

수치지형분석에 의한 도로의 선형결정에 관한 연구

A Study on the Decision of Route Alignment by Digital Terrain Analysis

강준목* 윤희천** ○이형석*** 이성순***

1. 서론

최근에 지형공간정보체계의 기술은 그 효용성이 여러분야에서 입증되면서 이의 응용분야가 점차 확대되어가고 있으며 특히 수작업으로 처리하기 곤란한 지형모형자료의 효과적인 분석으로 대안의 설정 및 평가가 가능하게 되어 의사결정 지원에 그 활용성이 증대되고 있다.

본 연구는 연구대상지역내의 진입 대안노선 및 교량을 계획수립할 때 수치지형모형 분석을 이용하여 현 도로선형계획의 평면적 해석방법에 입체적인 지형분석자료를 부가함으로써 계획입안자와 정책결정자가 대안노선을 효율적으로 결정하는데 보다 나은 시각적인 효과를 제공하고자 한다.

이를 위해 지형, 지세 등과 같은 자연·지리적 특성을 반영하는 모형을 개발하고 공간 및 비공간정보를 동시에 해석하여 응용함으로써 입체적인 노선선정계획을 수행하고자 한다.

2. 대안노선계획 및 내용

본 연구는 중부권에서 유일한 충청남도 산림박물관 진입로 선형 결정에 관한 것으로 대상 지역으로는 시점이 충남 공주시 장기면 금암리(국가지원지방도 제 40호)이고 종점은 충남 공주시 반포면 도남리(산림박물관)로 계획하였다.

2.1 관련계획검토

현지조사에 앞서 기존 지형도(1:5,000)와 지질도를 바탕으로 3개의 비교노선을 선정한 후 도상에비조사를 실시하여 조사계획을 수립하였다. 기상, 기후의 자연적인 요인으로 기존 도로의 재해발생이력을 참고로 절·성토 구배결정 및 사면안정을 검토하며, 지형 및 지세의 경우 절토부의 토사유실, 산사태 발생을 조사하여 소단을 두어 토사유실을 방지하고 집중호우시 우수대책에 안전을 기해야 한다. 또한 기존 도로선형과 설계자료를 조사하여 노선선정시 주요 장애물을 최소화하는 방안으로 검토하게 된다.

2.2 비교노선검토

주변여건과 타도로와의 접속 등을 고려하여 표 1과 같이 3개의 대안노선을 선정하여 그 특성을 비교하였으며 각 대안마다 금강을 횡단하는 교량이 위치하게 된다.

* 충남대학교 공과대학 교수

** 충남대학교 측량 및 지형정보연구실 연구원

*** 충남대학교 대학원 박사과정

〈표 1〉 각 대안별 주요제원 및 특성

구분		제 1 안	제 2 안	제 3 안
개요		산림박물관 주차장과 직접 연결되는 노선	산림박물관 정문과 공주군도 6호선과 접속되는 노선	공주군도 6호선의 계획 노선을 이용하는 노선
주요물량	총연장	730m	1,480m	1,840m
	교량	460m	470m	500m
	접속도로	270m	1,010m	1,340m
평면선형	R≤90	직선	1개소	-
	90<R≤200	직선	-	2개소
	R>200	직선	2개소	2개소
종단선형	4%이하	1개소/500m	2개소/880m	5개소/1,840m
	4<S≤6%	1개소/210m	1개소/300m	-
	6%이상	-	1개소/300m	-
교통 및 기술측면		<ul style="list-style-type: none"> • 산림박물관 진입연계성 양호 • 기존도로와의 접속양호 • 평면 및 종단선형양호 (설계속도 70km/hr 유지) 	<ul style="list-style-type: none"> • 산림박물관 정문진입도로와 연계양호 • 기존도로와의 접속양호 • 평면 및 종단선형불량 (설계속도 50km/hr 유지) 	<ul style="list-style-type: none"> • 공주군도 6호선을 이용한 노선(군도개발과 병행 가능) • 평면 및 종단선형양호 (설계속도 60km/hr 유지) • 주변도로 연계성양호

노선계획 및 선정시 평면 및 종단선형의 조화, 시각적인 연속성, 주변지형과의 연관성을 고려하였다. 또한 각 노선별로 연계된 전체적인 선형을 검토하여 기하구조 분석에 의한 문제점을 파악, 노선의 시각적인 위치분석을 병행하게 되었다. 또한 현재 대부분의 계획과정은 평면도상에서 이루어지고 있으며, 계획수립과정에는 많은 어려움이 있기 때문에 3차원적인 분석과정을 통해 공간상에 존재하는 위상관계를 나타내는 도형정보와 직접 또는 간접적으로 관련되어 있는 속성정보를 처리하였다. 아울러 지형도 및 지리정보 관리에 소요되는 시간을 단축하고 중복관리를 최소화하여 신속한 정보의 이용을 가능케 하는 시스템을 구축하고자 하였다.

