

數值地形 모델을 利用한 道路의 土工量算定에 관한 研究

A Study on the Earth-Volume Determination in Road Design by D. T. M.

趙 英 鎬*
Cho Young-Ho

要 旨

數值地圖 및 遠隔測量技術의 發達과 地形情報收集技術의 自動化 추세는 工學分野의 計劃과 設計에 있어서 數值地形모델의 使用을 증가시키고 있다. 本 研究에서는 道路의 自動化 設計時, 數值地形모델을 使用함에 있어 여러가지 補間法에 의한 土工量 算出方法을 比較 하였다. 數值解析試驗 結果, BL_{in-1} 모델(雙一次函數)을 利用한 道路의 土工量 算定方法이 L_{in-1} 과 BL_{in-2} 모델보다 信賴性이 좋다는 것을 알 수 있었다.

ABSTRACT

The developments in remote-sensing, digital mapping, and automation of land information system have provided the impetus for the increasing use of Digital Terrain Models in engineering planing and design. In this paper, an evaluation is made on the method of accurate earth-volume determination in computerized road design using by Digital Terrain Models. The result of numerical test shows that the BL_{in-1} Model is the most efficient model in Earth-volume determination of road design.

1. 序 論

數值地形모델을 利用한 道路 設計方法이 소개된 以來, 여러나라에서 많은 道路의 自動化 設計 프로그램이 開發되었고, 이의 使用이 보편화되기 시작하였다. 그러나 우리나라에서는 아직도 이 分野에 대한 研究가 미흡한 실정이다.

道路의 自動化 設計에 있어서 必須的인 사항으로는 첫째, 地形情報資料(Terrain Information)의 獲得 및 地形의 表面을 기하학적으로 再現하는 方法(補間法 問題), 둘째, 工事に 必要한 設計資料(예. 縱斷面圖, 橫斷面圖, 土工量 等) 作成에 따른 프로그램(S/W)의 開發로 크게 나눌 수가 있다.

地形情報는 正確性 및 經濟性을 고려한 合理的 方法으로 獲得되어야 하며 獲得方法으로는 航空寫眞을 利用한 寫眞測定學의 方法, 地形圖

를 利用하는 方法, 現場測量(Field surveying)에 의한 方法 또는 이 모두를 綜合的으로 하여 獲得하는 方法들이 있다. 또한 프로그램(S/W) 開發에 있어서는, 正確한 數值地形모델의 제작에 따른 補間函數의 適用이 매우 重要한 問題로 등장되며, 要求하는 여러가지 設計資料에 對한 計算과 圖面作成(OUTPUT)의 電算化 프로그램 開發이 要求되어진다. 이 두 事項들을 綜合한 道路 自動化 設計 과정을 흐름도(Flow Daigram)로 나타내면 그림 1과 같다.

根本的으로 道路의 自動化 設計에 對한 研究는 위에서 말한 두가지 사항들을 모두 고려한 狀態에서 實行되어야 가장 이상적이나, 이는 作業量이 너무 방대해지기 때문에 研究하는데 많은 難點이 따르게 된다.

따라서, 本 研究에서는 地形情報 獲得方法에 대해서는 고려하지 않았으며 다만 數值地形모델의 適用에 따른 正確한 土工量 算出方法만을 제시하고자 노력하였다.

研究에 使用된 地形情報는 航空寫眞으로 부터

* 仁德工業專門大學 土木科 助教授

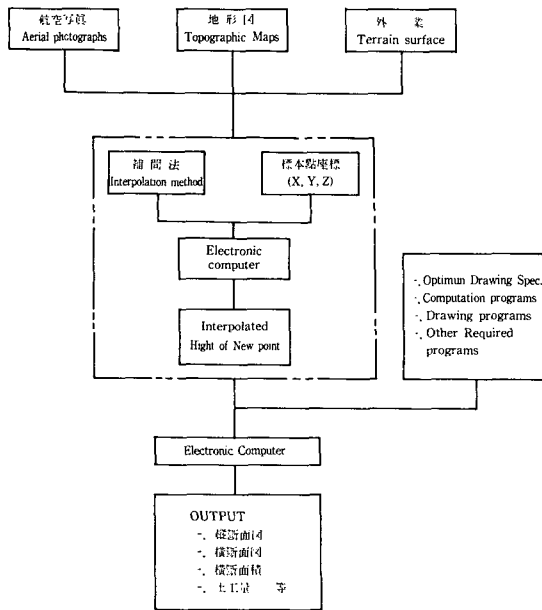


그림 1. 道路 自動化 設計에 따른 흐름도

얻어진 기존의 데이터를 이용하였으며 數値解析 試驗을 위하여 同一한 研究對象 地域을 格子網의 間格과 適用된 補間函數에 따라서 各各 數値地形 모델을 제작 하였다. 또한 한 모델당 2개의 道路(複雜地域, 완만한 傾斜地域)을 선정하고 分析에 必要한 設計資料(縱斷面圖, 橫斷面積, 土工量 等)들을 計算하였다. 특히 數値解析 試驗을 위한 道路의 自動化 設計 프로그램은 Super Basic 에 의하여 作成하였다.

2. 補間法

(1) 補間法の 定義

補間法이란 未知點의 높이를 推定하여 算出하는 方法으로 定義될 수 있다. 다시 말하면 未知點 P에 대하여 點 P를 에워싸고 있는 既知點을 이용하여 P의 높이를 推定하는 方法이다.

하나의 補間이 완성되기 위해서는 數學 모델의 설정과 補間處理라는 두 과정을 필요로 한다. 우리가 흔히 補間方法이라고 말하는 것은 數學 모델(Mathematical model)의 形態를 말하는 것으로 이에 따라 補間方法의 骨格이 정하여지게 된다. 하나의 補間方法을 選擇할 때에는 正確性

과 效率性을 상호 고려하여 選定하여야 한다. 實用性이 없는 複雜한 補間方法은 無意味하며 各各의 入力資料의 形態 및 要求되어지는 正確度에 따라 가장 적합한 補間函數가 選定되어져야 한다.

(2) 補間方法

補間法の 종류에는 간단한 方法에서 부터 複雜한 方法까지 대단히 많은 方法들이 있으나 數値地形 모델에서는 대부분 線形函數들이 사용되어지고 있으며 그 특성에 따라 다음과 같이 分類될 수 있다.

