

차분 기법을 적용한 GPS 반송파 위상 측정치 고장 검사

Application of the Difference Method in a Fault Test on GPS Carrier Phase Measurements

손은성^{1*} · 임성혁¹ · 김군택²

¹한국항공우주연구원 위성항법팀

²한국항공우주연구원 체계종합팀

Eunseong Son^{*1} · Sung-Hyuck Im¹ · Koon-Tack Kim²

¹Satellite Navigation Team, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon, 34133, Korea

²SBAS System Engineering & Integration Team, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon, 34133, Korea

[요 약]

이 연구에서는 GNSS (global navigation satellite system) 인프라 기반 측위 보정정보 생성을 위한 전처리 단계인 GPS (global positioning system) 반송파 위상 측정치의 고장 검사를 수행하였다. 기존 CARST (carrier acceleration ramp step test) 방법은 수신기 시계 오차를 제거하기 위해 평균값을 이용함으로써 검사 대상에 영향을 준다. 따라서 이 연구에서는 차분 기법을 적용하여 기존 CARST 결과와 비교하였다. 실 데이터에 인위적인 고장을 인가하여 고장 시뮬레이션을 수행한 결과 차분 기법을 적용할 경우 각각의 위성에 대해 독립적인 고장 검출이 가능한 것으로 판단되었으며 단일차분과 이중차분은 유사한 결과를 나타내었다. 실 데이터를 이용하여 기존의 방법과 비교한 결과 위성 간 차분, 수신국간 차분 결과의 장단점을 확인할 수 있었다. 그러나 결과 값에 대한 위성 및 수신기 시계 오차의 영향은 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

[Abstract]

This study performed fault test on global positioning system (GPS) carrier phase measurements, which is a preprocessing step to generate the positioning correction information based on the global navigation satellite system (GNSS) infrastructure. The existing carrier acceleration ramp step test (CARST) method affects the test result by using the mean value to eliminate the receiver clock error. In this regard, this study applied differencing and compared its results with those of the existing CARST. The fault simulation that applied artificial faults to the actual data found that the fault could be detected independently on each satellite when difference method was applied, and the single difference CARST and the double difference CARST produced similar results. The comparison with the existing method using actual data demonstrated the strengths and weaknesses of satellite and station single difference. Nevertheless, it is our understanding that it would require an additional analysis to determine whether the results were affected by the satellite or receiver clock error.

Key word : Global positioning system, Quality monitoring, Carrier phase, Difference method, Carrier acceleration ramp step test.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.6.601>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 16 October 2017; Revised 27 October 2017

Accepted (Publication) 27 November 2017 (30 December 2017)

*Corresponding Author; Eunseong Son

Tel: +82-42-870-3989

E-mail: gpsyusa@kari.re.kr

I. 서론

4차 산업혁명의 시대가 도래함에 따라 대표적인 기술로 자율주행 자동차, 인공지능, 사물 인터넷 등이 거론되고 있다. 이 중 자율주행 자동차는 전 세계적으로 관심이 높아 오래 전부터 연구가 진행되고 있다[1]. 자율주행은 운전자의 개입 없이 주변 환경을 인식하고, 주행 상황을 판단하여 차량을 제어함으로써 주어진 목적지까지 주행하는 것을 말한다[2]. 자율주행을 위해서는 표 1과 같은 기술이 필요하며 위치인식과 관련하여 위성항법기술을 이용하는 경우에는 항법위성의 가시위성 확보 여부 및 기술의 차이에 따라 최대 수 cm 정도의 정확도로 위치를 인식할 수 있다. 그러나 수 cm의 정확도를 갖는 위성항법수신기는 수천만 원의 고가 장비이므로 상용화가 어려울 것으로 판단된다[3].

