

e네비게이션을 위한 전파항법 발전방향

† 채종국* · 정경규*

† 국토해양부 위성항법중앙사무소, *국토해양부 해양교통시설과

요약 : IMO, IALA는 e네비게이션 구현을 위한 미래 GNSS 시스템 요구조건으로서 보다 높은 정확도와 무결성, 백업 항법 등을 요구하고 있으며, 해외 동향 및 기술검토를 통해 국내 해양 전파항법 발전 방향을 제시하고자 한다.

핵심용어 : e네비게이션, 전파항법, eLoran, M-GBAS, 무결성

목 차

1. e네비게이션 항법 요구사항
2. MGBAS
3. eLoran 기술 동향
4. GAARDIAN 프로젝트
5. 결론

1-1 e네비게이션 항법 요구사항

- ☞ 위치 정밀도의 향상
 - 미래 GNSS 시스템 요구조건을 규정한 IMO A.915(22)는 현재 사용중인 장비가 충족시킬 수 없음
 - 신규 적용분야로는 수로측량, 항만운영, 선박정박, 항로표지 관리 등
- ☞ 무결성 강화
 - 인위적, 자연적 전파방해에 대한 대비 필요
 - 전파간섭, 멀티패스, 복현의 재밍, 태양폭발에 의한 전리층 교란, 화산폭발 등
- ☞ 대체(백업) 항법의 필요
 - GNSS 사용 중단 시 지속적으로 이용 가능한 또 다른 PNT 기술 필요
 - 안전항법의 대두

2-1 M-GBAS 출현 모티브

- IMO A.915(미래 GNSS 시스템 요구조건을 규정) 성능을 만족하지 못하고 있음

IMO Vision & IMO E-Navigation Strategy

IMO A.915(22) Requirements on future GNSS

GNSS is one of the E-Nav core elements!

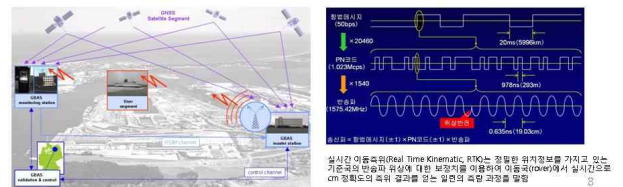
	System Level Parameters				Service Level Parameters			PNT Integ. (S)
	Absolute Accuracy Horizontal (m)	Alert Limit (s)	Integrity Time to Alert (min)	Integrity Risk (per 10 ⁹)	Availability (Per cent of time)	Continuity (Per cent of time)	Coverage	
Ocean	10	25	10	10 ⁻⁷	99.9	99.9	global	1
Coastal	10	25	10	10 ⁻⁷	99.9	99.9	global	1
Port approach and identification	10	25	10	10 ⁻⁷	99.9	99.97	regional	1
Port	1	2.5	10	10 ⁻⁷	99.9	99.97	local	1
Automatic Docking	0.1	0.25	10	10 ⁻⁷	99.9	99.97	local	1

IALA R-135 Demand on modernized DGNS

시스템	정확도	이용범위	무결성 /서비스 연속성	공급자 비용	이용자 비용	해당용 표준
IALA DGNS	1-3m	지역/정박	예/높음	보통	낮음	있음
SBAS	1-3m	광역/전 세계	예/높음	매우 높음	낮음	없음
ALS*	1-3m	지역	예/보통	낮음	낮음	있음
위시위성	1m 미만	지역	예/보통	높음	보통	없음
eLoran	1-3m	광역	예/높음	낮음**	보통	있음
RTK	1m 미만	지역	X/낮음	보통	높음	없음