- (i) 單一連續函數에 의한 補間(Interpolation by a single continuous function)
 - 高次多項式(Higher degree polynomials)
- (ii) 패치方式에 의한 補間(Interpolation with patchwise function)
 - 雙一次函數(Bilinear function)
- (iii) 點方式에 의한 補間(Pointwise Interpolation)
 - 算術平均法(Arithmetic mean)
 - 移動平均法(Moving average)
 - 線形豫測法(Linear prediction)
- (iv) 線方式에 의한 補間(Interpolation with linewise functions)
 - 單純線形函數(linear function)

1) 單一連續函數에 의한 方法

이 方法은 標本點에 의거 補間對象地域을 單一連續函數로 나타낸 다음, 이로부터 未知點의 높이를 補間하는 方法이다. 一般적으로 地形은 매우 불규칙하기 때문에 전체를 單一連續函數로 나타낸다는 것은 效率적인 方法이 아니며 適用이 不可能할 경우도 있다. 따라서 이 方法은 數値地形 모델에 있어서는 거의 사용을 하지 않는다.

2) 重量平均法(Interpolation with weighted arithmetic mean)

이 方法은 하나의 새로운 점 P의 높이, Z_p 기 주위의 標本點들로부터 다음과 같이 구하여지는 方法이다.

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Z_i}{\sum W_i}$$

여기서 Z_i 는 標本點들의 높이이며 W_i 는 重量으로써 보통 距離 d_i 의 函數

$$W_i = 1/d^K \text{ 단, } K \text{는 상수}$$

의 形態로 주어진다.

3) 移動平均法(Interpolation with moving averages : MA)

이 方法은 補間點을 중심으로 하여 주위의 점을 선정한 다음, 線形函數

$$Z = a_1 L_1 + a_2 L_2 + \dots + a_n L_n$$

에 의하여 補間點의 높이를 결정하는 方法이다. 여기서 a_i 는 未知의 係數(parameter)이며 L_i 는 補間點의 위치의 函數이다. 위 線形函數는 各 補間點마다 標本點이 새로이 選定되기 때문에 移動平均 또는 移動表面(moving surface)補間 方法이라 불리워진다. 線形方程式을 行列로 나타내면

$$La = Z$$

가 되며 重量 W 을 고려한 다음 最小제곱법에 의하여 정규화 시키면

$$L'WL a = L'WZ$$

$$a = (L'WL)^{-1}(L'WZ) = N^{-1}t$$

가 된다.

4) 線形豫測法(Linear Prediction : LP)

어떤 地形에 있어서 標高 相互間의 관계는 距離 및 方向의 函數로 주어지는 相關函數에 의하여 나타내어질 수 있다. 線形豫測法은 이러한 地形의 추계학적 상관관계를 이용하여 未知點의 標高를 補間하는 方法이다. 一般적으로 數值地形 모델에서 地形은 等方性(isotropy)을 만족한다고 生覺하여 相關函數는 거리만의 函數로 가정된다. 위 理論을 展開하는데에는 地形의 同質性 즉, $E(Z) = 0$ 의 條件이 필요한데 이는 全體 傾向地表面(general trend surface)을 정해주므로써 해결할 수 있다. 未知點 標高를 구하는 식은

$$Z_k = t(x_k, y_k) + cC^{-1} \Delta Z$$

의 형태로 주어질 수 있다. 여기서 $t(x_k, y_k)$ 는 전체경향지표면이며 c 는 標本點과 보간점간에

공분산, C 는 標本點 상호간의 공분산, ΔZ 는 標本點 標高에서 전체경향지표면을 빼준 값이다.

5) 雙一次函數에 의한 方法(Interpolation with Bilinear polynomial : BP)

이 方法은 雙一次函數(bilinear polynomial)

$$Z = a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 XY$$

에 의하여 未知點의 標高를 補間하는 方法으로 그 解가 간단하고, 正規格子網과 4개의 標本點을 사용하는 경우 境界에서 不連續現象이 發生하지 않기 때문에 널리 이용되는 方法이다.

6) 單純線方式 補間方法(Interpolation by Linewise function)

이 方法은 지금까지 말한 補間方法 외에 한가지 特殊한 補間方法이라 말할 수 있다. 그 이유는 대부분의 補間方法에서는 標本點으로 만들어지는 空間(reference space)이 2次元인데 비하여, 이 方法은 標本點 및 補間되어지는 點이 同一한 線上(直線, 曲線)에 存在한다고 보고 補間하는 方法이다.

3. 數值解析 試驗

(1) 理形情報 入力 資料의 獲得

航空寫眞으로부터 研究對象地域(경북 영일군 오천읍 광명동 일대)을 正規格子網으로 썬우고자 모서리 점(標本點)의 標高를 測定, 이를 이용하였으며 細部的인 事項은 다음과 같다(그림 2, 3 참조).

一. 地形圖의 縮尺 ; 1 : 10,000

一. 寫眞測量用 카메라 ; Wild RC-8 廣角(화면거리 152.30 mm)

一. 航空機 및 飛行高度 ; 씨스나(Cessna)402, 1,500 m

一. 標高觀測裝備 ; Wild A-10 精密圖化機

一. 座標記錄 ; Wild EK-22 自動座標記錄機

(2) 研究對象 道路의 選定

그림 2의 地形圖上에서 地形의 形態에 따라 ROUTE-1(複雜한 地域)과 ROUTE-2(완만한 傾斜地域) 2개의 道路를 選定하였으며 다음과

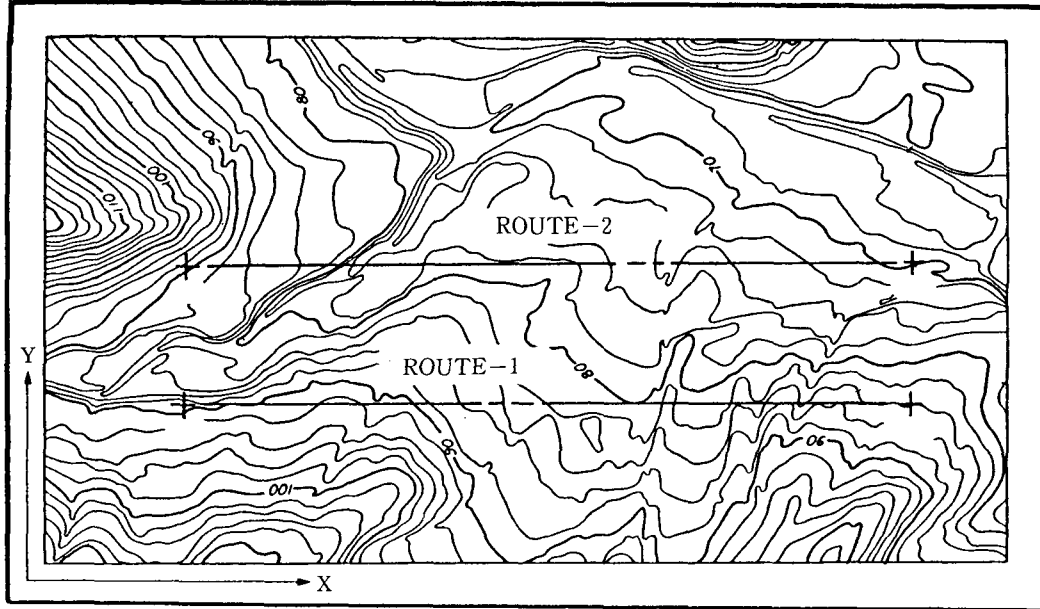


그림 2. 研究對象 地域의 地形圖 및 道路의 中心線(縮尺=1 : 10,000)

