



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士學位論文

한국의 enhanced Loran 체인 구성 및
GRI 최적화에 관한 연구

The Studied for the Construction of Korea eLoran-Chain and
the Optimization of GRI



指導教授 鞠承淇

2014年 2月

韓國海洋大學校 大學院

海洋警察學科

鄭京圭

본 논문을 정경규의 공학석사 학위논문으로 인준함.



2013 년 12 월 12 일

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	v
List of Figures	vi
Abstract	vii

1. 서 론

1.1 연구배경 및 필요성	1
1.2 연구 내용	3

2. GNSS의 문제점 및 eLoran 시스템

2.1 eLoran 시스템 개발 배경	4
2.2 GNSS 취약성	4
2.3 GNSS 전파방해(Jamming) 사례	11
2.4 Loran-C와 eLoran 원리 · 성능 비교	17
2.5 Loran-C의 eLoran 전환 요구조건	19
2.6 eLoran 시스템 구성장비	23

3. 한국의 eLoran 시스템 송신국 구성

3.1 국내 GNSS 취약성 대응 현황	26
3.2 국내 eLoran 송신국 및 보정국 배치 분석	30
3.3 한국의 eLoran 체인 구성방안	38

4. 한국 eLoran 체인의 GRI 최적화	
4.1 GRI 개요	40
4.2 새로운 eLoran 체인의 GRI 분석	44
4.3 GRI 최적화	48
5. 결론	
5.1 결론	50
5.2 향후 과제	51
감사의 글	53
참고문헌	54



List of Tables

Table 2-1	재밍의 분류 및 원인	10
Table 2-2	연도별 전파교란 피해현황	15
Table 2-3	FRP 2001 Loran-C 시스템 성능	19
Table 2-4	eLoran 목표 성능	19
Table 3-1	송신국 배치와 송신출력별 분석유형	31
Table 3-2	포항/광주/백령/울릉/고성/제주 시뮬레이션	31
Table 3-3	포항/광주/백령/울릉/제주 시뮬레이션	32
Table 3-4	포항/광주/백령/고성/제주 시뮬레이션	32
Table 3-5	포항/광주/강화/울릉/제주 시뮬레이션	33
Table 3-6	포항/광주/강화/고성/제주 시뮬레이션	33
Table 3-7	포항/광주/백령/울릉/고성/제주 시뮬레이션(2안)	34
Table 3-8	포항/광주/강화/고성/청주 시뮬레이션	34
Table 3-9	포항/광주/태안/철원/울릉 시뮬레이션	35
Table 3-10	포항/광주/태안/철원/제주 시뮬레이션	35
Table 3-11	포항/광주/강화/고성/울릉 시뮬레이션	36
Table 3-12	eLoran 보정국 위치 선정	37
Table 3-13	단일 체인으로 구성하는 방안	38
Table 3-14	이중 체인으로 구성하는 방안	39
Table 4-1	송신국간 거리계산 결과	44
Table 4-2	최소 Coding Delay	46
Table 4-3	최소 GRI 계산	47
Table 4-4	GRI 사용 현황	47

List of Figures

Fig. 2-1 GPS 재머의 종류	5
Fig. 2-2 해외 인터넷 쇼핑몰에서 판매중인 소형 GPS 재머 예	6
Fig. 2-3 태양활동에 따른 전리층 이상 현상도	7
Fig. 2-4 GPS의 미약한 신호 세기	8
Fig. 2-5 지난 10년간 GPS 위성 고장 발생 이력도	9
Fig. 2-6 재밍 시험에 사용한 재머 사진	13
Fig. 2-7 재밍 시험에 대한 GPS 영향 결과	14
Fig. 2-8 국내에서 검출된 GPS 교란 신호	15
Fig. 2-9 DGPS 시스템의 전파교란 사례	16
Fig. 2-10 이동통신기지국 피해지역	17
Fig. 2-11 eLoran으로 전환을 위한 요구사항	20
Fig. 2-12 TFE 구성도	24
Fig. 3-1 eLoran/Loran-C 송신국 기본구성	30
Fig. 3-2 단일 체인으로 구성하는 방안	38
Fig. 3-3 이중 체인으로 구성하는 방안	39
Fig. 4-1 Loran 신호 구조	41
Fig. 4-2 Loran puls and Power spectrum	41
Fig. 4-3 Cross-rate interference	42
Fig. 4-4 Constraints for spacing of transmissions in one chain	42
Fig. 4-5 송신국간 거리표	44
Fig. 4-6 The overall procedure of GRI selection	48

The Studied for the Construction of Korea eLoran-Chain and the Optimization of GRI

Jeong, Kyeong Gyu

Department of Coast Guard Study
Graduate School of Korea Maritime University

Abstract

Because of repeated GPS jamming attacks from North Korea, the Republic of Korea has had many problems in telecommunications and transports. The Republic of Korean government realizes the necessity of a complementary radio navigation service and recently decides to operate the Korean eLoran system. eLoran system is a low frequency and a high-power terrestrial radio navigation system based on a number of transmission stations. The eLoran system is an independent, dissimilar, complement to GNSS(Global Navigation Satellite System). The General Lighthouse Authorities of the UK and Ireland(GLAs) have been providing their prototype eLoran trial service since 2007 and plan to install FOC(Full Operational Capability) services covering all major ports in UK and Ireland.

The paper studies the optimized location of eLoran stations based on the coverage and accuracy simulation results, which is the best configuration in the Republic of Korea. According to the configuration of 5 stations; Pohang, Kwangju, Ulleung, Baengnyeong, and Jeju, the paper also calculates GRI(Group Repetition Interval) to operate eLoran system without the interference of neighboring country' s Loran signal.

KEY WORDS: enhanced Loran system, enhanced Loran 시스템; a complementary radio navigation service, 대체항법시스템; GRI(Group Repetition Interval), GRI;

제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 필요성

지난 3년간 서해지역 및 경기 북부지역에서 북측의 소행으로 의심되는 GPS 전파 방해(Jamming) 사고가 수차례 발생되면서 선박 및 항공기의 운항 차질은 물론이고 기간통신망과 방송사 일부 시스템이 장애 현상을 일으킴에 따라 위성항법시스템(GNSS)의 취약성에 대한 국가 측위인프라의 안전 대책이 절실히 요구되고 있다.

이에 해양수산부는 기존의 지상송신국을 기반으로 하는 장거리무선항법시스템인 Loran-C 시스템을 업그레이드한 eLoran 시스템을 GNSS 대체·백업 항법으로 활용하기 위하여 2011년 10월 기본계획을 수립하였다. Loran-C 시스템은 2차 대전 당시 개발한 Loran-A와 Loran-B를 시험하고 운영한 경험을 바탕으로 미 해군에서 1959년 군사용으로 개발하여 이용하다가 민간에 개방한 지상송신국을 기반으로 하는 전파항법시스템이다.

eLoran 시스템에 대한 국제 동향을 살펴보면 미국은 GNSS 취약성 대응을 위해 2002년부터 eLoran 연구개발에 착수하여 2007년 기반기술 연구를 완료하였으나, eLoran 송신국 구축 결정을 보류하고 있다. 반면, 영국은 안톤 eLoran 송신국을 구축하여 eLoran 정보를 방송하고 있으며, 기존 북유럽 Loran-C 체인과 연계하여 운영함으로써 eLoran 체제로 전환을 시도하고 있으며, 2018년까지 영국 전 해안에 dLoran 시스템 구축을 목표로 시험운동을 하고 있다(Sally Basker, 2009). 또한 사우디와 인도에서도 eLoran 구축을 검토 중인 것으로 알려지고 있다.

한국의 eLoran 시스템 운영을 위한 송신국 구성 계획은 기존 Loran-C 송신국으로 이용하던 포항과 광주 송신국을 유지하고 동해 북부와 남해 그리고 서해 북부지역에 송신국을 추가 구축하여 총 5개의 송신국으로 체인을 구성할 예정이며, 2018년부터 한반도 전역에 정상적인 서비스를 목표로 추진하고 있다.

eLoran 측위는 쌍곡선 항법을 이용하는 Loran-C 측위방식에서 진전된 송신국과 수신기와의 시각지연(Time of Arrival)을 측정하고 삼변 측위로 위치를 추적하는 방식으로서 높은 위치 정밀도를 얻기 위해서는 eLoran 송신국이 기하학적인 구조가 되도록 배치되어야 하며 서비스 범위를 최대한 넓게 하기 위해서는 송신국의 위치도 가능한 국토의 외곽지역에 선정하여야 한다.

또한, eLoran 시스템은 Loran-C와 동일한 100kHz 주파수를 사용하고 있으며, 기존 Loran-C 송신국 및 주변의 eLoran 송신국 신호와의 혼신을 최소화하기 위하여 체인 형태로 운영해야 함에 따라 GRI를 신중하게 검토하여야 한다.

본 연구에서는 정부가 추진하고 있는 GNSS 대체항법시스템 구축 정책에서 검토하고 있는 송신국의 위치에 대한 내용을 고려하되, 한국의 전 해역을 서비스 범위로 하는 최적의 eLoran 체인을 구성하기 위해 가상적으로 eLoran 송신국을 다양하게 배치하고 시뮬레이션 툴을 이용하여 조사하고 연구하였다.

또한, 체인 형태로 운영하는 eLoran 송신국 신호가 CWI와 CRI 간섭이 가장 적게 받을 수 있도록 GRI 값을 선정하기 위하여 시뮬레이션을 통해 선정된 5개의 송신국 배치 조건하에서 인접국가의 Loran 신호에 영향이 적은 가장 효율적인 GRI 최적화 방안을 연구 하였다.

최적화된 GRI 선정은 한국의 eLoran 체인 운영 시 측위정밀도를 높이고 수신기의 수신능력을 향상시키기 위한 중요사항이다. 또한 인접국가의 다른 체인과의 혼신이 발생되지 않도록 선정하여야 한다.

GRI 선정에 관한 대표적인 연구사례는 영국의 왕립등대협회(GLA)와 체코프라하 공대예의 "Group Repetition Interval Selection and Core eLoran Service Capacity" 와 "Accuracy Performance of eLoran Receivers under Cross-Rate Interference Conditions"등이 대표적이다. 위 연구결과에서도 CRI는 eLoran 타이밍 측정에 100ns 이상의 상당한 오프셋 값을 추가하게 되고 이로 인해 심각한 위치오차원인이 되며, eLoran 시스템 설계에서 가장 우선순위에 두어야 한다고 결론하고 있다.

1.2 연구 내용

본 논문에서는 한국의 eLoran 체인을 구성하기 위한 eLoran 송신국 위치 선정과 시스템 운영에 적합한 GRI 선정을 연구하였으며, GRI 선정시 고려사항인 CWI와 CRI 분석에서 CWI의 경우 노치 필터의 채용을 통해 eLoran 성능에 영향을 최소화할 수 있다고 판단하여 CRI 분석에 집중하였다. 또한 송신국간의 기선 분석 및 GRI 선정에 필요한 파라미터들을 산출하고 산출된 파라미터값들을 이용해 소프트웨어 시뮬레이션을 통해 최적화된 GRI를 제안하였다.

논문의 구성으로 제1장에서는 위성항법시스템(GNSS)의 취약성 문제를 완화하기 위한 한국의 eLoran 시스템 구축 및 GRI 최적화에 관한 연구 배경, 필요성 등을 기술하였다.

제2장에서는 eLoran 시스템의 개발 배경과 GNSS의 취약성, 국내외의 전파방해 사례 등을 소개하고, Loran-C와 eLoran 시스템의 차이점 그리고 eLoran 시스템으로 전환하기 위해서는 어떤 조건들이 선행되어야 하는지에 관한 내용과 eLoran 시스템을 구성하는 주요장비들에 대해 설명하였다.

제3장에서는 국내 GNSS 취약성 대응방안과 eLoran 시스템 구축에 관한 정부의 정책을 살펴보고 가장 효율적인 한국의 eLoran 체인 구성을 위한 송신국 배치방안, 보정국(dLoran) 사이트 배치 분석 및 eLoran 체인 구성방안(단일, 이중)에 대한 연구 내용을 설명 하였다.

제4장에서는 GRI에 대한 기본적인 내용을 기술하고, eLoran 체인의 GRI를 찾기 위한 프로세스와 3장에서 제시된 eLoran 송신국 배치방안을 반영하여 새로운 한국 eLoran 체인에 대한 최적의 GRI 값을 산출하였다.

제5장은 본 연구내용과 분석 결과를 토대로 최적의 eLoran 송신국 구성방안과 GRI 값을 제시하고, 향후 전파항법시스템의 다양한 서비스를 통한 이용 활성화를 위하여 필요한 추가적인 연구과제를 제안함으로써 본 논문의 결론을 정리한다.

제 2 장 GNSS의 문제점 및 eLoran 시스템

2.1 eLoran 시스템 개발배경

eLoran은 기존 Loran-C 시스템의 성능을 향상시키기 위한 일환으로 미국 USCG 주도하에 연구 개발되었으며 2004년 3월 현대화된 Loran 시스템의 사양 및 예상 성능이 FAA Loran 평가팀에 의해 보고서 "Loran's Capability to Mitigate the Impact of a GPS Outage on GPS Position, Navigation, and Time Application"에 발표되었다.

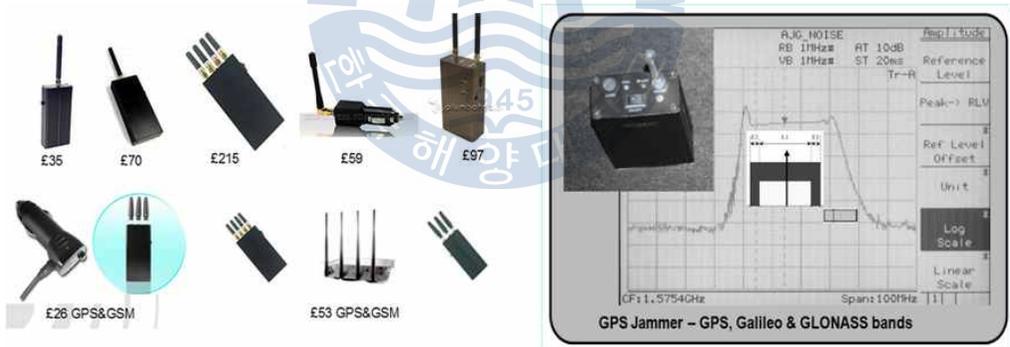
이 보고서에 따르면 Loran 성능 평가팀의 목적은 GPS 혹은 확장시스템(즉 DGPS, WAAS)의 작동 중단(outage) 상황에서 Loran이 안전하고 정확하며 신뢰할 수 있고 경제성 있는 대체항법 및 시각시스템이 될 수 있는가를 기술적인 관점에서 판단하는 일이었다. 이를 위해 Loran시스템이 미국 대륙 내에서 현재의 비정밀 접근(NPA: non-precision approach), 항만입구 접근(HEA: harbour entrance approach), 그리고 시각 및 주파수 정밀도 요구사항을 만족하는가를 분석하였다. 평가 결과 현대화된 Loran-C 시스템 즉, eLoran은 항공을 위한 NPA, 선박을 위한 HEA, 그리고 시각/주파수 요구사항을 만족할 수 있다는 결론을 내렸다.

2.2 GNSS 취약성

대중적으로 사용하고 있는 GPS 시스템은 이온층 및 대류권 지연 오차, 수신기의 잡음 및 다중경로 오차 등을 기본적으로 포함하고 있다. 그러나 GPS가 취약하다는 것은 이것과는 전혀 다르다. 즉, 모든 GPS 신호를 잃어버림으로써 위치를 전혀 구할 수 없게 되는 것이다. 이것은 GPS 수신기가 의도적이든 우발적이든 GPS와 동일한 주파수밴드의 신호에 의하여 영향을 받거나 낮은 방해 신호에 의해서도 이런 문제가 발생하게 된다. 특별한 신호처리 방법인 코릴레

이터(Correlator)를 이용하여 수신기 내에서 잡음보다 큰 신호가 되도록 함으로써 발생시키며 동일한 주파수 밴드에 있는 다른 신호를 받는 경우 그 신호가 GPS 신호보다 30~40dB 정도 강하면 GPS 신호를 완전히 차폐시켜 버릴 것이다. 이런 신호의 소스를 방해 전파(Jammer)라고 하며 GPS가 작동하는 것을 방해하는 것을 전파방해(Jamming)라 한다. 이 방해전파는 그렇게 강한 송신기일 필요는 없다.

