

## GIS를 이용한 도로의 노면결빙구간 평가

### Estimation of Road Surface Freezing Section using GIS

최병길<sup>1)</sup> · 김중식<sup>2)</sup>

Choi, Byoung Gil · Kim, Joong Sik

<sup>1)</sup> 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수(E-mail: bgchoi@incheon.ac.kr)

<sup>2)</sup> (주)아세아항측 부사장(E-mail: kimpe89@naver.com)

#### Abstract

본 연구의 목적은 GIS 공간분석을 이용하여 음영에 따른 노면결빙예상구간을 정량적으로 평가하는 데 있다. 산악지역의 도로는 절토 및 터널구간이 많아서 겨울철에는 결빙구간이 발생될 우려가 있으며, 이는 교통 안전사고를 크게 야기시킬 수 있다. 따라서 도로의 기본설계에서부터 각 구간에서의 일조 환경 및 노면결빙예상구간을 정량적으로 정확하게 예측할 수 있는 분석이 필요하다. 본 연구에서는 동해고속도로 중 약 29km구간에 대하여 3차원 모델링, 일조 시뮬레이션, 지오데이터베이스 구축, GIS 중첩 기능에 의한 공간분석을 통해 노면결빙 예상구간을 추출할 수 있었다. 연구결과, GIS를 이용할 경우 기상조건 별로 도로의 일조영향에 따른 노면결빙 예상구간을 정량적으로 추출할 수 있었으며, 연구대상지역 중 상당한 구간이 결빙의 위험에 노출되어 있음을 알 수 있었다. 또한 GIS를 이용한 렌더링 기법이 기존의 음영기복 방법보다 정확하며, 3차원 상에서 그림자의 변화를 시각적으로 판단할 수 있음을 알 수 있었다. 향후 본 논문이 도로관련 법제도상의 노면결빙구간에 대한 규정을 제정하는데 크게 이바지할 수 있을 것으로 생각되며, 도로 설치 구조물의 배치 및 도로포장의 종류 등을 고려한 추가적인 음영구간추출 연구가 필요하다고 판단된다.

## 1. 서론

도로의 신설 및 확장공사가 도심지 사이를 통과하거나 산림지를 경유하는 경우 일조의 확보가 곤란하여 노면의 결빙에 따른 안전사고의 문제를 안고 있다. 산악지역을 통과하는 도로의 경우 특성상 대절토구간이 발생하는 경우가 많으며 일부 구간에서 일조가 적게 나타나 음영이 오래 지속되는 곳이 발생한다. 이는 동절기 강우나 적설로 인해 도로 노면을 얼어붙게 만드는 요인으로 작용할 수 있으므로, 도로 선형 설계시에 이러한 음영지역 발생에 따른 결빙의 가능성을 고려해야 할 필요성이 있다.

눈이 오는 겨울철에 교량 및 그늘진 구간을 주행하면 결빙구간에서 안전사고가 발생할 수 있다. 미끄럼이 발생할 수 있는 장소인 터널 진출입구 부근이나 그늘진 곳을 정확히 예측할 수 있는 시스템으로 사전 계획하여 관리할 필요가 있다. 즉, 지리정보시스템을 이용한 시뮬레이션 등의 정량적 분석을 통한 노면결빙지역 추출을 연구하고 도로 기본설계시 안전성을 확보하는 차원에서 이를 반영하여 사고를 미연에 방지하고 상습결빙구간을 특별 관리하도록 해야 할 필요가 있다. 이는 도로 주행 위험발생 가능성을 최소화하며 원활한 교통흐름을 유도하는 안전한 도로 건설을 위해 중요한 것이다.

본 연구는 도로 선형계획구간을 대상으로 음영분석에 따른 시뮬레이션을 통하여 시간대별 일조영향 정도를 정량적으로 평가하고 GIS를 이용한 공간분석을 실시하여 노면결빙위험 가능지역을 추출함으로써 도로의 기본설계에서도 각 구간별 일조환경이 어느 정도 예상되는지 예측하고자 한다.

## 2. 일조 및 GIS 공간분석

### 2.1 일조분석

태양이 어느 건물이나 주위 장애물에 의해 차단되어 그림자가 지는 것을 일영(shadow)이라 하며, 한 건물의 위치에서 주변의 건물이나 장애물에 의해 그림자가 생기지 않고 햇볕을 받는 것을 일조(sunshine)라 한다(김광우, 1992). 일조환경에 대한 연구는 크게 일조환경 분석을 위한 수치적 해석에 관한 연구와 제도적 대안에 대한 관한 연구로 구분할 수 있는데(노태호 외, 2005), 본 연구의 목적은 일조 영향을 정량적으로 파악하는 것이므로, 수치적 해석에 관한 연구 중에서 컴퓨터 그래픽 방식에 관한 연구를 살펴보면 다음과 같다.

