

# 친환경 도로 설계를 위한 항공레이저측량 데이터의 활용 Practical use of LiDAR data for Environment-friendly Road Design

이현직<sup>1)</sup> · 박은관<sup>2)</sup> · 유지호<sup>3)</sup>

Lee, Hyun Jik · Park, Eun Gwan · Ru, Ji Ho

## Abstract

Value of natural environment and the importance of conservation are augmented gradually, and collision of environment conservation and development are caused in various construction industries.

In this study, Presented practical use way to ecological road design using vegetation information and high precision 3-dimensional geo-spatial data for minimizing pollution. Also, analyzed freezing danger of road surface in winter and direct ray of light danger through simulation of completed road and surrounding environment. And presented road design support way through view analysis.

Keywords : 3-dimensional road design, direct ray of light, freezing dange

## 초 록

자연환경의 가치와 보존의 중요성이 점차 증대되고 있으며, 각종 건설사업에서 환경보존과 개발의 충돌이 야기되고 있다. 본 연구에서는 환경파괴의 최소화를 위해 고정밀 3차원 지형공간 데이터를 도로 설계에 활용하는 방안과, 식생정보의 생태학적 도로 설계에의 활용 방안을 제시하였다. 또한 완공된 도로와 주변 환경의 시뮬레이션을 통하여 겨울철 노면의 결빙위험, 직광위험을 분석하였으며, 경관분석을 통해 친환경적인 도로설계 지원방안을 제시하고자 하였다.

핵심어 : 3차원도로설계, 직광분석, 결빙위험

## 1. 서 론

측량 및 IT 기술의 발달로 우리는 정밀한 3차원 공간정보를 매우 신속하게 획득할 수 있게 되었으며, 이러한 데이터의 취득 및 처리기술이 더욱 빠르게 연구, 발전되고 있다. 이러한 기술적 발전에 힘입어 최근 우리나라에서는 지방자치단체를 중심으로 다차원 공간정보 구축사업이 활발하게 진행되고 있다. 다차원공간정보구축사업은 항공기에 멀티센서를 탑재하여 1m 간격의 3차원 수치표고 모형 및 20cm급 고해상도의 디지털정사영상을 동시에 취득하고, 이를 융합하여 3차원 입체동영상을 제작하는 사업이며 이 사업을 통하여 도시공간을 3차원의 모습 그대로 재현해내고 있다. 이처럼 디지털 국토를 향한 기술

적 진보에 발맞추어 고정밀 3차원 데이터를 활용하는 기술의 개발 및 연구가 필요한 시점이다. 본 연구는 도로의 설계과정에 있어 고정밀 3차원 데이터의 활용성을 찾고자 한 것이며, 특히 식생정보의 획득이 가능한 LiDAR 데이터를 활용하여 친환경 생태학적 도로설계에 접근하고자 하였다.

연구 대상 도로로 현재 도시계획도로의 설계가 진행되고 있는 강원도 원주시의 외곽순환 도시계획도로를 선정하였다. 연구의 진행은 첫째, 설계에 활용된 기존 지형데이터(수치지도)와, LiDAR 데이터를 이용하여 제작된 지형 데이터를 비교함으로써 설계상의 차이점을 분석하였으며, 둘째 라이다 데이터의 식생자료와 측량시 촬영된 디지털영상을 이용하여 해당 노선의 식생을 분석함으로

1) 연결저자 · 정회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 교수(E-mail:hjiklee@sangji.ac.kr)

2) 정회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 겸임교수(E-mail:stirer@lycos.co.kr)

3) 정회원 · 상지대학교 일반대학원 토목공학과 박사과정(E-mail:sjce96@hanmail.net)

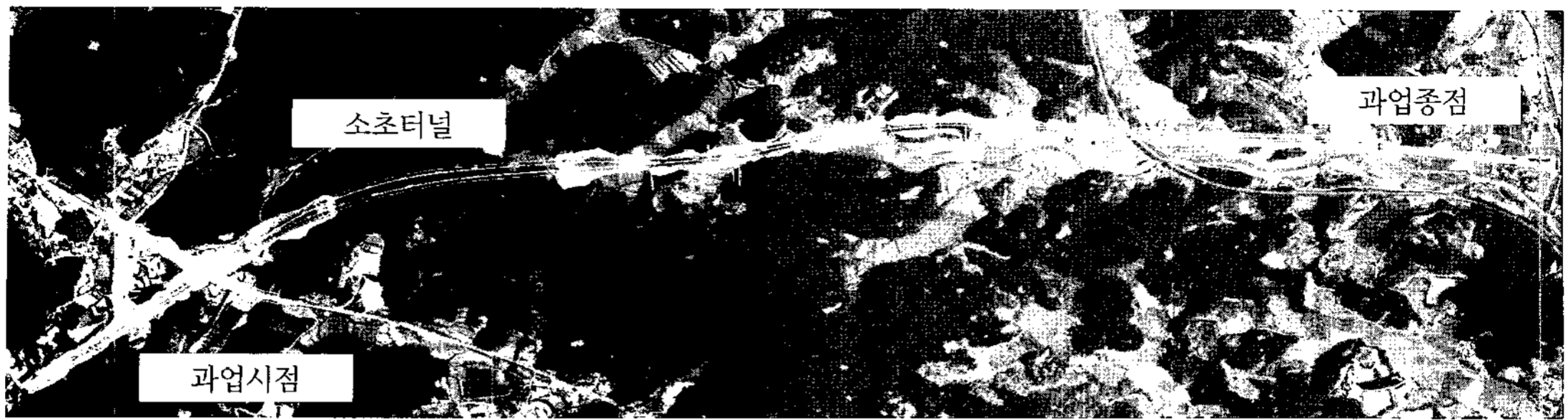


그림 1. 연구대상노선 위치도

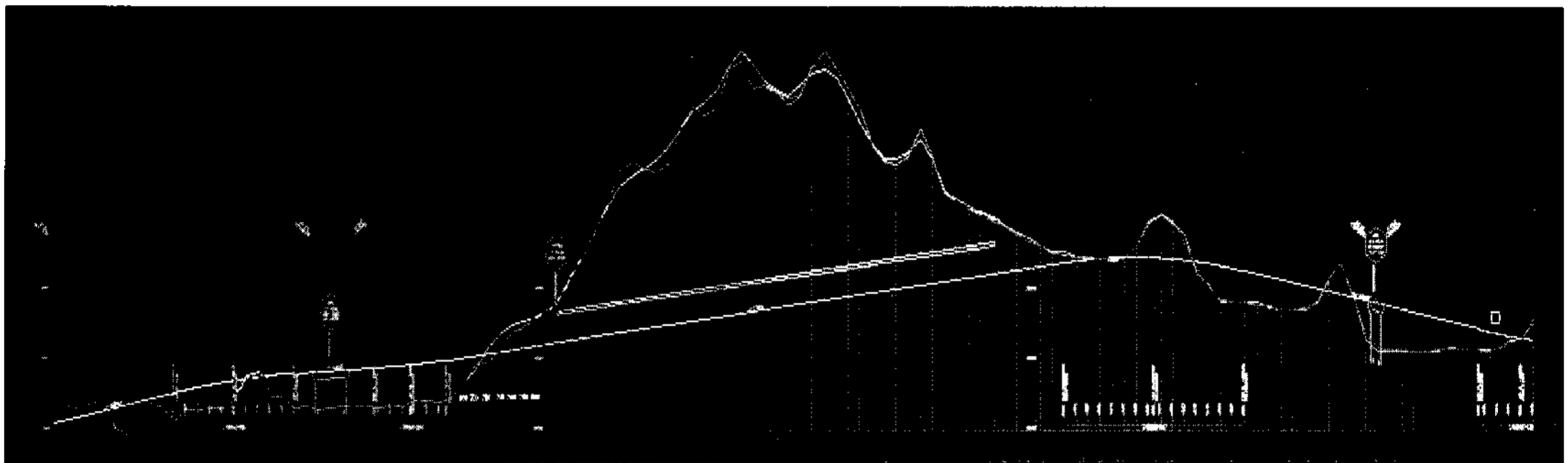


그림 2. 종단 선형 비교

써 친환경 생태학적 도로 설계에의 적용성을 분석하였다. 셋째 고정밀 3차원 지형데이터를 이용한 시뮬레이션을 통해 도로환경분석을 수행함으로써 안전한 도로건설을 위한 3차원 지형공간 정보의 활용성을 검토하였다.