GPS 재머에 의한 175m 거리에서 발사된 1mW 정도의 재밍 신호도 GPS 신호 보다 40dB 강하며 1W(GSM 전력레벨) 재머로 최소 10km 이내의 GPS 수신기에 영향을 미칠 수 있다. 더욱 심각한 것은 GNSS 재머의 제작이 매우 쉬우며 Google에서 「GPS Jammer」를 검색하면 20,000건 이상의 문서를 발견할 수 있을 정도로 일반화 되어 있다. GPS Jammer 판매 회사로는 Radar(Belarus), Synopsis Corporation Group(France), Sonak Corporation(Greece), Shoghi Communications Ltd.(India), Aviaconversia(Russia) 등이 있다. 러시아, 중국, 스웨덴 등에서 생산된 GPS 재머는 0.1W부터 수 MW까지 다양하게 존재하며 가격이 저렴하면서 인터넷을 통해 손쉽게 구매 가능하다.



<Fig. 2-1> GPS 재머의 종류



<Fig. 2-2> 해외 인터넷 쇼핑몰에서 판매중인 소형 GPS 재머 예

VOLPE NTSC 보고서(미국의 DoT, 미국의 수송 시스템에 있어서 GPS의 취약성 영향에 관한 보고서, 2001년)는 2010년까지 유일한 전파항법시스템으로서 GPS의 채택을 계획할 때, GPS에 의존하는 수송 인프라의 취약성을 평가한 것으로 미국 내에서 GPS 기반 시스템을 이용하는 민간 이용자들에게 나타날 수 있는 충격을 평가한 보고서이다. 영국에서도 이와 유사한 보고서를 만들었으며 전화통신, 은행, 상업 등을 포함하여 모든 수송 방식에서의 취약성을 다루고 있고 우선 취약성을 조사하고 그것을 완화할 수 있는 방안을 제시하고 있다.

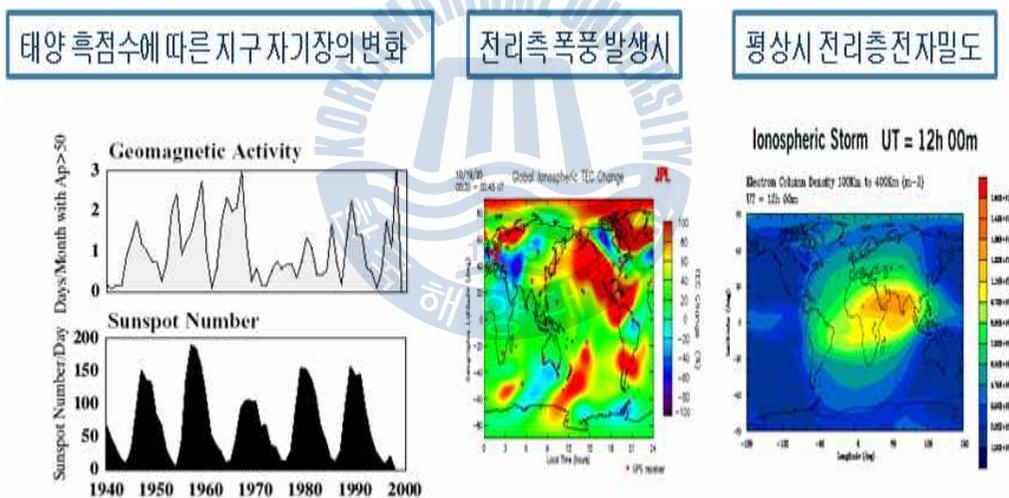
우발적인 전파 소스는 텔레비전, 이동 및 고정 VHF 송신기, 개인 전자 장비(PED)와 UWB 등이다. 이런 장비는 정상적인 상태에서는 GPS와 간섭하지 않지만 잘못 설계된 경우에는 방해 전파가 된다. 즉, GPS 수신기가 위성신호를 더 이상 잡을 수 없을 만큼 강력한 신호가 되기도 한다. 예로서 모스랜딩(Moss Landing) 항에서의 사고는 잘못 설계된 텔레비전 증폭기로부터 발생하였다. GPS에 대하여 더욱 더 심각한 위협은 의도적으로 비교적 쉽게 방해 전파를 만들 수 있다는 것이다. 통상의 GPS 수신기를 전파 방해하는데 사용하는 방해전파의 수준은 지극히 낮고 또 장비 자체가 소형이다. 휴대용 전파 방해기는 9V의 배터리를 사용하여 수 시간 작동하는 값싼 장비이며 반경 1km를 마비시킬 수 있다. GPS의 방해 전파에 대한 취약성으로 인해 시각동기분야에서도 위협이 있다. 텔레커뮤니케이션에서 CDMA 기반 UMTS 시스템의 기지국은 시각 동기 소스로서 독립된 GPS 수신기를 이용할 수 있는데 만일 전파방해를 받으

면 이들 네트워크는 동기를 잃게 된다. 단 하나의 전파 방해기로도 그 지역에 있는 이동 통신을 마비시킬 수 있다.

영국 왕립 공학회에서 발간한 “Global Navigation Space Systems : reliance and vulnerabilities(2011)”는 위성항법시스템의 취약성에 관하여 기술하였으며, 시스템 관련(신호 및 수신기 포함) 취약성, 전파채널 관련(대기와 다중경로를 포함) 취약성, 방해 관련(우발적 또는 의도적 신호간섭) 취약성 등 크게 세 가지로 설명하고 있다.

2.2.1 태양활동으로 인한 전리층 이상현상

주로 태양의 흑점 수와 관련된 11년 주기의 태양활동의 극대기에 전리층도 큰 영향을 받아 통신 등에 영향을 미친다. 전리층 폭풍 현상이 발생할 경우 사용자 위치오차는 수십 미터까지 발생한다: [국립우주전파센터 \(www.spaceweather.go.kr\)](http://www.spaceweather.go.kr)



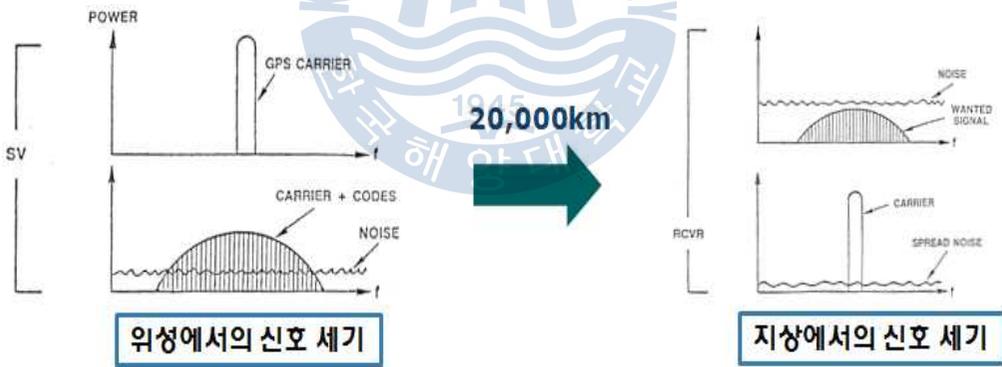
<Fig. 2-3> 태양활동에 따른 전리층 이상 현상도

미국항공우주국(NASA)에서 AR11339 이름으로 8만km 길이를 갖는 흑점이 발견되었으며, 2013년 말에서 2014년 초에 초대형 태양폭풍이 발생할 수 있을 것으로 예측된 상황이다. 태양폭풍으로 인해 발생한 입자들은 초속 2000km의 속도로 2~3일이면 지구에 도달하고, 우주에 떠 있는 인공위성 전자장비에 고장을 일으키거나 우주정거장 승무원들을 방사선에 피폭시킬 수 있다. 태양폭풍의

강력한 X선, 자외선은 지구를 둘러싼 전리층 두께를 변화시켜 인공위성에서 지상으로 보내는 GPS 신호 등에 오작동을 일으키고 재난, 군사, 항공기, 선박 등의 비상통신 수단으로 사용하는 저주파 통신도 신호가 전리층에서 산란, 흡수되며 오작동 할 수 있다. 태양폭풍의 경우 일정한 자기장을 가지고 있는데 이것이 지구의 자기장 방향과 다를 경우 지구 자기장이 교란된다는 것이다. 이른바 '지자기 폭풍'이다. 때문에 변압기나 전자기기 등의 고장이 빈번해지고, '초대형 암흑사태'를 초래할 수도 있다. 지난 1989년 3월 캐나다 퀘벡주의 대정전 사태가 바로 이 때문이다.

2.2.2 GPS의 미약한 신호 세기

지상에서는 GNSS신호의 세기가 약 -130dBm으로 휴대전화 전파 세기의 1/100정도로 도심의 빌딩숲이나 험준한 산악지역 및 실내에서는 신호 획득이 어려우며 고주파, 저출력 전파방해에 매우 취약하다. GPS 신호가 미약함에 따라 고의적인 전파방해는 물론 위성의 고장을 판단하여 조치하고 복구하는 데에도 많은 시간이 소요되는 등 취약성을 갖고 있다.

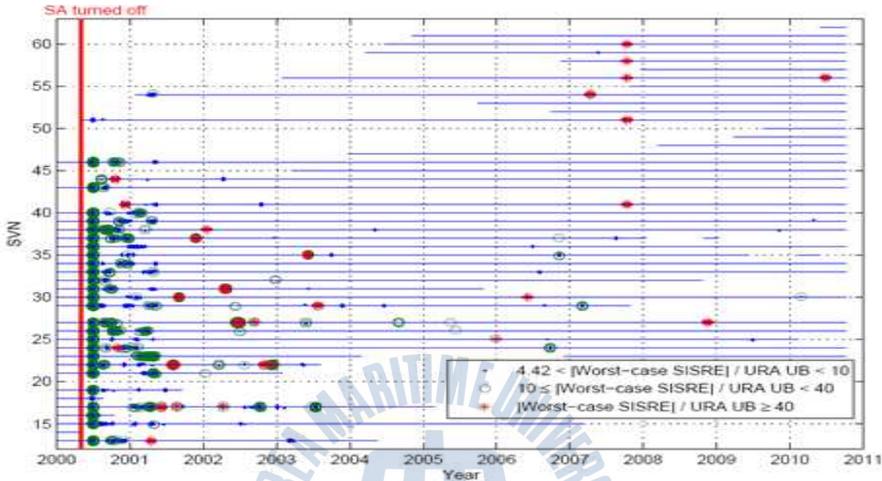


<Fig. 2-4> GPS의 미약한 신호 세기

2.2.3 GPS 위성시계 고장 등 유지관리의 어려움

GNSS는 24개 이상의 위성군과 이를 감시·관리하는 다수의 비상감시국(Monitor Stations) 및 주통제소(Master Control Site)와 각종 제어명령들을 전달하는 상향통신국(Upload Stations) 등으로 이루어진 거대 시스템으로서 각각의

세부적인 장치들을 감시하여 이를 24시간 정상적인 상태로 유지·관리 하는 것은 결코 쉽지 않다. 2004년1월1일 PRN 23 GPS 위성이 중국 상공을 지날 때 위성의 원자시계가 고장을 일으킴에 따라 GPS 수신기의 측정 거리 오차가 722km나 발생하였다. <Fig. 2-5>는 2000년부터 2011년까지의 GPS 위성 고장 발생이력을 나타낸 것이다.



<Fig. 2-5> 지난 10년간 GPS 위성 고장 발생 이력도

2.2.4 우발적(비의도적) 방해

상용의 고전력 전송기, 광대역 레이더, 텔레비전, VHF, 모바일 위성 서비스 및 개인 전자기기의 고조파 방출이 GNSS 신호를 방해 할 수 있다. 정상적인 신호에서 벗어난 크기와 주파수에 의하여 수신기가 제대로 신호를 수신하지 못할 수도 있다.

2.2.5 의도적 방해

GNSS는 의도적인 위협인 재밍(Jamming), 기만(Spoofing), 재발신(Meaconing)에 노출되어 있으며, 이중 재밍이 가장 큰 위협요소이다. GPS 신호의 수신 강도는 Thermal Noise Level 보다 낮은 -130dBm으로서 민간용 뿐만 아니라 군사용 신호도 재밍에 취약하다. 재밍은 발생 원인에 따라 다른 신호 형태를 가지므로 대응하기 어렵다.

2.2.5.1 재밍(Jamming)

표적의 위치에 강력한 방해 전파를 송신하여 GNSS 신호의 획득을 불가능하게 만드는 방식을 말한다. 재밍 대상에 따라 협대역/광대역 재밍으로 분류하고 재밍 방법에 따라 가우시안/대역잡음/펄스/주파수 추적 재밍 등으로 분류한다.

<Table 2-1> 재밍의 분류 및 원인

재밍 분류		원인
광대역	위상 및 주파수 변조	TV 송신기 고조파(대역폭 : 6MHz)
	대역확산	의사위성(대역폭 : 10.23MHz)
	펄스	레이더 송신기(대역폭 L 50MHz)
	가우시안	고의적인 잡음 송출 재머
협대역	위상 및 주파수 변조	AM 방송국 송신기 고조파(대역폭 : 9KHz)
	Swept CW(Continuous Wave)	FM방송국 송신기 고조파(대역폭 : 200KHz)
	CW	CW jammer(대역폭 : 300Hz)

2.2.5.2 기만(Spoofing)

표적의 위치에 허위 신호를 방송하여 사용자의 위치를 오인시키는 방식을 말하며, 적은 에너지로 충분히 재밍과 동등한 효과 발휘가 가능하고 재밍에 비해 제거하기 어렵다. 기만의 종류에는 레이더 등에서 적용 가능한 레이더 펄스신호를 시간적으로 지연시켜 실제 거리와 차이를 갖는 거리기만에서 속도기만, 각도기만 등으로 구분할 수 있다.

2.2.5.3 재방사(Meaconing)

재방사는 재송출(Rebroadcasting)이라고도 하며, GNSS 신호를 우연하게 또는 위치의 오류 보고에 기인하는 수신율을 개선하기 위하여 재송출하는 것을 의미한다.

2.3 GNSS 전파방해(Jamming) 사례

2.3.1 해외 Jamming 사례

2001년 미국 뉴욕의 911테러와 동시에 미국 정부에서 발표한 Volpe 센터의 보고서는 GPS가 간섭(interference)이나 기타 외부 영향에 매우 취약하며, 이로 인해 GPS의 비정상작동 시, 이를 보완할 수 있는 백업시스템이 필요하다는 내용을 담고 있다. 이 문제는 비단 GPS에만 적용되는 문제가 아닌 위성신호 기반 항법시스템인 GNSS가 근본적으로 안고 있는 문제라고 볼 수 있다. 영국에서도 이와 유사한 보고서를 만들었다. 비의도적인 방파전파 소스는 텔레비전, 이동 및 고정 VHF 송신기, 개인 전자장비(PED)와 UWB 등이다. 또 문제를 야기하는 신호는 수평 상부의 레이더, 이동 위성 서비스(MSS), 정지 위성 등이다.

잘못 설계된 텔레비전 증폭기로 발생한 캘리포니아주의 모스랜딩(Mose Landing) 항에서의 전파방해는 2001년 4월 15일부터 5월 22일까지 계속되었다. 전단 증폭기(Pre-amp)가 있는 VHF/UHF 텔레비전 안테나가 모스랜딩항에 있는 모든 GPS 수신기에 고장을 일으켰다. 보트 주인이 전단 증폭기가 있는 TV 안테나를 구입하였는데 보트 내부의 증폭기 에미터가 항만과 해상 1km까지 전파방해를 일으켰다. 이곳 전 지역에서 37일 동안 GPS를 수신할 수 없었다. GPS의 시각동기에 의존하는 연구용 선박은 연구를 지속할 수 없었고, 안개 상태에서 항만 입·출항에 극심한 어려움이 있었다. 그 지역에서는 선박에게 GPS가 다운되었다고 공지 하였으며 항만 입구에서는 레이더를 사용하도록 하였다.

2002년에는 맨섬의 더글러스에서 제대로 설치되지 않은 CCTV의 카메라 때문에 1km 내에 있는 GPS가 차단되었다.

이와 같이 비의도적인 전파 방해는 GPS 주파수 밴드를 복사하는 전자장비에 의해 발생하며 텔레비전 방송 송신기 및 휴대 전화기 등이 된다. 이러한 장비는 정상적인 상태에서는 GPS와 간섭하지 않지만 잘못 설계된 경우에는 방해전파가 된다. 즉, GPS 수신기가 위성신호를 추적할 수 없을 만큼 강력한 신호가 되기도 한다.

