

# FARA를 이용한 Inverted RTK 측위 정확도 향상에 대한 연구

## Study on the Improvement of the Positioning Accuracy for Inverted RTK Using FARA

최병규<sup>1)</sup> · 임삼성<sup>2)</sup>

Choi, Byung Kygu · Lim, Sam Sung

### Abstract

In order to improve real-time positioning accuracy, a number of methods have been tested and one of those is the inverted RTK(Real-time kinematic) that gives a precise positioning by handling carrier phase measurements. For the inverted RTK positioning, it needs the L1 phase measurement at least for 1~2 minutes and the additional reference stations/communication system and a data processing server are required. The L1 code and carrier phase measurements for real-time application are used simultaneously and then Kalman filter is applied to estimate integer ambiguities. Double differenced integer ambiguities are resolved by utilizing the FARA(Fast Ambiguity Resolution Approach). In this paper, we propose the method to improve the positioning accuracy and performed the field tests for several baselines from DAEJ reference station in KAO(Korea Astronomy Observatory).

Keywords : Inverted RTK, Integer ambiguity, Kalman filter, FARA

### 요 지

실시간 측위 정확도 향상을 위해 많은 방법들이 수행되고 있다. 그 중에 하나가 위상 데이터를 처리함으로써 정밀한 위치 해를 제공해 주는 Inverted RTK(Real-time kinematic)이다. Inverted RTK 측위를 위해서는 최소 1~2분 정도의 1Hz 관측 데이터와 부가적으로 여러 상시 관측소 및 통신 시스템 그리고 데이터 프로세싱 서버가 필요하다. 실시간 응용을 위해서 L1 코드와 반송파 위상 데이터가 동시에 사용되었으며 모호 정수 추정을 위해 칼만 필터를 사용하였다. 또한 이중 차분된 참 모호 정수는 FARA(Fast Ambiguity Resolution Approach)를 이용하여 결정하였다. 본 연구에서는 다양한 기선에 대한 필드 테스트 수행 결과를 제시하였다.

핵심용어 : Inverted RTK, 모호 정수, 칼만 필터, FARA

## 1. 서 론

Inverted RTK는 일반 항법용 수신기로부터 전달되는 GPS데이터를 처리하여 사용자에게 정밀한 위치 해를 제공해주는 상대 측위 기법이다. Inverted DGPS가 보정 정보를 이용하여 차량등 움직이는 물체에 대한 임의적 관제를 목적으로 개발되었다면 Inverted RTK는 수신기(기준국, 사용자)의 원시 데이터를 처리하여 정밀 측량 및 고정밀 관제를 위한 것이다. GPS L1 관측 데이터(L1 Observables)를 사용하기 때문에 최소 1~2분 정도의

1Hz 데이터가 요구되며, 부가적으로 GPS기준국, 통신 시스템, 자료 처리 서버가 필요하다. 그리고 각각의 자료 처리서버에 접근 가능한 사용자수는 최대 30명이며 병렬 처리를 수행한다. 또한 고정밀 Inverted RTK 자료 처리를 위해서는 GPS 기준국의 실시간 관측 자료 및 위성 궤도력, 기준국 정보 등과 같은 정보가 요구되는 동시에 고정밀 위치 확인 서비스를 받고자 하는 사용자의 제반 관측 자료도 필요하다(박운용 등, 2004).

관측 시간별(Epoch-by-epoch) 실시간 측위를 위해 L1 C/A 코드와 반송파 위상 데이터를 동시에 사용하여 알고

1) 연결저자 · 인하대학교 지리정보공학과 박사과정(E-mail:bkchoi@kao.re.kr)

2) 정회원 · 인하대학교 지리정보공학과 조교수(E-mail:slim@inha.ac.kr)

리즘을 구현하였고 모호 정수 추정을 위해 칼만 필터를 사용하였다. 또한 참 미지 정수를 결정하기 위해 실시간 모호 정수 결정 기법인 FARA를 적용하였고, 다양한 기선에 대해 자료 처리를 수행하였다. 데이터 전송은 무선 통신(Mobile phone, CDMA, Wireless LAN)을 통해 이루어지며, TCP/IP 규약을 따른다.