## 2. 지형자료에 따른 설계변경요인 검토

연구대상 노선은 원주시의 도시계획시설중 하나인 동부순환도로로서 설계연장 3.78km, 폭원 20.0m~35.0 설계속도 80km/hr의 제원을 가지고 있다. 그림 1은 대상노선의 위치도를 나타낸 것이다.

2005년 항공사진촬영을 통하여 제작된 1:1,000수치지형도를 기반으로 도로를 계획하였으며, 이후 실시설계과정에서 현황보완측량이 이루어졌다. 지형분석을 위해 그림 3과 같이 수치지형도의 등고선과 LiDAR 포인트 데이터로부터 각각 추출된 DEM을 이용하여 3차원 지형 모델을 제작하여 분석을 수행하였다.

먼저 해당 노선에 대한 수치지형도와 LiDAR 데이터의 지반고를 그림 2와 같이 비교 분석하였으며, 그림4는 노선 중 지반고에 대한 오차가 많이 발생한 지역을 나타낸 것이다. 그림 4에서 보는바와 같이 산지에서 비교적 큰 오차가 발생하고 있음을 알 수 있다. 이 지점을 각각 특

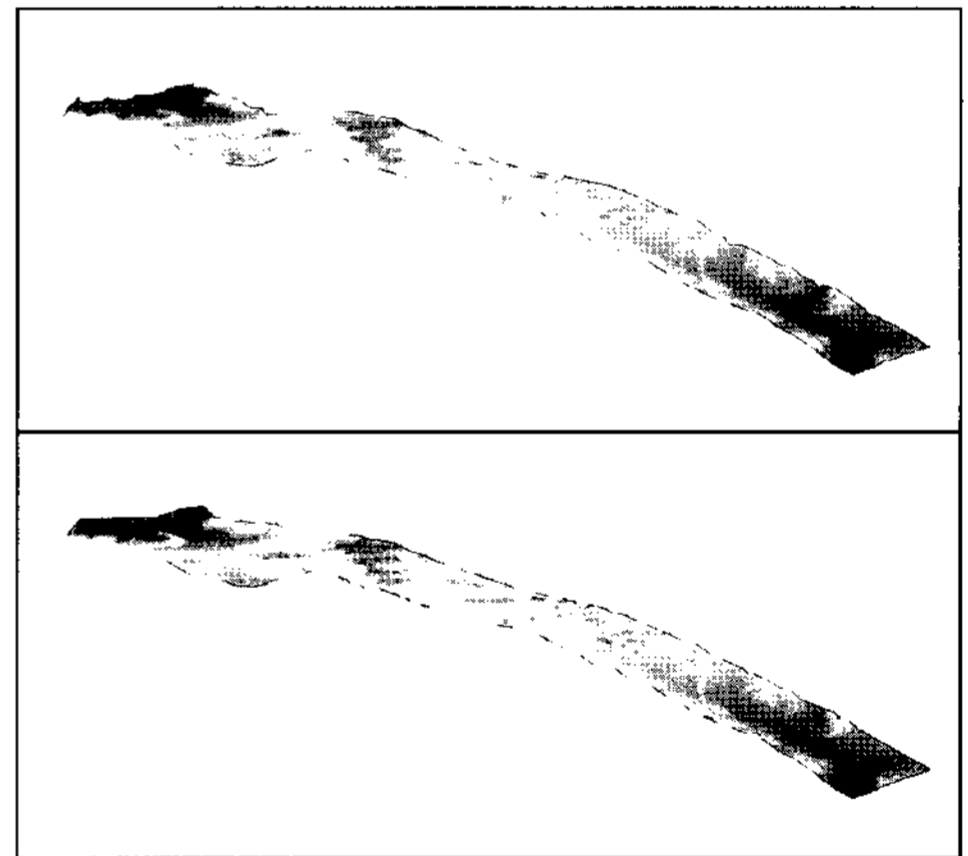


그림 3. 수치지도DEM(상)과 LiDAR DEM(하)

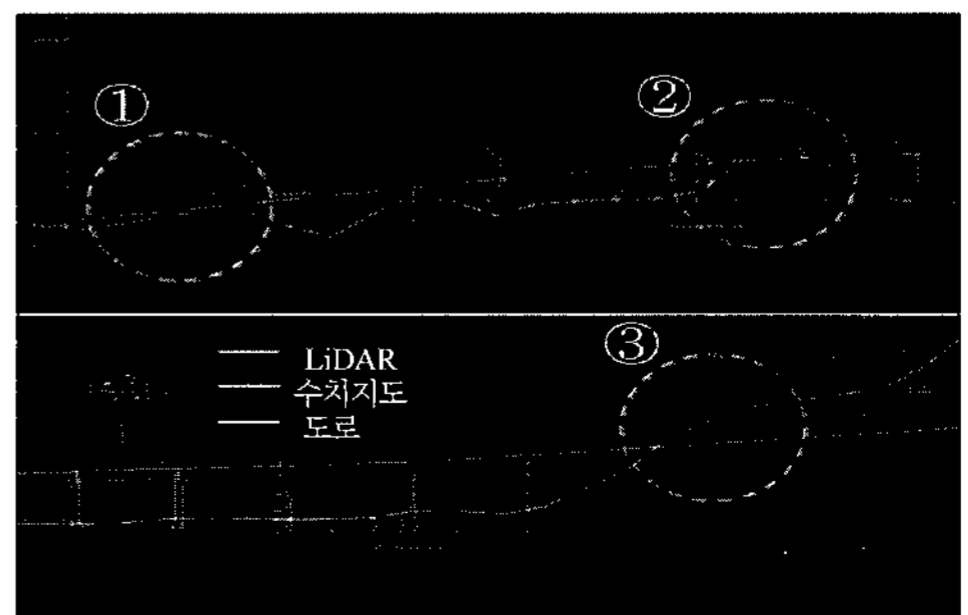


그림 4. 종단지반고의 비교

표 1. 비교구간별 표고 및 토공량 비교

측점 Data	비교1구간 (0+000~0+100)			비교2구간 (0+300~0+340)			비교3구간 (0+720~0+760)		
	LiDAR	수치지 지도	차이	LiDAR	수치지 지도	차이	LiDAR	수치지 지도	차이
평균 표고	145.90	142.12	3.78	155.60	153.64	1.96	163.58	167.15	-3.57
최대 표고차	146.95	141.36	5.59	160.61	156.63	3.98	159.47	163.76	-4.28
토공량	1140.10	608.70	531.4	327.3	143.1	184.2	468.9	972.8	-503.9

