

해상육상통합 무선통신환경에서 오브컴 저궤도위성 AIS시스템 성능평가

준회원 문민우*, 김경성*, 정회원 이진석**, 종신회원 이연우*, 정회원 이성로*

Detection Probability Evaluation of ORCOMM LEO Satellite AIS for Maritime-Terrestrial Integrated Wireless Communications

Min-Woo Moon*, Kyung-Sung Kim* *Associate Members*, Jin Seok Lee** *Regular Member*,
Yeonwoo Lee*° *Lifelong Member*, Seong Ro Lee* *Regular Member*

요약

본 논문에서는 AIS의 기본 개념과 위성 AIS를 위한 고려사항, 위성 AIS의 적용에 따른 문제점과 성능 분석을 위한 예상 링크 값을 바탕으로 해상에서의 오브컴(ORCOMM) 위성의 AIS 성능분석을 수행하였다. 제안한 방식은 현재 제공되고 있는 오브컴 저궤도 위성을 이용하여 두 개의 swath width와 선박의 수에 따른 메시지 슬롯 할당과 reporting 간격을 고려한 메시지 충돌을 시뮬레이션 하였고, 해상 영역은 육상지국 및 해안에서 가까운 영역부터 먼 해상 영역으로 구분하여, 각 해상 영역에는 선박 A(속력 0-14 knots), 선박 B(속력 14-23 knots), 선박 C(속력 23 knots 이상)의 트래픽이 모두 존재 한다는 가정하에 시뮬레이션을 통해 성능 평가하였다. 그 결과 선박 수가 증가할수록 슬롯에 겹치는 메시지 수가 많았으며, 운항 속도별 reporting 간격의 경우 보고주기가 길수록, 선박 A의 트래픽이 높은 영역일수록 검출확률이 높아짐을 보였다.

Key Words : 해상육상통합, 무선통신, AIS, 오브컴, 위성AIS

ABSTRACT

In this paper, the feasibility of ORCOMM satellite-based automatic identification system (SAT-AIS) is evaluated in the context of ship AIS slot collision probability depending on reporting rate. We evaluate detection probability evaluation of ORCOMM satellite-based AIS considering link budget, SOTDMA protocol and satellite's swath width. The simulation determines the total number of vessels served by ORCOMM satellite according to satellite's swath width, AIS slot allocation and reporting rate. By simulation results, the ORCOMM satellite-based AIS slot collision is increased directly proportional to the total number of vessels and the more detection probability evaluation of ORCOMM satellite-based AIS degrader, the more sip AIS reporting rate shorter.

I. 서론

현재 해상에서 운영되고 있는 AIS(automatic iden-

tification system)는 국제기구의 결정에 따라 2000년 7월 1일부터 시행되었고 국제해사기구(IMO: International Maritime Organization) 항해안전소위원회

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임(2010-0028295). 또한, 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2009-0065836)

* 목포대학교 정보통신공학과 (ylee@mokpo.ac.kr), (° : 교신저자), ** 정보통신산업진흥원

논문번호 : KICS2011-02-105, 접수일자 : 2011년 2월 7일, 최종논문접수일자 : 2011년 7월 8일

(NAV) 제45차 회의 결과 AIS 탑재시기를 선박의 용도 및 크기별로 구분하여 적용하도록 변경하여 2002년 7월 1일 이후 신조선에는 모든 선박에 탑재하도록 하고 있다. 따라서 전 세계의 거의 모든 선박에 이 장치가 탑재되어야 함에 따라 장비와 기술에 관련된 시장이 상당히 크며 기술의 개발 및 장비의 생산이 관련 산업에 주는 영향이 지대하다고 볼 수 있다. 현재는 Rec. ITU-R M1371-2에서 정의된 AIS 표준 규격에 따라 VHF대역을 이용하여 AIS를 구현하고 있다¹⁾.

하지만 최근 몇 년 동안의 사고 발생을 보면 대형 유조선들의 기름 유출 사고로 인하여, 해양 환경에 대한 막대한 피해는 엄청난 경제적인 손실뿐만 아니라 사회적으로도 큰 충격을 주고 있다. 더욱이 해양 오염 사고의 엄청난 확산 범위는 항만 및 그 인접 해역뿐만 아니라 연안 수역을 넘어 먼 바다까지도 선박 교통 관리의 대상이 되어야 함을 보여 주고 있다. 현재 운용되고 있는 VHF 주파수대역 기반 AIS는 VHF 대역의 특성상 40nm 연안 수역에 국한되고 있다. 특히, 300톤급 대형선박의 경우에는 연안 수역보다는 국외 운항으로 통신운용범위의 확대가 요구되고 있으며, 유럽에서는 이미 FFI (Norwegian Defence Research Establishment)에서 2003년에 “4th IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation^[1]”이라는 위성을 이용한 방법의 발표와 2005년 2월 런던에서 COMSAR-9 회의에서 무선 통신 및 수색 구조 (COMSAR) 및 하위위원회에 기본 개념에 관해서 발표하였으며 이에 대한 검토가 IMO와 ITU 등의 국제 기구에서 이루어지고 있다²⁾. 이에 가까운 장래에 원거리 AIS에 대한 국제적인 표준화가 있을 것으로 예견됨에 따라 기술 개발 분석이 필요한 시점이다. 국내에서는 2001년부터 현재까지 AIS 기지국 및 운영국 구축사업을 통하여 전국 연안에 기지국 33개소, VTS 시스템에 연계 11개소 및 AIS 전국통합네트워크 구축을 완료하여 운영 중에 있으며 300톤급 이상의 AIS 장착선박 내/외항의 선박 현황을 보면 선박 척수는 2010년 7월 기준 1755척수이며 하루 평균 우리나라 해역의 운항 수는 2000여 척이 운항되고 있다. 국외의 스웨덴의 경우 가장 앞서 전국적인 육상기지국 38개를 설치하여 전국연안을 커버하고 있으며, 러시아는 국제 표준화가 이루어지기 전에 이미 AIS 트랜스폰더 (transponder)를 개발 및 설치하여 실험을 마친 경험을 가지고 있다.

