

수목차폐율을 고려한 가시선 분석 시뮬레이션

LOS Analysis Simulation considering Canopy Cover

공성필* · 송현승** · 어양담*** · 김용민**** · 김창재*****

Kong, Seong Pil · Song, Hyun Seung · Eo, Yang Dam · Kim, Yong Min · Kim, Chang Jae

要 旨

가시선 분석 결과에 영향을 미치는 주요 요인으로는 지형고도, 장비의 성능 그리고 수목에 의한 차폐를 들 수 있다. 수목 차폐는 계절별로 달라지고, 수목의 밀도, 수목고 등에 의해 그 값이 변화하므로, 현실적인 가시선 분석 결과에 많은 영향을 미친다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 NDVI와 수치지도 속성자료인 수목차폐 자료를 상관시켜 수목차폐율 값을 생성하고 이에 의한 가시선 분석을 실험지역 6개 관측지점에 대하여 수행하였다. 실험 결과, 식생 지수 NDVI와 차폐율은 상관성이 있으며, 이를 기반으로 새로운 차폐율 지도를 생성할 수 있었다. 또한 가시선 분석 결과 기존 차폐율을 고려한 가시선 분석 결과와 가시면적 차이가 있었으며, 특히 가시영역의 공간적 분포 차이가 두드러졌다.

핵심용어 : 가시선 분석, 수목 차폐, NDVI, 수목밀도

Abstract

The primary factors of the LOS(Line-of-Sight) analysis process are terrain height, camera capacity, and canopy cover. The canopy cover rate differs depending on the changing season, and its value is influenced by the tree density, tree height, and etc. This study generated the canopy cover value based on relationship between NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) and DMT(Density Measure % of Tree/Canopy Cover), which is a digital map attribute, and then performed the LOS analysis on six station of test sites. As results, It was found that NDVI and DMT are correlated with each other through the experiments. Based on this finding, new DMT map can be generated using NDVI. Also, There is a difference between the result of visibility analysis using the present DMT and one using a new DMT. Especially, the spatial distributions of the detected visible areas are significantly different between the two visibility analysis results.

Keywords : Line of Sight Analysis, Canopy Cover, NDVI, Density Measure of Tree

1. 서 론

가시선 분석(LOS : Line of Sight)은 고도에 의해 가시영역(visible area)과 비가시영역(non-visible area)으로 구분되는 것으로서 기존 연구는 주로 고도에 의한 가시선 분석 결과에 영향을 미치는 요인 즉, 고도 자료 표현 방법에 따른 요인, 가시선 분석 방법에 따른 요인, 고도자료 해상도별 요인을 대상으로 연구가 진행되어 왔다(어양담 등, 2008; 이준학 등, 2009; 송현승 등, 2011; 이한민, 2011; De Floriani et al., 2003). 그런데 현실적으로 가시선 분석 결과에는 지형고도 이외에도

관측장비의 성능, 산림 등에 의한 차폐비율 그리고 시선의 진행을 방해하는 환경적 요인도 많은 영향을 미치게 된다(Dean, 1997). 이것은 특히 접근불능 지역 같은 곳에서 획득된 고도자료를 기반으로 무인기의 관측운용루트 선정 그리고 경계관측장비 위치 선정에 매우 중요한 요소로 고려된다(이용웅 등, 2006; Kim et al., 2004).

본 연구는 가시선 분석에 수목차폐율을 반영하기 위해 수목차폐 속성(DMT)을 고도자료와 함께 입력자료로 사용하였고, 광역의 현실적인 결과 생성을 위해 Landsat NDVI의 식생차폐 상관성을 분석하여 이를 반

2012년 4월 20일 접수, 2012년 5월 21일 채택

* 정회원 · 건국대학교 신기술융합학과 박사과정(kongsp@empal.com)

** 국방과학연구소 책임연구원(songgom@paran.com)

*** 교신저자 · 정회원 · 건국대학교 신기술융합학과 부교수(eoandrew@konkuk.ac.kr)

**** 서울대학교 건설환경공학부 박사과정(kym0210@snu.ac.kr)

***** 정회원 · 상명대학교 건설시스템공학과 전임강사(cjikim@smu.ac.kr)

영하였다. 가시선 분석 시뮬레이션은 고도자료만을 기준으로 가시선 분석을 실험한 경우와 식생차폐율 반영 결과와의 차이를 비교하여 그 활용가능성을 검토하였다.

