한국측지학회지, 제 11 권, 제 2 호, pp.89~100(1993년 12월 30일)

道路線形의 決定에서 土工量 算定에 關한 硏究
A Study on the Earth-work Volume Calculation for Route Alignment of Highway

최재화* · 이석배** · 심정민***
Choi Jae-Hwa · Lee Suk-Bae · Sim Jung-Min

要 旨

본 연구는 CAD와 LISP(LIST Processing)을 이용한 道路路線 결정에 있어서의 토공량 산정에 관한 연구이다. 컴퓨터의 비약적인 발전과 산업분야에서의 이용증대는 CAD/CAM/CAE 기술의 발전으로 이어져 자동설계 및 자동제작을 가능케 하고 있으며 또한 토목설계의 자동화도 꾸준히 추진되어 오고 있는 실정이다. 이러한 자동화 작업의 일환으로 본 연구에서는 도로노선 결정시 각 노선의 토공량 산정을 자동화하여 토목설계업무의 효율성을 높이고자 하였다. 연구의 방법으로 지형도에 DTM(Digital Terrain Model) 개념을 도입하여 지형정보를 자동독취할 수 있도록 프로그램화 한 후 이 데이타를 가지고 LISP 언어를 이용하여 체계적인 알고리즘을 만든 후 CAD 시스템과 접목시켜 종·횡단 면적과 토공량을 산정해서 유토곡선을 출력하는 자동설계 시스템을 시험적으로 구축하는 데 그 목적을 두고 있다.

ABSTRACT

This paper is a study on the earth volume calculation using CAD and LISP(LIST Processing) in the route alignment. The utility enlargement in the industry field and the considerable progress of computer make the automatic design and manufacture for the development of CAD/CAM/CAE technique possible, and the automatic design of civil engineering works is continuously progressive. In this study we are intend to improve an effect of civil engineering work by the automatic earth volume calculation in route alignment. This paper aims to construct the automatic design system of civil engineering work and the procedures; (1) The programming of the self-scanning program of the land information introducing Digital Terrain Model concept in the map (2) Systematic algorithm construction using LISP and grafting CAD system (3) Automatic design and calculation of the mass curve and earth volume.

1. 序 論

컴퓨터의 비약적인 발전은 사회 전반의 정보화를 획기적으로 進展시켜 왔으며 특히 사무자동화(OA), 경영자동화(MA) 및 공장자동화(FA)를 이룩할 수 있었다. 뿐만 아니라 토목공사에서도 전문성이 요구되어지면서 電算化가 필수적인 요소로 자리잡게 되었고 토목, 건축에서의 컴퓨터 자동설계 시스템은 더 더욱 그 중요성이 인식되어 사용이 점차적으로 급증하게 되었다. 우리나라에서의 CAD 이용은 선진국에 비해 漸進的 단계에 있으며 더우기 기계, 건축, 전기분야에 비해서 토목분야에서의 CAD 이용은 매우 미약하게 이루어지고 있는 실정이다. 도로의 기본·실시 설계에서 예비노선의 수가 많고, 그 노선의 수정이 있을 경우 지금까지는 각 노선에 대한 縱斷面圖와 橫斷面圖를 만들어 토공량을 산출해 내는 방법을 각 단면의 정보를 컴퓨터를 이용해서 계산하고 그 결과치로 종·횡단면도 및 유토곡선을 수작업으로 처리하고 있기 때문에 많은 시간과 인력의 낭비를 초래하고 있다. 그리고 국내에서 시판되어지고 있는 도로설계용 소프트웨어는 대부분이 외국인에 의해서 개발되어져

*성균관 대학교 토목공학과 교수
**전주 공업전문대학 토목과 전임강사
***성균관 대학교 대학원 석사과정

있기 때문에 매우 高價이고, 우리나라의 도로건설 시행청의 樣式에 적합하지 않기 때문에 양식조정에도 많은 시간과 경비가 소요된다. 또한 한글 지원이 되지 않아 실무자들이 이해하기가 힘들고, 原始프로그램이 공개되어 있지 않기 때문에 사용자가 실무에 적합한 프로그램으로의 수정이 불가능하다. 매우 희박하지만 국내에서 개발된 소프트웨어는 實施設計用으로만 사용을 하고 있기 때문에 基本設計用으로는 적합하지가 않다.

따라서 본 연구에서는 기본설계 뿐만 아니라 실시설계에서도 사용할 수 있도록 하기 위해서 DTM(Digital Terrain Model) 개념을 도입해서 地形情報를 自動讀取할 수 있도록 프로그램화 하였다. 그러한 데이타를 가지고 LISP(LIST Processing)을 이용해서 체계적인 알고리즘(Algorithm)을 만들어 CAD 시스템에 적용해서 종·횡단면도와 토공량을 산정해서 유토곡선을 출력하는 데에 보다 더 효율적으로 사용할 수 있도록 시스템을 구축하는 데에 그 목적을 두고 있다.

2. 이론적 배경

2.1 수치지형모형과 보간법

수치지형모형(DTM)은 크게 두가지 기본 과정으로 나누어진다. 첫째가 지형상에서 기준점의 地形情報(XYZ 좌표 데이타)의 抽出이며, 둘째가 이 추출된 자료를 기본으로 하여 지형점의 표고를 계산하기 위하여 지형을 幾何學的으로 再現할 수 있는 보간 작업이다. 지형점의 보간에는 획득한 자료의 형태에 따라서 여러가지 방법이 사용될 수 있으며 수치지형모델의 기본 지형정보를 정방 格子形으로 획득하여 지형을 수학적 曲面式에 적합시키는 경우에는 그 지역에 타당한 曲面式으로부터 표고를 알고자 하는 임의의 점의 높이를 구할 수 있다. 지형을 평면좌표에 대한 函數式으로 표현하는 것은 지형이 넓을 수록 정확도상의 문제가 있기 때문에 격자 구간의 소구역을 간단한 曲面式으로 표현하고 전체를 하나의 曲面群으로 표현하는 것이 바람직하다. 지형의 連續函數 表面모델을 얻기 위해서는 한 구역의 지역적으로 妥當한 多項式으로 표현할 수 있다.

$$Z=\sum_{ij} A_{ij}X^iY^i \qquad (2\text{-}1)$$

평탄한 지형에서는 空間 안에서 하나의 평면으로 볼 수 있기 때문에 평면에 대한 方程式을 적용할 수 있다. 그러나 緩曲地形 및 不規則地形은 지형정보가 매우 조밀할 경우는 평면의 방정식을 이용할 수 있으나 이것은 데이타의 양이 많아지고 컴퓨터의 處理速度가 느려지기 때문에 평면식보다는 3차, 5차 곡면식이 그 지형에 비슷하게 잘 부합된다. 평면 및 3차, 5차 곡면식은 다음과 같이 표시된다.

