

# 수치지형모형을 이용한 효율적인 노선결정

## Effective Decision of the Route Alignment with Digital Terrain

강준목*	윤희천**	이형석***	이성순***
KANG, Joon-Mook	YOON, Hee-Cheon	LEE, Hyung-Seok	LEE, Sung-Soon

### 要 旨

노선계획 및 선정시 지형의 입체적 분석은 정책입안의 효율적인 판단을 내리는데 중요한 기초자료로 사용된다.

본 연구는 수치지형자료를 이용하여 지형을 모형화, 분석 및 재현함으로써 대상지역내의 진입 노선 및 설계교량에 대한 선형을 효율적으로 결정하고자 하였다. 연구대상지역에 대한 등고선도, 불규칙삼각망도, 격자망도와 같은 수치지형모형을 바탕으로 사면경사도, 경사방향도, 음영기복도, 시정선도 및 유하선도를 분석하였다. 또한 절·성토량을 산정하고 유토곡선을 도시함으로써 도로공사를 위한 토공량을 예측할수 있었으며 도로와 지형의 모의관측으로 시공후의 경관을 파악할 수 있었다.

이와 같이 입체적 지형자료의 시각적 효과는 계획가와 의사결정자가 대상지역의 지형적 특성을 고려하여 대안노선을 선정 및 검토하는데 효과적임을 제시할 수 있었다.

### ABSTRACT

The 3-D analysis of terrain for route design and selection is being used as important basic data for effective judgement of political draft.

This study is to decide efficient alignment of the entry route and design bridge by modeling, analyzing and displaying surface with digital terrain data. In this study we analyze slope, aspect, shaded-relief, line of sight and watershed on the base of DTM such as contour, TIN and grid. And we can not only estimate end-area volume for road construction by calculating cut and fill and displaying mass-curve but also recognize the scene after execution with simulation of road and terrain.

The result of this study reveals that visual effects of the 3-D terrain data are very effective for designer and decisionmaker to select and review alternative route with regard to terrain characteristics.

### 1. 서 론

최근에 지형공간정보체계의 기술은 그 효용성이 여러분야에서 입증되면서 이의 응용분야가 점차 확대되어가고 있다. 특히 수작업으로 처리하기 곤란한 지형모형자료의 효과적인 분석으로 대안의 설정 및 평가가 가능하게 되므로써 의사결정 지원분야에 그 활용성이 증대되고 있다(1, 2, 3).  
본 연구는 연구대상지역내의 진입 대안노선 및 설계

교량의 계획수립과정에서 현 도로선형계획의 평면적 해석방법에 수치지형모형(DTM) 분석을 응용하여 입체적인 지형자료로 재현함으로써 계획입안자와 정책결정자가 효율적으로 대안노선을 설정하는데 보다 나은 시각적인 효과를 제공하고자 한다.

이를 위해 지형, 지세 등과 같은 자연·지리적 특성을 반영하는 수치지형모형을 구축하고 공간및 비공간 정보를 동시에 해석하여 적용함으로써 입체적인 노선선정계획을 수행하고자 하였다.

\*충남대학교 공과대학 교수

\*\*충남대학교 측량 및 지형정보연구실 연구원

\*\*\*충남대학교 대학원 박사과정

## 2. 노선계획안

중부권에서 유일한 산림박물관인 충청남도 산림박물관의 진입도로는 폭원이 협소하여 제기능을 다하지 못하고 있는 실정이다.

본 연구는 새로운 진입로 선형 결정을 위한 노선 계획안으로, 대상지역으로는 시점이 충남 공주시 장기면 금암리(국가지원지방도 제 40호)이고 종점은 충남 공주시 반포면 도남리(산림박물관)로 계획하였다.

### 2.1 관련계획검토

현지조사에 앞서 기존 지형도(축척1:5,000)와 지질도를 바탕으로 3개의 비교노선을 선정 후 도상예비 조사를 실시하여 조사계획을 수립하였다.

기상, 기후의 자연적 요인에 의한 기존 도로의 재해발생이력을 참고로 절·성토의 구배결정 및 사면안정을 검토하였다.

