

## 통계학적 모델링을 통한 Network-GPS 구축의 이론적 고찰 A Theoric Study of Network-GPS Construction using Stochastic Modelling

배경호<sup>1)</sup> · 박운용<sup>2)</sup> · 이기부<sup>3)</sup> · 이동락<sup>4)</sup>

Bae, Kyoung-Ho · Park, Woon-Yong · Lee, Kee-Booi · Lee, Dong-Rac

<sup>1)</sup> 동아대학교 토목공학과 박사과정(E-mail : qpandora@hanmail.net)

<sup>2)</sup> 동아대학교 토목해양공학부 교수(E-mail : uypark@daunet.donga.ac.kr)

<sup>3)</sup> 영남이공대학 토목과 교수(E-mail : kblee@ync.ac.kr)

<sup>4)</sup> 창신대학 건설환경과 교수(E-mail : drlee@csc.ac.kr)

### 要 旨

현재 GPS를 이용한 위성측위시스템은 기존의 DGPS에 의한 정밀도 향상 차원을 넘어 상시관측소를 활용한 기준국의 활용 증대 및 다양한 동시 사용자의 욕구를 충족시키기 위해 여러 가지 연구들이 진행되고 있다. 현재 국내 연구동향으로 VRS-RTK (Virtual Reference Station Real Time Kinematic)에 대한 기초 연구가 진행 중에 있으며 해양수산부의 전파를 이용한 비콘 방식과 표준과학연구원 천문대에서는 MBC와 연계한 FM-DARC(Data Radio Channel)방식 등이 활용 방안으로 준비 중에 있으며, 여러 기관과 대학 연구 기관에서 기초 연구가 진행 중에 있다. 따라서 이미 독일, 싱가포르, 일본 등에서 활용하고 있는 VRS의 연구를 보다 심화하여 현재 각기 다른 기관에서 보유하고 있는 70여개의 GPS 상시관측소의 효율적인 활용과 대국민 서비스를 제공할 수 있는 시스템이 절실히 필요한 시기이다.

따라서 본 논문에서는 이런 가상관측의 결과를 산출할 수 있는 통계학적 모델링을 통한 가상관측 보정값을 산출할 수 있는 보정값을 제시할 수 있는 알고리즘 개발에 그 목적이 있다. 향후 알고리즘 개발이 완료되면 통계학적 모델링을 통해 단일 기준점에 의한 GPS 측량에서 불가능한 위치 결정 네트워크의 가상 관측을 가능하게 할 것이며, 신뢰성 있는 미지정수 해를 만들 수 있을 것이다.

## 1. VRS 개념

VRS(Virtual Reference Stations) 시스템은 실제 관측점 A, B, C에서 생성한 관측량을 보간하여 동일 관측시간 동안 가상점 V의 위치에 있는 GPS 수신기의 가상 관측량을 산정한다.

VRS data 전송 기준은 다음과 같다.

① 지속적인 자료 수신 ② 이동시간에 따른 무제한 ③ 통신방식이 전국 포함 ④ 24시간 지속적인 서비스 ⑤ 저렴한 이용요금 등이 있다. 전송 형태별로 일방향 전송과 양방향 전송이 있으며, 인터넷을 이용한 방법, 휴대폰과 모뎀을 이용한 방법, 그리고 전파를 이용한 비이콘, FM-DARC 방식이 있다.

### 1.1 VRS-RTK

RTK-GPS측량은 기지의 고정국에서 위성 시간 오차, 위성 궤도 오차, 전리층 및 대류권 지연 오차의 영향은 기지값의 기준 좌표를 입력하여 계산되고, 의사 거리 보정값은 자료 연결 장치를 통해 이동국에 전송된다. 오차보정량을 전송하는 RTK 측량은 10~15km의 영역으로 기지의 고정국을 필요로 한다. 그

러나 VRS-RTK 측량은 실제 고정 기준국 사용을 대신해, 비존재의 가상 기준국에서 오차를 계산한다. 이런 오차 중에서 가장 명백한 것은 전리층과 대류권 오차이다. 실제 기지의 기준국 위치에서 거리 경증률을 가진 오차를 사용함으로써, 관측가능하고 오차의 근사적인 크기를 알 수가 있을 것이다. 사용자 위치에 근접한 평균 오차를 찾기 위해서는 오차의 근사적인 크기를 알 수가 있을 것이다.

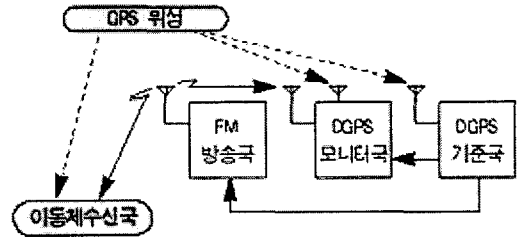


그림 1. FM-DARC 기본 구성도

## 1.2 VRS-Static

기존의 삼각점을 고정점으로하는 망조정과는 달리 GPS 상시관측소를 기지점으로하여 망조정을 실행한다. 이때 GPS 상시관측소의 자료 형식은 RINEX Format 형식으로 인터넷에서 다운받아 처리할 수가 있다.

