

RGPS를 이용한 실시간 차량관제시스템 구현과 오차분석

Development of Real-Time Car Tracking System with RGPS and Its Error Analysis

고 선 준, 이 자 성
(Sun-Jun Ko and Ja-Sung Lee)

Abstract : Stand-alone Global position System(GPS) receiver based on C/A code tracking generates position error of 100m(2dRMS) mainly due to the Selective Availability(S/A) and ionospheric and tropospheric delay errors. The Differential GPS(DGPS) is the most commonly used method for removing those bias range error components. The Relative GPS(RGPS), although somewhat restrictive in its use, is ideally suited to the car monitoring system for improved Automatic Vehicle Location(AVL), especially where the DGPS infrastructure is not available. The RGPS does not require any additional hardware, facility or external infrastructure and can be operated within the system with existing host computer and communication link. This paper presents detailed description of the RGPS concept and its implementation for real-time data processing. Performance of RGPS is evaluated with real data and is compared with DGPS.

Keywords : DGPS, RGPS, real-time car tracking system

I. 서론

Global Positioning System(GPS)의 표준 서비스, 즉 C/A 코드를 이용하는 상용 수신기를 단독으로 사용하는 경우 Selective Availability(S/A)와 전리층의 전파 지연 오차를 포함한 각종 오차의 영향으로 인하여 100m(2dRMS) 정도의 위치오차를 나타낸다[1][2]. 이러한 오차를 축소하기 위한 방법으로 의사거리 측정영역에서 보정치를 생성하는 Differential GPS(DGPS) 기법과 위치해 영역에서 보정치를 생성하는 Relative GPS(RGPS) 기법이 있다. DGPS는 정확한 위치를 알고 있는 기준국에서 추적 가능한 모든 GPS 위성에 대한 의사거리의 오차를 추정하여 인근 사용자에게 전파매체로 전달하고, 사용자는 그 보정치를 수신기에 입력하여 정확한 위치해를 구하는 기법을 말한다[1][2][3][4]. RGPS에서는 같은 위성들을 사용하는 두 개 수신기의 위치해에 나타나는 오차가 대부분 공통성분을 포함하고 있는 사실을 이용하여 두 위치해의 차이를 계산하면 공통오차 성분은 자동적으로 상쇄되고 정확한 상대 위치해를 얻는다[5][6]. 한쪽 수신기의 위치를 미리 알고 있으면 그 위치에 위에서 구한 상대위치를 가산함으로써 다른 수신기의 정확한 절대 위치를 구할 수 있다.

RGPS는 두 수신기의 위치해가 같은 GPS위성들을 사용하여 얻어져야 한다는 제한 때문에 DGPS만큼 널리 이용되지 못하고 있으나, 차량관제시스템과 같은 국부적인 시스템 내에서 매우 경제적이고 효율적으로 이용할 수 있는 이점이 있다. 일반적으로 DGPS시스템을 이용하려면 정밀한 기기와 운영시스템을 갖춘 고가의 기준국과 송출 시스템등의 인프라가 구축되어야 하고, 사용자는 오차보정치를 수신할 수 있는 장치와 DGPS용 수신기를 갖추어

야 한다. 반면, RGPS를 차량관제시스템에 적용한다면 외부 인프라의 도움이나 추가적인 시스템의 구축 없이도 기존의 관제컴퓨터 및 통신망과 저가의 차량용 일반 수신기를 그대로 사용하여 DGPS와 유사한 위치 정확도를 얻을 수 있다. 차량이 자신의 위치를 관제국에 전달할 때 GPS위성의 ID를 추가로 알려주기만 하면 Host 컴퓨터에서 관제국 수신기가 추적한 위성들중 수신된 ID의 위성을 택해 RGPS를 적용하여 그 차량의 위치를 보정하고 지도에 입력한다. 모든 차량이 각각 다른 위성들을 사용하므로 각각의 차량에 대해 별도로 이와 같이 보정해 주어야 하는데, 이러한 절차는 일견 복잡해 보이지만 컴퓨터 프로그램으로 자동적인 처리가 가능하다. 따라서 단순한 소프트웨어의 추가로 기존의 하드웨어를 이용하여 큰 효과를 거둘 수 있다.

본 논문에서는 DGPS와 RGPS의 오차식을 유도하여 이론적인 분석과 비교를 통해 위치보정효과를 예측하고, 실제 데이터를 이용한 실험을 통해 이를 확인한다. 실시간 RGPS기능을 갖춘 차량관제시스템을 실제로 구현하여 주행테스트를 통해 그 성능을 실험하였으며, 자체적으로 DGPS에 가까운 항법정확도를 얻을 수 있음을 확인하였다.

II. DGPS와 RGPS의 원리

1. DGPS

DGPS는 각 위성에 대한 의사거리와 실제거리의 차분을 통해 위성에 기인한 오차성분을 계산, 보정하는 방법이다. 여기서 기준국은 정확한 측지점을 이용하여 실제 거리를 계산하게 된다. 그림 1은 DGPS의 개략적인 원리를 나타낸다. 그림 1에서 x_r, y_r, z_r 은 기준국의 정확한 위치를, x_u, y_u, z_u 는 사용자의 측정된 위치를 나타낸다. 각 수신기 위치에서 i 번째 위성에 대해 측정된 의사거리는 다음과 같다.

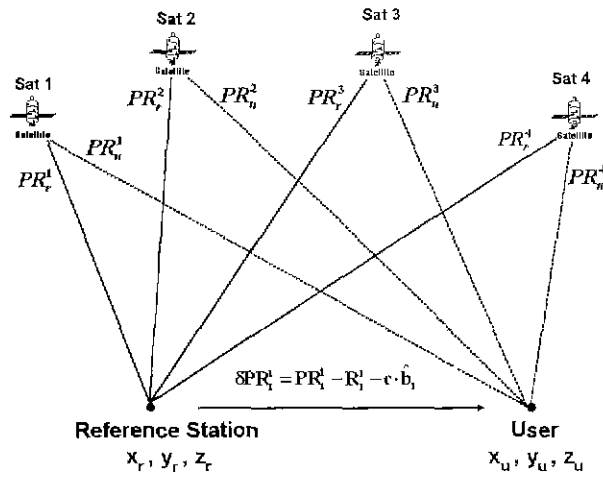


그림 1. DGPS 원리.

Fig. 1. The principle of DGPS.

기준국 : $PR_r^i = R_r^i + c \cdot b_r + v_s^i + v_r^i$ (1)

사용자 : $PR_u^i = R_u^i + c \cdot b_u + v_s^i + v_u^i$ (2)

단,

PR_r^i : 기준국과 i 번째 위성간의 의사거리

PR_u^i : 사용자와 i 번째 위성간의 의사거리

$R_r^i = \sqrt{(x_r - x_i)^2 + (y_r - y_i)^2 + (z_r - z_i)^2}$
: 기준국과 i 번째 위성간의 실제거리

$R_u^i = \sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2}$
: 사용자와 i 번째 위성간의 실제거리

b_r, b_u : 기준국과 사용자의 수신기 시계오차

v_s^i : i 번째 위성에 기인한 의사거리오차

v_r^i, v_u^i : 기준국과 사용자의 수신기 오차 (random noise)

c : 빛의 속도

r : 기준국 식별자

u : 사용자 식별자

여기서, 실제거리 R^i 는 위성과 기준국의 위치로부터 정확히 계산가능하므로, 의사거리와의 차분을 통해 오차성분을 추정할 수 있다. 이 오차성분을 사용자의 의사거리 보정치로 이용한다. 보정치 생성식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \delta PR_u^i &= PR_u^i - R_r^i - c \cdot \hat{b}_r \\ &= v_s^i + v_r^i \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,

