

GPS 주파수에 대한 기선의 정확도 분석

Accuracy Analysis of Baseline for GPS Frequency

박운용¹⁾, 이재원²⁾, 차성렬³⁾, 이동락⁴⁾

Park Woon yong, Lee Jae one, Cha Sung yeoul, Lee Dong rak

- 1) 동아대학교 토목해양공학부 교수 (uypark@daunet.donga.ac.kr)
- 2) 대한측량협회 측량정보산업기술연구원 연구위원 (jolee@kasm.or.kr)
- 3) 양산대학 건설교통과 조교수 (sycha@mail.yangsan.ac.kr)
- 4) 창신대학 토목과 조교수 (drlee@bongam.changshin-c.ac.kr)

요 약

GPS는 직접적인 시통 및 거리에 대해 제한을 받는 일반 재래식 측량으로는 관측하기 힘든 중·장기선 관측의 경우 기선결정에 대한 정확도와 활용성이 우수하다고 알려져 있다. 그러나 현재 실질적으로 관측하여 취득하고자 하는 위치정보를 얻기 위해 지역의 대소에 관계없이 고가의 이주파 수신 장비를 사용하고 있으며, 최적의 기선해석과 망조정에 의한 성과를 얻기 위한 데이터 처리과정이 엄밀하게 확립되어 있지 않다. 이러한 이유로 인하여 고가의 이주파 수신기가 여러 분야에 적용되고 있으며, 성과물을 산출하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 이주파 수신기를 사용하여 전국에 산재하고 있는 국가 기준삼각점을 대상으로 관측을 실시하여, 일주파만을 처리하는 L_1 Only 방식과 이주파를 처리하는 L_1 & L_2 방식과의 비교 분석하여 일주파에 대한 정확도와 적용성 그리고 기선의 거리에 따른 한계성에 대해 검증하고자 한다.

1. 서 론

최근 급진적인 발전으로 인해 간접적인 오차 요소들을 제거하게 되어 시각동기 시스템 (TPS : Time Protocol System) 및 광역차분 위성항법시스템(WADGPS : Wild Area DGPS), 변위측정(Displacement Monitoring) 등 여러 분야에서 다양하게 적용되고 있다. 특히 GPS는 일반 재래식 측량으로는 관측하기 힘든 중·장기선 관측의 경우 기선결정에 대한 정확도와 활용성이 우수

하다고 알려져 있다.

그러나 현재 실질적으로 관측하여 취득하고자 하는 위치정보를 얻기 위해 지역의 대소에 관계없이 고가의 측지용 이주파 수신기를 사용하고 있으며, 최적의 기선해석과 망조정을 통한 성과를 얻기 위한 데이터 처리과정이 엄밀하게 확립되어 있지 않다.

따라서, 본 연구에서는 이주파 수신기를 사용하여 전국에 산재하고 있는 국가 기

준삼각점을 대상으로 관측을 실시하여, 일주파만을 처리하는 L_1 Only 방식과 이주파를 처리하는 $L_1&L_2$ 방식과의 비교 분석을 통해 일주파에 대한 정확도와 적용성 그리고 기선의 거리에 따른 한계성에 대해 검증하고자 한다. 기선처리 방식에 따른 기선거리의 정확도와 망조정에 의한 성과의 잔차량, 폐합비 및 망폐합을 통해 일주파와 이주파간의 정확도를 분석하였으며, “GPS에 의한 기준점 측량 작업규정”에 대한 허용오차와의 비교를 통하여 결과치에 대한 타당성 검토도 실시하였다.

2. 상대측위

상대위치결정의 목적은 대부분의 경우에 고정되어 있는 기지점을 이용하여 미지점의 좌표를 결정하는 것이다. 즉 간단히 기선이라 불리어지는 두 점 사이의 벡터 결정에 목적을 둔다. Fig. 1에서 A는 기준점, B는 미지점, 그리고 \underline{b}_{AB} 는 기선 벡터를 나타낸다. 해당 위치벡터 \underline{X}_A , \underline{X}_B 를 적용하면 아래와 같은 식을 유도할 수 있다.