* 設計條件

設計條件	地形의 形態	ROUTE-1	ROUTE-2
	道路名	ROUTE-1	ROUTE-2
		複離地域	완만한 傾斜地域
道路의 總延長		480.00 m	480.00 m
道路의 幅		20.00 m	20.00 m
縱斷點의 間隔		20.00 m	20.00 m
道路의 始, 終點의 座標(X_0, Y_0)		100.00 m, 95.00 m	100.00 m, 195.00 m
斜面의 傾斜		盛土 1 : 1 切土 1 : 1	盛土 1 : 1 切土 1 : 1

같은 設計 條件하에서 數值試驗을 實行하였다.

(3) 補間函數 適用에 따른 數值地形모델의 제작

道路의 自動化 設計를 위하여 아래와 같은 4 가지 형태의 모델을 제작하여 數值解析 試驗에 適用하였다.

Lin-1 모델 ① 格子間格(標本點) ; 5.00 m(그림 3 (a) 참조)

② 標本點의 數 ; 8,385 점 (65×129)

Lin-2 모델 ① 格子間格(標本點) ; 10.00 m(그림 3 (b) 참조)

② 標本點의 數 ; 2,145 점 (33×65)

③ 1次 補間點 間隔 및 數 ; 5.00 m, 6,240 점

④ 補間函數 ; Linewise function

BLin-1 모델 ; Lin-2 모델과 모든 제원은 동일하나 補間函數는 Bilinear polynomial(BP)式을 適用하였다(그림 3 (b) 참조).

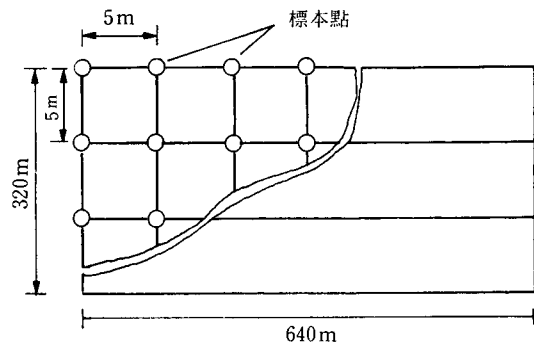
BLin-2 모델 ① 格子間格(標本點) ; 10.00 m(그림 3 (c) 참조)

② 標本點의 數 ; 2,145 점 (33×65)

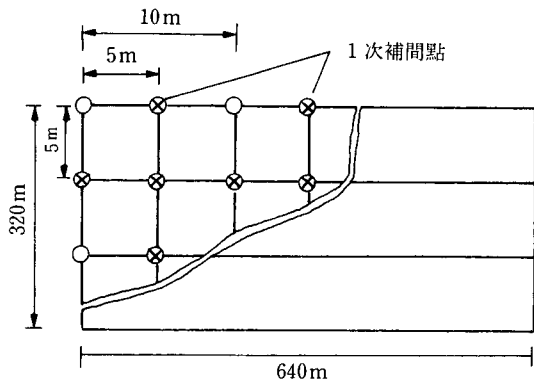
③ 1次補間點 間格 및 數 ; 5.00 m, 6,240 점

④ 2次補間點 間格 및 數 ; 2.50 m, 24,768 점

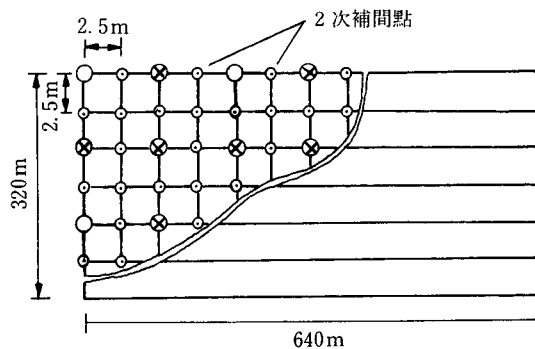
⑤ 補間函數 ; Bilinear polynomial(BP)



(a)



(b)



(c)

그림 3. 格子網과 補間點

(4) 横斷面積 및 土工量の 算定方式

1) 横斷面積의 計算

横斷面積의 컴퓨터 처리를 容易하게 하기 위하여 그림 4와 같이 4가지 경우로 分類하였으며, 横斷點의 抽出間格도 適用한 數值地形모델의 最終 補間點 間格과 同一하게 처리 하였다. 横斷面積 計算方法은 먼저 그림 4의 CASE-2에서 보는 바와 같이 數值地形과 設計斷面이 만나는 점(1, 2, 3, ..., i, ..., n-1, n)들의 座標(x, h)를 各各 구한 후 座標計算方法(coordinate method)을 適用 計算하였다. 즉

$$A_{rea} = 1/2 [h_1(x_2 - x_m) + h_2(x_3 - x_1) + h_3(x_4 - x_2) + \dots + h_n(x_i - x_{n-1})]$$

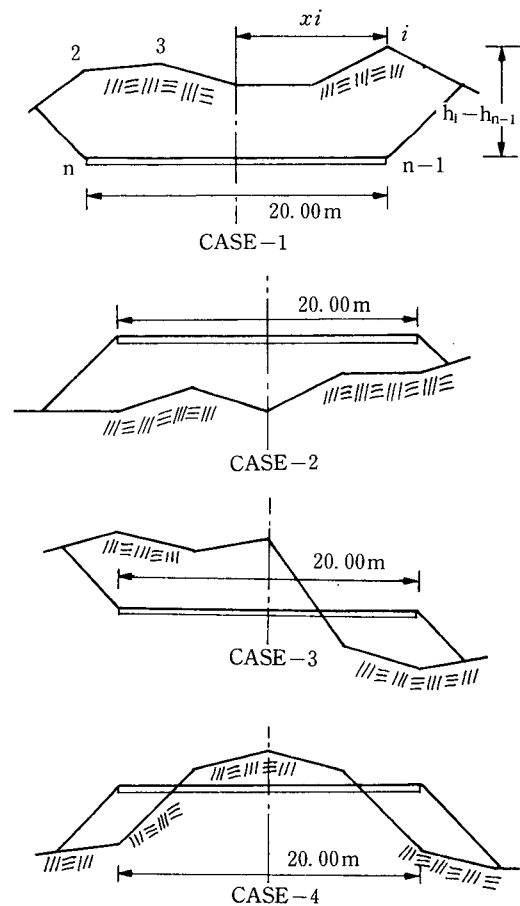


그림 4. 프로그램 작성에 따른 横斷面圖의 分類

2) 土工量の計算

土工量計算은 實務에서 가장 一般的으로 사용하. 兩端平均法(Average-end-area formula)을 適用하였다. 즉

$$V_{\text{olume}} = L/2(A_i + A_{i+1})$$

여기서, L; 縱斷點 間의 間格(20.00 m)

A_i, A_{i+1} ; i 와 $i+1$ 번째의 橫斷面積(盛土, 切土)

數値地形情報의 入力부터 誤差의 分析까지 모든 電算처리 과정은 그림 5의 흐름도와 같다.

