

## Stand-Alone GPS 점프오차 스무딩 기법 연구

### A Study on the Stand-Alone GPS Jump Error Smoothing Scheme

이 태 규, 김 광 진, 박 흥 원  
(Tae-Gyoo LEE, Kwangjin Kim, and Heung-Won Park)

**Abstract :** GPS error behaviour can be considered as a linear combination of low amplitude random noise and abrupt jumps. The reason of jump appearance can be explained by the semi-shading effects(buildings, trees), jamming, high dynamic of vehicle and so on. This study describes the stand-alone GPS error jump smoothing algorithm which is developed based on the scalar adaptive filter. The algorithm consists of the coarse jump smoothing and the fine jump smoothing. On the coarse smoothing step, GPS velocities or position differences are used as the measurement for the scalar adaptive filter. The purpose of adaptive filter is to smooth the jump errors. The coarse positions are determined by the integration of smoothed velocities. On the fine smoothing step, the differences between GPS positions and the coarse positions are smoothed by another scalar adaptive filter. The reason of fine smoothing is based on the facts that smoothing accuracy depends on the variance of useful signal. The coarse smoothing which deal with the difference of positions provides the rough error removing. So the coarse smoothed velocities can have much more low amplitude than the raw ones. The fine smoothing procedure provides high quality of filtering process. Simulation results show the efficiency of proposed scheme.

**Keywords :** GPS error behaviour, semi-shading effects, jamming, scalar adaptive filter

#### I. 서론

GPS(Global Positioning System)는 위성을 이용하여 세계 전역에서 위치, 속도, 시간을 적절한 수신 장비를 갖춘 사용자에게 공급하는 시스템으로 그 응용 분야는 측량, 측지, 육·해·공 항법 등 다양한 분야에서 혁신적인 기술로 이용이 확대되고 있다. 특히 기상조건에 관계없이 연속적이며 신뢰성 있는 항법 정보를 제공할 수 있기 때문에 기존의 재래 항법시스템을 대체하기 위한 미래의 항법시스템이다 [1]-[9]. 그런데 GPS는 주위의 지리적 여건과 전파장애에 의한 영향을 받는다는 단점을 갖는다. 따라서 GPS의 장점을 효율적으로 이용하면서 GPS의 단점을 보완하기 위한 다른 항법시스템과 결합하여 항법정보의 정확성 및 안정성을 높일 수 있다 [6]-[9]. GPS는 위성 신호의 도달 시간으로부터 계산되는 의사거리(pseudorange)로부터 수신자의 항법 정보를 얻는 시스템으로 항법 정보 및 시간을 계산하기 위하여 4개 이상의 위성을 필요로 한다. GPS의 항법 오차는 수신기와 GPS 기준 시간의 차이 수신기의 시계 바이어스 및 드리프트, 이온층 및 대류층의 전파 전달시의 지연, 수신기 주변의 환경에 의한 다중경로(multipath) 등에 의하여 기인된다. 또한 GPS 항법해의 정확도는 가시위성의 수 및 위성의 배열에 종속되게 되는데 이러한 요소에 의하여 순간적인 점프 오차가 나타날 수 있다. 그 대표적인 요인으로는 항체가 semi-shading(건물, 나무 등)에 영향을 받는 지역을 통과한다면 주변의 여건에 따라 순간적으로 위성 수의 감소 또는 변화가 일어날 수 있으며, 위성의 배열 역시 순간적인 변화를 가질 수 있으므로 이러한 경우 커다란 점프 현상이 나타날

수 있으며, 항체가 고속으로 운동할 경우 고각(elevation angle) 부근의 위성이 사라지고 나타나는 현상에 의하여 위성의 수와 배열이 순간적으로 변화할 수 있으므로 커다란 오차를 발생시킬 수 있다. 그리고 GPS의 수신전파에 기본적으로 지연을 일으키는 이온층, 대류층 및 다중경로이외에 전파방해(jamming)나 주위의 다른 전파에 의한 외부 전파장애가 발생한다면, 이에 의하여 커다란 오차가 발생할 수 있으며 외부 전파에 의한 영향이 순간적이라면 점프 오차와 같은 현상이 나타날 수 있다 [1]-[4]. 이러한 요인들에 의한 순간적인 점프의 크기 및 시간은 상황에 따라 다르게 나타날 수 있으며, 점프오차의 요인이 지속되면 GPS 정보는 큰 오차를 가질 수밖에 없으므로 정확한 항법정보를 얻기 위해서는 다른 항법시스템의 도움을 받아야 한다. 점프의 요인이 순간적이라면 요인이 사라진 후 GPS 정보는 일반적인 GPS 정확도를 가지게 될 것이다. 그런데 GPS 정보가 다른 항법 시스템과 결합되어 추정시스템이 구성되어 있다면 순간적인 GPS 점프오차의 크기 및 시간에 관계되어 추정성능에 영향을 미치게 되며 그 영향이 오랜 동안 지속될 수 있다. 따라서 순간적으로 불합리하게 나타나는 점프오차에 대한 적절한 제거가 필요하다.

스칼라 적응필터 알고리즘은 측정치의 불합리한 점프 제거를 위하여 유용하게 이용될 수 있다 [3][10][11]. 이 경우 이득의 선정이 불합리한 점프 오차의 스무딩을 주목적으로 설계되므로 비정상(non-stationary) 시스템으로 간주하여 잉여치의 순간적인 값에 의하여 이득의 설정이 이루어지기 때문에 일반적인 고주파 잡음에 대한 스무딩 효과가 저하될 수 있으며, 스칼라로 시스템을 모델링하므로 입력 잡음의 항에 실제 시스템의 다이내믹스가 포함되는 단점이 있어 충분히 저주파 특성을 가지는 시스템이 아니면 실제 신호의 왜곡이 일어날 수 있다는 단점이 있다. 그러나 스칼라 적응필터는

불합리한 점프 오차와 실제의 다이내믹스를 분명히 분리할 수 있다면, 상태변수 관측을 위한 고차 추정시스템의 측정치 선행필터링(pre-filtering)으로 유용하게 이용될 수 있다. 왜냐하면 순간적인 점프오차를 포함하는 신호가 측정치로 이용되는 추정시스템의 출력은 측정치의 순간적인 점프 오차가 사라질지라도 점프의 크기와 시간에 종속되어 그 영향이 장시간 지속되어 추정시스템의 성능을 저하할 수 있기 때문이다. 즉 스칼라 적응 필터는 커다란 점프의 제거를 목적으로 손쉽게 설계될 수 있으므로 적절히 설계된다면 일반적인 필터링에 비하여 순간적으로 변화하는 불합리한 신호에 대하여 효율적이다.

본 연구에서는 스칼라 적응 필터를 이용하여 GPS 정보가 순간적으로 불합리한 점프 오차를 가질 경우 이를 적절히 스무딩하는 기법을 다루었다. GPS의 점프오차 제거는 관성 항법장치와 같은 다른 항법시스템의 결합에 의하여 이루어질 수 있으나, 본 연구에서는 GPS 단독으로 점프오차를 스무딩하는 방법을 설계한다. 제시된 알고리즘은 GPS 속도 또는 위치변화량을 이용하여 점프를 스무딩하는 개략 스무딩 부분과 개략 점프 스무딩에 의하여 발생하는 정상정보의 왜곡을 보상하기 위한 정밀 점프 스무딩으로 이루어진다.

