2 : 고유상수 절대온도 보정값  
(TM:1260.56K, ETM+:1282.71K)

VTCI 식은 NDVI 값에 따른 지표면 온도의 최대값( $LST_{NDVI_{i,max}}$ )와 최소값( $LST_{NDVI_{i,min}}$ )을 이용하여 지표면의 온도 변화에 따른 잠재 수분 증발량을 이용한 식으로써(식 3), 식에 사용되는  $LST_{NDVI_{i,max}}$ 과  $LST_{NDVI_{i,min}}$ 은 그림 2과 같이 각 NDVI 값에 따른 LST의 픽셀의 최대값과 최소값을 추출한 뒤, 회귀식을 통해 얻어지는 회귀식이다. 본 연구에서는  $LST_{NDVI_{i,max}}$ 과  $LST_{NDVI_{i,min}}$ 의 회귀식은 NDVI 값에 대하여 랜덤하게 100개의 LST 픽셀을 추출한 뒤 도출하였다.

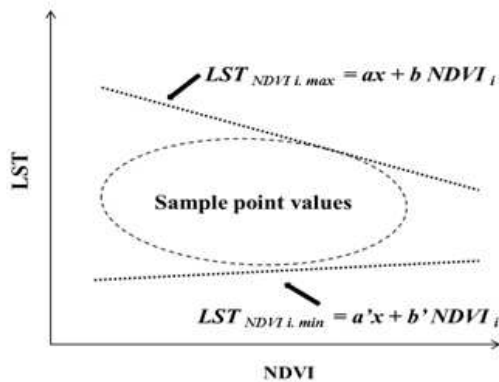


FIGURE 2. Scatterplots of NDVI and LST for VTCI equation (re-cited from Wang *et al.*, 2001)

$$VTCI = \frac{LST_{NDVI_{i,max}} - LST_{NDVI_{i,min}}}{LST_{NDVI_{i,max}} + LST_{NDVI_{i,min}}} \quad (3)$$

$$LST_{NDVI_{i,max}} = a + bNDVI_i$$

$$LST_{NDVI_{i,min}} = a' + b' NDVI_i$$

VTCI는 0.0-1.0 범위의 값을 가지고 0.0에 가까울 수록 지표면 온도가 높고 건조한 지역을 나타내며, 1.0에 가까울수록 온도가 낮고 습한 지역을 나타낸다. 본 연구에서는 Wang *et al.*(2001)이 VTCI를 구분한 방법에 따라, 0.00-0.20는 매우 건조한 지역(Heavy Drought), 0.21-0.40는 건조한 지역(Medium

Drought), 0.41–0.60은 다소 건조한 지역 (Light Drought), 0.61–0.80은 보통 지역 (Normal), 0.81–1.00 습한 지역 (Wet)으로 나누어 결과를 도출하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 토지피복분류

토지피복 분류를 수행한 결과, (a)지역의 1989년 영상에서는 수역의 면적이 3.68% 비율을 나타냈으며, 주거지 2.73%, 산림 35.81%, 농경지 25.07%, 사구 0.32%, 나지가 32.39%로 나타났다. 1996년에는 수역과 산림, 나지가 감소하여 전체 영상의 2.10%, 35.64%, 12.87%로 나타났고, 반면에 주거지역, 농경지, 사구는 증가하여 각각 12.34%, 36.70%, 0.37%로 나타났다. 이와 같은 토지피복의 변화 양상을 분석하기 위하여, 픽셀 기반 Matrix 분석을 통하여 각 토지피복변화 양상을 영상전체의 비율로 분석하였다. 1996년 수역의 감소는 수역이 농경지로 변환된 비율이 1.73%으로 가장 큰 영향을 미친 것으로 나타났으며, 산림 및 주거지로 0.48%가 변화했기 때문으로 나타났다. 나지의 감소는 농경지로의 변화가 13.74%, 주거지 3.19%, 산림 3.02%, 수역 0.11%, 사구 1.51%로 변화하였기 때문으로 판단된다. 또한 산림의 감소에서도 농경지로 변환된 비율이 3.22%으로 가장 높게 나타났으며, 각각 주거지 2.91%, 나지 및 암석 지역 2.79%, 사구로 0.02%가 변화하였다. 이와 같은 결과로 (a) 지역의 수역과 산림, 나지의 감소는 농경지로의

