

# 국토해양부 NDGPS 정확도 향상을 위한 의사거리 보정치의 이상점 및 노이즈 제거기법 개발

## Development of Removal Techniques for PRC Outlier & Noise to Improve NDGPS Accuracy

김군택\* · 김혜인\*\* · 박관동\*\*\*

Kim, Koon Tack · Kim, Hye In · Park, Kwan Dong

### 要 旨

DGPS(Differential Global Positioning System) 측위에 보정정보로 사용되는 의사거리 보정치(PRC, Pseudo Range Correction)에는 불규칙적으로 이상점, 노이즈, 이상현상이 발생한다. 이러한 의사거리 보정치를 보정정보로 사용한 DGPS 측위의 경우 측위 오차는 증가하게 된다. 따라서 이 연구에서는 발생하는 의사거리 보정치의 이상점, 노이즈, 이상현상을 다항식 곡선 접합을 적용한 모델링을 통해 검출 및 보정하는 기법을 제안하였다. 또한 의사거리 보정치 모델의 검증에 위해 보정 전·후의 의사거리 보정치를 DGPS 측위에 사용하여 측위오차를 분석하였다. 분석 결과, 이상점, 노이즈, 이상현상이 발생하는 의사거리 보정치를 사용한 측위의 RMS 오차는 수평방향으로 3.84m로 나타났고, 보정된 의사거리 보정치를 사용한 측위에서는 RMS 오차가 수평방향으로 1.49m로 나타나서 측위 정확도가 향상되는 것을 확인하였다.

핵심용어 : 상대측위, 의사거리 보정치, 이상점, 노이즈, 다항식 곡선 접합

### Abstract

The Pseudorange Corrections (PRC), which are used in DGPS as calibration messages, can contain outliers, noise, and anomalies, and these abnormal events are unpredictable. When those irregular PRC are used, the positioning error gets higher. In this paper, we propose a strategy of detecting and correcting outliers, noise, and anomalies by modeling the changing pattern of PRC through polynomial curve fitting techniques. To validate our strategy, we compared positioning errors obtained without PRC calibration with those with PRC calibration. As a result, we found that our algorithm performs very well; the horizontal RMS error was 3.84 m before the correction and 1.49 m after the correction.

Keywords : DGPS, PRC, Outlier, Noise, Polynomial Curve fitting

### 1. 서 론

DGPS는 GPS(Global Positioning System)를 이용한 측위 방법의 하나로서 정확한 위치좌표를 알고 있는 기준국에서 위성신호를 받아 오차를 계산한 후, 보정정보를 사용자에게 제공해주는 위성항법보정시스템이다. DGPS와 관련된 최근 연구 동향으로 장수익 등(2010)은 NTRIP 서비스를 이용한 도로절토사면 현황조사방법, 김민섭 (2010)은 주택가 밀집지역에서의 각종 시설

물 관리를 위한 네트워크 DGPS 측위의 가용성 평가로 정확도가 높은 측량을 위해 DGPS를 사용하는 연구가 진행되었으며 조형식 등(2008)은 DGPS 방식을 사용하여 GIS 기반의 묘지관리시스템을 구축하는 연구를 진행하였다. 오주택 등(2010)은 위험운전 판단장치의 성능평가를 위해 DGPS 측위 결과를 이용하여 검증하는 연구를 진행하였으며, 이상중 등(2009)은 DGPS를 활용한 비행시험 기법을 제안하였다. 이와 같이 DGPS는 정확도가 높은 위치 결정이 가능하기 때문에 측량,

2011년 5월 2일 접수, 2011년 6월 7일 채택

\* 교신저자 · 정회원 · 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 석사과정(gnsskt@inha.edu)

\*\* 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 박사과정(hikim0619@inha.edu)

\*\*\* 정회원 · 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 부교수(kdperk@inha.ac.kr)

GIS, 교통, 비행분야 등 여러 분야에서 사용되고 있으며, 그 수요가 점차 증가하고 있다. 따라서 DGPS의 정확도와 무결성(integrity) 확보가 중요하다.

우리나라에서는 국토해양부 위성항법중앙사무소에서 전국에 총 27개의 해양기준국, 해양감시국, 내륙기준국을 구축하여 운영하고 있으며, 전국 어디에서나 이 서비스를 이용한 DGPS 측위가 가능하다. 기준국에서 생성하는 보정정보는 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime Services) SC-104 형식으로 의사거리 보정치와 의사거리 보정치 변화율(RRC, Range Rate Correction) 등이 포함되어 있다. 의사거리 보정치는 좌표를 정확히 알고 있는 기준국과 각 위성간의 실제거리(true range)와 관측 데이터(observation data)에 기록된 의사거리(pseudo range)의 차이를 의미한다. 생성된 의사거리 보정치에는 위성의 상태(health) 및 하드웨어 문제 등의 다양한 이유로 불규칙적인 이상점, 노이즈(noise), 이상현상이 발생한다. 이러한 현상들은 의사거리 보정치를 이용한 DGPS 측위에서 정확도를 저하시키는 요인이 된다. 또한 의사거리 보정치는 시간 지연(time latency) 현상에 의해 누락이 되는 경우가 발생한다. 이처럼 의사거리 보정치의 재계산이 필요한 경우, RTCM 보정정보에 포함되어 있는 의사거리 보정치 변화율을 이용하여 의사거리 보정치를 재계산할 수 있다. 하지만 Wan Aris 등(2010)과 박병운 등(2003)은 의사거리 보정치 변화율을 이용한 의사거리 보정치의 재계산 방법에 대해서 2000년 5월 SA(Selective Availability) 해제 이후 그 유효성에 문제를 제기하는 연구를 진행하였다. Wan Anom 등(2009)과 Park 등(2006)은 노이즈가 큰 의사거리 보정치로 의사거리 보정치 변화율을 구할 경우 시간지연보상에 의한 오차가 커질 수 있으며, 오히려 측위 정확도를 낮추기 때문에 RRC를 사용하지 않도록 권고하고 있다.

박병운(2003)은 DGPS 측위 정확도를 향상시키기 위해 Hatch Filter, Divergence Free Hatch Filter, Kalman Filter 방법으로 의사거리 보정치를 필터링 하였으며, 그 결과 필터링 방법에 따라 고유의 장단점이 있지만 필터링을 적용한 의사거리 보정치를 DGPS 측위에 사용하는 것이 DGPS 측위의 정확도를 향상시킨다는 연구를 진행한 바 있다. 따라서 본 연구에서는 DGPS의 측위 정확도를 향상시키기 위해 의사거리 보정치에서 발생하는 이상점, 노이즈, 이상현상을 검출 및 보정하는 방법을 제안하였다. 먼저 의사거리 보정치에 발생하는 오차의 특성을 분석하였고 다항식 곡선 적합(curve fitting)을 적용한 의사거리 보정치 모델링 기법을 개발 하였다. 다항식 곡선 적합을 적용해서 생성

된 의사거리 보정치 모델을 이용하여 의사거리 보정치의 이상점, 노이즈, 이상현상을 검출 및 보정하였으며, DGPS 측위오차를 산출하여 정확도를 검증하였다.

