

한반도의 지각변동 감지를 위한 GPS 관측망 구축 (1)

Establishing GPS network for the Perception of Diastrophism in Korea

강 준 목 * 송 승 호 ** 이 용 욱 ** 최 중 현 **
Kang, Joon-Mook Song, Seung-Ho Lee, Young-Wook Choi, Jong-Hyun

要 旨

한반도의 지각변동감지를 위한 GPS 기준망 설정의 기초를 확립하기 위하여 우리나라 전역에 위성시계와 지진현황이 고려된 기선거리 100~300km의 GPS 관측망 7개 대상점을 선정하고 연속관측 및 주기적인 GPS 관측을 실시하였다. 관측결과 한반도내의 측점들간 상대위치 변화량은 매우 미소하였다. 그리고 이와 동시에 한반도내의 연속관측점(KMCA)을 IGS의 기준점들과 국제공동관측을 통해 기선벡터의 변화량을 산출한 결과 우리나라와 일본간의 기선벡터가 연간 수 cm로 줄어들고 있음을 확인 할 수 있었다.

ABSTRACT

To establish the basis of GPS network for the perception of diastrophism, we selected 7 stations(baseline 100~300km) all around south Korea considering the earthquake and the satellites all-in-view. As a result of periodical measurement, the change of relative positions between selected stations in Korea was very small. We could know that the baseline between Korea and Japan are decreasing by a few centimeters, as one of the results of analysing baseline vector changes by continuous measuring IGS stations and Korea(KAMC) station.

1. 서 론

정밀 측위 분야에 응용하고자 하는 활발한 연구가 진행되었다.1)

1.1 연구배경

GPS 위성체계는 1973년부터 군기관과 민간 기관의 협력체인 JPO(Joint Program Office)가 설립되면서 항법 목적을 위해 착수되었으며, 이로부터 항법목적의 GPS 위성체계를 측지분야와 지구물리분야 등 각종

또한 1995년 4월에 미국의 권익을 보호하기 위한 SA(Selective Availability) 기능을 갖는 Block II와 Block IIA 위성으로만 구성된 FOC(Full Operational Capability)가 발표되면서 GPS를 이용한 정밀 측위 분야의 정확도 향상을 위한 연구와 측위 기법 개발에 관한 연구들이 활발히 진행되었으며, 최근에는 대륙간

* 충남대학교 토목공학과 교수

** 충남대학교 대학원 토목공학과 박사과정

GPS의 관측망 구축과 하드웨어 및 소프트웨어에 대한 급속한 발전으로 VLBI나 SLR의 정확도에 필적할 수 있는 수준까지 향상되게 되었다. 이러한 연구결과들은 GPS를 이용해 대륙간 판들의 상대적인 운동을 감지할 수 있다는 가능성을 제시하였으며, 지역적인 지각 변동과 지진 예지를 위해 보다 효율적인 GPS의 활용과 지구동역학적인 GPS 응용 연구에 있어서 GPS 관측망의 중요성을 인식시켰다. 1,2,3,4)

국내에서도 GPS를 실용화하기 위한 기초 연구들이 수행되었으며, 이를 토대로 GPS를 이용한 지형정보구축에 관한 응용 연구들이 활발히 진행되고 있으나, 대륙간 판들의 운동이나 지각변동 감지를 위한 GPS 응용 분야의 연구는 미흡한 실정이다.

지역적인 지각 변동 감지를 위해 요구되는 GPS 관측망의 상대 정확도는 최소한 0.1ppm 이내가 되어야 하므로 GPS 관측망의 구축과 활용에 대한 심도 있는 연구가 수행되어야 하며, GPS의 각종 오차 보정을 위한 관측자료의 분석·처리 시스템 개발 및 대기 보정 모델에 관한 연구들이 상호 연관성을 갖고 수행되어야 한다. 또한 중력측량과 연계된 지각 구조 분석과 국제 GPS 관측망을 통한 지역 관측망의 통합 관리 등 매우 광범위한 연구들이 수행되어야 한다.5,6)