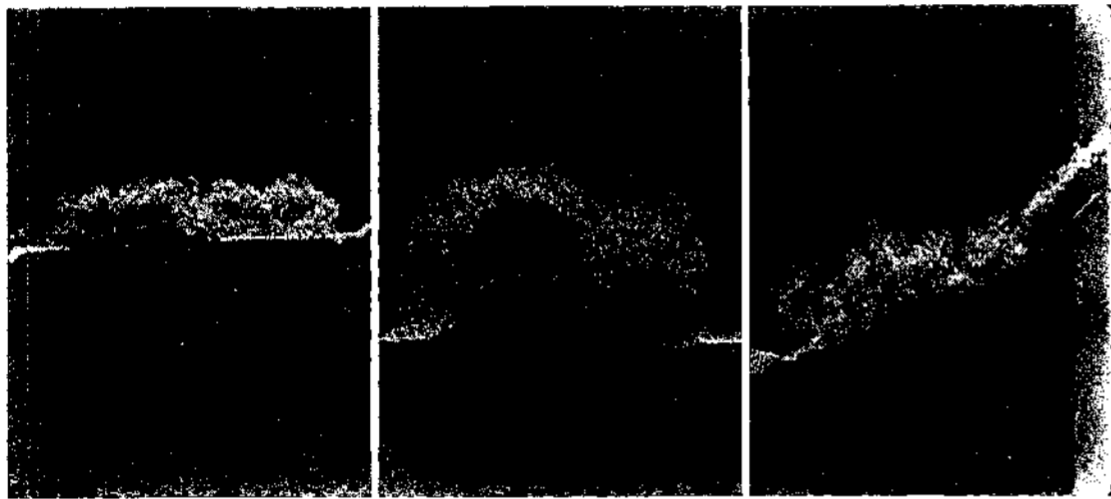


그림 5. 지형 및 식생

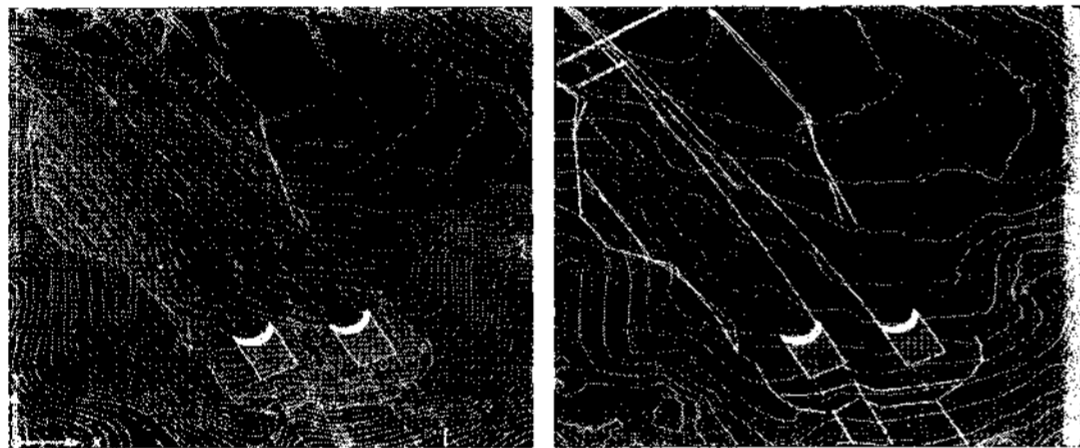


그림 6. 시점부 터널의 등고선도 비교 - 수치지도(좌), LiDAR(우)

히 표고차가 많이 발생하고 있는 측점 0+000~0+100 지점을 비교 1구간, 0+300~0+340지점을 비교2구간, 0+720~0+760 지점을 비교3구간으로 구분하여 설계상의 데이터를 산출하여 비교하였다.

각 비교구간의 표고차 및 토공량차는 표 1과 같으며 특히 비교1구간을 보면 평균표고차 3.78m, 최대 표고차 5.59m로 수치지도와 LiDAR데이터간의 차이가 매우 크게 나타남을 알 수 있다. 표고를 기준으로 비교구간별 토공량을 산출한 결과 비교1구간과 2구간에서 각각 531m<sup>3</sup>와, 184m<sup>3</sup>의 절토량이 적게 산출되었으며, 비교3구간에서는 절토량 503m<sup>3</sup>가 초과 산출되었다. 비교구간 3곳의 절토량을 합산비교한 결과 211.7m<sup>3</sup>가 부족하게 설계된 것을 알 수 있었다. 해당 노선의 실시설계에 있어서 LiDAR 데이터를 이용한 정확한 지반고를 설계에 반영하였으며, 이를 통하여 설계변경요인을 최소화할 수 있었다.

그림 5는 비교구간의 식생현황을 보여주는 LiDAR 데

이터로, 수목을 나타내고 있는 녹색포인트의 높이가 일률적이지 않음을 알 수 있다. 기존의 항공사진촬영에 의한 지도제작에서는 수목의 높이에 대한 보다 상세한 자료획득의 곤란으로 산지부에서의 표고정확도가 LiDAR 데이터에 비해 떨어진다.

그림 6은 시점부 터널 주변의 등고선을 나타낸 것이다. LiDAR의 등고선 간격을 수치지도의 등고선 간격 1m와 함께 추출하였음에도 LiDAR의 등고선이 보다 상세하게 표현되고 있음을 알 수 있다.

### 3. 식생분석

우리나라의 국토이용현황을 살펴보면 임야가 65.2%로 도로의 건설과 같이 연장이 긴 개발사업에 있어 산림을 훼손하지 않는 경우는 그리 많지 않다. 90년대 후반부터 환경에 대한 사회적 관심이 높아짐에 따라 이 분야에 대한 관련 법과 정책이 정비되어 오면서 국가 정책 또한 개발만능에서 탈피하여 환경과 자연생태의 보존을 중요한 문제의 하나로 다루고 있다. 따라서 자연 환경의 훼손이 불가피한 개발사업에 있어서 보다 신중하게 접근할 수 있는 방법론이 필요한 시점이며, 이런 관점에서 현황파악이 용이한 정사영상과 함께 식생자료까지 추출할 수 있는 LiDAR 데이터의 활용에 대한 연구는 매우 적절한 대안이 될 것이다.

본 연구대상노선 역시 설계연장 3.78km 가운데 훼손예정인 산지가 있으며, 이에 대해 LiDAR 데이터를 이용한 식생 분석을 수행하였다. 디지털정사영상을 이용하여 도로 노선상의 식생분포지역을 육안으로 선별한 후, 선별된 대상지역을 5개소로 구분하여 LiDAR 데이터로부터 식생데이터를 추출, 식생의 높이에 따라 5m이하, 5~10m사이, 10m이상으로 분류하였다. 그림 7은 식생분석 대상구간을 나타낸 것이다.