## 2. 의사거리 보정치에 발생하는 오차의 특성

DGPS에 사용되는 의사거리 보정치는 위성의 상태, 하드웨어 문제, 궤도력 오차 등으로 인해 불규칙적인 이상점, 노이즈, 그리고 이상현상이 발생하게 된다. 이 장에서는 의사거리 보정치에서 발생하는 현상을 분석하고 이러한 현상이 DGPS 측위 오차에 미치는 영향을 분석하였다.

### 2.1 불규칙적인 이상점 발생

이상점은 관측값이 정상적인 범위를 벗어나는 경우를 의미한다. 이 연구에서는 2010년 10월부터 2011년 3월까지 위성항법중앙사무소에서 운영하는 다수의 기준국에서 생성된 의사거리 보정치의 시계열을 분석하였다. 그 결과 의사거리 보정치에 나타나는 이상점의 경우 일반적으로 2~10m 범위내의 크기로 발생하며, 100m 이상의 이상점이 발생하는 경우도 있다. 의사거리 보정치의 시계열 중 한 예를 그림 1에 나타냈다. 그림 1은 위성항법중앙사무소에서 운영하고 있는 무주 기준국에서 2011년 2월 8일에 생성된 3번 위성의 의사거리 보정치를 나타낸 것이다. 그림 1에서 점선으로 표시한 부분이 의사거리 보정치 시계열에서 발생하는 이상점을 나타낸다.

이상점이 DGPS 측위 정확도에 미치는 영향을 확인하기 위해 가상의 이상점을 임의로 생성하여 이를 반영한 DGPS 측위 오차를 분석하였다. 측위에 사용한 관측 데이터와 의사거리 보정치는 위성항법중앙사무소의

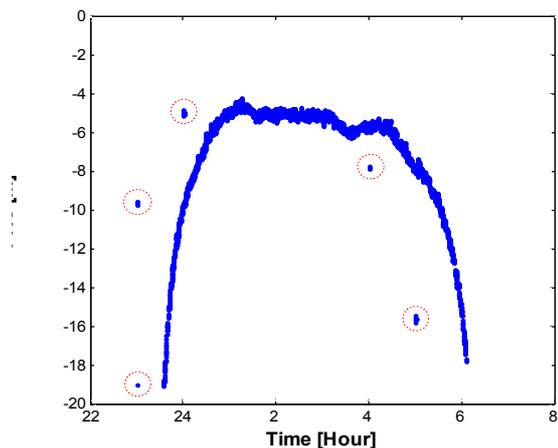


그림 1. 이상점이 발생한 의사거리 보정치 시계열

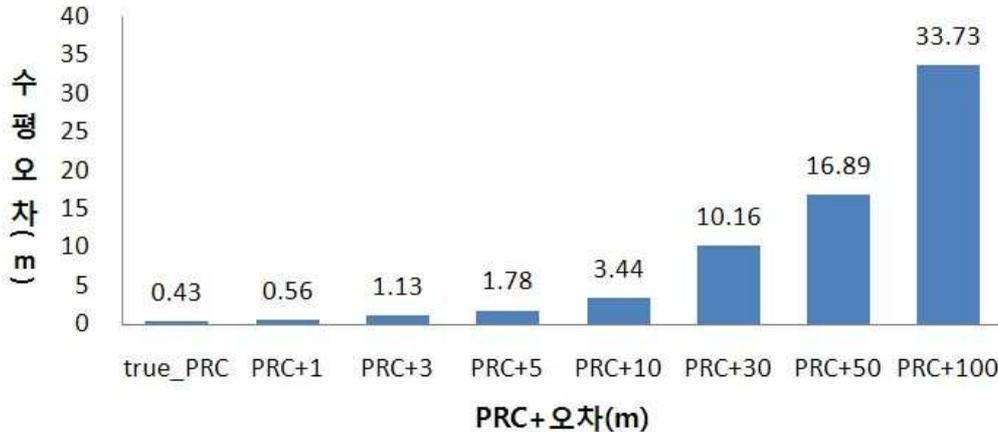


그림 2. 이상점 크기변화에 따른 DGPS 측위 수평오차

무주 기준국에서 2011년 3월 4일 0시부터 24시까지 30초 간격으로 생성한 데이터이며 측위 정확도를 계산하기 위한 참값은 국토지리정보원에서 고시한 무주 기준점의 측량 성과를 사용하였다. 에폭마다 관측되는 위성 중에서 하나의 위성에 임의의 의사거리 보정치 오차 1, 3, 5, 10, 30, 50, 100m를 부여 한 후 수평오차를 산출하였으며, 각 에폭에서 산출된 수평오차의 평균은 그림 2와 같다. 의사거리 보정치 오차의 크기가 3m 이상인 경우 수평오차는 1m 이상 커지게 되고 100m 이상의 의사거리 보정치 오차가 발생한 경우 수평오차는 30m 이상으로 증가하였다. 이를 통해 의사거리 보정치의 오차가 커질수록 측위 정확도가 저하되는 것을 확인할 수 있다.

2.2 수신 장비에 따른 노이즈 발생

앞서 2.1절에서 설명한 이상점과 마찬가지로 의사거리 보정치에는 불규칙적인 노이즈 현상이 발생하며, 의사거리 보정치를 생성하는 수신기의 종류에 따라 노이즈의 크기가 다르게 나타난다. 2011년 4월 현재 위성항법중앙사무소에서 운영하는 기준국 중에서 NTRIP (Networked Transport of RTCM Via Internet Protocol)

서비스를 제공하는 기준국은 18개소이며, 사용하는 GPS 수신기의 종류는 Trimble사의 4000SSE, 4000SSI, NetR5, NetR8, NetR9이다. 이를 표 1에 정리하였다. 저진, 영주, 무주 기준국의 경우 RTCM 버전에 따라 두 대의 수신기를 사용하여 RTCM 2.0과 RTCM2.3을 전송한다.

수신 장비에 따른 의사거리 보정치의 변화경향을 비교하기 위해 무주, 충주, 대전 기준국에서 같은 시간에 생성된 의사거리 보정치를 비교하였다. 그림 3은 2011년 2월 8일 무주, 충주, 대전 기준국에서 생성된 3번 위성의 의사거리 보정치를 나타낸 것이다. 무주 기준국의 경우 4000SSE와 NetR5 수신기를 사용하고 충주 기준국은 4000SSI, 대전 기준국은 NetR5 수신기를 사용하고 있다. 위성항법중앙사무소가 운영하는 기준국 중에서 충주와 대전 기준국은 무주 기준국과 비교적 가까운 곳에 위치하고 있다. 따라서 가까운 위치에 있는 무주, 충주, 대전 기준국은 같은 시각 같은 위성에서 생성되는 의사거리 보정치의 값이 유사하게 나타나야 하며 변화경향도 유사하게 나타나야 한다. 하지만 그림 3을 통해 무주 기준국의 4000SSE 수신기에서 1시~2시 사이에 생성된 의사거리 보정치의 변동폭은 5m 이상의 크

