

## 신뢰타원에 의한 삼변망의 오차해석 Error Analysis of Trilateration Network by Confidence Ellipse

백은기\* · 구재동\*\*

Back, Eun-Ki · Koo, Jai-Dong

### 要 旨

수평위치 결정에서 오차해석은 중요하다. 오차해석의 경우 표준오차타원이 정밀도의 척도로써 사용되나, 오차한계의 설정이나 측정치의 합격기준과 상대오차를 비교하는데 한계가 있어, 캐나다나 미국에서는 작업규정에 95%신뢰타원을 오차한계로 설정하고 있다. 본 연구에서는 수평위치 결정시 신뢰타원을 오차해석에 적용하여 분석하였다. 최소제곱법과 오차해석이론에 대해 검토하였으며, 컴퓨터 프로그램으로 E.D.M 삼변망에 대해 오차분석을 하였다. 본 연구결과 오차한계의 설정, 측정치의 합격기준, 상대오차를 비교할 때 95%신뢰타원이 합리적이므로 작업규정에 95%신뢰타원을 도입하는 것이 필요하다. 또한 경제성있는 최적망 설계를 위해 측량망의 예비분석에도 95%신뢰타원이 효과적으로 적용될 수 있다고 사료된다.

### ABSTRACTS

Error analysis is important in horizontal positioning. In case of error analysis, standard error ellipse is generally used to establish the precision regions, but it will be replaced by 95% confidence ellipse. It is more effective than standard error ellipse in resection for measured procedures and establishment for criterias of relative error. Therefore, In this paper deals with analysis of application to 95% confidence ellipse in horizontal positioning. This study deals with error analysis of plane trilateration network which are various types of control point. also, this paper have studied for theory of error analysis in order to using least square adjustment. Thus, This paper's conclusion are as follows; 95% confidence ellipse could be used to establish of specification in korea, also, it is possible for us to predesign for optimum surveying network by 95% confidence ellipse.

### 1. 서 론

전자공학과 물리학의 발달에 따라 종래의 각 관측에 의존하던 측량방법이 변측량으로 바뀌고 있고, 컴퓨터와 소프트웨어의 발달로 최확치와 오차를 정확하고 빠르게 구할 수 있게 되었다.<sup>4,6)</sup>

오차해석에서 측정정확도는 확률오차, 평균오차, 표준오차, 위치오차 등으로 나타내며, 이들은 측량계획과 오차해석에서 매우 중요하게 취급된다.<sup>19)</sup> 2차원 오차해석에서 정밀도의 척도로 표준오차타원을 사용하는 것이 일반적이나 오차한계의 설정이나 합격기준 및 상대

정밀도를 비교하는데 있어서 종래의 표준오차타원보다 95%신뢰타원을 사용하는 것이 보다 효과적임이 알려져 있다.

캐나다나 미국에서는 측량의 작업규정(Specifications)에서 오차의 한계를 95%신뢰타원의 장축으로 사용하고 있는 실정인데,<sup>6,8,9,17)</sup> 국내에서도 95%신뢰타원의 장축을 사용하는 것이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 삼변망의 수평위치결정에 신뢰타원을 적용하여 오차해석을 하였다. 최소제곱법, 오차해석이론 등 기본이론을 고찰하고 삼변망의 실례를 통하여 95% 신뢰타원을 적용하였다. 또한, 기준점을 바꾸어 가면서 오차해석을 하였으나, 결과해석과 수평위치 해석에 국한시켰다.<sup>1)</sup>

\*서울시립대학교 공과대학 토목공학과 명예교수

\*\*서울시립대학교 공과대학 토목공학과 박사과정 수료

연구방법으로 컴퓨터 프로그램을 편성하여 적용시켰으며, 실측 데이터를 이용하여 각각 2개의 기준점을 고정시킨후, 경우별로 기준점을 바꾸어 95%신뢰타원을 적용하고 그 결과를 비교분석하였다.

