

WAD-RNSS 무결성 경고 개념 연구

김윤중, 김인종, 김동욱[†]

Study on the WAD-RNSS Integrity Alert Concept

Yunjung Kim^{id}, In Jong Kim^{id}, Donguk Kim^{† id}

Agency for Defense Development, Daejeon 34186, Korea

ABSTRACT

The Wide-Area Differential Regional Navigation Satellite System (WAD-RNSS) is a satellite navigation system that applies a wide-area differential navigation algorithm, previously utilized in Global Navigation Satellite Systems (GNSS), to Regional Navigation Satellite Systems (RNSS). WAD-RNSS broadcasts both navigation signals and correction signals directly from regional navigation satellites and provides integrity alerts to users in the event of integrity threats by utilizing these signals. One of the most critical metrics for evaluating navigation performance, integrity refers to the system's capability to preemptively warn users of system malfunctions or significant errors in position estimation. By transmitting navigation messages, correction messages, and Non-Standard Code (NSC) signals, WAD-RNSS ensures robust integrity through the dissemination of integrity alerts. This paper analyzes the limitations of integrity alert mechanisms in conventional satellite navigation systems and introduces the integrity alert methods and operational concepts of WAD-RNSS, which combines the characteristics of Global Positioning System (GPS) and Satellite-Based Augmentation Systems (SBAS). The proposed system highlights the potential to reduce the system response and recovery time following integrity alerts compared to existing satellite navigation systems.

Keywords: WAD-RNSS, integrity alert, NSC, navigation messages, correction messages

주요어: 지역위성항법 기반 광역보정항법체계, 무결성 경고, 비표준코드, 항법메시지, 보정메시지

1. 서론

지역 위성항법 기반 광역 보정항법체계 (Wide-Area Differential Regional Navigation Satellite System, WAD-RNSS)는 기존의 전지구 위성항법시스템 (Global Navigation Satellite System, GNSS)에만 적용되던 광역 보정항법 기술을 지역 위성항법시스템 (Regional Navigation Satellite System, RNSS)에 적용한 위성항법시스템이다. Satellite-Based Augmentation System (SBAS)가 정지궤도 위성을 이용하여 보정정보를 중계 방송했다면, WAD-RNSS는 지역 항법위성 자체에서 항법신호와 보정신호를 함께 방송하는 시스템이다 (Kim et al. 2021). WAD-RNSS에 무결성 위협상황이 발생하게 되면 항법신호와 보정신호를 활용하여 사용자에게 무결성 경고를 제공하게 된다. 무결성이란 항법

성능을 평가하는 지표 중 하나로, 시스템이 고장으로 사용 불가하거나, 사용자의 위치오차에 큰 결함이 예상되는 경우 사용자에게 적시에 경고해주는 능력을 말한다.

이 논문에서는 기존 위성항법시스템에서의 무결성 경고수단을 조사하고, 무결성 위협상황에서 고장을 인지하기까지 시간이 지연되는 사례를 분석했다. 또한 WAD-RNSS의 무결성 경고 개념과 수단을 소개하고, 기존 위성항법시스템 대비 무결성 위협 인지 및 시스템 대응시간이 단축될 수 있는 가능성을 제시하였다.

