

## 궤도력에 따른 장기선 GPS 이동측량의 정확도 분석에 관한 기초연구

# A Base Study on the Accuracy Analysis of GPS Kinematic Surveying of the Long-Baseline According to the Ephemeris

강준묵\* · 이용욱\*\* · 박정현\*\*

Kang, Joon-Mook · Lee, Young-Wook · Park, Joung-Hyun

### 요 旨

단시간 관측으로 많은 3차원 지형정보를 획득할 수 있는 GPS 이동측량은 수 km 이하의 단기선에서 주로 활용되고 있으며, 장기선에 대한 위치결정은 비교적 오랜 시간이 요구되는 정지 측량에 의존하고 있어 단시간으로 장기선 위치결정을 할 수 있는 방법이 요구되고 있다. 본 연구는 장기선에 대한 GPS 이동측량의 적용가능성을 검토하기 위하여 수 십 km 이상의 기선에 대한 기선거리별, 궤도력별 그리고 관측시간대별로 GPS 이동측량의 기선해석 정확도를 정지측량 결과와 비교·분석하고자 한다. 연구결과, PDOP이 4 이하로 매우 양호한 경우 기선길이 약 60 km 이하에서 신속정밀궤도력을 이용하면 수 분의 GPS 측량으로 3차원 지형정보 획득이 가능할 것으로 기대되며, IGS의 최종 정밀궤도력을 적용한 경우와 유사한 정확도 획득이 가능함을 알 수 있었다. 앞으로 장기선 GPS 이동측량에 대한 더욱 심도있는 연구가 진행된다면 국토개발을 비롯한 각종 건설분야에 필요한 지형정보를 보다 효율적으로 획득할 수 있을 것으로 기대된다.

### ABSTRACT

Kinematic GPS surveying which can obtain much 3D topographical information through short-time measurement is being utilized mainly in the short baseline less than a few kilometers. Because the decision of position for the long baseline depends on the static GPS surveying which needs long time measurement, the method for measuring the position of long baseline is needed. In this study, the accuracy of the baseline according to the baseline distance, ephemeris, and observation time by GPS surveying is analysed to confirm the application of kinematic GPS surveying for the long baseline. As the result of this, the acquisition of 3D topographical information by GPS surveying in a few minutes will be possible when PDOP is less than 4, and the fast precise ephemeris is used within 60 km. Also, the accuracy is similar to that of final precise ephemeris of IGS. If a lot of studies about the long baseline kinematic GPS surveying are processed, the acquisition of topographical information for various industry including land development will be obtained more efficiently.

## 1. 서 론

정확한 지형정보의 구축은 국가 기반시설을 비롯한 각종 건설공사에 매우 중요한 요소중의 하나이다. 또한, 컴퓨터 관련 기술의 혁신으로 정보화가 가속화됨에 따라 신속하고 정확하게 3차원 지형정보를 획득할 수 있는 GPS 측량에 많은 관심이 모아지고 있다.<sup>1,4)</sup>

1시간 이상의 장시간 관측을 필요로 하는 GPS 정지측

량에 비해 수 초에서 수 분의 관측으로도 cm의 정확도 획득이 가능한 GPS 이동 측량은 짧은 시간내에 많은 3차원 지형정보를 획득할 수 있어 경제성 및 신속성 측면에서 많은 효용성을 제공한다. 그러나, GPS 이동측량은 수 km 이하의 단거리에서 주로 사용되어 왔으며, 최근 Van-Photogrammetry, Airborne GPS와 같은 분야에서 장기선 이동측량의 필요성이 대두되면서 이에대한 효용성 검토가 요구되고 있다.<sup>5,6)</sup>

본 연구에서는 장기선에 대한 3차원 지형정보 획득을 위하여 기선거리별, 궤도력별 그리고 관측시간대별로 기선의 해석정확도를 정지측량 결과와 비교·분석함으로