변화가 가장 큰 영향을 미친 것으로 나타났다. 2009년 영상에서는 수역이 2.60%으로 1996년과 비교하여 소폭 증가하였으며, 주거지 14.85%, 농경지 43.25%, 사구 0.99%로 증가하였다. 반면에, 산림과 나지는 각각 30.95%, 7.37%으로 감소하는 것으로 나타났다. 1996년 영상으로부터 2009년의 주거지의 증가는 주거지가 다른 피복으로 변화한 비율이 총 2.06%인 것과 비교하여 농경지 4.88%, 나지 및 암석 4.77%, 산림의 1.52%가 주거지로 변화되었기 때문이다. 또한 농경지의 경우, 나지 및 암석에서 변화된 비율이 15.79%로 가장 높았으며, 다음으로 산림 6.09%가 변화함으로써 농경지의 증가가 나타났다. 이와 같은 결과로 (a)지역에서 나지 및 암석에서의 무리한 농경지로의 개간과 산림 파괴를 통한 농경지의 확장이 계속적으로 진행되고 있는 것을 확인할 수 있었다.

(b)지역의 토지피복 분류 결과, 1989년에는 수역 0.86%, 주거지 5.84%, 산림 57.06%, 농경지 21.76%, 사구 0.47%, 나지 및 암석이 14%로 나타났다. 1996년에 1989년 비교하여 사구, 주거지역이 소폭 감소하였으며 산림은 42.15%로 감소하였다. 산림 감소의 원인을 분석하기 위하여, 1989년에서 1996년 산림이 다른 토지피복으로 변환된 면적을 분석한 결과, 수역 0.01%, 주거지 2.9%, 농경지 6.0%, 사구 6.4%, 나지 및 암석은 0.00%으로 나타났다. 반대로, 농경지, 주거지, 사구가 산림으로 변환되는 비율은 4.1%, 0.7%, 0.07%으로 나타났다. 따라서 1996년 산림의 감소는 농경지 및 사구로의 토지피복 변화와 큰 연관성을 가지고

TABLE 1. Analysis of land cover change from 1989 to 2009 in region a (unit : %)

Year/Land cover type	1989	1996	2009
Water	3.64	2.08	2.60
Residential area	2.71	12.62	14.85
Forest	35.77	35.64	30.95
Cropland	25.36	36.46	43.25
Sand	0.34	0.38	0.99
Bare land	32.17	10.07	7.37
Area(%)	100.00	100.00	100.00

TABLE 2. Analysis of land cover change from 1989 to 2009 in region b (unit : %)

Year/Land cover type	1989	1996	2009
Water	0.86	0.96	0.71
Residential area	5.84	5.66	10.25
Forest	57.06	42.15	50.84
Cropland	21.76	32.15	44.80
Sand	0.47	0.41	0.36
Bare land	14.00	18.66	10.76
Area(%)	100.00	100.00	100.00

있는 것으로 나타났다. 2009년 토지피복 분류 결과는 산림 50.37%, 주거지 10.20%으로 1996년과 비교하여 증가하는 경향을 보였으며, 수역과 나지 및 암석 지역은 각각 0.73%, 10.85%로 나타났다. 산림의 증가는 1996년 산림에서 농경지, 주거지, 사구, 나지 및 암석 지역으로의 토지피복 변화가 2.6%, 2.0%, 2.0%, 0.8%으로 총 변화율이 7.4%인 반면에, 농경지, 주거지, 사구, 나지 및 암석 지역이 산림으로 변화한 비율은 각 5.2%, 2.2%, 5.1%, 2.8%로 총 15.3%가 변화했기 때문에 나타났다. 또한, 주거지의 증가는 농경지에서 주거지로의 변화가 3.5%로 가장 크게 영향을 미친 것으로 나타났으며, 다음으로 산림에서 주거지로의 변화가 1.96%로 크게 나타났다. 이와 같은 결과로 (b)지역의 산림과 주거지 및 농경지의 면적 변화는 연관성을 가지는 것으로 나타났으며, 특히 산림의 감소와 농경지 및 주거지, 사구의 증가가 밀접한 관련을 가지는 것으로 나타났다.

토지피복 분류의 정확도 평가는 Landis and Koch(1997)이 정확도를 구분한 방법을 따랐으며, 3시기 2지역의 모든 영상에서 전체 분류 정

확도가 72% 이상, Kappa 값이 0.64 이상으로 비교적 높은 정확도를 나타내었다(부록 1-6). 이에 따라 본 연구에서 수행한 토지피복 분류는 실제 토지피복 변화와 유사성을 가진다고 판단되며, 실제로 UNCCD(2005)는 Sagaing, Mandalay, Magway 지역에서 산림이 농경지로 전용되는 비율은 13%(4,381.52m<sup>2</sup>)로 보고하고 있다. 또한, 산림 감소는 급속한 인구의 증가와 석유 및 석탄연료의 높은 가격으로 인한 목재연료의 사용과 식량 수급 때문인 것으로 보고하고 있으며, 또한 연평균 산림 벌채율은 Magway 4.07%, Mandalay는 1.48%으로 보고하고 있다. 따라서 본 연구에서 토지피복 분류를 통하여 도출한 산림의 감소와 농경지 확장의 결과는 UNCCD(2005)의 결과와 유사하다고 사료되며, 이를 이용하여 토지피복변화를 분석하는 것은 유의한 것으로 판단된다.