δPR_u^i : i 번째 위성에 대한 의사거리 보정치

\hat{b}_r : 기준국 수신기 시계오차 추정치

(3)의 보정치를 이용한 사용자의 의사거리 보정치는 다음과 같다.

$$\hat{PR}(t) = PR_u(t) - [PRC(t_0) + PRC(t_0) \cdot (t - t_0)] \quad (4)$$

단,

\hat{PR} : 보정된 의사거리

PR_u : 사용자가 측정한 의사거리

PRC : 기준국에서 생성된 의사거리 보정치 (= δPR)

\hat{PRC} : 기준국에서 생성된 의사거리변화율 보정치

t : 보정치각

t_0 : 보정치데이터 생성시각

2. RGPS

RGPS는 DGPS와 달리 위치해 영역에서 보정치를 생성한다. 즉, 같은 위성군을 이용하여 계산된 위치해는 같은 위치오차를 가진다는 점을 이용한다. 그림 2는 RGPS의 개략적인 원리를 나타낸다.

(1), (2)에서와 같이 의사거리에 포함되는 위성에 기인한 오차성분은 근접한 모든 수신기에 공통오차성분으로 작용하므로, 같은 위성군을 이용한 근접수신기의 위치해는 같은 방향으로 위치오차가 편향된다. 따라서 기준국에서는 정확히 측지된 위치를 이용하여 편향된 위치오차를 계산할 수 있으며, 사용자측 위치 보정치로 이용하게 된다. 그림 3은 모의실험을 통해 얻은 두 지점에서의 위치오차 편이량이 거의 같음을 알 수 있다.

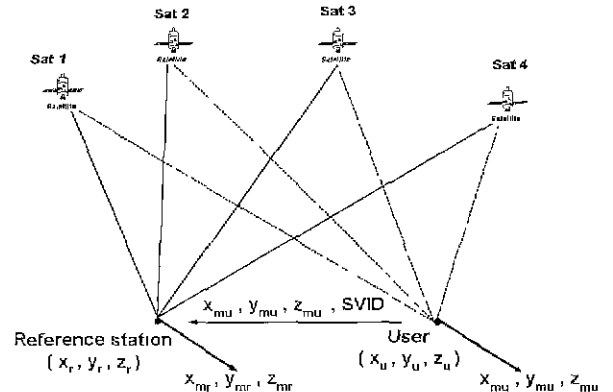


그림 2. RGPS원리.

Fig. 2. The Principle of RGPS.

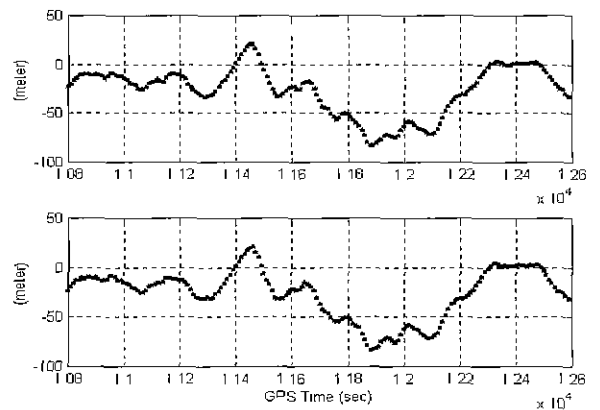


그림 3. 10km 떨어진 두 지점의 위치오차.

Fig. 3. Position errors at two position 10km apart.

RGPS에서의 보정치 생성식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta x &= x_{mu} - x_r \\ \Delta y &= y_{mu} - y_r \\ \Delta z &= z_{mu} - z_r \end{aligned} \quad (5)$$

여기서,

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$: 보정치
 x_{mr}, y_{mr}, z_{mr} : 측정치를 이용한 기준국 위치해
 x_r, y_r, z_r : 정확한 기준국 위치

사용자 위치는 다음과 같이 보정된다.

$$\begin{aligned} \hat{x}_u &= x_{mr} - \Delta x \\ \hat{y}_u &= y_{mr} - \Delta y \\ \hat{z}_u &= z_{mr} - \Delta z \end{aligned} \quad (6)$$

단,

$\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u$: 보정된 사용자 위치
 x_{mr}, y_{mr}, z_{mr} : 측정치를 이용한 사용자 위치해

RGPS는 일반수신기가 제공하는 기능을 그대로 이용하여 간단한 차분의 형태로 보정치를 생성하기 때문에 저가의 장비를 이용하여 DGPS와 유사한 성능을 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다. 하지만, 기준국과 사용자가 동일한 위성조합을 사용해야 하고, 각각의 사용자에 대해 개별적인 보정치를 생성해야 하므로, 계산량의 증가를 초래한다. 그러나, 사용자의 위치를 사용자가 아닌 기준국에서 필요로 하는 관제시스템인 경우, 추가적인 하드웨어 설비없이 관제컴퓨터 내에서 간단한 소프트웨어의 추가로 쉽게 처리할 수 있다[7].

III. DGPS와 RGPS의 오차분석

DGPS와 RGPS는 위성에 기인한 공통오차성분을 제거함으로써 위치오차를 줄인다. 이와같은 오차보정효과를 이론적 측면에서 확인하기 위하여 DGPS와 RGPS의 선형 오차식을 구하고, 이를 단독 GPS 선형오차식과 비교한다[4] [5] [6]. 또 DGPS와 RGPS의 데이터 통신 시 오차로 작용하는 보정치 전송주기와 전송지연시간 그리고 기선거리에 따른 오차분석도 병행한다.

1. 선형오차식에 의한 오차분석

1.1 단독 GPS에 대한 오차식

GPS 측정오차는 위성에 기인한 오차성분인 S/A, 대류층과 전리층 전파지연 오차등과 사용자에 기인한 오차성분인 수신기 잡음, 다중경로오차등으로 구성되며, 의사거리 방향의 벡터로 표현할 수 있다. 따라서 위치오차는 측정오차의 벡터 합으로 나타낼 수 있지만, 그 관계가 복잡한 함수로 표현되므로 일반적으로 선형화한 측정식을 이용, 위치오차를 추정하는 방법을 사용한다 [1]. 의사거리 측정식 (1)을 선형화한 후, 오차항에 대하여 표현하면 다음과 같다.

$$e_m = U_{1i}\delta x + U_{2i}\delta y + U_{3i}\delta z + \delta b, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (7)$$

단,

e_m^i : i 번째 위성과의 의사거리 측정오차(= $v_s + v_r$)
 U_{1i}, U_{2i}, U_{3i} : i 번째 위성으로의 시선벡터
 (line of sight vector)

$\delta x, \delta y, \delta z$: 위치추정오차

δb : 시계오차추정치

(7)을 4개의 위성에 대하여 연립하여 추정오차에 대

하여 풀면,

$$e_p = H^{-1}e_m \quad (8)$$

단,

$$e_p = [\delta x \quad \delta y \quad \delta z \quad \delta b]^T$$

$$e_m = [e_m^1 \quad e_m^2 \quad e_m^3 \quad e_m^4]^T$$

$$H = \begin{bmatrix} U_{1x} & U_{1y} & U_{1z} & 1 \\ U_{2x} & U_{2y} & U_{2z} & 1 \\ U_{3x} & U_{3y} & U_{3z} & 1 \\ U_{4x} & U_{4y} & U_{4z} & 1 \end{bmatrix}$$