월드램(Waldram, 천공도)을 이용한 일조분석 기법은 천구상의 태양 위치를 평면상의 월드램에 특정일의 태양 궤적선을 표시하고 일조침해를 유발시키는 구조물의 고도각과 방위각을 산출하여 월드램 상에 표시하는 방식을 말하며, 주위 건물의 외곽선의 교차 여부를 보고 일조의 유무를 정확히 파악할 수 있는 분석기법이다. 이 분석 방법은 그래프 상에 보이는 태양궤적의 노출 정도를 계산하여 일조시간을 산정할 수 있으나 2차원 평면상에 하나의 지정 관측 포인트에서만 작도할 수밖에 없으며, 각각의 면에 미치는 일조 영향을 수치적으로 나타낼 수 없는 단점이 있다. 일조환경 분석방법 중 대상지역의 3차원 모델을 작성하여 실제 상황과 같은 가상현실을 컴퓨터상에 구현한 뒤 일사량 밀도 및 일사에너지 분포 등을 수치적으로 분석하는 방법은 일조영역에 대한 면적 또는 시간대별 창 면적 대비 일조면적 비율 등 면 분석에 의한 수치적 결과와 부수적으로 3차원 일조 그래픽 시뮬레이션을 통한 시각적 결과를 동시에 얻을 수 있는 분석 방법이다.

### 2.2 GIS 공간분석

GIS에서 이루어지는 분석은 공간 데이터를 대상으로 하기 때문에 공간분석이라 일컬어진다. 갱신, 분류, 측정, 중첩, 근접분석, 연결성 분석 등이 포함되며 이 중 도로의 결빙구간 추출에 주로 사용되는 분석방법은 중첩분석 기능이다. 본 연구에서는 현실에 가까운 음역지역 시뮬레이션을 위해 렌더링 기법을 사용하고 그 결과를 중첩 분석하였다. 렌더링이란 물체의 모양을 그 형이나 위치, 광원 등의 외부 정보를 고려하면서 실감 나는 화상을 표현하는 컴퓨터 도형의 기법을 말한다. 2차원 컴퓨터 그래픽스에서 렌더링은 동화상에 대한 화상 처리 공정의 최종 단계로서 처리 완료된 화상을 생성하는 공정을 말한다. 또한 3차원 컴퓨터 그래픽스의 경우에는 컴퓨터 내부에 기록되어 있는 모델 자료를 디스플레이 장치에 묘화(描畵)될 수 있도록 영상화하는 것을 말한다. 수치고도모형(Digital Elevation Model ; DEM)을 읽어 들여서 좌표표를 입력한 후에 각 수치에 대응하는 색을 입혀거나(color look-up table) 또는 기준에 처리한 영상을 입혀 3차원을 재현해보고 기본적인 자료처리과정으로 음영기복도, 경사분석도, 향분석도 등을 분석할 수 있다.

## 3. 3차원 도로 모델링

### 3.1 연구대상지역

본 연구에서는 강원도 강릉시와 동해시 연결 지역의 동해고속도로 중 1공구에서 6공구 구간 약 29km 구간을 선정하였으며, 태양고도가 가장 낮고 일조시간이 가장 짧은 동지를 설정하여 2004년 12월 21일 07시 40분부터 17시 00분까지의 시간대를 선택하였다. 이 구간은 비교적 절토구간 및 터널구간이 적절히 배치되어 있다. 또한 강설에 의한 결빙 빈도가 높고 인접 산지의 영향으로 음영발생 구간이 많으며, 종단구배가 5%에 가까워 결빙시 교통사고 및 교통지체에 따른 위험 부담이 예상된다. 그림 1은 연구대상지역을 나타낸다.

## 3.2 도로설계 및 3차원 모델링

### 3.2.1 주요 설계과정

도로설계 프로그램인 벤틀리사의 InRoads 소프트웨어를 사용하였고 연구대상지역에 존재하는 지면을 표시하는 모형을 생성하기 위해 그래픽 추출 기능에서 등고선 자료를 입력하였다. 기존의 지물 및 지모를 모델링하는 이유는 기존의 지물 및 지모를 참조용으로 사용함으로써 도로의 경사를 설계하고자 하는 것이다. 계획도로를 설계하였을 때, 토목공사용 체적을 계산하기 위해 원래의 지표면에 대해 도로 지표면을 비교할 수 있다.

