한국측량학회지, 제 23권 제 2호, pp. 101~108(2005년 6월 30일)

무선인터넷기반의 DGPS를 이용한 동체의 자세결정 성능평가

Error Assessment of Attitude Determination Using Wireless Internet-Based DGPS

이홍식[1] · 박준구[2] · 임삼성[3]

Lee, Hong Shik · Park, Jun Ku · Lim, Sam Sung

Abstract

Inertial Navigation System has been used extensively to determine the position, velocity and attitude of the body. An INS is very expensive, however, heavy, power intensive, requires long setting times and the accuracy of the system is degraded as time passed due to the accumulated error. Global Positioning System(GPS) receivers can compensate for the Inertial Navigation System with the ability to provide both absolute position and attitude. This study describes a method to improve both the accuracy of a body positioning and the precision of an attitude determination using GPS antenna array. Existing attitude determination methods using low-cost GPS receivers focused on the relative vectors between the master and the slave antennas. Then the positioning of the master antenna is determined in meter-level because the single point positioning with pseudorange measurements is used. To obtain a better positioning accuracy of the body in this research, a wireless internet is used as an alternative data link for the real-time differential corrections and dual-frequency GPS receivers which is expected to be inexpensive was used. The numerical results show that this system has the centimeter level accuracy in positioning and the degree level accuracy in attitude.

Keywords : Euler Angle, Wireless Internet, Narrow-Lane, Wide-Lane, Integer ambiguity

요 지

관성항법시스템은 항체의 자세, 속도 및 위치정보를 획득하기 위하여 폭넓게 사용되어 왔다. 그러나 관성센서는 매우 고가이며, 무겁고, 시간이 경과함에 따라 센서의 오차가 누적되어 발산하게 되는 단점이 있다. 한편 GPS를 이용한 항법시스템은 오차의 누적이 없고, 위성의 가시성만 확보된다면 빠르게 항체의 속도, 위치정보를 획득할 수 있으며, GPS 안테나 배열을 이용하면, 항체의 자세요소도 계산이 가능하다. 본 연구에서는 중저가 GPS 수신기의 안테나 배열을 사용하여 항체의 위치측위 정확도 및 자세 정확도 모두를 개선시키기 위한 방법을 연구하였다. 중저가형의 GPS 수신기 안테나 배열을 사용한 자세 결정 방법은 기준과 보조 안테나 사이의 상대적인 벡터에 초점을 맞추었다. 기준 안테나의 위치는 의사거리 측위로 한 단독 측위가 사용되었기 때문에 미터 수준으로 결정된다. 또한 항체의 측위 정확도 향상을 위해, 무선 인터넷을 이용하여 실시간 차분 보정을 실시하였으며, 중저가의 2주파 GPS 수신기를 사용하였다. 본 연구의 결과는 측위에서 센티미터 수준의 정확도를, 자세결정에서 도 수준의 정확도를 가지는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 무선인터넷, 오일러 각, 축소파장, 확장파장, 모호정수

1. 서 론

단일주파수 중심의 GPS 수신기를 이용한 동체의 자세를 결정하는 연구가 지난 수년간 진행되어 왔다. GPS를 이용한 자세 결정에서는 동체에 부착된 안테나간의 상대 기선벡터를 반송파 관측치의 이중차분으로 결정하였으

1) 정회원 · 인하대학교 지리정보공학과 석사과정(E-mail:icarusalone@korea.com)
2) 연결저자 · 정회원 · 인하대학교 지리정보공학과 박사과정(E-mail:june@inhaian.net)
3) 정회원 · 인하대학교 지리정보공학과 부교수(E-mail:slim@inha.ac.kr)

며, 이중차분 시 기준안테나의 위치를 코드의사거리 관측을 이용하여 대략적으로 결정한다. 코드 의사거리를 이용할 경우 기준안테나의 절대 위치정확도는 미터(m)급으로 결정되며, 그로 인한 동체의 절대 위치정확도 역시 미터(m)급으로 결정된다(Gang Lu, 1995). GPS가 동체의 위치와 속도의 제공과 함께 2개 이상의 안테나 배열을 이용하여 기존의 관성항법시스템을 보완하려 한다면, 상대 기선벡터를 이용한 자세뿐만 아니라, 위치에 대한 정확도 역시 동시에 높일 수 있어야 한다. 실시간으로 이동체의 정확한 위치벡터결정은 기준국으로부터 GPS 보정정보를 수신 받아야 가능하며, 실시간 DGPS를 위한 보정정보를 전송하기 위한 통신수단은 라디오 모뎀이 주로 사용되어 왔다. 라디오 모뎀을 이용할 경우 메시지 전송거리의 제약과 주변 신호 간섭에 의한 불안정성, 지형지물에 의한 전파차단 및 추가 장비의 구입 등의 여러 단점들이 존재한다. 한편, TCP/IP기반의 인터넷을 이용한 DGPS는 라디오 모뎀에 비해 통신거리의 제약이 적고, 추가 장비의 부담 또한 줄어들게 된다.

