

# Weight Factor를 考慮한 複合測地網의 正確度 解析 The Accuracy Analysis of Combined Geodetic Network Considering the Weight Factor.

姜 準 默\* 李 鎮 德\*\*  
Kang Joon-Mook Lee Jin-Duk  
李 鎔 昌\*\*\*  
Lee Yong-Chang

### 要 旨

正確하고도 迅速한 수평위치해석의 調整技法들이 다양하게 그동안 研究, 開發되어 왔다. 보다 精密한 E. D.M, electronic total station등과 같은 新測定裝備의 개발은 角, 距離의 측정에 있어 종래의 측량 방식에 비해 많은 利點을 제공하고 있으므로 앞으로 角과 距離를 同時에 適用하여 調整하는 기법의 활용이 期待된다. 本 研究는 複合測地網을 구성하여 角, 距離, 方位角 및 基準點 座標등 weight factor의 變化에 따른 組合調整技法의 特性을 三角, 三邊測量과 比較하여 考察한 것이다. 各 技法의 標準誤差를 다양하게 比較한 결과 複合 測地網에서도 他 技法에 비해 組合調整技法의 優越性 및 適用妥當性이 立證되었다.

### ABSTRACT

In determining the horizontal positions, economic, speedy, and accurate analytical adjustment methods have studied and developed for a long time. From now on, the adjustment methods using both angles and distances are expected because the development of more precise instruments, E.D.M, and electronic total station provide us with more advantages than the the conventional measurement svstem. The objective of this paper is to study the characteristics of triangulation, trilateration, and combination method due to change of the weight factor of angles, distances, azimuthes, and control point coordinates of combined geodetic network. The results of this study show that combined method is more accurate and effective than other methods in case of combined geodetic network as the other simple networks.

## 1. 序 論

最小 제곱법을 기본으로한 三角調整法 및 E. D.M에 의한 三邊調整法과 가상일의 原理를 이용한 FEM 調整法, G-inverse method에 의한 free network 調整法 등이 다양하게 研究, 活用되고 있다.<sup>6)7)8)9)</sup> 國內에서도 經緯度 原點의 確定과 더불어 既設 測地網의 調査, 分析 및 測地網의 再調整作業에 三邊測量을 이용한 연구가 進行되고 있으나 多量의 測點을 同時 調整함에는 많은 問題點이 뒤따르고 있다.

그동안 하드웨어면에서도 精密 테오도라이트 나 E.D.M에 의한 三角, 三邊 技法이 독립적으로 연구, 활용되어 왔지만, 최근에는 E.D.M과 테오도라이트의 기능을 동시에 발휘할 수 있는 electronic total station이 개발됨에 따라 소프트웨어면에서도 剩餘觀測數를 증가시켜 信賴性을 향상시킬 수 있고 多量의 測點을 동시에 복합적으로 조정할 수 있는 알고리즘의 개발이 절실히 요구되고 있는 바, 앞으로 角, 距離을 동시에 適用시켜 조정할 수 있는 組合調整技法이 널리 활용될 수 있을 것으로 期待된다.<sup>1)2)3)4)</sup> 이에 本 研究에서는 實際 現場에서 많이 이용되는 複合 測地網을 構成하여 精密 테오도라이트와 E.D.M으로 관측을 실시하고 측정요소의 표준오차 변화에 따른 三角, 三邊,

\* 忠南大 工大 副教授  
\*\* 忠南大 大學院 博士過程  
\*\*\* 忠南大 大學院 博士過程

組合技法의 特性을 比較하여 組合調整技法의 優越性 및 適用妥當性을 제시하고 실제 현장에의 적용은 물론 나아가 국가의 精密測地網 設定에 寄與코자 함에 本 研究의 目的을 두었다.

## 2. 組合 調整의 解析理論

剩餘觀測數를 考慮한 基本 條件方程式을 간략히 나타내면 다음과 같다. <sup>1)2)4)</sup>

$$\begin{aligned} T_1 + \nabla_{11}\epsilon_1 + \nabla_{12}\epsilon_2 + \dots + \nabla_{1u}\epsilon_u &= f_1 \\ T_n + \nabla_{n1}\epsilon_1 + \nabla_{n2}\epsilon_2 + \dots + \nabla_{nu}\epsilon_u &= f_n \end{aligned} \quad (2-1)$$

식 (2-1)을 매트릭스로 나타내면 다음과 같다.

$$T + \nabla \epsilon = F \quad (2-2)$$

여기서,  $T$ ; 角, 距離의 殘差 매트릭스

$\nabla$ ; 係數  $\nabla$ 의  $n \times u$  매트릭스

$\epsilon$ ; 未知數 補正 매트릭스 ( $\epsilon_u$ )

$F = C - O$ ,  $F$ ,  $C$ ; 常數 매트릭스,

$O$ ; 觀測 매트릭스

條件方程式  $F_n$ 을  $\nabla_{nu} = \frac{\partial F_n}{\partial \epsilon_n}$  관계로 부터 線形

化시켜 係數 매트릭스  $\nabla$ 를 구한다.