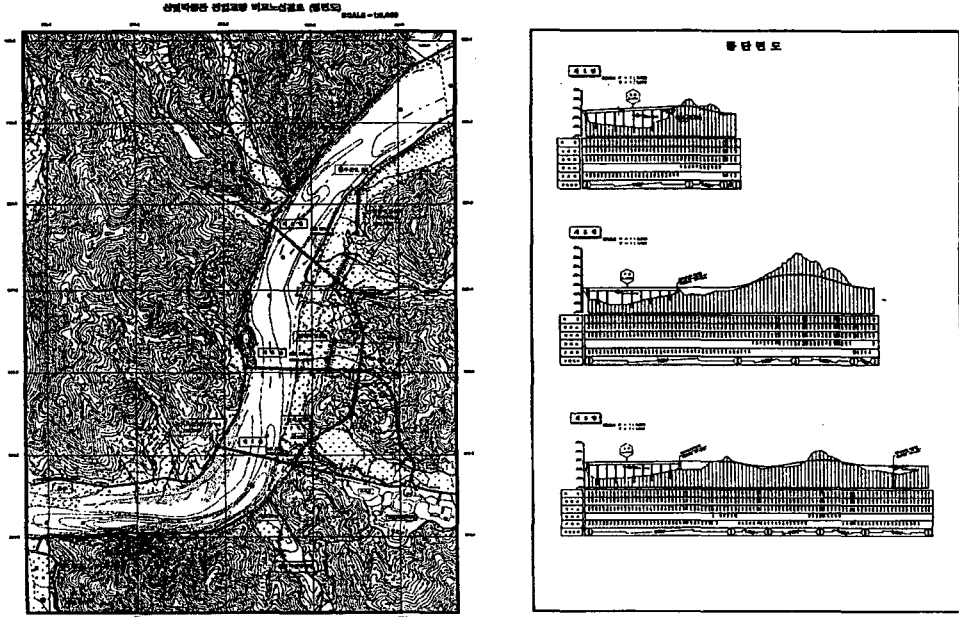
3. 지형모형 구축 및 분석

도로 선형의 기하학적 구조와 지형상황과의 조화여부를 효과적으로 판단하기 위해서는 지형자료와 도로기본계획자료를 취득하여 평면 및 입체적인 다양한 분석을 통한 통찰력을 제공하는 것이 중요하다. 이러한 시스템의 효율적인 구축을 위해서는 도로선형계획에 대한 제반요소를 파악한 후 지형정보와 속성정보를 잘 연계시킨 지형모형분석이 우선시되어야 한다. 따라서 도로선형계획의 최적상태를 이루기 위해서 개선된 상황에 맞는 새로운 대안에 신속한 기초자료를 제공하고자 하였다.

3.1 지형자료기반구축

요즈음 지형공간자료 취득에는 신속한 작업과 경제적인 효과를 위해 소규모 현황측량조차도 스캐닝 방법을 사용하고 있는 추세이다. 본 연구는 대상지역 1.5,000 지형도를 스캐닝하여 벡터라이징하였으며 .dgn, .ttn, .grd files 등의 수치지형자료를 생성하였다.

일반적으로 하나의 기본도로부터 레이어를 작성하게 되며, 서로 다른 특성의 공간자료는 다른 레이어로 분리하여 저장하게 된다. 따라서 논, 밭, 과수원, 산림, 도로, 등고선, 건물 등과 같은 여러 지형 및 지리정보를 각각의 레이어로 구축하여 그림 1과 같이 중첩하여 나타냈으며, 도로설계제반자료를 추출하여 각 대안노선별로 평면선형을 작성하고 그림 2와 같은 종단면도를 나타낼 수 있었다.



