

GPS測量에 의한 經緯度原點의 新原方位角 決定 및 正確度 分析 Determination of New Azimuth on the Suwon Geodetic Datum by GPS Surveying and Its Accuracy Analysis

최윤수* · 박병욱* · 김경수** · 강인구*** · 안영길**** · 조현천*****

Choi, Yun-Soo · Park, Byung-Uk · Kim, Kyong-Soo · Kang, In-Gu

Ahn, Young-Kil · Cho, Hyun-Chun

要 旨

우리 나라의 원방위점이 주변지역의 개발로 인하여 視通이 불가능하게 되어 새로운 원방위점의 설정과 원방위각의 결정이 불가피한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 측점간의 시통문제와 기상문제에서 탈피하여 정확도, 경제성 등에서 효율적인 GPS를 이용하여 수원원점의 신원방위각을 결정하였다. 즉, 외국 문헌조사를 토대로 GPS를 이용한 방위각결정에 관한 작업규정을 우리 나라 실정에 맞도록 수정·보완하였으며 이에 따라 GPS관측망을 구성·관측하여 신원방위각을 결정하고 정확도를 분석하였다.

ABSTRACT

Mark point(Donghaksan) of Korean geodetic datum in Suwon could not be intervisible because of the development of the surroundings, so we were in a situation that we should establish new mark point and decide azimuth of the new mark point. Getting out of the intervisibility between control stations, refraction error and effect of illumination in urban area, our research team decided new azimuth of Suwon Geodetic Datum by GPS surveying for accuracy and economical efficiency. First we corrected and supplemented the specification on the decision of azimuth in accordance with our situation based on the study of foreign studies by using GPS, and we determined and analyzed the accuracy of the new azimuth through organizing and observing the GPS network.

1. 緒 論

1981년 8월부터 1985년 10월까지 국립지리원 구내에 정밀 천문관측을 실시하여 설정된 한국 경·위도원점은 우리 나라 측량사에 일대 전환점이 되었으나¹⁾ 원방위점(동학산) 주변지역의 개발에 따라서 시통이 불가능하게 되어 새로운 신원방위점의 설정과 신원방위각의 결정이 불가피하게 되었다.

천문측량은 별을 관측해야 하므로 야간의 기상요건, 관측장비 취급의 어려움, 도시불빛의 영향에 따른 관측장

소의 제약 등 관측상의 많은 제약, 막대한 시간과 경비가 소요되므로 보다 효율적인 측량 및 해석방안에 관한 대체 방안이 절실하게 요망되고 있다.^{2,4)} 또한 최근 국내의 측지분야는 전통적인 측량장비와 측량방식에서 탈피하여 GPS 등과 같은 첨단장비 및 신기술 도입, 이를 현장에 적용하기 위한 실용화 연구를 계속하여 정밀 1, 2차 기준점 측량사업을 GPS 측량기를 이용하여 수행하고 있다.^{5,6)} 즉, 기존의 측지망 구축에 있어서 측지망의 규정 등에 이용된 측지방위각은 북극성을 데오들라이트 등으로 관측하여 구한 천문방위각을 Laplace 조건식을 이용하여 변환한 것이나, GPS관측으로 구해진 기선의 방위각도 데오들라이트로 구한 방위각 관측결과와 기하학적 으로 동일하므로 그 대체로서 이용하는 것이 가능하다.

따라서 본 연구에서는 측점간의 시통문제와 기상문제에서 탈피, 정확성, 경제성 등에서 효율인 GPS측량기를

*국립한경대학교 토목공학과 교수
**국립지리원 측지과
***국립한경대학교 산업대학원, 국립지리원 측지과
****국립한경대학교 산업대학원, 국립해양조사원 해도과
*****국립한경대학교 산업대학원, 안성시청

활용하여 신원방위각을 결정하였다. 먼저 외국 문헌조사를 토대로 GPS를 이용한 방위각결정에 관한 작업규정을 우리 나라 실정에 맞도록 수정·보완하였으며 이에 따라 GPS관측망을 구성하여 관측하였다. GPS 관측결과와 경위도원점의 천문경위도, 측지경위도, 원방위각을 이용하여 GPS관측에 의한 방위각 결정의 타당성을 검증하고, 그 결과를 토대로 신원방위점의 신원방위각 결정 및 정확도 평가를 하였다.

2. GPS를 이용한 水平位置 決定과 方位角의 變換

2.1 水平位置 決定과 GPS측량

측지측량 분야에 GPS 등 우주측지기술의 응용과 실용화가 진전되어 삼각측량, 토탈스테이션을 이용한 다각측량 등 기존의 측량기술이 GPS측량으로 대체되어 가고 있다. 그러나 GPS와 같은 위성측위시스템이 출현하기 이전에는 천문측량에 의한 경위도의 관측이 유일한 범지구적 위치결정 수단이었다. 천문측량에 의하여 결정된 경도 및 위도는 지오이드면에 직교하는 연직선을 기준으로 「천문경도(Λ), 위도(Φ)」이며, 타원체의 법선을 기준으로 한 경위도는 「지리학적 경도(λ), 위도(ϕ)」라 한다.