본 연구에서는 무선 인터넷을 통해 GPS 보정정보 표준 포맷인 RTCM 정보를 수신하여 실시간으로 동체의 절대 위치와 자세를 동시에 결정하였다.

2. 관측식 모델과 모호정수 추정

코드와 반송파 관측치를 이용한 이중차분(DGPS) 관측 모델은 다음과 같이 수학적 모델로 정의될 수 있다.

$$\Phi_1 = \rho + \lambda_1 N_1 + e_1 \quad (1)$$

$$\Phi_2 = \rho + \lambda_2 N_2 + e_2 \quad (2)$$

$$P_1 = \rho + \omega_1 \quad (3)$$

$$P_2 = \rho + \omega_2 \quad (4)$$

여기서, Φ_1, Φ_2 : 이중차분 된 반송파 관측치
P_1, P_2 : 이중차분 된 코드 관측치

이다. 또한 기준국과 이동국간의 기선거리가 근거리(약 10km 이내)일 경우, 이중차분에 의해 공통 오차항인 수신기 시각오차와 전리층 및 대류층 지연오차, 위성간 시각오차가 제거 된다.

2.1 2주파수의 조합

2주파수를 이용하면 주파수를 다양하게 조합할 수 있다. 이중주파수 반송파 위상을 이용한 이중차분 모델의 선형 조합은 스칼라량인 n, m을 이용해서 식 (5)처럼 나타낼 수 있다.

$$\Phi_{n,m} = \frac{n\lambda_2}{n\lambda_2 + m\lambda_1}\Phi_1 + \frac{m\lambda_2}{n\lambda_2 + m\lambda_1}\Phi_2 \quad (5)$$

여기서, Φ_1, Φ_2는 이중차분 된 반송파 관측치이며, Φ_1, Φ_2의 선형조합은 $\Phi_{n,m}$을 이용하여 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi_{n,m} = \rho + \lambda_{n,m} N_{n,m} + \omega_{n,m} \quad (6)$$

여기서, $\lambda_{n,m} = \frac{\lambda_1\lambda_2}{n\lambda_2 + m\lambda_1}$: $\Phi_{n,m}$의 파장 길이
$N_{n,m} = nN_1 + mN_2$: $\Phi_{n,m}$의 모호 정수
$\omega_{n,m}$: $\Phi_{n,m}$의 측정 잡음
ρ : 이중차분 된 위성과 수신기간 기하거리 관측치

이다. 또한 n, m이 스칼라 량이므로, n, m의 값이 달라짐에 따라 반송파 위상의 선형조합을 이용한 관측데이터를 조합할 수 있다.

식 (6)에서 n=1, m=-1이면 Wide-Lane 조합, n=1, m=-1이면, Narrow-Lane 조합이 되며, n=60, m=-77이면, Ionospheric-Free 조합이 된다(Y.Gao and J.F.McLellan, 1996).

2.2 Narrow-Lane 모호정수 추정

자세 결정연구에서 안테나간 상대 기선벡터는 매우 정밀하게 결정되어야 한다. Wide-Lane 기법은 파장의 길이가 86cm로 모호수 추정에서 실수나 정수로 결정될 경우 안테나간 기선거리보다 그 오차 범위가 크므로 본 연구에서 사용된 파장조합은 Narrow-Lane으로 참 모호정수는 다음 과정을 통해 결정된다.

2.2.1 Narrow-Lane 모호 정수 검색범위 결정

Narrow-Lane 모호 정수의 추정은 Ionospheric-Free 조합과 Wide-Lane 조합을 이용하여 다음 식으로 추정될 수 있다.

$$\Phi_{60,-77} = \frac{\lambda_1}{60} N_{60,-77} + \omega_{60,-77} \quad (7)$$

$$N_{60,-77} = \mathrm{int}\left(\frac{60}{\lambda_1}\Phi_{60,-77}\right) \quad (8)$$

$$N_{1,1}^{0} = N_{1,1} - 2*\mathrm{int}(\frac{60N_{1,-1} - N_{60,-77}}{17}) \quad (9)$$

검색범위 R은 오차 공분산에 따라 결정될 수 있다.

$$|N_{1,1} - N_{1,1}^{0}| \le R, \quad R = c\frac{120}{17\lambda_1}\varpi\Phi_{60,-77} \quad (10)$$

여기서, $\varpi\Phi_{60,-77}$는 $\Phi_{60,-77}$의 오차 공분산이다(Y.Gao and J.F.McLellan, 1996).

