

## 수치지형도를 활용한 가시권 분석의 적정 분석방법에 관한 연구

여창환<sup>1</sup> · 장영진<sup>2\*</sup>

### Evaluating Suitable Analysis Methods Using Digital Terrain in Viewshed Analysis

Chang-Hwan YEO<sup>1</sup> · Young-Jin JANG<sup>2\*</sup>

#### 요 약

본 연구의 목적은 GIS 분석기법을 활용한 가시권 분석이 활발해 지고 있으나 분석결과의 정확도에 대한 논의는 이루어지고 있지 않은 점에 착안하여 가시권 분석방법에 대한 심층적 논의를 통해 분석결과의 신뢰도를 높이는데 있다. 수치지형도를 활용한 가시권 분석은 분석 대상지의 특성, 수치지형도의 축척, 분석의 공간 해상도, 지형자료의 형태에 따라 상이하게 도출되어 분석결과의 오차를 발생시킬 수 있다. 이러한 측면에서 본 연구에서는 분석의 공간 해상도가 낮아지면 가시권 분석결과의 면적은 넓어지고 유효 한계해상도보다 해상도가 낮아지면 분석결과의 면적은 불안정한 변화추이를 보일 것이라는 가정 하에 공간 해상도별 가시면적의 변화추이와 공간 일치도 분석을 실시하였다. 연구결과를 요약하면 분석 대상지와 수치지형도의 축척, 공간 해상도, 입력된 지형자료의 형태에 따라 분석결과가 상이하게 도출되어 분석결과의 정확도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 가시영역이 산지 지형인 경우에서 안정적 분석결과가 도출되었다. 또 입력되는 지형자료의 경우는 제한된 조건에서 TIN보다 레스터 자료에서 안정적인 분석결과가 도출되었다. 마지막으로 해상도별 가시면적의 변화추이와 공간 일치도 분석결과에 비취보면 축척별 수치지형도에 따른 유효한 최소의 공간 해상도가 존재하는데, 1/1,000의 경우는 8m, 1/5,000은 20m, 1/25,000은 35m를 넘지 않은 범위에서 분석하는 것이 바람직하다.

**주요어 :** 가시권 분석, 수치지형모델, 수치표고모델, 불규칙삼각망

2010년 11월 30일 접수 Received on November 30, 2010 / 2010년 12월 16일 수정 Revised on December 16, 2010 / 2011년 3월 9일 심사완료 Accepted on March 9, 2011

1 대구대학교 도시 및 지역계획학과 Dept. of Urban and Regional Planning, Deagu University

2 대구대학교 건축공학과 Dept. of Architecture Engineering, Deagu University

\* 연락처 E-mail : rokodia@hanmail.net

## ABSTRACT

The purpose of this study is to contribute enhancing the accuracy of viewshed analysis through the explanation for an analysis method of viewshed analysis using GIS. According to previous studies, the visible area using digital terrain in viewshed analysis depends on a visible interest area, scale of terrain, spatial resolution and surface data. In this study, we used trend analysis and RMSE analysis in order to find the effect of a visible interest area, scale of terrain, etc in viewshed analysis. Results of this study are as follows. First, the result of viewshed analysis depends on a visible interest area, scale of terrain, spatial resolution, surface data such as previous studies. Second, the results in forest area are reliable than those of flat area in terms of a visible interest area. Third, the results based on raster grid data are stable than those of TIN(triangulated irregular network) in terms of input surface data. Fourth, according to the result of trend and RMSE analysis, the spatial resolution for analysis is differently applied to different scales digital terrain map in viewshed analysis. In detail, it is desirable that the spatial resolution is set less than 10m(in the case of 1/1,000 digital terrain map), 20m(in the case of 1/5,000 map), 30m(1/25,000 map).