천문측량으로 P점의 경위도 및 PQ의 방위각을 구하는 원리는 그림 1과 같다. 즉, 천문경도의 결정은 P점의 자오선을 통과하는 별의 시각을 관측하고, 그 별의 그리니치 자오선(GW)을 통과하는 시각을 별의 카탈로그에서 구하면 GW와 P점의 시각의 차가 결정된다. 이것이 경

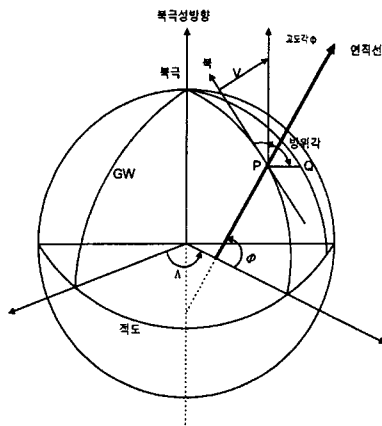


그림 1. 천문경도, 위도, 방위각

도 Λ 이다. P점에 있어서 지구 자전축의 연장선에 있는 북극성 고도각 V 를 관측하면 V 가 위도 Φ 가 된다. P점에서 Q점의 방위각은 북극성에서 Q점까지 수평각 α 이다. 이해를 쉽게 하기 위하여 북극성을 예로 천문관측원리를 설명하였으나 카탈로그에서 천체상의 위치가 표시되는 임의의 별을 관측하면 천문경위도 및 방위각을 구할 수 있다. 이와 같이 천문측량은 각국의 측지원점 값을 결정하는데 큰 역할을 해왔다.¹⁾

국립지리원에서는 1980년부터 37점의 천문측량을 실시하였다. 이 천문측량은 천문경위도와 측지경위도의 차인 연직선편차를 구하는 것이 주목적이며, 천문방위각 관측은 측지방의 방향오차 결정 및 천문지오이드 결정에 그 목적이 있다. 야외에서 광학기기를 이용한 천문측량으로 구한 정확도는 0.3"가 한계이며 거리로 환산하면 변경 약 10m의 원이다. 최근에 인공위성의 궤도해석, 중력관측치 및 GPS 측량 등을 이용하여 고정밀 지오이드 결정이 가능하게 되어 일부 선진국에서는 광학적인 천문측량을 거의 실시하지 않고 있다.

2.2 方位角의 變換

천문방위각과 측지방위각의 변환, GPS기선벡터를 이용한 방위각 계산식, 각종좌표계의 방위각 변환식은 다음과 같다.^{1,2)}

(1) 측지방위각에서 천문방위각으로 변환에 이용되는 라플라스 조건식(Laplace Condition)

$$A_a = A_g + (\lambda_a - \lambda_g) \cdot \sin \Phi_a + \tan \alpha (\xi \cdot \sin A_g - \eta \cdot \cos A_g) \quad (1)$$

단, $\tan \alpha = (H_2 - H_1 - S \cdot S/2R)/S$

(2) A_W 를 A_{BW} 에 변환하는 Laplace 조건식

$$A_{BW} = A_W - (\lambda_W - \lambda_B) \cdot \sin \Phi_W - \tan \alpha (\xi \cdot \sin A_W - \eta \cdot \cos A_W) \quad (2)$$

단, WGS-84타원체 법선의 베셀타원체 법선에 대한 편차를 $\xi \cdot \eta$ 라 한다.

(3) GPS 3차원 벡터에서 국소지평좌표 방위각으로 변환식

$$V = \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_h \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -\sin\Phi_g \cos\lambda_g & -\sin\Phi_g \sin\lambda_g \cos\Phi_g \\ -\sin\lambda_g & \cos\lambda_g & 0 \\ \cos\Phi_g \cos\lambda_g & \cos\Phi_g \sin\lambda_g & \sin\Phi_g \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$= \begin{bmatrix} -\sin\Phi_g \cos\lambda_g V_X - \sin\Phi_g \sin\lambda_g V_Y + \cos\Phi_g V_Z \\ -\sin\lambda_g V_X + \cos\lambda_g V_Y + 0 \\ \cos\Phi_g \cos\lambda_g V_X + \cos\Phi_g \sin\lambda_g V_Y + \sin\Phi_g V_Z \end{bmatrix}$$

$$V_x = -\sin\Phi_g \cos\lambda_g V_X - \sin\Phi_g \sin\lambda_g V_Y + \cos\Phi_g V_Z \quad (4)$$

$$V_y = -\sin\lambda_g V_X + \cos\lambda_g V_Y \quad (5)$$

$$V_h = \cos\Phi_g \cos\lambda_g V_X + \cos\Phi_g \sin\lambda_g V_Y + \sin\Phi_g V_Z \quad (6)$$

$$A_g = \tan^{-1}(V_y/V_x) \quad (7)$$

단, Φ_g, λ_g : 측지경위도(Bessel좌표계)