## 2. 식생온도조건지수(VTCI)

건조 정도 변화 분석을 위하여 각 위성영상의 NDVI 별 LST의 최대값과 최소값을 산출한 뒤, VTCI 도출에 필요한 식을 표3과 같이 작성하였다.

TABLE 3. VTCI equation according to  $LST_{NDVI_{max}}$  and  $LST_{NDVI_{min}}$ 

Data	VTCI
(a) 1989	$37.87 + (-8.79 \cdot NDVI - LST_{NDVI_{i}}) / (-3.54 \cdot NDVI + 27.26)$
(a) 1996	$34.54 + (-6.45 \cdot NDVI - LST_{NDVI_{i}}) / (-6.74 \cdot NDVI + 11.12)$
(a) 2009	$27.84 + (-4.91 \cdot NDVI - LST_{NDVI_{i}}) / (-5.22 \cdot NDVI + 8.11)$
(b) 1989	$31.29 + (-6.04 \cdot NDVI - LST_{NDVI_{i}}) / (-2.32 \cdot NDVI + 8.20)$
(b) 1996	$32.50 + (-5.04 \cdot NDVI - LST_{NDVI_{i}}) / (-1.74 \cdot NDVI + 6.38)$
(b) 2009	$27.87 + (-5.09 \cdot NDVI - LST_{NDVI_{i}}) / (-1.77 \cdot NDVI + 5.75)$

(a)지역에서 모든 시기 수역의 VTCI 값이 0.8-1.0으로 분석됨으로써 본 VTCI 분석 결과는 유의하다고 판단된다(그림 3). 1989년에 매우 건조한 지역의 면적이 59.11%로 전체 영상에서 가장 큰 비율을 차지하였고, 보통 지역이 2.94%, 습한 지역의 면적이 0.06%으로 가장 적은 면적을 차지하여, (a)지역은 과거부터 건조한 지역으로 나타났다. 1996년 영상에서는 매우 건조한 지역의 면적이 크게 감소하여 24.85%를 나타냈고, 보통 지역이 4.84%, 습한 지역의 면적이 3.84%으로 증가하여 건조한 지역이 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 2009

년도에 다시 매우 건조한 지역의 면적이 51.98%으로 증가하고, 보통 지역 0.66%, 습한 지역의 면적이 0%에 가깝게 나타남으로써 1989년에 비하여 건조도가 더 심각해지는 것으로 나타났다. 또한, 분석한 결과에서 매우 건조한 지역 및 건조한 지역이 본래 습한 지역이었던 동쪽으로 확산되고 있는 것으로 분석되었다.

(b)지역은 모든 시기의 분석에 있어서 수역의 VTCI는 0.5-0.8사이의 값을 갖는 것으로 분석되었지만, 위성영상 내의 다른 지역보다 VTCI 값이 높은 것으로 나타났다(그림 4). 이는 수역의 수심의 얇고, 모래의 이동에 따른 영

