중파방송 송신소 내 eLoran용 송신 안테나 동일 장소 배치 및 분석

Co-Location and Analysis of an eLoran Transmitting Antenna in an MF Transmitting Site

김기남 · 목하균 · 구한이* · 남상욱*

Ki-nam Kim · Ha-kyun Mok · Hanni Koo* · Sangwook Nam*

유 약

본 논문에서는 중파방송 송신소 내 중파송신 안테나와 동일 장소에 배치(Co-location)된 eLoran 송신 안테나의 모델을 제시하고, 이를 분석하였다. 먼저 eLoran 송신 안테나의 적합한 구조로 가장 일반적인 형태인 우산형 상부장하소자(TLE: Top-loading wire)가 연결된 모노폴 안테나를 적용하였다. 설계된 eLoran용 송신 안테나를 중파송신 안테나와 동일 장소 내 배치 유무에 따른 방사패턴과 반사손실을 비교하여 서로 일치함을 보였다. 또한, 동일 장소 배치에 따른 송신회로의 영향을 확인하기 위해 eLoran 및 중파송신 안테나 매칭회로를 모두 포함한 커플링을 분석하였다. 그 결과, eLoran 중심주 파수인 100 kHz에서 -53.3 dB, 중파송신 안테나의 동작주파수인 1,053 kHz에서 -64.8 dB로 커플링에 의한 영향은 미미함을 확인하여 설계 타당성을 보였다.

Abstract

The eLoran(enhanced Long Range Navigation) transmitting antenna is analyzed for co-location with an AM transmitting antenna in an MF transmitting site. To compensate for the loading effect, the umbrella-type loading is applied for eLoran antenna. The validity of the co-location between the MF antenna and the eLoran antenna is verified through the simulation results of the radiation pattern and the return loss. Also, coupling including antenna matching circuit is analyzed to verify the effect of the transmitting circuit. The coupling between the LF and eLoran antenna is -53.3 dB at 100 kHz and -64.8 dB at 1,053 kHz, respectively.

Key words: eLoran Antenna, MF Antenna, Co-Location, Coupling

Ⅰ. 서 론

GPS 기술은 재밍(jamming)에 취약한 것으로 알려져 있다. 실제로 2010년부터 북한은 서해상과 수도권에 GPS 전파교란 공격을 감행, 운행 중이던 선박과 항공기의 네비게이션 등에 다수의 장애현상을 유발시켰다. 이것에 대

한 대안으로 eLoran(enhanced Long Range Navigation)이 GPS 시스템을 보완할 수 있다고 알려져 있다^[1]. 이에 따라 해양수산부에서는 유사시 GPS 위성 신호가 아닌 지상 송신국 전파를 통해 항해가 가능하도록 기존 포항, 광주 LORAN-C 송신국을 업그레이드하고, 수도권 북부 지역에 eLoran 송신국을 신설, 운영하는 방안을 추진 중이다.

[「]이 연구는 2016년도 BK 21 Plus 프로젝트 연구비의 지원으로 연구되었음.」

네트웍 텔레콤(Network Telecom) 기업부설연구소

^{*}서울대학교 전기·정보공학부(Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University)

[·] Manuscript received September 13, 2016; Revised October 24, 2016; Accepted November 24, 2016. (ID No. 20160913-097)

[·] Corresponding Author: Hanni Koo (e-mail: hnkoo@ael.snu.ac.kr)

그러나 eLoran 송신 안테나는 매우 넓은 영역을 차지한다. 예를 들어 미국에 있는 Wildwood 안테나의 경우, 직경이 380 m이기 때문에 대한민국과 같이 산과 건물이 많은 지역에서 eLoran 송신소 부지를 확보하는 것이 쉽지 않다^{[2],[3]}. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 기존 중파방송 송신소 부지 내 eLoran 송신 안테나를 추가로 설치하는 방안을 제안한다. 이는 공간을 충분히 활용할 수 있을 뿐만 아니라, 주변 민원제기 및 환경성 평가등을 생략할 수 있어 시공기간 단축은 물론 부지 구입과시설물 구축비용 절감 등 많은 이점이 있다.

