

국가기준점망의 고밀도화를 위한 결합체계 Junction Schemes for the Densified Control Network

李榮顯* 李石贊**
Lee Young-Jin Lee Suck-Chan

요 지

측지 기준점망은 점의 위치를 결정하고 지구의 형상을 구하기 위하여 200여년 동안 구성되어 오고 있으며 각 나라의 실정에 적합한 체계를 갖고 있다.

이 논문은 기설망의 정확도가 기지이거나 미지인 경우에 대하여 국가기준점망의 고밀도화를 위한 결합체계를 제시하였다. 부분적으로 $X^T X = \min.$ 의 조건이 만족되는 제약망의 조정개념을 적용하였으며, 변동점의 검출을 위하여 최근 변위측량 분야에서의 측량시기별 분석방법을 도입하였다.

ABSTRACT

Geodetic control networks have been used for more than 200 years by peculiar national system, both to establish the size and shape of the earth, and to determine the positions of points on its surface.

Junction schemes for the densified geodetic network are proposed to the case whether the accuracy of existing network is known or unknown, in this paper. The concepts of adjustment, under the condition of partial $X^T X = \min.$, is applied to densification system. Moreover, the technique of epoch analysis, which is often used in small deformation survey net, is introduced to the national control network for unstable point detection.

1. 서 론

국가기준점망은 다목적 측지망으로서 장기간의 작업이 필요하고 국토관리의 가장 기초가 되기 때문에 보다 과학적이기도 합리적인 측량작업과 조정계산의 체계가 필요하다. 이 체계에 따라 가장 높은 정확도로 1등 기준점을 설정한 후 2등, 3등 기준점을 순차적으로 설정함으로써 필요한 위치정보를 제공할 수 있게 된다.

신설되는 측지망을 상위 등급의 망이나 기설 측지망에 결합하는 체계는 측지망의 구성시에 나타나는 대표적인 문제이며 다음의 경우를 동일하게 취급할 수 있다.⁶⁾

—측지기준점의 증설(densification)

—측지망의 확장(extension)

—측지망의 강화(strengthening)

이러한 경우에 기존의 성과를 변화시키지 않고서 또는 최소한의 변화만을 허용하여 어떻게 기설망에 결합시키느냐 하는 문제가 발생하는데, 현재까지도 보편적으로 사용할 수 있는 조정방법이나 체계가 제시되지 못하고 있다.

다시 말해서, 측지망이 조정원점(datum)의 선택에 따라 조정결과가 바뀌는 독특한 문제점을 갖고 있으며 구성된 측지망의 특성이 다르기 때문에 각국에서는 경험적인 최선의 방안을 채용하고 있는 실정이다.⁹⁾¹³⁾¹⁵⁾²¹⁾

고밀도화를 위한 측지망의 결합조정에서 고정망이외의 방법이 도입된 것은 1970년대 후반부터이며, Chrzanowski 등(1974)⁹⁾이 자유망이나 1점 1방향 고정망을 기설망에 헬머트 변환할 것을 제안하고 국가기준점망의 결합에서 상

* 서울시립대 공과대학 강사

** 한양대학교 공과대학 교수

위등급망의 정확도에 따른 문제점을 고찰한 바 있다.

또한 Buiten 등(1982)⁶⁾에서는 2점 고정망을 통해 S-변환을 실시하고 변동점을 검출해 내는 방법이 제시되어 있으며, Nickerson 등(1986)¹⁵⁾은 측정조건방정식에 중량을 부과하는 방법(weighted parameter adjustment)의 실용화를 제안하고 조정원점의 변화에 따른 이동특성을 분석하였다.

Lugoe(1985),¹⁴⁾ Vanicek 등(1986)²⁰⁾에서는 결합조정의 엄밀해법과 일반해법을 종합적으로 고찰하고 그 차이를 분석코자 하였다.