* 평탄지형의 평면에 대한 방정식

$$Z=A_0+A_1X+A_2Y \qquad (2\text{-}2)$$

* 완곡한 지형의 3차 곡면식

$$\begin{aligned}Z=&A_1X^3Y^3+A_2X^2Y^3+A_3XY^3+A_4Y^3\\&+A_5X^3Y^2+A_6X^2Y^2+A_7XY^2+A_8Y^2\\&+A_9X^3Y+A_{10}X^2Y+A_{11}XY+A_{12}Y\\&+A_{13}X^3+A_{14}X^2+A_{15}X+A_{16}\end{aligned} \qquad (2\text{-}3)$$

* 불규칙 지형의 5차 곡면식

$$\begin{aligned}Z=&A_1XY^5+A_2XY^3+A_3XY^2+A_4X^2Y^3\\&+A_5X^2Y^2+A_6Y^5+A_7Y^4+A_8Y^3\\&+A_9Y^2+A_{10}Y+A_{11}X^5+A_{12}X^4\\&+A_{13}X^3+A_{14}X^2+A_{15}X+A_{16}\end{aligned} \qquad (2\text{-}4)$$

위의 식들을 만족시키기 위해서는 (2-2) 식은 하나의 평면을 구성하기 위해서 최소한 3개의 기본점이 요구되어지고, (2-3) 식 및 (2-4) 식은 격자점의 표고 4개, X방향 경사 4개, Y방향 경사 4개 및 지점의 X와 Y방향에 대한 歪曲 2개로 16개의 變數를 사용해서 다항식의 계수 A^i를 구함으로써 임의점의 표고를 계산할 수 있다.

본 연구에 사용된 기본 지형정보 자료는 1/25,000 지형도를 ANA-tech An Intergraph Eagile 4080 스캐너로 스캐닝을 한 후, 이 래스터(Raster) 데이타를 벡터라이징(Vectorizing)을 하고 나서 이 벡터라이징한 등고선도를 이용하여 20 m×20 m의 정방 격자망의 기준 XYZ 평면좌표 데이타를 추출하였다. 격자망의 데이타를 가지고 윗 식들을 적용해서 도로의 線形設計 및 縱·橫斷設計에 필요로 하는 임의점의 표고를 계산하였다.

2.2 평면선형

일반적으로 도로선형의 설계에서는 자동차의 안전

표 2-1. 최소 원곡선 변경

설계 속도 (Km/h)	120	100	80	70	60	50	40	30	20
최소 원곡선 변경 (m)	710	460	280	200	140	90	60	30	15

표 2-2. 곡선의 최소길이(완화 곡선 포함) **(단위 m)**

설계 속도 (Km/h)	120	100	80	70	60	50
도로교각이 5도 미만	700/θ	550/θ	400/θ	400/θ	350/θ	300/θ
도로교각이 5도 이상	140	110	90	80	70	60

주행 및 주행의 쾌적성에 대해서 고려해야 한다. 이러한 점에서 도로의 평면선형은 자동차의 走行軌跡에 따르도록 직선, 원곡선, 완화곡선(주로 클로소이드)으로 구성되며, 설계요소로는 직선, 원곡선, 완화곡선, 곡선부의 편구배 등이 있다. 곡선부를 주행하는 자동차에 가해지는 원심력 등의 횡방향력과 타이어와 노면간의 마찰력이 相殺된 힘이 일정한 한도를 초과하지 않도록 하고, 쾌적한 주행이 될 수 있도록 곡선부의 중심선에 대한 원곡선 반경은 표 2-1과 같이 최소원곡선 반경 이상으로 해야 한다.(도로구조시설기준령-1990. 5. 4. 개정)

자동차가 도로의 곡선부를 주행하는 경우에는, 곡선부의 길이가 짧으면 급핸들 조작을 하여야 하므로 주행 쾌적도가 나빠지고, 고속인 경우에는 사고의 위험이 있다. 도로교각이 매우 작은 경우, 운전자에게는 원곡선의 길이가 실제보다 짧게 보이고, 도로가 절곡되어 있는 것처럼 보이므로 속도의 低下를 초래하기 때문에 곡선부의 중심선의 길이를 위 표 2-2 이상으로 설치해야 한다. 여기서 중심선의 길이는 곡선부에 완화곡선이 포함되어 있을 때는 완화곡선의 길이를 합한 길이를 말한다.

자동차가 주행중 직선부에서 곡선부, 곡선부에서 직선부 또는 다른 곡선부로 원활하게 주행할 수 있도록 緩和曲線을 설치할 필요가 있다. 緩和區間이란 兩端傾斜 接續設置 구간, 廣幅을 위한 接續設置 구간, 직선과 圓曲線 사이 또는 대원과 소원 사이에 曲率이 점차 변화하는 구간을 뜻한다. 특히, 직선과 원곡선 사이 또는 대원과 소원 사이의 완화구간에는 완화곡선을 설치하며, 완화곡선으로는 주로 클로소이드 곡선을 사용한다.

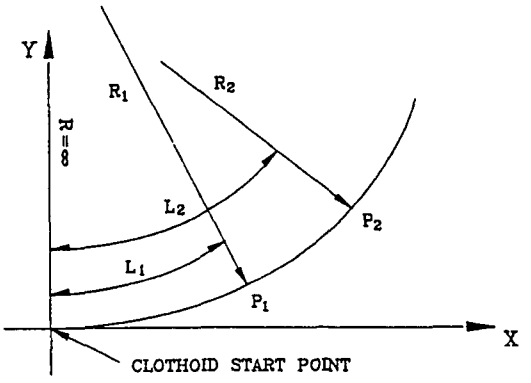

그림 2-1. 클로소이드 곡선

완화곡선의 종류에는 3次 포물선(cubic parabola), 렘니스케이트(lemniscate), 클로소이드(clothoid) 등이 있다. 그 중에서도 클로소이드 곡선이 여러가지 점에서 우수한 성질을 가지고 있어서 대표적인 완화곡선으로 쓰이고 있다. 클로소이드 곡선이란 자동차가 等速으로 주행하면서 핸들을 등속으로 회전하는 경우의 走行軌道에 해당한다. 따라서 크로소이드 곡선의 반경은 무한대로부터 연속적으로 변화하여 서서히 작아지고 크로소이드 時點에서의 곡선길이 L과 그 시점에서의 반경 R과는 반비례한다. 즉,

$$L \times R = C \text{ (일정)} \tag{2-5}$$

그림 2-1에서 클로소이드의 곡선상의 임의 점 P_1, P_2에 대한 곡선반경을 R_1, R_2 또 클로소이드 시점에서의 곡선길이를 L_1, L_2라 하면

$$L_1 \times R_1 = L_2 \times R_2 = C = A^2 \tag{2-6}$$

이것이 클로소이드의 基本式이다. 여기서 "A"를

표 2-3. 완화곡선, 완화구간의 최소 길이 및 한계 원곡선 반경

설계 속도 (Km/h)	120	100	80	70	60	50	40	30	20
최소길이 (m)	70	60	50	40	35	30	25	20	15
한계 원곡선 반경 (m)	3000	2000	1500	1000	800	500	300	180	80
구 분	완 화 곡 선			완 화 구 간					