본 논문에서는 기존의 중파방송 송신소의 부지를 활용 하여 eLoran 송신 시설로 사용하기 위해 부지 내 중파송 신 안테나와 동일 장소에 배치된 eLoran 송신 안테나의 모델을 제시하고, 이를 분석하였다. 먼저 eLoran 대역에 맞추어 100 kHz 대역에서 동작하는 안테나를 설계하였 다. eLoran 송신 안테나의 적합한 구조로 가장 일반적인 형태인 우산형 상부장하소자(TLE: Top-loading wire)가 연 결된 모노폴 안테나를 안테나 와이어 구조에 적합한 EM 시뮬레이션 툴인 Altair사의 FEKO 7.0을 이용하여 모델링 하였다^{[4],[5].} 설계된 eLoran용 송신 안테나를 중파송신 안 테나와 동일 장소에 배치하여 방사패턴과 임피던스를 비 교 분석한 결과, eLoran용 송신 안테나 단독인 특성과 매 우 유사한 특성을 얻었다. 또한, 동일 장소 배치에 따른 송신회로의 영향을 확인하기 위해 eLoran 및 중파송신 안 테나 매칭회로를 모두 포함한 coupling을 분석하였다. 그 결과, eLoran 중심주파수인 100 kHz에서 -53.3 dB, 중파 송신 안테나의 동작주파수인 1,053 kHz에서 -64.8 dB로 커플링에 의한 영향은 미미함을 확인하였다.

Ⅱ. 안테나 설계

2-1 eLoran용 송신 안테나 위치 및 크기 선정

중파송신 안테나의 구조는 그림 1에서 보인 바와 같이, 급전부, 반사기 그리고 두 개의 방향기로 구성되어 있으 며, 야기-우다 안테나로 동작을 한다. 안테나의 높이는 65 m이고, 동작되는 중심주파수는 1,053 kHz이다. 그림 2는 김포 중파방송 송신소 부지를 찍은 항공사진이고, 빨간색 실선은 부지의 영역을 보여준다. eLoran용 송신 안테나의



그림 1. 중파송신 안테나 Fig. 1. MF transmitting antenna.



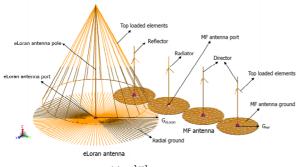
그림 2. 중파방송 송신소 내 eLoran 및 중파송신 안테나 의 위치

Fig. 2. Location of an eLoran and an MF transmitting antenna in an MF transmitter site.

위치는 중파송신 안테나의 주엽(main beam)을 피해 송신 소 부지를 고려하여 방사형 접지의 반경을 75 m로 선정하였다.

2-2 안테나 모델링

2-1절을 통해 eLoran용 송신 안테나의 위치 및 방사형 접지의 크기를 결정하였고, 동일 장소에 배치된 중파안테나와 eLoran용 송신 안테나를 그림 3과 같이 모델링하였다. 먼저 중파송신 안테나는 김포송신소에 있는 안테나를 근거로 모델링하였다. 이때 안테나 사이의 간격은 50 m이고, 안테나의 접지는 반경 25 m를 가지는 완전도체로 설정하였다. 그리고 eLoran용 송신 안테나는 eLoran 대역의 중심주파수인 100 kHz에서 동작하는 안테나를 설계하였다. 안테나의 높이는 150 m로 설정하였고, 이는 파장



- (a) 전면
- (a) Perspective view

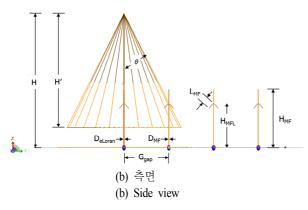


그림 3. eLoran 및 중파송신 안테나 동일 장소 배치

Fig. 3. Co-location of the eLoran and the MF transmitting antenna.

의 20분의 1로서 파장에 비해 매우 짧은 short monopole 구조이다. Short monopole의 Capacitance 성분을 보상하기위해 가장 일반적인 형태인 우산형 상부장하소자(TLE: Top-loading wire)를 적용하였다나이는 상부장하소자의 개수는 상용화된 eLoran용 송신 안테나를 근거로 24개로 선정하였고, 이때 상부장하소자의 직경은 0.01 때로 모델링하였다. 그리고 지면효과를 고려하기 위해 지면의 유전율을 고려하였다. ITU-R P.832-2에 따르면 중파송신소가 위치하고 있는 대한민국 김포지역의 도전율은 3 mS/m이고, ITU-R P.527-3보고서에서 medium dry ground의 유전율은 15이다「기」용. eLoran용 송신 안테나의 리액턴스 성분을 줄이고, 대역을 넓히기 위해 상부장하소자의 끝에다 원형으로 와이어를 추가하였다」^{8]}. 마지막으로 방사형 접지는 현재 상용화된 안테나와 보고서를 근거로 120 개로 설정하였다^{12]~[4][10]}