표 1. 위성항법중앙사무소 기준국의 사용 수신기 현황

구분	지역	수신기	구분	지역	수신기
해양 기준국	저진	4000SSE, NetR5	해양 기준국	주문진	4000SSE
	어청도	NetR9		소청도	4000SSE
	팔미도	NetR9		내륙 기준국	영주
	소흑산도	4000SSE	무주		4000SSE, NetR5
	거문도	4000SSE	대전		NetR5
	마라도	4000SSE	춘천		NetR5
	영도	4000SSE	충주		4000SSI
	호미곶	4000SSE	평창		4000SSE
	울릉도	4000SSE	해양 감시국	독도	NetR8

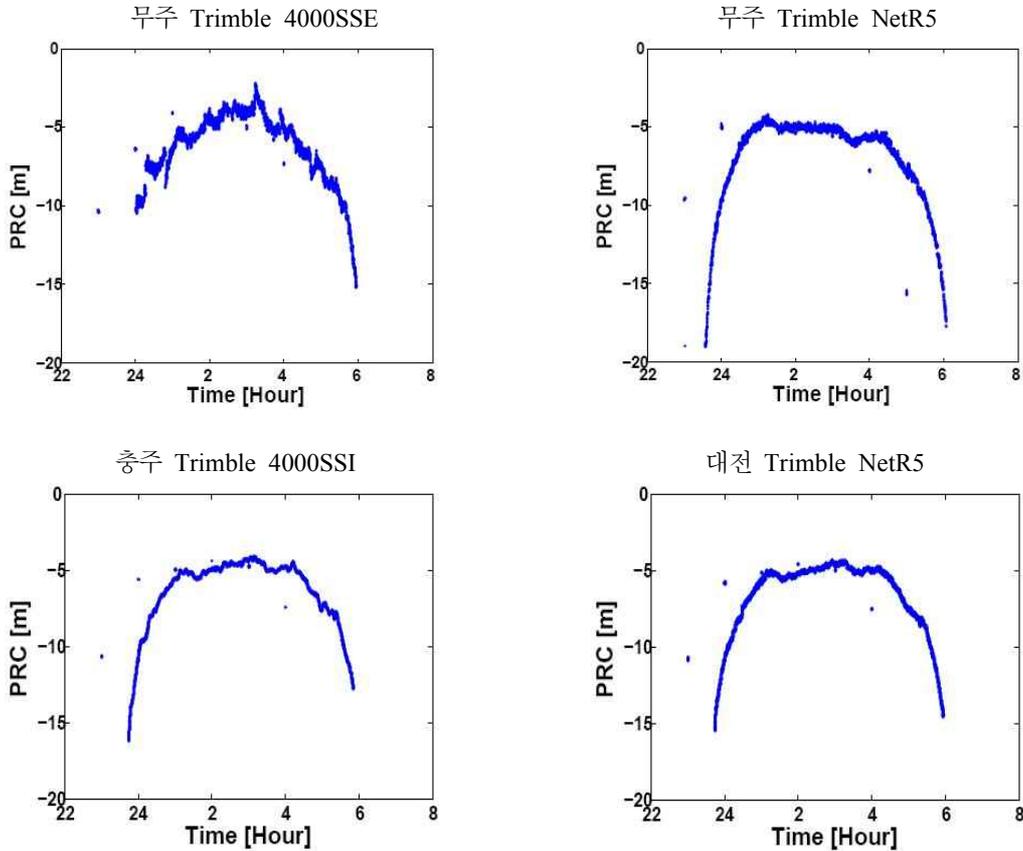


그림 3. 무주, 충주, 대전 기준국에서 생성된 3번 위성의 의사거리 보정치 시계열

기로 나타나고 다른 기준국에서 같은 시각에 생성되는 의사거리 보정치의 변동폭은 1m 이하로 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 또한 무주 기준국에서 사용하고 있는 4000SSE와 NetR5 수신기의 경우 같은 시각에 생성한 의사거리 보정치 값의 크기가 다르므로 4000SSE 수신기에서 생성되는 의사거리 보정치 값은 실제 의사거리 보정치 값이 아닌 노이즈 현상에 의한 값을 알 수 있다. 이를 통해 위성항법중앙사무소가 사용하는 수신기 중에서 구형 수신기인 4000SSE의 경우 다른 수신기와 비교하였을 때 노이즈의 크기가 크게 발생하고 있는 것을 알 수 있다.

의사거리 보정치에 노이즈가 심하게 발생할 경우 DGPS 측위 정확도에 미치는 영향을 확인하기 위해 노이즈의 발생 크기가 큰 의사거리 보정치와 작은 의사거리 보정치를 DGPS 측위에 보정정보로 사용하여 수평 오차를 산출하였다. 의사거리 보정치 이외의 오차요인을 최소화하기 위해 동일한 기준국에서 생성한 의사거리 보정치를 사용하였으며, 노이즈가 크게 발생한 의사거리 보정치로는 위성항법중앙사무소에서 운영하는 무주 기준국의 4000SSE 수신기에서 생성한 의사거리 보정치를 사용하였고 노이즈의 크기가 작은 의사거리 보

정치로는 위성항법중앙사무소에서 운영하는 무주 기준국의 NetR5 수신기에서 생성한 의사거리 보정치를 사용하였다. 또한 기선거리에 의한 오차를 최소화 하기 위해 국토지리정보원에서 운영하는 무주(MUJU) 상시 관측소를 이동국으로 하여 DGPS 측위를 수행하였다. 위성항법중앙사무소에서 운영하는 무주(MOOJ) 기준국과 국토지리정보원에서 운영하는 무주(MUJU) 상시 관측소간의 기선거리는 약 19km로 다른 기준국보다 비교적 가까운 위치에 있으며, 국토지리정보원에서 운영하는 무주(MOOJ) 상시관측소의 수신기는 의사거리 보정치를 생성하는데 사용된 수신기와 다른 종류인 Trimble사의 NetR8 수신기이므로 공통수신기에 의한 오차가 상쇄되는 것을 방지하였다. DGPS 측위 시 오차를 산출하기 위한 참값은 국토지리정보원에서 고시한 무주(MUJU) 기준점의 측량성과를 사용하였다.

그림 4는 그림 3에 나타난 무주 기준국의 4000SSE 수신기에서 생성된 의사거리 보정치와 NetR5 수신기에서 생성된 의사거리 보정치를 사용한 DGPS 측위의 수평오차를 나타낸 것이다. 앞서 설명하였듯이 4000SSE 수신기에서 생성된 의사거리 보정치의 경우 다른 수신기에 비해 대체적으로 노이즈가 크게 발생하기 때문에

