

가시권 분석에서의 MAUP 영향 분석

Analysis on MAUP' Effects in Visibility Analysis using GIS

이 준 학* 김 항 덕* 오 경 두*
Joon-Hak Lee Hang-Deuk Kim Kyoung-Doo Oh

Abstract

The purpose of this study is to analyze the MAUP's effect in visibility analysis using GIS. MAUP normally occurs in the process in terrain spatial analysis including visibility analysis. There are two different types of grid data(based on digital map and Digital Terrain Elevation Data) and 10 different types of areal units are made for modeling, such as 5m×5m, 10m×10m, 15m×15m, 20m×20m, 25m×25m, 30m×30m, 35m×35m, 40m×40m, 45m×45 m, 50m×50. By analyzing the result, it was possible to observe varying viewshed areas according to different grid cell sizes and the viewshed area did not varied linearly as expected. From a general point of view, smaller unit data map out the real world in more detail, but the results of modeling do not always reach a good conclusion when data are used in modeling for terrain analysis because of the MAUP' effect. The grid cell sizes of 30m or less seems to be adequate for visibility analysis, including terrain analysis considering vegetation heights.

Keywords : Modifiable Areal Unit Problem(가변적 공간단위의 문제), GIS(지리정보체계), Visibility Analysis(가시권 분석), Terrain Analysis(지형분석)

1. 서론

미래 전쟁양상인 네트워크 중심전(Network Centric Warfare)은 신속하고 정확한 “정보의 공유”를 통해 상황인식의 공감대를 향상시켜 군사력의 효율성을 극대화하는 것을 그 목적으로 하고 있다. 네트워크 중심전(Network Centric Warfare)의 성공과 실패는 보다 신뢰성 있는 정보를 얼마나 신속하게 공유할 수 있는가에 달려있으며, 이러한 필요성에서 적은 용량으로 많은

정보를 담을 수 있는 디지털 형태의 정보를 활용한 지리정보 시스템(Geographical Information System, 이하, GIS)의 중요성이 부각되고 있다.

캐나다에서 PC를 이용한 자원관리를 위해 시작된 GIS는 관련 소프트웨어 개발 및 원격탐사(Remote Sensing) 기술 발전과 더불어 많은 발전을 거듭하여 현재는 전세계적으로 국가 인프라(Infra)의 주요 근간을 이루고 있으며, 공간적인 속성을 가지고 있는 모든 정보를 효율적으로 나타내고 분석, 관리할 수 있는 정보 시스템으로서 활용성이 점차 높아지고 있다.

특히 군에서 활용되고 있는 GIS 기반의 지형공간 정보(Terrain Spatial Data)는 병력이 접근할 수 없는 지역을 가시화할 수 있을 뿐만 아니라 적의 침투예상

† 2008년 12월 2일 접수~2009년 1월 16일 게재승인

* 육군사관학교(Korea Military Academy)

책임저자 : 이준학(cetera93@gmail.com)

경로 추정, 최적 관측소 입지 분석 등의 지형분석 모델링을 통해 보다 합리적이고 과학화된 우리 군의 작전 수행능력 향상에 기여할 수 있다. 지형분석(Terrain Analysis)은 전장지역에서의 자연 및 인공지형지물이 군사작전에 미치는 영향을 분석하기 위해 각종 자료를 수집, 분석 및 평가하여 지형분석 자료를 생산 및 제공하는 과정으로서, 특히 GIS를 이용한 가시권 분석은 전장상황에서 기동 및 대기동, 화력, 통신운용의 불확실성을 감소시키고 전투력, 무기체계 운용의 효율성을 증대시키며, 의사 결정권자에게 정확한 판단을 할 수 있는 결심보조자료를 제공함으로써 전승에 기여할 수 있다^[1]. 최근 육군에서는 네트워크 기반 동시통합전 구현을 위한 지상전 개념을 정립하였으며, 이에 따라 지형공간정보에 대한 군의 의존도가 점차 높아질 것으로 예상된다. GIS를 이용한 지형분석 자료가 군 의사 결정권자에게 유효한 정보로 제공된다는 것은 지형분석의 결과물로 제공하는 데이터의 신뢰성에 대한 검증이 병행되어야 한다는 것을 의미한다.

일반적으로 지형공간정보는 데이터 자체 및 데이터 처리상의 오류를 가질 수 있으며, 공간데이터 분석시 발생하는 여러 가지 문제점들에 노출되어 있다. 그러나 아직까지 우리 군의 작전목적으로 사용되는 지형공간정보의 신뢰성이나 지형분석 모의기법의 적절성에 대한 연구는 거의 없는 형편이다.