\*충남대학교 토목공학과 교수

\*\*충남대학교 대학원 박사수료

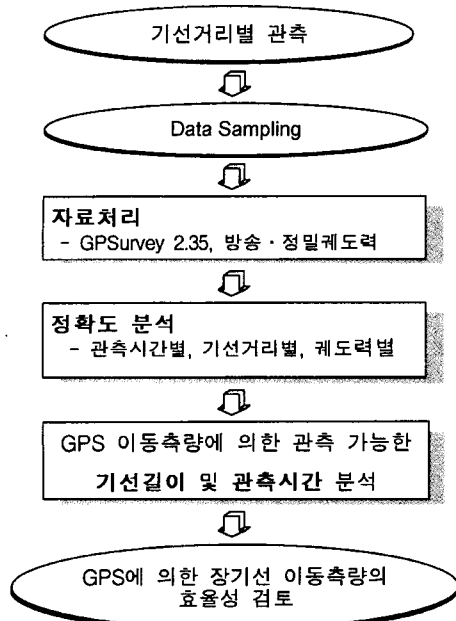


그림 1. 1 연구진행 흐름도

써 장기선에 대한 GPS 이동측량의 효율적 이용 가능성을 제시하고자 한다.

## 2. 기본이론

GPS 이동측량은 기지점(k)에 수신기를 세워놓고 또 다른 수신기로 미지점(m)을 이동하면서 관측을 수행하게 되며, 위성 p, q를 동시에 관측한 경우 2중차 방정식은 다음과 같다.<sup>7)</sup>

$$\Phi_{km}^{pq}(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{km}^{pq}(t) + N_{km}^{pq} \quad (1)$$

여기서,

$$\Phi_{km}^{pq} = \Phi_k^p - \Phi_k^q - \Phi_m^p + \Phi_m^q : \text{측점 } k, m \text{과 위성 } p, q \text{사이의 반송파 위상}$$

$$N_{km}^{pq} = N_k^p - N_k^q - N_m^p + N_m^q : \text{측점 } k, m \text{과 위성 } p, q \text{사이의 미지정수}$$

$$\rho_{km}^{pq}(t) = \rho_k^p - \rho_k^q - \rho_m^p + \rho_m^q : \text{시간 } t \text{에 위성 } p \text{과 수신기}$$

수신기가 연속적으로 이동하는 경우 위성(p)과 수신기

(m) 사이의 거리  $\rho_m^p$ 는 미지수가 된다.

$$\rho_m^p(t) = \sqrt{(X^p(t) - X_m(t))^2 + (Y^p(t) - Y_m(t))^2 + (Z^p(t) - Z_m(t))^2} \quad (2)$$

( $X^p(t)$ ,  $Y^p(t)$ ,  $Z^p(t)$ ), ( $X_m(t)$ ,  $Y_m(t)$ ,  $Z_m(t)$ ): epoch t에 위성과 이동수신기의 3차원 좌표

$n_t$ 개의 epoch에  $n_s$ 개의 위성이 두 측점에서 동시에 관측된 경우, 관측방정식과 미지수의 관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &\text{관측방정식 ;} \\ &(n_s - 1) n_t \geq 3n_t + (n_s - 1) ; \text{미지수} \quad (3) \end{aligned}$$

수신기가 연속적으로 이동하는 경우는,  $n_t = 1$ 이 되어 위치를 구할 수 없게 되지만, 관측 초기에 기지기선방법이나 Antenna Swap에 의해 미지정수를 해결하게 되면, 식 (3)의 우항에 있는 미지정수에 관계된 항목( $n_s - 1$ )이 제거됨으로 식 (4)와 같이 변형된다.

$$\begin{aligned} &\text{관측방정식 ;} \\ &(n_s - 1) \geq 3 ; \text{미지수, } n_s \geq 4 \quad (4) \end{aligned}$$

cycle-slip이 발생하지 않는 한 초기에 결정된 미지정수는 변하지 않으며, 최근에는 이동 중에도 미지정수를 결정할 수 있는 OTF(On-The-Fly) 기법이 개발되어 초기화 시간이 더욱 단축되었다.<sup>8)</sup>