〈그림 1〉 수치지형도 구축(1:5,000)

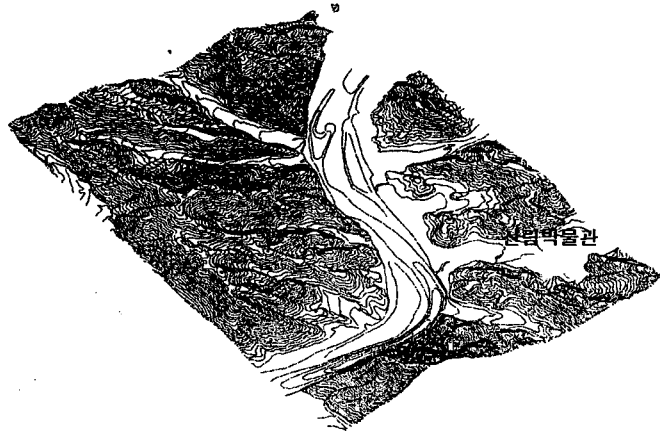
〈그림 2〉 대안별 종단면도

3.2 지형자료분석

상기의 과정을 통해 계획된 대안노선들이 지형 및 지세와의 상관여부를 파악하기 위해서 구축된 수치지형정보를 통해 다양한 분석을 실시하였다. 시각적인 지형정보해석의 가능성을 고찰하고 GIS의 주요기능중의 하나인 중첩을 이용하여 효율적으로 수치지형을 분석하고자 하였다.

(1) 등고선도

본 연구대상지역의 기본도 구축을 위해 벡터라이징을 이용하여 2D 등고선의 위치자료를 만들었고 높이 속성값을 입력하여 3차원 등고선을 생성하였으며, 불규칙삼각망 또는 격자망과 상호관계로서 실행되어진다. 본 등고선 간격은 5m이며, 하상수계의 높이값은 금강수계하천정비계획에 따른 1m 간격의 등고선 데이터를 사용하여 입력하였으며 이 생성된 등고선 자료는 불규칙삼각망도와 함께 도로선형계획을 결정하는데 기본자료로서 사용되었다.



〈그림 3〉 등고선도(iso view)

(2) 불규칙삼각망과 격자표면

등고선을 바탕으로 불규칙삼각망과 격자망을 표현해 보았다. 불규칙 삼각망은 가장 가까운 두 개의 절점을 찾아내어 시작하는 반복 해석으로서, 그림 4(a)와 같이 불규칙 삼각형을 형성하는 세 점간의 지표면이 평면을 이루게 된다. 삼각망구조는 자동 등고선을 생성하거나, hidden-line 처리 및 표면 음영에도 사용하였다. 특히 언덕경사와 지형을 가로질러 삼각형의 가장자리를 따라 흐르는 하천의 흐름 모델링에 유용하였으며 다른 고도에서 점과 선으로부터 보이는 3차원 해석으로 결정하고자 하는 시계분석에 매우 적합하였다.

그리고 복잡한 지표면을 격자모형으로 표현하여 삼각망 모형보다 세부적으로 표현할 수 있었다. 그림 4(b)는 10m×10m의 격자 간격으로 HLR(Hidden Lines Removed)를 이용하여 원근 환경으로 나타낸 것이다. 높이 속성으로 bilinear 방법에 의해 보간하였으며, 격자 일반화 방법은 평면(planar)를 이용하였다.