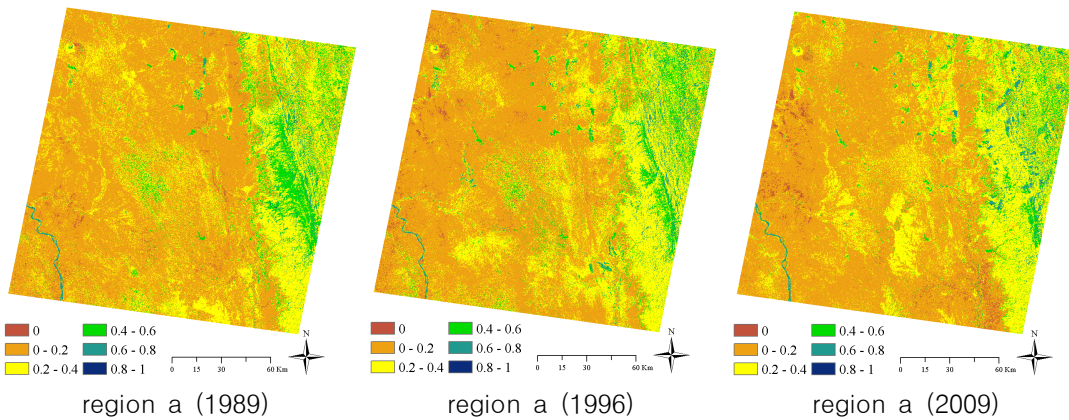


FIGURE 3. The result of VTCI in 1989, 1996, 2009 region a

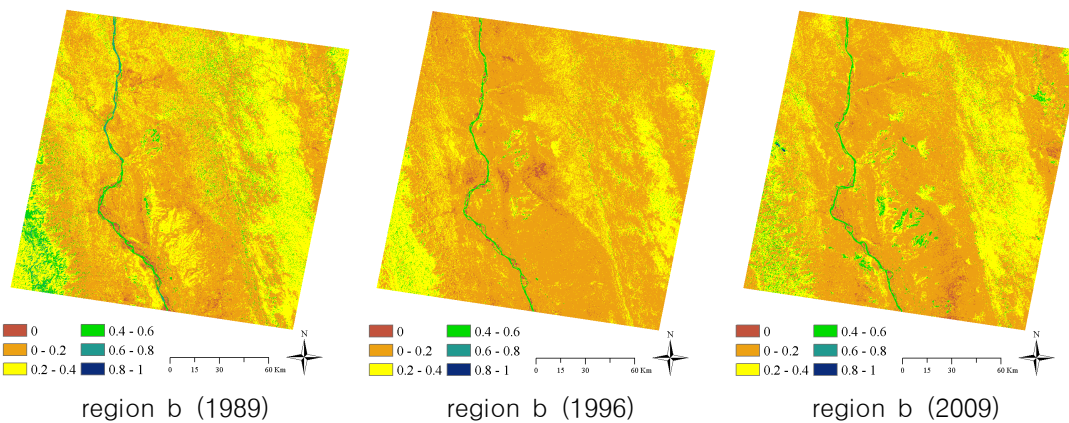


FIGURE 4. The result of VTCI in 1989, 1996, 2009 region b

향으로 판단된다. 1989년에 매우 건조한 지역 및 건조한 지역의 면적의 합이 93.41%로 거의 위성영상 내에서 모든 비율을 차지하는 것으로 나타났으며, 보통 지역 및 습한 지역의 면적 비율이 0.66%, 0.00%으로 매우 드문 것으로 나타났다. 1996년 위성영상에서는 매우 건조한 지역의 비율이 72.04%으로 1989년에 비하여 20.06%가 증가하였으며, 건조한 지역의 비율이 26.23%으로 15.20%으로 감소하여 건조 정도가 더 악화되는 것으로 나타났다. 2009년 VTCI 분석 결과에서는 매우 건조한 지역의 면적이 65.56%으로 약간 감소하였지만, 건조한 지역의 면적이 30.52%으로 증가하여 건조 정도가 1996년에 비하여 감소한 것으로 나타났다. 하지만 전체 영상에서 매우 건조한 지역 및 건조한 지역 비율의 합이 95.97%으로 매우 높게 나타났다. Weine(2013)는 실제로 미얀마의 Central Dry Zone은 암석의 구성 비율이 낮고, 입자가 작은 토양으로 이루어져 있어 강수

유출량은 총 강수량의 30%에 해당한다고 밝힌 바 있다. 이에 따라 본 연구 대상지에서 우기를 제외한 기간에 토양 함수량 부족으로 인한 가뭄이 발생할 것으로 판단되며, 실제로 Central Dry Zone 내에서 1980년에 가장 심각한 가뭄이 발생하였으며, 다음으로 1982년과 1983년에, 세 번째로 큰 가뭄은 1993년과 1994년에 발생하였다고 밝혔다. 따라서, 본 연구에서 나타난 건조 정도 분석은 이러한 큰 가뭄과 어느 정도 연관성이 있을 것으로 사료된다. 또한, 향후 실제로 가뭄이 발생한 해의 위성영상을 이용하여 건조 정도 분석을 수행한다면 정확한 검증이 가능할 것으로 판단된다.

