

지형고도자료 해상도가 가시선분석에 미치는 영향

The Effect of Digital Elevation Resolution on LOS Analysis

어 양 담* **박 완 용**** **이 용 웅**** **이 병 길***** **편 무 욱***
 Eo, Yang-Dam Park, Wan-Yong Lee, Yong-Woong Lee, Byoung-Kil Pyeon, Mu-Wook

ABSTRACT

The analysis of LOS(Line-Of-Sight) is defined as an “unobstructed view between two points”. The LOS results may be influenced by terrain source, algorithm/interpolation method, etc. In the area denies any access and flight over, LOS results would be doubtful because of low precision of terrain data therefore have limitations of referring to many military applications. Using LIDAR data, LOS Analysis was performed by changing DTED resolution(1~30m) and LOS distance(50~2000m). The results of experiment shows that LOS analysis for small area, such as DMZ surveillance, were heavily influenced by DTED resolution.

주요기술용어(주제어) : Line-of-Sight Analysis(가시선 분석), LIDAR(라이다)

1. 머리말

가시선 분석은 표적위치에 따른 무인기 운용 루트 및 전자전 체계의 방향탐지기 최적배치에 중요한 의사결정 지원요소로 활용되고 있으며^[1,2], 근접한 적과의 교전을 고려한 사격 시준선 확보와 경계지역의 감시장비 배치에 사용될 수 있다^[3,4]. 가시선 분석의 방법은 지형표면고도자료(Digital Surface Model)를 기반으로 하여 가시영역과 비가시영역을 구분하는 것으로서 높은 고도에서 장거리의 지역을 분석하는 경우에는 지구곡률을 고려한 고도값을 계산하여 이를 분

석에 적용한다. 현재 한국군에서 활용중인 지형고도자료는 DTED(Digital Terrain Elevation Data)-Level 2급의 약 30미터 간격의 고도자료로서 최근에는 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)에 의한 향상된 수평/표고 수직정확도를 보유한 자료를 정사영상 제작 등에 활용중이다.

지형고도 자료를 기반으로 한 가시선 분석 결과는 지형고도자료의 수평/수직정확도 뿐만 아니라 원천자료의 해상도에 대해서도 영향을 받는다. 그러나 우리나라와 같이 비행이 금지된 비접근지역에 대한 원천영상자료의 한계로 인해 미터급 이하의 고도자료 정밀도 획득이 어려운 지역은 그 가시선 분석 결과의 활용성에도 한계가 있을 것으로 예상된다. 그동안 국내에서는 감시장비 혹은 센서의 설치고도 및 운용고도 변화에 따른 가시영역의 변화는 표적획득과 관련하여 연구가 진행된 바 있으나 해상도 변화에 따른 가시선 분석결과의 정확도 변화를 연구한 예는 거의 드문 실

† 2008년 3월 31일 접수~2008년 5월 2일 게재승인

* 건국대학교(Konkuk University)

** 국방과학연구소(ADD)

*** 경기대학교(Kyonggi University)

주저자 이메일 : eoandrew@konkuk.ac.kr

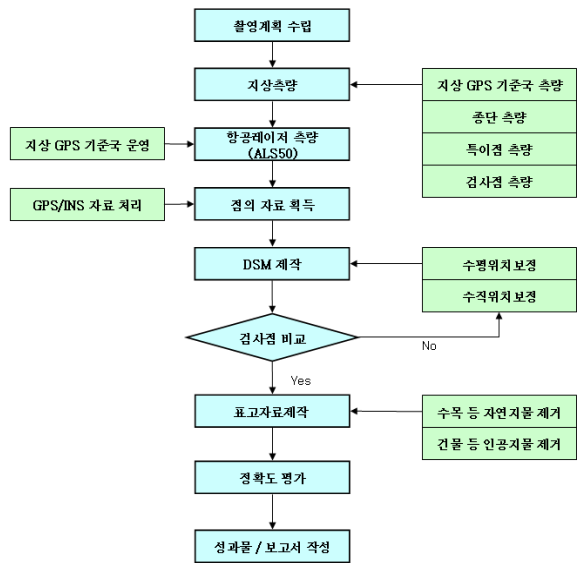
정이다^[2]. 따라서, 본 연구에서는 접근가능한 지역에서 라이다(Lidar : Light Detection and Ranging)에 의해 획득된 미터급 지형고도자료를 대상으로 동일지역에 대한 해상도를 변화시키고 이와 함께 가시선 분석 영역을 구분하여 가시선 분석 결과의 변화를 실험하여 고도자료 해상도 변화에 따른 가시선 분석결과를 분석하였다. 최근 군에서 추진하고 있는 과학화 경계시스템 성능(가시거리)을 입력요소로 하여 가시선 분석을 실시하였고 이를 포괄할 수 있는 면적의 대용량 정밀고도자료가 실험에 활용되었다. 본 연구의 결과는 접근이 불가능한 지역에 대하여 현재 보유 혹은 생성한 가시선 분석 결과의 신뢰성을 확인하고 활용분야별로 비용효과적인 고도자료 해상도를 예측할 수 있다.