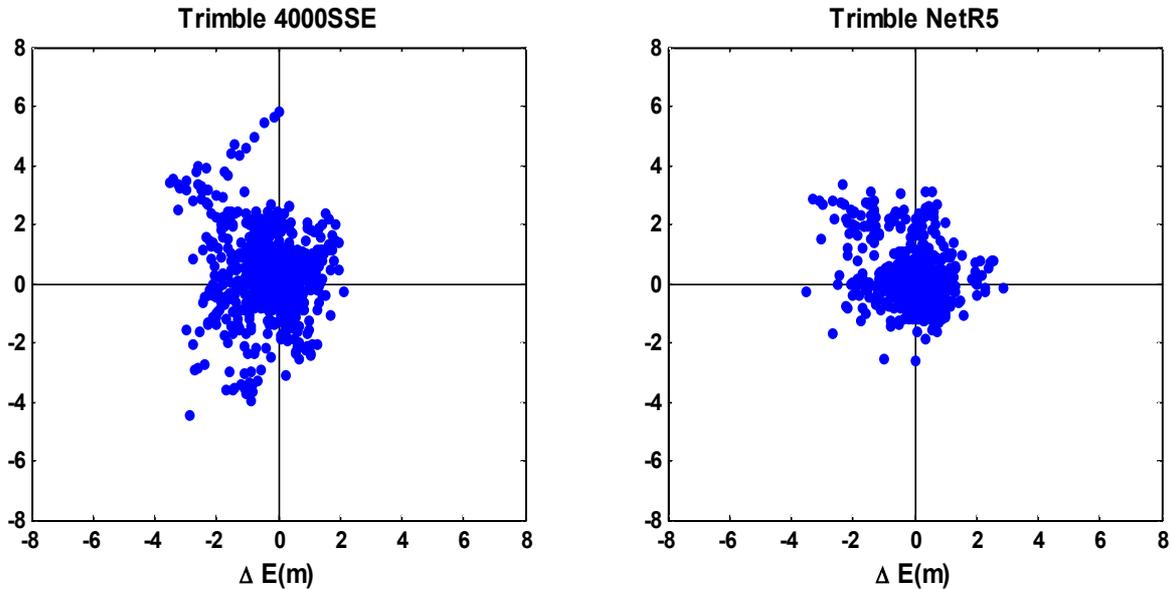


그림 4. 의사거리 보정치에 발생한 노이즈의 크기에 따른 DGPS 측위 수평오차

NetR5에서 생성된 의사거리 보정치를 적용한 DGPS 측위보다 2m 이상의 수평오차가 나타나는 예폭이 많이 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 400SSE 수신기에서 생성된 의사거리 보정치를 사용한 측위의 경우 수평방향의 RMS(Root Mean Square) 오차는 1.43m, NetR5 수신기에서 생성된 의사거리 보정치를 사용한 측위의 경우 수평방향의 RMS 오차는 1.01m로 나타났다. 이를 통해 노이즈가 심한 의사거리 보정치를 DGPS 측위에 사용할 경우 측위 정확도는 감소하는 것을 알 수 있다.

### 2.3 불규칙적인 이상현상 발생

기준국에서 제공하는 의사거리 보정치에는 2.1절과 2.2절에서 언급한 이상점과 노이즈 이외에 이상현상도 발생한다. 본 연구에서 언급하는 이상현상은 특정시간에 특정 기준국에서 생성되는 의사거리 보정치의 값이 갑자기 큰 폭으로 변동하는 것을 의미하며 특정시간에 관측되는 모든 위성에서 발생한다.

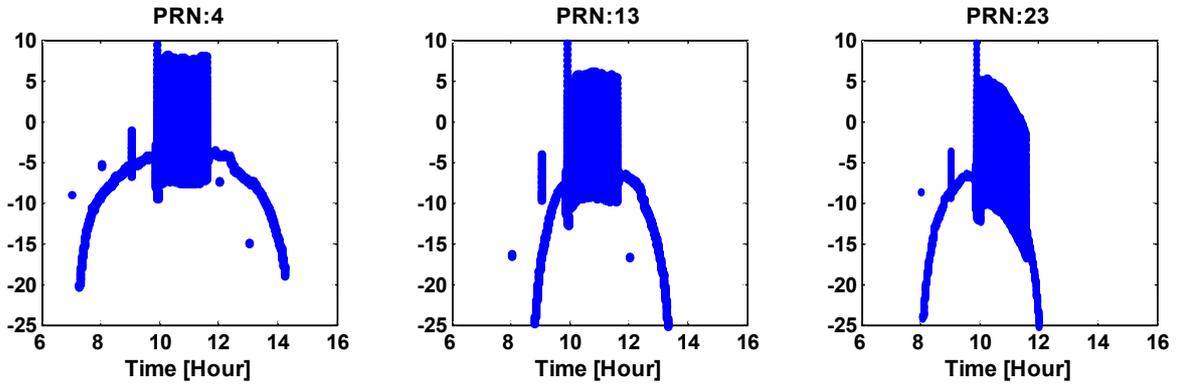
그림 5는 2011년 2월 8일 위성항법중앙사무소에서 운영하는 영주 기준국과 충주 기준국에서 생성된 4, 13, 23번 위성의 의사거리 보정치 시계열을 나타낸 것이다. 그림 5(a)에서 확인 할 수 있듯이 10시부터 12시 사이에 영주 기준국에서 생성된 의사거리 보정치에서 이상현상이 발생하였으며 그 변동폭은 15~20m로 나타났다. 앞서 2.1절에서 의사거리 보정치의 이상점 발생 시 이상점의 크기가 커질수록 DGPS 측위 오차가 증가하는 분석결과와 마찬가지로 의사거리 보정치의 변동폭이 15~20m로 발생한 그림 5(a)의 경우 수평오차는 3m 이상 나타나게 된다. 그림 5(b)는 위성항법중앙사

무소에서 운영하는 기준국 중 영주 기준국과 비교적 가까운 위치에 있는 충주 기준국에서 같은 시각에 생성된 4, 13, 23번 위성의 의사거리 보정치 시계열이다. 영주와 충주 기준국에서 생성된 의사거리 보정치의 비교를 통해 같은 시각에 영주 기준국에서만 이상현상이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

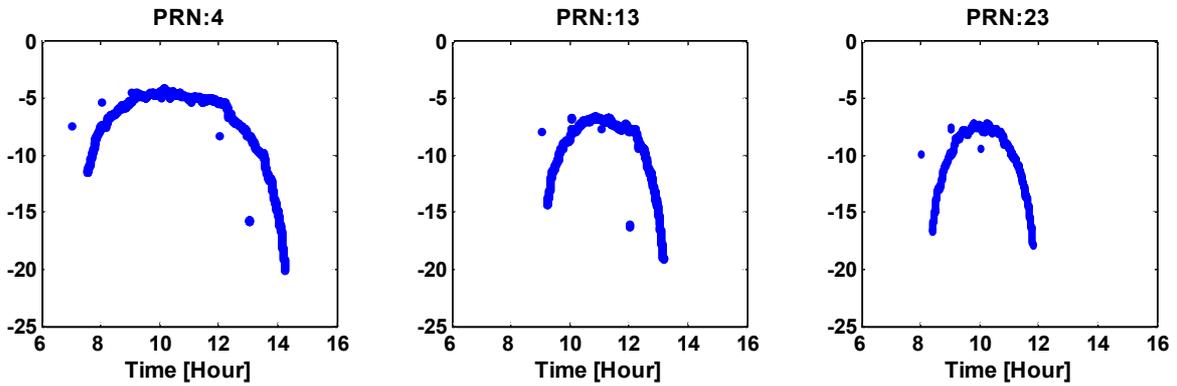
의사거리 보정치에 이상현상 발생 시 DGPS 측위에 미치는 영향을 확인하기 위해 그림 5의 의사거리 보정치를 이용하여 DGPS 측위결과를 산출하였다. 그림 6은 위성항법중앙사무소에서 운영하는 평창 기준국을 이동국으로 하여 이상현상이 발생한 영주기준국과 이상현상이 발생하지 않은 충주 기준국에서 생성된 의사거리 보정치를 적용한 DGPS 측위의 수평오차를 의미한다. 이 때 오차를 계산하기 위한 참값은 국토지리정보원에서 고시한 평창 기준점의 측량성과를 사용하였다. 그림 6(좌)는 이상현상이 발생한 영주 기준국에서 생성된 의사거리 보정치를 적용한 DGPS 측위의 수평오차로서 점선으로 표기한 부분을 통해 측위오차가 3m 이상 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 이처럼 의사거리 보정치에 이상현상이 발생할 경우 이상점과 노이즈 현상처럼 DGPS 측위 정확도를 저하 시키게 되므로 DGPS 측위 정확도를 향상시키기 위해서는 의사거리 보정치의 이상점, 노이즈, 그리고 이상현상의 검출 및 보정이 필요하다.