**II. 스칼라 적응필터 알고리즘**

일반적인 임의의 신호는 다음과 같은 스칼라 형태의 이산모델로 나타낼 수 있다.

$$x(k) = x(k-1) + v(k-1) \cdot \Delta T \tag{1}$$

여기서,  $x(k)$ ,  $v(k)$ ,  $\Delta T$ 는 각각 신호 샘플, 속도 신호 샘플 그리고 샘플시간이다. (1)에 대한 측정치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z(k) = x(k) + \eta(k) \tag{2}$$

여기서,  $\eta(k)$ 는 측정잡음이다. 만약 측정치에 순간적으로 불합리한 점프 오차가 존재할 수 있다면 이에 대한 스무딩을 위한 알고리즘은 스칼라 적응필터 이론을 통하여 다음과 같이 구현할 수 있다[3][10][11].

$$\hat{x}(k) = \hat{x}(k-1) + K(k) \cdot [z(k) - \hat{x}(k-1)]$$

$$\begin{aligned} P(k/k-1) &= P(k-1) + \frac{2-K_{st}}{K_{st}} q(k) \\ K(k) &= \frac{P(k/k-1)}{P(k/k-1) + R(k)} \\ P(k) &= [1 - K(k)] \cdot P(k/k-1) \end{aligned} \tag{3}$$

여기서,

- $\hat{x}(k)$  : 신호샘플( $x(k)$ )의 추정치
- $K(k)$  : 필터이득
- $P(k/k-1)$  : 선행 추정오차 공분산
- $P(k)$  : 추정오차 공분산
- $K_{st}$  : 필터의 정상상태 이득( $K(k)$ 의 정상상태 값)
- $q(k)$  : 미지의 속도샘플( $v(k)$ ) 분산

$R(k)$  : 미지의 측정잡음( $\eta(k)$ ) 분산

(3)의 필터 설계 과정에서 신호샘플과 속도샘플사이의 상호 분산이 요구되는데 이를 구하기 위하여  $K_{st}$ 를 이용한다.  $K_{st}$ 는 시스템에 유색잡음 및 점프오차가 없다는 가정하에서 정해지는 값으로 신호샘플( $x(k)$ )의 잡음 및 다이내믹스 특성 파악하고 시뮬레이션을 통하여 적절한 값을 선택할 수 있다. 미지의  $q(k)$ 는 최소제곱추정을 이용하여 구하는데, 추정에 사용되어야 할  $x(k)$ 는 미지이며,  $z(k)$ 는 점프를 포함할 수 있으므로 합리적인 추정을 보장할 수 없다. 따라서 점프가 적절히 제거되었다는 가정하에 일정시간 동안의  $\hat{x}(k)$ 의 과거 값을 이용하여 추정한다. (1)의 모델과 신호샘플( $x(k)$ )의 추정치  $\hat{x}(k)$ 의 과거 값을 이용하여 일정 구간에 대하여 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다

$$Z = H \cdot \begin{bmatrix} \delta x(0) \\ \delta v(0) \end{bmatrix} \tag{4}$$

여기서,

$$H^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ \Delta t_k & 2\Delta t_k & 3\Delta t_k & \dots & n\Delta t_k \end{bmatrix}$$

$$Z = \begin{bmatrix} \delta \hat{x}(t - n\Delta t_k) \\ \delta \hat{x}(t - (n-1)\Delta t_k) \\ \delta \hat{x}(t - (n-2)\Delta t_k) \\ \vdots \\ \delta \hat{x}(t) \end{bmatrix}$$

$n\Delta t_k$ 는 최소 제곱 추정을 위한 시간 폭이며,  $t$ 는 현재의 시간이다. (4)에 대한 최소 제곱 추정은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \delta \hat{x}(0) \\ \delta \hat{v}(0) \end{bmatrix} = (H^T H)^{-1} H^T Z \tag{5}$$

결국,  $q(k)$ 에 대한 추정치는 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{q}(k) = \delta \hat{v}^2(0) \tag{6}$$

이는 실제 신호의 변화량에 관계되는 것으로 이 추정 값에 의해서 필터의 성능에 크게 영향을 미치게 된다. 즉 합리적인 값에 비하여  $q(k)$ 가 크게 추정되면 스무딩 효과가 저하되며, 작게 추정될 경우 스무딩 효과는 크게 나타나지만 실제의 신호를 추정 못할 경우가 발생할 수 있다. 따라서 신호의 왜곡을 피하기 위한  $q(k)$ 의 최소값을 정하여 이용한다.

$$\text{If } q(k) < q_{\min} \text{ then } q(k) = q_{\min}$$

만약 신호( $x(k)$ )가 기준(reference)신호와 차에 의하여 주어지는, 즉 오차신호인 경우  $q(k)$ 는 오차에 대한 특성을 나타내는 것이므로  $q_{\min}$ 을 작게 선정하는 것이 가능할 수 있으나, 실제 신호 자체에 대한 스무딩 및 점프 스무딩을 위한

것이라면 신호의 빠른 변화에 대응해야하므로, 즉  $q(k)$ 가 실제의 다이내믹스를 포함하므로  $q_{min}$ 이 커지게 될 것이며, 따라서 스무딩과 점프 제거 효과가 감소하게 된다. 결국 적절한 스무딩 및 점프 제거를 하면서 신호의 왜곡을 피하기 위한  $q(k)$ 를 정하는데 어려움이 있다.  $R(k)$ 는 적응기법에 의하여 잉여치(innovation sequence,  $\nu(k)=z(k)-\hat{x}(k-1)$ )를 이용하여 다음과 같이 구한다.

Stationary case:

$$R(k) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \nu(i)^2 - P(k/k-1) \quad (7)$$

Nonstationary case :

$$R(k) = \nu(k)^2 - P(k/k-1) \quad (8)$$

$R(k)$ 는 양(+)의 정칙이어야 하므로 다음을 부가한다.

$$\text{If } R(k) < 0 \text{ then } R(k) = 0$$

점프 스무딩을 위한 (3)의 스칼라 필터 알고리즘의 특성을 살펴보면 다음과 같다. 먼저 신호의 점프가 일어날 경우  $R(k)$ , 즉  $\nu(k)$ 가 커지게 되어, 이득이 작아지게 된다. 따라서 순간적인 변화에 둔감한 특성을 가지게 된다. 결국, 점프가 일어난 후 점프 유지 시간이 작다면 점프에 대한 반응을 보이지 않으므로 합리적으로 점프를 제거할 수 있다. 점프가 일어난 후 점프의 상태를 신호가 계속 유지하면 이러한 상태에서는 측정신호를 계속 신뢰하지 않을 수 없으므로 유용한 것으로 보아야 한다. 이 경우, 즉 점프상태가 오랜 동안 계속 유지되면, 알고리즘은  $q(k)$ 에 의하여 이득이 점점 증가하게 되고, 결국 신호를 신뢰하게 된다. 그리고 일반적인 고주파 잡음에 대해서는  $\nu(k)$ 가 작게 선정되므로 이득은 커지게 되어 이에 대한 스무딩 효과는 저하될 수 있고,  $q_{min}$ 의 설정이 합리적이지 못하면 추정치가 실제의 신호에 대하여 크게 왜곡되거나 점프오차 제거 기능이 사라질 수 있다는 단점이 있다. 그러나 스칼라 적응 필터는 불합리한 커다란 점프오차의 제거를 목적으로 손쉽게 설계될 수 있으므로 적절히 설계된다면 일반적인 필터링 또는 신호의 감시에 의한 방법에 비하여 효율적이며 지능적이라 할 수 있다.