2. 기존 위성항법시스템의 무결성 경고

2.1 기존 무결성 경고수단 분석

Received Feb 05, 2025 Revised Feb 25, 2025 Accepted Mar 05, 2025

[†]Corresponding Author E-mail: donguk319@add.re.kr



Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

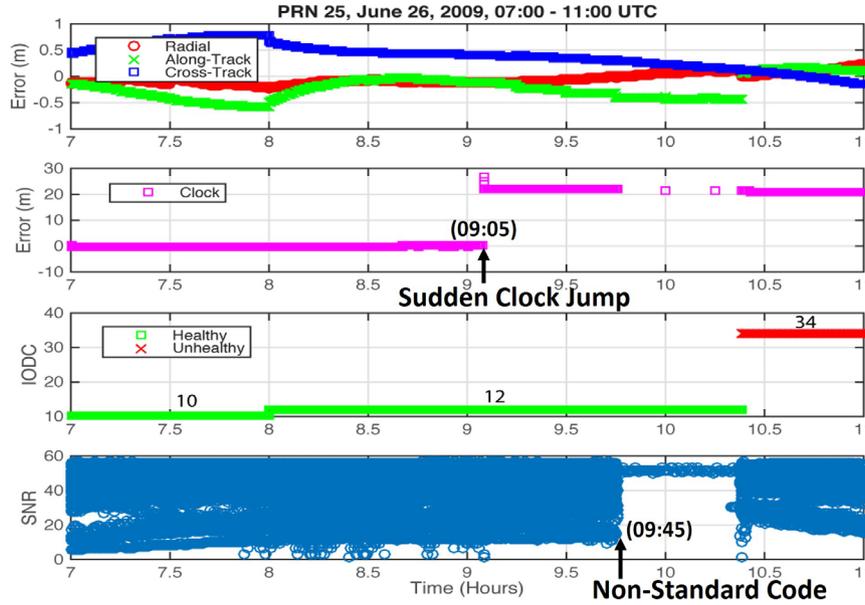


Fig. 1. Fault event for PRN 25 on June 26, 2009 (Walter & Blanch 2015).

Global Positioning System (GPS)의 공식문서인 Precise Positioning Service Performance Standard에 따르면, 위성으로부터 수신한 항법메시지로부터 발생하는 의사거리 측정치 오차를 통해 위성항법시스템 성능을 정량적으로 판단할 수 있다 (U.S. Department of Defense 2007). 이를 사용자 거리 오차 (User Range Error, URE)라고 하며, 위성과 지상체에서 발생하는 모든 오차를 일컫는다. URE가 정해진 임계값 (Not To Exceed Tolerance, NTE)을 초과하게 되면 무결성 위협이라고 판단할 수 있으며, 무결성 보장을 위해 시스템은 수신기에 정해진 시간 (Time To Alert, TTA) 내에 경고해야 한다. 여기서 TTA는 URE가 NTE를 초과한 시점부터 수신기로 경보를 전달하기까지의 최대 허용가능 시간을 뜻하며, GPS는 TTA가 8초 이내로 설계되어 있다. 만약 8초 이내 경보가 도착하지 못하여 수신기가 인지하지 못한 경우, Major Service Failure 또는 Misleading Signal-In-Space Information 이라고 하며, 1×10^{-5} 이하의 무결성 위협 확률을 보장할 수 있도록 설계되어 있다.

GPS는 Block이라는 단위로 세대가 구분되며, 각 Block에 따라 목표하는 무결성 성능의 차이로 인한 Signal-In-Space (SIS) 무결성 성능 보장 방법에 차이가 있다. GPS Block I/II에서는 위성체 설계과정에서 정량적 무결성 성능목표를 고려하여 설계되진 않았으나, 항법신호 수준에서 무결성을 감시하기 위해 감시기법들이 적용되었다. 이후 GPS Block III에서는 더 높은 무결성을 보장하기 위해 시스템의 안전성 요구조건을 고려한 설계 및 개발과정이 수행되었다 (Shaw & Katronick 2013). GPS는 위성체 (space segment)와 지상체 (control segment)에서 무결성 모니터를 통해 지속적으로 무결성을 감시하며, 무결성 위협이 발생할 경우 Non-Standard Code (NSC), 항법메시지의 Unhealthy Flag, 그리고 PRN 37로 변경하여 해당 위성의 항법메시지를 더 이상 사용하지 못하도록 하는 Satellite Zap 등을 통해 수신기에 경고를 발송한다 (Woo et al. 2024).

2.2 기존 무결성 경고 지연 사례 분석

다양한 무결성 모니터를 통해 고장을 감시하고 무결성 경고를 하더라도 TTA 이내 무결성 경고가 이루어지지 않아 무결성 위협 상황이 발생할 수 있다. 이 논문에서는 2008년부터 2014년까지 GPS 위성의 고장을 분석한 Walter & Blanch (2015)의 사례를 참고하였다.