### 3.2.2 도로 설계 자료 입력 및 3차원 지형 생성

도로 지점별 음영을 생성하기 위해서는 대상지역을 표현할 수 있는 3차원 지형 메쉬 자료와 동일좌표 체계의 3차원 도로 선형 자료로 표현하여야 한다. 우선 동해고속도로 구간의 설계에 직접적으로 사용된 종단면도 및 평면도의 캐드 자료를 수집하여 계획노선의 중심선으로부터 횡단 간격 300m지점까지를 평면 범위로 설정하였다.

1:5,000 수치지형도를 사용하여 3차원 수치지형모형을 생성할 경우 일조영향에 대한 세밀한 평가가 어려울 수 있다. 따라서 본 연구는 실시설계에 사용되었던 축척 1:1,000의 2차원 평면도 자료를 수집하여 도로 구간들을 연결하고 전체 구간에 대하여 등고선도를 완성하였다. 도로설계는 설계기준에 근거하여 벤틀리사의 InRoads 프로그램을 사용하여 3차원 도로설계를 실시하였고, 1:1,000 평면 설계도에서 1m 등고선 자료를 입력하여 3차원 수치지형모형을 생성하였다. 본 설계구간인 동해~주문진 구간은 평지와 구릉지 및 험준하지 않는 산지부를 통과하므로 지형적 조건 및 기하 구조 등을 고려하여 설계속도를 100km/hr로 하였다. 실험대상지역의 3차원 수치표고모형을 자료로 입력하고 도로설계에 대한 세부측량 자료 관리를 통해 3차원 도로설계를 수행하였다.

### 3.2.3 평면선형설계

수치지형모형을 생성함으로써 현존의 지표면을 모형화한 후, 계획된 도로의 평면위치를 정의하기 위해 평면선형을 수립하였다.

도로의 기하학적 프로젝트를 만든 후, 새로운 도로를 위한 선형을 생성하기 위해 IP를 배치함으로써 평면선형의 초기 직선구간을 동일시하였다. IP와 IP를 연결시킴으로써, 새로운 도로의 중심선이 생성되어지고, 선형을 부드럽게 하기 위해 커브셋을 생성하였다. 평면선형과 종단선형은 기하구조 기준에 근거로 현존의 도로설계 자료를 그대로 이용하였다.

### 3.2.4 종단선형 및 종단면도 작성

현존하는 지형의 종단면을 추출하고 도로의 종단경사를 정의하며, 평면선형을 따라서 발생된 종단면 내의 경계내에서 종단선형을 정의하였다.

평면선형을 위치시킨 후, 종단선형을 정의해야 한다. 종단선형을 정의하기 전에, 평면선형을 따라서 원래의 지표면의 종단면을 추출한다. 종단선형을 계획하기 위한 기준면으로서 지표면 종단면을 사용해야 한다. 종단선형에 세그먼트를 부가함으로써, 종단면도가 나타난다.

### 3.2.5 3차원 모델링 및 불규칙삼각망 생성

그림 2는 지형에 도로 설계값을 입력하여 생성된 완성 도로를 불규칙삼각망 형태로 보여주는 것으로서, 일조분석에 사용하는 중요한 자료가 된다.