미 육군은 이런 문제를 해결하기 위하여 미 육군 공병단 산하 연구소를 중심으로 많은 예산과 노력을 투입하고 있으며, 특히 가시권 분석의 경우, 미 육군 공병단(U.S. Army Corps of Engineers) 산하 지형 공학 연구소(Topographic Engineering Center) 내 가시선 분석 기술 지원팀(LOS Technical Working Group)이 별도로 설치되어, 야전부대에 제공되는 가시선(Line of Sight, 이하 LOS) 분석 결과의 신뢰성 제고를 위한 많은 연구활동 및 지원을 지속해오고 있다^[2]. 그러나 아직까지 이와 관련된 국내 연구는 매우 드문 실정이다. 이와 관련하여 이준하 등(2008)^[3]은 지형분석시 수치지형고도자료의 격자크기 변화에 따른 가변적 공간단위의 문제를 연구한 바 있으며, 어양담 등(2008)^[4]은 LIDAR(Light Detection and Ranging)로부터 지형고도자료를 추출하여 여러 가지 격자간격에 따른 가시선 분석을 모의한 바 있다.

본 연구는 공간데이터 분석 과정에서 흔히 발생하는 가변적 공간 단위의 문제(Modifiable Areal Unit

Problem, 이하 MAUP)를 고찰하기 위한 것으로서 지형분석 모델링 중에 가시권 분석(Visibility Analysis)을 중심으로 살펴보았다.

2. 가시권 분석과 MAUP

가. 가시권 분석

가시선은 관측자가 특정방향을 바라보았을 때, 보이거나 보이지 않는 지점에 대한 정보를 담은 가상의 선을 관측지점으로부터 지표면에 연이어 표시한 선을 의미한다. 가시권(Viewshed)이란 특정지점에서 관측할 수 있는 범위로서 사람이 수평 방향으로 볼 수 있는 가시선(Line Of Sight)의 영역을 의미하며, 조망지점에서 조망대상에 대해 가시여부와 가시비율을 %로 측정하여 조망지점을 평가하는 방법이다. 가시권 분석(Visibility Analysis)은 특정지점에서 대상지역을 조망하였을 때, 조망 가능한 가시범위(Viewshed)를 분석하는 것으로서 도시 경관 및 미관 분석, 조경 및 도시계획시 조망 권역에 대한 예비분석, 부동산 가치평가 등에도 널리 사용되고 있는 기법이다. 군에서는 직사각기 사계지역, 통신 및 비통신장비의 가시지역 분석, 관측소 및 감시소, 무선통신 기지 등의 위치 선정, 수색, 은폐, 임폐지역 분석, 전자파 장비 및 데이터 운용지역 분석시 활용되고 있다.

가시권 분석방법에는 현지 관찰방법, 사진 및 슬라이드, 지형도를 이용한 방법과, 최근에 폭넓게 사용되고 있는 GIS를 이용한 방법 등이 있다. GIS를 이용하여 가시권 분석을 하기 위해서는 지형표현에 관한 문제, 분석 알고리즘 모델에 관한 문제, 경관요소별 적정 분석 방법의 문제, 지형도 자체의 오류 및 자료 입력시의 오류, 주변 식생 및 인공요소 등을 고려해야 하며, 기본적으로 표고 정보를 가지고 있는 수치 표고모형(Digital Elevation Models, 이하 DEM)을 기반으로 조망위치점(Landscape Control Point or Viewpoint)에 대한 정보, 대상지역에 대한 경사도, 식생, 그리고 관측자 높이, 표적 높이, 관측거리 등을 고려해야 한다.

나. MAUP

MAUP(Modifiable Areal Unit Problem)는 ‘군집데이터(Aggregated Data)를 이용한 공간연구를 할 때 영향을 줄 수 있는 잠재적인 오차요인’(Unwin, 1996)^[5]으로서