## 3. 관측 및 자료처리

### 3.1 관측

GPS에 의한 장기선 이동측량의 정확도 분석을 위하여 10 km, 30 km, 50 km, 60 km, 70 km 75 km 기선

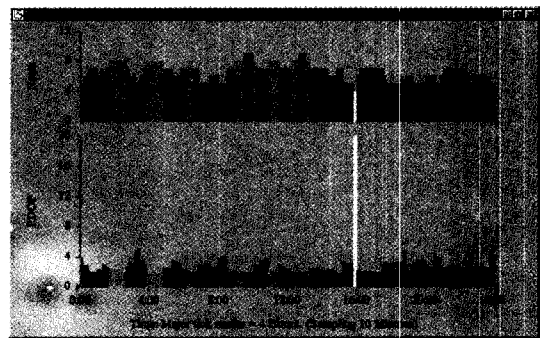


그림 2. 관측시 위성수 및 PDOP

이 관측되도록 측점을 선정하였다. 관측은 1999년 7, 8 월중에 이루어졌으며 각 측점별로 1시간 이상 관측이 수행되었다.

이주파 수신기인 Trimble사의 4000SSE와 Trimble 4800을 이용하여 1초 간격으로 데이터수신하였으며, elevation mask는 15°로 하여 관측을 하였다.

### 3.2 자료처리

수원 국립지리원(SUWN) 측점을 기준으로 기선해석하여 CNU0 측점에 대한 기준점 좌표를 획득하고 자료처리의 기준점으로 이용하였다.

정지측량과 동일한 조건에서 이동측량이 이루어지도록 하기 위하여 관측된 자료를 RINEX(Receiver Independent Exchange Format)형식으로 변환하고,<sup>9)</sup> 1, 2, 3, ... 20분의 관측데이터로 재 편집하였다.

표 1. 정밀케도력에 의한 GPS 정지측량 결과

기선(m) (표준편차)	기선벡터 성분(m)		
	dx(표준편차)	dy(표준편차)	dz(표준편차)
9306.699 (0.001)	6736.710 (0.001)	-581.670 (0.001)	6394.768 (0.002)
28182.680 (0.001)	8667.313 (0.001)	-14446.483 (0.002)	22592.734 (0.001)
46056.286 (0.002)	24181.086 (0.002)	-15237.918 (0.002)	36114.574 (0.002)
62334.442 (0.001)	-12713.975 (0.002)	33660.847 (0.002)	-50900.735 (0.003)
67389.058 (0.002)	-13287.568 (0.002)	36664.717 (0.002)	-54958.386 (0.003)
74514.930 (0.002)	-20024.277 (0.002)	37246.387 (0.002)	-61353.112 (0.003)

표 2. 방송케도력에 의한 GPS 정지측량 결과

기선(m) (표준편차)	기선벡터 성분(m)		
	dx(표준편차)	dy(표준편차)	dz(표준편차)
9306.700 (0.001)	6736.709 (0.001)	-581.669 (0.001)	6394.769 (0.002)
28182.685 (0.001)	8667.840 (0.001)	-14446.526 (0.002)	22592.702 (0.001)
46056.289 (0.002)	24181.107 (0.002)	-15237.943 (0.002)	36114.552 (0.002)
62334.442 (0.001)	-12713.975 (0.002)	33660.847 (0.002)	-50900.735 (0.003)
67389.061 (0.003)	-13287.567 (0.003)	36664.715 (0.003)	-54958.391 (0.004)
74514.955 (0.002)	-20024.277 (0.002)	37246.387 (0.002)	-61353 (0.003)

표 3. 정밀케도력 산출 정확도

	Final (2Weeks)	Rapid (2days)	Predicted (real time)
Ephemeris	5 cm	10 cm	50 cm
Clocks	0.3 ns	0.5 ns	150 ns
Pole	0.1 mas	0.2 mas	-
Pole Rates	0.2 mas/day	0.4 mas/day	-
UT1-UTC	50 us	300 us	-
Length of Day	30 us/day	60 us/day	-

