

# DTM에서 최단노선과 토공량을 고려한 최적노선의 선정에 관한 연구

## A Study on the Selection of the Optimum Route Considering on the Shortest Distance and the Balance of Earthwork Volume in DTM

조규전\* · 조영호\*\* · 임선일\*\*\* ·

Cho, Kyu-Jon · Cho, Young-Ho · Im, Seon-Il

### 요 旨

노선의 거리와 토공량은 노선의 계획시에 경제적인 인자로서 가장 큰 비중을 차지한다. 본 논문에서는 이 두가지 인자를 고려하여 노선을 선정하는 방법에 대하여 연구하였고 실제로 경사가 균일하고 굴곡이 존재하지 않는 지형과 경사가 없고 굴곡만이 존재하는 두 지형을 선정하여 두 인자를 고려한 최적노선의 선정을 실행하였다. 연구결과 최단거리를 갖는 노선은 지형의 경사에 관계없이 굴곡정도에 따라 결정 되었으며 토공량의 산정은 지형의 굴곡정도와 보간식에 영향을 받아 차이가 발생하였음을 알게 되었다.

### ABSTRACT

When a route is planned, the distance of route and earthwork volume have an important role as an economic factor. In this paper, an investigation is made on the selection of optimum route with respect to two factors above mentioned. For this investigation, a numerical test is also executed to two different types of terrain, i.e. terrain with constant slope and no undulation and terrain with slope and undulation. The results show that the shortest route is determined by the degree of undulation with no relation to the slope of topographic model, and the earthwork volume is affected by the amount of undulation and interpolation function.

### 1. 서 론

최적노선이란 임의의 구간에 도로를 선정할 때 그 노선이 지나갈 수 있는 지역의 지리적, 환경적, 공학적인 모든 조건을 고려하여 가장 이상적으로 설치할 수 있는 노선을 말한다.

최적노선해석에서 정확하고 상세한 지형정보자료는 노선해석에 결정적으로 영향을 주는 요소로 작용하며 자료의 획득방법으로서 수치지형모델은 가장 적절한 방법이다.

본 연구는 3차원 공간상에 위치한 두점 사이의 최

단노선을 결정하는 인자와 토공량의 균형을 고려한 인자를 사용하여 최적노선을 결정하는 방법과 이를 전산프로그램에 의해 자동화하는 데 있다.

이 연구목적을 위하여 각각 지형특성이 다른 두 개의 지형모델과 각 지형모델에 따라 각각 다른 3개의 비교노선이 선정되었다. 이와 같이 선정된 비교노선들은 지형과 노선의 종류에 따른 영향을 분석하기 위하여 최적조건에 의한 수치실험이 수행되었다.

실험에 사용된 기본데이터는 1km×1km 구간의 항공사진을 이용하여 기본 DTM 자료로부터 16개의 기준점을 사용한 이동평균법(3차식)에 의한 보간방법에 의하여 데이터의 결측 및 자료의 손상에 대하여 보간하였다.

실험에서 사용한 두 개의 지형은 경사가 일정하고

\*경기대학교 토목공학과 교수  
\*\*인덕전문대학교 토목과 부교수  
\*\*\*경기대학교 토목공학과 석사과정

굴곡이 없는 지형과 경사가 없고 굴곡이 있는 지형으로 구분하였으며 지형별 비교노선은 본 논문 2절에서 설명한 방법에 따라 결정하였다.

선택된 각 노선의 횡단면을 이동평균법으로 보간하여 결정하고 각 노선의 단면적과 토공량을 구하였다. 여기에서 각각의 지형에 대해 구해진 세 개의 노선에 대한 거리와 토공량을 비교하여 각 지형에 대한 최적노선을 결정하고 이 방법에 대한 자동화 프로그램을 작성하여 이들 처리과정의 자동화에 대하여 고찰하였다.

## 2. 최단노선의 결정

노선의 거리가 최소가 되기 위해서는 최소의 거리를 갖는 격자점들로 구성되던 된다. 정규격자를 사용하여 최단노선을 구할 때는 x와 y의 증가, 감소량은 격자간격이 일정하기 때문에 격자점들의 거리가 최소라면 z의 변동값이 최소라는 의미도 갖게 된다. 따라서 여러 격자점을 비교하여 거리가 최소인 점들로 노선을 구성하면 그 노선이 최단노선이 된다.