이러한 시점에서 위성을 사용한 AIS 시스템에 대한 연구는 활발히 진행되고 있으며^{3,4)}, 현재 정지궤도 위성이나 저궤도 위성을 활용한 위성AIS시스템의 연

구와 이를 효율적인 해상안전시스템에 적용하기 위한 연구가 매우 중요하다. 현재 국내의 연안에 사용되고 있는 AIS시스템은 VHF 주파수 대역을 사용함에 따라 전송거리가 40nm로 제한되어 공간적인 제약사항이 항상 존재한다. 따라서 위성 AIS를 사용할 경우 이러한 문제점을 해결할 수 있을 것이며 40nm 이상의 연안에 위치한 선박들의 AIS 정보를 위성을 통하여 전송할 수 있을 것이다. 이러한 개념으로 참고문헌 [3]과 [4]에서도 유럽환경에서 자체 위성을 사용한 위성 AIS시스템을 연구하고 있고, 가능성을 제시하고 분석하였다.

따라서 본 논문에서는 국내에서 활용이 가능한 오브컴(ORBCOMM)을 고려하여 메시지 슬롯 할당에 관한 평가 분석과 선박 운항에 따른 메시지 전송을 평가 분석하였고, 시뮬레이션을 통하여 메시지 충돌수와 선박 운항 속도별 신호의 검출확률 성능을 평가하였다. 본 논문의 2장에서는 AIS시스템에 대하여 설명하고, 3장에서는 위성AIS시스템의 구성방식과 고려사항에 대해서 설명한다. 4장에서는 메시지 슬롯 할당과 운항 속도에 따른 검출 확률에 관한 성능평가를 위한 시뮬레이션 모델과 영역별로 다른 트래픽에 따른 결과에 대해서 설명하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. AIS 시스템

2.1 AIS 시스템 기본 개념 및 통신 방식

AIS는 디지털 VHF 트랜스폰더 시스템으로 탑재된 선박이 어느 해역을 항해중이든 장비는 자동으로 지속적인 모드로 운용된다. 즉, 선박과 선박 간(Ship-to-Ship), 선박과 육상의 센터 간(Ship-to-Shore)에 선박의 명세, 위치, 침로, 속도 등의 선박관련 정보와 항해 안전 정보들을 자동으로 교환하여 선박간의 충돌회피 또는 지상에서의 통항관제를 원활하게 하는 시스템이다. 전송프로토콜 방식은 그림 1처럼 SOTDMA(Self Organized TDMA) 전송 프로토콜을 사용한다.

이 방식은 하나의 기준시간 동안 육상국 및 모든 AIS탑재 선박들에게 시간슬롯(time slot)을 할당하는 방식이며, 주로 GPS시간을 사용하며 동일한 하나의 무선주파수 채널을 통하여 여러 가입자간에 상호 위치보고 등의 데이터 통신이 가능하다. 프레임길이는 60s이고, 한 프레임내에 2,250개의 시간슬롯으로 구성되며 한 시간슬롯은 26.6ms이다. 각 시간슬롯은 SOTDMA 전송프로토콜에 따라 각 선박에 할당되어지고, 각기 주어진 리포팅 간격(reporting interval)에 따라 주기적으로 AIS정보를 송신한다. 이때 통상적으로

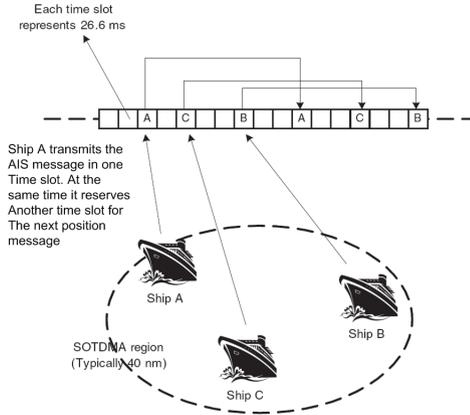


그림 1. SOTDMA 방식의 AIS 전송 프로토콜

40nm(nautical mile; 1해리=약 1.852Km) 영역내에 인접해 있는 다른 선박들은 이 AIS정보를 동시에 수신한다(그림 1참조). 이를 통해 근접해 있는 선박의 정보를 알 수 있다.

선박의 속도, 선속회전의 각속도 비율 등 항행조건에 따라 위치 리포트 간격(reporting interval)이 다르며, 송신을 위한 시간슬롯의 결정은 SOTDMA 전송 프로토콜에 따라서 결정한다. 그림 1에서 보인 바와 같이, 선박 A가 전송을 위하여 하나의 시간슬롯을 사용할 경우에는 리포팅 간격만큼 떨어져 있는 다음 위치에 미리 시간슬롯을 예약하는 방식이다. 따라서 SOTDMA 동일영역내에 있는 선박들은 인접해 있는 선박의 정보를 알 수 있고, 각기 다른 리포팅 간격으로 시간슬롯을 사용하고 예약하여 사용한다.