2. 연구내용 및 방법

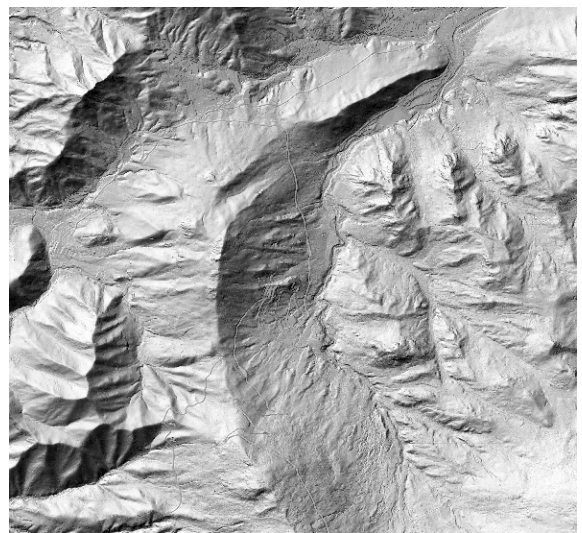
연구지역은 휴전선 지역이 주로 산악지역으로 이루어지고 수목이 우거진 특성을 감안하여 라이다 촬영을 획득할 수 있는 전라남도 산악지역 일부를 대상으로 하였고, 현재 추진 중인 GOP 과학화 경계장비의 성능인 2km를 최대거리로 한 실험 분석을 위해 약 5km×5km 영역 범위를 고려하였다. 감시장비 설치 위치는 가시영역을 최대화 하는 지역과 특정 영역을 주요감시 지역(NAI : Named Area of Interest)으로 지정하여 이를 가시범위에 포함시키는 곳을 선정하였다.

지형고도자료 획득을 위해 사용된 라이다(LIDAR : Light Detection and Ranging) 장비는 스위스 Leica사의 ALS(Airborne Laser Scanner)-50으로서 촬영 고도 2,800m에서 1.93점/m²이고, 스트립간 중복율 50%로서 원시자료 정확도가 0.64m 였다. 그림 1은 원시자료로부터 본 연구를 위해 수행된 자료처리 흐름도이다. 지형고도자료는 수목 및 인공지물의 영향도 같이 고려해야 하므로 DEM(Digital Elevation Model)과 DSM(Digital Surface Model) 두 가지 형태의 고도자료를 모두 획득하였다. 자료형식은 TM (Transverse Mercator) 평면투영 직각좌표계이고 Bessel 타원체를 평면 투영기준으로 하였다.

가시선 분석 도구로는 ESRI사의 ArcGIS 9.2의 확장모듈인 Military Analyst(MA)를 활용하였다. MA는 가시선 분석을 위하여 관측점 위치, 관측점 및 지표 차감 높이(offset), 관측 범위(km)와 관측 방위각 및 고각(°) 범위 등 군사적인 가시선 분석을 위한 분석 파라미터들을 포함하고 있어 본 연구의 목적에 부합되는 지형공간정보 처리 및 분석 도구이다^[5].



[그림 1] 라이다 자료 처리 흐름도



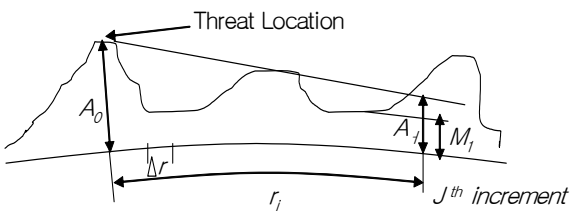
[그림 2] 라이다에 의해 획득한 연구지역 DEM

여러 가지 격자간격(1/2/3/5/10/20/30미터)에 대한 실험과 자료 변환을 위해서 미터 단위로 고도자료를 재배열하였고, 이를 MA를 통한 가시선 분석의 기반 자료로 사용하였다.

