

GPS 반송파 위상을 이용한 측지학적인 절대위치 결정 Geodetic Point Positioning using the GPS Carrier Phase

강준묵* · 정용식** · 최종현**

Kang, Joon-Mook · Chung, Yong-Sik · Choi, Jong-Hyun

요 지

측지학적인 절대측위 방법들은 아직 관측상의 많은 문제점과 어려움을 내포하고 있으며, 국내에서도 정확한 절대측위 성과의 필요성 때문에 GPS를 이용한 절대위치결정에 관한 연구가 일부기관에서 수행되고 있다. 본 연구에서는 2주파 GPS 반송파 맥놀이 위상(carrier beat phase)자료에 의한 절대위치 결정의 기본 이론을 정립하고 각종 오차 보정량을 산출하며, 정밀케도력과 정밀시계상태를 이용해 독립적인 절대위치를 결정하여 이에 대한 정확도를 분석하고자 한다. 또한 독립적인 절대좌표를 상대측위에 의한 상대좌표와 비교함으로써 국내에서도 GPS를 이용한 측지학적인 절대위치 결정의 가능성을 제시하고자 한다.

ABSTRACT

Geodetic Satellite Positioning Techniques (NNSS, Transit, Doppler, VLBI, SLR etc.) still have much difficulty in surveying and necessity of point positions is being amplified in Korea. Therefore some research institutes have been investigating point positioning using the GPS. In this study, I arranged the theory deal with point positioning using GPS carrier beat phase of dual frequency and estimated corrections of errors that be included in GPS observable. Also, I determined point position by the differencing scheme of GPS carrier phase, and analyzed the accuracy of point position. I suggested potentiality of geodetic point positioning using GPS carrier phase by comparing result of relative positioning with result of point positioning and analyzing result of network adjustment fixed any point position.

1. 서 론

현재까지 측지학적인 절대위치 결정을 위해 Navy Navigation Satellite System(NNSS, Transit, Doppler)이 주로 사용되었으며, 최근에는 VLBI와 SLR과 같은 진보된 위성측지방법들이 주로사용되고 있다. 이러한 위성측지방법을 이용한 위성측위점들은 지도제작관리, 지역측지계와 세계측지계간의 변환계수산출 등 각종 측지학적인 응용에 사용되고 있으나 정밀한 위성측지방법에 사용되는 좌표계가 GPS의 기준좌표계인 WGS84 좌표계와 상이하기 때문에 좌표를 변환해야 하는 번거로움을 갖게 된다. 또한 정밀한 위성측지방법들은 관측상의 많은 문제점과 어려움을 내포하고 있으며, 국내에서도 정확한 절대측위 성과의 필요성 때

문에 GPS를 이용한 절대위치결정에 관한 연구가 일부 기관에서 수행되고 있다.

GPS 반송파 위상을 이용한 측지학적인 절대위치결정은 세계측지계의 원점과 지표상에 존재하는 임의의 측점을 연결하는 벡터성분을 계산하는 것으로 독립적인 관측에 의해 수행될 수 있는 반면에, 상대측위방법은 기지점과 미지점의 기선벡터 성분을 계산하는 것으로 동시관측이 필연적으로 수행되어야 한다. 일반적으로 상대측위는 기선성분에 대해 cm의 정확도를 제공하지만, 미지점의 좌표는 기지점의 좌표정확도에 제한을 받게 된다. 즉 기지점의 위치가 매우 정확하며, cycle-slip의 보정과 정확한 대기의 모델링이 주어진다면, 미지점의 좌표는 mm의 정확도로 평가될 수 있다. 그러나 기지점의 좌표정확도가 낮고 기선이 매우 긴 경우엔 오차전파로 인해 기선은 측정왜곡을 포함하게 된다. 따라서 많은 절대측위점의 확보는 상대측위에 따른 오차전

* 충남대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 충남대학교 토목공학과 박사과정

파를 최소화시키며, 기지점과 미지점의 기선거리를 줄일 수 있는 효과적인 방법이 될 수 있다. 이에 본 연구에서는 2주파 GPS 반송파 맥놀이 위상자료에 의한 절대위치 결정의 기본 이론을 정립하고 독립적인 절대위치를 결정하여 국내에서도 GPS를 이용한 측지학적인 절대위치 결정의 가능성을 제시하고자 한다.

2. 절대위치 결정 이론

GPS에 의한 절대위치 결정은 관측자료의 분석과 관측자료에 대한 오차보정 및 일관성 분석을 통해 생성된 관측값에 차분법(differencing scheme)을 적용하여 이루어지게 된다.