2.2 AIS 시스템 파라미터

AIS 모바일 기지국은 VHF 해상통신 이동주파수를 사용하여 12.5kHz나 25kHz 대역폭중의 하나를 선택하여 전송한다. VHF 채널은 161.975MHz와 162.025MHz 중의 하나에 선택적으로 사용한다. AIS 시스템에서 SOTDMA 서비스 커버리지는 12비트를 넘지 않는 경로지연(path delay)영역 이내이어야 하고 이는 최대 200nm정도이다. 그렇지만 일반적인 VHF를 사용하는 AIS 시스템은 약 40nm(80Km)이내의 영역으로 제한되어 사용되며 영역 안에서 SOTDMA를 사용하는 모든 선박들은 랜덤한 시간슬롯 선택으로 서로간의 충돌이 나지 않도록 조절되고 있다. 동일한 TDMA 프레임의 사용으로 상호 조율이 되고 있는 영역을 SOTDMA 셀(cell)이라 하고, 이러한 셀들은 지리적으로 중첩되어 있는 특성으로 선박들은 두 개의 인접한 SOTDMA 셀 내에서 메시지를 전송하게 된다.

ITU-R M.1371-2 표준에 따라 각 프레임은 2250개의 시간슬롯으로 구성되고, 두 개의 가능한 VHF 주파수 중에서 선택적으로 선택하여 데이터 버스트를 전송하게 된다. 데이터 전송률은 9600bps이고, 변조방식은 GMSK(Gaussian Minimum Shift Keying) 방식이다. 대역폭-시간 주기(bandwidth-time product: BT) 값은 0.5이고, 신호의 3-dB 대역폭은 4.8kHz이다. 또한 IALA에서 정의한 최소 요구 C/I (Carrier-to-Interference ratio)는 10dB이고, 표 1에 AIS 프로토콜 파라미터를 정의하였다.

데이터 전송은 HDLC(high-level data link control)에 기반한 프로토콜을 사용하여 수행한다. 데이터는 그림 2에 보인 바와 같은 전송 패킷 포맷을 사용하여 전송한다. 정의된 패킷 길이는 256비트이다. 트레이닝 시퀀스는 VHF 수신기와 동기화하는 데 사용되고, 비트의 패턴은 '0'과 '1'을 선택적으로 바꾼 형태(01010101...)로 24비트를 사용한다. 버퍼(buffer)는 통상적으로 24비트 길이를 사용한다.

데이터 전송 매디엄에 접속할 수 있는 방식은 4가지 방식 중에서 SOTDMA 방식이 기본 접속방식으로 사용되어 시간슬롯 할당 시 충돌의 문제를 해결한다.

표 1. AIS 프로토콜 파라미터

AIS 파라미터	값
Multiple Access Method	SOTDMA
TDMA 프레임 길이	60s
TDMA 프레임내 시간슬롯 수	2250
시간슬롯 길이	26.7ms; 256 bis
메시지 갱신율	2s ~ 6min
운용 주파수대	channel1 : 161.975MHz channel2 : 162.025MHz
채널 대역폭	25kHz
변조방식	9.6kbps GMSK NRZI
변조지수	0.5
전송 전력	12.5W
안테나 타입	1/2 다이폴, 5/8λ 모노폴
수신기 민감도	20% 패킷에러에 대해서 -107dBm이상
전송지연 버퍼	12 bits
C/I 임계치	10dB



그림 2. AIS 패킷 포맷(packet format)

그림 3은 이러한 SOTDMA의 액세스 슬롯 맵을 보였다.

파워가 켜지는 순간 AIS기지국은 1분 주기로 TDMA 채널을 모니터링한다. 모니터링을 통하여, 채널의 활성화 상태(channel activity), 다른 선박의 ID, 현재 할당된 슬롯 및 선박의 위치를 결정한다. 그런 후, 선박은 전송을 위한 첫 번째 시간슬롯(NSS: nominal start slot)을 현재 시간슬롯과 NI(nominal increment) 슬롯 사이에서 랜덤하게 결정한다.

그림 3에서 NSS_A 는 A채널에 대한 NSS할당을 의미한다. NS(nominal slot)는 리포트 전송을 위해 선택되어진 슬롯들의 중심 기준으로 사용된다. NS는 식 (1)과 같이 주어진다.

$$NS = NSS + nNI, (0 < n < R_r) \quad (1)$$

여기서, n 은 정수이고, R_r 은 위치 보고율(report rate)로서 프레임마다 위치보고(position report)하는 수이다. 기지국이 프레임당 한번보다 적은 보고수를 갖는다면 ITDMA방식을 사용하고, 그렇지 않으면 SOTDMA방식을 사용한다. SI(Selection interval)은 위치보고의 후보가 될 수 있는 슬롯들의 집합으로서 NS주변의 중심에 있다. 식 (2)를 사용하여 구한다.

$$SI = \{SI_{LOW} = NS - 0.1NI, SI_{HIGH} = NS + 0.1NI\} \quad (2)$$

NTS(nominal transmission slot)은 SI값내에서 현재 데이터 전송을 위해 사용되는 슬롯이고, SI 사이에서 랜덤하게 선택되어진다.

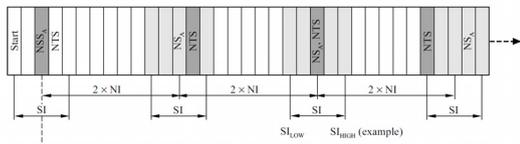


그림 3. SOTDMA를 사용하여 액세스하는 슬롯 맵

III. 위성AIS 시스템

3.1 위성AIS 시스템 방식

위성에 의한 통신시스템은 근본적으로 글로벌 커버리지를 제공하기 때문에 해상 감시(maritime surveillance)에 활용도가 매우 높다. 이러한 개념으로 참고 문헌 [2]에서와 같이 저궤도 위성을 사용한 AIS시스템을 고려하게 되었다. 통상적으로 저궤도 위성의 고

도가 1000Km이고, AIS 최대 전송전력이 12.5W 이상이 되지 않는 위성시스템이 연구고려 대상이다. 이러한 적용가능성은 위성과 선박AIS 시스템간의 링크 버짓(link budget) 연구결과이다^[5].