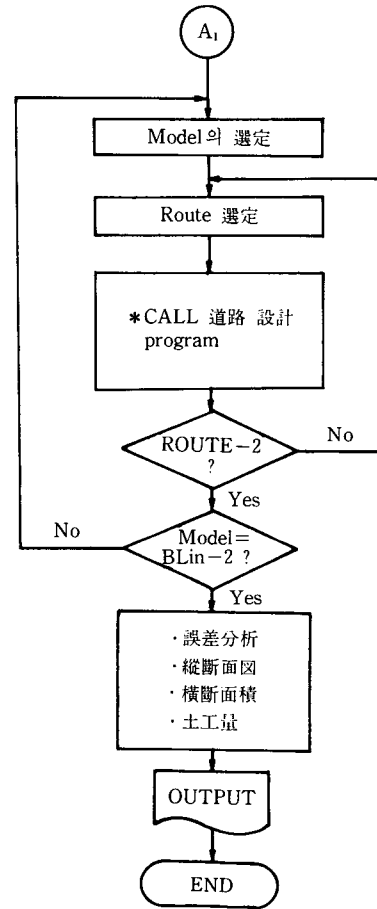
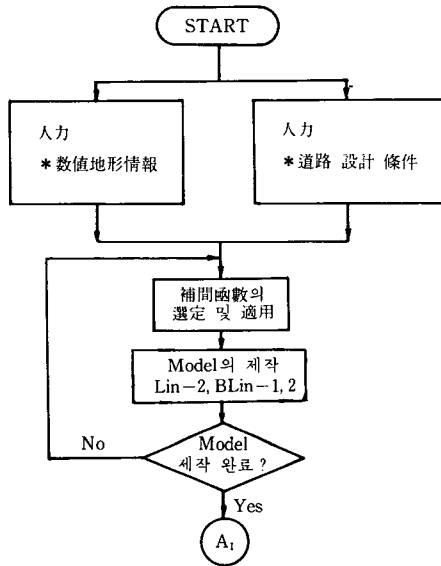


그림 5. Flow Diagram of numerical test in road design

표 1. CROSS-SECTION AREA [m²] *ROUTE-1

St-No	Lin-1		Lin-2		BLin-1		BLin-2	
	C. A	B. A	C. A	B. A	C. A	B. A	C. A	B. A
1	2.34	8.79	23.80	0.62	2.57	7.58	3.02	9.09
2	13.97	51.52	35.23	*16.53	14.83	45.46	14.81	45.46
3	26.08	13.43	44.10	2.41	27.00	20.17	27.00	20.20
4	14.30	27.51	26.01	17.59	13.18	24.59	12.26	28.53
5	48.27	45.08	71.93	34.37	*62.94	42.27	59.36	51.34
6	61.32	66.92	78.33	49.07	60.60	66.50	57.40	76.99
7	51.04	43.79	53.60	51.99	49.40	46.94	46.92	54.25
8	49.33	58.45	67.14	49.33	49.56	59.12	46.84	68.42
9	32.96	39.76	42.60	34.90	33.80	38.33	32.03	44.47
10	18.83	16.63	22.89	10.64	18.64	15.76	17.62	19.13
11	14.45	16.03	21.45	9.97	14.87	15.85	13.98	19.03
12	3.18	4.38	5.65	1.32	7.16	1.03	7.15	1.03
13	3.79	17.23	6.89	8.47	1.95	15.92	1.94	15.93

14	3.02	22.04	0.01	24.87	7.53	24.00	10.49	22.98
15	13.42	44.69	0.88	51.83	17.00	47.58	18.06	45.50
16	19.13	54.27	18.48	49.96	19.44	53.11	25.50	50.66
17	8.53	24.87	1.92	23.61	8.79	24.88	11.86	23.72
18	16.56	55.77	10.41	46.01	17.30	55.49	22.77	53.16
19	6.53	50.06	0.83	40.77	7.10	45.01	10.87	43.34
20	6.86	31.97	0.49	29.54	5.45	35.91	8.79	34.34
21	36.70	0.02	24.05	10.24	34.75	0.17	34.72	0.17
22	27.53	0.82	14.65	19.30	27.30	2.00	27.25	2.00
23	5.33	2.56	14.90	0.04	4.22	2.60	4.20	2.61
24	0.00	36.46	3.33	21.99	0.00	36.49	0.00	6.66
25	3.37	35.82	2.35	22.97	0.00	40.47	0.00	41.03

II 2. CROSS-SECTION AREA [m²] *ROUTE-2

St-No	Lin-1		Lin-2		BLin-1		BLin-2	
	C. A	B. A	C. A	B. A	C. A	B. A	C. A	B. A
1	232.70	31.55	225.84	26.16	231.13	35.32	227.44	43.15
2	31.83	18.26	105.48	15.26	130.57	18.04	128.38	22.31
3	27.30	51.67	5.03	21.05	*3.52	*19.71	*4.49	*19.83
4	6.54	20.48	6.01	50.70	6.77	20.50	6.72	20.50
5	4.05	64.16	2.22	60.21	3.80	68.98	4.24	72.03
6	90.64	12.12	87.35	28.87	94.48	14.58	98.05	13.96
7	91.29	88.86	71.47	116.66	91.24	88.70	102.28	84.22
8	79.23	137.32	55.73	153.48	78.68	141.79	88.51	137.67
9	0.34	113.50	2.51	89.64	0.07	116.36	0.07	116.41
10	18.88	37.50	19.11	38.18	18.67	37.05	18.98	38.36
11	13.16	47.66	24.71	35.55	13.67	47.90	13.63	47.93
12	20.09	37.80	31.41	26.26	18.87	38.46	18.86	38.52
13	45.35	22.16	60.59	9.93	46.03	19.75	46.01	19.79
14	49.79	10.36	53.66	1.54	46.57	8.70	46.51	8.01
15	6.12	13.34	5.46	13.25	2.93	13.33	2.76	14.60
16	7.37	5.65	12.87	4.09	7.20	5.43	8.01	5.63
17	10.17	2.05	9.35	1.63	9.88	2.22	10.14	2.40
18	81.41	4.16	101.65	0.00	79.41	0.81	79.31	0.83
19	62.77	3.43	77.12	0.77	63.86	2.83	63.82	2.83
20	36.18	2.81	14.49	23.20	35.54	1.38	35.48	1.39
21	1.98	19.87	3.45	20.20	2.04	20.15	2.24	24.50
22	1.84	22.41	6.98	15.00	2.59	23.85	2.58	23.88
23	0.43	62.55	6.75	44.16	1.07	61.92	1.06	63.08
24	1.32	107.13	3.15	109.58	1.01	105.78	1.01	106.00
25	22.65	120.38	25.64	119.50	18.26	123.72	16.48	125.43