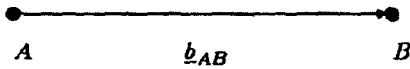


Fig. 1. Relative positioning

$$\underline{X}_B = \underline{X}_A + \underline{b}_{AB} \quad (2.1)$$

그리고 기선 벡터 \underline{b}_{AB} 성분은 아래와 같다.

$$\underline{b}_{AB} = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

기준점의 좌표는 WGS-84 기준계로 주어지고 대략적인 코드 거리해로 근사화된다.

상대위치결정은 코드 거리나 위상 거리로 수행될 수 있으며, 결국에 위상의 거리만 명백히 고려된다. 상대위치결정은 기준점과 미지점에서 동일한 위성이 동시 관측 가능하면 매우 효율적이다. 동시성이란 두 점의 관측시간표가 같다는 것을 의미한다. 두 점 A와 B에서 위성 j 와 k 에 대해 동시 관측임을 가정하면, 선형결합을 통해 일중차분, 이중차분, 그리고 삼중차분을 만들 수 있다. 대부분의 후처리 프로그램은 이 세 가지 차분 기술을 사용한다. 그리고 기본적인 수학적 모형은 아래의 부분에서 나타내고 있다.

2.1 위상차분

2.2.1 일중차분

A, B 두 점과 j 라는 한 대 위성을 사용해 두 점에 대한 위상방정식을 나타내면, 그 식은 (2.3)과 같다.

$$\begin{aligned} \phi_A^j(t) - f^j \delta^j(t) &= \frac{1}{\lambda} e_A^j(t) + N_A^j - f^j \delta_A(t) \\ \phi_B^j(t) - f^j \delta^j(t) &= \frac{1}{\lambda} e_B^j(t) + N_B^j - f^j \delta_B(t) \end{aligned} \quad (2.3)$$

두 방정식의 차분은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \phi_B^j(t) - \phi_A^j(t) &= \frac{1}{\lambda} [e_B^j(t) \\ &- e_A^j(t)] + N_B^j - N_A^j - f^j [\delta_B(t) - \delta_A(t)] \end{aligned} \quad (2.4)$$

식 (2.4)를 일중차분 방정식이라 한다. 이 식은 우항의 미지값에 대한 해를 증시한다. 이런 식은 임의의 큰 잉여가 있는 경우에서도 계수 부족을 야기할 수 있다.

이것은 불확실 정수와 수신된 시간편의 계수에서 얻을 수 있다. 양자의 경우, 두 점의 계수의 절대 값은 동일하다. 이 조정 설계에 대한 행렬의 의미는 선형적으로 증속된 종렬을 가지며, 계수의 부족이 존재하게 된다. 그럼으로, 아래와 같은 상대량이 나타난다.

$$\begin{aligned} N_{AB}^j &= N_B^j - N_A^j \\ \delta_{AB}(t) &= \delta_B(t) - \delta_A(t) \end{aligned} \quad (2.5)$$

부가적으로, 아래와 같은 간단한 표기를 위하여, 식 (2.5)과 식 (2.6)을 식 (2.4)에 대입하면, 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \phi_{AB}(t) &= \phi_B^j(t) - \phi_A^j(t) \\ e_{AB}(t) &= e_B^j(t) - e_A^j(t) \end{aligned} \quad (2.6)$$

이것이 이중차분 방정식의 마지막 형태이다.

$$\phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} e_{AB}^j(t) + N_{AB}^j - f^j \delta_{AB}(t) \quad (2.7)$$

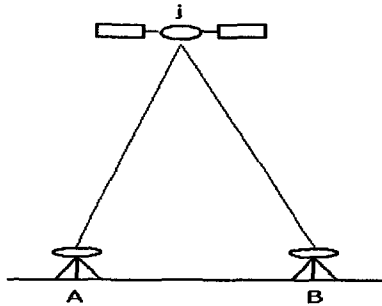


Fig. 2. Receiver Single Difference

Fig. 2는 수신기간의 일중위상차를 나타내고 있으며, Fig. 3은 위성간의 일중위상차를 나타내고 있다. 수신기간의 일중위상차가 위성의 시계오차를 소거하는 반면,

동시 관측한 위성 j, k 간의 일중위상차는 식 (2.8)과 같으며 수신기 시계오차를 근본적으로 소거한다.

$$\phi_A^{jk}(t) = \frac{1}{\lambda} e_A^{jk}(t) + N_A^{jk} - f \delta^{jk}(t) \quad (2.8)$$