2-3 안테나 시뮬레이션

그림 3(b)와 같이 중파송신 안테나와 eLoran용 송신 안테나를 동일 장소에 배치된 구조는 표 1의 최적화된 설계 변수 값을 토대로 모델링하였고, Altair사의 FEKO 7.0로 전기적인 특성을 확인하였다. 동일 장소 배치 유무에 따라 zy 평면과 xy 평면에 대한 방사패턴 특성은 그림 4와 같다. 그림 4(b)의 xy 평면 방사패턴에서 phi가 0 도와 180 도인 방향으로 부엽이 약간 왜곡이 되었지만 전반적인 안테나 패턴은 매우 유사하다고 판단된다. eLoran용 송신 안테나에 대해서도 마찬가지로 그림 5에서 동일 장소 배치 유무에 따른 xy 평면과 yz 평면에 대한 방사패턴이 서로 일치하는 특성을 보인다. 그림 6(a)는 eLoran용 송신 안테나의 반사손실을 보여준다. 안테나의 길이가 전기적으로 짧고, 우산형 상부장하소자를 갖는 안테나는 대역폭과 효율의 곱으로 안테나의 특성을 식 (1)과 같이 정의할수 있다. 이를 "Figure of Merit"이라 부르고, F로 표현한다"이.

$$F = \eta \cdot \Delta f \tag{1}$$

표 1. 안테나 파라미터 값

Table 1. Parameter values of the eLoran and MF antenna.

파라미터	값(m)	파라미터	값(m)
Н	150	$G_{\!M\!F}$	25
H'	127.5	Gap	50
D_{eLoran}	1.5	$L_{M\!F}$	6
D_{MF}	1	H_{MF}	65
G_{eLoran}	75	H_{MFL}	50

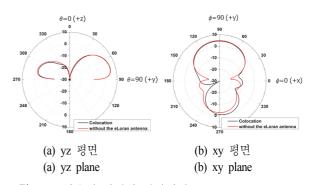


그림 4. 중파송신 안테나 방사패턴

Fig. 4. Radiation pattern of the MF transmitting antenna.

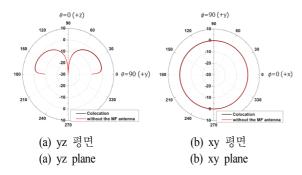


그림 5. eLoran용 송신 안테나 방사패턴

Fig. 5. Radiation pattern of the eLoran transmitting antenna.

여기서 η 는 안테나의 효율이고, ΔF 는 안테나의 3 dB 대 역폭이다.

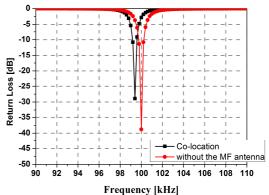
시뮬레이션을 통해 구한 eLoran의 안테나 대역은 3 dB를 기준으로 1.4 kHz이고, 안테나의 방사 효율은 36.1 %이다. 따라서 설계된 안테나의 "Figure of Merit"은 0.51 kHz로 계산할 수 있다. 포항 Loran 송신소의 경우, "Figure of Merit"은 0.669 kHz로 논문에서 제안한 안테나보다 F값이 다소 높다. 그러나 본 논문에서 제안한 안테나는 직경(150 m)이 포항 송신소의 직경(320 m)보다 절반 미만이고, 중파 송신 안테나와 동일 공간에 배치함으로써 안테나의 공간 효율성을 극대화 시켰다는 장점이 있다.

시뮬레이션을 통해 구한 안테나의 임피던스는 100 kHz에서 1.22-j138 Ohm이다. 이때 리액턴스 값을 보상하기위해 eLoran 매칭회로에서 직렬 인덕턴스 값을 211 uH로설정하였다. 그림 6(a)에서 eLoran용 송신 안테나와 중파안테나가 동일 장소에 배치되었을 때, 중심주파수가 약간이동하는 특성을 보이지만, 매칭회로에서 직렬 인덕턴스값을 211 uH에서 207 uH로 튜닝하여 중심주파수로 맞출수 있다.

