

GPS에 의한 장기선 이동측량의 효율성 검토

A Study on the Effective Use of Long-Baseline Kinematic Surveying by GPS

강 준 목* 이 용 욱** 박 정 현**
Kang, Joon-Mook Lee, Young-Wook Park, Joung-Hyun

要 旨

단시간으로 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 GPS에 의한 장기선 이동측량의 효율적 이용 가능성을 검토하기 위하여 수 십 km 이상의 기선에 대한 기선 거리별, 궤도력별 그리고 관측시간대별로 기선해석 정확도를 정지측량 결과와 비교·분석하고자 한다. 연구결과, cycle slip이 발생한 경우 기선해석 정확도가 크게 저하됨을 알 수 있었다. 정밀궤도력을 이용한 경우 70km 이내에서 수 분의 이동측량으로 1ppm 이하의 정확도를 얻을 수 있었다. 앞으로 좀더 심도있는 연구가 수행된다면, 수 십 km 이내에서 GPS 이동측량을 이용하여 국토개발을 비롯한 각종 건설분야에 필요한 지형정보를 보다 효율적으로 획득할 수 있을 것으로 기대된다.

ABSTRACT

Kinematic GPS surveying which can be obtained many three-dimensional topographical informations through a short-time measurement is being utilized mainly in the short base line of a few km and below. The coordinate for the long base line depends on Static GPS surveying . But it needs long time measurement. Therefore, the method which can decide a position of the long base line for a short time is being needed. To examine a possibility of an efficient use of kinematic GPS surveying of the long base line, this research has analysed an accuracy of the base line by static GPS surveying according to baseline distance, ephemeris, and observation time. As the results of research, I could see that accuracy was very low in case of the occurrence of cycle slip. When we use of precise ephemeris, we obtained 1 ppm and less of accuracy with one-minute kinematic GPS surveying within 70km. If a lot of studies about the long baseline kinematic GPS surveying are processed, a topographical information necessary for each kind of construction field including land development could be utilized more efficiently.

* 충남대학교 토목공학과 교수

** 충남대학교 대학원 박사수료

1. 서론

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

1시간 이상의 장시간 관측을 필요로 하는 GPS 정지측량에 비해 수 초에서 수 분의 관측으로도 cm의 정확도 획득이 가능한 GPS 이동측량은 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 효율성 검토가 요구되고 있다.^{2,3)}

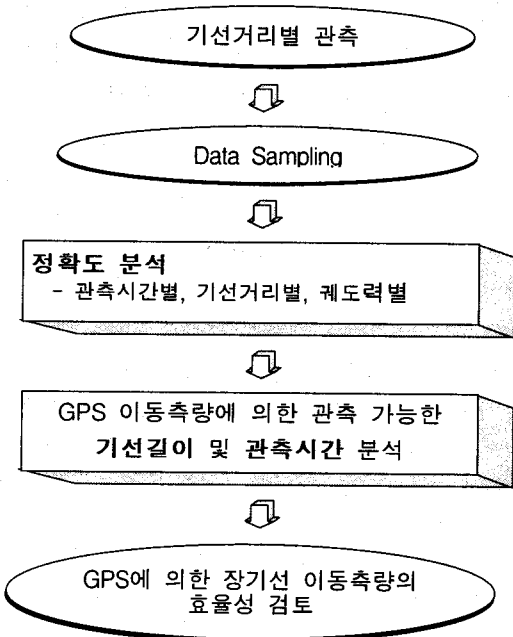


그림 1.1 연구진행 흐름도

본 연구에서는 장기선에 대한 3차원지형정

보 획득을 위하여, 기선거리별, 궤도력별 그리고 관측시간대별로 기선의 해석정확도를 정지측량 결과와 비교·분석함으로써 장기선 GPS 이동측량의 효율적 이용 가능성을 제시하고자 한다.

