

해양용 DGPS 운영성 개선을 위한 시스템 경고 임계값 제안

A Warning Threshold Proposal for Operation Improvement of Maritime DGPS Reference Station

최용권¹ · 이주현² · 손석보³ · 이상정^{2*}

¹해양수산부 국립해양측위정보원

²충남대학교 전자공학과

³넵코어스(주)

Yong Kwon Choi¹ · Ju Hyun Lee² · Seok Bo Son³ · Sang Jeong Lee^{2*}

¹National Maritime PNT Office, Daejeon 34150, Korea

²Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea

³Navcours Co., Ltd., Daejeon 34134, Korea

[요 약]

국내에서 운용하고 있는 해양 DGPS는 다중 GNSS 수신기를 활용하여 사용자에게 의사거리 보정정보를 제공하고, 지속적으로 보정정보의 무결성을 감시하는 역할을 수행한다. 해양 DGPS 기준국(RSIM; reference station and integrity monitor)은 서비스 단절 상황을 막기 위하여 상태 감시 요소에 대한 알람 수준을 설정하여 시스템을 정지시키고, 백업시스템으로 전환하거나, 문제 사항에 대해 파악하여 대응할 수 있도록 한다. 해양 DGPS 기준국 운용 시 이중화 시스템 적용되어 시스템 오작동에 의한 서비스 중단 등의 상황에 대비 할 수 있으나, 백업용 시스템까지 문제가 발생하거나, 외부 요인에 의해 발생하는 서비스 중단에 대해서는 대비할 수 없다. 본 논문에서는 운영자가 사전에 문제 발생 가능성에 대해 확인 하여 대응할 수 있도록, 기존의 알람과 정상 상태에 추가적으로 경고 기준값을 제시하였으며, 이를 위해 기준국에서 생성한 상태 감시 정보를 마코프 분석 방식을 통하여 분석하였다.

[Abstract]

A maritime DGPS in Korea offers pseudo-range correction information and monitors integrity of correction data by using multiple GNSS receivers. The maritime DGPS reference station and integrity monitor service sets alarm threshold value about integrity monitoring parameters for preventing service interruption status. However there is no way to avoid system interruption according to malfunction of backup systems and outside factors. Therefore, in this paper, warning threshold values were proposed for maritime DGPS operator can be counteract in advance. And Markov analysis method was carried out for selection of these warning threshold values.

Key word : Differential GPS, Reference Station and Integrity Monitor, Markov analysis, Warning threshold.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.1.12>



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 31 January 2017; Revised 2 February 2017

Accepted (Publication) 26 February 2017 (28 February 2017)

*Corresponding Author; Sang Jeong Lee

Tel: +82-42-825-3991

E-mail: eesjl@cnu.ac.kr

1. 서론

DGPS (differential GPS)는 GPS (global positioning system) 수신기 2개 이상을 활용하여 상대측위를 수행하는 기법으로, 정밀 위치정보를 알고 있는 기준국을 기점으로 의사거리 측정치 오차 보정 정보를 생성하고, 이를 주변 수신기가 활용하여 위치추정 성능을 개선하는 시스템이다. 현재 국토해양부는 국내를 대상으로 해양 DGPS는 서비스를 제공하고 있으며, DGPS 시스템은 제어국, 기준국, 감시국으로 이루어져 있다. 또한 시스템의 정상 동작확인을 위하여 기준국 및 감시국에 상태 감시 요소가 있다.

기준국의 상태 감시 요소는 4가지로 위성수, IM (integrity monitor) 피드백, PRC (pseudorange correction), RRC (range rate correction)이며, 감시국의 상태 감시 요소는 총10가지로 보정나이, 메시지 에러율, 비콘 신호세기, 위성수, HDOP (horizontal dilution of precision), 위치 오차, PRR (pseudorange residual), RRR (range rate residual), UDRE (user differential range error)이다.

이러한 총14가지의 상태 감시를 위해 알람 기준값을 수립하여 알람이 발생하였을 경우 자동으로 해당 시스템을 정지시키고 이중화된 다른 시스템으로 운영을 전환하여 계속하여 서비스 가능하도록 한다.

해양 DGPS 시스템에서는 상태 감시에서 알람 기준값, 경고 기준값, 알람 지속시간을 이용하여 관리를 하는데 일단 상태 감시 요소가 설정된 알람 지속시간 이상 동안 알람기준값 이상으로 유지될 경우 자동으로 알람을 발생하고 해당 시스템을 정지시킨다. 해양 DGPS 시스템은 이중화가 되어 있기 때문에 해당 시스템이 정지하더라도 이중화된 시스템에 의하여 연속적으로 동작할 수 있지만 이중화 시스템이 모두 문제가 있거나 공통적인 요인에 의한 것이라면 서비스 단절이 불가피하다. 기존 해양 DGPS 시스템에서는 알람 기준값 만을 활용하여 시스템 운용 문제 발생 여부를 판단하므로 사전에 조치하기 어려우며 이에 따른 운용 취약성이 존재한다. 따라서 추가적인 기준값 설정 및 이에 따른 DGPS 시스템 운용 방안이 필요하다.

본 논문에서 제안하는 추가적인 기준값은 정상상태와 알람 상태간의 경고 기준값으로 명명하였으며, 경고 기준값을 설정하므로써 알람이 발생하기 전에 DGPS 운영자가 미리 시스템을 점검하고, 문제를 식별하여 서비스 단절을 막을 수 있다.