2.1 GPS 관측자료의 분석

GPS 관측자료의 분석을 위해 독립적인 형태의 관측 자료를 RINEX 표준형태로 변환하여야 하며, 이러한 RINEX 변환을 통해 관측자료 화일, 항법메세지 화일과 기상자료 화일이 생성되게 된다. RINEX 변환이 수행된 화일들은 ASCII 화일 편집기를 이용해 각종 분석과 검색 및 편집이 이루어지게 된다. 관측자료의 분석은 각각의 데이터 셋에 포함된 위성의 PRN 번호와 위성수, 수신기에서 생성된 기본주파수의 반송파와 위성으로부터 수신된 반송파 사이의 맥놀이 주파수를 측정 한 반송파 위상 관측값, 코드에 의한 의사거리 측정값 및 관측순간의 수신기 시각과 clock offset을 확인하는 것이다. 이와 같은 관측자료의 분석을 통해 관측자료의 손상 부분을 분할하거나, 4대 미만의 위성이 관측된 부분을 제거하게 된다. 또한 대류권 지연과 같은 관측자료의 보정은 초기좌표의 함수로 이루어졌기 때문에 관측자료 보정시 보정량의 편의를 방지하기 위해 초기좌표를 확인해야 한다.

2.2 GPS 관측자료의 오차 보정

2주파 GPS 수신기의 반송파 맥놀이 위상자료를 이용해 측지학적인 절대위치를 결정할 경우, 실제 관측된 자료는 여러 가지 오차성분들을 포함하고 있다. 따라서 이러한 오차성분들은 가능한 모델과 수학적식을 이용해 보정이 가해져야 한다. 표 1은 측지학적인 절대위치 결정에 일반적으로 적용되는 오차보정과 각각의 종속변수들을 나타낸 것이다.

표 1. GPS 관측자료의 보정과 보정에 따른 종속변수

종속변수 관측자료보정	Data Value	기상관측 자료	초기 좌표	궤도력과 시계상태
Epoch to Receipt to Epoch of Transmission	○			
위성시계 보정				○
전리층 보정	○			
대류권 보정		○	○	○
일반적인 상대				○
지구자전 보정			○	○
위성안테나 offset 보정			○	○

반송파 맥놀이 위상자료에 대한 전리층 보정은 관측값의 함수로 L1/L2 반송파상에서 초기의 미지정수값을 추정하기 위한 것이며, 초기의 미지정수값은 cycle-slip이 발생하기 전까지의 모든 연속적인 관측자료를 통해 추정된다. 또한 전리층 보정의 불연속성은 L1/L2의 cycle-slip을 확인하기 위해 사용되며, 이러한 보정값은 0m ~ ±15 m의 범위에 있어야 한다. 표 1에 제시된 대부분의 보정은 궤도력과 시계상태의 함수이므로 사용되는 궤도력 정보와 시계상태에 따라 보정량의 차이가 나타나게 된다. RINEX 항법메세지 화일에 포함된 방송궤도력과 방송시계상태는 미공군이 주도하는 5개의 네트워크로부터 유도된 예보이며, 정밀궤도력과 정밀시계상태는 사후적합평가를 통해 산출된 정보이다. 정밀궤도력을 사용한 위성시계보정은 위성시계의 편의를 보간하여 각각의 위성시간을 GPS Time으로 보정하기 위해 사용된다. 또한 방송궤도력과 방송시계상태가 사용된 위성시계보정은 항법메세지 화일에 수록된 다항식계수를 이용해 이루어지게 된다. 이러한 위성시계보정과 일반적인 상대성 보정, 지구자전에 대한 보정, 대류권 보정 및 위성안테나 offset 보정들은 연속적인 관측자료에 대해 선형적이거나 2차 또는 3차 곡선으로 표시되어야 하며, 위성안테나 offset 보정은 정밀궤도력과 정밀시계상태를 사용할 경우에만 적용되는 것으로 가장 작은 보정량을 갖는다.

2.3 관측자료에 대한 일관성 분석

각종 보정이 수행된 관측자료들은 각 위성의 코드의 사거리와 반송파 위상에 대한 일관성 분석이 이루어져야 한다. 일관성 분석은 각쌍의 epoch에 대해 두개의

보정된 코드의사거리 관측값의 차를 나타내는 ΔR 과 보정된 반송파 위상 관측값의 차를 나타내는 $\Delta R'$ 가 같아야 한다는 이론을 적용하는 것이다. 그러나 실제적으로는 코드의사거리와 반송파 위상에 연관된 각각의 잡음 정도가 다르기 때문에 ΔR 과 $\Delta R'$ 은 약간의 차이를 갖게 된다. 이러한 차이가 cm~1 m이내에 존재한다면 보정된 반송파 맥놀이 위상자료는 차분법에 사용될 수 있는 양호한 것으로 간주한다. 반면에 이러한 차이가 수신기 자체의 허용오차(약 5 m)보다 크다면 이러한 자료는 차분법에 사용되지 않는다. 또한 이러한 차이를 위성별로 평균하여 다른 위성의 평균 차이보다 상당히 큰 차이를 나타내는 위성은 이탈위성으로 간주하여 제거하게 된다.

