韓國地形空間情報學會論文集 第13卷 第4號 2005年 12月 pp. 19-25

연구논문

GIS를 이용한 도로의 노면결빙구간 추출

Extraction of Road Surface Freezing Section using GIS

최병길* · 김중식**

Choi, Byoung Gil · Kim, Joong Sik

要 旨

본 연구의 목적은 GIS를 이용하여 도로의 노선계획시 예상되는 노면결빙구간을 추출함으로써 도로 안정성 확보에 대한 방안을 제시하는데 있다. 산악지역 도로계획의 경우 겨울철에는 결빙구간이 발생될 우려가 있다. 또한 도로의 신설 및 확장공사 턴키심의시 노면결빙율 평가자료가 요구되고 있다. 따라서 도로의 노선 계획시 기본설계에서부터 도로 각 구간에서의 일조 환경 및 노면결빙우려구간을 정량적으로 예측할 수 있는 분석방법이 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. 본 연구를 통하여 음영에 따른 노면결빙이 우려되는 구간을 예측하고, 노면결빙위험 구간을 효과적으로 파악함으로써 최종적으로 정책결정자가 판단을 내리고 기본설계시 반영하는 사전 안정성 평가 방안으로 사용할 수 있을 것이다.

핵심용어 : 노면결빙, 일조영향, 도로모델링, 음영기복, GIS

Abstract

This study suggests a method for securing road safety by extracting the expected surface freezing section in planning a route using GIS. When planning a road construction in a mountainous area, it is possible to confront surface freezing especially in the wintertime. In addition, it is required assessment data of surface freezing rates in the case of turnkey inspections of newly constructed or expanded roads. Consequently, an analysis method that can quantitatively estimate the surface freezing section and sunshine influence on each section of a road is needed. We can extract the expected surface freezing section, which amounted to around 29km of the Donghae highway, with such techniques as three-dimensional modeling, sunshine simulation, geographical database construction and spatial analysis using the overlay function of the GIS spatial analysis. This study can be used as a method to assess advance safety which has a direct influence on planning the blueprint that should be approved by a policy maker after efficiently understanding the expected surface freezing section in accordance with hill shade.

Keywords : Surface freezing, Sunshine influence, Road modeling, Hill shade, GIS

1. 서 론

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 대절토 구간이 발생하는 경우가 많으며 일부 구간에 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 결빙구간에 안전사고가 발생할 수 있다. 눈이 간헐적으로 내리는 날은 노면이 좋은 곳은 과속을 하게 되고, 특히 터널을 지나는 차량은 그동안 저속으로 오다 메마른 길이 나오면 순간적으로 속도를 올리게 된다. 이때 차량이 되면서 매우 미끄러운 상태가 되는데 보통의 운전자의 경우 이 점을 간과하고 과속을 하여 사고가 발생하게 된다. 사고는 이처럼 잘못된 판단이 예측의 착오에서 바퀴에 묻은 물이 추운 날씨인 경우 터널 입구에서 결빙발생이 되므로 미끄럼이 발생될 수 있는 장소인 터널 진출입구 부근이나 그늘진 곳을 정확히 예측할 수 있는

2005년 11월 22일 접수, 2005년 12월 5일 채택

* 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수 (bgchoi@incheon.ac.kr)

** 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 박사과정 (kimpe89@naver.com)

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. 일조분석기법 및 음영기복

2.1 일조분석 기법

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 수치적 해석 기법에는 직접 계산 방식인 월드램 기법과 컴퓨터 그래픽 기법이 있다. 월드램(천공도, Waldram)을 이용한 일조분석 기법은 천구상의 태양 위치를 수직축(태양 고도각)과 수평축(태양 방위각)상에 직교좌표를 가진 평면상의 월드램에 나타낸 특정일의 태양의 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 있다(최상원, 2003).

컴퓨터 그래픽 기법은 대상지역의 3차원 모델을 작성하여 실제 상황과 같은 가상 현실을 컴퓨터상에 구현한 뒤 수치적으로 분석하는 기법으로 일사량 밀도 및 일사에너지 분포 등을 분석하고 있다. 3차원 광역모델에 대한 수치적 분석방법은 월드램차트에 의한 분석에서 얻을 수 있는 점 분석 결과에서 더 진보된 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 분석방법이다. 이러한 분석 방법은 수치적 결과를 통한 정량화와 더불어 시각적 확인을 통하여 신뢰도를 증가시킬 수 있는 복합적인 분석 방법으로 정의할 수 있다.

