

# 항법위성시계 노후에 따른 이상 현상 감지 및 극복 기술현황

허윤정\*, 조정호\*\*, 허문범\*\*\*, 심은섭\*\*\*\*

## Technical Trends of GNSS Clock Anomaly Detection and Resolution

Youn-Jeong Heo\*, Jeongho Cho\*\*, Moon-Beom Heo\*\*\*, Eun-Sup Sim\*\*\*\*

### ABSTRACT

The current GPS constellation consists of 32 Block IIA/IIR/IIR-M satellites including 12 Block IIA satellites on service over 15 years. The satellites in poor space conditions may suffer from anomalies, especially influenced by aging atomic clocks which are of importance positioning and timing. Recently, the IGS Ultra-rapid predicted products have not shown acceptably high quality prediction performance because the Block IIA cesium clocks may be easily affected by various factors such as temperature and environment. The anomalies of aging clocks involve lower performance of positioning in the GPS applications. We, thus, describe satellite clock behaviors and anomalies induced by aging clocks and their detection technologies to avoid such anomalies.

### 초 록

현재 GPS 위성항법시스템은 모두 32기의 Block IIA, Block IIR, Block IIR-M 위성으로 운용되고 있으며 12기의 Block IIA 위성은 15년 이상 된 것들이다. 열악한 우주 환경 속에서 장기간 사용된 위성은 고장이 발생하기도 하고, 특히 정밀한 위치와 시각 제공을 위해 탑재된 원자시계의 노후로 인하여 이상 현상이 발생하기도 한다. 최근 IGS에서 제공하고 있는 Ultra-rapid 위성 시계 예측 정보의 정확도 성능이 떨어지고 있는데, Block IIA 위성 세슘 시계가 외부 환경이나 온도 변화에 쉽게 영향을 받아 안정된 원자시계의 성향을 보이지 않기 때문이다. 이런 노후 된 위성시계의 이상 현상은 GPS를 이용하는 응용분야에서 위치 성능의 저하를 수반한다. 따라서 노후 된 위성 시계의 성질과 이상 현상 등을 살펴보고 이를 감지 및 극복할 수 있는 기술 현황을 소개한다.

**Key Words :** GNSS, Satellite Clock, Clock Anomaly, Anomaly Detection

\* 허윤정, 한국항공우주연구원 우주응용-미래기술센터 위성항행항법팀  
yjheo@kari.re.kr

\*\* 조정호, 한국항공우주연구원 우주응용-미래기술센터 위성항행항법팀  
ycho@kari.re.kr

\*\*\* 허문범, 한국항공우주연구원 우주응용-미래기술센터 위성항행항법팀  
hmb@kari.re.kr

\*\*\*\* 심은섭, 한국항공우주연구원 우주응용-미래기술센터  
esim@kari.re.kr

## 1. 서론

위성항법시스템(GNSS: Global Navigation Satellite System)은 항공기, 차량, 선박 등의 항법 뿐만 아니라 측량, 지도제작, 건축, 이동 통신망 시각 동기 등의 산업분야에서도 활용되고 있으며, 최근에는 과학기술, 기상예보, 위치기반서비스 등의 새로운 분야로 확대되고 있다. 이와 같이 위성항법시스템에 대한 의존도는 항공, 육상, 해양 전 분야에 걸쳐 매우 빠른 속도로 증가하고 있고, 국내에서도 각 분야에서 위성항법시스템의 적용 및 성능 향상을 위한 연구가 활발하게 진행 중이다[1].

위성항법시스템 활용을 위한 연구 외에도 위성항법시스템의 예기치 못한 고장으로 인한 피해를 방지하거나 최소화하기 위한 연구도 활발히 진행되고 있다[2]. 위성 항법 시스템의 고장은 경제적인 손실 뿐 아니라 사회적으로도 큰 영향을 미칠 수 있으므로, 특히 해양, 항공과 같이 이용자의 생명과 직결되는 응용 분야에서는 엄격한 안전 조건이 요구 된다[3].

여러 국가에서 독자적인 위성항법시스템을 구축하려는 움직임이 활발하지만 아직까지는 미국의 위성항법시스템인 GPS (Global Positioning System) 사용이 주를 이루고 있고 다른 위성항법 시스템이 운영되더라도 GPS의 영향력은 계속 될 것이다. 현재 GPS 위성항법시스템은 모두 32기의 Block IIA, Block IIR, Block IIR-M 위성이 운용되고 있지만, 12기는 평균 15년 이상 된 Block IIA 위성들이다. 열악한 우주 환경 속에서 장기간 사용된 위성은 노후로 인하여 고장이 발생하기도 하고, 특히 정밀한 위치와 시각 정보 제공을 위하여 탑재된 원자시계의 노후로 인하여 위성 시계에 의한 이상 현상이 발생하기도 한다.