### 3. 토지피복변화와 VTCI의 관계분석

미얀마의 건조 정도 및 사막화 현상을 설명하기 위하여 토지피복 변화와 VTCI간의 관계 분석을 수행한 결과, (a)지역의 매우 건조한 지

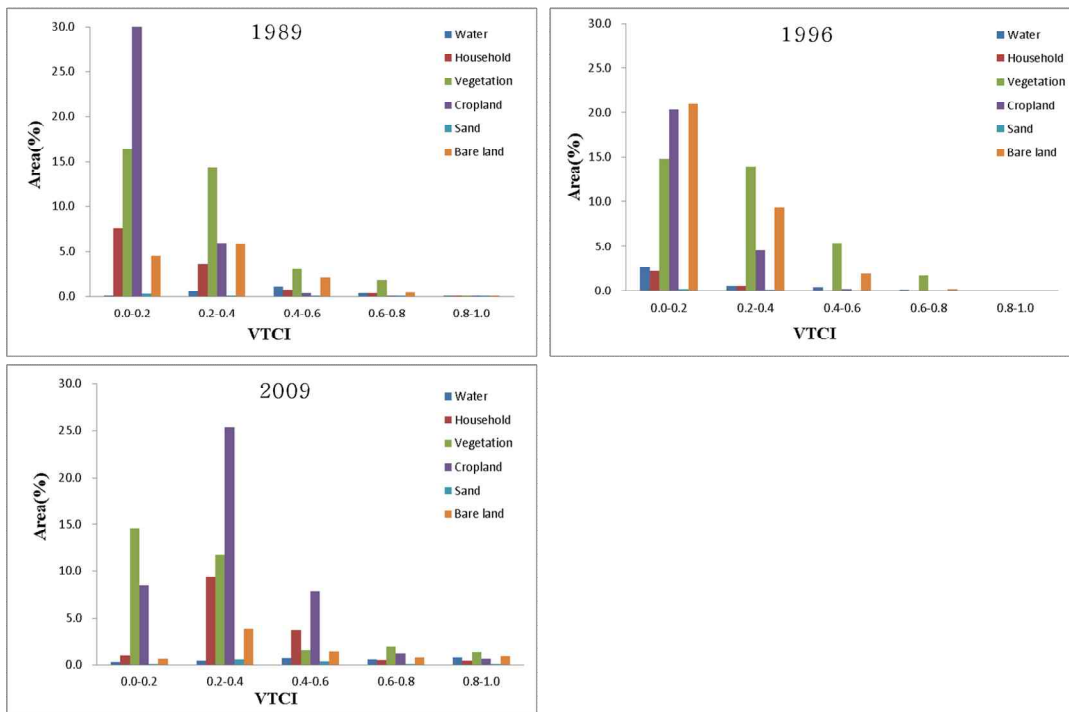


FIGURE 5. The comparison of land cover ratio according to VTCI in region a



역에서 1989년과 1996년의 농경지 비율이 높은 것으로 나타났다. 이러한 토지피복과 건조 정도의 변화의 관계를 알아보기 위하여 시기별 토지피복이 주요하게 변화한 지역에서 VTCI의 변화를 분석한 결과, 1989년 토지피복이 산림에서 1996년 농경지로 변화한 곳의 VTCI의 평균값이 0.46(std 0.08)에서 0.38(std 0.07)로 낮아져 건조의 정도가 증가하는 것으로 파악되었으며, 산림에서 주거지로 변화한 지역에서도 VTCI 값이 0.48(std 0.09)에서 0.40(std 0.10)으로 변화하여 산림 토지피복의 변화로 건조 정도가 증가하는 경향을 나타내었다. 1996년에는 매우 건조한 지역에서 나지 및 암석의 면적이 가장 큰 비율로 나타났다. 이는 1993년과 1994년의 큰 가뭄에 따른 토지 생산력의 변화에 따라 황폐지가 증가하고, 식생 고사에 따른 순환적인 영향으로 건조 정도가 증가된 것으로 판단된다. 또한, 모든 위성영상에서 보통 지역 및 습윤한 지역의 산림 비율이

비교적 가장 크게 나타났으며, 건조하다고 판단이 되는 0.0-0.6 범위에서 농경지가 큰 비율을 차지하는 것으로 나타났으며, 2009년에는 건조한 지역에서 농경지의 비율이 가장 높은 것으로 나타났다. 1996년 산림지역에서 2009년 농경지로 변화한 지역의 평균 VTCI는 0.40(std 0.09)에서 0.24(0.09)로 변화하여 건조 정도가 크게 증가하여 농경지와 건조 정도 간의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 이는 강수량의 부족이라는 기상요인과 농경지의 확장 및 농경지를 무리하게 개간함으로써 발생하는 순환적 요인이 건조 정도에 작용했을 것으로 판단된다. 또한 주거지의 증가에 따라, 2009년 건조한 지역에서의 주거지 면적이 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 농경지와 산림에서의 변화가 주요한 영향을 미쳤으며, 농경지에서 주거지로 변화한 지역의 평균 VTCI는 0.39(std 0.07)에서 0.27(std 0.07)로 변화하였으며, 산림에서 주거지로 변화한 지역의 평균 VTCI는 0.41(std