2-2 M-GBAS 목표

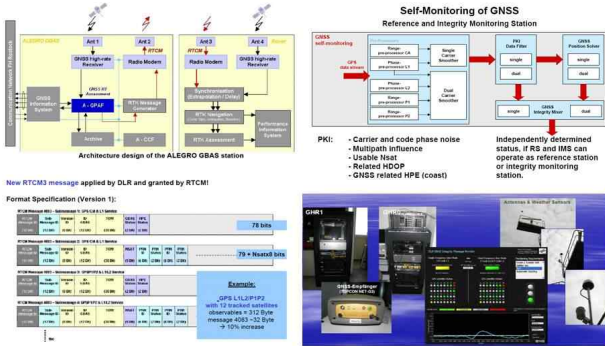
- 실시간으로 전 항만에서 고속으로 10cm 이내에 정밀하고 안정적인 위치 서비스 제공
- GNSS 응용 프로그램을 통한 선박 제어 시스템의 자동화
- 상품 복잡수송의 자동화
- 모든 운영 조건 하에서 시간과 비용을 절감뿐만 아니라 사용자의 보안 증대



† 교신저자 : 채종국(비회원) cjk202@korea.kr 063)322-3415

* 정경규(비회원) kgjeong@korea.kr 02)2110-8604

2-3 M-GBAS 시스템 구성



New RTCM3 message applied by DLR and granted by RTCM

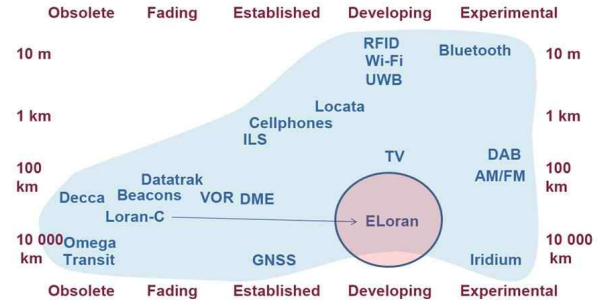
Format Specification (Version 1)

Message ID	Message Name	Message Length (bits)	Message Rate (Hz)
78	RTCM3 Message	78 bits	1 Hz
79	RTCM3 Message	79 + Header bits	1 Hz

Examples: GPS L1C/A P1P2 with 10 tracks satellites observations = 112 Bps message 663 ~ 32 Bps → 10% increase

3-1 무선항법 기술 동향

Fundamentals of Positioning and Navigation The Radio Positioning Technologies



3-2 eLoran 기술 목표 / (eLoran 요구조건)

Loran-C 와 eLoran의 비교표

FAA 2002 "심사위원회" 요구조건

	정확성	가용성	무결성	연속성
Loran-C 능력의 한계* (US FRP)	0.25 nm (463 m)	0.997	10 second alarm/ 25 m error	0.997
FAA 비정밀접근(RNP 0.3)** 요건	0.16 nm (307 m)	0.999 - 0.9999	0.99999999 (1 x 10 ⁻⁷)	0.999 - 0.9999 over 150 sec
미 해안경비대 광안정장 접근 요건	0.004 - 0.01 nm (8 - 20 m)	0.997 - 0.999	10 second alarm/ 25 m error (3 x 10 ⁻⁹)	0.9985 - 0.9997 over 3 hours

* 계층 1의 시각 동기 및 주파수 능력을 포함
** 비정밀 접근 광범형성요건

3-3 eLORAN 서비스 목표

eLoran 서비스 특징

- 국제적으로 표준화된 PNT(위치, 항법, 타이밍) 서비스로서의 광범위하게 활용 가능
- GNSS와는 서로 독립되고 상호보완적으로 이용 가능
- PNT 이용자들은 위성 서비스가 중단되어도 GNSS의 경제적 이익, 방위, 안전을 유지
- 정밀성, 유효성, 무결성, 연속성이 국제적인 성능조건을 만족

해상

- GNSS 단독으로는 신뢰성과 유효성을 보증할 수가 없기 때문에 GNSS와 e-Loran이 독립적으로 운용이 될 때, e-Navigation을 가능
- 선박자동식별장치(AIS)와 동기화된 등화장치(등대, 등부표 등)에서도 유용
- 선박의 입항과 접근(HEA) 만족

항공

- 항공기의 이륙, 항공로, 접근, 착륙단계에서 비행운용을 지원
- 엄격한 요구조건을 가진 항법운용에 있어서의 비 정밀접근(RNP) 0.3 성능을 만족