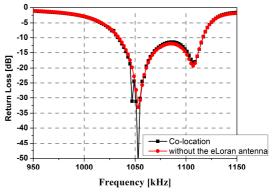
그림 6(b)에서 중파송신 안테나의 대역은 10 dB를 기준으로 84 kHz(1,033~1,118 kHz)이고, 실제로 운용되고 있는 주파수인 1,053 kHz에서 공진이 형성되었음을 확인할수 있다. 또한, eLoran용 송신 안테나의 유무에 따른 중파송신 안테나의 반사손실 변화가 거의 없음을 확인할 수 있다.

Ⅲ. 커플링 분석

eLoran용 송신 안테나와 중파송신 안테나 매칭회로를 포함한 두 안테나간 커플링 회로는 그림 7과 같다. eLoran



- (a) eLoran용 송신 안테나 반사손실
- (a) Return loss of the eLoran antenna



- (b) 중파송신 안테나 반사손실
- (b) Return loss of the MF transmitting antenna

그림 6. 안테나 반사손실

Fig. 6. Retrun loss of the antenna.

용 송신 안테나의 리액턴스는 인덕턴스 L_1 으로 정합하고, $Z_{eLoran\ ant}$ 의 임피던스가 1.22 Ohm으로 매우 낮기 때문에 50 Ohm으로 정합하기 위해 출력 트랜스포머를 이용한다. 그리고 중파안테나의 매칭회로는 김포송신소의 보고서에 따르면, L_2 는 서지(Surge)로부터 회로를 보호하기 위한 Drain choke이고, L_3 및 L_4 는 중파송신 안테나의 정합을 위한 인덕터이다. 마찬가지로 C1도 정합을 위해 tunable 캐패시터가 직렬로 연결되어 있다. 현재 김포 송신소의 중파 안테나의 입력 임피던스는 22.9+j15.2 Ohm이고, 급전선의 입력 임피던스 $Z_{AM\ ant}$ 는 120 Ohm으로 설정되어 있다. 매칭회로를 위한 파라미터인 L_1 L_2 , L_3 , L_4 , C_1 의 값은 표 2와 같다. 그림 7의 회로에 대한 커플링은 eLoran 대역과 중파 대역에 대해서 그림 8과 같이 비교할 수 있

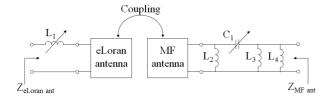


그림 7. eLoran과 중파송신 안테나 간 매칭회로

Fig. 7. Matching network between the eLoran and the MF transmitting antenna.

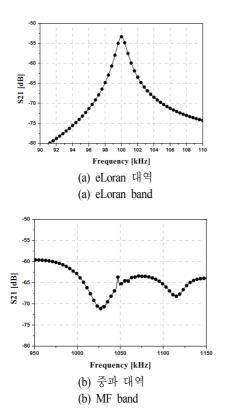


그림 8. eLoran과 중파 송신 안테나 간 커플링

Fig. 8. Antenna coupling between the eLoran and the MF transmitting antenna.

표 2. 매칭회로 파라미터 값 Table 2. Parameter values of the matching network.

파라미터	값	파라미터	값
Z _{eLoran ant}	1.22 Ohm	C_1	2,431 pF
Z _{MF ant}	120 Ohm	L_3	17.65 uH
L_1	207 uH	L_4	17.2 uH
L_2	200 uH		

다. 그림 8(a)를 통해 100 kHz에서 커플링 값이 -53.3 dB 임을 확인할 수 있다. 포항 eLoran 송신소의 경우, 최대출력은 304 kW로, 중파 방송 송신 출력단으로 커플링되어유입되는 전력을 계산하면 1.4 W이다. 중파대역의 동작주파수인 1,053 kHz에서 커플링 값은 -64.8 dB으로 그림 8(b)와 같다. 김포송신소의 운용전력은 현재 250 kW이고, eLoran 송신 출력단으로 유입되는 전력은 시뮬레이션 결과를 토대로 계산하면 0.08 W이다. 김포송신소에서 허용되는 반사전력이 최대 50 W이므로, eLoran 대역과 중파대역에서 커플링에 의한 영향은 매우 작다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 중파송신소 내 중파송신 안테나와 동일 장소에 배치된 eLoran 송신 안테나의 모델을 제시하고, 이를 분석하였다. 먼저 eLoran 송신 안테나의 적합한 구 조로 가장 일반적인 형태인 우산형 상부장하소자(TLE: Top-loading wire)가 연결된 모노폴 안테나를 적용하였다. 설계된 eLoran용 송신 안테나를 중파송신 안테나와 동일 장소에 배치하여 동일 장소에 배치를 하지 않았을 때 방 사패턴과 임피던스를 비교 분석하여 그 타당함을 보였다. 또한, 동일 장소 배치에 따른 송신회로의 영향을 확인하 기 위해 eLoran 및 중파송신 안테나 매칭회로를 모두 포 함한 커플링을 분석하였다. 그 결과, eLoran 중심주파수 인 100 kHz에서 -53.3 dB, 중파송신 안테나의 동작주파 수인 1,053 kHz에서 -64.8 dB로 커플링에 의한 영향은 미미함을 확인하였다. 논문에서 제안한 eLoran용 송신 안 테나를 동일한 장소에 배치한 모델은 중파송신소와 같은 제한된 구역 내에서 충분히 활용할 수 있을 것이다.

