

# GPS궤도력에 따른 삼각망의 기선벡터해석

## Analysis of Baseline Vector by Different Ephemeris

정영동\* · 박정남\*\* · 박성규\*\*\* · 강상구\*\*\*\*

Jung, Young Dong · Park, Jung Nam · Park, Sung Kyu · Kang, Sang Gu

\*조선대학교 토목공학과 교수(Tel:062-230-7091, E-mail:ydjung@mail.chosun.ac.kr)

\*\*순천제일대학교 토목과 교수(Tel:061-725-2764, E-mail:jnpark@suncheon.ac.kr)

\*\*\*조선대학교 토목공학과 겸임교수(Tel:02-522-0441, E-mail:users.unitel.co.kr)

\*\*\*\*조선대학교 토목공학과 시간강사(Tel:062-230-7848, E-mail:gps8829@empal.com)

### 要旨

본 연구에서는 광주를 고정으로 전라남도 4점과 전라북도 5점으로 삼각망을 구성하고 각 측점에서 관측한 데이터를 방송력과 정밀력을 이용하여 기선 해석을 실시하고 기선 거리별 궤도력의 영향을 통계학적으로 비교 분석하여 전라남북도에 이르는 GPS관측망의 궤도력에 따른 각 기선별 오차분포를 정량화 할 수 있었고, 정밀력을 이용한 기선해석은 기준 공분산 값이 모두 1 미만으로 나타나 두 지역간의 지역적 변환계수와 지구중심절대좌표를 선정함에 있어 과대오차를 현저히 줄일 수 있었다.

### 1. 서론

우리나라 위치의 기준이 되는 삼각점은 조선총독부 임시토지조사국에서 1910년부터 1918년까지 토지조사사업의 일환으로 설치하여 80년이 지난 현재까지 사용하고 있다. 당시에 좌표원점 계산에 있어서는 3대 원점(평면직각좌표원점)이 현지에 없고 단지 계산의 기준으로 삼기 위한 것이므로 좌표계의 경계부근에 있는 대삼각분점(동부원점: 거제도과 절영도, 중부원점: 부흥산과 등패산, 서부원점: 기린산과 월하산) 2점씩의 중형선좌표를 계산하였다. 토지조사사업 당시에는 경위의를 사용하여 삼각형의 내각을 관측하고, 대마연락망으로부터 계산된 거리와 기선측량에 의하여 계산된 거리를 이용하여 기지점과

소구점간의 변장을 계산한 후 좌표를 결정하였으며, 그 후 전자파 거리측정기가 도입되면서 직접 거리를 측정하여 좌표를 결정하는 삼변측량 방법을 이용하였다. 최근에는 인공위성을 이용한 GPS는 기준점 측량에 사용되고 있고, 위성영상의 조합에 의한 3차원 지형정보의 취득에 이용되고 있을 뿐만 아니라 이 밖에도 지구물리, 구조물 변위측정, 자동차와 비행기 및 선박의 항법, 해양측량에 이르기까지 그 이용이 확대되고 있다. 우리나라의 국립지리원에서 국가 측지기준망의 정확도 향상과 함께 국제적인 기준에 일치하는 기준계의 실현을 위하여 국가기준점을 대상으로 1992년부터 GPS측량을 실시하고 있다. 그러나 GPS상대측위기법에 이용되는 기준점에 과대오차가 내재되어 있는 경우에는 GPS의 우수한 성능에도 불구하고

신설점에 미치는 오차의 영향은 다양한 형태의 오차로 전파 되고있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 GPS를 이용하여 측량할 경우 위성의 궤도오차, 수신기 및 위성의 시계오차, 이온층 및 대류층에 의한 오차 등 여러 가지 오차요인을 분석하였고, 특히 GPS에 의한 위치결정은 위성 과 수신기 사이의 거리와 위성의 위치 데이터 즉, 위성의 궤도력을 이용하여 이루어지므로 궤도력이 부정확 할 수록 지상에서의 위치측정 정밀도 역시 떨어진다. 이에 본 연구에서는 평균75km 이상의 기선을 이용해 광주를 고정으로 전라남도 4점과 전라북도 5점으로 삼각망을 구성하고 각 점에서 관측한 데이터를 방송력과 정밀력을 이용하여 기선 해석을 실시하였고 지역적 최적 기준점을 선정하는데 있어 기선거리별 궤도력의 영향을 정량적으로 비교 분석하여 위성의 궤도력 선택에 대한 기본 자료를 제공할 수 있었다.