LiDAR의 식생데이터를 분석한 결과, 터널 양쪽의 갱

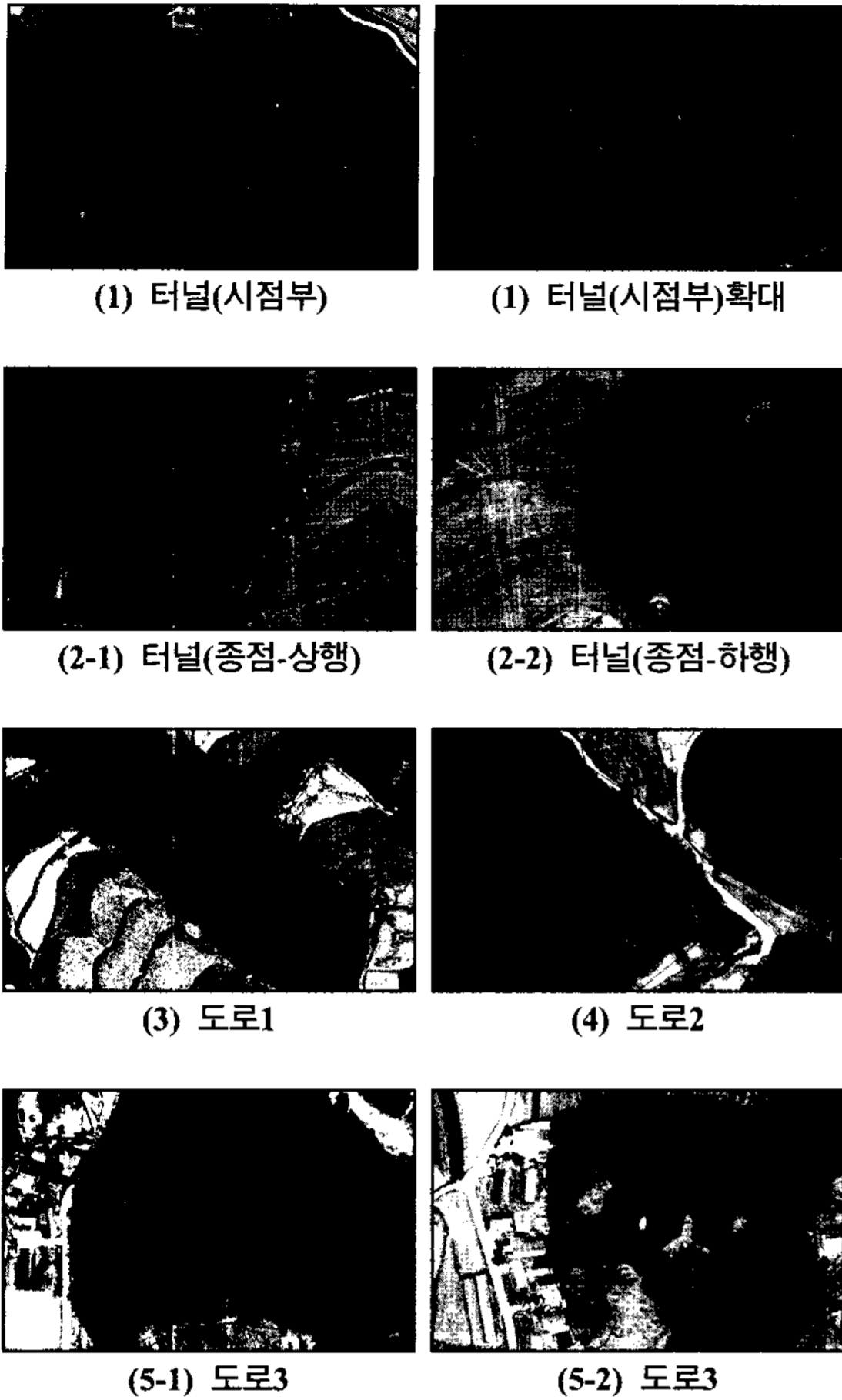


그림 7. 대상구간 식생분석도

구부 훼손지는 5~10m의 식생이 주로 분포하고 있었으며, 3번과 5번 대상지는 10m 이상의 비교적 높은 수목이 자라고 있음을 확인할 수 있었다.

집계결과 5~10m 사이의 식생분포가 61%로 가장 많은 비율을 차지하고 있었으며, 10m 이상의 수목은 26%로 나타났다. 본 연구대상 노선에서는 총 108,498m<sup>2</sup>에 이르는 면적이 훼손되는 것으로 나타났다. 이 훼손지역 수목의 높이 분석 결과를 바탕으로 훼손지 산림의 존치 또는 벌개제근 계획이나, 도로 경관용 수목 식재 및 훼손지 복구를 위한 계획에 본 자료를 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 대상 노선에서는 생태통로의 개설이 필요할 만큼의 규모있는 산지의 분할이 발생하는 지역은 없으나, LiDAR데이터에서 추출되는 식생데이터와 디지털 정사영상을 이용한다면 이러한 친생태학적 도로 건설에 유용할 것으로 판단된다.

표 2. LiDAR 데이터를 이용한 식생분포

대상지	합 계	5m이하	5m~10m	10m이상	면적(M <sup>2</sup> )
1	7,486	847	6,230	409	22,165
2_1	1,634	128	832	674	17,094
2_2	1,646	74	869	703	23,549
3	3,029	124	1,425	1,480	10,191
4	1,383	648	387	348	14,650
5_1	1,425	64	571	790	12,498
5_2	1,694	401	894	399	8,351
포인트수	18,297	2,286	11,208	4,803	108,498
비율	100	12.49%	61.26%	26.25%	

#### 4. 도로환경영향 분석

LiDAR 데이터는 고정밀의 3차원 지형정보의 추출이 가능하며 디지털 정사영상과의 중첩을 통하여 3차원의 실제현장을 구현함에 있어 용이한 장점을 가지고 있다. 실제적인 3차원 영상의 구현 및 시뮬레이션은 미래에 건설될 도로의 잠재적 위험요소를 제거 또는 감소시키고, 아름답고 친환경적인 도로의 건설을 위한 경제적이고 합리적인 수단이 된다. 따라서 도로환경영향 분석에서는 고정밀 LiDAR 데이터에 기초하여 3차원 도로를 설계하고 이에 대한 도로 환경 시뮬레이션을 수행함으로써 완공된 도로에서 나타날 수 있는 위험요소의 분석과, 실제 건설된 도로에서 발생할 수 있는 경관적 문제점들을 분석하고자 하였다. 3차원 도로의 구현은 첫째 LiDAR 데이터로부터 DEM을 추출하였으며, 둘째 설계된 도로의 3차원 종횡단면도에 대한 프레임을 구성하고 이로부터 도로 DEM을 추출하였으며, 셋째 지형DEM에서 도로DEM 중첩부분을 제거한 후 도로DEM과 접합하여 계획 지형에 대한 3차원 DEM을 구성하였다. 넷째 설계상의 도로요소를 Photoshop과 3dMAX등의 소프트웨어를 사용하여 디자인한 후 3차원 가상현실처리 시스템인 3D-TIME을 이용하여 3차원도로를 구현하였다. 태양광 시뮬레이션을 통한 분석에는 Google Sketchup을 이용하였다. 그림 8은 3차원 도로 프레임을 나타낸 것이다.