이러한 방법을 적용하기 위해서는 대상지역의 전 격자에 대한 각각의 거리를 구하고 노선을 설치하고자 하는 점간의 노선들만을 추출하여 그들 노선의 거리를 비교하는 과정을 거쳐야 한다. 그러나 일반적으로 수치지형모델은 많은 양의 자료들로 구성되기 때문에 이러한 과정은 상당한 시간이 요구되므로 실제적으로 부적합하다.

본 연구에서는 이러한 방법을 개선하기 위하여 비교되는 격자점을 그림 1과 같이 제한하여 아래의 식에서 구한 값을 비교값으로 하여 최소의 값을 갖는 노선을 최단노선으로 결정하였다.

$$W = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} + \text{방향성분}$$

W = 최단거리를 구할 때 사용되는 비교값

$$\Delta x = x_j - x_i$$

$$\Delta y = y_j - y_i$$

$$\Delta z = z_j - z_i$$

$x_i, y_i, z_i$ 는 수치지형모델의 i번째 격자의 좌표

$x_j, y_j, z_j$ 는 수치지형모델의 j번째 격자의 좌표

방향 성분 = 비교할 점과 최종점 사이의 방향벡터의

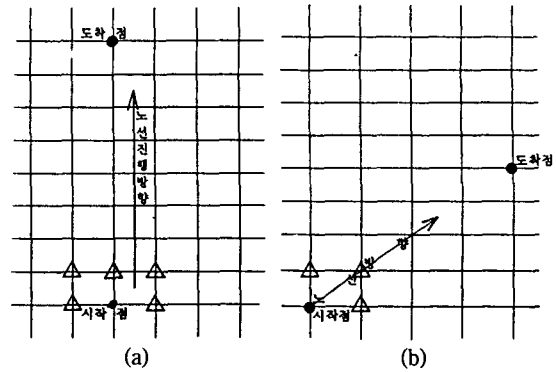


그림 1. 노선의 방향에 따른 노선거리 비교격자점 수  
△: 비교 대상격자점

절대값

$$= \sqrt{(x_i - x_e)^2 + (y_i - y_e)^2 + (z_i - z_e)^2}$$

$x_i, y_i, z_i$  = 비교하고자 하는 점의 위치

$x_e, y_e, z_e$  = 최종점의 위치

여기서 방향성분은 비교의 진행과정이 격자와 격자사이를 점진적으로 비교하도록 하였기 때문에 이 과정이 최종목표점에 도달하도록 하고 z의 변동값이 최종점의 표고에서 크게 벗어나지 않도록 한다. 즉 표고의 변화에 따르는 거리 증가량이 최소가 되도록 한다.

그림 1은 전대상지역중에서 노선거리의 비교에 필요한 격자점들만을 추출한 노선의 진행방향에 따른 비교격자점들을 표시하고 있다.

## 3. 토공량의 계산

DTM에서 토공량을 사용하여 노선을 설치하는 데에는 실제노선의 토공량을 산정하는 문제와는 달리 단면의 형상이 결정될 수 없기 때문에 기본적인 높이값만으로 단면을 실제로 설치되는 단면과 근사하도록 결정하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 격자간격내의 지반을 선형으로 가정하고 계획고와 지반고의 교점을 구하여 단면을 형성시키고 이 단면적을 좌표법에 의하여 구하고 양단면 평균법을 사용하여 체적을 구하였다. 단 단면은 노선이 지나는 격자점의 지반고와 일치되는 높이에 좌, 우 각각 3m(왕복 2차선)의 폭을 갖고 사면구배는 성, 절토 모두 1:1로 가정하고 계산하였다.

