

## GPS L1 반송파 위상을 이용한 실시간 정밀측위 알고리즘 구현

조정호<sup>1†</sup>, 최병규<sup>2</sup>, 박종욱<sup>1</sup>, 박관동<sup>1</sup>, 임형철<sup>1</sup>, 박필호<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국천문연구원 GPS연구그룹

<sup>2</sup>충남대학교 천문우주과학과

## DEVELOPMENT OF REAL-TIME PRECISE POSITIONING ALGORITHM USING GPS L1 CARRIER PHASE DATA

Jeong-Ho Joh<sup>1†</sup>, Byung-Kyu Choi<sup>2</sup>, Jong-Uk Park<sup>1</sup>,  
Kwan-Dong Park<sup>1</sup>, Hyung-Chul Lim<sup>1</sup>, Pil-Ho Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Korea Astronomy Observatory, 61-1 Hwaam, Yusong, Daejeon 305-348, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Astronomy and Space Science, Chungnam National University, Daejeon, Korea

E-mail: jojh@kao.re.kr

(Received October 17, 2002; Accepted November 21, 2002)

### 요 약

GPS L1 반송파 위상을 이용한 실시간 정밀측위 알고리즘(Real-time Phase Data Processor: RPDAP)을 개발하고, 이를 기존의 L1 RTK(Real Time Kinematic) 측위정밀도와 비교하였다. 기존의 L1 RTK 기법은 관측환경에 매우 민감한 반면, RPDAP은 공통관측위성의 검색에 있어서 고도각이 낮거나 신호세기가 약한 위성을 제외함으로써 안정적인 결과를 산출할 수 있었다. RPDAP은 저가의 수신기를 이용하여 GPS 위상자료 측위기법을 실시간 응용분야에 적용하기 위한 것으로, 본 연구를 통한 L1 RTK기법과의 정밀도 비교·분석을 통해 RPDAP 알고리즘의 장·단점을 검토하고 향후 실용화를 위한 개선방안에 대해 논의하고자 한다. 향후 RPDAP과 함께 이동체의 고정밀 항법이나 개인위치추적 등에 RPDAP을 활용할 계획이다.

### ABSTRACT

We have developed Real-time Phase Data Processor(RPDAP) for GPS L1 carrier. And also, we tested the RPDAP's positioning accuracy compared with results of real time kinematic(RTK) positioning. While quality of the conventional L1 RTK positioning highly depend on receiving condition, the RPDAP can gives more stable positioning result because of different set of common GPS satellites, which searched by elevation mask angle and signal strength. In this paper, we demonstrated characteristics of the RPDAP compared with the L1 RTK technique. And we discussed several improvement ways to apply the RPDAP to precise real-time positioning using low-cost GPS receiver. With correcting the discussed weak points in near future, the RPDAP will be used in the field of precise real-time application, such as precise car navigation and precise personal location services.

*Keywords:* GPS, L1 Phase, RPDAP, L1 RTK

<sup>†</sup>corresponding author

## 1. 서 론

2000년 5월 미국의 위성측위시스템인 GPS(Global Positioning System)의 의도적 정밀도 저하조치(SA; Selective Availability)가 해제됨에 따라 GPS 단독측위의 정밀도가 향상되었다(IGEB 2001). 이는 GPS 코드자료를 이용한 차등보정 GPS(Differential GPS)의 정밀도에 근접하는 수준으로 점차 DGPS의 효용성이 낮아짐을 의미한다. 최근 GPS 반송파 위상 자료를 이용하는 CDGPS(Carrier-phase DGPS) 기법이 실시간 응용분야에서 주목받고 있다.

일찍이 Bossler et al.(1980)은 위성과 수신기간 반송파 위상차를 측정할 수 있는 수신기들로 이루어진 기선을 정밀하게 결정할 수 있음을 발표하였다. 위상자료를 이용하면 코드자료보다 월등한 측위정밀도를 얻을 수 있지만, 자료처리 과정이 까다롭고, 초기 모호수를 반드시 결정하여야 한다. 또한 기선거리가 길어짐에 따라 GPS 신호도달경로가 달라지는 효과도 고려되어야 한다. 이러한 단점 때문에 GPS 위상자료 측위기법은 실시간 응용에 사용이 제한적이었다. 그러나 수 분내에 모호수를 결정하는 기법이 개발되고(Remondi 1985) SA해제 이후 CDGPS기법의 필요성이 부각되면서, GPS 위상자료 측위기법의 실시간 적용연구가 최근 활발히 진행되고 있다.