3차원 도로 시뮬레이션을 통한 환경영향분석 중 위험요소의 분석에 있어서는 특히 실제적인 시뮬레이션에 의하지 않고서는 분석이 곤란한 일영분석과 직광분석을 수행하였다. 본 연구대상도로는 산지를 통과하는 도로로서 산지지형으로 인한 음영 및 터널주변부의 음영의 발생은 필연적이며 이는 동절기의 결빙에 의한 사고의 유발가능

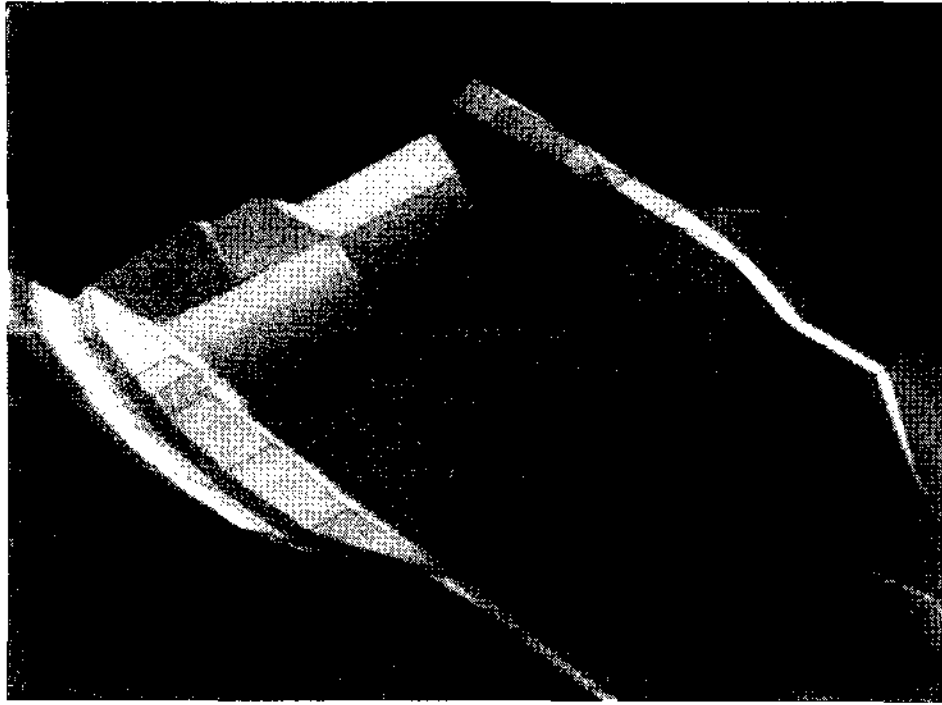


그림 8. 3차원 도로 프레임

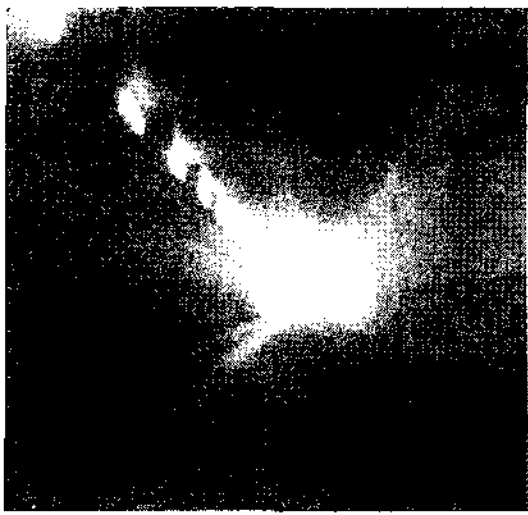


그림 9. 글레어 현상

성이 있음을 의미한다. 따라서 3차원 도로설계에 의한 시물레이션을 통하여 노면의 결빙위험도를 분석하였으며, 또한 남향의 터널개구에 대해서는 태양광의 직광으로 인한 주행상의 위험도를 분석하였다.

#### 4.1 일영분석

노면의 결빙은 주로 강설과 기온 두가지 요인에 의해 발생하며, 기온이 영하로 떨어지는 겨울철의 결빙된 도로의 해빙에는 태양의 일조시간이 절대적이다. 표 3은 겨울철 원주지역의 평균기온을 나타낸 것으로 2005년부터 2008년까지 겨울철 원주지역의 연평균 기온은 12월에 -2.1도, 1월에 섭씨 -2.1도, 2월에 섭씨-0.7도로 나타났다.

즉 이 기간 중에는 영하의 날씨가 지속되므로 노면이 결빙된 경우 대기의 기온 상승으로 인한 노면의 결빙이 해소되기는 어려우며, 태양광의 복사에너지 또는 인위적인 노력에 의해서만 해빙이 가능하다. 노면에 쌓인 눈이 녹기 위해서는 노면온도가 -4도에서 0도 사이인 경우 3.624MJ 이상의 일사에너지를 필요로 하며 이는 5시간이상의 일조가 있어야 한다. 일영분석은 대상 도로와 지형에 대한 3차원모델을 구축하여 전체구간에 대한 태양의 일조시간을 분

표 3. 겨울철 원주지역 평균기온

연도 \ 월	1월	2월	12월
2005	-3.3	-2.3	-5.8
2006	-1.7	-0.7	-0.5
2007	-1.1	2.5	-0.1
2008	-2.4	-2.3	
계	-2.1	-0.7	-2.1

석함으로써 이루어졌다. 일영분석 시점은 낮의 길이가 가장 짧은 동지를 기준으로 하였다. 그림 10은 종점부 터널구간에 대한 3차원 일영분석 결과를 나타낸 것이다.

노면 전구간이 오후5시 이후부터 다음날 오전8시까지 일조량이 없었으며, 그 외의 시간은 구간별로 일조시간에 차이가 있었다. 5시간이내의 일조시간을 지닌 구간은 소초교 아래의 42번 국도노선 0+800~0+815 구간의 약 15m 구간과 시점부 터널 0+800~0+835 구간 35m 구간이 이에 해당되는 것으로 분석되었다. 일조 시간이 짧은 이들 구간에 대해서는 위험 예고판의 설치 및 결빙 해소를 위한 대책이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4.2 직광분석

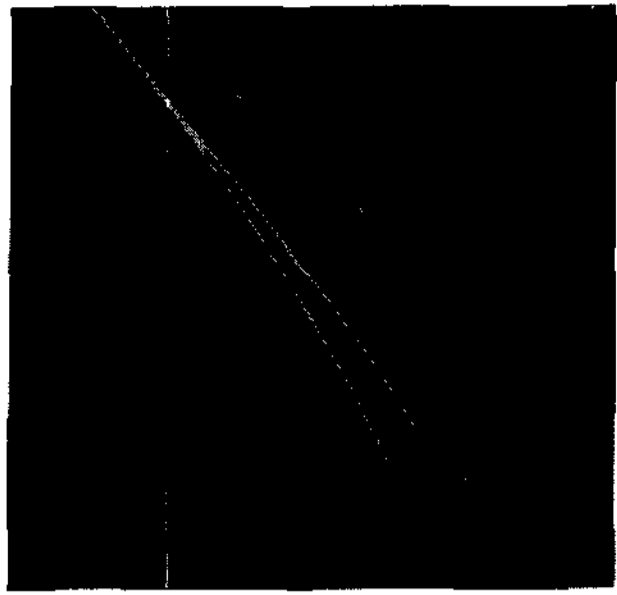
터널의 출구는 터널 내부의 조도에 적응되어 있는 운전자의 시력이 터널 밖으로 나오는 순간 강렬한 태양광에 직접 노출될 때 발생하는 그림 9와 같은 글레어현상으로 인해 일시적으로 시야 확보가 불가능해짐으로써 사고의 위험이 있을 수 있는 구간이다. 따라서 본 노선의 터널에 대한 직광 위험 분석을 통하여 도로 주행안정성을 확인해 보았다.

본 노선의 터널은 남북 방향으로 설계되어 있으므로, 남향으로 설계되어 있는 남원주 IC방향의 터널 출구만을 직광 위험에 대한 분석을 수행하였다. 직광으로 인한 주행 위험성은 태양광이 시야각의 30도 이내로 입사하는 경우이다. 분석방법은 지형 및 터널에 대한 3차원 모델상에서 태양광 시물레이션을 통하여 빛의 입사각을 확인해 보았다. 그림 11은 춘분, 하지, 추분, 동지 때의 태양광의 터널 출구부에 대한 시물레이션을 나타낸 것이다.