식 (2-1), (2-2)의 一般解는 다음과 같다.

$$[\nabla^T W \nabla] \epsilon = \nabla^T W F \quad (2-3)$$

여기서  $W$ 은 輕重率 매트릭스를 나타내며

$$X = \nabla^T W \nabla \quad (2-4)$$

$$Y = \nabla^T W F \quad (2-5)$$

라면, 식 (2-3)은 다음과 같다.

$$X \epsilon = Y \quad (2-6)$$

$$\epsilon = X^{-1} Y \quad (2-7)$$

본 연구에서는 補正值  $\epsilon$ 가 許容限度 0.1mm 이하가 될때까지 반복계산하였다. 單位 輕重率에 대한 觀測의 標準誤差와 未知 座標에 대한 표준오차는 다음과 같다.

$$\sigma_0 = \left[ \frac{\sum W T^2}{m - n} \right]^{-2} \quad (2-8)$$

$$S_x = \sigma_0 [Q_{xx}]^{-2} \quad (2-9)$$

여기서,  $\sigma_0$ ; 單位 輕重率에 대한 標準誤差

$S_x$ ;  $X$ 번째 未知數의 標準誤差

$Q_{xx}$ ; 共分散 매트릭스

## 3. 觀 測

本 研究에서는 忠南大學敎와 科學技術院 사이의 5km<sup>2</sup> 구획 정리 단지를 觀測場所로 설정하

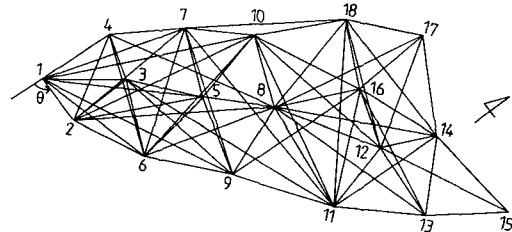


Fig. 1 Network diagram

여 아래와 같은 複合測地網을 構成하였다. 座標軸은 1, 2測點을 基準點으로 하고 軸선 1-2를 X軸으로, 그 직각 方向을 Y軸으로 定하였다. 方位角은  $\theta = 90^\circ 00' 00''$ 로 假定하였고 角觀測은 1"讀 theodolite을 使用하여 各 測點別로 單角, 2倍角으로 各各 2回 觀測하고 산술평균에 의해 最確 角度를 決定하였다.

E.D.M에 의한 距離관측은 실험 당시의 溫度와 壓力을 측정하여 入力하고 E.D.M 下部와 10"讀 transit를 利用하여 氣象要因 및 傾斜에 대해 補定된 값을 自動出力토록 하였다. Table 1은 E.D.M에 의한 測距觀測值이며 Table 2은 精密 theodolite에 의한 角觀測值이다. Table 3은 Table 1, 2의 관측치를 基礎로 組合調整法에서 거리오차 4mm+4ppm, 각오차 3.0sec, 방위각오차 0.2sec, 기준점 X, Y 좌표오차 0.001m, 0.001m등의 weight factor를 考慮하여 계산한 各 測點의 調整前 座標값을 나타낸다.

Table 1. Measured distances by E.D.M (m)

Station	Distance	Station	Distance	Station	Distance			
1	2	104.335	2	9	347.130	8	12	238.138
1	6	262.248	2	8	413.085	8	16	184.167
1	5	326.778	2	10	414.124	10	16	245.242
1	3	166.305	3	10	285.611	10	12	355.000
1	4	161.430	3	9	299.549	11	13	192.078
1	7	312.521	4	9	389.674	11	14	257.973

2	5	266.353	4	8	374.824	12	14	117.663
2	7	300.038	4	10	303.838	12	13	168.646
2	4	189.989	5	9	174.183	12	11	155.840
2	6	164.069	5	8	151.466	13	15	165.812
2	3	133.812	5	10	173.194	14	13	166.284
3	4	98.804	6	10	343.450	14	15	212.214
3	7	166.231	6	9	186.565	16	12	136.026
3	5	162.787	6	8	286.448	16	14	188.543
3	6	166.476	7	8	142.862	16	13	301.786
4	7	162.149	7	10	142.862	7	18	329.925
4	5	232.834	7	9	321.519	8	17	343.025
4	6	264.930	8	9	164.140	8	18	235.325
5	6	170.420	3	11	509.381	10	8	189.393
5	7	148.501	6	11	406.517	12	18	279.736
6	7	282.126	7	11	484.338	14	17	215.098
1	10	446.029	7	16	381.348	16	17	168.669
1	8	478.226	8	11	243.571	16	18	144.070
1	9	437.598	8	13	389.041	17	18	162.735

Table 2. Measured angles by precise theodolite. (°-'-")

