

# 複合測地網의 組合에 따른 水平位置의 正確度 比較

## Accuracy Comparison of horizontal position by combination of the geodetic networks.

姜 準 默\*      朴 寅 海\*\*\*  
Kang Joon Mook   Park, In Hae  
李 鎔 昌\*\*  
Lee Yong Chang

### 要 旨

각과 거리를 동시관측할 수 있는 Total station과 3차원 위성 측량 시스템인 GPS는 대형 측지망의 재 조정 및 설정을 위해 최근 이의 활용이 크게 기대되고 있다.

본 연구는 동시에 관측한 각과 거리의 과대오차를 검출하고 측지망 간의 다양한 결합조정에 따른 오차의 특성을 고찰함으로써 대형 측지망 조합에의 적용 가능성을 제시한 것이다.

연구 결과, 본 기법은 단기간내 높은 정확도로 측지망을 조합조정할 수 있었으므로 크고, 작은 건설공사는 물론 범 국가적인 측지망의 구성에 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

### ABSTRACT

The total station which is able to measure angles and distances simultaneously, and G.P.S., 3-dimensional satellite surveying system will be employed as important equipments for establishing and re-adjusting large geodetic networks.

The objective of this study is to suggest possibilities of application of combination adjustment by means of studying characteristics of networks adjusted according to detection gross errors included in angles and distances by least square method.

It is expected that the results of this study were used for determination of national geodetic networks but also large or small construction site.

### 1. 序 論

현재 우리나라의 측지 기준망 실용성과는 1910년 부터 5년간 일제의 조선토지조사사업에 의해 설정된 역사적 배경과 중측적지도와 지적도등의 제작을 목적으로 짧은기간동안 부분적인 편법도 취하면서 미비한 기술적 여건하에서

작성된 관계로 기준점 좌표의 상대적 정확도가 낮음은 물론 당시의 측량에 관한 자료로는 조선총독부 발행의 "삼각측량 및 수준측량 성과표"외엔 전무한 실정이고 6.25 동란 등으로 기준점의 기능을 상당히 상실하여 재설, 복구 및 체계적인 조사 연구 등에 많은 어려움을 안고 있는 상황이다.

근래 정밀 측지망 설정사업의 활성화에 힘입어 경위도 원점을 한국원점으로서의 확정에 전력을 다하고 있지만 기설 측지망의 조사분석, 삼각점의 복구 및 실용성과의 산정, 원점과 삼

\* 忠南大 工大 教授  
\*\* 忠南大 大學院 博士課程  
\*\*\* 裡里 農林高 教師

각망과의 연결 외에도 거리의 누적오차와 망의 왜곡을 보정할 수 있는 전국적인 동시조정이 가능한 망조정 Program의 개발 등 해결해야 할 여러 당면과제를 안고 있다.

본 연구는 최근 정밀 측정장비의 개발과 더불어 우리의 측지망이 안고 있는 당면과제와 여기에 수반될 기존 측지망의 부분적인 조정과 신설 측지망과의 결합등에 활용될 수 있는 측지망 간의 결합조정 program 개발에 목적을 두고 algorithm을 정립하여 이를 실제 network에 다양하게 적용시켜 그 특성을 분석하였다.

## 2. 研究 內容

본 연구에서는 측지망간 결합 algorithm을 개발하기 위해 적합한 비선형 수학적 모델을 구성하고 Taylor 급수전개를 이용하여 선형화한 다음 관측방정식( $V=AX+L$ )을 형성하였다. 각 및 거리 관측에 대한 각각의 표준오차를 사전분산(a-priori variance)과 관련짓고 분산-공분산 요소와 함께 각 iteration마다 각 및 거리 측정값 개개의 weight를 재결정할 수 있도록 하였다. ( $P=\sigma_0^2\Sigma Q_{xx}^{-1}$ ,  $\Sigma Q_{xx}^{-1}=(A^T PA)^{-1}$ ) 관측 방정식의 해석을 위해 정규 방정식으로 재구성한 다음 matrix해법을 적용하는 과정에서 계산의 신속, 정확성을 위해 Cholesky-decomposition으로 해석하였다.

또한 각 iteration마다 갱신되는 잔차(V)와 경중률(P)의 관계식( $V^T P V$ ) 결과를 허용오차와 비교( $|V^T P V_{non-in} - V^T P V_{in}| < \epsilon$ )함으로써 수렴여부를 판정함과 동시에 갱신된 각과 거리의 측정값에 대한 잔차와 표준오차를 이용하여 Robustness 과대오차 검출법에 의한 gross error를 검출할 수 있도록 구성하였다. 최종적으로 조정변수에 대한 variance-covariance matrix를 이용하여 단위경중률에 대한 사후 분산값(a-posteriori variance)을 구하고 정규분포를 근거로 한 표준오차의 면적 비율에 대한 구간 범위값과( $X_m \pm 2\sigma : 95\%$ ) 비교 검토하여 측정의 정확도를 판단하였다. 조정 결

과의 오차분석에 용이하고 사후 조정값의 산출 근거의 자료가 될 수 있도록 조정된 각 측정점의 최종 좌표값과 표준오차, 오차타원 요소를 출력하고 각 및 거리 측정값에 대한 표준오차 및 잔차, 단위경중률에 대한 표준오차 및 자유도(Degree of freedom)를 최종적으로 출력하는 결합 알고리즘을 구성하였다.