## 2. 최소제곱법

수평위치결정을 위한 관측은 데오들라이트를 사용해서 얻은 각과 EDM으로 얻은 거리의 2가지 형태가 있다. 전방교회법, 후방교회법 및 삼각측량은 거리측량을 기본으로 하며, 삼변측량은 거리측정을 기본으로 하고, 트래버스측량은 각과 거리가 동시에 포함된다. 좌표조정법은 최소제곱법에 의한 수평위치결정에서 측정치와 오차의 관계로 부터 그 점의 최확치를 구하는 방법이다.<sup>20,21)</sup>

160여년전 Gauss에 의해 천문측량에 처음 적용한 이래로 최소제곱법이 소개되었으며, 과학, 공학분야에 널리 적용되었다. 최근 컴퓨터의 발달로 최소제곱법의 실용성을 높이게 되었고, 항공사진측량, 측지학, 측량학 등 데이터를 처리하는 데 탁월한 조정기법이 되었다.<sup>7, 10, 11, 12, 14)</sup> 관측방정식의 일반식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_1(A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \dots + A_{1n}X_n) &= P_1(L_1 + V_1) \\ P_2(A_{21}X_1 + A_{22}X_2 + \dots + A_{2n}X_n) &= P_2(L_2 + V_2) \\ P_m(A_{m1}X_1 + A_{m2}X_2 + \dots + A_{mn}X_n) &= P_m(L_m + V_m) \end{aligned} \quad (2-1)$$

이를 매트릭스 형태로 나타내면,

$$P A X = P(L + V) \quad (2-2)$$

이 된다.  
여기서,

$$X = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \dots \\ P_m \end{bmatrix}^m ; A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}^n$$

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix}^n ; L = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_m \end{bmatrix}^m ; V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_m \end{bmatrix}^m$$

최소제곱에 의한 해는 잔차의 제곱의 합이 최소가 되어야 하므로, 매트릭스 형태에서  $V^T P V$ 가 최소가 되어야 한다.

$$\sum P V^2 \Rightarrow \text{최소} \quad (2-3)$$

이 조건은  $V^T P V$ 를  $X$ 로 편미분하고 그 결과를 0으로 놓으면,

$$\frac{\partial (V^T P V)}{\partial X} = 2V^T P = \frac{\partial V}{\partial X} = 0 \quad (2-4)$$

$$\frac{\partial V}{\partial X} = \frac{\partial (AX - L)}{\partial X} = A \quad (2-5)$$

가 되며, (2-5)식을 (2-4)식에 대입하면 (2-6)식이 되고 (2-6)식에 1/2를 곱하고 전치하면

$$2V^T P A = 0 \quad (2-6)$$

$$A^T P^T V = 0 \quad (2-7)$$

이 되어 (2-7)식에  $V = AX - L$ 을 대입하면

$$A^T P^T (AX - L) = 0 \quad (2-8)$$

$$A^T P^T A X - A^T P^T L = 0$$

따라서,

$$A^T P^T A X = A^T P^T L \quad (2-9)$$

$X$ 를 풀면

$$X = (A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (2-10)$$

이 된다.

만일 무계가 같다면  $P$  매트릭스로서 다음과 같이 된다.

$$X = (A^T A)^{-1} A^T L \quad (2-11)$$

## 3. 오차해석

오차해석은 실수나 착오등의 오차를 수학적으로 검증하기 위하여 실시하며, 최확치를 결정하기 위하여 데이터의 조정을 한다. 위치결정에서 오차해석 단계는 1) 오차한계의 설정, 2) 측정치에 대한 모델링, 3) 예비분

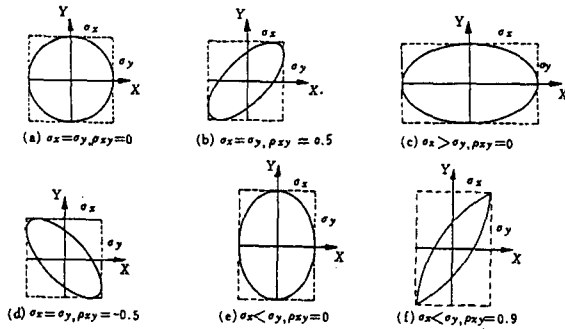


그림 1. 오차타원의 방향과 상호관계

석, 4) 측정, 5) 측정치의 조정, 6) 결과, 7) 결과분석, 8) 검증의 순서로 하며, 이 중에서 3), 5), 7) 단계에서는 오차해석이 필요하다.<sup>19)</sup> 오차타원은 1868년 Helmert가 오차해석에 처음 도입한 이후로 점차 측지학에 사용되었다. 오차타원은 오차정밀도를 나타내는 수학적 모델로서 오차의 주방향(principle axis)과 형태 및 크기를 그림으로 나타낼 수 있어 오차해석을 하는 데 유용하다. 위치의 정밀도는 최확치부근의 신뢰영역(Confidence regions)의 크기로 나타내며, 표준오차타원(Standard Error Ellipse)을 확장한 신뢰타원(Confidence ellipse)으로 나타내어 시각적인 오차비교를 할 수 있다.<sup>8,19,20)</sup>