Φ_a, λ_a : 천문경위도

Φ_B, λ_B : GPS로 결정한 Bessel 좌표계상의 측지경위도

Φ_w, λ_w : GPS로 결정한 WGS-84 좌표계상의 측지경위도

A_g : 측지방위각 (Bessel좌표계)

A_a : 데오달라이트로 관측한 천문방위각

A_w : GPS3차원 기선벡타와 Φ_w, λ_w 를 이용하여 구한 측지방위각

A_B : GPS3차원 기선벡타와 Φ_B, λ_B 를 이용하여 구한 천문방위각

A_{BW} : A_w 에 WGS84와 Bessel 법선편차를 ξ, η 라 할 때 라플라스 보정한 측지방위각

ξ : 연직선편차 자오선성분($\xi = \Phi_a - \Phi_g$)

η : 연직선편차 묘유선성분($\eta = (\lambda_a - \lambda_g) \cdot \cos\Phi_a$)

H_1 : 관측점의 표고 H_2 : 방위점의 표고

α : 관측점에서 방위점의 연직각

S : 점간의 구면거리 R : 평균곡률반경

V_x, V_y, V_z : GPS관측으로 구한 기선벡타의 3성분(WGS-84)

V_x, V_y, V_h : 국소평면좌표에서 기선벡타 3성분

3. GPS觀測 및 기선해석

3.1 방위각 결정을 위한 GPS측량 작업규정

본 연구에서는 T4, 자오의, 아스트로로브 등과 같은

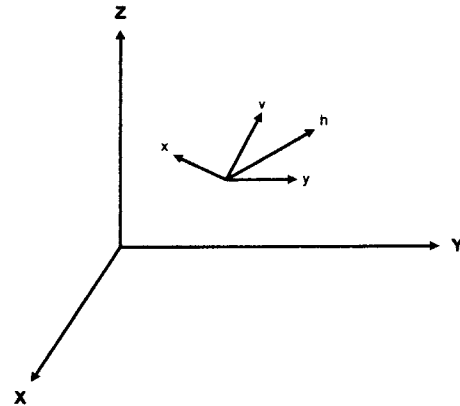


그림 2. GPS 3차원 벡타의 변환개념

광학장비를 이용하여 북극성관측으로 구한 천문방위각 (A_a)과 동등이상의 정확도를 얻기 위하여 일본 국토지리원에서 실시된 'GPS관측에 의한 천문방위각결정에 관한 연구보고서'를 기초로 하여, 우리 실정에 맞도록 GPS관측 및 해석에 관한 작업규정을 수정·보완하였으며 주요 내용은 다음과 같다. 이 밖의 규정은 일본의 '정밀측지망 - 고도기준점측량작업'을 준용하였다.^{5,7)}

(1) 관측점은 천문경위도(Φ_a, λ_a), 측지경위도(Φ_g, λ_g)가 고정확도로 결정되어 있으며 관측점과 방위점의 표고가 기지일 것

(2) 관측은 2주파수신기를 사용하고 수신간격 30초, 12°관측을 1 session으로 하고, 날짜를 바꾸어 3 session 이상 관측할 것

(3) 기선해석은 20 km 정도의 기선장까지는 방송력을 사용하고, 2주파의 Fixed해를 구할 것

(4) 3차원 망조정은 원점 1점을 고정하여 해석할 것

3.2 GPS 觀測

본 관측은 GPS를 이용하여 경위도 원점을 중심으로 한 방위각을 구하려는 목적으로 실시되었으며 관측은 일본건설성 국토지리원의 고도기준점측량 작업규정을 준용하였다. 고도기준점측량의 작업규정에는 GPS관측에 있어서 12시간 1 session 이상, DATA의 취득간격 30초, 최저 관측 위성고도각은 15°이상 등이 규정되어 있으며, 정확도를 높이기 위한 규정을 보면 GPS관측장비는 비교 기선장과의 비교에서 15 mm이내의 허용오차 범위 내에 있고, 관측전후의 GPS안테나의 높이차는 3 mm이내, 기선벡타의 폐합차는 1 ppm× $\sum S$ (사거리)이내이다. 관측계

표 1. 신원방위각 결정을 위한 GPS관측내용

Session 번호	관측일시	관측시각	관측시간	비고
415A	'98. 2.10	06:00~18:00	12시간	
416A	'98. 2.11	05:00~17:00	12시간	
417A	'98. 2.12	07:00~19:00	12시간	효원공원내의 NGI1~3번 검기선용 관측점을 포함