본 논문에서는 시스템 알람 기준값 및 알람 지속시간 설정 방법을 분석하고, 경고 기준값을 제안하여 시스템 운영성을 개선할 수 있도록 한다. 본 논문에서 제안한 해양 DGPS 시스템의 알람 기준값을 도출하기 위하여, DGPS 기준국에서 수신한 장기간의 데이터를 활용한 마코프 확률 분석을 수행하였다. 본 논문에서는 DGPS 무결성을 모니터링 하는 14가지 파라미터 중 가시위성 수 및 PR (pseudorange) 잔차에 따른 확률 분석결과를 수행하고, 알람 기준값을 제안하였다. 가시위성 수의 경우 무결성 감시 파라미터 중 HDOP 및 절대 위치 오차와 밀접한 관계

가 있으며, PR 잔차의 경우 절대 위치 오차와 연관이 있어, 결과적으로 가시위성 수와 PR 잔차를 통해 DGPS 시스템 전체의 문제 발생 가능성에 대해 진단할 수 있다.

II. DGPS 해양 기준국 및 알람 기준값

본 장에서는 현재 운영 중인 해양 DGPS 기준국 시스템의 전체 구조에 대해 간략히 소개하고, DGPS 무결성 판단 파라미터가 포함된 RSIM (reference station and integrity monitor) 메시지 종류와 각 파라미터와 알람 기준값에 대해 소개한다.

2-1 DGPS RSIM

해양 DGPS 기준국 시스템은 기준국 (reference station), 감시국 (integrity monitor), 제어국 (control station)으로 구성되어 있으며, 그림 1과 같다. 기준국은 무선 비컨을 기반으로 보정정보를 생성하며, 이를 감시국에서 수신 받아 보정정보의 무결성을 검사한다. 그리고 제어국에서는 일련의 전 과정에 대한 시스템 제어 역할을 수행한다.

기준국은 MSK (minimum shift keying) 변조 기법을 수행하여 RTCM (radio technical commission for maritime services) 메시지를 생성하며, 이를 위해 기준국을 중심으로한 각 위성들의 의사거리 보정치를 산출한다. 생성된 RTCM 메시지는 기준국 안테나를 통해 방송되며, 해당 방송 정보를 감시국 안테나를 통해 수신하고 무결성 감시 결과를 기준국에 전송한다[1],[2].

2-2 해양 DGPS의 알람 기준값

해양 DGPS 시스템의 무결성 감시를 위한 파라미터는 IM 메시지 타입 15번, 18번 및 19번에서 확인할 수 있으며, 각 메시지에 포함되는 정보는 다음 표 1과 같다. IM 15번 메시지의 경우 메시지에 포함된 UTC 시각에 해당하는 신호 전력, 메시지 오류 비율을 포함하고 있으며, 18번 메시지는 해당 UTC 시각에 대한 위도, 경도, 고도 오차 및 가시위성 수, HDOP, PDOP (position dilution of precision), VDOP (vertical dilution of precision) 정보를 포함한다. 그리고 19번 메시지는 포함된 UTC (coordinated universal time) 시각 및 모든 가시 위성에 대한 PRN (pseudo random noise) 번호에 따라 PR 잔차, RR 잔차를 포함한다. 본 논문에서 대상으로 하는 무결성 감시 파라미터를 확보하기 위해 18번 메시지 및 19번 메시지에 대한 데이터를 추출하였다.

DGPS 해양 기준국 시스템의 알람 파라미터는 추적 위성 수, 보정나이, PR 잔차, RR 잔차, 절대위치 오차 등이 존재하며 각 파라미터와 이에 따른 알람 수준은 다음 표 2와 같다[3]-[5].

본 논문에서는 가시위성 수 및 PR 잔차를 대상으로 경고 기준값을 도출하였다. 가시위성 수가 확보되지 못하면, 높은 확률

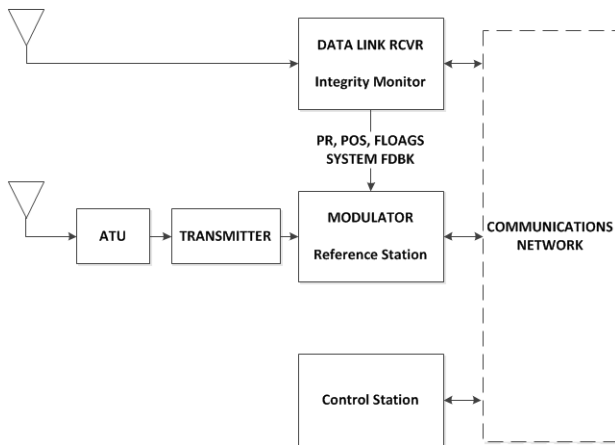


그림 1. DGPS RSIM 운용 구조
Fig. 1. DGPS RSIM architecture.

표 1. IM 메시지 타입 15, 18, 19
Table 1. IM message type 15, 18, 19.

| Message Type | Contents |
|--------------------------|---|
| IM1 RSIM Type 15 Message | UTC Time Signal Strength SNR Message Error Ratio Average Correction Age Checksum |
| IM1 RSIM Type 18 Message | UTC Time Latitude Error Longitude Error Altitude Error PRN's HDOP PDOP VDOP Checksum |
| IM1 RSIM Type 19 Message | UTC Time PRN # PR Residual RR Residual Correction Quality Indicator PR Variance Estimate Correction Age |

로 DOP (dilution of precision) 및 낮은 절대위치오차를 달성할 수 없으며, 이에 따라 가시위성 수를 대상 파라미터로 선정하였다. 또한 PR 잔차가 알람 수준 이상으로 악화된 경우 절대 위치 오차의 성능 열화가 발생하므로, PR 잔차를 대상 파라미터로 선정하였다.