3. 가시선 분석 원리

미 육군에서 운영중인 LOS Technical Working Group의 정의에 의하면 가시선(Line of Sight)이란 “두점간의 방해받지 않는 시선(unobstructed view between two points)”으로 되어 있다. 가시선 분석을 수행하는 알고리즘은 군에서 활용되는 특성에 의해 각종 기관이나 민간회사에서 다양한 알고리즘을 개발해왔으며, 이로 인한 호환성의 문제 및 지형자료에 대한 여러 가지 문제점이 제기되어 이를 위한 연구가 진행중에 있다. 특히 미 C4I Geospatial Information Community에서는 DEM(Digital Elevation Model)과 DSM(Digital Surface Model) 기반의 가시선 분석 결과의 상이성, 도심지역과 비도심지역의 지형적 특성, 분석 원점과 목표물의 높이 선정에 현실성을 연구, 해결하려고 노력중이다.

가시선 분석(LOS : Line of Sight)은 임의의 위치에서 다른 한 지점을 바라본 관측자의 시선을 말하며 이 시선을 추적하여 대상지점의 가시여부를 판단하는 것이다. 이를 위해서는 대상지역의 고도자료가 기반이 되는데, 지구의 형상을 수학적으로 모델링하여 이를 고려한 고도자료에 대한 가시선 분석이 수행되는 것이 현실적이다^[6].



[그림 3] Geometrical Masking

$$A_1 = M_1$$

$$A_{j+1} = f(A_j, M_{j+1}, r_j, \Delta r, R)$$

여기서,

A_j : 시선상의 j번째 위치에서 최저관측가능 해발고도

M_j : 해당 위치에서 지형의 해발고도,

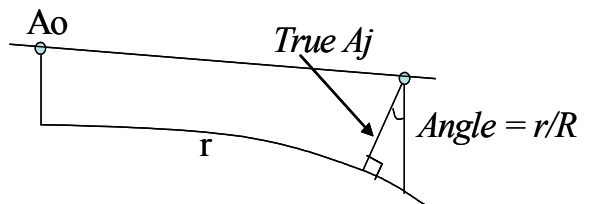
r_j : threat으로부터 해당위치까지의 거리

Δr : 거리의 단위증가치

R은 지구의 반경, 그러나 수식 적용시에는 대기 반사영향을 고려하여 4/3배를 적용하여 계산한다.

A_{j+1} 의 계산은 최저관측가능시선을 (r_j, A_j) 에서 (r_{j+1}, A_{j+1}) 으로 확장한다. M_{j+1} 의 값이 A_j 보다 클 경우, M_{j+1} 의 값을 A_j 로 치환한다.

곡률에 의한 고도변화 식을 전개하기 위해 고려되는 사항은 크게 2가지로 나뉘는데, 그중 하나는 관측점 지형고도와 목표지점 가시선 고도가 평행하지 않아서 생기는 변화량(the altitude error err-parallel)이다.

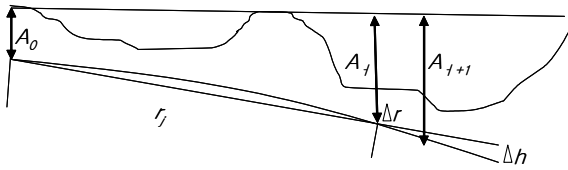


[그림 4] Parallel Approximation

그림 4에 의하면, $\frac{r}{2\pi R} = \frac{\theta}{2\pi}$, $\theta = \frac{r}{R}$ 이고, $\cos \frac{r}{R}$
 $= \frac{A_j}{A_j + Err - Parallel}$ 으로 유도된다.

그러나 이 값은 거리 5000ft이고, r_j 가 30 nautical mile 일 때 2인치에 불과할 만큼 적은 양으로서 특별한 경우를 제외하고는 무시할 수 있다. 나머지 하나는 가시선 r을 호가 아닌 직선으로 가정함으로써 발생하는 오차로서 이 역시 직선근사값이 충분한 거리에서 무시할 만큼의 오차를 유발하는 것으로 계산되고 있다.