II 3. EARTH-VOLUME [m³] *ROUTE-1

St-No	Lin-1		Lin-2		BLin-1		BLin-2	
	C. V	B. V	C. V	B. V	C. V	B. V	C. V	B. V
1~ 2	163.18	603.10	590.32	*171.56	174.03	530.47	178.31	545.57
2~ 3	400.61	649.51	793.36	*189.55	418.36	656.42	418.14	656.69
3~ 4	403.92	409.44	701.20	200.12	401.92	447.69	392.72	487.39

4~5	625.81	726.01	979.50	519.69	*761.34	668.69	716.36	798.78
5~6	1095.92	1120.11	1502.66	834.52	*1235.48	1087.79	1167.71	1283.40
6~7	1123.66	1107.24	1319.35	1010.76	1100.10	1134.47	1043.27	1312.57
7~8	1003.76	1022.58	1207.45	1013.30	989.68	1060.70	937.66	1226.82
8~9	822.95	982.23	1097.46	842.31	833.69	974.61	788.75	1128.99
9~10	517.93	563.96	654.93	455.48	524.53	540.96	496.56	636.07
10~11	332.80	326.67	443.44	206.17	335.19	316.19	316.14	381.61
11~12	176.34	204.20	271.07	112.90	220.41	168.95	211.44	200.68
12~13	69.80	216.19	125.46	97.94	91.23	169.62	90.98	169.77
13~14	68.17	392.76	69.06	333.46	94.95	399.25	124.37	389.24
14~15	164.47	667.42	8.93	767.11	245.43	715.83	285.54	684.92
15~16	325.56	989.71	193.60	1018.09	364.48	1007.03	435.62	961.76
16~17	276.62	791.49	204.08	735.84	282.36	780.07	373.65	743.95
17~18	250.96	806.57	123.38	696.27	260.94	803.87	346.36	768.88
18~19	231.02	1058.46	112.40	867.82	244.04	1005.11	336.52	965.11
19~20	134.05	820.39	13.23	703.11	125.57	809.30	196.75	774.90
20~21	435.67	319.92	245.46	397.82	602.13	360.89	435.19	345.14
21~22	642.31	8.40	387.08	295.50	620.59	21.80	619.77	21.82
22~23	328.61	33.84	295.60	193.55	315.24	46.13	314.61	46.23
23~24	53.35	390.30	182.39	220.43	42.27	391.03	42.11	392.81
24~25	33.84	722.90	56.88	449.74	0.04	769.74	0.04	777.02
TOTAL	9681.42	14933.52	11578.40	12333.15	10084.10	14866.71	10268.69	15702.22

㊦ 4. EARTH-VOLUME [m³] *ROUTE-2

St-No	Lin-1		Lin-2		BLin-1		BLin-2	
	C. V	B. V	C. V	B. V	C. V	B. V	C. V	B. V
1~2	3645.32	498.15	3313.24	414.20	3617.09	533.74	3558.31	654.73
2~3	1591.30	699.31	1105.14	363.19	*1340.96	*377.56	*1328.73	*421.50
3~4	338.40	721.50	110.42	717.61	*102.97	*402.13	*112.17	*403.40
4~5	105.96	846.46	82.33	1109.12	105.80	894.83	109.67	925.34
5~6	947.02	762.94	895.74	890.80	982.91	835.67	1022.97	859.99
6~7	1819.44	1009.96	1588.34	1455.35	1857.34	1032.93	2003.42	981.89
7~8	1705.30	2261.93	1272.18	2701.54	1699.34	2305.05	1908.02	2218.94
8~9	795.78	2508.31	582.48	2431.30	787.64	2581.63	885.91	2540.86
9~10	192.26	1510.06	216.26	1278.24	187.45	1534.13	190.54	1547.73
10~11	320.40	851.65	438.34	737.42	323.48	849.50	326.18	862.93
11~12	332.55	854.71	561.33	618.24	325.56	863.65	325.02	846.60
12~13	654.48	599.69	920.08	361.97	649.17	582.24	648.78	583.24
13~14	951.44	325.28	1142.53	114.74	926.17	277.60	925.31	278.11
14~15	559.17	237.12	591.30	147.98	495.17	219.34	492.85	226.15
15~16	135.02	190.04	183.40	173.52	101.37	193.63	107.78	202.31
16~17	175.46	77.05	222.29	57.36	170.80	76.50	181.50	80.30
17~18	915.80	62.15	1110.12	16.42	892.91	30.39	894.52	32.31
18~19	1441.82	76.02	1787.79	7.82	1432.81	36.53	1431.37	36.66
19~20	989.56	62.51	916.19	239.81	994.12	42.20	993.14	42.32
20~21	381.65	226.84	179.44	434.02	375.82	215.35	377.29	258.97
21~22	38.20	422.86	104.31	352.09	46.35	440.01	48.24	483.89
22~23	22.73	849.70	137.36	591.75	36.67	857.80	36.46	869.77

23~24	17.55	1696.90	99.10	1537.46	20.82	1677.17	20.72	1690.91
24~25	239.76	2275.26	287.96	2290.81	192.70	2295.08	174.90	2314.34
TOTAL	18316.48	19626.51	17847.80	19042.84	17665.55	19154.77	18103.91	19381.31

㊦ 5. ELEVATION OF CHAINAGE POINTS ON LONGITUDINAL SECTION *ROUTE[1]

