

GIS를 이용한 도로의 일조영향 및 노면결빙구간 분석

Analyses on Sunshine Influence and Surface Freezing Section of Road using GIS

이형석¹⁾

Lee, Hyung Seok

Abstract

In case of the roads that pass the mountain area, the cut sections or the tunnels are constructed. And In winter season it appears sunshine few in the specific segment, the shade is continued last and the freezing sections occur. So, the attention is necessary in traffic safety. This study was to evaluate the influence of sunshine and surface freezing sections expected in route plans of roads using GIS and makes alternative ideas in road stability security. After selecting 29 km sections of Donghae highway and creating a 3 dimensional terrain surface through the digital conversion of design plan data, it reflects the road alignment data of the same coordinates and a 3 dimensional road modeling is created. It set shadow time of road surface for the solar trace in the winter solstice in 20 minute interval. Shade areas are displayed and inputed in polygon data by manual vectorizing. Graphic and attribute data of this shade section is constructed in geodatabase of ArcCatalog. And it extracted the freezing section using intersect fuction of the GIS spatial analysis. By analyzing the winter meteorological data of temperature, rainfall, snowfall, humidity, and etc. and grasping dangerous freezing section of the road surface effectively, it will be able to make alternative ideas of the preliminary stability evaluation reflected in basic design.

Keywords : Road modeling, Sunshine influence, Intersect function, Surface freezing

요 지

산악지역을 지나가는 도로계획의 경우 그 특성상 절토 및 터널구간을 시공하게 되고, 겨울철에는 일조 구간에 일조가 적게 나타나고 음영이 오래 지속되어 결빙구간이 발생함으로써 교통안전에 주의되고 있다. 본 연구는 GIS를 이용하여 도로의 노선계획시 예상되는 일조영향을 평가하고 예상되는 노면결빙구간을 추출하여 도로 안정성 확보에 대안을 제시하고자 한다. 동해고속도로중 약 29km구간을 선정하여 설계도면 자료의 수치 변환을 통하여 3차원 지형표면을 생성한 후 동일좌표체계의 도로선형자료를 반영하여 3차원 도로 모델링을 생성하였다. 동지시 태양의 궤적에 따른 도로 노면상의 음영시간을 20분 간격으로 설정하여 일조영향지역을 시각화하고 이 음영지역들을 수동 벡터라이징하여 폴리곤화하였다. 이 음영구간의 도형 및 속성자료를 지오데이터베이스로 구축하고 GIS의 공간분석중 중첩기능을 이용하여 결빙예상구간을 추출하였다. 또한 온도, 강수량, 적설량 및 습도 등의 동절기 기상자료를 함께 분석하여 노면결빙위험 구간을 보다 효과적으로 파악함으로써 기본설계시 반영하는 사전 안정성 평가의 대안으로 사용할 수 있을 것이다.

핵심용어 : 도로 모델링, 일조영향, 중첩기능, 노면결빙

1. 서 론

도로의 신설 및 확장공사가 국가와 민자사업에 의해 추

진되어 생활권 영역이 확대되는 데는 효과적이었지만 도심지 사이를 통과하거나 산림지를 경유하는 경우 일조영향, 조망확보의 곤란에 따른 문제가 따르고 있다.

1) 정희원 · 한중대학교 건설시스템공학과 조교수(E-mail:lhs0815@empal.com)

도로는 일반적으로 산악지역을 관통하게 되는데 산악 지역에서는 그 특성상 절토 후 도로를 시공하는 경우가 자주 있으며 때로는 매우 긴 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 위험도를 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 된다. 특히 터널은 지나는 차량은 그동안 저속으로 오다 메마른 길이 나오면 순간적으로 속도를 올리게 된다. 이때 터널 입구 같은 곳은 차량 바퀴에 묻은 물이 추운 날씨인 경우 결빙이 되면서 매우 미끄러운 상태가 되는데 보통의 운전자의 경우 이 점을 간과하고 과속을 하게 된다. 운전자는 생각지 못했던 미끄럼구간이 나타나 사고가 발생하게 되면 관계기관에서는 일일이 방지할 수 없었다라고 무책임한 대답을 한다. 사고는 이처럼 잘못된 판단이 예측의 착오에서 발생이 되므로 미끄럼이 발생할 수 있는 장소인 터널 진출입구 부근이나 그늘진 곳을 정확히 예측할 수 있는 시스템으로 사전 계획하여 관리해야 한다.

임의의 지점에서 일조영향은 분석 지점의 위도에 따라 변하며 산이나 언덕 등의 자연 또는 인공장애물이 절대적인 영향을 주게 된다(오규식 등, 2001). 또한 일영 및 음영은 도로 구조물이 위치하는 지형적 자연 요인과 태양의 계절별 움직임 및 에너지의 변화, 그리고 강수량, 적설량 등의 기상상태에 따라 노면 결빙의 다양한 상태로 나타나게 된다.