Station	Angle	Station	Angle	Station	Angle
3 4 1	75-10-29.2	9 5 6	65-32-35.6	13 15 16	50-22-53.9
4 1 2	35- 3- 1.6	6 9 5	56-15-38.6	12 13 14	41- 7-34.1
3 1 2	53-30-30.3	5 9 8	53- 5-39.2	14 13 15	79-26- 5.1
2 3 1	38-48-58.7	9 8 5	66-50-52.7	9 11 8	41- 2-58.4
1 3 4	69-46-29.4	5 8 1	67-48-48.1	8 11 12	69-14-48.7
			0		
4 3 7	70-15-14.2	8 10 5	54- 4-56.1	12 11 13	56-51- 3.7
7 3 5	53-38-51.8	5 10 7	55- 2-44.4	10 8 18	53-14-35.1
5 3 6	62-19-42.6	8 9 11	77- 0-48.1	18 8 16	37-44-42.5
6 3 2	65-10-50.8	16 8 12	34-41-14.9	18 10 8	84-33-13.5
5 7 3	61-59-42.8	12 8 11	37-43-32.0	17 18 16	66-22-41.0
3 7 4	34-59-34.8	11 8 9	61-56-13.2	16 18 8	51-29-31.3
3 5 7	64-21-25.0	12 16 8	94-54-44.5	8 18 10	42-12-10.8
6 5 3	59-53-47.8	14 16 12	38-23- 5.0	14 17 16	57-19-48.0
2 6 3	47-45-11.1	11 12 8	73- 1-41.1	16 17 18	51-29-50.9
3 6 5	57-46-29.8	16 12 14	95-44-26.3	8 16 18	90-45-49.8
1 2 3	87-40-34.6	14 12 13	68-21-32.4	18 16 17	62- 7-31.8
3 2 7	67- 3-58.1	13 12 11	72-28-24.3	17 16 14	73-48-47.7
10 7 5	72-54-50.9	8 12 16	50-23-59.8	8 2 18	53-19-10.8
7 5 10	52- 2-29.9	15 14 13	50-11- 0.0	16 14 17	48-51-23.9
10 5 8	58- 6-14.7	13 14 12	70-30-53.4		
8 5 9	60- 3-27.9	12 14 16	45-22-53.9		

Table 3. Preadjusted coordinates incase of combination method.

No.	Coordinate (m)		No.	Coordinate (m)	
	X	Y		X	Y
2	10104.335	10000.000	9	10392.384	10193.719
6	10252.729	10070.014	11	10572.702	10320.760

5	10223.923	10237.997	16	10403.762	10514.655
3	10098.907	10133.712	13	10701.182	10463.548
4	10004.054	10161.385	14	10581.128	10578.605
1	10000.000	10000.000	12	10532.713	10471.364
7	10088.812	10299.636	15	10792.014	10602.263
10	10183.681	10406.452	18	10272.388	10573.791
8	10330.414	10345.727	17	10393.053	10682.984

Weight Factor: Dist.=4mm+4ppm, Ang.=3.0sec, Azimuth=0.2 sec, Control point coord.=0.001m, 0.001m

#### 4. 比較 分析

Wight factor의 변화에 따른 幾何學的 誤差 (simulated standard error)를 檢討하기 위해 E.D.M의 定誤差와 ppm, 角과 方位角 및 基準點이 內包하는 標準誤差를 變化시켜 가면서 三角, 三邊의 獨立調整法과 組合調整法의 效用性, 信賴性을 檢토했다. 최소 제곱법에서 正規方程式의 解는 Cholesky decomposition을 適用<sup>3)</sup>, 반복계산을 거쳐 측점의 最確座標 및 그에 대한 標準誤差와 誤差橢圓 要素를 얻었고 아울러 角과 距離에 대한 最確值와 殘差 및 各測線의 方位를 얻었다.

18개 측점에 대한 平均 幾何學的 標準誤差와 觀測資料에 의한 誤差의 關係는  $S = \sigma_0 \sqrt{Q_{xx}}$  에 의해 해석된다.

여기서 S는 관측에 의한 표준오차,  $\sqrt{Q_{xx}}$ 는 기하학적 표준오차를 의미한다.<sup>4)5)</sup> 各 測點의 座標 X, Y에 대한 기하학적 오차는 三角의 경우  $A_x, A_y$  三邊  $L_x, L_y$  組合  $C_x, C_y$ 로 各各 表記하였다. Table 4는 組合 調整法에서 距離의 標準誤差를 4mm+4ppm, 角의 標準誤差 3.0 sec, 方位角 標準誤差 0.2 sec, 基準點 標準誤差를 0.001m로 한 경우의 出力 結果의 일부를 例示한 것이다.

Table 4. Example of printout in case of combination method.

(m, °-'-")

RESULTS OF ADJUSTEMENT

NO.	Adjusted		Standard Errors		Error Ellipse		Info. T
	X	Y	X	Y	SU	SV	
2	10104.335	10000.000	0.001	0.001	0.001	0.001	90.0
6	10252.727	10070.010	0.002	0.004	0.004	0.002	-16.9