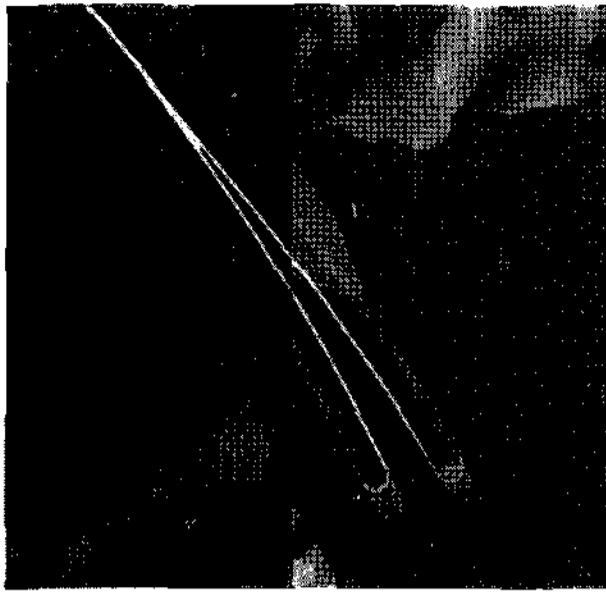
시물레이션 결과, 동지의 태양광 입사각이 30도인 것으로 조사되었다. 따라서 이 시기에는 직광으로 인한 운전자의 주행위험에 대한 대책이 필요하다고 판단된다.