국가기준점망이 아닌 소규모 특수목적망을 사용하는 정밀측량이나 변위측량 분야에서는 정오차의 분석과 보정방법에 대해서 Crane(1980),¹¹⁾ Chen(1983),⁸⁾ Denekamp(1982)¹²⁾가 독립망을 중심으로 하여 연구한 바 있다. 또한 Chrzanowski(1982),¹⁰⁾ Chen(1983)⁹⁾ 등에서는 다항식을 이용하여 다수의 변동점에 대한 변위를 추출해 내는 방법을 제안하였으며 Caspary(1987)⁷⁾ 및 다수의 학자들은 변동량의 제곱합이 최소가 되도록 하는 방법을 통해 변동점을 검출하고 있다.

최근 변위측량 분야에서의 측량시기별 분석(epoch analysis)에서는 제약망의 개념이 사용되고 있는 데, 이는 부분적으로 $X^T X = \min.$ 의 조건이 만족되는 방식으로서 자유망의 개념⁴⁾을 확장한 것이며 reflexive g-inverse 이론¹⁷⁾이 필요하다.

이 논문에서는 국가기준점망에 대하여 제약망의 조정개념을 도입하고 변동점의 검출을 포함하는 결합체계를 제시하고자 한다.

2. 국가기준점망의 결합방법

측지망에서 기준점을 증설하거나 확장 또는 강화시키고자 할 때 기준점은 그 성질에 따라 세 가지로 구분되는 데 기설망과 신설망을 연결해 주는 연결점, 새로 신설되는 신설점, 기설점 중에서 연결점을 제외한 점이 해당된다.

여기에 대응되는 미지수를 각각 X_2, X_3, X_1

이라 하고 기설망과 신설망에 대응되는 측정량과 중량을 각각 L_1, P_1 및 L_2, P_2 라 한다면 혼합된 망의 조합 모델은 다음과 같이 표현된다.²⁾¹⁴⁾

$$F\{X_1, X_2, X_3, L_1, L_2\} = 0 \quad (P_1, P_2) \quad (1)$$

또한 기설망과 신설망을 별도로 독립 조정한다면 다음 모델이 사용된다.

$$F\{X_1, X_2, L_1\} = 0 \quad (P_1) \quad (2)$$

$$F\{X_2, X_3, L_2\} = 0 \quad (P_2) \quad (3)$$

이때 식(3)에서 X_2 를 고정점으로 한 조정계산의 결과가 식(1)에서 구한 것과 일치하지 않을 것은 당연한데 이는 망에 대한 자유도와 형상이 달라지기 때문이며 L_2 의 추가측정으로 인하여 L_1 에 의한 기설망을 강화시키게 되는데 원인이 있다.

이러한 과정을 살펴볼 때 신설망을 기설망에 결합하기 위한 조정방법으로는 크게 엄밀해법(rigorous scheme)과 일반해법(non-rigorous scheme)으로 구분되는 데, 엄밀해법은 식(1)의 모델에 따라 동시조정(simultaneous adjustment)이나 단계별 조정(sequential or step-by-step adjustment)을 실시하는 것으로 새로운 측정량이 추가될 때마다 기존망에 대한 성과가 바뀌는 큰 특징을 갖고 있다.¹⁴⁾¹⁵⁾

그러나 실용적인 측면에서 볼 때 고시된 성과를 바꾸기란 대단히 복잡하고도 어려운 문제를 발생시키기 때문에 식(3)에 따른 독립조정의 결과가 식(1)의 조합조정의 결과와 같거나 근접되는 조정법이 필요하다.⁵⁾⁶⁾¹⁵⁾ 따라서 뎀의 변위측량 등에서의와 같은 특수한 목적이 아닌 국가기준점망에서는 식(3)을 독립 조정하여 식(2)의 기설망에 결합하는 다음의 일반해법이 사용될 수 있다.

먼저 연결점 모두를 고정점으로 하여 조정하는 다점고정 방식으로서 가장 보편화되어 있는 방법이지만 신설점에만 오차가 누적되는 단점이 있다. 1점 1방향 고정 또는 2점 고정방식으로는 오차분석에 한계가 있고 측정되지 않은 임의의 방향에 대해 중량을 부과하기에 어려움이 있다. 또한 모든 좌표값의 변화가 최소가 되도록 하는 자유망 방식이 있으나 초기좌표값에 따라 조정결과가 다르게 되는 단점이 있다.