5	10223.925	10237.991	0.005	0.004	0.006	0.001	-54.2
3	10098.909	10133.709	0.003	0.001	0.003	0.001	-72.5
4	10004.095	10161.384	0.003	0.002	0.003	0.002	71.8
1	10000.000	10000.000	0.001	0.001	0.001	0.001	-90.0
7	10088.817	10299.631	0.006	0.002	0.006	0.002	-85.1
10	10183.685	10406.445	0.008	0.003	0.008	0.002	-73.4
8	10330.416	10345.719	0.007	0.006	0.009	0.002	-50.8
9	10392.384	10193.712	0.004	0.007	0.008	0.002	-27.4
11	10572.702	10320.751	0.007	0.011	0.013	0.003	-29.2
18	10272.392	10573.780	0.012	0.005	0.013	0.002	-70.3
16	10403.763	10514.646	0.011	0.007	0.013	0.002	-55.6
13	10701.183	10463.539	0.010	0.014	0.017	0.003	-33.3
14	10581.129	10578.596	0.012	0.011	0.016	0.003	-46.8
12	10532.713	10471.356	0.010	0.010	0.014	0.002	-43.2
15	10792.017	10602.255	0.013	0.017	0.021	0.004	-37.3
17	10393.053	10682.974	0.014	0.007	0.016	0.003	-64.4

(Standard Error of Unit weight is 1.097 with 105 Degrees of Freedom)

Weight Factor ; Dist.=4mm+4ppm, Ang.=3.0sec, Azimuth=0.2sec, Control point coord.=0.001m, 0.001m

(1) 輕重率을 考慮한 幾何學的 標準誤差의 比較

1) E.D.M의 定誤差 變化

距離의 正오차 變化에 따른 幾何學的 標準誤差 simulated standard error의 平均값과 이를 調整技法別로 圖示하면 Table 5, Fig. 2와 같다. 距離의 오차가 減少됨에 따라  $L_x$ ,  $L_y$ 와  $C_x$ ,  $C_y$ 는 현저한 減少를 보이나  $A_x$ ,  $A_y$ 는 11~12.5mm 內에서 均一한 分布를 나타내었다. 定誤差를 5mm에서 1mm로 變化시킴에 따라 三角, 三邊 調整技法은 各各 46.5%, 29.4%의 오차를 나타낸 반면, 組合은 24.1%로 三邊의 경우가 三角보다 17.1%, 組合은 삼변에 비해 7%의 正確度 向上을 나타내고 있다.

Table 5. Simulated average standard error vs. change of dist. st.e(constant) on each methods.

Adjustment Ave.ST.E. Weight Factor	Triangulation		Trilateration		Combination	
	$A_x$	$A_y$	$L_x$	$L_y$	$C_x$	$C_y$
5mm	11.30	12.20	16.68	14.84	7.39	6.62
4mm	11.30	12.20	14.34	12.80	7.17	6.46
3mm	11.30	12.20	12.08	10.67	7.03	6.20

2mm	11.30	12.05	9.89	8.66	6.79	5.86
1mm	11.30	12.05	7.79	6.78	6.41	5.51

(Weight Factor : Dist.st.e=5ppm, Ang.st.e=3.0sec, Azimuth st.e=0.1sec, Control point st.e=0.001m, 0.001m)

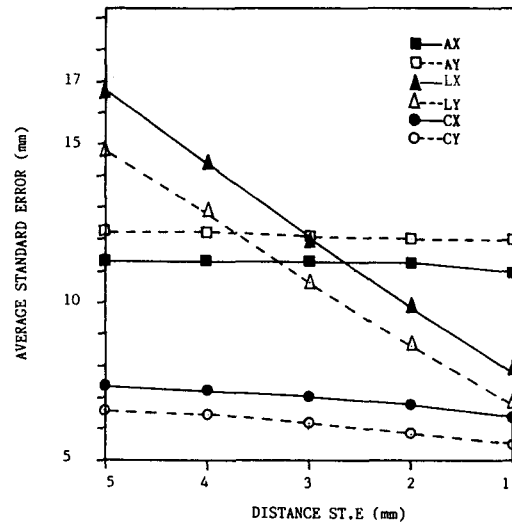


Fig. 2 Line variation of simulated average standard error vs. change of dist. st.e (constant)

2) E.D.M의 ppm 誤差 變化

距離에 比例하는 ppm 誤差의 變化에 대한 調整 技法別 幾何學的 誤差는 Table 6과 같고 이를 圖示하면 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 단계별 誤差 減少는 앞선 Fig. 2의 定誤差 경우에 비해 훨씬 작게 나타 났지만, 標準誤差를 5 ppm에서 1 ppm으로 變化시킨 경우에서도 調整 技法別 오차 分포는 三角 37%, 三邊 41.7%, 組合 21.3% 程度를 나타내고 있으므로 組合 調整法이 他 調整法에 비해 對等함을 알 수 있었다.

Table 6. Simulated average standard error vs. change of dist. st.e(ppm) on each methods.