References

- [1] G. W. Johnson, "An evaluation of eLoran as a backup to GPS", in *IEEE Conference on Technologies for Ho*meland Security, pp. 95-100, May 2007.
- [2] John Pinks, "Theoretical evaluation suitability of USCG LSU 625' TLM Loran antenna at Wildwood, N.J. at 500 kHz for DRM transmission", RTCM Paper 043-2011-SC123-085., Feb. 2011.

- [3] T. Hardy, N. Limited, "Next generation LF transmitter technology for (e)Loran Systems", Nav08/ILA27 Conf. & Exhib., 2008.
- [4] T. L. Simpson, "The theory of top-loaded antennas: integral equations for the currents", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-19, pp. 186-190, Mar. 1971.
- [5] T. E. Devaney, R. F. Hall, and W. E. Gustafson, "Low-frequency top loaded antenna", R&D Rep. 1381, Navial Postgraduate School, California, 2 Mar. 1987.
- [6] A. F Gangi, S. Sensiper, and G. R. Dunn, "The characteristics of electrically short, umbrella top-loaed ante-

김 기 남



1994년 2월: 서울과학기술대학교 전자공학과 (공학사)

1997년 2월: 고려대학교 전파공학과 (공학 석사)

2007년 8월: 한국항공대학교 정보통신공 학과 (공학박사)

1986년 8월~1991년 5월: (주) PAN OC-

EAN 통신국장

1991년 6월~1997년 12월: 한국기술연구소 수석연구원 1998년 1월~2002년 2월: 김기남 전기전산방송통신학원장 2002년 3월~2013년 2월: 동양공업전문대학 전기전자통신공학 부 겸임교수

2002년 4월~현재: (주) 네트웍텔레콤 대표이사 [주 관심분야] 해상 무선통신, 이동통신, 위성통신, RF부품 및 시스템, 디지털 방송 시스템

목 하 규



1980년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학 사)

1982년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과 (공학석사)

1991년~2000년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1992년~1995년: 무궁화 위성(Koreasat) 탑

재체(payload) 현장훈련 파견연수(영국, 미국)

1982년~2015년: 한국방송 기술연구소 선임연구원, 팀장, 소장 2016년~현재: (주)네트웍 텔레콤 부사장

[주 관심분야] 디지털TV 방송 시스템, RF 및 위성 시스템 위성 방송, 무선 및 전파전파

- nnas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-18, pp. 864-871, Nov. 1965.
- [7] ITU-R P.832-2 World Atlas of Ground Conductivities. 1999.
- [8] ITU-R P.527-3 Electrical Characteristics of the Surface of the Earth. 1992.
- [9] Peder M. Hansen, "Rosette-shaped monopole antenna top-load for increased antenna voltage and power capability", US 08/232,784, Apr 21, 1994.
- [10] 방재훈, 안병철, "eLoran 송신 안테나 해석", 컴퓨터 정보통신연구, 22(1), pp. 1-4, 2014년 5월.

구 한 이



2006년 2월: 충남대학교 정보통신공학부 (공학사)

2008년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학 석사)

2015년 9월~현재: 서울대학교 전기정보 공학부 박사과정

2008년 1월~2015년 7월: (주) 빅텍 기술

연구소 선임연구원 [주 관심분야] 레이더, 안테나 설계 및 해석 등

남 삿 욱



1981년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학 사)

1983년 2월: 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)

1989년: Electrical Engineering at the University of Texas at Austin (공학박사) 1990년~현재: 서울대학교 전기공학부 교

수

[주 관심분야] Antenna and Wave Propagation, EM Field Numerical Analysis, Microwave & Millimeter-Wave Active/Passive Circuit Design 등