또한 사전의 평가방법으로서 시뮬레이션 등의 정량적 분석을 통해 향후 안전을 도모함으로써 위험발생 가능성을 최소화할 수 있는 대안이 필요하다. 일조영향 및 노면 결빙에 대한 사전 안전의식 제고를 위해 도로 기본설계시 안전성을 확보하는 차원에서 검토함으로써 민원을 미연에 방지토록 해야 할 필요성이 부각되고 있다.

이처럼 도로건설사업 초기시 터키공사심의에 대한 정확한 판단이 요구되면서 일조영향에 따른 노면결빙위험성 분석이 더욱 필요해지고 있으며, 이러한 수요로 인해 도로의 설계단계에서부터 일조권 및 공간분석 개념을 적용한 설계심의의를 위해 정량적인 자료를 제공하는 대안으로서 GIS 프로그램의 필요성과 함께 개발 및 적용에 대

한 연구가 진행되고 있다(최현 등, 2004 ; 노태호 등, 2005).

일조권 분쟁시에는 권리 주장과 판단에 장기간에 걸친 조사와 분석이 필요하며, 이에 따른 과도한 경비의 지출이 요구되고 있다. 하지만 정확성이 입증된 시뮬레이션 기술과 분석 기술에 의해 단기간 내에 최소의 비용으로 정확한 분석과 예측이 가능하다(허경희, 2002; 이우종 등, 1998; 허윤경 등, 2001).

본 연구는 그림 1과 같이 도로 선형계획구간을 대상으로 음영분석에 따른 시뮬레이션을 통하여 시간대별 일조 영향평가를 수행하고 GIS를 이용한 공간분석을 실시하여 결빙구간을 추출함으로써 도로주행 안정성을 확보하는 대안으로 제시하고자 한다.

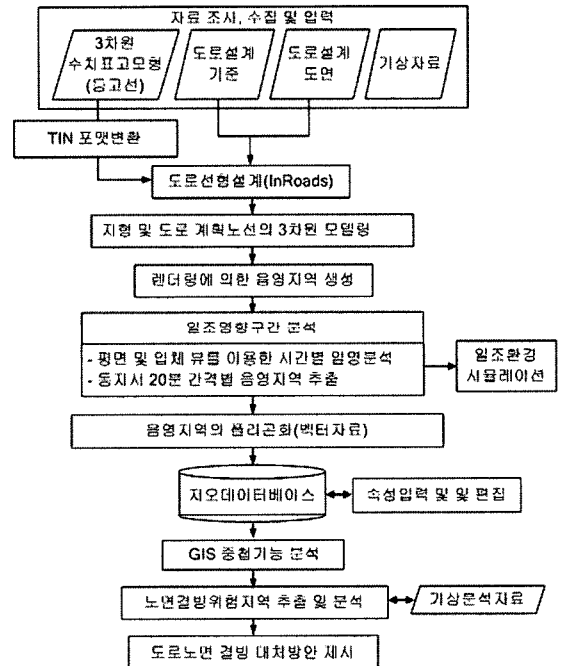


그림 1. 연구수행 흐름도

2. 일조 생성 및 음영화

2.1 태양의 고도 및 방위각

태양의 고도(altitude)는 수평선 위로 빛이 비치는 곳까지의 경사 또는 각을 말하며, 태양각이라고도 한다. 단위는 도(°)이며, 0°에서 90°까지이다. 방위각(azimuth)은 0°에서 360°의 각도로 북으로부터 시계방향으로 측정된 태양의 각 방향이다.

일조는 주어진 도로설계구간 내에서 태양의 고도각과 방위각에 의해 정해진 태양의 위치와 도로 및 인근 지형 지물의 3차원 모델링에 의해 계량적으로 산정된다.

2.2 음영기복

음영기복(shaded relief 또는 hillshade) 이미지는 높이의 변화에 따른 실례를 나타낸다. 사용자가 정의한 태양의 위치에 근거하여, 일광(sunlight)이 있을 지역이 비추어지고, 그림자에 있을 지역은 그늘져진다. 음영기복 이미지는 지형위에 드리워진 이미지 파일과 조합하여 높은 곳의 지표면으로부터 만들어진다.

음영기복 기능은 래스터로 각각의 셀에 조명값을 결정함으로써 표면에 가상의 조명을 얻을 수 있다. 가상의 광원에 대한 위치를 설정하고 인접 셀(cell)에 관하여 각각의 셀의 조명 값을 계산하게 된다.

그러나, 음영기복은 그림자 지역을 확인하는 것임을 주의해야 한다. 즉, 그림자 지역은 직접적인 햇빛이 아니며, 주위의 지표면위에 지형학적 지형지물이 투사된 그림자를 계산하는 것이 아니다. 그림 2(b)에서 보듯이 북서쪽 광선으로부터 그림자지는 산의 부분만이 어두어진다. 소프트웨어의 음영기복 산정은 산이 남동쪽 면에 투사되는 그림자를 나타내지 않는다는 것이다(ERDAS, 2002).