자료처리는 Trimble사의 GPSurvey Ver 2.3 프로그램을 이용하였다. 장기선에 대한 전리층 영향을 보정하기 위해 L1/L2 이주파 선형조합을 이용하였고, 대류층 영향을 보정하기 위해 Modified Hopfield 모델을 이용하였다. 그리고, 방송케도력, IGS(International GPS Services for Geodynamics)의 신속정밀케도력인 IGR과 최종 정밀케도력을 이용하여 각각 자료처리하였다.

정밀케도력과 방송케도력을 이용하여 1시간 이상 관측 데이터를 자료처리한 결과는 표 1, 표 2와 같으며, IGS의 정밀케도력 산출 정확도는 표 3과 같다.

## 4. 결과의 비교분석

### 4.1 케도력별 기선 정밀도 분석

기선길이 60 km, 70 km에 대한 1시간 관측 데이터를 5분간격으로 재편집하고, 방송케도력(bro)과 IGS에서 산출된 신속정밀케도력(IGR), 그리고 최종정밀케도력(IGS)을 이용하여 기선해석하여 기선길이변화를 도시하면 그림 3, 그림 4와 같으며, 케도력별 표준편차를 도시하면 그림 5와 같다.

그림 3, 그림 4에서 신속정밀케도력에 의한 기선길이는 대부분 IGS의 최종 정밀케도력과 동일하며, 방송케도

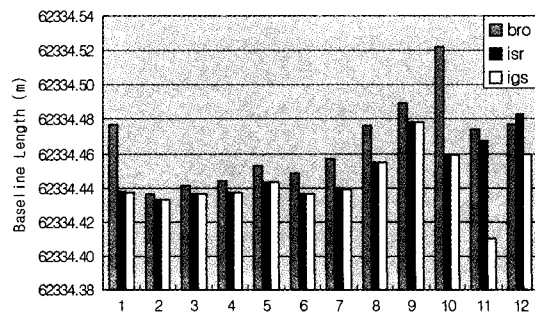


그림 3. 케도력별 60 km 기선의 길이변화

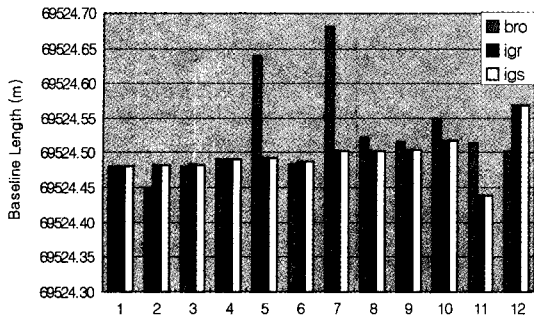


그림 4. 궤도력별 70 km 기선의 길이변화

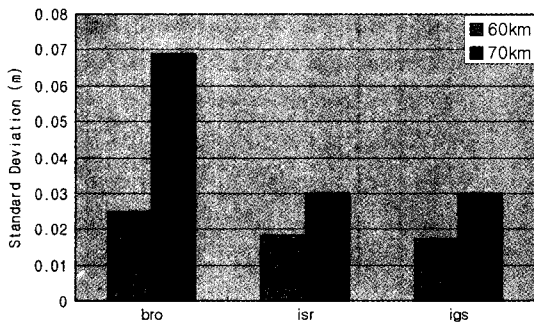


그림 5. 궤도력에 따른 기선길이별 표준편차

력에 의한 기선길이 변동은 IGR보다 크게 나타났다. 그림 5에서 기선길이 60 km와 70 km에서 방송궤도력에 의한 기선길이의 표준편차는 2.5 cm, 6.9 cm, IGR의 경우는 1.8 cm, 3 cm, 최종정밀궤도력의 경우는 1.7 cm, 3.0 cm로 방송궤도력에 의한 정밀도를 기준으로 신속정밀궤도력은 60 km에서 28%, 최종 정밀궤도력은 32%의 정밀도 향상을 나타내었다. 70 km 기선의 경우는 신속정밀궤도력과 최종정밀궤도력을 이용하여 57% 정도 정밀도가 향상됨을 알 수 있었다.