St-No	Lin-1 E. L	E. L	Lin-2 ΔH	ΔH^2	E. L	BLin-1,2 ΔH	ΔH^2
1	+88.90	+91.00	+2.09	4.4099	+89.05	+0.14	0.0224
2	+89.20	+91.40	+2.20	4.8400	+89.40	+0.20	0.0400
3	+90.30	+92.10	+1.80	3.2399	+90.30	+0.00	0.0000
4	+90.70	+91.60	+0.89	0.8099	+90.75	+0.04	0.0024
*5	+91.50	+92.40	+0.90	0.8100	*+93.15	*+1.65	*2.7225
6	+92.80	+93.40	+0.60	0.3600	+92.85	+0.04	0.0024
7	+90.60	+90.50	-0.09	0.0099	+90.55	-0.04	0.0024
8	+90.90	+91.40	+0.50	0.2500	+90.70	-0.20	0.0400
9	+88.10	+88.90	+0.80	0.6400	+88.35	+0.25	0.0625
10	+86.20	+86.40	+0.20	0.0400	+86.20	+0.00	0.0000
11	+85.40	+85.70	+0.29	0.0899	+85.35	-0.05	0.0025
12	+83.40	+83.60	+0.19	0.0399	+83.40	+0.00	0.0000
13	+82.20	+83.30	+1.09	1.2099	+82.50	+0.29	0.0899
14	+81.70	+82.00	+0.29	0.0899	+81.85	+0.14	0.0224
15	+80.59	+80.70	+0.10	0.0120	+80.39	-0.20	0.0400
16	+80.30	+81.20	+0.90	0.8100	+80.50	+0.20	0.0400
17	+82.60	+82.70	+0.10	0.0100	+82.45	-0.14	0.0224
18	+80.50	+82.00	+1.50	2.2500	+81.25	+0.75	0.5625
19	+81.30	+83.30	+2.00	4.0000	+82.25	+0.95	0.9025
20	+83.30	+83.60	+0.29	0.0899	+82.80	-0.50	0.2500
21	+87.00	+87.80	+0.79	0.6399	+86.75	-0.25	0.0625
22	+86.60	+87.10	+0.50	0.2500	+86.45	-0.14	0.0224
23	+86.00	+85.60	-0.40	0.1600	+85.55	-0.45	0.2025
24	+84.20	+84.80	+0.59	0.3599	+84.10	-0.10	0.0100
25	+84.10	+85.20	+1.10	1.2100	+84.30	+0.20	0.0400
TOTAL				26.6321			5.1650

R. M. S. OF CHAINAGE POINT [Lin-2]= ± 1.0321 M(D. F=25)

R. M. S. OF CHAINAGE POINT [BLin-1,2]= ± 0.3190 M(D. F=24)

㊦ 6. ELEVATION OF CHAINAGE POINTS ON LONGITUDINAL SECTION *ROUTE[1]

St-No	Lin-1 E. L	E. L	Lin-2 ΔH	ΔH^2	E. L	BLin-1,2 ΔH	ΔH^2
1	+91.10	+90.20	-0.89	0.8099	+91.60	+0.50	0.2500
2	+88.60	+87.80	-0.79	0.6399	+88.75	+0.15	0.0225
*3	*+82.80	*+85.90	*+3.10	*9.6100	*+85.95	*+3.15	*9.9225
4	+84.80	+84.80	+0.00	0.0000	+84.75	-0.04	0.0024
5	+83.50	+83.80	+0.29	0.0899	+83.65	+0.15	0.0225
6	+81.90	+80.00	-1.90	3.6100	+81.15	-0.75	0.5625
7	+76.09	+77.00	+0.90	0.8280	+75.79	-0.29	0.0899
8	+76.59	+76.50	-0.09	0.0081	+75.70	-0.89	0.7921
9	+77.80	+78.09	+0.29	0.0841	+77.59	-0.20	0.0440

10	+78.40	+78.70	+0.29	0.0899	+78.39	-0.01	0.0001
11	+77.59	+78.50	+0.90	0.8280	+77.54	-0.04	0.0024
12	+77.20	+78.09	+0.89	0.7921	+77.24	+0.03	0.0015
13	+77.30	+78.20	+0.90	0.8100	+77.55	+0.25	0.0625
14	+77.00	+77.70	+0.70	0.4900	+77.25	+0.25	0.0625
15	+75.90	+75.90	+0.00	0.0000	+75.65	-0.25	0.0625
16	+74.30	+74.40	+0.10	0.0100	+74.35	+0.04	0.0024
17	+73.59	+73.80	+0.20	0.0440	+73.75	+0.15	0.0255
18	+75.00	+75.20	+0.20	0.0400	+74.75	-0.25	0.0625
19	+73.80	+74.50	+0.70	0.4900	+73.65	-0.14	0.0224
20	+73.90	+73.59	+0.50	0.2500	+72.89	-0.20	0.0400
21	+72.30	+72.30	+0.00	0.0000	+72.15	-0.14	0.0224
22	+71.50	+71.70	+0.20	0.0400	+71.50	+0.00	0.0000
23	+70.30	+70.90	+0.60	0.3600	+70.55	+0.25	0.0625
24	+69.30	+69.70	+0.40	0.1600	+69.45	+0.15	0.0225
25	+69.09	+69.40	+0.31	0.0961	+68.74	-0.35	0.1225
TOTAL				20.1807			12.2835

R. M. S. OF CHAINAGE POINT [Lin-2] = ± 0.6636 M(D. F=24)

R. M. S. OF CHAINAGE POINT [BLin-1, 2] = ± 0.3136 M(D. F=24)

7. CROSS-SECTION ERROR [m²] *ROUTE-1

St-No	Lin-2		BLin-1		BLin-2	
	C. A	B. A	C. A	B. A	C. A	B. A
1	+21.46	-8.17	+0.23	-1.21	+0.68	+0.30
2	+21.25	*-34.98	+0.85	-6.05	+0.83	-6.05
3	+18.02	-11.01	+0.91	+6.74	+0.91	+6.77
4	+11.70	-9.92	-1.12	-2.91	-2.04	+1.02
5	+23.66	-10.71	*+14.67	-2.81	+11.09	+6.25
6	+17.01	-17.84	-0.71	-0.42	-3.91	+10.07
7	+2.55	+8.19	-1.63	+3.14	-4.12	+10.45
8	+17.81	-9.12	+0.22	+0.66	-2.48	+9.96
9	+9.63	-4.86	+0.84	-1.43	-0.93	+4.71
10	+4.06	-5.98	-0.18	-0.86	-1.20	+2.49
11	+7.00	-6.06	+0.42	-0.17	-0.45	+2.99
12	+2.46	-3.06	+3.98	-3.34	+3.97	-3.34
13	+3.09	-8.75	-1.83	-1.30	-1.85	-1.29
14	-3.00	+2.82	+4.51	+1.95	+7.47	+0.94
15	-12.54	+7.14	+3.57	+2.88	+4.63	+0.80
16	-0.65	-4.30	+0.31	-1.15	+6.37	-3.60
17	-6.60	-1.26	+0.26	+0.00	+3.33	-1.15
18	-6.15	-9.76	+0.73	-0.27	+6.20	-2.61
19	-5.70	-9.29	+0.56	-5.05	+4.34	-6.71
20	-6.37	-2.43	-1.41	+3.94	+1.92	+2.36
21	-12.64	+10.22	-1.94	+0.15	-1.97	+0.15
22	-12.87	+18.48	-0.22	+1.18	-0.27	+1.18
23	+9.57	-2.51	-1.10	+0.04	-1.12	+0.04
24	+3.32	-14.46	+0.00	+0.03	+0.00	+0.20
25	-1.02	-12.84	-3.37	+4.65	-3.37	+5.20