1.2 연구내용 및 방법

최근 전세계적으로 지진의 발생빈도가 증가하면서 지각 변동과 지진 예지에 대한 중요성과 관심이 증대되고 있다. 지각 구조의 변동과 지진의 발생은 대륙간 판구조와 이들의 상대적인 운동에 매우 밀접한 관계를 가지고 있으며, 이러한 상대적인 운동은 고정밀도의 전자파 및 레이저 거리 측정 시스템을 활용하는 VLBI와 SLR관측을 통해 감지되고 있다. 그러나 이러한 관측은 고가의 시설투자와 조작 및 자료해석상의 어려움을 수반하게 되며, 지역적인 지각 변동의 감지에 있어서 그 효율성이 저하되므로 최근에는 관측이 용이하고 비용이 비교적 저렴한 GPS를 이용하여 대륙간 판 운동과 지각 변동 및 지진 예측을 하고자 하는 연구에 많은 관심이 집중되고 있다.7,8,9)

우리나라의 측지 기준계는 Bessel 타원체를 기준으

로 지오이드 경사가 급한 동경의 단일 천문점에 표정된 지역 기준계를 사용하고, 수평기준계와 수직기준계가 이원화되어 있어 3차원 망조정의 부정합 문제가 발생함으로 지각 변동 감지나 지진 예지를 위한 요구 정확도를 충족시키는데 많은 문제점을 안고 있다.

본 연구는 국내에 GPS 기준망을 구축하여 기하학적 특성에 따른 정확도 향상 방안의 연구와 국제망과의 통합 관리 체계에 관한 연구를 수행함으로써 GPS를 이용한 대륙간 판들의 상대적인 운동과 지역적인 지각 변동을 감지할 수 있는 국가 기준망 구축방안을 마련하고자 한다. 이를 위해 우리나라 전역을 대상으로 위성시계와 지진현황이 고려된 기선거리 100~300km의 GPS 관측망 9개 대상점을 선정하고 연속관측 및 주기적인 GPS 관측을 통해 기선거리와 기하학적인 특성을 도출하였다. 그리고 이와 동시에 IGS의 기준점들과 국제공동관측을 통해 기선 왜곡량과 초기점 좌표로부터 발생하는 축척 왜곡량을 도출하여 국내에 적합한 GPS 기준망 설정의 기초를 확립하고자 하였다.

2. GPS 관측망 구축

2.1 국내 GPS 관측망

우리나라 전역을 대상으로 위성시계(視界)와 지진현황을 고려하여 기선거리 100km ~ 300km의 분포를

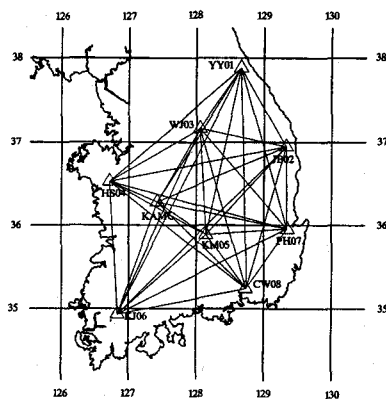


그림 2.1 국내 GPS 관측망도

한반도의 지각변동 감지를 위한 GPS 관측망 구축(1)

갖는 GPS 관측망 구축을 위해 9개 측점을 그림1과 같이 선정하였다.

9개 측점중 3개 측점은 이미 설치된 연속관측점으로 대전의 KAMC 측점은 육군지도창, 포항의 PH07 측점은 자원연구소, 창원의 CW08 측점은 지적공사에서 관리하고 있는 측점들 이다. 나머지 6개 측점은 주기적인 정밀관측을 위하여 control pillar와 GPS mount를 그림 2.2와 같이 설계하여 설치하였다.

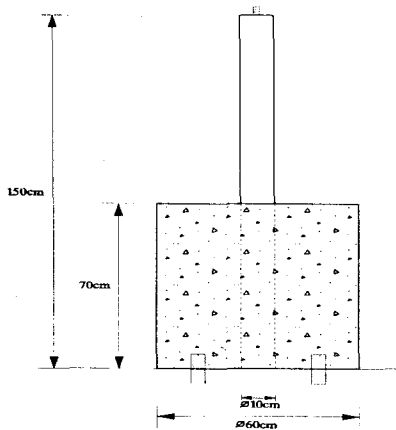


그림 2.2 측점의 설계도

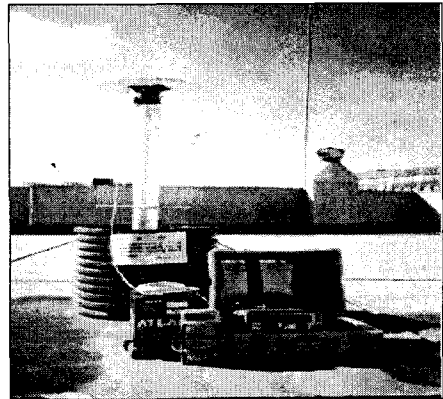
6개 측점의 control pillar와 GPS mount 설치장소 및 제원은 표 1과 같으며 설치후 관측광경은 그림 2.3과 같다.