Weight의 변화에 따른 각과 변의 조합조정 및 삼각, 삼변조정의 정확도를 검토하고 측지망의 종류에 따른 정확도를 비교하기 위하여 network을 삼각망, 사변형망, 복합망으로 구성, redundancy에 따른 특성을 고찰하였다. 또한 본 연구에서 개발한 측지망간 결합 algorithm을 18점 및 102점으로 구성된 복합 측지망에 각각 적용하고 기준점, 기선 및 방위각의 배치와 중복부의 측정수, 연결측점의 표준오차 고려 여부 등의 제약 조건에 따른 각 경우별 오차분석을 통하여 그 특성을 고찰하고 결합조정기법의 적용 가능성을 제시하여 보다 이상적인 측지망의 구성과 범국가적인 측지망의 재조정 및 설정활용에 그 의의를 찾고자한다.

## 3. Network 構成 및 觀測

Network A는 약 5Km<sup>2</sup> 구역을 선정하여 <그림 1>와 같이 측지망을 구성하였다. 측선 1-2 방향을 X축, 그 직교 방향을 Y축으로 하여 Net.I의 경우 측점 No.1, Net.II는 측점 No.14를 기준점으로 선정하고, Net.I의 측선 1-2 및 Net.2의 측선 14-15에 방위각을 각각 설정하였다. 각관측은 1'독 theodolite로 Net.I, Net.II에서 각각 29개, 40개의 각을 관측하고, 거리측정은 정확도±(5mm+5ppm)의 EDM으로 각각 41개, 30개의 변을 측정하였다.

Network B는 약 20Km<sup>2</sup> 구역을 선정하고 <그림 2>와 같은 측지망을 구성하였다. Net.I의 경우 측점 No.20006, 20016, 20054를 Net.II는 측점 No.20001, 20068, 20006를 기준점으로 선정하고, 방위각은 Net.I의 경우  $\Theta_3$ ,  $\Theta_4$ , Net.II는  $\Theta_1$ ,  $\Theta_2$ 로 각각 설정하였다.