## 2. 가상관측 생성 원리

### 2.1 가상관측 (Virtual Measurement)

위치 결정에 기반한 네트워크의 이론은 궤도 편차, 이온층 지연, 전리층 지연의 부분 혹은 전체를 제거하는 것이다. 고정밀도의 위치를 알고 있는 몇몇의 기준국이 있다면, 일중 차분 관측값의 선형 조합은 공식화 될 수 있다.

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta \phi_i = \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta \rho_i + \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta d\rho_i - c \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta dT_i + \lambda \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta N_i - \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta d_{ion,i} + \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta d_{trop,i} + \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta d_{mp,i} + \epsilon_{\sum \alpha_i \Delta} \quad (1)$$

n : 기준국의 수

i : i<sup>th</sup> 번째 기준국을 지정하는 것

$\phi$  : 반송파 관측

$d\rho$  : 궤도 오차 효과

$d_{ion}$  : 이온층 지연, 모델 보정 후의  $d_{trop}$ 는 전리층 지연

$d_{mp}$  : 반송파 관측에서 다중경로 오차

$\lambda$  : 반송파 파장

$\Delta$  : 일중 차분 관측자

p : 기준국 위치 벡터를 빼 위성 위치 벡터

$dT$  : GPS 시간에 관계되는 수신기 시계 오차

$\epsilon$  : 반송파 관측 잡음

N : 정수 미지정수

단지 사용자 위치의 근사적인 값을 사용한다면, 적절한 경증률 ( $\alpha$ )는 아래 조건에 만족하는 기준국 ( $X_i$ )에서 사용자( $X_u$ )까지의 거리 비를 결정할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i (X_u - X_i) = 0 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \quad (3)$$

그림 1은 기하학적인 상태를 설명하고 있다. 개념에 근본한 네트워크는 먼저 Wu(1994)에 의해 소개되었고, 세 개 혹은 그 이상 기준국이 있다면, 식 (2)와 식 (3)을 만족하기 위한 구속이 추가되어야 한다. 이

것은 기준국 수가 증가하는 만큼 경중률에 대해 독특한 해법을 제공한다. 그 구축은 다음 식과 그림으로 설명된다.

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i^2 = \min \quad (4)$$

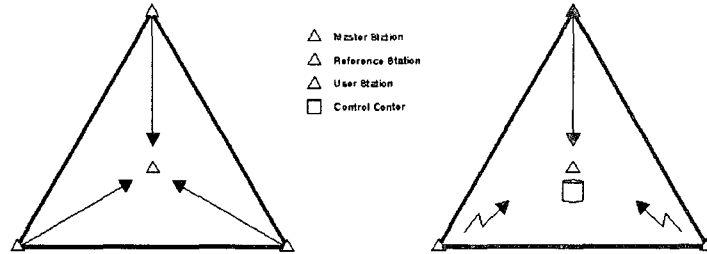


그림 2 통제국과 주제어국을 이용한 네트워크 개념도

만약 하나의 기준국이 주 기준국으로 선정된다면( $m$ ),  $n$ 의 타당한 기준국으로부터, 식 (2), (3)은 다음과 같이 된다.

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i \sum_{i=1}^{n-1} \Delta X_{i,m} = \Delta X_{u,m} \quad (5)$$

주기준국은 네트워크 관측에 의해 이미 최소화 될지라도 이온층 잔차 효과를 최소화 할 수 있는 사용자 최근점에 반듯이 선정되어야 한다. 이 제안은 네트워크 자료 처리를 위한 하나의 중앙 통제국에 해당하는 기준국 사이의 통신(체제) 설립에 의해 만들어진다. 그림은 식 (5)에서 그 원리를 설명한다. 최소화수법의 조건 관측 처리와 만족할 만한 식 (4)을 통해, 매계변수는 결정된다

$$\bar{\alpha} = (BB^T)^{-1} B^T L \quad (6)$$

여기서  $B$ 는 설계행렬이고,  $L$ 은  $[1 \ \Delta X_{u,m} \ \Delta Y_{u,m}]^T$  이다. 식 (5), (6)을 통해, 이중차분 함수 모델은 다음과 같이 기술된다.

$$\Delta \nabla \phi_{u,m} - [\alpha_1 V_{1,m} + \dots + \alpha_{n-1} V_{n-1,m}] = \Delta \nabla p_{u,m} + \lambda \Delta N_{u,m} + \epsilon_{\sum_{j=1}^n \sigma_j} \quad (7)$$

$V$ 는 네트워크 보정항으로 알고 있고, 미지정수( $N$ )이 해결된 뒤의 주 기준국과 다른 기준국의 이중차분 잔차 벡터로써 정의된다. 식 (7)는 네트워크 보정항 적용후로 의미되어 질 수 있다.