공간정보를 결합하고 나타내는데 일반적으로 쓰이는 공간격자(Grid) 또는 공간단위(Spatial Units)의 군집방식에 따라서 동일한 지역에서 동일한 연구를 수행하더라도 공간적 분포 패턴 또는 두 변수의 공간분포 간 상관관계가 달라지는 현상을 의미한다. MAUP는 GIS를 이용한 지형분석시 공간단위(Areal Unit)를 어떻게 군집(Aggregation)시키느냐에 따라 동일 대상지역이라도 연구결과가 달라질 수 있다는 것으로, 공간데이터 분석과정에서 흔히 발생하는 현상이다. GIS 모델링에 사용되는 래스터(Raster) 기반의 지형공간정보는 일정한 공간단위를 기반으로 하여, 매트릭스(Matrix) 형태로 속성값(Attributes)을 가지고 있으며, 데이터의 군집을 통해 실제 지형을 나타내게 된다. 따라서 연구에 사용되는 공간단위의 선정은 기본적으로 연구자에 따라 임의적이며, 연구결과는 선정된 공간단위와 체계적인 관련성을 가지게 된다. MAUP는 크게 스케일 효과(Scale Effect)와 구획효과(Zoning Effect)의 2가지로 구분한다(Armhein, 1995)⁶⁾.

첫 번째 스케일 효과(Scale Effect)는 같은 데이터 Set을 다른 해상도의 공간단위로 군집시켰을 때 나타나는 속성값의 차이로서, 동일한 데이터의 격자크기를 점차 증가시켰을 때 다른 결과값과 오차가 발생하는 현상이다.

두 번째로 구획효과(Zoning Effect)는 같은 공간단위에서 단위 면적을 변화시킬 때 그 통계값이 변하는 문제로서 자료의 해상도를 높였을 때 경계지역 형상이 달라짐으로 인하여 결과값이 변하고 오차(Variability)가 발생하는 현상이다. 이렇듯 동일 대상지역이라도 입력자료의 격자크기 및 군집방법에 따라 속성값을 가지고 있는 변수들 간의 공간 관계에 대한 해석결과가 달라질 수 있기 때문에 GIS를 이용한 모의(Spatial Modeling) 결과가 군 작전과 같이 중대한 의사결정의 자료로 사용될 때는 MAUP가 미치는 영향을 신중히 고려해야 한다.

3. 연구방법

가. 연구대상 지역

연구대상 지역은 서울 북쪽의 관문도시이자 경기북부의 교통요충지인 의정부 지역을 대상으로 하였다. 의정부 지역은 추가령 구조곡과 광주산맥의 말단부에 있는 타원형 형태로 이루어진 침식분지에 위치하고

있으며, 대상 지역내 주요 고지로는 북쪽에 천보산(해발 336.8m), 서남부의 657고지, 서북측의 460고지, 동남쪽의 526고지 등이 있다. 수치지도로부터 추출된 연구대상 지역의 면적은 약 117.768km²(10.9km×10.8km)이다.

나. 입력자료 구축

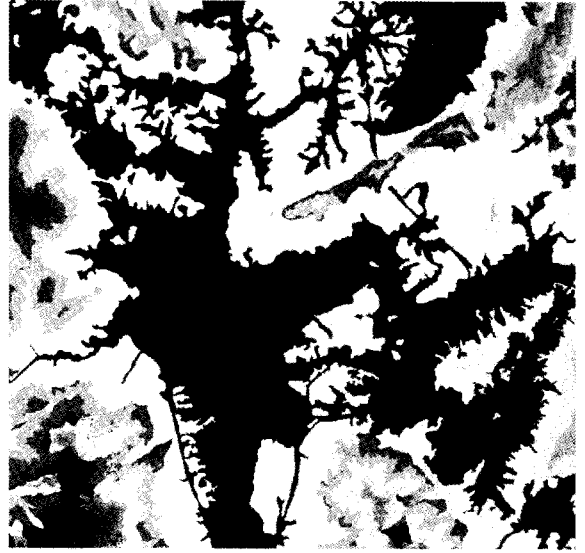
입력자료를 구축하기 위해 의정부 지역에 해당하는 국토지리정보원의 1:5000 수치지도(Digital Map)로부터 추출한 등고선 및 표고 데이터와 미국 NIMA(National Imagery Mapping Agency)에서 제작된 수치지형고도자료(Digital Terrain Elevation Data) level-3를 각각 grid로 변환하여 입력자료로 사용하였다. 국토지리정보원의 1:5000 수치지도는 dxf 파일 형식으로 되어 있으며, 등고선 간격이 5m로 되어 있다. 사용한 도엽은 의정부 지역에 해당되는 20개 도엽으로, 수치지도로부터 7111(주곡선), 7114(계곡선), 7217(표고점)을 추출한 후, 데이터의 오류보정절차를 거쳐, TIN(Triangulated Irregular Network)으로 변환 후, 각각 5m, 10m, 15m, 20m, 25m, 30m, 35m, 40m, 45m, 50m의 상이한 공간 단위를 가진 10가지 종류의 grid를 생성하였다.