표 2-4. 최대 종단경사와 종단경사의 제한길이

설계속도 (Km/h)	표준경사 (%)	부득이한 경우(%)	종단경사 (%)	제한길이 (m)
120	3	—	3	530
100	3	5	4	350
			5	220
80	4	6	5	220
			6	240
70	4	6	5	370
			6	290
60	5	7	6	390
			7	560
50	6	9	7	310
			8	280
			9	250
40	7	10	8	430
			9	300
			10	270

클로소이드의 파라미터(parameter)라 하면 길이의 次元을 갖는 원의 반경으로 상상될 수 있다. 다시 말해서 설계속도가 큰 도로 평면선형에는 커다란 파라미터를 사용하여야 한다. 직선에서 원곡선으로 線形變化가 점차적으로 원활하게 하기 위해서 파라미터 A와 원곡선 반경과의 사이에는 다음과 같은 관계가 성립하도록 해야 한다.

$$R \geq A \geq \frac{R}{2} \qquad (2\text{-}7)$$

R이 클 경우는

$$R \geq A \geq \frac{R}{3} \qquad (2\text{-}8)$$

평면선형의 곡선의 형태가 클로소이드:원곡선:클로소이드 형태인 경우를 취할 때는 완화곡선장:원호장:완화곡선장의 비는 1:2:1 정도로 선택하는 것이 좋다. 클로소이드를 실제로 사용하기 위해서는 단위 클로소이드 표가 있어서 편리하지만 컴퓨터 처리를 용이하게 하고 정확한 좌표계산을 하기 위해서는 Fresneld의 적분이라는 것으로 級數展開에 의해서 클로소이드 기본식을 구할 수 있다.

핸들조작에 곤란을 느끼지 않고 주행할 수 있는 곡선부의 주행시간을 도로의 구조·시설 기준에 관한 규정에서는 4秒로 設定하고 있다. 이 규정값을 이용하여 최소 완화곡선의 길이를 계산하면 표 2-3과 같다. 자동차 전용도로의 전 구간 및 일반도로의 설계속도가 80 km/h 이상인 도로의 곡선부에는 완화곡선을 설치해야 하는데 원곡선 반경이 설계속도에 따라 표 2-3의 값 이상이면 완화곡선을 생략할 수 있다.

2.3 종단선형

縱斷線形의 설계에 쓰이는 선형요소에는 직선과 곡선이 있으며 설계요소로는 縱斷傾斜(slope), 縱斷曲線이 있다. 종단경사의 결정은 도로의 건설비와 완성된 도로의 경제성에 크게 영향을 주기 때문에 표준 최대 종단경사는 승용차가 오르막 구간을 평균 주행속도로 주행할 수 있고, 표준트럭인 세미트레일러(semi-trailer)가 설계속도의 반 정도의 속도로 주행할 수 있도록 정해져 있다. 부득이한 경우의 종단경사 최대치는 표준경사의 2.0~3.0%를 더한 값이다. 이때는 종단경사의 제한길이의 규정에 따라야 한다. 최대 종단경사와 종단경사의 제한길이는 다음 표 2-4와 같다.

車道의 종단경사가 변화하는 경우에는 종단선형을 곡선으로 설치해야 한다. 이 곡선을 종단곡선이라

표 2-5. 최소 종단곡선 변화 비율과 종단곡선의 최소 길이

설계 속도 (Km/h)	120	100	80	70	60	50	40	30	20
볼록곡선 (m/%)	190	100	50	30	20	10	5	3	1
오목곡선 (m/%)	70	50	35	25	20	12	7	4	2
종단곡선 최소 길이 (m)	100	85	70	60	50	40	35	25	20

하는데, 도로에서의 종단곡선의 형태는 일반적으로 이차 拋物線을 사용하게 된다. 이차 포물선의 종단곡선의 변화비율은 두 종단경사의 대수차가 1% 변화하는데 확보하여야 하는 수평거리로서 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$K=\frac{L}{I} \qquad (2\text{-}9)$$

여기서, K: 종단곡선의 변화비율

L: 종단곡선의 길이(Chain distance)

I: 종단경사의 대수차($|i_2-i_1|$)

경사가 변화하는 구간을 주행하는 차량 運動量의 변화에 따른 충격완화와 충분한 視距를 확보하기 위해서 종단곡선 變化比率을 표 2-5의 값 이상을 적용해야 한다. 이때 종단경사의 差가 작은 경우에는 최소 종단곡선 변화비율을 적용하여 종단곡선 길이를 구해보면 매우 짧다. 종단곡선 길이가 짧은 경우, 운전자의 시야에 들어오는 도로선형이 원활하지 않으므로, 설계속도로 3秒간 주행하는 거리를 최소 종단곡선 길이로 한다. 최소 종단곡선 변화비율과 종단곡선의 최소 길이는 다음 표와 같다.

종단곡선은 지극히 편평하므로 그 길이는 수평거리와 같다고 보아도 지장이 없다. 즉 그림 2-2와 같이 i_1, i_2의 경사 變異點에서 종단곡선의 시종점을 BC 및 EC라고 할 때, 종단곡선 길이는 BC, EC간의 수평거리와 같다고 본다. 이 경우, I.P점부터의 종단곡선까지의 距離는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E=\frac{|i_2-i_1|L}{800} \qquad (2\text{-}10)$$

여기서, L: 종단곡선 길이,

$|i_2-i_1|$: 종단경사의 대수차

따라서 임의 점 P에서의 종거 y는 다음과 같이 계산된다.