### 3. 의사거리 보정치의 문제점 검출 및 보정

이상점, 노이즈, 이상현상이 발생한 의사거리 보정치



(a) 영주 기준국



(b) 충주 기준국

그림 5. 영주 기준국과 충주 기준국에서 생성된 4, 13, 23번 위성의 의사거리 보정치 시계열

를 DGPS 측위에 사용할 경우 측위 오차는 증가하게 된다. 따라서 DGPS 측위 정확도를 향상시키기 위해서는 의사거리 보정치에 발생하는 이상점, 노이즈, 이상현상을 검출 및 보정해야 한다. 따라서 본 연구에서는

의사거리 보정치의 변화경향을 이용하여 하루 전 24시간 동안 관측된 의사거리 보정치를 다항식 곡선 접합으로 모델링하고, 불규칙적으로 발생하는 의사거리 보정치의 이상점, 노이즈, 이상현상을 검출 및 보정하는 기

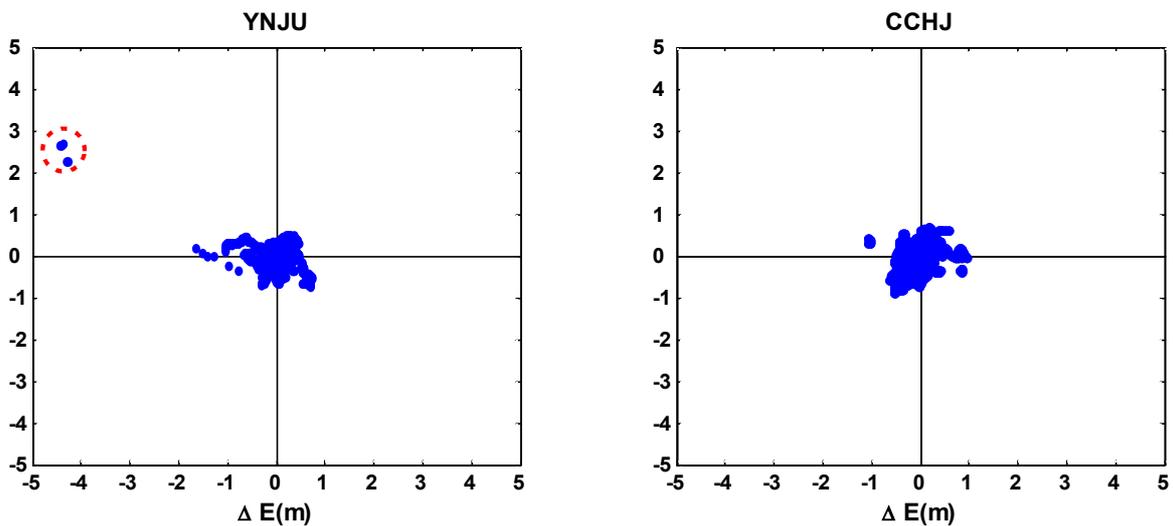


그림 6. 영주·충주 기준국에서 생성된 의사거리 보정치를 적용한 DGPS 측위 수평오차

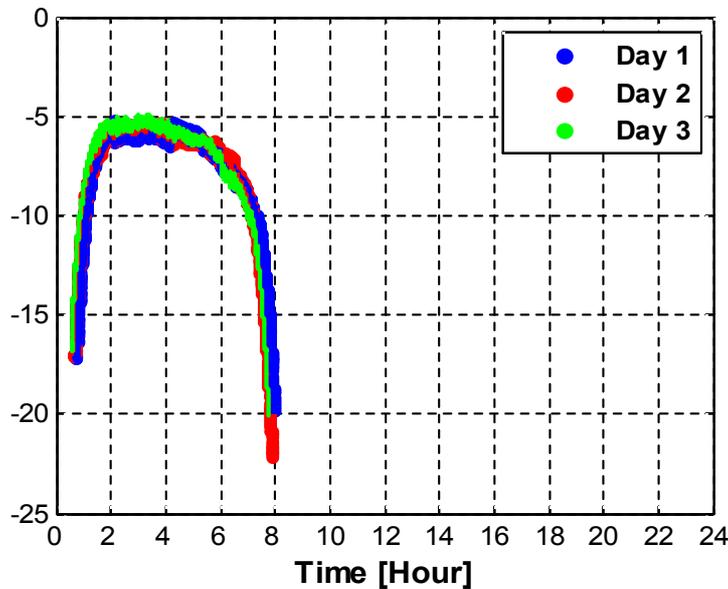


그림 7. 3일간 관측된 의사거리 보정치 시계열

법을 제안하였다.