지형 및 지세의 경우 절토부의 토사유실, 산사태 발생을 조사하여 소단을 두고 토사유실을 방지하여 집중호우시 우수대책에 만전을 기해야 한다. 또한 기존 도로선형과 설계자료를 조사하고 노선선정시 주요 지형장애물을 최소화하는 방안으로 검토하게 된다.

### 2.2 비교노선선정

노선계획 및 선정시 평면 및 종단선형의 조화, 시각적인 연속성, 주변지형과의 연관성을 고려하였다.

주변여건과 타도로와의 접속 등을 고려하여 3개의 비교노선을 선정하였으며 각 대안마다 금강을 횡단하는 교량이 위치하게 된다. 그림 3.2를 참고로 각 대안별 주요제원 및 특성은 다음과 같다.

제 1안은 산림박물관 주차장과 직접 연결되는 선형으로 총연장 0.73km로서 교량길이는 460m이다. 직선의 평면선형으로서 기존도로와의 접속과 평면 및 종단선형이 비교적 양호한 반면에 지역주민의 이용이 불편하고 금강의 곡선부에 근접하여 위치하게 된다.

제 2안은 산림박물관 정문과 군도 6호선이 접속되는

선형으로 총연장 1.48km로 교량길이는 470m이다. 평면선형의 곡선반경(R)은 80m/1개소, 250m/2개소로 종단선형과 같이 다소 불량한 편이지만 산림박물관과 정문진입도로와 연계성과 기존도로와의 접속이 양호하여 지역개발을 기대할 수 있다.

제 3안은 공주군도 6호선의 계획노선을 이용하는 노선으로서 총연장 1.84km로 교량길이는 500m이다. 평면 및 종단선형이 양호하고 군도개발과 병행가능하며 지역주민들이 이용하기 편리하다.

이와 같이 각 노선별로 연계된 전체적인 선형을 검토분석과정을 통해 지표면 주제에 의한 대상물의 지형 특성을 묘사할 수 있다. 토하여 기하구조 분석에 의한 문제점을 파악, 노선의 시각적인 위치분석을 서 이루어지고 있으며 계획수립과정에는 많은 어려움이 있기 때문에 4) 3차원 처리하였다. 아울러 설계자의 병행할 수 있다. 또한 현재 대부분의 계획과정은 평면도상에 오류를 미연에 방지하며 지형 및 지리자료관리에 소요되는 시간을 단축하고 중복관리를 최소화하여 신속한 정보의 이용을 가능케 하는 시스템을 구축하고자 하였다.

공간상에 존재하는 위상관계를 나타내는 도형자료와 직접 또는 간접적으로 관련되어 있는 속성자료를 처리하였다. 아울러 설계자의 오류를 미연에 방지하며 지형 및 지리자료관리에 소요되는 시간을 단축하고 중복관리를 최소화하여 신속한 정보의 이용을 가능케 하는 시스템을 구축하고자 하였다.

## 3. 수치지형모형 구축 및 분석

도로 선형의 기하학적 구조와 지형경관의 조화여부를 효과적으로 판단하기 위해서는 지형자료와 도로 기본계획자료를 획득하여 평면 및 입체적인 다양한 분석을 통한 통찰력을 제공하는 것이 중요하다(5).

이러한 시스템의 효율적인 구축을 위해서는 도로 선형계획에 대한 제반요소를 파악한 후 지형자료와 속성자료를 잘 연계시킨 지형모형분석이 우선시되어야 한다. 따라서 도로선형계획의 최적상태를 이루기

위해서 새로운 대안의 상황에 맞는 신속한 기초자료를 제공하고자 하였다.

### 3.1 수치지형자료 획득

요즈음 지형공간자료 취득에는 신속한 작업과 경제적인 효과를 위해 소규모 현황측량에서도 스캐닝 방법을 사용하고 있는 추세이다.