이때, 위치오차에 대한 공분산 행렬 Q 는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} Q &= E[e_p \cdot e_p^T] \\ &= H^{-1}E[e_m \cdot e_m^T](H^{-1})^T \\ &= \sigma_E^2 [H^T H]^{-1} \end{aligned} \quad (9)$$

여기서, $E[\cdot]$ 은 기대치 연산자를 나타내고, σ_E 는 의사거리 측정오차의 표준편차이며, e_m 의 각 성분들은 확률적으로 독립이므로 기대치 연산결과는 $\sigma_E^2 \cdot I$ 가 된다. (9)에서 보듯이, 위치오차는 위성의 기하학적 배치상태를 나타내는 H 행렬과 의사거리 측정오차 σ_E^2 으로 결정된다. 여기서, 위성의 기하학적 배치상태로 인한 위치오차편차를 PDOP (Position Dilution of Precision)라 정의하며, 공분산 행렬 Q 의 대각선 제곱합의 제곱근으로 나타낸다. 이러한 PDOP를 이용하여 3차원 위치오차를 나타내면 다음과 같다.

$$(3\text{차원 위치오차}, 1\sigma) = \text{PDOP} \cdot \sigma_E \quad (10)$$

1.2 RGPS에 대한 오차식

먼저 기준국과 사용자가 근접한 경우, 관측행렬 H 는 같다고 볼 수 있으므로, 각 위치오차식을 표현하면 다음과 같다.

$$\text{기준국: } e_{p,r} = H^{-1}e_{m,r} = H^{-1}(v_s + v_r) \quad (11)$$

$$\text{사용자: } e_{p,u} = H^{-1}e_{m,u} = H^{-1}(v_s + v_u) \quad (12)$$

여기서, v_s 는 위성에 기인한 오차성분(Satellite Dependent Range Error, SDRE)을, v_r, v_u 은 각 위치에서의 사용자에게 기인한 오차성분(user dependent range error, UDRE)을 나타낸다. RGPS는 기준국의 오차성분을 사용자측 위치해에서 차분시키는 방식이므로, 위치오차는 측정오차의 차분형태로 표현된다. (11)과 (12)를 차분시키면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \delta e &= e_{p,u} - e_{p,r} \\ &= H^{-1}(v_u - v_r) \end{aligned} \quad (13)$$

위 식에서와 같이 각 위치에서의 공통오차성분인 v_s 가 제거됨을 확인할 수 있다. 일반적으로 v_s 는 v_r 이나 v_u 에 비해 큰 값을 나타내므로, 단독 GPS 위치오차를

크게 줄일 수 있다. 여기서, 각 사용자에게 기인한 오차성분인 v_r, v_u 는 확률적으로 독립이므로 공분산 행렬 Q 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Q = E[\delta e \cdot \delta e^T] \tag{14}$$

$$= (\sigma_r^2 + \sigma_u^2) [H^T \cdot H]^{-1}$$

또 3차원 위치오차는

$$(3차원 위치오차, 1\sigma) = PDOP \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_u^2} \tag{15}$$

가 됨을 알 수 있다.

1.3 DGPS에 대한 오차성

DGPS에서도 (13)과 동일한 형태를 취하므로, 이론적 위치오차는 같다고 할 수 있다. 하지만, 일반적으로 DGPS전용 기준국에서는 여러 가지 기법(원자시계로 정확한 시계오차항추정, 축적된 데이터의 필터링을 통한 의사거리의 정확한 측정등)을 이용하여 기준국에서 기인한 UDRE 오차성분(σ_r^2)이 대부분 제거된 보정치를 생성한다. 따라서 DGPS에 경우,

$$Q = \sigma_u^2 [H^T \cdot H]^{-1} \tag{16}$$

와 같이 표현할 수 있으며, 3차원 위치오차는 다음과 같다.

$$(3차원 위치오차, 1\sigma) = PDOP \cdot \sigma_u \tag{17}$$

1.4 각 알고리즘의 오차비교

각각의 위치오차를 비교해 볼 때, 단독 GPS, RGPS, DGPS의 순서로 오차가 작아짐을 알 수 있다. 이것은 표준편차의 크기를 비교함으로써 확인할 수 있다. 다음은 각각의 표준편차를 비교한 것이다.

$$\sigma_E \gg \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_u^2} \gg \sigma_u \tag{18}$$

위에서와 같이 σ_E 는 상대적으로 큰 오차성분인 SDR에항을 포함하므로, RGPS와 DGPS보다 큰 위치 오차를 나타내는 반면, DGPS와 RGPS의 오차는 UDRE항만을 포함하므로 그보다 훨씬 작음을 확인할 수 있다. DGPS와 RGPS의 이론적 위치오차는 비슷하지만, 실제 시스템 구현시 기준국에서는 고가의 DGPS전용 수신기를 사용하여 기준국에 기인한 측정오차가 제거된 보정치를 생성하므로, RGPS와 어느 정도 차이를 보이게 된다. 따라서 두 UDRE항 σ_u 와 σ_r 이 서로 비슷하다고 가정한다면, RGPS의 위치오차는 DGPS에 비해 $\sqrt{2}$ 배 정도 크게 될 것이다.

2 데이터 전송과 기선거리에 따른 오차분석

DGPS와 RGPS는 보정치전송을 위하여 통신망을 이용한다. 이때, 정확한 보정을 위해서는 보정시점과 보정치 생성시각이 같아야 하는데, 기선거리가 증가함에 따라 전송지연시간이 발생하고, 보정치 수신주기가 달라진다. 이로 인하여 보정시점과 보정치 생성시각의 차이가 발생하며, 오차성분으로 작용하게 된다. 따라서 이러한 시간지연(latency problem)에 대한 분석이 필요하며,

이를 토대로 시스템 설계가 이루어져야 한다.

본 논문에서는 시간지연에 대한 분석을 위하여 몬테칼로 모의실험(Montecarlo simulation)을 실시하였다. 모의실험은 기선거리증가에 따른 오차분석과 보정치 수신주기에 대한 오차분석을 병행하였다. 일반적으로 기선거리와 전송시간지연은 서로 상관관계를 가지고 있으나, 각각의 위치오차에 대한 영향을 살펴보기 위하여 상관관계를 고려하지 않은 모의실험을 수행하였다. 그림 4와5는 각각의 모의실험결과를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이, 기선거리에 따른 위치오차는 작은 폭으로 증가하는 반면, 보정치 전송주기에 따른 위치오차는 큰 폭으로 증가한다는 것을 알 수 있으며, RGPS에서는 기선거리가 증가함에 따라 관측행렬 H 에 대한 오차증가로 인하여 DGPS보다 급격한 오차 증가 추이를 나타낸다. 또 RGPS에서 10m정도의 위치오차범위를 나타내기 위해서는 30초 이내의 전송주기를 가져야 한다는 점도 확인하였다. 이와 같은 분석 결과를 토대로 RGPS에서는 1초의 전송주기를, DGPS에서는 10초의 전송주기를 가지도록 구성하였다.

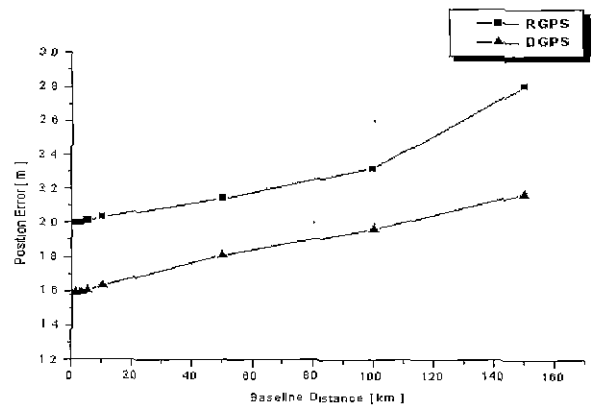


그림 4. 기선거리에 따른 위치오차.