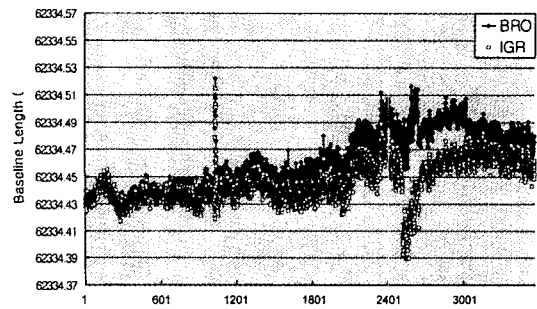


그림 6. 방송궤도력과 신속정밀궤도력에 의한 60 km 기선 길이 변화(1초 간격)

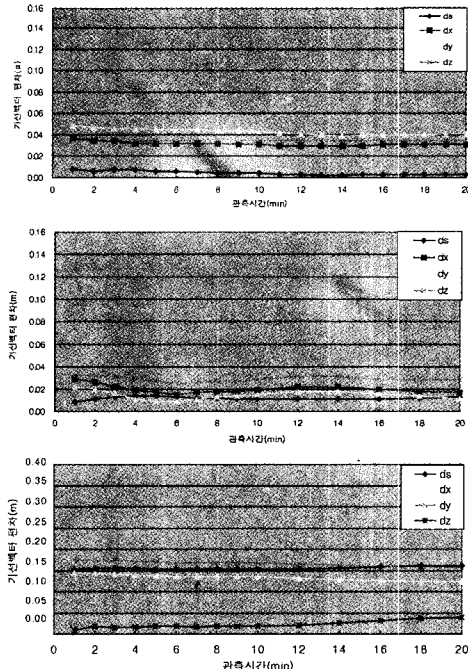
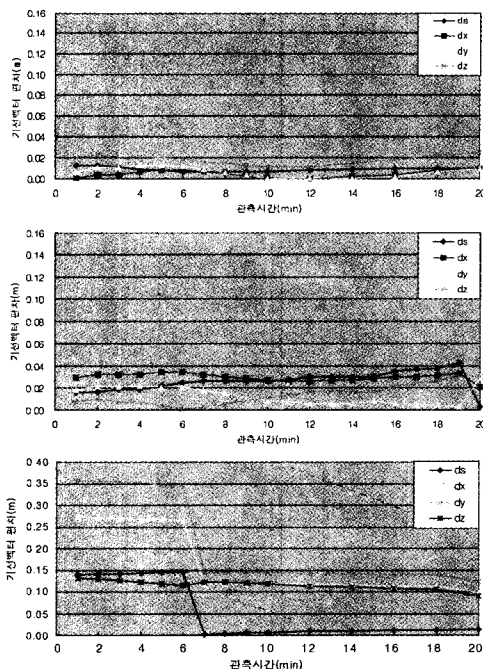


그림 7. (a) 방송궤도력에 의한 10 km 구간의 기선벡터편차, (b) 방송궤도력에 의한 30 km 기선의 기선벡터 편차, (c) 방송궤도력에 의한 50 km 기선의 기선벡터 편차, (d) 방송궤도력에 의한 60 km 기선의 기선벡터 편차, (e) 방송궤도력에 의한 70 km 기선의 기선벡터 편차, (f) 방송궤도력에 의한 75 km 기선의 기선벡터 편차

그림 6는 방송궤도력과 신속정밀궤도력을 이용하여 기선길이 60 km에 대한 연속 이동측량방식으로 자료처리하고 1초간격으로 기선길이변화를 도시한 것이다. 방송궤도력은 2.6 cm, 신속정밀궤도력은 1.4 cm의 표준편차를 나타내고 있어, 연속 이동측량의 경우 신속정밀궤도력을 이용하여 정밀도가 향상됨을 알 수 있었다.