2.2 음영기복

음영기복(hillshade 또는 shaded relief) 기능은 래스터로 각각의 셀에 조명값을 결정함으로써 표면(surface)에 가상의 조명을 얻을 수 있다(ESRI, 2004). 가상의 광원(light source)에 대한 위치를 설정하고 인접 셀(cell)에 관하여 각각의 셀의 조명 값을 계산하게 된다. 특히 슬라이드를 사용할 때 분석 또는 그림표현을 위한 표면의 시각화를 크게 향상시킨다.

음영기복 영상은 높이의 변화에 따른 실례를 제공한다. 사용자가 정의한 태양의 위치에 근거하여, 일광(sunlight)이 있을 지역이 비추어지고, 그림자에 있을 지역은 그늘져진다. 음영기복이미지는 지형(terrain)위에 드리워진 이미지 파일과 조합하여 높은 곳의 지표면으로부터 만들어진다(Javier, 2002). 음영기복 영상은 분석에 사용될 수 있는 효과적인 그래픽 도구이다. 예를 들면, 높은 곳의 지표면위에 걸치어진 지역에 눈이 녹아들고 있다면 가로방향으로 태양의 운동을 나타내기 위해 일련의 기복이미지의 만들어질 수 있다. 그때 햇빛과 그림자로 보내는 많은 시간에 근거하여, 눈이 녹는 비율이 각각의 픽셀에 대하여 산정될 수 있다. 또한 음영기복 영상은 항공자기, 레이더, 중력지도와 같은 흑백 스케일(gray scale)에서 희미한 부분들의 질을 높이기 위해서 사용될 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 음영발생구간이 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 지면(ground)을 표시하는 모형을 생성하기 위해 그래픽 추출 기능에서 등고선 자료를 입력하였다.

기존의 지물 및 지모를 모델링하는 이유는 기존의 지물 및 지모를 참조용으로 사용함으로써 도로의 경사

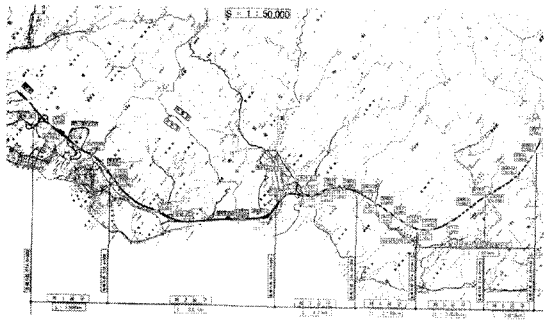


그림 1. 연구대상지역

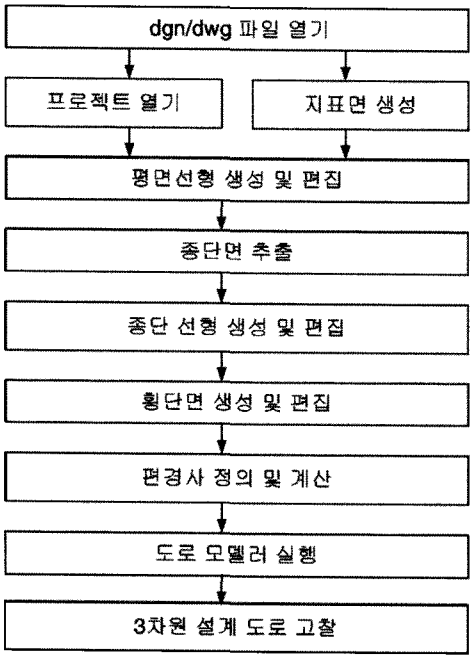


그림 2. InRoads의 도로설계과정

(grade)를 설계하고자 하는 것이다. 계획도로(proposed road)를 설계하였을 때, 토목공사용 체적을 계산하기 위해 원래의 지표면에 대해 도로 지표면(roadway surface)을 비교할 수 있다.

그림 2는 InRoads 프로그램의 작업흐름으로서, 도로설계 프로젝트를 완성하기까지 거쳐야하는 과정들이다.