2. 기본이론

GPS 이동측량은 기지점(k)에 수신기를 세워 놓고 또 다른 수신기로 미지점(m)을 이동하면서 관측을 수행하게 되며, 위성 p, q를 동시에 관측한 경우 2중차 방정식은 다음과 같다.⁴⁾⁵⁾

$$\Phi_{km}^{pq}(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{km}^{pq}(t) + N_{km}^{pq} \quad (2.1)$$

여기서,

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

위성 p, q사이의 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, q사이의 미지정수.

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

위성과 수신기간 거리

수신기가 연속적으로 이동하는 경우 위성(p)과 수신기(m) 사이의 거리 ρ_m^p 는 미지수가 된다.

$$\rho_m^p(t) = \sqrt{(X^p(t) - X_m(t))^2 + (Y^p(t) - Y_m(t))^2 + (Z^p(t) - Z_m(t))^2} \quad (2.2)$$

($X^p(t), Y^p(t), Z^p(t)$), ($X_m(t), Y_m(t), Z_m(t)$):

epoch t에 위성과 이동수신기의 3차원 좌표

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

관측방정식 ;

$$(n_s - 1)n_t \geq 3n_t + (n_s - 1) ; \text{미지수} \quad (2.3)$$

수신기가 연속적으로 이동하는 경우는, $n_t = 1$ 이되어 위치를 구할 수 없게 되지만, 관측 초기

에 기지기선방법이나 Antenna Swap에 의해 미지정수를 해결하게 되면, 식(2.3)의 우항에 있는 미지정수에 관계된 항목 ($n_s - 1$)이 제거됨으로 식 (2.4)와 같이 변형된다.

관측방정식 ;

$$(n_s - 1) \geq 3 ; \text{미지수, } n_s \geq 4 \quad (2.4)$$

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.⁶⁾⁷⁾⁸⁾

3. 관측 및 자료처리

3.1 관측

GPS에 의한 장기선 이동측량의 효율성을 검토하기 위하여 기준점(CNU0)으로부터 10km, 30km, 50km, 60km, 70km 75km에 위치하도록 선점하였다. 수원 국립지리원 (SUWN) 측점을 기준으로 CNU0 측점에 대한 GPS 측량은 1999년 8월 19일 8시간 동안 이루어 졌다. 관측점들에 대한 장기선 GPS 이동측량은 8월 20일부터 21일까지 2일동안 CNU0 측점을 고정으로 이주파 수신기인 Trimble사의 4000SSE와 Trimble 4800을 이용하여 실시하였다. logging interval은 1초, elevation mask 15°, 최소 PDOP은 7이하가 되도록 하였다.

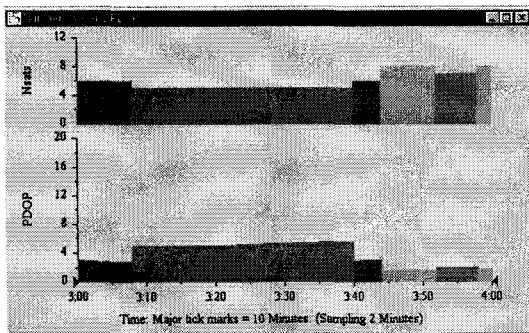


그림 3.1 관측시 위성수 및 PDOP

3.2 자료처리

관측된 자료는 RINEX(Receiver Independent Exchange Format)형식으로 변환하고⁹⁾, 편집을 통해 1, 2, 3, ...20분의 Kinematic 데이터를 생성하였으며, 편집된 데이터는 Trimble사의 GPSurvey Ver 2.3 프로그램을 이용하여 자료처리하였다.