위성AIS 방식은 기본적인 AIS 시스템의 채널과 SOTDMA 방식을 기반으로 하며 위성 기반 AIS 수신기는 양쪽 AIS 채널에 동시에 수신할 수 있으며 AIS 기지국 통신 범위 내 영역의 선박으로 영역 내 시간 할당으로 전송이 겹치는 것을 피하기 위해 조직화 되어 있다. 그림 4에서는 swath내에 조직 영역(organized area, 큰 원 속에 작은 원에 조직적인 영역)의 메시지 슬롯 전송을 개념도로 나타낸 것이다. 지구상에서 수신 지역으로 각각의 조직적인 영역에서 메시지 슬롯을 전송하게 되어 있다. 시간 슬롯의 할당은 선박 운항 속도에 따라 reporting 간격이 다르게 할당된다. AIS 메시지의 전송은 UTC(universal time Coordinated)로 동기화 되고 슬롯의 위치는 조직 영역 내에서 조정된다고 가정한다.

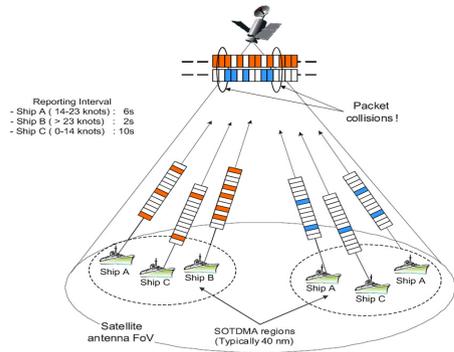


그림 4. 저궤도 위성의 swath폭과 조직영역 및 위성궤도에 따른 변화를 나타낸 개념도

3.2 위성 AIS궤도에 대한 고려사항

성능분석을 위해 고려해야 하는 위성 AIS궤도 고려사항은 다음과 같다. 안테나의 범위 각도 $I=98^\circ$ 와 각 위성들의 고도와 단일의 저궤도 위성으로 가정한다. 그림 5는 간략화한 것으로 선박의 테카르트 좌표 시스템과 위성을 정의하였다.

그림 5를 가정하면 지구의 표면에 선박의 위치는 위도 L_{ship} 과 경도 l_{ship} 로 얻을 수 있으며 주어진 시간의 하위 위성 포인트는 L_{sat} , l_{sat} 이며 γ 는 식 (3)과 같다.

$$\cos(\gamma) = \cos(L_{ship})\cos(L_{sat})\cos(l_{ship} - l_{sat}) + \sin(L_{ship})\sin(L_{sat}) \quad (3)$$

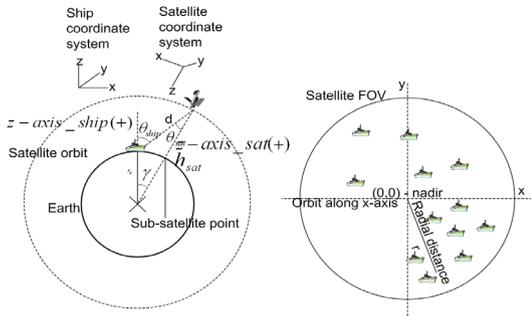


그림 5. 위성 AIS의 개념 및 단일 FoV의 시뮬레이션을 위한 설정

지역 지평선(local horizon)의 고도는 h_{sat} 이며, 지역 지평선의 최하점으로부터 지면의 반경범위는 식 (4)와 같다.

$$r_{horizon} = \gamma r_e = \arccos\left(\frac{r_e}{r_e + h_{km}}\right) \cdot r_e \quad (4)$$

이며, r_e 는 지구의 반지름이며 h 는 위성의 고도이다. swath width(SW)는 $2 \cdot r_{horizon}$ 이며 위성을 위한 최대 고도 각도는 식 (5)와 같다.

$$\theta_{sat_{max}} = \theta_{ship} - \gamma_{max} \quad (5)$$

그림 5는 AIS 환경을 나타낸 것으로 관찰된 위성 포인트와 위성좌표 시스템의 정의를 사용하였다. 큰 원은 위성 FoV이며 선박의 하위 위성 포인트로부터 방사상의 거리는 지표 범위 거리 r 의 정의이며 이 때 좌표 시스템 정의로 위성 궤도 운동은 FoV 내에 y 방향으로 가정한다.

3.3 링크 버짓 계산

선박 송신기는 half-wave 쌍극자(bipolar) 안테나로 가정하였으며 z-방향에 half-wave 쌍극자 안테나 유도를 위한 방사선 모양은 식 (6)과 같다^[6].

$$f_{sat}(\theta, \phi) = \frac{\cos[(\pi/2)\cos\theta]}{\sin^2\theta} \quad (6)$$

방위각도 ϕ 는 독립적이며 또한 안테나는 수직으로 양극화가 된다. 그러므로 선박 안테나를 위한 최대 이득은 2.15dB로 볼 수 있다. 경로 손실은 여유 공간 소스의 전송, 방사선 모양 $G(\theta, \phi)$ 을 위한 것과 모든 전력 P_t 의 방사선, (θ_0, ϕ_0) 의 방향 이득 소스로부터의

거리 R , 자속 밀도 교차에 이득 등을 고려한 것이다^[7].

$$F = \frac{P_t G(\theta, \phi)}{4\pi R^2} \quad (7)$$

여기서 $1/4\pi R^2$ 은 경로 손실률로 이 때 R 은 전송 소스로부터의 거리이다. 대기의 감쇠의 경우 산소, 수증기, 비 그리고 상당한 주파수가 1GHz보다 위이기 때문에 VHF 주파수에 감쇠는 0.05이하로 측정되기 때문에 고려하지 않는다. 위성안테나는 등방성 복사 안테나로 가정하였으며 복사 형태는 모든 방향을 위해 $f_{sat}(\theta, \phi)=1$ 를 가지며 지향성은 $D_{sat}(\theta, \phi)=0$ 을 가진 것으로 가정한다.