3.2.2 도로 설계 자료 입력 및 3차원 지형 생성

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

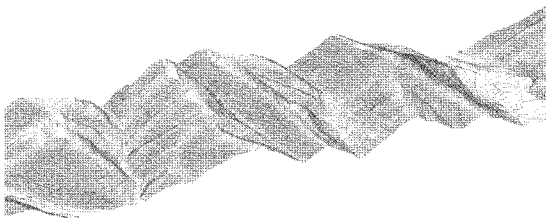


그림 3. 3차원 등고선

한편 수치지형도에서 등고선 자료를 분리하여 사용할 경우 도로 구간이 도심지가 아닌 산악지역을 대상으로 할때 대축척(축척 1:1,000) 수치지형도가 없는 경우가 발생하기 때문에 축척 1:5,000 수치지형도를 사용하게 되는데, 도로 구간의 3차원 수치지형모형을 생성했을 때 일조영향에 대한 세밀한 평가가 어려울 수 있다. 따라서 사용 가능한 수치지형도의 축척을 우선적으로 고려하여 시작하여야 하며, 본 연구는 실시설계에 사용되었던 축척 1:1,000의 2차원 평면도 자료를 수집하여 도로 구간들을 연결하고 전체 구간에 대하여 등고선도를 완성하였다.

실험대상지역의 설계 종단면도 및 평면도 캐드자료 중 계획노선의 중심선으로부터 횡단 간격 300m지점까지를 평면 범위로 설정하고 그림3과 같이 대상지역의 1m 등고선을 따로 분리하여 3차원으로 생성하였다.

도로설계는 설계기준에 근거하여 벤틀리사의 InRoads 프로그램을 사용하여 3차원 도로설계를 실시하였고, 실험 대상지역의 캐드 형식의 종단명도 및 평면도 자료를 입수하여 축척 1:1,000 평면 설계도에서 1m 등고선 자료를 입력하여 3차원 수치지형모형(DTM)을 생성하였다.

고속도로 본선의 설계속도는 100km/hr를 적용하는 것을 원칙으로 하여 기본설계가 수행되었으며, 본 설계구간인 동해~주문진 구간은 평지와 구릉지 및 험준하지 않는 산지부를 통과하므로 지형적 조건 및 기하 구조 등이 설계속도 100km/hr를 적용하는데 무리가 없을 것으로 판단된다.

실험대상지역의 3차원 수치표고모형(DEM)을 자료로 입력하고 도로설계에 대한 세부측량 자료 관리를 통해 3차원 도로설계를 수행하였다.

수치지형자료의 보간을 통하여 3차원 지형 메쉬 자료를 작성하고 동일 좌표체계의 도로선형자료를 중첩시켜 도로 노면의 각 지점별 일조영향분석을 위한 기초 자료를 구축하게 된다. 또한, 일조영향에 따른 일영 및 음영 분석과 연계하여 기상분석을 수행하기 위해서 실험대상

지역의 노선계획에 따른 기본 및 실시설계 자료와 통합 비교할 수 있도록 사전에 도로관련 자료를 수집하여 구축하였다.

3.2.3 평면선형설계

수치지형모형을 생성함으로써 현존의 지표면을 모형화한 후, 계획된 도로의 평면위치를 정의하기 위해 평면선형(horizontal alignment)을 수립하였다. InRoads는 반향곡선(reverse curve), 복곡선(compound curve) 및 완화곡선(transition curve)을 구성하는 복잡한 선형들을 정의할 수 있게 해준다.

도로의 기하학적 프로젝트를 만든 후, 새로운 도로를 위한 선형을 생성하기 위해 IP를 배치함으로써 평면선형의 초기 직선구간(initial tangents)을 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 종단면내의 경계내에서 종단선형(vertical alignment)을 정의한다.

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

3.2.5 3차원 모델링 및 불규칙삼각망 생성

그림 4는 지형에 도로 설계값을 입력하여 생성된 완성도로를 불규칙삼각망(TIN) 형태로 보여주는 것으로서, 일조분석에 사용하는 중요한 자료가 된다.