2.2.2 Narrow-Lane 모호정수 탐색

Narrow-Lane 모호 정수 탐색은 2단계로 수행된다.

첫 번째 단계는 3개의 주요(primary) Narrow-Lane 이중차분 반송파 위상 관측데이터들로부터 수신기의 좌표가 잠재적 모호 정수 후보세트를 위한 최소제곱법(Least-squares adjustment)을 이용하여 계산된다. 그리고 잔여 모호 정수들은 이미 계산된 좌표를 사용하여 계산된다. 잔여 모호 정수들은 다음 테스트를 위해 저장된다.

두 번째 단계에서는 이중차분 반송파 위상의 잔차가 각각의 가능한 모호 정수세트를 위해 계산된다. 최소값을 갖는 모호 정수 세트가 참 모호 정수 세트로 결정된다.

2.2.3 모호 정수의 타당성 검사

이미 결정된 모호 정수가 참인가에 대한 검사과정이 필요한데 타당성 검사 과정은 다음과 같이 세 방법으로 주로 이루어진다.

첫 번째 비율 테스트(Ratio Test)에서는 잔차들의 최소 분산과 두 번째 최소분산의 비율이 주어진 임계값보다 커야 한다. 여기서 임계값의 범위는 1.5~5.0이다. Narrow-Lane의 경우는 3.0이 채택된다. 두 번째 잔차의 통계적 테스트(Statistical Test)에서는 잔차는 통계적으로 수용할 수 있어야 하며, 마지막으로 시간에 따른 일관성 테스트(Consistency Test)에서는 결정된 모호 정수가 시간에 따라 일정해야 한다. 만약 모호 정수 세트가 위의 세 테스트를 통과하면, 그것이 참 모호 정수로 결정된다(Y.Gao and J.F.McLellan, 1996, Zuofa Li and Yang Gao et al., 1997).

2.3 안테나 기선거리의 제약

실시간으로 이동체는 기준국으로부터 GPS 보정정보를 수신받아 DGPS 처리를 실시하지만, 기준국과 이동국의 기선거리와 전송시간, 멀티패스 등의 오차 성분은 자세결정을 위한 위치오차 한계를 만족시키지 못하는 주요 요인들로 작용한다. 자세 결정에서 안테나간 상대기선 벡터의 오차를 최소화 하기 위해서 매 Epoch마다 기선거리에 대한 제약을 주어, 안테나 항법좌표에 반영하였다. 총 관측수는 9개로 DGPS로 결정된 1개의 주(master) 안테나와 보조(slave) 안테나 2개의 (X, Y, Z) 좌표이며, 미지수는 총 6개로 보조안테나 2개의 (X, Y, Z) 좌표이다.

안테나간 기선거리의 조정을 위한 행렬의 구성은 식 (11)과 같으며 관측행렬 $K_{lij} = l_{ij} - IJ_0$로 나타낼 수 있다. 여기서 $J_{9\times6}$는 Jacobian 행렬, $W_{9\times9}$는 가중치 행렬, $X_{6\times1}$는 미지수 행렬, $K_{9\times1}$는 관측행렬, $V_{9\times1}$는 잔차 행렬이다.

$$WJX = WK + WV \quad (11)$$

3. 동체의 위치 및 자세 결정

기존의 GPS를 이용한 자세결정연구에 있어서 안테나간의 반송파 관측치의 이중차분을 통해서 안테나의 정밀 위치를 산출하였다. 안테나간 기선벡터를 결정하기 위해 기준(master) 안테나의 위치를 코드 의사거리 관측치를 이용하여 계산 후, 보조(slave) 안테나들과 이중차분을 실시한다. 이 방식을 취할 경우 안테나간 상대 기선벡터의 정밀도는 양호하지만, 동체의 절대 절대위치의 정확도가 미터(m)급으로 결정된다. 본 연구에서는 이러한 미터(m)급의 위치정확도의 향상을 위해 기존의 기준국 독립적 자세결정 방식과는 달리 기준국에 종속되어 GPS 보정정보를 전송 받아 안테나의 절대 위치를 센티미터(cm)수준으로 결정한 후, 동체의 자세를 결정하는 방식을 시도하였다.

3.1 GPS를 이용한 자세 결정

동체의 자세는 기준 좌표계에 관한 동체 좌표계로의 변환으로 정의되며, 일반적으로 기준 좌표계는 North, East, Up

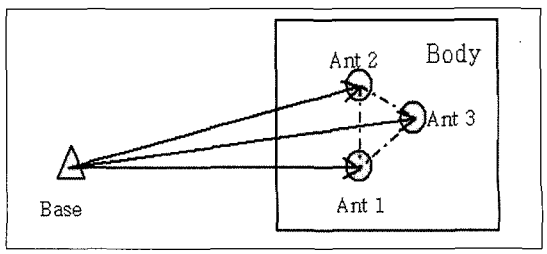

그림 1. 기준국을 이용한 동체의 위치와 자세결정

축으로 정의되는 항법좌표계가 사용된다(Gang Lu, 1995).