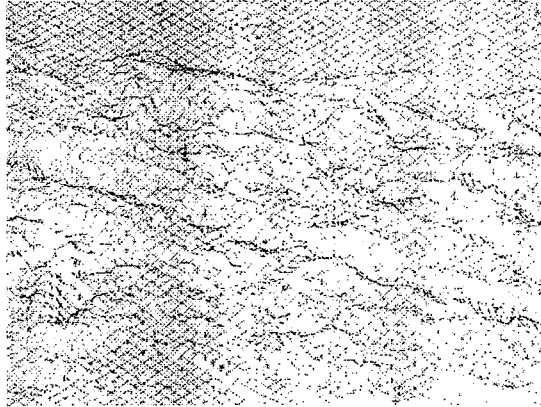
(a) 삼각망도

(b) 격자망도

〈그림 4〉 대상지역의 삼각망도와 격자망도

(3) 사면경사도와 방향도

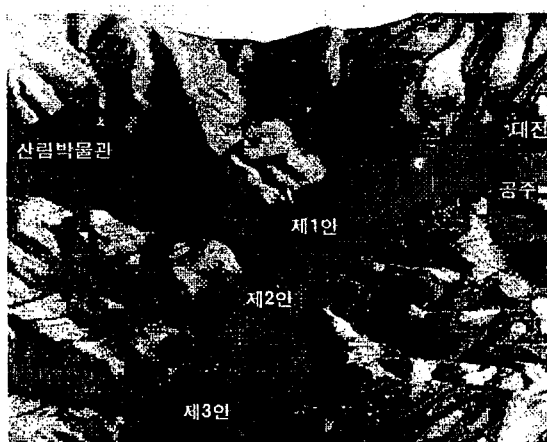
계획된 대안노선 부근의 지형에 대하여 경사정도와 경사벡터를 분석하기 위해 그림 5와 같이 격자망으로 10° ~ 90° 까지 색상별로 경사 정도를 구분하였으며, 지형에 대하여 경사표면이 빠르게 내려가는 사면방향을 8개 방향(북, 동, 남, 서, 북동, 남동, 남서, 북서)으로 나누어 격자망과 조합하여 도시하였다. 여기서 비경사지는 점(Top view)로 나타내어진다. 삼각망모형의 경우도 방향 다각형을 생성하여 경사분포를 나타낼 수 있었다.



〈그림 5〉 연구지역의 경사방향도

(4) 음영기복도

본 연구대상지역의 대안별 선정된 교량의 위치를 보기 위해 그림 6과 같이 태양 각도 35° , 태양 방위각 315° , 태양강도 100을 사용하여 높이 데이터를 명암법으로 나타내었다. 표고 자료를 광원, 음영 및 색상별로 다양하게 처리하여 강과 지형의 차이를 구별하고 지표면 기복에 대한 형태와 방향(trend)를 실재적으로 인식하는데 효과적이었다.

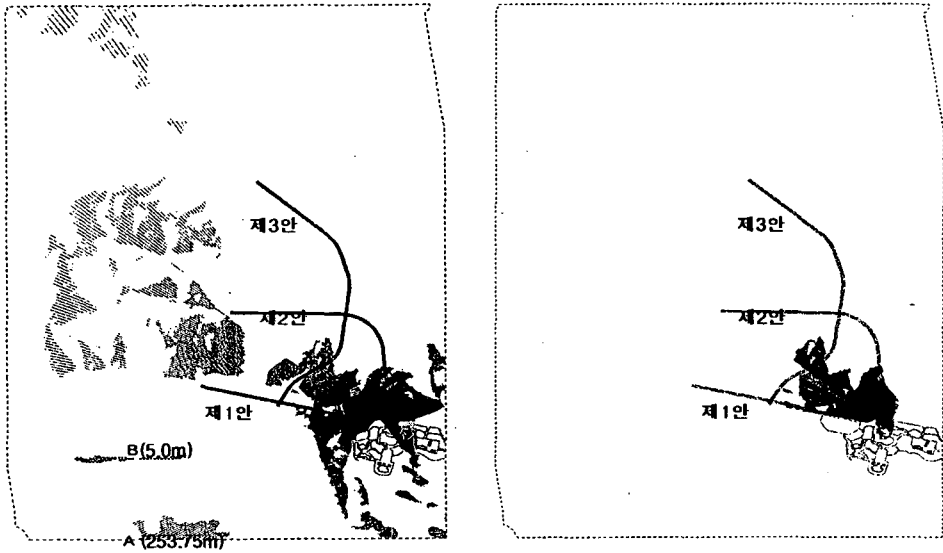


〈그림 6〉 지형의 음영기복도

(5) 시계도

지표면상의 한 점으로부터 가시 영역과 보이지 않는 영역들을 구성하였다. 그림 7(a)와

같이 산림박물관의 정문에서 높이 1.70m의 가시점(view point)로부터 전체 지형에 대해 시통되는 곳을 선들로 나타내었으며, 점 A는 대상지역의 최고점을, B 지역은 최저점들의 분포를 나타낸다. 그림 7(b)는 산림박물관 정문에서 각 대안노선을 보았을 때 보이는 부분들을 조합한 것이다. 또한 넓은 대상지역의 경우 지구의 곡률 및 굴절 영향을 고려하여 분석할 수도 있으며 도로나 강줄기와 같은 선형 feature로부터 관측되거나 보이는 범위를 구성할 수 있었다.