본 논문에서는 시스템 구성 방법에 대한 설명 과 필드 테스트 수행 결과를 제시 하였고, 또한 각 기선에 대해 정확한 위치 해를 산출 할 수 있었음을 보였다. 그리고 향후 이 시스템의 운용가능성과 그 활용 범위에 대한 개선점에 대해서 고찰을 하였다.

## 2. Inverted RTK 시스템 구성

Inverted RTK는 GPS 기준국, 통신 시스템, 자료처리 서버 및 실시간 자료 처리를 위한 통합 환경이 필수적이다. GPS 기준국을 통합적으로 관리하며, 모니터링 할 수 있는 주 기준국(Main reference station)에서는 각 상시 관측소의 데이터를 관리하며 운용할 수 있는 모니터링 서버와 데이터 서버가 있고, 또한 실시간으로 데이터를 처리하기 위해서는 각 상시 관측소가 전용선으로 연결되어 있어야 한다(그림 1). 다음으로 서버에 자료를 전송해 주기 위한 사용자 프로그램과 자료처리에 쓰이는 자료 처리 서버가 있어야한다.

자료처리 서버에서는 사용자가 원하는 서비스에 대한 처리 프로그램이 내재되어 있고, 처리된 결과를 사용자에게 다시 전송해 주며 그 결과 값을 동시에 모니터링 한다. 프로세싱에 필요한 자료 및 데이터 전송 방식은 고유의 포맷(표 1)을 이용하여 자료 처리시 필요한 데이터만 전송하므로 자료 전송시간을 줄일 수 있다. 사용자는 인증 절차를 거쳐 자료 처리 서버에 접근하여 데이터를 전송한다.

사용자는 현재 사용하고 있는 수신기 타입을 결정하고 관리자는 자료 처리 서버와의 통신을 위해 IP 주소와 포트를 설정해야 한다. 적은 양의 데이터로도 자료 처리하는 데에는 문제가 없지만, 참 모호 정수(True integer ambiguity)를 결정하는데 있어서 많은 양의 관측 데이터를 이용하는 것이 더 효율적이다(Hofmann-Wellenhof 등, 2001; 최윤수 등, 2003; 박정현 등, 2003). 그러므로 사용자가 보다 검증된 위치 해를 원할 경우 보다 많은 양의 데이터를 자료 처리 서버로 전송해 주면된다.

자료를 전송할 때에는 무선 랜(Wireless LAN), 통신이 가

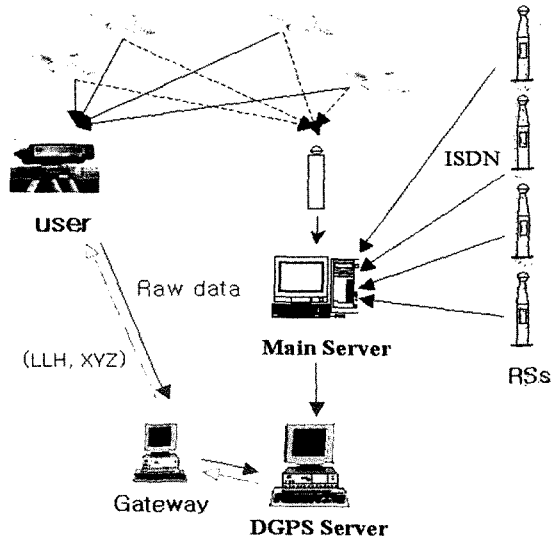


그림 1. Inverted RTK 시스템 구성도

능한 휴대폰, CDMA 그리고 블루투스가 쓰일 수 있다. 그리고 위의 통신 장비는 사양에 따라 통신 지연이 서로 다르게 나타날 수 있다.

## 3. 자료 처리 알고리즘 구성

### 3.1 칼만 필터 적용

칼만 필터를 이용하면 모호 정수가 필터의 상태 변수로 추가 되어 이를 추정하게 된다(그림 2).