수치지도로부터 만들어진 grid 자료의 모의 결과를 비교하기 위해 동일 대상지역의 수치지형고도자료를 사용하였으며, 수치지형고도자료로부터 변환된 grid를 resampling하여 10m, 15m, 20m, 25m, 30m, 35m, 40m, 45m, 50m, 9가지 종류의 grid를 구축하였다. 모의에 사용한 수치지형고도자료 level-3는 해상도가 10m로서, 이보다 높은 해상도(Resolution)의 5m grid는 오차를 고려하여 생성하지 않았다. 그림 1은 연구대상 지역의 수치 지도를 나타낸 것이며, 그림 2는 수치지도의 등고선 및 표고자료로부터 TIN을 구성한 결과를 나타낸 것이다.

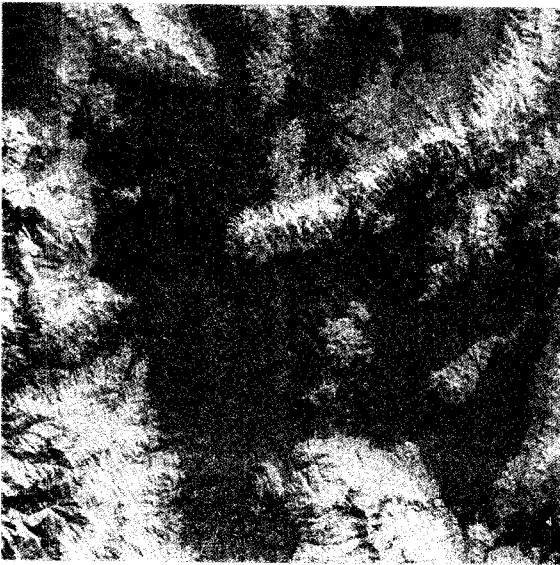
수치지도는 지형도를 디지털화한 것으로 수치지도의 등고선 및 표고자료를 이용하여 구축한 grid는 지반 위에 자라고 있는 식생에 대한 영향을 고려하지 못하는 단점이 있다. 위성영상(Remote Sensing), LIDAR 등을 통하여 식생 등의 높이를 고려할 수 있는 방법이 있지만 실무적으로 적용하기에는 시간과 비용 면에서 많은 제한 사항이 따른다. 따라서 본 연구에서는 식생의 높이를 고려하기 위해 삼림청의 1:25,000 수치임상도로부터 대상지역의 식생지역을 추출하고, 수치지도로부터 만든 grid상에 식생에 해당하는 지점의



[그림 1] 연구대상 지역(수치지도)



[그림 3] 식생지역 추출 및 높이 보정



[그림 2] TIN망 구성



[그림 4] 연구지역의 수목 높이

grid 높이를 보정해주는 방법을 취하였다. 식생의 높이는 나무의 종류 및 지역, 계절 등에 따라 달라지는 제한사항이 있는 관계로, 본 연구에서는 연구자의 연구대상 지역 답사결과를 바탕으로 10m 이내로 적용하였다. 그림 3은 식생지역을 추출하고 높이를 보정한 과정을 나타낸 것이며 그림 4는 지난 8월 연구자가 연구지역 답사 때 찍은 수목 사진이다.

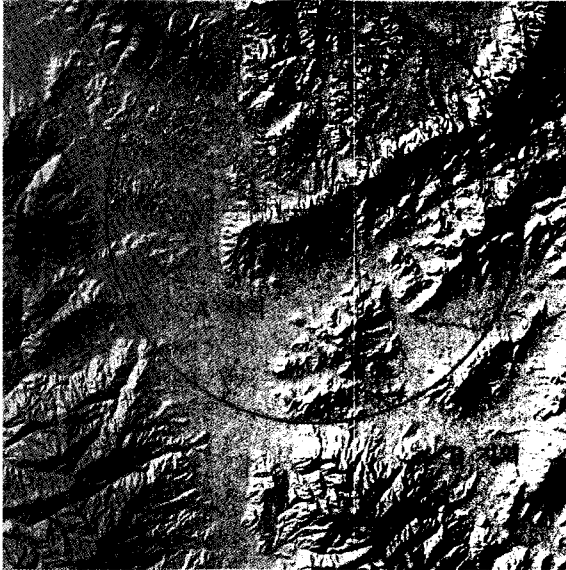
다. 조망위치점 선정

조망위치점은 연구대상 지역 내의 주요 고지에 해당하는 천보산(해발 336.8m)을 포함한 총 5개소를 선정하였다. 조망위치에 대한 입력자료로서 관찰자의 높이(Observed Offset)와 목표지점의 지상 이격 높이(Target Offset)는 각각 1.5m로 하였으며, 최근거리(Near Distance)는 5m, 최장거리(Far Distance)는 4km로 설정하였다. 본 연구에서는 가시권 분석시 대상지역의 표고자료와 식생만을 고려하였으며, 도로, 건물 등의 인공 지형지물 및 기상 요소는 고려하지 않았다.