III. DGPS 해양 기준국 시스템의 경고 기준값 도출 및 시스템 운용 제한

표 2. 무결성 감시를 위한 파라미터
Table 2. Parameters of integrity monitor.

| RS Parameter | Alarm Threshold |
|---------------------|-----------------|
| PRN's | ≤3/ 65 s |
| IM Feedback | 12 s |
| PR Residual | ≤5 m |
| RR Residual | ≤0.4 m/s |
| IM Parameter | Alarm Threshold |
| Correction Age | ≤30 s / 30 s |
| Message Error Ratio | 10% / 60 s |
| Beacon SNR | 10 dB |
| Beacon SS | 40 dB/μV |
| PRN's | ≤4 and over |
| HDOP | 6 and over |
| PR Residual | 12 m/ 30 s |
| RR Residual | 2 m/s, 60 s |
| Position Error | 5 m/ 30 s |
| Low UDRE | 10% / 100 s |

본 장에서는 DGPS 해양 기준국 시스템의 경고 기준값의 요구조건 및 본 논문에서 제안한 제시한 산출 기법에 대해 언급하고, 경고 기준값 선정을 위한 분석 결과를 도시 및 분석하였다.

3-1 DGPS 해양 기준국 시스템의 경고 기준값 도출 기법

본 논문에서 제시하는 DGPS 해양 기준국 시스템의 경고의 개념은 DGPS 기준국 시스템 운영자가 알람이 발생하여 DGPS 서비스 중단 혹은 백업 시스템의 전환 과정이 발생하기 전에 DGPS 기준국 시스템의 무결성 수준을 확인하고 미리 대응할 수 있는 시간적 여유를 제공하는 것이다. 이를 위해 본 논문에서는 마코프 프로세스를 통하여 시스템 경고 기준값에 대해 도출하는 방안을 제시하였다.

마코프 프로세스는 이산 확률과정을 기반으로 임의의 사건의 현재 상태가 직전 상태에 의해서만 결정되며, 이전의 과거 상태에는 영향을 받지 않는 확률 과정을 가정한다. 마코프 프로세스는 상태를 정의하는 상태집합, 해당 모델의 초기 확률, 전체 상태 간 변화 확률로 이루어진 상태 전이 행렬로 구성되어 있다. 본 논문에서 상태 집합은 DGPS 해양 기준국의 무결성 검사에 따라 정의 되는 상태이며, 기존의 알람 기준값에 따라 정의되는 정상 상태 및 알람 상태에 본 논문에서 추가로 제안하는 경고 상태를 포함하여 3가지 상태를 정의하였다. 초기 확률은 정상 상태, 경고 상태, 알람 상태의 3가지 상태에 대하여 초기상태에 가질 수 있는 상태 발생 확률이며, 다음 식 (1)과 같이 정의 할 수 있다[6].

$$P(S_N, S_W, S_A) = P\left(\frac{n_N}{n_s}, \frac{n_W}{n_s}, \frac{n_A}{n_s}\right) \quad (1)$$

여기서 $P(S_N, S_W, S_A)$ 는 초기 확률, n_N, n_A, n_W 는 정상 상태, 경고 상태, 알람 상태의 발생 횟수이며, n_s 는 3가지 상태 발생 횟수에 대한 총 합이다. 그리고 초기 확률의 경우 총합이 1이어야 조건을 만족한다. 상태 전이 행렬의 경우 전체 데이터에 대해 주어진 범위 조건에 따라 상태로 정의할 수 있으며, 이를 시간 순서대로 분석하여 이전 상태에서 다음 상태로 변화할 확률을 계산하므로 도출할 수 있다. 전이 행렬은 다음 식 (2)와 같이 정의할 수 있다.

$$P_T = \begin{bmatrix} P_{T,NN} & P_{T,NW} & P_{T,NA} \\ P_{T,WN} & P_{T,WW} & P_{T,WA} \\ P_{T,AN} & P_{T,AW} & P_{T,AA} \end{bmatrix} \quad (2)$$

상태 정의 행렬 P_T 는 각 행의 합이 1인 조건을 만족하며, N 은 정상 상태, W 는 경고 상태, A 는 알람 상태를 의미한다. 수식 (2)에서 $P_{T,NN}$ 는 정상 상태를 유지하는 경우, $P_{T,WW}$ 는 경고 상태를 유지하는 경우, $P_{T,AA}$ 는 알람 상태를 유지하는 경우이고, $P_{T,NW}, P_{T,NA}$ 는 각각 정상 상태에서 경고, 알람 상태로, $P_{T,WN}, P_{T,WA}$ 는 경고 상태에서 정상 및 알람 상태로, $P_{T,AN}, P_{T,AW}$ 는 알람 상태에서 정상 및 경고 상태로 변화하는 확률을 의미한다[5].

기존 마코프 프로세스는 미래에 상태 발생 확률을 예측하기 위한 용도로 주로 사용되었다. 그러나 본 논문에서는 경고 무결성 수준에 대한 기준값 선정이 목적이므로 마코프 프로세스에서 정의하는 상태 초기 확률 및 상태 전이 행렬로부터 상태 집합 전체를 1로 한 상태 전이 확률을 정의하였다.

본 논문에서 새로 정의한 상태 전이 행렬 P 와 초기 확률 및 기존 상태 전이 행렬 P_T 와의 관계는 식 (3)과 같다.

$$P = \begin{bmatrix} P_{NN} & P_{NW} & P_{NA} \\ P_{WN} & P_{WW} & P_{WA} \\ P_{AN} & P_{AW} & P_{AA} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P(S_N) \times P_{T,NN} & P(S_N) \times P_{T,NW} & P(S_N) \times P_{T,NA} \\ P(S_W) \times P_{T,WN} & P(S_W) \times P_{T,WW} & P(S_W) \times P_{T,WA} \\ P(S_A) \times P_{T,AN} & P(S_A) \times P_{T,AW} & P(S_A) \times P_{T,AA} \end{bmatrix} \quad (3)$$

이에 따른 DGPS 해양 기준국 시스템의 상태 관계는 다음 그림 2와 같다. 그림 2에서 확인할 수 있듯이 제시한 경고 상태를 포함하면, DGPS 기준국 무결성 감시 결과에 대해 정상 상태, 경고 상태, 알람 상태의 3가지 상태로 정의될 수 있으며, 시스템의 운용 환경에 따라 각각의 상태가 다른 상태로 변화될 확률을 가지고 있다.