#### 4.2 방송궤도력에 의한 기선 정확도 분석

방송궤도력을 이용하여 기선길이 10 km, 30 km, 50 km, 60 km, 70 km, 75 km에 대한 1분에서 20분까지 1분씩 관측시간을 증가시키면서 자료처리하여 기선벡터 성분(ds, dx, dy, dz)을 구하고, 표 1의 GPS 정지측량 결과와 비교하여 기선길이와 관측시간에 따른 기선벡터 편차를 도시하면 그림 7와 같다.

1시간 정지측량 성과와 비교한 결과, 기선길이 10 km 이내의 경우 1분 이상 관측으로 2 cm 이내의 기선벡터 편차를 나타내고 있으며, 관측시간이 증가하여도 그 차이가 줄어들지 않고 있다.

30 km, 50 km, 60 km 기선의 경우는 정밀궤도력 성과와 5 cm 이하의 기선벡터 편차를 나타내고 있으며, 10 km 이내의 경우에 비해 기선벡터 편차의 변화폭이 수 cm로 증가하였다. 70 km와 75 km 기선의 경우는 정밀궤도력 결과와 15 cm 이상의 기선벡터 편차를 나타내고 있다.

70 km 기선에 대한 1시간 관측 데이터를 1분 간격으로 RINEX 편집하여 자료처리한 결과는 그림 8과 같다. 관측위성이 5대이고 PDOP이 5 이상인 경우 15 cm 이상의 편차를 나타내고 있으며, 그림 9와 같이 Cycle slip이 많이 발생한 경우는 1 m 이상의 큰 편차를 보이고 있다. 또한, 관측 위성이 7대 이상이고 PDOP이 2에 근접한 경우는 70 km에서 정지측량 성과와 7 cm 이내로 접

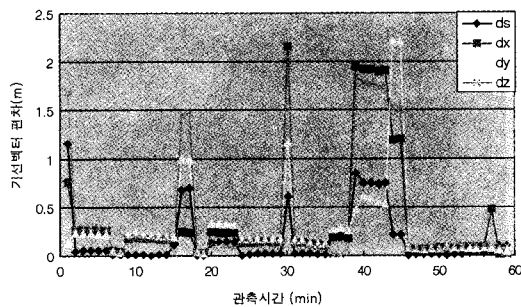


그림 8. 70 km 기선에 대한 1분 간격으로 자료처리한 결과

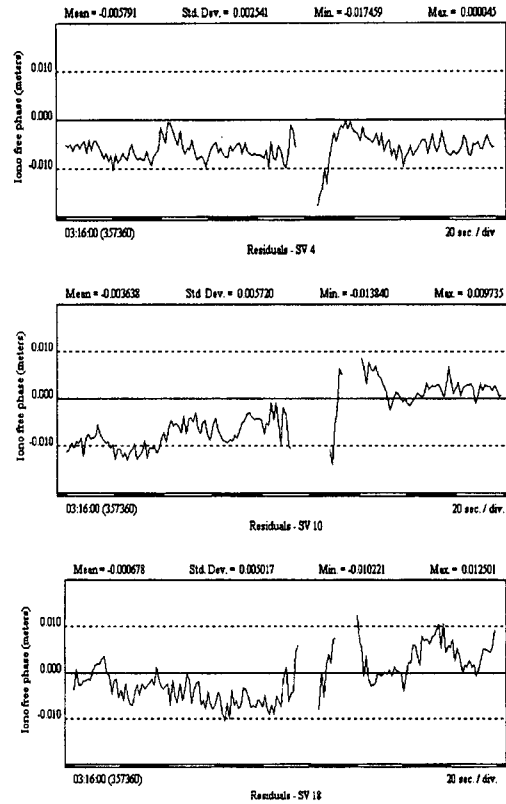


그림 9. 70 km 기선의 cycle slip 예

근 가능성을 나타내고 있다.