최근 IGS (International GNSS Service)에서 제공하고 있는 위성 시계 예측 정보는 정확도가 항법력 (navigation ephemeris)비해 우수한 성능을 갖지 못하고 있는데, 이는 Block IIA 위성 세습 시계가 외부 환경이나 온도 변화에 쉽게 영향을 받아 안정된 원자시계의 성향을 보이지 않기 때문이다[4]. IGS에서는 일부 성능이 떨어지는 위성들의 예측 정보를 제공하지 않기로 결정하였으나, 일부 사용자들의 요청으로 다시 정보를 제공하고는 있지만 이러한 정보를 사용할 때 주의할 것을 당부하고 있다[5].

GPS에 이상이 발생하였을 때 이를 빨리 감지하여 사용자에게 알려주는 것은 사용자의 안전 보장 및 사고 예방을 위해 매우 중요하다. GPS 주 관제국 (master control station)과 DGPS (Differential GPS) 기준국(reference station)에서는 GPS 이상 여부를 감시하고 이상 발생 시 사용자에게 방송을 한다. GPS OCS (Operational Control Segment)에서는 위성 이상 유무를 판단하여 이를 항법 신호에 포함된 Health bit에 반영하여 사용자에게 방송하고 있다.

방송 신호는 이상 현상 발생 시 감지하고 방송하는데 일정 시간이 소요되므로, 이를 만족하지 못하는 사용자의 경우 수신기 자체에서 RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring)을 이용하는 방법이 있다[6]. 그러나 GPS 측정치에는 위성 시계 오차 정보뿐 아니라, 궤도 오차, 이온층 지연 오차, 대류층 지연 오차, 수신기 시계 오차, 다중 경로 오차 등이 포함되어 있기 때문에 위성 이상으로 측정치의 오차가 증가하여도 실제 위성에 의한 현상인지 위성 외의 요소 즉 이온층이나 대류층 등에 의한 오차 성분들에 의한 이상 현상인지 판별하기 어려운 단점이 있다. 따라서 WAAS (Wide Area Augmentation System) 또는 LAAS (Local Area Augmentation System)와 같이 위성 이상 현상을 감지하고 극복할 수 있는 보강시스템들이 개발되어 수행되고 있다.

위성 시계의 노후로 인한 갑작스런 이상 현상이 발생하게 되면 GPS 위성항법시스템을 이용하는 사용자의 위치 정확도에 결정적인 영향을 주므로, 본 논문에서는 위성 시계에서 발생할 수 있는 이상 현상과 감지 및 극복을 위한 기술에 대해 살펴보고자 한다. 2장과 3장에서는 각각 위성 원자시계의 특징 및 이상 현상에 대해서 살펴보고 4장에서는 이를 감지하고 극복하기 위한 기술들에 대해 소개한 후 5장에서 결론을 맺도록 한다.

## 2. 항법위성시계 종류

항법위성은 성능이 향상된 위치 및 시각 정보를 제공하기 위해 루비듐, 세슘 원자시계를 장착하여 신호를 생성하고 있다. 본 장에서는 특히 GPS 항법 위성시계들의 특성과 위성군(block)에 따른 성능을 살펴보고 더욱 성능이 좋아진 차세대 항법 위성시계 개발 현황에 대해서 기술한다.

표 1. GPS 운용 현황 (2010년 4월 27일 현재)

PRN	SVN	Block	Launch date	Clock	Status	PRN	SVN	Block	Launch date	Clock	Status	
1	49	IIR-M	2009-03-24	Rb	commissioning phase	17	53	IIR-M	2005-09-26	Rb	정상	
2	61	IIR	2004-11-06	Rb		정상	18	54	IIR	2001-01-30	Rb	정상
3	33	IIA	1996-03-28	Cs		정상	19	59	IIR	2004-03-20	Rb	정상
4	34	IIA	1993-10-28	Rb		정상	20	51	IIR	2000-05-11	Rb	정상
5	50	IIR-M	2009-08-17	Rb		정상	21	45	IIR	2003-03-31	Rb	정상
6	36	IIA	1994-03-10	Rb		정상	22	47	IIR	2003-12-21	Rb	정상
7	48	IIR-M	2008-03-15	Rb		정상	23	60	IIR	2004-06-23	Rb	정상
8	38	IIA	1997-11-06	Cs		정상	24	24	IIA	1991-07-04	Cs	정상
9	39	IIA	1993-06-26	Cs		정상	25	25	IIA	1992-02-23	Rb	Maintenance
10	40	IIA	1996-07-16	Cs		정상	26	26	IIA	1992-07-07	Rb	정상
11	46	IIR	1999-10-07	Rb		정상	27	27	IIA	1992-09-09	Cs	정상
12	58	IIR-M	2006-11-17	Rb		정상	28	44	IIR	2000-07-16	Rb	정상
13	43	IIR	1997-07-23	Rb		정상	29	57	IIR-M	2007-12-20	Rb	정상
14	41	IIR	2000-11-10	Rb		정상	30	30	IIA	1996-09-12	Cs	정상
15	55	IIR-M	2007-10-17	Rb		정상	31	52	IIR-M	2006-09-25	Rb	정상
16	56	IIR	2003-01-29	Rb		정상	32	23	IIA	1990-11-26	Rb	정상