일반적으로 CDGPS의 정밀도는 단기선에서 cm급의 정밀도를 보장하지만 사용되는 자료와 통신 수단 그리고 관측환경에 따라 매우 유동적이다. 여기서 단기선이란 GPS 신호전파경로에 가장 큰 영향을 미치는 이온층에 의한 영향이 기준점과 동일하게 적용될 수 있는 범위를 의미한다. 즉, 태양활동에 따라 10km에서 60km까지 단기선의 범위가 변한다(Clyde 1998). 또한 도심지역과 같이 GPS수신환경이 불안정적인 경우에는 그 범위가 현격히 줄어든다.

L1 RTK는 수 cm급의 정밀도를 유지하기 위해 기준점과 측정점에서 비교적 고가의 수신기를 사용할 뿐만 아니라 위성관측시 낮은 고도각을 이용한다. 따라서 도심지와 같이 낮은 고도각에서 빈번히 GPS신호가 차폐될 경우 기준점과 측정점의 공통관측위성이 순간적으로 달라져 RTK 결과는 불안정하다. 이는 수신기에 내장된 마이크로 프로세서의 알고리즘 때문인데 만일 공통관측위성 검색 방법을 바꿀 수 있다면, 안정적인 측위결과를 얻을 수 있다. RPDAP은 도심지에서 사용자가 측정점의 고도각을 조정하여 공통관측위성의 변화를 줄임으로써 보다 안정적인 측위결과를 얻을 수 있도록 개선하였다. 본 연구는 GPS 위상자료 측위기법을 GPS 실시간 응용분야에 적용하기 위해 GPS L1 위상측정이 가능한 저가의 수신기를 이용한 정밀측위 알고리즘인 RPDAP 프로그램을 개발하고, 이를 기존의 L1 RTK기법의 정밀도와 비교하여 알고리즘의 장단점과 향후 실용화를 위한 개선방안에 대한 검토에 초점을 맞추었다.

## 2. GPS 측위정밀도 개선기법

GPS의 모든 측위기법은 관측자료의 코드나 위상 또는 두 측정치의 조합을 이용하는데, 위상자료를 이용하면 코드자료보다 정밀한 결과를 얻을 수 있다. 그러나 위상자료 처리 알고리즘은 복잡하고 관측환경에 민감한 단점이 있다.

이미 위치를 정확히 알고 있는 기준점에서 매 관측시각마다 계산된 위성의 보정치를 측정점의 측위에 실시간으로 사용할 수 있다면, 측정점의 위치 정밀도를 수 m 수준으로 유지할 수 있다. 이때 기준점과 측정점은 공통의 관측조건을 유지한다고 가정한다. 이러한 실시간 GPS 정밀도 개선기법을 DGPS라고 하는데 항법분야에 널리 이용되고 있다. DGPS는 일반적으로 GPS 의사거

리(Pseudorange) 보정을 통한 측위 정밀도 개선기법을 지칭하지만, 넓은 의미에서 반송파 위상자료를 이용한 정밀도 개선기법(CDGPS)을 포함한다.

RTK는 반송파 위상자료를 이용한 CDGPS 기법 중 하나로 기준점의 관측정보를 모두 측정점에 전달하여 이를 측위에 사용하도록 하는 기법으로 측정점의 위치를 cm급으로 결정할 수 있다. 기준국에서 제공하는 RTK 정보는 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime services) 형식으로도 수용이 가능하지만, 대개의 경우는 자료의 양이 많아 수신기 제조사가 제공하는 형식을 이용한다. RTK는 위상자료를 이용한 단독측위(Point Positioning)의 단점을 상대측위(Relative Positioning) 방식으로 보완하였을 뿐만 아니라, 실시간 위상자료 처리 알고리즘을 통해 광범위한 측정점의 정밀좌표를 빠른 시간 안에 획득할 수 있는 장점이 있다. 따라서 최근 위상자료를 이용하는 실시간 상대측위 기법인 RTK가 DGPS의 대안으로 부각되고 있다.