## 2. 연구방법 및 범위

GPS에 의한 측량은 상대측위로서 DGPS, RTK(Real Time Kinematic) 후처리에 의한 정적측위 등이 있지만 기준점 측량에는 정밀도가 좋은 정적측위에 의해 이루어지고 있다. 후처리 정적측위는 하나 이상의 기준점을 고정하여 망조정을 실시해야 하므로 공통적으로 정확한 기준점이 확보되어야 된다. 본 연구에서는 관측 계획에 필요한 사항인 위성의 수, 위성의 상태, PDOP, 기선의 길이 등을 고려하여 관측계획을 수립하고 광주를 중심으로 전남북 일원의 9개의 삼각점으로 삼각망을 구성하고 2개 Session으로 나누어 15초간격으로 GPS측량을 실시하였다. 관측된 데이터를 통해 기선의 정밀도 해석은 GPS

관측시 수신된 방송궤도력에 의해 오차를 분석하고 다시 정밀궤도력을 이용해 기선을 분석하였다. 따라서 본 연구에서는 GPS관측자료를 방송궤도력과 정밀궤도력으로 나누어 처리하여 구한 각 기선의 거리, 기선벡터의 성분( $dX$ ,  $dY$ ,  $dZ$ )과 기선의 공분산 결과를 분석하고, 방송궤도력과 정밀궤도력의 적용에 의한 기선 결정 정밀도를 상호비교 하였다.

## 3. 적용 및 결과 분석

### 3.1 관측계획 및 관측

본 연구를 수행하기 위한 GPS관측 데이터는 2001년도 4월 22일과 5월 7일에 광주광역시 남구3 월성동의 학봉에 위치한 삼각점을 기준으로 전라남도 일원의 구례, 영광, 해남, 신안에 이르는 4점의 삼각점과 전라북도 일원의 부안, 군산, 진안, 무주, 순창에 위치한 삼각점에 평균변장 75km의 장기선으로 삼각망을 구성하여 2개의 세션으로 구분하여 관측하였다. 관측당시 대상 지역에 분포되어 있는 삼각점성과는 토지조사당시에 설치된 1등(대삼각본점)·2등삼각점(대삼각보점)중 현재까지 성과표상의 좌표가 변경되지 않고, 주변의 다른 삼각점과 부합되는 점을 관측대상점으로 선정하였다. 관측시 사용한 장비는 대한지적공사에서 보유하고 있는 4종의 장비를 이용하였으며, 표 1는 관측장비의 기종과 관측점명을 나타낸다. 연구대상지역에 분포한 삼각점에 대한 관측은 2개의 세션으로 구분하고 1세션은 4점, 2세션은 5점을 동시에 관측하였으며, 광주점은 1차와 2차에 모두 관측하여 1, 2차 관측 성과가 하나의 망으로 연결될 수 있도록 하였다.

표 1. 장비기종 및 사용지역

기종	수량	성능	관측점명	비고
LEICA SYSTEM 300	3	2주파 수신기	광주, 해남, 신안	
TRIMBLE 4000SSI	3	2주파 수신기	광주, 구례, 영광	
TOPCON TURBO-S II	3	2주파 수신기	광주, 부안, 군산	
ASHTECH GSR-2200	4	2주파 수신기	광주, 진안, 무주, 순창	

1세션의 관측은 2001년 4월 22일 10시 30분부터 16시30분까지 6시간을 관측하였다. 1 세션의 관측점은 광주, 신안, 해남, 구례, 영광으로 망을 구성하여 광주점을 기준으로 동시 관측을 수행하였고, 2세션의 관측은 2001년 5월 7일 10시 30분부터 16시30분까지 6시간을 관측하였으며, 관측점은 광주, 부안, 군산, 진안, 무주, 순창으로 연결된 삼각망을 기준으로 광주점을 고정으로 동시 관측하였다. 관측시 수신기 환경 설정은 측위방법은 정지측위방법으로 수행하고, 데이터취득간격은 30초로 설정하고 관측위성 최소고도각은 15도, 최소 위성수는 4개 이상이 수신되도록 설정하였다.