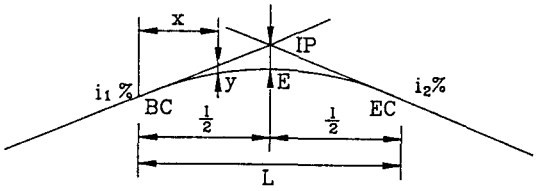

그림 2-2. 종단 곡선

$$y=\frac{E}{(L/2)^2}x^2=\frac{|i2-i_2|}{200L}x^2 \qquad (2\text{-}11)$$

x: BC에서 Y까지의 수평거리(m)

y: BC에서 X의 거리에 있는 점에서 곡선까지의 종거(m)

i_1: BC에서의 종단경사(%)

i_2: EC에서의 종단경사(%)

L: 종단곡선의 길이(m)

실제로 종단곡선을 설치하기 위해서는 任意의 地點의 표고를 구하는 식이 있어야 한다. 그림 2-2에서의 종단곡선의 시작점인 BC점의 표고를 GH1, 임의의 지점의 표고를 GH라고 하면

$$GH=GH1+\frac{i_1x}{100}+\frac{(i_2-i_1)x^2}{200L} \qquad (2\text{-}12)$$

간단히 하면

$$GH=GH1+\frac{i_1x}{100}\pm y \qquad (2\text{-}13)$$

단) 볼록 종단곡선일 경우는 $-y$, 오목 종단곡선의 경우는 $+y$

2.4 횡단면적과 토공량 산정 방법

횡단면적을 계산하기 위해서는 성토부분과 절토부분의 컴퓨터 처리방법이 달라진다. 盛土부분은 단지 면적만 계산하면 되지만, 切土부분은 토사, 리핑암(Ri-

pping Rock) 및 발파암(Blasting Rock)으로 구분해서 면적을 계산해야 하기 때문이다. 횡단면적 계산방법은 먼저 그림 2-3에서 보는 바와 같이 수치지형과 설계 단면이 만나는 점(1, 2, 3, ···. n−1, n)들의 좌표(x, h)를 각각 구한 후 좌표에 의한 단면적 계산방법(Coordinate method)을 적용, 계산하였다.

$$\text{Area}=\frac{1}{2}[h_1(x_2-x_n)+h_2(x_3-x_1)+\cdots$$
$$+h_{n-1}(x_n-x_{n-2})+h_n(x_1-x_{n-1})] \qquad (2\text{-}14)$$

본 연구에서 선정한 高速道路 4차선 新設 경우의 標準 橫斷面圖는 그림 2-4와 같다. 斜面 傾斜의 제원값으로는 한국 道路公社 설계기준값인 발파암의 경우에는 1:0.5, 리핑암인 경우는 1:0.7, 절토면의 토사인 경우는 1:1.5, 성토면의 토사인 경우는 1:1.5, 1:1.8을 각각 적용해서 계산하였다. 여기서 사면 경사의 a:b란 높이 a m에 대한 수평거리 b m를 의미한다.

토공량의 계산에서도 성토일 경우는 성토량, 절토일 경우에는 발파암량, 리핑암량 및 토사량으로 구분되어져야 한다. 그 이유는 각각의 量에 의해 시공성, 경제성에 매우 밀접한 관계가 있기 때문이다. 토공량 계산방법은 주로 각주공식(Prismoidal formula)이나 양단평균법(Average end area formula)을 사용하는데, 각주공식보다는 약간 큰 값을 갖는 경향은 있으나 兩端平均法이 실제 토공량 算定에 널리 사용되고 있다.

$$\text{Volume}=\frac{L}{2}(A_1+A_2) \qquad (2\text{-}15)$$

여기서 L: 종단점의 간격(20.00 m, chain distance)
A_1, A_2: 1과 2 단면의 횡단면적(성토, 절토)

2.5 유토곡선의 작성방법

유토곡선을 作成하는 이유는 토량을 配分, 평균 운반거리 算出, 운반거리에 의한 토공기계를 選定하기 위함이다. 흙은 취급하는 상태에 따라 밀도와 부피가 변함으로 토공 작업에서 부피의 변화는 공사비 산정의 중요한 변수가 된다. 토량의 변화는 굴착할 토량, 운반할 토량, 다짐 후 토량의 세가지 형태로 구분된다. 토량변화는 위 3 상태의 체적비를 본 바닥 토량을 기준으로 하여 L과 C로 표시하며, 이것을 토량 變化率이라고 한다.

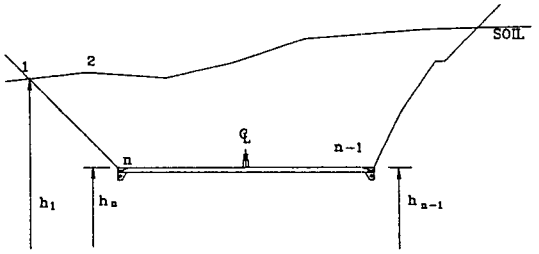

그림 2-3. 좌표 계산법에 의한 횡단면적 계산

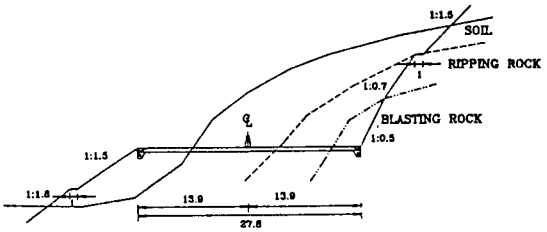

그림 2-4. 고속도로 4차선 신설의 표준 횡단면도

$$C=\frac{\text{다져진후토량}}{\text{원지반토량}} \qquad L=\frac{\text{느슨한토량}}{\text{원지반토량}} \qquad (2\text{-}16)$$

이 토량 변화율은 현장에서의 들밀도 시험과 다짐 시험 결과로부터 구하며, 흙에 따른 槪略的인 토량 변화율은 土沙인 경우에는 L값은 1.05부터 1.30 정도이고 C값은 0.85부터 1.0 정도이다. 리핑암의 경우에는 L값은 1.15부터 1.60 정도이고 C값은 0.95부터 1.25 정도이다. 발파암의 경우에는 L값은 1.40부터 1.75 정도이고 C값은 1.15부터 1.45 정도이다. 본 연구에서는 절토량을 성토량으로 환산하기 위해서 절토량에 C값을 곱한 성토정토량을 사용하였다. 이때 사용한 C값은 實務에서 주로 사용하는 토사일 경우에는 0.95, 리핑암의 경우는 1.15, 발파암의 경우에는 1.30을 채택해서 유토곡선을 작성하였다.

간단히 유토곡선에 대하여 살펴보면 유토곡선의 上昇부분은 절취를, 下降부분은 성토를 나타낸다. 유토곡선의 極大값은 절토에서 성토로 옮기는 지점이고 極小값은 성토에서 절토로 옮기는 지점이며, 기선 위에서 끝나면 過剩, 반대이면 不足하게 된다.