식 (1)과 식 (2) 그리고 식 (3)은 상태변수와 분산-공분산 값을 다시 갱신하고 칼만 게인 행렬을 구한다(Chui 등, 1990).

$$\hat{X}_k = \hat{X}_k^- + K_k(l_k - A\hat{X}_k^-) \quad (1)$$

$$C_{\hat{X}_k} = (I - K_k A_k) C_{\hat{X}_k}^- \quad (2)$$

$$K_k = C_{\hat{X}_k}^- A_k^T (A_k C_{\hat{X}_k}^- A_k^T + C_k)^{-1} \quad (3)$$

여기에서  $K_k$  Kalman gain matrix

$I$  Identity matrix

$A_k$  Design matrix

그리고 예측 방정식은 식 (4), 식 (5)와 같다.

$$\hat{X}_{k+1}^- = \phi_k \hat{X}_k \quad (4)$$

$$C_{\hat{X}_{k+1}}^- = \phi_k C_{\hat{X}_k}^- \phi_k^T + Q_k \quad (5)$$

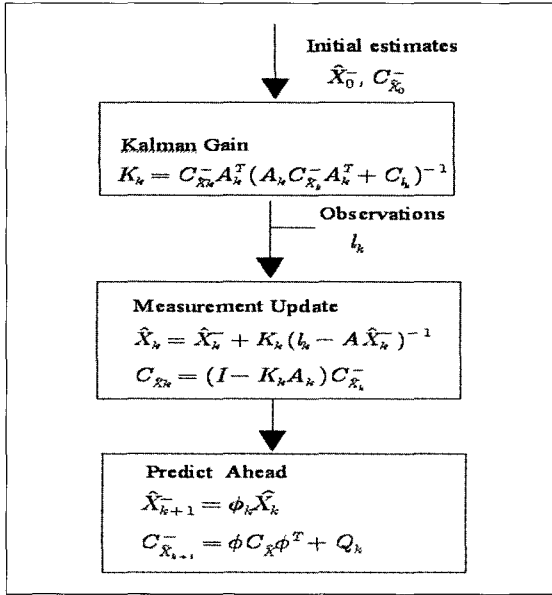


그림 2. 칼만 필터 흐름 절차

여기에서  $\phi_k$  전이 행렬  
 $Q_k$  잡음(Process noise)  
 $C_{\hat{x}}$  분산-공분산

### 3.2 FARA 알고리즘 적용

사용자의 정밀 위치는 기준국과의 공통 오차항을 제거하는 상대 측위 기법을 통해 얻어진다. 사용자와 기준국의 공통 오차항이 제거된 이중 차분된(Double-differenced) 관측 데이터를 이용해서 사용자의 정밀 위치를 구할 수 있는데 기선이 가까우면(<5km) 대부분 전리층과 대류층에 의한 대기 오차로 분류할 수 있지만 기선이 길어지면 대기에 의한 오차 항을 무시할 수 없다(Erickson, 1992; Goad, 1990).

$$\nabla\Delta\Phi = \frac{1}{\lambda} (\nabla\Delta\rho + \nabla\Delta Trop - \nabla\Delta Iono - \nabla\Delta m + \nabla\Delta\epsilon) + \nabla\Delta N \quad (6)$$

위의 식 (6)에서 모호 정수 N을 반드시 구해야 하는데, 본 연구에서는 실시간 모호 정수 결정 기법인 FARA를 이용하였다.

FARA는 반송파 위상 데이터만을 필요로 하고, 짧은 기선(<10km 이내)에 대해 보다 유용한 기법으로 잘 알려져 있다(Frei 등, 1990).

$$P_j \{N_j - \xi_{i,df,1-\alpha/2} \cdot \sigma N_j \leq NA_j \leq N_j + \xi_{i,df,1-\alpha/2} \cdot \sigma N_j\} = 1 - \alpha \quad (7)$$

식 (7)은 기준 위성에 대해 이중 차분된 각 모호수 검색 범위의 신뢰 수준에 대한 확률을 나타낸다. 본 연구에서는 고도 각이 15도 이상인 GPS 위성만을 이용하였고, 95%의 신뢰 구간을 설정하여 검색범위를 결정하였다. 여기에서  $\sigma N_j$ 는 실수해의 표준편차이고,  $df$ 는 자유도이다.

이렇게 결정된 신뢰구간에 대한 잠재적인 모호정수 조합에 대해 자료 처리를 다시 하게 되고 자료 처리 결과 중 분산 값이 가장 작은 모호 정수 조합을 찾게 된다(식 (8)).