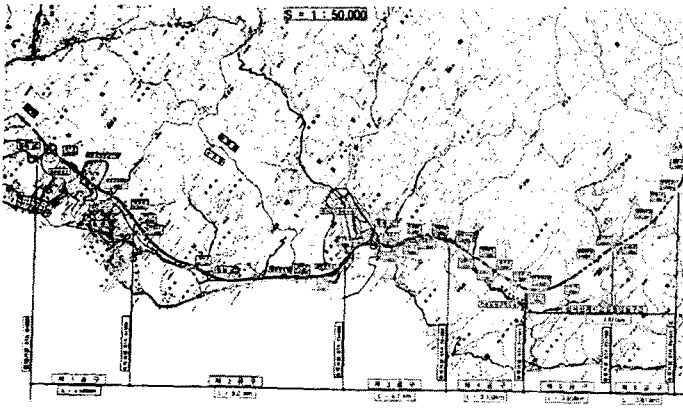


그림 1. 연구대상지역

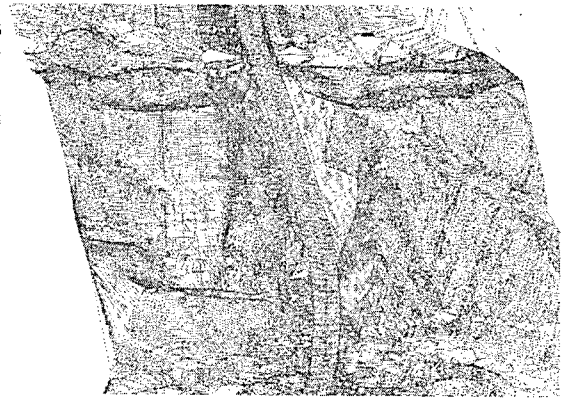


그림 2. 불규칙삼각망 모형

## 4. 결빙구간 추출

### 4.1 음영기복과 렌더링의 비교

도로 구간 중 샘플지역을 선택하여 음영기복과 렌더링을 비교하면 그림자 지역을 차이를 알 수 있다. InRoads에서 만들어진 불규칙삼각망의 3차원 도로모형자료는 GIS에서 자료처리되는 지형지물로 인식할 수 없으므로 불규칙삼각망 형태의 dgn파일을 점 자료로 변환하였다. 마이크로스테이션(MicroStation V8)의 좌표 내보내기 기능을 이용하여 점 자료를 ASCII의 텍스트 파일 형태로 추출하였다. 그리고 텍스트 파일을 ArcGIS에서 속성값으로 인식할 수 있도록 dbf 파일로 저장하였다.

ArcGIS에서 XY 자료 추가 기능을 이용하여 dbf 파일을 추가함으로써 점 자료를 불러올 수 있었다. 3차원 GIS 기능 중의 음영기복 기법은 정확한 지형조건을 생성되어 있으면 그림자지는 지역의 형상을 정확하게 도시하여 준다. 분석을 위한 소프트웨어로는 ArcGIS 3D Analyst를 이용하여 그림자를 시뮬레이션하고 각각의 결과를 래스터 및 벡터로 변환하여 그림자 지역을 계산할 수 있다. 그림 3은 기존의 음영기복과 렌더링에 의한 그림자 지역을 나타낸다.

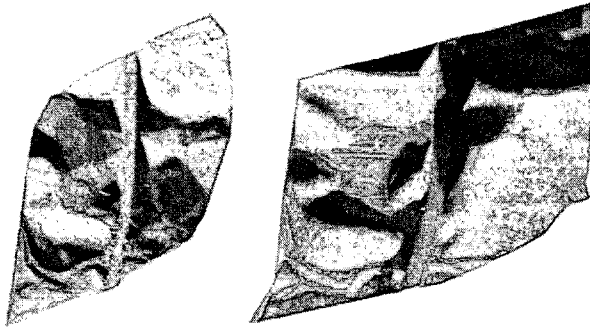
### 4.2 일조 모델링 및 음영 시뮬레이션

태양고도는 지표면( $0^\circ$ )으로부터 형성되나 구름이나 일반적인 지형조건에 의해 보편적으로는  $5^\circ$  이상, 안전하게는  $10^\circ$  이상을 고려하여 음영을 분석한다. 본 연구에서는  $0^\circ$  이상의 태양고도를 고려하여 음영을 분석하였다. 일출부터 일몰까지 일조시간대에 음영분석을 가시적으로 모델링화하여 계절별 시간대별로 도식화함으로써 판단자의 시각적 분석을 가능케 할 수 있다. 음영시간대 설정은 동짓날 일출시간부터 일조시간까지 20분 간격으로 음영분석을 수행하였다. 그림 4는 15시 20분과 15시 40분의 음영시뮬레이션 결과로서 가운데 위쪽 도로부분에 발생한 음영에 차이가 있음을 알 수 있다.

음영은 일출에서 일몰 사이에 자연 지형이나 인공 장애물에 의해 태양 빛이 가려져 그림자가 발생하는 것으로 동절기 적설량이나 강수량이 많은 경우 도로노면의 결빙에 절대적 영향을 줄 수 있는 인자이다.