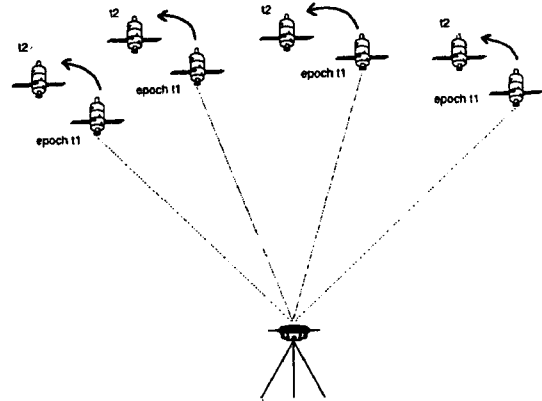


그림 1. GPS 절대측위를 위한 이중차 기법

그림 1은 이중차 기법을 나타낸 것으로 4대 위성의 동시 관측과 연속적인 두 개 epoch를 이용해 총 3개의 관측값을 형성하게 된다. 이때 각각의 epoch에는 기준 위성이 설정되어야 하며, 이러한 기준위성은 이용도가 가장 높은 위성을 사용한다. 이와 같이 형성된 관측값들은 비선형적인 최소제곱조정을 이용해 절대측위점에 대한 지구중심-지구고정(ECEF) 직각좌표계의 벡터성분이 계산되며, 천정 대류권 지연 변수가 계산된다. 비선형적인 최소제곱조정은 식 (3)과 같이 잔차에 대한 분석을 통해 반복조정으로 수행되게 된다.

$$RMS_{i-1} \cdot X > |v(=0-C)|_i \quad (3)$$

여기서,

RMS_{i-1} : (i-1)번째 조정에서 산출된 RMS (표준편차)

X: GPS 수신기에 의한 증가계수

O: 보정된 L1 반송파 위상자료에 대해 차분법으로 형성된 관측값

C: 측정점의 위치벡터와 위성의 위치벡터로 계산된 관측값

v: n번째 epoch쌍으로 형성된 절대위치 결정 관측값의 잔차

이와 같은 절대위치 결정기법은 통계분석을 위해 연속적인 산정기법을 사용하며, 각각의 조정에서 산출된 변수와 이에 대한 분산-공분산 행렬, 상관관계 행렬 및 잔차의 RMS를 계산하게 된다. 이는 계산된 변수의 신뢰성을 평가하는 것으로 분산-공분산 행렬의 대각선 요소에 대한 제공근을 통해 GPS로 결정된 절대위치

2.4 차분법에 의한 절대위치 결정 알고리즘

각종 보정이 수행되고 일관성 분석을 만족하는 반송파 맥놀이 위상자료도 편의(bias)와 미지정수를 포함하고 있으며, 수신기 주파수 표준의 불안정과 cycle slip과 같이 위치결정에 오차를 야기시키는 특성들도 포함하게 된다. 이러한 오차들은 보정량을 계산함에 있어 위성의 궤도력과 시계상태에 대한 완벽한 평가 불이행과 대기조건에 따른 완벽한 보정의 불이행으로 야기되는 오차라 할 수 있다. 따라서 측지학적인 절대측위 방법은 위성의 궤도력과 시계상태에 공통적으로 포함된 오차와 보정된 관측자료에 포함된 오차를 소거하기 위해 차분법(differencing scheme)을 사용한다. 이러한 차분법은 식 (1)과 같이 두 개의 epoch t1과 t2에 대한 위성간 단일차(between-satellite difference)와 epoch간 단일차(between-epoch difference)를 조합하는 이중차 기법(double difference)을 활용하게 된다.

$$\Phi_A^{jk}(t_1) = \frac{1}{\lambda} \rho_A^{jk}(t_1) + N_A^{jk}(t_1) - f\delta^{jk}(t_1)$$

$$\Phi_A^{jk}(t_2) = \frac{1}{\lambda} \rho_A^{jk}(t_2) + N_A^{jk}(t_2) - f\delta^{jk}(t_2)$$

이중차 기법은 t_1 과 t_2 에 대해 cycle slip이 발생하지 않는다면, 즉 $N_A^{jk}(t_1) = N_A^{jk}(t_2)$ 인 경우에 식 (2)와 같이 구성되게 된다.

$$\Phi_A^{jk}(t_1) - \Phi_A^{jk}(t_2) = \frac{1}{\lambda} [\rho_A^{jk}(t_1) - \rho_A^{jk}(t_2)] - f[\delta^{jk}(t_1) - \delta^{jk}(t_2)] \quad (2)$$

의 각 성분에 대한 표준편차를 계산하며, 비대각선 요소를 통해 선형적인 상관계수를 계산한다. 이러한 상관계수는 각 변수에 대한 선형적인 독립성을 나타낸다. 또한 잔차에 대한 RMS는 절대위치 결정을 위해 보정된 반송파 위상자료의 신뢰성을 제시하는 것이다.