자동차의 기술만으로 자율주행을 구현할 경우 고가의 센서 사용으로 인한 자동차 가격이 상승되는 문제점을 해소하기 위해 자율주행 차량을 위한 도로 인프라 기술과의 협력 필요성이 대두 되고 있다[4]. [5]는 범지구위치결정시스템 (GPS; global positioning system)을 이용하여 이동하는 차량이 차로를 구분할 수 있는 보정정보 제공 인프라 기술을 연구하였다. 이러한 인프라 기술로 인해 차량은 저가의 위성항법수신기를 이용하여 수십 cm 수준의 위치결정을 수행할 수 있게 되었으며 응용 분야에 따라 다르겠지만 기존 고가 위성항법수신기를 대체할 수 있을 것으로 기대된다[3].

표 1. 자율주행 기술 구성 요소[2]

Table 1. Technologies consisting of autonomous driving[2].

Technology	Description
Environmental perception	- Use radio detection and ranging (RADAR), light detection and ranging (LIDAR), and stereo cameras. - Perceive static and dynamic obstacles (vehicles, pedestrians, etc.), road signs (lanes, stop lines, crosswalks, etc.), and traffic lights.
Positioning and mapping	- Use the global navigation satellite system (GNSS), the inertial navigation system (INS), the encoder, and other sensors for mapping. - Estimate the absolute/relative position of the vehicle.
Decision-making	- Plan a route to the destination. - Plan a route to avoid obstacles. - Make a decision for each driving situation (keep the lane, change the lane, turn left or right, overtake a slow-driving vehicle, take a U-turn, make an emergency stop, pull over, park, etc.).
Control	- Steer, accelerate/decelerate, and control gears and the actuator to estimate a given route.
Interaction	- Use human-vehicle interaction (HVI) to provide the situation information, warn the driver, and receive input commands from the driver. - Use vehicle-to-everything (V2X) communication to exchange driving information with infrastructure and nearby vehicles.

위성항법시스템의 최종 목적은 수신기의 위치결정이다, 정밀

한 위치를 결정하기 위해서는 반송파 위상 측정치를 사용하며 상대측위 기법을 사용한다[6]. 그러나 기존의 RTK (real time kinematic)와 같은 상대측위 기법의 한계가 대두되면서 이를 보완하기 위한 GNSS 인프라 기반의 보정정보 생성 기술개발이 진행 중이다.

정밀한 위치결정과 보정정보를 생성하기 위해서는 전처리 과정에서 측정치의 고장검출이 필요하다. 반송파 위상 측정치의 고장검사와 관련하여 [7]-[9]는 CARST (carrier acceleration ramp step test) 기법을 이용하였다. 그러나 단일 수신국 기반의 CARST는 위성과 수신기의 시계 오차를 완벽하게 제거할 수 없으며 이들은 수신기 시계 오차를 제거하기 위해 평균값을 이용하였지만 이로 인해 한 개의 위성에서 고장이 검출되었을 경우 모든 위성에서 고장이 발생한 것과 같은 형태를 나타내었다.

상대측위 기법은 위성과 수신기의 시계 오차를 제거하는 장점이 있다. 이 중 이중차분을 수행하게 되면 위성과 수신기 시계 오차에 고장이 발생하더라도 보정정보 생성, 위치결정 등에 영향을 미치지 않아 위치결정 및 보정정보 생성 등의 연속성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

이 연구에서는 GNSS 인프라 기반 측위 보정정보 생성을 위한 전처리 단계에 수행될 차분된 측정치 기반 CARST를 수행하고 기존의 방법과 비교, 분석한다.

II. 고장 시뮬레이션

이 장에서는 CARST의 수식을 설명하고 고장 시뮬레이션을 통해 알고리즘 구현을 검증하였다. GPS 차분 기법은 단일차분과 이중차분 그리고 삼중차분이 존재하지만 단일차분의 경우 대부분의 고장 시뮬레이션 결과가 이중차분과 유사하여 생략하였으며 삼중차분은 CARST 검사 대상과는 다소 거리가 멀다고 판단되어 이 연구에서 제외하였다.

