

電磁波距離測量機(EDM)의 信賴性에 관한 實驗的 研究 An Experimental Study on the Reliability of Electronic Distance Meter.

徐 採 演* 李 啓 鶴**
Seo Chae-Yeon Lee Kye-Hak

要 旨

近代 電磁波距離測量機(EDM)에 의한 Traverse測量과 三邊測量이 널리 活用되고 있어 EDM의 信賴性에 관한 研究가 切實히 要請된다. 本 研究에서는 三角測量과 三邊測量의 邊長結果를 統計分析하고, Traverse網의 偏位를 計算하므로써 EDM의 信賴性을 檢討하였다. 따라서 本 研究結果로 EDM과 Steel Tape와의 補正式을 얻었으며, 또한 各 邊長間의 誤差를 統計分析한 結果는 相關係數가 0.89~0.98인 直線回歸式으로 表示되었다. 그리고 Traverse網의 偏位를 檢討한 結果 補正EDM으로 計算된 偏位가 가장 작은 값으로 나타났다.

ABSTRACT

Electronic Distance Meter(EDM) is widely used for the traverse surveying and trilateration net recently, therefore, the study on reliability of EDM is very important. In this study, the reliability of EDM is examined by calculating the distortion of traverse surveying net, statistically analyzing the results of side length between triangulation and trilateration. As the result of this study, correction equation of EDM and steel-tape is obtained. And also, linear regression equations with correlation coefficient (0.89~0.98) show resulting from the error analysis of each side length. In addition to checking the distortion of traverse surveying net, distortion calculated with correction EDM appears to be the smallest value.

1. 序 論

從來의 距離測量은 tape에 依存하여 長距離의 精密測定이 어려웠다. 이러한 難點을 最小限으로 限定시키는 것이 三角測量으로 지금까지 基準點測量에 利用해 왔다.

그러나 最近에는 光學測量에 의한 測量技術이 현저하게 發達하여 日本을 비롯한 유럽, 美國 등지에서 製作된 高精度의 電磁波距離測量機(Electronic Distance Meter, EDM)가 導入되어, traverse測量 및 三邊測量도 三角測量과 같이 實用的으로 使用되고 있어서 EDM의 信賴性을 糾明할 必要가 있다.¹⁾²⁾³⁾

本 研究에서는 tape와 EDM에 의한 traverse網의 偏位를 計算하므로써 EDM의 信賴

性을 檢討하고, 三角測量과 EDM에 의한 三邊測量의 兩測量方法으로 三角網에 관한 邊長結果를 統計分析을 通해서 比較하여 EDM의 信賴性을 檢討하였다.

2. 統計分析 理論

(1) 最小제곱법에 의한 回歸線

實測값 y_i 와 推定값 $a+bx_i$ 간의 差의 제곱의 合은 다음 式(2-1)과 같다.

$$D = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \dots\dots\dots (2-1)$$

式(2-1)을 最小로 하는 a와 b는 式(2-2)로 決定되며, 이때 D의 값은 最小로 된다.⁴⁾⁵⁾⁶⁾

$$\left. \begin{aligned} b &= \frac{S_{xy}}{S_x^2} \\ a &= \bar{y} - b\bar{x} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-2)$$

여기서

* 全南大學校 工科大學 教授
** 全南大學校 工科大學 教授

$S_x = \sum(x_i - \bar{x}), S_{xy} = \sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ 이다.

(2) 重線型 回歸分析

一般的으로 獨立變數의 數가 k個인 경우의 重線型 回歸模型은 다음 式(2-3)으로 表示된다.⁵⁾⁶⁾

$$\left. \begin{aligned} Y_i &= \alpha + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + e_i \\ i &= 1, 2, 3, \dots, n \\ e_i &\sim N(0, \sigma^2) \\ Cov(e_i, e_j) &= 0, i \neq j \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-3)$$

이를 行列로 나타내면 다음 式(2-4)가 되며

$$Y = X\beta + e \dots\dots\dots(2-4)$$

여기서 Y, X, β 와 e는 各各 다음과 같다.

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix}$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix}$$

이 正規方程式을 滿足시키는 β 의 解를 $\hat{\beta}$ 로 놓으면 다음 式(2-5)가 되며

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{\alpha} \\ \hat{\beta}_1 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} = (X^T X)^{-1} X^T Y \dots\dots\dots(2-5)$$

이는 β 의 最小제곱 推定값으로 獨立變數의 數에 關係없이 一定하다.

(3) 曲線回歸分析(二次曲線)

2次曲線 回歸模型은 다음 式(2-6)으로 表示되며,

$$\left. \begin{aligned} Y_i &= \alpha + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + e_i \\ e_i &\sim N(0, \sigma^2), i=1, 2, \dots, n \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-6)$$

α, β_1 및 β_2 의 最小제곱 推定값은 다음 式(2-7)과 같다.⁵⁾⁶⁾⁷⁾

$$\begin{bmatrix} \hat{\alpha} \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \end{bmatrix} = (X^T X)^{-1} X^T Y \dots\dots\dots(2-7)$$

여기서 X와 Y는 各各 다음과 같다.

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 \\ 1 & x_2 & x_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

(4) 相關 및 重相關分析

2個의 確率變數 X, Y에 대한 n個의 資料를 $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$ 으로 表示하고, $(X_i, Y_i), i=1, 2, \dots, n$ 는 同一한 二變量分布를 따르며 또한 (X_i, Y_i) 와 $(X_j, Y_j), i \neq j$ 는 서로 獨立이다.

이때 어떤 二變量相關係數는 式(2-8)로 나타낸다.

$$R = \frac{\frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n-1}}{\sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \sqrt{\frac{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}}} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_x^2 \cdot S_y^2}} \dots\dots\dots(2-8)$$

여기서 $S_{xy} = \sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}), S_x^2 = \sum(X_i - \bar{X})^2,$

$$S_y^2 = \sum(Y_i - \bar{Y})^2 \text{이다.}$$

또한 重相關係數는 總제곱합(SST)에 대한 回歸제곱합(SSR)의 比의 推定값으로 表示된다.