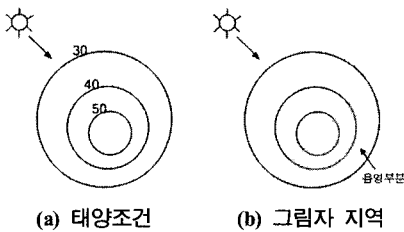


그림 2. 음영기복의 이해

3. 대상지역선정 및 자료수집

3.1 연구대상지역 범위

태양의 고도 및 방위각은 분석하고자 하는 대상지의 위치에 따라 그 성과가 달라질 수 있다. 공간적 범위는 그림 3과 표 1에서와 같이 경도 128°55'~129°05'와 위도 37°31'~37°41'의 강원도 강릉시와 동해시 연결 지역의 동해고속도로 구간중 1~6공구 약 29km 구간을 선정하였고, 이 구간은 비교적 절토 및 터널구간이 적절히 배치되어 있다.

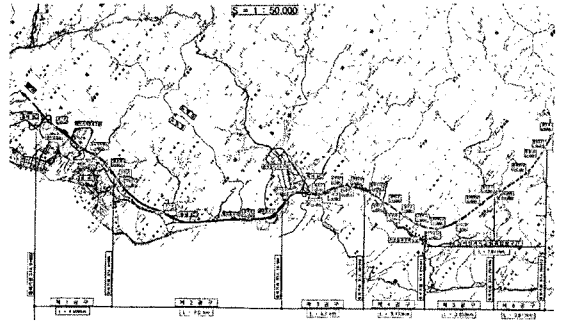


그림 3. 동해고속도로 노선도(1공구~6공구)

표 1. 설계구간의 현황

구분	구간명	연장(km)
제 1공구	지흥~발한	4.508
제 2공구	발한~주수	9.00
제 3공구	주수~낙풍	4.70
제 4공구	낙풍~산성우	3.133
제 5공구	산성우~임곡	3.858
제 6공구	임곡~언별	3.813

시간적 범위는 태양고도가 가장 낮고 일조시간이 가장 짧은 동지를 설정하여 07시 30분부터 17시 20분까지를 선택하였다. 동절기 도로 노면에 관련하여 최소의 일조확보 가능성에 따라 지속적으로 그늘져 결빙되는 상태구간을 파악하는데 그 목적이 있으므로 태양고도가 가장 낮은 동지를 선정하여 하루 최소의 일조시간, 즉 음지가 많이 발생하는 면적을 분석하였다.

3.2 태양의 출몰 및 남중 시각

도로 구간에 대한 동짓날(2004.12.21)의 해의 출몰시각은 표 2와 같다.

표 2. 대상지역의 태양의 출몰 및 남중시각

날짜	2004년 12월 21일 (화요일)	
위치	동해고속도로 구간 동경 129°0'0" 북위 37°36'0"	
낮의 길이	9시 33분 51초	
태양	출	7시 35분 11초
	남중	12시 22분 07초
	몰	17시 09분 02초

3.3 태양의 고도 및 방위각 계산

동짓날(2004.12.21)에 시간과 장소가 주어지면 태양의 위치(position)를 20분 간격으로 표 3과 같이 계산할 수 있다(http://aa.usno.navy.mil 참조).

표 3. 도로 구간의 태양의 고도 및 방위각

시 분	고도(°)	방위각(°)	시 분	고도(°)	방위각(°)
07:30	-1.7	118.6	12:40	28.8	184.7
07:40	0.5	120.1	13:00	28.3	189.9
08:00	3.6	123.2	13:20	27.5	195.0
08:20	6.7	126.5	13:40	26.3	199.9
08:40	9.8	129.9	14:00	24.8	204.7
09:00	12.8	133.5	14:20	23.0	209.3
09:20	15.5	137.2	14:40	20.9	213.8
09:40	18.1	141.2	15:00	18.6	218.0
10:00	20.5	145.3	15:20	16.1	222.0
10:20	22.6	149.7	15:40	13.4	225.8
10:40	24.4	154.3	16:00	10.4	229.4
11:00	26.0	159.0	16:20	7.4	232.8
11:20	27.3	164.0	16:40	4.2	236.1
11:40	28.2	169.0	17:00	1.1	239.2
12:00	28.8	174.2	17:20	-2.7	242.2
12:20	29.0	179.4			

3.4 기상분석

도로 노면 결빙에 영향을 미치는 인자로서 강릉지역의 지난 기온, 적설량, 강수량 및 습도 등의 기상자료를 산출한 결과 표 4와 같다.

표 4. 강릉지역-동절기 월별평년값(1971년~2000년)

요소	1월	2월	12월
평균기온(°C)	0.3	1.4	3.3
최고기온(°C)	4.8	5.9	8.0
최저기온(°C)	-3.3	-2.3	-0.5
강수량(mm)	65.3	58.7	43.5
평균습도(%)	52.0	55.4	50.4
일조합(hr)	185.5	171.6	183.6
평균일사(MJ/m ²)	7.38	9.39	6.55
적설량(cm)	13.0	10.9	2.1

4. 도로 설계 및 모델링

4.1 3차원 지형 및 도로 선형 자료

우선 동해고속도로 구간의 설계 중·평면도를 수집하여 계획노선의 중심선으로부터 횡단 간격 300m지점까지를

평면 범위로 설정하고 그림 4와 같이 대상지역의 3차원 등고선을 생성하였다.