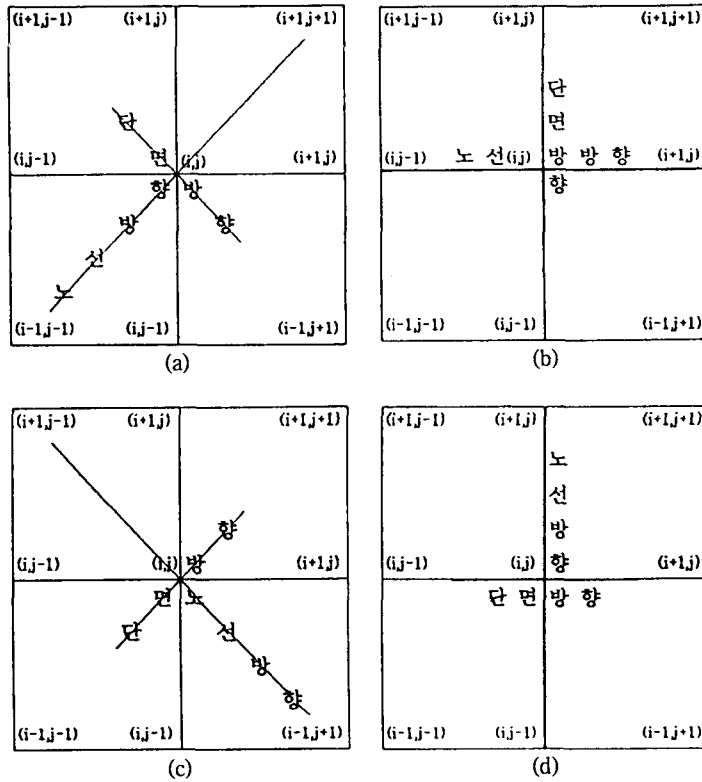


그림 2. 노선의 방향에 따른 격자점내 단면의 방향

### 3.1 횡단면적의 결정

횡단면적을 계산하기 위하여 격자간격내의 형성되는 단면은 위의 그림 2처럼 4가지 경우로 나누어 형성된다고 가정하였다. 노선의 진행방향과 90°의 각도를 갖는 가정된 4가지의 단면 방향에 교차하는 격자점들과 지반고와 계획고와의 교점들로 구성된 단면은 좌표법에 의하여 면적이 구해진다.

그림 2(a)의 단면은 (i-1, j+1)에서 (i+1, j-1)을 연결하는 선상에 단면이 존재한다고 가정하고 계획고와 지표면의 교점이 (i+1, j-1) 또는 (i-1, j+1) 상에 존재하는지의 여부를 판별하여 만약 이 범위를 벗어나면 다음의 격자점인 (i+2, j-2) 또는 (i+2, j-2) 내부에 존재한다고 가정하였다. 그리고 격자점 내부에서 지표면 경사 (s)는 다음 식과 같이 구했다.

$$s = \frac{z(i+1, j-1) - z(i, j)}{d}$$

$$s = \frac{z(i-1, j+1) - z(i, j)}{d}$$

지표면경사 s를 사용하여 지형경사선의 높이를 구하면 다음과 같다.

$$z_s = z(i, j) - s \cdot x \quad \dots \dots \dots \text{성토시}$$

$$z_s = z(i, j) + s \cdot x \quad \dots \dots \dots \text{절토시}$$

계획횡단면의 높이는 다음과 같다.

$$z_x = z(i, j) - x + 3 \quad \dots \dots \dots \text{성토시}$$

$$z_x = z(i, j) + x - 3 \quad \dots \dots \dots \text{절토시}$$

횡단면선과 지형경사선의 교점은 다음과 같다.

$$x = \frac{-3}{(s-1)}$$

그림 2(b)의 단면은 (i, j-1)과 (i, j+1)을 연결하는 선상에 존재한다고 가정하고 그림 2(a)에 대한 경우처럼 1개의 격자점을 벗어나는지를 판별하였다. 만약 이 범위를 벗어나게 되면 격자점을 한 개 더 고려하여 위의 세 식을 사용하여 단면을 형성시켰다.

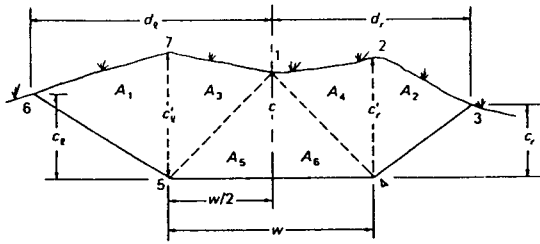


그림 3. 수치적으로 형성된 단면

그림 2(c)의 단면은  $(i-1, j-1)$ 과  $(i+1, j+1)$ 을 연결하는 선상에 존재한다고 가정하고 나머지 과정은 위의 과정과 같다.

그림 2(d)의 단면은  $(i-1, j)$ 와  $(j+1, j)$ 를 연결하는 선상에 존재한다고 가정하고 그림 2(a)를 구하기 위해 설명한 세 식을 사용하여 단면을 형성하였다.