2-1 CARST 개요와 수식

CARST는 반송파 위상 측정치의 급변 현상을 검사한다. 이 검사는 반송파 위상 측정치에 대한 acceleration, ramp, step 검사의 임계값 초과 원인을 검사하기 위해 10개의 연속된 검사 원도를 설정한다. 검사 원도수가 설정되지 않으면 측정치가 고장인지 가시위성 변화로 인한 고장인지에 대한 모호성을 가지기 때문이다[7].

일반적으로 위치결정 또는 보정정보 생성을 위해 사용되는 GPS 신호는 L1과 L2가 있으며 위성 s 에서 송신되어 수신기 r 에 수신된 GPS 반송파 위상 측정치 방정식은 식(1)과 같으며 단위는 m이다.

$$\Phi_{r,i}^s = \rho_r^s + c(t_r - t^s) - I_{r,i}^s + T_r^s + \lambda_i N_r^s + \epsilon_{r,i}^s \quad (1)$$

여기서, i 는 주파수, ρ 는 위성과 수신기 사이의 거리, c 는 빛의 속도, t_r 은 수신기 시계 오차, t^s 는 위성 시계 오차, I 는 전리층 오차, T 는 대류권 오차, λ 는 파장, N 은 미지정수 ϵ 은 잡음이다,

식(1)에 표기된 오차들 이외에 위성과 수신기 안테나의 위상 중심 변화, 다중경로 오차 등이 있으나 이 연구에서는 고려하지 않았다[10]. 식(1)을 수신기간 차분하면 식(2)와 같이 위성 시계 오차가 제거된 수신기간 단일차분 수식을 만들 수 있다.

$$\Phi_{AB,i}^s = \rho_{AB}^s + \alpha_{AB} - I_{AB,i}^s + T_{AB}^s + \lambda_i N_{AB,i}^s + \epsilon_{AB,i}^s \quad (2)$$

여기서, A 는 주 수신국, B 는 부 수신국이다.

수신기 시계 오차를 제거하기 위해서는 식(1)을 이용하여 위성간 차분을 수행하면 된다. 식(3)에 위성간 단일차분 수식을 나타내었다.

$$\Phi_{r,i}^{Rj} = \rho_r^{Rj} - \alpha_r^{Rj} - I_{r,i}^{Rj} + T_r^{Rj} + \lambda_i N_r^{Rj} + \epsilon_{r,i}^{Rj} \quad (3)$$

여기서, R 은 기준위성, j 는 기준위성을 제외한 나머지 위성이다.

식(2)와 식(3)을 차분하면 식(4)와 같이 이중차분 수식을 만들 수 있다.

$$\Phi_{AB,i}^{Rj} = \rho_{AB}^{Rj} - I_{AB,i}^{Rj} + T_{AB}^{Rj} + \lambda_i N_{AB}^{Rj} + \epsilon_{AB,i}^{Rj} \quad (4)$$

CARST를 이용한 검사 대상은 전리층 및 대류권 오차, 그리고 미지정수이다. 반송파 위성 측정치를 잡음이 매우 낮은 것으로 알려져 있으며 위성과 수신기 사이의 거리와 위성 시계 오차는 계산이 가능하므로 제거할 수 있다. 또한 식(1)-(4)에 나타내지 않았지만 위성 궤도 오차, phase wind up 그리고 site displacement 등의 효과는 매우 작아져 무시할 수 있기 때문이다[11].