Fig. 4. The position error vs baseline distance.

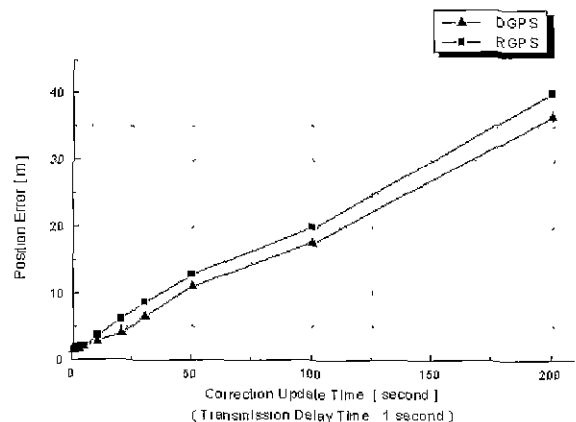


그림 5. 보정치 전송주기에 따른 위치오차 (전송지연시간 : 1초).

Fig. 5. The position error vs correction update time (Transmission Delay Time : 1 second).

IV. 실시간 처리 시스템 구현

본 논문에서는 DGPS와 RGPS방식을 차량관제시스템에 적용하여 실시간 처리 시스템을 구현하였다. DGPS와 RGPS 구현시 두가지 방식 모두 수신기내에서 보정을 행하였으며, 보정된 위치정보는 컴퓨터를 통해 지도상에 표시하였다.

1. DGPS 실시간 시스템

본 논문에서는 RGPS 시스템과의 비교를 위하여 DGPS 실시간 시스템을 간략하게 구성하였다. 그림 6은 본 논문에서 구현한 DGPS 구성도이다.

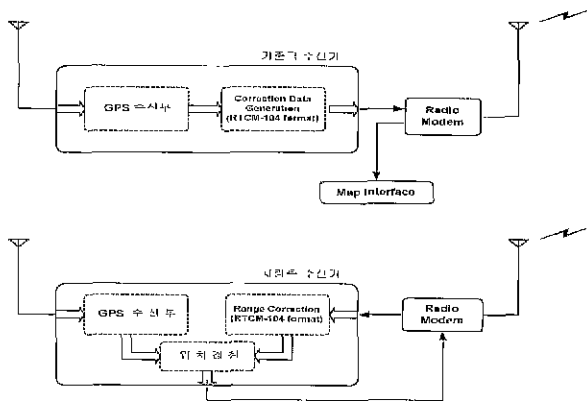


그림 6. DGPS 구성도.

Fig. 6. The structure of DGPS.

먼저 차량측에서는 기준국에서 생성한 보정치를 무선모뎀(Trimble社의 TrimTalk)을 통해 수신한 후, 수신기내에서 보정 알고리즘을 수행한다. 보정치를 이용하여 계산된 위치정보는 기준국으로 전송되며, 기준국에서는 차량위치를 지도에 표시한다. 전체적인 데이터 흐름을 위하여 기준국과 차량측 모두 컴퓨터를 이용 하였으며, 이를 위한 통신 프로그램을 작성하였다. 기준국 수신기로는 Trimble社의 4000SS1 수신기를, 차량용으로는 일반 C/A 코드 수신기(Trimble社의 DSM)를 사용하였다.

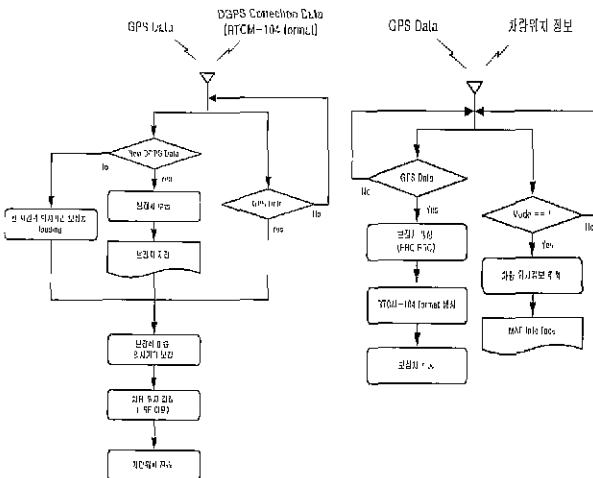


그림 7. DGPS 시스템 흐름도.

Fig. 7. The flow chart of DGPS.

차량측 위치추정에는 최소자승기법 (Least-square estimator)을 사용하였으며, 보정 데이터는 RTCM-104 형태의 message type 1만을 사용하였다[8].

2 RGPS 실시간 시스템

2.1 Best4 위성군 탐색 알고리즘

RGPS는 앞에서 언급하였듯이, 모든 위성조합에 대한 보정치 산출에 문제점을 가지고 있다. 또 기준국과 사용자측의 위성일치라는 전제조건을 만족해야 하므로, 일반적으로 PDOP가 작은 4개의 최적 위성군(Best4 위성군)에 대해서만 보정 알고리즘을 적용한다. 만약 PDOP가 큰 위성군으로 위치보정을 수행한다면 위치보정효과가 상당부분 감소하므로, Best4 위성군 탐색 알고리즘은 RGPS 구현시 꼭 필요한 구성요소가 된다. 일반적으로 Best4 위성군을 선택할 때, 모든 위성조합에 대한 PDOP를 계산한 후, PDOP가 가장 작은 위성군을 선택한다. 이러한 탐색기법은 PDOP의 복잡한 계산과정으로 인하여 계산시간의 증가를 초래한다. 이는 실시간 시스템 구현시 문제가 되므로, 본 논문에서는 계산시간을 줄이면서 Best4 위성군에 근접한 위성을 찾는 탐색 알고리즘을 사용하였다.

일반적으로 PDOP는 위성의 기하학적 배치에 따른 체적과 반비례관계가 성립한다. 이와 같은 관계를 이용하여 체적이 큰 위성배치를 찾는다면, Best4 위성군이 될 확률이 높아진다. 본 논문에서 사용한 탐색 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) 위성앙각(elevation angle)이 가장 큰 위성과 가장 작은 위성을 각각 Best4[1]과 Best4[2]로 선택한다.
- 2) Best4[2]와 방위각(azimuth angle)의 차가 가장 큰 위성을 Best4[3]으로 선택한다.
- 3) Best4[4]는 Best4[2]와 Best4[3]의 사이에 존재하는 위성으로 선택한다.

이와 같은 탐색 알고리즘의 성능을 알아보기 위하여 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 표 1은 모의실험상에서 수행한 알고리즘간의 비교를 나타낸다. 표에서 볼 수 있듯이, 계산시간은 약 1/100로 줄어들면서 평균 PDOP는 약 1.1정도의 차이를 보인다. 이는 실시간 시스템에서 요구하는 계산시간을 만족하면서, PDOP도 적절한 수준을 유지하므로 실시간 RGPS 시스템 구성요소로 적합하다고 할 수 있다. 그림 8은 각 알고리즘을 이용한 시간에 따른 PDOP변화이다. 8(a)는 PDOP를 이용한 탐색기법의 결과이며, 8(b)는 위성의 앙각과 방위각을 이용한 탐색기법의 결과이다.

표 1. 최적 위성군 탐색 알고리즘의 비교.

Table 1. The comparison of the best4 satellites search algorithm.