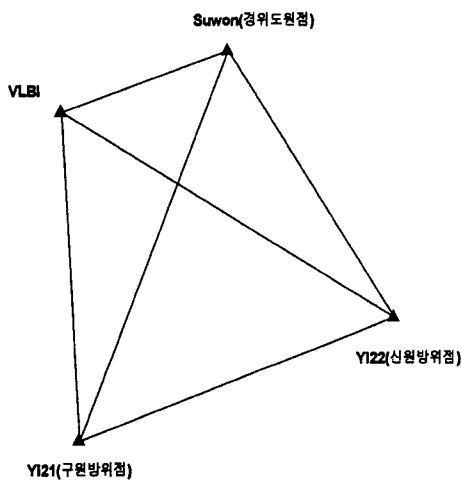


그림 3. 신원방위각결정을 위한 GPS관측망도

획은 위와 같은 고도기준점측량 작업규정에서 요구하는 많은 조건을 만족시킬 수 있는 관측상황을 고려하였다. 기본적인 관측의 계획은 GPS계획 소프트웨어를 이용하여 날짜별, 시간별 위성의 상태, 위성수, 위성위치 등을 파악하였으며 인위적으로 포함될 수 있는 관측의 방해요건을 제거하였다. 예를 들면 관측 중 무전기 및 전자파의 발생을 억제하였고 삼각대주변을 장시간 관측을 고려하여 마대를 이용하여 고정하였다.

관측의 실시는 GPS수신기 7대를 이용하여 동시관측을 실시하였으며, 수원 GPS상시기준점은 기 관측된 Data만을 사용하였다. 사용장비는 TURBO-SII이며 성능은 고도 기준점작업규정이 요구하는 5 mm+1 ppm이며 위성의 수신은 L1파 및 C/A코드와 L2파 및 P코드를 동시에 수신하였으며, 안테나의 높이는 mm까지 기록하였다. 관측삼각점은 경위도원점, 상시점, VLBI점, 용인21, 용인22를 중심으로 이루어졌다.(그림 3. 관측망도 참조)

3.3 基線解析

관측된 DATA는 고도기준점 작업규정에 따라서 수원

표 2. 국립지리원 GPS 상시기준점의 WGS-84 좌표

구 분	좌 표
X	-3062023.4499
Y	4055448.1755
Z	3841819.4403

국립지리원내의 GPS 상시점을 기준으로 각 session별로 기선해석을 하였다. 기선해석은 표 2와 같이 GPS 상시점의 WGS-84좌표를 이용하였으며, 기선해석은 IGS 정밀력을 이용하였다.^{7,8)}

IGS정밀력은 SP3의 Format으로 되어 있어 본 관측의 기선해석 프로그램인 GPSurvey 2.3에서 인식할 수 있는 EF18 Format으로 전환하였다.^{9,10)} 통상적으로 일반력의 정확도는 10 m정도이지만 정밀력의 경우 1 m이내이므로 보다 높은 기선해석의 정확도를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.^{12,13)} 기선해석 후 각각의 점들에 대한 상호 GPS 관측 신뢰도를 점검하면 각 점에 있어서 1 cm이내의 폐합차를 이루나 경위도 원점에 포함된 망의 경우 1 cm이상의 폐합차를 보였다. 이것은 경위도원점의 4 m 앵글위에 위치한 수신기가 환경적인 요인(바람, 진동 등)으로 인하여 미묘한 움직임이 있었음을 알 수 있다. 또한, 각 삼각점의 관측상태를 점검하면 국립지리원내의 경위도원점의 경우 앵글위라는 관측조건과 삼각점주변 복서, 북동방향으로 수목이 우거져 있고, VLBI 및 상시점의 경우에도 거의 비슷한 관측상황이었다. 효원공원내의 NGI3 번점 역시 주변의 수목 때문에 GPS DATA의 수신에 양호한 상태라고 할 수 없다. 또한 최근에 들어 늘어나는 전자파의 간섭 또한 대도시주변의 GPS관측에 있어서 DATA에 많은 영향을 미친 것으로 판단된다.

4. GPS를 利用한 方位角決定의 妥當性 檢討

4.1 GPS方位角의 概念

GPS를 이용한 방위각결정의 타당성을 검토하기 위해

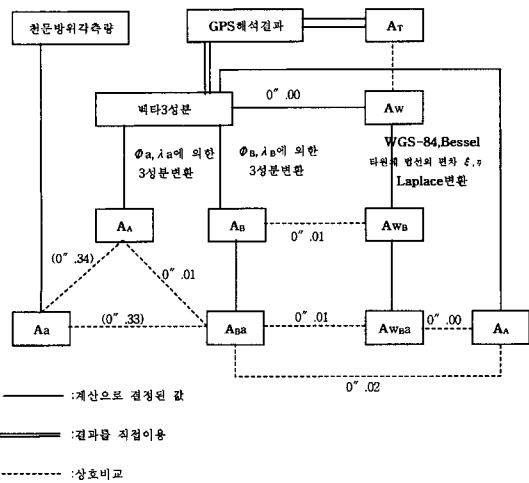


그림 4. GPS측량과 방위각의 개념

A_{WBa} : 측지방위각(A_{WB})에 라플라스보정을 하여 구한 천문방위각
 A_T : GPS3차원 기선해석 결과에서 직접 구한 측지방위각
 A_A : GPS3차원 기선벡터와 Φ_a, λ_a 를 이용하여 구한 천문방위각
 A_{Ba} : 측지방위각(A_B)에 라플라스보정을 하여 구한 천문방위각

여 (1) GPS관측으로 구한 천문방위각과 T-4로 관측하여 결정된 천문방위각을 비교검토하고, (2) 각종 좌표계의 경위도와 GPS 벡터 3성분에서 구한 방위각(천문, 측지)을 상호 비교하는 2가지 방법을 선택하였다.