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\hat{r}^T C_l^{-1} \hat{r}}{n-u} \quad (8)$$

여기에서,  $\hat{r}$  이중 차분된 잔차 값  
 $C_l$  관측치의 분산 공분산  
 $n-u$  자유도

그리고 위의 분산 값에 의해 추정된 모호 정수 집합에 대한 검증 절차를 하게 되는데 그것은 식 (9)와 같다.

$$\frac{(n-u)\hat{\sigma}_0^2}{\zeta_{\chi^2(n-u), 1-\alpha/2}} < \sigma_0^2 < \frac{(n-u)\hat{\sigma}_0^2}{\zeta_{\chi^2(n-u), \alpha/2}} \quad (9)$$

마지막으로 위의  $\chi^2$  테스트를 거쳐 참 모호 정수를 검증할 수가 있다(Teunissen, 1994).

## 4. 데이터 변환

### 4.1 데이터 변환 형식

사용자의 수신기 및 상시 관측소 수신기의 원시 데이터를 변환하는 작업이 먼저 수행되었다. 기준국 수신기는 Trimble 4000 SSI이며, 사용자 수신기 타입은 CMC ALLSTAR, Trimble 4000 SSI 그리고 FastraX이다. 본 연구에서는 Trimble 4000 SSI가 사용되었고, 각각의 수신기로부터 얻어진 원시 데이터를 고유의 포맷에 맞게끔 다시 변환시키고 데이터 전송에 맞는 형태로 전환시켜 게이트 웨이로 전송하면 데이터 확인 작업을 거쳐 다시 서버에 전송하게 된다(최병규, 2003).

이와 함께 자료 처리 서버는 각 상시 관측소 데이터를 실시간으로 모니터링을 하고 사용자의 데이터가 서버에 전달되면 가장 가까운 상시 관측소를 결정한다.

이때 결정된 상시 관측소 데이터와 사용자 데이터를 이용하여 자료 처리를 하게 된다. 자료 처리가 끝난 결과는 사용자에게 다시 전송되어 사용자는 자신이 원하는 위치

를 정밀하게 확인할 수가 있다. 사용자로부터 요청된 위치 결정은 Inverted RTK 서버 프로그램을 이용하여 결과를 산출하고 다시 그 결과를 게이트웨이를 통해 사용자에게 전송되도록 설정되어 있다(그림 3).

또한 서버와 게이트웨이 두 모듈간 전송되는 패킷 종류는 표 2 및 표 3과 같다.

Inverted RTK 서버 프로그램은 크게 표 4와 같은 순서로 진행된다. 기본 동작은 프로그램을 실행한 후 관리자가 별도의 외부 입력을 하지 않고 자동으로 실행되는 과정으로

표 1. 데이터 전송 블록 구조

	종류	내용	비고
Header	Start	정보전송 개시문자	STX (0x02)
	Reserved	예약 바이트	Default (0x00)
	Data Type	메시지 식별번호	unsigned char
	Length	정보의 크기	unsigned char
Data	Data Bytes	정보(최대 248 바이트)	unsigned char
Terminate	Checksum	정보 전송 오류판독정보	unsigned char
	End	정보전송 종료 문자	ETX (0x03)

(1)



Inverted RTK 서버

게이트웨이



(2)

그림 3. 전송 패킷 분류

표 2. 서버에서 게이트웨이로 전송 패킷(2)

Msg ID	메시지 명칭	사용
0x22	통신 이상 유무 확인 응답 (Arive Response)	✓
0x52	정밀 위치 산출 결과 (PosDet Response)	✓
0x62	인증 요청 응답 (Auth Response)	✓

서버 프로그램의 기본 기능이다. 그리고 기타 동작은 관리자가 필요에 의해 실행시키는 기능이다.

그림 4는 기타 동작 중 기준국 정보 보기 창을 선택하였을 때 나타나는 형태이다. 코드를 이용한 DGPS 보정 정보 산출 뿐만 아니라 실시간 모든 관측 데이터 정보를 확인할 수 있다.