2. 가시선 분석 영향 요인

2.1 고도자료

지형의 고도자료를 획득하는 방법은 과거 항공사진의 입체시로부터 추출되는 방법이 광역의 고도자료 획득의 주된 방법이었으나 근래 들어서는 위성영상의 공간해상도가 증가함에 따라 고해상도 광학위성영상의 입체시, 항공라이다(Airborne LDAR), 항공/위성 SAR(Synthetic Aperture Radar) 등 다양한 방법으로 고도자료가 획득되고 있다(어양담, 2007). 고도자료는 가시선 분석에 가장 직접적인 영향을 주는 것으로서 송현승 등(2011)은 고도자료 종류별 즉, DEM(Digital Elevation Model)과 DSM(Digital Surface Model)을 기반으로 각각 가시선 분석을 실시하여 그 차이를 비교하였고, 관측장비의 설치고도에 따른 변화를 실험하여 가시영역 변화를 분석하였다. 또한, De Floriani 등(2002)은 동일지역에 대하여 다양한 해상도의 고도자료를 기반으로 가시선 분석을 실시한 결과, 관측장비에서 가까운 영역의 해상도가 전체 가시선 분석에 많은 영향을 미치는 것을 보였고, 이와 관련하여 어양담 등(2008)은 항공라이다 자료를 기반으로 고도자료 해상도를 내삽 변화시켜 관측장비와 가까운 지역의 해상도가 가시선 분석에 따른 가시영역 추출 뿐만 아니라 결과 정확도와도 관련이 있음을 입증하였다. 그런데, 본 연구와 같이 비접근지역의 경우 항공기에 의한 획득이 현실적으로 어려운 경우, 고해상도 입체 위성영상과 SRTM(Shuttle Radar Topography Mapping) 자료를 이용하는 연구자료의 한계가 존재하게 된다.

2.2 식생차폐

건물이나 지형고도에 의해 가시되지 않는 영역이 생기는 것과는 달리, 가시선이 식생지역을 통과할 경우 일정부분이 가시되거나 완전히 보이지 않게 된다. 수목차폐는 고도자료 추출을 위한 자동입체 상관매칭시 수목의 윗부분이나 수목의 중간부분의 고도를 획득하게 되는 문제도 함께 발생시키게 된다(어양담, 2007). Dean(1997)은 이러한 문제 해결을 위해 가시확률 개념을 도입하였고 이를 래스터와 TIN으로 표현된 고도자료에 적용하여 현장 기준자료와 비교한 바 있다. Dean이 제안한 식생지역의 가시성 분석 모델에서 식생을 가시선이 통과할 때 가시비율의 감소가 기하급수적으로

증가하는 단점을 보완하기 위해 Llobera(2007)는 식생의 3차원 모델과 식생의 공간적 분포 및 밀도를 입력변수로 하는 새로운 모델을 제시하여 실험한 결과 그 유용성을 입증하였다. 그러나 광범위한 지역의 식생분포와 밀도가 계절별로 가시선 분석 영향을 주는 양이 다를 수 있고, 사용자가 목적에 맞게 간단히 바꿀 수 있다는 면에서 정규식생지수(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)를 활용한 식생 차폐효과를 고려하기도 하였다(Tomoko *et al.*, 2009). 특히, Landsat NDVI의 식생차폐 상관관계를 이용한 연구로는 Lee와 Kim(2000)이 개성지역의 수목지역추출과 산림 상태 분석시 식생지수로서 NDVI를 식생차폐에 대한 상관 지수로 고려하였고, Carreiras 등(2006)은 참나무식생지역의 식생차폐율과 NDVI 수치의 상관성 r^2 이 0.72임을 보였다. 또한, Larsson(2002)는 다년간의 아카시아 수목지역의 차폐율 증가를 입증하기 위해 MSS 자료기반의 식생차폐율과 NDVI 선형관계식을 수립한 바 있고, 이것은 이전에 Hellden and Olsson(1989)의 TM 자료기반의 수목차폐-NDVI 선형관계식과 비교하여 그 우수성을 입증한 바 있다.