IV. 시뮬레이션 성능분석

4.1 이론적 검출확률 성능분석 모델

본 논문에서 이론적 검출확률 성능분석을 위해 위성 커버리지 지역 내의 특정 선박에 대한 검출확률의 이론 식의 결과는 아래 식과 같다^[3].

$$P = 1 - \left[1 - \left(1 - \frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T} \right)^{M-1} \right]^{\frac{T_{obs}}{\Delta T}} \quad (9)$$

여기서 N 은 FoV내에서 총 선박의 수, M 은 조직영역의 수, ΔT 는 reporting 간격, T_{obs} 는 위성 관측시간이다.

본 논문에서는 non-AIS시스템으로 분류되는 class B방식은 포함하지 않으며 class A 선박을 대상으로 성능 평가를 하였으며, 표 2의 Class A의 운항에 따른 보고간격(reporting interval) 중에서 속력 0~14 knots에 해당하는 2s, 속력 14~23 knots에 해당하는 6s, 23

표 2. Class A 해상운송 모바일 장비의 보고 간격^[1]

선박의 동적인 상황	Reporting Interval
Ship at anchor or moored and not moving faster than 3 knots	3min
Ship at anchor or moored and moving faster than 3 knots	10s
속력 0-14 knots	10s
속력 0-14 knots, 변침시	3 1/3s
속력 14-23 knots	6s
속력 14-23 knots, 변침시	2s
속력 23 knots 이상	2s
속력 23 knots 이상, 변침시	2s

knots 이상인 10s로 각각 가정하였다. 이것은 통상적인 배의 평균속도를 가정한 것이다. 따라서 식 (9)에서 $\Delta T=2s, 6s, 10s$ 이고, T_{obs} 는 고려하는 위성에 따라 다르게 설정된다.

4.2 시뮬레이션 시스템 모델

본 논문에서 고려하는 저궤도 위성시스템은 오브컴 시스템이다. 위성시스템에 대한 가정한 링크파라미터 값은 다음 표 3과 같다. 표 3에서 사용된 예상 링크파라미터 값들은 저궤도 위성기반의 AIS시스템의 메시지 슬롯 충돌과 reporting 간격간의 검출확률을 평가하기 위한 시뮬레이션 파라미터로 사용되었다.

표 3에서 마진 감도 C/R_s 는 위성의 swath의 가장자리 근처의 선박을 위하여 7dB로 가정하였으며 수신기 감도는 오브컴에서 제공하는 위성관련 자료를 참고하여 -116dBm로 가정하였다. 또한 오브컴의 위성은 29개의 저궤도 위성으로 구성되며, 고도가 $h_{sat} = 825\text{Km}$ 이다. 2008년에 6개의 위성이 추가로 배치되어 AIS서비스를 포함한다.

가정한 위성시스템모델은 단일 위성을 고려하였으며, 고도에 따른 계산식으로 swath width를 결정하며 메시지 충돌에 관한 슬롯 할당은 900, 1500척의 선박수로 하였으며 이는 계산식에 따라 검출확률이 높은 값을 보이는 선박수와 가장 급격한 하락 값을 보이는 선박수를 기준으로 하였다. 운항 속도에 따른 검출확률은 300개 단위로 선박수를 증가시키면서 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션은 Matlab을 사용하여 구현하였다. 선박의 위치는 uniform 분포를 사용하여 일정하게 분포시켰다. 조직영역에 선박들은 독립적으로 전송하며 조직적인 범위의 크기는 $40\text{nm} \times 40\text{nm}$ 의 정사각형 영역으로 가정하며, 밀집된 선박영역에 대한 검출확률 성능을 평가하였다. 선박의 최대 신호대 간섭비율은 $C/I=10\text{dB}$ 로 가정하여 높은 신호에 의한 간섭은 배제하였다. AIS 표준규격에 따라 데이터 전

표 3. 공통적인 링크파라미터 값

파라미터	값
선박 안테나 이득	$G_{ship}(\theta, \phi)$ 2 dB
162MHz의 여유 공간 경로 손실	$L_p(r)$ -145 dB
대기의 감쇠	L_a 0 dB
편극 손실	L_{pol} -3 dB
위성 안테나 이득	$G_{sat}(\theta, \phi)$ 0 dB
위성 수신기 전력	P_r -105 dBm
마진 감도	C/R_s 7 dB
위성고도	h_{sat} 825 Km

송률을 9600bps로 설정하였다. 표 4에서는 이론적 검출확률 계산과 Matlab을 사용한 시뮬레이션 검출확률 평가를 위해 가정한 파라미터 값이다.

표 4. 이론적 검출확률 계산과 시뮬레이션 메시지 충돌 슬롯을 평가하기 위한 파라미터 값

파라미터	값
총 선박의 수	N 300~1800 (300개씩 증가)
Swath width (SW)	오브컴 1025nm, 1660nm, 2700nm
조직영역	M Swath width/40
조직영역 사이즈	- 40nm×40nm
Reporting 간격	ΔT 2s, 6s, 10s

4.3 속력 23 knots 이상의 선박에 따른 메시지 충돌 및 검출 확률 분석결과

오브컴 위성의 고도의 경로 길이에 지역 지평선의 최하점으로부터 지면의 반경범위인 식 (4)을 사용하여 계산된 1663.4nm 값 그리고 swath width는 이 값의 두 배로 약 3326.8nm으로 계산되지만 오브컴에서 제공하는 위성의 최대 커버리지는 5000km로 해리로는 약 2700nm가 된다. 이에 시뮬레이션에서는 1660nm, 2700nm에 대하여 성능을 평가하였다.