표 2.1 국내 GPS 관측망의 설치 장소

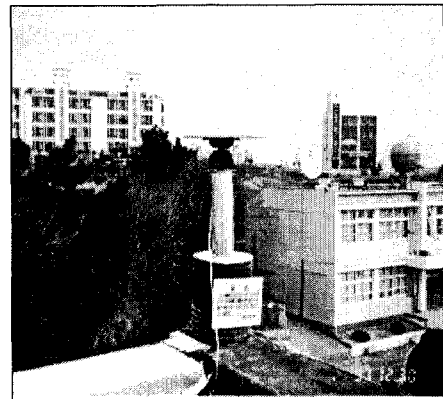
측점명	설치장소
양양(Y01)	관동대학교 이공관 옥상
죽변(JB02)	죽변초등학교 본관 옥상
원주(WJ03)	상지대학교 이공관 옥상
홍성(HS04)	청운대학교 이공관 옥상
구미(KM05)	금오공과대 이공관 옥상
광주(KJ06)	조선대학교 공장동 옥상
포항(PH07)	자원 연구소
창원(CW08)	지적공사
대전(KAMC)	육군 지도창

2.2 국제 GPS 관측망

한반도의 상대적인 지각변동량을 정확하게 해석하기 위해서는 우선 한반도와 인접된 대륙판들간의 구조상황을 파악하고 각 판들에 속한 기준점들을 선정하여 국내측점들과 연속관측을 실시함으로써 이들 기준점들과의 상대적인 위치변화량을 산출해야 할 것이다.



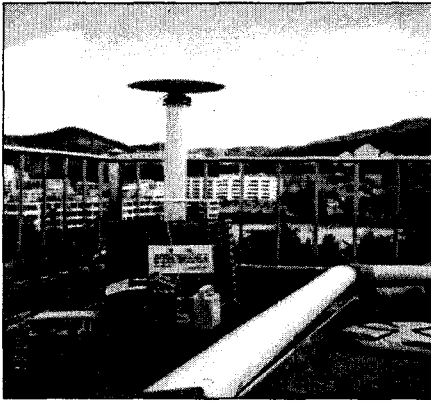
(a)홍성측점(HS)



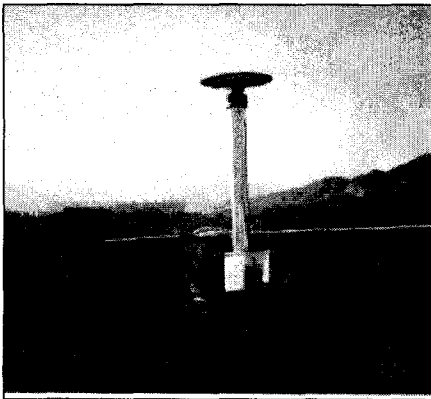
(b) 죽변측점(JB)

그림 2.4의 세계 주요 판구조도에서 보는 바와 같이 우리나라는 유라시아판, 북아메리카판, 태평양판, 필리핀판들과 인접하고 있다. 따라서 한반도내에 연속관측점으로 선정한 KAMC 측점을 각 판들에 위치한 IGS 관측망의 기준점들인 TSKB, SHAO, TAIW, GUAM

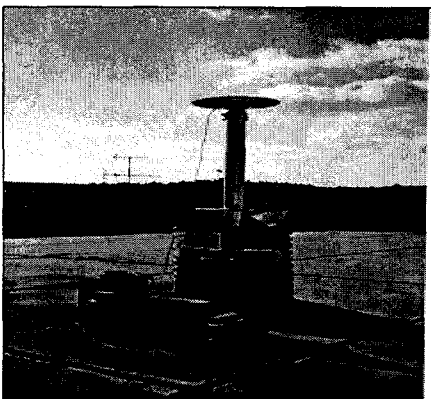
4개 측점들과 그림 25와 같이 연결하여 연속관측을 실시하였다.