(1) 기존방법과 비교고찰 방법 : GPS관측 및 Laplace 조건식으로 구한 천문방위각과 직접 천문측량으로 구한 천문방위각을 비교

(2) 각종좌표계의 상호비교 방법 : 각종좌표계의 경위도와 GPS 벡터 3성분에서 구한 방위각(천문, 측지)을 상호 비교

이 2가지의 방법의 개념은 그림 4와 같다. 각종방위각의 계산에 대하여는 서로 다른 좌표계간의 scale error 및 회전을 무시할 수 있기 때문에 좌표계의 평행성은 유지된 것으로 정의하였다.

GPS 해석결과에서 직접 구한 방위각은 WGS-84 타원체상에서의 방위각이기 때문에 그대로 비교할 수 없다. 따라서, GPS기선벡터 3성분을 임의점의 임의좌표계(Bessel, WGS-84, 천문)에 있어서 수직선의 방향을 천정으로 하는 국소지평좌표계로 표현하고, 이 남북성분과 동서성분에서 구한 방위각을 임의좌표계의 방위각으로 가정하였다. 예를 들어 Bessel 좌표계를 사용하여 구한 방

위각의 경우 라플라스 방위와 비교하고, WGS-84좌표계를 사용하여 구한 방위각의 경우 GPS해석결과에서 직접 구한 방위각과 비교하였다.

4.2 천문측량 성과와 比較檢討

기존방법과의 비교는, 1980~1985년에 수원원점에서 실시된 천문관측으로 결정된 원점방위각($A_{a(suwon \rightarrow YI-21)}$)을 기준으로 하여 개념도(그림 4 참조)에서 A_a 와 A_{Ba} 및 A_a 와 A_A 의 비교를 하였다.

(1) A_a 와 A_{Ba} 의 비교

수원원점에 있어서 천문방위각관측의 확률오차는 $\pm 0''.148$ (표준오차 $\pm 0''.148$)이고 통상 1등 천문방위각 관측의 표준편차가 $\pm 0''.30$ 이다. 또, 천문방위각관측과 GPS 관측과의 시간간격이 약 15년이 되고 그 사이 표석이동도 고려해야 하기 때문에 이들 각종 오차를 감안하면, A_a 와 A_{Ba} 가 양호하게 일치하고 있다.

또한, GPS관측으로 구한 A_B 최확치의 표준편차가 $\pm 0''.030$, A_B 에서 A_{Ba} 로 변환하기 위한 Laplace보정수의 정확도는 천문경위도관측에서 결정된 Φ_a, λ_a 최확치의 표준편차가 $0''.1$ 일 때 약 $0''.07$ 가 되어 A_{Ba} 가 천문관측으로 구한 천문방위각 A_a 보다 고정확도로 결정된 것을 알 수 있다.

(2) A_a 와 A_A 의 비교

A_A 의 최확치의 표준편차가 $\pm 0''.023$ 으로 대단히 작고 이 방법은 GPS기선벡터 3성분을 천구좌표계의 3성분으로 변환하여 직접 천문방위각 A_A 를 구할 수 있기 때문에 A_a 와 A_{Ba} 의 비교방법 보다 간단하며 정확도면에서 거의 유사한 값이다.

(1), (2)의 어느 쪽 방법을 이용해도 GPS관측으로 고정도의 천문방위각 즉, 새로운 원방위각의 결정이 가능하다는 것을 알 수 있다.

4.3 各種座標界의 좌표값을 이용한 比較檢討

각종좌표계간 상호 비교는 개념도(그림 4 참조)의 A_T 와 A_W, A_B 와 A_{WB}, A_{Ba} 와 A_{WBa}, A_A 와 A_{Ba} 에 대하여 실시하고 그 결과에 대하여 비교고찰하였다.