표 3.1 RINEX 편집

구 간	RINEX 편집	위성수
10km	3:20 ~ 3:40	5
30km	8:30 ~ 8:50	7
50km	10:40 ~ 11:00	7
60km	3:20 ~ 3:40	5
70km	3:20 ~ 3:40	5
75km	3:20 ~ 3:40	5

표 3.2 정밀케도력에 의한 GPS 정지측량 결과

기 선 (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)	8667.813 (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 3.3 방송궤도력에 의한 GPS 정지측량 결과

기 선 (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)

장기선에 대한 전리층 영향을 보정하기 위해 L1/L2 이주파 선형조합을 이용하였고, 대류층 영향을 보정하기 위해 Modified Hopfield 모델을 이용하였으며, 방송궤도력과 IGS(International GPS Services for Geodynamics)의 정밀궤도력(precise ephemeris)을 이용하여 각각 자료처리하였다.

4. 결과의 비교분석

4.1 방송궤도력에 의한 기선 정확도 분석

방송궤도력을 이용하여 기선길이 10km, 30km, 50km, 60km, 70km, 75km에 대한 1분에서 20분까지 1분씩 관측시간을 증가시키면서 자료처리하여 기선벡터 성분(ds, dx, dy, dz)을 구하고, 표 3.2의 GPS 정지측량 결과와 비교하여 기선길이와 관측시간에 따른 기선벡터 편차를 도시하면 그림 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6과 같다.