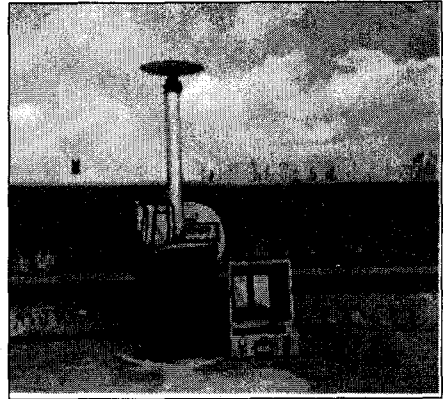
(c) 광주측점(KJ)



(d) 원주측점(WJ)



(e) 양양측점(YY)



(f) 구미측점(KM)

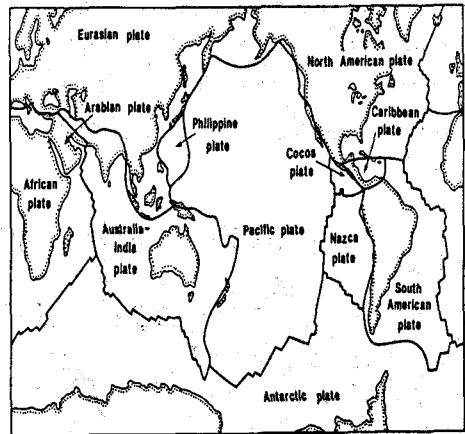


그림 24 세계 주요 판 구조도

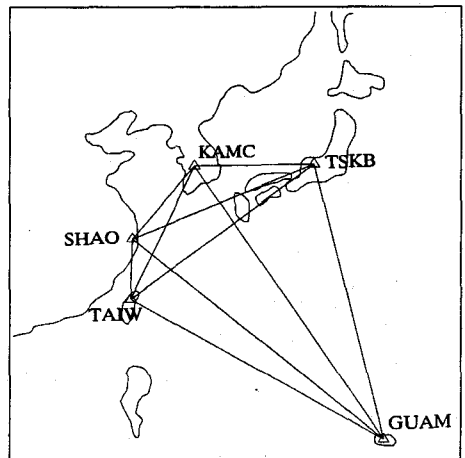


그림 25. IGS 국제 공동 관측망도

그림 2.4의 세계 주요 판구조도에서 보는 바와 같이 우리나라는 유라시아판, 북아메리카판, 태평양판, 필리핀판들과 인접하고 있다. 따라서 한반도내에 연속관측점으로 선정한 KAMC 측점을 각 판들에 위치한 IGS 관측망의 기준점들인 TSKB, SHAO, TAIW, GUAM 4개 측점들과 그림 2.5와 같이 연결하여 연속관측을 실시하였다.

3. 관측 및 자료처리

국내망에 포함된 3개의 연속관측점중 포항(PH07) 및 창원(CW08)의 2개 측점은 시스템 정비에 따라 금번 자료처리에는 제외되었으며 지도창의 연속관측점(KAMC)만을 활용하였다. 관측은 IGS의 국제망 관측자료와 통합처리하기 위하여 매일 연속관측으로 1일 24시간(UTC 00:00-24:00) 30초 간격으로 실시하였으며 나머지 6개의 주기관측점들은 약 60일 마다 1일 24시간 관측을 실시하였다. 국제망의 경우에는 관측 데이터와 항법 데이터를 IGS 데이터 총괄센터중의 하나인 CDDIS(Crustal Dynamics Data Information System)에 internet을 통한 FTP(File Transfer Protocol)접속으로 획득하였다.10) 본 연구에 사용된 장비는 Trimble 4000 SSE 2주파 수신기이며 관측자료는 1997년 9월 1일에서부터 1998년 1월 30일 까지 약 150여일 동안의 관측자료를 처리하였다.

관측된 raw data는 RINEX변환을 실시하여 그림 3.1의 자료처리 흐름도와 같이 cycle slip, multipath 등의 오차분석모듈을 통해 cleaning한 다음 자료처리를 실시하였다.