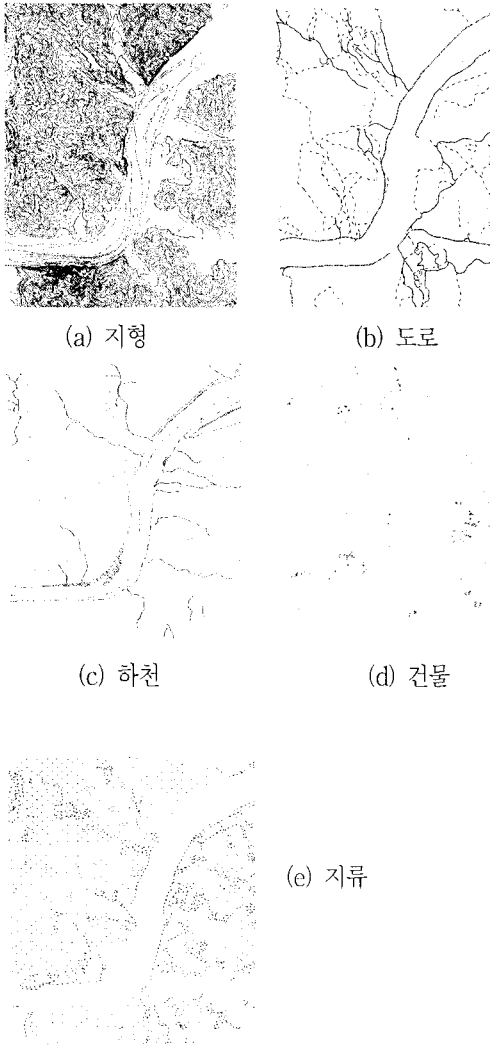


그림 3.1 자료층 구성

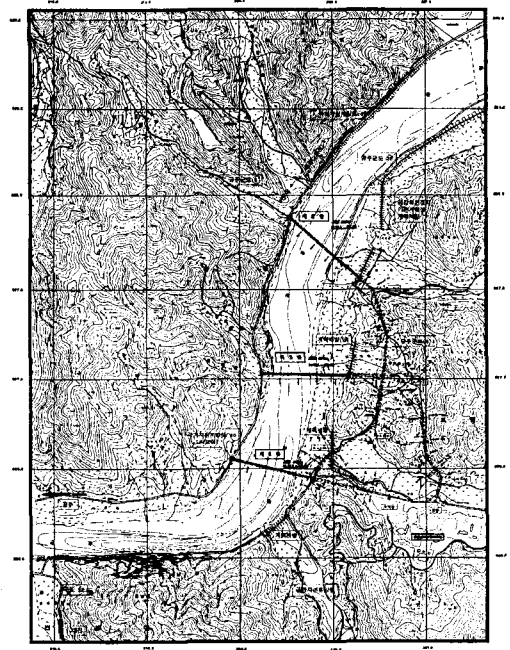


그림 3.2 연구대상지역의 수치지형도

본 연구는 대상지역 1:5,000 지형도를 스캐닝하여 반자동방식으로 벡터라이징하였으며 .dgn, .ttn, .grd 파일 등의 수치지형자료를 생성하였다.

일반적으로 하나의 기본도로부터 여러 자료층(layer)을 작성하게 되며, 서로 다른 특성의 공간자료는 다른 자료층으로 분리하여 저장하게 된다. 따라서 그림 3.1과 같이 지형, 도로, 하천, 건물, 지류 등과 같은 여러 지형 및 지리정보를 각각의 자료층으로 구축하여 나타내었다.

더불어 본 연구대상지역의 자료층을 그림 3.2와 같이 중첩하여 수치지형도를 제작하였으며, 도로설계제반자료를 추출하여 각 대안노선별로 평면선형을 작성하고 종단면도를 나타낼 수 있었다.

### 3.2 수치지형모형 구축

지형의 모형화와 공간상의 연속적인 속성변화를 표현하기 위해 수치지형모형을 생성하였다.