3. GPS 절대위치 관측

GPS에 의한 측지학적인 절대측위점들은 그림 2와 같이 남한지역을 대상으로 천문측량이 실시된 5개 측정점과 육군지도창내의 연속관측점(KAMC)으로 구성되었다. GPS 관측은 각 측정점에서 동시에 1995년 8월 8일(220) 12시(KST)부터 8월 11일(222) 12시(KST)까지 기본적인 관측이 수행되었으며, 이외에도 KAMC 측정점은

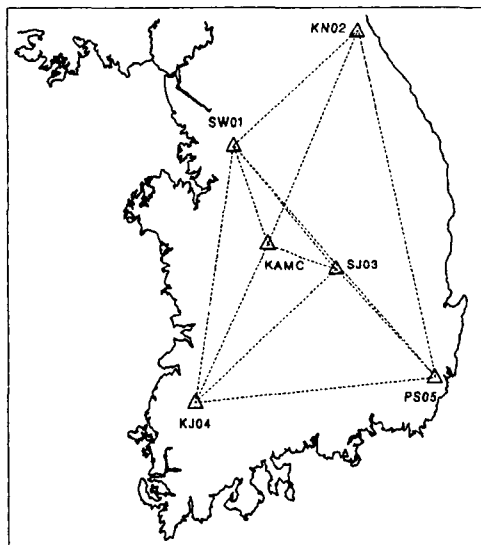


그림 2. GPS 절대측위점 분포

표 2. GPS 절대측위를 위한 관측 옵션

관측 옵션	설정값
GPS 관측자료의 저장 간격	30초
위성의 고도각 한계	10°
동시에 관측되는 최소 위성 수	4대
PDOP 한계	7 이하
기상관측자료의 정확도	온도: ±2°C 기압: ±2 mb 상대습도: ±2%
안테나 높이 측정의 정확도	±0.5 cm

8월 18일(230)과 21일(233), 24일(236)에 각각 24시간씩 추가적인 GPS 관측이 실시되었다. 각 session의 관측은 Ashtech LM-XII 2주파 수신기와 Z-XII 2주파 수신기가 사용되었으며, 기상자료 획득을 위해 매 시간마다 온도, 기압 및 상대습도를 관측하였다. GPS 관측과 기상관측에 따른 옵션은 표 2와 같다.

4. 관측자료처리와 비교·분석

각각의 절대측위점에서 관측된 GPS 관측자료는 RINEX 형태로 변환되었으며, 각 위성별로 위성시계보정, 전리층 보정, 대류권 보정, 일반적인 상대성 보정, 지구자전에 대한 보정 및 위성안테나 offset 보정을 수행하였다. 그림 3에서부터 그림 9까지는 220일 KAMC 측정점에서 관측된 PRN 1번 위성에 대한 각각의 보정량을 나타낸 것으로 정밀케도력과 정밀시계상태를 이용한 경우의 의사거리 보정량을 나타낸 것이다.