Adjustment Ave.ST.E. Weight Factor	Triangulation		Trilateration		Combination	
	$A_x$	$A_y$	$L_x$	$L_y$	$C_x$	$C_y$
5mm	11.30	12.20	16.68	14.84	7.39	6.62
4mm	11.30	12.20	16.08	14.26	7.16	6.48

3mm	11.30	12.20	15.38	13.62	7.18	6.53
2mm	11.30	12.20	14.64	13.09	7.19	6.36
1mm	11.30	12.20	14.00	12.52	7.11	6.44

(Weight Factor : Dist.st.e=5ppm, Ang.st.e=3.0sec, Azimuth st.e=0.1sec, Control point st.e=0.001m, 0.001m)

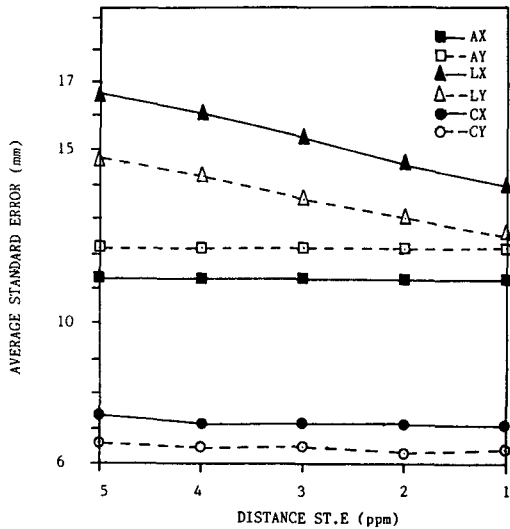


Fig. 3 Line variation of simulated average standard error vs. change of dist. st. e(ppm)

### 3) 角의 輕重率 變化

Table 7과 Fig. 4는 角의 標準誤差 變化에 대한 幾何學的 誤差의 平均값을 調整技法別로 나타낸 것이다.

Table 7. Simulated average standard error vs. change of angle standard error on each methods. (mm)

Adjustment Ave.ST.E. Weight Factor	Triangulation		Trilateration		Combination	
	A <sub>x</sub>	A <sub>y</sub>	L <sub>x</sub>	L <sub>y</sub>	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>
5mm	17.07	18.32	16.68	14.84	9.20	8.18
4mm	14.03	14.82	16.68	14.84	8.17	7.38
3mm	11.30	12.20	16.68	14.84	7.39	6.62
2mm	9.32	9.63	16.68	14.84	6.19	5.60
1mm	7.52	7.78	16.68	14.84	5.72	4.85

(Weight Factor : Dist.st.e=5ppm, Ang.st.e=3.0sec, Azimuth st.e=0.1sec, Control point st.e=0.001m, 0.001m)

A<sub>x</sub>, A<sub>y</sub>는 55.9%, 57.5%, C<sub>x</sub>, C<sub>y</sub>는 37.8%, 40.7%의 誤差 減少率을 보이나 L<sub>x</sub>, L<sub>y</sub>는 角의

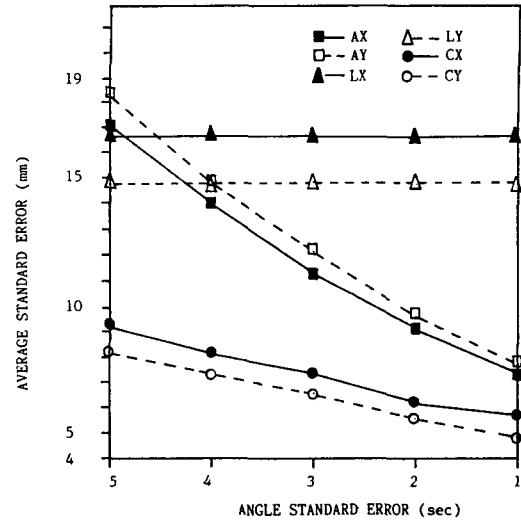


Fig. 4 Line variation of simulated average standard error vs. change of angle st.e(sec).

weight factor 변화와는 무관하므로 L<sub>x</sub>, L<sub>y</sub> 각각 16.68mm, 14.84mm의 일정한 분포를 나타내고 있다. 특히 角의 標準誤差가 5sec에서 1sec로 변화될때 三角은 59.1%, 組合은 40.9%의 오차로 三角에 비해 18.2%의 正確度 向上을 보인다.

### 4) 距離 및 角의 輕重率 變化

距離와 角의 標準誤差를 동시에 변화 시킨 경우 기하학적 표준오차의 평균값을 조정 기법 별로 나타내면 Table 8, Fig. 5와 같다.

Table 8. Simulated average standard error vs. change of angle standard error on each method. (mm)

Adjustment Ave.ST.E. Weight Fac.	Triangulation		Trilateration		Combination	
	A <sub>x</sub>	A <sub>y</sub>	L <sub>x</sub>	L <sub>y</sub>	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>
5mm	17.07	18.32	16.68	14.84	9.20	8.18
4mm	14.03	14.82	13.72	12.25	7.83	7.01
3mm	11.39	12.20	10.87	9.63	6.84	6.01
2mm	8.43	9.23	8.32	7.25	6.08	5.14
1mm	6.72	6.57	5.75	5.24	5.43	4.53

(Weight Factor : Azimuth st.e=0.1sec, Control point st.e=0.001m, 0.001m)

距離 및 角의 標準誤差가 5mm+5ppm, 5sec에서 1mm+1p.p.m, 1sec로 減少됨에 따라 A<sub>x</sub>는

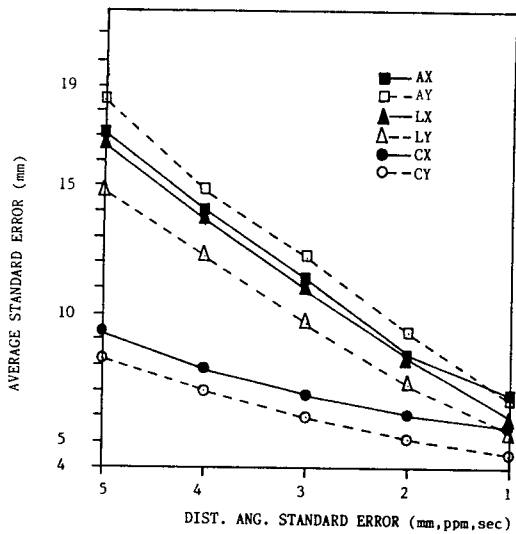


Fig. 5 Line variation of simulated average st.e vs. change of dist. & angle st.e.