자료처리는 IGS의 정밀케도력을 이용하여 Trimble사의 GPSurvey 상용프로그램으로 처리하였으며 대류권보정은 Hofield model을 적용하였다. 국제 관측망의 경우 초장기선이므로 GAMIT나 Berness 등과 같은 장기선 프로그램을 활용하여 처리하여야 하지만 본 연구에서는 오차분석 모듈에 의한 data cleaning과 정밀케도력을 사용하여 상용프로그램에 의한 초장기선 해석의 접근 가능성을 고찰하고자 하였으며 향후 이들의 결과는 장기선 프로그램에 의한 결과와 비교

분석할 예정이다.

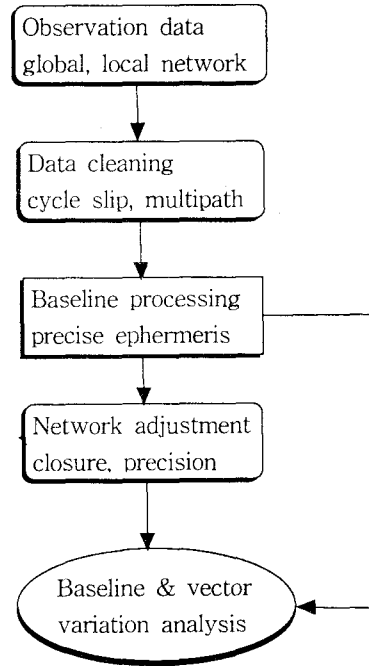


그림 3.1 자료처리 흐름도

자료처리시 KAMC 측점을 고정점으로한 각 측점들의 지심벡터 및 X, Y, Z 성분은 표 3.1과 같고 각 측점들의 WGS84 타원체상의 방위각, 고도, 기선거리들은 표 3.2와 같다.

4. 결과 및 고찰

4.1 국내 GPS 관측망의 기선해석

국내의 GPS 관측망에 대한 주기적관측은 1998년 10월 30일부터 약 60일 간격으로 1일 24시간씩 관측을 실시하고 있으며 관측 자료의 간격은 30초로 하였다.

KAMC 측점을 고정점으로 국내망에 대하여 망조정을 실시하고 각 관측점들에 대한 관측시기별 오차타원을 도시하면 그림 4.1과 같으며 폐합오차 및 폐합정밀도는 표 4.1와 같다. 관측시기별 망폐합정밀도는 평균

표 3.1 국내망 각 측점들에 대한 관측시기(epoch)별 자료처리 결과

기 선	Raw Data의 자료처리 결과				
	epoch	dx(m)	dy(m)	dz(m)	baseline vector (m)
KAMC-WJ03	1st	-1798.661	-82333.186	85604.636	118786.121
	3rd	-1798.593	-82333.271	85604.567	118786.129
KAMC-YY01	1st	-18096.371	-157053.536	148227.861	216713.614
	3rd	-18096.309	-157053.606	148227.791	216713.612
KAMC-JB02	1st	-118047.643	-149291.006	58541.787	199123.558
	3rd	-118047.615	-149290.055	58541.743	199123.565
KAMC-KJ06	1st	-19016.885	88325.290	-113640.415	145179.691
	3rd	-19016.845	88325.250	-113640.454	145179.692
KAMC-KM05	1st	-83668.078	-41258.128	-25580.312	96731.240
	3rd	-83668.053	-41258.169	-25580.348	96731.245
KAMC-HS04	1st	55970.669	27614.009	15746.864	64367.795
	3rd	55970.698	27613.988	15746.842	64367.806