그림 6은 표 2에서 선박의 속력 23 knots 이상의 swath width에 따른 오브컴 위성의 검출 확률 성능평가 결과이다. 그림에서 실선(SW=1660nm, simulation, SW= 2700 nm, simulation)은 Matlab시뮬레이션에 의한 검출확률 평가결과이고, 점선(SW=1025nm, theoretical, SW=1660nm, theoretical, SW=2700nm, theoretical)은 이론적 검출확률에 의한 계산 값이다.

그림 7에서 알 수 있듯이 조직적인 영역의 수와 swath 폭과 상관없이 900척의 선박에서는 시뮬레이션

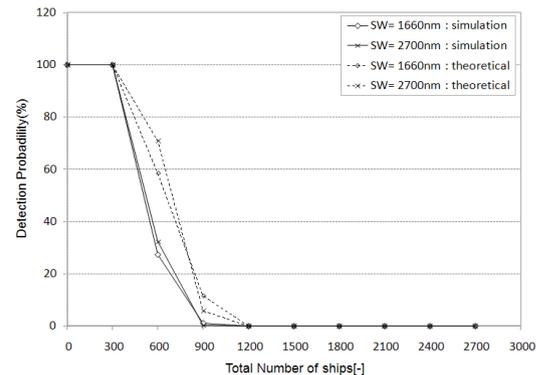


그림 6. 선박의 속력이 23 knots 이상인 swath width에 따른 검출확률 결과

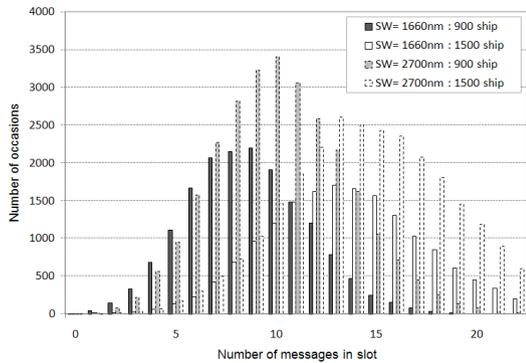


그림 7. 선박의 속력이 23 knots 이상인 swath width와 선박 수에 따른 메시지 충돌 슬롯 결과

이나 이론 계산값 모두 90% 이상이 검출되어 성공적으로 전송이 가능하다는 결과를 얻었다. Swath width가 1025nm와 2700nm의 경우에 시뮬레이션 결과는 1200척에서도 80% 정도의 높은 검출확률로 약 950척 이상의 선박을 검출할 수 있다는 결론을 얻었다. 그렇지만, 이론적 계산결과에 비해 20%로 떨어지는 결과를 보였다. 선박의 수가 1200척 이상부터는 swath width 모두 시뮬레이션 결과와 이론분석에 의한 검출 확률 결과가 급격히 떨어졌으며, 2700nm의 경우 다른 swath width보다 하락이 더 심했으며 1600척에 이르러서는 시뮬레이션 검출확률 결과가 30%미만의 결과를 보였다. 따라서 선박 수가 많아질수록 시뮬레이션과 이론 계산결과에서 알 수 있듯이 시간슬롯간의 충돌이 대부분의 슬롯에서 발생하여 검출확률이 떨어지는 것으로 보인다. 특히, 1500 선박의 경우 30% 정도 AIS 전송이 성공한 경우 480척의 선박이 검출된 것으로 판단되므로, 이러한 경우에는 선박을 포함하는 조적영역의 사이즈를 감소시킬 필요가 있다.

4.4 6s의 reporting 간격에 따른 메시지 충돌 및 검출 확률 분석결과

LEO-one 위성도 마찬가지로 고도의 경로 길이에 식 (8)의 오차범위를 계산한 1150nm(950+Eq(8))와 지역 지평선의 최하점으로부터 지면에 반경범위 식 (4)로 계산된 1772nm 그리고 swath width는 이 값의 두 배로 약 3544nm으로 계산하였다. 이에 시뮬레이션에서는 1150nm, 1770nm, 3540nm에 대하여 성능을 평가하였다.

아래 그림 8은 swath 폭에 따른 LEO one 위성에 성능평가 결과이다. 그림에서 실선은 Matlab 시뮬레이션에 의한 검출확률 평가결과이고, 점선은 이론적 검출확률에 의한 계산 값이다.

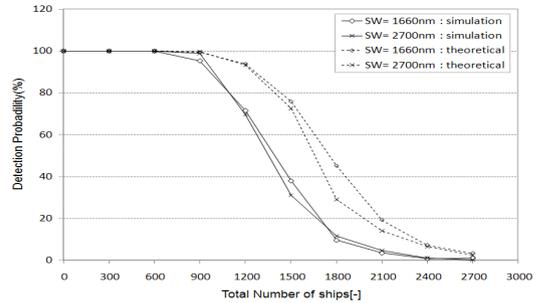


그림 8. LEO-one 저궤도 위성의 swath width에 따른 위성

그림 9에서 알 수 있듯이 Leo one 위성의 경우 1200척에서 이론적으로는 90% 이상의 검출확률이지만 시뮬레이션 결과를 보면 swath width 모두 80%미만의 결과를 보였다. 이는 이론값보다 약 20%의 차이를 보이는 것으로 선박 수로는 평균 830척으로 이론적인 검출 확률보다 떨어짐을 보였다. 1770nm의 경우 1200척에서는 검출확률이 60%로 이론 계산값과 35%의 차이를 보였으며 다른 swath width도 마찬가지로 크게 차이를 보였다.

