

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.2.117>
JIIBC 2020-2-16

통합마스트용 다기능위상배열 레이다의 인접 안테나 개구면 전자파 간섭 영향성 연구

A Study on the effect of electromagnetic interference in adjacent antenna apertures of multi-function radar for Integrated MAST

정채현*, 유성현*, 이행수*, 한재섭*, 김영완*, 강연덕*

Chae-Hyun Jung*, Seong-Hyun Ryu*, Hang-Soo Lee*,
Jae-Sub Han*, Young-Wan Kim*, Yeon-Duk Kang*

요약 본 논문에서는 두 대의 X-대역 안테나를 활용한 시험을 통해 복수의 레이다가 적용되는 함정 통합마스트용 다기능위상배열 레이다의 인접 안테나 개구면 간 전자파 간섭 영향성을 확인하였다. 두 안테나는 시험을 위해 설계된 통합마스트를 모사한 치구에 배치하였으며, 본 형상을 모델링하여 안테나 빔 조향 시 전자파 영향성을 전자파 해석 도구를 활용하여 분석하였다. 또한, 시험적 분석을 위해 6 가지 시험 시나리오를 설정하였으며, 각 시험 시나리오는 무반향 챔버에서 진행하였다. 시험 시 안테나 #1은 펄스 파형 송신 하였으며, 안테나 #2 부터 수신된 신호는 수신장치를 통해 광 데이터로 저장하여 신호를 분석하였다. 분석 결과를 바탕으로 통합마스트에서 복수의 다기능 레이다를 인접하여 운용 시 전자파 간섭 영향성을 제시한다.

Abstract In this paper, we study the electromagnetic interference in adjacent antenna aperture of multi-function radar for Integrated MAST of naval ship, which is operating plural radars, with test result of two different X-band antennas. Two antennas is placed in the test fixture copying the part of Integrated MAST for the experiment. The test figure is modeled to see the electromagnetic interference when antenna beam is steered by using electromagnetic analysis tool. Also, 6 test scenarios is determined to verify experimentally and each test scenario is run in an anechoic chamber. At the test antenna #1 radiates a pulse signal and the signal from the antenna #2 is stored and analyzed in the optic data format through a receiving device. Based on the result, the effect of electromagnetic interference is suggested when multi-function radars in the Integrated MAST are operating in adjacent distance.

Key Words : Multi-function radar, Integrated MAST, Electromagnetic interference, Spectrum mask

*정회원, LIG 넥스원(주), 레이다 연구실
접수일자 2020년 3월 20일, 수정완료 2020년 4월 3일
게재확정일자 2020년 4월 3일

Received: 20 March, 2020 / Revised: 3 April, 2020 /
Accepted: 3 April, 2020
*Corresponding Author: chaehyun.jung@lignex1.com
Radar Lab, LIG Nex1 Co., Ltd. Korea.

I. 서 론

합정에 적용되는 전투체계는 각종 센서, 무장 체계 등을 유기적으로 연결하여 해상 전투를 수행하는 고도화된 복합 체계이다. 이러한 전투체계를 지원하는 합정의 탐지 체계는 크게 수중을 감시하는 소나 체계 및 수면 위를 탐지하는 레이더 체계로 구분될 수 있다. 합정에 적용되는 레이더는 다양한 해상 클러터 환경과 외부 전자전 위협의 상황에서 대공/대함 표적을 탐지, 식별 및 추적하며 방위각, 고각, 거리 등의 3 차원 정보를 전투체계에 전달하여 임무를 수행하는 핵심 센서이다.^{[1]-[3]} 레이더는 다양한 탐지 센서와 통신을 위한 다수의 안테나들과 함께 통합 마스트에 통합되어 함교위에 설치가 된다.^[4] 레이더는 전 방위 표적 탐지를 위해 통합 마스트 4 면에 각각 설치가 된다. 동일 주파수 대역에서 운용되는 복수의 레이더가 인접에 위치하게 되어 자유공간으로 방사하게 되면 레이더 서로 간에 전자파 간섭이 발생될 수 있으며, 이러한 전자파 간섭은 허위 표적 발생 등의 레이더 성능 열화를 유발한다. 따라서, 통합마스트에 설치된 복수의 레이더 운용 시 전자파 간섭 영향성에 대한 분석이 요구된다.