## 2.1 GPS 항법위성 시계 종류

GPS 위성은 정확한 위치와 시각 정보를 제공하기 위해 정밀 원자시계를 탑재하고 있고, 고장 시 대비를 위한 2~3대 여분의 세슘과 루비듐 원자시계를 보유하고 있다[7]. 주관제국에서는 각 위성들이 보유한 원자시계로부터 나온 정보를 모아 GPS 시간 척도(time scale)를 결정하게 되고, 항법메시지를 통해 송출된 GPS 시각은 국제적 정밀 시각 비교나 시각 동기를 필요로 하는 통신 분야에서 고정밀 주파수 및 시각 기준으로 사용되고 있다. 표 1과 같이 현재 GPS 위성항법시스템은 모두 32기의 Block IIA, Block IIR, Block IIR-M 위성으로 운용되고 있고, 신호 생성을 위해 각 위성들이 사용하고 있는 원자시계는 루비듐시계(Rb) 25대와 세슘시계(Cs) 7대이다. Block IIA 위성군은 1990년대 초반과 중반에 걸쳐 발사된 위성들로 평균 15년 이상 운용되고 있는 위성들로서, 노후로 인한 이상 현상이 생길 가능성이 높고 특히 세슘 위성 시계의 경우는 외부 환경 및 온도 변화에 쉽게 반응하여 일반적인 원자시계의 안정된 성향을 보이지 않고 있다.

표 2. GPS 위성 시계 종류

Block	Rb	Cs
II/IIA	two (Rockwell)	two (FTS, Kernco, FEI)
IIR	three (EG&G)	none
IIF	one (Perkin Elmer)	three (Datum-Beverly)

표 2는 각 위성군이 보유한 원자시계 개수와 개발 기관을 나타낸 것이다. Block II/IIA는 Rockwell에서 개발한 2대의 루비듐 시계와 3곳의 협력기관으로부터 개발된 2대의 세슘 시계를 탑재하고 있다. Block IIR 위성은 Block II/IIA에 비해 성능이 향상된 세슘 시계 개발이 이루어지지 않아 EG&G에서 개발한 3대의 루비듐 원자시계만을 장착하였다. Block IIF는 Perkin Elmer에서 개발한 1대의 루비듐 시계와 Datum-Beverly에서 개발한 3대의 세슘 시계를 탑재하여 발사될 예정이다.