라. 모의방법

가시권 분석은 ArcGIS의 Spatial Analyst를 이용하였으며, 대상지역을 그림 5와 같이 천보산에서 바라본

가시권 영역(A 지역)과 5개 조망위치에서 동시에 관측한 전체 가시권 영역(B 지역)의 2개 지역으로 구분하여 모의하였다.

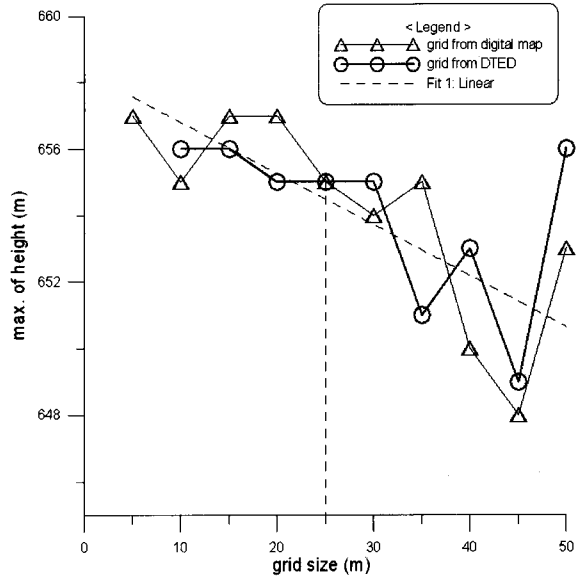


[그림 5] 조망위치점 선정 및 지역구분

4. 모의결과

가. 격자크기에 따른 표고의 변화

격자크기에 따른 표고 데이터의 변화를 알아보기 위하여 연구 대상지역 표고 전체에 대한 통계값을 가지고 비교해 보았다. 수치지도 및 수치 지형고도자료로부터 변환시킨 grid 모두 격자크기 증가에 따른 최저표고 및 평균의 변동은 미미하였으며, 변동 계수는 약 0.75로서 비슷한 분포 양상을 보였다. 최대표고는 그림 6과 같이 격자크기가 커질수록 소폭의 증감은 있지만 다소 감소하는 경향을 보였다. 연구 대상지역에서 수치지도로부터 추출한 grid와 수치지형고도자료로부터 변환시킨 grid의 최대표고는 격자 크기가 증가할수록 소폭 증감의 진동(Damping)을 보이면서 차츰 감소하다 25m 격자크기에서 일치하였으며, 이후 점차 감소하여 45m 격자크기에서 최소값을 가진 후 50m 격자크기에서는 오히려 상승하는 것으로 나타났다. 감소폭은 하한치인 45m 격자크기를 기준으로 수치지도의 경우 9m, 수치지형고도자료의 경우 7m의 오차가 발생하였다.



[그림 6] 최대표고에 대한 스케일 효과

나. 격자크기에 따른 면적의 변화

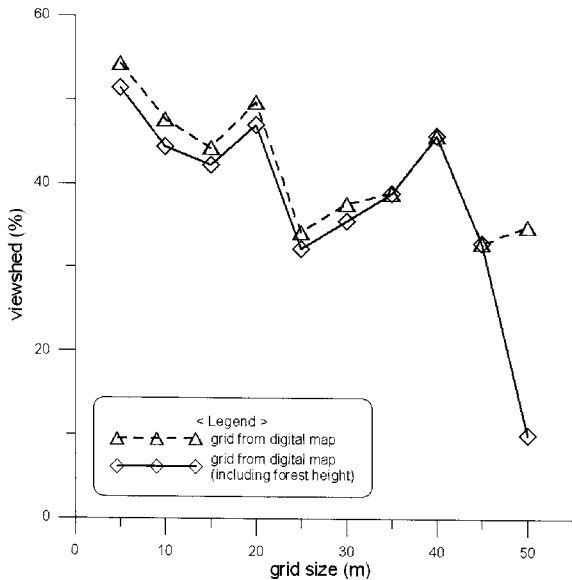
지역구분에 따른 가시권 영역을 산출하기 위해 천보산 조망위치점을 중심으로 최대거리 4km의 buffering 원을 생성하고, grid clip 기능을 이용하여 각 grid별로 buffering 원에 해당하는 지역(A)을 추출하였다. 벡터 형식으로 되어 있는 폴리곤(Polygon)을 기준으로 grid에서 해당 영역을 추출하게 되면 격자크기에 따른 경계지역 형상이 달라지게 되어 면적에 대한 구획효과(Zoning Effect)가 발생하게 된다. 모의한 A지역과 B지역에서 격자크기별 전체 면적오차는 최대 0.138%로서 구획효과로 인한 면적차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