GPS에 대하여 더욱더 심각한 위협은 의도적으로 비교적 쉽게 방해전파를 만들 수 있다는 것이다. 통상의 GPS 수신기를 전파 방해하는데 사용하는 방해전파의 수준은 지극히 낮고 장비 자체가 소형이다. 휴대용 전파 방해기는 9V의 배터리로 수 시간 작동하는 값싼 장비이며 반경 1km를 마비시킬 수 있다.

GPS 신호를 교란하는 장비는 전쟁에서 먼저 사용되었다. 2003년 3월 이라크 전쟁 당시 이라크군은 미국의 주력 유도탄인 JDAM의 정밀도를 떨어뜨리기 위해 GPS 교란장치를 사용하였다. JDAM은 방향을 바꿀 수 있는 날개와 GPS 수신기를 장착한 유도탄으로 사전에 입력된 GPS 좌표를 쫓아 명중하는 방식이다. 당시 미군은 교란장치 때문에 엉뚱한 곳에 유도탄이 떨어져 크게 당황했다 (LCol Bill Hawken., 2007).

2007년 1월에는 미국 캘리포니아주 샌디에고 항구를 중심으로 비행기와 선박의 유도 시스템과 휴대전화 등이 오작동을 일으켰다. 항구에 정박 중이던 미군 함정 두 대가 통신이 두절된 상황을 가정하고 훈련하기 위해 GPS 교란장치를 작동시켜 반경 15km 주변의 GPS 수신기가 '동작불능'이 된 것이다.

또 다른 예로서 미국은 전쟁 상황에서 적들이 GPS를 사용하는 것을 막는 권한을 갖고 있다. 이것은 이런 목적으로 방해전파를 소유하고 운용한다는 것을 의미한다. 실제 수신기의 강건성 여부를 시험하기 위하여 미국은 주기적으로 "JAMFEST"라고 하는 일을 하고 있다. 이때에는 여러 가지의 방해전파를 작동시키고 있다. 다른 나라에서는 이런것은 위법이다. 그러나 러시아에서는 그렇지 않다. 방파전파를 냉전시대의 소련에서는 만들었지만 지금은 이런 장비를 만드는 시장이 되어 버렸다. 예로서 아비아콘버시아(Aviaconversia)의 방해 전파는 최근 모스크바 에어 쇼(Air Show)에서 약 US\$40,000이면 구입할 수 있다. 이것은 2003년 이라크 방위에 사용되었다. 군사용 신호는 민간이 사용하는 장비보다 덜 취약하다.

"JAMFEST"는 뉴멕시코주의 화이트 샌즈 미사일 사격장의 746 테스트 비행대대(Swuzdron)가 2005년 5월 16일부터 20일까지 시행하였다. 이때의 실험에서 방해전파 발사지점으로부터 20~25km 이내의 모든 휴대전화기를 마비시켜 버렸다.

2007년 4월 미국 샌디에고에서 해군은 2시간동안 재밍훈련 실시하였는데, 시전역 휴대전화 불통, 항공기 및 선박입항 유도시스템 중단, 은행 현금자동지급기 작동 정지 등 많은 곳에서 공황상태가 발생하였다.

2009년에는 미국 뉴저지 고속도로에서 트럭 운전기사가 통행료를 지불하지 않기 위하여 GPS 재머를 작동시켜 뉴욕 공항 주위에서 2일 동안 재밍 피해가 발생하였다.

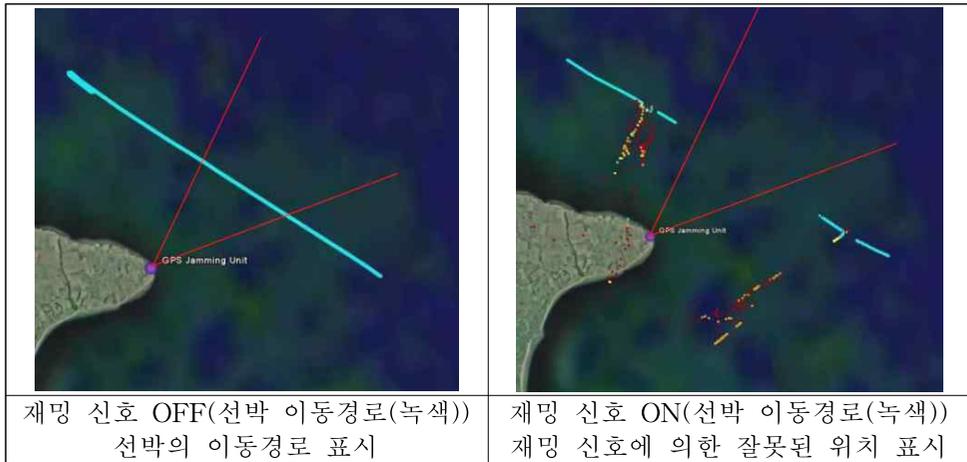
2010년에는 트럭을 탈취한 후 트럭 추적을 중지시키기 위하여 GPS 교란장치를 이용한 사례가 있다.

2011년 11월에는 이란에서 미국의 무인기가 이란의 영토를 아프가니스탄 미국기지로 인식하도록 GPS 신호를 조작하여 무인기를 나포하였다.

영국에서는 GLAs와 영국 방위부의 방위과학기술연구소가 공동으로 2008년 4월 재밍시험을 진행하였으며, GNSS는 재밍이나 우발적인 전파방해에 심각하게 영향을 받기 때문에 이러한 상황에서의 GPS 수신기와 관련 서비스들이 어떻게 동작하는지 확인하기 위함이었다. Northern Lighthouse 해안의 NLV Pole Star 선상(이동)과 Flamborough Head lighthouse(고정)의 두 곳에서 DSTL에서 개발한 전파방해기를 이용하여 시험하였다. 사용한 전파방해기는 PRN 코드를 송신하고, GPS L1 주파수의 2MHz 대역폭과 약 1.5W(2dBW)의 유효방사전력을 갖는다. 무지향성 안테나 또는 지향성 안테나를 이용하였다. 시험결과 GPS는 공격받기 쉽고 낮은 전력의 전파방해기에 의해서 GPS 서비스가 불가능 것으로 확인되었다.



<Fig. 2-6> 재밍 시험에 사용한 재머 사진



<Fig. 2-7> 재밍 시험에 대한 GPS 영향 결과(Paul Williams, Alan Grant, Nick Ward & Sally Basker, 2008)

2.3.2 국내 Jamming 사례

국내에서도 2010년 8월 23일부터 25일까지 서해안 일부 지역에서 몇 시간 동안 GPS 전파의 수신에 중단되었는데, 국방부는 이를 “북한이 GPS 전파교란 장비로 벌인 일”이라고 추정하였다. 말도, 어청도, 소흑산도 등 서해상에서 북한의 GPS 재밍 공격으로 추정되는 간헐적인 GPS 수신 교란현상이 발생 하였고, 어청도 DGPS 기준국과 안흥, 말도, 흥도 DGPS 감시국에서는 수신기 오류가 발생 되었으며, 인천국제공항과 김포공항 인근 항공기의 GPS 수신 오류와 파주 인근의 KT 이동통신 기지국에서 GPS 수신오류로 시각동기에서 문제가 발생하였다.

2010년 11월 23일에는 연평도 포격 도발시 북한의 재밍으로 대포병 레이더가 작동하지 않아 K9 자주포 오발사례가 있었으며, 2010년 말에는 북한의 GPS 공격으로 포격연습상황에서 무인정찰기의 기능이 정지하였다.

2011년 3월 4일에서 3월 14일까지는 북한의 해주와 개성 지역에서 발사된 것으로 추정되는 재밍 신호를 포착하였으며, 서울, 인천과 파주 등 수도권 서북부 일대의 GPS 신호가 교란되어 2G 휴대전화 혼선과 시각오차가 발생하였다.

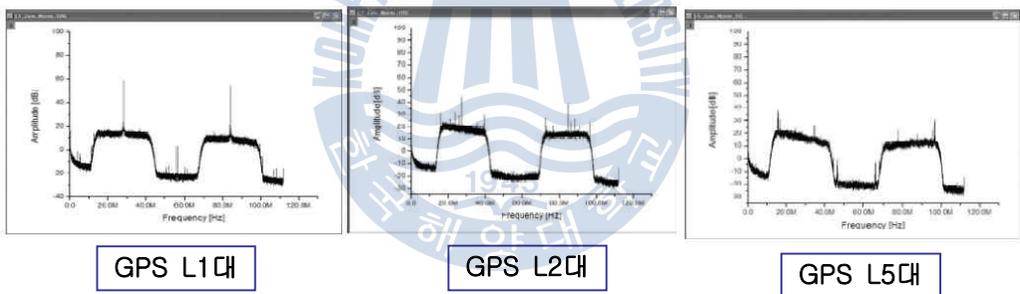
2012년 4월 28일에서 5월 13일까지는 북한의 재밍에 의한 서해상에서 선박의 GPS 수신 불능상태 보고가 있었으며, 개성 및 재령에서 발사된 것으로 추정하고 있다.

<Table 2-2> 연도별 전파교란 피해현황

구 분	항공기(대)	선 박(척)	이동통신	비 고
1차 (2010.8)	15	1	181	
2차 (2011.3)	106	10	146	
3차 (2012.4)	1,016	254	-	

2.3.3 국내 전파교란의 영향

2011년 3월 4일부터 14일까지 GPS 교란신호 발생 시, 한국전자통신연구원(ETRI)에서는 GPS 기능을 이용하는 이동통신기지국의 장애신고를 받고 경기도 파주에서 GPS 데이터를 저장하여 전파교란 신호 검출 여부를 분석하였다. 분석한 결과, 현재 가장 많이 사용되는 L1 주파수대역 외에도 L2 및 L5 주파수대역에서도 전파교란 신호가 검출되었음을 확인하였다. <Fig. 2-8>은 GPS L1, L2 및 L5 주파수 대역에서 검출된 GPS 전파교란 신호를 순차적으로 보여준다.



<Fig. 2-8> 국내에서 검출된 GPS 교란 신호

GPS L1 신호의 경우 중심 주파수에서 톤(tone) 형태의 교란신호가 검출되었고, L2 및 L5 주파수는 유효주파수 대역인 24MHz 전 대역에 걸쳐 교란신호의 중심주파수가 이동(sweeping)하는 형태의 교란신호로 검출되었음을 확인하였다. 이는 북한에서 GPS 전파교란 신호를 송출하는 재머(jammer)의 성능 시험으로 판단되며, 신호세기, 주파수 및 송출 간격을 조절하며 다양한 형태로 나타났다. 국내 전파교란 특징은 2010년 이후 북한으로 추정되는 의도적인 재밍 공격이 수차례 발생하였고 한국의 군사훈련 기간 중 집중적으로 발생하였으며, 방통위

에서의 재밍신호 추적 결과 해주 및 개성에서 발사한 것으로 추정된다. 국내 전파교란에 대한 피해내용으로는 선박 및 항공기 GPS 항법 오류 발생, 수도권 이동통신 기지국의 시각동기용 GPS 오류에 의한 휴대전화의 통화품질 저하, 일부 서해 DGPS 시스템의 위성오류 발생 등이다.

2.3.3.1 DGPS 시스템 전파교란 피해

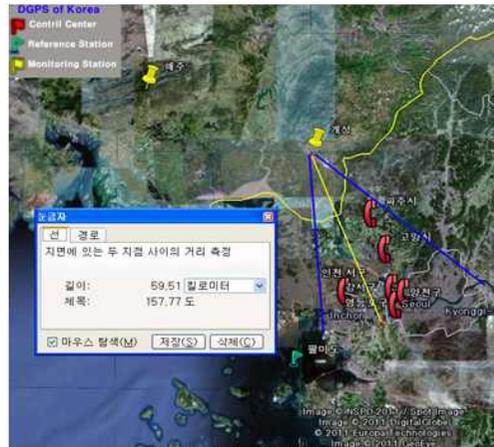
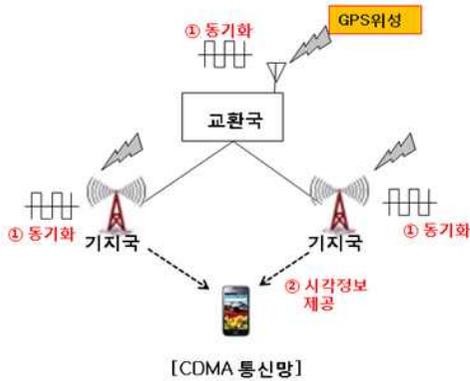
DGPS시스템에서 짧게는 1~2분 길게는 10분 이상 간헐적으로 GPS 수신오류가 발생하였으며, 재밍 발생 시 위성수가 감소하거나 GPS 신호 추적 자체가 불가능하였다.



<Fig. 2-9> DGPS 시스템의 전파교란 사례

2.3.3.2 이동통신 서비스 피해

단말기 시각 정보 오류, 핸드오프 신호 단절, 발·수신 불가 등의 현상이 발생하였으며, 2010년 8월 23일부터 25일까지 3일 동안 수도권 CDMA 기지국 13개소, 2011년 3월 4일부터 14일까지는 수도권 CDMA 기지국 39개소에서 발생하였다. 재밍 신호 발사지역에서 60km 까지의 수도권 CDMA 기지국에 영향을 주었다.



(이동통신 기지국 피해 지역)

<Fig. 2-10> 이동통신기지국 피해지역

2.4 Loran-C와 eLoran의 원리 · 성능 비교

현대화된 eLoran 시스템이 기존의 Loran-C 시스템과 원리 및 성능 면에서 어떻게 다른 것인가를 우선 간략히 비교하여 정리하면 다음과 같다.

2.4.1. 측위원리

기존 Loran-C는 체인을 이루고 있는 주국(Master Station)과 종국(Secondary transmitting station) 사이의 시각차분(TD)을 측정하며 2개 이상의 TD 측정값을 이용하여 사용자의 위치를 결정하는 쌍곡선 측위방식을 이용한다. 현재의 Loran-C 시스템은 동일한 체인 내에 존재하는 주국과 종국 사이의 TD값만을 측정할 수 있기 때문에 체인 내의 주국, 종국 그리고 사용자의 상대적인 위치에 따라 측위 정확도가 결정된다.

이와는 달리 eLoran은 주국, 종국과 상관없이 송신국과 단말기 사이의 시각지연(TOA: Time of Arrival)을 측정하며 3개 이상의 TOA 측정값을 이용하여 사용자의 위치를 결정하는 삼변측위(trilateration) 방식을 사용한다. 이를 위하여 모든 eLoran 송신국들은 각각의 원자시계를 이용하여 독자적으로 UTC 시각에 동기하도록 제어된다.

2.4.2. 신호체계

기존 Loran-C는 지상국에서 송신되는 90-110KHz 대역의 저주파의 펄스신호를 이용하고 eLoran 역시 동일한 주파수 대역으로 동일한 형태의 펄스신호를 사용한다.

그러나 모든 송신국의 신호는 UTC에 동기되며 새로운 통신 변조방법을 사용하는 데, 새로운 변조방법의 핵심은 기존 8개의 항법 펄스 신호군에 추가적인 펄스 즉 9번째 펄스를 추가하는 것이다. 이는 eLoran의 정확도를 높이기 위한 보정정보와 기타 부가정보를 제공하기 위하여 활용된다.

2.4.3. Loran 제어방법

현재의 미국 내 Loran 시스템 제어는 far-field 시스템영역 감시(far-field System Area Monitoring) 방법을 사용하고 있으며 이 제어방식은 쌍곡선항법을 위하여 사용된다. 이 제어방식에서 제어국은 주국과 종국 사이의 TD 측정값, far-field ECD(envelop-to-cycle difference), 감시 수신기가 설치된 곳에서 측정된 신호세기, LSOS(Local Station Operating Set) 그리고 자동 브링크 시스템(Automatic Blink System)등을 감시한다. 제어국은 각 송신국의 데이터, 경보기, 그리고 물리적인 상태를 실시간으로 감시하는 기능을 수행한다.

새로운 Loran 시스템에서는 기존의 SAM 방식을 이용한 체인의 제어와 감시에서 벗어나 새로운 시각과 주파수 장치(new TFE)를 이용하여 Time of Transmission(TOT) 방법을 이용한다. TOT 제어의 도입은 "all-in-view" 수신기의 사용을 가능하게 하며 이로 인해 로란시스템의 성능 최대화할 수 있게 한다.