3. CAD를 이용한 도로설계 시스템

3.1 연구 對象地域 및 基本條件

본 연구에서는 정방격자망 데이타(x, y, z 측지 좌

그림 3-1. 연구대상 지역의 지형도(1/25,000)

표값)를 가지고 Fortran과 AutoLISP을 이용해서 3차원 그물망을 構成하고, Digitizing을 하거나 좌표를 入力함으로써 평면선형의 I.P점과 計劃高는 설계자가 임의로 결정해야 한다는 가정하에서 展開되어지고 있다. 示範 실시구간은 전남 영광에서 전북 고창구간중 대략 5.5 Km의 假象工事區間을 1개의 예비노선에 대한 3개의 계획고(Formation level)를 선정하여 片道 2차선 고속도로로써 설계속도는 100 Km/hr를 기본값으로 選定하였다. 이에 따르는 모든 諸般 條件은 도로구조 시설 기준령의 규정값과 現 고속도로 공사 시행처인 한국도로공사의 規定값들을 적용하였다. 컴퓨터의 하드웨어의 필요장비는 Main Memory 640 Kb 이상의 AT급 컴퓨터, 높은 해상도의 그래픽 표시장치, 수치계산 보조 프로세서(11 Version 이상), 좌표입력장치(마우스, 디지타이징, 타블렛), 플로터나 프린터같은 출력장치가 필요하다.

3.2 도로설계 電算體系

도로 자동화설계에 있어서 첫번째 段階는 일정 데이타 간격의 지형정보 자료를 自動 혹은 手動으로 獨取하여, 이 데이타로 지형표면을 근사적인 數學曲面式에 의해서 幾何學的으로 재현해서 補間하는 것이다. 두번째 단계로 도로설계에 필요한 기본설계 자료 및 종·횡단면도, 유토곡선을 출력하는 것이다.

본 연구에 있어서 자동화설계 프로그램은 크게 보간, 3차원 透視 및 모델링, 평면선형, 종단선형, 횡단설계, 유토곡선 작성 및 토공량 계산에 대한 6단계로 구성되어져 있다. 이것을 각 단계별로 살펴보면 다음과 같다.

1단계: 보간(Interpolation)

보간에 대한 프로그램은 Fortran (grid.for)과 LISP (gerug.lsp)으로 두가지 컴퓨터 언어로 프로그래밍하였다. 그 이유는 컴퓨터의 처리속도의 향상을 위해서 CAD 환경이 필요한 경우, 필요하지 않은 경우를 區別해서 처리를 해야 하기 때문이다. 비정규 격자형의 座標 데이타(init*.dat)가 기본적인 입력이 될 경우는 CAD 환경이 필요하지 않으므로, Fortran 언어를 이용해서 일정 간격의 격자망 데이타(xyz*.dat)를 만들어 내고, CAD 환경에서는 LISP 언어로 곡면의 방정식의 係數를 구하거나, 임의점의 표고를 계산해서 바로 CAD 환경에서 사용할 수 있도록 하였다.

2 단계: 3차원 투시 및 모델링

3차원 투시 및 모델링 프로그램은 LISP(3dsim.lsp)으로만 구성되어져 있으며 시각적으로 對象區域을 3차원으로 표현해 줌으로써 대상구역을 모델링 및 여러 각도에서 현장감 있게 書面出力을 해 줄 수 있다.

3 단계: 평면선형

평면선형 프로그램은 예비노선의 I.P점과 각 I.P점의 제원으로 구성된 데이타 파일(isp.dat)을 오픈하고 Fortran 프로그램(ips.for)을 이용해서, 예비노선의 XYZ 좌표값(stxyz.dat), 각 Station point의 XY 좌표값 및 곡선부의 제원값들을 출력(stxy1.out)하고, stxyz.dat를 이용해서 CAD 환경내에 도로평면선형에 대한 화면출력을 하는 LISP 프로그램(smap2.lsp)으로 구성되어져 있다.

4 단계: 종단선형

종단선형 프로그램에서는 stxyz.dat를 이용해서 CAD 환경내에 도로종단면도를 화면출력하고 각 station point 계획고를 화상 또는 데이타 파일로 입력하면, 화상입력일 경우는 계획고 데이타(des1.dat)를 출력해 주고 도로공사의 표준 종단면도 양식으로 화면 및 플로터나 프린터 출력장치로 출력할 수 있게 된다.

5 단계: 횡단설계

횡단설계 프로그램은 計劃高 데이타(des1.dat), 노선의 XYZ座標 데이타(stxyz.dat)와 격자망의 지형, 리핑암과 발파암 XYZ 좌표 데이타(xyz1.dat, xyz2.dat, xyz3.dat)를 이용해서 횡단면에 대한 절·성토를 區別해서 화상 및 기타 출력장치로 횡단면도를 출력하는 LISP 프로그램(smap3.lsp)으로 구성되어져 있다.

6 단계: 토공량 계산 및 유토곡선 작성

토공량 계산 및 유토곡선 작성에 대한 프로그램에서는 Fortran 프로그램(mass.for)에 의해 횡단에 대한 절·성토량을 출력(volm.out)하고, LISP 프로그램

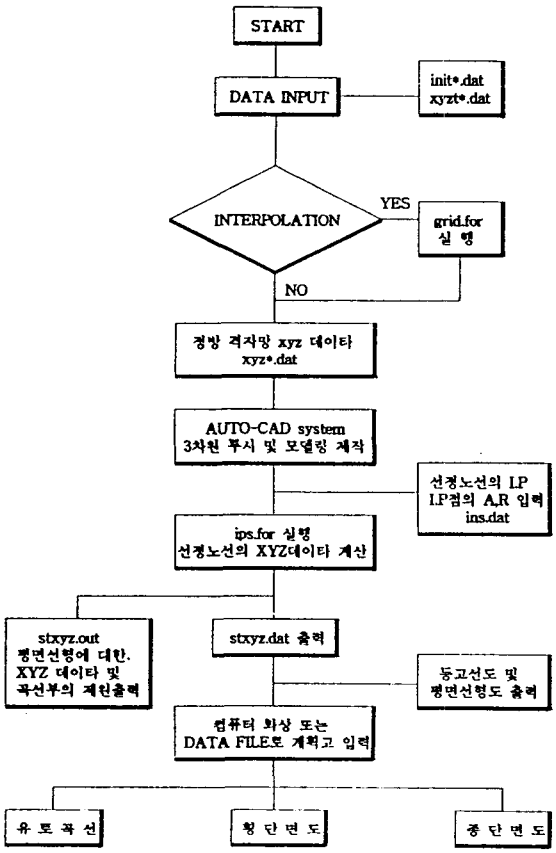

그림 3-2. 도로설계 자동화에 따른 흐름도

(smap4.lsp)에 의해서 유토곡선을 CAD 환경에서 화상출력 및 출력장치로 출력할 수 있게 된다.

이러한 도로 자동화설계 과정을 흐름도로 나타내면 그림 3-2와 같다.