CARST 수식은 식(5)와 같으며 acceleration은 a_2 , ramp는 a_1 , 추정된 측정치는 a_0 이므로 step은 Φ_{diff} 와 식(5)와의 차이이다 [8].

$$CARST = a_0 + a_1 n + \frac{1}{2} a_2 n^2 \quad (5)$$

여기서, n 은 식(7)과 같이 1부터 10까지 증가하는 숫자이다. 식(5)의 각각의 값들은 식(6)과 같이 최소제곱법으로 추정할 수 있으며 설계 행렬은 식(7)과 같다[7][8].

$$CARST = (H^T H)^{-1} H^T \Phi_{diff} \quad (6)$$

여기서, H 는 설계 행렬, Φ_{diff} 는 차분된 측정치이다.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \frac{1}{2} 1^2 \\ 1 & 2 & \frac{1}{2} 2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 10 & \frac{1}{2} 10^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

2-2 이중차분 CARST 고장 시뮬레이션

이중차분 CARST 알고리즘의 구현 정확도를 판단하기 위해 측정치에 고장을 인가하여 결과 값의 변화를 확인하였다. 첫 번째로 기준위성에 고장이 발생하면 모든 위성에 영향이 있을 것으로 판단하였다. 두 번째로 전리층, 대류권 오차는 위성의 고도각과 관련이 있으므로 기준위성을 제외한 가장 높은 위성과 가장 낮은 위성에 고장을 인가하였으며 2개의 위성에 동시에 고장을 인가했을 때의 변화를 살펴보았다. 고장은 10,000 에폭 단위로 인가되었으며 표 2에 수치를 나타내었다.

실험 데이터는 2015년 DOY (Day Of Year) 183 1초 간격이며 주 수신국은 대전에 위치하고 있고 부 수신국은 공주, 보은, 안성, 음성에 위치하고 있다. 그림 1에 수신국의 위치 및 기선 거리를 나타내었다.

표 2. 이중차분 CARST 시뮬레이션에 인가된 측정치 고장 크기
Table 2. Fault size in simulation.

epoch	Applied fault (cycles)
100	1
10,000	-1
20,000	2
30,000	-2
40,000	5
50,000	-10
60,000	-20
70,000	50
80,000	-100

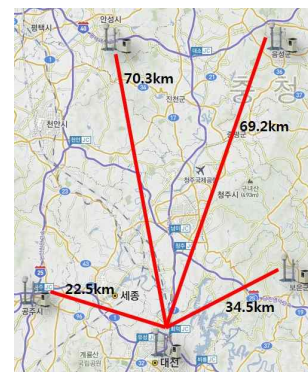


그림 1. 지역수신국 위치 및 주 수신국과 부 수신국과의 거리
Fig. 1. Locations of the stations and the baseline distances.

표 3. 대전-공주간 이중차분 고장 시뮬레이션 L1 acceleration 값

Table 3. Deajeon-Gongju double difference fault simulation L1 acceleration values.

Applied fault	PRN	CARST reflecting the fault	CARST no reflecting the fault	Gap
1	3	0.0090	3.5218e-4	0.0086
-1	9	-0.0089	-2.8356e-4	-0.0086
2	1	0.0173	3.9483e-5	0.0173
-2	1	-0.0173	3.0595e-5	-0.0173
5	2	0.0431	-1.7593e-4	0.0432
-10	5	-0.0865	-4.4153e-5	-0.0865
-20	2	-0.1729	1.4053e-4	-0.1730
50	12	0.4330	4.9523e-4	0.4325
-100	12	-0.8649	2.8452e-5	-0.8650

표 4. 이중차분 CARST 1사이클 고장 시뮬레이션 차이 값

Table 4. Gap in simulation for the fault of 1 cycle.

	Acceleration	Ramp	Step
L1	0.0086	-0.0372	0.0727
L2	0.0111	-0.0477	0.0932

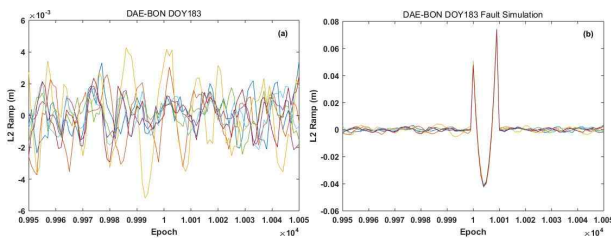


그림 2. 대전-보은 지역수신국 이중차분 CARST L2 ramp 결과: (a) 실 데이터 결과, (b) -1 사이클 고장 인가

Fig. 2. Results of the Daejeon-Boeun double difference CARST L2 ramp: (a) when the fault was not applied, (b) when the fault of -1 cycle was applied to the reference satellite.