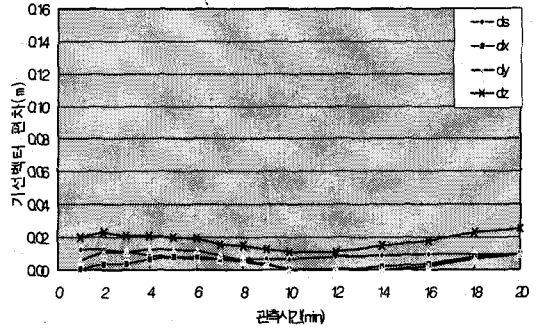


그림 4.1 방송궤도력에 의한 10km 구간의 기선벡터편차

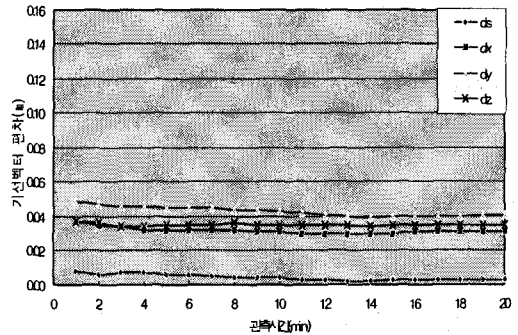


그림 4.2 방송궤도력에 의한 30km 구간의 기선벡터 편차

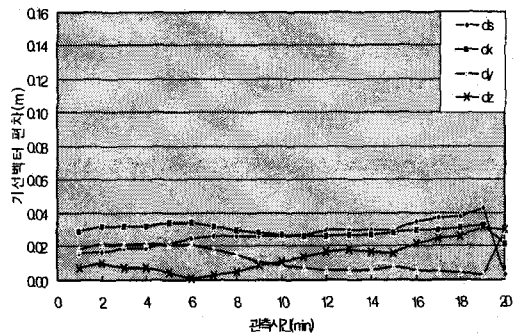


그림 4.3 방송궤도력에 의한 50km 구간의 기선벡터편차

GPS에 의한 장기선 이동측량의 효율성 검토

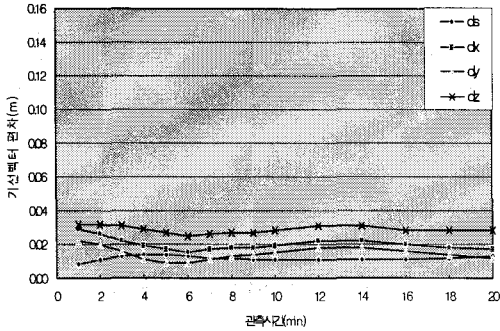


그림 4.4 방송궤도력에 의한 60km 구간의 기선벡터 편차

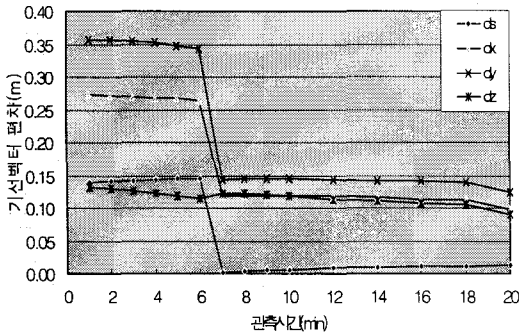


그림 4.5 방송궤도력에 의한 70km 구간의 기선벡터 편차

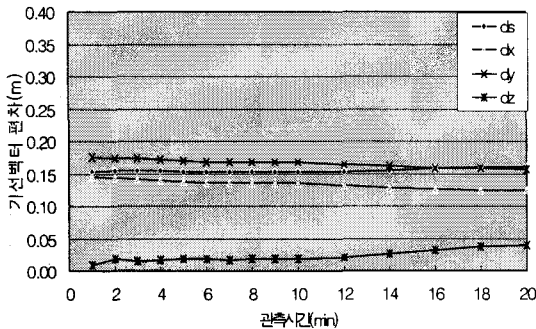


그림 4.6 방송궤도력에 의한 75km구간의 기선벡터 편차

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

70km 기선에 대한 1시간 관측 데이터를 1분간격으로 RINEX 편집하여 자료처리한 결과는 그림 4.7과 같다. 관측위성이 5대이고 PDOP이 5 이상인 경우 15cm 이상의 편차를 나타내고 있으며, 그림 4.8과 같이 Cycle slip이 많이 발생한 경우는 1m 이상의 큰 편차를 보이고 있다. 또한, 관측 위성이 7대 이상이고 PDOP이 2에 근접한 경우는 70km에서 정지측량 성과와 7cm 이내로 접근 가능함을 나타내고 있다.

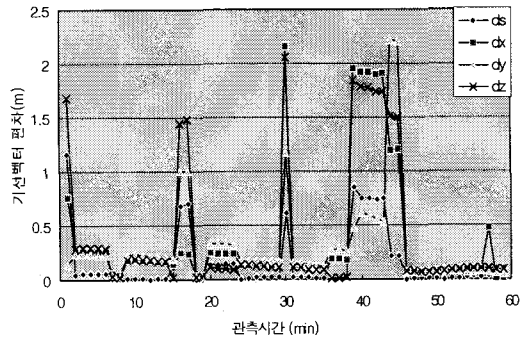
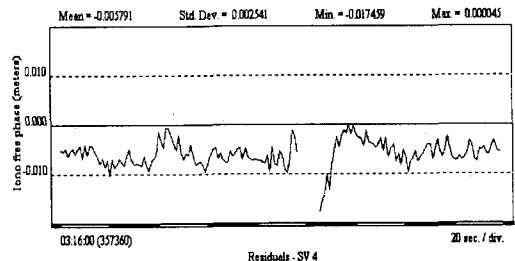