### III. Stand - Alone GPS 점프오차 스무딩 기법

GPS의 위치 및 속도 정보는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \phi(k) &= \phi_r(k) + \delta\phi(k) + \delta\phi_f(k) \\ \lambda(k) &= \lambda_r(k) + \delta\lambda(k) + \delta\lambda_f(k) \\ h(k) &= h_r(k) + \delta h(k) + \delta h_f(k) \\ v_\phi(k) &= v_{\phi r}(k) + \delta v_\phi(k) + \delta v_{\phi f}(k) \\ v_\lambda(k) &= v_{\lambda r}(k) + \delta v_\lambda(k) + \delta v_{\lambda f}(k) \\ v_h(k) &= v_{hr}(k) + \delta v_h(k) + \delta v_{hf}(k) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서,  $\phi(k)$ :GPS 위도정보,  $\lambda(k)$ :GPS 경도정보,  $h(k)$ :GPS

고도정보.  $\phi_r(k)$ :실제위도,  $\lambda_r(k)$ :실제경도,  $h_r(k)$ :실제고도,  $\delta\phi(k)$ :GPS 일반적인 위도오차,  $\delta\lambda(k)$ :GPS 일반적인 경도오차,  $\delta h(k)$ :GPS 일반적인 고도오차,  $\delta\phi_f(k)$ :GPS 위도 점프오차,  $\delta\lambda_f(k)$ :GPS 경도 점프오차,  $\delta h_f(k)$ :GPS 고도 점프오차,  $v_\phi(k)$ :GPS 위도방향 속도정보,  $v_\lambda(k)$ :GPS 경도방향 속도정보,  $v_h(k)$ :GPS 고도방향 속도정보,  $v_{\phi r}(k)$ :실제위도 방향속도,  $v_{\lambda r}(k)$ :실제경도 방향속도,  $v_{hr}(k)$ :실제고도 방향속도,  $\delta v_\phi(k)$ :GPS 위도방향 일반적인 속도오차,  $\delta v_\lambda(k)$ :GPS 경도방향 일반적인 속도오차,  $\delta v_h(k)$ :GPS 고도방향 일반적인 속도오차,  $\delta v_{\phi f}(k)$ :GPS 위도방향 속도 점프오차,  $\delta v_{\lambda f}(k)$ :GPS 경도방향 속도 점프오차,  $\delta v_{hf}(k)$ :GPS 고도방향 속도 점프오차이다. (9)와 (10)의 GPS 오차는 일반적인 요소( $\delta\phi(k)$ ,  $\delta\lambda(k)$ ,  $\delta h(k)$ ,  $\delta v_\phi(k)$ ,  $\delta v_\lambda(k)$ ,  $\delta v_h(k)$ )와 불합리한 점프오차( $\delta\phi_f(k)$ ,  $\delta\lambda_f(k)$ ,  $\delta h_f(k)$ ,  $\delta v_{\phi f}(k)$ ,  $\delta v_{\lambda f}(k)$ ,  $\delta v_{hf}(k)$ )를 분리하여 표현하였다. 일반적인 오차 요소는 점프 오차를 제외한 GPS의 백색, 유색 잡음을 모두 포함한다. 그리고 GPS의 2차원 위치정보는 일반적으로 위도, 경도이므로 단위가 도(°)이며, 속도정보는 [m/s]이다. 이들은 지구 반경에 의하여 같은 차원으로 변환될 수 있다.

GPS의 점프 오차에 대한 스무딩은 (9)의 위치정보에 대하여 직접 (3)의 스칼라 적응필터를 설계, 적용함으로써 이루어질 수 있으나 실제의 다이내믹스 부분( $\phi_r(k)$ ,  $\lambda_r(k)$ ,  $h_r(k)$ )이 크다면 참 정보에 대한 왜곡이 이루어질 수 있으며, 실제 정보에 대한 왜곡을 피하기 위하여 스칼라 적응필터의 설계 파라미터를 조절한다면 역으로 점프 오차 스무딩 효과가 사라진다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다음과 같은 두 과정에 의한 점프 오차 제거 기법을 설계한다.

알고리즘은 위도, 경도, 고도에 대하여 동일하게 전개되므로 이하 위도에 대하여 전개하였다.

#### 1. 개략 점프 스무딩

개략 점프 스무딩은 GPS 속도정보 또는 위치정보의 변화량을 이용하여 속도차원에서 스칼라 적응필터를 이용하여 점프를 제거하고, 필터링 속도를 적분함으로써 점프가 스무딩된 개략적인 위치정보를 얻는 과정이다. 이 과정은 필터링에 의하여 실제 정보의 왜곡이 일어날 수 있으며 속도성분의 적분에 의하여 위치 정보를 얻으므로 왜곡 또는 추정 오차에 의한 향이 발생할 수 있으므로 정확한 위치 정보라 할 수 없다.

(10) 또는 (9)의 변화량을 (2)의 스칼라 적응필터에 의한 개략 점프 스무딩의 측정치로 다음과 같이 선정한다.

$$z_{\nu\phi}(k) = v_{\phi r}(k) + \delta v_\phi(k) + \delta v_{\phi f}(k) \quad (11)$$

또는

$$\begin{aligned} z_{\nu\phi}(k) &= \frac{\phi(k) - \phi(k-1)}{\Delta T} \\ &= \frac{\phi_r(k) - \phi_r(k-1)}{\Delta T} \\ &+ \frac{\delta\phi(k) - \delta\phi(k-1)}{\Delta T} + \frac{\delta\phi_f(k) - \delta\phi_f(k-1)}{\Delta T} \end{aligned} \quad (12)$$

여기서,  $\Delta T$ 는 샘플시간이다. GPS의 위치정보는 의사거리 측정으로부터 이루어지며 속도정보는 도플러 효과를 이용하여 구해진다. 따라서 (11)과 (12)는 다른 특성을 가지게 되는데 도플러효과에 의하여 측정되는 (11)의 GPS 속도는 (12)의 위치변화량에 비하여 비교적 정확하며 커다란 점프를 가지지 않는다[1][4]. 따라서 측정치로써 (11)을 이용할 경우 점프오차 스무딩 알고리즘을 보다 효율적으로 수행할 수 있을 것이다.

(11) 또는 (12)를 측정치로 하는 (3)의 스칼라 적응필터의 추정치를  $\hat{x}_{v\phi}(k)$ 라 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{x}_{v\phi}(k) = \hat{v}_{\phi_I}(k) + \delta\hat{v}_{\phi}(k) + \delta\hat{v}_{\phi_I}(k) \quad (13)$$

(13)에서 주어진 GPS의 속도 또는 위치변화량의 추정치는 앞 절에서 설명한 스칼라 적응필터의 기능에 의하여 순간적인 변화하는 양, 즉, 빠른 다이내믹스항이 스무딩되므로 불합리한 점프오차 항은 제거된다.  $\delta\hat{v}_{\phi_I}(k) \approx 0$ 이라 할 수 있으며 GPS의 일반적인 오차항은 점프오차에 비하여 순간적인 변화가 작으므로 스무딩에 의한 추정치와 실제오차의 차는 작으므로  $\delta\hat{v}_{\phi}(k) \approx \delta v_{\phi}(k)$ 라 할 수 있다. 그런데 실제속도,  $v_{\phi_I}(k)$ 는 다양한 변화를 가질 수 있는 항이므로 실제속도의 변화가 크다면 필터링에 의하여 왜곡이 일어날 수 있다. 결국 (13)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{x}_{v\phi}(k) \approx v_{\phi_I}(k) + \delta v_{\phi_I}(k)|_{smooth} + \delta v_{\phi}(k) \quad (14)$$

여기서,

$$\hat{v}_{\phi_I}(k) = v_{\phi_I}(k) + \delta v_{\phi_I}(k)|_{smooth} \quad (15)$$