#### 4.3 경관분석

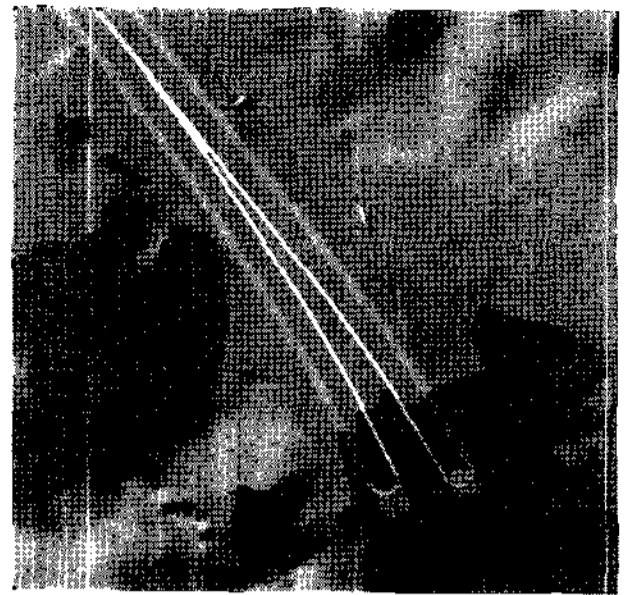
경관은 바라보는 주체와 보여지는 사물에서 일어나는 현



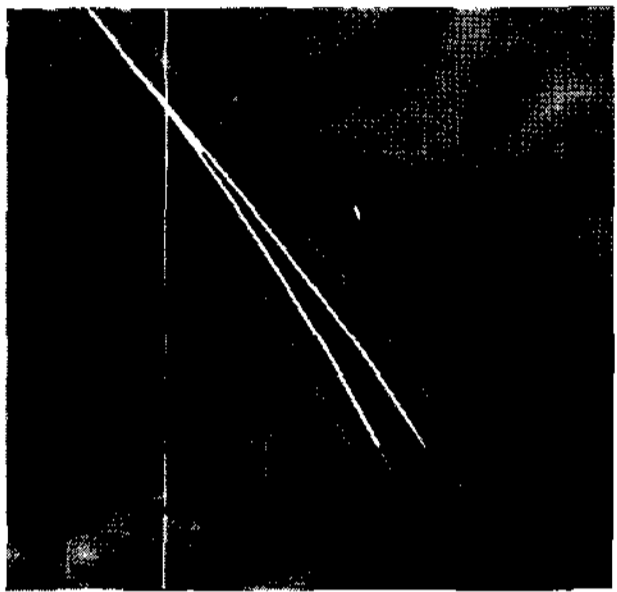
오전8시



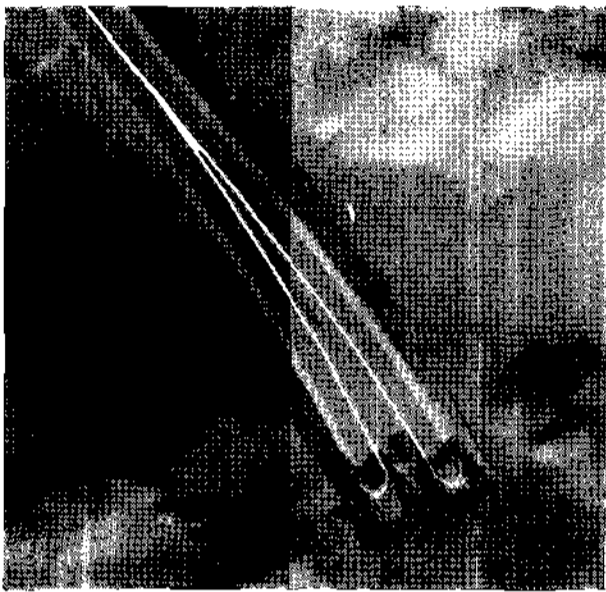
오전9시



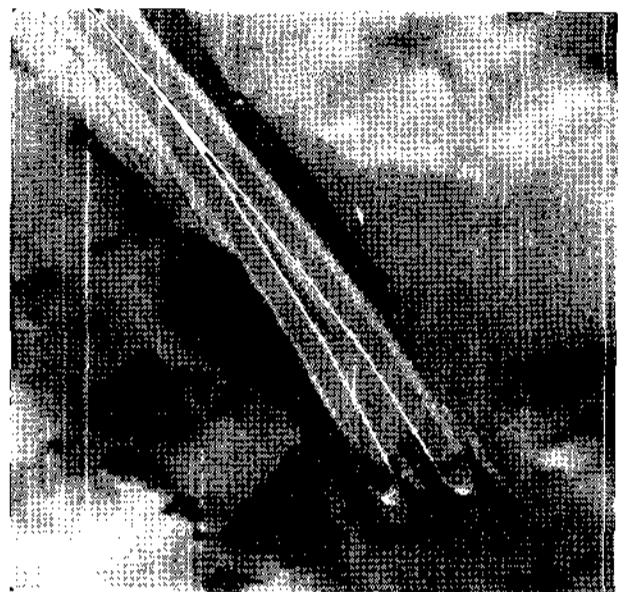
오전10시



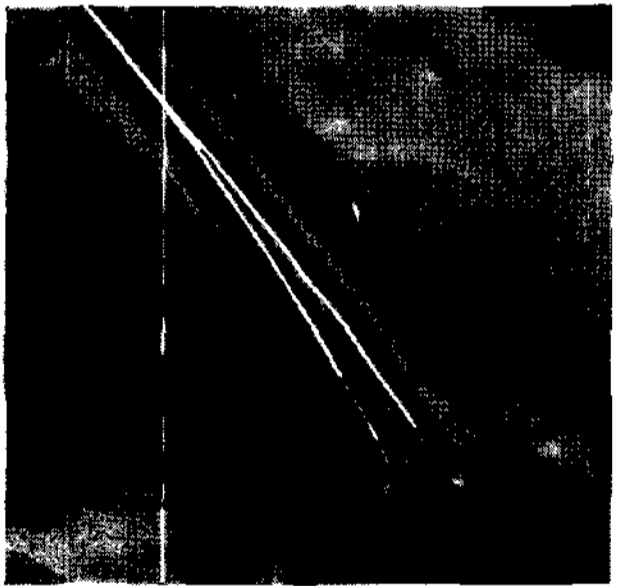
오전11시



오후12시



오후13시



오후14시



오후15시

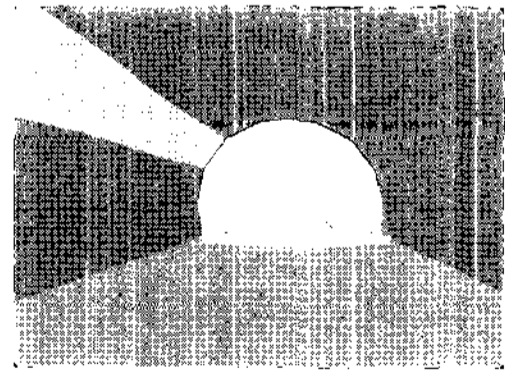


오후16시

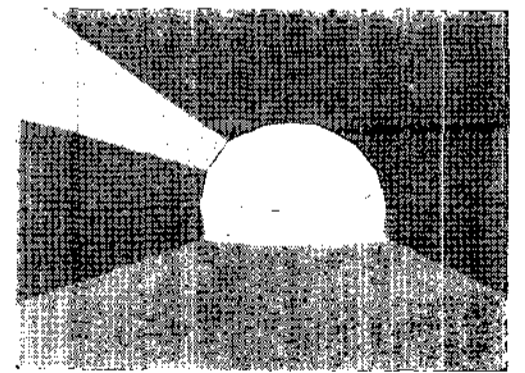
그림 10. 종점부 터널구간에 대한 3차원 일영분석

상으로 특히 도로경관은 도로가 경관의 중심이 되는 경관을 말한다. 도로경관의 유형은 운전자나 보행자가 도로내에서 해당 도로를 포함하여 바라보는 내부경관과 도로 밖의 지역 주문 또는 원거리에서 그 도로를 바라보는 외부경관으로 구분된다. 도로의 경관은 도로를 이용하는 이용자에게 안전하고 편한 느낌을 주어야 하며, 도로가 통과하는 지역의 환경적 특징과 조화를 이루도록 하는 것이 필요하다.

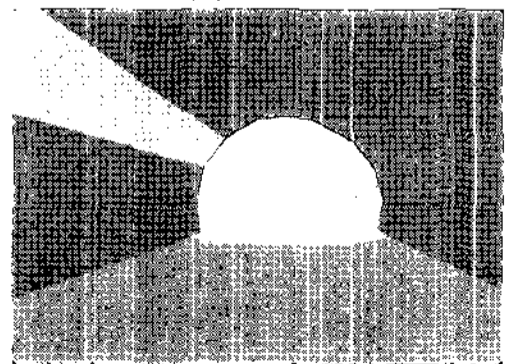
본 연구에서는 도로 내·외부로부터의 조망을 통하여 도로 건설로 인해 발생할 수 있는 문제점을 파악하고 주변경관과의 조화를 확인해 보고자 하였다. 그림 12의 도로 건설 전과 후의 지형을 비교해 보면 중심부 지역이 도로에 의해 고립되고 있다. 또한 국도42호선와의 입체교차를 위해 성토되는 본선구간으로 인해 남서방향으로의 시



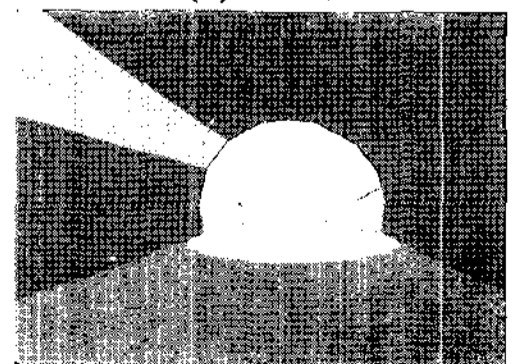
(1) 춘분



(2) 하지



(3) 추분



(4) 동지

그림 11. 직광분석 시뮬레이션

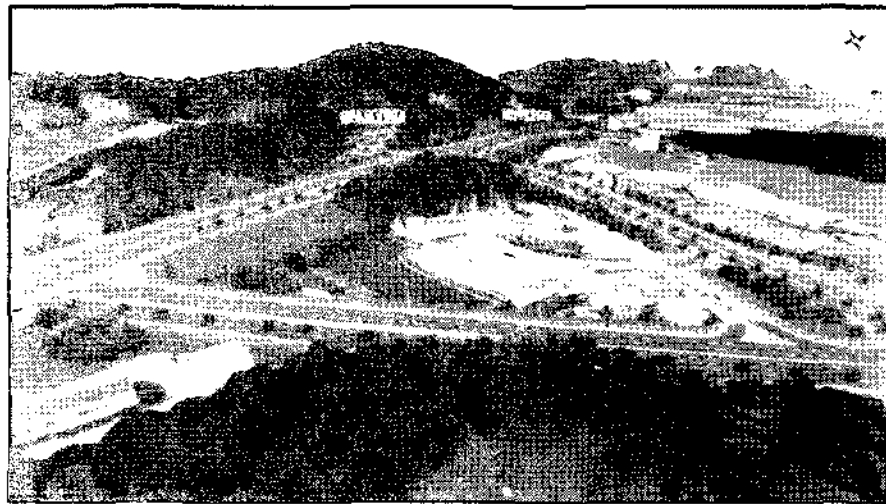


그림 12. 고립지형의 발생(도로건설 전(상), 도로건설 후(하))



그림 13. 터널 상단의 고립된 농지

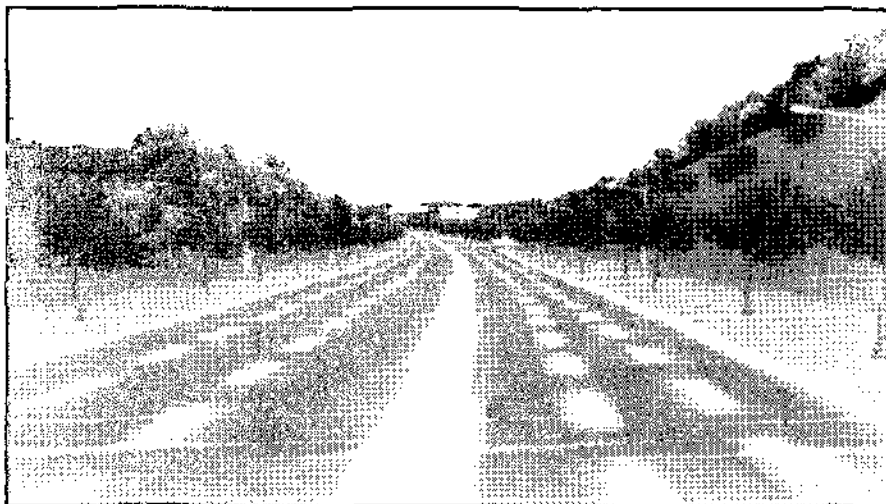
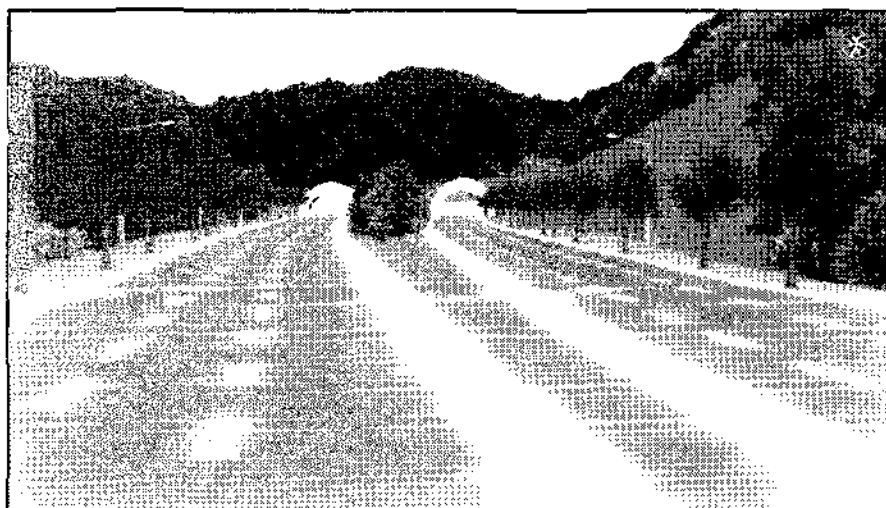