식 (3)에서 상태 집합 전체를 1로 하는 상태 변화 확률을 나타내며, P_{NN} 는 정상 상태를 유지하는 경우, P_{WW} 는 경고 상태

를 유지하는 경우, P_{AA} 는 알람 상태를 유지하는 경우이다. 또한 P_{NW}, P_{NA} 는 각각 정상 상태에서 경고, 알람 상태로 이동하는 경우이며 P_{WN}, P_{WA} 는 경고 상태에서 정상 및 알람 상태로, P_{AN}, P_{AW} 는 알람 상태에서 정상 및 경고 상태로 변화하는 확률을 의미한다.

식 (3)에서 각 상태는 다른 상태로 이동할 수도 있고 이동하지 않을 수도 있으며, 따라서 다음 식 (4)와 같은 조건을 만족한다.

$$P_{NN} + P_{NW} + P_{NA} + P_{WN} + P_{WW} + P_{WA} + P_{AN} + P_{AW} + P_{AA} = 1 \quad (4)$$

또한 본 논문에서 제시한 경고 개념에 따라 운영자가 무결성 수준에 대해 미리 확인하고 대응할 수 있어야 하므로, 선정된 경고 기준값에 따른 P_{NA} 가 0에 가까울수록 적절히 선정되었다고 판단할 수 있다. 이에 따라 마코프 분석 기법을 활용하여 본 논문에서 제안하는 경고 기준값 도출 기법은 다음 그림 3과 같다.

그림 3과 같이, 제안한 경고 기준값 선정을 위해서 결정할 IM 파라미터에 대한 데이터를 바탕으로 PDF (probability density function)를 도출하였으며 이를 기반으로 정상 상태와 알람 상태 사이의 경고 기준 후보값을 설정하였다.

선정한 경고 수준을 기준으로 전이 확률 행렬을 도출하였으며, 이 과정에서 장기간의 IM 데이터를 활용한다. 또한 도출한 변이행렬을 통해 정상 상태에서 알람 상태로 변이할 확률 P_{NA} 를 계산하고, 해당 확률 값이 목표 수준 이하일 경우 경고 기준 후보값을 경고 기준값으로 결정한다. 만약 P_{NA} 확률이 목표 수준 이하를 달성하지 않을 경우 경고 기준 후보값을 재선정하여 동일한 과정을 진행한다.

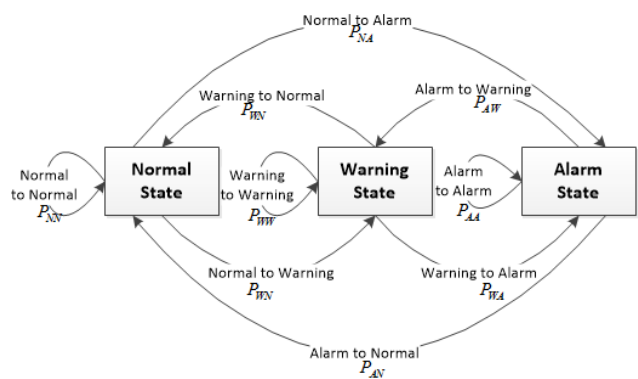


그림 2. DGPS IM 검사 결과 상태 관계
Fig. 2. A relationship among states of DGPS IM results.

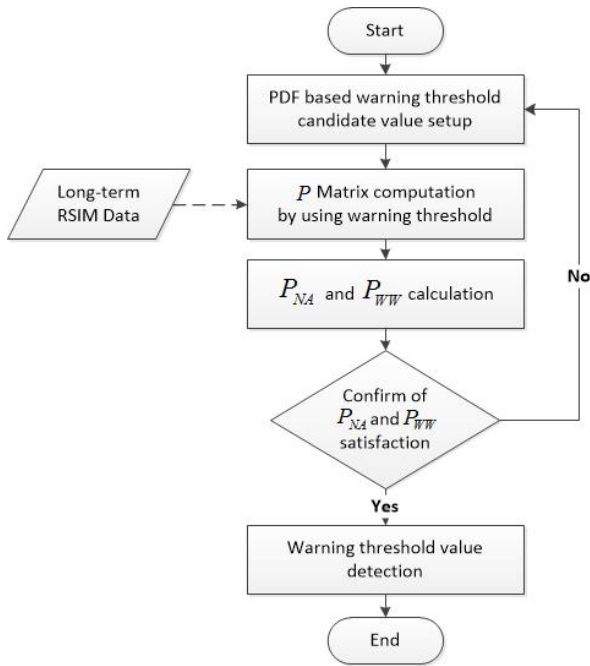


그림 3. DGPS IM의 경고 기준값 도출 방안
 Fig. 3. Warning value detection method of DGPS IM.