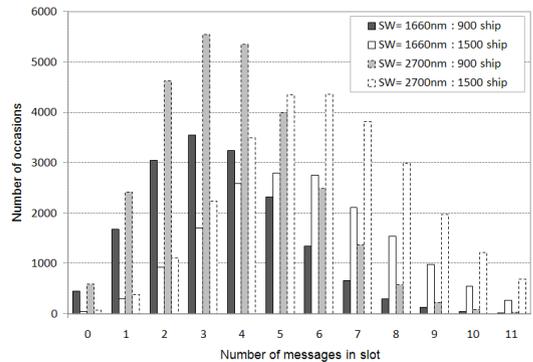


그림 9. LEO-one 저궤도 위성의 swath width에 따른 위성 AIS 검출확률 비교 평가결과

4.5 10s의 reporting 간격에 따른 메시지 충돌 및 검출 확률 분석결과

그림 10은 각각 오브컴 위성의 swath 폭의 검출 확률과 LEO one 위성의 swath 폭의 검출 확률을 비교하였다.

그림 11을 보면 알 수 있듯이 900척까지는 차이를 보이지 않았지만 1200척에서부터 LEO one 위성의 급격한 검출 확률의 하락으로 20% 이상 차이를 보였다. 1500척에서는 약 40%의 급격히 하락하였다. 1500척에서 가장 좋은 검출 확률을 비교하였을 때의 선박 수는 오브컴 위성의 검출된 선박이 LEO one 위성의

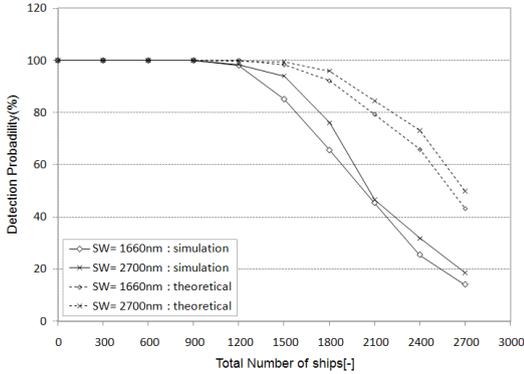


그림 10. 오브컴 위성과 LEO one 위성의 성능 평가 비교

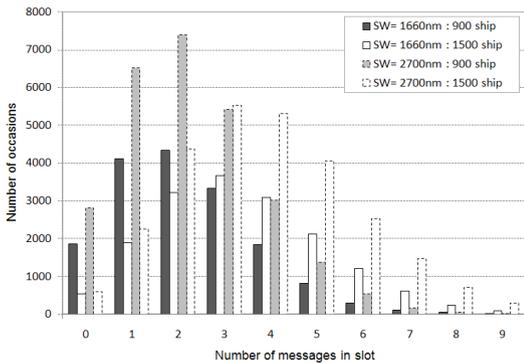


그림 11. 오브컴 위성과 LEO one 위성의 성능 평가 비교

검출한 선박보다 120여척정도 많았으며 검출확률로는 약 10%정도 차이가 남을 알 수 있다.

특이점으로는 LEO one의 3540nm에 경우 더 좁은 swath width보다 좋은 검출 확률을 보였다. 이는 길어진 관측 시간에 따른 슬롯 할당 기회가 많아짐으로 인한 것으로 판단되며 이는 선박이 많아질수록 급격한 하락을 보여주기 때문이다. 한국의 선박 운항 통계를 보면 하루 평균 운항되는 선박은 2천여 척으로 성능 평가 결과 값과 비교하였을 때 두 개의 위성 모두 가능성이 보였다. 하지만 한국의 해상환경과 향후 중소형 선박을 포함하는 위성 AIS를 고려하였을 때 LEO one 위성보다 오브컴 위성을 고려하였을 때에 가능성이 더 높음을 성능 평가로 알 수 있었다.

4.6 해상 영역별 트래픽 환경에 따른 검출확률 분석

위성을 사용한 AIS 시스템은 운용 범위가 확장되고, 확장된 해상 영역에 대한 AIS 시스템 성능 평가를 위하여 그림 12와 같이 해상 영역들을 네 가지의 경우로 가정하고, 표 5의 트래픽의 비율로 시뮬레이션하여

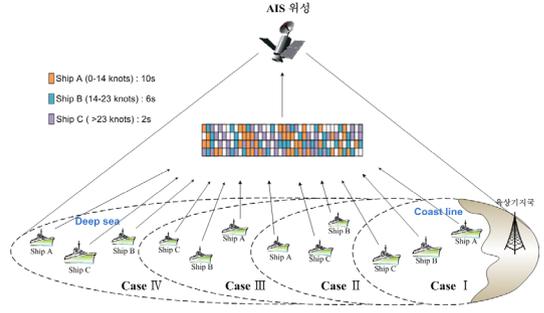


그림 12. 해상 영역 별 트래픽 환경

표 5. 해상 영역 별 트래픽 분포 (%)

	선박 A (0-14knots)	선박 B (14-23knots)	선박 C (23knots이상)
Case I	65	25	10
Case II	50	35	15
Case III	35	45	20
Case IV	20	55	25

검출확률을 평가하였다. 그림 12와 같은 환경을 근거로 하여 표 5의 해상 영역 별 트래픽 분포를 나타낼 수 있는데, 표 5는 참고문헌 [3]를 참고로 하여 국내환경에 맞게 가정하였다. Case I은 해안에서 가장 가까운 해상 영역으로 선박 A의 트래픽 비율이 가장 높고, 선박 B와 선박 C의 트래픽 비율은 낮다. Case IV는 가장 먼 해상 영역으로 선박 A의 트래픽 비율이 가장 낮고 선박 B의 트래픽 비율이 가장 높다.

시뮬레이션 결과 각각의 Case별로는 위성의 swath width에 따른 검출확률성능변화는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 대표적으로 Case I에 대한 검출확률결과를 그림 13에 보였다. Case I은 육상 기지국 및 해안에서 가장 가까운 영역으로 선박 A의 트래픽이 가장 많고, 선박 B와 선박 C의 트래픽이 적은 경우이다.