표 8. CROSS-SECTION ERROR [m²] *ROUTE-2

St-No	Lin-2		BLin-1		BLin-2	
	C. A	B. A	C. A	B. A	C. A	B. A
1	-6.86	-5.39	-1.56	+3.77	-5.25	+11.60
2	-26.34	-3.00	-1.25	-0.21	-3.44	+4.05
3	-22.27	-30.61	*-23.78	*-31.95	*-22.81	*-31.83
4	-0.52	+30.22	+0.23	+0.02	+0.18	+0.02
5	-1.83	-3.95	-0.25	+4.81	+0.18	+7.86
6	-3.29	+16.74	+3.84	+2.46	+7.41	+1.84
7	-19.81	+27.79	-0.05	-0.16	+10.98	-4.64
8	-23.49	+16.16	-0.54	+4.47	+9.28	+0.34
9	+2.16	-23.86	-0.27	+2.85	-0.27	+2.90
10	+0.23	+0.68	-0.20	-0.45	+0.10	+0.85
11	+11.55	-12.10	+0.51	+0.23	+0.47	+0.25
12	+11.32	-11.53	-1.21	+0.65	-1.23	+0.72
13	+15.23	-12.23	+0.68	-2.40	+0.66	-2.36
14	+3.86	-8.82	-3.21	-2.36	-3.27	-2.35
15	-0.65	-0.09	-3.18	+0.58	-3.35	+1.25
16	+5.49	-1.55	-0.17	-0.22	+0.63	-0.02
17	-0.81	-0.41	-0.28	+0.17	-0.02	+0.35
18	+20.24	-4.16	-1.99	-3.34	-2.09	-3.33
19	+14.35	-2.65	+1.09	-0.60	+1.05	-0.60
20	-21.69	+20.38	-0.64	-1.42	-0.69	-1.41
21	+1.47	+0.32	+0.06	+0.27	+0.26	+4.63
22	+5.14	-7.40	+0.75	+1.43	+0.74	+1.47
23	+6.32	-18.38	+0.63	-0.62	+0.62	+0.53
24	+1.83	+2.44	-0.31	-1.34	-0.31	-1.13
25	+2.98	-0.88	-4.39	+3.33	-6.17	+5.04

표 9. EARTH-VOLUME ERROR(%)

Model	Lin-2		BLin-2		BLin-2	
	C. V.	B. V.	C. V.	B. V.	C. V.	B. V.
ROUTE-1	+19.59	-12.49	+1.60	-0.04	+6.07	+5.15
ROUTE-2	-2.56	-2.97	-1.00	+0.93	+1.69	+1.92

표 10. R.M.S. OF CROSS SECTION[M²]

Model	Lin-2		BLin-2		BLin-2	
	C. A.	B. A.	C. A.	B. A.	C. A.	B. A.
ROUTE-1	±11.782 (DF=25)	±9.452 (DF=24)	±1.810 (DF=24)	±2.853 (DF=25)	±3.978 (DF=25)	±4.834 (DF=25)
ROUTE-2	±12.505 (DF=25)	±14.332 (DF=25)	±1.681 (DF=24)	±2.169 (DF=24)	±3.930 (DF=24)	±3.675 (DF=24)

4. 結果 및 分析

(1) 數值試驗 結果

表 1, 2, 表 3, 4는 各 Model에 適用한 2개 路線의 橫斷面積 및 土工量을 算定한 結果이며, 表 5, 6, 表 7, 8은 다음 假定하에서 Lin-1 모델에 의하여 算定된 設計값(眞값)과 Lin-2, BLin

-1, BLin-2 모델들을 이용하여 算定된 縱斷點의 標高差(ΔH), 橫斷面積(盛土, 切土)의 差(ΔA)를 計算한 結果值이다.

假定; Lin-1 모델에서 算定된 各路線(ROUTE -1, 2)의 設計값에는 誤差가 없는 값(眞값)으로 한다.

(2) 結果 分析

數值地形모델을 이용한 土工量을 正析하는데 있어서는 正確度와 救率性을 검토하는 것이 타당성이 있다고 思料되어 본 논문에서는 이 두 方法에 의하여 검토되었다.

또한, 誤差分析을 위해서는 다음과 같은 標準 誤差(σ)式을 사용하였으며 $\pm 3\sigma$ 이상의 結果值 誤差는 過大誤差(Gross error)로 보아 標準誤差 및 土工量 計算에서 제외시키고 계산하였다. (表에서 *로 표시함)

一. 標高에 대한 標準誤差(σ_h)

$$\Delta H_i = H_i^0 - H_i$$

$$\sigma_h = \pm \left[\frac{1}{n} (\Delta H_1^2) + (\Delta H_2)^2 \dots + (\Delta H_n)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

一. 橫斷面積에 대한 標準誤差(σ_A)

$$\Delta A_i = A_i^0 - A_i$$

$$\sigma_A = \pm \left[\frac{1}{n} (\Delta A_1)^2 + (\Delta A_2)^2 \dots + (\Delta A_n)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

여기서, H_i^0, A_i^0 ; Lin-1 모델의 設計값(眞값)
 H_i, A_i ; Lin-2, BLin-1, BLin-2 모델의 設計값

正確度·分析을 돕기 위하여 그림 6, 7을 작성, 縱斷點들의 補間標高에 대한 높이 誤差를 視覺的으로 느끼게 하였으며 또한 橫斷面積의 標準

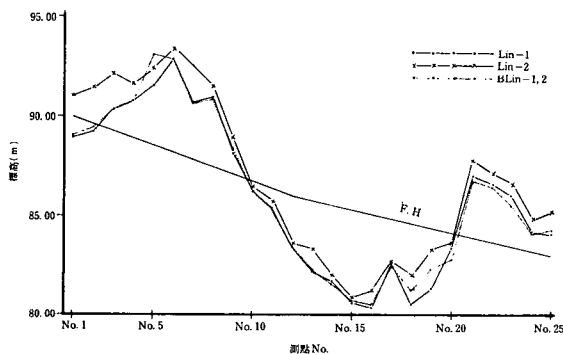


그림 6. 縱斷面圖(ROUTE-1)

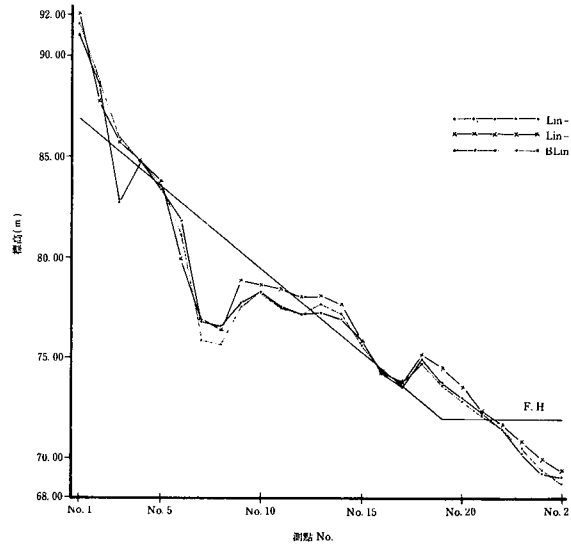


그림 7. 縱斷面圖(ROUTE-2)

誤差(RMS)와 土工量에 대한 오차를 百分率(%)로 計算하고 表 9와 10에 수록하였다.