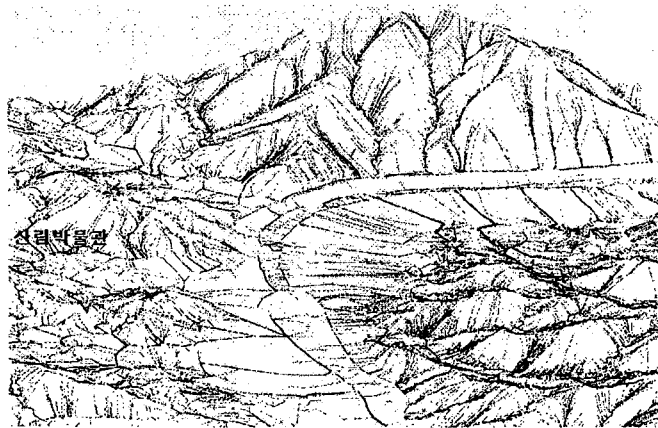


(a) 전 지형에 대한 한 지점의 시계분포 (b) 임의 지점에서 각 노선을 본 시계분포

<그림 7> 산림박물관 정문의 가시영역 분석

(6) 유하선도

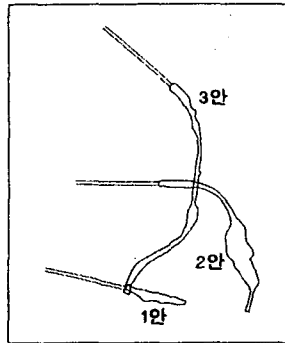
산사태에 영향을 주는 요인 중 강우에 의한 영향이 크다. 등고선이 낮은 쪽을 향하여 표류수의 유선이 발산되는데 지형의 형태에 따라 유하선은 다양한 방향과 크기로 나타난다.



<그림 8> 유하선도

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

(7) 대안노선별 표면적과 체적 계산



<그림 9> 대안별 절·성토 면적

격자 또는 삼각망 모형에 대해 전체 또는 부분적인 표면적을 계산할 수가 있었는데 각각의 노선에 대하여 교량구간을 제외한 범위를 정의하여 각 대안별로 포함된 절·성토 면적을 구하였다. 따라서 불규칙삼각망을 평면에 투영한 면적을 합한 결과 제 1안은 12,844(m^2), 제 2안은 53,961(m^2), 제 3안은 18,739(m^2)를 구할 수 있었다

정의된 각각의 선형에 따라 횡단면도를 작성한 후 측점 간격을 20m, 10m, 5m로 나누어서 삼각망 구조를 기초로 한 절·성토량을 양단면 평균법을 이용하여 표 2와 같이 계산할 수 있었다. 제 1안의 토공량이 비교적 적게 나타났음을 알 수 있었으며 측점간격별 토공량 분포를 파악할 수 있었다.

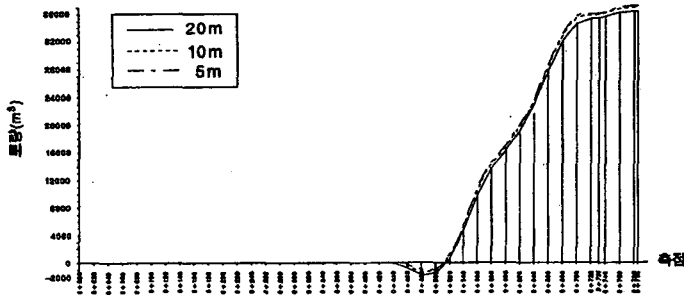
<표 2> 각 선형별 절토·성토량 산정 (측점간격 20m, 10m 및 5m)

구 분	측점간격	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

(8) 유토곡선의 비교

상기와 같이 각 대안별로 체적을 구한 다음 노선간격 20m, 10m, 5m 별로 유토곡선을 산정해 보았다. 수치지형정보로 구축된 지표면과 계획노선에 대하여 임의의 측점간격으로 조정할

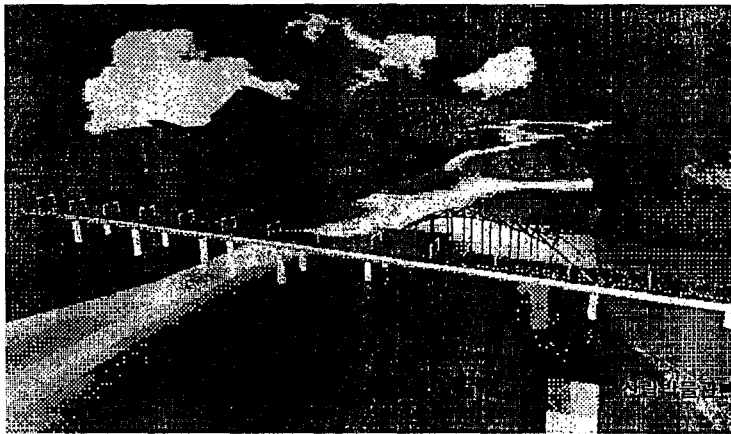
수 있으며, 그림 10과 같이 제 1안 노선의 유토곡선을 비교 도시하였다.