국내에서는 이용용 등(2006)이 열상장비의 지형분석도(VITD: Vector Interim Terrain Data)의 수목밀도 자료를 기반자료로 하여 계절별로 이를 25%씩 하락시켜 가시선 분석을 수행한 바 있고, 식생 높이를 고려한 식생차폐율은 고도자료의 해상도가 35미터를 넘는 경우 이를 고려하지 않는 경우와 큰 차이가 나지 않은 것으로 발표된 바 있다(이준학 등, 2009).

3. 실험 자료 및 방법

3.1 실험 자료

실험지역은 열상장비가 운용될 수 있는 한반도 중부 비접근 산악지역으로서 동물이나 사람을 관측대상 실험환경으로 구성하였다. 고도자료는 실험지역 영역내 30미터 간격의 SRTM DTED level-2를 이용하였고, 정밀 고도자료 생성을 위한 의도적인 내삽자료 생성은 하지 않았다.

Table 1은 실험지역내 관측지점별 지형적 특성을 나타내고 있다.

거리별 탐지확률을 적용하기 위해 열상관측장비의 탐지확률 계산프로그램인 ACQUIRE를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 실험에 기반이 되는 수목차폐자료는 Figure 1과 같이 1:50,000 축척의 VITD(Feature DataBase)의 산림지역과 산림지역내 수목차폐(DMT) 자료를 이용하였으며(송현승 등, 1995), 특정 계절의

Table 1. Topographic Characteristics of Observation Stations in Test area

관측 지점	지형고도(m)		NDVI		DMT(%)	
	평균	최고-최저	평균	최고-최저	평균	최고-최저
#1	249.0	611-78	0.56	0.71-0.07	59.5	82.5-0.0
#2	282.9	611-114	0.57	0.71-0.04	66.6	82.5-0.0
#3	187.0	531-78	0.52	0.70-0.00	49.0	82.5-0.0
#4	191.1	549-66	0.49	0.71-0.17	35.8	82.5-0.0
#5	111.8	287-53	0.39	0.71-0.07	21.7	82.5-0.0
#6	135.1	336-63	0.43	0.71-0.10	20.2	82.5-0.0