### 3.1 의사거리 보정치의 변화경향

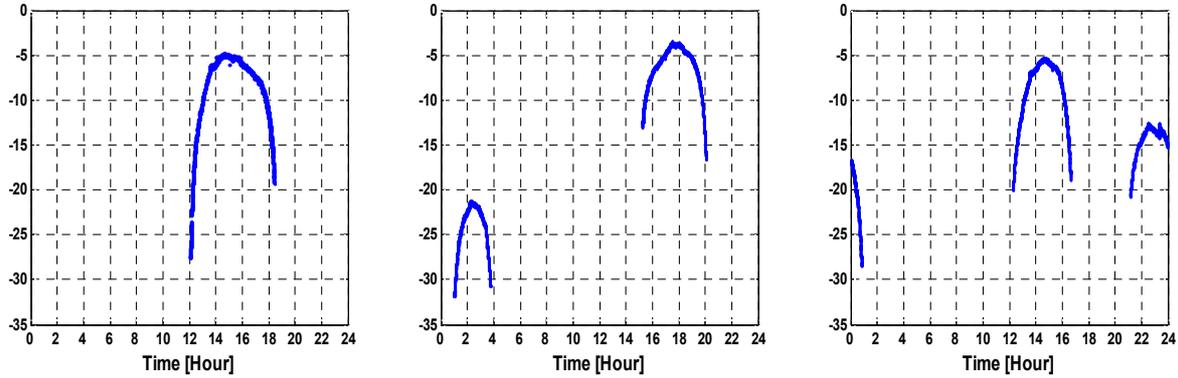
GPS 위성은 지표면상의 측점을 기준으로 하여 대략 1항성일(23시간 56분 4초)이 지났을 때 전날과 같은 위치로 되돌아오기 때문에 태양일을 기준으로 하는 지구자전주기와 항성일을 기준으로 하는 GPS 위성의 공전주기는 시간차이가 발생한다(Park 등, 2004). 이로 인해 같은 시각에 관측되는 GPS 위성의 위치는 매일 조금씩 변하게 되어 장기간의 의사거리 보정치를 예측하기 위해서는 복잡한 알고리즘이 필요하다. 하지만 이창문 등(2009)에 의하면 GPS 위성의 운동은 다양한 섭동력(perturbation forces)의 영향을 받지만, 짧은 기간의 궤도를 예측하는 경우 일정한 궤도를 공전한다고 가정할 수 있다. 이러한 가정은 그림 7을 통해서도 확인할 수 있다. 그림 7은 위성항법중앙사무소에서 운영하고 있는 무주 기준국에서 2010년 12월 27일부터 30일까지 총 3일간 16번 위성에서 생성된 의사거리 보정치를 겹쳐서 나타낸 것이다. 그림 7을 통해 단기간의 의사거리 보정치는 유사한 값을 나타내기 때문에 하루 전 날의 의사거리 보정치 변화 모델링을 통해 다음날의 의사거리 보정치 예측이 가능하다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 하루 전 24시간동안 관측된 의사거리 보정치를 다항식 곡선 접합으로 모델링하여 의사거리 보정치의 이상점, 노이즈, 이상현상의 검출기준으로 사용하고 이를 이용하여 의사거리 보정치를 재생성하였다. 검출 및 보정 방법은 하루 전의 의사거리 보정

치를 이용하여 생성된 의사거리 보정치 모델과 비교하여  $3\sigma$  이상의 차이가 발생하게 되면 이상점, 노이즈, 이상현상으로 검출하였고, 해당 에폭의 의사거리 보정치 모델값을 사용하여 보정하였다. 하지만 태양폭발과 지구자기 폭풍과 같은 예외적인 현상이 발생하게 되면 단기간의 유사한 경향과는 다른 경향을 갖게 되어 의사거리 보정치의 정확한 예측이 어려워질 수 있다.

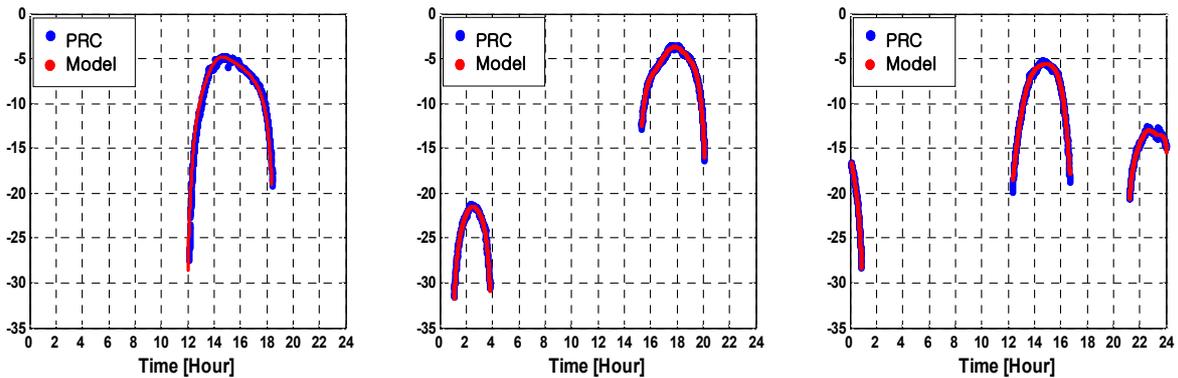
### 3.2 다항식 곡선 접합을 이용한 의사거리 보정치 모델링

의사거리 보정치의 이상점, 노이즈, 이상현상의 검출 및 보정을 위해 하루 전의 생성된 의사거리 보정치를 다항식 곡선 접합을 적용하여 모델링을 하였으며, 그 방법은 다음과 같다. 먼저 주어진 데이터를 식(1)의  $n$  차 다항식에 대입하여 의사거리 보정치  $f(x)$ 를 계산한다. 그 후, 식(2)와 같이 계산된 의사거리 보정치  $f(x)$ 와 수신기에서 생성된 실제 의사거리 보정치  $p(x)$ 의 잔차 제곱의 합( $S$ )이 최소가 되게 하는 최소 자승법(least square method)을 이용해서 다항식의 계수  $(a_0, a_1, \dots, a_n)$ 를 계산해 준다. 이 때  $x$ 는 데이터의 생성 시각을 의미하며  $i$ 는 위성의 번호를 의미한다. 계수가 결정된 다항식을 이용해서 의사거리 보정치 모델링을 하고 이상점 및 노이즈가 발생한 에폭의 의사거리 보정치 값을 보정해준다.

$$f(x) = a_0x^n + a_1x^{n-1} + a_2x^{n-2} + \dots + a_{n-1}x^1 + a_nx^0 \quad (1)$$



(a) 대표적인 의사거리 보정치 변화경향



(b) 다항식 곡선 접합을 적용한 의사거리 보정치 모델링

그림 8. 대표적인 의사거리 보정치 변화경향과 다항식 곡선 접합을 적용한 의사거리 보정치 모델링

$$S = \sum_{i=0}^n r_i^2 = \sum_{i=0}^n \{p(x_i) - f(x_i)\}^2 \quad (2)$$

24시간을 기준으로 생성된 의사거리 보정치는 그림 8(a)와 같이 대표적인 세 가지 형태로 나타난다. 그림 8은 위성항법중앙사무소에서 운영하는 무주 기준국에서 2011년 2월 8일 생성된 6, 7, 23번 위성의 의사거리 보정치 시계열을 나타낸 것이다. 다항식 곡선 접합은 주어진 데이터를 이용하기 때문에 데이터의 편차가 커지게 되면 곡선 접합의 오차가 증가하게 된다. 따라서 본 연구에서는 24시간 동안 생성된 의사거리 보정치의 편차를 줄이기 위해 의사거리 보정치의 변화경향에 맞는 다항식 곡선 접합을 적용하였으며 의사거리 보정치 곡선의 형태가 2개 이상으로 나타날 경우 각 형태별로 4차에서 8차까지 RMS 오차가 최소가 되는 다항식 곡선 접합을 적용하였다. 그림 8(a)에 나타난 각 위성들의 의사거리 보정치에 다항식 곡선 접합을 적용한 결과는 그림 8(b)와 같다. 의사거리 보정치 모델을 만들기 위해 RMS 오차를 최소로 하는 다항식 차수를 적용하면 의사거리 보정치의 곡선 형태와 유사한 형태의 모델링이 가능하다는 것을 그림 8(b)를 통해 확인할 수 있다.