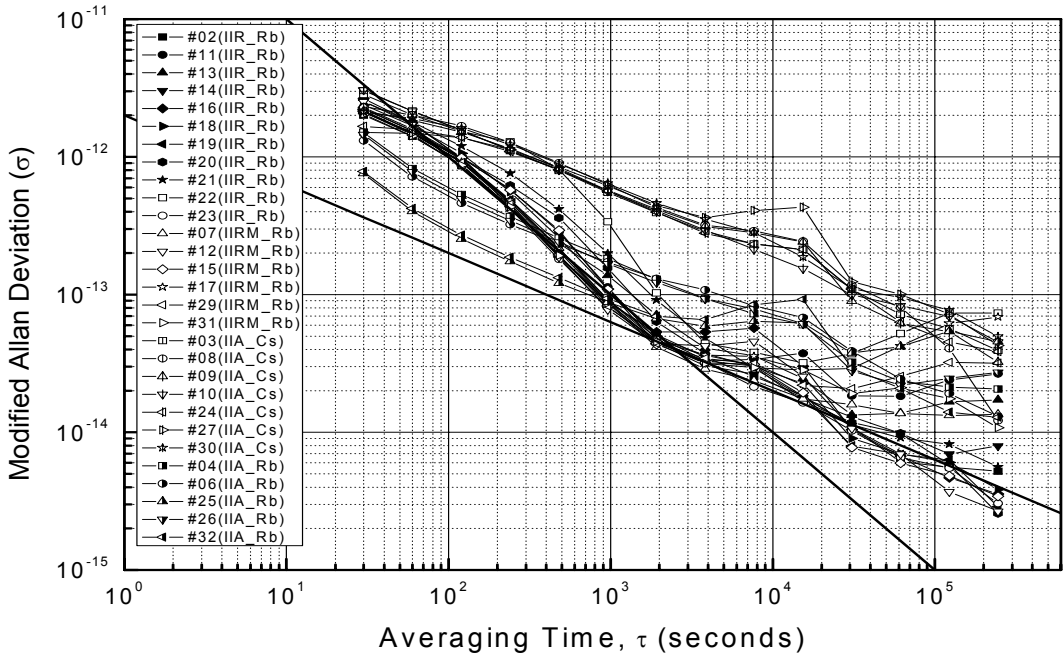


그림 1. GPS 항법위성 시계의 주파수 안정도

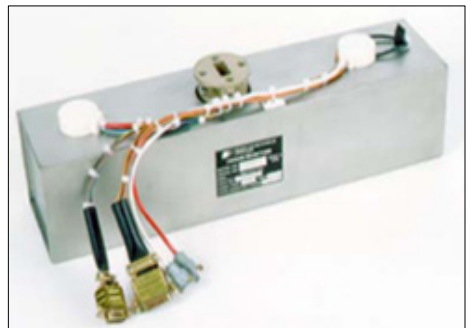
2.2 GPS 항법위성 시계 특성

GPS 항법 위성 시계의 성능을 평가하는 방법 중의 하나가 주파수 안정도를 살펴보는 것이다. 일반적으로 주파수 안정도란 주파수 발생기가 어떤 특정시간 동안에 같은 주파수 값을 나타내는 정도를 말하는 것으로, 측정시간의 길이에 따라 장기 안정도(long-term stability)와 단기 안정도(short-term stability)로 구분하여 위성시계의 특성을 살펴볼 수 있다. 그림 1은 Allan 편차[8]을 통해 각 위성별 주파수 안정도를 살펴 본 것이다. 기울기를 살펴봄으로써 위성 시계에 영향을 미치는 오차 성분도 분석할 수 있고, 경과 시간에 따른 위성 시계의 주파수 안정도도 확인할 수 있다. 단기 안정도(<100 s)는 Block IIA 루비듐 위성시계 성능이 좋은 반면, 장기 안정도(>100 s)는 Block IIR 위성시계들이 성능이 좋다. 가장 성능이 좋지 않은 위성군은 Block IIA 세슘 시계이다. 세슘과 루비듐 원자시계는 모두 시간이 지남에 따라 드리프트 현상이 발생하여 기준 시각 척도와 바이어스가 생성된다. 각 위성 시계들은 기준 시각인 GPS 시각에 대해 수 십~수 백  $\mu$ s 바이어스가 존재한다.

2.3 차세대 항법위성 시계

2.3.1 디지털 루비듐 원자시계

기존 개발된 루비듐 위성시계는 아날로그 방식이나, Perkin Elmer와 NRL (National Research Lab)에 의해 디지털 방식으로 개발되어 Block IIR 위성에서 사용되고 있고 또한 Block IIF 위성에 탑재될 예정이다. 이 시계는 경년계수(aging coefficient)가 작고 외부 환경 변화에 대한 영향을 적게 받아 경과 시간에 따른 주파수 안정도가 우수하다.



자료 : www.gigatest.net/datum

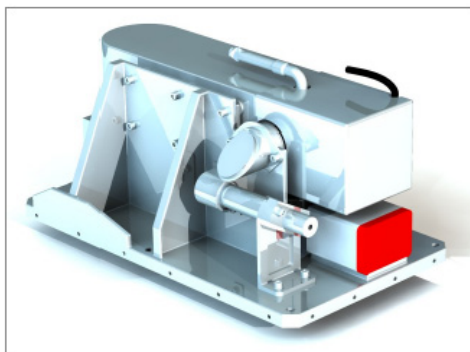
그림 2. 세슘 빔 튜브

### 2.3.2 광펄핑 세슘 원자시계

Datum-Beverly에 개발되고 있는 시계로 신호 감지와 원자 상태 준비를 위해 기존의 전자기적 방법 대신 광학적 방법을 적용한다. 이 개념은 NIST (National Institute of Standards and Technology)에서 NIST-7에 적용한 방법으로 세슘 오븐에서 방출되는 세슘원자를 레이저를 이용하여 효과적으로 제어함으로써 세슘 빔 튜브의 사용 시간을 늘릴 수 있고, 이로써 감지된 세슘 원자의 플럭스가 늘어나게 되어 시계의 단기 안정도가 향상되는 효과를 얻을 수 있다. 그림 2는 Datum에서 개발한 세슘 빔 튜브이다.