### 3.2 기선해석

GPS측량은 관측점에 설치된 수신기로부터 획득한 위성까지의 거리를 파의 위상각으로 기록한 수치의 나열에 지나지 않아 곧바로 사용할 수 없기 때문에 미지점에 세워둔 수신기에 기록된 같은 류의 데이터를 조합하여 해석해야만 통상적인 의미의 측량데이터를 얻을수 있다. 각 점에서의 관측한 데이터에는 반송파위상, 위성의 위치를 나타내는 방송궤력요소, 데이터 취득시각 등이 기록되어 있다. 반송파위상이란 위성과 수신점간의 거리에 해당하는 양을 파수(Wave Number)로 표시한 것이며, 방송궤도력요소는 위성의 시시각각의

위치를 계산하는데 쓰인다. 기선해석은 모 든벡터를 한꺼번에 동시에 초소자승법으로 추정하는 Session Mode와 고정점으로 부터 시작해서 독립된 기선을 하나씩 구해나가는 Baseline Mode가 있다. 본 연구에서는 장비를 혼합하여 관측한 관계로 2차에 걸쳐 관측된 데이터는 각각의 장비사에서 제공하는 소프트웨어를 이용하여 공통포맷인 RINEX포맷으로 변환하여 Trimble의 자료처리 소프트웨어인 Geomatics Office를 이용하여 광주점을 고정하고 초기좌표로는 국립지리원 성과인 위도: 35도 03분 35.2945초, 경도: 126도 48분 21.1448초, 높이: 59.11m을 입력하였다. 기선해석 방식은 고정점으로 각 기선별 불확실정수(ambiguity)를 해석해 가는 단일기선해석(baseline processing)방식으로 각 세션의 기선별로 방송궤도력에 의한 1차 기선해석을 수행하고, 정밀궤도력은 IGS에서 관측한 후 약 1일 후에 확정하여 공식적으로 발표한 SP3결과를 이용하여 기선별로 2차 기선조정을 순차적으로 수행하였다.

### 3.3 망조정(1점 고정)

기선해석을 완료하고 기선해석 정확도의 검증 및 망의 강도를 높이고, 전체점에 대한 WGS84성과를 산출하기 위하여 1점 고정에 의한 망조정을 실시하였다. 망조정은 광주광역시 남구월성동에 위치한 삼각점을 Control Point로 고정하고 자유망조정을 실시하였다. 표 2는 2001년 4월 22일부터 5월 7일까지 관측한 WGS84와 rms 오차이다.

본 연구에 적용된 테스트망은 시험조정의 좌표를 초기값으로 하여 기선해석이 완료된 세션들을 하나로 통합하여 조정을 실시하였으며 망조정 결과는 표 3과 같다. 통계분석 결과 최종 F-test의 결과가 채택

되었으므로 1점고정망은 귀무가설에 의해 채택되었다. 1점 고정망에 의한 망조정 후 점간거리의 변화량은 평균 0.2ppm이 조정되어 계산 결과가 양호함을 보여준다.

표 2. 광주시 (학봉)의 WGS84좌표

구분	경도 (dms)	위도 (dms)	높이 (m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
좌표	126-48 10.8370	35-03 35.2330	60.51	174123.822	181846.292	3761769.616
rms	-	-	-	0.002	0.002	0.002

표 3. 망조정 결과좌표

점명	위도(dms)	경도(dms)	타원체고
광주	35 03 46.38380	126 48 13.80343	85.63
구례	35 14 26.96050	127 36 48.81795	970.97
해남	34 35 30.15284	126 36 0.58813	507.55
신안	34 53 24.25572	126 19 6.17964	162.14
영광	35 17 58.52624	126 25 8.29156	337.91
부안	35 39 2.10976	126 29 36.67616	118.01
군산	35 57 34.87566	126 41 5.14918	121.54
진안	35 54 40.61329	127 21 27.71509	1124.57
무주	35 49 39.34615	127 42 5.79489	1075.18
순창	35 27 14.20680	127 10 29.01570	571.81