고장 시뮬레이션 결과 인가된 고장의 크기가 클수록 이중차분 CARST 결과가 더 크게 나타났으며 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 예상과 동일하게 기준위성에 고장이 발생하면 모든 위성에 영향을 받았다. 그러나 위성 고도각에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다. 표 3에 L1에 대한 고장 인가 전후의 acceleration 값을 나타내었다.

인가된 고장에 따른 값의 크기는 acceleration, ramp, step과 주파수 별로 다르게 나타났으며 ramp의 경우 부호가 다르게 나타났다. 표 4에 1 사이클의 고장을 인가했을 경우의 차이 값을 나타내었다.

그림 2의 (a)는 오차를 인가하지 않은 L2 ramp 결과이며 (b)는 기준위성에 -1 사이클의 고장을 인가한 경우의 결과이다.

이중차분은 4개의 측정치가 조합되어 한 개의 값으로 표현된다. 따라서 어떠한 위성에 고장이 발생하였는지 확인할 필요가 있다. 이중차분 CARST는 기준위성에 고장이 발생하면 모

든 위성에서 고장이 발생한 것으로 판단한다. 그리고 이는 이전 결과 값을 참조하여 주 수신국의 기준위성에서 +크기의 고장이 발생하면 acceleration은 +, ramp는 -, step은 +로 결과 값이 점프하는 것으로 나타났다. 그리고 부 수신국의 경우 반대방향으로 나타났으며 기준위성이 아닌 위성에서 +크기의 고장이 발생한 경우에는 해당 위성의 주 수신국에서 acceleration은 -, ramp는 +, step은 -로 결과 값이 점프하는 것으로 나타났다. 이를 표로 정리하면 표 5와 같다.

반송파 위상 측정치의 사이클 슬립은 정수배로 발생하므로 [6] 표 3은 측정치의 사이클 슬립을 가정하여 인가된 고장이라 할 수 있다. 그러나 측정치의 고장은 반드시 사이클의 정수배로 발생하지 않는다. 이중차분 CARST 결과 값은 작게는 10⁻⁵단위로 크게는 10⁻²단위로 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 그림 3의 (a)는 0.03 사이클을 인가한 L1 step 결과이며 (b)는 표 2와 동일한 에폭에 0.1사이클부터 0.9사이클까지 0.1사이클씩 증가시킨 고장을 인가한 L2 acceleration 결과이다. 그림 3을 보면 0.1사이클 이하의 측정치 고장은 검출하기 어려울 것으로 판단된다.

표 5. 고장 크기에 따른 이중차분 CARST 고장 위성 분석

Table 5. Double difference CARST failure satellite analysis by fault size.

	Fault size	acceleration	ramp	step	비고
$\Phi_{A,i}^R$	+	+	-	+	The fault occurred in all satellites
	-	-	+	-	
$\Phi_{B,i}^R$	+	-	+	-	The fault occurred only in the <i>j</i> satellite
	-	+	-	+	
$\Phi_{A,i}^J$	+	-	+	-	The fault occurred only in the <i>j</i> satellite
	-	+	-	+	
$\Phi_{B,i}^J$	+	+	-	+	The fault occurred only in the <i>j</i> satellite
	-	-	+	-	