그림 2에 표시된 각각 4가지 경우에 대해 결정된 단면은 좌우 평면거리를 직각좌표로 환산하여 보간 방법으로 단면의 높이를 구하고 이들 중심선의 높이에 더하거나 빼서 단면의 상대적인 높이를 구하여 횡단면을 완성시켰다. 이렇게 결정된 단면은 좌표법에 의해 좌, 우 단면적이 구해졌다.

이에 따라 형성된 단면은 그림 3와 같은 여러 높이를 갖는 단면이 형성되는 데 각각의 단면적은 좌표법에서 유도된 아래의 식에 의하여 계산되었다.

$$A = \frac{1}{2} [Y_1(X_2 - X_n) + Y_2(X_3 - X_1) + Y_3(X_4 - X_2) + \dots + Y_{n-1}(X_1 - X_{n-1})]$$

### 3.2 체적의 결정

체적의 결정은 중앙단면법에 의해서 구하여 졌으며 그 식은 아래와 같다.

$$V = \frac{1}{6} (A_1 + 4A_m + A_2)$$

여기서 1은 양단면 사이의 거리이고,  $A_1$ 과  $A_2$ 는 양 끝단면 사이의 면적이며  $A_m$ 은 양끝단면 사이의 중간단면적 또는 중앙면적이다.

이 방법에서 중앙단면적의 계산은 양단면적  $A_1$ 과  $A_2$ 를 단순평균함에 의해서가 아니라 양단면의 선형 차원들을 고려하여 평균함으로써 결정된다. 즉 중간단면의 좌표  $(x_{m1}, y_{m1}), (x_{m2}, y_{m2}), (x_{m3}, y_{m3}), (x_{m4}, y_{m4}),$

.....,  $(x_{mn}, y_{mn})$ 은 다음과 같이 구한다.

$$x_{mi} = \frac{(x_i + x'_i)}{2}$$

$$y_{mi} = \frac{(y_i + y'_i)}{2}$$

$x$  = 횡단면의 중앙점으로 부터 종거

$y$  = 높이

$x_{mi}, y_{mi}$  = 중앙단면의 좌표

$x_i, y_i$  = 선행단면의 좌표

$x'_i, y'_i$  = 다음 단면의 좌표

토공량을 구할 때에 두 단면사이에 성토단면과 절토단면이 교차하는 경우에는 중앙단면을 구하지 않고, 두 단면 사이의 면적이 0인 점을 구하여 그 점을 중심으로 양쪽을 나누어 체적을 구한다. 이 때의 체적은 다음과 같다.

$$V = \frac{1}{2} \cdot A \cdot d$$

$A$  = 한쪽 단면의 면적

$d$  = 단면 사이에 성토와 절토가 교차하는 지점까지 거리

## 4. 수치실험

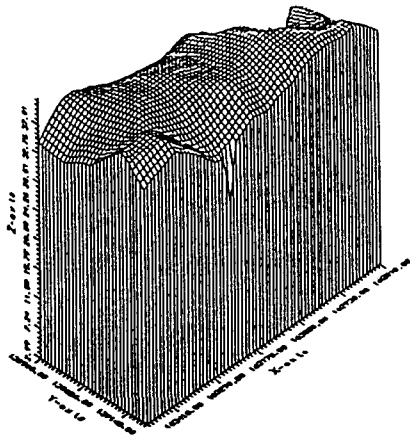
지형특성에 따른 최단노선을 비교하기 위하여 2개의 지역을 추출하였다. 이 지역의 3차원 지형모형도는 다음과 같다.

그림 4(a)의 지역은 경사도가 아주 낮으며 굴곡이 많은 지형이고, (b)의 지형은 일정한 경사를 갖고며 굴곡이 적은 특성을 갖고 있다. 수치실험은 이와 같이 선정된 2개의 지역으로 부터 각각 3개의 다른 최단 거리를 고려한 최적노선을 선정하고 선정된 최적노선별로 토공량을 구한 후 서로 비교, 분석하였다.