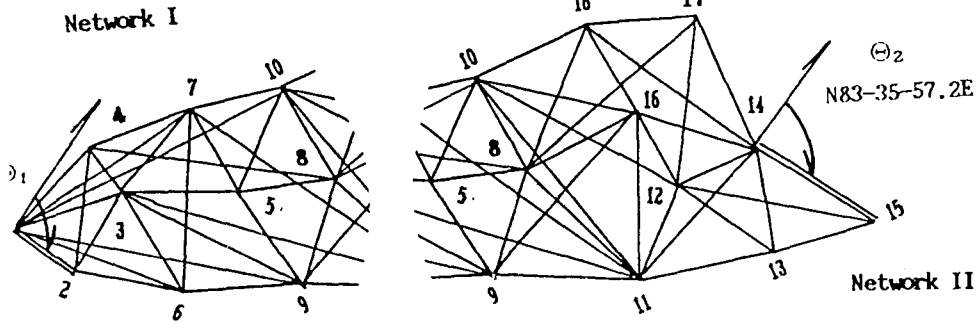


그림 1. Network A

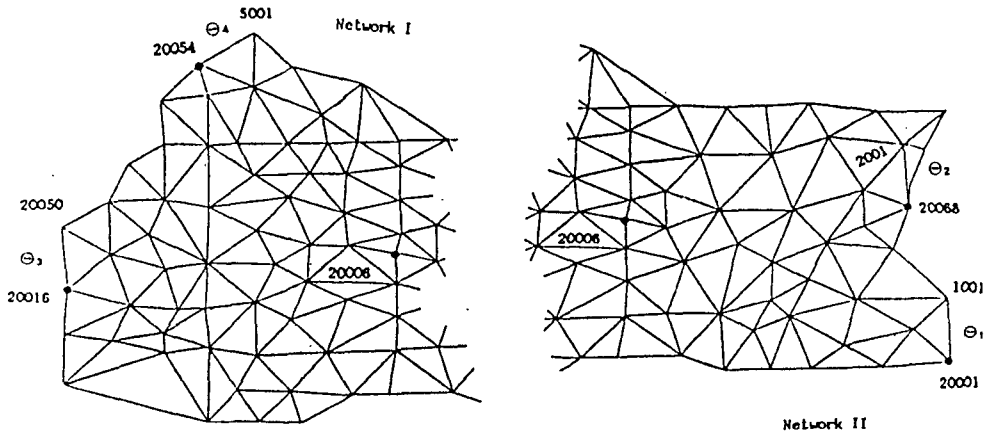


그림 2. Network B

#### 4. 比較 分析

각과 변의 조합조정 및 삼각, 삼변조정의 정확도를 기준점의 성과 및 각, 거리, 방위각의 관측오차에 기인한 weight의 변화에 따라 검토하여 조합조정기법의 우월성을 알 수 있었고 측지망의 형태에 따른 정확도를 비교하기 위해 network를 삼각망, 사변형망, 복합망으로 구성, redundancy에 따른 특성을 고찰하였다. 또한, 본 연구에서 개발한 combination algorithm을 실제 Net.A, Net.B에 적용하고 타 결합 방식과의 기하학적 평균 표준오차 및 각 측정점의 좌표오차에 대한 평균제곱오차(MSE)을 비교하여 combination algorithm에 의한 측지망간 결합조정의 적용 가능성 및 그 효용성을 입

증하였다.

각 측정위치에 대한 평균 표준오차는  $S = (\sum \frac{1}{s_i^2})^{-1/2}$ 에 의해 해석하였다. (단,  $\sum s_i^2 = \sigma^2 N^{-1}$ ). 각 측정점의 X, Y에 대한 평균 실험적 오차는  $AS_x, AS_y$ , 평균 기하학적 오차는  $SS_x, SS_y$ 로 표기하고 분할 측지망 결합의 경우 Net.I에선  $N1S_x, N1S_y$ , Net.II는  $N2S_x, N2S_y$ 로 각각 표기하였다.

(1) 동시조정에 의한 조정기법 별 오차분포  
 (그림 3)과 (표 1)은 Network A에 대한 삼각, 삼변 및 각과 변의 조합조정에 따른 각각의 결과를 표준오차 별로 나타낸 것이다. 조합조정의 경우가 삼각 및 삼변조정에 비해 각각 19%, 12%의 현저한 오차 감소를 나타내고 있으며, 기하학적인 신뢰성 면에서 삼각과 삼변은 실험적 오차와 비슷한 분포를 보인 반면,

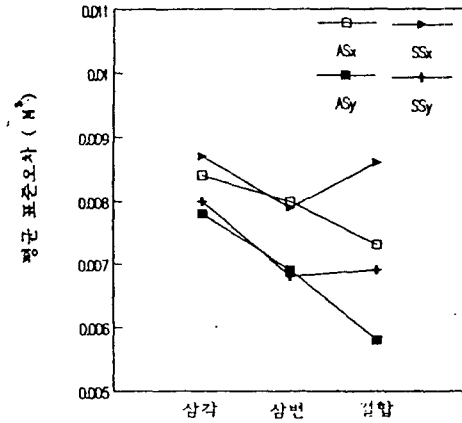


그림 3. 조정기법 별 오차분포

조합조정의 경우는 삼각과 삼변에 비해 큰 차를 나타내는데 이는 각과 변의 이질성 및 측정

표 1. 조정기법 별 표준오차

Averaged actual & simulated standard error ( M )						
조정법	ASx	ASy	SSx	SSy	So	D.F
삼각	.0084	.0078	.0087	.008	.970	32
삼변	.008	.0069	.0079	.0068	1.008	33
결합	.0073	.0058	.0086	.0069	.844	101

정도의 상이함에 기인된 것으로 사료되지만 전반적으로 조합조정법이 양호함을 알 수 있었다.

(표 2)는 삼각, 삼변조정과 Network A를 Net.I과 Net.II로 구성된 측지망으로 보고 측지망간 결합 Algorithm을 적용하여 해석한 측정점의 좌표성과(Combination)을 조합조정법에 기준을 두고 비교한 것이다.

표 2. 조정기법 별 좌표차 및 평균제곱 오차

( Unit : M )

측점 NO.	결합 조정		COMBINATION 조합기법		삼변 조정		삼각 조정	
	Adj X	Adj Y	X	Y	X	Y	X	Y
5	10223.926	10237.991	.925	.991	.923	.997	.925	.989
9	10392.385	10193.712	.384	.712	.385	.718	.381	.709
10	10183.687	10406.445	.686	.446	.686	.450	.687	.442
11	10572.703	10320.750	.703	.750	.706	.749	.698	.743
14	10581.131	10578.595	.131	.595	.139	.589	.130	.582
13	10701.184	10463.537	.184	.537	.189	.530	.179	.524
8	10330.417	10345.718	.416	.719	.419	.718	.416	.715
18	10272.394	10573.780	.394	.781	.404	.779	.397	.775
12	10532.715	10471.355	.715	.355	.719	.353	.714	.345
16	10403.765	10514.646	.765	.646	.770	.646	.766	.638
15	10792.019	10602.253	.019	.253	.031	.243	.013	.234
17	10393.056	10682.973	.056	.974	.067	.973	.061	.964
2	10104.336	10000.000	.336	.000	.335	.000	.335	.000
3	10098.910	10133.709	.909	.709	.909	.704	.909	.710
4	10004.059	10161.384	.059	.384	.057	.377	.059	.385
1	10000.000	10000.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
6	10252.728	10070.010	.728	.010	.729	.009	.727	.010
7	10088.818	10299.632	.817	.631	.818	.634	.819	.630
RMS of ΔX, ΔY			.001	.001	.005	.004	.003	.008
√ (ΔX <sup>2</sup> ) + (ΔY <sup>2</sup> )			.001		.006		.009	

각각의 경우에 대한 좌표차를 비교한 결과 Combination기법은 조합조정법과 평균 0.001m의 차를 보이고 있다.