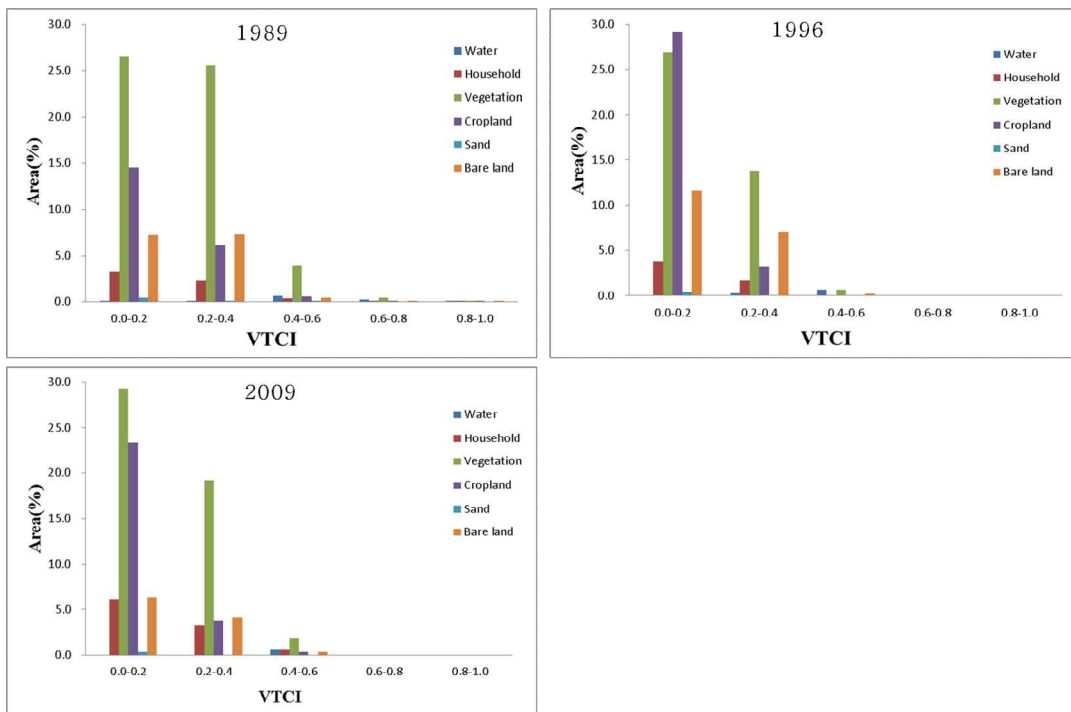


FIGURE 6. The comparison of land cover ratio according to VTCI in region b

0.09)에서 0.28(0.11)로 변화하여 건조의 정도가 크게 증가한 것으로 나타났다.

(b)지역에서는 전 기간에 걸쳐 매우 건조한 지역에서 산림과 농경지의 비율이 가장 높은 것으로 나타났다. 1989년 매우 건조한 지역에서 산림의 비율이 가장 높았던 반면, 1996년에는 농경지의 비율이 큰 폭으로 증가하였다. 이는 주거지와 산림에서 농경지로 변화와 매우 건조한 지역이 함께 증가한 것을 나타내며, 1989년에서 1996년 산림에서 농경지로 변화한 지역의 평균 VTCI 값은 0.47(0.04)에서 0.35(0.09)로, 주거지에서 농경지로 변화한 지역에서는 0.39(std 0.07)에서 0.22(std 0.06)으로 건조 정도가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 농경지의 확장 및 개간, 강수량의 부족이 건조 정도에 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한, 2009년에는 매우 건조한 지역에서 주거지의 증가가 나타났으며, 이는 농경지와 산림으로부터의 변화에 따른 것이며, 농경지에서 주거지로의 변화에 따른 평균 VTCI 값은 0.33(std 0.07)에서 0.20(std 0.11)으로 나타났으며, 산림에서 주거지로의 변화 또한 0.34(std 0.08)에서 0.19(std 0.09)로 건조 정도가 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 본 지역도 토지피복이 산림에서 주거지 및 농경지로 변화하여 건조 정도가 증가하는 것으로 나타났다.