여기서,  $\delta v_{\phi_I}(k)|_{smooth}$ 는 스무딩에 의한 실제신호 왜곡오차이다. 즉, 스칼라 적응필터에 의하여 점프오차가 제거되지만 실제신호의 왜곡이 일어나는 경우의 오차를 나타낸다. (14)를 적분하여 초기위치로부터 k시간까지의 개략적인 위치의 변화를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta\hat{\phi}(k) &= \sum_{n=1}^k [\hat{x}_{v\phi}(n) \cdot \Delta T] \\ &= \sum_{n=1}^k [v_{\phi_I}(n) \cdot \Delta T] \\ &\quad + \sum_{n=1}^k [\delta v_{\phi_I}(n)|_{smooth} \cdot \Delta T] \\ &\quad + \sum_{n=1}^k [\delta v_{\phi}(n) \cdot \Delta T] \end{aligned} \quad (16)$$

여기서,  $\Delta\hat{\phi}(k)$ 는 위치의 변화를 (14)의 필터링 속도를 이용하여 구한 것이다. (16)은 속도 정보의 적분으로부터 위치를 얻게되므로 실제 속도와 필터링 속도의 차에 대한 적분량이 사라지지 않고 남아 있으므로 정확한 위치정보라 할 수 없다. 그러나 불합리한 순간적인 점프에 대한 항은 스무딩된 정보이다.

2. 정밀 점프 스무딩

개략 스무딩에 의하여 구하여진 점프가 스무딩된 개략

위치정보를 GPS 위치정보와 스칼라 적응필터를 이용하여 속도 신호의 왜곡된 량의 적분에 의한 위치오차의 보상과 위치점프에 대한 스무딩을 하는 과정을 정밀 점프 스무딩이라 정의한다.

이를 위하여 초기위치로부터 k시간까지의 GPS 위치정보와 (16)의 개략 위치정보의 차를 새로운 정밀 점프 스무딩을 위한 측정치로 다음과 같이 구성한다.

$$z_{\phi}(k) = \Delta\phi(k) - \Delta\hat{\phi}(k) \quad (17)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \Delta\phi(k) &= \phi(k) - \phi(0) \\ &= [\phi_I(k) + \delta\phi(k) + \delta\phi_I(k)] \\ &\quad - [\phi_I(0) + \delta\phi(0) + \delta\phi_I(0)] \end{aligned}$$

: 초기위치로부터 k 시간까지의 GPS 위도변화

(16), (17)에서 실제 위치와 실제 속도 적분 그리고 일반적인 GPS 오차와 이에 해당하는 속도 오차성분의 적분은 참값에 의하여 구성되었으므로 다음이 성립한다할 수 있다.

$$\phi_I(k) - \phi_I(0) \approx \sum_{n=1}^k [v_{\phi_I}(n) \cdot \Delta T] \quad (18)$$

$$\delta\phi(k) - \delta\phi(0) \approx \sum_{n=1}^k [\delta v_{\phi}(n) \cdot \Delta T] \quad (19)$$

그리고 초기위치  $\phi(0)$ 는 일반적인 GPS 위치 오차 범위 또는 그 이상의 정확도를 가진다고 할 수 있으므로 결국,  $\phi(0) = 0$ 이라 할 수 있으므로 (18), (19)로부터 (17)의 측정치는 다음과 같이 된다.

$$z_{\phi}(k) \approx \delta\phi_I(k) - \delta\phi(k)|_{smooth} \quad (20)$$

여기서,

$$\delta\phi(k)|_{smooth} = \sum_{n=1}^k [\delta v_{\phi_I}(n)|_{smooth} \cdot \Delta T] \quad (21)$$

따라서 (20)의 측정치에 의한 스칼라 적응필터의 추정치를  $\hat{x}_{\phi}(k)$ 라 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{x}_{\phi}(k) \approx \delta\hat{\phi}_I(k) - \delta\hat{\phi}(k)|_{smooth} \quad (22)$$

앞에서 설명한 스칼라 적응필터 알고리즘의 특성에 의하여 역시  $\delta\hat{\phi}_I(k) \approx 0$ 이라 할 수 있다. 또한, 속도 스무딩에 의하여 나타나는 오차인,  $\delta\phi(k)|_{smooth}$ 는 스칼라 적응필터링 과정을 통하여 빠른 다이내믹스가 일차적으로 제거된 항이므로 스칼라 적응 필터링을 행한 결과인  $\delta\hat{\phi}(k)|_{smooth}$ 와 근사적으로 일치한다 할 수 있다. 즉,  $\delta\hat{\phi}(k)|_{smooth} \approx \delta\phi(k)|_{smooth}$ 이므로 (22)는 다음과 같다.

$$\hat{x}_{\phi}(k) \approx -\delta\phi(k)|_{smooth} \quad (23)$$

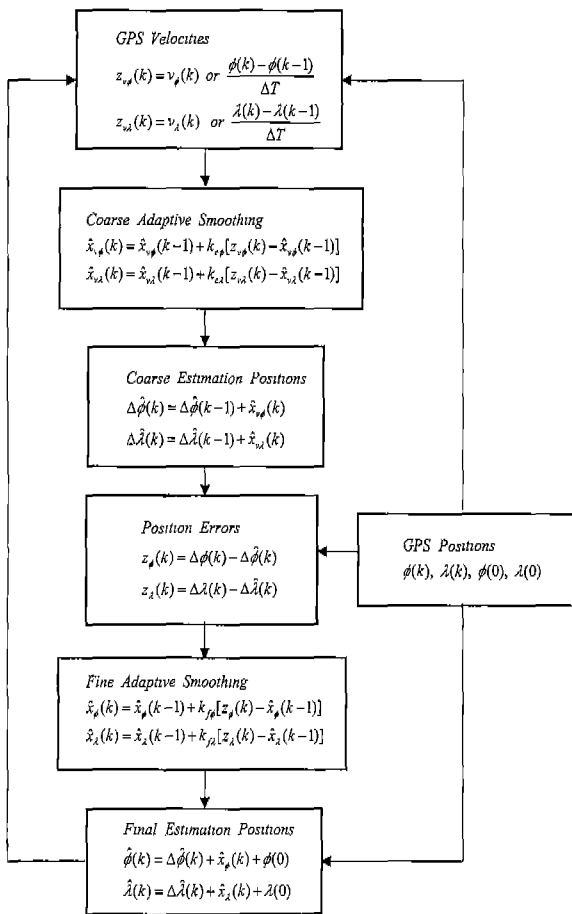


그림 1. GPS 점프 오차 스무딩 기법의 블록선도.  
Fig. 1. Block diagram of stand-alone GPS jump error smoothing scheme.

결국, (23)은 GPS 위치 정보와 개략 스무딩에 의하여 구성된 위치정보의 차에 대한 필터링 값이며 스칼라 적응필터에 의하여 점프가 스무딩된 정보이다. 따라서 개략 스무딩에 의한 결과인 (16)과 (23) 그리고 (18), (19)에 의하여 최종 점프 스무딩 위치는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{\phi}(k) = \Delta\hat{\phi}(k) + \hat{x}_{\phi}(k) + \phi(0) \quad (24)$$

여기서,  $\phi(0)$ 는 이미 언급했듯이 초기 위치이므로 일반적인 GPS 오차 범위의 정보 또는 그 이상의 정확도를 가진다 할 수 있다. 지금까지 전개된 GPS 점프 스무딩 과정을 위도, 경도에 대하여 그림 1에 나타내었다. 제시된 알고리즘은 적응필터를 두 번 사용하지만 필터의 형태가 스칼라이므로 계산 시간이나 컴퓨터상에서 실시간으로 구현하는데 문제가 되지 않을 것이다.