### 3.1 오차타원

분산이나 표준편차는 각이나 거리같이 1차원에 대한 정밀도의 척도이나, 점의 위치와 같이 2차원의 정밀도 영역(Precision regions)은 각 확률에 대한 타원으로 나타난다. X, Y축과 타원의 방향은 X와 Y의 상호관계(Correlation)에 달려있어, X, Y축과 타원이 비상관(uncorrelated)되어 있으면 X, Y축에 평행하게 되며, 두 좌표가 같은 정밀도라면 그림 1(a)와 같이  $\sigma_x = \sigma_y$ 가 되어 원이 된다.<sup>9)</sup> 오차타원은 신뢰영역을 나타내는 방법으로 그 내부의 면적이 확률의미를 가진 신뢰영역으로 나타나며, 신뢰도(degree of Confidence) 또는 신뢰수준(Confidence level)에 대한 한계를 나타내는데 사용할 수 있다.

오차타원의 장·단축을 결정하기 위하여 그림 2와 같이 x축에서 만큼 변환된 경우의 식은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi & \sin\phi \\ -\sin\phi & \cos\phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} \quad (3-1)$$

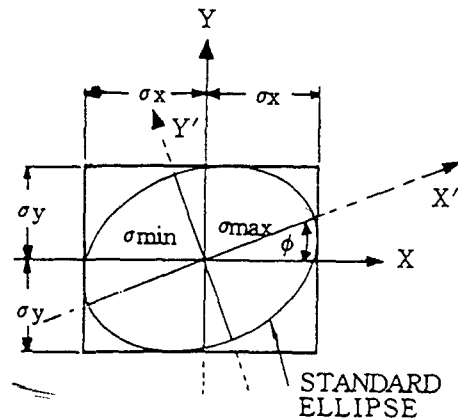


그림 2. 오차타원

분산-공분산의 오차전파식<sup>2,8,13,16)</sup>

$$\sum YY = A \sum XX A^T \text{에서} \quad (3-2)$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{X'}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{Y'}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi & \sin\phi \\ -\sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi \\ \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \quad (3-3)$$

이 되며, 전개하면

$$\sigma_{X'}^2 = \sigma_x^2 \cos^2\phi + 2\sigma_{xy} \sin\phi \cos\phi + \sigma_y^2 \sin^2\phi \quad (3-4-a)$$

$$\sigma_{Y'}^2 = \sigma_x^2 \sin^2\phi - 2\sigma_{xy} \sin\phi \cos\phi + \sigma_y^2 \cos^2\phi \quad (3-4-b)$$

$$0 = (\sigma_y^2 - \sigma_x^2) \sin\phi \cos\phi + \sigma_{xy}(\cos^2\phi - \sin^2\phi) \quad (3-4-c)$$

이때, 분산의 최대·최소치는

$$\sigma^2_{\max} = \sigma_x^2 \cos^2\phi + \sigma_y^2 \sin^2\phi + 2\sigma_{xy} \sin\phi \cos\phi \quad (3-5-a)$$

$$\sigma^2_{\min} = \sigma_x^2 \sin^2\phi + \sigma_y^2 \cos^2\phi - 2\sigma_{xy} \sin\phi \cos\phi \quad (3-5-b)$$

이 되고, 삼각법에 의해 간단히 하면

$$\begin{aligned} \sigma^2_{\max} &= \sigma_x^2 \cos^2\phi + \sigma_y^2 \sin^2\phi + \sigma_{xy} \sin 2\phi \\ &= \frac{1}{2}(\sigma_x^2 + \sigma_y^2) + \frac{1}{2}(\sigma_x^2 - \sigma_y^2) \cos 2\phi + \sigma_{xy} \sin 2\phi \end{aligned} \quad (3-6)$$

이 된다. X 방향에 대한 분산의 최대치를 얻기 위하여  $\phi$ 로 편미분한다.