	PDOP를 이용한 탐색기법	위성앙각과 방위각을 이용한 탐색기법
평균 계산시간	0.584 sec.	0.00627 sec.
평균 PDOP	2.87	3.94

이와 같은 알고리즘으로 Best4 위성군을 선택할 경우, 계산시간을 크게 줄일 수 있으므로 수신기의 원활한 동작을 보장할 수 있다. 따라서 위성의 양각과 방위각을 이용한 탐색기법이 실시간 시스템에 보다 적합하다고 말할 수 있다.

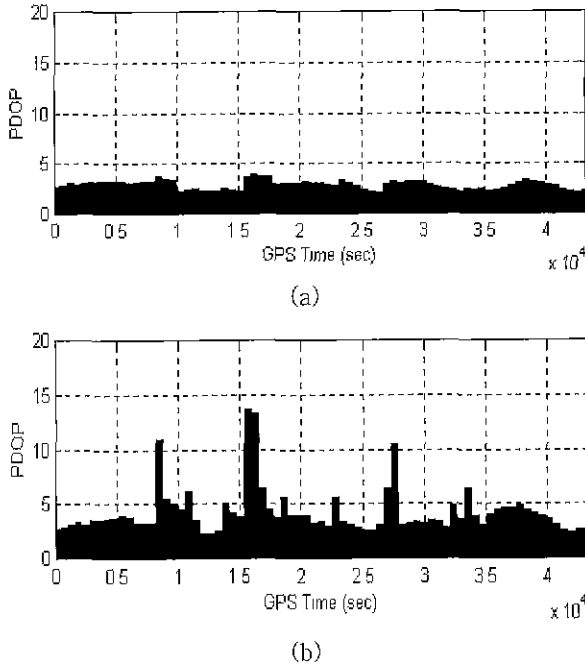


그림 8. 각 알고리즘이 검출한 네 개의 최적 위성군에 대한 PDOP 변화 : (a) PDOP를 이용한 탐색기법, (b) 위성양각과 방위각을 이용한 탐색기법.

Fig. 8. The variation of PDOP associated with the best four satellites . (a) The best-PDOP method, (b) The method based on the elevation and azimuth angle.

2.2 위치필터

실시간 RGPS 시스템에 사용한 수신기는 chip set을 이용하여 자체 제작한 것으로 필터가 내장되어 있지 않아 비교적 거친 오차변화를 나타낸다. 따라서 평활화(smoothing)된 항법해를 생성하기 위해 수신기 내부에 위치필터를 사용하였다. 본 논문에서 설계한 위치필터는 칼만필터(kalman filter)로서, 위치와 속도를 상태 변수로 하는 PV model로 설계하였다[9] [10]. 계산시간을 줄이기 위해 행렬식을 전개하여 연립된 식으로 표현하였으며, 큰 오차를 보이는 데이터는 제거하도록 설계하였다. 이러한 위치필터를 이용하여 좀더 신뢰성있는 차량궤적을 얻을 수 있었다. 다음은 설계된 위치필터를 나타낸다.

상태식과 측정식 :

$$\underline{X}(k+1) = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \underline{X}(k) + \underline{w}(k) \tag{19}$$

$$\underline{Z}(k+1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \underline{X}(k+1) + \underline{v}(k+1) \tag{20}$$

여기서,

\underline{X} : 차량의 위치와 속도를 나타내는 상태변수

$$(\underline{X} = [x_1 \ x_2]^T = [\text{position} \ \text{velocity}]^T)$$

\underline{Z} : 차량의 위치를 나타내는 측정치(= z_1)

칼만필터의 프로세스 공분산(Q), 측정 공분산(R), 그리고 상태변수 공분산(P)을 다음과 같이 정의한다.

$$R = r$$

$$Q = q_r \begin{bmatrix} \Delta t^3/3 & \Delta t^2/2 \\ \Delta t^2/2 & \Delta t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 & q_2 \\ q_2 & q_3 \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} p_1 & p_2 \\ p_3 & p_4 \end{bmatrix}$$

분해된 전파식과 개선식은 다음과 같다.

전파식 :

$$x_1^p = x_1 + \Delta t x_2 \tag{21-a}$$

$$x_2^p = x_2 \tag{21-b}$$

$$p_1^p = p_1 + \Delta t (p_3 + p_2) + (\Delta t)^2 p_4 + q_1 \tag{21-c}$$

$$p_2^p = p_2 + \Delta t p_4 + q_2 \tag{21-d}$$

$$p_3^p = p_3 + \Delta t p_4 + q_2 \tag{21-e}$$

$$p_4^p = p_4 + q_3 \tag{21-f}$$

개선식 :

$$k_1 = p_1^p / (p_1^p + r) \tag{22-a}$$

$$k_2 = p_3^p / (p_3^p + r) \tag{22-b}$$

$$p_1^c = (1 - k_1) p_1^p \tag{22-c}$$

$$p_2^c = (1 - k_1) p_2^p \tag{22-d}$$

$$p_3^c = p_3^p - k_2 p_3^p \tag{22-e}$$

$$p_4^c = p_4^p - k_2 p_4^p \tag{22-f}$$

$$x_1^c = x_1^p + k_1 (z_1 - x_1^p) \tag{22-g}$$

$$x_2^c = x_2^p + k_2 (z_1 - x_1^p) \tag{22-h}$$

여기서, p 는 전파과정을, c 는 개선과정을 의미한다.

2.3 RGPS 시스템 구성

그림 9는 RGPS 시스템의 구성도를 나타낸다. 그림에서 보듯이, 차량측 수신기에서는 선택된 Best4 위성군과 이를 이용하여 추정된 위치정보, GPS 시각, 차량 ID를 기준국으로 전송한다. 기준국에서는 수신한 정보를 이용하여 위성군을 선택하고, 보정치를 산출한 후, 차량위치를 보정한다. 보정된 차량위치는 컴퓨터로 전송되며, 지도프로그램을 이용, 지도상에 표시된다. 그림 10은 구현된 RGPS 차량관제 시스템의 프로그램 흐름도를 나타내며, 차량에서 기준국으로 전송되는 데이터 형태는 다음과 같다.

STX와 ETX는 전송패킷의 처음과 끝을 나타내는 부분이다. 전송데이터 앞부분에는 차량 ID가 위치하며, Mode

STX	차량 ID	Mode	GPS 시각	Best4 위성군	위치정보	CS	ETX
-----	-------	------	--------	-----------	------	----	-----

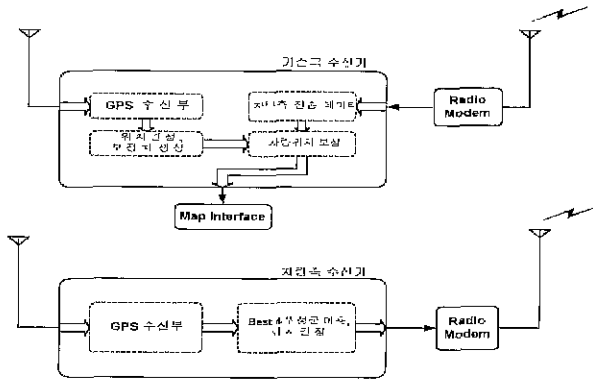


그림 9. RGPS 구성도.
Fig. 9. The structure of RGPS.