다. 식생을 고려한 가시권 분석 모의

본 연구에서는 식생이 가시권 분석에 미치는 영향을 분석하기 위하여 수치임상도를 이용하여 식생의 높이를 보정한 입력자료를 구축하였다. 일반적으로 식생의 높이를 고려할 경우, 고려하지 않을 때보다 식생의 차폐효과에 의하여 가시권 영역이 감소되게 된다. 이를 분석하기 위하여 연구대상 지역의 가시권 영역을 격자크기별, 식생의 높이를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우로 구분하여 모의한 결과는 그림 7에 나타내었다.

모의결과 식생의 높이를 고려할 경우, 격자크기에 따라 다르지만 가시권 영역이 약 5% 이내로 소폭 감

소됨을 알 수 있었다. 가시권 영역은 격자크기가 증가할수록 소폭의 진동을 보이면서 점차 감소하는 양상을 보였으며, 35m 격자크기 이상일 경우는 식생을 고려한 경우와 고려하지 않는 경우의 가시권 영역비율(%)이 거의 동일해짐을 알 수 있었다. 이것은 35m 격자크기 이상일 경우, 연구 대상 지역에서 고려한 식생의 높이보다 변화된 표고의 오차가 더 커지기 때문인 것으로 사료된다.



[그림 7] 가시권 영역 변화(B지역)

라. 가시권 분석에 대한 MAUP 영향

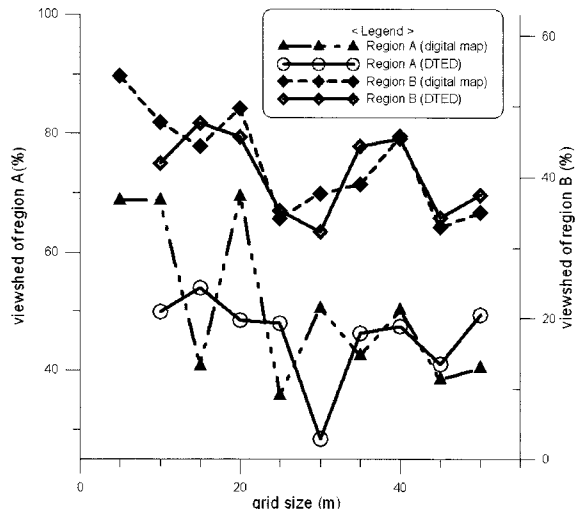
격자크기에 따라 A, B지역으로 구분하여 가시권 분석을 모의한 결과를 표 1, 그림 8, 10에 나타내었다. 모의결과 수치지도와 수치지형고도자료로부터 변환시킨 grid는 격자크기가 증가할수록 소폭의 진동(Damping)을 보이면서 대체적으로 가시권 영역이 점차 감소하는 양상을 보였다. 특히 수치지형고도자료 grid는 수치지도와는 달리 30m 격자크기를 정점으로 좌우가 구분되는 변동양상을 보였다. 본 모의에서 사용한 수치지도와 수치지형고도자료는 30m 격자크기를 기준으로 최대 약 22%의 가시권 영역 비율의 차이를 보였다.

수치지도의 경우 5m 격자크기일 때 보다 50m 격자크기일 때 전체면적 대 가시면적의 비율(가시권 영역 비율)이 약 28% 감소되었으며, 수치지형고도자료의 경우는, 10m 격자크기일 때 보다 30m 격자크기일 때, 가시권 영역 비율이 약 21% 감소됨을 알 수 있었다.