표 4. 현행 삼각점성과

점명	위치	등급	경위도 좌표			평면직각 좌표	
교 2(학봉)	광주광역시 남3월성동	2	B	35-03-36.298	X	173782.08m	
			L	126-48-10.839		Y	182032.46m
			H	59.11m			
21(황장산)	전라남도 구례군	2	B	35-14-15.926	X	193676.93m	
			L	127-36-46.100		Y	255773.26m
			H	942.10m			
11(금강산)	전라남도 해남군	1	B	34-35-18.892	X	121566.57m	
			L	129-35-57.547		Y	163244.62m
			H	481.01m			
22(금7)	전라남도 신안군	2	B	34-53-13.111	X	154805.24m	
			L	123-19-03.064		Y	137618.80m
			H	136.57m			
11(수리봉)	전라남도 영광군	1	B	35-17-47.537	X	200181.02m	
			L	126-25-05.227		Y	147079.47m
			H	350.55m			
301(도19)	전라북도 부안군	3	B	35-38-51.272	X	239087.52m	
			L	126-29-33.637		Y	154060.52m
			H	93.80m			
원6	전라북도 군산시	1	B	35-57-24.138	X	273311.08m	
			L	126-41-02.177		Y	171490.48m
			H	99.52m			
운장산	전라북도 진안군	1	B	35-54-29.842	X	267952.24m	
			L	127-21-24.944		Y	232215.46m
			H	1125.86			
나4	전라북도 무주군	3	B	35-49-28.547	X	258834.79m	
			L	127-42-03.122		Y	263325.37m
			H	1046.46			
22(금14)	전라북도 순창군	2	B	35-27-03.267	X	217164.73m	
			L	127-10-26.172		Y	215788.90m
			H	545.44m			

### 3.4 비교분석

본 연구에서 선정한 국가 기준점에 대한 성과표는 표 4와 같고 각 점에서 STATIC측위방식으로 광주점을 고정으로 망을 구성한 후 GPS측량을 실시하였다. 광주점을 고정으로 기선해석한 결과 방송케도력에 의한 각 기선의 Ratio값이 광주-구례간 기선에서 최대값인 31.7로 나타났고, 광주-무주간 기선에서 최소값인 7.5로 발생하였고, 정밀케도력에서도 그 변화의 폭은 크지 않지만 기선거리가 증가함에 따라 Ratio가 감소하는 추세로 나타났다. 일반적으로 Ratio값이 클수록 기선해석 결과가 좋다는 것을 의미한다. 참조 분산값인 Reference Variance을 방송케도력과 정밀케도력으로 100km이상인 지역의 기선해석한 결과를 비교하면 기선의 거리가 약 100km인 광주-군산에서 방송케도력인 경우 2.423, 정밀케도력인 경우가 1.412, 기선거리가 약106km인 광주-진안에서 방송케도력인 경우 2.533, 정밀케도력인 경우 1.312로 나타났고 또한 본 연구대상지의 최장기선인 광주-무주간의 약 117km 기선에서는 방송케도력인 경우가 3.545, 정밀케도력인 경우가 1.212로 발생하였다. 이는 방송케도력에 의한 Reference Variance의 값은 일정하진 않지만 거리에 비례해서 증가한다는 사실을 알 수 있고, 정밀케도력을 이용한 경우는 일반적으로 그 차이가 일정하게 나타나 방송케도력의 기선해석과 뚜렷한 차이로 나타났다. 기선거리가 약 100km인 광주-군산의 경우 방송케도력을 이용한 RMS값이 0.035 정밀케도력에 의한 값이 0.021로 나타났고, 기선거리가 약 106km인 광주-진안의 경우에는 방송케도력과 정밀케도력의 값이 각각 0.032, 0.023으로 또한 광주-무주간 약 117km기선에서는 0.034와 0.026의 분포로 나타나 방송케도력으로 해석한 각 기선의

RMS는 기선거리가 짧은 경우는 정밀케도력과 차이가 미소하지만 기선의 거리가 길어질수록 거리에 비례하여 RMS값이 증가하는 추세로 나타났다.

방송케도력과 정밀케도력에 의한 각 기선의 거리오차는 최소 2mm인 광주-구례 기선과 최대 15.6cm가 발생한 광주-무주구간에서 발생하였고, 이는 기선거리가 길지 않은 경우 방송케도력과 정밀케도력의 차이가 미소해 실무에 있어서 특별한 경우를 제외하고는 방송케도력만으로도 충분한 소요 정밀도를 얻어 낼 수 있음을 의미한다. 기선해석과 망조정을 수행한 후 광주점을 고정으로 방송케도력과 정밀케도력으로 구분하여현행사용좌표성과의표고와 WGS84좌표 타원체상 높이를 공통으로 0으로 한 경우와 현행성과 표고를 이용한 경우로 구분하여 Molodensky-Badekas변환식과Bursa-Wolf식을 이용하여 변환계수를 산출하여 GPS데이터를 TM직각 좌표로 변환하고 광주를 기준으로 각 관측점별로 역거리 방식으로 수평거리를 구하여 거리별 오차를 분석하였다.