**KEYWORDS :** *Viewshed Analysis, Digital Terrain Model, Digital Elevation Model, Triangulated Irregular Network*

## 서론

가시권은 조망지점(viewpoint)과 목표지점(target point)간의 표고차이에 의한 알고리즘으로 계산된다. 최근 수치지형도의 활용이 보편화되고 표고자료가 래스터 자료 형태로 제공됨으로써 가시권 분석시에 수치표고모델(DEM: Digital Elevation Model)과 수치지형모델(DTM: Digital Terrain Model)의 활용이 일반화되고 있다(Heater and Steven, 2007). DEM 자료는 보간법 등을 활용하여 수치지형도의 표고점과 등고선레이어로 구축될 수 있으나 한정된 자료를 활용하여 보간하기 때문에 정확성에 문제가 있다. 이러한 점을 개선하기 위해 최근 LiDAR 측량, 항공사진 또는 위성영상 등을 통해 정확한 DEM 자료를 구축하고 있다. 그러나 원격탐사를 통한 DEM 구축은 원시자료 구축비용이 높기 때문에 가시권 분석 시 관련 학계 및 업계에서는

분석오차의 문제에도 불구하고 여전히 수치지형도의 활용도가 높다.

수치지형도를 활용하여 가시권 분석을 행할 때 입력되는 지형자료(input surface)는 일반적으로 두 유형으로 구분된다. 즉, 불규칙삼각망(TIN: Triangulated Irregular Network)과 래스터 그리드(raster grid)의 두 경우이다. 일반적으로 TIN보다 래스터 그리드를 활용하여 가시권 분석을 많이 하는데 그 이유는 래스터 그리드의 자료구조가 간단하기 때문이다(Wang *et al.*, 1996). 이와 관련하여 Lee (1991)는 래스터 그리드 제작과정에서 발생하는 자료의 오류, 즉 하나의 셀에는 동일한 높이가 적용되기 때문에 TIN보다 가시권 분석결과의 정확도가 낮다고 제시한 바 있다. 이러한 연구결과와 반하여 Mark and Denis (2001)의 연구에서는 오히려 래스터 그리드 기반의 분석결과가 실제 가시권 영역과 유사한 결과가 나타나고 있다고 반박한 바 있다. 그 이유로 TIN 각 지점(facet)에 따라 분석

결과의 차이가 있을 수 있고 TIN이 수치지형도의 근원적인 오차에 영향을 많이 받는다고 제시하고 있다.

이상의 기존 연구들은 가시영역의 단순 중첩에 의한 일치도에만 집중하여 가시권 분석의 정확성에 대해 논하고 있다. 실제로 가시권 결과에 영향을 미칠 수 있는 분석 대상지의 특성, 분석의 공간 해상도, 지형자료의 형태, 수치지형도의 축척에 대한 논의는 거의 이루어지지 않았다. 또 국내 관련 분야에서 가시권 분석시 수치지형도를 보편적으로 활용한다는 점을 감안하면 가시권 분석과정에서 유발될 수 있는 오차에 대한 심층적인 논의가 필요하다.

이러한 측면에서 본 연구는 수치지형도를 활용한 가시권 분석 과정에서 고려되는 분석 대상지 특성, 수치지형도의 축척, 분석의 공간 해상도, 지형자료의 형태에 따른 분석결과의 오차에 대해 심층적으로 논의한다. 이에 연구의 목적은 가시권 분석의 객관화, 분석결과의 신뢰도를 높이는데 이바지하고 나아가 도시경관분야를 비롯한 다양한 분야에 GIS 활용을 확대하는데 있다.

## 자료 및 분석방법

기존 연구에서는 수치지형도(축척 1/5,000 또는 1/25,000)를 활용하여 DEM을 구축할 때의 적정 해상도를 10m~30m로 제시하고 있으나 구체적인 해상도는 대상지의 지형적 특성에 따라 적절하게 결정하도록 권고하고 있다(Quinn *et al.*, 1991; 한국건설기술연구원, 2001; 이근상 등, 2003; 박진형 등 2004; 김만규와 박종철, 2008). 기존 연구결과와 같이 지형을 기반으로 하는 분석에서는 수치지형도의 축척, 분석의 공간 해상도, 분석 대상지에 따라 분석결과가 달라질 수 있다. 이러한 점에 착안하여 본 연구에서는 분석 대상지의 지형적 특성, 수치지형도의 축척, 공간 해상도, 가시권 분석 시 입력되는 지형자료의 형태에 따라 가시권 분석결과가 어떻게 차이

나는 지를 분석한다.