2.4.4. 사용자 단말기

기존 Loran-C 단말기는 동일한 체인 내에 존재하는 주국과 종국 사이의 TD값을 측정하여 쌍곡선측위 방법을 이용하여 위치를 계산한다. TD값은 단말기에 내장되어 있는 고정된 ASF(Additional Secondary Factor) 값을 이용하여 보상한다.

새로운 수신기는 "all-in-view" 수신기라 불리며 이는 송신국과 단말기 사이의 수신 가능한 모든 TOA를 측정하여 측위에 사용한다. 이를 위해서 수신기는 수신 펄스

신호의 송신시각을 정확히 측정할 수 있는 기능이 있어야 한다. 공간 및 시간적인 ASF값을 갱신할 수 있는 기능과 단말기 시각오차 보정기능도 가지고 있어야 한다.

2001년 미국 FRP에 명시된 기존 Loran-C의 성능은 <Table 2-3>과 같으며 Loran 평가팀에 의해 제안된 현대화된 Loran시스템 즉, eLoran 시스템의 목표성능은 <Table 2-4>와 같다.

<Table 2-3> FRP 2001 Loran-C 시스템 성능

2drms 정확도		가용성	이용범위	신뢰성	전송 속도	제공 정보	시스템 용량	비고
예상정도	반복정도							
0.25NM (460m)	60~300ft (18~90m)	99.7%	미국전역, 알래스카, 선택해역	99.7%	10~20 fix/sec	2D + Time	제한 없음	

<Table 2-4> eLoran 목표 성능

구 분	정확도 2drms(95%)	가용성	무결성	연속성	제공 정보	시각/주파수 정확도
NPA (항공기의 비정밀접근 기준)	0.16NM (207m)	0.999 ~0.9999	0.9999999, 556m HPL 10sec, alert	0.999 ~0.9999	2D + Time	Straum 1
HEA (선박의 항 만 진입·접근 기 준)	8~20m	0.997 ~0.999	0.99997	0.9985 ~0.9997		

2.5 Loran-C의 eLoran 전환 요구사항

현재 Loran-C 시스템의 항법성능을 <Table 2-2>에 표시된 새로운 목표성능으로 개선시키기 위해서는 여러 가지 문제점들을 해결해야 한다. LORIPP(Loran Integrity Performance Panel)은 이를 위해 아래 <Fig. 2-10>에 보이는 것과 같은 절차를 통해서 성능을 평가하고 개선방안 및 선결조건 등을 도출하였다. 이러한 해결방안과 선결조건은 4가지 분야로 분류할 수 있다.

- 1) 전파항법 정책(Federal Radionavigation Policy)
- 2) 운영법규 (Operational Doctrine)

- 3) 전송, 감시 및 제어 장치 (Transmit, Monitor and Control Equipment)
- 4) 사용자 장치 (User Equipment)



<Fig. 2-11> eLoran으로 전환을 위한 요구사항

2.5.1 전파항법 정책

미국 연방항공청(FRP)의 전파항법정책을 살펴보면 아래의 사항들을 포함하고 있다.

- ① 만약 필요하다면, 캐나다의 기지국들도 미국 내륙에 설치되는 것과 동일한 장치를 가지고 운영되어야 한다.
- ② RNP 0.3 접근을 위해 필요한 ASF와 ECD값을 산출하기 위한 공항 calibration 작업을 연방정부가 수행한다.
- ③ HEA 채널에 필요한 ASF와 ECD 값을 얻기 위해서 HEA 채널에 대한 측정을 연방정부가 수행한다.

2.5.2 운영법규

다음의 사항들을 만족하도록 Loran 시스템을 운영하여야 한다.

- ① 신호의 비정상 이 검지되었을 때 수행하는 현재의 blink 시작 방법이 해당국의 전송을 차단하는 방법으로 대체되어야 한다.
- ② Loran-C 시스템을 제어하는 방법이 SAM 제어방식에서 TOT 제어방식으로 바뀌어야 한다.
- ③ eLoran 시스템의 UTC에 대한 장기간(Long-term) 시각동기를 주방법(Primary)과 보조방법(Secondary)을 통하여 유지한다. 이때 최소한 하나의 방법

은 GPS와 독립적으로 운영한다.

- ④ 작은 위상보정을 이산적인 과정이 아닌 연속적인 과정을 통해 수행한다.
- ⑤ 유지보수 주기는 연속성과 가용성에 대한 효과를 최소화하도록 계획되고 제한되어야 한다. 예를 들어, 각 서비스 영역 안에 있는 송신국들이 유지보수를 위해 동시에 송신을 중단해서는 안 된다.
- ⑥ 모든 송신 중단은 아침과 낮 시간을 통하여 이루어져야 한다.
- ⑦ 모든 기지국들은 현재 운영수준을 계속 유지할 수 있는 자격이 있는 운영자들에 의해 운영되어야 한다.
- ⑧ 송신기의 변환(즉, 운영중인 송신기에서 대기 송신기로의 변환)은 최소화되어야 한다.

2.5.3 전송, 감시 및 제어 장치

새로운 Loran 시스템의 송신, 감시 및 제어장치는 다음과 같은 새로운 기능을 가지고 있어야 한다.

- ① Loran-C 신호의 구조(format)는 그대로 유지된다.
- ② 모든 튜브타입 송신기(TTX)은 반도체 송신기(SSX)로 대체되며 예전방식의 SSX는 새로운 SSX(nSSX) 기준으로 교체된다.
- ③ 새로운 시각과 주파수 장치(TFE)가 설치된다.
- ④ 새로운 세습시계가 기지국 마다 3대씩 설치된다.
- ⑤ 새로운 TCS(Transmitter Control set)와 RAIL(remote automated integrated Loran) 장치가 설치된다. 이러한 장치들은 중앙에서 모든 감시와 통제를 수행하도록 함으로서 각 기지국의 관리를 위한 인원을 줄이게 된다.
- ⑥ 3초 이상 계속되는 예정되지 않은 불필요한 사고가 기지국 당 1년에 20건 이하가 되어야 한다.
- ⑦ ECD는 송신국에서 200nsec 이내 실시간으로 계속적으로 감시되고 제어되어야 한다.

⑧ 시스템 변수가 오차 허용 범위(out-of-tolerance: OOT)를 초과했을 경우, 경고 메시지가 탐지되어야 하며 이를 2초 이내에 송신해야 한다.

⑨ OOT 조건하에서 경보를 발생하지 못하는 확률이 10^{-8} 보다 작아야 한다.

⑩ 각 GRI에서 9번째 펄스가 모든 송신국에서 방송되어야 한다. 펄스 신호는 해양, 시각·주파수 응용, 기지국 식별 및 무결성(예로, early skywave 검출)을 위한 보정신호 제공을 위해 변조된다.

⑪ 해양 차분보정과 far-field 전파효과를 위해 감시망을 설치해야 한다. 이 감시망은 현재의 SAM 운영국(통제센터), Loran-C 기지국 그리고 특정 항구를 위해 필요한 추가적인 감시국으로 구성된다.

⑫ SAM 운영국은 far-field 전파(즉, skywave) 감시를 위해 계속 유지된다.

⑬ 일부 SAM 운영국은 common-view 시각 동기에 필요한 시각 및 주파수 보정정보를 제공하기 위하여 UTC에 동기하기 위한 고정밀 시계를 갖게 된다.

⑭ 송신신호의 복조는 항법성능에 최소한의 영향을 주도록 설계된다.

⑮ 상용 전력망 이상이 발생하는 경우에도 시스템의 전력공급 중단이 생기지 않도록 한다.

⑯ 출력 파워 변동은 5%를 넘지 않도록 한다.

⑰ TFE는 세 종류의 위상조정(phase adjustment: PA)을 제공한다. LPA(local PA)는 운영자에 의해 처리되며 긴 주기 동안에 걸쳐서 일어난다. ILPA(instantaneous local PA)는 운영자에 의해 이산적인 단계로 입력되며 순간적으로 발생하고, APA(automatic PA)는 운영자의 간섭 없이 TFE 제어 루우프에 의해 입력되며 긴 주기에 걸쳐 발생한다.

2.5.4 사용자 장치

사용자 단말기에는 다음과 같은 기능이 부가되어야 하며 이는 단말기를 위한 상용자 그룹 MOPS(Minimum Operational Performance Standard) 형태로 요구된다.

① 단말기는 "all-in-view" 모드로 작동되며 사용자의 응용 분야에 따라 9th 펄스 정보를 해독하여 적용할 수 있어야 한다.

② 항공용 단말기는 H-field 혹은 동등 사양의 안테나를 사용한다. 안테나는 40dB/uV/m의 등가 잡음(30KHz 대역) 특성을 가져야 한다.

③ 단말기는 LORIPP 모델과 동등한 정도의 "all-in-view" 방법으로 사이클 인식을 검증하여야 한다.

④ 단말기는 현대화 Loran 신호를 수신할 수 있어야 하고 운영법규를 따라야 한다.

⑤ 단말기는 3초의 신호 단절(예로서 송신기 변환에 따른)에도 문제없이 작동되어야 한다.

⑥ 단말기는 -10dB 가우시안 잡음 등가 SNR에서 8초의 time-to-alarm을 만족하도록 설계되어야 한다. 이때 오경보율은 10^{-4} 이하이어야 하고 미검출율은 10^{-8} 이어야 한다.

⑦ 단말기는 99% 수준의 대기잡음(atmospheric noise)에서 최소 12dB의 프로세싱 이득을 얻을 수 있도록 설계되어야 한다.

⑧ 단말기는 정부에서 제공하는 ASF와 ECD 정보를 사용할 수 있어야 한다.

⑨ 단말기는 LORIPP model에서 요구하는 정도의 성능을 낼 수 있도록 cross-rate 간섭을 처리할 수 있어야 한다.

⑩ 단말기는 항공, 해양 및 시각 등 해당하는 응용분야에서의 MOPS 규격을 만족할 수 있어야 한다.

2.6 eLoran 시스템 구성장비

기존 Loran-C 시스템에서 현대화 Loran 즉, eLoran으로 전환을 위해 필요한 장비는 새로운 송신장치, 새로운 시각 및 주파수 장치, 그리고 감시 및 통제장비이다. 현재 이러한 장비 및 관련 기술 등은 미 해상보안청(USCG)과 관련 미국 업체에 의해 개발되어 미국 대륙내의 Loran 시스템에 설치되어 있다.

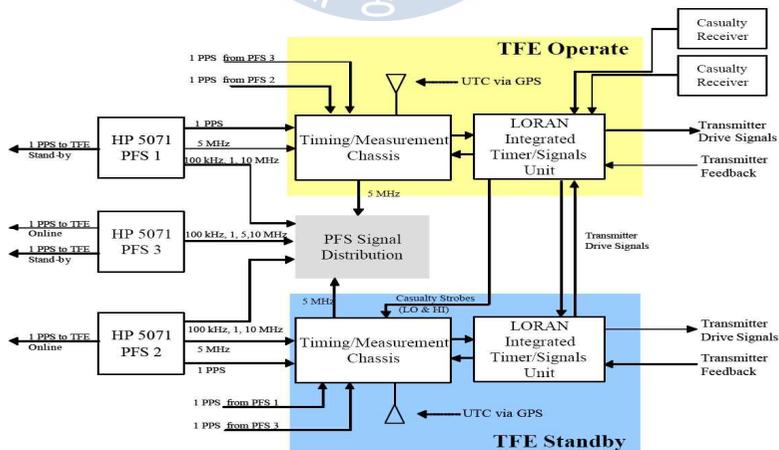
2.6.1 nSSX(new Solid-State Transmitter)

Loran-C 송신장비 제작사인 Megapulse에서는 기존의 AN/FPN-44A/45 튜브 타입 송신기를 운영 효율성, 신뢰성을 높이기 위해 새로운 반도체형 nSSX(new solid-state transmitter) 송신기를 개발하였다

2.6.2 TFE(Time Frequency Equipment)

Timing Solution사에서 제작한 새로운 TFE로 기존의 AN/FPN-54A/65 장비를 대체하기 위한 시각제어 장치이다.

현재 미국의 Loran 시스템에 설치 완료된 새로운 TFE는 TOT(Time of Transmission) 제어를 가능하게 해주며 또한 현재 Loran 체인을 제어하고 감시하기 위해 사용하는 SAM(system area monitors) 방법에서 벗어나 보다 새로운 방법을 사용할 수 있도록 해준다. TOT 제어의 도입은 "all-in-view" 수신기 사용을 가능하게 하며 이에 따라 Loran 시스템의 성능을 극대화시킬 수 있다. 이러한 새로운 수신기는 현재 상용화되어 있으며 Loran 체인의 제한에 얽매이지 않고 사용될 수 있으며 이에 따라 HDOP에 의해 저하되는 측위 정확도에 덜 영향을 받는다. 또한 Loran 신호를 보다 정밀하게 UTC에 동기 시킬 수 있게 된다.



<Fig. 2-12> TFE 구성도

2.6.2.1 TFE 구조

두 개의 독립적인 신호전달 체계 구조로 운용되는 장치로서 3개의 세슘원자 시계(세슘클럭 및 주파수)를 갖추고 있으며, LITS(Loran Integrated Timer and Signals) 유닛에 의해 세계표준시(UTC)에 10 nsec 이내로 동기하고, GPS 기준 신호가 없는 경우에도 다른 기지국에서 오는 Loran 신호를 이용하여 작동될 수 있다.

2.6.2.2 TFE 구조의 기능

TFE의 주요기능은 UTC 시간에 정확하게 유지하고 시간스케일을 계산(recovery & timescale computation) 하며, 정확한 위치 측정을 가능토록 하기 위해 고유의 Loran 신호를 발생시키고, 송신국 전송신호의 시각차(TD : time difference measurements)를 측정한다. 또한, 페루우프 송신기 제어(closed loop transmitter control)와 자동 blink 시스템(the automatic blink system) 기능을 갖추고 있다.

2.6.3 제어 및 감시 장비

USCG LSU(Loran Support Unit)와 Locus사에서 개발한 새로운 제어 및 감시 장비로 Remote Automated Integrated Loran(RAIL), 지역 감시 및 제어를 위한 Locus Receiver Timing Monitor Status System, 원격 감시 및 제어를 위한 Primary Chain Monitoring Set(PCMS)등으로 구성되어 있다(서상현, 2005).

제 3 장 한국의 eLoran 시스템 송신국 구성

3.1 국내 GNSS 취약성 대응 현황

3.1.1 국내 PNT 이용분야를 위한 대응계획

2005년 12월 국가과학기술위원회에서는 위성항법시스템 개발 추진체계 구축, 정지궤도 복합위성 활용 위성항법 구축기반 조성 및 항공·해양 보강시스템 고도화 등을 주요내용으로 하는 “국가 위성항법시스템 종합발전 기본계획”을 의결함으로써 정부차원의 기본정책이 마련되었다. 그러나 정부부처의 통·폐합 등으로 현재는 시행되지 못하고 표류하고 있는 실정이다.

2005년 6월 국가과학기술위원회에서는 우주개발중장기 기본계획을 수정하였으며, 장기계획(우주개발의 장기적 발전방향과 목표 제시)과 중기계획(5년 단위의 구체적인 목표와 계획 제시)으로 구분하였는데, 이는 우리기술에 의한 위성 및 발사체의 개발과 위성 발사 시기의 조절에 관한 내용이다. 이상과 같은 내용들은 우주개발을 위한 위성관련 제반기술 개발 및 위성 활용 기술 개발에 관한 내용이며, 국내의 PNT 이용분야에 대한 GNSS 대체시스템 구축계획은 논의되고 있지 않아 어떠한 원인에 의해 GNSS 정보를 이용하지 못할 경우에 대한 대비는 반드시 필요하다.

3.1.2 eLoran 시스템 활용

eLoran은 위성이 아닌 지상을 기반으로 운용되는 시스템이며 GPS와 같은 마이크로 웨이브 주파수가 아닌 LF(100kHz)의 주파수를 이용한다. 송신출력은 위성이 사용하는 수십 W가 아닌 수백 kW이기 때문에 간섭에 강하다. 신호는 하늘에서 오는 것이 아니라 지표면을 따라 오므로 위성이 보이지 않은 곳을 침투

할 수 있다. 이렇게 GPS와 eLoran은 특성이 서로 다르기 때문에 GPS와 같은 고장 상태를 피할 수 있다.

eLoran은 현대적 디지털 기술을 사용하며 항만 접근 및 제한 구역에서의 아주 높은 정확도, 무결성, 이용성, 지속성으로 IMO의 장래 표준을 만족한다. 이것은 또한 고정밀도의 UTC 시간을 제공하여 선박의 전자 시스템, AIS, 데이터 링크, 육상의 항만 접근 등화 및 무선통신 등을 동기 시킨다.