### 3.2.1 등고선도

연구대상지역의 기본도 제작을 위해 벡터라이징을 이용하여 등고선의 평면위치자료를 획득하였고 높이 속성값을 부여하여 3차원 등고선을 생성하였으며, 불규칙삼각망 또는 격자망과 상호관계로서 실행되어졌다

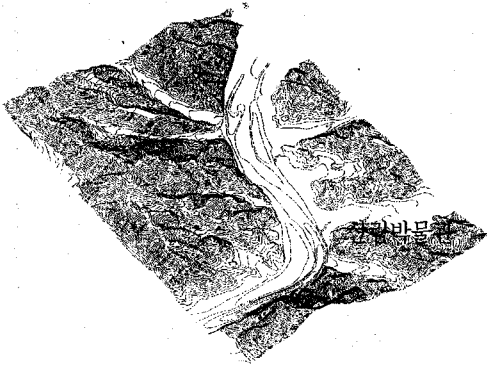


그림 3.3 등고선도

등고선 간격은 5m로, 하상수계의 높이값은 금강수계하천정비계획에 따른 1m 간격의 등고선자료를 사용하여 입력하였다. 이 생성된 등고선 자료는 수치지형모형의 보간과 밀접한 관련이 있으며 지형을 시각화 하는데 적합하였으며 도로선형계획 수립의 기초자료로서 사용하였다.

### 3.2.2 불규칙삼각망(TIN)

불규칙 삼각망은 들로네 삼각망(Delaunay triangulation) 이론에 따른 가장 가까운 두 개의 절점을 찾아내어 연속적인 삼각면을 연결한 모형으로서, 다양한 밀도의 점자료(point data)와 지형의 거친 정도(roughness)를 적절하게 반영할 수 있다.6, 7)

그림 3.4는 불규칙 삼각형을 형성하는 세 점간의 지표면이 평면을 이루는 대상지역을 보여준다. 불규칙 삼각망구조는 자연스런 지형을 나타내기 위해 등고선을 보간 및 생성하거나, 은폐선(hidden-line) 처리 및 표면 음영에도 사용하였다.

특히 언덕경사와 지형을 가로질러 삼각형의 가장 자리를 따라 흐르는 하천의 흐름 모형에 유용하였으

며, 다른 고도에서 점과 선으로부터 보이는 3차원 해석으로 결정하고자 하는 시계분석과 경사방향에 효율적이었다.



그림 3.4 불규칙삼각망도

### 3.2.3 격자표면(Grid)

복잡한 지표면을 그림 3.5와 같이 격자모형으로 표현하였다. 5m×5m의 격자 간격으로 HLR(Hidden Lines Removed)를 이용하여 원근 관경으로 나타내었다. 높이 속성값은 공일차 내삽법(bilinear interpolation)에 의해 보간하였으며, 격자일반화(grid generalization) 방법은 평면(planar) 방법을 이용하였다.



그림 3.5 격자망도

## 3.3 수치지형모형의 응용

상기의 과정을 통해 계획된 대안노선과 지형 및 지

세와의 상관여부를 파악하기 위해서 구축된 수치지형 정보로부터 다양한 분석을 실시하였다. 시각적인 지형 정보해석의 가능성을 고찰하고 지형공간정보체계의 주요기능중의 하나인 중첩기능(overlay function)을 이용하여 효율적으로 수치지형자료를 분석하였다

### 3.3.1 사면경사도

계획된 대안노선 부근의 지형에 대하여 경사정도를 분석하기 위해 그림 3.6과 같이 0°



그림 3.6 대상지역의 사면경사도

~65° 까지 5° 간격으로 색상에 따라 경사 분포를 구분하였으며 임의 지점에서의 경사정도를 확인할 수 있었다. 기울기는 일반적으로 백분율(percent) 또는 각도(degree)로서 측정되며 대안노선별로 비교적 25° 내의 경사분포정도임을 알 수 있었다.

### 3.3.2 경사방향도

지형에 대한 경사벡터를 분석하기 위해서 경사표면이 빠르게 내려가는 경사방향을 8개 방향(북, 북동, 동, 남동, 남, 남서, 서, 북서)로 나뉘게 되며(8) 그림 3.7과 같이 도시하였다. 여기서 평지는 점(point)로 나타내어진다. 불규칙삼각망모형의 경우도 방향 다각형을 생성하여 경사분포를 나타낼 수 있었다.