위성의 신호에 포함된 오차를 제거하는 기법으로 차분(Differencing)기법이 있다. GPS 신호가 수신기까지 저장되는 동안 측정자료에는 여러 가지 원인에 의한 오차가 포함되는데 크게 GPS 신호가 전파되는 경로에 따른 오차, 위성과 사용자의 수신기 시계 오차, 위성의 위치오차, 그리고 기타 잡음으로 나눌 수 있다. 마지막 두 가지 요인은 실시간 응용에서 요구하는 m급 이하 정밀도를 유지하는데 큰 영향을 주지 않으므로 무시한다. 따라서 어떤 시각 t에 임의의 지점 A와 B에서 관측한 위성 k와 l에 대한 각각의 GPS 위상자료 측정 방정식은 다음과 같이 단순화하여 쓸 수 있다.

$$\Phi_A^k(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_A^k + \text{시계오차}_A + \text{시계오차}^k + \text{모호수}_A^k - \frac{1}{\lambda} \text{경로오차}_A^k \quad (1)$$

$$\Phi_A^l(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_A^l + \text{시계오차}_A + \text{시계오차}^l + \text{모호수}_A^l - \frac{1}{\lambda} \text{경로오차}_A^l \quad (2)$$

$$\Phi_B^k(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_B^k + \text{시계오차}_B + \text{시계오차}^k + \text{모호수}_B^k - \frac{1}{\lambda} \text{경로오차}_B^k \quad (3)$$

$$\Phi_B^l(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_B^l + \text{시계오차}_B + \text{시계오차}^l + \text{모호수}_B^l - \frac{1}{\lambda} \text{경로오차}_B^l \quad (4)$$

여기서  $\rho$ 와  $\lambda$ 는 각각 의사거리와 L1 파장을 나타내며 경로오차는 대류층과 이온층에 의한 오차를 의미한다. A와 B를 각각 기준점과 측정점이라고 가정하여 식 (1)에서 식 (2)를 빼주면 위성간 차분이 되어 수신기의 시계오차를 제거할 수 있다. 식 (1)과 식 (3)간 차분을 수신기간 차분이라 하는데, 이를 통해 위성의 시계오차와 경로오차를 제거할 수 있다. 식에서 알 수 있듯이 기준점과 측정점이 멀리 떨어진 경우, 수신기간 차분으로 효과적인 공통오차 제거를 기대할 수 없다. 또한 식의 우변 첫 번째 항과 네 번째 항은 각기 독립적인 값이므로 차분기법으로 제거되지 않는다.

모델을 이용하여 각각의 오차를 제거할 수도 있지만 정확도가 떨어지는 단점 때문에, 일반적으로 차분기법을 이용하여 기준점과 측정점의 공통오차를 제거한다. 차분기법은 수신기간 차분, 위성간 차분, 시각간 차분과 같은 단일 차분으로 나눌 수 있고, 이들의 조합으로 이중차분, 삼중차분을 구성할 수 있다. 일반적으로 시각간 차분은 시계오차와의 상관성(correlation) 때문에 널리 사용되지 않는다. 본 연구에서는 수신기간 차분과 위성간 차분을 조합한 이중차분 기법을 이용하였다. 이 기법은 기선거리가 짧을 경우 GPS 신호경로 오차와, 수신기의 시계오차를 효과적으로 제거할 수 있어 매우 유용한 기법이다.