항만 접근 모드에서 eLoran의 위치 정확도는 95%의 신뢰수준 10m보다 좋게 나타난다. 이런 수준의 정확도를 얻기 위해서는 항만 및 접근 구역에 대하여 ASF 등을 측정하여야 한다. 측정된 Loran 데이터를 전자적으로 공표하여 선박의 수신기에 저장하도록 한다. 그 다음 eLoran을 연안의 라디오비콘 DGPS와 같은 디퍼렌셜 방법으로 운영한다. 마지막으로 현대적이고 소형의 디지털 수신기를 사용하고 아울러 우설 공전 방진 현상에 의한 간섭에 강한 자계형(H-field) 안테나를 사용한다.

해상에서 eLoran의 역할은 위성 시스템에 대한 대체 시스템으로서 작동하는 것이다. eLoran 수신기는 별개의 장치가 아니라 위성수신기 또는 통합 항법시스템 내부에 있는 저가의 모듈이 된다. 이러한 eLoran 수신기는 GPS 혹은 기타의 위성시스템에서 고장이 발생하면 즉시 그리고 끊어짐이 없이 이를 인계 받을 수 있도록 대기 상태를 유지한다. 이와 함께 GPS 및 eLoran은 "e-navigation"에 필요한 지극히 강건한 위치, 속력 데이터를 제공하고 아울러 선박과 육상의 AIS 및 데이터 동기를 위한 고정밀도의 시간 제공 소스로 역할을 한다. 결국 eLoran은 "e-navigation"에 있어 아주 중대한 시스템이다.

장차 eLoran 항법 신호의 주요 소스는 기존의 Loran-C 송신국 현대화에 새로운 표준으로 변환되어 필요하면 추가 송신국을 설치하게 될 것이다. 전 세계에 약 70여개의 Loran 송신국이 있고 이들 송신국의 이용 구역은 약 1,500km가 된다. Loran 송신국은 해상활동이 가장 왕성한 곳에 집중되어 있다.

"e-navigation"의 도입은 항해자가 연안의 복잡하고 봄비는 수역을 안전하게 운항할 수 있도록 해상의 안전 및 해난 사고의 방지를 초점으로 하는 것이다. 이것은 GPS와 완전히 독립적인 시스템 보완 장치를 필요로 한다. eLoran과 연

제한 “e-navigation”은 위성항법시스템이 고장이 날 경우에도 이로 인한 충돌 및 기름 유출에 따른 비용 발생을 방지하고 선박이 계속 운항할 수 있으며, 항만은 항상 개방된 상태로 선박이 이동할 수 있도록 함으로써 상당한 경제적 이익을 누리게 하는 것이다.

우리 사회는 전력의 생산 및 배전 시스템, 통신 기술, 무선통신, बैं킹 시스템, 수송시스템 등의 효율적이고 정상적인 작동 여부에 의지하고 있다고 볼 수 있다. 이런 시스템은 국가의 중대한 인프라가 될 것이다.

이런 중대한 인프라와 응용 분야는 더욱더 PNT(Position, Navigation, Timing)에 의존하고 있는데 이 PNT는 무선통신, 금융시장, 물류관리 및 수송 등의 버팀목이 된다. 위치 및 시각에 대한 정보는 국내뿐만 아니라 세계적으로도 무역과 상거래를 활성화하는데 필요한 정보가 된다. 우리 사회는 이러한 중요한 인프라인 정보인 정확한 위치와 시각을 항상 이용할 수 있는 당연한 것으로 여기고 있다.

국가의 중용한 인프라인 정확한 위치 및 시각에 대한 신뢰성은 GPS가 제공하는 능력에 의존한다. GPS를 통한 PNT는 유비쿼터스를 위한 필수적인 것이다. 장차 GPS, 갈릴레오, 글로나스 등과 같은 것이 우리의 PNT 환경을 이룰 것이다. 그렇지만 GNSS의 취약성은 앞에서 언급한 바와 같다. 갈릴레오는 GPS 시스템에서 고장이 발생하였을 때 대신할 수도 있다. 그러나 GPS, 갈릴레오 등과 같은 GNSS는 신호의 간섭 및 방해 신호에 공통적으로 취약하다.

그러므로 PNT의 지속적인 이용도를 확보함으로써 중대한 인프라가 신뢰할 만하고 강건하게 동작되기 위해서는 GNSS에 있는 공통의 취약성을 강조할 수밖에 없다. 그 해결책으로 비용 효율적인 면에서 좋고, 보완적이며 전혀 다른 기술로 이런 취약성을 공유하지 않는 시스템이 바로 eLoran이다.

3.1.2.1 기술적 측면

위성항법시스템에만 의존하는 국가측위인프라를 지상 기반의 전파항법시스템과 병행하여 이용 함으로서 육상·항공·국방 등 산업 전반에서 안전망이 확보된다.

eLoran 시스템은 지상파를 이용한 저주파 고출력의 전파로 외부로부터의 교란이나 방해가 거의 불가능하며, 건축물 내부나 터널 등에서도 이용이 가능하여 GNSS 시스템과 하이브리드 형태로 이용할 경우 효율을 극대화할 수 있다.

또한, eLoran 구축에 따른 항법인프라 선도 기술을 확보할 수 있으며, 다양한 산업분야의 시각동기 백업망 구축을 위한 연구 활성화로 시각동기 기술력 증대가 가능하고, GNSS/eLoran 송·수신 시스템 통합을 위한 다양한 방안의 지속적인 연구가 가능하다.

eLoran 신호는 국제적으로 표준화된 PNT 정보를 서비스함으로서 광범위하게 활용이 가능하고, GNSS와는 서로 독립되고 상호 보완적으로 이용 가능하며, GNSS 시스템 고장 시 동일한 서비스 제공기술을 확보하게 되는 것이다.

3.1.2.2 정책적 측면

eLoran은 항해 및 입출항 선박의 안전운항 지원을 위한 e-Navigation 정보를 제공하기 위한 수단이며, 항공과 육상교통 분야의 독자측위 인프라를 구현할 수 있다.

미국, 유럽 등에서 구축한 GNSS 의존에서 탈피하여 독자적인 PNT 인프라 확보를 통해 다원화할 수 있으며, 독자적 국가 통신망 및 IT기술 자립기반을 제공하고, PNT 정보 이용자들은 위성 서비스가 중단 되어도 GNSS의 경제적 이익, 방위, 안전을 유지할 수 있다.

3.1.2.3 경제적 측면

eLoran 신호는 정밀시간정보를 포함하고 있어 기존의 GNSS 시각정보 이용 시스템의 안정적인 운영을 위하여 저비용으로 정밀한 시각동기 구축이 가능하다.

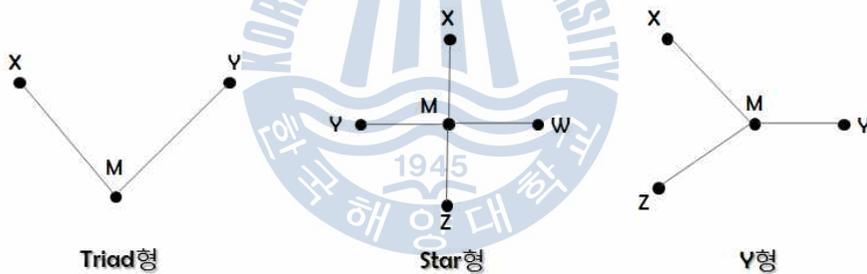
eLoran은 지상을 기반으로 하는 시스템으로 원하는 지역에 송신국 구축이 가능하고 위성항법에 비해 구축 및 운영비용이 저렴하며, 항법분야 뿐 만 아니라 통신, 운송, 금융 등 산업 전반에서 정밀한 시각정보를 손쉽게 활용할 수 있다.

또한, 국가 전역의 항만·공항·국방 등에 시각·위치 서비스가 가능하며, 건물 또는 터널 내부에서도 이용할 수 있어 공공안전, 산악·화재구조, 과학분야 등 다양한 분야에 적용함으로써 사회 안전비용을 절감할 수 있다.

3.2 국내 eLoran 송신국 및 보정국 배치 분석

3.2.1 eLoran 송신국 배치 분석

eLoran 시스템의 측위성능을 극대화 하기 위해서는 송신국의 구성과 배치는 매우 중요한 고민거리중의 하나이다. 기본적으로는 지상파항법시스템인 Loran-C 체인구성과 동일한 특징을 가지고 있지만 위치정밀도의 극대화를 위해서는 DOP(Dilution of Precision) 최적화 방안이 무엇보다 중요하며, 활용 가능한 부지에 송신국을 배치하고 서비스 유효범를 한반도와 주변해역에까지 최대화 할수 있는 방안을 고려해야 한다. eLoran 체인은 적어도 3개이상의 송신국으로 구성되어야 하며, DOP 최적화를 위한 기본구성 방안은 <그림3-3>에서 보는 바와 같이 Triad형, Star형, Y형 등의 배치방법이 있으며, 어떤 형을 선택하는가는 송신국의 수와 송신국의 설치장소, 유효범위에 따라 구성방법을 달리할 수 있다.



<Fig. 3-1> eLoran/Loran-C 송신국 기본구성

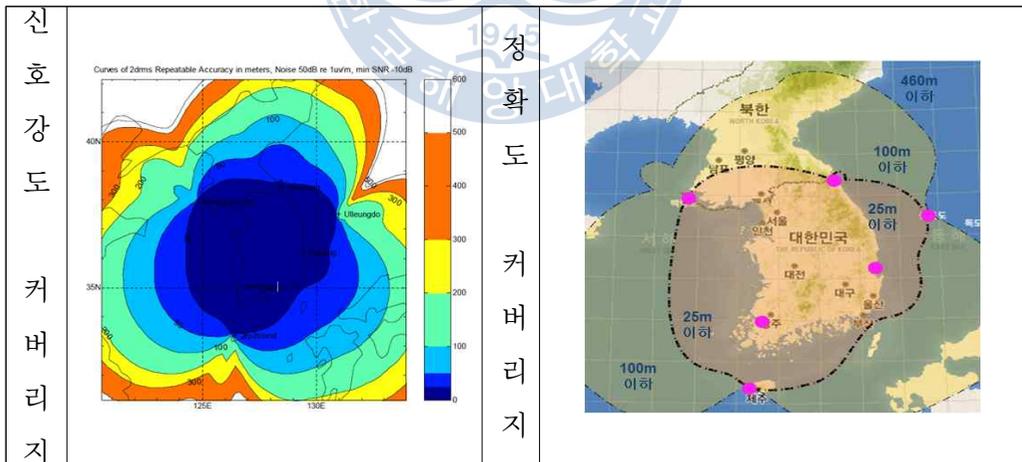
eLoran 송신국의 효율적인 배치와 송신출력의 선정은 신호의 이용 커버리지와 정밀도를 결정하는 중요한 요인 중에 하나이다. 따라서 본 연구에서는 한반도의 내륙과 해상에서 가장 넓은 커버리지를 형성할 수 있는 송신국 배치방안에 대해 10가지 유형으로 분류하여 시뮬레이션 방법을 통해 분석해 보았으며, 그 결과는 다음과 같다.

<Table 3-1> 송신국 배치와 송신출력별 분석유형

구분	송신국 배치 및 송신출력 유형	비고
1	포항(150kW), 광주(50kW), 백령(50kW), 울릉(50kW), 고성(50kW), 제주(150kW)	
2	포항(150kW), 광주(50kW), 백령(150kW), 울릉(150kW), 제주(150kW)	
3	포항(150kW), 광주(50kW), 백령(50kW), 고성(50kW), 제주(150kW)	
4	포항(150kW), 광주(50kW), 강화(50kW), 울릉(50kW), 제주(150kW)	
5	포항(150kW), 광주(50kW), 강화(50kW), 고성(50kW), 제주(150kW)	
6	포항(150kW), 광주(50kW), 백령(50kW), 울릉(10kW), 고성(50kW), 제주(150kW)	
7	포항(150kW), 광주(50kW), 강화(100kW), 고성(100kW), 청주(100kW)	
8	포항(150kW), 광주(50kW), 태안(100kW), 철원(100kW), 울릉(100kW)	
9	포항(150kW), 광주(50kW), 태안(100kW), 철원(100kW), 제주(100kW)	
10	포항(150kW), 광주(50kW), 강화(100kW), 고성(100kW), 울릉(100kW)	

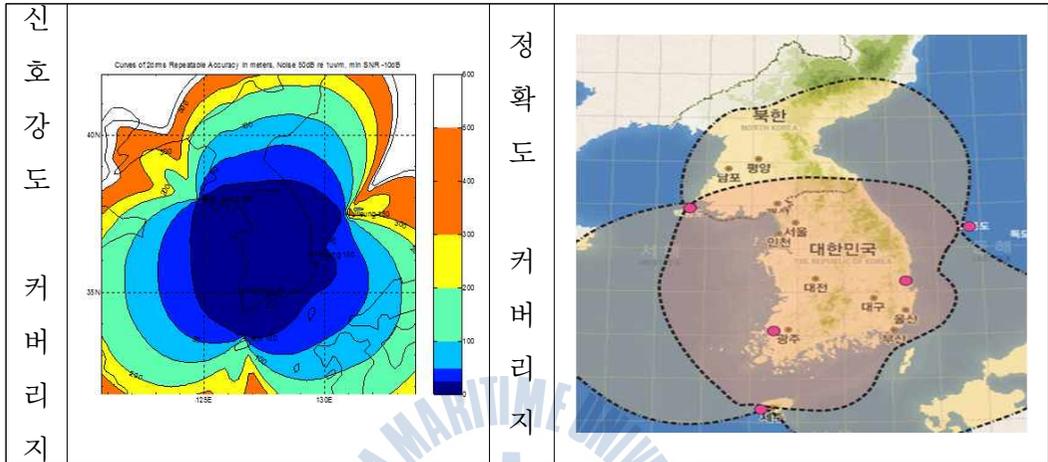
<Table 3-2> 포항/광주/백령/울릉/고성/제주 시뮬레이션(150k/50k/50k/50k/150k)

구분	포항	광주	백령	울릉	고성	제주
	150 KW	50 KW	50 KW	50 KW	50 KW	150 KW



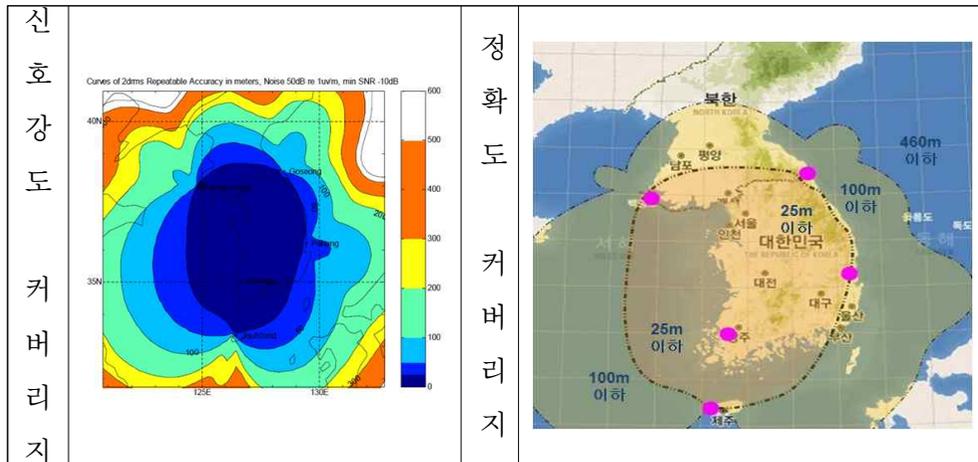
<Table 3-3> 포항/광주/백령/울릉/제주 시뮬레이션(150k/50k/150k/150k/150k)