본 논문에서는 X-대역 두 안테나를 활용하여 무반향 챔버에서 송신 및 수신 시험을 통해 두 안테나간의 전자파 간섭 영향성을 분석하였다. X-대역 두 안테나는 서로의 지향각이 90 도 차이가 나도록, 통합 마스트를 모사한 치구에 설치하여 시험하였다. 시험 시 두 안테나를 안테나 #1(송신), 안테나 #2(수신) 로 각각 구분하였으며 안테나 #2는 수신장치 및 광 저장 장치를 연결하여 신호처리된 신호를 분석할 수 있도록 시험 셋업을 구성하였다. 두 안테나의 빔 조향, 송수신의 타이밍 동기화 여부 및 송신/수신 안테나의 운용 주파수 편차 설정을 통해 다양한 경우의 수 시험 시나리오를 설정하여 시험을 진행하였다. 또한, 본 시험에 사용한 안테나 및 치구 형상을 모델링하여 상용 전자파 해석 도구 적용을 통해 두 안테나간의 전자파 커플링양 분석 및 스펙트럼 마스크 규격 조건 준수하여 설계한 시험 레이더인 점을 최종 시험 결과 분석에 활용하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 설계된 통합 마스트 형상을 기반으로 한 시험 형상의 구조에 대한 소개 및 전자파 시뮬레이션 결과 및 시험 레이더 설계 시 적용한 스펙트럼 마스크의 기술적 내용을 제시한다. 3 장에서는 전자파 간섭 영향성 확인을 위한 시험 시나리오 및 시험 결과에 대해서 제시하였다. 마지막 4 장에서는

본 연구의 시험 결론을 통해 인접 레이더의 전자파 간섭 영향성 확인을 통해 설계 시 고려사항을 제시한다.

II. 이론적 접근

1. 인접 안테나 전자파 M&S 분석

전자파 해석을 위한 형상은 그림 1과 같다. 두 X-대역 안테나는 레이더 반사 면적(RCS)를 고려하여 설계된 통합 마스트 형상 일부를 모사한 치구에 적용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 안테나가 반영된 치구의 형상은 그림 1에 나타내었으며, 안테나 #1의 직경은 $\phi 18.68\lambda_0$, 안테나 #2의 직경은 $\phi 21.12\lambda_0$ 이다.

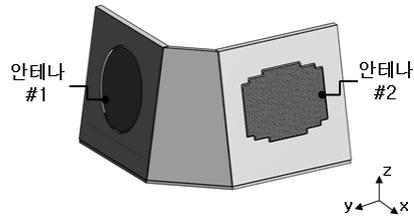


그림 1. M&S 3D 모델
Fig. 1. 3D Model for M&S

두 안테나의 전자적 빔 조향 시 전자파 커플링 크기를 검토하기 위해 안테나#1, 2 각각을 그림 2와 같이 3가지 경우에 대해서 시뮬레이션 하였다. 안테나 #1, 2가 정면 빔 조향, 반대 방향을 조향 경우 및 동일 방향을 조향하는 경우에 대해서 확인하였다. 전자파 커플링 정도는 적용된 안테나의 빔 특성에 따라 차이가 날 수 있으나 레이더에 적용되는 안테나는 일반적으로 고 지향성, 저 부엽 특성을 가지므로 다른 레이더용 안테나가 적용되더라도 결과는 비슷한 특성을 가질 것으로 보인다.

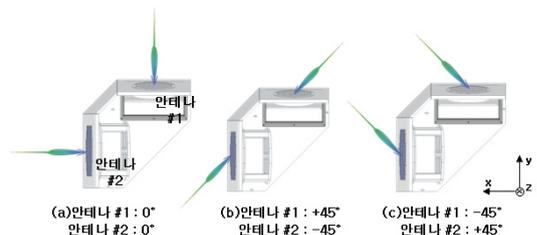


그림 2. 안테나 빔 조향 M&S
Fig. 2. M&S for Antenna beam steering

표 1의 M&S 결과는 각 빔 조향 경우에 대해 S-parameter 크기를 보여준다. 안테나 #1, 2가 0° 빔조향하는 그림 2 (a) 경우 대비 (b)는 커플링 량이 더욱 낮았으며, (c)의 경우 커플링 량이 상대적으로 많이 상승하였다. 따라서, (c) 경우와 같이 인접한 레이더를 운용 시에는 빔 조향 각도에 따른 전자파 간섭 영향성 분석이 필요하다.