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 지형지물(feature)로 인식할 수 없으므로 불규칙삼각망 형태의 .dgn파일을 점(point) 자료로 변환하였다. 마이크로스테이션(MicroStation V8)의 좌표내보내기(export coordinates) 기능을 이용하여 점 자료

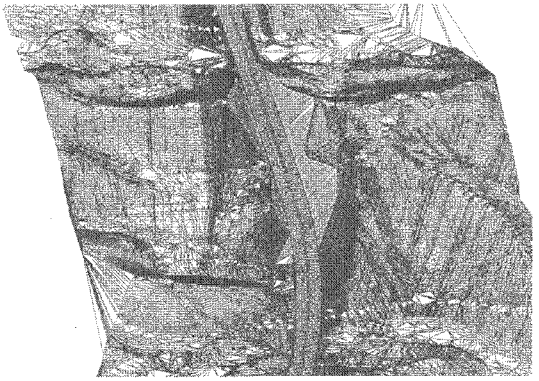


그림 4. 불규칙삼각망 모형

를 ASCⅡ의 .txt 파일 형태로 추출하였다. 그리고 .txt 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(shade relief or hill-shade) 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 5와 같이 ArcGIS 3D Analyst에서 점 지형지물로부터 불규칙삼각망(TIN)을 생성하였다.

지표 분석중 방위각 90°, 고도 20°를 고려하여 음영기복도를 작성한 결과 그림 6과 같다.

4.2 일조 모델링 및 음영 시뮬레이션

태양고도는 지표면(0°)으로부터 형성되나 구름이나 일반적인 지형조건에 의해 보편적으로는 5°이상, 안전하게는 10°이상을 고려하여 음영을 분석한다. 본 연구에서는 0°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 7은 15시 20분과 15시 40분의 음영시뮬레이션 결과로서 가운데 위쪽 도로부분에 발생한 음영에 차이가 있음을 알 수 있다.

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

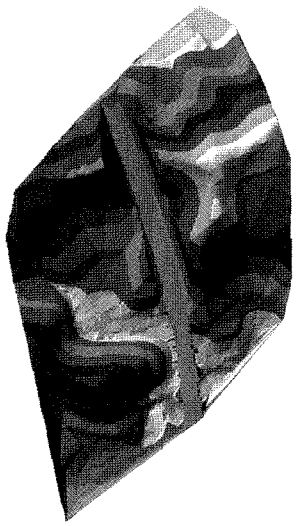


그림 5. 점 지형지물로부터 생성된 불규칙삼각망

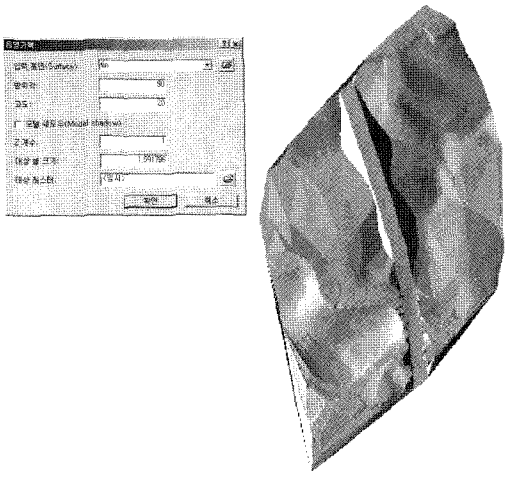
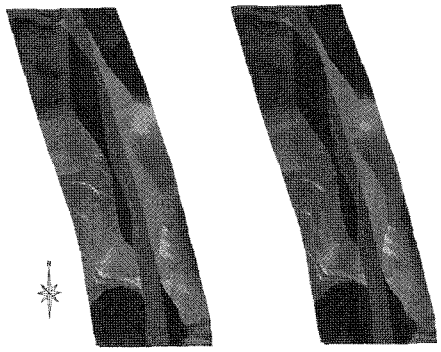


그림 6. 음영기복 작성화면(방위각 90°, 고도 20°)

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.