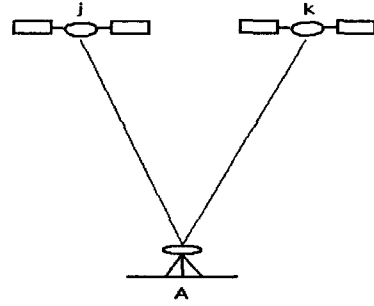


Fig. 3. Satellite Single Difference

2.1.2 이중차분

Fig. 4와 같이 두 점 A, B 그리고 두 위성 j, k 를 고려하면,

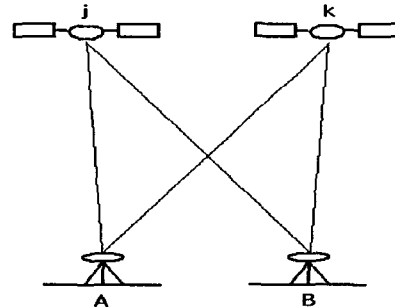


Fig. 4. Double difference

식 (2.7)에 대한 두 일중차분식은 다음과 같이 만들 수 있다.

$$\begin{aligned} \phi_{AB}^j(t) &= \frac{1}{\lambda} e_{AB}^j(t) + N_{AB}^j - f^j \delta_{AB}(t) \\ \phi_{AB}^k(t) &= \frac{1}{\lambda} e_{AB}^k(t) + N_{AB}^k - f^k \delta_{AB}(t) \end{aligned} \quad (2.9)$$

이중차분을 얻게 되면 이 일중차분들은

서로 감쇠된다. 위성 신호에 대해 동일한 주파수 $f^j = f^k$ 를 가정하면, 결과는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} & \Phi_{AB}^k(t) - \Phi_{AB}^j(t) \\ &= \frac{1}{\lambda} [e_{AB}^k(t) - e_{AB}^j(t)] + N_{AB}^{*k} - N_{AB}^{*j} \quad (2.10) \end{aligned}$$

식 (2.6)과 비슷하게 위성 j 와 k 를 간단히 표기해서, 아래와 같은 마지막 이중차분 방정식을 얻을 수 있다.

$$\Phi_{AB}^{jk}(t) = \frac{1}{\lambda} e_{AB}^{jk}(t) + N_{AB}^{*jk} \quad (2.11)$$

수신기기의 시계 편차의 제거 효과가 이중차분을 선호하는 이유다. 이런 제거는 동시관측과 위성 신호의 동일 주파수 가정에 기인한다.

$$*_{AB}^{jk} = *_{AB}^{*k} - *_{AB}^{*j} \quad (2.12)$$

기호적으로, 아래와 같이 편리하게 사용할 수 있다. *는 Φ , ρ 또는 N 으로 대체될 수 있다. 두 아래 첨자와 위 두 첨자로 구성된 이 항은 실제로 4 개 항으로 이루어지는 다른 것이다. 아래 기호 표시는 이중차분 방정식에 있는 항들을 자세하게 나타낸다.

$$*_{AB}^{jk} = *_{B}^{*k} - *_{B}^{*j} - *_{A}^{*k} + *_{A}^{*j} \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{AB}^{jk}(t) &= \Phi_B^k(t) - \Phi_B^j(t) - \Phi_A^k(t) + \Phi_A^j(t) \\ e_{AB}^{jk}(t) &= e_B^k(t) - e_B^j(t) - e_A^k(t) + e_A^j(t) \\ N_{AB}^{*jk}(t) &= N_B^{*k} - N_B^{*j} - N_A^{*k} + N_A^{*j} \quad (2.14) \end{aligned}$$

2.1.3 삼중차분

지금까지 한 개 epoch t 만 고려하였다. 시간에 독립된 불확실 정수를 제거하기 위해, Remondi(1984)는 두 epoch 사이의 이중차분을 차등하는 것을 제시하였다. Fig. 5는 삼중차분을 나타내고 있다.