$$2\sigma^2_{\max}/\partial\phi = \frac{1}{2}(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)(2)(-2 \sin 2\phi) + 2\sigma_{xy} \cos 2\phi = 0$$

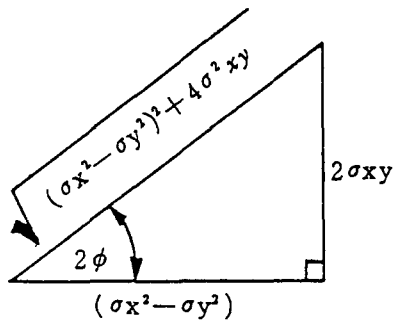


그림 3. 각과 분산-공분산의 관계

$$\tan 2\phi = \sin 2\phi / \cos 2\phi = \frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \quad (3-7)$$

여기서,  $\sigma_x^2$ ,  $\sigma_y^2$ 는 분산  $\sigma_{xy}$ 는 공분산  
따라서,  $\phi$ 가 주축(Principle Axis)이며, 장축방향이  
다. 그림 3은 각과 분산-공분산의 관계를 나타낸 것이  
다.

$$\sin 2\phi = 2\sigma_{xy} / \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma^2_{xy}} \quad (3-8-a)$$

$$\cos 2\phi = (\sigma_x^2 - \sigma_y^2) / \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma^2_{xy}} \quad (3-8-b)$$

이 되어 최종식은 다음과 같이 된다.

$$\sigma^2_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma^2_{xy}}) \quad (3-9-a)$$

$$\sigma^2_{\min} = \frac{1}{2}(\sigma_x^2 + \sigma_y^2) - \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma^2_{xy}} \quad (3-9-b)$$

위의 두 식이 오차타원의 장,단축을 계산하는 표준방  
정식이다.<sup>9)</sup> 오차타원의 장반경축 (semi major axis)과 단  
반경축(semi minor axis)을 구하는 것은 상당히 중요하며  
간단하게 공분산매트릭스에서 구하는 eigenvalue가 있  
다.<sup>6,14)</sup> 결국, 오차타원은 그림 1(a)와 같이 주축방향으로  
 $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ 을 가질때의 타원이며 장반경축이  $\sigma_{\max}$ 이고 단  
반경축이  $\sigma_{\min}$ 인 타원이 표준오차타원이다.

### 3.2 신뢰타원

표준오차타원을 기준으로 하여 확률에 맞는 타원을  
확장할 수 있는데 이런 타원이 신뢰타원이다. 각각의  
확률에 대한 신뢰타원은 표준오차타원에 승수  $k$ 를 곱  
하여 얻을 수 있다.  $k\sigma_x$ 와  $k\sigma_y$ 를 가지고 있는 타원에  
들어 올 확률을 나타내면 다음과 같다.

$$P\left(\frac{X^2}{\sigma_X^2} + \frac{Y^2}{\sigma_Y^2} < K^2\right) = P(\chi^2 < K^2) = 1 - \alpha \quad (3-10)$$

여기서,  $1-\alpha$ 는 신뢰구간이며 신뢰구간의 상,하한계가  
신뢰한계 (Confidence limit)이다. 신뢰한계(Confidence  
regions)를 설정하기 위하여  $\alpha=0.05$ 라 하고 승수  $K$ 를  
구하면,  $K=2.447$ 이 되어 95%신뢰타원은 승수가 2.  
447이다. 표준오차타원의 경우  $K=1$ 이며 확률은  $1-\alpha=0.$   
394이다.

$$P(\chi^2_2 < \chi^2_{0.05}, 2) = P(\chi^2_2 < 5.99) = 0.95$$

보통 1차원의 경우를 신뢰구간, 다차원에서는 신뢰  
영역이라 하며, 1차원의 경우  $\pm\sigma$ 에 들어 올 확률은 0.  
683이며, 2차원에 들어 올 확률은 0.394이고, 3차원의  
경우는 겨우 0.119뿐이다.<sup>8,14)</sup>

따라서, 2차원에서 95%의 신뢰도일 때의 장반경축  
(Semi major Axis)과 단반경축(Semi Minor Axis)은 각  
각 2.447배로 된다. 표 1과 표 2는 2차원과 3차원에 대  
한 확률과 승수를 나타낸 것이다. 보통 측량에서는  
95%의 신뢰도를 요구하는 95% 신뢰타원이 많이 쓰이  
고 있다.<sup>9)</sup>