15:20 15:40

그림 7. 음영시뮬레이션 결과

4.3 GIS 공간분석에 의한 결빙구간 추출

4.3.1 음영지역의 벡터화

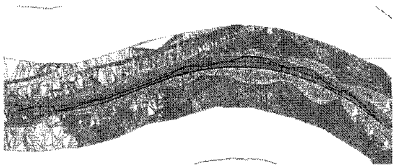
노면결빙예상지역 평가에 필요한 자료의 대부분은 벡터의 도형자료이므로 일반 속성자료와 함께 관리하고 이용하는 기능을 이용하여 필요한 자료를 원하는 형태로 데이터베이스화할 수 있다. 또한 구축된 데이터베이스는 노선계획 및 선정에도 지속적으로 사용할 수 있는 자료로 활용할 수 있다. 대상지역에 대한 음영 지역을 수동 벡터라이징하여 벡터 폴리곤으로 만들었다.

4.3.2 중첩 기능에 의한 노면결빙구간 추출

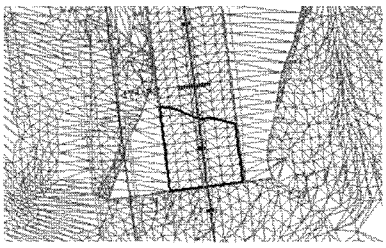
구축된 GIS 데이터베이스에 노면결빙 예상구간 선정에 중요한 인자를 선택하여 중첩함으로서 선택된 지점에 대한 갖가지 정보를 한눈에 파악할 수 있다. 또한 버퍼링 기능(buffering function)을 활용하여 일정거리 혹은 어느 지점으로부터 일정한 거리를 유지해야 하는 해당지역을 파악할 수 있다.

시간대별 음영지역들은 각각 등급화하여 따로 분류하여 저장하였다. 각각의 레벨을 ArcCatalog에서 하나의 지오데이터베이스(예, shadow.mdb)로 내보내기를 하였다. 지형지물 클래스(feature class)들이나 지형지물 레이어들을 지오데이터베이스로 변환하였다. 즉, 지오데이터베이스 내부에 dgn 파일별로 지형지물 데이터셋(feature dataset)을 생성하여 저장하여 관리가 용이하도록 하였다. 이는 하나의 dgn 파일은 하나의 지형지물 데이터셋 안에 저장을 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.

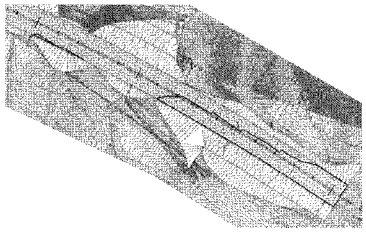
결빙예상구간을 보다 세부적으로 표시하여 구간별로 각각 확인하여 보면 다음 그림 8과 같이 나타낼 수 있다.



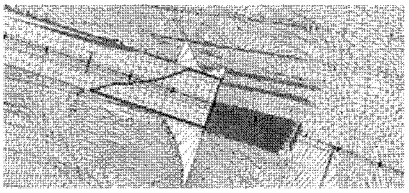
(a) Sta.11+460～Sta.12+670지점



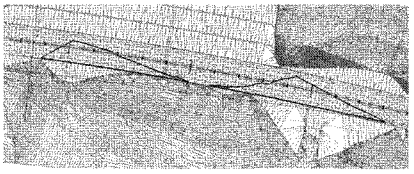
(b) Sta,17+365～Sta.17+400지점



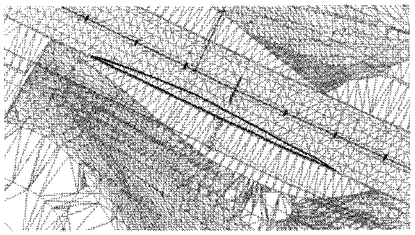
(c) Sta.21+190～Sta.21+380와
Sta.21+450～Sta.21+500지점