따라서, 실용성과를 구하는 데는 다점 고정 방식과, 1점 1방향 고정방식이나 자유망의 조정 결과를 헬머트 변환시켜 연결점의 편차가 최소가 되도록 하는 방식이 사용될 수 있다.

이 경우에 있어서 연결점 자체가 이동되어 있거나 측량정확도가 나쁠 가능성도 있기 때문에 결합조정을 실시함에 있어 오차가 망 전체에 걸쳐 골고루 전파됨과 동시에 기설망의 변동여부를 확인할 수 있는 방안이 강구되어야 할 것이다.

따라서 국가기준점망에서 연결점의 변동여부에 대한 검정을 포함하는 결합방법으로는 다음의 방식을 고려할 수 있다.

① 2점 고정망과 S-변환을 이용하여 변동검정을 실시하고 안정점만으로 다점고정하여 최종성과를 산출한다.⁶⁾

② 자유망 조정의 결과에 의해 연결점에 대한 헬머트 변환을 실시하여 변동검정하며 최종 변환인자에 의해 성과를 산출한다.⁹⁾²²⁾

③ 연결점에 대한 제약망 조정을 실시하여 변동검정하고 안정점에 의해 성과를 산출한다. 이 방법은 새로운 개념이 도입된 것이며 헬머트 변환이 필요치 않는 장점이 있다.

연결점에 대한 변동여부를 판정하는 데는 변위측량 분야에서 사용되고 있는 측정시기별 분석방법이 적용될 수 있다. 다시 말해서 식(2)와 식(3)을 각각 독립된 측정시기로 본다면 연결점 X_2 를 안정점(stable point)으로의 취급이 가능하다. 이 때 연결점이 이설되어 있는 경우라면 이를 제외한 완전점(undisturbed point)만을 고려대상으로 삼아 변동점(unstable point)을 추출해야 하는 것은 당연하다.

연결점이 변동점으로 취급되는 이동의 원인으로는 측정자체가 이동된 경우, 두 망의 측량정확도가 달라서 서로 다른 우연오차가 존재할 경우, 두 망의 상호간에 측척오차 등의 정오차가 포함된 경우를 고려할 수 있다.

측점이 이동한 경우와, 다른 우연오차인 경우는 서로 구분짓기 어렵기 때문에 적절한 해법이 필요하며 정오차의 경우에도 사전에 소거되어 있지 않다면 헬머트 변환에 의해 측척계수, 좌

표이동, 방향이동 등을 통계적으로 구하고 검정한 다음 보정해야 한다.

정오차를 소거하고 완전점에 대한 오차를 구할 수 있다고 한다면 과대오차의 검출과 유사한 개념¹⁾¹⁹⁾을 적용하여 통계적으로 변동점을 검출할 수 있다.

3. 연결점의 변동검정

서로 다른 시기에 측량된 같은 지역의 측지망 i 와 j 가 있다고 가정하자. 이때 i 망과 j 망에 대해서 조합조정을 실시하기란 대단히 복잡하고도 어려운 면이 있기 때문에 각각 독립조정을 실시하고 분산요소값의 추정(variance component estimation)³⁾으로 부터 구한 결과에 따라 조합된 기준분산값¹⁸⁾을 사용하는 것이 보통이다.

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{f_i \hat{\sigma}_{0i}^2 + f_j \hat{\sigma}_{0j}^2}{f_i + f_j} = \frac{q}{f} \quad (4)$$

여기서 두 독립망간의 상호 비교를 위해서는 다음 두 조건이 만족되도록 조정되어 있어야 한다.⁷⁾

① 동일한 조정원점이 사용되어야 하며 다른 경우에는 조정원점의 변환이 필요하다.

② 연결점에서는 동일한 초기근사좌표가 사용되어야 한다.

이러한 두 조건이 만족된다면 연결점에 대해 변동여부를 검정할 수 있는데 과대오차의 검출에서와 같은 개념으로서 정규분포에 의한 최소제곱법을 사용하는 방법과, robust 방법이 사용될 수 있다.¹⁶⁾

국가기준점망의 경우에는 일반화된 체계가 필요하므로 여기서는 최소제곱법을 적용한다.