검출확률 결과 swath width가 1660nm인 경우와 2700nm인 경우 모두 1200척의 선박까지 80%이상의

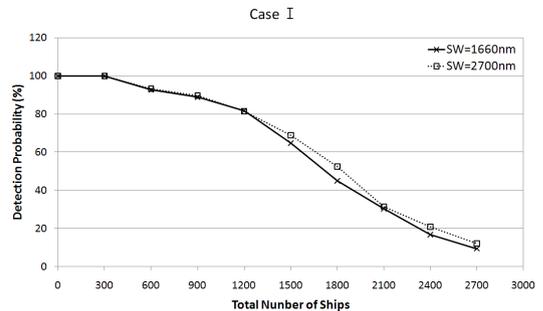


그림 13. Case I의 swath width에 따른 검출확률

검출확률, 1500척의 선박에서 60%이상의 검출확률, 1800척의 선박에서 40%이상의 검출확률, 1800척 이상의 선박에서 40% 이하의 검출확률 결과를 보이고, Swath width가 1660nm일 때보다 2700nm 일 때 더 높은 검출확률 결과를 나타낸다. 선박의 수가 증가할수록 검출확률이 떨어지지만 선박 B와 선박 C의 트래픽이 적기 때문에 1200척의 선박까지 높은 검출확률을 보이며, 검출확률이 서서히 떨어지는 결과를 갖는다. 검출확률 80%를 기준으로 1200척의 선박을 검출하였다.

다른 Case의 경우에도 그림 13과 유사한 결과를 도출할 수 있으므로 통합적인 검출결과를 통하여 분석하는 것이 의미가 있으므로 이에 대한 검출확률 결과를 그림 14에 보였다. 그림 14는 swath width가 1660nm인 경우 각 영역에 대한 검출확률을 비교한 결과이다.

그림 14에서 검출확률 80%를 기준으로 Case I과 Case II를 비교해보면 Case I이 1200척의 선박에서 80%이상의 검출확률을 보인 반면 Case II는 900척 이상의 선박에서 80% 이상의 검출확률 결과를 보인다. 선박 A의 트래픽이 줄어들고 선박 B의 트래픽이 늘어날수록 검출확률이 낮아지는 것을 알 수 있다. 또한, 검출확률 80%를 기준으로 Case I과 Case III를 비교하였을 때, Case I은 1200척의 선박을 검출하였고, Case III는 600척의 선박을 검출하여 약 2배의 차이를 나타낸다. 마지막으로 80%의 검출확률을 기준으로 Case IV를 Case I과 비교하면 Case I은 1200척의 선박에서 80% 이상의 검출확률을 보인 반면 Case IV는 600척 이상의 선박에서 80% 이상의 검출확률 결과를 보이며 약 2배의 차이를 나타낸다.

종합해보면, 80%의 검출확률을 기준으로 Case I의 검출된 선박 수는 약 1200척, Case II 약 1000척, Case III 약 800척, Case IV는 약 650척이다. 모든 경

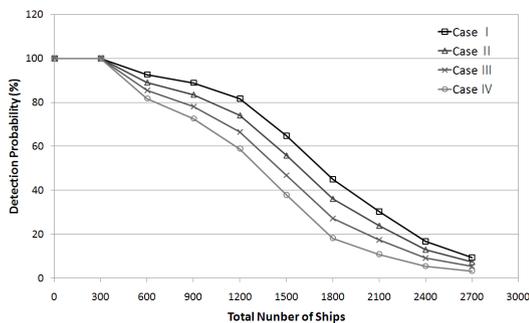


그림 14. swath width가 1660nm인 경우 Case 별 검출확률

우 선박의 수가 증가할수록 검출확률이 떨어지며, 특히 1200척에서 1800척의 선박 사이에서 검출확률이 급격히 떨어지는 결과를 나타낸다. 모든 선박 수에 대해 Case I이 평균적으로 가장 높은 검출확률 결과를 나타내고, Case IV가 가장 낮은 검출확률 결과를 보였다.

V. 결 론

본 논문에서는 AIS 무선 통신 방식으로 오브컴과 LEO one에서 제공하는 위성을 이용한 AIS 방식의 검출 확률 성능 평가 결과 오브 컴의 경우 1200척까지 80%이상의 좋은 결과를 보였다. 또한, 육상기지국 및 해안에서 가장 가까운 곳부터 아주 먼 해상 영역까지 네 가지 영역으로 구분하고, 해상 영역별 트래픽 환경에 대한 선박 검출 확률 평가하여 해안에서 가까운 영역일수록, 선박 A의 트래픽이 선박 B와 선박 C의 트래픽에 비해 많을수록, 특히 선박 A의 트래픽 비율이 더 높은 영역일수록 검출되는 선박의 수가 많아지는 결과를 보였다.

위와 같은 결과로 연안에서의 한정된 영역이 아닌 위성을 이용한 AIS 무선통신 방식을 이용한 커버리지의 확대 가능성을 위성 AIS 무선통신을 통하여 확인하였다. 따라서 향후 연구에서는 조직적인 영역에서의 독립적인 메시지 전송으로 생기는 동시 도착에 따른 간섭에 관한 연구와 연안에서의 기지국과 위성간의 할당 방법에 관한 연구를 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] ITU, "Technical characteristics for a universal shipborne automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile band," Recommendation ITU-R M.1371-2, 2006.
- [2] T. Wahl, G. Høye, "New Possible Roles of Small Satellites in Maritime Surveillance," Acta Astronautica, Vol.56, No.1-2, pp.273-277, 2005
- [3] Gudrun K. HZye., Torkild Eriksen, Bente J. Meland, BjZrn T. Narheim, "Space-based AIS for global maritime traffic monitoring", Norwegian Defence Research Establishment (FFI), 2008, p.240.
- [4] Torkild Eriksen, Gudrun HZye, BjZrn Narheim, Bente JenslZkken Meland, "Maritime traffic