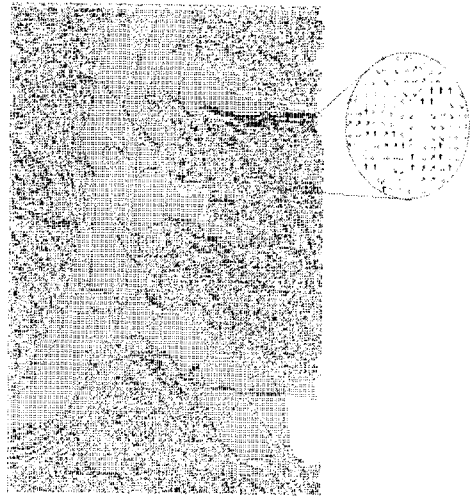


그림 3.7 경사방향도(top view)

### 3.3.3 음영기복도

음영기복도는 하나의 이미지를 통해 시각적인 질을 높이고 기복을 묘사하는데 유용하게 사용된다(8).

연구대상지역의 대안별 선정된 노선과 교량의 지리적 위치를 살펴보기 위하여 그림 3.8과 같이 태양 각도 45°, 태양 방위각 315°, 태양강도 100을 사용하여 높이 자료를 명암법으로 나타내 보았다.

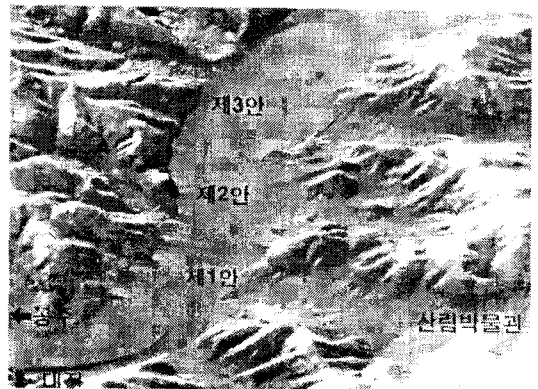


그림 3.8 지형의 음영기복도

표고 자료를 광원, 음영 및 색상별로 다양하게 처리하여 강과 지형의 차이를 구별하고 지표면 기복에 대한 형태와 경향(trend)를 실제적으로 인식하는데 효과적이었다.

### 3.3.4 시정선도(line of sight maps)

불규칙삼각망을 이용하여 지표면상의 한 점으로부터 가시 영역과 비가시 영역들을 구성하였다.

분석을 통해 노선이 지나가는 지형의 산사태 영향과 배수특성을 파악할 수 있었다. 또한 수계망부분의 일부 또는 전부를 선택적으로 나타낼 수 있었다.

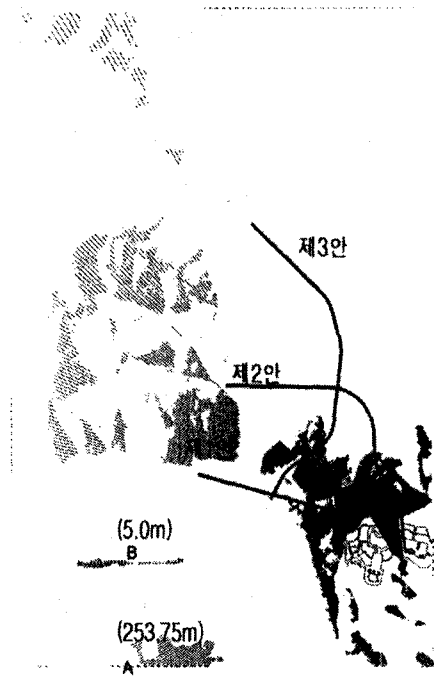


그림 3.9 정문에서 본 전 지형에 대한 가시영역분포

그림 3.9는 산림박물관의 정문에서 관찰자의 눈높이 1.70m의 가시점(view point)로부터 전체 지형에 대한 가시구역들을 방사선으로 표시한 것이며, 점 A는 대상지역의 최고점을, B 지역은 최저점들의 분포를 나타내고 있다.