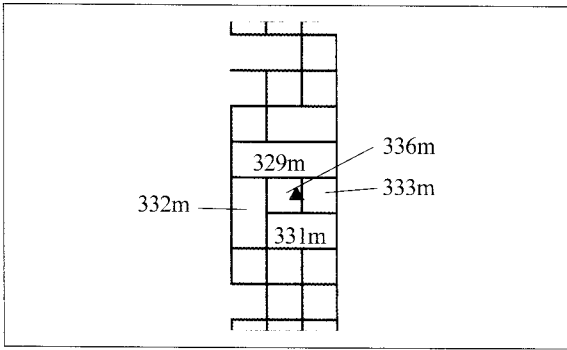
이러한 차이는 지역범위가 넓어질수록(A지역 → B지역) 그 차이가 줄어드는 경향을 보였다. 그 원인으로 그림 9와 같이 격자크기가 커짐에 따라 조망위치점의 표고가 하향 조정되면서 주변 격자들 간의 MAUP에 의한 스케일 효과가 발생하기 때문인 것으로 판단된다. 조망위치점은 해당지역내 가장 높은 고지를 최초 선정하였으나, 격자크기가 조정되면서 MAUP에 의한 구획효과에 의해서 주변 격자보다 표고가 낮은 경우가 발생하여 오차를 불러일으키는 것으로 확인되었다.

[표 1] 격자크기에 따른 가시권 영역변화

구분	수치지도		수치지형고도자료		비고
	A지역	B지역	A지역	B지역	
5m	68.7	54.4	-	-	가시면적 ÷ 전체면적 (%)
10m	68.7	47.7	49.9	41.9	
15m	40.7	44.3	54.0	47.7	
20m	69.4	49.7	48.4	45.6	
25m	35.7	34.2	47.9	35.2	
30m	50.5	37.7	28.4	32.3	
35m	42.5	38.9	46.2	44.4	
40m	50.2	45.7	47.5	45.5	
45m	38.4	33.0	41.1	34.2	
50m	40.4	35.0	49.4	37.4	



[그림 8] 가시권 영역 변화 양상



(a) 10m 격자크기일 경우(조망위치점 만족)

		299m	300m	304m	
		322m	324m ▲	325m	
		330m	335m	331m	

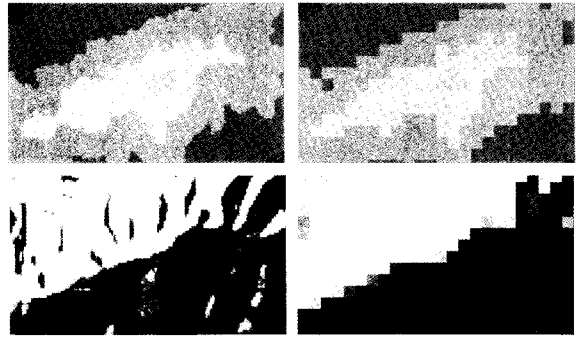
(b) 20m 격자크기일 경우(조망위치점 불만족)

[그림 9] 조망위치점 및 주변표고 변화

그림 10은 수치지도와 수치지형고도자료의 가시권 분석결과를 격자크기 10m와 50m를 기준으로 비교한 것으로 입력자료와 격자크기에 따라 가시지역이 달라짐을 알 수 있다. 그림 11은 실제지형에서 바라본 가시권과 모의결과를 3D view로 비교해본 것이다.

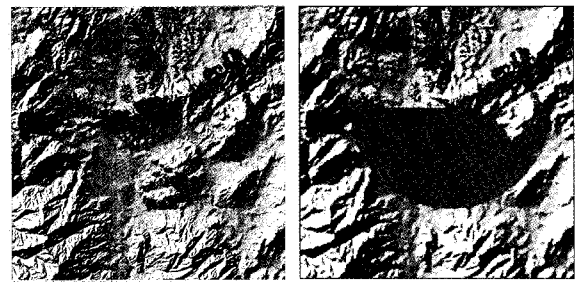
5. 결론

미래전 양상인 네트워크 기반 동시통합전 구현을 위해서는 군사지리정보체계(MGIS)의 활용이 필수적이며, 지형공간정보에 대한 검증과 지형분석 모델링 결과의 신뢰성 제고를 위한 노력이 지속되어야 한다. GIS를 이용한 지형분석은 입력 자료로 사용되는 지형공간정보의 정확성과 적절한 모의 기법에 대한 검증이 선행되어야 하며, 군 의사 결정권자에게 지형분석 결과물이 유효한 정보로 제공될 때는 모의한 기법과 결과가 갖고 있는 한계점에 대한 내용도 포함될 필요가 있다. 본 연구는 지형분석 모델링 과정 중 가시권