연결점의 변동검정은 연결점 전체에 대한 이동여부의 검정(global test)과 연결점 1점마다의 이동에 대한 검정(local test)이 필요하다. 먼저 첫 단계로서 연결점 전체가 이동이 없다는 귀무가설

$$H_0 : E\{\hat{X}_i\} = E\{\hat{X}_j\} = X \quad (5)$$

을 세울 때, H_0 가 맞다고 한다면 다음은 정확한 모델일 것이다.

$$X_i - X_j = H^T X = 0 \quad (6)$$

여기서 $f_d = \text{rank}(H)$ 로서 X 의 수에서 조정원점에 대한 랭크부족수를 뺀 것이므로,

$$q_H = V_H^T P V_H$$

$$f_H = f_i + f_j + f_d$$

의 관계를 사용한다면 다음의 분포가 성립된다.

$$q_H \sim \sigma_0^2 \chi^2(f_H) \quad (7)$$

$$q_d = q_H - q \sim \sigma_0^2 \chi^2(f_d) \quad (8)$$

실용적으로는 식(8)을 직접 사용하는데 어려움이 있기 때문에 다음 식을 사용할 수 있다.

$$q_d = (\hat{X}_i - \hat{X}_j)^T (Q_{\hat{X}_i} + Q_{\hat{X}_j})^{-1} (\hat{X}_i - \hat{X}_j) \quad (9)$$

식(7)과 식(8)은 서로 독립의 관계에 있기 때문에 다음 관계를 성립시켜야 한다.

$$T = \frac{q_d/f_d}{q/f} \sim F(f_d, f) \quad (10)$$

따라서 식(10)이 기각된다면 측정마다의 변동검정이 실시되어야 한다.

식(9)를 간단히 표현하면,

$$q_d = d^T Q^{-1} d \quad (11)$$

단순화하기 위하여 연결점 중에서 오직 1점인 p 점만이 이동되어 있고 다른 모든 점들은 안정한 것으로 가정하자. 그러면 좌표차 d 를 p 점에 대해 분리하여 직교변환한다면 d_n 과 변환된 \bar{d}_p 가 서로 독립이므로 다음 식이 만족된다.⁷⁾

$$q_d = \bar{d}^T Q_{\bar{d}}^{-1} \bar{d} = d_n^T Q_{nn}^{-1} d_n + \bar{d}_p^T P_{pp} \bar{d}_p \quad (12)$$

$$q_d = q_d^n + q_d^p \quad (13)$$

여기서,

$$\bar{d}_p = P_{pp}^{-1} P_{pn} d_n + d_p \quad (14)$$

$$\bar{Q}_{pp} = P_{pp}^{-1} = Q_{pp} - Q_{pn} Q_{nn}^{-1} Q_{np} \quad (15)$$

q_d^p 는 q 에 대한 p 점의 영향을 나타내며 모든 연결점에 대해 계산된다면 변동점점의 근거리로 사용할 수 있다.

근사적으로 n 점과 p 점이 서로 독립적이라고 가정한다면 보다 간편한 식을 통해 q_d^p 의 값을 계산할 수 있다.¹¹⁾

$$d^2 = (X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2 \quad (16)$$

$$(d\sigma_d)^2 = (X_i - X_j)^2 (\sigma_{X_i}^2 + \sigma_{X_j}^2) + (Y_i - Y_j)^2 (\sigma_{Y_i}^2 + \sigma_{Y_j}^2) \quad (17)$$

결과적으로 사용될 수 있는 연결점에 대한 변동점점법으로는 다음을 도입할 수 있다.³⁾

① 식(10)이 기각되면 최대인 q_d^p 를 기각한 후 동일한 유의수준으로서 남아 있는 q_d^n 의 검정을 반복해나가는 방법.

② 식(10)이 기각되면 가장 큰 q_d^p 의 값을 기각해 가면서 안정점과 변동점을 구분해 내는 방법. 1점을 대상으로 할 때는 $f_d=2$ 가 되므로,

$$T = \frac{q_d^p/f_d}{q/f} = \frac{0.5 q_d^p}{\sigma_0^2} \sim F(2, \infty) \quad (18)$$

를 이용한다. 이 식(18)은 기지의 σ_0^2 을 사용하므로 과대오차의 검출에서 Baarda 방법에 대응된다.