總제곱합은 다음 式(2-9)에 의해 計算된다.

$$SST = \sum(y_i - \bar{y})^2 = Y^T Y - n(\bar{y})^2 \dots\dots\dots(2-9)$$

그리고 回歸제곱합을 定義하는 式은 다음 式(2-10)과 같다.

$$SSR = \sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2 = \hat{Y}^T \hat{Y} - n(\bar{y})^2 \dots\dots\dots(2-10)$$

여기서 $\hat{Y} = X\hat{\beta}$ 이고, $\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y$ 이므로

$$\begin{aligned} SSR &= \hat{\beta}^T X^T X \hat{\beta} - n(\bar{y})^2 \\ &= \hat{\beta}^T X^T X (X^T X)^{-1} X^T Y - n(\bar{y})^2 \\ &= \hat{\beta}^T X^T Y - n(\bar{y})^2 \dots\dots\dots(2-11) \end{aligned}$$

이 된다.

따라서 式(2-9)와 式(2-11)로부터 重相關係數를 구할 수 있다. ⁵⁾⁶⁾⁷⁾

$$R = \sqrt{\frac{SSR}{SST}} \dots\dots\dots(2-12)$$

3. 試驗觀測

(1) 觀測機具 및 性能

本 試驗에 使用한 電磁波距離測量機(EDM)는 Swiss製 Wild DI20으로 測定範圍 最大14 km, 標準偏差 3mm+1ppm으로서, Wild T2인 1秒讀theodolite와 一體化하여 同一視準에 距離와 角을 同時에 求할 수 있어 操作性의 效果가 매우 우수하다.

이 EDM의 大氣에 對한 補正式은 式(3-1)과 같고 이를 graph로 圖示하면 Fig. 1과 같다. ⁸⁾

$$\Delta D = 282.2 - \frac{0.2908 \times P}{1 + 0.00366 \times t} \dots\dots\dots(3-1)$$

여기서 ΔD = 大氣補正量(ppm), P = 氣壓(mb), t = 溫度(°C) 또한 本 試驗觀測에 利用된 機具로 steel tape는 Taiwan製 PLAS model 23250, 溫度計는 日製 Sato精密棒溫度計(氣象臺 觀測用), 氣壓計는 日製 Sato Barometer를 使用했다.

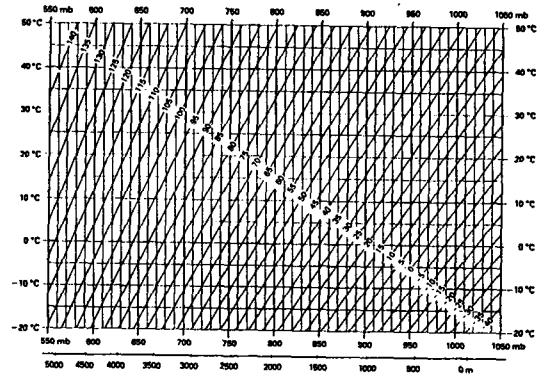


Fig. 1 Correction to Atmosphere of EDM

(2) Tape와 EDM과의 測距比較

本 試驗觀測은 1988年9月中의 淸明한 날을 擇하여 全南·羅州·南平 airstrip에서 基準長 1km에 對해 10區間으로 나누어 tape와 EDM과의 距離를 測定한 結果는 Table 1과 같다. 여기서 l_T, l_E = tape 및 EDM에 관한 測距, d = 標準偏差, P = 確率誤差, $1/A$ = 精度, Δl = 器差를 表示하며, l_T 는 溫度, 張力, 傾斜補正을 實施한 값이다.

Table 1. Comparison of Measured Value between Tape and EDM

Side Length	TAPE				EDM				$l_T - l_E$ Δl (mm)
	l_T (m)	d (mm)	P (mm)	$1/A$	l_E (m)	d (mm)	P (mm)	$1/A$	
0-1	100.01817	1.15	0.25	1/400,100	100.02085	0.49	0.07	$\frac{1}{1,355,100}$	-2.68
1-2	100.03432	0.97	0.21	1/476,400	100.03520	0.41	0.06	$\frac{1}{1,616,200}$	-0.88
2-3	100.02152	0.83	0.18	1/555,700	100.02245	0.51	0.08	$\frac{1}{1,299,300}$	-0.93
3-4	100.01300	1.17	0.25	1/400,000	100.01395	0.48	0.10	$\frac{1}{970,700}$	-0.95
4-5	100.01619	1.26	0.27	1/370,400	100.01720	0.41	0.06	$\frac{1}{1,616,000}$	-1.01
5-6	100.01645	1.35	0.29	1/344,900	100.01750	0.66	0.10	$\frac{1}{1,009,500}$	-1.05
6-7	100.01925	1.09	0.23	1/434,900	100.02035	0.49	0.07	$\frac{1}{1,355,200}$	-1.10

7-8	100.02221	0.87	0.19	1/526,400	100.02335	0.44	0.07	$\frac{1}{1,492,800}$	-1.14
8-9	100.02239	0.89	0.19	1/526,400	100.02359	0.73	0.11	$\frac{1}{905,000}$	-1.20
9-10	100.02839	1.47	0.31	1/322,700	100.02961	0.69	0.10	$\frac{1}{966,300}$	-1.22
Average		1.105	0.237	1/435,790		0.531	0.082	$\frac{1}{1,258,610}$	-1.22

(Table 1)로부터 tape 및 EDM의 確率誤差가 1mm以下の 높은 精度가 얻어졌으며, 그 器差의 平均값도 -1.22mm였다.

(3) 基線長과 EDM의 測距와의 關係

Tape의 累加基線長 $L_B(m)$ 와 EDM에 의한 累加測距 $L_E(m)$ 와의 器差 $\Delta L(mm)$ 를 算出하면 (Table 2)와 같다.