(1) A_T 와 A_W 비교

표 3. A_a 와 A_{Ba} 의 비교표

A_{Ba}	A_a	$A_{Ba}-A_a$
170° 58' 17".8386	170° 58' 18".190	-0".3514

표 4. A_a 와 A_A 의 비교표

A_A	A_a	$A_A - A_a$
170° 58' 17".8376	170° 58' 18".190	-0".3524

표 5. A_T 와 A_W 의 비교표

$A_{T(new)}$	$A_{W(new)}$	$A_{T(new)} - A_{W(new)}$
170° 58' 23".8154	170° 58' 23".8129	0".0025

표 6. A_B 와 A_{WB} 의 비교표

A_B	A_{WB}	$A_B - A_{WB}$
170° 58' 28".4162	170° 58' 28".4163	+0".0001

표 7. A_{Ba} 와 A_{WBa} 의 비교

A_{Ba}	A_{WBa}	$A_{Ba} - A_{WBa}$
170° 58' 24".2029	170° 58' 24".2030	+0".0001

A_T 는 GPS해석에서 직접 구한 측지방위각이고, A_W 는 GPS해석에서 구한 벡타 3성분과 WGS-84좌표계의 경위도를 이용하여 구한 측지방위각이다. GPS해석에서 채용하고 있는 좌표계는 WGS-84이기 때문에 $A_T - A_W$ 가 거의 0이 되는 것을 보면 GPS해석결과에 의한 벡타 3성분과 각종좌표계의 경위도를 이용하여 측지방위각에 변환하는 관계식이 GPsurvey Version 2.3 있어서도 같은 식이 이용되는 것으로 판단된다. 또한, A_T 의 최확치의 표준편차가 $\pm 0".024$, A_W 의 최확치의 표준편차가 $\pm 0".025$ 이다.

(2) A_B 와 A_{WB} 비교

A_B 는 GPS해석에서 구한 벡타 3성분과 Bessel좌표계의 경위도를 이용하여 구한 측지방위각이다. 또, 측지방위각 (A_{WB})은 A_W 에 수원 원점에 있어서 WGS-84 좌표계의 경위도와 Bessel 좌표계의 경위도에서 좌표계간의 편차 (ξ, η)를 산출하고, Laplace 조건식에 의하여 보정하여 구한 것이다. 이 결과 A_B 와 A_{WB} 는 극히 양호하게 일치하고 있다. A_B 의 최확치의 표준편차는 $\pm 0".030$, A_{WB} 의 최확치의 표준편차는 $\pm 0".0254$ 이다.

(3) A_{Ba} 와 A_{WBa} 비교

A_{Ba} 와 A_{WBa} 는 전항(2)의 측지방위각 A_B 및 A_{WB} 에 Laplace 조건식에 의한 보정을 실시하여 구한 천문방위각이다. 이 Laplace 보정수는 A_B , A_{WB} 에 대하여 공통이기 때문에 이 교차와 정확도에 대하여 전항(2)와 완전히 일치한다. A_{Ba} 와 A_{WBa} 의 2가지 방법으로 천문방위각을

표 8. A_{Ba} 와 A_A 의 비교차

A_{Ba}	A_A	$A_{Ba} - A_A$
170° 58' 24".2029	170° 58' 24".2030	+0".0001

구해도, 극히 양호한 결과가 얻어지는 것을 알 수 있다. 또한 후자는 A_W 에 2회의 Laplace 보정을 한 것으로 오차가 전자보다 크다.

(4) A_{Ba} 와 A_A 비교

A_A 는 GPS 해석에서 구한 벡타 3성분과 천문경위도 Φ_a, λ_a 를 이용하여 구한 천문방위각이다. 개념도(그림 4 참조)의 A_{Ba} , A_{WBa} 및 A_A 의 3가지는 이론적으로 일치해야 할 성질의 것이며, 3가지 모두 신원방위각의 결정에 사용 가능하다. 단, 이들 천문방위각을 계산하기 위한 A_{Ba} 에 1회, A_{WBa} 에 2회의 Laplace 조건식에 의한 보정이 필요하다. A_A 경우 Laplace 보정을 필요로 하지 않는다. 그러나 A_A 의 최확치의 표준편차는 $\pm 0".023$ 이고, 가장 간단한 계산으로 신원방위각의 결정이 가능하다.

5. GPS를 이용한 新原方位角의 決定 및 正確度分析

5.1 GPS를 이용한 新原方位角

GPS관측을 통하여 결정된 방위각을 천문방위각과 비교검토한 결과, GPS관측에서 구해진 기선의 방위는 데오달라이트로 구한 방위각 관측결과와 기하학적으로 동일한 의미이고 관측정확도도 만족스러운 것으로 판단되어 GPS를 이용하여 다음과 같이 신원방위각을 결정하였다. 원방위점의 폐점에 따라서 신원방위점으로 용인 22(YI 22)를 선정하였다. 신원방위각을 새로운 정밀 측지방의 실용성과에 일치시킬 필요가 있기 때문에 신 실용성과에 기초한 측지경위도(ϕ_b, λ_b) 및 천문경위도(Φ_a, λ_a)를 사용하였으며, 4장의 연구결과를 토대로 신원방위각의 결정에는 다음 3가지 방법을 채택하고 검토하였다.