표 3.2 국내망 각 측점들의 관측시기별 WGS84 방위각, 고도, 기선거리

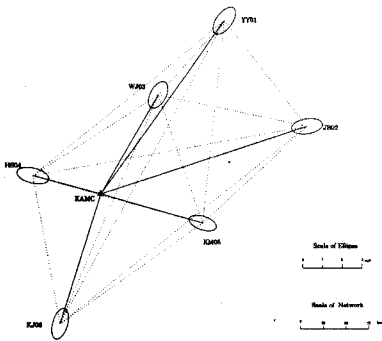
	epoch 1 (97. 10. 30)		epoch 2 (97. 12. 29)	epoch 3 (98. 5. 3)
	KAMC-YY01	az (° ' ")	30 24 15.9921	30 24 15.9990
ht		10.5702m	10.6060m	10.5165m
ds		216720.7963m	216720.8009m	216720.7980m
KAMC-JB02	az (° ' ")	67 51 17.8262	67 51 17.8275	67 51 17.8310
	ht	-31.1729m	-31.1485m	-31.1832m
	ds	199129.2750m	199129.2726m	199129.2837m
KAMC-WJ03	az (° ' ")	25 37 43.2403	25 37 43.2486	25 37 43.2422
	ht	114.0789m	114.1100m	114.0245m
	ds	118785.0247m	118785.0302m	118785.0314m
KAMC-HS04	az (° ' ")	287 54 45.5238	287 54 45.5215	287 54 45.5137
	ht	10.0075m	10.0104m	10.0381m
	ds	64367.0972m	64367.0959m	64367.1012m
KAMC-KM05	az (° ' ")	108 50 47.0054	108 50 47.0052	108 50 47.0040
	ht	5.1653m	5.1747m	5.1682m
	ds	96730.7453m	96730.7501m	96730.7501m
KAMC-KJ06	az (° ' ")	195 21 53.5583	195 21 53.5694	195 21 53.5584
	ht	9.9722m	9.9616m	9.9741m
	ds	145180.6483m	145180.6494m	145180.6518m

0.0047ppm으로 GPS관측이 매우 정밀하게 진행되었 음을 보여주고 있다.

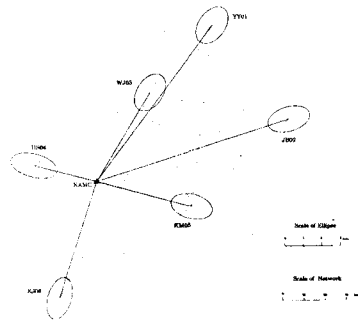
한반도의 지각변동 감지를 위한 GPS 관측망 구축(1)

표 4.1 국내망의 폐합오차 및 폐합정밀도

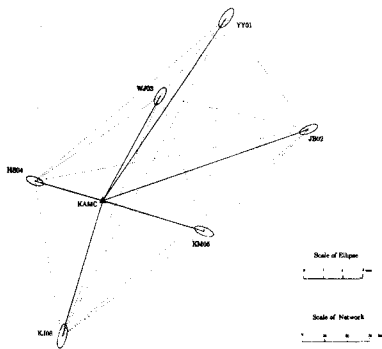
관측시기	폐합오차 (m)			정밀도 (ppm)	관측망의 외주 경사거리 (m)	비 고
	ΔX	ΔY	ΔZ			
1	0.0039			0.0039	847918.7258	관측망의 외주 측점명 HS04-WJ03-YY01- JB02-KM05-KJ06- HS04
	0.0001	0.0030	0.0025			
2	0.0036			0.0043	847918.7319	
	-0.0018	0.0021	0.0024			
3	0.005			0.0060	847918.7498	
	-0.0039	0.0028	0.0016			