## 결론

본 연구에서는 미얀마 Central Dry Zone에 속해있는 Mandalay, Magway 지역 일대에서 Landsat 4-5TM 위성영상을 이용하여 토지피복 변화와 식생온도조건지수(Vegetation Temperature Condition Index; VTCI)와의 관계를 분석하여 미얀마 건조지와 토지피복 간의 관계를 분석하였다. 1989년과 1996년, 2009년의 토지피복 변화를 분석한 결과, 산림 지역이 감소하는 것으로 나타났으며, 주거지와 농경지의 면적은 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 분석 결과를 통하여 미얀마 건조지역 내에서 토지이용형태가 급격하게 바뀌는 것을 모

니터링할 수 있었다. VTCI 분석을 수행한 결과에서 (a)지역에서는 매우 건조한 지역으로 판단되는 곳의 면적이 점차 감소하고, 건조한 지역 및 보통, 습윤한 지역의 면적이 증가하는 것으로 나타나, 건조의 정도가 다소 감소되는 것으로 나타났다. 반면에 (b)지역 또한 매우 건조한 지역으로 판단되는 곳의 면적이 1989년에 비하여 모두 증가하는 것으로 나타나, 건조의 정도가 심각해지는 것을 파악할 수 있었다. VTCI와 토지피복 현황과의 관계 분석을 수행한 결과, (a)지역과 (b)지역 모두에서 매우 건조한 지역에서 산림 및 주거지의 농경지로의 변화 비율이 비교적 높게 나타나고, 변화된 지역에서 VTCI 값의 평균이 감소하여 토지피복의 변화와 건조 정도가 관련 있다고 사료된다. 하지만 VTCI와 건조 정도에 직접적으로 영향을 미치는 강수량과 증발산량 등과의 관계 분석에 자료 획득의 어려움으로 토지피복이 건조 정도에 어느 정도 영향을 미치는지 명확한 분석이 어려웠던 한계점이 존재한다. 하지만 본 연구는 사막화에 대한 지식이 부족하고 사막화 모니터링과 예측 기술이 부족한 미얀마의 건조 지역에 대하여 사막화 원인을 구명을 위한 기본 자료로 유용하게 활용 것으로 판단된다.

**KAGIS**

## REFERENCES

- Asseng, S., I. Foster and N.C. Turner. 2011. The impact of temperature variability on wheat yields. *Global Change Biology* 17(2):997-1012.
- Forestry in Myanmar. 2010. Ministry of Forestry in Myanmar. pp.2.
- Karnieli, A. and G. Dall'Olmo. 2003. Remote-sensing monitoring of desertification, phenology, and droughts. *Management of Environmental Quality : An International Journal* 14(1):22-38.

- Kim, J.C., S.C. Shin, S.J. Lee and M.H. Hwang. 2009. Suggestion of method to classify moisture or dryness condition from moisture index obtained by NDVI. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 12(4): 84-94 (김주철, 신사철, 이상진, 황만하).
2009. NDVI 를 이용한 습윤지표를 기준으로 습윤 및 건조상태의 분류 방법 제안. *한국지리정보학회지* 12(4):84-94).
- Landis, J.R. and G.G. Koch. 1977. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics* 33(2):363-374.
- Lee, C.S, G.S. Han, J.M. Yeom, B.G. Song and Y.S. Kim. 2007. Thermal spatial representativity of meteorological stations using MODIS land surface temperature. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 10(3): 123-133 (이창석, 한경수, 염종민, 송봉근, 김영섭).
2007. MODIS 지표면온도 자료를 이용한 기상관측소의 열적 공간 대표성 조사. *한국지리정보학회지* 10(3):123-133).
- Lee, G.R., Y.S. Kim, G.S. Han, C.S. Lee and J.M. Yeom. 2008. Vegetation water status monitoring around China and Mongolia desert using satellite data. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 11(4): 94-100 (이가람, 김영섭, 한경수, 이창석, 염종민).
2008. 위성자료를 이용한 중국과 몽골 사막주변의 식생수분상태 모니터링. *한국지리정보학회지* 11(4):94-100).
- Su, T., P. Wang, W. Xu, W. Su, D. Liu, X. Liu and H. Wu. 2009. A study on drought monitoring based on the vegetation temperature condition index. *Agricultural Research in the Arid Areas* 3:41.
- Tao, W. 2008. The process of aeolian desertification in the past 50 years in northern China and its preventive strategies and measures. *Journal of Yunnan Normal University* 3:5-10.
- Tao, W., C. Guangting, Z. Halin, D. Zhi-bao, Z. Xiao-ye, Z. Xiao-jing and W. Nai-ang. 2006. Research progress on aeolian desertification process and controlling in north of China. *Journal of Desert Research* 26(4):507-516.
- Tao, W., X. Xian, W. Wei and S. Qingwei. 2005. Regionalization of desertification lands in north of China. *Journal of Desert Research* 25(6):816-822.
- Tao, W. and Z. Zhenda. 2001. Some problems of desertification in northern china. *Quaternary Sciences* 21(1):56-65.
- UNCCD. 2005. National action programme of Myanmar to combat desertification in the context of United Nations Convention to combat desertification. The union of Myanmar Ministry of Forestry. pp.25.
- Wang, P.X., X.W. Li, J.Y. Gong and C. Song. 2001. Vegetation temperature condition index and its application for drought monitoring. *Symposium of Geoscience and Remote Sensing, IEEE 2001 International* 1:141-143.
- Weine, N. 2013. Review of efforts to combat desertification and arrest and reverse land degradation in Myanmar. In: G.A. Heshmati and V. Squires(Eds.). *Combating desertification in Asia, Africa*

and the Middle East. Springer, pp.279–302.