표 3. 게이트웨이에서 서버로 전송 패킷(1)

Msg ID	메시지 명칭	사용
0x21	통신 이상 유무 확인 요청 (Arive Request)	✓
0x51	정밀 위치 산출 요청 (PosDet Request)	✓
0x61	인증 요청 (Auth Request)	✓

표 4. Inverted RTK 서버 동작 형태와 순서

구분	동작	비고
기본 동작	윈도우 프레임 동작	
	전역 변수 초기화, 환경 변수 로딩	최초 1회 실행
	Reference 연결	
	Reference 정보 및 위성 정보 수신	반복 실행
	Gateway 접속	Gateway 접속 시
	Gateway로부터 정밀 위치 산출 요청	Gateway 요청 시
기타 동작	정밀 위치 계산 및 출력	연속적 수행
	Gateway 등록	
	기준국 정보/ 위성 궤도력 정보 보기	
	통신 환경 설정 변경	

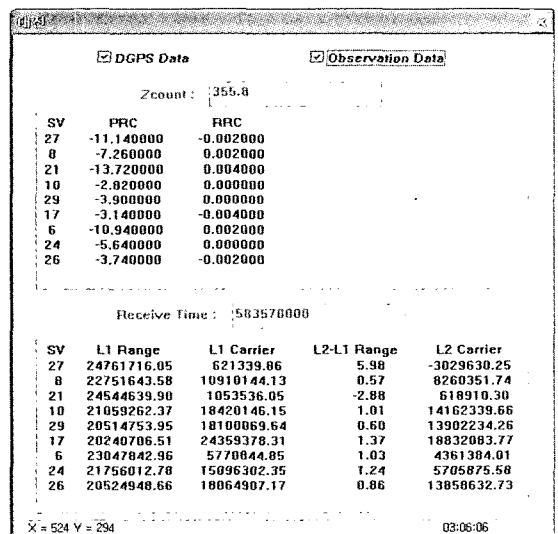


그림 4. 데이터 변환작업으로 인한 대전 상시 관측소의 실시간 관측 데이터 확인

## 5. 자료 처리 결과

Inverted RTK 알고리즘 검증과 실시간 데이터 처리를 위해 대략 5~7분 정도의 데이터가 사용되었다. 또한 각 기선에 따른 정확도와 관측 환경의 영향으로 인한 오차를 분석하였다.

확도 검증을 위해 사용된 사용자 수신기는 Trimble 4000 SSi이며 사용자의 정밀 위치는 상용 GPS 자료 처리 프로그램인 GPSURVEY Ver 2.3(Trimble 1999)을 사용하여 결정하였다.

기준국은 한국천문연구원 상시관측소를 이용하였고, 짧은 기선보다는 실제 필드에서 수행되는 사용자들의 환경을 고려하여 상대 기선을 늘려가면서 실험을 수행하였다. 그림 5는 상대 기선이 대략 5km인 지점으로 도심지역에 가까운 지점이다. 차량 소동이 원활한 도로 옆에서 획득한 GPS 데이터를 이용하여 자료 처리에 사용하였다.

신호 끊김 현상뿐만 아니라 다중 경로 오차로 인해 자료 처리 결과가 다른 기선의 자료 처리 결과보다 정확도가 떨어짐을 알 수 있다.

그림 6은 상대 기선이 대략 10km 지점이다. 상대 기선을 확인하면서 이동하여 결정하였는데 이곳 또한 관측 환경이 좋지 않았다.

남쪽이 산으로 막혀 있었고, 도로 주변에서 대략 10m 떨어진 주변에서 실험을 수행하였다.

이곳은 5km 지점보다는 신호 끊김 현상이 적었지만 고

도가 비교적 높은 GPS 위성들이 검색되어 자료 처리에 이용하였기 때문에 모호 정수 결정 후 안정적인 결과로 산출하였다.

그림 7은 상대 기선이 30km인 지점으로 위의 두 지점(5km, 10km) 보다 관측 환경이 좋은 곳이다. 신호 끊김 현상이나 GPS위성의 변화 없이 전체적으로 데이터 자체가 안정적이었다.