이때 입력 지형자료를 TIN과 래스터 그리드자료로 구분하여 분석함으로써 적절한 가시권 분석방법에 대해 제시한다. 공간계획분야에서 보편적으로 활용되는 수치지형도를 감안하여 본 연구에서는 1/1,000, 1/5,000, 1/25,000 축척의 수치지형도를 활용하여 분석한다. 분석 공간 해상도는 선행연구에 근거하여 1/1,000에서 1/25,000 수치지형도에 모두 적용될 수 있는 1m~50m 범위로 하여 적용한다.

한편, 본 연구에서는 분석 대상지역을 두 가지 경우의 지역으로 구분하여 분석한다. 하나는 구릉지, 산지 위주의 가시권 지역이고 다른 하나는 평지 위주의 가시권 지역에 적용하여 분석 대상지의 특성에 따른 적절한 분석방법에 대해 논의한다.

연구 대상지는 경주 월성으로 선정한다. 이 대상지역은 주변 도시계획이나 개발시 월성에서의 조망과 주변에서 월성으로의 조망을 훼손되지 않도록 하여야 하는 역사 및 문화적 측면의 도시경관적 거점지역으로써 의미있는 연구 대상지역이다.

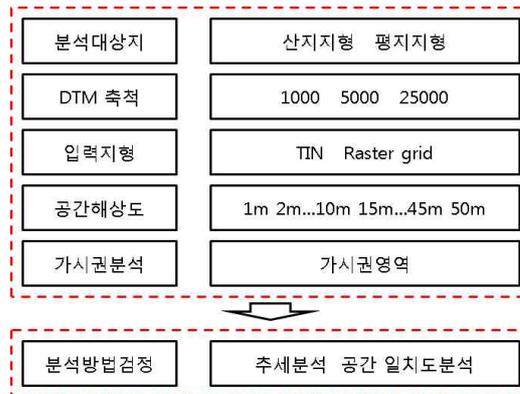


FIGURE 1. 자료 및 분석과정

연구의 분석과정은 그림 1과 같다. 첫째, 분석 대상지를 산지 지형과 평지 지형으로 구분한다. 둘째, 각각의 수치지형도에 따라 TIN과 래스터 그리드 입력지형을 구축한 후 공간

해상도별 가시권을 분석한다. 사전연구결과, 해상도가 낮아지게 되면 동일한 목표지점에서 가시면적이 넓어지는 것으로 나타났다. 여기서 주목할 점은 해상도가 낮아질수록 전체적으로 면적이 증가하며 어느 정도의 해상도까지는 일정한 패턴을 유지하고 있다는 것이다. 즉, 가시면적이 규칙적으로(안정적으로) 증가하는 경우와 안정적으로 면적이 증가하다가 어떤 해상도 지점에서는 면적의 변화가 없거나, 급격하게 감소하거나 증가하는 경우가 발생했다. 전자의 경우는 전체적인 가시영역에 대한 변화는 없지만 공간 해상도가 낮아지면서 일정하게 면적이 증가하는 경우로써 각 해상도별 가시영역은 유사하나 해상도가 낮아지면서 가장자리 부분의 면적이 넓어지는 사례이다. 반면, 후자의 경우는 분석된 가시영역이 해상도가 낮아짐에 따라 전혀 다른 지역이 가시영역이 되거나 불가시영역이 되는 사례로써 분석결과를 신뢰할 수 없는 경우이다. 경험적으로 전자의 경우는 분석의 공간 해상도가 유효하다고 할 수 있고 후자의 경우는 유효하지 않다고 할 수 있다.

이에 대해 그림 2를 예시로 하여 구체적으로 설명하면 다음과 같다. 그림 2는 어떤 지역의 가시권 분석결과(가시영역)를 나타내고 있다. 왼쪽부터 순서대로 픽셀의 수가  $10 \times 10$ ,  $8 \times 8$ ,  $4 \times 4$ 로써 각 해상도별 가시영역의 결과를 표시한 것이다. 102과 82은 가시영역의 면적의 차이는 있으나 전체적인 가시영역은 크게 다르지 않다. 반면, 42의 분석결과는 전체 가시면적은 비슷하지만 가시영역 공간이 일치하지 않아 신뢰할 수 없는 수준이다.