표 1. 커플링 파워 M&S 결과
 Table 1. M&S result of coupling power

	안테나 #1: 0° 안테나 #2: 0°	안테나 #1: +45° 안테나 #2: -45°	안테나 #1: -45° 안테나 #2: +45°
커플링 파워(S21)	-150.89 dB	-176.72 dB	-80.16 dB

2. 스펙트럼 마스크 적용 설계

펄스 레이더의 경우 운용 시 해당 대역폭 내에서 그림 3 (a)와 같이 F1 ~ Fn 주파수 까지 일정 간격의 주파수로 분할하여 송수신을 한다. 분할된 각 주파수 대역의 펄스 신호를 주파수 스펙트럼 분석기를 통해 측정을 하면 인접 주파수 F1, F2의 신호가 서로 겹치는 현상이 발생하여 주파수 간에 영향을 줄 수 있다.

이와 같은 현상은 동일한 주파수 대역폭을 사용하는 타 레이더 장비와의 주파수 간섭을 일으켜 오 탐지를 일으킬 수 있다. 이로 인해 레이더 설계 시 주파수 간섭을 억제하기 위해 개발 단계에서부터 그림 3 (b)와 같이 분할된 인접 주파수에 간섭이 일어나지 않도록 관리한다.

설계 시 스펙트럼 마스크 규격 검토를 통해 주파수 특성이 정해진 스펙트럼 마스크 크기 밖으로 나가지 않도록 하며, 스펙트럼 마스크 형상 레벨은 레이더 송신 신호의 크기 및 특성에 따라 ITU-R(International Telecommunication Union-Radiocommunication)에 제시된 규격을 준수하여 정해진다.^[5]

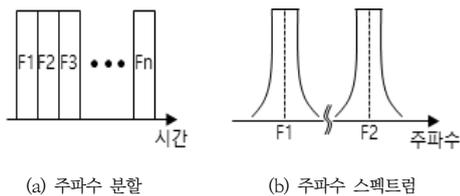


그림 3. 스펙트럼 마스크 개념
 Fig. 3. Concept of spectrum mask

스펙트럼 마스크 규격 관리를 통해 통합 마스트 4면에 설치된 4개의 레이더가 동일 대역폭 내에서 인접의 주파수를 운용하더라도 레이더 간의 주파수 간섭은 최소화할 수 있다.

III. 시험적 분석

1. 시험 구성도

본 논문의 시험은 그림 4와 같이 구성하였다. 직경이 다른 X-대역 능동위상배열 두 안테나를 인접거리에서 배치하여 무반향 챔버에 설치하였다. 송신 안테나 #1에는 송수신장치를 연결하여 펄스 파형이 송신 되도록 제어하였다. 수신 안테나 #2의 송수신장치에 광 저장 장치 연결을 통해 수신 신호를 광 데이터로 저장할 수 있도록 구성하였다. RF부 시험장비를 송수신 안테나에 각각 연결하여 신호 동기, 안테나 빔 조향 및 송수신 제어를 하였다.

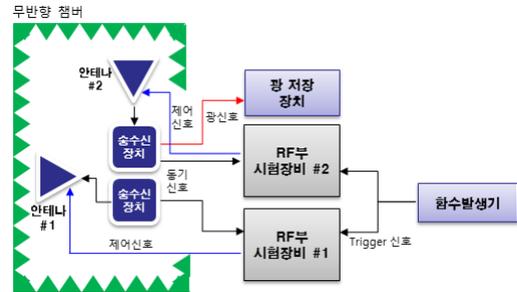


그림 4. 시험 구성도
 Fig. 4. Test setup

2 시험 시나리오

안테나 간 전자파 간섭 영향성을 확인 위해 시험 시나리오는 표 1과 같이 총 6개 경우에 대해서 검토하였다. 시나리오는 운용조건을 고려하여 송수신 타이밍 동기 혹은 비동기 여부에 따라 크게 구분하였다. 동기 타이밍은 그림 5와 같이 SOP(Start of Pulse)를 기준으로 송신과 수신을 2 us 뒤에 동시에 하며 수신장치의 ADC(Analog to Digital Converter) 원도우는 20 us 뒤에 열어서 데이터를 수신한다. 비 동기 타이밍은 SOP기준으로 송신은 32 us, 수신은 2 us 뒤로 송수신 타이밍이 차이나게 설정한다. 수신장치의 ADC 원도우 시작점은 동일하게 20 us 뒤에 설정하였다. 그리고 송신, 수신 안테나의 동

작 주파수 차이는 시험장비 설정이 10MHz 단위로 가능하여 중심 주파수 기준으로 0MHz, 10MHz, 20MHz 차이를 두어 측정하였으며, 송신 파형 펄스폭은 10 us, PRI(Pulse Repetition Interval)는 500 us로 설정하였다. 표 1의 각 항목에 대해 빔 조향 조건을 그림 2와 같이 3가지 경우를 적용하여 전자파 간섭 영향성을 확인하였다.