### 3. RPDAP 프로그램 개요

RPDAP의 구성은 그림 1과 같이 자료입력단계, 전처리단계와 자료처리단계로 나눌 수 있다. 각

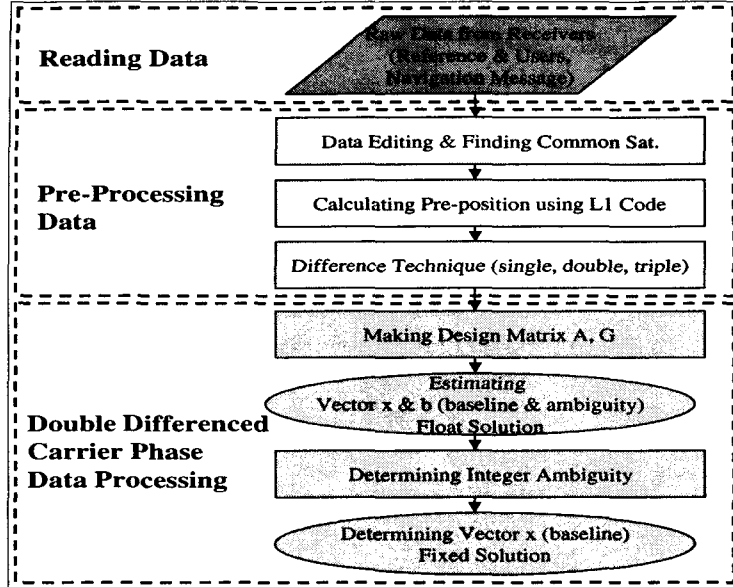


그림 1. RPDAP 개요.

표 1. RPDAP 입력단계 주요내용.

세부단계	프로그램명	임무
변수입출력 및 함수호출	MAIN	기본입력변수를 받아 각 함수들을 호출하고, 결과를 출력함
	READ_L1P	수신기로부터 L1 위상자료를 읽어들임
	READ_NAV	수신기로부터 항법메시지자료들을 읽어들임

표 2. RPDAP 전처리단계 주요내용.

세부단계	프로그램명	임무
Bad data 및 Cycle slip 제거	ELIMBD	Bad data를 제거하고, 해당 epoch를 저장
	ELIMCS	위성별 Cycle slip을 검출/제거하고 해당 위성 및 epoch를 저장
공통관측 위성검색	COSAT	신호중단인수를 이용하여 관측중단 epoch와 위성을 검색
	COMPARE	Epoch별 관측위성의 event marker
L1 코드이용 사전위치 결정	CODE.PROC	L1 코드자료를 이용하여 대략적인 사용자의 위치를 결정
		수신기의 시계오차를 추정
Difference Technique	DIFFRCLR DIFFSATS	수신기간 차분, 위성간 차분, 시각간 차분 자료 생성
	DIFFTIME	이중차분은 단일차분 결과를 조합하여 생성

단계의 주요 기능을 표 1에서 표 3에 정리하였다. 자료입력단계는 수신기에서 측정된 GPS자료와 항법메시지를 실시간으로 읽어들이는 과정이고, 전처리단계는 신호깜김현상(Cycle slip)을 검출하고 기준점과 사용자의 공통위성을 찾아 이중차분 자료를 생성한다. 또한 L1 코드를 이용하여 사용자의 대략적인 위치를 파악한다. 전처리 단계와 자료 처리단계의 일부는 일반적인 RTK기법의 초기화기

표 3. RPDAP 주처리단계 주요내용.

세부단계	프로그램명	입 무
위성의 위치계산	GPS_ORB	기본입력변수(수신기 위치 및 방송궤도력 자료)를 받아 관측시간별·위성의 위치를 계산
Inverse matrix	MAKE_INV	모든 행렬의 역행렬을 구함 LU decomposition 방법을 이용함
모호수 및 상대기선벡터 추정	MAKE_AG PROC_FLT	모호수와 상대기선벡터를 추정/결정하는데 필요한 행렬을 디자인 실수 모호수와 상대기선벡터(Float solution)를 추정
모호수 결정	MAKE_N	각 epoch별로 추정된 모호수를 이용하여 모호수를 실수로 결정
상대기선벡터 결정	PROC_FIX	모호수를 이용하여 상대기선벡터를 결정(Fixed solution)

간 동안 이루어지는데, 이 기간동안 사용자의 수신기는 RPDAP을 이용하여 모호수를 결정하여 고정해(fixed solution)를 결정할 수 있다. 초기화란 기준점과 측정점에서 정지측량을 실시하여 공통관측위성의 모호수와 고정해를 결정하는 과정으로 모호수 결정 알고리즘에 따라 수초에서 수분이 소요된다.