표 3. IM 경고 기준값 산출을 위한 RSIM 데이터 수집 환경
 Table 3. RSIM data collection setting for IM warning detection.

| Type | Contents |
|-----------------------------|---|
| ID(RS/IM) | 732(733) |
| DGPS Station Frequency | 310 kHz |
| Identification Number | 666 |
| DGPS Station RS1,2 Position | RS1 : Latitude : 36-04.682705 Longitude : 129-33.999715 altitude : 42.333 |
| | RS2 : Latitude : 36-04.661256 Longitude : 129-34.017816 altitude : 41.621 |
| DGPS Station IM1,2 Position | IM1 : Latitude : 36-04.680651 Longitude : 129-34.001110 altitude : 42.239 |
| | IM2 : Latitude : 36-04.660798 Longitude : 129-34.017944 altitude : 41.619 |
| Installation Year | 2000. 12. 14 |
| Data Collection Period | 2015.01.01~2015.12.30 |

3-2 DGPS IM 경고 기준값 도출

본 논문에서는 IM 경고 기준값 도출을 위하여 무결성 감시 파라미터 중 추적 위성 수에 따른 분석을 수행하였으며, 분석을 위해 활용한 장기간의 RSIM 데이터는 국내에 설치된 호미곶 기준국의 데이터를 활용하였다. 경고 기준값 도출을 위한 RSIM 데이터의 수집 환경은 표 3 및 그림 4~5와 같다.

본 논문에서 경고 기준값 도출을 위하여 호미곶 기준국의 2015년 1월 1일부터 2015년 12월 30일 까지의 1년에 해당하는 기간의 데이터를 수집하였으며, 이에 대한 분석을 진행하였다.

추적 위성 수에 따른 각 확률 변이는 다음 그림 과 같다. 그림 6은 상태 변이 확률 중 P_{NN} , P_{WW} 에 대한 확률 분포 도시 이며, 가시위성 수 경고 임계값을 증가할수록 정상 상태 유지 확률이 낮아지며, 경고 상태 유지 확률의 경우 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 경고 상태 임계값이 높을수록 정상상태의 비율이 감소하며, 경고상태의 비율이 증가하기 때문에 발생한다. 또한 그림 7을 통해서 경고 임계값에 따른 정상상태에서 경고상태의 변이 확률 P_{NW} 와 경고상태에서 정상상태에의 상태 변이 확률 P_{WN} 을 확인할 수 있으며, 가시위성수가 8개인 경우 가장 높은 상태 변환 확률을 보였다. 마지막으로 그림 8에서 본 논문에서 경고 임계값 설정을 위한 정상상태에서 알람상태로의 상태 변이 확률 P_{NA} 를 확인할 수 있었으며, 경고 수준의 목적인 P_{NA} 가 상대적으로 낮은 경고 임계값을 확인하였다. P_{NA} 는 가시위성 경고 임계값이 5~7개인 경우에 비해 8개 이상인 경우 상대적으로 낮은 확률을 보였다.



그림 4. DGPS 호미곶 기준국 시스템
 Fig. 4. System of Homicape DGPS reference station.



그림 5. DGPS 호미곶 기준국 안테나
 Fig. 5. Antenna of Homicape DGPS reference station.

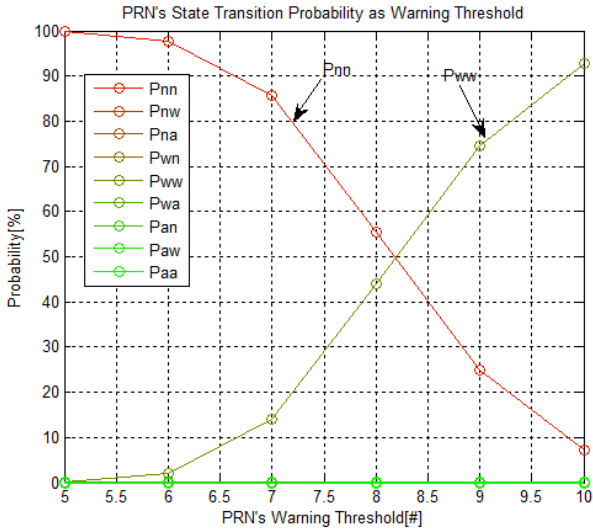


그림 6. 경고 임계값 후보군에 따른 가시위성 수 상태 변화 확률(Pnn, Pww)

Fig. 6. PRN's state transition probability as warning threshold(Pnn, Pww).

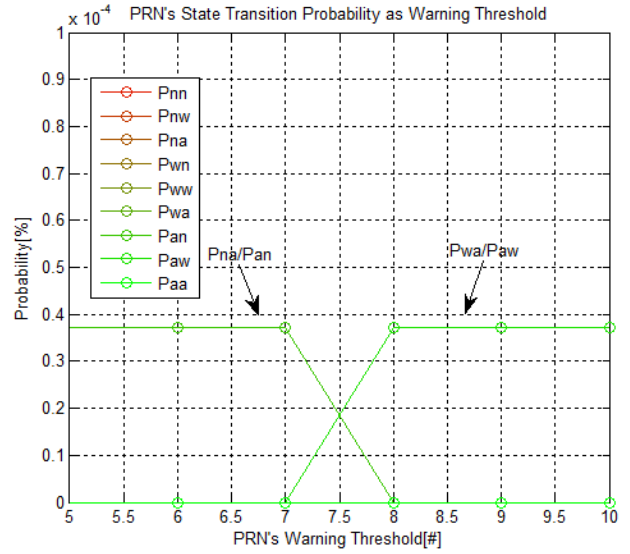


그림 8. 경고 임계값 후보군에 따른 가시위성 수 상태 변화 확률 (Pna, Pan, Pwa, Paw)

Fig. 8. PRN's state transition probability as warning threshold(Pna, Pan, Pwa, Paw).