Fig. 1은 2009년 6월 26일 PRN 25 GPS 위성에서 발생한 위성시계 고장상황에 대한 무결성 경고 사례를 보여준다 (Walter & Blanch 2015). 논문에 따르면 09:05에 약 20 m의 시계 오차가 발생했지만 40분이 지난 09:45에 NSC 신호를 통해 사용자에게 무결성 경고가 발송되었다고 언급하고 있다.

Fig. 2는 2010년 2월 22일 PRN 30 GPS 위성에서 발생한 위성시계 고장상황에 대한 무결성 경고 사례를 보여준다 (Walter & Blanch 2015). 논문에 따르면 20:30경부터 시계 오차가 증가하기 시작하여 20:45에 NTE를 초과하였고, 이후 7분이 지난 20:52에 NSC 신호를 통해 사용자에게 무결성 경고가 발송되었다고 언급하고 있다.

두 사례의 내용으로는 고장이 발생했을 때부터 사용자에게 무결성 경고가 이루어지기까지의 시간 지연에 대한 정확한 이유는 파악하기 어려우나, 무결성 경고 절차를 고려했을 때 다음의 3가지를 주요 원인으로 추정할 수 있다. 첫번째는 위성체의 무결성 위협 판단 논리에 오류가 있었거나 무결성 위협이 인지되었더라도 어떤 이유이든 TTA인 8초 이내 NSC를 발생하지 못했기 때문이다. 그렇다면 지상체에서 판단하여 위성에서 NSC 방송이 신속하게 이루어지도록 상황을 전파해야 하지만 그렇게 진행되지 않았다. 따라서 두번째는 지상체의 안테나국과 위성체 간 NSC 방송에 대한 신속한 대응이 이루어지지 않았기 때문으로 추정할 수 있다. 기존 위성항법시스템의 경우 위성 수에 비해 안테나국의 수가 적기 때문에 (Lee et al. 2016) 지상체에서 고장을 인지하

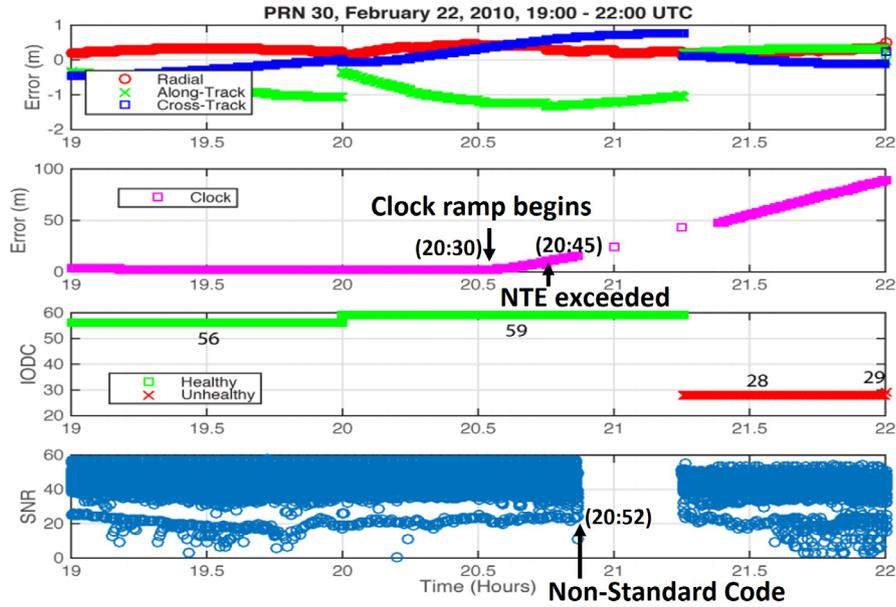


Fig. 2. Fault event for PRN 30 on February 22, 2010 (Walter & Blanch 2015).