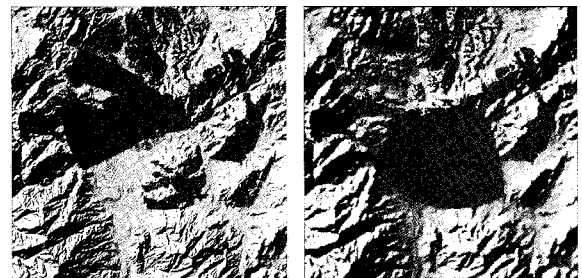


(a) 10m 격자크기

(b) 50m 격자크기

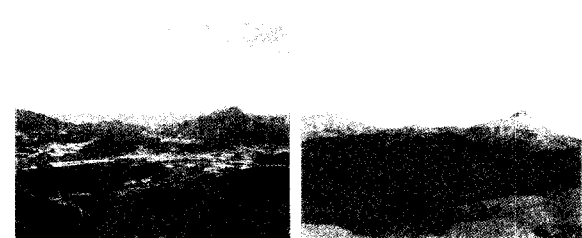


(c) 모의결과 비교(수치지도)



(d) 모의결과 비교(수치지형고도자료)

[그림 10] 격자크기에 따른 가시권 영역 변화



[그림 11] 실제지형과 모의결과 비교(예)

분석에 대한 MAUP의 영향을 분석하기 위한 것으로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 가시권 분석시 격자크기가 증가할수록 스케일

(Scale Effect) 및 구획효과(Zoning Effect)에 의하여 오차가 발생하였으며 가시권 영역 비율은 최대 28%의 차이가 났다. 전반적인 추세는 소폭의 증감이 있지만 격자크기 증가에 따라 가시권 범위가 점차 축소되는 것으로 나타났다. 그 원인은 격자크기 증가에 따라 연구대상 지역의 조망위치점 표고가 관측 지역의 표고보다 더 빨리 하향 조정되기 때문인 것으로 사료된다.

둘째, 식생의 높이를 고려한 가시권 분석의 경우, 연구 대상지역에서는 격자크기가 35m 이상 되면, 식생의 높이를 고려하지 않을 때와 유사한 것으로 나타났다. 이것은 35m 격자크기 이상일 경우, 연구 대상지역에서 고려한 식생의 높이보다 변화되는 표고의 오차가 더 커지기 때문인 것으로 사료된다.

셋째, 민간에서 주로 활용중인 국토지리정보원의 수치지도와 수치지형고도자료의 모의결과를 비교해본 결과 가시권 분석에 있어서 최대 22%의 차이가 발생하였으며, 격자크기에 따른 모의결과의 변화 양상 또한 상이하였다. 수치표고모형의 자체 생산 능력이 없는 우리 군에서는 입력자료 선택시 이를 신중히 고려해야할 것으로 생각된다.

본 연구는 격자크기에 따른 가시권 영역의 변화를 가시권 영역 비율(%)로 분석한 것으로서, 격자크기에 따라 실제 지형의 특정 지점이 가시권 영역에 포함되는지 여부에 대한 문제는 고려하지 않았다. 따라서 향후 가시권 분석시 실제 지형과 가장 근사한 결과값을 도출해낼 수 있는 적정 격자기준 및 MAUP 영향을 최소화 할 수 있는 방안에 대한 추가적인 연구가 요

망된다.

후 기

본 연구를 위해 수치임상도(1:25,000)을 제공 해주신 산림청 관계자 분들께 감사를 표합니다.

Reference

- [1] 육군본부, 지형분석실무지침서, 2003.
- [2] <http://www.tec.army.mil/operations/programs/LOS>
- [3] 이준학, 김항덕, 오경두, “GIS를 이용한 지형분석과 가변적 공간단위의 문제”, 육사논문집 제64집 1호, pp. 557~573, 2008.
- [4] 어양담, 박완용, 이용웅, 이병길, 편무욱, “지형고도자료 해상도가 가시선 분석에 미치는 영향”, 한국 군사과학기술학회지 제11권 제3호, pp. 99~105, 2008.
- [5] Unwin, David. J., GIS, “Spatial Analysis and Spatial Statistics”, Progress in Human Geography 20(4), pp. 540~551, 1996.
- [6] Armhein C. G., “Searching for the Elusive Aggregation Effect : Evidence from Statistical Simulations”, Environment & Planning A, Vol. 27(1), pp. 105~119, 1995.