③ 식(18)에서 기지의 σ_0^2 대신에 추정된 $\hat{\sigma}_0^2$ 을 사용하는 방법. 과대오차의 검출에서 Pope의 방법에 대응된다.

이상의 변동에 대한 크기와 분포는 변위차원(deformation ellipse)에 의해 도해적으로 나타낼 수 있는 데, 식(14)에 따라 변위의 크기를 나타내며 식(15)로부터 주축, 부축 및 방향을 구할 수 있다.

4. 국가기준점망의 결합 체계화

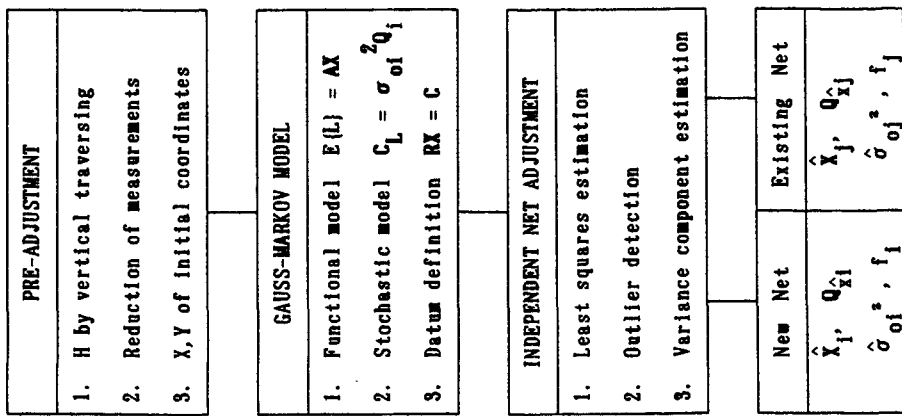
신설되는 측지망에 대해서는 먼저 독립적으로 자유망이나 1점고정 방식에 따라 조정을 실시함으로써 과대오차를 검출하고 분산요소값을 추정해야 할 필요가 있다.

따라서 그림 1.에 따라 처리되어야 하는데, 2점고정 방식은 방 자체가 제약되어 측척이나 방향이 변형되므로 바람직하지 못한 것으로 판단된다.

신설망을 기설망에 결합하고자 할 경우에는 S-변환을 통해 추정량과 공분산 행렬을 변환시켜 조정원점을 통일시켜야 한다. 한편 기설망과 신설망의 연결점에 초기좌표를 같게 부여한다면 연결점을 조정원점으로 하는 제약망 조정이 타당한 결과를 줄 수 있으며 별도의 변환이 필요치 않게 된다.

기설망의 정확도가 기지인 경우, 다시 말해서 공분산 행렬을 알고 있거나 구할 수 있는 경우에는 정밀한 변동점 검출을 실시할 수 있다.

여기서 신설망이 낮은 등급의 교밀도 측지망



Minimal Constrained Adjustment

그림 1. 신설망의 독립조정 체계

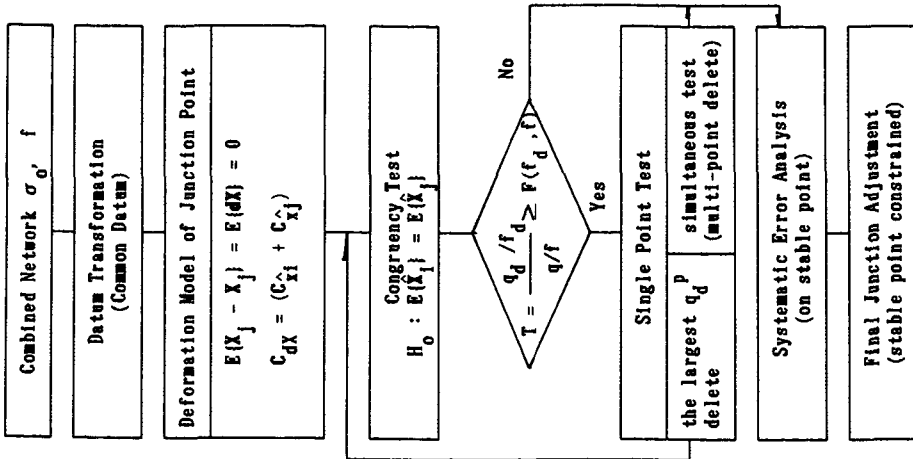


그림 2. 신설망의 결합체계 (기설망의 정확도가 기지인 경우)