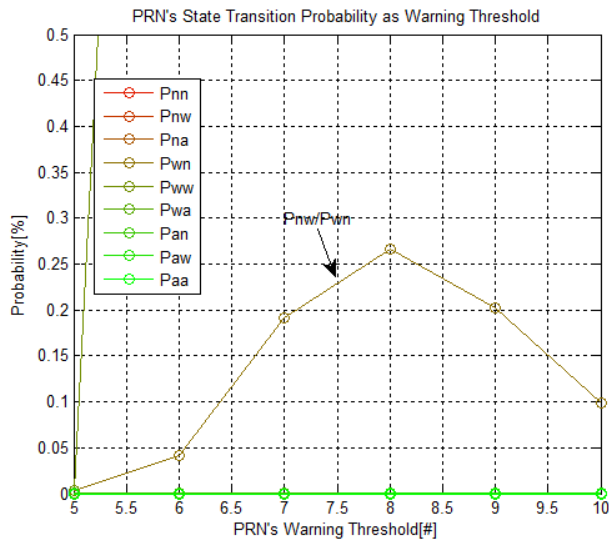


그림 7. 경고 임계값 후보군에 따른 가시위성 수 상태 변화 확률(Pnw, Pwn)

Fig. 7. PRN's state transition probability as warning threshold(Pnw, Pwn).

또한 본 논문에서는 경고 임계값 후보군에 따른 PR 잔차 상태 변화 확률을 도출하였으며, 산출한 상태변화 확률은 그림 9~11과 같다. 그림 9의 경우 PRN 1번에 대한 경고 임계값 후보군에 따른 PR 잔차 상태 변화 확률이며, 가시위성의 경우와 반대로 경고 임계값이 증가할수록 P_{NN} 이 증가하였다. 또한 P_{WW} 의 경우 경고 임계값이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 이는 가시위성의 경우와는 반대로 임계값이 증가함에 따라 정상

상태에 존재할 확률이 증가하기 때문에 발생한다. 그림 10에서 P_{NA} , P_{AN} , P_{AA} , P_{WA} , P_{AW} 에 해당하는 각 확률 변수에 대해 확인 할 수 있다. 경고 상태가 유지될 확률 P_{AA} 의 경우 경고 임계값 변화에 무관하게 일정한 확률을 갖으며, 경고 상태와 알람 상태간 변화 확률 P_{WA} 및 P_{AW} 는 경고 임계값이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이는 경고 임계값이 증가할수록, 경고 상태에 존재할 확률이 감소하기 때문으로 볼 수 있다.

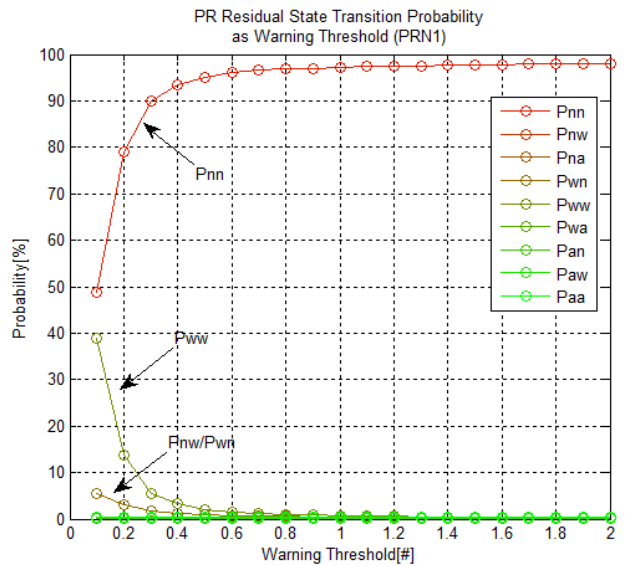


그림 9. 경고 임계값 후보군에 따른 PR 잔차 상태 변화 확률 (Pnn, Pww, Pnw, Pwn)(PRN1)

Fig. 9. PR Residual state transition probability as warning threshold(Pnn, Pww, Pnw, Pwn)(PRN1).

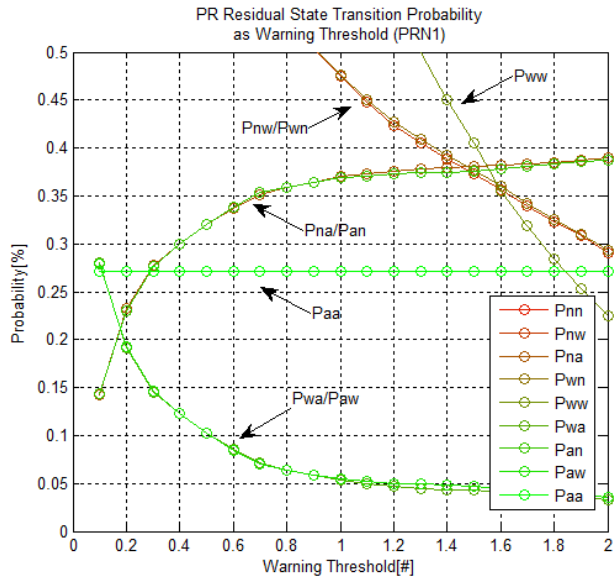


그림 10. 경고 임계값 후보군에 따른 PR 잔차 상태 변화 확률 (Pww, Pnw, Pwn, Pna, Pan, Paa, Pwa, Paw)(PRN1)

Fig. 10. PR Residual state transition probability as warning threshold(Pww, Pnw, Pwn, Pna, Pan, Paa, Pwa, Paw) (PRN1).