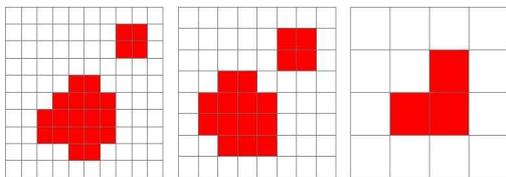


FIGURE 2. 분석의 공간 해상도에 따른 가시영역의 차이(예시)

본 연구에서는 수치지형도의 축척, 분석의 공간 해상도, 지형자료의 형태에 따른 추세분석과 RMSE(Root Mean Squared Error: 제곱근평균제곱오차)기법을 활용하여 분석결과와 오차를 평가한다. 주목할 점은 가시면적이 동일하다고 하여 공간적으로 가시영역이 일치하는 것은 아니므로 RMSE기법을 통하여 공간 일치도를 분석한다. RMSE기법은 동일한 좌표체계를 가진 두 자료의 집단적 일치정도를 간단하게 계산하는 일반적인 분석방법이다. RMSE가 '0' 이면 비교 대상 자료는 완전히 일치하는 것이고 값이 커질수록 일치도 또는 정확도는 낮아진다는 의미이다. 즉, 현실과 가장 유사한 가시권 분석결과와 비교대상 가시영역과 RMSE를 계산할 경우, 수치가 낮게 계산될수록 비교대상 가시권 분석은 양호한 분석결과라고 해석될 수 있다.

## 분석결과 및 해석

### 1. 가시영역면적 추세분석

그림 3은 평지 지형의 분석결과이고 그림 4는 산지 지형의 분석결과이다. 분석결과에 의하면 가시영역의 지형특성에 따라 가시영역의 변화가 상이하다는 것을 알 수 있다. 모든 경우에서 TIN 입력자료에 의한 분석결과가 안정적이지 못한 것으로 분석되었다. 이미 Mark and Denis(2001)의 연구에 의하면 TIN이 수치지형도의 자체오차와 TIN의 각 지점에 따라 분석결과가 민감하게 달라지고 있어 안정적이지 못하다는 분석결과를 도출한 바 있으며 본 연구에서도 동일한 분석결과가 나타났다.

분석결과에 의하면 산지 지형보다 평지 지형에서, 소축척보다 대축척 수치지형도에서 공간 해상도가 높아질수록 불안정한 분석결과를 보여주고 있다. 이러한 원인은 1/1,000 축척 이하의 수치지형도 제작과정에서 평지 지형에는 표고자료가 상대적으로 정확하게 구축되지 않기 때문이다. 또 공간 해상도 변화에