그림 4.7 70km 기선에 대한 1분 간격으로 자료처리한 결과



1시간 정지측량 성과와 비교한 결과, 기선길이 10km 이내의 경우 1분 이상 관측으로 2cm 이내

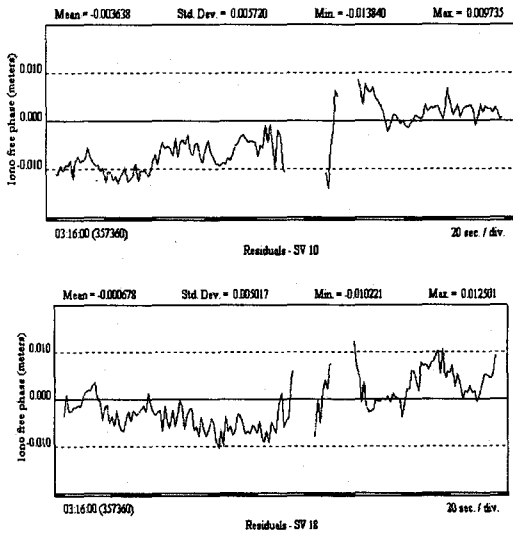


그림 4.8 70km 기선의 cycle slip 예

4.2 정밀궤도력에 의한 기선 정확도 분석

정밀궤도력을 이용하여 10km, 30km, 50km, 60km, 70km, 75km 기선에 대한 1분에서 20분까지 1분씩 관측시간을 증가시키면서 자료처리하여 기선벡터 성분(ds, dx, dy, dz)을 구하고, 표3.2의 정지측량 결과와 비교하여 기선길이와 관측시간에 따른 기선벡터 편차를 도시하면 그림 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14와 같다