(2) 측지망의 형태별 오차분포

(그림 4, 5, 6)은 (그림 1)의 network A를 삼

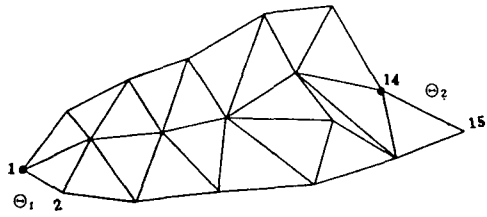


그림 4. 삼각망 \* 제약 조건 : 기준점 (#1, #14) 기준 (14-15) 망위각 (Θ<sub>1</sub>, Θ<sub>2</sub>)

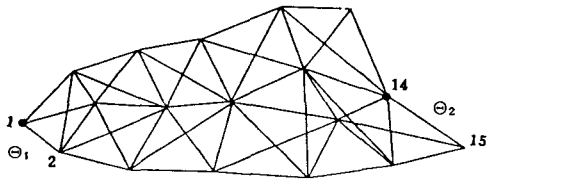


그림 5. 사변형망

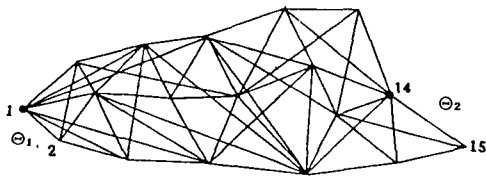


그림 6. 복합망

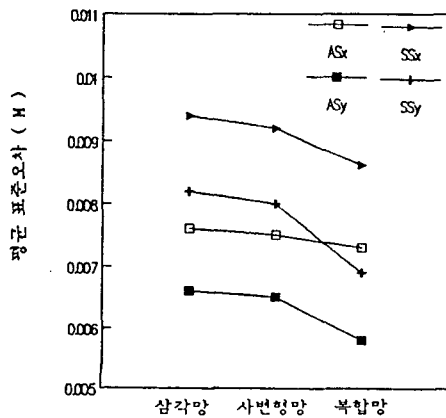


그림 7. 측지망 형태 별 오차분포

각망, 사변형망, 복합망으로 재구성한 것이다.

(그림 7 및 표 3)은 삼각망, 사변형망 복합망으로 재구성하여 조합조정한 결과이다. 삼각망, 사변형망, 복합망에서 실험적 및 기하학적 오차는 모두 동일한 양상을 보이며, 특히 복합망의 경우 ASx=0.007m, ASy=0.006m로 현저하게 낮은 오차를 나타내는데 이는 삼각 및 사변형망에 비해 높은 redundancy의 영향으로 판단 된다.

또한 Network A를 Net.I과 Net.II로 구성된 측지망으로 보고 측지망간 결합 Algorithm을 적용하여 해석한 측정점의 좌표성과(Combination)와 측지망의 형태에 따른 좌표성과를 복합망의 조합조정법에 기준을 두고 각각의 경우에 대한 좌표차의 평균제곱오차를 비교한 결과 Combination, 사변형망, 삼각망 기법은 복합망의 조합조정법과 각각 평균 0.001m, 0.009m, 0.012m의 차를 보이고 있다.

(3) 제약조건 및 Combination기법에 따른 오차분포

3-1). Network A에 적용

(표 4 및 그림 8)은 Network A에 대한 기준점 및 방위각의 구속조건에 따른 조정결과와 중복부를 고려한 Net I, Net II를 combina-

표 3. 측지망 형태 별 오차분포

Averaged actual & simulated standard error ( M )						
망 종류	ASx	ASy	SSx	SSy	So	D.F
삼각망	.0076	.0066	.0094	.0082	.809	65
사변형망	.0075	.0065	.0092	.008	.817	76
복합망	.0073	.0058	.0086	.0069	.844	101

표 4. 제약조건 및 조합기법에 대한 표준오차 (Net.A)

Averaged actual & simulated standard error ( M )						
제약 조건	ASx	ASy	SSx	SSy	So	D.F
#1, #14 (Θ <sub>1</sub> , Θ <sub>2</sub> ) #14-15 (Θ <sub>2</sub> )	.002	.0015	.0022	.0017	.894	106
#1, 1-2 (Θ <sub>1</sub> )	.0078	.0068	.0086	.0075	.905	103
#14 #14-15 (Θ <sub>2</sub> )	.0057	.0067	.0058	.0068	.984	103
C(N1+N2)	.0021	.0019	.002	.0018	1.042	101
C(N2+N1)	.0021	.0019	.002	.0018	1.042	101