#### 4. 의사거리 보정치 모델링의 정확도 검증

이 연구에서 제안한 의사거리 보정치 모델링 기법의 정확도를 검증하기 위하여 이상점, 노이즈, 이상현상이 발생한 의사거리 보정치와 다항식 곡선 접합을 통해 보정한 의사거리 보정치를 각각 DGPS 측위에 보정정보로 사용하여 측위 정확도를 비교하였다. 정확도 검증을 위해 사용된 데이터는 이상점, 노이즈, 이상현상이 모두 발생한 2011년 3월 10일 위성항법중앙사무소의 춘천 기준국에서 24시간동안 생성된 30초 간격의 관측 데이터와 1초 간격의 의사거리 보정치를 사용하였으며, 측위 오차를 산출하기 위한 참값은 국토지리정보원에서 고시한 춘천 기준점의 측량성과를 사용하였다. 그림 9에 춘천 기준국에서 생성된 3, 9, 18, 21, 27, 31번 위성의 의사거리 보정치 시계열을 나타냈다. 그림 9를 통해 불규칙적으로 발생하는 이상점 및 노이즈를 확인할 수 있으며 6시~8시, 14시~16시 사이에 의사거리 보정치의 변화경향이 갑자기 큰 폭으로 변화하는 이상현상을 확인할 수 있다.

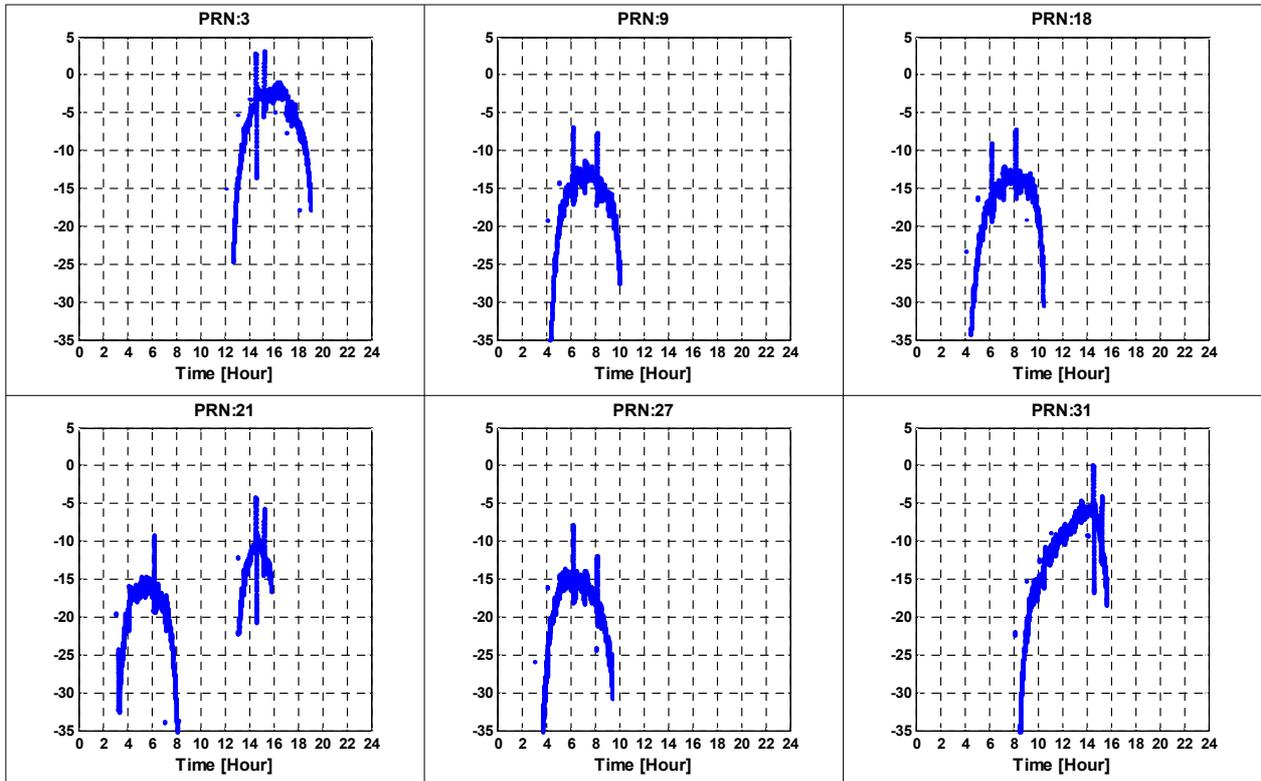


그림 9. 이상점, 노이즈, 이상현상이 발생한 춘천 기준국의 의사거리 보정치 시계열

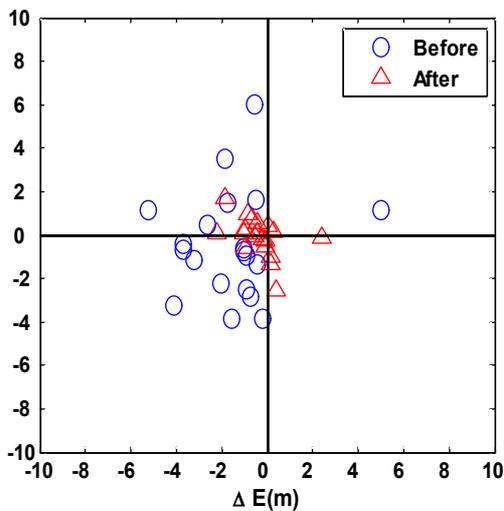


그림 10. 의사거리 보정치 보정 전·후의 수평오차

보정 전·후의 정확도 비교는 보정 전 의사거리 보정치가 다항식 곡선 접합을 통해 생성된 모델값으로 보정된 에폭에 대해서만 수행하였으며 그림 10과 그림 11에 해당 에폭에서의 의사거리 보정치 보정 전·후를 적용한 DGPS 측위 결과를 나타냈다. 그림 10은 의사거리 보정치 보정 전·후를 적용한 DGPS 측위 수평오차를 나타내고, 그림 11은 North, East, Vertical 방향의