그림 14. 도로내에서의 조망

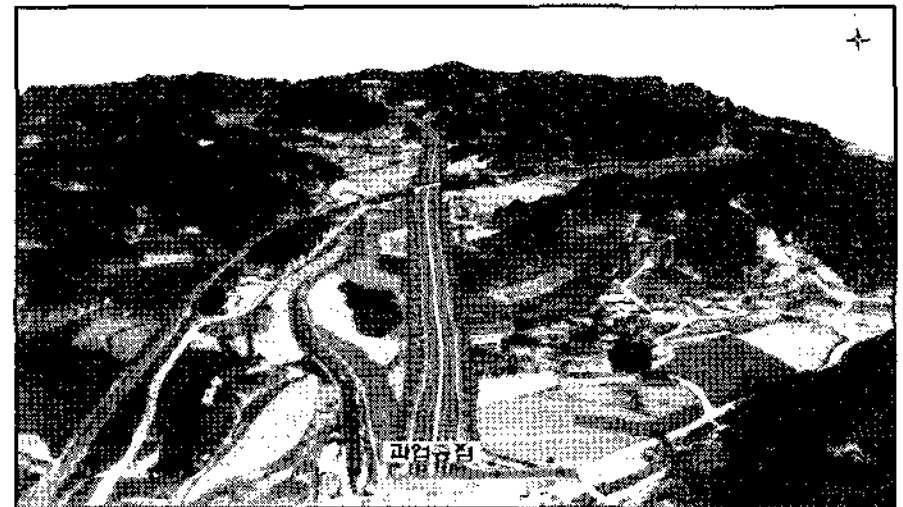
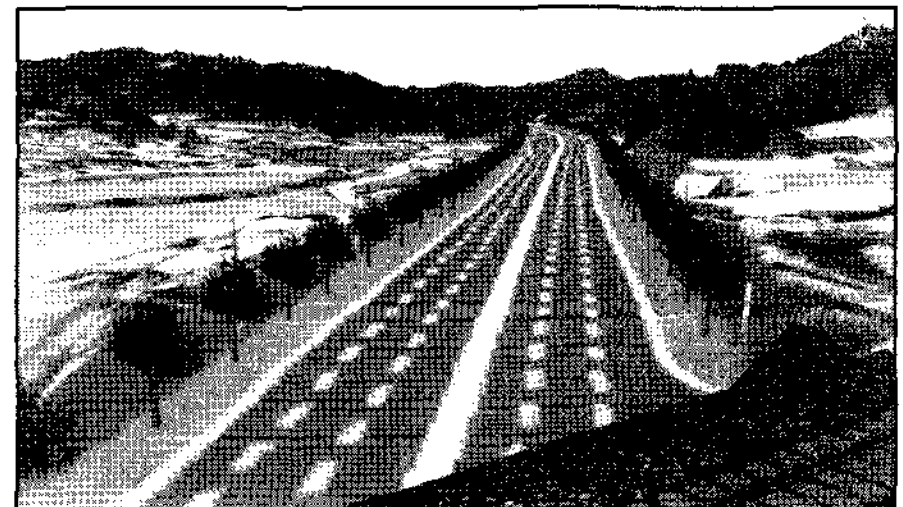


그림 15. 도로외부에서의 조망

각적 차폐가 발생하고 있다. 따라서 해당 지역의 고립을 최소화할 수 있는 교통접근성에 대한 검토 및 시각적 차폐를 줄일 수 있는 방안이 필요함을 알 수 있다.

그림 13의 종점방향 터널입구의 경우 계단식 농경지의 중간부분이 도로에 편입되고 이로 인해 농지가 상·하단으로 분리되게 된다. 이들 분리된 농지의 접근로와 함께 농업용수로 역시 고려해야 할 요소라 판단된다.

그림 14의 상단그림은 시점부 터널에 대한 도로상에서의 조망으로 터널 주변 절토 사면에 대해 녹화 및 식재된 상태를 보여주고 있다. 하단의 그림은 종점부에서 시점부

로의 조망을 나타낸 것이며 도로 주변의 가로수 및 조경 식재를 통해 자연스러운 경관형성상태를 보여주고 있다. 그림 15에서는 중앙선 철도에서 대상도로와 주변 마을의 경관을 함께 조망해 볼 수 있다.

## 5. 결 론

첫째, 수치지도의 산지 지형데이터는 일률적인 표고보정 및 보간법에 의한 등고선작성으로 인해 정확도가 저하되는 단점이 있다. 이러한 오차가 최소화된 LiDAR 데이

터를 실시설계에 이용함으로써 보다 정확한 도로 설계가 이루어질 수 있었으며, 이후 발생할 수 있는 설계 변경요인을 최소화 할 수 있었다.

둘째. LiDAR데이터에 포함된 식생정보와 고해상도의 디지털항공사진영상을 이용하여 도로 건설로 인한 훼손 지역의 식생정보를 추출 분석함으로써 친환경적인 도로 건설을 위한 생태학적 설계지원이 가능하였다.

셋째. LiDAR를 이용함으로써 3차원 지형 및 도로의 모델링을 구현할 수 있었으며 이를 통해 실제 건설이 완료된 도로의 모습을 시뮬레이션 함으로써 도로 건설 후 발생할 수 있는 위험요소에 대한 분석 및 경관분석이 가능하였다.

### 감사의 글

본 연구는 2007년 상지대학교 교내연구비를 지원 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- 강준묵, 윤희천, 민관식, 위광재 (2006), LiDAR 데이터를 이용한 토공량 산정, 춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 533- 540.
- 오일오, 강호윤, 최현, 강인준 (2007), 수치항공사진을 이용한 도로설계시뮬레이션의 기초적 연구, 한국측량학회지, 제25권2호, pp. 99-105.
- 이현직, 유지호, 김홍섭, 유강민 (2006), LiDAR 데이터를 이용한 수치지도제작, 춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 476-480.
- 이현직, 박은관, 박원일 (2007), 도로설계를 위한 LiDAR 데이터의 활용성 분석, 춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 363-366.
- 이현직, 박은관, 유영걸 (2008), 항공레이저측량을 통한 친환경 생태학적 도로설계, 춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 469-472.
- 최석근, 박경식, 이동주, 이재기 (2007), GIS를 이용한 환경친화적 도시개발 적지분석, 춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회 pp. 349-352.

---

(접수일 2008. 5. 6, 심사일 2008. 6. 4, 심사완료일 2008. 6. 21)