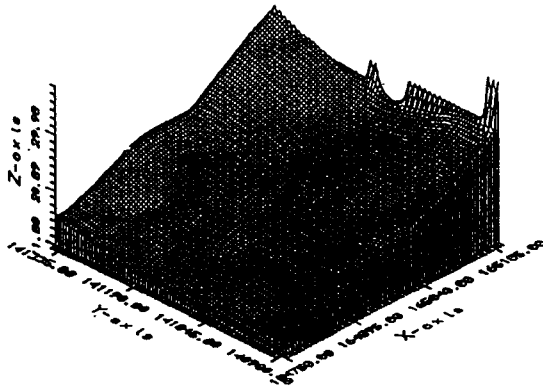
본 연구에서는 이에 대한 전산프로그램이 개발되었다. 전산프로그램은 MS Fortran 5.1로 작성되었다. 이 프로그램은 최단노선을 구하는 흐름도와 토공량에 의해 노선을 선정하는 두 개의 주 프로그램으로 나뉘며 두 프로그램에 대한 흐름도는 다음과 같다.

체적을 구하는 자동화 프로그램을 만들기 위하여 아래와 같은 가정을 하였다.

1. 단면의 성, 절토구배는 1 : 1로 하였다.



(a) 지형모델 1



(b) 지형모델 2

그림 4. 실험에 사용된 2개의 지역의 3차원 지형모델

2. 계획고는 중앙선의 지반고로 하였으며 특별히 계획고를 고려하지 않았다.

3. 단면의 폭은 6m로 하였다.

4. 노선설정에서 경제성에 영향을 주는 조건인 토공량과 최단노선만으로 최적노선을 결정하기 위하여 두 조건 이외의 다른 사항은 고려하지 않았다.

이에 대한 흐름도는 그림 5와 같다.

### 5. 결과 및 분석

그림 7은 2절에서 설명된 방법에 따라 구하여진 최단노선을 지형모형의 종류별로 각각 표시한 것이다.

그림 7을 살펴보면 지형모형 1(a의 경우)에 대해 결정된 노선은 비교적 여러 격자점을 가로지르며 진

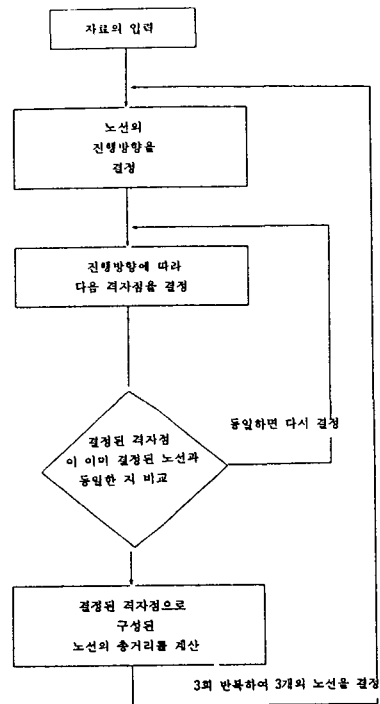


그림 5. 최단노선을 구하는 프로그램의 흐름도

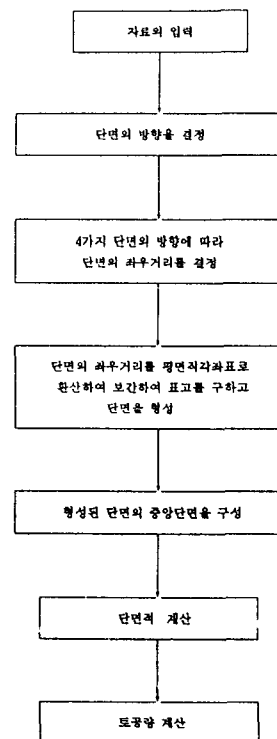
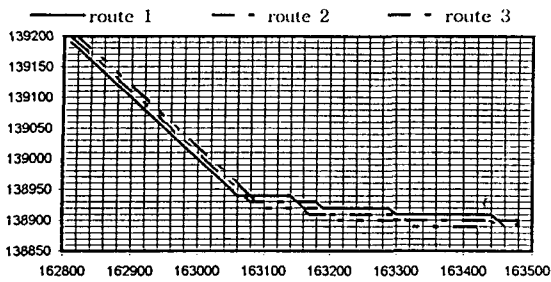
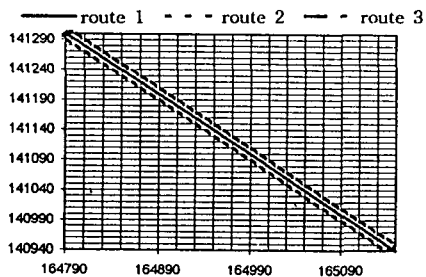