Zhengyi, Y., W. Tao and Z. Kaiwen. 2008. Land desertification remote sensing

monitoring in 2000 in Alashan league, inner Mongolia. Journal of Arid Land Resources and Environment 22:47–51.

**KAGIS**

## APPENDIX

### APPENDIX 1. The result of accuracy assessment to 1989 satellite image in region a

Class Name	Reference	Classified	Number of Correct	Producer's Accuracy	User's Accuracy	Kappa
Water	9	11	7	77.78%	63.64%	0.62
residential area	8	8	6	75.00%	75.00%	0.74
Forest	87	90	81	93.10%	90.00%	0.85
Cropland	68	36	31	45.59%	86.11%	0.81
Bareland	38	55	35	92.11%	63.64%	0.57
Totals	250	250	196	Overall Classification Accuracy=78.40%		Kappa Statistics=0.72

### APPENDIX 2. The result of accuracy assessment to 1996 satellite image in region a

Class Name	Reference	Classified	Number of Correct	Producer's Accuracy	User's Accuracy	Kappa
Water	4	6	4	100.00%	66.67%	0.66
residential area	25	43	25	100.00%	58.14%	0.53
Forest	67	63	55	82.09%	87.30%	0.83
Cropland	71	50	48	67.61%	96.00%	0.94
Sand	4	3	3	75.00%	100.00%	1.00
Bare land	20	8	7	35.00%	87.50%	0.86
Totals	250	250	195	Overall Classification Accuracy=78.00%		Kappa Statistics = 0.73

### APPENDIX 3. The result of accuracy assessment to 2009 satellite image in region a

Class Name	Reference	Classified	Number of Correct	Producer's Accuracy	User's Accuracy	Kappa
Water	6	10	6	100.00%	60.00%	0.59
residential area	13	38	11	84.62%	28.95%	0.25
Forest	91	83	80	87.91%	96.39%	0.94
Cropland	64	54	40	62.50%	74.07%	0.65
Bare land	17	5	5	29.41%	100.00%	1.00
Totals	250	250	181	Overall Classification Accuracy=72.40%		Kappa Statistics = 0.64

## APPENDIX 4. The result of accuracy assessment to 1989 satellite image in region b

Class Name	Reference	Classified	Number of Correct	Producer's Accuracy	User's Accuracy	Kappa
Water	6	6	6	100.00%	100.00%	1.00
residential area	9	20	8	88.89%	40.00%	0.38
Forest	67	79	67	100.00%	84.81%	0.79
Cropland	64	53	52	81.25%	98.11%	0.97
Bare land	9	17	8	88.89%	47.06%	0.45
Totals	240	240	192	Overall Classification Accuracy=80.00%		Kappa Statistics = 0.75

## APPENDIX 5. The result of accuracy assessment to 1996 satellite image in region b

Class Name	Reference	Classified	Number of Correct	Producer's Accuracy	User's Accuracy	Kappa
Water	3	2	2	66.67%	100.00%	1.00
residential area	12	22	10	83.33%	45.45%	0.43
Forest	67	67	55	82.09%	82.09%	0.76
Cropland	75	50	47	62.67%	94.00%	0.91
Sand	1	1	1	100.00%	100.00%	1.00
Bare land	10	12	9	90.00%	75.00%	0.74
Totals	250	250	195	Overall Classification Accuracy= 78.00%		Kappa Statistics = 0.72

## APPENDIX 6. The result of accuracy assessment to 2009 satellite image in region b

Class Name	Reference	Classified	Number of Correct	Producer's Accuracy	User's Accuracy	Kappa
Water	4	1	1	25.00%	100.00%	1.00
residential area	15	33	14	93.33%	42.42%	0.39
Forest	97	88	84	86.60%	95.45%	0.93
Cropland	62	27	27	43.55%	100.00%	1.00
Sand	1	1	1	100.00%	100.00%	1.00
Bare land	2	4	2	100.00%	50.00%	0.50
Totals	250	250	194	Overall Classification Accuracy=77.60%		Kappa Statistics = 0.71