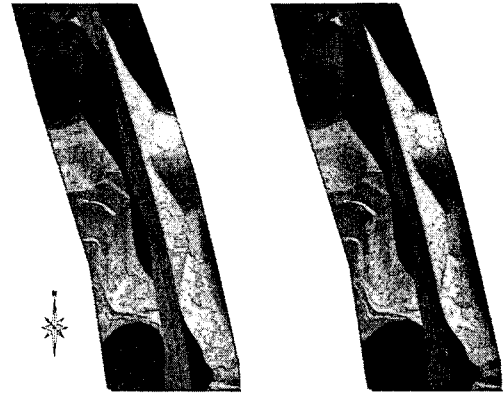
지형자료, 도로 선형자료, 공사지역의 경·위도 자료를 토대로 렌더링의 음영 시뮬레이션을 통하여 시간대별, 도로노면 지점별 음영을 분석할 수 있다. 이는 태양의 고도 및 방위각을 계산하여 설정하여 주고 음영기복 이미지를 생성하게 된다.

마이크로스테이션(MicroStation V8)의 렌더링 메뉴를 이용하여 각 시간별 태양의 고도 및 방위각을 설정하고, 시간대별 음영구간을 토대로 사용자 또는 결정권자의 판단을 시각적으로 보조할 수 있도록 전체 도로 구간을 일조영향평가 하였다.



(a) 기존의 음영기록 (b) 렌더링에 의한 그림자

그림 3. 음영기록과 렌더링의 비교



(a) 15:20 (b) 15:40

그림 4. 음영시물레이션 결과

### 4.3 GIS 공간분석에 의한 결빙구간 추출

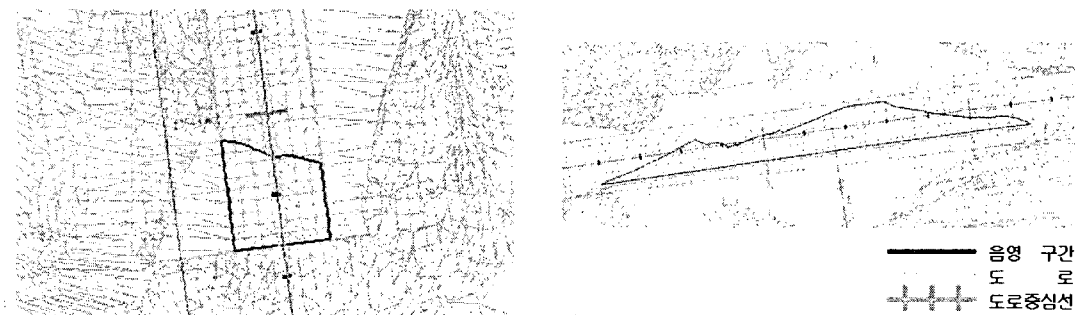
#### 4.3.1 음영지역의 벡터화

노면결빙예상지역 평가에 필요한 자료의 대부분은 벡터의 도형자료이므로 일반 속성자료와 함께 관리하고 이용하는 기능을 이용하여 필요한 자료를 원하는 형태로 데이터베이스화할 수 있다. 또한 구축된 데이터베이스는 노선계획 및 선정에도 지속적으로 사용할 수 있는 자료로 활용할 수 있다. 대상지역에 대한 음영 지역을 수동 벡터라이징하여 벡터 폴리곤으로 만들었다.

#### 4.3.2 중첩 기능에 의한 노면결빙구간 추출

구축된 GIS 데이터베이스에 노면결빙 예상구간 선정에 중요한 인자를 선택하여 중첩함으로써 선택된 지점에 대한 갖가지 정보를 한눈에 파악할 수 있다. 또한 버퍼링 기능을 활용하여 일정거리 혹은 어느 지점으로부터 일정한 거리를 유지해야 하는 해당지역을 파악할 수 있다.

시간대별 음영지역들은 각각 등급화하여 따로 분류하여 저장하였다. 각각의 레벨을 ArcCatalog에서 하나의 지오데이터베이스로 내보내기를 하였다. 지형지물 클래스들이나 지형지물 레이어들을 지오데이터베이스로 변환하였다. 즉, 지오데이터베이스 내부에 dgn 파일별로 지형지물 데이터셋을 생성하여 저장하여 관리가 용이하도록 하였다. 이는 하나의 dgn 파일은 하나의 지형지물 데이터셋안에 저장할 함으로써 지오데이터베이스 내부에의 지형지물 데이터셋이 어느 dgn 파일에서 생성된 것인지 파악이 된다면 관리 및 사용에 용이할 것이다. 단, dgn 파일과 동일한 공간 기준체계를 갖도록 지형지물 데이터셋을 생성하여야 한다. 결빙예상구간을 보다 세부적으로 표시하여 구간별로 각각 확인하여 보면 다음 그림 5와 같이 나타낼 수 있다.