3.3 예비노선의 컴퓨터의 實行 結果

예비노선에 대해서 3가지의 계획고를 선정할 시, A-1 경우는 성토가 많이 발생하게 하였고, A-2 경우는 절토가 많이 발생하도록 하였다. 마지막으로 A-3 경우는 절·성토가 거의 비슷하게 발생되도록 계획고를 결정하여 컴퓨터 실행을 하여 보았다. 또한 리핑암과 발파암高는 가상 공사 구간이므로 실측 데이타를 구할 수 없기 때문에 임의로 가정하여서 數値地形模型을 만들었고 STA A+B의 의미는 공사지점으로부터 A Km B m 떨어진 지점을 의미한다. 각 경우의 컴퓨터의 실행결과는 다음과 같다.

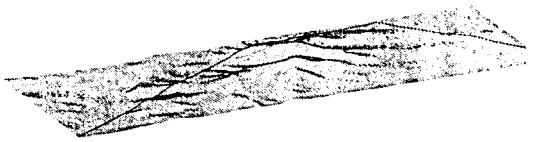

그림 3-3. 대상지역의 3차원 모델링

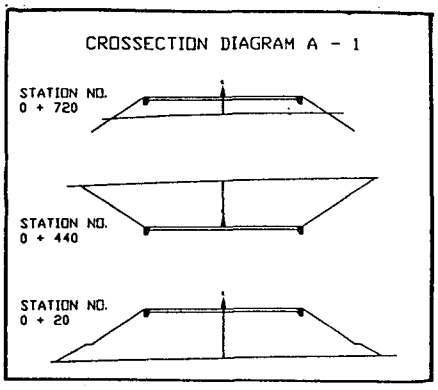

그림 3-4. A-1 경우의 예비노선의 횡단면도

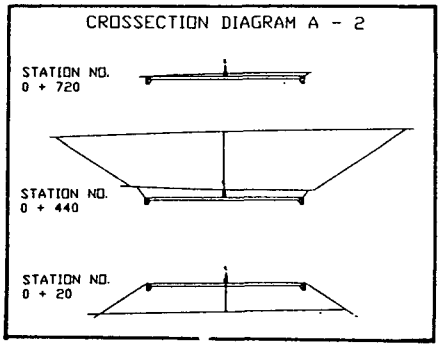

그림 3-5. A-2 경우의 예비노선의 횡단면도

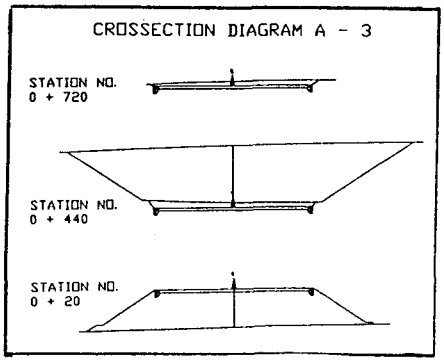

그림 3-6. A-3 경우의 예비노선의 횡단면도

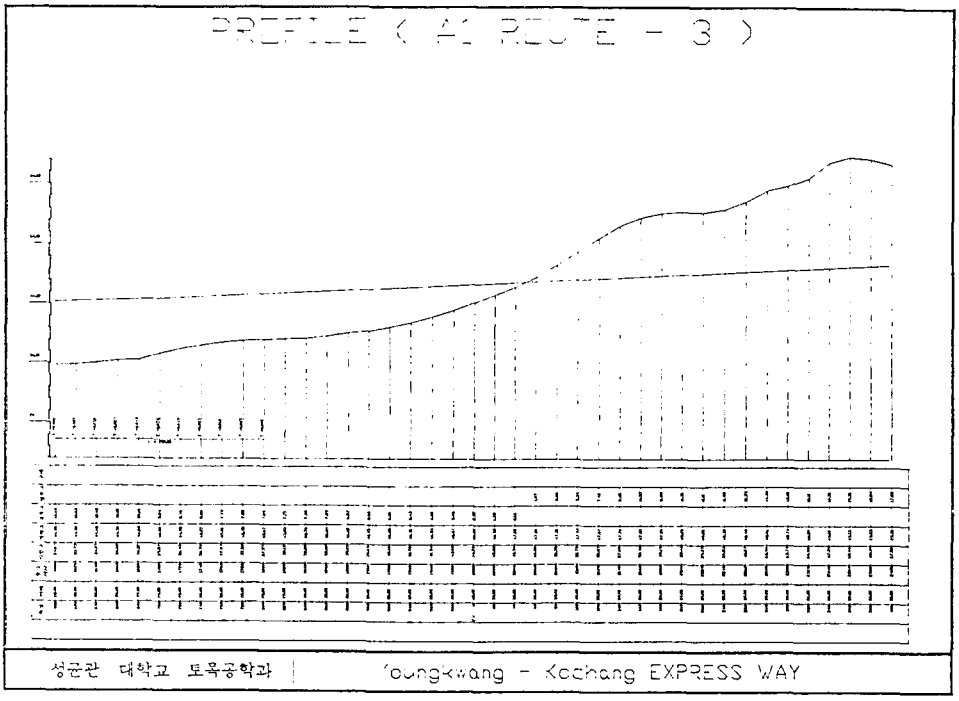

그림 3-7. A-1 경우의 예비노선의 종단면도

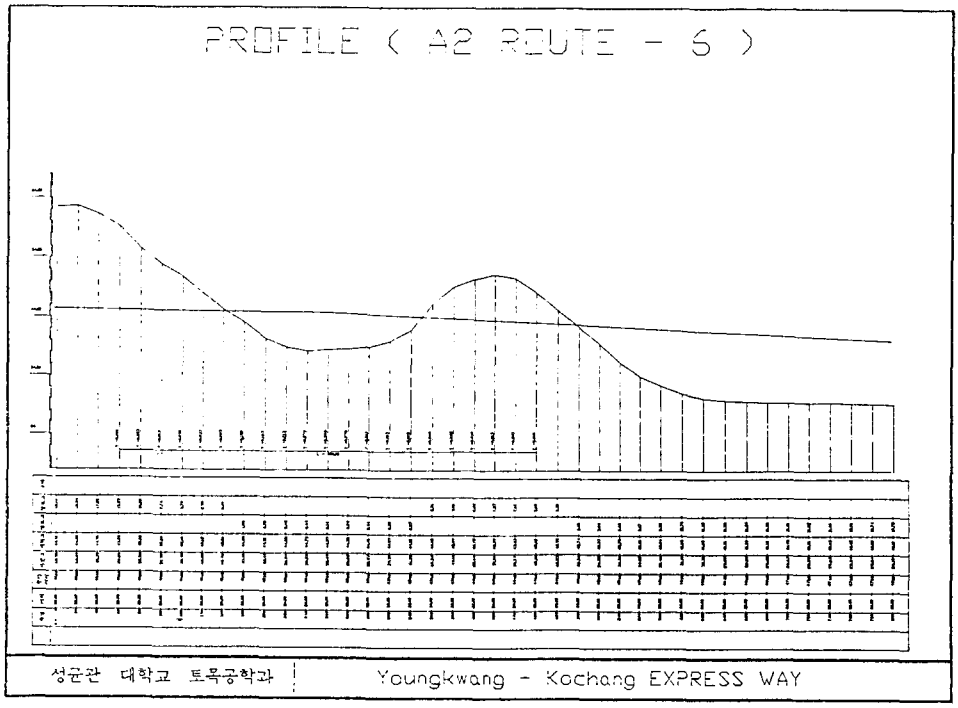

그림 3-8. A-2 경우의 예비노선의 종단면도

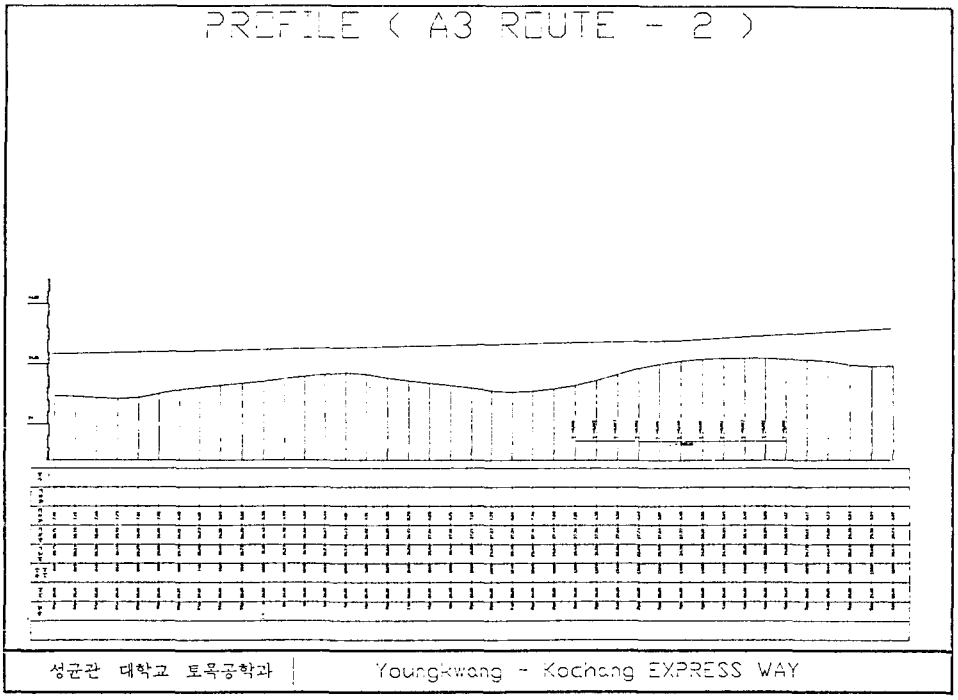

그림 3-9. A-3 경우의 예비노선의 종단면도

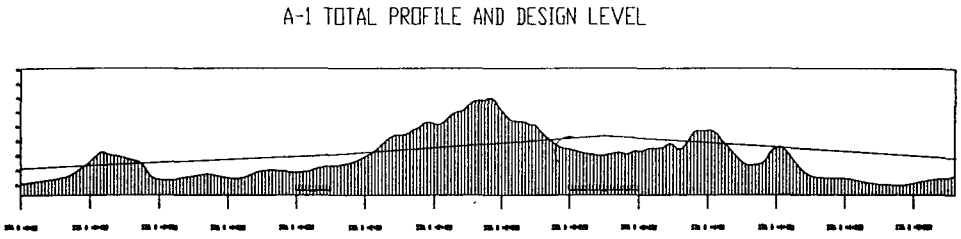

그림 3-10. A-1 경우의 예비노선의 전 구간의 종단면도

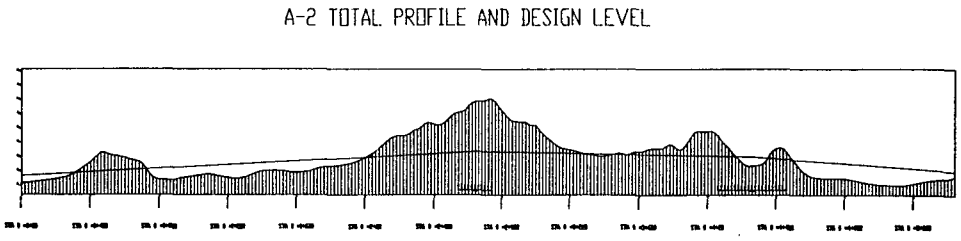

그림 3-11. A-2 경우의 예비노선의 전 구간의 종단면도

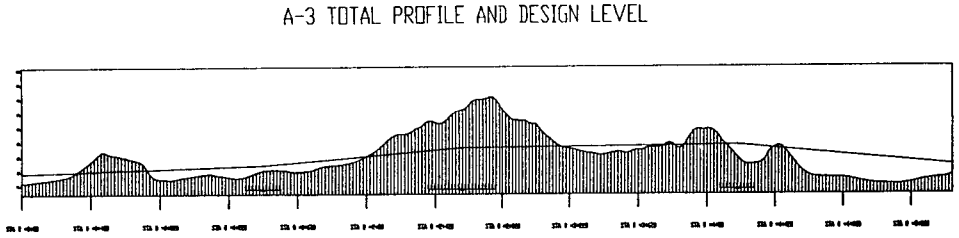

그림 3-12. A-3 경우의 예비노선의 전 구간의 종단면도

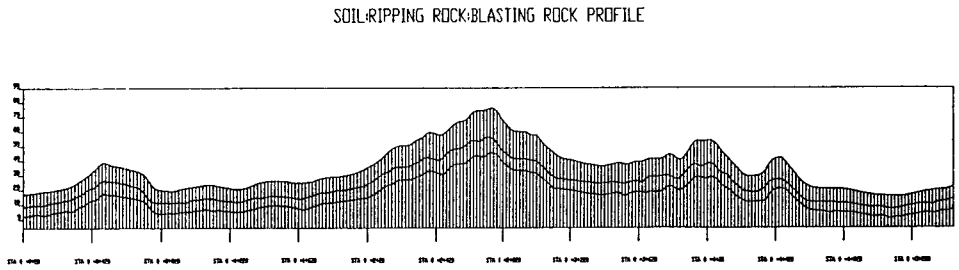

그림 3-13. 토사, 리핑암, 발파암의 전 구간의 종단면도

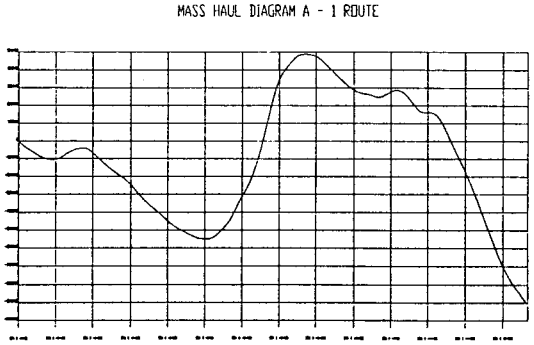

그림 3-14. A-1 경우의 예비노선의 유토곡선

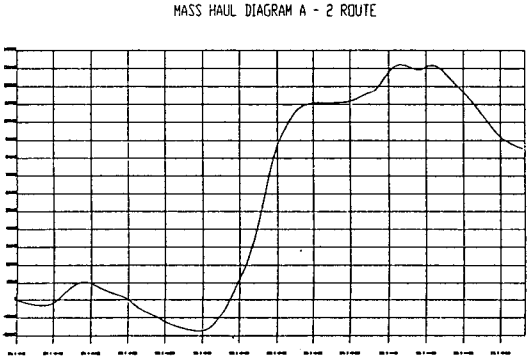

그림 3-15. A-2 경우의 예비노선의 유토곡선

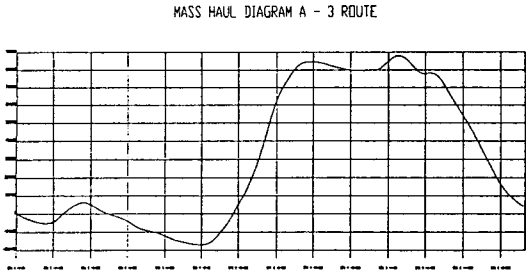