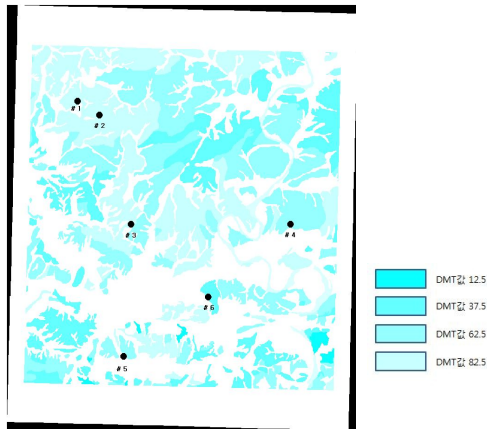


Figure 1. Station Locations on VITD

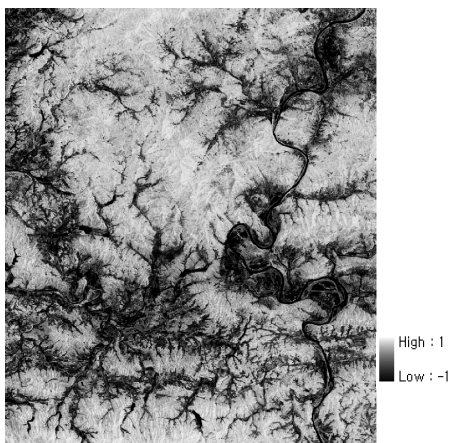


Figure 2. Landsat NDVI in Test area

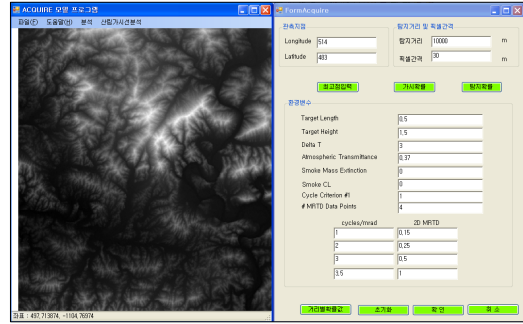


Figure 3. GUI of Simulation Program

수목차폐율 고려를 위해 2006년 9월에 촬영된 Landsat 위성영상을 웹(<http://glovis.usgs.gov>)에서 다운받아 Figure 2의 NDVI 영상을 생성하여 적용하였다(Jensen, 2007). 또한, 가시선 분석과 ACQUIRE 모델 프로그램은 PC 상에서 C# 언어로 작성하여 실험에 적용하였다(Figure 3 참조).

3.2 연구 방법

관측장비에 의한 가시거리는 거리와 장비 성능 그리고 산림차폐율에 따른 가시확률을 계산하여 50% 이상일 때만 탐지가 가능한 것으로 보고 그 미만은 탐지가 불가능한 것으로 적용하였다 (송현승 등, 2011; Barbar, 1995; 이용용 등, 2005).

DMT는 Landsat NDVI 공간해상도인 30미터 간격의 화소값으로 래스터화하였고, 이 두 개자료 화소값들의 상관식을 구성하였다. 이렇게 구한 값으로부터 NDVI는 구간별 선형 비례관계를 고려하여 DMT 값을 계산하였다. 따라서 i 지점에서 j 지점까지의 가시확률 $VP_{i,j}$ 는 거리에 따른 가시확률 $DP_{i,j}$ 와 수목차폐율 DMT를 고려하여 식 (1)과 같이 구성될 수 있다.

$$VP_{i,j} = V_{i,j} \cdot DP_{i,j} \cdot (1 - DMT_j) \quad (1)$$

여기서, $V_{i,j}$ 는 i 지점에서 j 지점을 관측할 때의 가시/비가시 여부로서 0 또는 1의 이진변수, $DP_{i,j}$ 는 i 지점에서 j 지점까지 거리별 탐지확률로서 본 연구에서는 0.5 이상만 가시되는 것으로 고려한다. 또한, DMT_j 는 관측대상인 j 지점의 수목차폐율로서 VITD DMT를 직접 적용한 경우와 Landsat NDVI별 DMT를 화소별로 상관식으로부터 계산한 값을 적용한 경우를 실험하였다.

4. 결과 및 분석

4.1 NDVI-차폐율 선형상관식 구성

DMT는 넓은 폴리곤에 하나의 값으로 지정되어 있을 뿐만 아니라, 현실적인 차폐율을 반영한다고 보기가 힘들다. 따라서 본 연구에서는 실험지역의 NDVI와 DMT 전체 화소간의 상관식을 구성하여 NDVI 기반의 차폐율 지도를 제작하였다. 이때 DMT의 N/A (Not Available) 값은 계산에서 제외하였고, NDVI의 경우 1을 넘는 값은 이상치로 고려하여 제외하였다. 이렇게 계산한 상관식은 식 (2)와 같다.

$$y = 110.7929x + 1.3943 \tag{2}$$

이때, x 는 Landsat NDVI 화소값이고, y 는 계산된 DMT 값이다. 이때, 본 연구에서 차폐를 고려하지 않는 DMT값 0의 지점의 NDVI 값을 제외한 경우 두 자료간의 상관지수 $r^2 = 0.83$ 이었다.