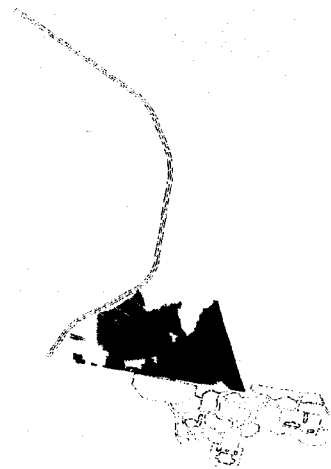
그림 3.10은 산림박물관 정문에서 각각의 대안노선 별로 선형을 따라 보았을 때 보이는 부분들을 나타낸 것이다. 여기서는 나무나 건물 등의 경관요소를 배제한 지형만을 고려한 시계영향을 나타낸 것이다. 또한 도로나 강줄기와 같은 선형 형태(feature)로부터 관측되거나 보이는 범위를 구성할 수 있었다.



(a) 제 1안



(b) 제 2안



(c) 제 3안

그림 3.10 각 노선을 따라 본 가시영역분포

### 3.3.5 유하선도

산사태에 영향을 주는 요인 중 강우에 의한 영향이 크다. 그림 3.11과 같이 유하선에 대한 다각적인

분석을 통해 노선이 지나가는 지형의 산사태 영향과 배수특성을 파악할 수 있었다. 또한 수계망부분의 일부 또는 전부를 선택적으로 나타낼 수 있었다.

그림 3.12와 같이 등고선이 낮은 쪽을 향하여 표류수의 유선이 발산되는데 지형의 형태에 따라 유하선은 다양한 방향과 크기로 나타난다.

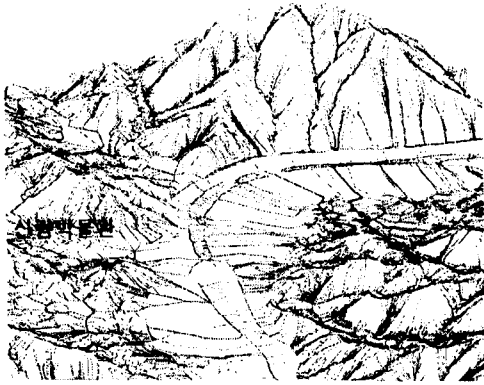


그림 3.11 유하선도

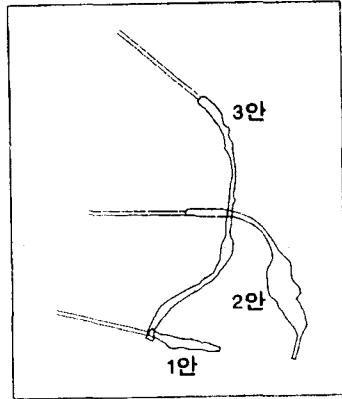


그림 3.13 대안별 절·성토 면적분포

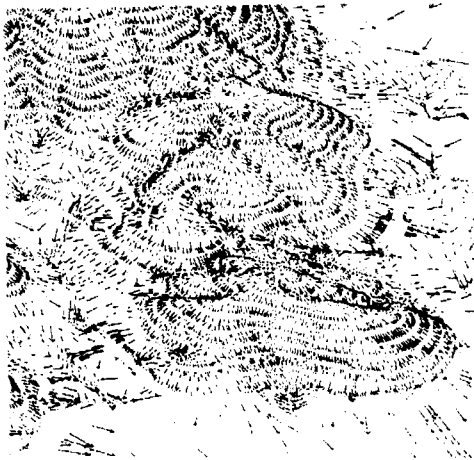


그림 3.12 유하선의 벡터모형

### 3.3.6 대안노선별 표면적과 체적 계산

수치지형자료를 바탕으로 도로설계시 토목공사를 위한 토공량을 계산하였다. 격자망 또는 불규칙삼각망 모형에 대해 전체 또는 부분적인 표면적을 계산할 수가 있었는데 각각의 노선에 대하여 교량구간을 제외한 범위를 정의하고 각 대안별로 포함된 절·성토 면적을 구하였다.

불규칙삼각망을 평면에 투영한 면적을 합한 결과 제 1안은  $12,844 m^2$ , 제 2안은  $53,961 m^2$ , 제 3안은  $18,739 m^2$ 으로 계산되었다.