한편, 3차원의 경우는 수평위치에 높이가 추가되어 오  
차타원체(Error Ellipsoid)가 된다. 오차타원과 오차타원체  
는 점부근의 신뢰영역을 설정하는데 유용하며, 신뢰영역

### 확률과 승수

표 1. 2차원

P	0.394	0.500	0.900	0.950	0.990
K	1.000	1.177	2.146	2.447	3.035

표 2. 3차원

P	0.199	0.500	0.900	0.950	0.990
K	1.000	1/538	2.500	2.700	3.368

은 진보하여 작업규정을 설정하는 수단도 될 수 있다.<sup>6,9)</sup>

## 4. 적용사례

### 4.1 관측 데이터

본 연구의 관측데이터로 대한지적공사에서 서울시

표 3. 지적도근점 좌표

측 점	X	Y
서영56	2.7600	1646.6700
서영57	7297.5200	700.2300
서영60	5595.4000	292.7500
서영62	5870.4400	2301.5000
서영64	4657.4000	2030.9000

표 4. 측정변장의 보정치

측 선	거 리
서영62-서영56	958.916
서영57-서영62	2144.937
서영57-신설점	1419.158
서영60-신설점	1029.270
서영60-서영56	2298.396
서영60-서영62	2027.598
서영60-서영64	1972.161
서영64-신설점	1544.703
서영62-서영56	2821.634
서영64-서영62	1242.908
신설점-서영62	1062.367
서영62-서영64	1712.476
신설점-서영56	1519.891

영등포구 문래동 일대의 지적도근점 서영56·서영57·서영60·서영62 및 서영64의 5점과 1개의 신설점에 대하여 변장측정을 실시한 것이다. 표 3은 지적도근점의 좌표이며 표 4는 측정변장의 보정치이다.

본 연구에서는 이 실측 데이터를 이용하여 표 5와 같이 5개의 경우로 구성하여 각 경우에 따라 오차해석을 하였다. Sokkisha제 RED1A E.D.M을 사용하였으며 연직각을 측정하여 수평거리로 보정하였고, 기상보정은 E.D.M의 자체보정으로 충분하다.

4.2 데이터 처리

5개의 지적도근점과 1개의 신설점으로 부터 측정된 변장을 표 5와 같이 5개의 경우로 구성하여 조정계산을 하였으며, 조정계산을 위하여 편성한 프로그램의 흐름도는 그림 4와 같다.

표 5. 기준점의 변화

	기준점	미지점	측정 변장수
I	서영57 서영60	서영56 신설점 서영62 서영64	13
II	서영60 서영64	신설점 서영57 서영56 서영62	12
III	서영62 서영56	서영64 서영60 신설점 서영57	12
IV	서영60 서영56	서영64 서영62 신설점 서영57	12
V	서영57 서영62	서영56 신설점 서영60 서영64	12

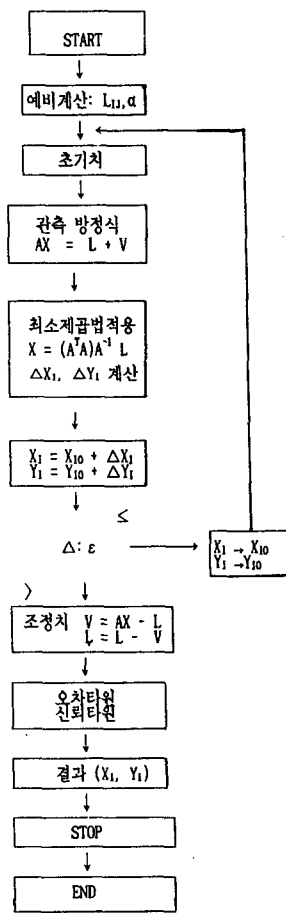


그림 4. 흐름도

4.3 결과 및 고찰

4.3.1 결과

표 6은 각 경우의 미지점에 대한 표준오차타원의 방향 각과 신뢰타원값의 장·단반경축을 나타낸 것이다. 그림 5는 I의 경우, 그림 6은 II의 경우 그림 7는 III의 경우, 그림 8은 IV의 경우, 그림 9는 V의 경우에 대해 그림으로