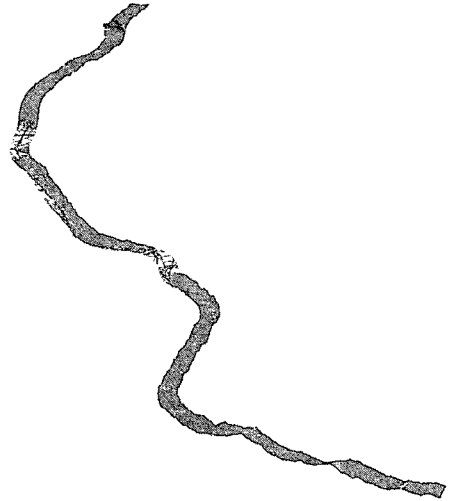


그림 4. 대상지역의 3차원 등고선(iso view)

도로설계는 표 5의 설계기준에 근거하여 벤들리사의 InRoads 프로그램을 사용하여 3차원 도로설계를 실시하였고, 대상지역의 3차원 수치지형모형(DTM)을 생성하기 위해 1:1,000 평면 설계도에서 1m 등고선 자료를 입력하였다. 세밀한 음영지역 산출을 위해 1m 등고선 간격을 사용하다 보니 하드웨어 운영 및 그래픽 처리에서 부분적으로 어려움이 있었다.

표 5. 설계기준

도로의 구분	자동차전용도로, 지방부고속도로
설계속도	100km/hr
도로폭원	23.4m(보호 길어깨 1.0m별도)
차도폭	4×3.6=14.4m
중앙분리대	3.0m
길어깨	2×3.0=6.0m
보호 길어깨	2×0.5=1.0m

4.2 평면선형

수치지형모형을 생성함으로써 현존의 지표면을 모형화한 후, 제안된 도로의 평면위치를 정의하기 위해 도로의 기하학적 프로젝트를 생성하고 선형계획을 위한 IP를 배치함으로써 새로운 도로의 중심선을 배치하고, 선형을 부드럽게 하기 위해 커브셋을 생성하였다.

평면선형과 종단선형은 표 6의 기하구조 기준에 근거로 현존의 도로설계 자료를 그대로 이용하였다. 원곡선 등의 평면선형(horizontal alignment)을 완성한 결과는 그림 5와 같다.

4.3 종단선형

그림 6은 계획노선의 중심선을 따라 도로설계제원을 기준으로 형성된 종단선형(vertical alignment)을 전체 도

표 6. 기하구조기준

구분	기준치(본선)	비고
설계속도	100km/hr	
최소곡선반경	460m	
최소완화곡선장	60m	
표준횡단구배	2%	
최대편구배	6%	
마찰계수(f)	0.11	속도100km/hr시
e	0.06	

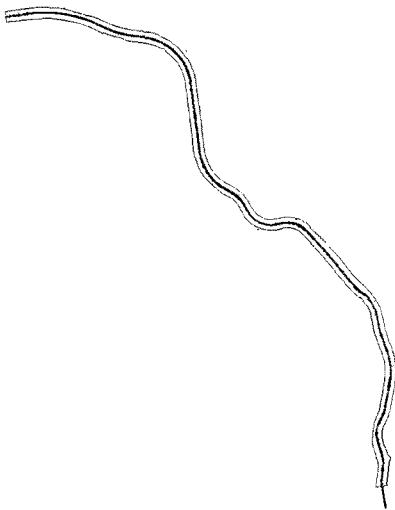


그림 5. 도로계획구간 평면선형설계

시한 것이며, 그림 7은 그 중 일부구간을 상세히 도시한 것이다.

그림 8은 계획고에 따른 절토 및 성토의 범위를 색깔별로 구분하여 시각적으로 판단할 수 있다.

4.4 불규칙 삼각망 생성

그림 9는 지형에 도로 설계값을 입력하여 생성된 완성 도로를 불규칙삼각망(TIN) 형태로 보여주는 것으로서, 일조분석에 사용하는 중요한 자료가 된다.