동체에 부착된 GPS 안테나들의 항법 좌표계상에서 기선벡터가 결정되면, 좌표변환 행렬을 이용하여 동체 좌표계로 변환이 이루어진다. 두 좌표계의 관계는 좌표변환 행렬을 이용하여 식 (12)와 같이 정의 된다.

$$X_b = R(y, p, r)\, X_{LL} \tag{12}$$

여기서, X_b : 동체좌표
X_{LL} : 항법좌표
y : 요각(yaw angle)
p : 피치각(pitch angle)
r : 롤각(roll angle)

이다.

3.2 동체의 자세 결정

동체에 안테나 1, 2, 3이 부착되어 있다고 가정하자. 안테나 1을 기준(master) 안테나로 가정하고, 안테나 2와 안테나 3을 보조(slave) 안테나라고 하고. 안테나 2가 동체 좌표계의 Y축에 존재한다고 가정하자. 안테나 1과 안테나 2번 기선거리를 L_2, 안테나 1과 안테나 3의 기선거리를 L_3, 안테나 2와 안테나 3의 사이각을 α라고 하면, 안테나 2의 동체좌표는 $(0, L_2, 0)$, 안테나 3의 동체좌표는 $(L_3 \sin\alpha, L_3 \cos\alpha, 0)$으로 결정된다.

기준안테나의 WGS84 경위도좌표를 이용해 항법좌표계의 원점이 결정되며, 그에 따라 보조 안테나들의 항법좌표가 결정된다.

$$yaw = -\tan^{-1}(x_2/y_2),$$
$$pitch = -\tan^{-1}(z_2/\sqrt{x_2^2+y_2^2}) \tag{13}$$

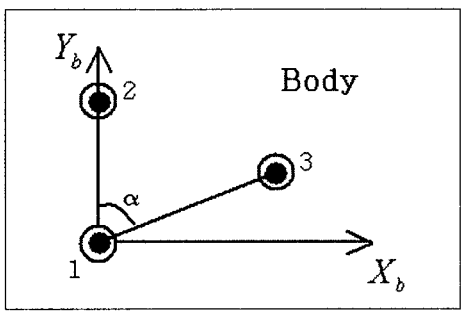

그림 2. 동체 좌표계

안테나의 항법 좌표계상에서의 좌표를 (x_i, y_i, z_i), $i = 1,2,3$이라 하면 요각과 피치각을 식 (13)처럼 직접 계산할 수 있다. 그리고 롤각은 안테나 3의 항법 좌표 (x_3, y_3, z_3)을 요각 만큼 z축에 대하여 회전시키고, 다시 피치각 만큼 x'축을 회전시킴으로써 결정된다. 이렇게 결정된 안테나 3의 좌표를 (x''_3, y''_3, z''_3)라 하면, 마지막 롤각의 회전을 고려한 안테나 3의 동체 좌표와 항법 좌표는 다음과 같은 관계를 가진다.

$$\begin{pmatrix} L_{13}\sin(\alpha) \\ L_{13}\cos(\alpha) \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(r) & 0 & -\sin(r) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(r) & 0 & \cos(r) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x''_3 \\ y''_3 \\ z''_3 \end{pmatrix} \tag{14}$$

식 (14)로부터 롤각은 다음과 같이 결정된다.

$$roll = -\tan^{-1}(z''_3/x''_3) \tag{15}$$

자세각의 직접결정 방법은 안테나의 미리 결정된 동체의 좌표를 필요로 하지 않고, 기준안테나와 보조안테나의 거리와 사이각을 필요로 한다(B.Hofmann-Wellenhof, H.Lichtenegger et al. 1997).

4. 자세 결정 실험

4.1 실험 방법

무선 인터넷 DGPS를 이용하여 동체의 위치와 자세를 결정하기 위해서 크게 기준국, DGPS 서버, 무선 네트워크, 이동국으로 구성될 수 있다. 실험을 위해 기준국을 인하대학교 내 인하기준점에 Trimble 4700을 설치하였고, 동체인 자동차에 NovAtel사의 2주파수 GPS 수신기인 DL4, PwrPak-4G, ProPak-LB과 GPS600 안테나 3대를 설치하였다. 통신모듈은 (주)KTF 기지국망을 이용하여 무선인터넷 서비스를 이용할 수 있는 CDMA 2000 무선 모뎀 n-Key 1x를 이용하였다. DGPS 서버로 전송된 보정정보는 노트북에서 3개의 RS232 통신포트를 지원하는 ㈜세나테크놀로지사의 HelloDevice 400을 이용하여 전송하였다. 그림 3은 실험의 간략한 환경 구성을 나타내고, 그림 4는 하드웨어 구성을 나타낸다. 그림 5는 실험을 위한 안테나의 부착과 수신기의 구성을 나타낸다.