(1) GPS 기선벡타 3성분(WGS-84)을 Bessel 좌표계의 3성분으로 변환하고 이 남북성분과 동서성분에서 측지방위각 A_B 를 구한다. 이 값에 Laplace 조건식에 의한 보정을 하여 천문방위각 A_{WBa} 를 구하고 신원방위각으로 한다.

(2) GPS 기선벡타 3성분(WGS-84)과 Φ_w, λ_w 을 이용하여 측지방위각 A_W 를 구하고, 다음에 수원원점에 있어

서 WGS-84와 Bessel 좌표계상의 법선편차(ξ, η)을 산출하고, Laplace 조건식에 의한 보정을 하고 Bessel 좌표계상의 측지방위각 A_{WB} 을 구한다. 다시 이 값에 Laplace 조건식에 의한 보정을 하여 천문방위각 A_{WBa} 을 구하고 신원방위각으로 한다.

(3) GPS 기선 벡타 3성분(WGS-84)과 천구좌표계의 경위도 Φ_a, λ_a 을 이용하여 천문방위각 A_A 을 구하고 신원방위각으로 한다.

5.2 新原方位角의 正確度 分析

천문방위각과 측지방위각의 관계(식1)를 이용하여 오차전파식을 적용하면 다음과 같다.

$$dA_a^2 = \left(\frac{\partial A_a}{\partial A_g}\right)^2 dA_g^2 + \left(\frac{\partial A_a}{\partial \lambda_g}\right)^2 d\lambda_g^2 + \left(\frac{\partial A_a}{\partial \lambda_a}\right)^2 d\lambda_a^2 + \left(\frac{\partial A_a}{\partial \Phi_g}\right)^2 d\Phi_g^2 + \left(\frac{\partial A_a}{\partial \Phi_a}\right)^2 d\Phi_a^2 + \left(\frac{\partial A_a}{\partial \alpha}\right)^2 d\alpha^2$$

$$dx_1 = \frac{\partial A_a}{\partial A_g} = 1 + \tan\alpha \{ (\Phi_a - \Phi_g) \cos A_g + (\lambda_a - \lambda_g) \cos \Phi_a \cdot \sin A_g \}$$

$$dx_2 = \frac{\partial A_a}{\partial \lambda_a} = \sin \Phi_a - \tan \alpha \cdot \cos \Phi_a \cdot \cos A_g$$

$$dx_3 = \frac{\partial A_a}{\partial \lambda_g} = -\sin \Phi_a + \tan \alpha \cdot \cos \Phi_a \cdot \cos A_g$$

$$dx_4 = \frac{\partial A_a}{\partial \Phi_a} = (\lambda_a - \lambda_g) \cos \Phi_a + \tan \alpha \cdot \sin A_g + \tan \alpha (\lambda_a - \lambda_g) \cos A_g \cdot \sin \Phi_a$$

$$dx_5 = \frac{\partial A_a}{\partial \Phi_g} = -\tan \alpha \cdot \sin A_g$$

$$dx_6 = \frac{\partial A_a}{\partial \alpha} = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \{ (\Phi_a - \Phi_g) \sin A_g - (\lambda_a - \lambda_g) \cos \Phi_a \cdot \cos A_g \}$$

이상의 식에 측지방위각, 천문경위도, 측지경위도 및 표고의 표준편차를 대입하고, 천문방위각의 표준편차를 구하면 다음과 같다.

$$A_a^2 = 0.999999^2 \times (3.0566E - 06)^2 + 0.81574^2 \times (2.7778E - 05)^2 + (-0.617574)^2 \times (1.1111E - 06)^2 + (-6.099777E - 02)^2 \times (2.7778E - 05)^2 + (-2.608505E - 02)^2 \times (9.2593E - 07)^2 + (-1.294642E - 02)^2 \times (1.305310E - 05)^2$$

표 9. 신원방위각의 비교표

신원방위각의 종류	성과치	최확치의 표준편차	비고
A_{Ba}	119° 52' 42".1956	±0".070	suwon→YI22
A_{WBa}	42".1967	±0".070	suwon→YI22
A_A	42".1964	±0".080	suwon→YI22
최대교차	0".0042	±0".010	

$$= 3.070006592E - 10$$

$d A_a = 1.752143E(\text{deg}) = 0.0631''$ 즉, 천문방위각의 표준오차는 약 0".07이다.

5.3 新原方位角 決定

표 9와 같이 3가지의 신원방위각 후보의 성과치의 최대교차 0".0042, 최확치의 표준편차의 최대교차는 ± 0".010로 상당히 고정확도로 결정되었다. 따라서 이 값들은 모두 천문관측에 의한 신원방위각 결정을 대체하는 신원방위각(천문방위각)으로 채용될 수 있는 것으로 판단된다.