지금까지 내용을 정리하여 구하고자 하는 목표지점의 고도를 구하는 최종 적용식의 유도는 다음과 같다.



[그림 5] Approximate Masking

$$\frac{A_{j+1} - A_0 - \Delta h}{r_j + \Delta r} = \frac{A_j - A_0}{r_j}$$

$$\therefore A_{j+1} = A_j + \frac{\Delta r}{r_j}(A_j - A_0) + \Delta h$$

이때, Δh 는 관측시선의 수평방향(X축), 이에 대하여 수직방향을 h라 할 때, 관측시선 Δr 에 대한 비고차이다. 이것은 아래와 같이 정리될 수 있다.

$$(h - R)^2 + x^2 = R^2$$

$x^2 = 2hR - h^2$ 그리고 직선식에서는 $r^2 = h^2 + x^2$ 이므로, $r^2 = h^2 + x^2 = h^2 + 2hR - h^2$ 이 된다.

$$\therefore h(r) = \frac{r^2}{2R}$$

$$\begin{aligned} \Delta h &= h(r + \Delta r) - \left(\frac{r + \Delta r}{r}\right)h(r) \\ &= \frac{(r + \Delta r)^2}{2R} - \left(\frac{r + \Delta r}{r}\right) \times \frac{r^2}{2R} \end{aligned}$$

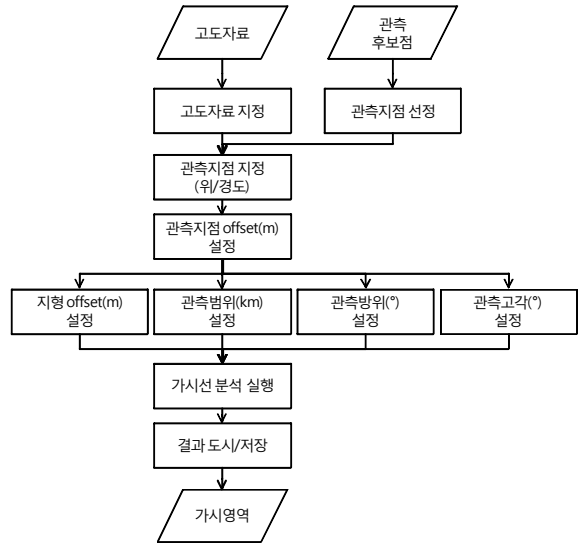
$$\therefore \Delta h = \frac{\Delta r(r + \Delta r)}{2R}$$

4. 실험 및 분석

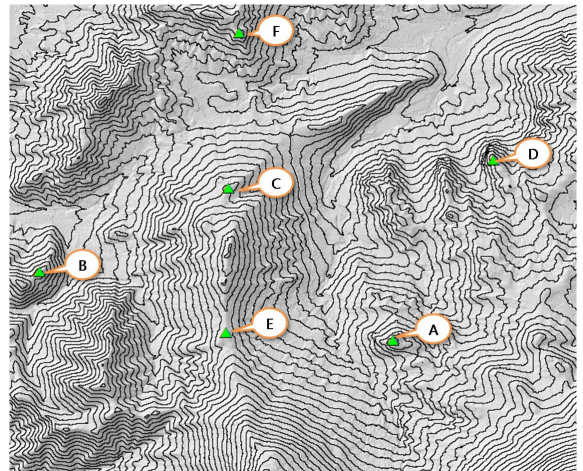
가. 개요

준비된 고도자료와 가시선 분석의 대상인 관측 후보점들로부터 MA의 가시선 분석 도구를 활용한 작업흐름은 그림 6과 같다.

고도자료와 함께 가시선 분석에 영향을 미치는 요소로는 분석하고자 하는 관측지점의 정확한 위치(origin/target selection)이다. 일반적으로 경계를 목적으로 하는 감시장비의 경우는 시계 확보가 용이한



[그림 6] 가시선 분석 작업흐름



[그림 7] 가시선 분석 관측 후보점 선정

산봉우리나 고지에 배치된다. 따라서 본 연구에서는 고도자료에 가시도 효과를 분석하기 위하여 대상지역의 지형을 분석하여 임의의 산봉우리나 주변에 비해 높은 고지 6개 지점을 관측 후보점으로 선정하였다. 고도자료에서 산봉우리나 고지에 해당하는 관측 후보점을 효과적으로 선정하기 위한 방법으로 대상지역의 고도자료로부터 등고선을 추출한 후 등고선으로부터 고지를 식별하였다. 이 때 등고선의 간격을 5m로 하였으며, 이 간격 또는 영역 내에서 가장 높은 지점을