표 6. 신뢰타원값

경우	측점	방향각	장반경축	단반경축
I	서영56	42.97413	.02821	.01771
	신설점	29.12173	.02051	.01841
	서영62	16.88916	.03122	.01674
	서영64	-10.14215	.03962	.01966
II	신설점	024.64739	.01135	.01090
	서영57	-39.79461	0.2704	.01401
	서영56	8.36650	0.2165	.00892
	서영62	-14.47502	0.1234	.01086
III	서영64	-7.88035	.00754	.00303
	서영60	26.05698	.00700	.00314
	신설점	37.41525	.00373	.00350
	서영57	29.18262	.00585	.00341
IV	서영64	-25.59936	.01866	.00974
	서영62	27.09243	.01316	.01065
	신설점	39.77343	.01240	.01051
	서영57	21.19259	.01891	.01209
V	서영56	-21.68351	.01207	.00974
	신설점	31.01426	.01144	.00921
	서영60	-16.64959	.02364	.00934
	서영64	-4.25867	.02118	.00942

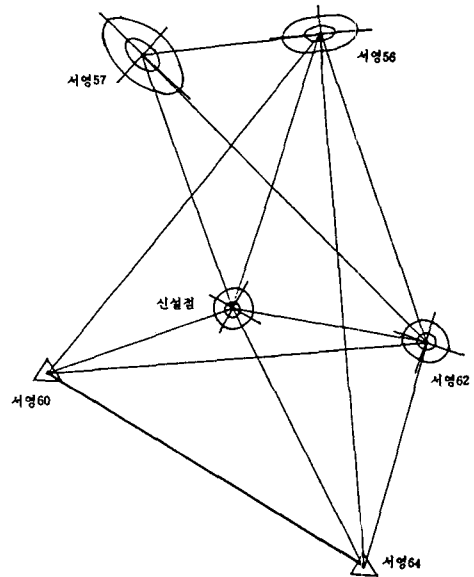


그림 6. II의 경우

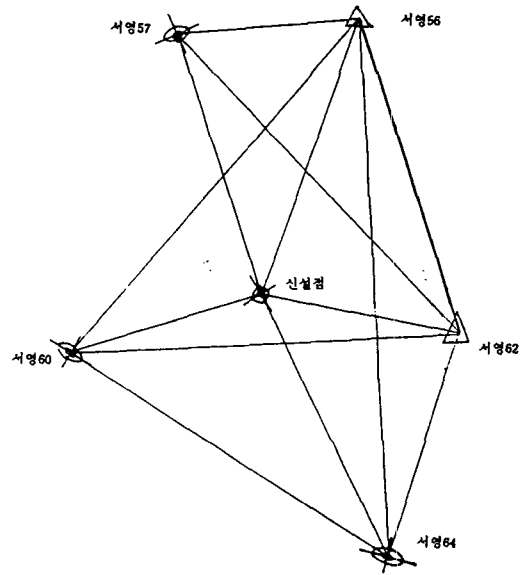


그림 7. III의 경우

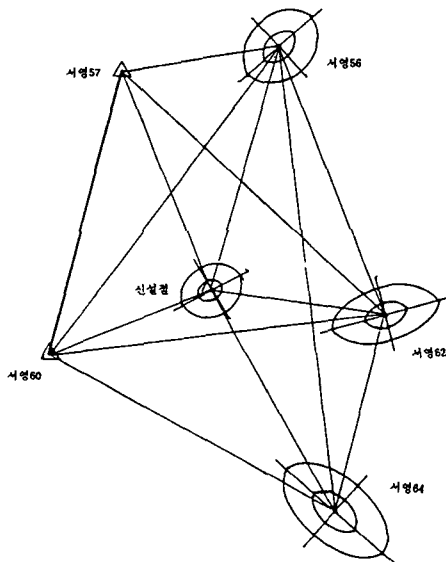


그림 5. I의 경우

나타낸 것이다. 여기서, 그림에 대한 축척은 1:20,000,

타원축적은 1:5 로 하였다. 그림에서 안쪽에 있는 타원이 표준오차타원이며 바깥쪽이 95%신뢰타원이다.