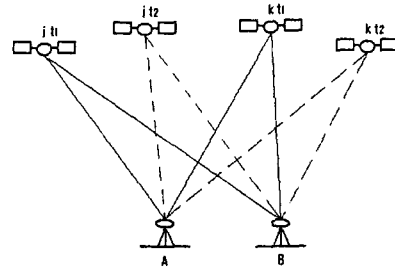


Fig. 5. Triple Difference

$$\begin{aligned} \Phi_{AB}^{jk}(t_1) &= \frac{1}{\lambda} e_{AB}^{jk}(t_1) + N_{AB}^{*jk} \\ \Phi_{AB}^{jk}(t_2) &= \frac{1}{\lambda} e_{AB}^{jk}(t_2) + N_{AB}^{*jk} \quad (2.15) \end{aligned}$$

$$\Phi_{AB}^{jk}(t_2) - \Phi_{AB}^{jk}(t_1) = \frac{1}{\lambda} [e_{AB}^{jk}(t_2) - e_{AB}^{jk}(t_1)] \quad (2.16)$$

$$\Phi_{AB}^{jk}(t_{12}) = \frac{1}{\lambda} e_{AB}^{jk}(t_{12}) \quad (2.17)$$

$$*(t_{12}) = *(t_2) - *(t_1) \quad (2.18)$$

두 epoch를 t_1 과 t_2 로 나타내면, 아래 식은 이중차분이다. 그리고 만약 아래와 같은 기호 공식을 Φ 과 ρ 에 적용하면 아래 식은 간단한 형태의 삼중차분으로 된다.

$$\begin{aligned} \Phi_{AB}^{jk}(t_{12}) &= \Phi_B^k(t_2) - \Phi_B^j(t_2) - \Phi_A^k(t_2) + \Phi_A^j(t_2) \\ &\quad - \Phi_B^k(t_1) + \Phi_B^j(t_1) + \Phi_A^k(t_1) - \Phi_A^j(t_1) \quad (2.19) \end{aligned}$$

두 값은 각각 8개 항으로 구성됨을 알아야 하며, 식 (2.12)와 식 (2.9)에 식 (2.10)을 다시 대입하면 아래와 같은 식으로 유도된다.

$$e_{AB}^{jk}(t_{12}) = e_B^k(t_2) - e_B^j(t_2) - e_A^k(t_2) + e_A^j(t_2) - e_B^k(t_1) + e_B^j(t_1) + e_A^k(t_1) - e_A^j(t_1) \quad (2.20)$$

삼중차분의 이점은 불확실 정수를 제거하고, 불확실 정수 변화로부터 벗어나기 위한 것이다. 이것을 사이클 슬립이라 한다.

3. 관측대상지 및 관측장비

본 연구에 이용한 삼각점은 부산의 영도(YOUD), 황령(HWAR) 두 점과 김해(KIMH), 밀양(MILY), 대구(DAEG), 진주(JINJ), 대전(DAEJ)의 네 점을 선점하여 관측하였다. 기준이 되는 점은 부산광역시 영도구 봉래산에 위치하고 있는 1등 삼각점을 기준점으로 사용하였으며 관측에 사용된 GPS수신기는 일·이주파 관측이 용이한 TOPCON사의 JAVAD제품으로 안테나는 외부형으로 Microstrip 타입이며, 133MHz나 192MHz에서 사용이 가능한 Legant 제품을 이용하였다. 수신기는 GPS L1/L2 (L1-C/A와 L1/L2-Full Cycle Carrier Phase, P1/P2) 관측이 가능한 LEGANT-H의 GD type을 사용하였다.

Table 1. The specification of GPS receiver

LEGACY-H GD		
Tracking channel	40 L1 channels GPS 20 L1/L2 channels GPS	
Signals Tracked	L1/L2 C/A and P-code and Carrier Phase	
Accuracy	Horizontal	
	Static	3mm+1ppm(*D)
	Rapid static	3mm+1ppm(*D)
	RTK	10mm+1.5ppm(*D)
	Vertical	
	Static	5mm+1.5ppm(*D)
Rapid static	6mm+1.5ppm(*D)	
RTK	20mm+1.5ppm(*D)	

Table 1은 GPS의 주요 사양을 나타내고 있다.

3.1 고시성과

Table 2는 각 기준성좌에 대한 직각좌표와 점의 등급을 보여주고 있다.