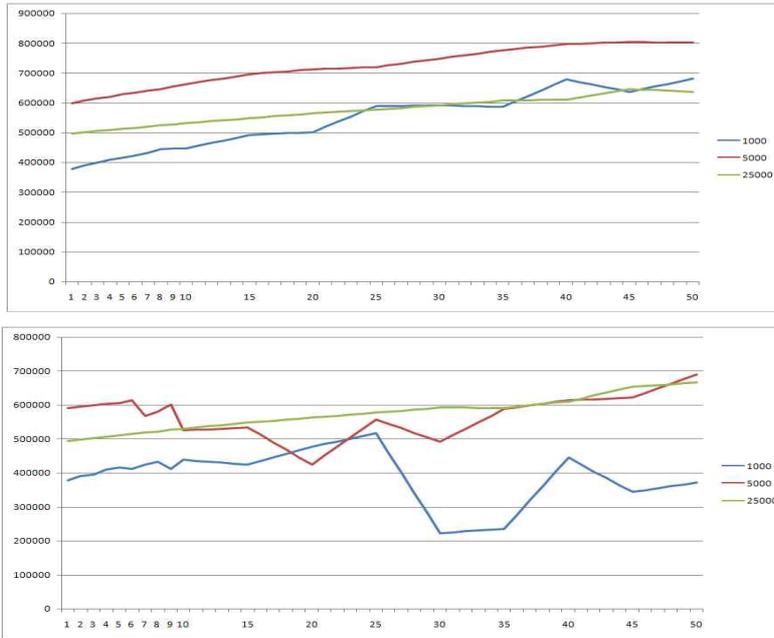


FIGURE 3. 축척별, 해상도별 가시면적(평지 지형): 위-raster, 아래-TIN

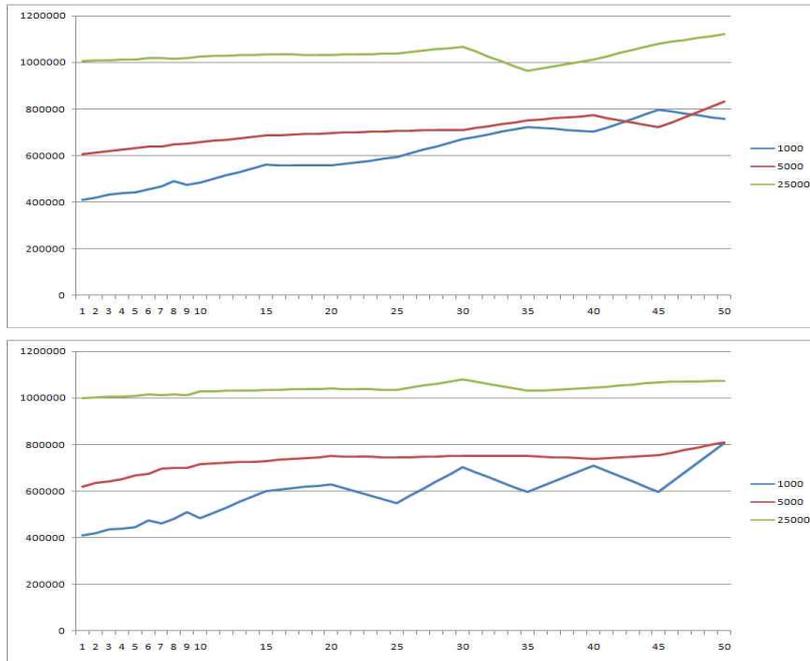


FIGURE 4. 축척별, 해상도별 가시면적(산지 지형): 위-raster, 아래-TIN

TABLE 1. 수치지형도의 적정 해상도

구 분	축척별 수치지형도			
	1/1,000	1/5,000	1/25,000	
평지 지형	GRID	8m	15m~20m	40m
	TIN	5m	6m	30m
산지 지형	GRID	8m	20m~30m	30m~35m
	TIN	5m	10m~20m	25m~35m
총 합	5m~8m	10m~20m	25m~35m	

TABLE 2. 공간 일치도 분석: GRID지형

구분	평지 지형			산지 지형		
	1/1,000	1/5,000	1/25,000	1/1,000	1/5,000	1/25,000
5	0.1580	0.1357	0.0866	0.1432	0.1350	0.0797
10	0.2208	0.1964	0.1297	0.2077	0.1831	0.1142
15	0.2614	0.2342	0.1547	0.2935	0.2181	0.1374
20	0.2830	0.2519	0.1778	0.3132	0.2478	0.1568
25	0.3282	0.2759	0.1986	0.2992	0.2708	0.1735
30	0.3469	0.3030	0.2220	0.3493	0.2899	0.1819
35	0.3428	0.3202	0.2304	0.3756	0.2977	0.1917
40	0.3768	0.3385	0.2533	0.3745	0.3250	0.2038
45	0.3902	0.3470	0.2660	0.4216	0.3269	0.2053
50	0.4001	0.3620	0.2774	0.4092	0.3290	0.2201

따라 대축척 수치지형도에서 불안정한 분석결과와 추세가 나타나는 것은 대축척 수치지형도일수록 적정 또는 허용한계해상도가 높으며 허용한계해상도 보다 해상도가 낮아지면 분석결과의 신뢰도는 급격히 낮아짐을 의미한다.

수치지형도 축척별로 분석하면, 가시영역의 추세가 안정적으로 증가하다가 불안정해지는 지점이 각 수치지형도의 유효 한계해상도<sup>2</sup>와 연관성이 있을 것으로 판단되며 유효 한계해상도는 표 1과 같다. 평지 지형은 표고점과 등고선 원시자료구축이 조밀하게 되어 있지 않은 문제가 있어 분석결과에도 영향을 미치고 있다(그림 3, 4 참조). 따라서 산지 지형의 분석결과를 토대로 축척별 수치지형도의 적정 공간 해상도(유효 한계해상도)를 종합하면, 1/1,000수치지형도는 6m 내외의 공간 해상도까지 유효하고 1/5,000은 10m~20m사이, 1/25,000은 25m~35m 수준에서 분석결과를 신뢰할 수 있다. 이러한 결과는 입력 및

분석결과와 공간 해상도에 따른 가시면적의 추이만을 고려하여 분석한 결과로써 상대적으로 정확한 분석결과와의 공간 일치도도 동시에 고려하여 유효 한계해상도를 결정해야 한다.