EDM의 測距 L_E 와 ΔL 과의 關係式은 回歸分析 및 相關分析의 結果式(3-2)와 같이 表示된다.

$$\Delta L = -1.85476 - 0.80750 \times 10^{-2} L_E - 0.22303 \times 10^{-5} L_E^2$$

$$(R = -0.99857) \dots\dots\dots (3-2)$$

여기서, R=重相關係數이다.

Table 2. Cumulative Length by Tape and EDM

No.	Cumulative Length by Tape $L_B(m)$	Cumulative Length by EDM $L_E(m)$	$\Delta L = L_T - L_E (mm)$
1	100.01817	100.02085	- 2.68
2	200.05249	200.05605	- 3.56
3	300.07401	300.07850	- 4.49
4	400.08701	400.09245	- 5.44
5	500.10320	500.10965	- 6.45
6	600.11965	600.12715	- 7.50
7	700.13890	700.14750	- 8.60
8	800.16111	800.17085	- 9.74
9	900.17246	900.18340	-10.94
10	1000.20089	1000.21305	-12.16

式(3-2)로부터 tape의 基線長과 EDM의 測距와의 器差는 2次拋物線으로 變化하며, 이 傾向은 tape의 늘어난 誤差 등이 原因이라고 생각되지만 tape의 種類, 材質 및 EDM의 機種에 의해 2次函數가 다르게 나타난다.

다시 表示하면 補正距離 $L'_E(m)$ 는

$$L'_E = L_E + \Delta L \dots\dots\dots (3-3)$$

으로 된다.

(4) 單列三角測量과 EDM에 의한 三邊測量

本 試驗觀測은 光州直轄市 光山區 極樂橋 附近의 極樂江 兩堤防을 連結 單列三角網을 構成하여 1988年8월에 觀測하였다. 이때 各 測線은 Wild DI20電磁波距離測量機로 測定하였으며, 角은 Wild T2 1秒讀theodolite로 觀測하였다. 그 現況圖를 Fig. 2에 나타냈다.

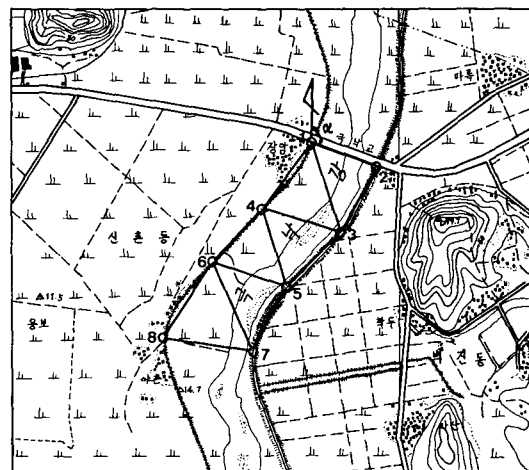


Fig. 2 Topographic Map on the Triangulation Net

1) 單列三角網의 調整

各 測點에의 測角은 1秒讀theodolite로 5對回 測定하고, 그 平均값을 實測交角으로 했다. 各 交角 a_1 은 <Table 3>과 같으며 實測交角 a_1 을 利用하여 單列三角網을 調整計算하여 얻어진 補正實測角을 <Table 3>의 a_2 란에 表示하였다.⁹⁾¹⁰⁾

여기서 實測角과 調整角과의 差를 구한 結果 (Table 3) 平均 $-0.50''$ 로 이 값은 實測角이

상당히 信賴性이 있다고 思料된다. 이 調整角과 測線1~2의 steel tape에 의한 基線長으로부터 三角網의 各 邊長을 計算하여 Table 4의 l_7 란에 記入하였다.

2) EDM에 의한 三邊測量

EDM에 의한 單列三角網의 邊長測定은 各 測點間에 EDM本體 및 反射鏡(reflector)을 移動設置하고 往復 5回 測定해서 그 平均값을 구한 것이 Table 4의 l_E 이다.

Table 3. Angle of Measurement and Correction

Tri-angle	Angle	Measurement Angle (a_1)	Correction Angle (a_2)	Calculated Value by Trilateration (a_3)	$a_1 - a_2$ (sec)	$a_1 - a_3$ (sec)	$a_2 - a_3$ (sec)	Average (sec)
I	A ₁	83-10-31.6	83-10-32.92	83-10-32.62	-1.32	-1.02	0.30	-0.68
	B ₁	45-09-03.3	45-09-02.96	45-09-03.09	0.34	0.21	-0.13	0.14
	C ₁	51-40-24.2	51-40-24.12	51-40-24.29	0.08	-0.09	-0.17	-0.06
	Total	179-59-59.1	180-00-00	180-00-00	-0.90	-0.90	0.00	-0.60
II	A ₂	55-37-47.6	55-37-48.67	55-37-48.60	-1.07	-1.00	0.07	-0.67
	B ₂	66-42-33.8	66-42-33.22	66-42-32.98	0.58	0.82	0.24	0.55
	C ₂	57-39-37.3	57-39-38.11	57-39-38.43	-0.81	-1.13	-0.32	-0.75
	Total	179-59-58.7	180-00-00	180-00-00.01	-1.30	-1.31	-0.01	-0.87
III	A ₃	60-13-36.6	60-13-38.22	60-13-38.22	-1.62	-1.62	0.00	-1.08
	B ₃	57-24-45.1	57-24-45.06	57-24-45.09	0.04	0.01	-0.03	0.01
	C ₃	62-21-36.5	62-21-36.72	62-21-36.69	-0.22	-0.19	0.03	-0.13
	Total	179-59-58.2	180-00-00	180-00-00	-1.80	-1.80	0.00	-1.20
IV	A ₄	57-29-55.8	57-29-57.07	57-29-57.02	-1.27	-1.22	0.05	-0.82
	B ₄	63-18-46.0	63-18-45.62	63-18-45.45	0.38	0.55	0.17	0.37
	C ₄	59-11-16.3	59-11-17.31	59-11-17.53	-1.01	-1.23	-0.22	-0.82
	Total	179-59-58.1	180-00-00	180-00-00	-1.90	-1.90	0.00	-1.27
V	A ₅	79-52-18.5	79-52-19.96	79-52-19.75	-1.46	-1.25	0.21	-0.83
	B ₅	53-37-05.0	53-37-04.79	53-37-04.88	0.21	0.12	-0.09	0.08
	C ₅	46-30-35.2	46-30-35.25	46-30-35.37	-0.05	-0.17	-0.12	-0.12
	Total	179-59-58.7	180-00-00	180-00-00	-1.30	-1.30	0.00	-0.87
VI	A ₆	58-01-24.1	58-01-25.34	58-01-25.52	-1.24	-1.42	-0.18	-0.95
	B ₆	70-14-38.8	70-14-38.38	70-14-38.18	0.42	0.62	0.20	0.42
	C ₆	51-43-55.3	51-43-56.28	51-43-56.30	-0.98	-1.00	-0.02	-0.67