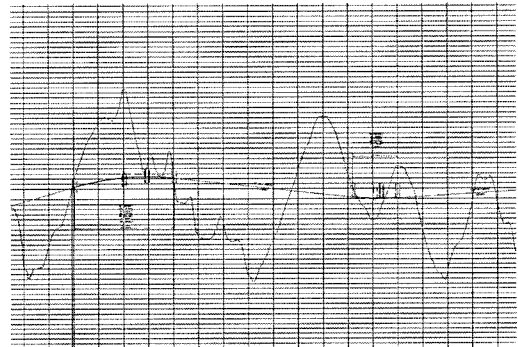


그림 7. 일부구간을 확대표현한 종단선형

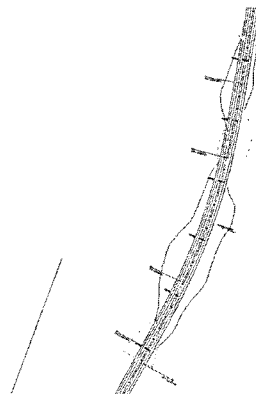


그림 8. 절토 및 성토지역의 구분

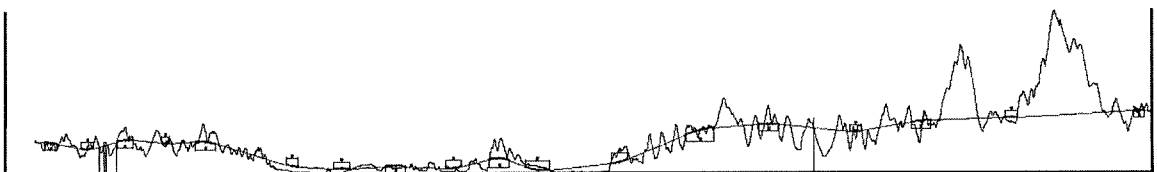


그림 6. 종단면도



그림 9. 도로설계에 따른 TIN 모형(일부구간)

5. 일조 영향 분석

지형 및 도로선형 자료, 공사지역의 경도 및 위도 자료를 토대로 태양의 고도 및 방위각을 계산하여 설정하여 주고, 일출에서 일몰 사이에 자연 지형이나 인공 장애물에 의해 태양 빛이 가려져 그림자를 발생하게 한다.

5.1 태양궤적

그림 10은 일출부터 일몰까지의 태양의 궤적을 표시한 것으로 일조시간대에 음영분석을 가시적으로 모델링하기 위해 동지시(2004.12.21) 20분 간격으로 도식화함으로써 판단자의 시각적 분석을 가능케 하였다. 시간 간격의 설정은 임의대로 조정하여 분석할 수 있으며, 편의상 20분 간격으로 하였다.

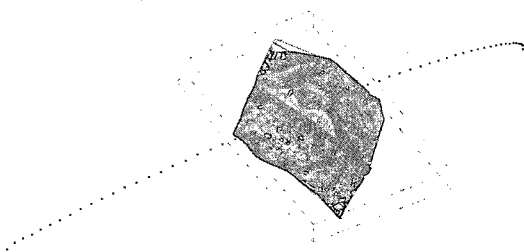


그림 10. 태양 궤적(일출-일몰)

5.2 일조 모델링

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. 따라서 동지시 도로 노면의 일조영향을 파악하여 각 지점별 음영지역을

분석하였다.

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 일조영향평가한 결과 그림 11과 같이 생성할 수 있었다.

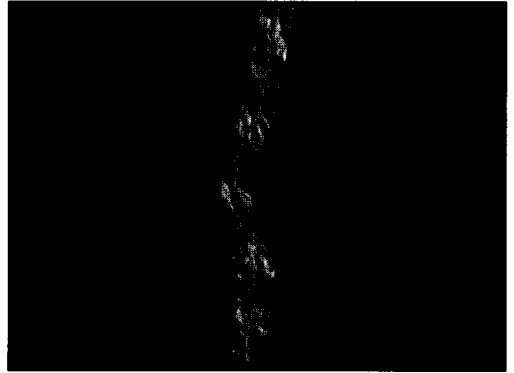


그림 11. 도로 전체구간의 일조 모델링

그림 12는 시각적으로 잘 나타나는 일부구간을 선정하여 3차원적으로 일조 모델링한 결과를 나타내며, 그림 13은 일부 구간을 확대하여 상세히 일조모델링을 나타낸 것이다.

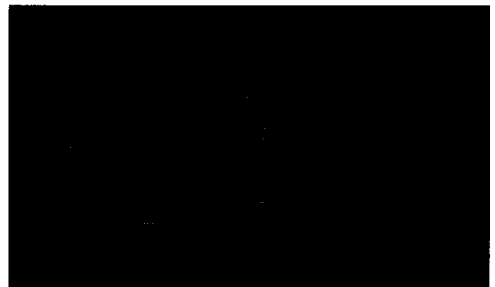


그림 12. 도로 일부구간의 일조 모델링

3차원 모델에 대한 일조 시뮬레이션을 통한 시각적 분석을 실시한 결과, 평면상의 문제점을 해소하고, 실제 3차원 상에서 각각의 세부적인 면들에 그림자가 시간대역별로 어떻게 변화하는가를 확인할 수 있었다. 분석 대상면의 그림자 이동을 정확히 파악할 수 있기 때문에 결과값을 근거로 정량적인 결과를 유추할 수 있었다.