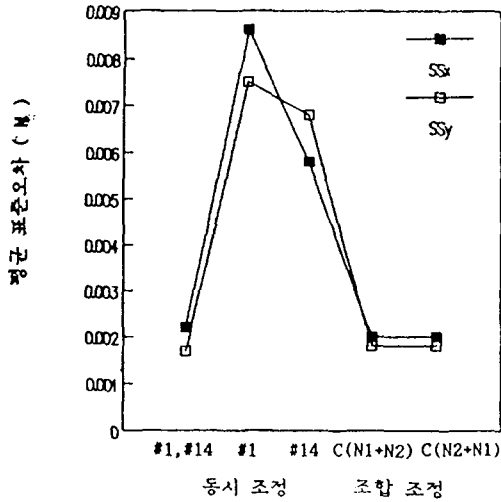


그림 8. 제약조건 및 조합기법에 따른 오차분포 (Net.A)

tion method을 적용, 결합 해석한 결과를 도시한 것이다. 2점 2방향 고정(#1+#14)의 경우

1점 1방향 고정(#1, #14)에 비해 평균 5mm정도 낮은 기하학적 오차를 보인 반면, 같은 1점 1방향 고정의 경우라도 구속조건의 배치 형태에 따라서 평균 2mm의 오차를 나타내었다. 1점 1방향 고정에 있어서 #1 고정과 #14 고정의 구속조건에 따른 오차 분포는 X방향에서 평균 2mm, Y 방향에서 1mm의 일관성이 없는 결과를 보이고 있다.

특히 2점 2방향 고정이  $SSx=2.2mm$ ,  $SSy=1.7mm$ 를 나타낸 것에 비해 combination method를 적용한 경우는 적은 redundancy 임에도 누적오차의 감소 및 상쇄에 따른 균일한 그 이상의 신뢰성을 보이므로 대형 측지망의 결합 조정에 중요한 의미를 부여하고 있다. (그림 9, 10, 11, 12)는 각각의 제약조건에 따른 오차분포를 오차타원으로 도시한 것이다. (그림 9, 10)에서는 1점1방향 동시조정

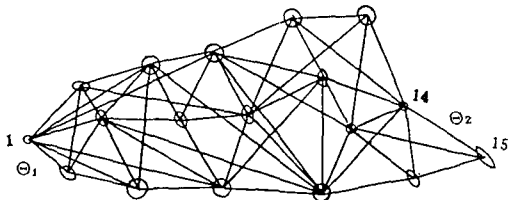


그림 9. 오차 타원 1. 동시조정

◆ 제약조건: 기준점 #1, #14 기선 14-15 방위각  $\Theta_1, \Theta_2$

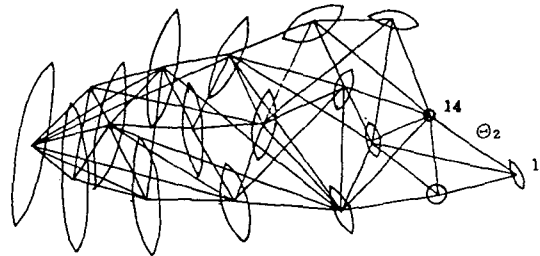


그림 11. 오차 타원 3. 조합기법에 의한 동시조정 (Net.II+Net.I)

◆ 제약조건: 기준점 #14 기선 14-15 방위각  $\Theta_2$

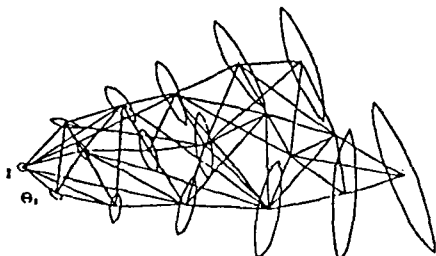


그림 10. 오차 타원 2. 동시조정

◆ 제약조건: 기준점 #1, 기선 1-2 방위각  $\Theta_1$

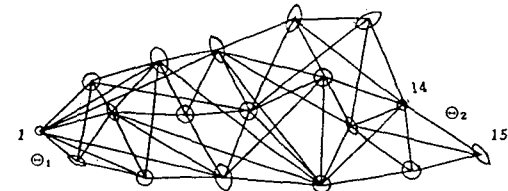
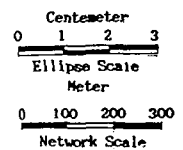


그림 12. 오차 타원 4. 조합기법에 의한 동시조정 (Net.I+Net.II)

◆ 제약조건 : 기준점 #1, 기선 1-2 방위각  $\Theta_1$   
: 기준점 #14 기선 14-15 방위각  $\Theta_2$



다른 오차의 누적현상을 확인할 수 있다. <그림 11, 12>는 측지망의 Net.I과 Net.II을 중복부를 고려하여 결합조정을 실시한 경우로 각각 Net.I에서 Net.II을, Net.II에서 Net.I을 결합시킨 경우의 오차분포를 나타낸 것으로 <그림 8>의 2방향 동시조정와 유사한 분포를 보이고 있다.