	Total	179-59-58.2	180-00-00	180-00-00	-1.80	-1.80	0.00	-1.20
Sum Total		1079-59-51.0	1080-0.0-00	1080-00-00.01	-9.00	-9.01	-0.01	-6.01
Average					-0.50	-0.50	0.00	-0.33

Table 4. Comparison of side Length by Triangulation Net

Side Length	l_T (m)	l_E (m)	l_1 (m)	l_2 (m)	$l_T - l_E$ (mm)	$l_T - l_1$ (mm)	$l_T - l_2$ (mm)	$l_E - l_1$ (mm)	$l_E - l_2$ (mm)	$l_1 - l_2$ (mm)
1-2	362.47011	362.47580	362.47580	362.47073	-5.69	-5.69	-0.62	0	5.07	5.07
1-3	507.64399	507.65156	507.65196	507.64486	-7.57	-7.97	-0.87	-0.40	6.70	7.10
1-4	466.95774	466.96539	466.96507	466.95854	-7.65	-7.32	-0.76	-0.32	6.85	6.57
2-3	401.08221	401.08852	401.08850	401.08289	-6.31	-6.29	-0.68	-0.02	5.63	5.61
3-4	456.18983	456.19675	456.19699	456.19061	-6.92	-7.16	-0.78	0.24	6.14	6.38
3-5	479.63981	479.64700	479.64733	479.64063	-7.19	-7.52	-0.82	-0.33	6.37	6.70
4-5	469.95935	469.96643	469.96673	469.96015	-7.08	-7.38	-0.80	-0.30	6.28	6.58
4-6	451.75113	451.75841	451.75823	451.75191	-7.28	-7.10	-0.78	-0.18	6.50	6.32
5-6	443.61398	443.62077	443.62094	443.61473	-6.79	-6.96	-0.75	-0.17	6.04	6.21
5-7	399.75944	399.76565	399.76571	399.76012	-6.21	-6.27	-0.68	-0.06	5.53	5.59
6-7	542.43243	542.44047	542.44095	542.43336	-8.04	-8.52	-0.93	-0.48	7.11	7.59
6-8	452.51221	452.51911	452.51932	452.51299	-6.90	-7.11	-0.78	-0.21	6.12	6.33
7-8	488.90430	488.91197	488.91198	488.90513	-7.67	-7.68	-0.83	-0.01	6.84	6.85
Average					-7.02	-7.15	-0.78	-0.20	6.24	6.38

* l_T : 1基線은 steel tape, 각 邊長은 三角網의 邊長計算값

l_E : EDM의 實測값

l_1 : 1基線은 EDM, 각 邊長은 三角網의 邊長計算값

l_2 : 1基線은 補正EDM, 각 邊長은 三角網의 邊長計算값

여기에서 EDM에 의한 邊長의 測定값에 관한 計算處理는 우선 最初의 實測邊長으로부터 交角을 算出하는 平面三角法의 cosine第2法則에 의해 各 交角을 구하여 Table 3의 a_3 란에 表示했다.⁹⁾¹¹⁾¹²⁾

또한, 한번을 tape 基線 代身에 EDM의 測定值를 基線으로한 三角網의 邊長計算은 Table 4의 l_1 란에 表示했다.

한편 EDM距離를 式(3-2), (3-3)에 의해 補正하고, tape基線 代身에 補正EDM距離를 利用한 三角網의 邊長計算은 Table 4의 l_2 란에 表示했다.

3) 三角網의 邊長比較

① Tape에 의한 邊長과의 比較

Table 4로부터 器差($l_T - l_E$)는 平均 -7.02

mm, ($l_T - l_1$)은 -7.15mm이므로 精度로서는 상당히 큰 값을 얻었으며, tape와 補正EDM의 關係에서 ($l_T - l_2$)는 平均誤差가 -0.78mm로 EDM距離의 補正式이 상당히 有効한 것임을 알았다.

② EDM에 의한 邊長과의 比較

Table 4의 ($l_T - l_E$), ($l_E - l_1$) 그리고 ($l_E - l_2$)는 各各 平均값이 -7.02mm, -0.20mm 및 6.24mm로서 그 중($l_E - l_1$)이 가장 작게 나타났다.

이는 EDM三邊測量 邊長(l_E)과 1邊을 EDM 基線으로한 三角測量 邊長(l_1)의 差가 가장 微小한 差異라는 것을 알 수 있고 結果的으로 ($l_E - l_1$)의 값으로부터 EDM에 의한 三邊測量은 상당히 信賴性이 높다고 할 수 있다.

4) 各 邊長誤差의 統計分析

① 回歸分析과 相關分析

〈Table4〉의 各 邊長誤差間을 回歸分析하면 다음 式(3-4)~(3-9)로 나타나며,

$$(l_T - l_E) = -0.995 + 0.843(l_T - l_1) \quad R = 0.95292 \quad \dots\dots\dots(3-4)$$

$$(l_T - l_E) = -1.309 + 7.369(l_T - l_2) \quad R = 0.91786 \quad \dots\dots\dots(3-5)$$

$$(l_T - l_1) = -0.176 + 8.996(l_T - l_2) \quad R = 0.97099 \quad \dots\dots\dots(3-6)$$

$$(l_E - l_T) = 6.072 - 4.080(l_E - l_1) \quad R = -0.90712 \quad \dots\dots\dots(3-7)$$

$$(l_E - l_T) = -0.053 + 1.133(l_E - l_2) \quad R = 0.97911 \quad \dots\dots\dots(3-8)$$

$$(l_E - l_1) = 1.176 - 0.225(l_E - l_2) \quad R = -0.89008 \quad \dots\dots\dots(3-9)$$

이 式들을 그림으로 나타낸 것이 Fig. 3~8이다.