이를 綜合하여 各 모델들의 正確度 分析 結果는 다음과 같았다.

· Lin-2 모델; Linewise function을 補間函數로 適用한 모델로써 複雜地域(ROUTE-1)과 완만한 傾斜地域(ROUTE-2) 모두 橫斷面積에 대한 R.M.S. 값(表 10 참조)이 약 $\pm 12 \text{ m}^2$ 으로 크게 計算되어 正確度가 매우 떨어짐을 알 수 있었다. 또한 土工量 計算에 있어서는 ROUTE-1에서 약 10%~20% 오차를 가져온 반면에 ROUTE-2에서는 약 3% 정도만이 차이가 나지 않았다. 이러한 현상을 橫斷面積의 R.M.S.와 함께 고려하여 볼 때 매우 신뢰성이 떨어진다는 것이다. 그러므로 Linewise function은 토공량 計算時에는 適用을 하지 않는 편이 좋을 것으로 思料된다.

· BLin-1 모델; BiLinear function을 補間函數로 適用하고 1次 補間만을 한 數值地形모델로써 ROUTE-1과 ROUTE-2 모두에 斷面積에 대한 R.M.S.가 약 $\pm 2.0 \text{ m}^2$ 으로 고르게 計算되어 確度가 좋았으며, 또한 土工量計算의 誤差도 盛土量과 切土量 약 0.5%, 1.3%로 計算되었다. 이 모델의 특징중 가장 두드러지는 점은 모든 誤差의 分布가 고르게 計算 되었다는 것이

다. 이러한 결과는 BiLinear function 이 補間函數로서 여러가지 地形에 잘 부합된다는 것을 증명해 주는 결과로 사료되어진다.

· BLin-2 모델 ; 이 모델은 BLin-1 모델을 1 회 더 補間시켜 補間回數를 2 次로 한, 다시 말해서 格子網의 간격을 더 細分化 시켜 제작한 모델로써 橫斷面積의 R.M.S는 약 $\pm 4.0 m^2$ 으로 계산되었으며 土工量 計算에 따른 誤差는 複雜地域에서 약 5.5% 완만한 傾斜地域에서 약 1.8%의 差異가 있는 誤差가 計算되었다. 이 모델 또한 正確度を 생각할때 일관성이 없음을 알 수 있었다. 그러나 이 모델은 補間法 適用 回數에 대한 귀중한 資料를 제공해주는 계기가 되었으며 결코 補間回數와 증대와 正確度の 증대는 比例되지 않는다는 理論을 정립하는데 큰 도움을 주었다.

效率性 分析은 計算에 소요된 時間(表 11 참조)과 土工量算定에 따른 誤差를 같이 고려하여 分析하였다.

표 11. TIMES OF COMPUTATION IN ROADWAY DESIGN(Seiko 9100 micro computer)

Model	Lin-1	Lin-2	BLin-1	BLin-2
ROUTE-1	3M32S	4M55S	7M50S	15M20S
ROUTE-2	5M 7S	7M26S	10M23S	20M50S

計算에 따른 소요시간은 가장 正確도가 좋은 BLin-1을 기준으로 할 때에 Lin-2 모델은 약 35% 정도 시간이 적게 소요되었으며 BLin-2 모델은 약 2 배 정도 시간이 더 소요되었다.

數值試驗 結果를 모두 綜合하여 볼때 Lin-2 모델은 計算時間은 가장 效率性이 있으나 土工量 計算에 따른 正確성은 가장 떨어지는 結果를 가져왔으며, BLin-1 모델은 計算時間도 效率性이 있고 또한 土工量の 誤差도 고르게 나타나면서 正確性도 확보되어 가장 좋은 結果를 가져왔다고 생각한다. 또한 BLin-2 모델은 計算時間이 너무 길어 效率性이 없었으며 土工量 計算에 따른 誤差도 고르게 나타나지 않아 土工量 計算에는 不適合 한 것으로 사료되어진다.

5. 結 論

本 數值試驗 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 道路의 土工量 算定時 補間函數로는 正確도와 效率性面에서 볼 때 單純線形函數보다 雙一次函數가 더욱 效果的임을 알 수 있다.
2. 土工量算定에 따른 正確도는 반듯이 補間回數와 比例되지 않는다.
3. 數值地形모델에서 標本點의 獲得이 매우 重要한 要素이지만 補間函數의 選定이 土工量 計算時 대단후 큰 영향을 준다는 사실과 아울러 그의 重要性을 재 인식시켜 주었다.

參考文獻

1. Makarovic, B., "Progressive Sampling for Digital Terrain Models," ITC, Journal, 1973. 3, p. 397.
2. Kam, W. Wong, "Accuracy of Earth work Calculation from Digital Elevation Data," American Society of Photogrammetry, 1983. 1, pp. 103-109.
3. Leberl, F., "Interpolation in Square Grid DTM," ITC, Journal, 1973. 5, p. 756.
4. Kubik, K., "The Application of Piecewise Polynomials to problems of Curve Surface Approximation" Rij Kscoaterstaat Communication, No. 12, 1971.
5. Teshe, T. W., Bergstron, R. W., "Use of Digital Terrain Data in Meteorological Air Quality Modeling," PE & RS, Dec 1978, p. 1549.
6. Tuladhar, A. M., Makarovic, B., "Upgrading DTMs from Contour lines Using photogrammetric selective sampling" ITC, Journal, 1988-4.
7. Morris, P. E., "Errors in practical Measurement in Science, Engineering, and Technology," John Wiley & Sons, p. 27-65.
8. 이석찬의 2인, "이동평균법과 선형예측법을 이용한 수치지형의 보간에 관한 연구" 한국측지학회, 1986. 6.
9. 이석찬, 조규전, "수치지형모델에 관한연구", 대한토목학회 1982. 3, p. 93.
10. Carl, F. M., David, W. G., "Route Surveying and Design" Harper & Row, p. 113-147.