구분	포항	광주	백령	울릉	제주
	150 KW	50 KW	150 KW	150 KW	150 KW



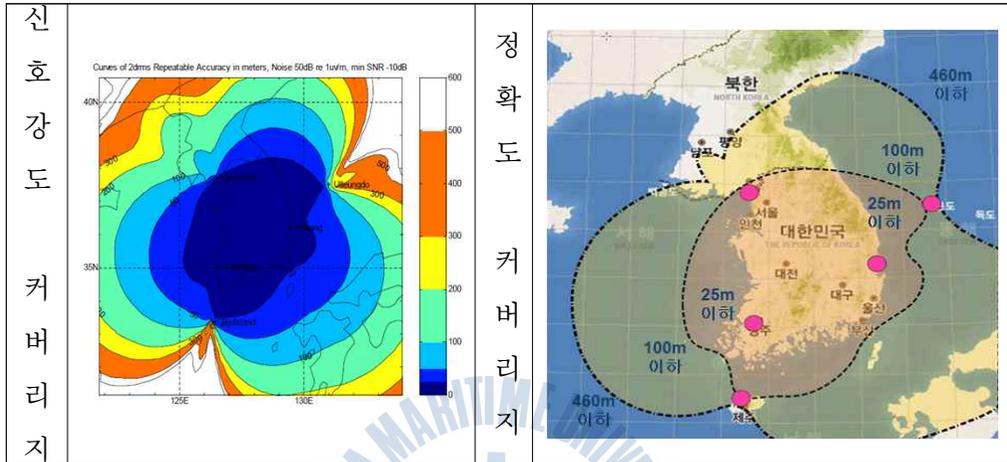
<Table 3-4> 포항/광주/백령/고성/제주 시뮬레이션(150k/50k/50k/50k/150k)

구분	포항	광주	백령	고성	제주
	150 KW	50 KW	50 KW	50 KW	150 KW



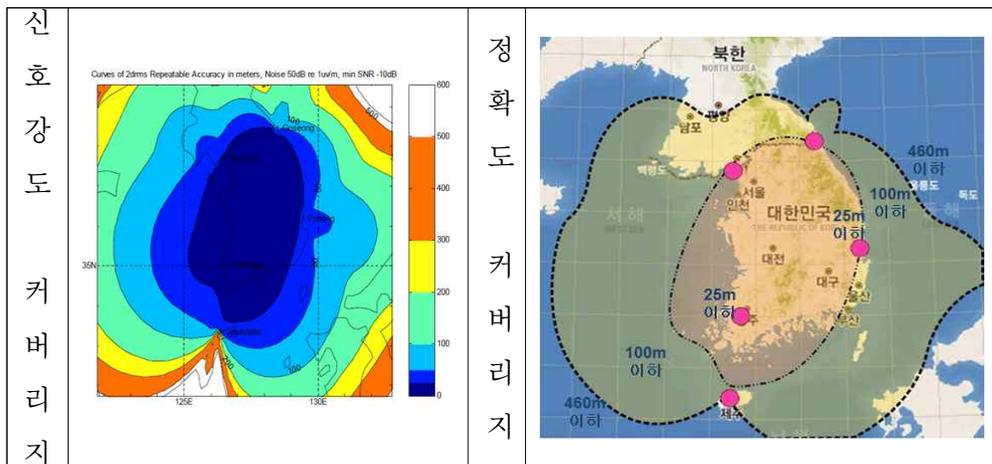
<Table 3-5> 포항/광주/강화/울릉/제주 시뮬레이션(150k/50k/50k/50k/150k)

구분	포항	광주	강화도	울릉	제주
	150 KW	50 KW	50 KW	50 KW	150 KW



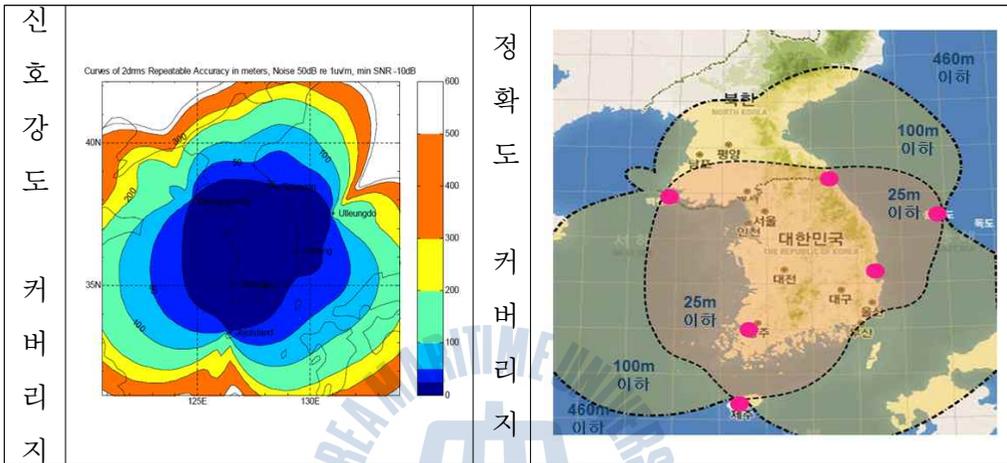
<Table 3-6> 포항/광주/강화/고성/제주 시뮬레이션(150k/50k/50k/50k/150k)

구분	포항	광주	강화	고성	제주
	150 KW	50 KW	50 KW	50 KW	150 KW



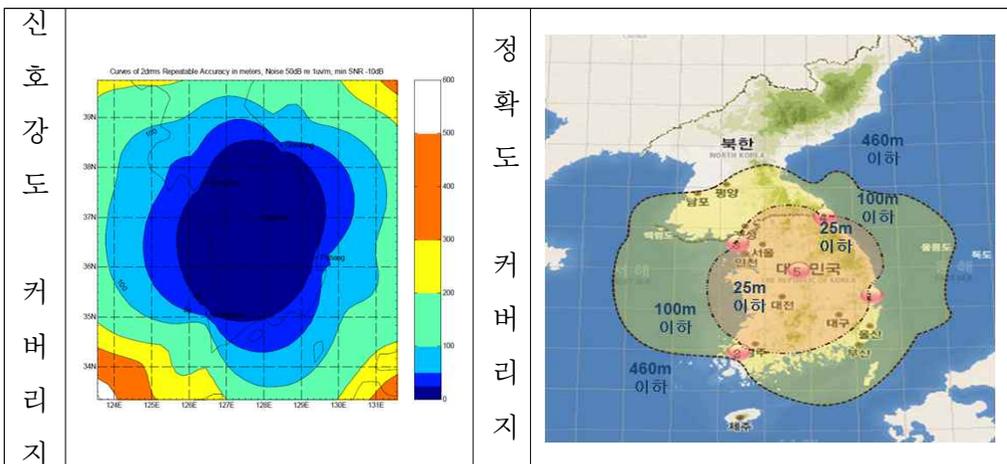
<Table 3-7> 포항/광주/백령/울릉/고성/제주
시물레이션(150k/50k/50k/10k/50k/150k)

구분	포항	광주	백령	울릉	고성	제주
	150 KW	50 KW	50 KW	10KW	50 KW	150 KW



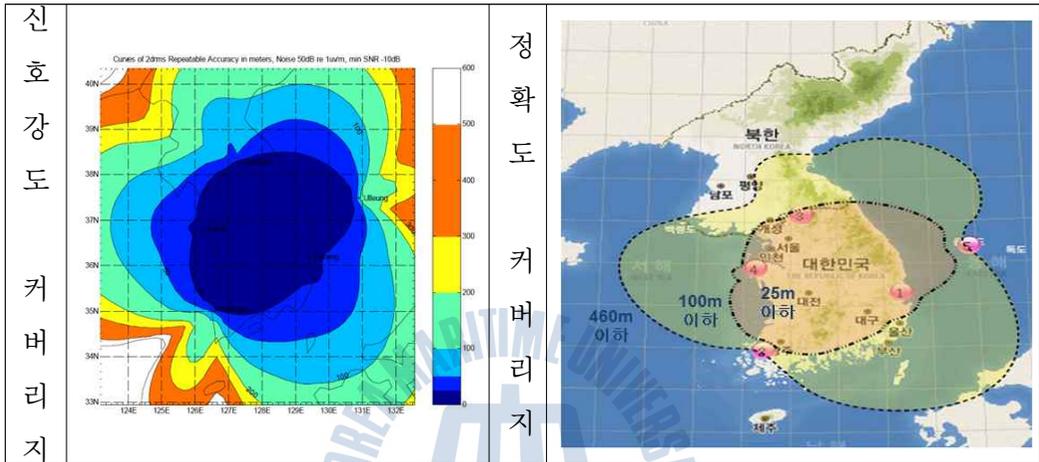
<Table 3-8> 포항/광주/강화/고성/청주 시물레이션(150k/50k/100k/100k/100k)

구분	포항	광주	강화도	고성	청주
	150 KW	50 KW	100 KW	100 KW	100 KW



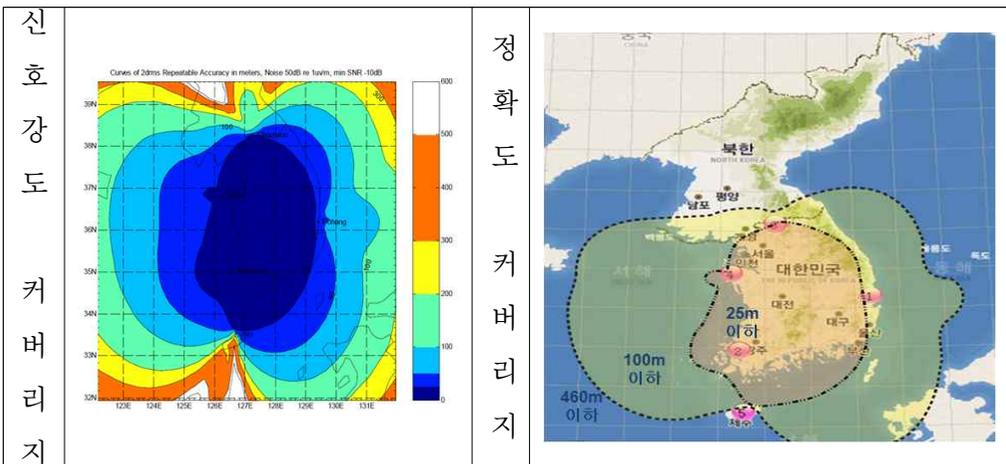
<Table 3-9> 포항/광주/태안/철원/울릉 시뮬레이션(150k/50k/100k/100k/100k)

구분	포항	광주	태안	철원	울릉
	150 KW	50 KW	100 KW	100KW	100 KW



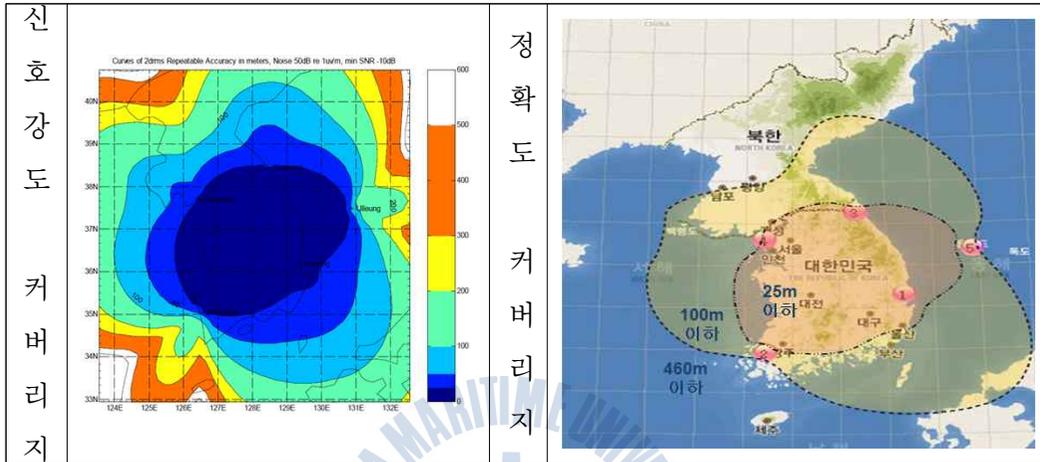
<Table 3-10> 포항/광주/태안/철원/제주 시뮬레이션(150k/50k/100k/100k/100k)

구분	포항	광주	태안	철원	제주
	150 KW	50 KW	100 KW	100 KW	100 KW



<Table 3-11> 포항/광주/강화/고성/울릉 시물레이션(150k/50k/100k/100k/100k)

구분	포항	광주	강화	고성	울릉
	150 KW	50 KW	100 KW	100KW	100 KW



시물레이션을 통해 분석한 10가지 송신국 배치 안중 <Table 3-2> 포항/광주/백령/울릉/고성/제주 방안과 <Table 3-3> 포항/광주/백령/울릉/제주 배치방안, <Table 3-7> 포항/광주/백령/울릉/고성/제주 배치방안이 유효 커버리지 특성이 우수한 것으로 나타났다. 그러나 <Table 3-2>와 <Table 3-7>은 6개 송신국 구성방안으로 <Table 3-3>의 5개 송신국 구성방안에 비해 실익이 적은 것으로 분석되었다. 따라서 <Table 3-3>의 방안이 가장 우수한 송신국 배치방안으로 정의하였으며, 내륙지역의 안정적인 커버리지와 해양(서해, 남해, 동해) 권역에서도 가장 넓은 유효범위 특성을 나타냈다. 위치정밀도에서도 25m이하 커버리지 구역이 가장 넓은 것으로 분석되었으며 송신출력은 광주송신국 50KW를 제외한 모든 송신국을 150KW로 출력하는 것이 가장 효율적이며, 38선 이북지역도 상당부분 서비스 권역 내에 포함될 수 있을 것으로 분석되었다. 송신 출력은 이보다 높은 출력을 송출한다 해도 송신출력 대비 효율이 높지 않을 것으로 분석되었다.

3.2.2 eLoran 보정국 배치 분석

eLoran의 주요활용 범위는 항만 입구 및 접근(Harbour Entrance and Approach)을 위한 위성항법에 대체 기능으로서의 서비스를 제공하는 것이다. 이것은 ASF(Additional Secondary Factor)의 Temporal 효과를 제거하기 위하여, Data Channel 송신을 위한 Data를 송신사이트에 보내는 Local Reference Station을 가지고 dLoran (Differential Loran) Mode에서 운영을 필요로 한다. 그리고 이것은 항만 접근로 근처의 Survey가 수행되는 것을 필요로 하며 항만 접근지역에서의 신호 안정성을 높이기 위함이다. 따라서 국내에 eLoran 시스템이 구축이 되고 위치정밀도 향상을 위하여 dLoran Mode를 운영하기 위한 최적 후보지를 다음과 같이 제시할 수 있다.

<Table 3-12> eLoran 보정국 위치 선정

해양권역	보정국 소요지역	보정국 예상 위치도
동해북부	동해항	
동해남부 남해동부	포항항, 울산항, 미산항, 부산항	
남해서부	제주항, 진도항 목포항, 여수항	
서해북부	인천항, 평택항	
서해중부	대산항, 군산항	
계	13	

3.3 한국의 eLoran 체인 구성방안

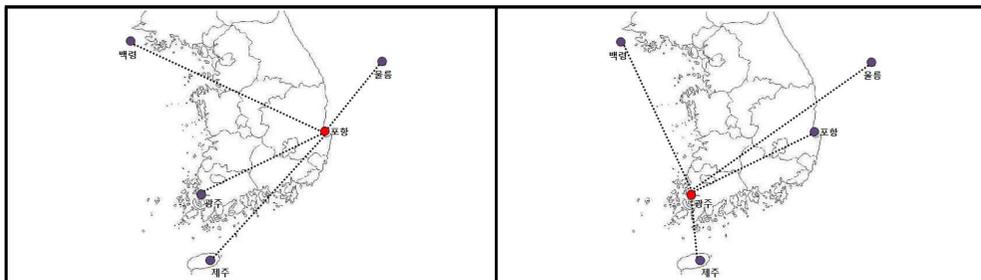
3.2.1절에서 분석한 결과와 같이 기존의 포항/광주 Loran-C 송신국을 eLoran 시스템으로 개량을 하고 추가로 3개소(백령, 울릉, 제주)의 송신국을 구축하여 5개의 송신국으로 새로운 체인을 구성하게 된다면 효율적인 체인구성 방안 검토가 필요하게 된다. 따라서 한반도의 연안구역 뿐만 아니라 내륙까지 정확도를 유지하면서 P.N.T 서비스를 제공할 수 있도록 하고 나아가서 극동아시아 전 파표지협의회에 관련 국가들과 존중하게 되는 중국의 Loran-C 및 러시아의 Chayka 송신국들의 개량을 통해 새로운 GRI를 구성하여 일본의 Loran-C 전파 송신 중단으로 인한 공백을 메울 수 있는 방안 검토가 필요하다.