정의된 각각의 선형에 따라 횡단면도를 작성한 후 측정점 간격을 20m, 10m 및 5m로 나누어 불규칙삼각망 구조를 기초로한 절·성토량을 양단면평균법(end-area volume)을 이용하여 표 3.1과 같이 계산할 수 있었으며 임의의 측정점간격별 토공량 분포를 파악할 수 있었다. Net란에서 (+)는 절토량이며, (-)는 성토량을 나타낸다.

표 3.1 대안별 토공량 산정

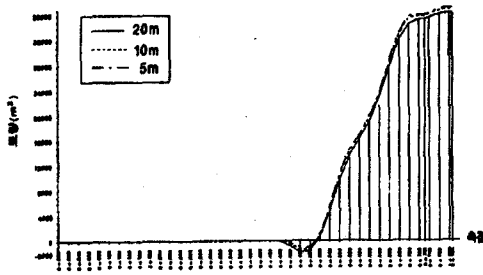
구 분	측점 간격	Cut( $m^3$ )	Fill( $m^3$ )	Net( $m^3$ )
제 1안	20m	40509.28	4136.01	36373.27
	10m	40770.70	3774.04	36996.66
	5m	40797.50	3573.08	37224.42
제 2안	20m	320605.39	42257.11	278348.28
	10m	320297.20	42661.29	277635.91
	5m	320515.34	42379.42	278135.92
제 3안	20m	53388.51	103520.11	-50131.60
	10m	54204.56	102472.85	-48268.29
	5m	53991.32	102961.39	-48970.07

### 3.3.7 유토곡선

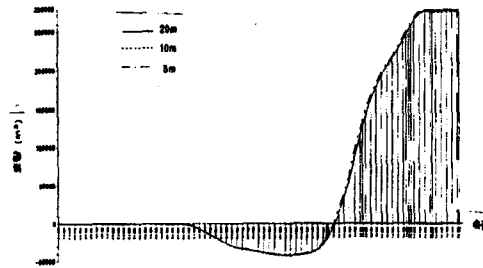
상기와 같이 각 대안별로 체적을 수치지형정보로 구축된 지표면과 계획노선에 대하여 일정한 측정구간

을 지정하여 산출할 수 있었다.

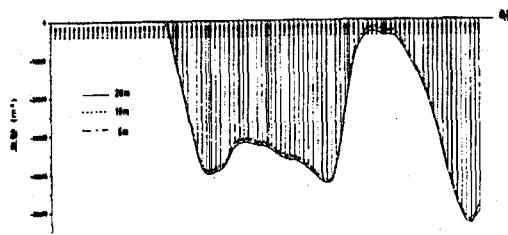
측점간격 20m, 10m 및 5m별로 유토곡선을 도시해 본 결과 그림 3.14와 같이 각 대안 노선의 유토곡선으로부터 토공량 비교가 손쉽게 이루어진다.



(a) 제 1안



(b) 제 2안



(c) 제 3안

그림 3.14 대안노선별 유토곡선

### 3.4 투시도 및 모의관측

#### 3.4.1 투시도

이와 같이 구축된 수치지형자료를 바탕으로 대안노선을 선정하고 지형분석을 통해 신속하게 계획을 수행할 수 있었다. 또한 다양한 각도로 투시도를 작성하

여 공사전의 수치지형모형과 공사후의 변화된 수치지형모형을 비교할 수 있었다.

#### 3.4.2. 최적노선선정

하나의 도면상에서 여러개의 노선을 동시에 비교할 수 있어 최적노선선정이 편리하게 이루어질 수 있었다.

제 2안과 제 3안은 접속도로구간에 대해 각각 23m와 10m 정도의 절토로 산림훼손이 불가피하고 도남리 지역주민에 소음공해의 우려가 있는 반면에, 제 1안은 접속도로구간 산림 8m 정도로 절개하고 지역주민의 피해가 없었다. 또한 사업비는 제 1안이 102억원정도로 보통이고, 제 2안은 121억원, 제 3안은 135억원으로 비경제적이었다.