### 2.3.3 수은 이온 트랩 시계

NASA JPL (Jet Propulsion Laboratory)는 NASA Deep Space Network를 위해 개발된 수은 이온 트랩 시계를 소형 및 경량화하여 항법위성에 적합한 우주급 시계로 개발 중이다. 그림 3은 개발된 수은 이온 트랩 시계로 부피는 3리터 정도이다. 루비듐과 세슘 시계는 지속적인 마이크로파에 의해 원자가 발생하는 반면, 수은 이온 트랩 시계는 low duty cycle에 의하여 비연속적으로 신호를 생성한다. 이 때문에 세슘과 루비듐을 위한 것보다 성능이 우수한 로컬 오실레이터가 필요하다. JPL은 가장 유용한 BVA-cut 수정 발진자를 사용할 계획이고 이것은 매 3초마다 신호를 발생시킨다. 2008년 수은 이온 트랩 시계의 주파수 안정도는 하루 평균  $10^{-15}$  수준으로 개발되었으며 이를  $10^{-16}$  수준으로 성능향상을 수행한 후 GPS III에 탑재될 예정이다[9].



자료 : 참고문헌 [7]

그림 3. 위성용 수은 이온 트랩 시계

### 2.3.4 수소메이저

수소 메이저는 세슘 원자시계에 비해 장기 안정도의 성능은 떨어지나, 단기 안정도는 다른 모든 발진기보다 우수한 성능을 보이고 있다. 이와 같은 특성으로, 갈릴레오 위성항법시스템은 수소 메이저를 탑재하여 운용 중에 있고, 현재 여러 나라에서 위성용 수소 메이저를 개발 중에 있다.

갈릴레오의 주 시계로 선정된 비활성 수소 분자 증폭(PHM) 시계는 단기 안정도에서 뛰어난 성능을 보여주며, 지상에서의 업로드 없이 8시간 이상을 정확하게 작동해야 한다는 갈릴레오 요구조건을 만족하고 있다. PHM 시계의 주요 제원은 다음과 같다.

- 장기 안정성(1000초)  $\leq 1 \times 10^{-14}$
- 장기 안정성(1년)  $3 \times 10^{-12}/\text{year}$
- $-5^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위에서 민감도  $< \pm 1 \times 10^{-14}/^{\circ}\text{C}$
- 중량  $\leq 15 \text{ kg}$
- 부피  $\leq 25 \text{ liters}$
- 출력 주파수  $10.0028 \text{ MHz}$
- 전력 공급 범위  $23 \text{ V} \sim 33 \text{ V}$
- 소비 전력  $\leq 60 \text{ W}$

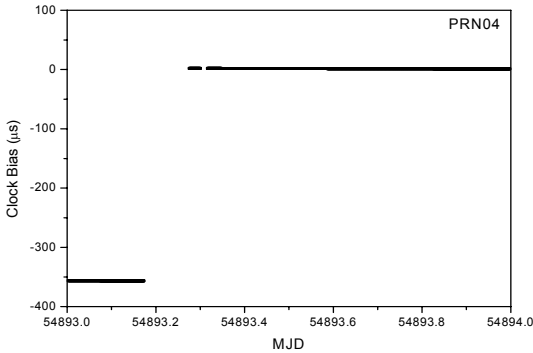
## 3. 위성 시계 이상 현상

위성 시계 오차는 빛의 속도에 비례하여 증가하고 이는 사용자의 항법 오차에 직접적으로 나타나기 때문에 위성 시계는 매우 정확해야 한다. 그러나 항법 위성이 발사되고 신호 생성을 하는 과정 속에서 또는 운영되는 과정 중에 위성 시계에 이상 현상이 발생한 사례들이 보고되고 있다. 본 장에서는 위성 시계의 이상 현상들과 보고된 사례들에 대해서 살펴본다.

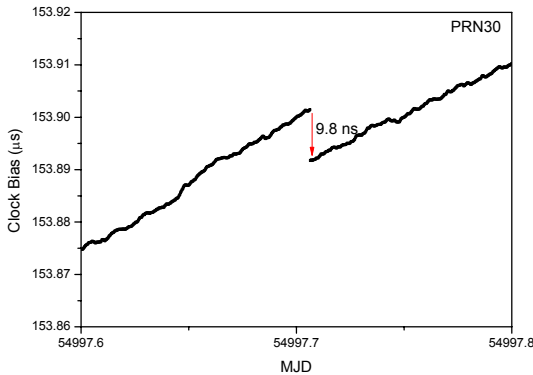
### 3.1 위성 시계 이상 현상

GPS 위성에 탑재된 원자시계는 매우 정확한 시계이지만 시간이 지남에 따라 오차를 가진다. 위성 원자시계는 시간이 지남에 따라 주파수 드리프트가 발생하여 GPS 시각에 대한 바이어스가 존재하게 된다. 따라서 주관제국에서는 매일 위성 시계의 위상, 주파수, 주파수 드리프트를 업로드하여 위성 시계 보정 정보를 항법 메시지를 통해 제공한다. 이를 통해 사용자는

측정치에 발생하는 위성 시계 오차를 보정하여 정확한 시각과 위치를 얻을 수 있다.



(a) PRN04 (2009. 3. 3.)