## 2. 공간 일치도 분석

가시영역 면적의 추세분석은 분석의 공간 해상도 변화가 가시권 분석 면적에 미치는 영향을 파악할 수 있다. 그러나 해상도가 낮아지면 평균적으로 가시영역의 면적은 확대되지만 가시영역의 지형적 특성, 분석의 공간 해상도, 수치지형도의 축척이나 자체 오차 등의 원인으로 가시영역의 면적이 오히려 감소할 수 있다. 이 경우, 고해상도에서 분석된 가시면적과 비슷한 면적이 계산되어 면적측면에서 분석결과의 신뢰성 여부를 판단할 수 없게 된다. 그래서 본 연구에서는 추세분석과 병행하여 공간 일치도 분석을 실시하였다.

추세분석을 통해 알 수 있었듯이 래스터 그리드 지형자료를 입력자료로 적용할 경우, TIN보다 안정적 분석이 이루어지는 것을 알 수 있었다. 표 2는 래스터 그리드 지형자료에 의한 분석결과와 공간 일치도이다. 공간 일치도는 상대적으로 가장 정확한 분석결과라고 할 수 있는 1m 분석결과와 각각 5m에서 50m 분석결과와의 RMSE를 계산한 결과치이다.

구체적으로 살펴보면, 산지 지형인 1/1,000 수치지형도의 경우, 분석 해상도 5m에서 10m까지의 가시면적의 차이는 크지 않으나 공간 일치도는 0.14와 0.21로 상당한 차이를 보이고 있다. 1/5,000지형도의 경우는 해상도 25m와 30m에서 분석된 가시면적은 거의 같으나 공간 일치도는 25m가 양호한 것으로 분

석되었다. 수치지형도 1/25,000의 경우에는 면적측면에서 오히려 30m 보다 40m 해상도가 1m 해상도와 비슷한 결과를 보였으나 RMSE는 30m 보다 높게 나와서 전체 면적은 감소하였으나 가시영역의 위치가 왜곡되는 현상을 보였다.

그림 5에서 7은 해상도에 따른 공간 일치 여부를 보여주고 있다. 그림 5의 경우, 5a는 1m 해상도의 분석결과와 5m 일 때의 결과를, 5b는 1m와 10m 일 때의 분석결과를 각각 중첩하여 표시한 것이다. 그림 4에 의하면 1/1,000수치지형도의 5m에서 10m까지의 가시권 면적은 거의 차이가 없지만 그림 5b 그림의 중간 오른쪽에서 불일치하는 면적이 파악되고 있다. 즉, 5m와 10m 분석결과는 미세