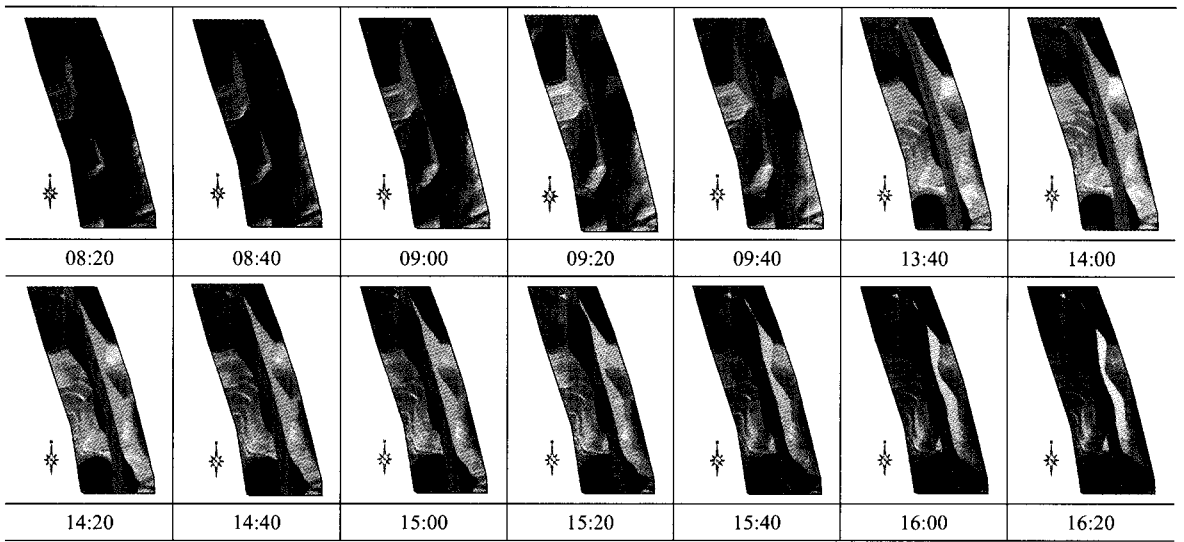


그림 13. 동시시 시간대별 일조모델링(Sta.10+20~Sta.14+60구간)

6. GIS에 의한 결빙구간 추출

6.1 음영지역의 벡터화 및 데이터베이스화

노면결빙 위험성 평가에 필요한 자료의 대부분은 벡터의 도형자료이므로 일반 속성자료와 함께 관리하고 이용

하는 기능을 이용하여 필요한 자료를 원하는 형태로 데이터베이스화할 수 있다. 또한 구축된 데이터베이스는 노선 계획 및 선정에도 지속적으로 사용할 수 있는 자료로 활용할 수 있다.

그림 14에서와 같이 음영 지역(파란색 부분)을 수동 벡

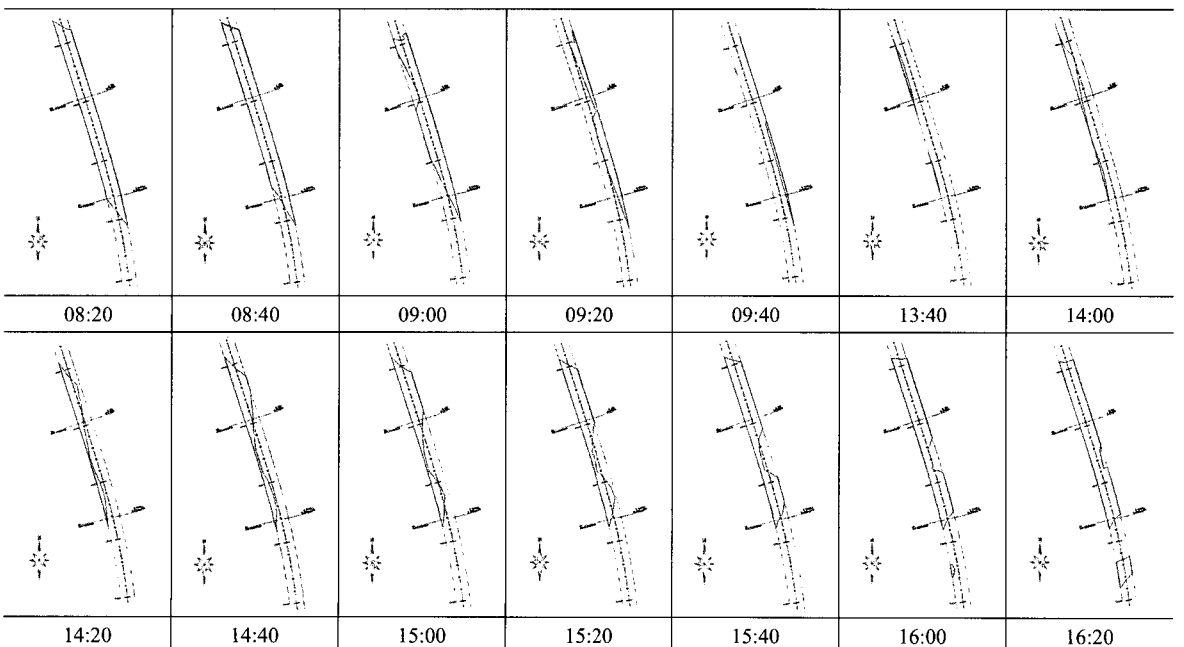


그림 14. 음영지역의 벡터 폴리곤화(Sta.10+20~Sta.14+60구간)

터라이징하여 벡터 폴리곤으로 만들었다. 이 시간대별 음영지역들은 각각 레벨(level)화하여 따로 분류하여 저장하여 각각의 레벨을 ArcCatalog에서 하나의 지오데이터베이스(.mdb)로 내보내기를 하였다. 지형지물(feature) 클래스들이나 지형지물 레이어들을 지오데이터베이스로 변환하였다. 이는 하나의 dgn파일을 하나의 지형지물 데이터셋안에 저장함으로써 지오데이터베이스 내부에의 지형지물 데이터셋이 어느 dgn파일에서 생성된 것인지 파악이 된다면 관리 및 사용에 용이하게 한다.