RPDAP의 특징은 전처리 단계에서 공통의 위성을 선별하는 조건이다. 공통위성 검색은 위성의 고도각과 신호세기, 위성의 기하학적 배치를 기준으로 수행된다. 사방이 트여 관측여건이 양호한 경우에는 일반적인 방법, 즉 기준점과 측정점에서 관측되는 모든 위성을 이용하지만, 관측조건이 나쁜 경우 사용자의 선택에 따라 RPDAP의 공통위성 검색방법을 사용할 수 있다. 일반적으로 RTK 측위 결과는 Cycle slip 등과 같은 주변의 관측여건변화에 민감하게 반응하기 때문에 정확한 반면에 안정적이지 못하다. RPDAP은 보다 안정적인 측위결과를 위해서 고도각이 낮아 주변의 건물 등에 신호가 가릴 가능성이 높은 위성과 신호세기가 약한 위성을 상황에 따라 S/N비와 사용자의 고도각 조정을 통해 공통위성 검색에서 배제할 수 있도록 하였다. 이 때문에 측위에 사용되는 위성의 개수가 적어지고 기하학적인 배치가 나빠져 결국 측위 정밀도가 떨어질 수 있다. 그러나 측위 정밀도가 여전히 cm급이라면 보다 안정적인 측위결과가 실시간 응용에 보다 유용할 것으로 여겨진다.

#### 4. 실험 및 결과

RPDAP의 알고리즘 검토를 위해 2002년 10월 7일에 50~100m 사이의 관측여건이 양호한 천문연구원내 단기선 2지점에 대한 RPDAP의 처리결과를 L1 RTK 측위결과와 비교하였다. 각각의 측정지점에서 정지측량을 통해 정밀좌표를 산출하고, 동일기간에 대한 RPDAP 자료처리와 L1 RTK 측위를 수행하였다. RPDAP의 경우 RTK가 수행되는 동안 수신기에 저장된 측정지점의 자료를 이용하여 후처리하였다. RPDAP은 실시간 GPS 위상자료처리용 알고리즘이지만 본 연구가 RPDAP의 알고리즘 검증에 초점을 맞추어 진행되었기 때문에 실시간 자료입력과정을 후처리방식으로 바꾸어 수행하였다.

그림 2와 그림 3은 각각의 기선에 대한 L1 RTK, RPDAP 기법의 성분별 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 가로축은 측정횟수로서 1초 간격이고, 세로축의 영점은 성분별 정밀좌표를 의미한다. 그림에서 볼 수 있듯이 L1 RTK는 약 10~30초가 경과한 후 정밀좌표에 근접하는 반면, RPDAP은 약 2분 30초~3분부터 서서히 수렴함을 알 수 있다. 또한 RPDAP의 결과에서 정밀좌표에 대한 진폭이 RTK에 비해 큼을 볼 수 있다. 반면 RTK의 결과에서 보이는 점프현상은 Cycle slip에 의한 것으로

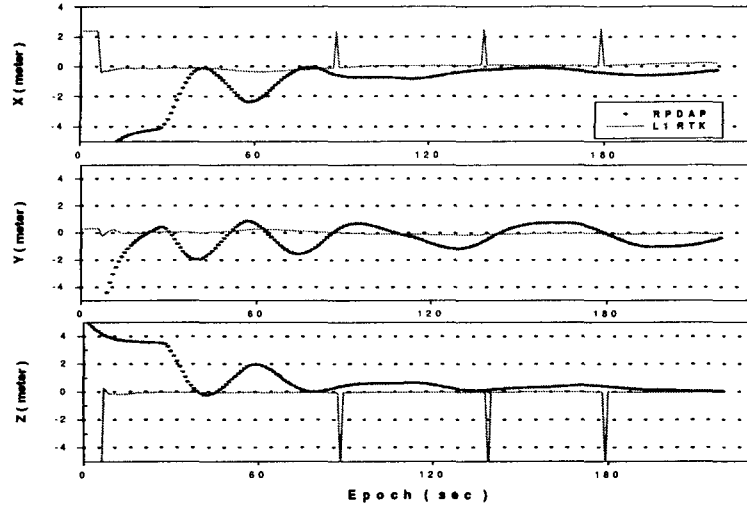


그림 2. 60m 기선에 대한 L1 RTK와 RPDAP 처리결과.