4.2 산림차폐율에 의한 가시선 분석

본 연구에서는 실험을 위해 실험영역중 가시선 분석 결과 패턴을 충분히 인식하기 위해 비교적 고도차가 크고, 평균 차폐율의 분포를 고려하여 6 곳을 관측지점으로 선정하였고, 30미터 간격의 고도자료 해상도를 감안하여 별도의 관측장비의 고도 이격은 실시하지 않았다 (송현승 등, 2011). 앞에서 언급한 바와 같이 가시확률중 탐지수준 50% 이상만을 고려한 결과는 Figure 5, 6과 같다. 탐지수준 50%미만을 고려하지 않는 것은, 현실적으로 객체를 탐지하지 못하는 확률까지를 고려하는 것이며, 전체 가시 영역에 대한 확률 분포 변화를 추정하는 측면에서도 50% 이상 가시영역 분석으로도 그 추정이 가능하다고 판단하였다. VITD DMT 폴리곤을 30미터 간격으로 래스터화한 경우와 Landsat 영상의 NDVI로부터 식 (1)과 같이 수목차폐율을 추정할 경우를 대상으로 식 (2)에 이 두 가지 경우를 적용, 가시확률을 계산한 결과를 Table 2에 나타내고 있다.

차폐율이 비교적 높은 관측지점인 #1~#4에서는 NDVI에 의한 차폐율을 고려하는 경우가 수치지도 DMT를 고려하는 경우보다 가시영역이 큰 것으로 나타났다. 이것은 DMT와 상관시킨 NDVI 기반 차폐율이 낮게 계산됨으로써 나타난 것으로 볼 수 있다. 이것은 DMT가 0~25%, 26~50%, 51~75%, 76~90%의 고정범위로 입력되어 있어서 이에 대한 평균값을 적용한 결과로 판단된다. 또한, 비교적 차폐율이 낮은 지점인 #5에서는 가시영역이 NDVI기반 차폐율을 적용한 경

Table 2. Number of Pixels by Visibility Probability

지점	차폐율종류	50~60%	60~70%	70~80%	80~90%	90% 이상	화소수합계
#1	DMT	459	616	992	1063	1282	4412
	NDVI	650	696	1010	1063	1282	4701
#2	DMT	636	577	351	417	596	2577
	NDVI	742	617	359	417	596	2731
#3	DMT	635	541	590	878	944	3588
	NDVI	837	642	610	879	944	3912
#4	DMT	1129	988	945	796	722	4580
	NDVI	1187	1008	946	796	722	4659
#5	DMT	1944	1724	841	1107	3382	8998
	NDVI	1868	1919	973	1138	3383	9281
#6	DMT	2203	2607	1226	959	1809	8804
	NDVI	2188	2049	1279	965	1809	8290

※ DMT: VITD 상의 폴리곤을 래스터화하여 이를 수목차폐율로 고려

NDVI: Landsat NDVI에 VITD를 상관시켜 추정한 수목차폐율 값을 고려

우가 넓게 나타나지만 가시확률 60% 미만부터는 화소수가 줄어들고 있으며, 차폐율이 가장 낮은 #6 지점은 전체 가시영역이 오히려 줄어들고 있다. 이것은 낮은 차폐율 영역에서는 NDVI와 DMT의 상관성이 많이 떨어지는 영향으로 분석되었다.

그럼에도 불구하고 Table 2에서 보여지듯이 가시확률별 화소수의 분포는 두가지 경우 모두 일정한 경향을 나타내고 있고, 두 자료간에 가시선 분석 결과에 미치는 차폐율간 상관성이 있다고 볼 수 있다.