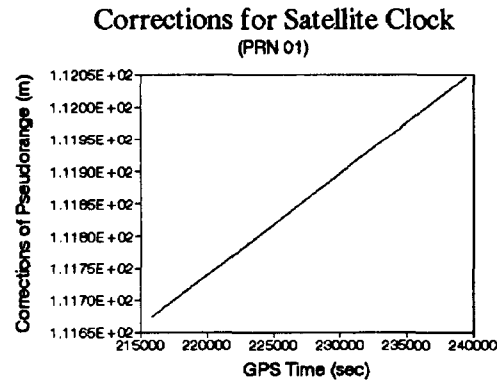


그림 3. 위성시계 보정량

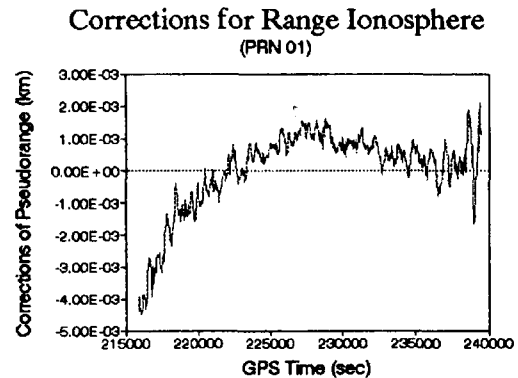


그림 4. 코드의사거리 전리층 보정량

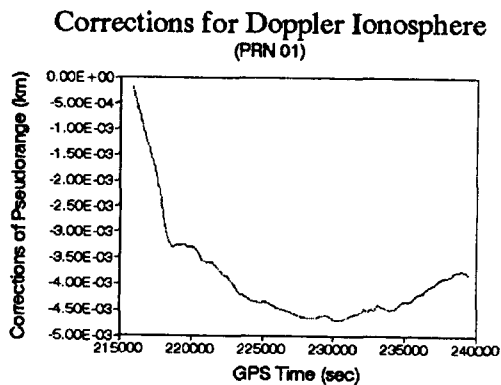


그림 5. Doppler 전리층 보정량

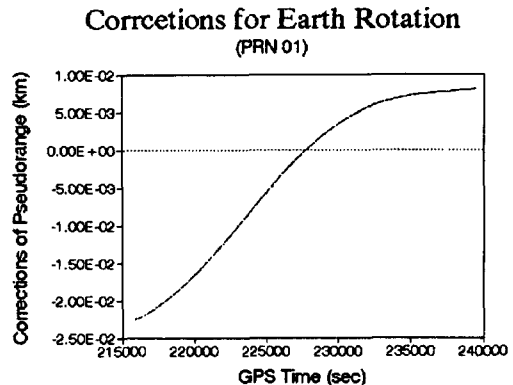


그림 8. 지구자전에 대한 보정량

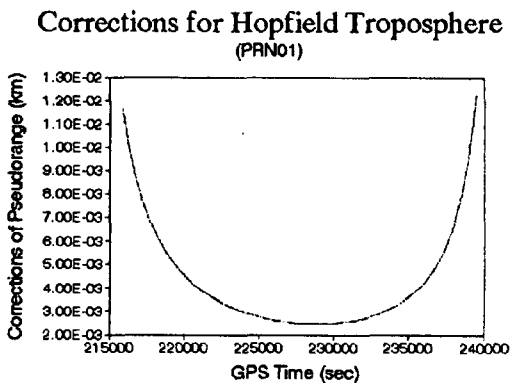


그림 6. 대류권 보정량 (Hopfield 모델)

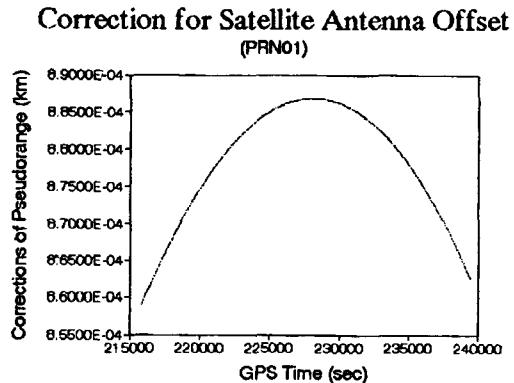


그림 9. 위성안테나 offset 보정량

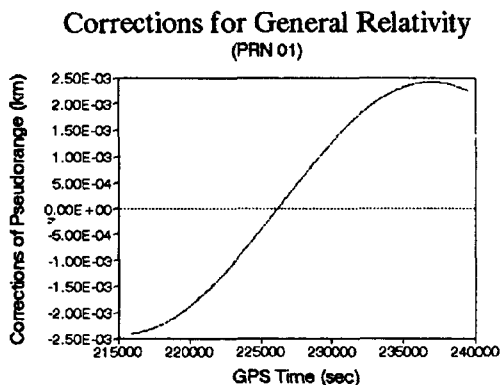


그림 7. 일반적인 상대성 보정량

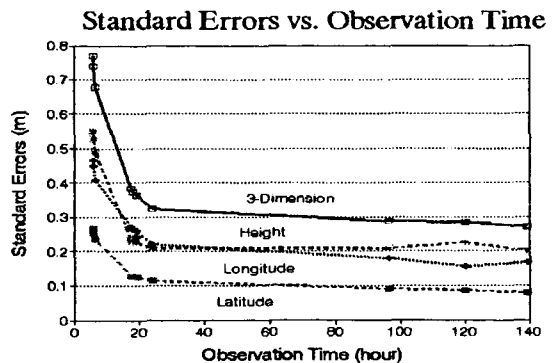


그림 10. 관측시간에 따른 절대위치 표준오차

GPS 관측시간에 따른 절대측위의 정확도를 분석하고자 각 측정점의 관측자료를 시간대별로 분할하여 절대위치를 결정하였으며, 그림 10은 SA-보정자료, 정밀케도력과 정밀시계상태를 이용해 KAMC 측정점의 관측시간에 따른 절대위치 각 성분의 표준오차를 나타낸 것