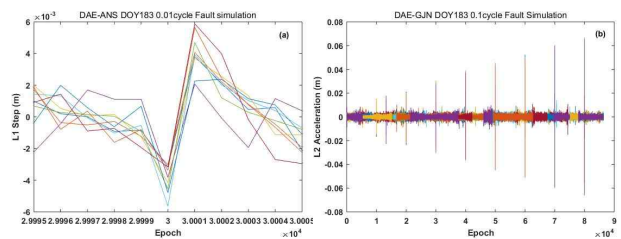


그림 3. 이중차분 CARST 고장 시뮬레이션 결과: (a) 0.03사이클의 고장을 인가한 경우, (b) 0.1사이클씩 증가시킨 고장을 인가한 경우

Fig. 3. Double difference fault simulation CARST result: (a) when the fault of 0.03 cycles was applied, (b) when the fault was increased by 0.1 cycles and applied.

III. 차분 기법을 적용한 CARST 비교

이 장에서는 실 데이터를 이용하여 기존의 CARST 결과와 차분기법을 적용한 CARST와 비교하였다. 이중차분 CARST의 경우 위성간 차분과 수신기간 차분의 장점이 결합되어 나타나므로 이 장에서는 생략하였다.

3-1 위성간 차분 CARST 비교

위성간 차분을 수행하면 수신기 시계 오차를 제거할 수 있으며 위성과 수신기 사이의 거리, 위성 시계 오차는 계산으로 제거가 가능하므로 CARST를 이용하여 전리층, 대류권, 미지정수에 대한 고장을 검사 할 수 있다.

위성간 차분 CARST와 기존 CARST의 차이점은 수신기 시계 오차 제거 방법이다. 기존 CARST는 수신기 시계 오차를 제거하기 위해 모든 위성의 평균값을 이용함으로써 전리층, 대류권, 미지정수 값에 영향을 준다. 이로 인해 한 개의 위성에서 고장이 발생했을 경우 모든 위성에 영향을 준다[7]. 그림 4의 (a)는 기존 CARST의 L2 ramp 결과로 모든 위성에서 3개의 에폭에 고장이 발생하였다. 이를 확인한 결과 PRN27은 수신기 시야에서 사라지는 위성으로 고도각이 약 9°이며, 지속적으로 신호의 끊김이 발생하고 있었다. CARST는 최소 10개 에폭의 측정치가 필요하므로 13개의 에폭에 대한 결과가 반영되어 나타났다. 그러나 (b)와 같이 위성간 차분된 CARST에서는 독립적인 오류가 발생하여 다른 위성에 영향을 주지 않은 것을 확인할 수 있다.

3-2 수신국간 차분 CARST 비교

수신국간 차분을 수행하면 위성 시계 오차를 제거할 수 있으나 수신기 시계 오차가 존재한다. 따라서 수신기 시계, 전리층, 대류권 오차, 미지정수가 고장 검사 대상이 된다.

수신국간 차분의 경우에도 고장난 위성의 독립적인 검출이 가능하나 수신기 시계 오차가 제거되지 않은 영향으로 값이 다소 크게 나타났으며 모든 위성이 매우 유사한 값으로 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

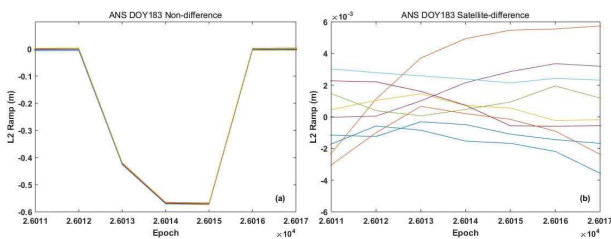


그림 4. 안성 지역수신국 L2 측정치 CARST ramp 결과: (a)기존 CARST, (b)위성간 차분 CARST
 Fig. 4. Anseong station L1 measurement ramp results: (a) the existing CARST, (b) the satellite single difference CARST.