(a) 관측시기 1

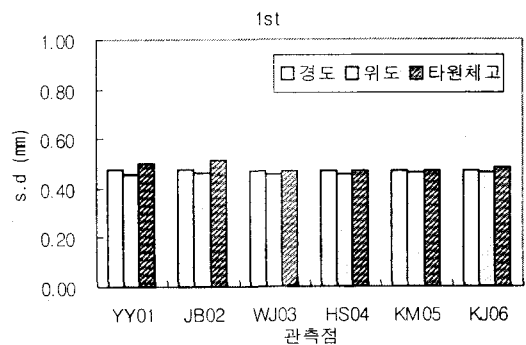


(c) 관측시기 3

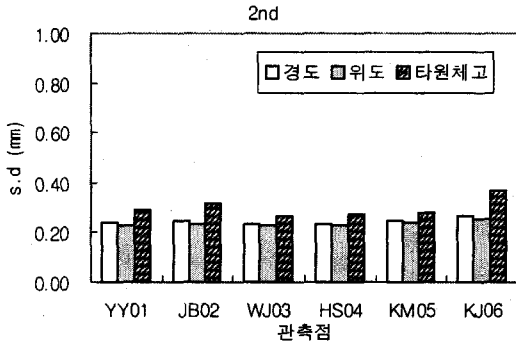


(b) 관측시기 2

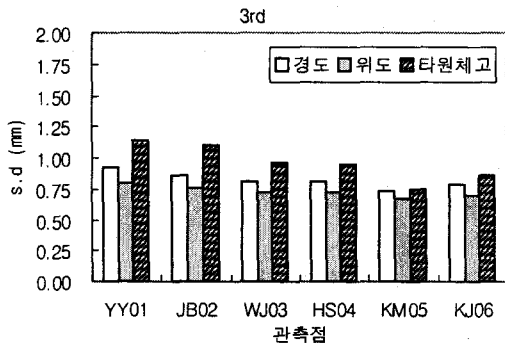
그림 4.1 국내망에 대한 오차타원



(a) 관측시기 1



(b) 관측시기 2



(c) 관측시기 3

그림 4.2 국내망의 경위도, 고도에 대한 관측시기별 망조정 정밀도

국내망 관측점들의 경도, 위도, 고도에 대한 관측시기별 망조정 정밀도를 도시하면 그림4.2와 같으며 각 요소들에 대한 표준편차가 평균 1mm 이내로 기선거리 대한 망조정 정도는 약 0.01 ppm이다. 이는 국내망의 관측이 양호하게 진행되었음을 보여주고 있으며 각 측정들간의 상대위치 변화가 매우 미소함을 보여주고 있다. 특히 각 측정들에 대한 관측시기별 기선거리 변화량을 도시하면 그림4.3과 같고 평균 기선거리의 변화량이 1cm 이내로 GPS의 정오차 및 정치오차를 고려하면 이는 오차범위 이내의 작은 변화량이므로 각 측정들의 상대위치 변화는 거의 발생하지 않고 있음을 나타내고 있다.

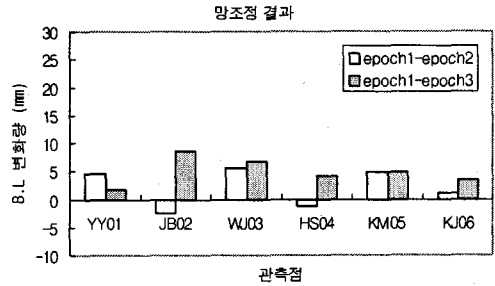
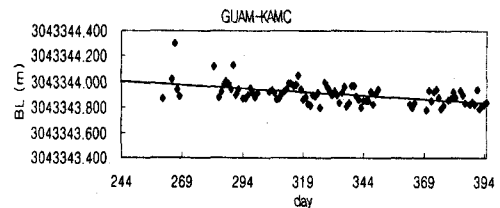


그림 4.3 국내망의 관측시기별 기선거리 변화량

4.2 국제망의 기선해석

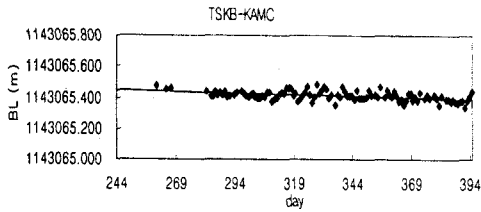
GPS 연속관측점인 KAMC 측점을 IGS 관측망의 기준점들과 연계하여 연속관측을 실시하고 상하이측점(SHAO)을 고정점으로 IGS의 정밀케도력을 이용한 상대측위 처리결과 기선벡터 변화량은 그림 4.4와 같다. 1997년 9월 1일부터 1998년 1월 30일까지 약 150 일간의 연속관측자료를 정밀력을 이용한 기선해석 결과 GUAM-KAMC 기선벡터의 경우 기선벡터 변화량이 약 $90\text{mm} \pm 2\text{mm}$, SHAO-KAMC 기선벡터 $50\text{mm} \pm 1\text{mm}$, TAIW-KAMC 기선벡터 $90\text{mm} \pm 2\text{mm}$, TSKB-KAMC 기선벡터 $55\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 을 보이며 기선벡터에 대한 상대정밀도는 0.03 ~ 0.06ppm으로 나타났다.