라도 무결성 위협을 사용자에게 방송하는 시간이 지연될 가능성이 있다. 마지막으로 GPS 특성 상 보정정보 전파가 되지 않기 때문에 항법정보 또는 NSC 외 추가 대응수단이 없기 때문이다. 결국 GPS 위성에서 고장 발생 후 무결성 위협 상황이 지속되었음에도 불구하고 사용자에게 신속한 무결성 경고가 이루어 지지 않았다. 이는 사용자가 무결성 위협에 노출되어 중대한 위험이 초래될 수도 있다는 것을 의미한다. 적시에 사용자에게 무결성 경고를 방송하여 고장에 신속하게 대응하기 위해서는 상기 원인을 해소할 수 있는 시스템 설계가 필요하다. 첫번째 원인 해소를 위해서는 무결성 위협상황이 발생하였을 때 위성체에서 자체 판단을 통해 사용자에게 신속한 NSC 방송이 이루어질 수 있도록 설계되어야 하며, 두번째 원인 해소를 위해서는 GPS 위성 수에 비해 안테나국 수가 적다는 점을 개선함으로써 위성국과 안테나국의 1:1 대응을 통해 지상체에서 신속하게 대응할 수 있는 시스템 구축이 필요하다. 세번째 원인 해소를 위해서는 항법위성에서 항법정보와 보정정보를 모두 생성할 수 있는 시스템이 구축된다면 추가 대응을 통해 사용자에게 신속한 무결성 경고를 기대할 수 있을 것이다.

3. WAD-RNSS 무결성 경고

3.1 WAD-RNSS 시스템 아키텍처

WAD-RNSS는 항법기능과 보정기능을 모두 보유한 독자적인 시스템을 가진다. 기존 위성항법시스템과 달리 자체적인 보정정보를 생성하는데, 지상체에서는 이를 보정메시지를 통해 위성체에 전달한다. 1초 주기로 보정메시지를 업로드하는데, 이 보정메시지에 무결성 정보를 포함함으로써 사용자에게 무결성 위협상황 즉시 전파가 가능하다. 또한 항법위성과 안테나국 수가 1:1 대

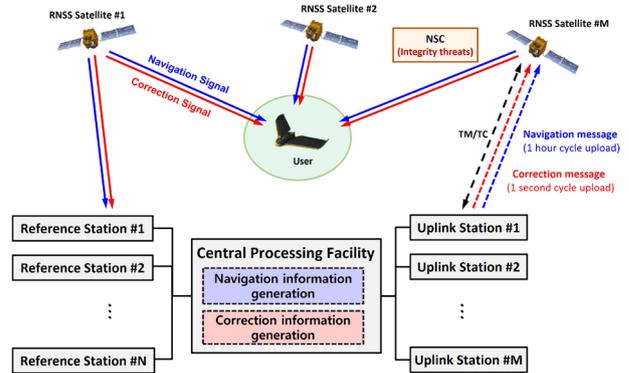


Fig. 3. WAD-RNSS integrity alert architecture.

응이 가능하여 지상 명령에 따라 NSC 방송 및 신속한 고장 대응이 가능하도록 시스템을 설계하고 있다.

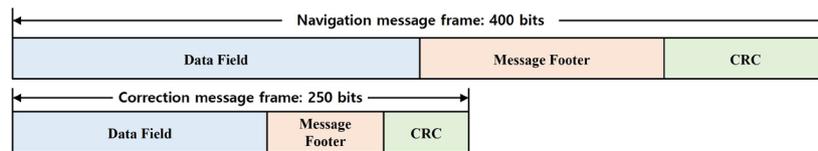
Fig. 3은 WAD-RNSS의 무결성 경고와 관련된 아키텍처를 도시화한 그림이다. 중앙처리국 (central processing facility)에서 항법정보와 보정정보를 생성하고, 안테나국 (uplink station)을 통해 항법메시지와 보정메시지에 정보를 실어 위성체에 전달한다. 보정메시지는 1초 주기로, 항법메시지는 1시간 주기로 업로드되며, 항법위성은 항법신호와 보정신호를 통해 항법정보와 보정정보를 방송하게 되고, 사용자 및 기준국은 방송되는 항법/보정 정보를 수신하게 된다. 만약 지상체 또는 위성체에서 무결성 위협 상황이 식별되면, 무결성 경고 아키텍처 상에서 신속하게 사용자에게 무결성 경고가 전달되도록 할 수 있다.