이 그림들은 모두 極히 높은 直線的 關聯性의

相關을 나타내며(相關係數 $R=0.89\sim 0.98$), 여기에서의 關係는 모두 直線回歸式(Fig. 12~17의 實線)으로 表示되었다.

단, 相關係數를 2變數間의 直線的 關聯性의 尺度로 解析한 것은 純粹한 數學的 解析이었고, 이들 變數사이에 어떠한 因果關係의 意味는 없다.

또, tape 및 EDM에 關한 邊長誤差間의 重 回歸分析을 하면 各各 다음과 같은 式(3-10), (3-11)이 얻어진다.

$$(l_T - l_E) = -0.93268 + 2.13526(l_T - l_1) - 11.83927(l_T - l_2) \quad (R=0.97325) \quad \dots\dots\dots(3-10)$$

$$(l_E - l_T) = 0.11129 - 0.18652(l_E - l_1) + 1.00750(l_E - l_2) \quad (R=0.99962) \quad \dots\dots\dots(3-11)$$

여기서 R =重相關係數이다.

② EDM에 의한 各 邊長誤差의 豫測

여기서는 높은 精度의 EDM距離에 의한 各

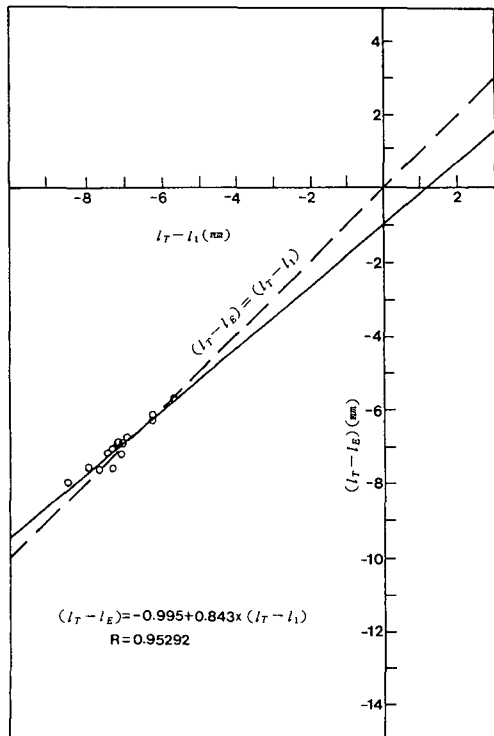


Fig. 3 Relationship between $(l_T - l_E)$ and $(l_T - l_1)$

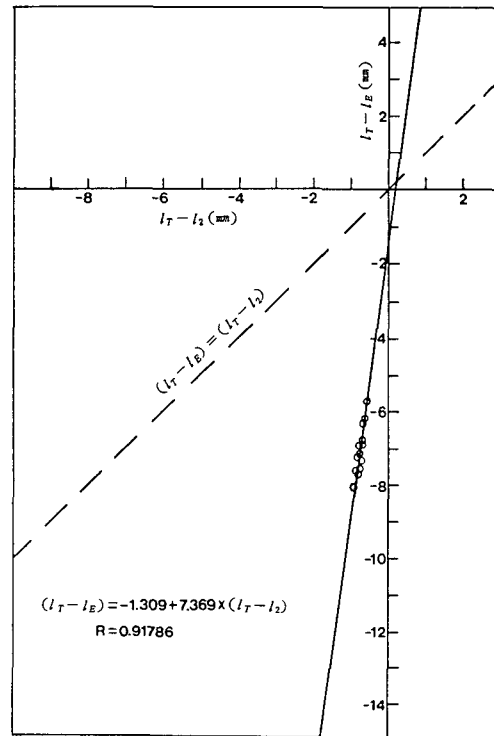


Fig. 4 Relationship between $(l_T - l_E)$ and $(l_T - l_2)$

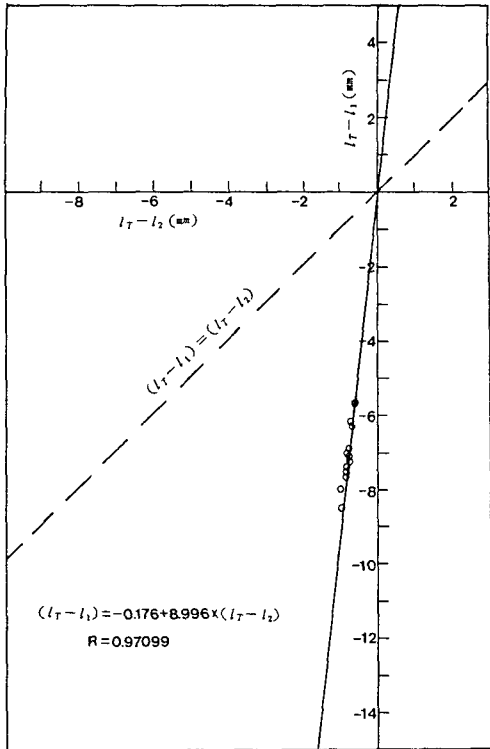


Fig. 5 Relationship between $(l_T - l_1)$ and $(l_T - l_2)$

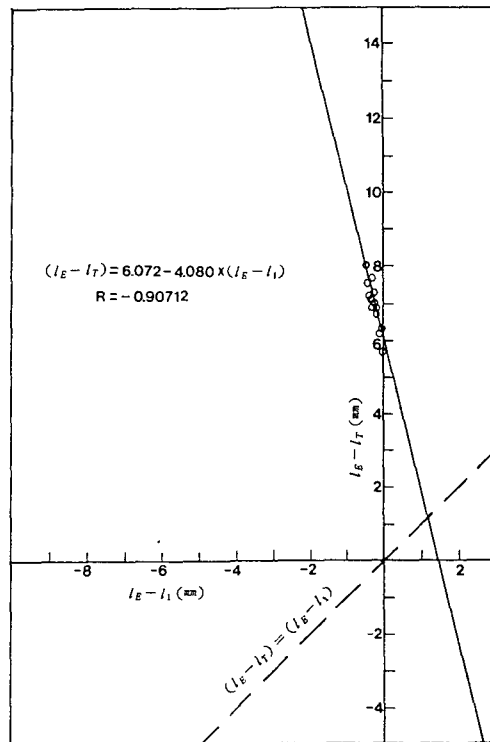


Fig. 6 Relationship between $(l_E - l_T)$ and $(l_E - l_1)$

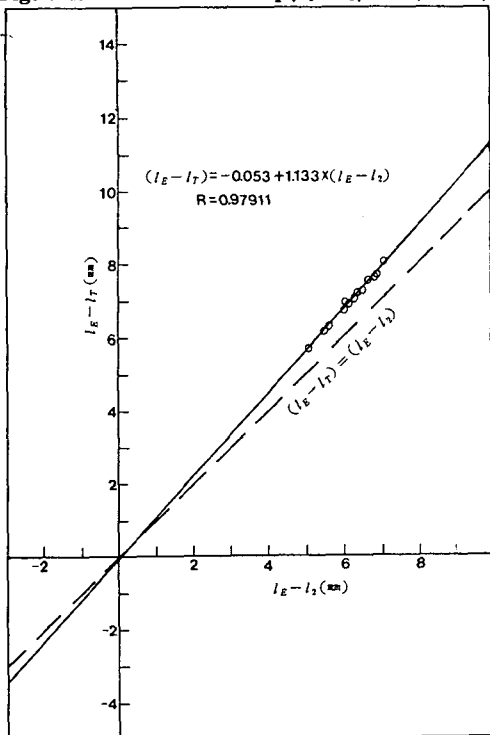


Fig. 7 Relationship between $(l_E - l_T)$ and $(l_E - l_2)$

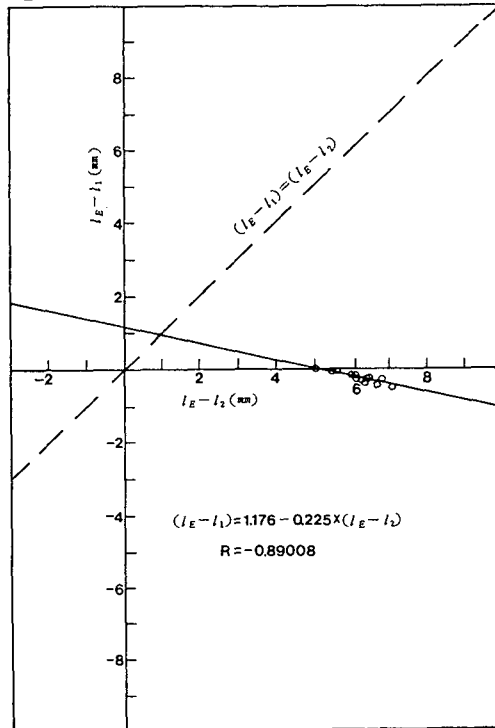