17.07mm에서 6.72mm로 60.6%,  $A_Y$ 는 18.32mm에서 6.57mm로 64.1%,  $L_X$ 는 16.68mm에서 5.75mm로 65.5%,  $L_Y$ 는 14.84mm에서 5.24mm로 64.7%,  $C_X$ 는 9.2mm에서 5.43mm에서 41%,  $C_Y$ 는 8.18mm에서 4.53mm로 41%,  $C_Y$ 는 8.18mm에서 4.53mm로 44.6%의 현저한 오차감소를 보인다. 또한 1mm+1ppm, 1sec로 weight factor가 증가함에 따라 거리 및 각의 오차를 독립적으로 고려한 경우보다는 동시에 고려한 경우가 세 기법 모두 약 6mm의 표준오차에 수렴되는 일관성 있는 對等한 標準減少를 나타내고 있다.

5) 方位角 및 基準點 座標의 輕重率의 變化

Table 9와 Fig. 6은 距離 및 角의 標準誤차를 4mm+4ppm, 3sec로 일정하게 하고 方位角 및 基準點의 weight factor를 각 경우별로 變化시킬 때, 18개의 測點에 대한 幾何學的 誤차를 調整技法 別로 나타낸 것이다.

Table 9. Simulated average standard error vs. change of angle standard error on each methods. (mm)

Adjustment Ave. S.T.E. Weight Fac.	Triangulation		Trilateration		Combination	
	$A_X$	$A_Y$	$L_X$	$L_Y$	$C_X$	$C_Y$
0.1sec.2mm	16.27	16.57	16.63	14.48	11.52	9.81

0.2sec.1mm	11.30	12.20	13.72	12.25	7.24	6.32
0.2sec.2mm	16.27	16.57	16.63	14.48	11.52	9.81
0.1sec.1mm	11.30	12.20	13.72	12.25	7.24	6.32

(Weight Factor : Dist.st.e=4mm+4ppm, Angle st.e=3.0sec)

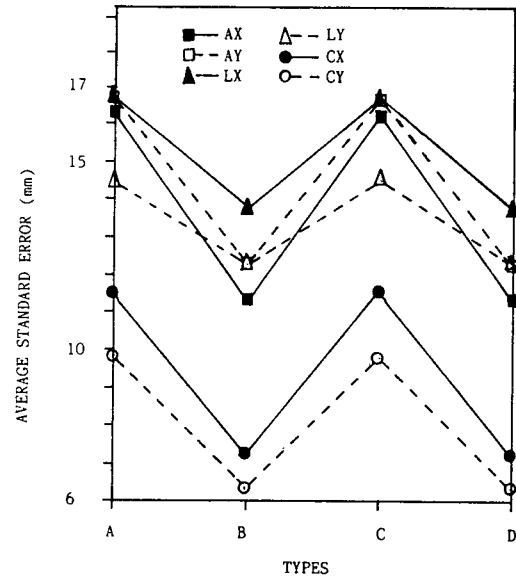


Fig. 6 Line variation of simulated average st.e vs. change of azimuth & coordinate st.e.

方位角의 誤차를 0.2sec, 基準點의 標準誤차를 0.002m에서 0.001m로 減少시킨 C→B, A→D은 오차의 감소를 보이나 基準點의 誤차를 0.002m, 方位角의 誤차를 0.1sec로 減少시킨 C→A 과 B→D型的 分포는 오차 감소와는 無關함을 나타내고 있다. 위의 관계로부터 幾何學的 標準誤차에 미치는 영향은 方位角에 비해 基準點의 경우가 큼을 알 수 있었다.

이상의 Weight factor 變化에 따른 各 調整技法의 幾何學的 誤差 變化의 양상을 X, Y 座標 別로 圖示하면 Fig. 7, Fig. 8과 같다.

전반적으로 Y座標가 X座標에 비해 信賴性 있는 分포를 나타내고 있는데, 이것은 基線을 X軸 方向인 12測線으로 설정 한데서 오는 것으로 思料된다.

또한 調整技法 別 幾何學的 誤差의 分포양상을 高찰하면 各各의 weight factor 變化 조건에 대해 三角調整法 보다는 三邊調整法에 信賴性

을 期待할 수 있으며, 특히 組合調整法의 경우는 他 調整法에 비해 월등히 우월함을 알 수 있었다.

또한 weight factor를 獨立으로 고려한 경우보다는 여러 관측要素의 표준오차를 동시에 고려한 경우가 오차의 감소율과 크기면에서 현저한 향상과 감소를 나타내었다.