육상 및 기타

- 차량용 이동통신 항법, 위치기반서비스(LSB), 정밀한 시간과 주파수 사용자들
- ※ 저주파(파장 3km), 고출력(50KW이상) 특징으로 전파방해(jamming)에 더 강함

3-4 eLoran의 ASF

Phase Factor : 전파 신호전달속도가 이론적 속도와 실제 속도의 차이로 인한 오차보정 계수

1차 보정 PF(Primary Phase Factor) : 대기 중에서의 전파전송에 의한 지연

2차 보정 SF(Secundary Phase Factor) : 수면 위의 전파전송에 의한 지연 보정지

부가 2차 보정 ASF(Additional Secondary Phase Factor)

- 전파 전달경로에 육상이 있는 경우 육지의 지형 특성으로 인한 지연 보정지

- ASF는 지형 및 매질의 특성에 따라 영향을 받기 때문에 모델링이 쉽지 않음

- ASF의 보정여부는 eLoran 수신기의 항법 성능을 결정하는 주요 요인

※ PF와 SF는 거리에 따른 특성을 갖기 때문에, 쉽게 모델링 하여 보정할 수 있음

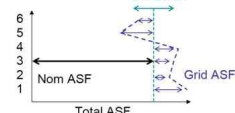
※ PF와 SF보정치는 기존의 LORAN-C 항법에서도 적용, e-LORAN 기술개발의 RNP0.3과 HEA 조건 만족을 위해서는 ASF사용은 핵심기술이며 필수사항

ASF 보정 방법

- Nominal(공칭) ASF : 큰 지역(수십 또는 수백 평방 Km)에 대한 ASF의 계열 평균값

- 시간적인 ASF 변화 : dLoran 이용

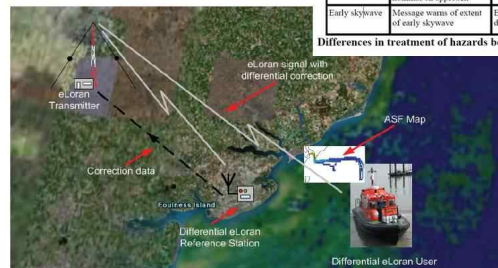
- 공간적인 ASF 변화 : HEA(항만 입항 접근) 지원을 위해 ASF 그리드(격자) 제공



3-5 eLoran 시스템 구성

Hazard Type	Aviation (NPA)	Maritime (HEA)
Nominal ASF	Published table of nominal ASF(s) at airport	Published table of grid of nominal ASF(s) along harbor approach
Temporal ASF Variations	Model bounding temporal variation of ASF about nominal value	dLoran corrections account for variation
Spatial ASF Variations	Model bounding spatial variation of ASF about nominal on approach	Spatial variations account for by grid
Early skywave	Message warns of extent of early skywave	Effects corrected by dLoran broadcast

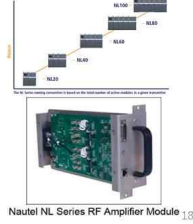
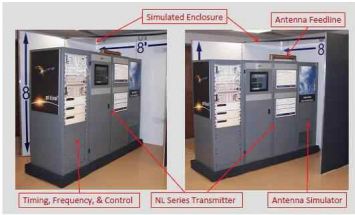
Differences in treatment of hazards between NPA and HEA



3-6 eLoran 차세대 송신기

☞ 차세대 송신기의 특징

- RF 출력에서 70% 이상의 높은 효율 / 발열 감소
- 펄스 전력 복구 기술 / 안정성 확보 / 소형 저가격
- 높은 가용성을 위한 2중 병렬 아키텍처, 정확한 펄스 형태 관리 및 소프트웨어 구성
- 안테나 캐패시턴스 변화에 대한 자동 안테나 조정(ATU) 및 펄스 최적화
- 로안 데이터 수집 및 진단 가능
- MTR(MAIN TIME TO REPAIR) : 고장발생 후 정상 복구에 소요되는 시간 (1시간)