로 ± 0.30 m 이내의 3차원 표준오차를 갖는 절대위치를 결정하기 위해 약 70시간 이상의 GPS 관측이 바람직하다는 것을 보여준다. 또한 24시간 이내의 GPS 관측인 경우 관측시간의 경과에 따라 표준오차가 급격히 감소하는 반면에, 약 24시간 이상의 관측에서는 관측시간의 경과에 따라 표준오차가 미소하게 감소하는 경향

을 나타냈다. 절대측위가 수행된 각 측점의 절대측위 결과와 표준오차는 표 3, 4와 같다.

절대측위가 수행된 6개 측점에 대해 지리좌표에서 ± 0.2681 m의 3차원 표준오차를 보였으며, 지심 좌표의 경우 ± 0.2683 m의 표준오차를 보였다. 또한 6개 측점의 절대위치 관측이 동시에 실시되었기 때문에 절대측위점중 임의 한 점을 고정으로 상대처리와 망조정을 실시하여 절대측위의 신뢰성을 분석하였으며, 표 5는 KAMC 측점을 고정으로 3차원 망조정을 실시한 결과

표 3. 절대측위 지심좌표 결과와 표준오차

Station	ECEF Coordinates		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
KAMC	-3117905.79	4085741.51	3764527.74
1 σ	0.162	0.198	0.086
SW01	-3062002.71	405437.35	3841861.30
1 σ	0.146	0.137	0.160
KN02	-3166651.31	3931703.81	3885249.70
1 σ	0.227	0.229	0.148
SJ03	-3174047.37	4046487.46	3760085.35
1 σ	0.111	0.079	0.088
KJ04	-3128967.04	4171557.52	3660481.28
1 σ	0.295	0.114	0.150
PS05	-3297982.68	4036483.84	3663598.24
1 σ	0.185	0.065	0.092

표 4. 절대측위 지리좌표 결과와 표준오차

Station	ECEF Coordinates		
	Latitude	Longitude	Height (m)
KAMC	36-24-18.7380	127-20-52.5288	91.424
1 σ	0.079 m	0.165 m	0.199 m
SW01	37-16-33.3691	127-03-14.8749	91.892
1 σ	0.112 m	0.051 m	0.224 m
KN02	37-46-05.7039	128-50-54.5034	175.594
1 σ	0.187 m	0.296 m	0.057 m
SJ03	36-21-19.0472	128-06-37.7452	119.985
1 σ	0.141 m	0.067 m	0.043 m
KJ04	35-14-55.1795	126-52-21.0900	87.841
1 σ	0.112 m	0.225 m	0.244 m
PS05	35-16-58.0671	129-15-01.1354	130.709 m
1 σ	0.135 m	0.141 m	0.092 m

와 절대측위 성과를 비교한 것으로 ± 0.3329 m의 3차원 편차를 나타내지만 SW01 측점은 경·위도 및 타원체고에서 타 측점들과 반대되는 양상으로 가장 큰 편차를 나타냈다. 표 6은 SW01의 절대측위 성과를 고정으로 한 망조정 결과와 절대측위 성과를 비교한 것으로 모든 측점에서 상당히 큰 편차를 나타냈으며, ± 0.7461 m의 3차원 편차를 보였다.

표 7에서부터 10까지는 각각 KN02, SJ03, KJ04, PS05 측점의 절대측위 성과를 고정으로 한 망조정 결과와 절대측위의 편차를 나타낸 것으로 KN02를 고정으로 한

표 5. KAMC를 고정으로 한 망조정 결과와 절대측위의 편차

Station	Difference		
	Latitude	Longitude	Height
KAMC	0.0000 m	0.0000 m	0.0000 m
SW01	-0.1265 m	-0.6105 m	0.2379 m
KN02	-0.0869 m	0.4703 m	-0.2839 m
SJ03	0.0445 m	0.1040 m	-0.3322 m
KJ04	0.1529 m	0.0612 m	-0.3372 m
PS05	0.1079 m	-0.0823 m	-0.1922 m

표 6. SW01를 고정으로 한 망조정 결과와 절대측위의 편차

Station	Difference		
	Latitude	Longitude	Height
KAMC	0.01265 m	0.6312 m	-0.2378 m
SW01	0.0000 m	0.0000 m	0.0000 m
KN02	0.0396 m	1.0949 m	-0.5217 m
SJ03	0.1710 m	0.7365 m	-0.5700 m
KJ04	0.2794 m	0.7010 m	-0.5750 m
PS05	0.2344 m	0.5603 m	-0.4300 m