IV. 시뮬레이션

GPS 점프 오차 스무딩의 시뮬레이션은 위도, 경도의 2차원에서 수행하였으며, 이를 위하여 차량에 GPS 시스템을 장착하고 주행하여 얻은 이동 궤적에 대한 GPS 정보(그림 2의 굵은 실선)에 다음과 같은 점프(그림 2의 가는 실선)를 인가하였으며 각각의 구간에서의 설명은 다음과 같다.

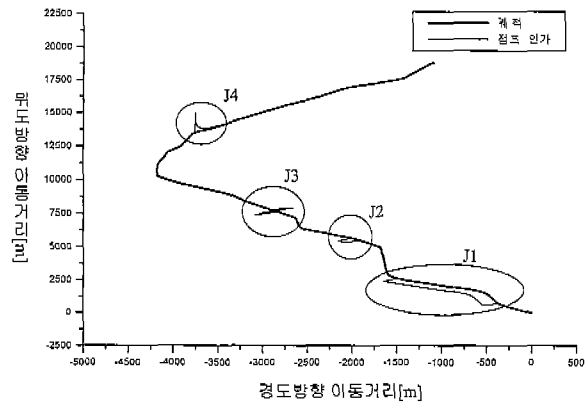


그림 2. 시뮬레이션을 위한 항체의 궤적 및 점프 오차.  
Fig. 2. Vehicle trajectory and jump errors for simulations.

- (J1) 순간적인 점프 후 점프 레벨에서 비교적 긴 시간(2분) 유지한 후 실제궤적으로 돌아오는 경우
- (J2) 순간적인 점프 후 짧은 시간(10초)이 지난 후 실제궤적으로 돌아오는 경우
- (J3) 빠르게(1초) 순간적인 점프가 반복되는 경우
- (J4) 순간적인 점프 후 일정한 기울기를 가지고 실제궤적으로 돌아오는 경우

(J1)의 경우는 계단 입력에 대한 응답이라 할 수 있다. 신호가 (J1)과 같은 특성을 갖는다면 계속적으로 추정치를 신뢰하지 않을 수 없으므로 이는 유용한 정보로 보아야 할 것이다. 따라서 빠르게 정보를 추종해야 한다. 그런데 설계된 적응 필터 알고리즘은 순간적인 커다란 변화에 대하여 둔감한 반응을 보이게 설계되어 있으므로 일반적인 고정 이득을 갖는 필터 또는 시스템 및 측정 잡음이 일정하게 설계된 칼만 필터에 비하여 신호를 추종하는데 비교적 긴 시간이 소요될 것이다. 이는 적응 필터 알고리즘의 단점이라 할 수 있는데, 만약 GPS가 (J1)과 같은 오차를 가진다면 제시된 알고리즘에 의하여서는 합리적인 보상이 이루어질 수 없다. 그러나 실제 항체가 (J1)과 같은 급격한 운동을 한다면 문제가 될 수 있다. (J2)와 (J4)는 설계된 점프 스무딩 기법이 효율적임을 보이기 위한 경우이다. 순간적으로 짧은 시간 동안 실제 궤적에서 벗어난 경우로서 (3)의 적응 필터에 의하여 추정치는 점프의 크기에 반비례하여 반응을 보이므로 점프가 크면 클수록 스무딩 효과는 강해진다. 따라서 정보가 실제궤적으로 돌아왔을 때 추정치와의 차가 크지 않게 되므로 실제 정보를 효율적으로 추종하게 된다. 이때 일반적인 필터를 이용하였을 경우, 점프에 대하여 다소 스무딩은 되지만 점프의 크기에 비례하여 반응하므로 적응필터만큼 효과적이지 못하다. 또한, 스무딩된 신호가 고차의 추정 시스템의 추정치로 이용된다면 점프에 의한 오차에 의하여 고차의 추정 시스템은 오랜 시간 진동하는 과도상태를 가질 수 있으므로 적응 필터링에 의한 스무딩 방법이 매우 효과적이라 할 수 있다. (J3)의 경우는 일반적인 필터의 경우에서도 효과적으로 필터링 될 수 있으나 점프의 크기가 매우 크다면 제시된 기법이 보다 효과적일 것이다.

스칼라 적응 필터의  $q$ 는 매우 중요한 파라미터이다. 이 값은 실제신호의 다이내믹스를 나타내는 값으로 이에 의하

여 실제신호에 대한 추종 특성이 결정된다. 즉, 스칼라 적응 필터는 실제정보의 다이내믹스에 종속된다. 최소제곱추정에 의하여  $q$ 를 추정하지만 신호의 변화가 심한 경우 합리적인 값의 추정이 어려울 수 있다. 따라서 이러한 경우에 추정이 효율적으로 이루어지도록  $q_{min}$ 을 정한다. 따라서  $q_{min}$ 은 항체의 다이내믹스를 고려하여 선정하여야 한다. 결국, 제시된 스무딩 기법은  $q_{min}$ 의 선정에 장점을 갖는다. 왜냐하면, 개략 스무딩의 경우는 실제 신호의 왜곡이 있을지라도 빠른 변화에 대한 스무딩을 행하므로  $q_{min}$ 을 다소 작게 정할 수 있으며, 개략 스무딩에 의하여 구성된 개략 정보와 실제 스무딩을 위한 정보의 차가 정밀 스무딩의 추정치이므로 실제신호에서 개략 스무딩 신호에 의한 다이내믹스를 제외한 결과가 되므로 정밀 스무딩에서 역시  $q_{min}$ 을 작게 선정할 수 있다. 시뮬레이션에서 개략의 경우는  $q_{min}=1[m^2/s^4]$ 로 선정하였으며, 정밀 스무딩에서는  $q_{min}=5[m^2/s^2]$ 를 선정하였다. 그리고 필터이득은 0~1의 값을 가지므로  $K_{\hat{x}}$ 는 0.5를 선택하였으며, 점프와 같은 오차는 stationary라 할 수 없으므로  $R(\hat{x})$ 는 nonstationary의 경우로 설계하였다.

그림 3 (a), (b)의 점선은 그림 2의 점프를 가지는 궤적에 샘플시간(1초)동안 위치변화량을 나타내고 있다. 이 위치변화량, 즉 속도성분이 개략 점프 스무딩 과정의 추정치로 이용된다. 그림 2에서 위치가 순간적으로 변화하는 순간에 속

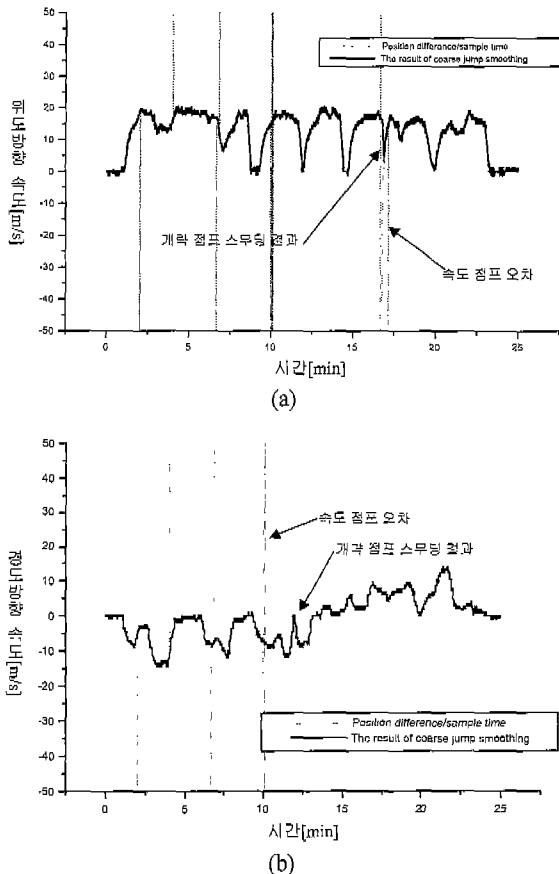


그림 3. 개략 점프 스무딩 측정치 및 스무딩 결과.  
Fig. 3. The measurements of coarse jump smoothing and the results of smoothing.