3-7 eLoran 소형화 기술 연구 동향

☞ 수신기 : ST Microelectronics사에서 CHIP 레벨의 통합을 시도 중

Station	Dist. (km)	Outdoors			Indoors	
		50cm	10cm	5cm	50cm	5cm
Fallon	360	50	6.8	2.9	3.1	-
George	1,100	14	2.1	0.5	-	-
Middleham	150	235	22.1	17	7	0.44

2.5cm square
26 AWG wire
74 turns
resistance 1Ω

소형 수신안테나 연구

이동 및 소형 eLoran 박스(ELB) 구성

4-1 GNSS의 방해요소 1

Interference

Space Weather

멀티패스 확인(도심 시내지역)

ISIS Solar Cycle Sunspot Number Progression

Solar Cycle 23 (observed) / Solar Cycle 24 (predicted)

11. 2. 18일 GPS에 영향을 줄수 있는 G2-관심(Kp=6) 발생

4-2 GNSS의 방해요소 2

Figure 3 Received J/S as a Function of Distance from the Jammer

[AW 제마의 통달거리 / 항공에서 영향이 큼]

400 Height of Shore Transmitter Antenna (ASL)
91 Height of Ship's TV Antenna (ASL) / Feet / Meters

Distance

For the Transmitter, the Radio Horizon is 82 Km away.
For the Ship, the Radio Horizon is 39 Km away.
The total line of sight distance is 121 Km / Miles @ Va

⇒ 계산식에 의한 가시거리 계산 / 전파원(400m) 수신원(91m)
※ 전파 회절 등으로 인해 통상적인 계산값보다는 보다 멀리 전파됨

4-3 GAARDIAM 프로젝트(안전항법)

GNSS Availability, Accuracy, Reliability and Integrity Assessment for Timing and Navigation

☞ 주요항만, 공항에 PNT 방해요소를 검출하고 경감할 수 있는 IDM(GPS Interference Detection & Mitigation) 센서를 설치하여 GNSS의 가용성, 정확성, 확실성 및 무결성 부가

☞ 루비듐 이용하여 GPS와 eLoran의 TIE(Time Interval Error) 모니터링

☞ NANU(GPS 이용자들에 대한 주의 공지), DGPS, Dloran 정보 제공

GAARDIAN

USCG - US Coast Guard
NANU - Notice Advisory to Navigator Users

(PNT 핵심 요소)

- Interference
- Scintillation
- Multipath
- Jamming
- Spoofing
- Space Weather
- Weather (eLoran)
- Additional Secondary Factors (ASF) (eLoran)
- Renewal & Upgrade Events

5.1 결론

■ 정확도 개선(code -> carrier)

- IMO에서 규정한 미래 GNSS 성능요구 조건과 항만에서의 새로운 분야 적용을 위해서 DGNSS 성능개량 고려 시 데시미터급 정확도 필요
- 현재 설치된 수신기는 RTK 적용은 가능하지만 무결성 기능은 없기 때문에 RSIM 소프트웨어에 캐리어에 대한 무결성 검증 기술 개발 필요
- 해위사례와 같이 무결성이 포함된 항만 고정밀 지역보장시스템인 M-GBAS 검토 필요

■ 백업(통합) 항법 구현(eLoran 구축)

- 현재 CELL-ID, 관성항법, WIFI 등 다양한 대체 항법 기술이 존재하지만 e네비게이션을 위해 GNSS를 백업 하여 지속적으로 PNT 서비스를 유지할 수 있는 기술은 eLoran이 유일
- eLoran은 넓은 이용지역, 여러 송신국, 실내 수신능력으로 정확한 시간 동기 및 주파수 제어를 위한 국가 인프라로서 GPS를 백업할 수 있는 최상의 PNT솔루션

■ 안전 항법(통합 항법과 다양한 무결성 검증)

- 다양한 항법 장애요소를 검출할 수 있는 무결성 검증기술은 e네비게이션 안전항법 필수
- 위성장애, 재밍, 태양폭발, 화산폭발, 복잡한 전파환경 등으로 GNSS 무결성 제공 중요
- 국내 개발된 무결성 기술과 개발중인 기술통합을 통한 eLoran의 정책 결정시 유럽의 GAARDIAN 프로젝트와 같은 주요 항만에서의 안전항법 서비스 개발 필요