### 3-2) Network II에 대한 적용

<표 5, 그림 13>은 측지망을 확장하여 각각 67, 57개의 측점으로 구성된 Net.I과 Net.II에 대해 중복부를 고려하여 combination method을 적용, 결합 해석한 결과를 도시한 것이다. 5점 4방향 고정와 3점 2방향 고정와 비교  $SSx=0.004m$ ,  $SSy=0.009m$  정도 낮은 기하학적 오차를 보인 반면, 같은 3점 2방향 고정와 경우라도 구속조건의 배치형태에 따라서

$SSx=0.002m$   $SSy=0.008m$ 의 오차를 나타내었다.

<그림 15, 16>에서는 3점 2방향 동시조정와 경우로 제약조건의 배치에 따른 오차의 누적현상을 확인할 수 있다. <그림 17, 18>은 각각 Net.I에서 Net.II을, Net.II에서 Net.I을 측지망간의 결합조정을 실시한 경우의 오차분포를 나타낸 것으로 5점 4방향 동시조정와 경우와 유사한 분포를 보이고 있다.

### (4) 연결점 선정 및 측지망 결합방식에 따른 오차 분포

다음은 Network A에서 2개 망으로 분할 관측한 Net.I과 Net.II를 결합시키는 과정에서 망의 정도, 연결측점의 좌표차 및 표준오차를 고려하여 선정한 연결측점의 개수 및 배치 형태에 따른 기하학적 표준오차의 분포를 나타낸

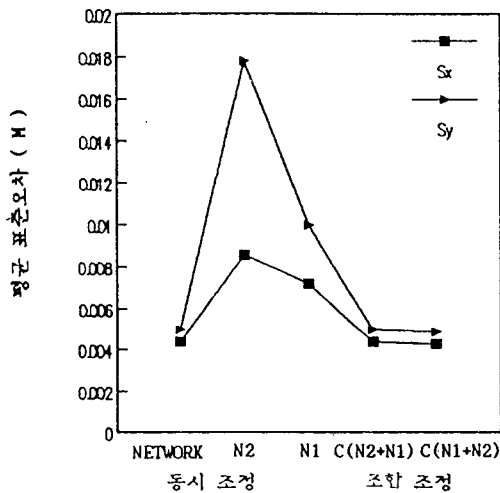


그림 13. 제약조건 및 조합기법에 따른 오차분포

표 5. 제약조건 및 조합기법에 대한 표준오차 (Net.B)

제약 조건	Averaged actual & simulated standard error ( M )					
	ASx	ASy	SSx	SSy	So	D.F
NETWORK	.0045	.0052	.0044	.0050	1.030	528
N2	.0083	.0173	.0086	.0178	.970	520
N1	.0071	.0099	.0072	.0100	.991	524
C(N2+N1)	.0046	.0052	.0044	.0050	1.049	496
C(N1+N2)	.0044	.0051	.0043	.0049	1.034	515