(b) PRN30 (2009. 6. 21.)

자료 : 참고문헌 [10]

#### 그림 4. 위성 시계 도약 현상

위성 원자시계는 드리프트 현상뿐만 아니라 갑작스런 도약 현상이 발생하기도 한다. 도약 현상은 그림 4 (a)과 같이 주관제국의 위성 시계 제어 명령으로 인해 수 백  $\mu\text{s}$  도약이 생성될 수 있고, (b)와 같이 수  $\text{ns}$ 의 도약이 발생하는 경우도 있다. 장비의 교체 및 수리 등으로 인한 도약의 경우는 사용자들에게 미리 예고가 되고 있어 문제가 되지 않으나, 장비의 고장이나 하드웨어의 문제로 인해 생기는 갑작스런 도약의 경우는 이러한 현상이 나타난 후에 보고가 되거나, 또는 종종 보고가 되지 않는 경우도 있다. 이러한 예기치 않은 도약 현상은 GPS 측정치에 영향이 미치게 되

고 정밀 위치를 필요로 하는 실시간 응용분야에서 이런 신호를 검증 없이 사용하게 되면 매우 치명적인 위치 오차를 수반하게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 USNO (U.S. Naval Observatory)에서는 위성 시계의 성능을 주기적으로 모니터링하고 GPS 위성 상태를 조사하여 보고하고 있으나, 항공 분야와 같이 실시간으로 정밀 위치를 필요로 하는 응용분야에서는 제때에 정보가 제공되지 못하므로, RAIM과 같이 자체적으로 위성 신호 이상 현상을 검출하고 위성 신호 사용 유무를 판별할 수 있는 시스템이 필요하다.

### 3.2 GPS 위성 시계 고장 사례

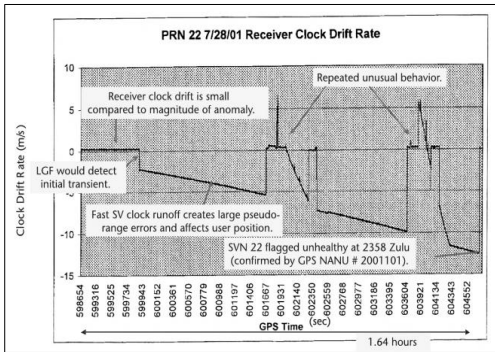
위성 시계의 대표적인 고장 사례로는 2001년 7월 28일 SVN 22번 위성의 시계에 고장이 발생한 경우이다. 의사거리 오차가 200 km를 초과하는 현상이 발생하였는데 위성이 남 태평양 상공을 지나고 있어 1시간 반 가량 OCS에 관측이 되지 않아 경고 없이 그대로 사용자에게 방송되었다. 그림 5는 위성 시계의 드리프트 비율을 나타낸 것으로 갑작스럽게 5~10 m/s 정도의 변화율이 바뀐 것을 볼 수 있다.

SVN 23번 위성 시계에 고장이 발생한 경우도 있다. 그림 6은 2004년 1월 1일에 23번 위성 시계에 고장이 발생하였을 때 의사거리 오차를 나타낸 것으로, 18시 30분경부터 증가하기 시작한 의사 거리 오차는 최대 약 700 km까지 증가했다. 고장의 원인은 위성의 루비듐 원자시계의 불량으로 L1 주파수에 최대 371 MHz 까지 오차가 발생되었다. 이날 주관제국과 DGPS 기준국에서는 3시간이 경과하도록 고장을 감지하지 못하였고 사용자들은 이 신호를 그대로 사용하였다.

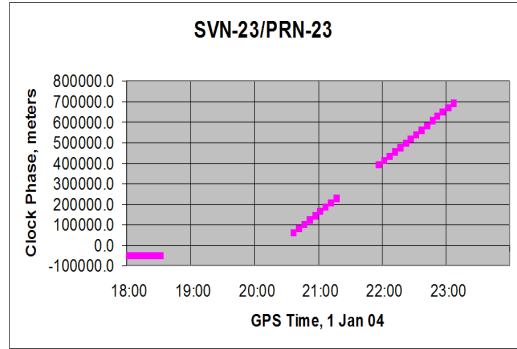
그림 7은 2003년 5월 26일 SVN 27번 위성 시계에 이상 현상이 발생한 것을 나타낸 것으로, 의사거리 오차에 문제가 있는 것을 볼 수 있다. 두 번의 업데이트를 통해 보정을 시도하였으나, 결국 20 m 가 넘어간 후에 unhealthy로 공지되었다.

SVN 35번 위성도 시계에 의해 이상 현상이 발생한 경우로, 그림 8은 2003년 6월 11일 SVN 35번 위성의 의사거리 오차를 나타낸 것이다. 이상 현상이 생긴 후 1시간 이상이 지나서야 unhealthy가 공지된 것을 볼 수 있다.