표 5. 변환계수 성과(표고 0 인경우)

변환 계수		RMS	최대 잔차	잔차 평균	표준 편차
dX(m)	310.2361	0.06	1.02	0.34	0.44
dY(m)	-292.7583	0.06	1.25	0.30	
dZ(m)	-636.6553	0.06	1.16	0.33	
RX(초)	7.90568	0.14			
RY(초)	7.16473	0.14			
RZ(초)	3.23280	0.15			
Scale(ppm)	5.95	0.53			
Rotation origin	X0 -3142745.1237m, Y0 4070188.5569m, Z0 3758690.0704m				

표 6. 변환계수 성과(현행성과 표고)

변환 계수		RMS	간 차		표준편차
			최대	평균	
dX(m)	323.0703	0.10	1.69	0.51	0.66
dY(m)	-309.2874	0.10	1.71	0.51	
dZ(m)	-652.0099	0.10	1.84	0.51	
RX(초)	7.87390	0.21			
RY(초)	10.71959	0.21			
RZ(초)	-0.75340	0.24			
Scale(ppm)	1.92	0.81			
Rotation origin	X0 -3141132.4841m, Y0 4071156.5714m, Z0 3759649.6729m				

수평거리를 현행성과와 GPS 방송궤도력 성과를 비교한 결과 광주-군산간 기선에서 최소값인 18cm 정도로 나타났고, 광주-부안간 기선에서 최대값인 35.1cm 정도로 나타났고, 현행성과와 정밀궤도력 성과에서는 표 광주-순창간 기선에서 최소오차인 2.9cm로 발생했고, 광주-구례간 기선에서 33.1cm로 최대오차가 발생하였다.

표7. 기선별 수평거리 비교

성과 점명	현행성과 (1)	방송력 성과 (2)	정밀력 성과 (3)	(1)-(2)	(1)-(3)	(2)-(3)
구례	76377.422	76377.745 m	76377.753 m	-0.323	-0.331	-0.008
해남	55492.724	55492.994 m	55492.980 m	-0.270	-0.256	0.014
신안	48297.967	48298.041 m	48298.054 m	-0.074	-0.087	-0.013
영광	43802.004	43802.238 m	43802.253 m	-0.234	-0.249	-0.015
부안	71043.859	71043.508 m	71043.525 m	0.351	0.334	-0.017
군산	100,085.739	100,085.919 m	100,085.894 m	-0.180	-0.155	0.025
진안	106,706.853	106,707.119 m	106,707.148 m	-0.266	-0.295	-0.029
무주	117,654.157	117,654.234 m	117,654.266 m	-0.077	-0.109	-0.032
순창	54698.642	54698.683 m	54698.671 m	-0.041	-0.029	0.012

현행성과와 WGS84성과를 Bessel성과

로 변환하여 역계산된 수평거리오차는 기선거리와 상관없이 평균 20.18cm로 발생하였는데 이는 광주점만을 고정하여 현행 좌표로 변환된 성과이기 때문에 만약 광주점 외에 또 다른 한점을 고정한 2점 고정으로 좌표변환을 수행한다면 좌표값에 변화가 생겨 수평거리 또한 달라져 본 연구에서 발생된 거리오차와 다르게 발생할 것이다. 방송궤도력에 의한 수평거리와 정밀궤도력에 의한 수평거리의 오차는 그 차이가 비교적 적게 발생하였지만 광주-무주간 기선에서 3.2cm로 가장 크게 나타났고, 광주-구례간 기선에서는 8mm로 아주 미소하게 발생하였다.

결과적으로 기선거리가 장기선인 경우는 방송궤도력보다는 정밀궤도력이 보다 안정된 통계분석이 이루어져 장기선 측량에서는 정밀궤도력을 이용해 기선을 해석하고 위치를 결정하는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 각 항목별로 비교 분석한 그림은 아래와 같다.