3.2 WAD-RNSS 무결성 경고분류 및 수단

WAD-RNSS에서 무결성을 경고하는 수단으로는 항법메시

Table 1. WAD-RNSS integrity alert classification and methods.

Integrity alert classification	Contents	TTA	Integrity alert methods
Pre-planned warnings	Warnings for planned interruptions, such as satellite maintenance activities	-	Navigation messages (Data field)
Close to real-time warnings	Close to real-time warnings for integrity risks identified by ground systems, such as unplanned satellite outages	< 5 min	NSC, Navigation messages (Message footer)
Effectively real-time warnings	Immediate warnings for potential integrity risks	< 10 sec	NSC, Correction messages (Message footer)



- Navigation message bit rate: 25 bps / 1 hour cycle
- Correction message bit rate: 250 bps / 1 second cycle

Fig. 4. Structure of navigation message and correction message.

지, 보정메시지, 그리고 NSC가 있다. 무결성 경고는 시급성에 따라 3가지로 분류할 수 있다. 첫번째는 위성 유지보수 활동 등 계획된 중단에 대해 사전 경고가 필요한 pre-planned warnings 상황이며, 항법메시지의 data field를 통해 무결성을 사전 경고할 수 있다. 두번째는 위성의 비계획 중단 등 지상체에서 인지한 무결성 위협에 대한 준수시간 경고가 필요한 close to real-time warnings 상황이며, 수 분 이내 사용자에게 경고를 전파해야 한다. WAD-RNSS에서는 TTA를 잠정 5분으로 설계하고 있다. 이때 NSC나 항법메시지의 message footer를 통해 무결성을 경고한다. 세번째는 잠재적 무결성 위협에 대한 즉각적인 경고가 필요한 effectively real-time warnings 상황이며, 수 초 이내 사용자에게 경고를 전파해야 한다. WAD-RNSS에서는 TTA를 SBAS APV-I 급 수준인 10초로 (Federal Aviation Administration 2008) 잠정 설계하고 있다. 이때는 NSC나 보정메시지의 message footer를 통해 무결성을 경고한다. 무결성 경고를 인지한 사용자는 해당 위성에 대한 이상신호를 원천적으로 배제한다. 특히 보정메시지는 지상에서 매초 단위로 시스템 이상 여부를 감시하고 보정정보를 생성할 수 있는 무결성 경고 수단이기 때문에 기존 위성항법 시스템 대비 강건한 무결성을 보장할 수 있다 (Kim et al. 2024). 이를 정리하면 Table 1과 같다.

Fig. 4는 항법메시지와 보정메시지의 data field 및 message footer 위치와 프레임 및 전송률을 나타내는 메시지 구조를 도식화한 그림이다. WAD-RNSS의 항법위성에서 송출하는 항법신호는 25 bps의 저속으로 1시간 주기 방송궤도를 포함한 항법메시지를 전송하고, 보정신호는 250 bps의 고속으로 매초 단위 보정정보가 포함된 보정메시지를 전송한다. 사용자는 고속으로 매초 전송되는 보정메시지를 활용하여 항법메시지의 방송궤도력 및 전파환경에서 발생하는 오차들을 감소시킬 수 있기 때문에 보정메시지는 즉각적인 무결성 경고가 필요한 상황에서 사용자에게 실시간으로 무결성 경고가 가능하게 한다. 또한 모든 위성에서 항법신호와 보정신호를 송출하기 때문에 기존 정지궤도 위성 중계방식인 SBAS와 달리 위성별 보정메시지 스케줄링이 가능하다. 사용자는 다수 위성에서 오는 보정신호를 동시 활용할 수 있