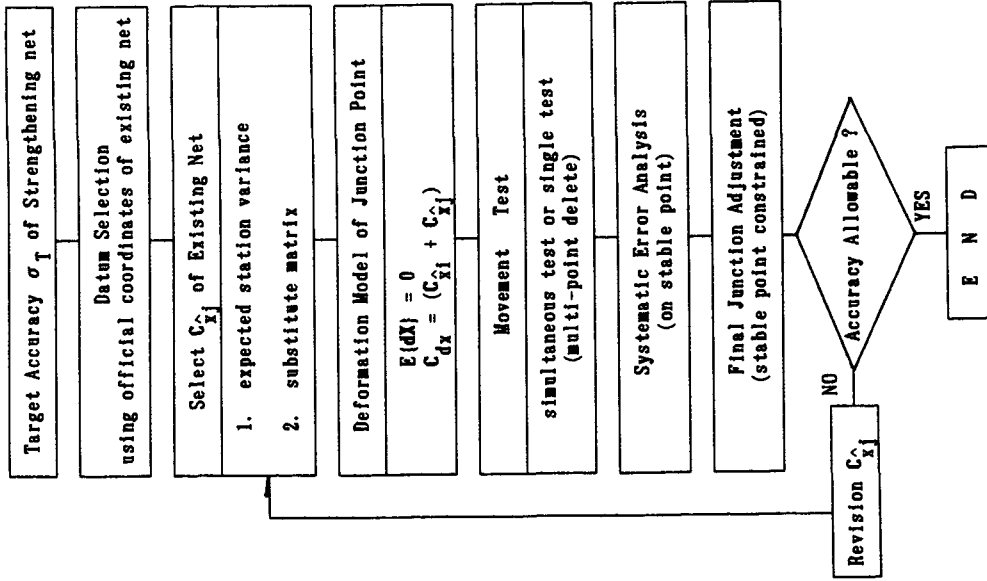


그림 3. 신설망의 결합체계 (기설망의 정확도가 미지인 경우)

이고 기설망이 상위등급의 망이라고 한다면 연결점의 수가 신설점의 수보다 훨씬 적은 것이 보통이기 때문에 변동점 검출에서 최대인 q_d^p 의 점을 기각해 나가는 것이 효과적인 것으로 판단된다. 이때 기설망에서 연결점에 대응되는 공분산 행렬의 규모가 크지 않을 경우에는 행렬 모두를 사용할 수 있으나 규모가 크게 되면 보관관리에 어려움이 있으므로 대각선 요소만을 사용해도 무방하리라 생각된다.

기설망의 정확도가 미지인 경우에는 기설망에 대한 목표정확도나 공분산 행렬을 추정해야 한다. 목표정확도를 알고 있는 경우에는 모든 측정점의 오차를 같다고 가정하거나 대응행렬(substitute matrix)⁶⁾을 구성시켜 처리할 수 있다.

그러나 목표정확도 조차도 모를 경우에는 목표정확도를 가정하고 변동점 검출을 실시해야 하며 원하는 정확도가 얻어지지 못한 경우는 반복적으로 목표정확도를 변화시켜 가면서 처리되어야 할 것이다. 이상적으로는 신설망의 정확도에 준하는 정확도를 얻을 수 있겠지만 실제로는 이보다 낮은 정확도로 허용하는 것이 합당할 것이며, 신설망의 경우도 σ_{0j} 를 사용하는 것이 효과적이다.

이상에서의 변동점 검출은 판단의 근거자료를 제공하므로 그 원인이 분석되어야 하며, 정오차 분석과 변동점 검출이 상호 연관성을 갖기 때문에 원인의 분석에 세심한 주의가 필요하다.

최종적으로는 안정점으로 판정된 점들을 사용하여 고정망, 제약망, 또는 측점에 중량을 부과하는 방식에 따라 성과를 산출할 수 있다.