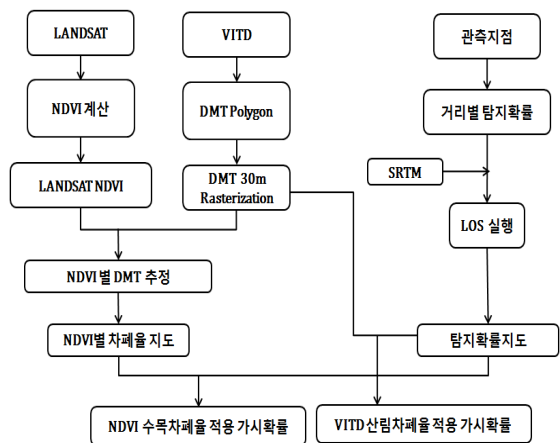


Figure 4. Experiment Flow

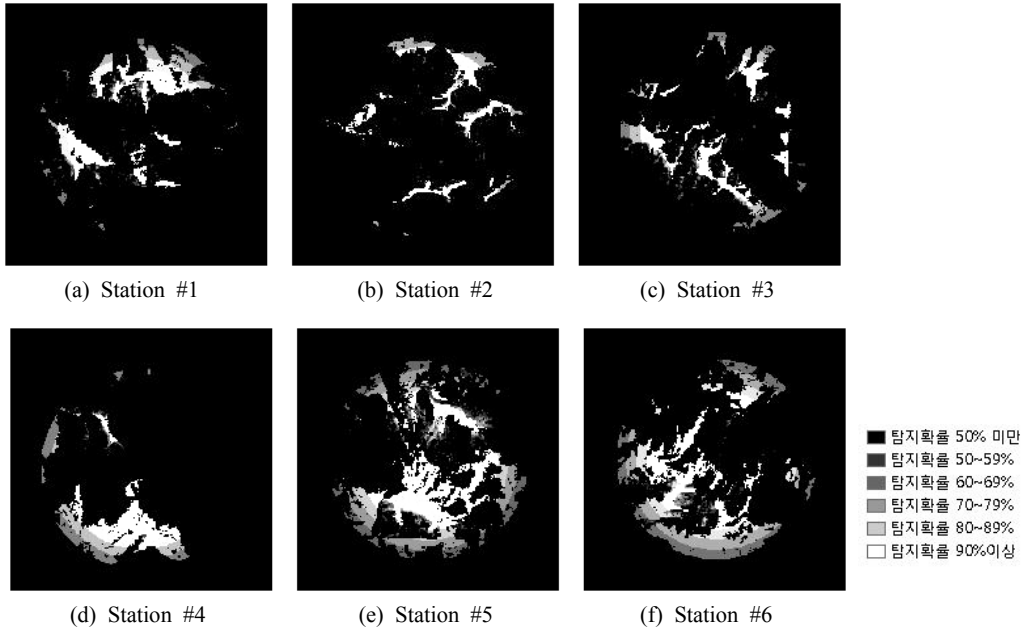


Figure 5. Visibility Probability Map (above 50%) derived from Landsat NDVI

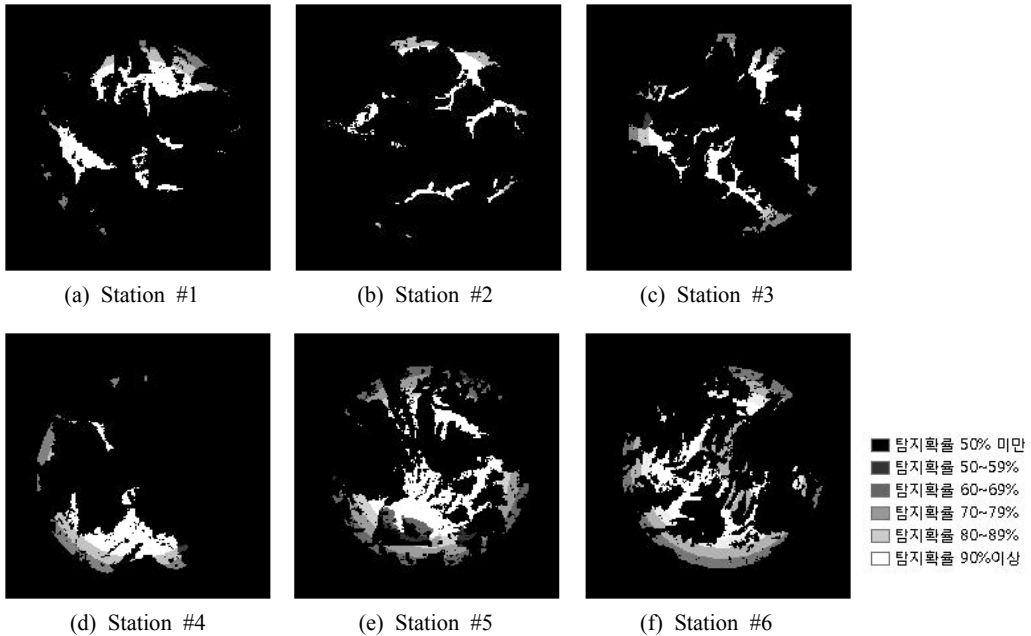


Figure 6. Visibility Probability Map (above 50%) derived from VITD DMT

또한, DMT는 큰 폴리곤 내에 일정하게 값이 고정되어 있으나, NDVI는 폴리곤내에서도 비교적 다양한 값들이 분포되었다. Figure 5와 6에서는 두 가지 경우

에 대한 가시영역의 공간적 분포를 나타내고 있는데, NDVI가 갖는 값의 분포가 기존 DMT 기반의 가시영역보다 고루 넓게 분포되고 있는 것을 알 수 있다.

이것은 DMT가 폴리곤화 되지 않은 영역도 있으므로, 본 연구에서는 이를 차폐율 0으로 하여 계산하였으나, NDVI는 수치에 의한 계산 값을 적용하여 결과가 생성됨으로써 보다 다양한 수목차폐 효과가 반영된, 현실적인 가시확률을 보일 가능성이 있을 것으로 예상된다. 보다 정밀한 산림경계와 수목정보가 보강되어야 함에도 불구하고 연구지역의 실험자료 부족으로 이에 대한 추가 분석을 하지 못한 것은 본 연구의 한계로 볼 수 있다.