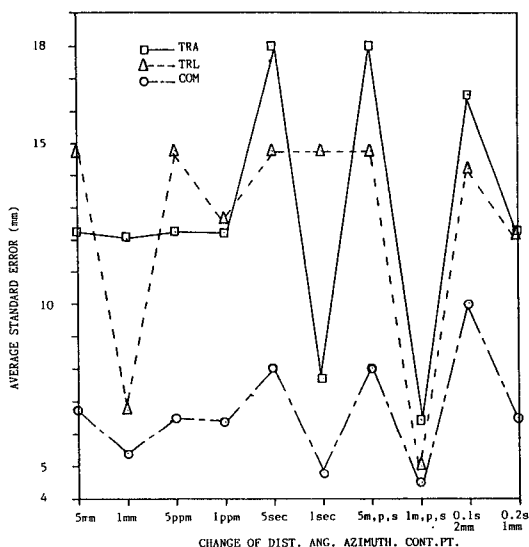


Fig. 7 Line variation of X-coordinates simulated average standard error vs. change of Weight Factor.

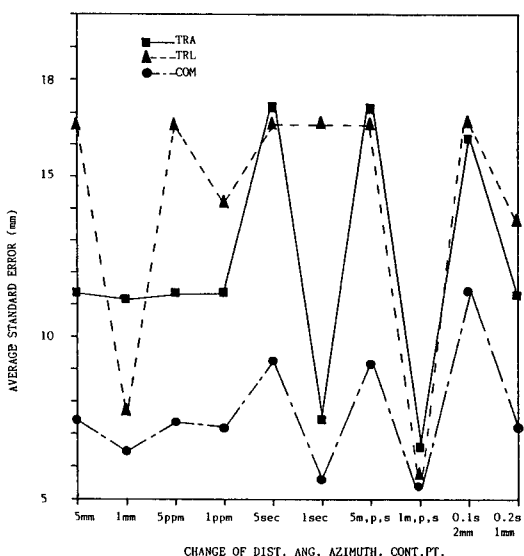


Fig. 8 Line variation of Y-coordinates simulated average st.e vs. change of Weight Factor.

Table 10, Table 11은 組合調整技法에서 weight factor의 변화조건을 距離 4mm+4ppm, 角 3.0sec, 方位角 0.2sec, 基準點의 座標誤差0.001m, 0.001m로 한 경우, 조정된 최확좌표치와 방위 및 측선거리를 나타낸 것이다.

Table 10. Adjusted coordinates in case of combination method.

No.	Coordinate (m)		No.	Coordinate (m)	
	X	Y		X	Y
2	10104.335	10000.000	9	10392.384	10193.712
6	10252.727	10070.010	11	10572.702	10320.751
5	10223.925	10237.991	18	10727.392	10573.780
3	10098.909	10133.709	16	10403.763	10514.646
4	10004.059	10161.384	13	10701.183	10463.539
1	10004.059	10161.384	14	10581.129	10578.596
7	10088.817	10299.631	12	10532.713	10471.356
10	10183.685	10406.445	15	10792.017	10602.255
8	10330.416	10345.719	17	10393.053	10682.974

Weight Factor : Dist.=4mm+4ppm, Ang.=3.0sec, Azimuth=0.2sec, Control point coord.=0.001m, 0.001m

보다 正確한 E.D.M과 테오도라이트 또는 electronic total station을 사용한다면, 또한 本 研究에서 시도한 첫 측선만을 基線으로 하지 않고 基線의 數와 位置를 測地網의 形態에 따라 적절히 考慮한다면 보다 良好한 結果를 얻을 것으로 期待된다.

## 5. 結 論

複合 測地網의 調整, 解析에 있어 角, 距離, 方位角 및 基準點 座標 등의 weight factor 변화에 따른 三角, 三邊, 組合 調整技法의 特性을 比較한 결과 다음의 결론을 얻었다.

(1) 距離와 角에 대한 標準誤차를 各各 5mm에서 1mm, 5sec에서 1sec까지 변화시켜 輕重率을 증가시키에 따라 各 調整技法 別 誤差分布의 비율은 三角 38.8%, 三邊 32.1%, 組合 29.1%로 나타나므로 複合測地網의 경우에서도 三角, 三邊보다는 組合調整法이 效果의임을 알 수 있었다.

Table 11. Adjusted bearing & distances in case of combination method.