Fig. 8 Relationship between $(l_E - l_1)$ and $(l_E - l_2)$

邊長誤差의 豫測을 시도해 보았으며, <Table4>로부터 l_E, l_T, l_1 및 l_2 의 累加邊長(L_E, L_T, L_1, L_2)과 이들 變數間의 差를 구하면 <Table5>와 같다.

<Table5>로부터 $(L_T - L_E) \sim L_E, (L_E - L_1) \sim L_E$ 및 $(L_2 - L_E) \sim L_E$ 關係를 算術눈금으로 표시하면 거의 直線的 關聯性으로 나타나며, 그 結果 이들의 直線回歸式은 다음 式(3-12), (3-13) 및 (3-14)가 얻어졌다.

$$(L_T - L_E) = 0.21915 - 0.01538L_E, \\ (R = -0.99998) \dots\dots\dots (3-12)$$

$$(L_E - L_1) = 0.05344 - 0.00049L_E, \\ (R = -0.99435) \dots\dots\dots (3-13)$$

$$(L_2 - L_E) = -0.20813 - 0.01367L_E, \\ (R = -0.99998) \dots\dots\dots (3-14)$$

Fig. 9는 以上の 結果를 便宜上 橫軸 L_E 를 對數눈금에 취하여 片對數紙上에 整理한 것이다. 여기서 Fig.9의 各 實線은 回歸式을 表示하고, 破線은 式(3-2)를 表示한다.

Fig.9로부터 EDM에 의한 測距에서 三角網

의 各 邊長計算值가 높은 信賴性을 가지고 있다고 豫測할 수 있다.

(5) Traverse網의 點檢

Fig.10의 traverse網의 distortion(歪曲)을 調整하기 위해서 邊長 2~6 및 2~5를 EDM에 의해 實測하여 Table6에 그 實測結果를 表示하였으며, 여기서 邊長 2~6 및 2~5의 EDM 實測값과 traverse測量을 하여 計算된 邊長 2~6 및 2~5값과의 差를 各各 Δl_{2-6} 및 Δl_{2-5} 로 表示하였다.

Fig.11은 <Table6>의 값을 그림으로 표시한 것으로 EDM實測值에 誤差가 없다고 假定하면, traverse網의 偏位가 zero의 條件 즉, $\Delta l_{2-6} = \Delta l_{2-5}$ 와 比較해도 모두 $\Delta l_{2-6} > \Delta l_{2-5}$ 의 領域으로 表示되어 南北方向으로 틀어져 있음을 알았다(Fig.12 參照).