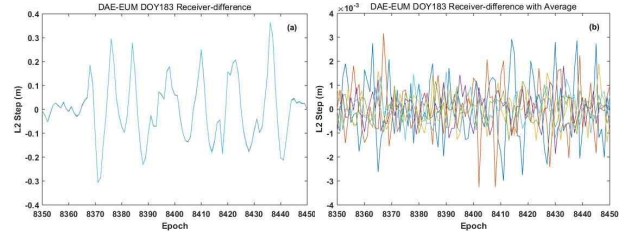


그림 5. 대전-음성 지역수신국 L2 측정치 CARST step 결과: (a)수신국간 차분, (b)수신국간 차분에 평균값을 적용한 경우
 Fig. 5. Daejeon-Eumseong station single difference CARST L2 step results: (a) when only differencing between stations was performed, (b) when the average was applied to differencing between stations.

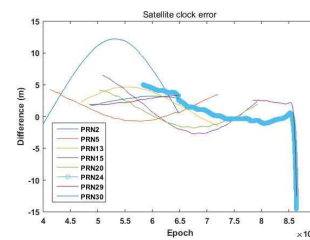


그림 6. 방송궤도력과 IGS 정밀궤도력 위성 시계 오차 비교
 Fig. 6. Comparison of the Satellite clock error between the broadcast ephemeris and the IGS final product.

그림 5의 (a)는 수신국간 차분된 CARST L2 step 결과이다. 그림을 보면 약 70초 동안 값이 크게 변화하는 것을 확인할 수 있다, 이러한 변화는 L1에서도 동일하게 나타났으며 대전, 음성의 기존 CARST와 위성간 차분, 그리고 이중차분 CARST에서는 나타나지 않았다. 그림 5의 (b)는 기존 CARST 방법과 동일하게 수신기 시계 오차 제거를 위해 수신국간 차분된 값에 평균값을 차분한 결과이다. (b)에서도 큰 변화가 없는 것으로 보아 (a)는 수신기 시계 오차 또는 이 연구에서 고려되지 않은 다른 오차의 영향으로 판단된다.

3-3 PRN24 궤도력 및 시계 오차 분석

[10]은 이 연구에서 동일한 날짜의 데이터를 분석한 결과 PRN24는 위성 고도각에 따른 CARST 결과가 다른 위성과 비교하여 상이함을 나타내었다. 이 연구에서도 위성간 차분을 수행할 경우 [10]과 유사한 결과가 도출되었으나 수신국간 차분, 이중차분을 적용한 결과는 그렇지 않음을 확인할 수 있었다. IGS (international GNSS service)의 정밀궤도력을 이용하여 방송궤도력을 이용한 계산 값과 비교한 결과 위성 위치에는 특이 사항이 발견되지 않았지만 위성 시계 오차는 그림 6과 같이 치형을 보이는 다른 위성과 비교하여 오차는 작지만 다른 변화를 나타내었다. 그러나 이러한 부분이 위성 시계 오차의 고장이

라 판단할 수 없으므로 위성 시계 오차에 대한 추가적인 분석이 필요한 것으로 판단된다. 그림 6에서 마지막 부분에 오차가 급격히 증가하는 이유는 9차 라그랑지 내삽법의 데이터 부족으로 인한 정밀케도력 내삽 정확도 저하로 판단된다.

IV. 결 론

이 연구에서는 기존 CARST와 차분기법을 적용한 CARST를 비교하였다. 차분 기법에 고장 시뮬레이션을 수행할 결과 각각의 위성에 대해 독립적인 고장검출이 가능하였으며 CARST 결과 값의 변화를 통해 고장을 인가한 위성 구분이 가능했고 고장 크기를 유추할 수 있었다. 그러나 0.1 사이클의 다소 작은 고장은 구분하기 어려웠으며 수신국간 차분의 경우에는 값의 변화가 다소 크게 발생하여 사이클 슬립의 최소 단위인 1사이클의 고장을 판별할 수 없었다.