## 2.2 통계학적 모델링

네트워크 관측치를 이용한 가상관측의 함수적인 모델이 편차를 제거 혹은 감소하여도, 잔차는 여전히 존재하고 잔차항의 원인이 된다. 함수적인 모델 접근 시도에 대해 이런 잔차의 취급은 가치가 있는 것이다. 선택적 접근, 즉 함수적인 모델의 접근은 통계학적 모델을 사용하여 계산되어진다. Han(1997)은 가상 관측에 대한 위성 고도각의 지수 함수에 바탕을 둔 실시간 통계학적 모델 관측 처리를 제안하였다. 위성  $j$ 의  $L1$  관측치의 표준편차에 대해 다음과 같이 기술하였다.

$$\sigma^j = s \cdot [\alpha_0 + \alpha_1 \cdot \exp(-E^j/E_0)] \quad (8)$$

$E'$  : 고도각

$\alpha_0, \alpha_1$  : 상수로 근사적인 값이며, GPS 수신기의 다른 종류로부터 경험적으로 결정

$s$  : 축척 계수(반송파 관측에 영향을 주는), 단시간 관측으로 동일시 가능

이 모델은 보다 신뢰할 수 있는 결과값을 입증할 수 있을 것이다. (따라서 불량 미지정수의 퍼센트가 명백하게 줄어든다). 또한 그의 모델은 순간적인 보정 모델을 포함할 수 있다. 따라서, 위성 고도가 우수한 지시자로서 사용되더라도, 항상 신뢰성에 영향을 미치는 것은 아니다. 가상 관측에 대한 적절한 표준 편차는 관측 결과값에 대해 보다 실제적인 것으로 만든다.

통계학적 네트워크 관측이 사용자 매개변수 관측으로 어떻게 전파할지 이해하는 것이 필요하다. 근본적으로, 원리는 독특한 네트워크 보정의 통계학적 특성이 보정 매개변수를 형성하는 불특정 구성으로 어떻게 전파하는지 이해하는 것이다. VCV 행렬을 이용하면 전파를 잘 표현한다.

식 (1)에서 선형 조합의 기하학적 보정으로부터  $\sigma_k$ 에 의해  $\kappa$  위성의 반송파의 표준편차가 구해진다면, 먼저 각각의 단 차분 관측값은 같은 표준편차를 가지고 독립적임을 가정한다.

선형 조합의 VCV 행렬 다음과 같다.(Han, 1997)

$$\epsilon_{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \left( 1 + \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 \right) \cdot \sigma_k^2 \quad (9)$$

네트워크 기하 배치를 VCV 행렬에 포함시킬 수 있다.

$$VCV_{\sum_{i=1}^n \alpha_i} = C_k \cdot VCV_{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \cdot C_k^T \quad (10)$$

식 (9)을 얻기 위해 사용되어진 처리과정에 따르면, 사용자-주 기준국의 VCV 행렬은  $VCV_{\Delta \nabla \phi_{u,m}}$ 로 된다. 식 (7)에서 가상관측의 VCV행렬은 다시 아래와 같이 변한다.

$$VCV_{\sum_{i=1}^n \alpha_i} = \frac{\left( 1 + \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 \right)}{2} \cdot VCV_{\Delta \nabla \phi_{u,m}} \quad (11)$$

식 (11)에 따르면,  $VCV_{\Delta \nabla \phi_{u,m}}$  네트워크 보정항 - 즉  $[VCV_{\alpha_1 \Delta \nabla \phi_{1,m}} + \dots + VCV_{\alpha_n \Delta \nabla \phi_{n-1,m}}]$  을 형성하는 불특정 구성의 통계학적 특성에 의존함을 알 수 있다.

## 5. 결론

이런 통계학적 모델링을 바탕으로 네트워크-GPS 데이터 처리의 신뢰성을 증가할 수가 있다. 현재 모델링 구축을 위한 알고리즘을 연구, 개발중에 있으며 사용프로그램은 MatLab으로 구현하고자 한다. 가상 측정의 가상 관측값을 생성하기위한 기초연구의 일환으로 이미 독일, 싱가포르, 일본, 호주 등에서 상용화 및 연구과제인 Network-GPS의 국내 도입을 위한 기초연구이다.

## 참고문헌

1. 최윤수 외 3인 (2004), GPS 가상기준점 도입에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 22권, 제2호, pp.106
2. 박운용 외 2인 (2004), RTK GPS를 이용한 대형구조물의 실시간 경보시스템, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 22권, 제 1호, pp.12
3. T.A. Musa, J.Wang, C. Rizos (2003), Stochastic Modelling for Network-Based GPS Positioning, The 6<sup>th</sup> International Symposium on Stellite Navigation Technology Including Mobile Positioning & Location Services