이는 IGS에서 발표하는 동북아시아 지역의 연간 기선벡터의 변화량과 유사한 결과를 나타내고 있는 것으로 정밀력 및 오차분석 모듈을 통한 상용프로그램으로 초장기선 해석의 접근 가능성을 시사하고 있다. 향후 정확한 지각변동량을 산출하기 위해서는 장기선 프로그램에 의한 결과와 비교 분석이 뒤따라야 할 것이며 이를 추진중에 있다.

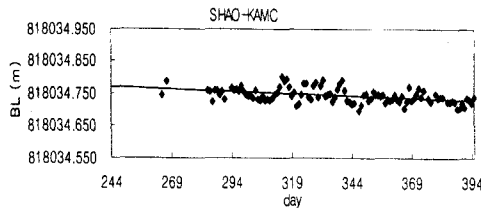


(a) GUAM - KAMC

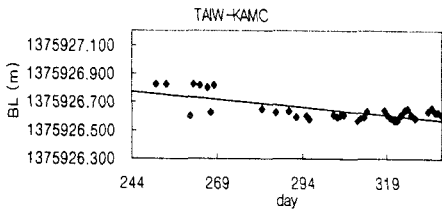
한반도의 지각변동 감지를 위한 GPS 관측망 구축(1)



(b) SHAO - KAMC



(c) TSKB - KAMC



(d) TAIW - KAMC

그림 4.4 IGS 기준점들과 국내 연속관측점(KAMC)과의 기선벡터 변화량

5. 결 론

국내에 GPS 관측망을 구축하고 IGS 관측망의 기준점들과 연속관측 및 주기적관측을 실시하여 관측자료의 오차보정을 실시한 후 정밀케도력을 이용한 상용 프로그램으로 기선해석을 실시한 결과 지각변동감지에 요구되는 기선정밀도 0.1ppm 이내의 상대정밀도를 획득할 수 있었다. 현재 한반도와 일본과의 기선벡터는 연간 약 55mm 정도 짧아지고 있는 양상을 나타내었으며 국내망의 관측결과 각 측정점간의 기선거리 변화량은 평균 5mm로 GPS의 오차범위를 고려할 때 각 측정점들의 상대위치 변화는 매우 미소함을 알 수

있었다. 향후 장기적인 관측자료와 장기선해석 프로그램을 이용할 경우 한반도의 지각변동량을 보다 정확하고 효율적으로 감지할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 '97특정기초연구'(과제번호:97-06-01-04-01-3) 성과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Peter Morgan, et al., "A Zero Order GPS Network for the Australian Region" School of Geomatic Engineering University New South Wales, UNISURV Report S-46, 1996.
- 2) Paul Tregoning, "GPS Measurements in The Australian and Indonesian", School of Geomatic Engineering University New South Wales, UNISUR Report S-44, 1996.
- 3) Welsh W.M. , "Problems of Accuracies in Combined Terrestrial and Satellite Control Networks", Proceedings of the Fourth International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, Volume I, pp.181-195, 1986.
- 4) Rainer Kelm, "Geodetic Applications of Transit and GPS in the Readjustment of the European Geodetic Network", Proceedings of the fourth international Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, Volume II, pp.945-956, 1986.
- 5) Kamil Eren, "Multi-Purpose GPS Campaign in Saudi Arabia", Proceedings of the fifth international Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, Volume II, pp.858-872, 1989.
- 6) Schodlbauer A. , Krack K., and Glasmacher H.,

- "Densification of Horizontal Networks by GPS", Proceedings of the Fifth International Symposium on Precise Positioning with the GPS, Volume II, pp.1090-1103., 1989.
- 7) Eckels, Rod, and Pheukvilai, K.P., "Establishiing GPS Survey Control and Transformation Parameters in Thailand", GPS World, August 1991.
- 8) Robert Ruland, Alfred Leick, "Application of GPS in a High Precision Engineering Survey Network." First International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, Volume I, pp 483-493, 1985.
- 9) Takeshi SAGIYA, etal., "Establishment of Permanent GPS Observation Network and Crustal Deformation Monitoring in the Southern Kanto and Tokai Areas" <http://www.gsi-mc.co.jp/ENGLISH/RESEARCH/BULLETIN/vol-41/gps.html>
- 10) 강준목, 박정현, 이은수, "IGS의 GPS 데이터를 이용한 초장기선 정확도 분석", 대한토목학회논문집, 제18권 제III-3호, pp293-300, 1998.