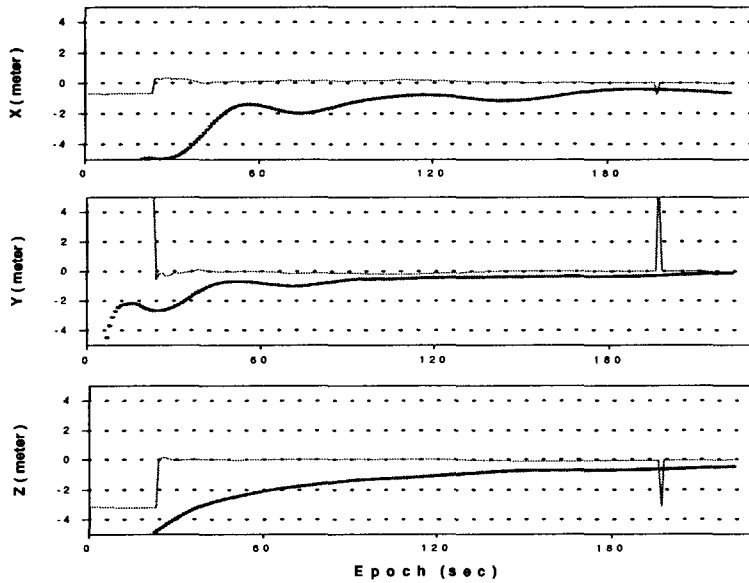


그림 3. 90m 기선에 대한 L1 RTK와 RPDAP 처리결과.

RPDAP의 결과에서는 찾아볼 수 없다. 이는 RPDAP의 경우 Cycle slip의 영향을 줄이기 위해 항법 메시지에서부터 위성의 위치를 계산하여 일정 고도각 이상의 위성만을 사용하기 때문이다. 고도각은 사용자가 임의로 지정할 수 있는데, 이로 인해 측위 시 위성의 수가 줄어 측위 정밀도를 떨어뜨리지만, 그림에서와 같이 안정적인 결과를 나타냄을 볼 수 있다.

표 4. 단기선(50~100m) 2지점에 대한 RPDAP 자료처리 성분별 정밀도.

		X(m)	Y(m)	Z(m)	3차원(m)
		Bias ± (S.D.)	Bias ± (S.D.)	Bias ± (S.D.)	Bias ± (S.D.)
Test1 (60m)	초기위치	-15.67	-27.58	7.29	32.55
	RPDAP	-0.36±0.17	-0.17±0.69	0.23±0.14	0.46±0.72
	L1 RTK	0.14±0.27	-0.06±0.02	-0.09±0.64	0.18±0.69
Test2 (90m)	초기위치	-50.34	-15.55	-42.96	67.98
	RPDAP	-0.49±0.08	-0.28±0.08	-0.63±0.07	0.85±0.13
	L1 RTK	-0.00±0.12	0.13±0.98	-0.13±0.47	0.18±1.09
평균 (절대값)	초기위치	33.01	21.57	25.12	50.27
	RPDAP	0.43±0.13	0.23±0.39	0.43±0.11	0.66±0.43
	L1 RTK	0.07±0.20	0.10±0.50	0.11±0.56	0.18±0.89

표 4에 그림 2와 3의 실험내용을 정리하였다. 표 4의 바이어스는 상용 GPS 자료처리 프로그램인 GPSURVEY Ver. 2.3(Trimble 1999)으로 결정된 정밀좌표에 대한 L1 RTK 및 RPDAP의 성분별 평균 바이어스이고, 표준편차는 각각의 평균 바이어스에 대한 편차를 의미한다. 모든 값은 RPDAP이 60m와 90m 기선에서 각기 수렴하기 시작한 시점인 2분 25초와 3분부터 고려된 것이며, 실험에 사용된 GPS 수신기는 TRIMBLE 4000SSI 기종이다. 초기위치는 RPDAP의 전처리단계에서 L1 코드자료를 이용하여 대략적으로 결정한 수신기의 위치를 의미하는데, RPDAP을 이용하여 성분별 정밀도가 초기위치에 비해 약 60배에서 100배정도 개선됨을 알 수 있다.