Table 2. Grid coordinate of National reference point(m)

Point	Grid Coordinate		
	Notification product	Origin	Order
부산 YOUD	X	175,947.421	동부 1
	Y	204,971.493	
	Z	394.72	
부산 JUNS	X	191,014.463	동부 3
	Y	190,956.388	
	Z	24.59	
부산 BONH	X	184,236.814	동부 2
	Y	207,404.778	
	Z	427.63	
밀양 MILY	X	213,694.28	동부 3
	Y	186,230.88	
	Z	123.39	
대구 DAEG	X	262,258.465	동부 3
	Y	164,481.937	
	Z	50.21	
진주 JINJ	X	186,213.138	중부 3
	Y	112,942.224	
	Z	90.543	
대전 DAEJ	X	324,350.126	중부 3
	Y	238,883.49	
	Z	201.44	

고정점으로 사용될 YOUD를 기점으로 가장 장기선인 200km 이상의 DAEJ 점과 중기선인 DAEG, JINJ, 단기선인 MILY, JUNS BONH로 기선거리에 따라 선점하였다.

4. 자료처리

본 연구는 정적 상대위치결정을 위한 최적의 망구성을 위하여 국가 기준삼각점을 선점하여 국립지리원에서 규정하고 있는 “3등 기준점” 방식으로 측량을 실시하였다. Fig. 6은 데이터 처리 흐름도를 나타내고 있다.

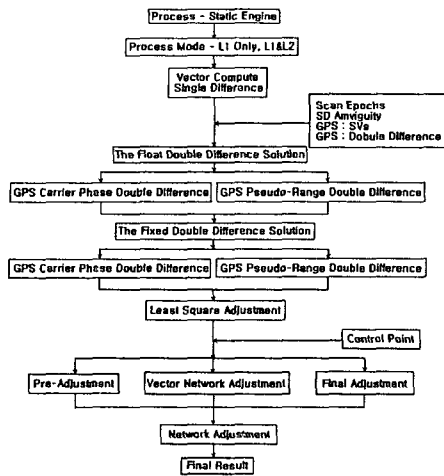


Fig. 6. Processing flowchart

4.1 자료처리

위와 같은 기선처리와 망조정을 바탕으로 중·장기선에 대한 정확도를 분석하고자 한다. 표 구성은 고시성과값을 기준으로 일·이중차 처리방법에 따른 거리별 잔차, 또한 미지정수의 고정해와 유동해에 따른 성과의 질적 수준을 표현하여 잔차량을 나타내고 도시화하였다. 그리고 망조정에 의해 취득된 최종 좌표를 고시성과와 비교하여 좌표에 대한 잔차량을 구하였으며, 조정으로 인한 좌표의 폐합비를 나타내어 그 결과치에 대한 신뢰도를 검증하였다. 일주과 시 70~80km에서 고정해를 얻었으며 이주과의 경우 모든 기선에서 고정해를 산출했으나 JINJ와 관계된 기선들 중 단기선을 제외한 각 기선들이 고정해를 보이지 않고 있다. 이러한 이유는 관측시의 수신기 상태 불량으로 인한 신호 잡음이 같이 수신된 것으로 판단된다. 고시성과와 L_1 과의 평균 잔차량은 최소 0.018m에서 최대 0.226m를 보이고 있으며, 고시성과와 L_1 & L_2 의 잔차량은 최소 0.016m에서 최대 0.066m를 나타내고 있다, L_1 에 대한 방법과 L_1 & L_2 의 처리방법

에 대한 잔차량의 차이는 0.028m를 나타내고 있다.

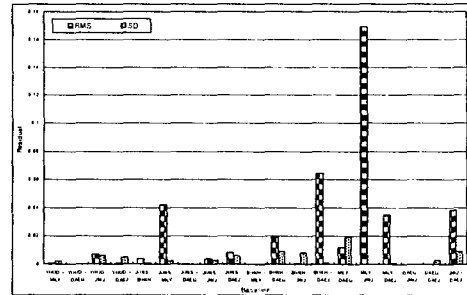


Fig. 7. Difference of RMSE and SD

망조정의 신뢰도는 좌표에 대한 잔차량과 좌표에 대한 폐합비로서 평가하게 된다. 기선처리 후 최소제곱조정결과를 이용하여 고시성과와 각각의 처리성과를 비교하여 잔차량을 나타내고 그 잔차량을 이용하여 각 관측점에 대한 폐합비를 산출하였다.