그림 6. 토공량을 구하는 프로그램의 순서도



(a) model 1



(b) model 2

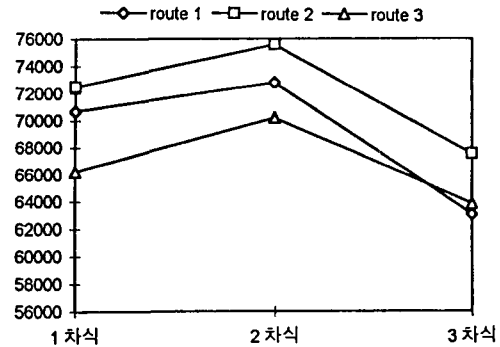
그림 7. 각 지형에 대해 최단거리를 고려하여 결정된 노선

표 1. 각 지형에 노선의 거리

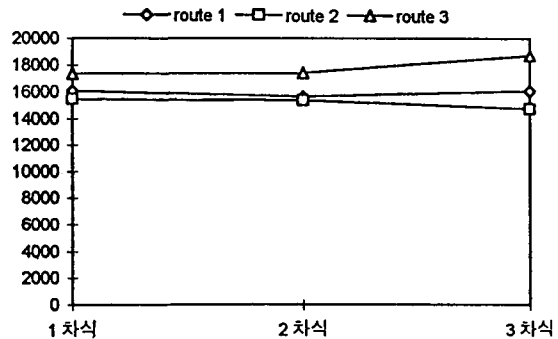
지형	노선 번호	거 리 (m)
model 1	route 1	2,616.19
	route 2	2,653.49
	route 3	2,617.80
model 2	route 1	885.05
	route 2	901.51
	route 3	913.83

행하는 것을 알 수 있고 지형모형 2(b)의 경우의 노선은 2차원 평면상에서 구한 최단거리와 다름이 없음을 볼 수 있다. 즉, 지형모형 2(그림 4(b))의 지형과 같이 경사에 관계없이 지표면의 굴곡이 없는 지형은 2절에서 설명된 최단노선을 구하는 조건을 고려하지 않아도 2차원 평면상의 최단노선으로 간단히 구할 수 있고 지형모형 1(그림 4(a))과 같이 굴곡이 심한 지형은 최단거리의 조건에 따라 노선이 결정되어야 한다는 것을 알 수 있다.

표 1은 각 지형모형에서 선택된 최단노선들의 거리이다.



(a) 지형모델 1에 대한 각 노선의 토공량



(b) 지형모델 2에 대한 각 노선의 토공량

그림 8. 보간식에 따른 토공량의 변화

표 2는 지형모형 1, 2에 대해 최단거리조건으로 구해진 노선에 대해 각 세 개의 보간식을 사용하여 형성한 단면적으로 계산된 토공량이다.

그림 8은 보간식의 종류에 따른 토공량의 변화를 그래프로 표시한 것이다.

표 2과 그림 8에서 지형모형 1의 경우를 보면 보간식의 차수에 따라 토공량의 차이가 크게 나타나고 지형모형 2의 경우는 토공량의 차이는 보간식의 차수에 관계없이 거의 일정함을 나타낸다.

이러한 것은 3개의 비교노선 모두에서 같은 경향을 나타내고 있다.

이는 지형모형 1은 지형의 굴곡이 심하고 지형모형 2는 지형의 굴곡이 없기 때문인 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

본 논문은 최단노선과 토공량의 균형을 고려한 최

표 2. 각 모델에 대한 토공량 (단위: m<sup>3</sup>)

지형의 종류	노선 번호	보간식	성토량	절토량	총토공량 (성토량+절토량)
model 1	route 1	1차식	12014	58653	70667
		2차식	11728	61061	72789
		3차식	6313	56766	63079
	route 2	1차식	12660	59841	72501
		2차식	12192	63365	75557
		3차식	6543	60966	67509
	route 3	1차식	11948	54277	66225
		2차식	11077	59118	70195
		3차식	6254	57612	63866
model 2	route 1	1차식	2236	13845	16081
		2차식	2275	13398	15673
		3차식	2313	13766	16079
	route 2	1차식	2202	13295	15497
		2차식	2162	13211	15373
		3차식	2195	12543	14738
	route 3	1차식	2375	15001	17376
		2차식	2464	14948	17412
		3차식	2445	16290	18735