실험은 인하대학교 내에 기준국(1 σ error- 0.5mm)을 설치하고, 기준국 수신기로부터 RTCM 보정메시지 3번과 18번 19번을 RS232 통신을 이용하여 수신 받았다. DGPS 서버는 보정정보의 요청을 대기하고 있다가 이동

국으로부터 보정정보의 요청이 있으면 보정정보를 전송하게 된다. 3개의 이동국 수신기들은 서버로부터 전송된 보정정보를 이용하여 DGPS 처리를 통해 안테나의 절대위치를 결정한다. 3대의 GPS 수신기 위치가 결정되면 기준안테나의 경도와 위도를 원점으로 각 안테나를 항법좌표로의 좌표변환 후, 직접결정 방법으로 동체의 자세를 결정하게 된다.

실험은 그림 6과 같이 인하대학교로부터 기선거리 약 10km 지점까지 기존의 라디오 모뎀의 유효 전송거리에 준하는 기선이 되도록 실험하였다. 인하대학교부터 송도를 거쳐 고잔 지역까지 약 9km의 해안 순환도로를 따라 이동하며, 1초 간격으로 데이터를 취득하면서 동체의 위치와 자세를 결정하였다.

실제 야외 실험 동안에 도로 주위 건물과 가로수, 육교 등 기준국과 이동국의 공통 가시위성수의 확보에 장애를 주는 요인이 존재하였다. 이 경우, 모호정수결정에 실패하여 위치정확도를 저해하는 요인이 되었다. 아래의 그림은 실제 실험 환경에서 매 Epoch 마다 실험에서 결정된 해의 타입들을 보여준다.

그림 7의 세로축 번호는 전체 실험과정에서 기준 수신기의 위치해 결정에 타입들을 나타내고 있다. 세로축의 Solution Type 0은 L1 실수형 모호수로 결정된 위치해, 1은 DGPS 보정정보의 수신실패로 인한 단독측위로 결정된 위치해, 2는 Narrow-Lane 실수형 모호수로 결정된 위치해, 3은 Narrow-Lane 모호정수로 결정된 위치해, 4는 L1 모호정수로 결정된 위치해, 5는 Wide-Lane의 모호정