#### 4.3 정밀궤도력에 의한 기선 정확도 분석

IGS 정밀궤도력을 이용하여 10 km, 30 km, 50 km, 60 km, 70 km, 75 km 기선에 대한 1분에서 20분까지 1분씩 관측시간을 증가시키면서 자료처리하여 기선벡터 성분(ds, dx, dy, dz)을 구하고, 표 1의 정지측량 결과와 비교하여 기선길이와 관측시간에 따른 기선벡터 편차를 도시하면 그림 10과 같다

1시간 정지측량 성과와 비교한 결과, 기선길이 10 km 이내의 경우 1분 이상 관측으로 2 cm 이하의 기선벡터 편차를 나타내고 있으며, 정밀궤도력을 이용하여도 기선벡터 편차가 줄어들지 않고 있음을 알 수 있다. 30 km, 50 km, 60 km 기선의 경우는 정지측량성과와 5 cm 이하의 기선벡터 편차를 나타내고 있으며, 방송궤도력 성과와 비교하여 정확도가 향상되었음을 알 수 있다. 또한, 방송궤도력을 이용하여 기선길이 70 km를 관측한 경우는 15 cm 이상의 큰 편차를 나타내었으나, 정밀궤도력을

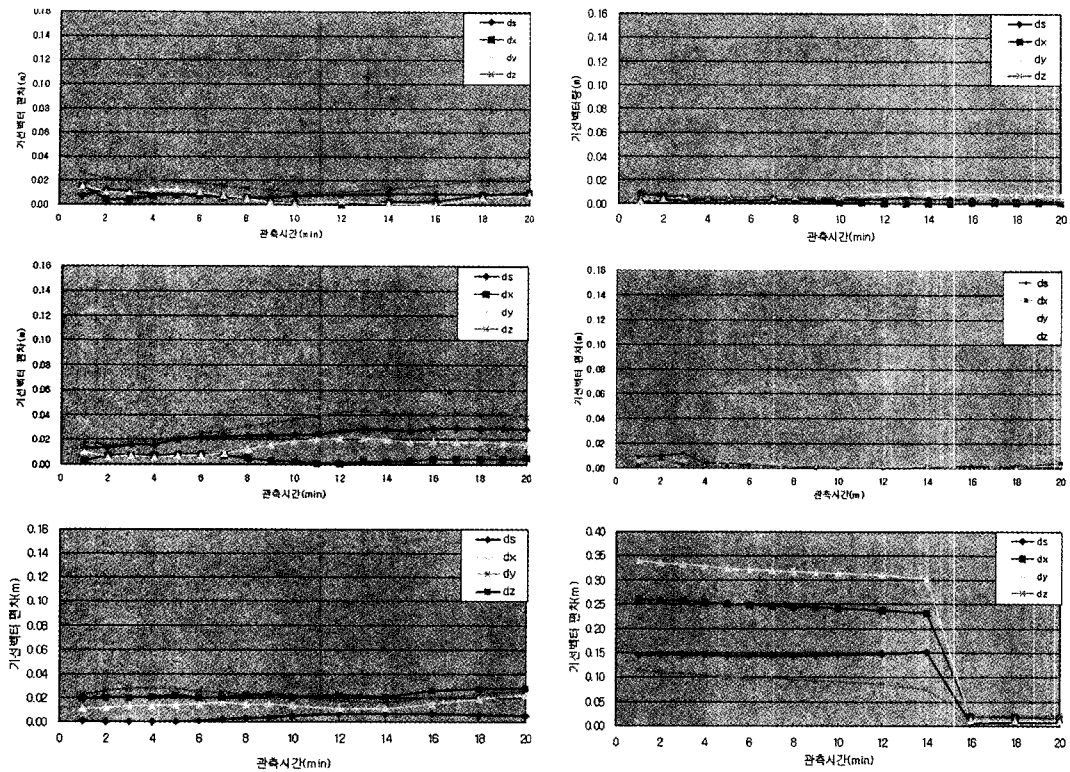


그림 10. (a) 정밀궤도력에 의한 10 km 기선의 기선벡터 편차, (b) 정밀궤도력에 의한 30 km 기선의 기선벡터 편차, (c) 정밀궤도력에 의한 50 km 기선의 기선벡터 편차, (d) 정밀궤도력에 의한 60 km 기선의 기선벡터 편차, (e) 정밀궤도력에 의한 70 km 기선의 기선벡터 편차, (f) 정밀궤도력에 의한 75 km 기선의 기선벡터 편차