("-'-", m)

Station	Bearing	Distance	Station	Bearing	Distance	Station	Bearing	Distance			
1	2	S90-0-0.0E	104.335	2	9	N56-4-45.4E	347.126	8	14	N47-6-43.7E	342.183
1	6	N74-30-58.9E	262.245	2	8	N33-10-56.9E	413.079	8	16	N23-28-12.9E	184.164
1	5	N43-15-21.1E	326.775	2	10	N11- 2-48.9E	414.118	10	16	N63-49- 8.4E	245.238
1	3	N36-29-29.9E	166.316	3	10	N17-16- 1.8E	285.608	10	12	N79-27-52.7E	355.013
1	4	N 1-26-26.3E	161.435	3	9	N78-26-40.8E	299.547	11	13	N41-58-51.5E	192.082
1	7	N16-30-39.6E	312.518	4	9	N85-14-27.7E	389.669	11	14	N 1-52-18.5E	257.983
2	5	N26-40-46.0E	266.348	4	8	N60-32-28.1E	374.818	12	14	N24-17-51.4E	117.663
2	7	N 2-57-52.9W	300.033	4	10	N36-14-27.4E	303.843	12	13	S87-20-35.8E	168.651
2	4	N31-51-17.9W	190.000	5	9	S75-16-23.8E	174.181	12	11	A14-52-12.6E	155.823
2	6	N64-44-33.2E	164.078	5	8	N44-40- 9.0E	151.478	13	15	N33-13- 2.9E	165.810
2	3	N 2-19-25.9W	133.819	5	10	N13-26- 5.4W	173.194	14	13	A46-13- 3.0E	166.286
3	4	N73-44- 3.1W	98.805	6	10	N11-35049.3W	343.446	14	15	N83-35-56.0E	212.211
3	7	N 3-28-50.0W	166.229	6	9	B48-28- 0.4E	186.565	16	12	S71-26-33.0E	136.022
3	5	N50-10- 0.8E	162.800	6	8	N15-44-11.9E	286.445	16	14	N70-10-22.5E	188.542
3	6	S67-30-16.7E	166.486	7	10	N41-36-37.2E	142.861	16	13	S80-14-59.2E	301.778
4	7	N31-30-43.9E	162.162	7	9	S70-45055.3E	321.515	7	18	N33-48-25.2E	329.935
4	5	N70-47-25.3E	232.830	8	9	S22-10-45.2E	164.152	8	17	N10-31-17.2E	343.023
4	6	S69-49-26.6E	264.925	3	11	N68-27-25.4E	509.377	8	18	B14-16-27.9W	235.327
5	6	S 9-43-45.9E	170-432	6	11	N51-55- 0.2E	406.516	10	18	N27-55-43.6E	189.393
5	7	N65-28-33.6W	148.505	7	11	N87-30- 2.9E	484.346	12	18	N68-31-22.1W	279.746
6	7	N35-31-13.1W	282.121	7	16	N55-40-42.6E	381.343	14	17	N60-58-14.7W	215.098
1	10	N 24-19-11.1E	446.025	8	11	S84- 6 59.5E	243.569	16	17	N 3-38-26.5W	168.668
1	8	N43-42-12.5E	478.222	8	13	N72-22-15.8E	389.037	16	18	N65-45-58.5W	144.067
1	9	N63-43-31.3E	437.596	8	12	N58- 9-26.9E	238.137	17	18	S47-5i-21.3W	162.734

Weight Factor : Dist.=4mm+4ppm, Ang.=3.0sec, Azimuth=0.2sec, Control point coord.=0.001m, 0.001m)

(2) 測定要素의 輕重率를 獨立的으로 고려한 경우의 幾何學的 標準誤差의 減少率은 各 技法에서 다양한 變化를 보이거나 동시에 고려한 경우는 一관성 있는 분포로 顯저한 신뢰성을 나타내고 있다.

(3) 輕重率의 考慮 條件과 調整技法의 相異함이 있더라도, 最終 座標값엔 큰 差이가 없었으나, 오차의 信賴性 면에서는 技法들 間에 多小의 差를 나타내므로 理想的인 weight factor의 선정은 조정의 信賴性에 重要한 意味를 부여함을 알 수 있었다.

앞으로 複雑한 대형측지망의 複合 연결과 3차원 調整에 對한 지속적인 연구와 나아가 G.P.S를 利用한 國家的인 測地網 調整에도 깊은 關心이 要望된다.<sup>10)</sup>

參考文獻

1. William K. Smith and D. J. Varnes, 1987, "Least Squares Adjustment All Angles & distances Are Observed", *Surveying & Mapping*, vol. 47, No. 2, pp.125-142.
2. Hintz, R.J., 1983, "The Automatic Generation of Approximations and Isolation of Blunders in Horizontal Control Networks".
3. Hintz, R.J. and Joon Mook Kang, 1988, "Least Squares Analysis as Tool in Coordinate and Measurement" *Surveying and Mapping* vol. 48, No. 3 pp. 173-183.
4. Leick, A. 1988, "Adjustment Computation with Examples", Report No. 18, 27.
5. Wolf P.R., 1984, "Adjustment Computation", 2nd ed.
6. Papo, H.B., 19843, "Free Net Analysis in Close Range Photogrammetry", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 48, No. 4, pp. 309-321.
7. Alfred Leick, A.M., 1982, "Minimal Constraints



- in Two-Dimensional Networks", *ASCE.*, Vol. 108, No. SU 2., Aug.
8. Danial, N.F., 1980, "Trilateration Adjustment by Finite Elements", *ASCE.*, Vol. 106, No. SUI, Nov.
  9. Wolf, P.R., 1973, "Trilateration with Short Range E.D.M Equipment & Comparison with Traingulation", *ACSM.* Fall Convension, pp. 62-76.
  10. Collines, J., 1986, "GPS Surveying Techniques", issue of P.O.B.