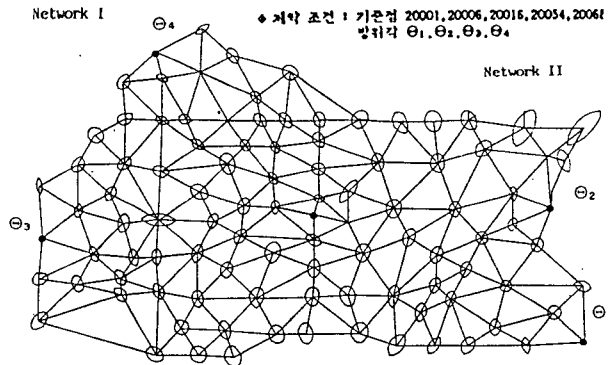


그림 14. 오차 타원 1. 5점 4방향 동시조정

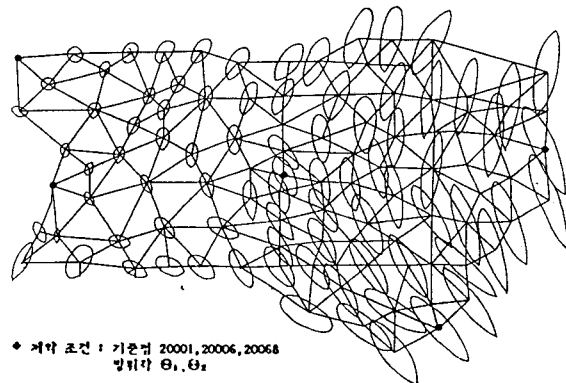
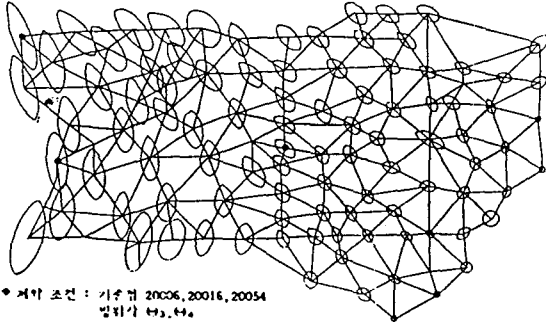
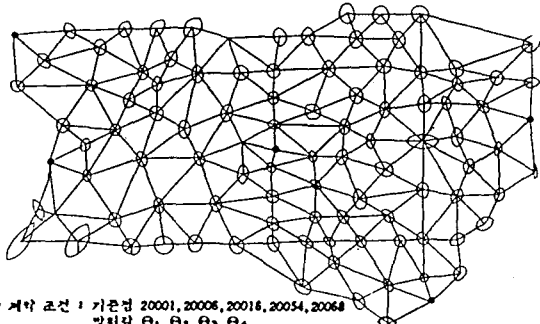


그림 15. 오차 타원 2. 동시조정(Net.II기준)



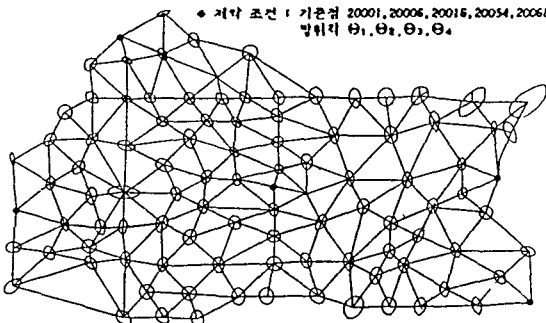
◆ 제약 조건 : 기준점 20006, 20016, 20054  
압위각 θ<sub>1</sub>, θ<sub>2</sub>, θ<sub>3</sub>

그림 16. 오차 타원 3. 동시조정(Net.I기준)



◆ 제약 조건 : 기준점 20001, 20006, 20016, 20054, 20068  
압위각 θ<sub>1</sub>, θ<sub>2</sub>, θ<sub>3</sub>, θ<sub>4</sub>

그림 17. 오차 타원 4. 동시조정(Net.II+Net.I)



◆ 제약 조건 : 기준점 20001, 20006, 20016, 20054, 20068  
압위각 θ<sub>1</sub>, θ<sub>2</sub>, θ<sub>3</sub>, θ<sub>4</sub>

그림 18. 오차 타원 5. 결합기법에 의한 동시조정(Net.I+Net.II)

표 6. 연결점과 결합방식에 따른 표준오차  
(연결점의 표준오차를 고려한 경우)

연결점	Averaged simulated standard error (H) consider joint point				C(N1 + N2)				C(N2 + N1)			
	SSx	SSy	So	D.F	SSx	SSy	So	D.F	SSx	SSy	So	D.F
#5, 8, 9, 10	.0021	.0017	1.507	102	.002	.0016	.923	109				
#5, 8, 9	.0016	.0013	1.605	105	-	-	-	-				
#8, 9, 10	-	-	-	-	.022	.0017	.967	107				
#8, 9	.002	.0017	.965	105	-	-	-	-				
#5, 9	-	-	-	-	.0021	.0017	.922	105				

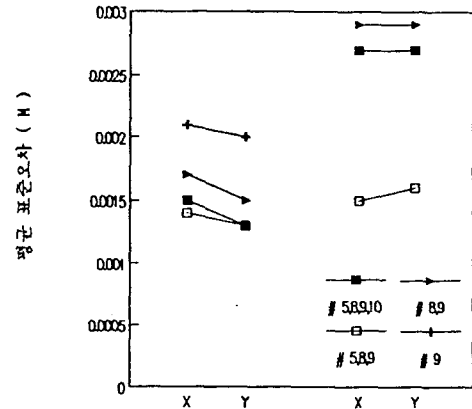
것이다.

〈표 6〉은 측지망 결합시 연결측점의 표준오차를 고려한 경우이고, 〈표 7〉은 고려치 않는 경우의 오차분포이다.

연결측점의 표준오차를 고려한 경우가 고려하지 않는 경우에 비해 일관성 없는 오차분포를 보이는데 이는 누적 오차의 전파에 기인된 것으로 사료된다. 특히 결합조정시 연결측점의 표준오차를 고려할 경우는 두 network 간의 표준오차의 차가 적은 측점을, 고려하지 않을 경우에는 좌표값의 차가 작은 측점을 연결점으로 선정하는 것이 높은 신뢰성을 나타내었다.