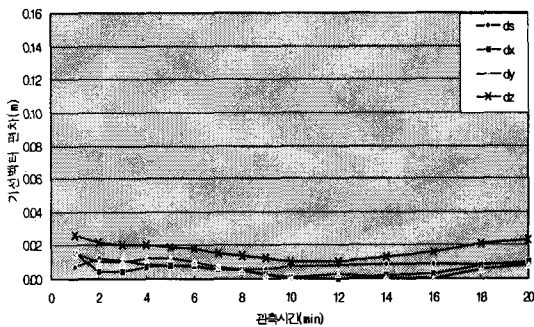


그림 4.9 정밀궤도력에 의한 10km 구간의 기선벡터 편차

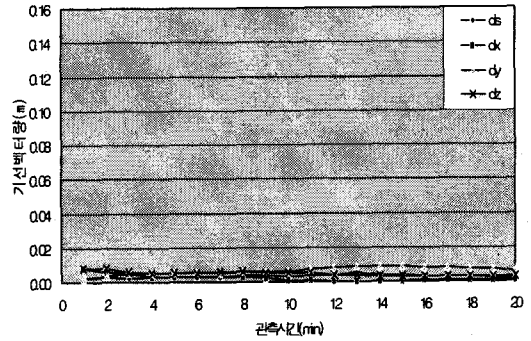


그림 4.10 정밀궤도력에 의한 30km구간의 기선벡터 편차

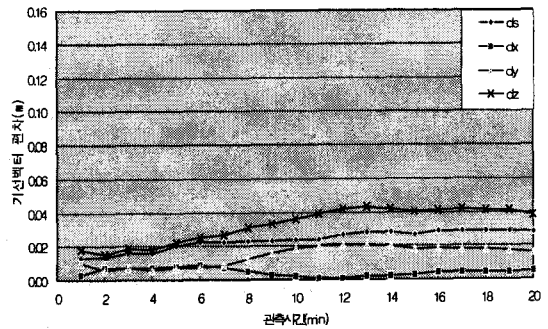


그림 4.11 정밀궤도력에 의한 50km 구간의 기선벡터 편차

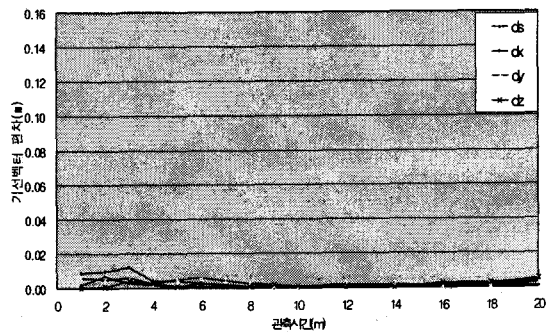


그림 4.12 정밀궤도력에 의한 60km 구간의 기선벡터 편차

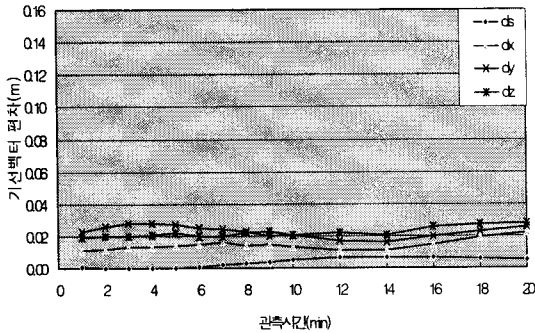


그림 4.13 정밀궤도력에 의한 70km 구간의 기선벡터 편차

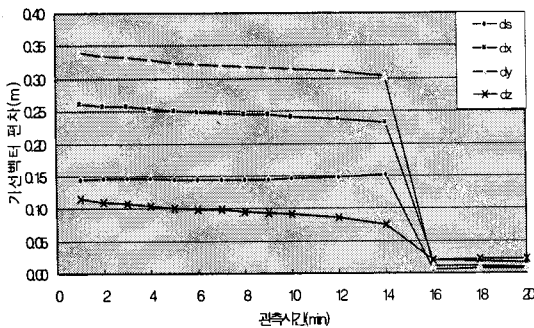


그림 4.14 정밀궤도력에 의한 75km 구간의 기선벡터 편차

1시간 정지측량 성과와 비교한 결과, 기선길이 10km 이내의 경우 1분 이상 관측으로 2cm 이하의 기선벡터 편차를 나타내고 있으며, 정밀궤도력을 이용하여도 기선벡터 편차가 줄어들지 않고 있음을 알 수 있다. 30km, 50km, 60km 기선의 경우는 정지측량성과와 5cm 이하의 기선벡터 편차를 나타내고 있으며, 방송궤도력 성과와 비교하여 정확도가 향상되었음을 알 수 있다. 또한, 방송궤도력을 이용하여 기선길이 70km를 관측한 경우는 15cm 이상의 큰 편차를 나타내었으나, 정밀궤도력을 이용하여 정확도가 크게 향상되었음을 알 수 있었다. 그러나, 75km 기선의 경우는 정밀궤도력을 이용하여도 15cm 이상의 큰 편차를 나타내고 있어 수 분 관측으로 1ppm의 정확도 획득이 어려움을 알 수 있었다.

5. 결 론

GPS에 의한 장기선 이동측량의 효율성을 검토하기 위하여 기선거리별, 궤도별 그리고 관측시간대별로 기선의 해석 정확도를 정지측량 성과와 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Cycle slip이 발생한 경우 기선해석 정확도가 크게 저하됨을 알 수 있었다.
2. 기선길이 10km 이내에서 방송궤도력을 이용하여 기선해석한 결과는 정밀궤도력을 이용한 경우와 큰 차이를 나타내지 않으나, 30km 이상의 경우는 정밀궤도력을 이용하여 정확도가 향상됨을 알 수 있었다.
3. 정밀궤도력을 이용한 경우 70km 이내에서 수분의 이동측량으로 1ppm의 정확도 획득이 가능함을 알 수 있었다.

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

감사의글

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. Sharwei Han, "Carrier Phased-Based Long-Range GPS Kinematic Positioning",

The University of New SouthWales Sydney
NSW 2052 Australia.

2. Shaowei Han, Charis Rizos, "An Instaneous Ambiguity Resolution Technique for Medium-Range GPS Kinematic Positioning". Proceeding of ION GPS 97, pp.1789~1800.
3. 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.
4. Chris Rizos, "Principles and Practice of GPS Surveying". The University of new South Wales Sydney Nsw.
5. B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins, "Global Positioning System : Theory and Practice", Third edition, 1994.
6. Shaowei Han, "Ambiguity Recovery for GPS Long Range Kinematic Positioning", Proceedings of ION GPS 95, pp.349~360.
7. Christophe Macabiau, " A New Concept for GPS Phase Ambiguity Resolution On-The-Fly: The Maximum a Posteriori Ambiguity Search (MAPAS) Method", Proceeding of ION GPS 95, pp. 299~308.
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 Aircraft", 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.