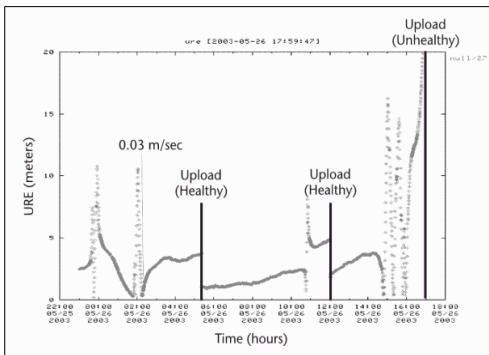




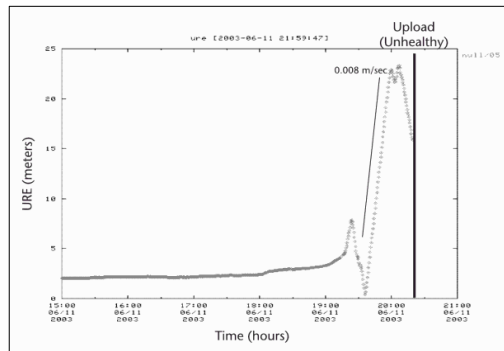
자료 : 참고문헌 [12]  
그림 5. SVN 22번 위성시계 이상 현상(2001. 7. 28)



자료 : 참고문헌 [11]  
그림 6. SVN 23번 위성시계 이상 현상(2004. 1. 1)



자료 : 참고문헌 [12]  
그림 7. SVN 27번 위성시계 이상 현상(2003. 3. 26)



자료 : 참고문헌 [12]  
그림 8. SVN 35번 위성시계 이상 현상(2003. 6. 11)

## 4. 위성시계 이상 현상 감지 기술

사용자가 위성의 고장 여부를 판단하는 방법에는 크게 세 가지가 있다. 주관제국에서 방송하는 항법 메시지를 통한 방법, 수신기 자체에서 RAIM 을 이용하는 방법, 각 지역에 설치된 DGPS 기준국에서 검사하여 방송하는 정보를 이용하는 방법이 있다. 본 장에서는 각 위성의 고장 발생 여부를 판별하는 방법에 대해서 살펴본다.

### 4.1 항법메시지 이용

GPS 항법 메시지에 포함되어 있는 위성의 상태 정보를 이용하여 이상 여부를 판별하는 방법과 위성시

계 오차 보정 정보와 위성 시계 추정 정보의 비교를 통해 판별하는 방법이 있다.

항법 메시지에 실린 위성 상태 정보는 지상의 OCS 가 감시한 정보를 GPS 항법 메시지의 Health bit에 반영된 것으로, OCS의 정보가 위성에 갱신하는 주기가 적어도 10분에서 20분 정도 소요되므로 정확한 상태를 빨리 파악하기 어려운 단점을 가지고 있다.

GPS 위성 시계에 의한 사용자의 항법 오차는 항법 메시지에 포함되어 있는 위성 시계 오차 보정 정보와 실제 위성 시계 오차 정보와의 상이함에서 발생하므로, 항법 메시지에 포함되어 있는 위성 시계 오차 정보가 정확하다면 위성 시계 오차 보정이 정확하게 이루어져 위성 시계 오차가 크게 발생하더라도 고장이라고 판단하지 못할 수 있다.

## 4.2 RAIM 이용

GPS 이상을 검사하는 방법으로 수신기 내부에서 여러 채널의 신호를 이용하여 이상 여부를 판별하는 RAIM 방법이 있다. RAIM 기법은 별도의 장비 없이 수신기 자체에서 검사를 수행할 수 있는 장점을 가지지만 최소 5개 이상의 가시 위성을 확보해야만 검사가 가능하고 여러 개의 위성에서 이상이 발생한 경우에는 잘못된 판단을 수행할 가능성이 높아진다.