우리나라의 경우 정밀 1차기준점망의 구성을 시급히 완료하여 전국 규모의 동시조정을 실시한다면 정밀 2차기준점망을 여기에 결합시키는 방법으로서 그림 1.과 그림 2.의 체계가 적용될 수 있다. 또한 정밀기준점망의 작업을 수행해 나가면서 기설삼각망에 결합시키고자 하는 경우에는 기설삼각망의 정확도 평가가 어려운 관계로 그림 1.과 그림 3.의 체계를 적용하는 것이 가능한 것으로 생각된다.

그러나 이러한 과정에서 기설망인 1차망이나 기설삼각망에 대한 오차평가나 강화방안 등이

세심하게 검토되어야 할 것이다.

5. 적 용

본 연구에서 적용한 테스트망은 측점 41점으로 구성된 1차기준점망과, 측점 160점으로 구성된 2차기준점망이며 건설부 국립지리원에서 1975년과 1986년에 각각 측량된 것이다(그림 4. 참조).

또한 기설삼각망으로는 2차기준점망의 지역에 있는 4등 이상의 삼각점으로서 성과표에 나타난 좌표를 사용하였다.

측량데이터는 먼저 독립적인 망의 형태와 과대오차의 검출, 분산요소값의 추정을 통하여 작업규정에 합당한가에 대한 검토후에 이용하였다.

2차기준점망을 기설삼각망에 결합하기 위하여 기설망의 정확도를 ± 0.10 m로 가정하여 변동점을 검정한 결과 완전점 79점 중에서 34점만이 안정한 것으로 판정되고 있으며, 가정된 목표정확도를 ± 0.07 m, ± 0.05 m, ± 0.035 m로 높임에 따라 안정점의 수가 30점, 22점, 17점으로 낮아지는 것으로 나타났다. 따라서 기설

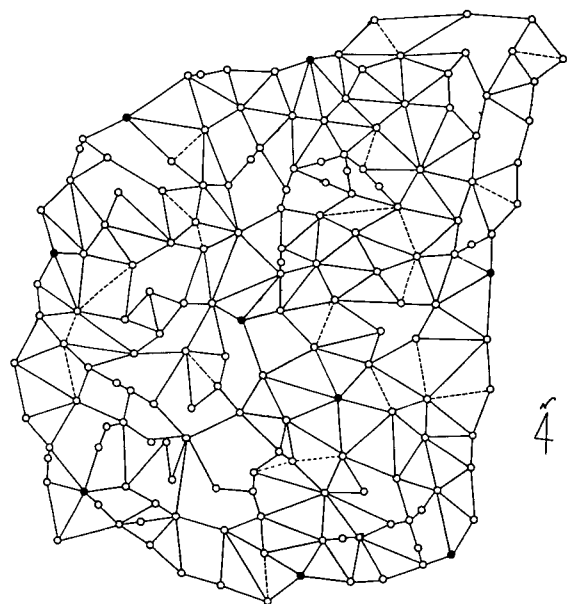


그림 4. 테스트망도(2차기준점망)

삼각망에 대한 정확도 평가가 필요하며 망의 특성과 역사적 변천과정을 재검토하는 것이 중요한 것으로 생각된다.

2차기준점망을 1차기준점망에 결합한 결과 9점의 완전점 중에서 1점이 변동점으로 나타났는데 이는 과대오차의 검출과정을 통해 그 점 주변의 강도가 낮아진 데 기인된 것으로 생각되며 두 망의 상호간에 정오차 분석이 필요할 것으로 판단되어 진다.

6. 결 론

현재 우리나라에서 추진중에 있는 1, 2차 기준점망의 구성이 완료되기 까지는 앞으로도 수 십년의 작업이 계속되어야 하기 때문에, 1차기준점망의 구성을 시급히 완료한 후 2차망을 여기에 결합시켜 불안정한 기설삼각망을 대체하거나, 국부적으로 2차망을 기설삼각점에 결합시켜 좀더 강화된 성과를 사용할 수 있는 방안이 강구되어야 한다.

따라서 이 논문에서 제시된 체계는 이러한 경우에 유용한 방법이 될 수 있으며 제약망³⁾을 사용함으로써 통계적인 변동점의 검출이 용이하고 헬머트 변환이 필요없는 특징을 갖고 있다.