표 7. KN02를 고정으로 한 망조정 결과와 절대측위의 편차

Station	Difference		
	Latitude	Longitude	Height
KAMC	0.0869 m	-0.4829 m	0.2839 m
SW01	-0.0396 m	-1.1014 m	0.5217 m
KN02	0.0000 m	0.0000 m	0.0000 m
SJ03	0.1314 m	-0.3786 m	-0.0483 m
KJ04	0.2398 m	-0.4292 m	-0.0534 m
PS05	0.1948 m	-0.5704 m	-0.0916 m

표 8. SJ03을 고정으로한 망조정 결과와 절대측위의 편차

Station	Difference		
	Latitude	Longitude	Height
KAMC	-0.0445 m	-0.1036 m	0.3508 m
SW01	-0.1710 m	-0.7259 m	0.9387 m
KN02	-0.1313 m	0.3705 m	0.3961 m
SJ03	0.0000 m	0.0000 m	0.0000 m
KJ04	0.1084 m	-0.0437 m	0.1170 m
PS05	0.0635 m	-0.1882 m	0.2430 m

표 9. KJ04를 고정으로한 망조정 결과와 절대측위의 편차

Station	Difference		
	Latitude	Longitude	Height
KAMC	-0.1529 m	-0.0610 m	0.3372 m
SW01	-0.2794 m	-0.6835 m	0.5751 m
KN02	-0.2397 m	0.4106 m	0.0534 m
SJ03	-0.1084 m	0.0418 m	0.0050 m
KJ04	0.0000 m	0.0000 m	0.0000 m
PS05	0.0449 m	-0.1471 m	0.1450 m

표 10. PS05를 고정으로한 망조정 결과와 절대측위의 편차

Station	Difference		
	Latitude	Longitude	Height
KAMC	-0.1080 m	0.0832 m	0.1923 m
SW01	-0.2345 m	-0.5410 m	0.4301 m
KN02	-0.1948 m	0.5530 m	-0.0916 m
SJ03	-0.0635 m	0.1864 m	-0.1400 m
KJ04	0.0449 m	0.1461 m	-0.1450 m
PS05	0.0000 m	0.0000 m	0.0000 m

망조정은 ± 0.5337 m의 3차원 편차를 나타냈다. 또한 SJ03을 고정으로한 경우에는 ± 0.3127 m, KJ04를 고정으로한 경우에는 ± 0.3220 m 및 PS05를 고정으로한 경우에는 ± 0.3203 m의 3차원 편차를 나타냈다. 또한 표 11과 그림 11은 KAMC 측점의 경·위도와 SJ03 측점의 높이성분을 고정으로한 망조정 결과와 각 측점의 절대측위 결과를 비교한 것으로 수평성분에 대해 ± 0.2401 m와 수직성분에 대해 ± 0.1826 m의 편차로 ± 0.3016 m의 3차원 편차를 보여 가장 양호한 결과를 나타냈다.

이와 같은 망조정을 통해 KAMC 측점의 경·위도와

표 11. KAMC 경·위도와 SJ03의 높이를 고정으로한 망조정 결과와 절대측위의 편차

Station	Difference		
	Latitude	Longitude	Height
KAMC	0.0000 m	0.0000 m	0.3322 m
SW01	-0.1265 m	-0.6237 m	0.5700 m
KN02	-0.0869 m	0.4730 m	0.0484 m
SJ03	0.0445 m	0.1040 m	0.0000 m
KJ04	0.1529 m	0.0612 m	-0.0050 m
PS05	0.1079 m	-0.0823 m	0.1400 m

Point Positioning - Network Adjustment
Fixed Station: KAMC(Lat, Long), SJ03(H)

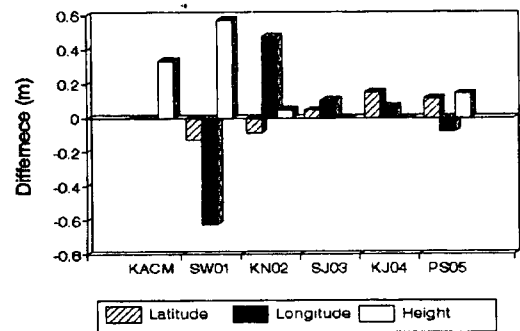


그림 11. KAMC 경·위도와 SJ03의 높이를 고정으로한 망조정 결과와 절대측위의 편차

표 12. KAMC 경·위도와 SJ03의 높이를 고정으로한 망조정 결과

Station	Difference		
	Latitude	Longitude	Height
KAMC	36-24-18.7380	127-20-52.5288	91.0918
SW01	37-16-33.3732	127-03-14.9002	91.3220
KN02	37-46-05.7067	128-50-54.4841	175.5456
SJ03	36-21-19.0458	128-06-37.7410	119.985
KJ04	35-14-55.1745	126-52.21.0876	87.8460
PS05	35-16-58.0636	129-15-0.11387	130.5690

SJ03 측점의 높이 성분이 다른 측점의 성분에 비해 다소 양호한 결과임을 알 수 있었으며, 이를 고정으로 망조정한 결과는 표 12와 같다.