그림 15는 dgn파일의 각각의 레벨들을 시간대별로 분리하여 각각 지오데이터베이스로 내보내기하여 나타난 과정을 도시한 것이다.

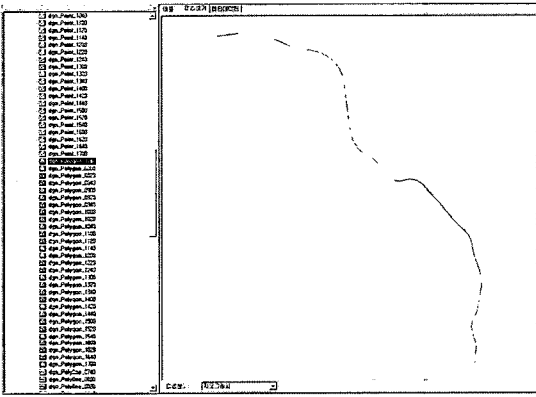


그림 15. 지오데이터베이스로 내보내기한 결과

지오데이터베이스내에서 생성된 시간대별 지역들을 각 레이어로 생성한 전체 결과는 그림 16과 같으며, 그림 17은 그 중 일부분을 확대하여 표시한 것이다.

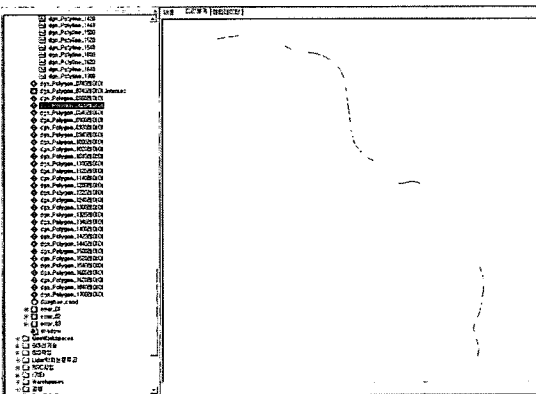


그림 16. 시간대별 지역의 레이어 생성

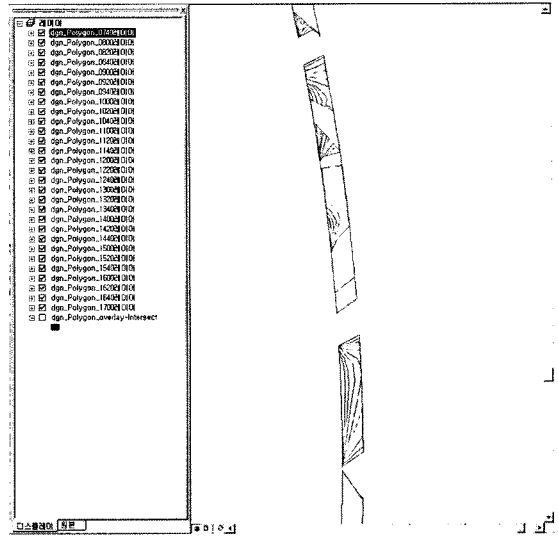


그림 17. 시간대별 각 레이어를 전체 도시한 결과중 일부분을 확대

그림 18과 같이 각 레이어별에 따른 속성값으로 dgn 파일의 레벨, 둘레 및 면적 등을 각각 확인하여 볼 수 있다.

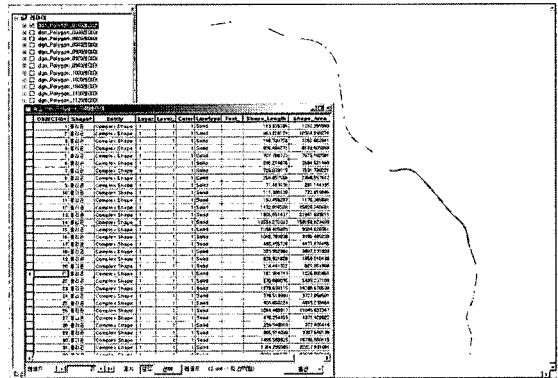


그림 18. 각 레이어별 속성 테이블 확인

GIS의 중첩기능은 공간분석 방법 중에서 많이 이용된다. 구축된 지오데이터베이스에서 각각의 레이어에 음영이 지속되어 중복된 구간을 노면결빙구간으로 간주하고 전체 레이어들을 중첩(overlay)함으로써 노면결빙에 상구간을 추출할 수 있었다. 중첩 기능중 교차(intersect) 기능을 이용하여 대상 지형지물의 지오메트릭 교차를 계산하였다. 모든 레이어에서 공통된 지형지물의 일부, 또는 지형지물 클래스가 그림 19에서와 같이 결과로 생성되었다.