실 데이터를 이용하여 위성간 차분 CARST를 수행한 결과 독립적인 위성의 고장검출이 가능하였으나 참고문헌에서 발견된 PRN24의 이상이 동일하게 나타났다. 그러나 수신국간 차분, 이중차분 CARST에서는 나타나지 않았다. IGS 정밀케도력을 이용하여 분석한 결과 위성 시계 오차의 변화가 다른 위성과 다소 차이가 있었다. 또한 수신국간 차분 CARST에서는 특정 구간에서 모든 위성의 값 변화가 다소 크게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 단일차분에서 나타난 현상은 이중차분에서는 나타나지 않았으나 위성 및 수신기 시계 오차 영향으로 인한 결과로 판단하기 위해서는 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

이 연구 결과는 GNSS 인프라 기반의 보정정보 생성을 위한 반송파 위상 측정치의 신뢰성 정보 생성 등의 핵심기술과 관련된 기초 연구로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업의 “자율협력주행을 위한 LDM 및 V2X 기반 도로시스템 개발 (17TLRP-B101406-03)” 과제 연구비 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

- [1] J. H. Jung, “How will the fourth industrial revolution change the city,” *World & Cities, Seoul City and The Seoul Institute*, Vol. 14, pp. 4-13, 2016.
- [2] H. K. An, S. W. Lee, W. Y. Han, and J. C. Son, “Technology trends of self-driving vehicles,” *Electronics and Telecommunications Trends*, Electronics and Telecommunications Research Institute, Vol. 28 No. 4, pp. 35-44, Aug, 2013.
- [3] S. Im, J. An, E. Son, S. Lee and M. Heo, “Autonomous driving and GNSS-based precise positioning technology,” *Current Industrial and Technological Trends*, Korea Aerospace Research Institute, Vol. 15 No. 1, pp. 43-54, 2017.
- [4] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “Development of cooperative automated driving highway systems,” Research report, Apr. 2015a.
- [5] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “Development of GNSS based transportation infrastructure technology,” Research report, Oct. 2015b.
- [6] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and E. Wasle, GNSS: Global Navigation Satellite System: GPS, GLONASS & More, *Springer-Verlag*, 2008.
- [7] X. Gang, Optimal on-airport monitoring of the integrity of GPS-based landing systems, Ph.D. dissertations, Stanford University, Stanford, CA, Mar, 2004.
- [8] M. Koenig, Optimizing the decision rule of a GPS integrity monitoring systems for improved availability, Ph.D. dissertations, Stanford University, Stanford, CA, Mar, 2010.
- [9] E. Son, K. T. Kim, S. H. Im, and M. B. Heo, “Threshold determination of the GPS carrier acceleration, ramp and step on the normal condition,” *Journal of Positioning, Navigation, and Timing*, Vol. 4, No. 4, pp. 195-203, 2015.
- [10] E. Son, Accuracy improvement of long-range GPS L1 relative positioning using regional ionospheric and tropospheric grid models, Master’s thesis, Inha University, Korea, Feb, 2013.
- [11] J. Kouba, A guide to using international GNSS service (IGS) products, Natural Resources Canada, May, 2009.



손 은 성 (Eunseong Son)

2013년 2월 : 지리정보공학과 공학석사
2012년 12월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 위성항법팀 연구원
※관심분야 : GPS 미지정수 결정, 측정치 고장 검출, 상대측위 위치결정 및 보정정보 생성 등



임 성 혁 (Sung-Hyuck Im)

2011년 8월 : 전자-정보통신공학과 공학박사
2011년 12월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 위성항법팀 선임연구원
※관심분야 : 항법신호 생성 및 처리, 실내측위, 항법신호 기만/교란, 항법센서 통합측위 등



김 군 택 (Koon-Tack Kim)

2013년 2월 : 지리정보공학과 공학석사
2013년 1월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 체계종합팀 연구원
※관심분야 : DGPS 위치결정, 항법센서 통합측위, SBAS 인프라 설계/구축 등