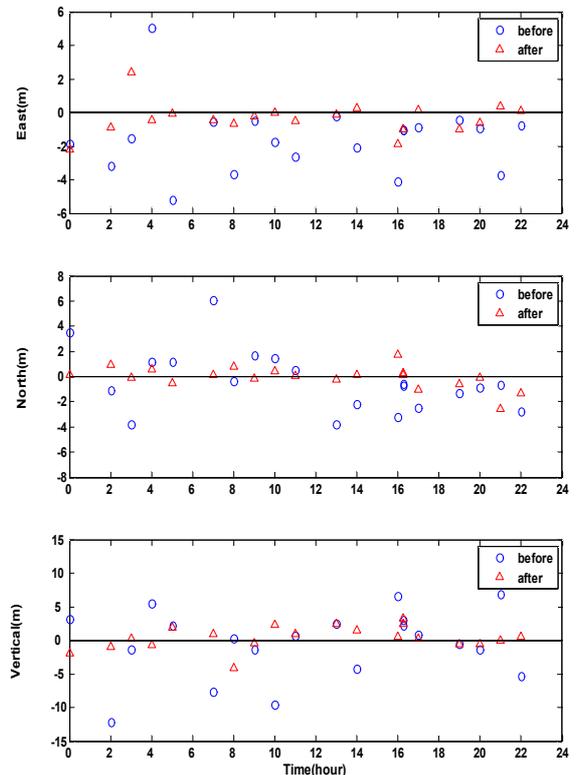


그림 11. 의사거리 보정치 보정 전·후의 North, East, Vertical 방향 오차

표 2. 의사거리 보정치 보정 전·후 DGPS 측위의 RMS 오차

	수평오차(m)	수직오차(m)
의사거리 보정치 보정 전	3.84	5.81
의사거리 보정치 보정 후	1.49	1.70

오차를 나타낸 것이다. 그림 10, 11에서 ‘○’은 보정 전의 의사거리 보정치를 측위에 적용한 결과, ‘△’은 보정 후의 의사거리 보정치를 측위에 적용한 결과를 나타낸다. DGPS 측위에 보정 전의 의사거리 보정치를 적용한 경우보다 의사거리 보정치를 보정한 후의 값을 적용한 경우 수평오차가 줄어드는 것을 그림 10을 통해 확인 할 수 있다. 또한 그림 11을 통해 보정 전·후의 각 방향별 측위 오차도 수평오차와 유사하게 보정 전의 의사거리 보정치를 사용한 경우보다 보정 후의 의사거리 보정치를 사용하는 경우에서 감소하는 것을 확인 할 수 있다.

표 2는 보정 전·후의 의사거리 보정치를 DGPS 측위에 적용하여 좌표를 산출하고 RMS 오차를 계산하여 나타낸 것이다. 의사거리 보정치 보정 전의 RMS 오차는 수평방향 3.84m, 수직방향 5.81m로 나타났으며 의사거리 보정치 보정 후의 RMS 오차는 수평방향 1.49m, 수직방향 1.70m로 나타났다. 이는 의사거리 보정치 보정 후의 정확도가 보정 전의 정확도보다 수평방향으로 2.35m, 수직방향으로 4.11m 향상된 것을 의미한다. 이를 통해 의사거리 보정치에서 이상점, 노이즈, 이상현상이 발생하는 예폭을 다항식 곡선 접합을 적용한 의사거리 보정치 모델을 통해 검출 및 보정하면 DGPS 측위 정확도가 향상되는 것을 입증하였다.

## 5. 결 론

DGPS 측위는 GPS를 이용한 고정밀 측위 방법의 하나로서 측지·측량 및 지하 매설물 조사, 농업 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 또한 DGPS 측위를 사용하는 사용자들은 증가하고 있으며 이로 인해 DGPS 측위 정확도를 높이기 위한 무결성 확보가 중요한 상황이다. 본 연구는 DGPS 측위의 정확도를 향상시키기 위해 DGPS에 사용되는 의사거리 보정치에서 발생하는 문제점을 검출 및 보정하는 기법을 제시하였다.

의사거리 보정치에는 위성의 상태, 하드웨어 문제, 궤도력 오차 등의 이유로 이상점, 노이즈, 이상현상이 발생하는데 이러한 문제점이 발생한 의사거리 보정치를 DGPS 측위에 보정정보로 사용하게 되면 측위 정확도를 감소시키는 요인이 된다. 따라서 이 연구에서는

다항식 곡선 접합을 이용하여 의사거리 보정치의 문제점을 검출 및 보정하였다. 의사거리 보정치는 단기간 동안에는 일별로 유사한 형태의 값을 나타내기 때문에 하루 전날의 의사거리 보정치를 모델링하여 다음 날에 생성되는 이상점, 노이즈, 이상현상을 검출 및 보정하였으며, 의사거리 보정치 모델링 기법의 정확도를 평가하기 위해 보정 전과 후의 의사거리 보정치를 DGPS 측위에 사용하여 좌표를 산출하고 RMS 오차를 비교하였다. 그 결과 다항식 곡선 접합기법을 적용하여 보정된 의사거리 보정치를 측위에 사용하는 경우 보정 전 의사거리 보정치를 사용하는 경우보다 수평방향으로 RMS 오차가 2.35m 향상되는 것을 확인하였다. 이를 통해 본 연구에서 제시한 기법을 DGPS 측위 시 적용할 경우 측위 정확도가 향상될 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 소관 연구개발사업 “지상과 DMB기반 DGPS 서비스 광역화 및 상용화 기술개발” 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 김인섭, 2010, “주택가 밀집지역에서의 각종 시설물 관리를 위한 네트워크 DGPS 측위의 가용성 평가”, *한국지형공간정보학회지*, 한국지형공간정보학회, 제18권, 4호, pp.93-99.
2. 박병운, 김정환, 기창돈, 2003, “의사거리 보정치 생성과 시간지연 시 DGPS 성능 변화에 대한 연구”, *2003년 춘계학술발표회 논문집*, 한국항공우주학회, pp.436-439.
3. 박병운, 2003, “의사거리 보정치 필터링 방법에 따른 DGPS 성능 비교”, *석사학위논문*, 서울대학교, pp.56-78.
4. 오주택, 이상용, 2010, “DGPS/RTK를 이용한 위험운전 판단장치 성능검증에 관한 연구”, *대한토목학회논문집*, 대한토목학회, 제30권, 3 D호, pp.303-311.
5. 이상중, 장재원, 전병호, 성기정, 염찬홍, 2009, “지상관측법 및 DGPS 기법을 활용한 이/착륙 성능 비행시험 비교”, *한국항공우주학회지*, 한국항공우주학회, 제37권, 9호, pp.931-938.
6. 이창문, 박관동, 김혜인, 박재민, 2009, “초신속궤도력 기반 GPS 위성 repeat time 산출 및 궤도 예측”, *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제27권, 4호, pp.411-420.
7. 조형식, 손홍규, 임수봉, 김성삼, 김상민, 2008, “휴대용 DGPS를 이용한 모지관리시스템 구축”, *한국지형공*

- 간정보학회지*, 한국지형공간정보학회, 제16권, 4호, pp.49-57.
8. 장수익, 강인준, 강호윤, 2010, "NTRIP 서비스를 이용한 도로철토사면 현황조사방법", *한국지형공간정보학회지*, 한국지형공간정보학회, 제18권, 4호, pp.87-92.
  9. Park, B. W., Kim, J. H. and Kee, C. D., 2006, "RRC unnecessary for DGPS messages", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol.42, No.3, pp.1149-1160.
  10. Park, K. D., Nerem, R. S., Schenewerk, M. S. and Davis, J. L., 2004, "Site-specific multipath characteristics of global IGS and CORS GPS sites", *Journal of Geodesy*, Vol.77, No.12, pp.799-803.
  11. Wan Anom, W. A., Musa, T. A., Omar, K. and Othman, R., 2009, "The Implementation of ISKANDARnet DGPS without RRC", Proceeding of 2009 *East Asia Hydrographic Symposium & Exhibition*, 20-22 October, Kuala Lumpur, Malaysia.
  12. Wan Aris, W. A., Musa, T. A., Omar, K., Abdullah, K. A. and Othman, R., 2010, "Performance of Local DGPS without RRC in Equatorial Area", Proceedings of the 2010 *International Symposium on GPS/GNSS*, 26-28 October, Taipei, Taiwan.