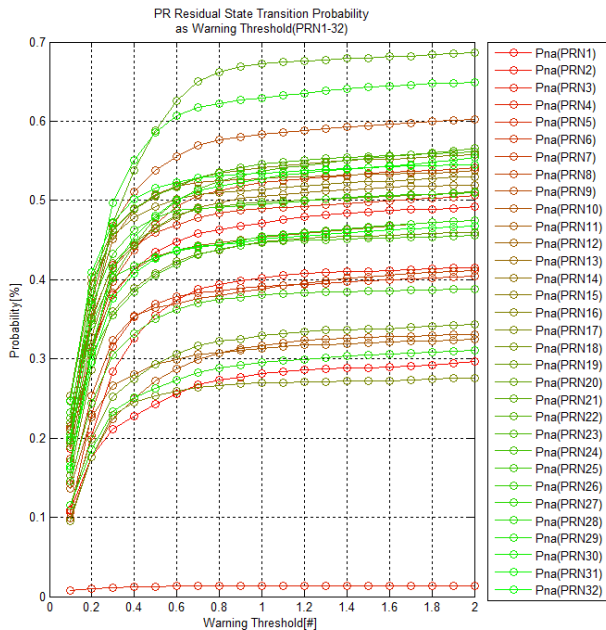


그림 11. 경고 임계값 후보군 및 GPS 위성 번호에 따른 PR 잔차 상태 변화 확률 (Pna)(PRN1~32)

Fig. 11. PR Residual state transition probability as warning threshold and GPS PRN number(Pna)(PRN1~32).

표 4. 경고 기준값 산출 결과 및 상태 변환 확률

Table 4. Warning detection threshold and state transition probability.

| Parameter | Warning Threshold | P_{NA} [%] | P_{WW} [%] |
|-------------|-------------------|-----------------------|--------------|
| PRN's | 7 | 3.72×10^{-5} | 13.91 |
| PR Residual | 0.2 | 0.01~0.41 | 13.10~13.67 |

본 논문에서 경고 임계값 설정에 활용할 P_{NA} 의 경우 추가적으로 PRN 번호에 따라 도시하였다. 그림 11은 GPS PRN 번호 및 경고 임계값 후보군에 따라 PR 잔차가 정상상태에서 알람상태로 변화하는 확률 P_{NA} 를 도시한 결과이다. 그림 11에서 GPS 위성에 따라 상태 변화 확률이 다르게 존재하였으며, 경고 임계값이 증가할수록 정상상태에서 경고상태를 거치지 않고 알람상태로 변화하는 확률이 증가함을 확인하였다. 이를 통해 경고 임계값을 높게 설정할수록 해상 DGPS 운용자가 사전에 시스템을 점검할 수 있는 기회가 줄어들게 됨을 알 수 있다.

본 논문에서 무결성 감시 대상 파라미터로 선정된 가시위성 수 및 PR 잔차에 대한 경고 기준값 산출 결과와 이에 따른 중요 상태 변환 확률은 다음 표 4와 같다. 본 논문에서 제시한 가시위성 수 경고 기준값은 7이며, PR 잔차의 경고 기준값은 0.2로 선정하였다.

각 파라미터에 대한 경고 기준값 선정을 위하여, 정상상태에서 경고 상태로의 변환 확률 P_{NA} 와 경고 상태 유지 확률 P_{WW} 를 근거 확률로 분석하였으며, P_{NA} 의 경우 본 논문에서 제안하는 경고 기준값의 목적에 따라 0%에 수렴할수록 우수하다. 그러나 실제로 0%에 수렴하도록 선정하기 위해서는 경고 기준값이 알람 기준값과 일치해야 하며, 이는 경고 기준값의 목적에 부합하지 않는다. 따라서 3σ 에 해당하지 않는 약 0.3%를 P_{NA} 확률의 기준으로 설정하였다. 또한 경고 상태가 유지될 확률 P_{WW} 의 경우 너무 높으면 시스템 운영자가 불필요하게 시스템을 점검해야 하므로 약 10~20% 내외의 범위를 갖도록 경고 임계값을 설정하였다

3-3 제안한 경고 기준값을 활용한 해양 DGPS 운용 제한

본 논문에서 도출한 경고 기준값을 활용하여 해양 DGPS 운용 과정을 제안하며 이는 다음 그림 12와 같다. DGPS 운용을 위해서 기존 알람 기준값만 존재하는 경우 알람 상태가 발생하면 백업 시스템 운용을 시도하며 DGPS 운용자가 시스템을 점검하는 과정을 거친다. 이에 반해 본 논문에서 도출한 경고 기준값을 활용할 경우 RSIM 메시지로부터 정상, 경고 알람 상태를 판단하여, 경고 및 알람 상태에서 DGPS 백업 시스템으로 전환하며 이후 DGPS 운용자가 시스템을 점검하도록 운용이 가