기 때문에 기존 위성항법시스템과 비교했을 때 더 빠르게 보정정보를 활용할 수 있다. 기존 위성항법시스템의 경우 위성 수에 비해 안테나국 수가 적기 때문에 중앙처리국에서 고장을 인지하더라도 무결성 위협을 사용자에게 방송하는 시간이 지연될 가능성이 있다. 하지만 WAD-RNSS의 경우 안테나국과 위성이 1:1 대응이 가능하고, 매초 보정정보를 송수신하는 시스템이기 때문에 무결성 위협상황에 대해 즉각적으로 사용자에게 방송할 수 있어 신속한 대응이 가능하다는 장점이 있다.

3.3 WAD-RNSS 무결성 경고 운용 개념

이번 절에서는 3.2절에서 설명한 3가지 무결성 경고 수단인 NSC, 항법메시지, 그리고 보정메시지에 대하여 운용 개념을 세부적으로 설명한다.

먼저 NSC는 강건한 무결성 경고수단으로 사용자가 이상신호를 추적할 수 없도록 생성된 incorrect code를 말한다 (Kovach 2021). 위성 자체에서 고장 감지 경고를 신속하게 제공할 수 있는 수단이며, 신호상태가 나쁘고 항법데이터가 신뢰할 수 없을 때에는 명확하게 사용자가 이상신호를 추적할 수 없도록 생성된다 (Kovach 2021).

WAD-RNSS에서는 NSC를 사용자가 이상신호를 원천적으로 배제하도록 즉각 또는 준수시간 무결성을 경고하는 수단으로 활용한다.

Fig. 5는 NSC의 운용개념을 나타낸 그림이다. 즉각적인 무결성 경고 상황에서는 위성체에서 자체판단을 통해 사용자에게 무결성 경고를 전달하며, 준수시간 무결성 경고 상황에서는 지상체 중앙처리국에서 무결성 위협상황을 판단하여 안테나국을 통해 Contingency Tele-Command (TC)를 이용해 NSC 방송명령을 전달한다. Contingency TC는 수시로 항법위성에 전달이 가능하도록 설계된 원격명령을 뜻하고, 이를 활용함으로써 신속하게 항법위성을 통해 NSC가 방송되어 사용자에게 무결성 경고가 전달될 수 있다 (Kim et al. 2024).

두번째로 항법메시지는 위성의 상태 플래그 정보를 포함하여

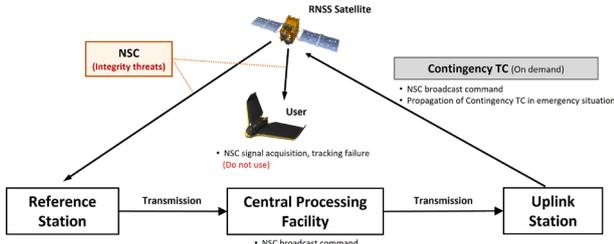


Fig. 5. NSC operational concept.



Fig. 6. Navigation message (Signal Healthy Flag) operational concept.

사용자에게 무결성 경고를 전파하는 수단이다. 위성의 상태 플래그 정보는 정상상태를 의미하는 Healthy와 비정상상태를 의미하는 Unhealthy로 나뉜다. GPS 공식문서인 Standard Positioning Service Performance Standard (U.S. Department of Defense 2020)에 따르면, Signal Healthy란 사용자가 SIS 신호를 이용하여 정상적인 측위가 가능한 상태를, Signal Unhealthy란 코드 또는 데이터 품질이 저하되어 신호를 신뢰할 수 없는 상태를 의미한다.

WAD-RNSS에서는 항법메시지를 통해 Signal Healthy Flag 정보를 전달함으로써 사용자가 항법 해 결정 시 이상신호를 제외하도록 사전 또는 준 실시간으로 경고하게 된다.