5. 결론

기존에 제작된 수목차폐율 자료와 Landsat NDVI 값간의 선형 상관식을 구성하여 가시확률 기반의 가시선분석을 실험한 결과 가시영역의 일정한 패턴을 보이고 있고 이것은 차폐율과 NDVI의 상관성이 가시선 분석에 의해서도 나타난다. 따라서, NDVI에 의해 계산된 식생 차폐율을 가시선 분석에 도입한다면 위성영상의 현재성을 반영한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 기존의 광범위한 폴리곤으로 정의된 식생차폐영역을 정밀히 개선하여 보다 현실적인 가시선 분석 결과를 얻는 가능성을 제시하였다. 제안한 방법은 계절별 차폐에 따른 관측장비의 배치에 의사결정 지원자료로서의 역할이 가능하고 위성영상에 의한 광범위한 영역의 수목차폐정보도 얻을 수 있는 것으로 기대한다. 추후 연구로서는 고해상도 영상으로부터 추출된 식생차폐율을 기반으로 광범위한 NDVI 또는 LAI(Leaf Area Index)와의 상관성을 계산하여 보다 정확한 상관식 구성 연구가 필요하며 식생지수 적용 시 필요한 그림자, 수중에 따른 지수 변화요소도 지상 자료와 함께 다루어져야 할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(No. 2010-0005617)