3.3.1 단일 GRI로 체인을 구성하는 방안

단일체인 구성 방안은 5개의 송신국을 하나의 GRI로 운영을 하는 방안으로 포항 또는 광주송신국을 주국으로 하고 나머지 송신국을 종국으로 활용하는 구성방안을 고려할 수 있다. 이 방안은 모든 송신국들이 Single Mode 송신을 사용함에 따라 전력소비를 최소화 할 수 있으며, 향후 국제 협력체인 구성을 위한 Dual Mode 송신을 디자인하기에 용이해지는 장점이 있다.

<Table 3-13> 단일 체인으로 구성하는 방안

구분	Master	Slave
Case 1	포항	광주, 백령, 제주, 울릉
Case 2	광주	포항, 백령, 제주, 울릉



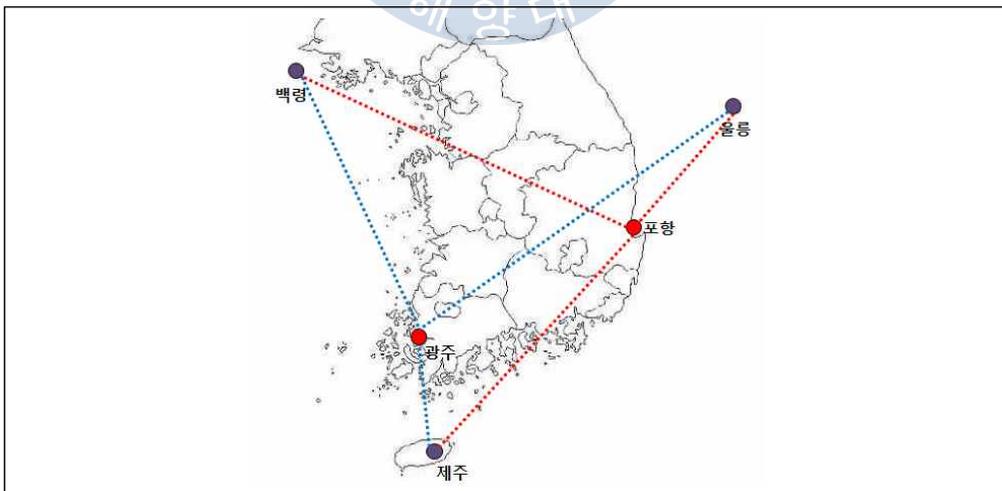
<Fig. 3-2> 단일 체인으로 구성하는 방안(Case1, Case2)

3.3.2 이중 체인으로 GRI를 구성하는 방안

5개의 송신국으로 고려해 볼 수 있는 체인구성 방안 중에는 이중화 체인 구성을 생각해 볼 수 있다. 이 경우 포항과 광주 송신국이 주국(M)기능을 수행하고 나머지 강화, 제주, 울릉도 송신국이 모두 Dual Mode의 송신신호를 발사하는 종국(S) 기능을 수행 줌으로서 2개의 GRI를 운영하는 방식이다. 이중화 체인 구성은 장점보다는 단점이 더 많이 발생 할 것으로 예상 된다. Dual Mode로 운영하는 송신국의 시스템 가동률이 높아지고 전력소비도 증가하게 된다. 또한 수신기의 신호 탐색 민감도가 증가 되어 예민한 수신특성을 요구하게 될 것이다. 국내 송신국간 또는 인접 국가의 Loran-C 신호의 CRI(Cross-rate Interference) 우려로 인해 GRI 선택이 어려워지는 문제점을 가지고 있다. 향후 러시아와 중국, 일본 등 인접국가와의 협력체인구성시에도 협력송신국 선정의 폭이 좁아지는 단점을 가지고 있다.

<Table 3-14> 이중 체인으로 구성하는 방안

구분	Master	Slave
GRI - I	포항	백령, 제주, 울릉
GRI - II	광주	백령, 제주, 울릉



<Fig. 3-3> 이중 체인으로 구성하는 방안

제 4 장 한국 eLoran 체인의 GRI 최적화

4.1 GRI 개요

Loran-C 체인은 1개의 주국과 2~4개의 종국으로 구성되며, 모든 송신국에서 100kHz의 주파수를 이용하여 주기 10 μ s의 무선주파수 펄스파를 전송하는데, 주국에 이어 순차적으로 종국이 전파를 전송한다. Loran-C 체인은 주국(종국)신호의 발사에서 다음 주국(종국)신호발사까지 일정한 주기를 가지며, 이 주기를 펄스그룹반복주기(GRI Group Repetition Interval)라 하고, GRI에 동기된 펄스신호를 발사하는 송신국의 그룹을 한 개의 체인이라고 한다.

Loran-C 종국은 주국의 신호를 수신한 순간부터 종국의 신호를 발사하는 순간까지의 약속된 대기시간을 가지는데 이를 CD(Doding Delay)라고 한다.

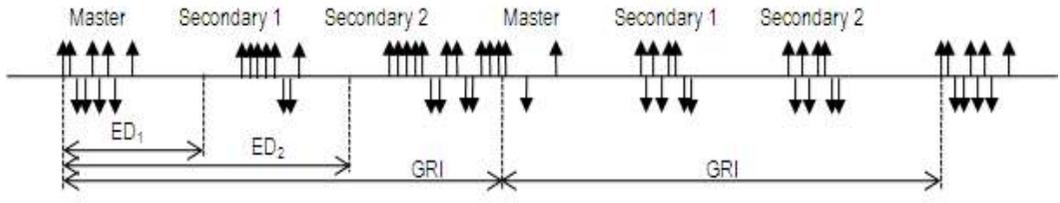
Loran-C 주국신호가 종국까지의 기선(Base line length)에 따라 전달되는 시간과 CD(Coding Delay) 시간의 합을 ED(Emission Delay)라고 한다.

$$\text{Emission Delay} = \text{Base line length} + \text{Coding Delay}$$

GRI는 동일한 체인 내에서 주송신국의 송신과 송신사이의 시간 간격을 말하는 것으로 수신기는 이 시간 간격을 가지고 체인을 구별하게 된다. GRI 선택에는 2개의 중요한 요소가 있다.

첫 번째 요소는 CWI(Continuous Wave Interference)라고 하는 간섭신호인데 이는 Loran-C 송신신호 전송에 이용되는 100kHz의 주파수에 가까운 전파를 이용하는 송신기에서 기인한다.

두 번째로는 Cross-Rate Interference 라고 하는데, 이는 인접한 Loran-C 체인의 송신국들이 전송하는 펄스신호들이 서로 중첩됨에 따라 혼신을 일으키는 것을 말한다.

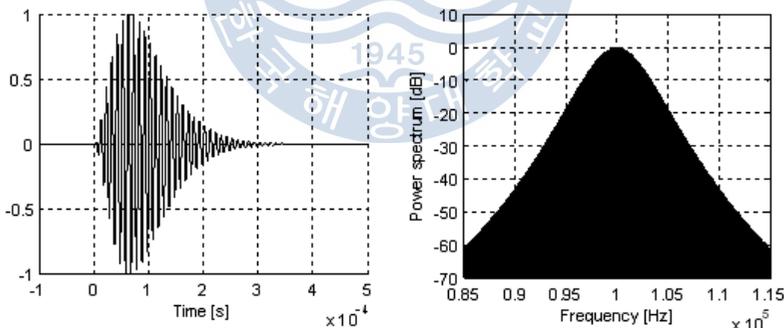


<Fig. 4-1> Loran 신호 구조

이것은 같은 모든 주파수를 사용하는 Loran 송신국에서 발생하는 중요한 요소이다. 그 외에도 다른 방해요소들이 존재한다. 한 체인 내에서 신호를 송신하는 데 송신간의 간격을 USCG는 신호 스펙에 필요 요건을 부과하고 있다. 그래서 GRI는 이러한 요건을 만족하기 위하여 송신국의 구성에 의하여 이루어지는 간격보다 더 큰 간격으로 선택되어야 한다.

4.1.1 CWI(Continuous Wave Interference)

로란 펄스의 90 ~ 110kHz 주파수 밴드의 전파항법으로 엄격하게 규제하고 있어 주파수는 통상 의도적인 관련 지속파간섭(CWI)에서 자유롭다.



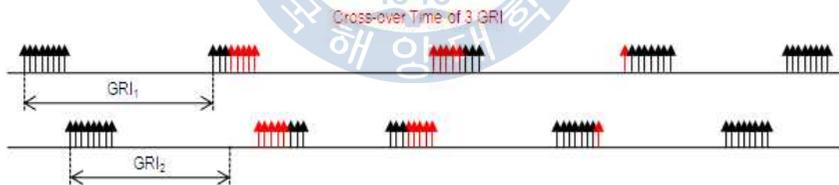
<Fig. 4-2> Loran pulse and power spectrum

미국에서는 50~150kHz 스펙트럼은 유럽보다 깨끗하다. 유럽은 이 대역에서 약 1000개의 송신국이 확인되는데 이들 송신국은 Loran-C 주파수 밴드에 가깝게 방송하고 있다. 이들 간섭에서 신호의 세기는 거리 및 전달 함수이며, 밤 시간에는 공간파 전달이 증가하므로 아주 심각한 수준이다. Loran-C 수신기의 성

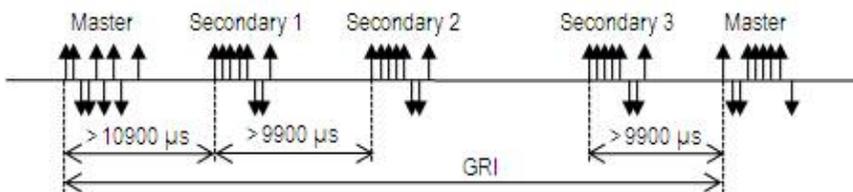
능에서 지속과 영향은 Loran-C의 신호에 대한 간섭신호의 세기 및 그 주파수에 의존한다. 수신기에서 추적루프는 빗 필터처럼 작동한다. 이 필터에서 각 패스 밴드는 송신 Loran-C 신호의 스펙트럼 중앙에 위치한다. 수신기의 빗 필터(comb filter)는 <Fig. 4-2>와 같이 모델화 될 수 있으며, 이 필터에서 수신기의 추적 루프 밴드 폭을 표시한다. 옛날 수신기에서는 종종 1분 이상의 적분 시간을 사용하는데 그 결과로 추적 루프의 밴드폭은 0.02Hz 미만이 된다. 현대 수신기는 통상 펄스 추적보다 훨씬 짧은 시간 즉, 1~10초 동안 적분한다. 그 결과 추적 루프 밴드폭은 1~0.1Hz가 된다. 사이클 식별에 사용되는 펄스 윤곽 측정을 상당히 긴 시간 즉, 수분동안 평균하면 윤곽 추적 밴드폭은 통상 0.01Hz 보다 작다.

4.1.2 Cross-rate Interference

Loran-C는 TDMA-CDMA 시스템이다. 하나의 체인 내에서 각 송신국은 동일 체인에서 다른 송신국과 겹치는 것을 방지하기 위하여 고유한 타임슬롯(time-slot)을 갖고 있다. 각 체인은 GRI라고 하는 다른 반복률을 갖고 있다. 각 Loran-C 송신국은 동일 주파수로 동일한 펄스 모양의 신호를 송신하므로 Loran-C 체인의 신호는 종종 하나 이상의 다른 체인에 의하여 교란 당하기도 한다.



<Fig. 4-3> Cross-rate interference



<Fig. 4-4> Constraints for spacing of transmissions in one chain

Cross-rate interference(CRI)는 결정적인 것이며 수신기의 위치, 원하는 송신국의 시각 동기 및 모양에 대한 크로스레이트 송신국의 지표파와 공간파, 복합파의 시각동기 및 모양 등의 영향을 주로 받는다. 크로스레이트 패턴은 기본적으로 주기적이며 다음 식으로 표시되는 크로스오버(crossover) 시간을 갖는다.

$$T_{crossover} = \frac{GRI_A \cdot GRI_B}{GCD(GRI_A, GRI_B)} \times 10^{-5} s$$

여기서 GCD는 GRIA, GRIB의 최대공약수이고 GRIA, GRIB는 각각 숫자(예, 7499)로 표시된 GRI이다. 유럽 및 미국에 있는 Loran-C 체인의 대부분의 GRI를 인근의 체인에 대하여 큰 크로스오버 시간을 갖고 있다. 크로스레이트의 패턴에는 아직도 큰 주기와 비슷한 것이 있고 펄스 그룹이 부분적으로 겹칠 경우 짧은 인터리빙(interleaving)도 있다(JAn Safar, Frantisek Vejrazka & Paul Willwams., 2012)

4.1.3 GRI선정 방법과 절차

본 검토는 코리아체인에 적절한 GRI 선정을 위하여 다음 방법과 절차에 의거하였다.

- 1) 한국 eLoran 체인 구성 방안에 따른 송신국 현황
- 2) FELT와 FERNS 회의에서의 GRI 선정
- 3) 한국 eLoran 체인의 최소 허용 GRI 계산
- 4) 선택할 수 있는 한국 eLoran 체인의 GRI범위 검토
- 5) 각 TMCN의한 Interface Index 분석
- 6) USCG와 JMSA에 검토자료 비교 분석
- 7) 한국 eLoran 체인의 GRI 선정

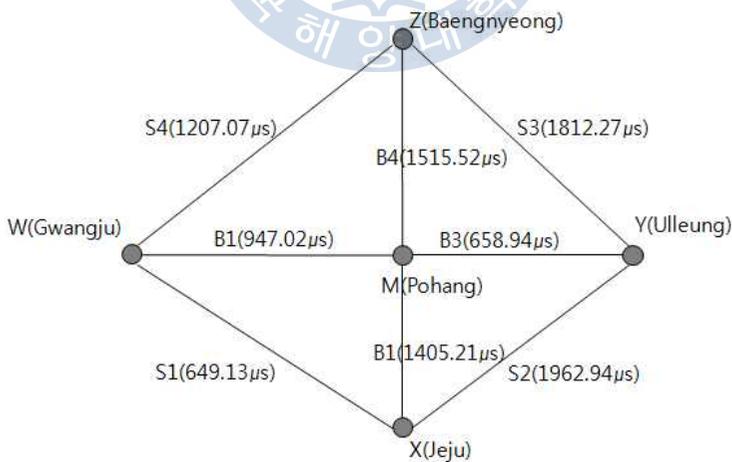
4.2 새로운 eLoran 체인의 GRI 분석

4.2.1 송신국간 거리계산

아래의 <Table 4-1>은 송신국의 위치는 WGS 84를 기준으로 계산된 송신국간의 거리 계산 결과이다.

<Table 4-1> 송신국간 거리계산 결과

Station	Distance	μs	Station	Distance	μs
M/Pohang-W/Kwangju	283,697	947.02	M/Gwangju-X/Jeju	194,471	649.13
M/Pohang-X/Jeju	420,981	1405.21	M/Jeju-Y/Ulleung	588,069	1962.94
M/Pohang-Y/Ulleung	197,411	658.94	M/Ulleung-Z/Baengnyeong	542,900	1812.27
M/Pohang-Z/Baengnyeong	454,000	1515.52	Z/Baengnyeong-W/Kwangju	361,600	1207.07



<Fig. 4-5> 송신국간 거리표

4.2.1.1 최소 GRI값 계산식

① 기본공식 : $TD = B + \Delta + S - m$

이 공식에 의하여, TD, Coding Delay, GRI가 계산된다.

B : 기선장(μs)

Δ : Coding Delay(μs)

S : 중국 ↔ 수신기 거리

m : 주국 ↔ 수신기 거리

r : 회복시간($r_1=4000\mu s, r_2=3000\mu s$)

s : 펄스그룹($7000\mu s$)

② Coding Delay 계산

① 첫 번째 중국에서 Coding Delay : $\Delta_1 = s + r_1 = 11000\mu s$

② 두 번째 이후의 중국에서 Coding Delay

$$\Delta_2 = B_1 + S_1 - B_2 + (\Delta_1 + s + r_2)$$

$$= \Delta_1 + B_1 + S_1 - B_2 + 10,000$$

$$\Delta_3 = B_1 + S_1 + S_2 - B_3 + (\Delta_1 + s + r_2)$$

$$= \Delta_2 + B_2 + S_2 - B_3 + 10,000$$

$$\Delta_4 = B_1 + S_1 + S_2 + S_3 - B_4 + (\Delta_1 + s + r_2)$$

$$= \Delta_3 + B_3 + S_3 - B_4 + 10,000$$

※ 계산 결과는 $1000\mu s$ 단위로 절상

③ 최대 Coding Delay

Master(M)에 있어서 $TD = B + \Delta + S - M$

Master(M)에 있어서 $S = B, M = 0$

그러므로, $TD = 2B + \Delta$

4.2.1.2 코리아체인이 최소 Coding Delay와 최소 GRI 선정

<Table 4-2>는 최소 Coding Delay의 계산결과를 보여준다.