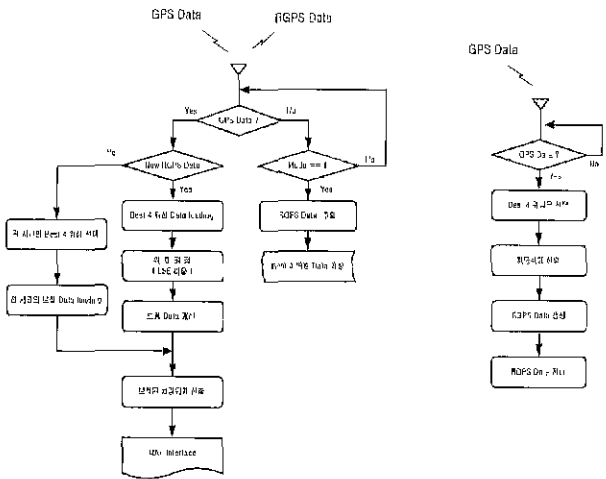


그림 10. RGPS 시스템 흐름도.
Fig. 10. The flow chart of RGPS.

는 데이터 전송시 차량측의 수신기 모드(2D, 3D, 또는 No-positioning mode)를 나타낸다. GPS시각은 전송시각을 의미하고, Best4 위성군은 위치결정에 이용된 4개의 위성번호로 구성되어 있으며, 위치정보는 차량의 지구 중심 지구고정 좌표계에서의 위치를, CS는 전송 패킷의 체크섬(check sum)을 나타낸다. 기준국에서는 지도와의 인터페이스(interface)를 위하여 NMEA-0183형태를 사용, 수신기와 통신하였다. 기준국 수신기와 차량측 수신기는 동일한 종류로서, 자체 제작한 C/A 코드 수신기를 사용하였으며, 위치 추정에는 차량과 기준국 모두 최소사승기법을 이용하였다[11].

V. 실험결과

실험은 후처리과정에 의한 실험과 실시간 실험에 대하여 수행하였다. 후처리과정은 약 1시간정도 데이터를 수집한 후, 컴퓨터내에서 각 알고리즘을 구현, 실험하였으며, 실시간 실험은 구현된 각각의 시스템과 지도 프로그램

램을 이용하여 실제 주행을 통해 수행하였다.

1 후처리과정을 이용한 실험 결과[7]

각 알고리즘의 오차범위와 동적특성을 알아보기 위하여 정적측위실험과 동적측위실험을 병행하였다.

실험장비로는 Trimble社의 SVee-six와 Motorola社의 VP-oncore 수신기를 사용하였고, 각각 6,8채널로 구성되어있다. 실험은 약 1시간정도 데이터를 수집한 뒤, 컴퓨터내에서 각 알고리즘을 수행하였으며, 9600bps 전송시스템을 사용한다는 가정하에 실험하였다.

기준국은 아주대학교 교내의 정확하게 측지된 지점($x = -3060972.304$, $y = 4055545.008$, $z = 3842636.499$: 지구중심 지구고정 좌표계)을 사용하였다. 실험방법은 먼저 두 대의 수신기를 정확히 알고있는 두 지점에 위치시키고 약 30분간 데이터를 수집한 다음, 차량을 이동 시키면서 약 30분정도 데이터를 수집하였다.

그림 11은 10번 위성의 의사거리 보정치를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이, 위성을 추적하는 동안 보정치는 약 100m 범위로 생성된다. 이것의 대부분은 위성의 S/A에 의한 영향으로 발생한 보정오차이다. 또 칼만 필터를 사용하였으므로, 의사거리 보정치의 급격한 증가를 막을 수 있었으며, 랜덤성분으로 구성된 수신기 오차성분을 어느 정도 제거할 수 있었다[7] [12].

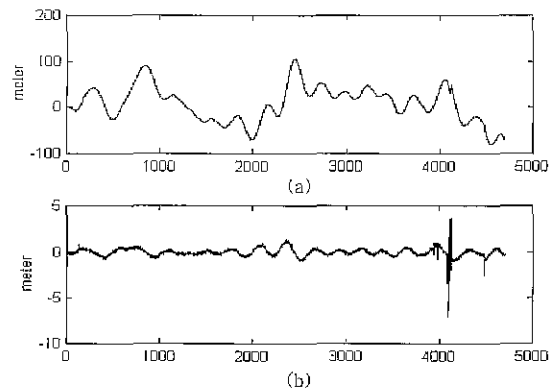


그림 11. (a) 의사거리 보정치, (b) 의사거리 변화율 보정치.

Fig. 11. (a) The Pseudorange Correction Data. (b) The Pseudorange Rate Correction Data

그림 12, 13, 14는 각 알고리즘을 이용한 정적측위실험결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 단독 GPS의 정적측위실험결과는 N방향으로 약 60m, E방향으로 약 40m정도의 위치편차를 보이고 있는 반면, RGPS와 DGPS는 수미터의 오차범위를 나타내며, 한 지점으로 집중됨을 볼 수 있다. 이것은 앞서 설명한 위성에 기인한 오차성분이 제거되었음을 의미한다. 또 DGPS가 RGPS보다 다소 나은 성능을 보이는데, 이는 오차분석과 일치된 결과를 나타낸다. 오차가 한쪽으로 편향된 이유는 위성의 기하학적 배치상태, 기준국 위치오차등의 요인으로부터 기인되었을 것이라 생각된다.

그림 15, 16, 17은 후처리과정을 이용한 동적측위실험

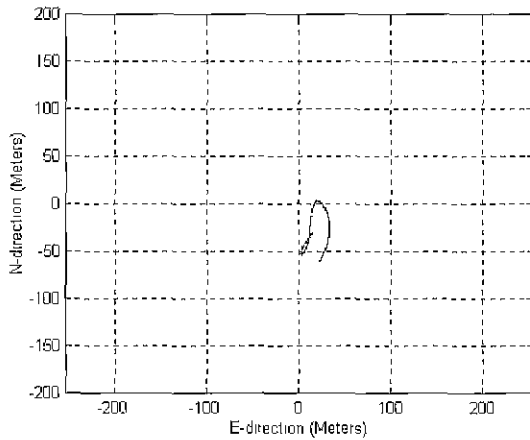


그림 12. 단독 GPS의 정적측위실험(후처리과정).
Fig. 12. The static positioning experiment with stand-alone GPS (post processing)

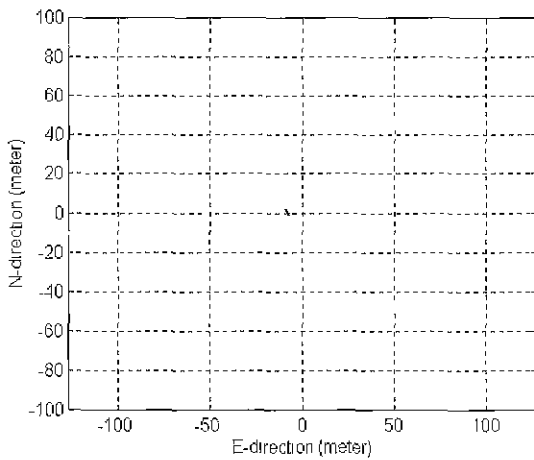


그림 13. DGPS의 정적측위실험(후처리과정).
Fig. 13. The static positioning experiment with DGPS (post processing).

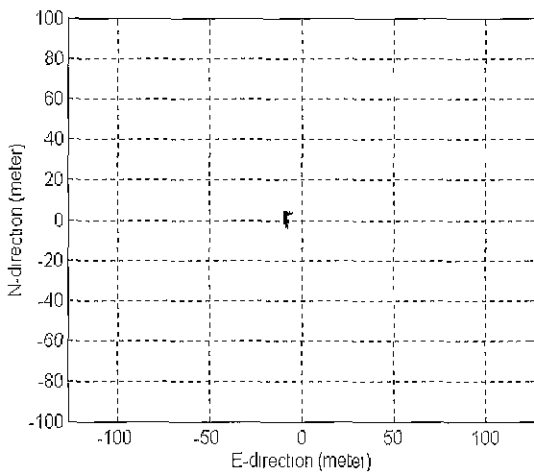


그림 14. RGPS의 정적측위실험(후처리과정).
Fig. 14. The static positioning experiment with RGPS (post processing).