표 12의 성과는 절대측위와 망조정을 조합하여 산출된 결과로 ± 0.1879 m의 3차원 표준오차를 가지며, 절대측위 성과의 3차원 표준오차보다 $+0.0802$ m의 정확

표 13. DAEN 측점에 의한 상대측위와 절대측위의 편차

Station	Difference		
	Latitude	Longitude	Height
KAMC	0.2471 m	0.4846 m	0.2760 m
SW01	0.1174 m	-0.1515 m	0.5293 m
KN02	0.1306 m	0.9062 m	0.0754 m
SJ03	0.2868 m	0.5777 m	-0.0313 m
KJ04	0.3976 m	0.5359 m	-0.0202 m
PS05	0.3565 m	0.3893 m	0.1306 m

도 향상을 보였다. 또한 절대측위 성과를 기존의 GPS 기준점인 DAEN 측점과 연결한 상대측위와 비교한 결과는 표 13과 같으며, ± 0.5954 m의 3차원 편차를 나타냈다. 이러한 상대측위 결과를 절대측위와 망조정으로 산출된 성과와 비교한 결과 ± 0.5692 m의 3차원 편차를 보였다.

5. 결 론

GPS 반송파 위상의 차분법으로 절대위치를 결정하고 정확도를 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. GPS 반송파 위상의 차분법으로 절대위치를 결정할 경우, ± 0.30 m이내의 정확도를 획득하기 위해서는 약 70시간 이상의 GPS 관측이 바람직함을 알 수 있었다. 또한 24시간 이내의 관측에서는 관측시간의 경과에 따라 절대측위의 정확도가 급격히 향상되지만, 약 24시간 이상의 경우엔 관측시간에 따라 정확도가 미소하게 향상되는 것을 알 수 있었다.

2. 차분법을 이용한 절대측위로 ± 0.2681 m의 표준 오차를 갖는 절대위치를 결정할 수 있었으며, 각각의 절대측위점들을 기존의 GPS 기준점과 연결한 상대측위 결과와 ± 0.5954 m의 3차원 편차를 보였다. 이는 GPS 반송파 위상의 차분법을 이용해 측지측량에 활용할 수 있는 절대위치 결정의 가능성을 제시하는 것으로

사료된다.

3. 각 측점의 절대측위가 동시에 수행되었으므로 상대처리와 망조정을 통해 절대위치에 대한 신뢰성을 분석한 결과 KAMC 측점의 경·위도와 SJ03 측점의 높이성고가 가장 양호한 결과를 보였으며, 이를 고정으로 3차원 망조정을 실시한 결과 ± 0.1879 m의 3차원 표준 오차를 갖는 좌표를 결정할 수 있었으므로 절대측위와 망조정을 조합하여 GPS 기준점 확보와 확대가 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Malys, S., Bredthauer, D., Hermann, B., and Clynych, J., "Geodetic Point Positioning with GPS : A Comparative Evaluation of Methods and Results", Proceeding Sixth International Symposium on Satellite Positioning, Las Cruces, NM, 1989
2. Fell, P.J., "Geodetic Positioning Using a Global Positioning System of Satellite", The Ohio State University, Department of Geodetic Science and Surveying, Report Number 299, Columbus, Ohio, June, 1980
3. Remondi, B.W., "Using the GPS Phase Observable for Relative Geodesy : Modeling, Processing and Results", Univ. of Texas at Austin, Center for Space Research, 1984
4. B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins, "Global Positioning System, Theory and Practice", Third, revised edition, Springer-Verlag Wien New York, 1994
5. Alfred Leick, "GPS Satellite Surveying", Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1994
6. Gurtner, W., and Mader, G., and MacArthur, D., "A Common Exchange Format for GPS Data, Proceeding Fifth International Symposium on Satellite Positioning, Las Cruces, NM, March, 1989
7. Malys, S., "Similarity Transformation Between NAVSAT and GPS Reference Frames", AGU Chapman Conference on GPS Measurements for Geodynamics, Ft. Lauderdale, Florida, 1988