임의로 고정점을 조합시켜 선택하고 사후기준분산값이 가장 작은 조합을 경험적으로 선택하는 방법²⁾을 대체할 수 있는 이 방법이 적용되기 위해서는 우리나라 1차망에 대한 정확한 분석 및 기설삼각망에 대한 정확도 평가가 시급한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이석찬·고영호·이영진, 1987, 들출오차의 검출과 측지망의 신뢰도, 대한토목학회 논문집, 7(1), pp. 1-9.
2. 이석찬·조규전·고영호·이영진, 1987, 이질측지망의 동시조정과 신뢰도의 적용, 한국측지학회지, 5(1) pp. 62-72.
3. 이영진, 1989, 고밀도 측지망의 결합조정에 대한 연구, 한양대 박사학위 논문.
4. Bjerhammar, A., 1973, Theory of Errors and Generalized Matrix Inverses, Elsevier Scientific Publs.
5. Blachut, T.J., A. Chrzanowski and J.H. Saastamoinen, 1979, Urban Surveying and Mapping, Springer-Verlag.
6. Buiten, H.J. and P. Richardus, 1982, Junction of Control Surveys by Adjustment Compared with Coordinate Transformation, in Forty Years of Thought (Vol. 2), Delft, pp. 345-372.
7. Caspary, W.F., 1987, Concepts of Network and Deformation Analysis, UNSW, #11.
8. Chen, Y.Q., 1983, Analysis of Deformation Surveys-A Generalized Method, UNB Technical Report No. 94.
9. Chrzanowski, A. and N. Canellopoulos, 1974, Problems Arising from Redefinition in Densification Surveys, The Canadian Surveyor, 28(5), pp. 732-738.
10. Chrzanowski, A., Y.Q. Chen, and J.M. Secord, 1982, On the Analysis of Deformation Surveys, proc. of the 4th Symposium on Mining Surveying and Deformation Measurement, Alberta.
11. Crane, S.A., 1980, Geodetic Control Networks : accuracy, reliability and systematic errors, Univ. of Nottingham, ph.D Thesis.
12. Denekamp, J., 1982, An Investigation into the Disturbance of the First Order Point Middelburg, in Forty Years of Thought (vol. 2), Delft, pp. 391-403.
13. Fila, K., 1980, The Redefinition of Resional/ Provincial Geodetic Networks, proc. on Geodetic Seminar, The Canadian Institute of Surveying.
14. Lugoe, F.N., 1985, Rigorous Densification of Horizontal Geodetic Networks, UNB Technical Report No. 118.
15. Nickerson, B.G., W.R. Knight, A. Voon, and R. Caldwell, 1986, Horizontal Geodetic Network Densification, The Canadian Surveyor, 40(1), pp. 13-22.
16. Nieneier, W., W.F. Teskey, and R.G. Lyall, 1982, Precision, Reliability and Sensitivity Aspects of an Open Pit Monitoring Network, proc. of the 4th Canadian Symposium on Mining Surveying and Deformation Measurement, Alberda.
17. Schaffrin, B., 1984, Aspects of Network Design of Geodetic Networks, proc. of the International School of Advanced Geodesy 3rd Course on Optimization and Design of Geodetic Networks, Erice, Italy.
18. Schurrman, K.W., J.F. McLellan, and J.A. Huliganga, 1985, Stability Monitoring, papers for the Precise Engineering and Deformation Surveys Workshop, The Canadian Institute of Surveying.

19. Staff of the Geodetic Computing Center, 1982, The Delft Approach for the Design and Computation of Geodetic Networks, in Forty Years of Thought (vol.2), Delft, pp.202-274.
20. Vanicek, P. and F.N. Lugoe, 1986, Rigorous Densification of Horizontal Network, J. of Surveying Engineering (ASCE), 112(1), pp. 18-29.
21. Weng, W.L., 1983, Computation and Data-Management of a National Densification Network, proc. of FIG XVIII Internaitonal Congress, Sofia.
22. 池田浩二・青木 孝, 1982, フリネットワークによる都市基準点測量, 測量.