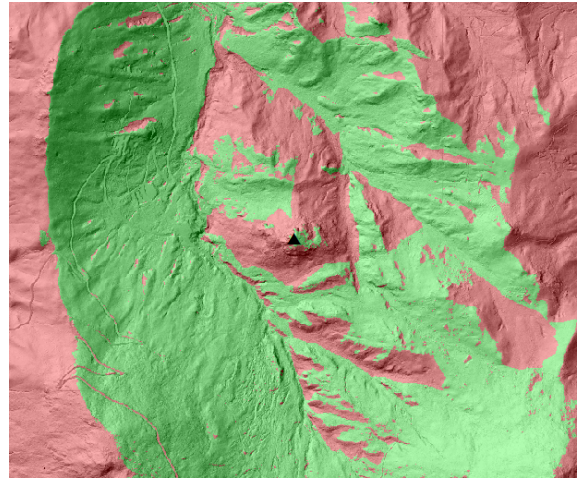
관측 후보점으로 선정하였다. 그림 7은 이 방법으로 선정된 관측 후보점 선정의 예이다.

나. 해상도별 가시선 분석

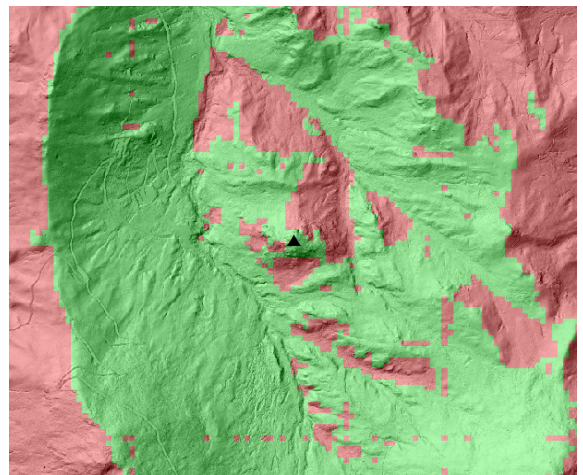
1/2/3/5/10/20/30미터 간격의 고도자료를 대상으로 가시선 분석 하였다. 동일자료에 대하여 보간없이 해상도 간격별 고도자료를 대상으로 분석을 수행하였으며 각 가시선 분석 지점별 결과는 표 1과 같다. 여기서 가시선 분석 높이는 현재 군에서 고려하고 있는 감시 장비 설치높이인 지상으로부터 5m를 기준으로 하였고, 가시거리는 주간 가시성능으로 2km로 가정하였다.

[표 1] 격자간격/지점별 가시선 분석 결과(가시율)

격자간격 \ 지점	지점A	지점B	지점C	지점D	지점E	지점F
1m	48%	35%	26%	32%	26%	42%
2m	49%	36%	27%	32%	26%	43%
3m	45%	32%	25%	30%	24%	41%
5m	50%	36%	27%	33%	27%	43%
10m	51%	37%	28%	33%	28%	45%
20m	53%	39%	29%	35%	30%	48%
30m	54%	41%	32%	38%	30%	48%



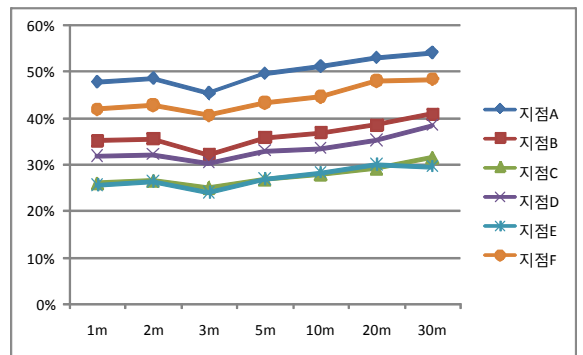
[그림 8] 가시선 분석 결과(1미터 격자간격)



[그림 9] 가시선 분석 결과(30미터 격자간격)