그림 3-16. A-3 경우의 예비노선의 유토곡선

3.4 각 노선들 간의 컴퓨터 實行 結果 比較

계산되어진 槪略 토공량으로 A-1, A-2, A-3 경우의 노선을 각각 비교해 보면 A-1 노선에서는 성토량이 1,976,978.979 m^3, 절토부의 발파암량은 124,711.913 m^3, 리핑암량은 245,918.085 m^3, 토사량은 771,661.881 m^3 정도로써 848,826 m^3의 토량이 부족하였다. A-2 노선에서는 성토량이 823,778.187 m^3, 절토부의 발파암량은 148,588.543 m^3, 리핑암량은 324,589.096 m^3, 토사량은 1,037,204.594 m^3 정도로 658,719.46 m^3의 토량이 남았다. A-3 노선에서는 성토량이 1183,625.132 m^3, 절토부의 발파암량은 110,411.729 m^3, 리핑암량은 268,154 m^3, 토사량은 870,226.655 m^3 정도로 38,422.63 m^3의 토사가 남았다. A-3 노선의 토공량은 절·

성토량이 거의 均衡을 이루었고, A-1 노선의 경우는 성토량이 많이 발생하였고, A-2 노선의 경우는 절토량이 많이 발생하였다.

이들 노선들 중 가장 適合한 노선을 선정하기 위해서는 각 토공량에 따르는 약식 공사비를 책정하는 것이 중요하다. 略式 공사비를 책정하기 위해서 건설부, 한국 도로공사, 엔지니어링 3개 회사에서 적용하는 각 토공량의 약식 공사비를 平均으로 하였다. 고속도로 4차선 신설의 경우에 성토 1 m^3 당 566원 정도이고, 발파암 1 m^3 당 9,363원, 리핑암 1 m^3 당 738원, 토사 1 m^3 당 470원 정도를 策定하여 각 노선에 적용해 본 결과, A-1 노선의 개략적 토공사비용은 28.3억원 정도이고, A-2 노선은 25.8억원 정도이고, A-3 노선은 21.1억원 정도로 예상할 수 있다. 그러므로 선정노선에 대한 계획고가 토량의 均衡에 잘 부합되는 A-3 노선이 가장 妥當하다고 豫測해 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 도로설계 자동화를 構築하기 위해서, 컴퓨터의 高級 言語인 Fortran과 LISP을 이용해서 CAD System을 適用하였다. 자동설계에 CAD System을 導入함으로써 다음과 같은 期待效果를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

1) 數値地形의 적용으로 現場 作業量을 줄일 수 있다.

2) 도로의 기본 설계시 시간, 인력, 자금을 절약하게 될 것이다.