그림 8은 상대기선이 대략 40km인 지점으로 앞의 세 지점보다는 상대 기선이 가장 멀지만 관측 환경이 가장 좋은 곳이다. 실제 자료 처리 결과도 가장 안정적이고 정확하

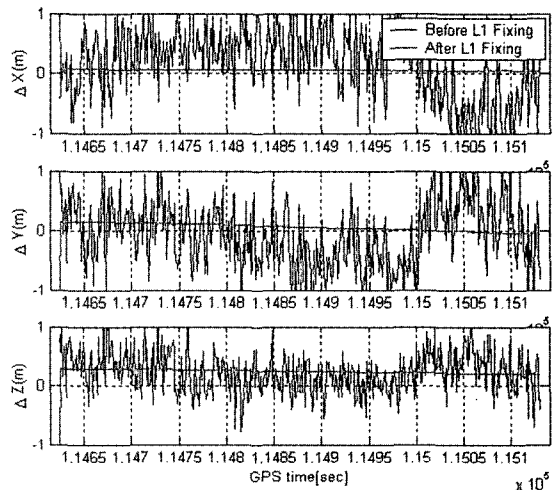


그림 6. 10km 상대 기선 자료 처리 결과(도로주변)

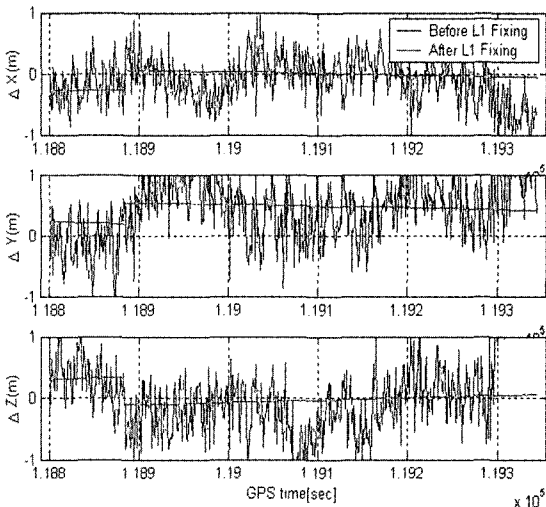


그림 5. 5km 상대 기선 자료 처리 결과(도심지역)

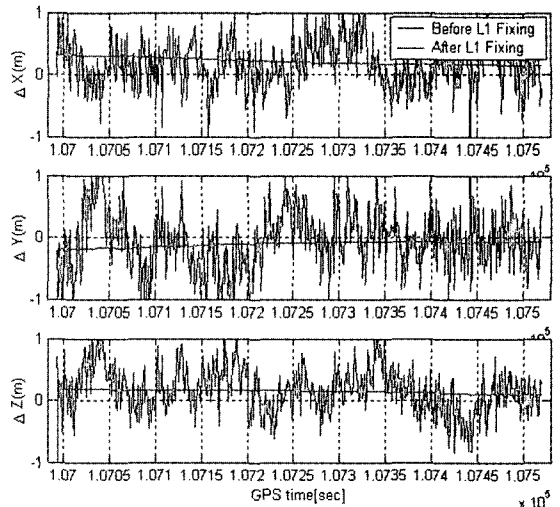


그림 7. 30km 상대 기선 자료 처리 결과(공터)

표 5. 각 기선별 자료 처리 결과 및 오차

상대기선	좌표	WGS84 좌표	정밀 좌표(m)	계산된 좌표(m)	오차(m)
5km	X		-3118835.521	-3118835.569	-0.048
	Y		4088305.922	4088306.253	0.331
	Z		3760970.136	3760970.189	0.053
10km	X		-3115047.294	-3115047.267	0.027
	Y		4091661.681	4091661.643	-0.038
	Z		3760589.084	3760589.233	0.149
30km	X		-3102238.629	-3102238.727	0.098
	Y		4093451.037	4093450.967	-0.070
	Z		3768991.575	3768991.657	0.082
40km	X		-3094285.521	-3094285.523	0.002
	Y		4098304.487	4098304.519	0.032
	Z		3770236.256	3770236.272	0.016

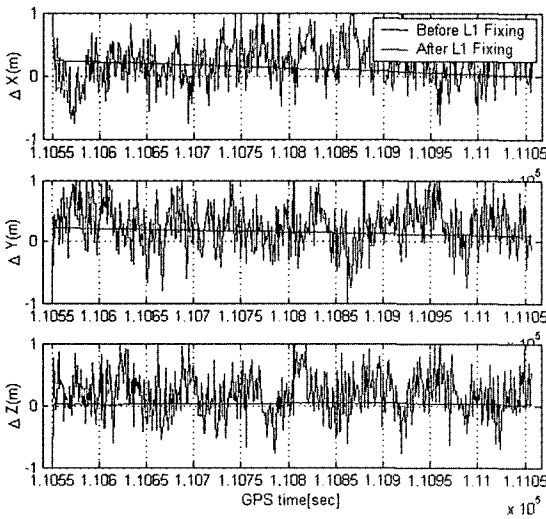


그림 8. 40km 상대 기선 자료 처리 결과(들판)

계 산출되었다. 네 지점의 자료 처리 결과로 상대 기선에 따른 오차 요인도 고려해야 하지만 관측 환경 또한 정밀 자료 처리에 있어서 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있다.