## 4.3 DGPS 이용

DGPS와 같은 위성항법 보강시스템의 기준국에서 이상을 검사하고 이상 발생 시 이를 보정치와 함께 방송하는 기법이 있다. 이 기법에서는 기준국의 위치를 먼저 알 수 있으므로 다른 기법들에 비해 이상 감지가 감지 성능이 나은 것으로 알려져 있어 기준국에서의 무결성 검사 기법들이 많이 연구되고 있고 항공용 DGPS와 같이 무결성이 매우 중요하게 작용하는 분야에서는 이미 그 절차와 방법들이 정의되어 있다. 미국의 LAAS는 대표적인 항공용 보강 시스템의 하나로 엄격한 무결성 검사 방법을 채택하고 있다. LAAS의 무결성 검사 기법은 SQM (Signal Quality Monitoring), DQM (Data Quality Monitoring), MQM (Measurement Quality Monitoring)으로 구분된다. SQM, MQM, DQM은 위성에 발생하는 고장, 전송 과정 중 발생하는 고장, 제어국에서 발생하는 고장, 사용자측에서 발생하는 고장 등에 대비하여 설계된 검사 기법으로 다양한 GPS 고장에 대비하고 있다. 전송 신호의 왜곡, 신호 전력 이상 등의 고장은 EWF (Evil Wave Form) 검사, 반송파 전력대 잡음비 (C/N0) 검사로 감지하고 이온 폭풍 등에 의한 급격한 이온층 지연 오차 변화는 Inno. 검사로, Acc, Ramp and Step 검사는 의사거리 측정치의 변화를 감지한다. 위성에서 방송되는 궤도 정보의 이상은 DQM을 통하여 감지하고 사용자 수신기에서 발생하는 오차는 B-value, Sigma 검사 등을 통해 감지하지만, 이 검사 기법들은 위성 시계 고장 감지에는 취약하다.

위성 시계 고장에 의하여 의사거리 측정치에 이상이 발생한 경우 Acc, Ramp and Step 검사에 의해 위성 시계 이상 감지가 가능하지만 다른 검사기법들에

서는 코드 위상 측정치와 반송파 위상 측정치의 차분을 통하여 구한 위성 시계 오차가 제거된 시험 통계치를 사용하므로 위성 시계 고장 검출이 어렵다. Acc, Ramp and Step 검사에 위성 시계 고장이 검출되지만 위성 시계 이상에 의한 고장이 계단 함수 형태 또는 일정 기울기를 가지는 형태가 오차를 발생한 경우에만 검출이 되기 때문에 검출 속도가 늦어지는 단점이 있다.

## 5. 결론

위성항법시스템은 정확한 위치와 시각 정보 제공을 위해 원자시계를 탑재하여 운용하고 있지만, 열악한 우주 환경과 노후로 인한 원자시계의 이상 현상이 사용자의 위치 결정에 치명적인 영향을 미친다. 위성 시계에서 나타날 수 있는 이상 현상 및 사례들을 살펴 보았고 위성 시계 이상 현상 감지를 위한 방법에 대해 소개하였다. 항공기 이착륙과 같이 실시간으로 정밀 위치 결정을 필요로 하는 응용분야에서는 위성 시계의 갑작스런 이상 현상이 큰 오차의 원인이 되므로, RAIM이나 WAAS 또는 LAAS와 같이 실시간으로 위성 이상 신호를 감지하고 이를 보강해 줄 수 있는 기술들이 개발되어 수행되고 있으나, 위성 이상 신호의 검출 능력을 높이고, 빠른 시간 내에 대처할 수 있는 기술들이 계속적으로 요구되고 있다.

## 참고문헌

1. 남기욱, 허문범, 심주영, "위성항법시스템 및 보강시스템의 구축 현황", 항공우주산업기술동향지, 제5권 제1호, 2007, pp. 65~74
2. 조득재, 박상현, 최진규, 서상현, "DGPS 기준국 무결성 감시 체계 고도화 방안 연구", 한국항해항만학회지, 제31권, 제6호, 2007, pp. 509~514
3. ICAO, ICAO Annex 10, "International Standards and Recommended Practices", Aeronautical Telecommunications Vol. I, Radio Navigation Aids, 2001
4. K. L. Senior, J. R. Ray, and R. L. Beard, "Characterization of periodic variation in the GPS satellite clocks", GPS Solutions, V. 12, N.



- 3, 2008, pp. 211-225
5. J. R. Ray and J. Griffiths, "IGU clock prediction exclusion policy modified", IGSMAIL 5969, 2009
  6. B. W. Parkinson, J. J. Spilker, and P. Axelrad, "The global positioning system: Theory and application", AIAA, Washington, 1996
  7. 허윤정, 허문범, 심은섭, "우주용 원자 주파수 표준기 기술 동향", 항공우주산업기술동향지, 제7권 제1호, 2009, pp. 119~127
  8. Allan D, "Time and frequency (time-domain) characterization, estimation, and prediction of precision clocks and oscillators", IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr., V. 34, 1987, pp. 647-654
  9. J. D. Prestage, M. Tu, S. K. Chung, and P. MacNeal, "Compact microwave mercury ion clock for space applications", Proc. of Frequency Control Symposium, 2008, pp. 651-654
  10. 허윤정, 조정호, 허문범, "Teager 에너지를 이용한 GPS 위성 시계 도약 검출", 한국항공우주학회지, 제38권 제1호, 2010, pp. 58-63
  11. K. Kovach, "SVN-23/PRN-23 integrity failure of 01 January 2004", CGSIC 43rd Meeting Summary Report, 2004
  12. S. Gleason and D. Gebre-Egziabher, "GNSS application and methods", Artech House, 2009