제 2안은 지역발전 기여도가 양호하였고, 제 3안은 지역주민의 이용을 고려하여 편익이 증대되며 군도와 연계개발로 지역발전의 촉진을 기대할 수 있었다. 이에 대해 제 1안이 지역발전 기여도가 보통이지만, 공사비와 설계비용의 증가, 전후도로 시공노선의 선형을 고려할때 산림박물관과 주차장 및 정문과 연계성이 양호하고 진입도로와 군도 기능을 발휘할 수 있는 제 1안 노선이 타당함을 알 수 있었다.

여기서 무엇보다도 계획된 입안을 입체적인 다양한 분석과 시각적인 표시(display)를 통해 노선을 검토한 결과 정책자와 입안자가 효율적으로 판단을 내리는데 효과적인 기초자료로 제시할 수 있었다.

#### 3.4.3 모의관측

제 1안의 결정으로 별다른 변화가 요구되지 않는 경우 한정된 환경하에 그대로의 사실적 표현을 묘사하는 것이 사실상 중요하였다.

따라서 그림 3.15와 같이 조감도 역할을 대체하기 위한 현실적 특성을 지니는 지형과 설계 후의 교량을 원근배경으로 본 완공 후의 모습을 묘사함으로써 도로와 교량의 적정성 판단여부의 결정적인 자료를 제시할 수 있었다.

이와 같이 지형공간정보체계를 이용하여 수치지형자료를 구축하고 다각적으로 처리, 분석할 수 있었다. 또한 지리적 위치의 대상물과 현상에 대한 정보를 수



집, 저장 및 분석함으로써 지형에 관한 제반분석을 용이하게 관리하고 일반 토목현장에서 쓸 수 있는 기초도면자료로 구성하여 일반적인 파일형식으로 정보를 제공할 수 있었다.



그림 3.15 제 1안 노선의 진입도로와 교량에 대한 모의관측

#### 4. 결 론

도로선형 정책입안의 효율적인 결정을 위해서 수치지형모형을 구축하고 분석함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 구축된 수치지형정보의 입체적 분석기능을 이용함으로써 계획이나 정책결정자가 대상지역의 지형특성을 파악하고대안노선을 선정하는데 효과적이었다.
- (2) 수치지형모형에 기초한 유하선 분석은 유수의 흐름 방향을 예측할 수 있으므로 구조물의 위치 및 크기 등의 설정에 유용한 효과를 얻을 수 있었다.
- (3) 사면의 경사와 방향분석은 선정된 선형에 미치는 지형 및 지세의 특성을 파악할 수 있었으며, 특정 지점으로부터의 가시영역분석은 시계 소통성을 고려한 노선위치를 분석할 수 있었다.
- (4) 수치지형자료의 활용은 보다 복잡해지는 계획화

경하에서 다양하게 분석할 수 있었으며 효율적인 의사결정과정을 지원하는데 기초자료로 제시할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 (주) 경동기술공사의 지원으로 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. P J Densham, "Spatial Decision Support Systems", Geographical Information Systems: Principles and Applications, Vol.1, John Wiley & Sons, Inc., 1991, pp.403-412.
2. 윤희천, "GIS에 의한 토지의 효율적 개발에 관한 연구", 충남대학교, 박사논문, 1996, p.116.
3. 김영균 외 1인, "GIS 데이터베이스 구축" 국토정보, 1995. 6, pp.100~105.
4. 장준목, 윤희천, 이형석, 이성순, "도로설계를 위한 지형정보해석에 있어서 SQL의 응용", 한국지형공간정보학회지, 제3권 제2호, 1995.12, pp.29-42.
5. Hilary M. Hearnshaw and David J. Unwin, "Visualization in Geographical Information Systems", John Wiley & Sons, Inc., 1994, pp.26-33
6. Keith C. Clarke, "Analytical and Computer Cartography", Prentice-Hall, Inc., 1990, pp.111- 114.
7. David J Maguire, Michael F Goodchild and David W Rhind, "Digital Terrain Modelling", Geographical Information Systems: Principles and Applications, Vol.1, John Wiley & Sons, Inc., 1991, pp.269-297.
8. 유근배, "지리정보론", 상조사, 1992, pp.89-121.