또한, 偏位의 尺度로서 ($\Delta l_{2-6}, \Delta l_{2-5}$)의 各 座標값에서 $\Delta l_{2-6} = \Delta l_{2-5}$ 의 直線에 내린 並線

Table 5. Comparison of Difference between Cumulative Lengths

No.	EDM Measurement $L_E(m)$	Base Line of Tape $L_T(m)$	Base Line of EDM $L_1(m)$	Base Line of correction EDM $L_2(m)$	$L_T - L_E$ (mm)	$L_E - L_1$ (mm)	$L_2 - L_E$ (mm)
1	362.47580	362.47011	362.47580	362.47073	-5.69	—	-5.07
2	870.12736	870.11410	870.12776	870.11559	-13.26	-0.40	-11.77
3	1337.09275	1337.07184	1337.09347	1337.07415	-20.91	-0.72	-18.60
4	1738.18127	1738.15405	1738.18201	1738.15704	-27.22	-0.74	-24.23
5	2194.37802	2194.34388	2194.37900	2194.34765	-34.14	-0.98	-30.37
6	2674.02502	2673.98369	2674.02633	2673.98828	-41.33	-1.31	-36.74
7	3143.99145	3143.94304	3143.99305	3143.94843	-48.41	-1.61	-43.02
8	3595.74986	3595.69417	3595.75165	3595.70034	-55.69	-1.79	-49.52
9	4039.37063	4039.30815	4039.37259	4039.31507	-62.48	-1.96	-55.56
10	4439.13628	4439.06759	4439.13830	4439.07519	-68.69	-2.02	-61.09
11	4981.57675	4981.50002	4981.57925	4981.50855	-76.73	-2.50	-68.20
12	5434.09586	5434.01223	5434.09857	5434.02154	-83.63	-2.71	-74.32
13	5923.00783	5922.91653	5923.01055	5922.92667	-91.30	-2.72	-81.16

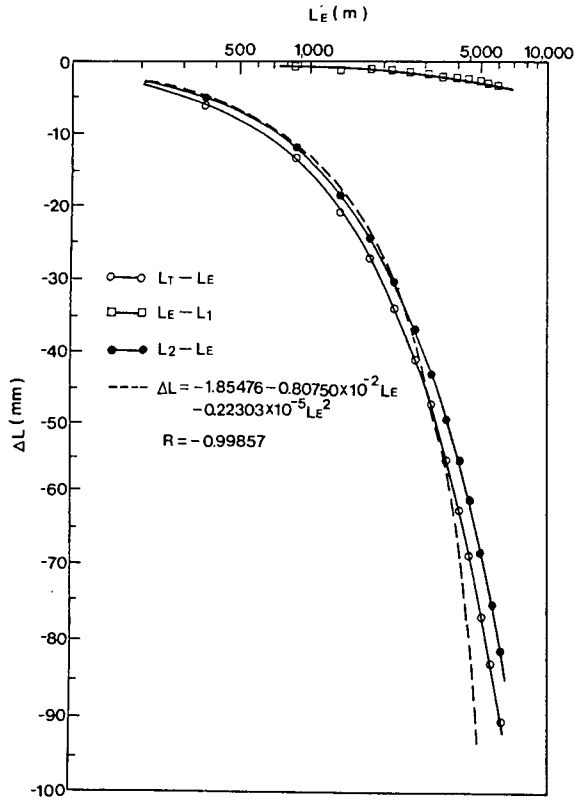


Fig. 9 Side Length Error of EDM Distance

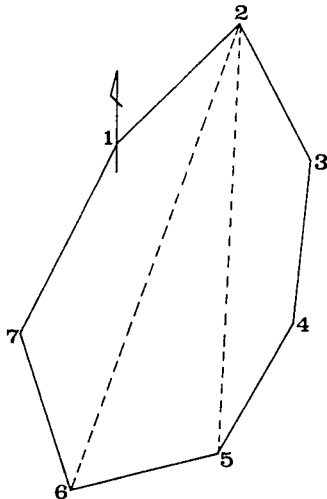


Fig. 10 Traverse Net

Table 6. Checking of Traverse Net.

Method of Surveying	Error of Side Line	Side Line 2~6(m)	Side Line 2~5(m)	2~6(mm) (meas. -relat.)	2~5(mm) (meas. -relat.)
EDM	Measured Value	233.84709	206.96427		
Relation of Tape	1	233.84655	206.96512	+0.54	-0.85
	2	233.84413	206.96320	+2.96	+1.07
	3	233.84971	206.96772	-2.62	-3.45
	4	233.84526	206.96411	+1.83	+0.11
	5	233.84615	206.96484	+0.94	-0.57
	6	233.84443	206.96360	+2.66	+0.67
	7	233.84788	206.96638	-0.79	-2.11
	8	233.84911	206.96745	-2.02	-3.18
	9	233.84600	206.96468	+1.09	-0.41
	10	233.84947	206.96798	-2.38	-3.71
Relation of EDM	1	233.84485	206.96339	+2.24	+0.88
	2	233.84484	206.96335	+2.25	+0.92
	3	233.84728	206.96568	-0.19	-1.41
	4	233.84632	206.96472	+0.77	-0.45
	5	233.84415	206.96280	+2.94	+1.47
	6	233.84306	206.96183	+4.03	+2.44
	7	233.84414	206.96279	+2.95	+1.48
	8	233.84183	206.96060	+5.26	+3.67
	9	233.84270	206.96156	+4.39	+2.71
	10	233.84276	206.96157	+4.33	+2.70
Relation of Correction EDM	1	233.84729	206.96548	-0.20	-1.21
	2	233.84728	206.96527	-0.19	-1.00
	3	233.84977	206.96791	-2.68	-3.64
	4	233.84882	206.96703	-1.73	-2.76
	5	233.84654	206.96511	+0.55	0.84
	6	233.84552	206.96414	+1.57	+0.13
	7	233.84667	206.96512	+0.42	-0.85
	8	233.84397	206.96273	+3.12	+1.54
	9	233.84475	206.96345	+2.34	+0.82