표 4에서 RTK의 경우 바이어스보다 편차가 RPDAP보다 큰 경우가 많음을 알 수 있다. 이는 RPDAP의 공통위성 검색방법에 의한 것으로 RTK기법에 비해 정확도는 떨어지지만 보다 안정적인 결과를 얻을 수 있음을 의미한다. 표에서 RPDAP이 L1 RTK 기법보다 평균 3.5배정도 바이어스가 크고, 평균 2배정도 안정적인 편차를 나타내고 있다.

### 5. 토의 및 결론

본 연구를 통해 RPDAP의 자료처리 정밀도를 RTK 측위결과와 비교하였다. 그림 2와 그림 3에서 보듯이 L1 코드와 위상을 이용하는 RTK의 경우 단시간 내에 정밀좌표에 수렴하는 반면, L1 위상 자료만을 사용하는 RPDAP의 경우 약 7-10배 늦게 수렴하는 양상을 보였다. 이러한 차이는 RTK 기법에 사용된 필터링에 의한 것으로 여겨진다. 필터링 과정을 통해 GPS 측정자료를 smoothing할 수 있을 뿐만 아니라 각 epoch에 결정되는 변수의 신뢰도를 높일 수 있다. 필터링 과정은 실시간 응용에서 매우 중요한 과정으로 RPDAP의 보다 신속하고 정확한 수렴을 위해서는 반드시 필터링 과정을 추가하여야 한다.

본 연구의 L1 RTK 및 RPDAP 실험결과는 모호정수 결정단계 이전의 해인 부동해(Float solution)를 이용하였는데, 모호정수와 고정해(Fixed solution) 결정을 위해서는 부동해를 반복적으로 개선하여 모호정수를 결정하는 순차적조정(Sequential adjustment)을 거쳐야 한다(Blewitt 1989). 그러나 순차적 조정은 후처리 정지측위에 적합한 방법이므로 실시간 응용에 적합한 모호수 결정방법과 이동 중 Cycle slip 발생시 신속히 모호수문제를 해결할 수 있는 OTF(On The Fly, 최병길 등 2000) 기능을 RPDAP에 추가함으로써 보다 정밀한 실시간 응용에 대비하여야 한다.

그러나 RTK 결과에서 간혹 Cycle slip에 의해 나타나는 점프 현상을 RPDAP 결과에서 볼 수 없

는 점은 RPDAP의 공통위성 검색과정에 기인하는 것으로, 안정적인 측위정밀도를 요구하는 실시간 응용분야에 적합할 것으로 예상된다. 즉 수 cm급의 정밀도가 요구되는 지적측량 등에는 부적합하지만, 안정적인 미터 급 이하의 정밀도를 필요로 하는 고정밀 항법이나 개인위치추적 서비스 등에 활용할 수 있을 것이다. 특히 도심지와 같이 관측여건이 나쁜 경우에 RPDAP의 공통위성 검색방법이 더욱 유용할 것이다.

또한 RPDAP의 상용화를 위해서는 초기입력단계를 실시간 응용에 맞추어야 한다. 실시간 응용에 사용되는 모든 GPS 수신기마다 각기 다른 포맷을 사용하기 때문에 입력단계의 표준화는 어렵다. 대신 사용할 후보수신기에 따른 입력단계를 몇 가지로 모듈화 하면 다른 포맷을 사용하는 수신기 사용시 입력모듈만 바꾸어 RPDAP의 나머지 부분과 함께 사용할 수 있다. 이러한 장·단점 파악과 개선방안 검토를 통해 RPDAP이 보완되면 이동체의 고정밀 항법이나 개인 위치추적 등에 활용될 수 있을 것으로 여겨진다.

#### 참고문헌

- 최병길, 김영근, 정진우 2000, 한국측량학회지, 18, 272  
Blewitt, G. 1989, JGR, 94-B8, 10187  
Bossler, J. D., Clyde, C. G., & Peter, L. B. 1980, Bulletin Geodesique, 54, 553  
Clyde, C. G. 1998, GPS for Geodesy, eds. P. J. G. Teunissen et al. (Berlin: Springer), p.458  
IGEB 2001, FAQ about SA Termination, URL: <http://www.igeb.gov/sa/faq.shtml>  
Remondi, B. W. 1985, Journal of the Institute of Navigation, 32, 386  
Trimble Navigation Limited 1999, GPSurvey S/W User's Guide (Sunnyvale, CA: Trimble Ltd.)