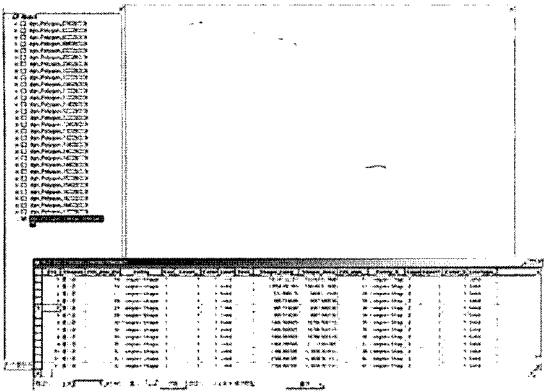


그림 19. GIS의 중첩기능을 이용한 결빙위험구간 추출 및 속성테이블 표현

6.2 노면결빙

본 연구 결과에 따르면 태양의 고도 및 방위각에 따른 도로 음영구간의 차이를 확인 및 구별할 수 있었다. 그림 19와 같이 터널 및 일부지역에서는 동지시 일조확보가 매우 어려웠다. 터널지역의 경우는 절토 사면의 경사를 최대한 완화하여 일조시간을 많이 확보하도록 해야 하며, 음지 상태에 따른 결빙대책이 이루어져야 할 것이다. 따라서 노선 선정에 따른 일조시간을 분석하여 도로계획의 타당성 조사 자료로 사용할 수 있으며, 도로 건설시 일조환경 시뮬레이션을 제도적으로 반영시킬 필요가 있다고 생각된다.

노면결빙 위험지역 선정에 GIS를 접목시켜 구체화하기 위해서는 노선선정시 결빙구간을 제안한 모형에 따라 선정된 범위 내에서는 기상 조건을 고려하여 경고 표지판 및 응설 시스템의 설치를 고려할 수 있을 것이다.

7. 결 론

도로 노선 주변의 수치지형자료를 3차원 모형화하여 태양의 궤도 및 고도각을 이용하여 20분 간격의 음영 지역을 구하고, 그 그림자가 일정 시간 이상 중복되는 지역을 표시하여 그 변화를 실증적으로 분석하고 동절기 일조시간에 따른 도로노면의 결빙구간을 파악할 수 있는 가능성을 제시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

본 연구 결과는 도로의 효율적 노선계획을 위하여 음영 분석을 이용한 일조영향평가를 실시하고 관련 기상분석 자료와 도형 및 속성 자료로 GIS 데이터베이스를 구축하여 노면의 결빙구간을 평가함으로써 의의를 찾을 수 있

며, 도로 계획 및 설계분야에 그 활용성을 기대할 수 있다.

도로의 시공단계에서 사용하는 것보다 계획단계부터 도입하여 일조영향의 정성적 평가는 물론 정량적, 과학적인 분석이 충분히 가능함으로 사전 검토안 자료로 충분히 활용될 수 있으며, 타 설계안과는 차별화되는 일조영향을 고려한 도로 노면결빙구간 분석이 도로관련 법제도상의 규정과 조건에 이바지할 수 있는 대안으로 제시될 수 있을 것이다.

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.

도로건설에 따른 지형지물별로 일조내역을 3차원 시뮬레이션으로 제공함으로써 현장에서 일조관련 민원해소 차원에서 차별화된 설명 자료로 활용하며, 안전운전에 위험요소를 파악할 수 있어 운전자의 주행 안전성을 확보할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2004-003-D00406).

참고문헌

- 노태호, 서동주, 이종출 (2005), 의사결정체계를 이용한 노선 선정에 관한 연구, 한국측량학회지, 제23권, 제2호, pp. 117-128.
- 오규식, 채명신, 정연우 (2001), 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 활용한 도시 공공 공간의 일조환경 분석, 대한국토·도시계획학회지 「국토계획」, 제 36권, 2호, pp. 209-222.
- 이우중, 이창수 (1998), 아파트 단지 배치에 대한 일조권 규제의 개선방안에 관한 연구, 대한국토·도시계획학회지 「국토계획」, 제 33권, 제 3호, pp. 138-158.
- 최현, 한병철, 손경숙, 강인준 (2004), 구조물 설치에 따른 일조권 영향 분석, 한국측량학회지, 제22권, 제2호, pp. 95-103.
- 한국천문연구원 웹사이트 (www.kaeo.re.kr)
- 허경희 (2002), 일조환경 개선을 위한 설계 프로그램 동향, CAD & Graphics 11월호, pp. 49-67.
- 허윤경, 이성호 (2001), 공동주택의 일조환경 개선을 위한 이격거리 기준에 관한 연구, 대한국토·도시계획학회지 「국토계획」, 제 36권, 제 5호, pp. 139-147.
- ERDAS Field Guide (Sixth Edition) (2002), p. 363.
- USNO (United States Naval Observatory) Astronomical Applications Department 웹사이트 (<http://aa.usno.navy.mil/>)

(접수일 2005. 8. 26, 심사일 2005. 9. 3, 심사완료일 2005. 9. 26)