도 성분(위치 변화량)이 크게 점프함을 알 수 있다. 그림 3의 실선은 적응 필터링의 스무딩 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 점프신호가 스무딩되어 제거됨을 볼 수 있다. 그림 5의 점선은 그림 3의 개략 스무딩 과정에서 스무딩된 속도를 적분하여 얻은 개략 위치로써 점프 오차의 향이 사라지기는 하였으나 실제신호에 대한 왜곡에 의하여 GPS 위치와는 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이 신호(점선)와 GPS 신호(얇은 실선)의 차가 정밀 스무딩을 위한 추정치로 이용된다. 그림 4에 이 측정치(점선)와 정밀 스무딩 결과(실선)를 나타내었다. 점프가 일어나는 부분을 제외하고는 추정치가 위치 오차를 잘 추종하고 있음을 알 수 있다. 결국, 개략 위치(그림 5의 점선)와 정밀 스무딩 결과(그림 4의 실선)에 의하여 최종 구성된 위치가 그림 5의 굵은 실선이다. 각각의 경우에 대하여 확대된 그림과 전체적인 그림으로 볼 때 제시된 스무딩 기법에 의하여 점프오차 부분을 제외하고는 GPS와 최종 추정치가 일치함을 알 수 있다. 즉 점프에 대한 스무딩이 효율적으로 이루어졌음을 알 수 있다. 그림 6은 제시된 기법을 이용하지 않고 직접 GPS 위치 정보에 적응 필터를 적용하였을 때  $q_{min}(5, 20[m^2/s^2])$ 에 따른 응답 특성을 나타내고 있다.  $q_{min}$ 이 작은 경우 실제신호를 추종하지 못함을 알 수 있다. 즉, 실제의 다이내믹스까지 적응 필터에 의하여 스무딩되므로 실제 신호를 추종하지 못하는 것을 보여준다.  $q_{min}$ 이 큰 경우는 실제의 신호는 잘 추종하나 (J2)로부터 알

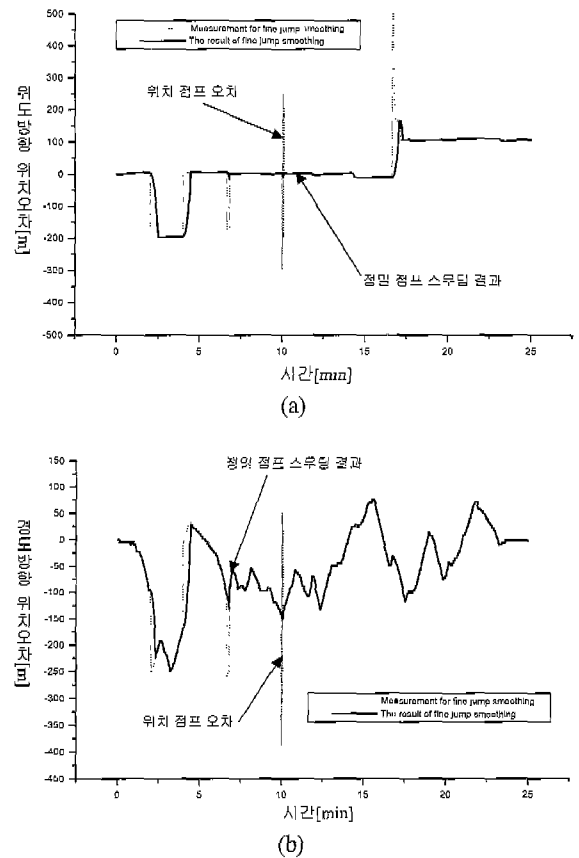


그림 4. 정밀 점프 스무딩 측정치 및 스무딩 결과.  
Fig. 4. The measurements of fine jump smoothing and the results of smoothing

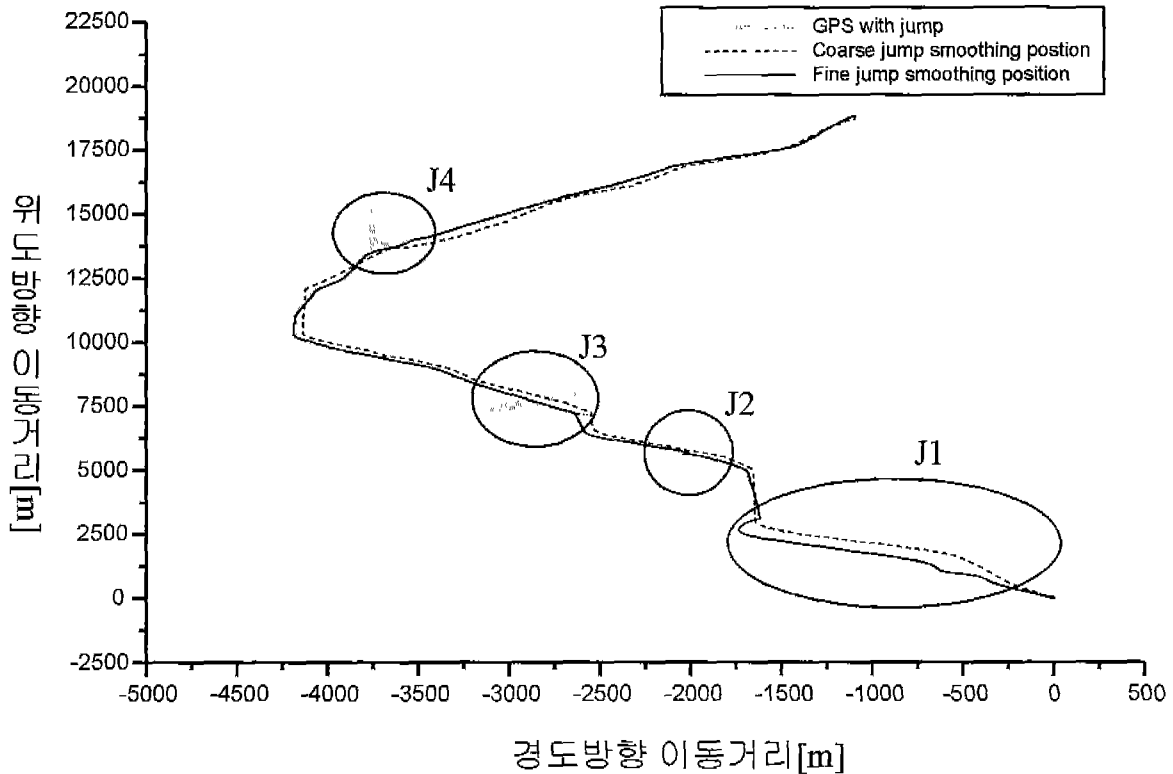
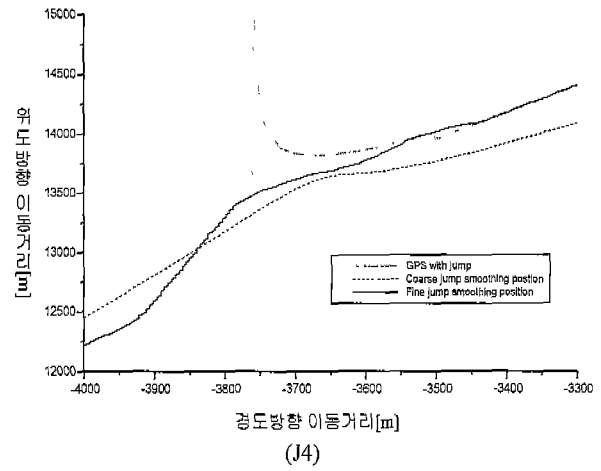
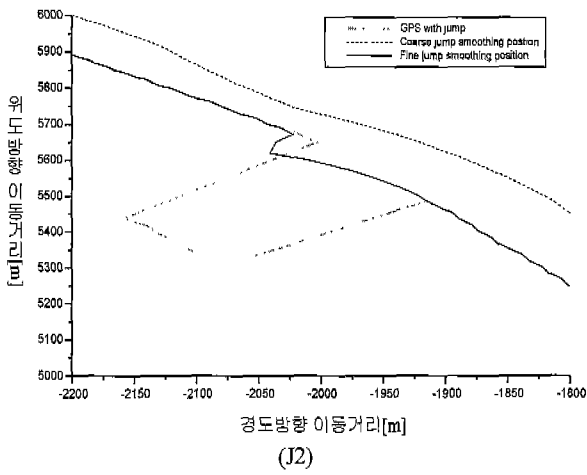
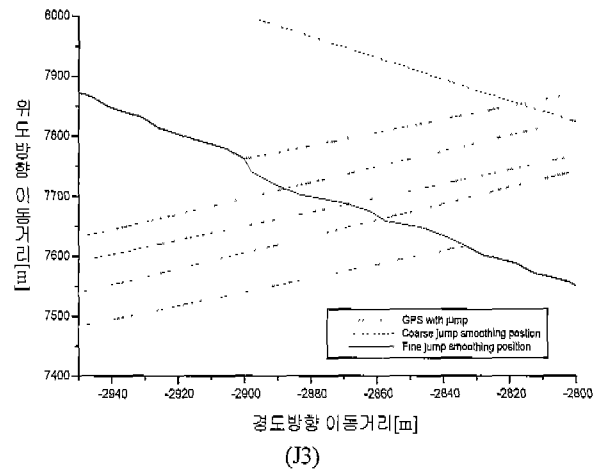
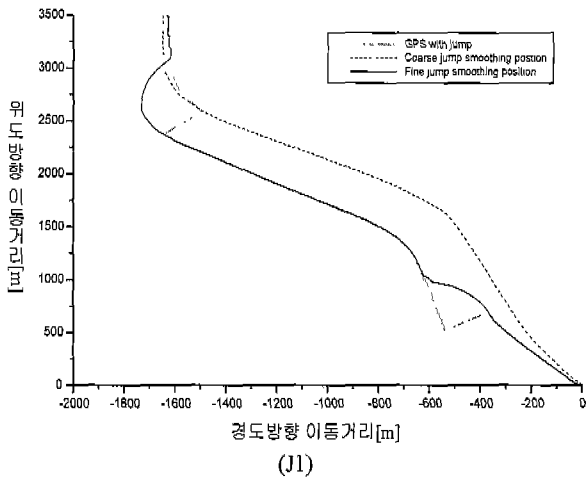