지형고도자료의 해상도가 높을수록 가시선 분석의 정밀도가 높아지는 것을 고려하면 본 연구지역의 경우, 고도자료의 해상도가 낮을수록 가시선이 과대하게 분석되어 정밀도는 낮아지지만 가시율은 높아지는 결과를 보인다. 표 1에서 보듯이 해상도 차이에 의한 가시선 분석 면적이 최대 8%를 넘지 않고 있으나 그림 8, 9에서 보듯이 대상지역을 차지하고 있는 가시 영역은 의미 있는 차이를 보이고 있다. 예를 들어 1미터 간격의 고도자료와 10미터 간격의 고도자료에 의한 가시선 분석 결과를 보면 그 차이가 시각적으로 명확하며 특히 관측자 인근지역의 경우는 그 차이가 뚜렷하여 경계작전과 같은 정밀 가시선분석 결과를 요구하는 경우에는 고도자료 해상도에 따른 영향을 고려하여야 한다.

전체적인 가시영역 비율 변화는 그림 10과 같다.



[그림 10] 가시영역 변화 비율

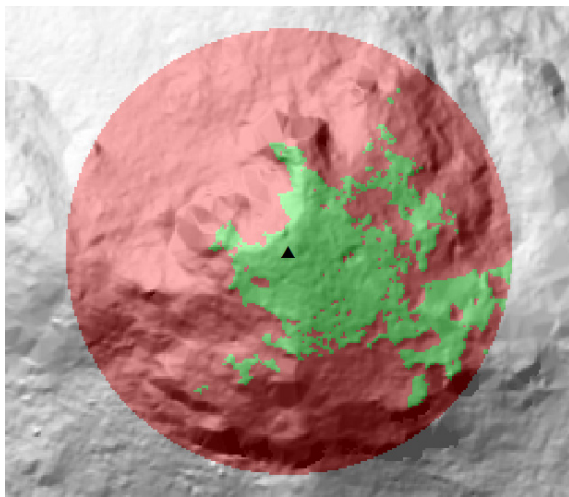
다. 감시영역 구분별 가시선 분석

50/100/200/400/500/1000/2000미터 간격의 감시영역을 구분하여 가시선 분석을 수행하였다. 이 실험은 앞선 전체 영역에 대한 가시선 분석 결과에 대하여 거리별로 분석을 수행, 해상도와의 관계를 규명하고자 하였다. 본 실험에서도 가시선 분석을 위한 감시장비 설치높이인 지상으로부터 5m를 기준으로 하였고, 가시거리는 주간 가시성능으로 2km로 가정하였다.

표 2는 고도자료 해상도별 가시비율을 나타내고 있다. 즉, 지점 A의 50m 간격의 값이 49%는 고도자료

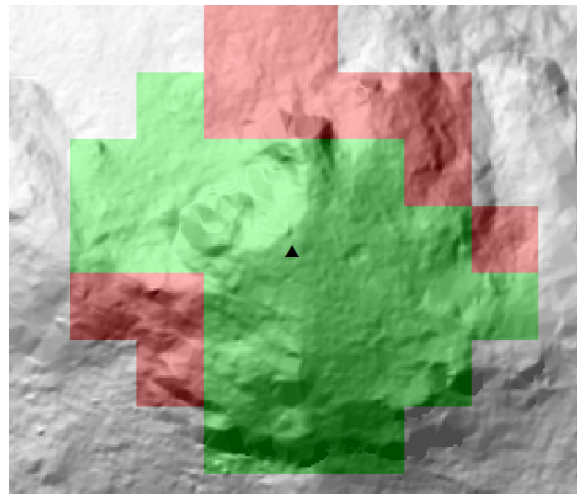
[표 2] 감시영역 구분별 가시선 분석 결과 (고도자료 1m, 30m 해상도간 가시율 차이)

	지점A	지점B	지점C	지점D	지점E	지점F
50m	49%	58%	38%	71%	33%	59%
100m	49%	48%	27%	26%	28%	50%
200m	34%	22%	14%	6%	14%	25%
400m	24%	12%	12%	8%	16%	16%
500m	20%	11%	9%	12%	14%	16%
1000m	11%	10%	5%	14%	11%	9%
2000m	9%	9%	6%	8%	6%	8%