Fig. 6은 항법메시지의 Signal Healthy Flag를 운용하여 사용자에게 무결성 경고를 전파하는 개념도이다. 기본적으로 항법메시지의 data field와 message footer를 통해 위성의 상태 및 무결성 정보인 Signal Healthy Flag를 사용자에게 전파하게 된다. 항법메시지는 1시간 주기로 업로드 되기 때문에 data field에 포함된 위성의 사전 예측된 Healthy 정보는 한번 업로드 되면 수정이 불가하다. 그러나 footer에 포함된 무결성 Flag 정보는 contingency TC를 통해 Unhealthy Flag로 준실시간 상태변경이 가능하기 때문에 사용자에게 신속하게 무결성 경고를 전달할 수 있다.

마지막으로 보정메시지는 항법메시지와 유사하게 Integrity Alert Flag를 메시지에 포함하여 사용자에게 전파하는 수단이다. Integrity Alert Flag는 위성의 방송궤도력 정보(Clock, Ephemeris, and Integrity, CEI) 또는 각종 오차 보정정보에 무결성 위협이 발생했을 때 사용자에게 즉각 필요한 서비스의 무결성 정보를 경고하는 것을 의미한다. Integrity Alert Flag의 목적은 사용자가 항법 해 결정 시 이상신호를 제외할 수 있도록 즉각적인 무결성 경고를 하기 위함이다.

Fig. 7은 보정메시지의 Integrity Alert Flag를 운용하여 사용자에게 무결성 경고를 전파하는 개념도이다. 250 bps의 고속으로 매초 단위 위성체에 전송되는 보정메시지에 매 프레임마다 무결성 정보가 포함되어 Integrity Alert Flag가 전파되기 때문에 즉각적인 무결성 경고가 필요한 상황에서 사용자에게 실시간 (TTA 10

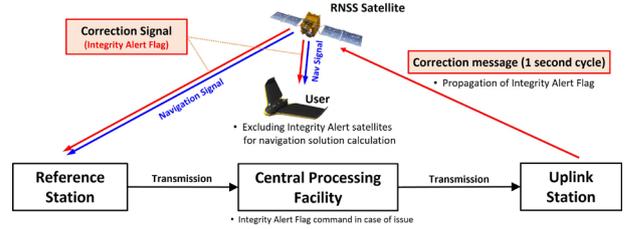


Fig. 7. Correction message (Integrity Alert Flag) operational concept.

초 이하)으로 무결성 경고가 가능하다. 그리고 모든 위성에서 항법신호와 보정신호를 송출하기 때문에 위성별 보정메시지 스케줄링이 가능하며, 사용자는 다수 위성에서 오는 보정신호를 동시 활용할 수 있다.

4. 결론

WAD-RNSS는 기존 위성항법시스템과는 달리 항법신호와 보정신호를 동시에 생성하고 송출할 수 있는 독자적인 시스템이다. 기존 위성항법시스템은 항법정보에 대한 보정이 빠르게 이루어질 수 없다는 한계와 위성 수에 비해 안테나국 수가 적어 중앙처리국에서 고장을 인지하더라도 무결성 위협을 사용자에게 방송하는 시간이 지연될 가능성이 있다. 하지만 WAD-RNSS는 안테나국과 위성이 1:1 대응이 가능하고, 무결성 위협상황에 대해 준실시간으로 사용자 경고가 가능하다. 뿐만 아니라 매초 보정정보를 송수신하는 시스템이기 때문에 무결성 위협상황에 대해 즉각적으로 사용자에게 방송할 수 있어 신속한 대응이 가능하다.

또한 WAD-RNSS를 통한 항법 서비스 운용 관점에서 볼 때, 매초 위성으로 업로드 되는 보정메시지를 활용함으로써 항법메시지의 오차들을 감소시킬 수 있다. 그리고 무결성 위협이 발생할 경우에도 빠르게 인지할 수 있으므로 시스템 고장에 적시 대응이 가능해진다. 즉각 고장대응이 가능해짐에 따라 향후 고장복구 시간을 단축할 수 있고, 시스템 가용성도 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Agency for Defense Development (ADD) grant funded by the Korean Government (274345901).