〈그림 10〉 제 1안 노선의 유토곡선(20m, 10m, 5m 측점간격)

이와 같이 구축된 수치지형정보를 바탕으로 대안노선을 선정하고 지형분석을 통해 신속하게 계획을 수행할 수 있었다. 시각적이고 입체적인 다양한 분석을 한 결과 제 2, 3안은 군도와 연계개발로 지역발전 촉진을 기대할 수 있으나 공사비와 설계비용의 증가로 산림박물관과 주차장 및 정문과 연계성이 양호하여 진입도로와 군도 기능을 발휘할 수 있는 제 1안 노선이 최적노선임을 알 수 있었다.

제 1안의 결정으로 별다른 변화가 요구되지 않는 경우 한정된 환경하에 그대로의 사실적 표현을 묘사하는 것이 사실상 중요하였다. 따라서 그림 11과 같이 조감도 역할을 대체하기 위해 현실적 특성을 지니는 지형과 설계 후의 교량을 원근배경으로 보았을 때 완공 후의 모습을 묘사함으로써 도로의 적정성 판단여부에 결정적인 자료를 제시할 수 있었다.



〈그림 11〉 제 1안의 진입도로와 교량에 대한 시뮬레이션

이와 같이 지형공간정보체계를 통하여 수치지형자료를 다각적으로 분석할 수 있었다. 또한 지리적 위치의 대상물과 현상에 대한 정보를 수집, 저장 및 분석함으로써 지형에 관한 재반분석을 용이하게 관리하고 일반 토목현장에서 쓸 수 있는 기초도면자료로 구성하여 다양한 화일 형식으로 정보를 제공할 수 있을 것이다.

4. 결 론

도로선형 정책입안의 효율적인 결정을 위해 수치지형모형 구축 및 분석과정을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 지형공간정보체계를 이용하여 구축된 지형공간정보의 입체적 분석기능은 계획가나 정책결정자가 대상지역의 지리적 특성과 대안노선 선정을 파악하는데 효과적이었다.

(2) 수치지형모형에 기초한 유하선 분석은 유수의 흐름 방향을 예측할 수 있으므로 구조물의 위치 및 크기 등의 설정에 유용한 효과를 얻을 수 있었다.

(3) 수치지형모형을 이용한 사면의 경사와 방향분석은 선정된 선형에 미치는 지형 및 지세의 특성을 파악할 수 있었으며, 특정 지점으로부터의 가시영역분석은 시계 소통성을 고려한 노선위치를 분석할 수 있었다.

(4) GIS의 활용은 보다 복잡해지는 계획환경하에서 합리적이고 효율적인 의사결정과정을 지원하는데 다양한 기초자료를 제시할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 (주)경동기술공사의 지원으로 수행되었기에 깊이 감사드립니다.

참고문헌

- (1) M. Molenaar, "What is it all about?" Geodetical Info Magazine, June 1989, pp.14~15
- (2) Hilary M. Hearnshaw and David J. Unwin, "Visualization in Geographical Information Systems", 1994
- (3) J. Ronald Eyton, "Rate-of-Change Maps", Cartography and Geographic Information systems, Vol.18, 1991, pp.87-103
- (4) Thomas M. Lillesand and Ralph W. Kieferd, "Remote Sensing and Image Interpretation", 3rd, 1994, pp.38~45
- (5) Stan Aronoff, "Geographic Information Systems : A Management Perspective", 1993
- (6) Keith C. Clarke, "Analytical and Computer Cartography", 1990
- (7) GC. Dana Tomlin, "Geographic Information Systems and Cartographic Modeling", 1990
- (8) Jeffrey Star and John Estes, "Geographic Information Systems : An Introduction", 1990
- (9) 윤희천, "GIS에 의한 토지의 효율적 개발에 관한 연구", 충남대학교, 박사논문, 1996
- (10) 김영균외 1인, "GIS 데이터베이스 구축" 국토정보 1995. 6, pp.100~105
- (11) 유복모, "지형공간정보론", 1996