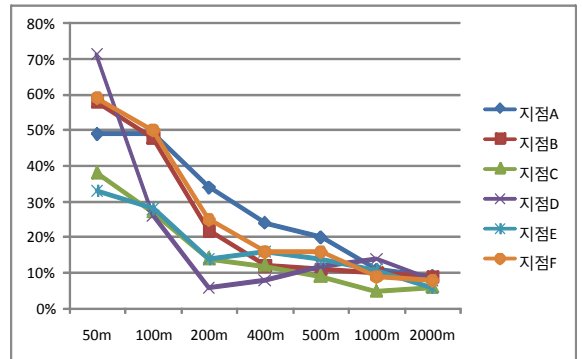


[그림 11] 가시선분석 결과(1m격자 고도자료, 반경 100m)

해상도 1m와 30m간의 가시분석 결과 차이를 나타내는 것이다. 그림 11, 12에서는 시각적으로 이를 설명하고 있다. 즉, 고도간격이 넓은 경우에는 가시영역이 전체 단위 셀을 모두 가시하는 것으로 되므로 과대 가시율이 나오는 경향이 많고, 이에 따른 현실과의 차이가 많이 나타날 수 있다. 그림 13의 결과를 보면 50미터에서 400미터 범위에서는 고도자료 해상도별 가시율의 변화가 매우 큰 반면, 400미터 이상에서 변화가 줄어들기 시작하고 1000미터 이상에서는 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 이는 근접지역일수록 고도자료의 해상도가 가시선 분석 결과에 많은 영향을 미치고 있다는 것을 나타내고 있다. 또한 그림 11, 12에서



[그림 12] 가시선분석 결과(30m격자 고도자료, 반경 100m)



[그림 13] 감시영역구분별 가시선 분석 결과(가시율)

보듯이 고도자료의 해상도가 감시장비를 중심으로 근접지역에서 지형의 기복변화를 얼마나 정확히 반영하느냐에 따라 가시선 분석 결과는 큰 차이를 보인다.

5. 맺음말

지형고도자료 해상도(격자간격)에 따른 가시선 분석 변화분석을 위한 실험을 수행하였다. 실험결과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 경계작전과 같은 근거리 가시선 분석의 경우 지형고도자료 해상도가 가시선 분석 결과에 미치는 영향이 크다. 따라서 현실적인 가시선 분석 결과 생성을 위해서는 주어진 조건에서 최대 해상도의 격자간격을 생성해야 한다.

둘째, 본 연구 대상지를 30m급 해상도까지 확대하며 실험한 결과, 약 1km를 초과하는 지역에 대해서는 1m급 해상도 기반의 가시선 분석 결과의 10% 이내의 결과 차를 보여주고 있다. 즉 대단위 지역 및 원거리 가시선 분석의 경우 비용효과적인 고도자료 해상도 선정을 고려할 수 있다.

셋째, 감시장비의 설치가 고지와 시통이 잘되는 곳이므로 6개 위치를 대상으로 실험한 결과 공통된 결과를 얻었다.

향후에는 보다 다양한 지형조건을 기반으로 일반화된 가시선 분석결과와 신뢰성을 분석하고, 감시장비의 설치 높이 변화에 따른 해상도와의 관계를 연구할 필요가 있다. 또한 이러한 연구 결과를 바탕으로 최근 추진중인 과학화 경계 사업의 장비 배치 최적화와

연계하여 야전환경에서 분석 결과를 지원할 수 있도록 할 필요가 있다.

후 기

본 논문은 중앙항업(주)에서 지원한 “위성영상을 이용한 군사지형속성자료 구축 연구”에 의해 수행된 결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] 양종원 외 4인, “전과환경분석을 통한 방향탐지기 최적배치에 관한 연구”, 한국군사과학기술학회지, 제10권, 제2호, pp. 170~179, 2007.
- [2] 어양담 외 3인, “장사정보 대응을 위한 지형정보 활용 연구”, 국방과학연구소, TEDC-508-060777, pp. 170~179, 2006.
- [3] 이한민, “가시선 분석 알고리즘 연구”, 국방과학연구소, MADC-416-060390, 2006.
- [4] 이용웅 외 4인, “지형공간정보를 이용한 감시장비 배치 최적화 실험 연구”, 한국군사과학기술학회지, 제9권, 제1호, pp. 72~79, 2006.
- [5] Chaffine, M., Using ArcGIS Military Analyst, ESRI, 2002.
- [6] Benincasa, M. M., “Parallel Implementation of the Terrain Masking Algorithm”, Rome Lab., Griffiss AFB, N.Y., 1994. 3.