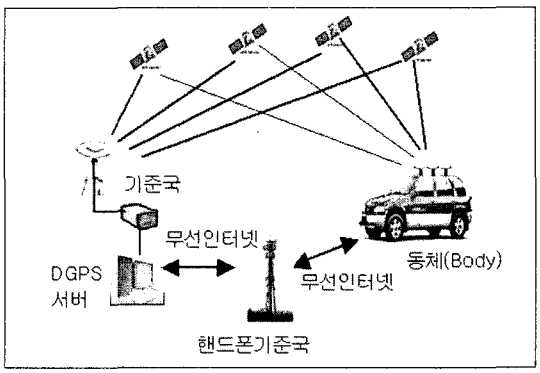

그림 3. 실험의 구성

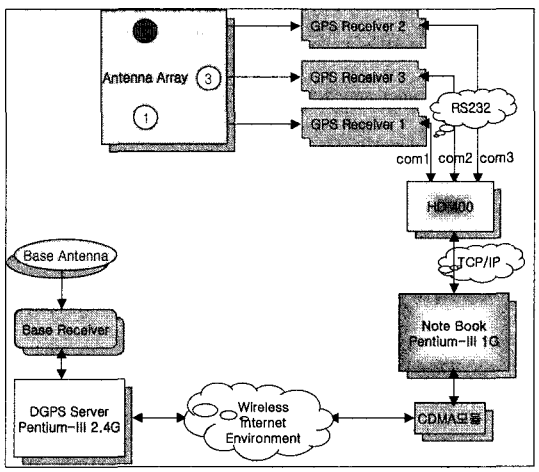

그림 4. 실험의 하드웨어 구성도

그림 5. 실험을 위한 수신기와 안테나 구성

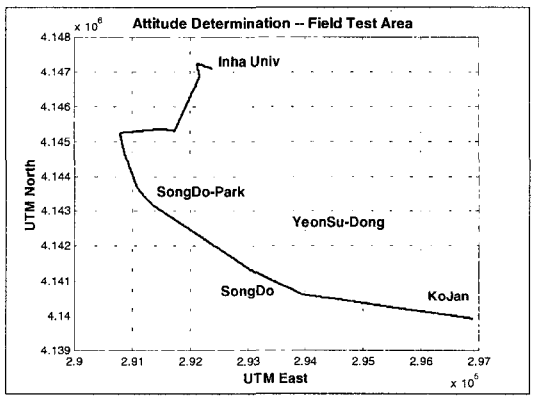

그림 6. 실험지역에서의 동체 궤적

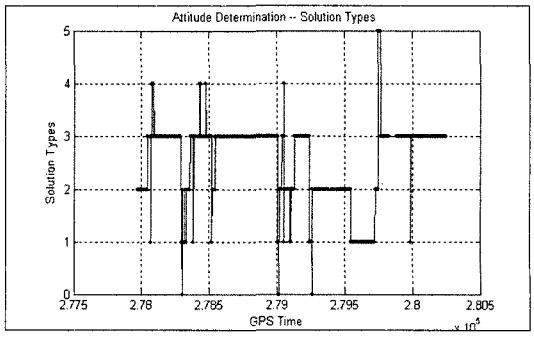

그림 7. 위치해 결정 타입

수로 결정된 위치해를 각각 나타내고 있다.

4.2 실험 결과

인하대학교 기준국부터의 RTCM 3, 18, 19번 보정정보의 전송지연(latency)은 그림 8과 같다. 실제로 무선인터넷을 이용하여 보정정보를 수신 받을 때, 본 실험은 클라이언트가 PCS 기지국을 통해 DGPS 서버에 접속하기 때문에 당시 PCS 사용자의 수와 서버가 존재하는 네트워크의 상황에 따라 전송지연 시간이 증가한다(Janet Brown Neumann, Allan Manz et al.).

그림 7과 같이 실험 기간동안 대부분이 전송지연은 약 3초 이내 이지만, 시간대에 따라서 6초, 많게는 30초 이상까지 지연시간이 존재한다. 라디오 모뎀과 비교하여 전송지연에 따르는 기준국의 관측데이터의 외삽에 의한 오차로 위치정확도가 저하될 수 있다(최선정, 기창돈 외, 2000).

자세정밀도를 분석하기 위해서 실제 측정 경로인 도로의 정밀좌표를 측량해야 하나, 현실적인 측량의 제약으로 인해 실제 측량 데이터의 RMSE를 정밀도 분석의 기준으로 선정하였다. 롤각은 측정된 전체 롤각 관측수의 평균을 참이라 가정하였고, 피치각의 변화는 차량 진행방향의 타원체고에 따라 달라지므로, 기준 안테나의 타원체고의 관측값을 이용하여 아래 식처럼 4차 선형 회귀식을 조성하였다.

$$Height = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e$$

$$pitch = \tan^{-1}\frac{\Delta Height}{D} \qquad (16)$$

여기서 x : 관측시간

$Height$: WGS84 타원체

D : 이동거리

이다.

$$yaw=mx^2+nx+k \qquad (17)$$

$$yaw=px+q \qquad (18)$$

yaw각의 차량의 이동궤적을 직선부와 곡선부로 나누어 곡선회귀식을 식 (17), 식 (18)과 같이 2차와 1차로 조성하였다. 그림 10은 yaw각의 2차선형 회귀곡선을 나타낸다.