또한, GPS 관측에 있어서 기선해석 결과를 사용하여 1점고정(수원고정)의 3차원 망조정 계산을 실시하였다. 이 조정결과에 측지방위각도 포함되어 있기 때문에 이 값을 A_B 에서 A_{Ba} 에 변환할 때 사용하였다. Laplace 보정수를 이용하여 천문방위각(A_a)을 구하면 다음과 같다.

$$A_{g(\text{suwon} \rightarrow \text{YI22})\text{adjust}} = 119^\circ 52' 46".1837$$

(1점고정 3차원망 조정계산결과)

$$\text{Laplace 보정수} = -4".0365$$

$$A_{a(\text{suwon} \rightarrow \text{YI22})\text{adjust}} = 119^\circ 52' 42".1472$$

A_a adjust의 값은 최대교차(A_{Ba} 와 비교)가 약 0".0495, 최소교차(A_A 와 비교)가 약 0".0453이다. 이 교차는 주로 기선벡타 3성분의 관측치와 망조정계산 결과, 기선벡타 3성분에 각각 보정하였기 때문이다.

제시된 3가지의 신원방위각에 대하여 다양한 조사 및 검토를 하였으나, 모든 결과가 교차 0".0042의 범위에 있고 오차도 천문관측 결과의 1/3 정도이다. 따라서 본 연구에서는 계산과정이 가장 단순하여 계산오차가 가장 적고, 3차원 망조정계산 결과에서 구한 천문방위각(A_a (adjust))과 가장 양호하게 일치하여 [$A_a = 119^\circ 52' 42".1964 \pm 0".080$]을 신원방위각으로 결정하였다.

6. 結 論

우리 나라의 원방위점(동학산)이 주변지역의 개발로 인하여 시통이 불가능하게 되어 최신기술인 GPS를 활용하여 방위각 결정의 타당성을 검토하고, 우리 나라 실정에 맞도록 GPS를 이용한 방위각결정에 관한 작업규정을 수정·보완하여 제시하였다. 또한, 제시된 규정에 따라서 신원방위점을 설정하기 위한 GPS관측망을 구성하고 관측한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 경위도원점의 천문경위도, 측지경위도, 원방위각, GPS 관측치를 이용하여 GPS관측에 의한 방위각 결정의 타당성을 입증하고, 그 결과를 토대로 우리 나라 실정에 맞는 GPS를 이용한 방위각결정에 관한 작업규정을 제시하였다.

(2) 각 좌표계의 각종 좌표치를 이용하여 방위각을 변환하는 관계식이 성립하는 것이 관측치에 의하여 증명되었다.

(3) GPS의 해석결과에 의한 방위각(A_T)을 WGS-84좌표계와 Bessel 좌표계간의 법선편차(ζ, η)를 고려하면 Bessel 타원체상의 방위각으로 변환 가능하며 타 좌표계로의 변환도 가능하다.

(4) GPS에 의한 천문방위각을 구하는 계산방법은 3가지이나 GPS 벡터 3성분과 천구좌표계의 경위도를 이용하여 구하는 방법이 최적으로 판단되어 이 방법으로 결정된 값을 신원방위각으로 결정, 제시하였다.

감사의 글

본 논문에 사용된 자료제공 및 귀중한 조언을 주신 국

립지리원 관계자 및 (주)한국해양과학기술 측지부에 감사드립니다.

참고문헌

1. 안철호, “우리 나라 정밀측지망 설정에 관한 연구”, 국립지리원, 1985.
2. Keizo Nemoto *et al.*, “GPSによる測地方位角の決定について”, 일본국토지리원 시보 No 78, pp. 1-9.
3. 조홍목, GPS에 의한 국가 정밀측지망의 정밀도 제고 방안, 안성산업대 대학원 석사논문, 1998.
4. 이용창, 이용옥, “연직선편차와 천문좌표 산정을 위한 GPS의 적용연구”, 한국지형공간 정보학회지, 제5권 제1호, 1997, pp. 57-70.
5. 국립지리원, “GPS에 의한 정밀1차 기준점측량 작업규정”, 국립지리원, 1994.
6. 최윤수, “정밀 1차 기준점의 실용성과 결정”, 국립지리원, 1998.
7. 건설성 국토지리원, “고도기준점측량 작업규정”, 1997.
8. 최윤수, 사재광, 조홍목, 박병욱, 김 응, “정밀(IGS)력을 이용한 장기선 해석 및 전국망 성과분석”, 한국측지학회지, 제16권 제1호, 1997, pp. 51-58.
9. Trimble Navigation Ltd., “GPS Surveyor's field guide”, Trimble NavigationLtd., Sunnyvale, California, 1992.
10. Trimble Navigation Ltd., “Advanced Processing Topics”, Trimble Navigation Ltd., Sunnyvale, California, 1990.
11. Trimble Navigation Ltd., “TRIMNET PLUS”, Trimble Navigation Ltd., 1992.
12. B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, J. Collins, “Global Positioning System”, Springer-Verlag, Wien, New York, 1997.
13. 土屋 淳의 1인, “GPS測量の基礎”, 社團法人 日本測量協會, 東京, 日本, 1996.