	10	233.84485	206.96349	+2.24	+0.78
--	----	-----------	-----------	-------	-------

의 길이를 h 가 하면, 여기서 h 는 다음 식(3-15)로 얻어진다.

$$h = \frac{|-\Delta l_{2-5} + \Delta l_{2-6}|}{\sqrt{2}} \text{ (mm)} \dots\dots\dots (3-15)$$

式(3-15)로부터 각각의 h 를 구하여 그 평균值 \bar{h} 는 각각 tape의 경우 $\bar{h}_T=1.04\text{mm}$,

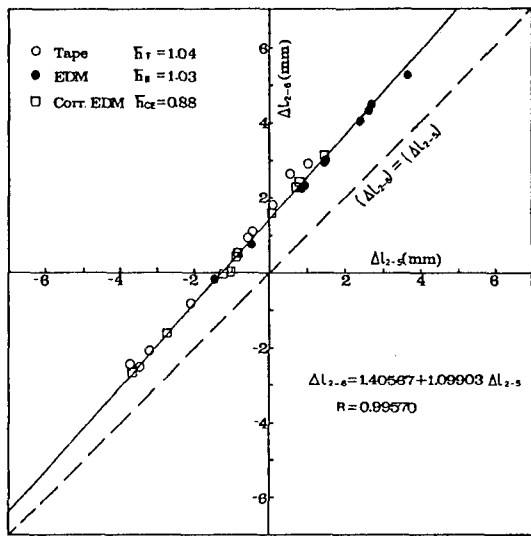


Fig. 11 Checking of Distortion by Distance Error in Traverse Net

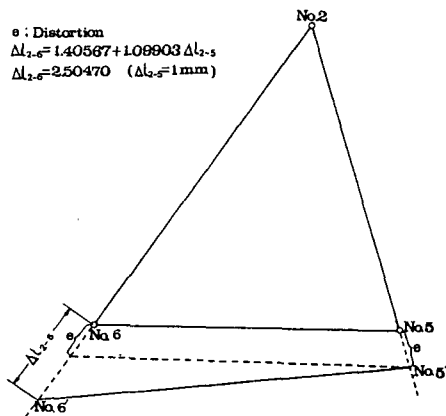


Fig. 12 Distortion of Traverse Net

EDM의 경우 $\bar{h}_E=1.03\text{mm}$ 그리고 補正EDM의 경우 $\bar{h}_{CE}=0.88\text{mm}$ 의 값이 얻어졌다. 그러므로 補正EDM에 關係된 方向이 traverse網의 偏位가 最小인 것을 알았다.

또 參考로 全體的인 $\Delta l_{2-6} \sim \Delta l_{2-5}$ 關係의 直線回歸式은 Fig.11에 나타낸 바와 같이 式(3-16)으로 表示되었다.

$$\Delta l_{2-6} = 1.40567 + 1.09903 \Delta l_{2-5}, \quad (R = 0.99570) \dots\dots\dots (3-16)$$

4. 結 論

本 研究結果로부터 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) EDM에 의한 三邊測量 및 EDM基線으로 한 三角網 邊長計算값의 平均誤差가 -0.20mm , 精度가 約 $1/2,000,000$ 로서 EDM에 의한 三邊測量은 상당히 信賴性이 높다고 思料된다.

(2) 各 邊長誤差間의 關聯性을 統計分析한 結果 모두 直線回歸式으로 表示되었으며, 相關係數도 $0.89 \sim 0.98$ 의 값이었다.

(3) 一邊을 tape 및 EDM 그리고 補正EDM 距離를 基線으로 한 三角網의 累加邊長 計算값 L_T, L_1, L_2 와 累加EDM 實測값 L_E 의 差 $\Delta L(\text{mm})$ 과 $L_E(\text{m})$ 의 關係는 모두 相關係數가 1에 近接한 直線回歸式으로 表示되었다. 그러므로 EDM의 測距에서 三角網의 各 邊長計算값이 높은 信賴性을 가지고 있다고 思料된다.

(4) Traverse網의 偏位를 檢討한 結果 tape 및 EDM에 비해 補正EDM으로 計算된 偏位가 가장 작은 값으로 나타났다.

謝 辭

本 研究는 1988年度 全南大學校 學術研究費 支援으로 遂行되었으며, 本 研究를 도와준 全南大學校에 깊은 感謝를 드립니다.

參考文獻

1. Russell C. Brinker, Paul R. Wolf, 1977, Elementary Surveying, Sixth Edition, pp. 77~92.

2. 李啓鶴, 1980, “電磁波測距儀의 特性과 利用에 關하여”, 全南大工技研, 17輯, pp. 107~126.
3. 須田教明, 1976, 電磁波測距儀, 森北出版, pp. 108, 160~196.
4. Alfredo H-S. Ang, Wilson H. Tang, 1975, Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Vol. I, pp. 286~319.
5. 安川正彬, 1986, 統計學入門(應用編), 日本經濟新聞社, pp. 107~136, pp. 171~183.
6. 金字哲 外7人, 1983, 現代統計學, 英志文化社, pp. 241~283.
7. Isawa L., Morita Y., Simbobe S., 1983, “Reliability of Electronic Distance Meter”, Surveying and Mapping(Japan), Vol. 33, No. 6, pp. 12~16.
8. WILD DISTOMAT DI20, Instruction for use, pp. 10~44.
9. 柳福模, 1984, 測量學原論(I), 開文社, pp. 323~331.
10. 朴雲龍, 李龍熙, 1983, “3邊測量에 의한 4邊網의 調整에 關한 研究”, 東亞大學校 大學院碩士論文, pp. 2~33.
11. 中村久人, 加藤清志, 古谷寅雄, 1977, “光波測距儀の特性と三邊測量”, 測量, pp. 25~28.
12. Naguib F., Danial M., 1979, “virtual Work Adjustment of Trilateration Nets”, Journal of the Surveying and Mapping Division, November, pp. 67~83.