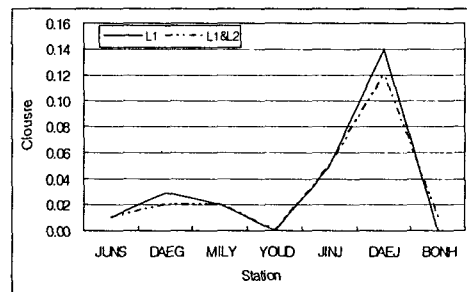


Fig. 8. Coordinate closure

Table 3. Residual of L_1 adjustment vector

Point	Residual			Closure
	Δx	Δy	Δz	
JUNS	0.004	0.007	0.014	0.010
DAEG	0.009	0.010	0.020	0.030
MILY	0.006	0.007	0.016	0.020
YOLD	0.000	0.000	0.000	0.000
JINJ	0.029	0.020	0.039	0.140
DAEJ	0.013	0.020	0.025	0.05
BONH	0.002	0.003	0.007	0.000

Table 4. Residual of L_1 & L_2 adjustment vector

Point	Residual			Closure
	Δx	Δy	Δz	
JUNS	0.004	0.007	0.013	0.010
DAEG	0.007	0.008	0.018	0.020
MILY	0.006	0.007	0.015	0.020
YOUD	0.000	0.000	0.000	0.000
JINJ	0.027	0.018	0.036	0.120
DAEJ	0.012	0.011	0.026	0.050
BONH	0.007	0.003	0.007	0.010

Fig. 8은 폐합비를 도시화 한 것이며, Table 3과 4는 망조정 후의 잔차량을 나타낸 것이다.

그리고 중·장기선에 대한 허용정도를 구하기 위하여 국토지리정보원의 “GPS에 의한 기준점 측량 작업규정”으로 그 정확도를 분석하였으며, 세션 간의 허용범위는 다음 Table 5와 같다.

Table 5. Permitted limite of session

Closure	Permit limite
Coordinate differential of each factor for X, Y, Z to baseline analysis	15mm

Table 3과 Table 4에서 알 수 있듯이 x , y , z 에 대한 각 성분의 좌표 비교차이와 3등 기준점측량의 허용범위 15mm와 비교하였을 때 만족하는 값을 보이고 있다. 관측 당일의 위성 가시성과 위성 배치에도 상당한 영향을 받는 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구는 일·이주파에 대한 데이터 처리를 실시하여 일주파 수신기의 활용성과 정확도를 비교·검증하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. L_1 을 사용하여 데이터를 처리하는

방식으로 기선처리를 하였을 때 기선거리 72627.407m내의 관측데이터는 고정해를 하고 RMSE, SD, 망조정 후 취득한 좌표에 대한 잔차량 우수한 값을 나타내고 있으며, 유동해의 경우에는 0.114~0.367m의 RMSE와 0.030~0.074m의 SD값을 보이고 있다.

2. L_1 & L_2 의 데이터 처리기법을 사용했을 때는 0.013m~0.325m의 RMSE를 보이며, 0.019~0.070m의 SD를 보이고 있다. 망조정을 통한 좌표에 대한 잔차량은 0.004~0.036m를 얻을 수 있었다. 그리고 JINJ를 제외한 전 기선에서 고정해를 산출하였다.

3. 일·이주파를 비교 분석해 본 결과 일주파로도 70~80km 이내의 단·중기선에서는 고정해를 산출해 이주파의 취득값과 거의 동일하게 나타나는 것으로 나타났다. 또한 기준점 측량에 따른 허용정밀도와 비교에서도 고정해 값뿐만 아닌 유동해의 결과에 대해서도 만족하는 값을 보이고 있다.

참고문헌

- 1) 박운용, “측량공학 총론”, 동아대학교 출판부, pp. 171~175
- 2) 행정자치부, “GPS 지적 기준망 구축의 위한 RTK-GPS 측량 실험 및 GPS 측량 작업 규정”, 2001.
- 3) Remondi, B. W., □□Using the Global Positioning System (GPS) Phase Observable for Relative Geodesy : Modeling, Processing and Results□□, PhD Thesis, Center for Space Research, University of Texas at Austin, May, 1984.