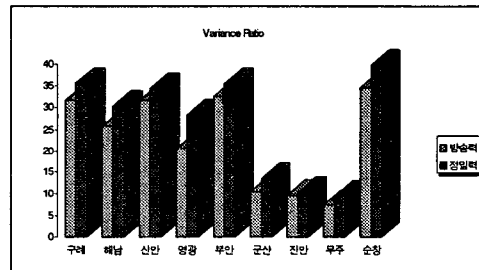


그림 1. 정밀력과 방송력의 Ratio 비교

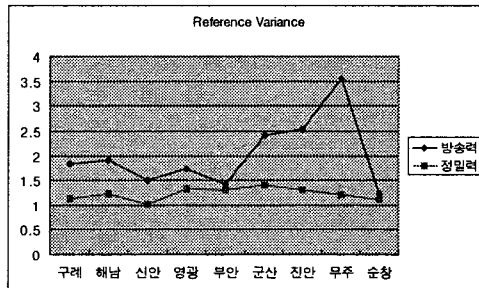


그림 2. 정밀력과 방송력의 Ref-Var 비교

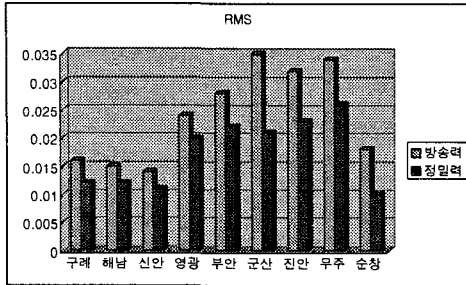


그림 3. 정밀력과 방송력의 RMS 비교

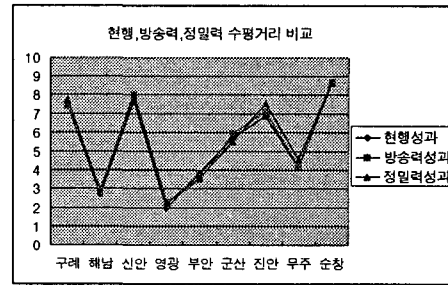


그림 7. 현행성과, 방송력, 정밀력 비교

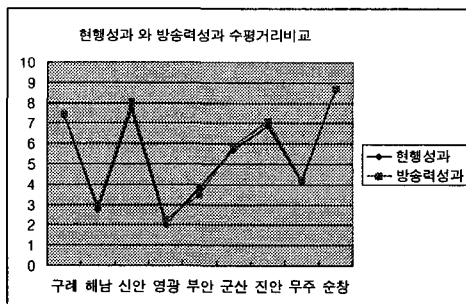


그림 4. 현행성과 방송력 수평거리 비교

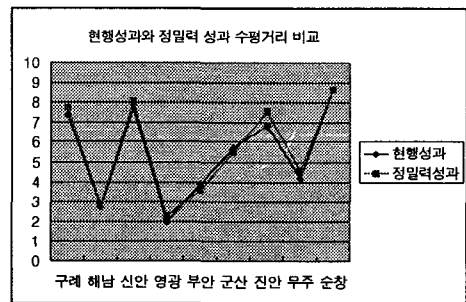


그림 5. 현행성과 정밀력 수평거리 비교

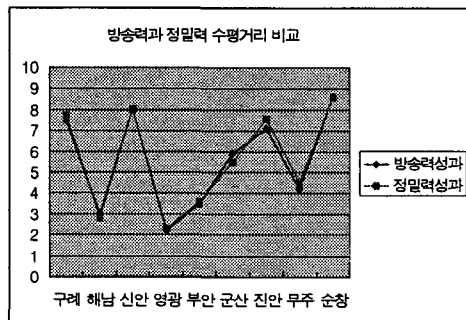


그림 6. 방송력과 정밀력 수평거리 비교

## 5. 결론

본 연구에서는 전라남도 4점과 전라북도 5점으로 삼각망을 구성하고 각 점에서 관측한 데이터를 방송력과 정밀력을 이용하여 기선 해석을 실시하고 기선거리별 궤도력의 영향을 정량적으로 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Ratio는 광주-구례간 기선에서 최대값인 31.7로 나타났고, 광주-무주간 기선에서 최소값인 7.5로 발생하였고, 정밀력에서는 기선거리가 증가함에 따라 Ratio가 감소하는 추세로 나타났다.
2. 기준분산값은 방송력에서 거리에 비례하게 나타났고, 정밀력을 이용한 경우는 그 차이가 일정 하고 1에 근접하였다.
3. RMS는 최장기선인 광주-무주간에서 방송력의 경우 0.034, 정밀력의 경우 0.026로 나타나 기선의 거리가 길어질수록 거리에 비례하여 증가함을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. 강준목, 정용식, 최종현(1996), "GPS 반송파 위상을 이용한 측지학적 절대위치 결정", 한국측지학회지, 제 14권, 제 2

호, pp. 181~188.

2. 이용창(1993), “GPS에 의한 측지학적 정밀 3차원 좌표결정에 관한 연구”, 박사 학위논문, 충남대학교.

3. Alfred Leick(1995), “GPS satellite Surveying”, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., pp. 317~380.