#### 4.3.2 결과 및 고찰

위 그림에서 기준점이 바뀔에 따라 오차타원의 장.단 반경축 방향의 변화와 형태 및 크기변화를 시각적으로

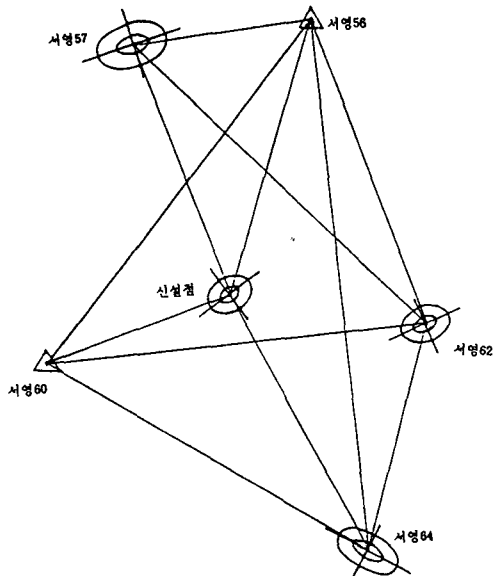


그림 8. IV의 경우

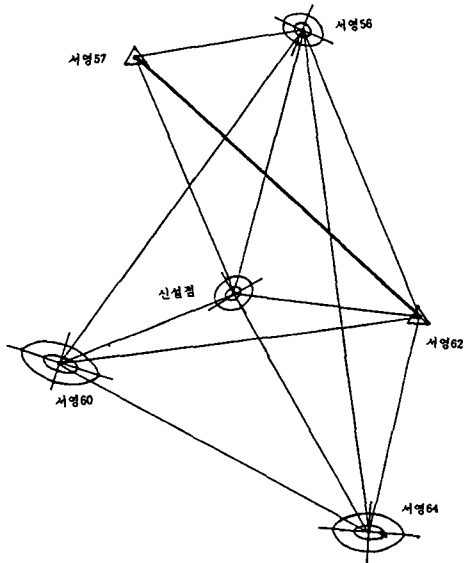


그림 9. V의 경우

비교할 수 있어서 오차해석을 하는데 좋았다. 본 적용에서 I의 경우 95%신뢰타원의 장.반경축은 최대 9.7 Cm, 최소 5.0 Cm 정도로 나타났고, II의 경우 95%신뢰타원의 장.반경축은 최대 6.6 Cm, 최소 2.8 Cm 정도로 나타났으며, III의 경우 95%신뢰타원의 장.반경축은 최대 1.8 Cm, 최소 0.9 Cm 정도로 나타났다. IV의 경우는

95%신뢰타원의 장.반경축은 최대 5.8 Cm, 최소 2.8 Cm 정도로 나타났으며, V의 경우 95%신뢰타원의 장.반경축은 최대 4.5 Cm, 최소 2.9 Cm 정도로 나타났다.

표 7에서와 같이 평균 1/114,000 정도의 매우 좋은 정밀도를 가졌지만 III의 경우가 1/355,000 로 가장 좋았으며 II · IV · V의 경우는 1/116,000, 1/128,000, 1/110,000 정도로 비슷하게 나타났고 I의 경우가 1/65,000 정도로 상대적으로 낮게 나타났다. 이러한 이유는 기준점으로 부터 측정된 변장수의 차이에 있다고 사료된다.

본 적용에서 오차타원의 주방향이 주로 측정방향과 거의 평행하게 나타나는 이유는 오차의 주요인이 변에 있다고 사료되며, 본 적용과 같이 기준점을 바꾸어가며 95%신뢰타원을 적용하여 오차해석을 함으로써 오차가 최소로 되는 삼변망의 최적설계가 가능하다고 사료된다.

표 7. 측정의 오차

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}{2}} \quad (\text{단위: Cm})$$

측점 경우	서영 57	서영 60	서영 64	서영 62	서영 56	신설점	평균	상 대 정밀도
I	—	—	3.1	2.5	2.4	1.9	2.5	1/65,
II	2.2	—	—	1.2	1.7	1.1	1.6	1/116,
III	0.5	0.5	0.6	—	—	0.4	0.5	1/355,
IV	1.6	—	1.5	1.2	—	1.2	1.4	1/128,
V	—	1.8	1.6	—	1.1	1.0	1.4	1/110,
평균	1.4	1.2	1.7	1.6	1.7	1.1	1.5	1/114,

## 5. 결 론

수평위치 결정에서 오차해석은 2차원 해석이 되어, 오차해석의 경우 표준오차타원이 정밀도의 척도로써 사용되나, 오차한계의 설정이나 측정치의 폐기기준과 상대오차를 비교하는데 한계가 있어 캐나다나 미국에서는 작업규정에 95%신뢰타원을 오차한계로 설정하고 있다. 본 연구에서는 수평위치 결정시 신뢰타원을 오차해석에 적용하고 분석을 하였다. 최소제곱법을 이용하여 오차해석에 대해 E.D.M 삼변망에 대해 오차분석을 하였다. 본 연구결과와 결론은 다음과 같다.