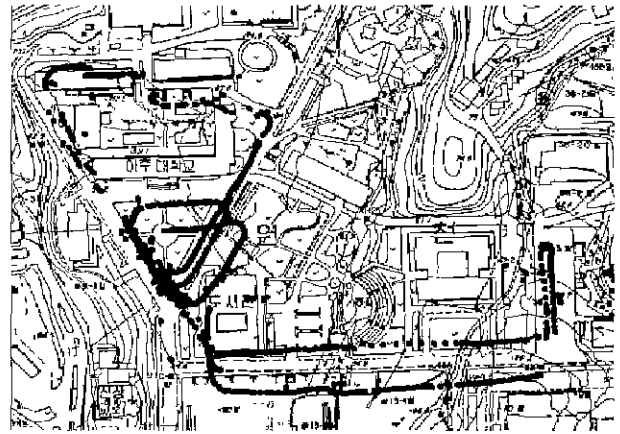


그림 15. 단독 GPS를 이용한 차량궤적(후처리과정).
Fig. 15. The car path using stand-alone GPS (post processing).

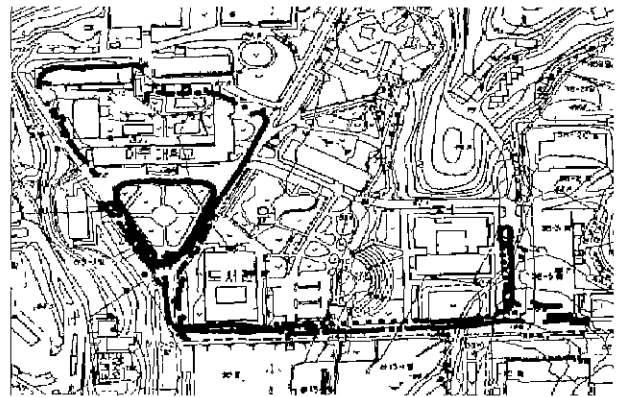


그림 16. DGPS를 이용한 차량궤적(후처리과정).
Fig. 16. The car path using DGPS (post processing).

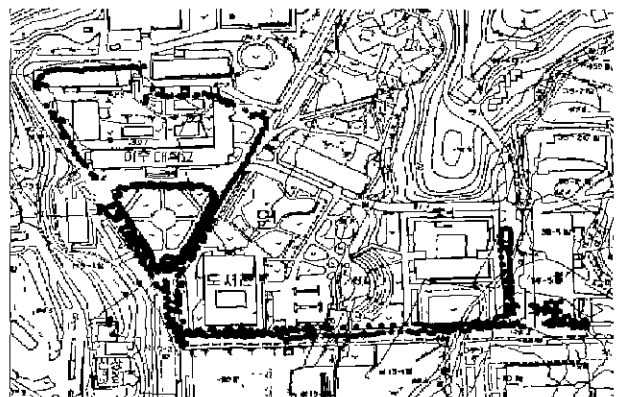


그림 17. RGPS를 이용한 차량궤적(후처리과정).
Fig. 17. The car path Using RGPS (post processing).

결과를 나타낸다. 모두 아주대학교 교내를 움직인 차량의 이동경로이며, 그림들을 비교해 볼 때, 단독 GPS는 도로에서 많이 벗어난 이동경로를 보이는 반면, RGPS와 DGPS는 도로의 차선을 구별할 수 있을 정도의 정확도를 나타낸다. 그림 16과 17에서 다소 구별하기 어렵지만, DGPS가 RGPS보다 좀더 매끄러운 이동 경로를 나타내고 있다.

2. 실시간 실험 결과

앞서 확인된 후처리과정을 토대로 실시간 실험을 수행하였다. 실시간 실험에서도 후처리과정과 동일하게 정적측위실험과 동적측위실험에 대하여 수행하였다. 실험 장비로는 DGPS실험시 기준국 수신기로 Trimble社의 4000SSi 수신기와 차량용 수신기로 DSM(Trimble社)을 사용하였으며, 각각 18,8채널로 구성되어 있다. 보정 데이터는 RTCM-104형태를 이용하였으며, 약 10초 주기로 전송하였다[8]. RGPS는 차량과 기준국에 모두 자체 제작한 C/A 코드 수신기를 사용하였으며, 12채널로 구성되어 있다. 두 시스템 모두 무선모뎀사이에는 4800bps로, 수신기와 무선모뎀사이에는 19200bps의 속도로 통신하였고, 동적실험결과를 실시간으로 지도에 나타내기 위해 NMEA-0183형태를 사용하였으며, 지도는 상용화된 수치지도를 사용하였다.

먼저 정적측위실험은 정확한 측지점인 이주대 원천관 옥상 ($x = -3060927.4505$, $y = 4055667.5925$, $z = 3842487.0259$; 지구중심 지구고정 좌표계)에서 수행하였다. 다음은 실시간 시스템을 이용한 정적측위실험결과이다.

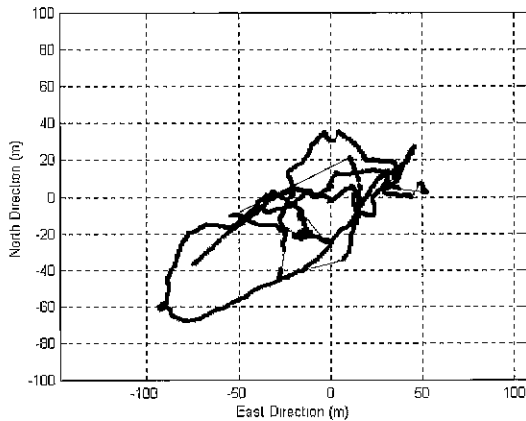


그림 18. 단독 GPS의 정적측위실험(실시간).
Fig. 18. The static positioning experiment with stand-alone GPS(real-time case).

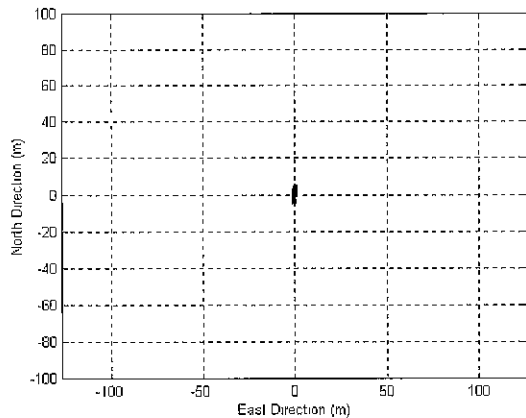


그림 19. DGPS의 정적측위실험(실시간).
Fig. 19. The static positioning experiment with DGPS(real-time case).

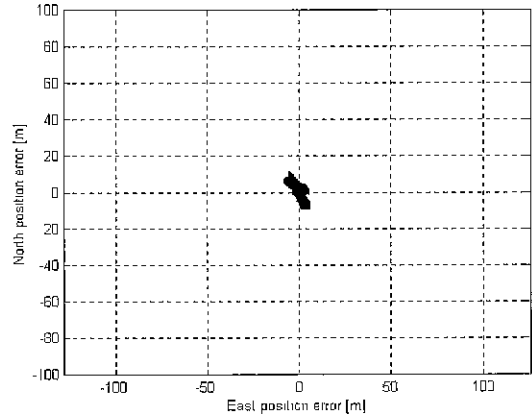


그림 20. RGPS의 정적측위실험(실시간).
Fig. 20. The static positioning experiment with RGPS(real-time case).