(5) 신설망의 제약조건에 따른 오차분포

〈그림 19, 표 8〉은 Network B에서 연결측점의 표준오차가 미지인 측점의 좌표값을 통해서 Net.II를 결합할 경우 오차분포의 검토에 의한



◆ 제약 조건 : 결합망의 조합조정 (#1, #14, 1-2, 14-15)

그림 19. 신설망의 제약조건에 따른 오차분포

표 7. 연결점과 결합방식에 따른 표준오차  
(연결점의 표준오차를 고려하지 않은 경우)

연결점	Averaged simulated standard error (H) no consider joint point				C(N1 + N2)				C(N2 + N1)			
	SSx	SSy	So	D.F	SSx	SSy	So	D.F	SSx	SSy	So	D.F
#5, 8, 9, 10	.0014	.0011	1.757	102	.0014	.0012	.937	109				
#5, 8, 9	.0015	.0014	.874	107	-	-	-	-				
#8, 9, 10	-	-	-	-	.0013	.0012	.989	107				
#8, 9	.0015	.0012	.882	105	-	-	-	-				
#5, 9	-	-	-	-	.0014	.0013	.980	105				



표 8. 신설망의 제약조건에 따른 표준오차

Averaged simulated standard error ( M )								
연결점 연결점	consider #14, 14-15				no consider #14, 14-15			
	SSx	SSy	So	D.F	SSx	SSy	So	D.F
#5, 8, 9, 10	.0015	.0013	.868	57	.0027	.0027	.822	54
#5, 8, 9	.0014	.0013	.881	55	.0015	.0016	.842	52
# 8, 9	.0017	.0015	.873	53	.0029	.0029	.837	50
# 9	.0021	.002	.978	51	.	.	.	.

연결측점의 선정과 Net.II 내 기준측점 14 및  
측점 14-15의 방위각 고려 여부에 따른 기하학  
적 평균표준오차를 고찰한 것이다.

연결점의 선정은 우선 신망에서 역으로 조정  
된 좌표 중에서 표준오차가 작고 좌표차가 작  
은 측점을 선점하여 밀도 있게 배치시킨 #5, 8,  
9 경우가 비교적 신뢰도가 높게 나타났고 또한  
기준점 14와 측점 14-15의 방위각을 고려한 경  
우가 고려하지 않는 경우에 비해 일관성 있는  
양호한 정밀도를 나타냄을 알 수 있었다.

## 5. 結 論

Combination algorithm을 개발하여 복합측  
지망의 결합에 적용한 결과 다음의 결론을 얻  
었다.

- (1) 각과 변의 조정은 삼각 및 삼변에 비해  
각각 19%, 12%정도의 현저한 표준오차의  
감소를 보였으며, 측지망의 형태면에서도  
자유도가 높은 복합망이  $Ax=0.007m$ ,  
 $ASy=0.006m$ 의 현저한 오차 감소를 나타  
내므로 복합망에 의한 조합조정의 우월성  
을 알 수 있었다.
- (2) 측지망 간 결합조정의 경우, 2점 2방향  
고정이  $SSx=2.2mm$ ,  $SSy=2.7mm$ 를 나  
타낸 것에 비해 Combination method을  
적용한 경우는  $SSx=2.0mm$ ,  $SSy=1.8$   
mm의 비교적 균일한 정확도를 나타내므

로 대형 측지망 간의 결합조정에 중요한  
의미를 부여하고 있다.

- (3) 연결측점을 좌표값의 차 및 표준오차를  
고려하여 선정하고 Combination method  
을 적용 결합한 결과, 연결측점의 좌표차  
와 신망에서 역 조정된 측점의 표준오차가  
작은 측점들을 연결측점으로 선정함이 오  
차의 누적현상을 감쇄시킬 수 있었다.

## 참고 문헌

1. 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.
2. Leick, A. 1988, "Adjustment computation  
with examples", Report No.18, 27.
3. William K. Smith and D.J. Varnes, 1987,  
"Least squares adjustment all angles & dis-  
tances are observed", surveying & mapping.  
vol.47, No.2, pp. 125-142.
4. Wolf P.R., 1984, "Adjustment Computation",  
2nd ed.
5. Hintz, R.J., 1983, "The automatic genera-  
tion of approximations and isolation of blun-  
ders in horizontal control networks."
6. 姜準默, 李鎔昌 1988, "해석기법에 따른 사변  
형망의 정확도 해석에 관한 연구", 한국측지  
학회지 1988, 제 6 권 제 1 호 PP. 3-12.
7. 姜準默, 李鎔昌, 1988, "Weight Factor을考  
慮한 複合測地網의 正確度 解析", 한국측지학  
회지 1988, 제 6 권 제 2 호 PP. 19-27.
8. Bruce R. Blair, 1989. "Practical Application  
of Global Positioning system", J. Sur. Eng.,  
Vol.115, No.2, PP. 218-222.
9. David Wells, 1987, "Guide To GPS Position-  
ing", canadian gps associates.
10. 日本測地學會, 1986 "GPS-人工衛星에 의한  
精密 測位system"