(1) 측량의 계획이나 설계시 오차한계의 설정, 측정치의 합격기준, 상대오차를 비교할 때에 95%신뢰타원이 합리적이라 사료되며, 국내의 측량작업규정에도 95%신뢰타원의 도입이 필요하다.

(2) 최적망 설계를 위해 측량망의 예비분석에도 95%신뢰타원이 효과적으로 적용될 수 있다.

### 감사의 글

본 연구에 필요한 자료를 제공해 주신 대한지적공사 석창덕 과장과 성태수 선생께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

### 参考文献

1. 具在東, "水平位置決定의 誤差解析에 關한 研究", 서울市立大學校 都市行政大學院, 建設 管理學科, 碩士學位論文, 1985.7.
2. 藤井陽一郎. 誤差橢圓より 信賴橢圓へ, 日本 測量協會, 1983, 12.pp. 15-21.
3. Aguilar. A. M., "Principle of Survey Error Analysis and Adjustment", Journal of the Surveying and Mapping Division, A.S.C.E., Vol. 99, 1973, pp. 107-119.
4. Baker. J. R., "Adjusting Radial Surveys", Journal of the Surveying and Mapping Division, A.S.C.E., Vol. 98, 1973, pp. 157-166.
5. Bomford.G., "Geodesy", Clarendon Press, 1980, pp. 604-721.
6. Davis. R. E., "Surveying Theory and Practice", McGraw-Hill, 1981, pp. 34-35, pp. 859-863.
7. Derenyi. E. E. & Chrzanowski. A., "Preanalysis of Trilateration Nets for Engineering Surveys", Surveying and

- Mapping, Vol. 28, 1968, pp. 615-619.
8. Haug. M.D., "Application of Mohr's Circles Technique in Error Analysis" Surveying and Mapping, Vol. 44, 1984, pp. 309-320.
9. Kavanagh. B.F. & Bird. S.J., "Surveying Principle and Applications", Reston Pub. Co., 1984, pp. 859-886.
10. Leick. A., "Minimal Constraints in Two Dimensional Network", Journal of the Surveying and Mapping Division, A.S.C.E., Vol. 108, 1982, pp. 53-68.
11. Madikour. M.F., "Nonlinear Least Square Algorithm", Journal of the Surveying and Mapping Division, A.S.C.E., Vol. 98, 1972, pp. 185-200.
12. Madikour. M.F., "Precision of Adjusted Variables by Least Squares", Journal of the Surveying and Mapping Division, A.S.C.E., Vol. 94, 1968, pp. 119-134.
13. Mikail. E.M., "Analysis and Adjustment of Survey Measurement", Reinhold Co., 1981, pp. 199-230.
14. Mikail. E.M., "Observation and Least Squares", Harper & Row, 1976, pp. 101-111, pp. 131-132, pp. 296-302.
15. Miller. E.W., "Error in the Three Point Problem", Surveying and Mapping, Vol. 23, 1963, pp. 429-433.
16. Richardus. P., "Project Surveying", Northholland Pub. Co., 1977, pp. 100-111.
17. Uotila. M.D., "Useful Statistics for Land Surveys", Surveying and Mapping, Vol. 33, 1973, pp. 67-77.
18. Vanicek. P., "Geodesy; the Concepts", Northholland Pub. Co. 1982, pp. 230-233, pp. 334-414.
19. Veress. S.A., "Measures of Accuracy for Analysis and Design of Survey", Surveying and Mapping, Vol. 33, 1973, pp. 435-442.
20. Wolf. P.R., "Adjustment computation", P.B.L. Pub. Co., 1981, pp. 23-29, pp. 87-95, pp. 207-221.
21. Wolf. P.R., "Horizontal position Adjustment", Surveying and Mapping, Vol. 29, 1969, pp. 635-644.