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization, Y.Kim, I.Kim, and D.Kim; methodology, Y.Kim, I.Kim, and D.Kim; formal analysis, Y.Kim, D.Kim; investigation, Y.Kim; writing—original draft preparation, Y.Kim; writing—review and editing, Y.Kim, I.Kim, and D.Kim; supervision, D.Kim.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- Federal Aviation Administration 2008, Wide Area Augmentation System (WAAS) Performance Standard, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., USA, 1st Edition, October 31, 2008, available from: <https://www.gps.gov/technical/ps>
- Kim, D., So, H., & Park, J. 2021, Performance Analysis of Wide-Area Differential Positioning Based on Regional Navigation Satellite System, JPNT, 10, 35-42. <http://doi.org/10.11003/JPNT.2021.10.1.35>
- Kim, Y., Kim, I., & Kim, D. 2024, Study on the Integrity Alert Concept of Wide-Area Differential Regional Navigation Satellite System (WAD-RNSS), in Proceedings of 2024 IPNT Conference, Jeju, Korea, 6-8 Nov 2024, pp.69-72. <https://ipnt.or.kr/2024proc/38>
- Kovach, K. 2021, GPS Non-Standard Codes, in Proceedings of 34th ITM of the Satellite Division of ION GNSS+ 2021, St. Louis, Missouri, Sep 20-24, 2021, pp.1654-1671. <https://doi.org/10.33012/2021.17953>
- Lee, S., Hyong, C., You, M., Sin, C., & Ahn, J. 2016, Trends of GNSS Augmentation System and Its Technologies, Electronics and Telecommunications Trends, 31, 20-31. <https://koreascience.or.kr/article/JAKO201652057195794.page>
- Shaw, S. & Katronick, A. J. 2013, GPS III Signal Integrity Improvements, in Proceedings of the 26th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2013), Nashville, TN, USA, 16-20 Sep 2013, pp.935-945. <https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=11303>
- U.S. Department of Defense 2007, Global Positioning System Precise Positioning Service Performance Standard, 1st, Feb 2007, available from: <https://www.gps.gov/technical/ps>
- U.S. Department of Defense 2020, Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard, 5th, Apr 2020, available from: <http://www.gps.gov/technical/ps>
- Walter, T. & Blanch, J. 2015, Characterization of GNSS Clock and Ephemeris Errors to Support ARAIM, in Proceedings of the ION 2015 Pacific PNT Meeting, Honolulu, Hawaii, 20-23 April 2015, pp.920-931. <https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=12769>
- Woo, N., Nam, G., Choi, H., & Lee, J. 2024, Review of GPS

and Galileo Integrity Assurance Procedure, JPNT, 13, 53-61. <http://doi.org/10.11003/JPNT.2024.13.1.53>



Yunjung Kim is a researcher of Agency for Defense Development (ADD) in the Republic of Korea. He received the B.S. degree in mechanical engineering from Republic of Korea Naval Academy in 2012. He received the M.S. degree in aerospace engineering from Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) in 2022. He worked in the field of GNSS and integrity assurance method for CDGNSS-based autonomous airborne refueling. He has been working for ADD since 2024. His research interests include SBAS, RTK, integrity assurance method.



In Jong Kim is a principal researcher in Agency for Defense Development (ADD) in the Republic of Korea. He received the B.S. degree in electronics and information engineering from Jeonbuk National University in 2003. He received the M.S. degree in electrical engineering from Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) in 2005. He has been working for ADD since 2011.



Donguk Kim is a senior researcher of Agency for Defense Development (ADD) in the Republic of Korea. He received the B.S. and Ph.D. degrees in the mechanical and aerospace engineering from Seoul National University in 2013, 2020, respectively. He worked in the field of centimeter level GNSS augmentation systems and technology in SNU GNSS laboratory. He has been working for ADD since 2019. His research interests include SBAS, RTK, anti-jamming/anti-spoofing algorithms.