위 그림 18, 19, 20에서 볼 수 있듯이, 단독 GPS에서는 남북방향으로 약 100m, 동서방향으로 약 150m 정도의 측위오차를 보이지만, RGPS와 DGPS에서는 그 오차를 현저히 줄임과 동시에 한 점으로 집중됨을 확인하였다. 표 2는 각 시스템의 평면오차를 나타낸다.

표 2. 각 알고리즘의 평면오차 비교.

Table 2. The comparison of horizontal position error with each algorithm.

	단독 GPS	DGPS	RGPS
평면오차 (2dRMS)	43.8m	2.217m	4.574m

표 2에서 보듯이, DGPS와 RGPS는 단독 GPS의 평면오차를 크게 감소시킨다. 또 앞서 밝힌 오차분석결과와 같이 RGPS는 DGPS보다 조금 떨어진 성능을 나타내고 있지만, 차량관제시스템이란 점과 RGPS의 장점을 고려할 때 DGPS와 비등한 성능을 가진다고 말할 수 있다. 이론

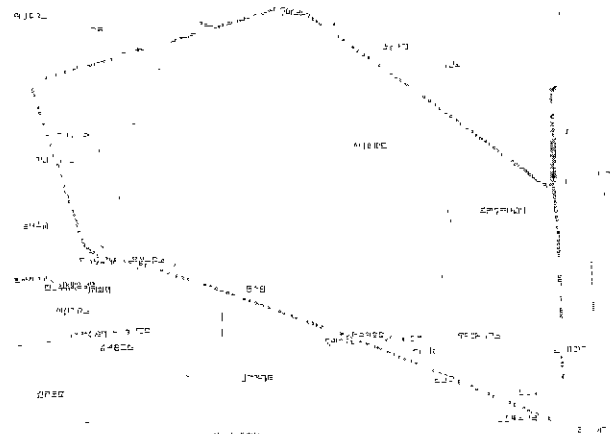


그림 21. DGPS의 차량궤적 (실시간).
Fig. 21. The car path estimated by DGPS (real-time case).

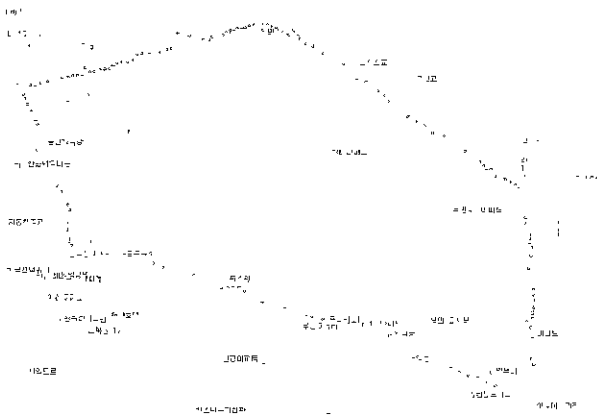


그림 22. RGPS의 차량궤적(실시간).
Fig. 22. The car path estimated by RGPS (real-time case).

적으로 RGPS와 DGPS는 $\sqrt{2}$ 배정도의 차이를 나타내지만, 실험결과에서는 약 2배정도의 차이를 보인다. 이는 각 시스템에 사용된 수신기 성능차이로 인하여 발생한 것이라 생각된다. 따라서 동일한 수신기를 이용한다면 오차분석과 일치하는 결과를 보일 것으로 사료된다.

그림 21, 22는 지도를 이용하여 나타낸, 반경 2km의 아주대 주위를 주행한 차량궤적이다. 그림에서 확인할 수 있듯이, RGPS와 DGPS의 결과가 유사한 정확도의 차량궤적을 나타내고 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 저가의 C/A 코드 수신기를 이용할 수 있는 RGPS방식을 적용하여 실시간 차량관제시스템을 구현하였으며, 정적측위실험과 동적측위실험을 통해 DGPS와 비등한 위치정확도를 얻을 수 있음을 보였다. RGPS의 오차보정을 통해 단독 GPS의 경우에 발생하는 수십미터의 위치오차를 수미터의 오차로 줄일 수 있었다. 또 새로운 하드웨어의 추가 없이도 차량관제시스템의 기본적인 설비를 그대로 이용하여 자체적인 보정 항법시스템을 구성할 수 있음을 증명하였다.

이와 같은 시스템의 구성은 특히 DGPS의 인프라가 구축이 안된 지역에서 더욱 중요한 역할을 하게 될 것이며, 적은 비용으로 DGPS와 같은 효과를 얻을 수 있다.

본 논문의 결과는 차량관제시스템 뿐만 아니라 물류 시스템에도 광범위하게 적용될 수 있으며, 셀룰라폰과

Web환경을 이용한 범용적인 RGPS시스템의 구현이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] B. H. Wellenhof, H. Lichtenegger and J. Collins, *Global Positioning System : Theory and Practice*, Springer-Verlag, 1994
- [2] B. W. Parkinson and J. J. Spilker Jr., *Global Positioning System : Theory and Application*, vol. 2, pp. 3-50, 1996.
- [3] D. J. Dailey, B. M. Bell, "A method for GPS positioning," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems* vol. 32, no. 3, pp. 1148-1154, 1996.
- [4] 이자성, "의사거리 통합 데이터 처리에 의한 DGPS 항법," 정보전자 기술연구소 논문집, 아주대학교, pp. 79-89, 1995.
- [5] J. S. Lee and P. D. Andrews, "Principle and simulation of GPS relative navigation," Internal Letter no. D/794-400-81-039, Rockwell International Corp., 1981.
- [6] R. O. Nielsen, "Relationship between dilution of precision for point positioning and for relative positioning with GPS," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems* vol. 33, no. 1, pp. 333-338, 1997.
- [7] 고선준, 원종훈, 이자성, "상대적 GPS항법을 이용한 차량관제시스템 구현," GPS Workshop 97, pp. 643-648, 1997.
- [8] A. J. Van Dierendonck, N. A. Pealer and R. M. Kalafus, "Special committee 104 recommendations for differential GPS service," *Navigation III*, Institute of Navigation, pp. 101-116, 1986.
- [9] G. Sirang and K. Borre, *Linear Algebra, Geodesy and GPS*, Wellesley-Cambridge press, 1997.
- [10] R. G. Brown and P. Y. C. Hwang, *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering*, John Wiley & Sons Inc., 1983.
- [11] *GPS Architect Software Design Manual* vol. I, II, GEC Pessey, 1996.
- [12] P. Loomis, G. Kremer and J. Reynolds, "Correction Algorithms for Differential GPS Reference Stations," *Navigation IV*, Institute of navigation, pp. 91-105, 1993.



고 선 준

1972년 10월 29일생. 1997년 아주대학교 제어계측공학과 졸업. 1999년 동대학원 제어계측공학과 석사. 현재 동대학원 전자공학과 박사 과정.



이 자 성

1949년 1월 27일생. 1975년 한양대학교 전기공학과 학사. 1977년 University of Southern California 전기공학과 석사. 1981년 University of Southern California 전기공학과 박사. 1981~1992년 Rockwell International Corp. 선임 연구원. 1992년~현재 아주대학교 전자공학부 교수.