이용하여 정확도가 크게 향상되었음을 알 수 있었다. 그러나, 75 km 기선의 경우는 정밀궤도력을 이용하더라도 15 cm 이상의 큰 편차를 나타내고 있어 수 분 관측으로 1 ppm의 정확도 획득이 어려움을 알 수 있었다.

## 5. 결 론

장기선에 대한 GPS 이동측량의 적용 가능성을 검토하기 위하여 궤도력에 따른 기선의 해석 정확도를 정지측량 성과와 비교·분석한 결과 PDOP이 4이하로 위성배치가 매우 양호한 경우, 기선길이 60 km 이하에서 IGS의 신속정밀궤도력에 의한 수 분의 GPS 측량으로 3차원 위치결정이 가능함을 알 수 있었다.

기선길이 60~70 km에서 신속 정밀궤도력에 의한 기선 정밀도는 방송밀궤도력을 이용한 경우보다 30~60% 정도 향상됨을 알 수 있었으며, 최종 정밀궤도력을 이용한 경우와 비슷한 정밀도 획득이 가능함을 알 수 있

었다.

앞으로 장기선 GPS 이동측량에 대한 좀 더 심도있는 연구가 수행된다면, 국토개발을 비롯한 각종 건설공사에 필요한 지형정보를 보다 효율적으로 획득할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 '97 특정기초연구(과제번호 97-06-01-04-01-3)의 지원으로 수행되었던 성과의 일부로 연구비 지원을 해주신 한국과학재단에 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. 강준목, 최종현, “초기화에 따른 Kinematic GPS의 정확도 분석”, 한국지적학회지, 13권 1호, pp.9-27, 1997.
2. 박필호, 박종욱, 조정호, “GPS 위성의 정밀궤도력에 의

- 한 기선결정의 정밀도 향상에 관한 연구”, 한국측지학회지, 제14권 2호, pp. 199-207, 1996. 12. 30.
3. 최윤수, 김경진, “GPS 측량기를 이용한 고속스테틱법에 의한 공공기준점 측량 및 응용”, 한국측지학회지, 제15권, 2호, pp. 195-206, 1997. 12. 30.
  4. Sharwei Han, “Carrier Phased-Based Long-Range GPS Kinematic Positioning”, The University of New SouthWales Sydney NSW 2052 Australia.
  5. Shaowei Han, Charis Rizos, “An Instantaneous Ambiguity Resolution Technique for Medium-Range GPS Kinematic Positioning”, Proceeding of ION GPS 97, pp. 1789-1800.
  6. Thomas Henderson, Mark Leach, “An Assessment of the Absolute Accuracy of Long-Baseline Kinematic GPS Positioning of a Moving Vehicle”, Proceedings of ION GPS 90, pp. 91-100.
  7. B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichteneffer, and J. Collins, “Global Positioning System : Theory and Practice”, Third edition, 1994.
  8. Alan Evans, Bruce Hermann, and Christopher Law, Benjamin Remondi, Thomas Briggs and Thomas Nelson, “An Evaluation of Precise Kinematic On-The-Fly GPS Positioning with Respect to a Moving Aircr”, Proceeding of ION GPS 95, pp. 1623-1628.
  9. Werner Gurtner, Gerald Mader, David MacArthur, “A Common Exchange Format for GPS Data”, Proceeding of the Fifth International Symposium on Precise Positioning with the GPS, Vol. II, 1989, pp. 920-931.