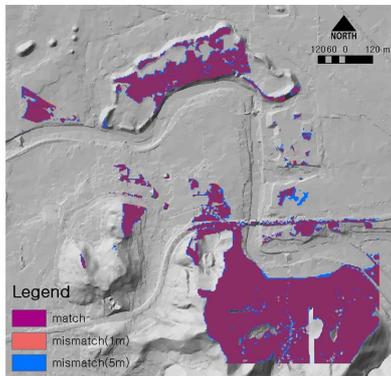


FIGURE 5a. 5m해상도의 공간일치도(0.1432): 1/1,000지형도

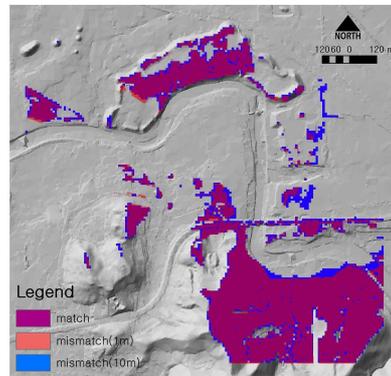


FIGURE 5b. 10m해상도의 공간일치도(0.2077): 1/1,000지형도

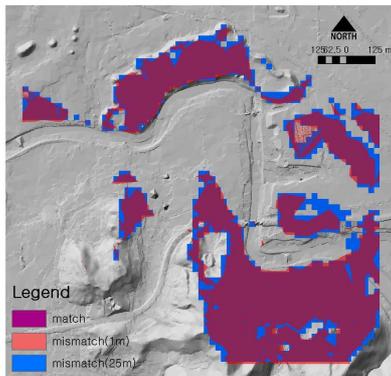


FIGURE 6a. 25m해상도의 공간일치도(0.2708): 1/5,000지형도

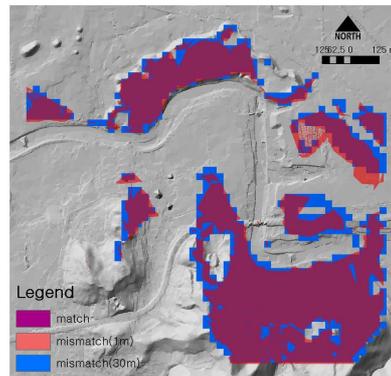


FIGURE 6b. 30m해상도의 공간일치도(0.2899): 1/5,000지형도

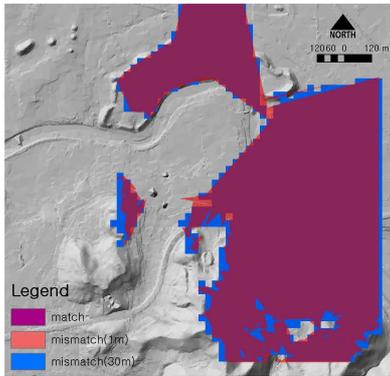


FIGURE 7a. 30m해상도의 공간일치도(0.1819): 1/25,000지형도

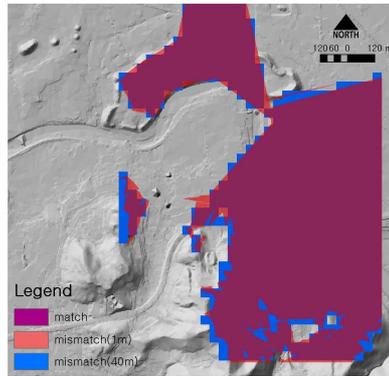


FIGURE 7b. 40m해상도의 공간일치도(0.2038): 1/25,000지형도

한 가시영역의 차이에도 불구하고 각각 0.1432와 0.2077 만큼의 공간 불일치는 존재하는 것으로 분석됐다. 1/25,000수치지형도의 경우, 가시면적 기준에서는 40m 분석결과가 1m 분석결과와 비슷하여 정확도가 높은 것처럼 비춰질 수 있지만 공간 일치도 분석결과, 30m의 분석결과가 40m 결과에 비해 정확도가 높은 것으로 분석됐다.

### 결론 및 연구의 한계

본 연구는 가시권 분석결과와 객관화와 신뢰도를 높이고 나아가 가시권 분석시 GIS 활용을 확대시키려는 목적으로 역사·문화 경관적 측면에서 보존가치가 높은 경주시 월성일대를 중심으로 가시권 분석을 실시하였다. 본 연구에서는 가시권 분석시에 가장 보편적으로 활용되고 있는 방법인 수치지형도를 활용하여 가시권 분석을 실시하였으며 이 과정에서 분석 대상지 특성, 수치지형도의 축척, 분석의 공간 해상도, 지형자료의 형태에 따른 분석결과와의 오차에 대해 심층적으로 논의하였다. 연구의 논리적 전개를 위해 본 연구에서는 분석의 공간 해상도가 낮아지면 가시권 분석결과 면적은 넓어지고 유효 한계해상도보다 해상도가 낮아지면 분석결과 면적은 불안정한 변화추이를 보일 것이라는 사전연구결과를 토

대로 공간 해상도별 가시면적의 변화추이와 공간 일치도 분석을 실시하였다.