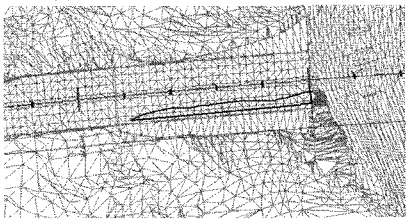
(d) Sta.21+740~Sta.21+800지점



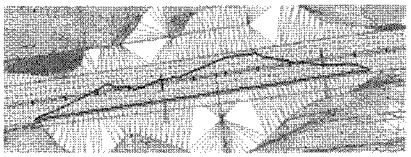
(e) Sta.22+040～Sta.22+320지점



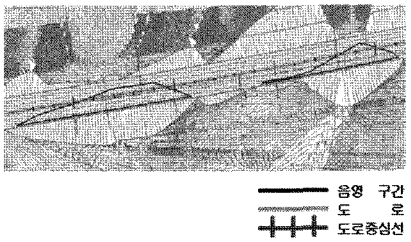
(f) Sta.23+650～Sta.23+750지점



(g) Sta.26+500～Sta.26+580지점



(h) Sta.26+770~Sta.26+980지점



(i) Sta.27+280～Sta.27+420와 Sta.27+485
～Sta.27+660지점

그림 8. 결빙예상구간

5. 결 론

본 연구에서는 도로설계에 따른 노선 주변의 수치지형 자료를 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.

GIS를 이용할 경우 지형조건 및 기상조건별로 도로의 일조영향에 따른 노면결빙위험구간을 정량적으로 추출할 수 있음을 알 수 있었다.

전체 연구대상지역(29km) 중 약 2.5km 구간에서 노면

결빙위험구간이 추출되었다. 이러한 결과는 대상도로 중 상당한 구간이 결빙의 위험에 노출되어 있음을 나타내며, 도로의 안전성을 높이기 위해서는 GIS 3차원 음영 시뮬레이션에 의하여 결빙구간을 객관적이고 정량적으로 추출한 다음, 이를 도로 설계시에 적극 반영할 필요가 있음을 알 수 있었다.

결빙예측구간은 대부분의 산악지역 도로에서 종종 나타나는 대절토 구간 및 터널갱문이었으므로 경사면의 구배를 최대한 완화하거나 도로의 폭을 넓게 설계함으로써 일조시간을 충분히 확보해야함을 알 수 있었다.

일조 영향 평가를 위한 모델링 과정에서 기존의 음영기복과 GIS에 의한 렌더링 기법을 비교한 결과, 렌더링 기법이 기존의 음영기복에 비해 정확함을 알 수 있었다.

일조 모델링 및 음영 시뮬레이션을 통해 시각적 변화를 감지할 수 있었으므로, 산악지역의 도로설계시, 시공 후 실제 현장의 음영이 어떻게 나타날지를 사전에 확인할 수 있는 객관적인 자료로 제공할 수 있을 것이다.

향후 본 논문이 도로관련 법제도상의 노면결빙구간에 대한 규정을 제정하는데 이바지할 수 있을 것으로 기대되며, 향후 방음벽, 분리대 및 식생 등의 도로 설치 구조물의 배치 여부에 따른 음영 여부를 세밀히 파악하고 도로포장 종류에 따른 기타 조건들을 고려한 심도 있는 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. 노태호, 서동주, 이종출, 2005, "의사결정체계를 이용한 노선선정에 관한 연구", 한국측량학회지, 한국측량학회, 제23권 제2호, pp. 117-128.
2. 양광식, 2000, "GIS를 활용한 교통시설사업의 노선선정 방법연구", 한국GIS학회지, 한국GIS학회, 제8권, 제1호, pp. 117-130.
3. 연상호, 홍일화, 2002, 고속도로 노선선정에서의 입체지형분석을 위한 영상조감도 생성에 관한 연구, 한국지리정보학회지, 한국지리정보학회, 제5권, 제3호.
4. 오규식, 채명신, 정연우, 2001, "컴퓨터 시뮬레이션 기법을 활용한 도시 공공공간의 일조환경 분석 ', 국토계획, 대한국토·도시계획학회, 제36권 제2호, pp. 209-222.
5. 최현, 한병철, 손경숙, 강인준, 2004, "구조물 설치에 따른 일조권 영향 분석", 한국측량학회지, 한국측량학회, 제22권 제2호, pp. 95-103.
6. 허경희, 2002, 일조환경 개선을 위한 설계 프로그램 동향, CAD & Graphics 11월호, 캐드앤그래픽, pp. 49-67.
7. 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.
8. ERDAS, 2002, Field Guide(Sixth Edition), Leica-Geosystems GIS & Mapping Division, p. 363.
9. ESRI, 2004, "Producing a hillshade in 3D Analyst", ArcGIS Desktop 도움말/색인/hillshades.
10. 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.
11. 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.