## 6. 결 론

본 연구는 고정밀 관제를 목적으로 Inverted RTK 시스템을 구성하였으며, 다양한 관측 환경 및 서로 다른 기선에 대해 자료 처리를 함으로써 다음과 같은 적용가능성과 결

과를 얻을 수 있었다.

- (1) 반송파 위상 데이터를 이용한 새로운 상대 측위 기법을 사용하여 정확한 위치 해를 얻을 수 있었다. 관측 시간별 측위가 가능하도록 L1 위상 데이터와 C/A 코드 데이터를 동시에 사용하였으며, 필요한 데이터만을 전송할 수 있도록 데이터 전송 포맷을 형성하였다.
- (2) 기존의 L1·L2 이중 주파수 데이터 모두를 사용하는 것보다 데이터 전송량이 적고, 또한 단일 주파수만을 이용하는 중·저가 GPS수신기의 사용을 넓힐 수 있는 기반을 마련하였다.
- (3) 각 기선에 대한 자료 처리 결과, 비교적 정확하고 안정된 결과를 산출하였으며 실험 지점의 관측 환경이 측위 결과에 많은 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다. 상대 기선에 대한 영향은 전리층과 대류층에 의한 이중 차분된 값이 적용됨으로써 보다 좋은 결과를 산출할 수 있었다. 마지막으로 보다 빠른 모호 정수 결정기법을 연구하고 가상 기준국(Virtual Reference Station)과 같은 실시간 응용에 적합한 기법이 적용이 된다면 수 cm 이내 또는 그 이상의 정확도를 유지할 수 있을 것이다. 향후 L1 반송파 위상 데이터를 이용하는 중·저가 수신기에 대한 적용을 넓히는 실험이 필요하고, 정밀한 모델링이 추가된다면 충분히 본 연구의 적용가능성이 높을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- 박은용, 송연경, 이현우 (2004), RTK GPS를 이용한 대형구조물의 실시간 경보 시스템, 한국측량학회지, 제 22권, 제 1호, pp. 11-19.
- 박정현, 이용욱, 권재현, 강준목 (2003), LAMBDA 기법을 활용한 L1 반송파의 GPS 기선해석 프로그램 개발, 한국측량학회지, 제 21권, 제 2호, pp. 173-180.
- 최병규 (2003), L1 반송파를 이용한 실시간 측위 정밀도 향상에 대한 연구, 석사 학위논문, 충남대학교 대학원.
- 최운수, 고준환, 이기도 (2003), GPS 장기선 해석에 관한 기초 연구, 한국측량학회지, 제 21권, 제 2호, pp. 123-129.
- Chui C.K and Chen G. (1990), *Kalman Filtering with Real-time Application*, second Edition, pp. 23-28. Erickson, C. (1992), *Analysis of Ambiguity Resolution Techniques for Rapid Static GPS Surveys Using Single Frequency Data*, Proceedings of ION GPS-92, pp. 39-42.
- Frei, E. and Beutler, G. (1990), *Rapid static positioning based on the Fast Ambiguity Resolution Approach "FARA": Theory and first results*, Manuscripta Geodaetica, 15, pp. 325-356.
- Goad, C.C. (1990), *Optimal Filtering of Pseudoranges and Phases from Single-Frequency GPS Receivers*, Navigation: Journal of the Institute of Navigation, Vol. 37, No. 3.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J. (2001), *Global Positioning System Theory and Practice*, Springer-Verlag, Wien, New York.
- Teunissen P.J.G. (1994), *A new method for fast carrier phase ambiguity estimation*, Proceedings of IEEE PLANS '94, Las Vegas, NV, pp. 562-573.
- 
- (접수일 2004. 6. 12, 심사일 2004. 6. 23, 심사완료일 2004. 9. 16)