연구결과를 요약하면 분석 대상지와 수치지형도의 축척, 공간 해상도, 입력된 지형자료의 형태에 따라 분석결과가 상이하게 도출되어 분석결과에 정확도에 영향을 미치는 것으로 나타났으며 그 결과는 다음과 같다. 가시영역이 산지 지형인 경우에서 안정적 분석결과가 도출되었다. 또 입력되는 지형자료의 경우는 제한된 조건에서 TIN보다 래스터 그리드 자료에서 안정적인 분석결과가 도출되었다. 마지막으로 해상도별 가시면적의 변화추이와 공간 일치도 분석결과에 비춰보면 추이곡선이 불안정하게 변화되는 시점이 축척별 수치지형도의 유효 한계해상도라고 판단해도 무방하다. 이에 축척별 수치지형도에 따른 유효한 최소의 공간 해상도가 존재하는데 1/1,000의 경우는 8m, 1/5,000은 20m, 1/25,000은 35m를 넘지 않은 범위에서 분석하는 것이 바람직하다.

본 연구의 한계 및 향후 과제는 다음과 같다. 첫째, 현실과 흡사한 가시권 분석의 결과를 근거로 하여 공간 일치도 분석이 이루어져야 하는데 본 연구에서는 축척별 수치지형도에서 최고 해상도(1m)가 가장 현실적이라는 가정에서 출발하고 있다. 이로 인해 축척이 다른 수치지형도 분석결과와의 상호비교는 이루

어지지 않았다. 예를 들어 동일한 해상도의 1/5,000 지형도와 1/25,000 지형도에서의 분석결과는 매우 다르지만 현실적으로 어느 정도 오차가 있는지 알 수 없다. 둘째, 분석 대상지를 구분할 시 관측되는 목표지점에만 제한하고 있는 문제점이 있다. 즉, 가시권 분석은 조망지점과 목표지점 상호의 표고차이에 의해 결정된다는 점에서 분석 대상지는 두 지점 모두를 고려하여야 한다. 마지막으로 본 연구에서는 수치지형도를 활용한다는 측면에서 입력자료를 TIN과 래스터 자료로 제한하고 있고 분석툴인 ARCGIS에서 채택하고 있는 TIN, GRID 제작 알고리즘에 기반으로 하고 있어 여타 알고리즘에 대한 고려가 이루어지지 않았다. 이러한 한계에도 불구하고 본 연구는 최근 활용도가 높아지고 있는 GIS 가시권 분석방법을 적용하여 가시권 분석결과의 정확도에 대해 심층적으로 논의하였다는 점에서 연구의 의의가 있다. **KAGIS**

## 주

- 1) DEM은 지표면의 표고만을 대상으로 하고 DTM은 표고와 함께 불연속적인 정보가 추가된 모형이다(이준학 등, 2008).
- 2) 여기서 유효 한계해상도는 가시권 분석과정에서 유효한 가시권 분석결과를 획득할 수 있는 최소 공간 해상도를 의미한다.

## 참고문헌

김만규, 박종철. 2008. 수치표고모형(DEM)의 해상도가 물리 결정 일괄 매개변수수문모형의 모의 결과에 미치는 영향 평가. 한국지리정보학회지 11(3):151-165.

박진형, 이관수, 이삼노. 2004. DEM의 정확도

분석에 의한 도시 소유역의 유출해석. 한국지리정보학회지 7(1):28-38.

이근상, 고덕구, 채효석, 신영호. 2003. 항공레이저 측량 자료의 해상도에 따른 DEM 오차 비교평가 연구. 한국지리정보학회지 6(3):33-42.

이준학, 김항덕, 오경두. 2008. GIS을 이용한 지형분석과 가변적 공간단위의 문제. 육사는 문집. 64(1):579-595.

한국건설기술연구원. 2001. 한국지형에 적합한 수치표고모형 구축방안 연구.

Lee, J. 1991. Analyses of visibility sites on topographic surfaces. International Journal of Geographical Information Systems 5(4):413-429.

Mark, A.M. and J.D. Denis. 2001. An accuracy assessment of various GIS-based viewshed delineation techniques. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 67(11):1293-1298.

Quinn, P., K. Beven, P. Chevallier and O. Planchon. 1991. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. Hydrological Processes 5:59-79.

Wang, J., J.R. Gary and W. Kevin. 1996. A fast solution to local viewshed computation using grid-based digital elevation models. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 62(10):1157-1164. **KAGIS**