그림 5. 제시된 기법에 의한 GPS 점프 오차 스무딩 결과.  
 Fig. 5. GPS jump error smoothing results using proposed scheme.

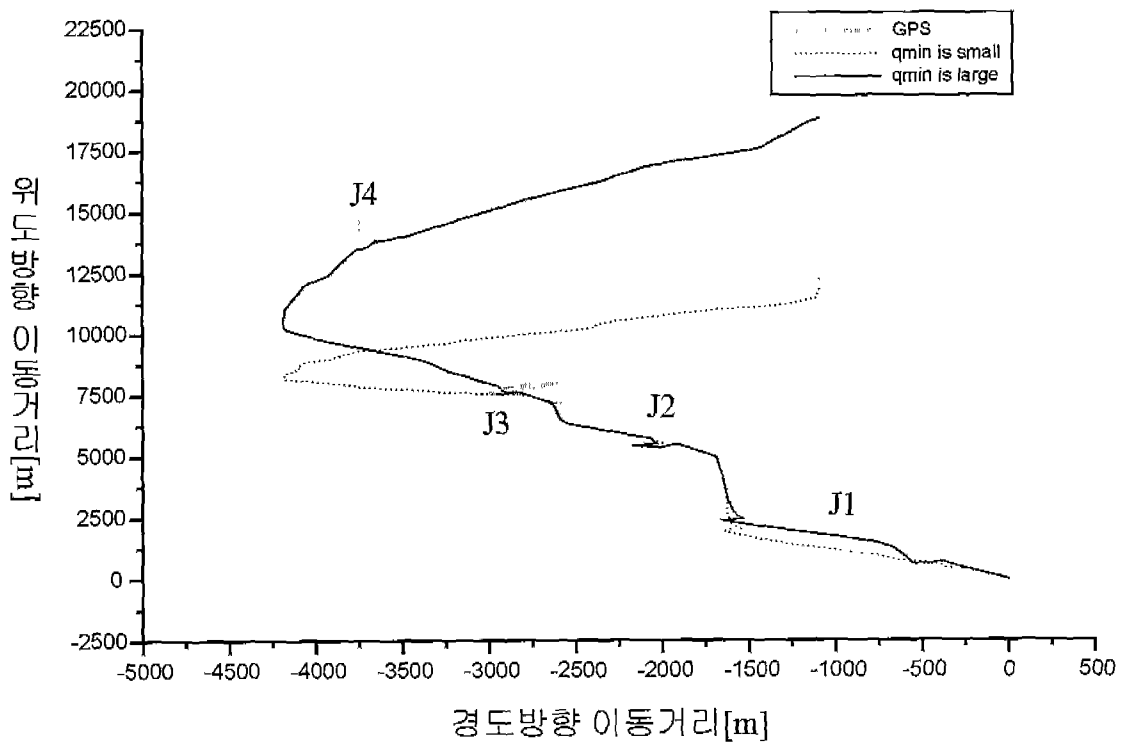
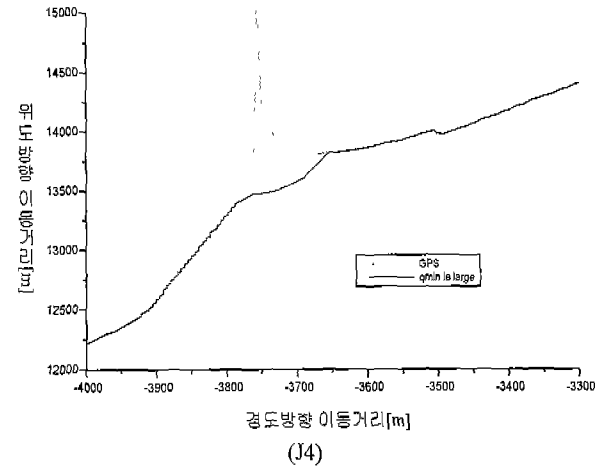
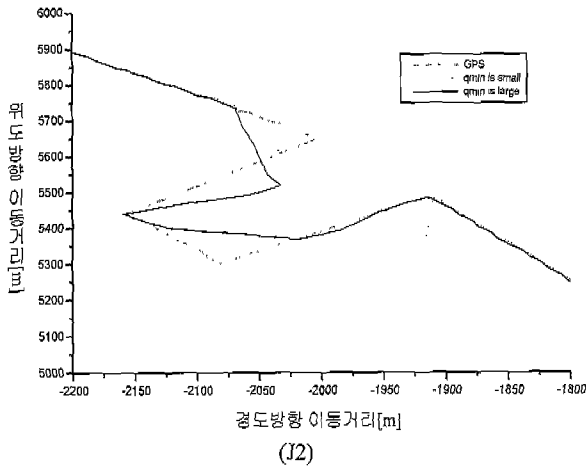
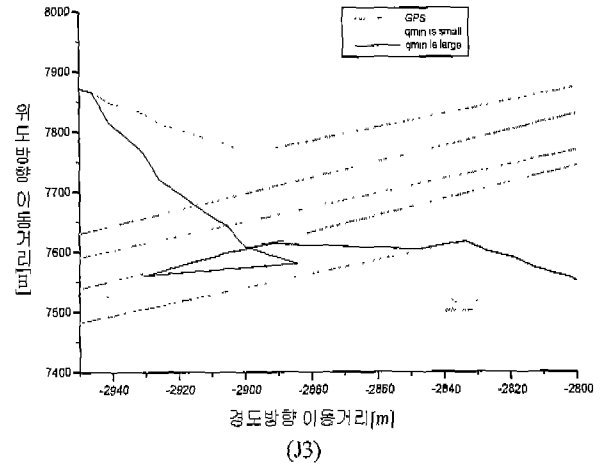
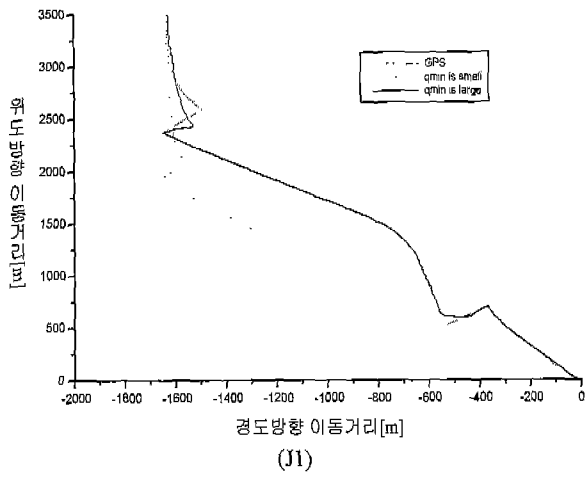