(a) Sta.17+365~Sta.17+400지점

(b) Sta.26+770~Sta.26+980지점

그림 5. 결빙예상구간

## 5. 결론

본 연구에서는 도로설계에 따른 노선 주변의 수치지형자료를 3차원 모형화한 다음 태양의 고도 및 방위각을 이용하여 20분 간격으로 음영 지역들의 그림자 변화를 실증적으로 분석하고 벡터 폴리곤화하여 동절기 일조시간에 따른 도로노면의 결빙예상 구간을 추출한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

3차원 공간상에서의 시간대별 그림자 이동을 시각화하는 기존의 연구와 비교하여 정량적인 수치적 결과값은 물론 도형정보 및 속성정보들을 GIS 데이터베이스에 입력함으로써 중첩기능을 이용하여 결빙예상 구간을 추출하였으며, 도로 설계에 적용할 경우 타 설계안과 차별화될 수 있을 것이다.

본 연구는 도로의 효율적 노선계획을 위하여 음영분석을 이용한 일조영향평가를 실시하는 경우 음영기복 기능을 사용하지 않고 렌더링 기법을 통해 투사되는 음영 지역을 찾아낼 수 있었으며, 도로의 경우 3차원 지형을 구축하여 시뮬레이션할 경우 등고선 간격의 설정에 따른 지형공간자료 처리의 속도 및 대상지역 일영분석 정도에 많은 차이가 발생함을 알 수 있었다.

일조 영향을 분석하고 도로 노면결빙구간을 추출하는데 GIS를 이용함으로써 도로의 계획단계에서 노선의 일조영향 정도를 실무자들이 정량적으로 사전에 판단하는 자료로서 충분히 활용 가능하며 도로 신설 및 개량 구간의 일조영향 평가 및 결빙구간 추출에 적용할 수 있다고 판단된다. 또한 도로공사를 완료했을 당시 현장사진과 일조분석에서의 결과 자료를 비교한 내용으로써 정확하게 실제 현장사진과 같은 일영이 나타나고 있는지를 사전에 확인할 수 있는 신뢰성 있는 평가 자료로 사용할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- 노태호, 서동주, 이종출 (2005), 의사결정체계를 이용한 노선 선정에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제23권 제2호, pp.117~128.
- 양광식 (2000), GIS를 활용한 교통시설사업의 노선선정 방법 연구, 한국GIS학회지, 한국GIS학회, 제 8권, 제 1호, pp.117-130.
- 연상호, 홍일화 (2002), 고속도로 노선선정에서의 입체지형분석을 위한 영상조감도 생성에 관한 연구, 한국지리정보학회지, 한국지리정보학회, 제 5권, 제 3호.
- 오규식, 채명신, 정연우 (2001), 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 활용한 도시 공공공간의 일조환경 분석, 국토계획, 대한국토·도시계획학회, 제 36권 2호, pp.209-222.
- 최현, 한병철, 손경숙, 강인준 (2004), 구조물 설치에 따른 일조권 영향 분석, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제22권 제2호, pp.95~103.
- 허경희 (2002), 일조환경 개선을 위한 설계 프로그램 동향, CAD & Graphics 11월호, 캐드앤그래픽, pp.49-67.
- Bo, H., Bin, J. and Hui, L. (2001), An integration of GIS, virtual reality and the Internet for visualization, analysis and exploration of spatial data, *Int. J. Geographical Information Science*, vol. 15, no. 5, pp.439-456.
- ERDAS (2002), *Field Guide(Sixth Edition)*, Leica-Geosystems GIS & Mapping Division, p.363.
- ESRI (2004), *Producing a hillshade in 3D Analyst*, ArcGIS Desktop 도움말/색인/hillshades.
- Javier, G. C. (2003), Vectorial algebra algorithms for calculating terrain parameters from DEMs and solar radiation modelling in mountainous terrain, *International journal of geographical information science(IJGIS)*, vol.17, No.1, pp.1-23.
- Yang, X. and LO, C. P. (2003), "Modelling urban growth and landscape changes in the Atlanta metropolitan area", *International journal of geographical information science(IJGIS)*, vol.17, No.5, pp.463-488.