<Table 4-2> 최소 Coding Delay

구분	공식	계산
$\Delta 1$	$\Delta 1 = \text{펄스그룹}(s) +$ 수신기 회복시간(r_1)	$\Delta 1 = 7000 + 4000$ $= 11000\mu s$
$\Delta 2$	$\Delta 2 = (\text{주국과 제1종국}(W)\text{간의 기선장})$ $+ 11000$ $+ (\text{제1종국}(W)\text{과 제2종국}(X)\text{간 기선장})$ $- (\text{주국과 제2종국}(X)\text{간 기선장})$ $+ s + r_2$	$\Delta 2 = 947.02 + 11000 + 649.13 -$ $1405.21 + 7000 + 3000$ $= 21190.94\mu s$
$\Delta 3$	$\Delta 3 = (\text{주국과 제1종국}(W)\text{간의 기선장})$ $+ 21000$ $+ (\text{제1종국}(W)\text{과 제2종국}(X)\text{간 거리})$ $+ (\text{제2종국}(X)\text{과 제3종국}(Y)\text{간 거리})$ $- (\text{주국과 제3종국}(Y)\text{간 기선장})$ $+ s + r_2$	$\Delta 3 = 947.02 + 21000 +$ $649.13 + 1962.94 -$ $658.94 + 7000 +$ 3000 $= 33900.15\mu s$
$\Delta 4$	$\Delta 4 = (\text{주국과 제1종국}(W)\text{간의 기선장})$ $+ 31000$ $+ (\text{제1종국}(W)\text{과 제2종국}(X)\text{간 거리})$ $+ (\text{제2종국}(X)\text{과 제3종국}(Y)\text{간 거리})$ $+ (\text{제3종국}(Y)\text{과 제4종국}(Z)\text{간 거리})$ $- (\text{주국과 제4종국}(Z)\text{간 기선장})$ $+ s + r_2$	$\Delta 4 = 947.02 + 31000 +$ $649.13 + 1962.94 +$ $1812.27 - 1515.52 +$ $7000 + 3000$ $= 44855.84\mu s$

<Table 4-3>은 최소 GRI 계산 결과를 보여준다.

<Table 4-3> 최소 GRI 계산

Minimum Coding Delay		Rounding off Coding Delay	Maximum allowable Coding Delay	Remark
w	11000.00 μ s	11000 μ s		최대값 = 2B + Δ (=2*B4+ Δ)
X	21190.94 μ s	22000 μ s		
Y	33900.15 μ s	34000 μ s		
Z	44855.84 μ s	45000 μ s	54031 μ s	

<Table 4-4>는 현재 사용되고 있는 GRI 현황을 보여 준다.

<Table 4-4> GRI 사용현황

구분	1000-i	900-i	800-i	700-i	600-i	500-i
GRI		9000	8000 ●	7000	6000	5000
	9990 ★*	8990 ●	7990 ●	6990 ★E	5990 ●	4990 ●
	9980 ●	8980	7980 ●	6980	5980 ★*	4980
	9970	8970 ●	7970 ●	6970	5970	4970 ●
	9960 ●	8960	7960 ●	6960	5960	4960
	9950	8950	7950 ★B	6950	5950	4950
	9940 ●	8940 ●	7940 ●	6940	5940	4940
	9930	8930 ★D	7930 ●	6930	●	4930
	9610 ●		7170 ●	6942 ● 9780 ★G	5940 ●	

* 5980 : bering Sea Chain, 9990 : Northwest Pacific Chain

※ ● 사용, ★ 동아시아지역 'FERNS(해양수산부, 1997)

4.2.1.3 적정한 최소 허용 GRI

$$\begin{aligned} \text{GRI} &> \text{Max Coding Delay} + \text{펄스그룹(s)} + \text{수신기 회복시간(r2)} \\ &> 54031 + 7000 + 3000 = 64031 \end{aligned}$$

그러므로 GRI는 64031 μ s 이상이면 됨

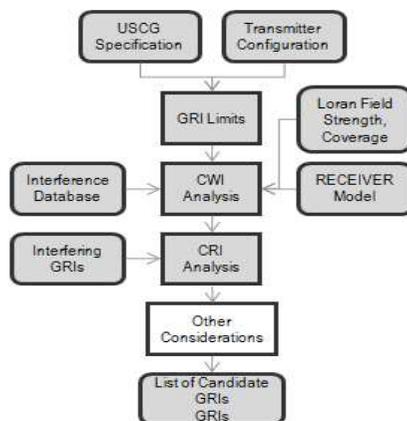
4.2.1.4 선택할 수 있는 한국체인의 GRI 범위 검토

GRI 범위 검토를 위한 기본원칙은 다음의 2가지를 고려하였다.

첫 번째로는 계산된 최소 허용 GRI값 64031 μ s 보다 큰 값이어야 하고, 두 번째로는 한국의 eLoran 체인내의 기존의 Loran-C 송신시스템이 수용할 수 있는 GRI 이어야 한다는 것이다.

4.3 GRI 최적화

GRI는 4,000 ~ 9,999까지 운영 가능하지만 현재 운영중인 GRI는 5543 Calcutta에서부터 9990 North Pacific까지 28개가 운영중에 있다. 그중 FERNS 체인들의 구성을 보면 6780, 7430, 7950, 8390, 8930 및 9930으로 상당히 큰 영역을 차지하고 있어 새로운 체인을 구성할 경우 상당한 어려움이 따를 수 있다. 아래 <Fig. 4-6>은 GRI 선택과정을 도식한 것이다.



<Fig. 4-6> The overall procedure of GRI selection

한 체인 내에서 신호를 송신하는데 송신간의 간격을 USCG는 신호 스펙에 필요 요건을 부과하고 있다. 그래서 GRI는 이러한 요건을 만족하기 위하여 송신국의 구성에 의하여 이루어지는 간격보다 더 큰 간격으로 선택되어야 한다.

포항을 주국으로 운영중인 9930 체인의 경우에는 1개 주국과 4개 종국으로 구성된 총 5개의 송신국을 운영 중이다. 또한 FERNS 체인을 포함한 전 세계의 체인 역시 최대 5개의 송신국을 운영 중에 있다.

한국의 eLoran 체인은 기존의 포항, 광주 송신국에 동·서·남해 각 1개소를 포함한 총 5개의 송신국으로 구성이 가능하다. 하지만 내륙에 송신국을 추가로 구축할 경우 1개 주국에 5개의 종국이 되므로 송신국은 총 6개가 되고, 체인은 결국 2중체인으로 구성·운영하여야 한다.

그러므로 본 연구에서는 5개 송신국을 1개 체인으로 하는 2중 체인을 구성한다는 가정하에 GRI를 선택하였다.

먼저, Continuous Wave 분석을 위하여 ITU의 최신 Version의 국제 주파수 리스트 데이터베이스를 이용하여, 새 체인에 대한 전파 발생원을 분석하였다. 또한 새로운 eLoran Receiver의 수용력을 고려하여 all-in-view가 사용되는 것으로 하였으며, 6,000개의 GRI가 운용 가능하다는 가정 하에 최소공배수 방식으로 910개의 후보군을 선택하였고, 그 가운데 CWI 분석으로 39개의 후보군을 순차적으로 정하였다.

Cross-rate Interference를 계산하기 위하여 CWI에서 제안된 39개의 후보군 GRI를 이용하여 현재의 FERNS 체인들의 GRI와 비교 분석하였으며, 이 중에서 선택된 4개의 GRI 값을 현재 전 세계에 할당된 기존의 GRI와 비교 분석하여 7081과 9431을 GRI 값으로 찾아내었다.

GRI 7081은 낮은 CWI를 나타내고 있으나, GRI 6780(China South Sea)와 GRI 7430(China North sea) 체인의 5번째 interval에서 cross-over time이 발생한다.

GRI 9431은 FERNS 체인들에 비해 보다 나은 CRI를 보여주고 있다.

제 5 장 결론

5.1 결론

최근 수년간 북측 소행으로 의심되는 GPS 전파방해(Jamming) 발생으로 인해 선박·항공기의 항법장치, 이동통신기지국 및 방송사의 일부 시스템에서 오류 현상이 나타나는 등 그동안 꾸준히 제기되어 왔던 GPS 취약성에 대한 우려가 현실화됨에 따라, 해양수산부에서는 항법·국방·정보통신 분야의 GNSS 대체 시스템에 대한 필요성을 확인하고 eLoran 시스템 구축을 추진하고 있다.

eLoran 시스템은 GNSS와는 달리 저주파수(100kHz), 고출력(수십kW~MW)을 이용하며, GNSS와 동등 성능의 정확도를 갖고 있는 지상파 기반의 항법시스템으로 전파교란에도 강한 시스템으로 인식되고 있다. 현재 전 세계적으로도 eLoran 시스템을 GNSS 백업시스템으로 활용하는 방안을 검토하고 있고, 특히 영국을 중심으로 유럽지역에서는 2018년부터 실용화 서비스를 목표로 시험운영 단계에 있다.

본 연구에서는 한국이 eLoran 체인을 구축할 경우를 고려하여, 서비스 범위 분석 시뮬레이션 툴을 이용하여 eLoran 송신국을 다양하게 변화를 줌에 따라 서비스 범위가 어떻게 변화하는가를 조사·분석하였고, 최적의 eLoran 송신국 구성방안에 따른 체인의 GRI 최적화 방안을 연구하였다.

한국의 eLoran 서비스 범위를 최대화하고, 정확도를 높이기 위한 방안으로 송신국의 위치를 국토 외곽에 기하학적으로 배치하여 분석한 결과, 기존 포항, 광주 Loran-C 송신국을 유지하고 백령도, 제주도, 울릉도 등 3개의 송신국을 추가하여 5개의 송신국으로 구성하는 것이 가장 적합한 것으로 분석되었다.

한국 eLoran 체인의 새로운 GRI 선정을 위한 주된 고려요소로 5개 송신국이 순차적으로 신호를 전송하는데 필요한 최소 GRI를 예측하였으며, 예측방법은

각 송신국간 거리와 Coding Delay를 고려한 최소 Coding Delay 분석하였고 동아시아지역의 다른 Loran-C 체인 신호와 중첩되는지 여부에 대한 CRI 분석이 주된 연구과제였다. 연구결과 최소 Coding Delay는 $64031\mu s$ 이상이면 충분할 것으로 분석되었으며, 최적의 GRI는 7081와 9431이 가장 효율적일 것으로 분석되었다.

본 연구에서 최적의 eLoran 체인 구성으로 분석된 5개 송신국 구성안의 경우 송신국의 전력소모량에 따른 운영비용 절감 등을 고려하면 단일 체인으로 운영하는 것이 가장 적절할 것이다. 그러나 기존 코리아 Loran-C 체인(GRI 9930)과 같이 국제체인으로 구성하여 운영하거나, 국내에 송신국 1개소를 추가로 구성하는 방안을 고려할 경우에는 이중 체인으로 구성하여 운영할 수밖에 없으므로 기존의 GRI 9930과 본 논문에서 분석된 GRI 7081 또는 9431 중에서 선택하여 최적의 체인을 구성하여 운영할 수 있다.

5.2 향후 과제

본 연구에서는 한국에 eLoran 서비스를 위한 송신국의 구성과 체인 운영을 위해 최적의 GRI값을 분석하여 연구하였으나, 향후 eLoran의 다양한 서비스와 보다 완벽한 위치정보 서비스를 위한 끊임없는 다양한 연구가 계속되어야 할 것이다.

우선 eLoran 펄스신호를 변조하여 디지털 정보를 제공하는 Loran Data Channel을 이용하여 수요자가 필요로 하는 다양한 정보를 서비스 하는 방안과, 국가안보, 국방 등 보안이 요구되는 분야에서 활용할 수 있도록 서비스 정보를 암호화 하는 방안을 연구함으로써 국가 중요 인프라를 보다 다양하게 활용할 수 있을 것이다.

다음으로는 현재 측위에서 주로 이용하고 있는 GNSS, eLoran 신호와 방송, 이동통신 등에서 이용하는 다양한 무선통신 신호들을 결합한 통합항법시스템을 연구함으로써 육상·해상·항공의 모든 항법·시각정보 이용분야에서 무결성, 신뢰성, 정밀도 및 연속성을 만족하는 보다 완벽한 통합정보를 활용할 수 있을 것이다.

이러한 연구를 통하여 우리나라 산업 전반의 시스템을 안정적으로 운영할 수 있을 것이고, 항법·시각분야의 최신 원천기술을 보유함으로써 IT 강국으로서 관련분야의 국가 경쟁력 확보와 세계 시장을 선도할 수 있는 기틀을 다지게 될 것으로 기대한다.



감사의 글

본 연구 논문을 마무리하면서 지난 2년의 석사과정 동안 많이 부족한 제자를 격려해 주시고 지도편달을 아끼지 않으신 해양경찰학과 교수님들께 감사의 마음을 먼저 전해 드린다.

특히 학과 과정을 마무리하고 마지막으로 논문을 작성하는 과정 중간에도 세세하게 부족한 부분을 지적해 주시고 고언을 아끼지 않으신 이은방, 윤종휘 두 분 교수님과 논문 심사위원장을 기꺼이 맡아주시고 전체 흐름을 되짚어 주신 정태권 교수님께 진심으로 감사를 드린다.

마지막으로 누구보다도 더 많은 애정을 가지고 산학협력단장의 막중한 직무에도 불구하고 틈틈이 시간을 내서 모든 교과과정을 성심껏 지도해 주시고, 논문 연구과제 고민을 함께 나누면서 관련자료 지원과 연구방향 설정, 그리고 향후 나아가야할 방향까지도 아낌없이 조언해 주신 국승기 지도교수님께 무한한 감사를 드린다.



참고문헌

- 서상현, 2005. "Loran-C 성능개선 방안 연구", 한국해양연구원, 연구보고서, pp.103-113
- 해양수산부, 1997. "항로표지업무편람", 해양수산부, 업무편람, pp.159-170
- JAn Safar, Frantisek Vejrazka & Paul Willwams., 2012. "Accuracy Performance of eLoran Receivers under Cross-Rate Interference Conditions" ENC 2012 Gdansk, Poland
- Paul Williams, Alan Grant, Nick Ward & Sally Basker, 2008. "Reliable GPS: Interference, Jamming and the Case for eLoran", Nav08/ILA37 Conference & Exhibition 28-30 October 2008 DVD
- LCol Bill Hawken, 2007. "Electronic Warfare and the Global Positioning System", Presentation to AFCEA Ottawa Chapter March 2007
- Sally Basker., 2008. "Securing Positioning, Navigation and timing for Europe's Future", Research&Radionavigation, Prepared by the European eLoran Forum.
- Sally Basker., 2009a. " UK eLoran Status", Research&Radionavigation.
- Sally Basker., 2009b. "eLoran + GNSS : Resilient & Cost-Effective PNT", Research&Radionavigation, Presented at Location & Timing KTN.
- Sally Basker, George Shaw, Dr Paul Williams & Prof David Last., 2010. "Evolution from Loran-C to eLoran", Research&Radionavigation, Prepared for the European eLoran Forum.
- Charles Curry, B.Eng & FIET., 2011. "Is eLoran Ready for Timing?" Chronos Technology Ltd, eLoran Workshop.

George Shaw., 2011. "eLoran overview and maritime performance",
Research&Radionavigation, eLoran Workshop.

2009. Institute for Defense Analyses, "Independent Assessment Team (IAT)
Summary of Initial Findings on eLoran".

James T. Doherty., 2009. "Enhanced Loran(eLoran) History Need, IAT,
Presentation to PNT Advisory Committee Meeting.

Jan Safar, Frantisek Vejrazka & Paul Williams., 2012. "Accuracy Performance
of e-LORAN Receivers under Cross-Rate Interference Conditions",
Research&Radionavigation, ENC.

JMSA('93.11.18) -CS3/WG1/1

Chris Hargreaves & Paul Williams., 2012. "Asf Surveying for eLoran Coastal
Recovery Effect", ENC.

2006. Research & Radionavigation, "The Case for eLORAN".

USCG Academy, Loran-C Engineering Coures

USCG Loran Support Unit, "Loran Data Chnnel Communications using 9th
Pulse Modulation", 2006

USCG, Loran-C Rate Selection Process, June 1999

USCG Ser : WC001-01/93('93.1.19)