참고문헌

1. 송현승, 이병길, 박성복, 이상지, 1995, "GIS 지형지물 및 속성부호 표준화에 관한 연구", 한국지형공간정보학회논문집, 제3권, 제2호, pp.63-74.
2. 송현승, 박완용, 박현춘, 이영림, 2011, DEM과 DSM의 가시선 탐지확률 비교, 한국측량학회지, 제29권, 제2호, pp.165-173.
3. 어양담, 2007, 수목차폐율을 고려한 자동상관매칭 수치 고도 결과 분석, 한국 GIS학회지, 제15권, 제2호, pp.181-187.
4. 어양담, 박완용, 이용용, 이병길, 편무욱, 2008, 지형고도자료 해상도가 가시선 분석에 미치는 영향, 한국군사과학기술학회지, 제11권, 제3호, pp.99-105.
5. 이용용, 성창섭, 양우석, 임성빈, 어양담, 2006, 지형공간정보를 이용한 감시장비배치 최적화 실험 연구, 한국군사과학기술학회지, 제9권, 제1호, pp.72-79.
6. 이준학, 김항덕, 오경두, 2009, 가시권 분석에서의 MAUP 영향분석, 한국군사과학기술학회지, 제12권, 제1호, pp.80-87.
7. 이용용, 박완용, 어양담, 유행미, 2005, 철책선 경계를 위한 수리적 모델 실험 연구, TEDC-517-050766, 국방과학연구소
8. 이한민, 2011, 중거리지대공 유도무기체계 적용을 위한 가시선 분석 알고리즘 연구, 한국군사과학기술학회지, 제13권, 제4호, pp.642-649.
9. Barbar, L.O., 1995, Validation of Prediction Models for Target Detection and Recognition, World Scientific Publishing Co., pp.192-218.
10. Carreiras João M.B., Pereira José M.C., Pereira João S., 2006, Estimation of tree canopy cover in evergreen oak woodlands using remote sensing, Forest Ecology and Management, Vol. 223, Issues 1-3, pp.45-53.
11. De Floriani L. and Magillo P., 2002, Multiresolution mesh Representation :Models and Structures in Tutorials on Multiresolution in Geometric Modelling Eds A Iske, E Quak, M S Floater (Springer, Berlin), pp.363-418.
12. De Floriani, L. and Magillo, P., 2003, Algorithms for Visibility Computation on Terrains : A Survey, Environmental and Planning B : Planning and Design 2003, Vol. 30, pp.709-728.
13. Dean, D.J., 1997, Improving the accuracy of Forest Viewsheds Using Triangulated networks and the Visual Permeability method, Canadian Journal of Forest Research, Vol. 27, pp.969-977.
14. Helldén, U., and Olsson, L., 1989, Fuelwood assessment of the Kassala Province, The Democratic Republic of The Sudan. Remote Sensing Laboratory of Physical Geography, University of Lund, Sweden. Ref. FAO contract no. TF/SUD/033/-1/NET/ FOOD, p.27.
15. Jensen, J.R, 2007, Remote Sensing of the Environment-An Earth Resource Perspective,

- Prentice Hall, pp.382-386.
16. Kim, Y.H., Rana, S. and Wise, S., 2004, Exploring Multiple Viewshed Analysis using Terrain Features and Optimisation Techniques, *Computers & Geosciences*, Vol. 30, pp.1019-1032.
 17. Larsson, H., 2002, Acacia canopy cover changes in Rawashda forest reserve, Kassala Province, Eastern Sudan, using linear regression NDVI models, *International journal of remote sensing*, Vol.23, No.2, pp.335-339.
 18. Lee, Kyu-Sung, Kim Jeong-Hyun, 2000, Change Analysis of Forest Area and Canopy Conditions in Kaesung, North Korea Using Landsat, SPOT and KOMPSAT Data, *Journal of the Korean Society of Remote Sensing*, Vol.16, No.4, pp.327-338.
 19. Llobera M., 2007, Modeling Visibility Through Vegetation, *International Journal for Geographical Information Science*, Vol. 21, No. 7, pp.799-810.
 20. Tomko M., Trautwein, F. and Purves, R., 2009, Identification of Practically Visible Spatial Objects in Natural Environments, *Advances in GIScience: 12th AGILE International Conference Proceeding*, June 5th, Hannover, Germany, pp.1-23.