그림 11은 안테나간 거리와 사이각을 나타내고 있다. 초기 정밀측량에 의해 안테나 1과 안테나 2의 거리는

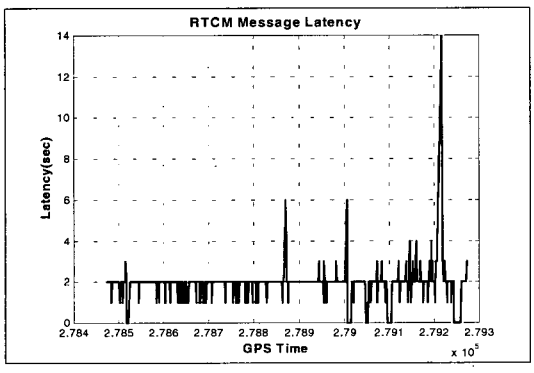

그림 8. RTCM 보정정보의 지연

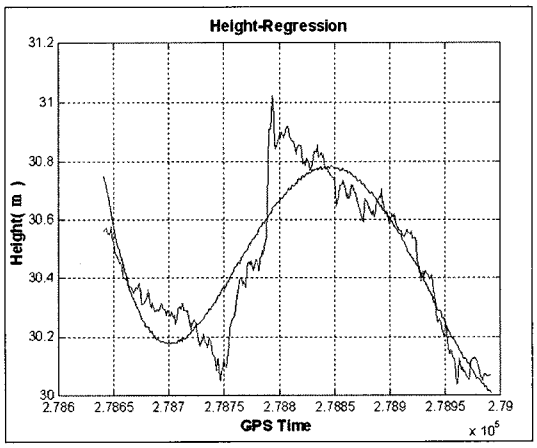

그림 9. 타원체고의 선형회귀곡선

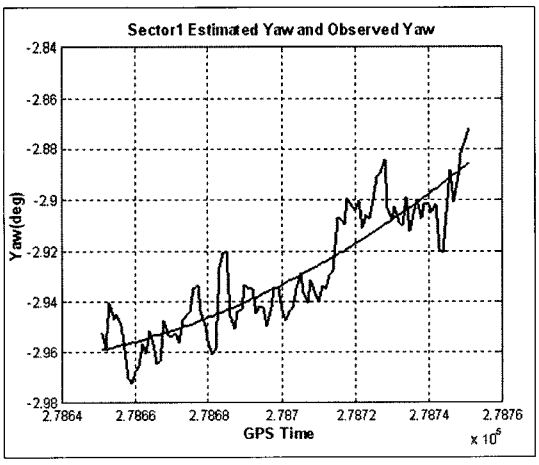

그림 10. yaw각의 2차 선형 회귀 곡선

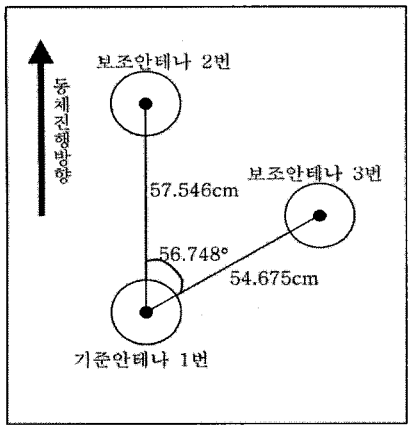

그림 11. 안테나간 거리와 사이각

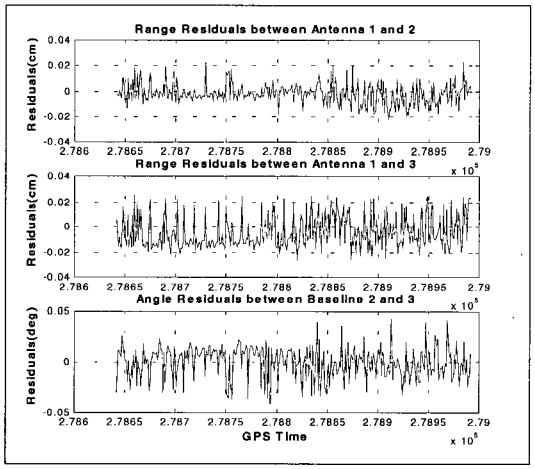

그림 12. 안테나간 기선거리 및 사이각 잔차

57.546cm 안테나 1과 안테나 3의 거리는 54.675cm, 기선의 사이각은 56.748° 이다.

그림 12는 사이클슬립이 없는 위치 측정의 정확도가 양호한 구간에서의 안테나간 기선거리와 사이각의 잔차를 나타내며, 그림 13은 실험으로부터 결정된 동체의 자세각을 나타낸다. 각 안테나의 절대위치 측정 시, 주변환경에 의해 사이클슬립이 발생되거나, 서버와의 접속이 끊겨 보정정보를 수신할 수 없는 상황이 발생되면, 자세각의 오차가 순간적으로 증가함을 확인할 수 있었다.

그림 14는 측정된 동체 자세의 잔차를 나타낸다. 실험에서 측정된 자세각의 RMSE는 롤각 2.3087°, 피치각 2.7718°, 요각은 0.5686°이었다.