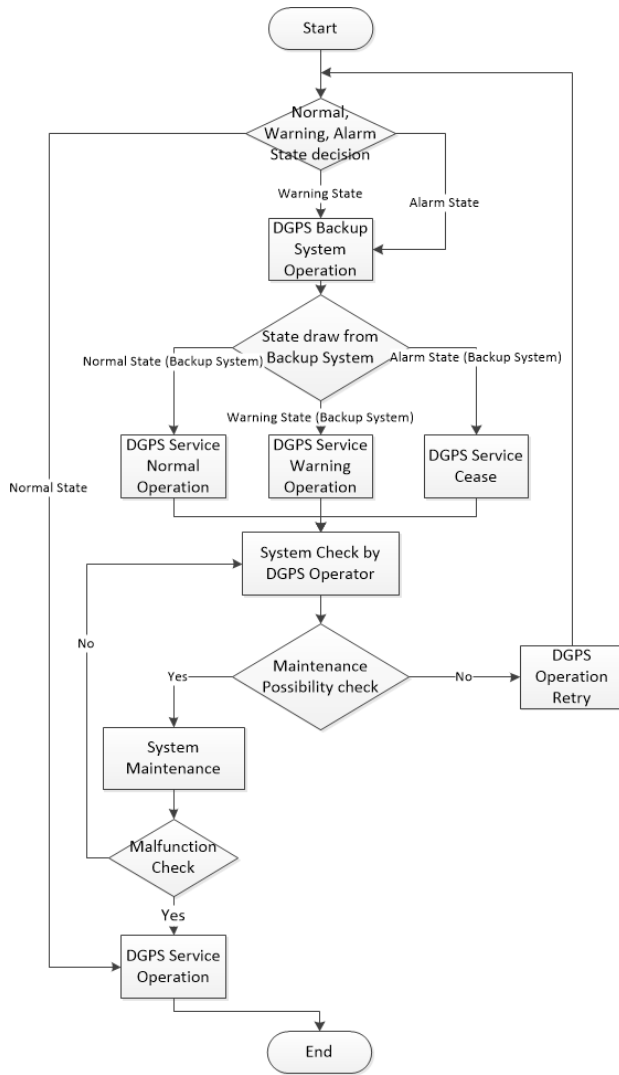


그림 12. 경고 기준값을 활용한 DGPS 운용 흐름
 Fig. 12. DGPS operation flow for warning threshold.

능하다. 또한 제안한 DGPS 운용 흐름상 문제 발생 원인의 내, 외부 여부 파악을 추가하여 문제 상황에 대한 원인을 분류하고 이에 따른 대처가 신속하게 이루어지도록 구성하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 기존 해양 DGPS RSIM 구조 및 기존에 알람 기준값, RSIM 메시지 종류에 대해 설명하고, DGPS 시스템 무결성 판단을 위해 알람 기준값만을 사용할 경우 시스템 운용성이 열화 될 수 있음을 소개하였다. 이에 따라 본 논문에서는 해양 DGPS 운영성 개선을 위한 경고 기준값을 제시하였으며, 경

고 기준값을 산출하기 위해 2015년 1월부터 2015년 12월까지의 RSIM 메시지를 활용하여, 가시위성 수 및 PR 잔차에 대한 마코프 확률 분석을 수행하였다. 본 논문에서 제안하는 경고 기준값의 설정 목적은 DGPS 운용자가 사전에 시스템 내 외부로부터 발생할 수 있는 문제에 대해 대응하여 DGPS 서비스 단절 상황을 막기 위한 것으로, 적절한 경고 기준값 선정을 통해 DGPS 서비스 운영성을 개선할 수 있다.

본 논문에서 수행한 확률 분석을 수행하기 위해 경고 기준값에 따라 정상 상태에서 알람 상태로 변화하는 확률 및 알람 상태가 유지되는 확률을 도출하였으며, 정상 상태에서 알람 상태로 변화하는 확률은 약 0.3% 이하, 알람 상태가 유지되는 확률은 10~20% 이내가 되도록 경고 기준값을 선정하였다. 본 논문에서 선정한 경고 기준값을 통해 DGPS 운영성을 개선할 수 있을 것으로 기대된다. 추후 다수의 DGPS 기준국 데이터 및 장시간의 데이터를 활용하여 다양한 무결성 파라미터에 대해 추가적으로 분석하고, 이에 따라 새로운 경고 기준값을 제시하여 경고 기준값에 대한 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 예상된다.

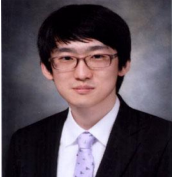
참고 문헌

- [1] RTCM Special committee No.104, RTCM Standard 10401.2 for Differential Navstar GPS Reference Stations and Integrity Monitors(RSIM), RTCM Paper 221-2006-SC104-STD, Arlington, Virginia, U.S.A., 2006.
- [2] W. S. Jang, "Korea differential GNSS technical development," *The Magazine of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 17, No. 1, pp. 43-49, Jan. 2013.
- [3] K. Y. Seo, W. S. Jang, Y. G. Kim, and S. H. Seo, "Development of DGNSS integrated software solution RSIM technology," in *Proceedings of the Korean Institute of Navigation and Port Research Conference*, Daejeon: Korea, pp. 341-342, Oct. 2012.
- [4] K. Y. Seo, S. H. Park, W. S. Jang, and Y. G. Kim, "Method for Detection and Identification of Satellite Anomaly Based on Pseudorange," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 22, No. 3, pp.328-333. June 2012.
- [5] E. D. Kaplan and C. J. Hegarty, *Understanding GPS: Principles and Applications*, 2nd ed. Boston, MA: artech House., ch. 8, pp.379-454, 2005.
- [6] L. R. Rabiner, "A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition," *Proceedings of IEEE*, Vol. 77, No. 2, pp.257-286, 1989.



최 용 권 (Yong Kwon Choi)

2012년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
2013년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 대학원 전자공학과 박사과정
1989년 10월 ~ 현재 : 해양수산부 국립해양측위정보원
※ 관심분야 : GNSS, DGNS, Jamming



이 주 현 (Ju Hyun Lee)

2011년 2월 : 충남대학교 전기정보통신공학부 (공학사)
2011년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 대학원 전자공학과 석박통합과정
※ 관심분야 : GNSS, 실내항법, Anti-Jamming



손 석 보 (Seok Bo Son)

1996년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학사), 1998년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
2002년 8월 : 충남대학교 전자공학과 (공학박사), 1998년 3월 ~ 현재: 넵코어스(주) 수석연구원
2006년 9월 ~ 현재 : 충북대학교 전자공학부 제어로봇공학과 겸임교수
※ 관심분야 : 재밍대응 시스템 설계, 의사위성 시스템 설계, 배열 안테나 설계, DGPS 시스템 설계



이 상 정 (Sang Jeong Lee)

1979년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학사), 1981년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1987년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 (공학박사), 1988년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 전기정보통신공학부 교수
2010년 11월 ~ 현재 : 국방위성항법특화 연구센터 센터장
※ 관심분야 : 강인제어, GNSS, 항법 및 산업제어