3) 임의의 노선에 대하여 도로설계 및 CAD 專門家가 아니더라도 측지좌표, 평면선형과 계획고만 입력함으로써 PC를 이용해서 손 쉽게 도로설계를 할 수가 있다.

4) 예비노선 결정에 있어서 槪略的인 토공량 산출과 리핑암량 및 발파암량을 구할 수 있다.

5) 설계 및 시공, 감리 관련 각 건설회사에 있어서 공간적, 경제적 효율성을 기할 수 있고 또 부득이한 사정에 의한 설계변경이 용이하다.

본 연구에서 개발한 프로그램은 기본설계용으로 考案되었기 때문에 실시설계로 사용하기 위해서는 추후 과제로 發展시켜야 할 것이다.

참고문헌

1. 안철호, 최재화, "일반 측량학", 문운당, 1990.
2. 한국 도로공사, "도로 설계요령", 1992.
3. 유복모, "측량학", 동명사, 1993.
4. Archi Cad, "Auto LISP 프로그래밍", 크라운 출판사, 1992.
5. 건설부, "도로 기준령", 1990.
6. 김유진, "CAD를 이용한 도로설계에 관한 연구", 중앙대학교 석사학위 청구 논문, 1990.
7. 조영호, "수치지형 모형을 이용한 예비노선의 토공량 산출에 관한 연구", 한양대학교 석사학위 청구 논문, 1981.
8. 유복모, 권현, "지형변화의 양적 측정에 의한 수치지형모델의 적용", 측지학회지 제5권 제1호, 1987, pp. 43-48.
9. 오창수, "수치지형 모델에 의한 토공량 계산 정확도의 예측모델에 관한 연구", 측지학회지 제5권 제1호, 1987, pp. 49-58.
10. 이석찬, 조규전, 최병길, "이동평균법과 선형예측법을 이용한 수치지형의 보간에 관한 연구", 측지학회지 제4권 제1호, 1986, pp. 58-71.
11. 김분재, "알기 쉬운 Auto CAD", 가남사, 1990.
12. 佐藤信武, "크로소이드 곡선과 도로선형 설계", 효성, 1992.
13. Makarovic. b., "A Digital Terrain Model System", ITC Journal, 1976-1.
14. Leberl. F., "Interpolation in square Grid DTM", ITC Journal, 1973-5.
15. Tempfli. K., Tuladhar. a.m. "LECTURE NOTES ON DIGITAL TERRAIN MODELLING", 1991, pp. 19-31.
16. AUTODESK INC., "AUTOCAD REFERENCE MANUAL", 1990.
17. AUTODESK INC., "AUTOLISP PROGRAMMER'S REFERENCE", 1990.