적노선의 자동선정에 관하여 연구하였으며 각각 다른 두 개의 지형모형과 각 모형에 대해 각기 다른 3개의 비교노선에 따라 비교, 분석을 수행하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 최단거리와 토공량의 균형을 고려하여 최적노선을 선정하는 방법을 제시하고 노선선정의 자동화 가능성을 제시하였다.
2. 지형의 경사에는 관계없이 굴곡이 적은 지형에 대해서는 2차원 평면에서 최단거리를 구하는 방법을 사용하여도 되지만 지형의 굴곡이 심한 지형에서는 굴곡을 고려하여 최단거리를 결정하여야 한다.
3. 지형의 굴곡이 심한 지형에서는 보간식의 차수에 따라 토공량의 차가 크고 굴곡이 적은 지형에서는 보간식에 따른 토공량의 변화가 적었다.
4. 토공량을 구하는 데 이제까지 사용된 점고법, 절편법은 경사면의 구배를 고려할 수 없었으나 본 연구에서는 보간법을 사용하여 절토, 성토면의 단면을 결정하는 방법을 제시하였다.

参考文献

1. 신봉호(1986), "수치지형모형에 있어서 보간법을 이용한 최적토공량 산정에 관한 연구", 한양대학교 대학원 박사학위 논문.
2. 오창수(1987), "수치지형모형에 의한 토공량 계산정확도의 예측모델에 관한 연구", 조선대학교 대학원 박사학위 논문.
3. 이영진(1982), "수치지형모델 이론 및 응용에 관한 연구", 서울시립대학 대학원 석사학위 논문.
4. 이석찬(1989), "표준측량학", 선진문화사.
5. 이석찬, 조규전(1982), "밀도증가식 표본추출법을 중심으로 한 수치지형 모델에 관한 연구", 한국측지학회지 pp. 101-107.
6. 이석찬, 조규전(1982), "수치지도모형에 관한 연구", 한국측지학회지 pp. 93-103.
7. 조영호(1989), "수치지형모델을 이용한 도로의 토공량 산정에 관한 연구", 한국측지학회지, pp. 7-19.
8. 최병길(1986), "수치지형의 보간방법에 관한 연구", 한양대학교 대학원 석사학위 논문.
9. Bathel. J., Crawleg, G.C., Shepphird. G. and Hus-sain. M. (1978), "The Automated Generation and Processing of Digital Terrain Data for Engineering Planning", ASP.
10. B. Austin Barry. and F.S.C. (1988), "Construction Measurements", Jhon Wiley & Sons.
11. Helmut Moritz. and Hans Sunkel. (1978), "Approximation Method in Geodesy", Herbert Wichmann Verlag Karlsruhe.
12. J. Uren and W.F. Price. (1984), "Calculations for Engineering Surveys", Van Nostrand Reinhold.
13. Makarovic. B. (1976), "A Digital Terrain Model System", ITC Journal.
14. Mark. D.M. (1978), "Concept of Data Structure, For Digital Terrain Model", ASP.
15. Mikhail. E.M. (1979), "Panel Discusion; the Future DTM", PE & RS, ASP.
16. Miller C.L., Laflame R.A. (1958), "The Digital Terrain Model-Theory and Application", Photogrammetric Engineering.
17. M. Shaki., A. El. Ghazalli. (1974), "Performance Investigation of Progressive Sampling for Digital Terrain Models by Computer Simulation", ITC 논문.
18. Nordin. H. (1967), "La Representation Digitale du Terrain en vue de mesure des profils en long et en travers pour les projets routiers", Photogrammetric et etudes dautoroutes.
19. Raymond. E. Davis, Francis. S. Foote, James. M. Anderson, Edward. M. Mikhail. (1981), "Surveying

- Theory and Practice”, McGraw-hill.
20. Turner A.K. (1978), “A Decade of Experience in Computer Aided Route Selection”, PE & RS 1561-1576.
  21. Wicha Jivalai. (1972), “Digital Terrain Models Numerical Investigation on Regular Point Grids”, ITC 논문.
  22. Wong. K.W., Siyam Y.M. (1981), “Accuracy of Earthwork Calculations from Digital Elevation Data”, ASP-ASCM Fall Technical Meeting, pp. 399-408.
  23. Wrahasitro. (1974), “Investigation of Volumetric Determination by Computer Simulation, using Irregular Points Pattern”, ITC 논문.