기존의 멀티안테나 방식의 자세결정과 달리 개별적인 안테나와 수신기 구성으로 인하여 수신기 하드웨어잡음

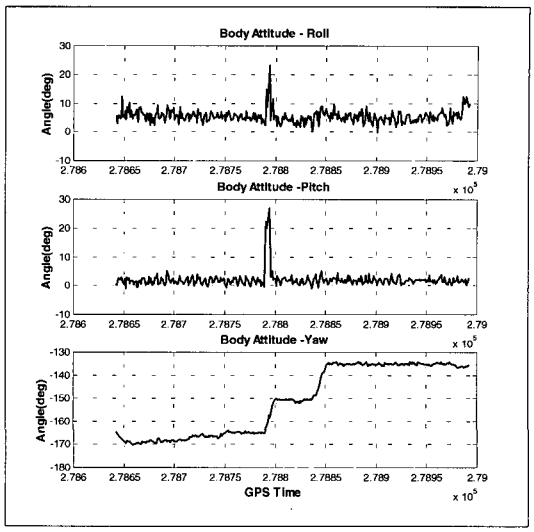

그림 13. 동체의 자세 관측

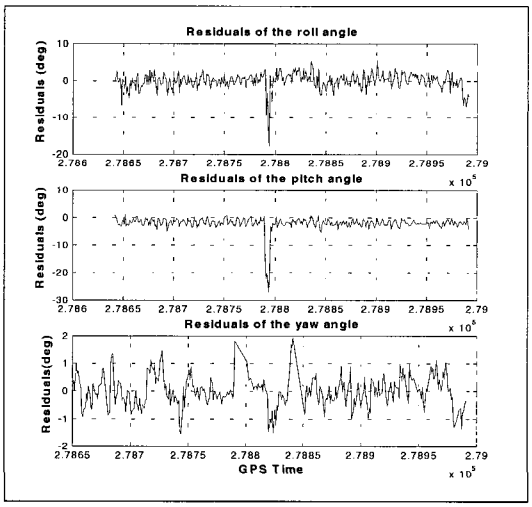

그림 14. 동체 자세의 잔차

과 안테나의 페이지 센터의 변화로 인한 오차가 수반되었다. 분리된 수신기 구성으로 인해, 개별 수신기에서 결정할 수 있는 모호정수 추정과 결정이 독립적이기 때문에, 안테나간 기선벡터의 위치오차로 반영되어, 자세의 직접결정에 있어 동체의 자세오차를 수반하였다.

5. 결 론

본 연구는 2주파 안테나 배열을 이용하여 동체의 위치와 속도 및 자세를 결정하는 연구를 진행하였다. 제안된

자세결정 연구는 기존의 연구와 달리 무선인터넷을 이용하여 실시간 DGPS처리 후, 센티미터 수준의 정확한 절대 위치에 기반하여 동체의 자세를 결정하였다. 실제 실험을 통해서 무선인터넷이 기존의 라디오 모뎀을 충분히 보완할 수 있음을 확인할 수 있었고, 신호간섭과 전송거리측면에서는 무선인터넷이 전송수단으로 더욱 적합하다는 것을 확인할 수 있었다.

GPS를 이용한 동체의 위치와 자세결정이 관성항법 센서를 대체할 수는 없지만, 시간에 따른 오차의 비 누적성, 사용자 비용 절감, 절대좌표의 신속한 결정 측면에서 보면 관성항법장치를 충분히 보완할 수 있음을 확인할 수 있었다.

GPS단독으로는 사이클 슬립, 멀티패스, 가시위성수의 부족으로 인해 동체의 위치와 속도 및 자세의 결정에 실패할 가능성이 있지만, GPS와 관성센서를 통합하는 연구가 진행된다면 항법분야에서 동체를 더욱 효과적으로 추적할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2002학년도 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

박운용, 이인수, 신상철, 곽재하 (2001), Real-time DGPS/DGLONASS에 의한 차량의 동적위치결정에 관한 연구, **한국측량학회지**, 한국측량학회, 제 19권 제 3호, pp. 301-308.

이용창 (2002), GPS 신호의 대류층 지연 예측을 위한 보정모델의 비교, **한국측량학회지**, 한국측량학회, 제 20권, 제 3호, pp. 283-292.

장상규, 홍순헌, 김가야 (2003), RTK-GPS와 TS를 이용한 도로 선형분석 및 GSIS 구축, **한국측량학회지**, 한국측량학회, 제 21권 제 4호, pp. 293-300.

최선정, 기창돈 (2000), 무선 인터넷에 기반한 실시간 DGPS성능 평가, *The 7th GNSS Workshop*, GNSS Council, Seoul, pp. 123-126.

Gang, Lu. (1995), *Development of a GPS Multi-Antenna System for Attitude Determination*, PhD Thesis, University of Calgary, Calgary.

Gao, Y., McLellan, J. F. (1996), An Analysis of GPS Positioning Accuracy and Reliability with Dual-Frequency Data, *Proceedings of ION GPS-96*, ION, Kansas City, Missouri, pp. 945-951.

Janet Brown, Neumann., Allan, Manz., Ford, Thomas J., Orest, Mulyk. (1996), Test Results from a New 2cm Real Time Kinematic GPS Positioning System, *Proceedings of the Institute of Navigation GPS-96*, ION, Kansas City, Missouri, pp. 873-882.

Wellenhof, B. Hofmann., Lichtenegger, H., Collins, J. (1997), *Global Positioning System Theory and Practice*, 4th ed., Springer Wien New York, pp. 68-70.

Zuofa, Li., Yang, Gao., Schleppe, John B. (1997), Fast Narrowlane Ambiguity Resolution : Method and Results, *Proceedings of ION GPS-97*, ION, Kansas City, Missouri, pp. 1767-1772.

(접수일 2004. 6. 12, 심사일 2004. 7. 22, 심사완료일 2005. 6. 27)