그림 6. 위치에 대하여 직접 적응 필터를 적용한 경우  $q_{mm}$ 에 따른 응답.  
 Fig. 6. The performances of adaptive filter according to  $q_{mm}$ .



수 있듯이 점프 오차에 대한 스무딩이 제대로 이루어지지 않음을 알 수 있다. 그런데 (J4)에서는 점프의 스무딩이 적절히 이루어지는데 이는 (J2)의 경우에 비하여 (J4)의 경우 순간 점프의 크기가 크기 때문이다. 따라서 실제의 신호에 비하여 예상되는 점프 오차가 현저히 크다면 위치에 대하여 직접적으로 적응필터를 적용함으로써 점프 오차를 제거할 수 있다.

### V. 결론

GPS는 연속적이며 신뢰성 있는 항법 정보를 제공할 수 있기 때문에 다양한 분야에서 이용이 확대되고 있으며, 더 나아가 기존의 항법시스템을 보완하기 위하여 이용된다. 그런데 GPS는 수신자의 지리적 여건 및 외부전파의 영향에 의하여 불합리한 항법정보를 제공할 수 있다. 외부환경에 의한 점프 오차와 같은 불합리한 오차가 순간적이라면 환경에 의한 요인이 사라진 후 GPS 정보는 일반적인 GPS 정확도를 가지게 될 것이다. 그런데 GPS 정보가 다른 항법 시스템과 결합되어 추정시스템이 구성되어 있다면 순간적인 GPS 점프오차의 크기 및 시간에 관계되어 추정성능에 영향을 미치게 되며 그 영향이 오랜 동안 지속될 수 있다. 본 연구에서는 GPS가 안정적인 정보를 제공하고 GPS와 연계되어 사용되는 시스템이 효율적으로 동작할 수 있도록 GPS의 점프오차를 적절히 스무딩하기 위한 알고리즘을 설계하였다. 알고리즘은 스칼라 적응 필터를 이용하여 개략적으로 점프를 스무딩하는 개략 점프 스무딩 과정과 개략 점프 스무딩 과정에서 나타나는 유용한 정보의 왜곡을 보상하기 위한 정밀 점프 스무딩 과정으로 구성하였다. 시뮬레이션을 통하여 제시된 점프 스무딩 기법의 다양한 점프 형태에서의 동작 특성과 설계를 위하여 고려하여야 할 사항을 파악함으로써 제시된 점프 스무딩 기법이 효율적임을 보였다. 따라서 GPS를 이용하는 항체의 조건에 맞게 제시된 알고리즘의

파라미터 및 스칼라 적응 필터의 측정치를 적절히 선택함으로써 효율적인 항법 시스템을 구성할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- [1] E. D. Kaplan, Understanding GPS principles and applications, ARTECH HOUSE, INC., 1996.
- [2] G. M. Siouris, Aerospace Avionics Systems, Academic Press, 1993.
- [3] O. Salychev, Inertial Systems in Navigation and Geophysics, Bauman MSTU Press Moscow, 1998.
- [4] J. A. Farrell, et al., the Global positioning system & inertial navigation, McGraw-Hill, 1998.
- [5] P. H. Dana, Global positioning system overview, University of Texas, 1994.
- [6] G. Krishnamurti, et al., "The design and performance of GPS phase II user equipment navigation software," *Journal of the Institute of Navigation*, vol. 32, no. 3, Fall 1985, pp. 263-281.
- [7] T. Upadhyay, et al., "Autonomous GPS/INS navigation experiment for space vehicle," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 29, no. 3 July, 1993, pp. 772-784.
- [8] G. Hyslop, et al., "GPS/INS integration on the standoff land attack missile(SLAM)," *IEEE AES Magazine*, July, 1990, pp. 29-34.
- [9] J. C. McMillan, "An Integrated land navigation system," *IEEE Position Location and Navigation Symp.*, 1998, pp. 221-229.
- [10] R. K. Metra, "Approaches to adaptive filtering," *IEEE Trans. on Automatic Control*, October, 1972, pp. 693-698.
- [11] P. S. Maybeck, Stochastic models, estimation and control volume 2, Academic Press, 1979.
- [12] A. Gelb, Applied optimal Estimation, M.I.T. Press 1974.



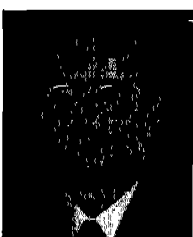
이 태 규

1964년 9월 10일생. 1987년 인하대 전기공학과 졸업, 1989년 동대학원 석사(기기 및 제어 전공). 1996년 동대학원 박사(제어 및 시스템 전공). 1997년~현재 국방과학연구소 선임 연구원. 관심분야는 SDINS/GPS/보조 센서 통합 시스템, SDINS 항법 알고리즘, 퍼지/적응 알고리즘.



김 광 진

1972년 10월 29일생. 1995년 광운대 제어계측공학과 졸업. 1997년 동대학원 석사. 1997년~현재 국방과학연구소 연구원. 관심분야는 SDINS 항법알고리즘, 항법컴퓨터 설계 및 GPS/INS 통합 시스템.



박 흥 원

1956년 2월 22일생. 1979년 서울대학교 기계설계공학과 졸업. 동대학원 제어계측과 석사(1988년). 동대학원 박사(1995). 1979년~현재 국방과학연구소 책임연구원. 관심분야는 판성항법시스템 복합항법, 추정이론 및 응용, 분산 시스템.