표 1. 시험 시나리오
Table 1. Test Scenarios

구분	항목	안테나 #1 주파수	안테나 #2 주파수
동기 타이밍	1	f_0	f_0
	2	f_0	f_0+10 MHz
	3	f_0	f_0+20 MHz
비동기 타이밍	4	f_0	f_0
	5	f_0	f_0+10 MHz
	6	f_0	f_0+20 MHz

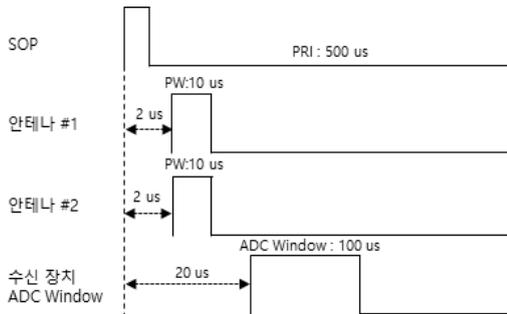


그림 5. 송수신 동기 타이밍
Fig. 5. Synchronized timing between Tx. and Rx.

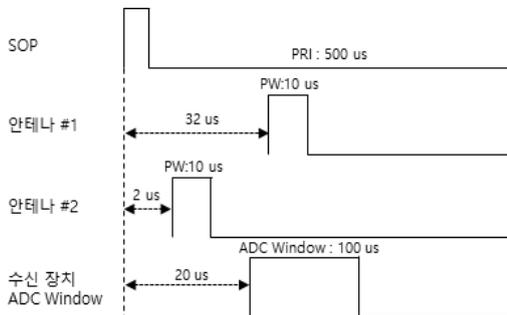
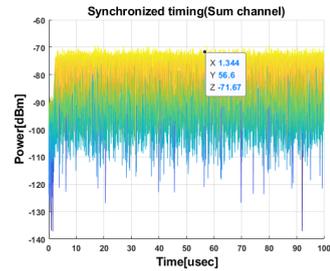


그림 6. 송수신 비 동기 타이밍
Fig. 6. Non-synchronized timing between Tx. and Rx.

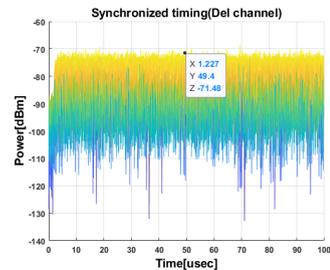
3. 시험 결과

각 시나리오 별로 노이즈 레벨 아래에 있을 수 있는 신호를 상세 분석 위해 256개 수신 펄스 신호를 누적하여 코히런트 프로세싱을 통해 분석하였고, 합/차 채널의 신호를 확인하였다.

첫 번째로 동기/비동기 타이밍의 경우에 대해서 결과를 분석하였다. 동기 타이밍일 경우는 두 안테나가 동일 시점에 송신, 수신을 하므로 주파수 이격, 빔 조향 조건에 상관없이 전자파 신호 간섭이 없음을 그림 7의 결과를 통해 확인하였다.



(a) 합 채널 수신 신호



(b) 차 채널 수신 신호

그림 7. 동기 타이밍 시 합/차 채널 수신신호
Fig. 7. Rx. signal of Sum/Del channel at synchronized timing

그림 7은 안테나 #1: -45° , 안테나 #2: $+45^\circ$ 빔 조향일 때 시험 결과를 확인한 것이며, 본 조건은 비동기 타이밍일 때 신호 간섭이 가장 크게 발생하는 경우이다.

두 번째로 비동기 타이밍, 동일 주파수에서 빔 조향 한 경우에 대해서 검토하였다. 해당 조건에서는 전자파 신호 간섭이 존재하였으며, 빔 조향 M&S 결과와 동일하게 그림 2의 (c) > (a) > (b) 순으로 신호 간섭 크기가 측정되었으며, 이중 가장 신호 간섭이 큰 경우인 (c) 경우에 대해 상세 분석하였다.

시험 시 안테나 #1은 67.1 dB 파워로 송신하였다. 표 1의 시뮬레이션 결과를 적용하면 이론적으로 송신 파워에서 80.16 dB가 감쇄 되어 -13.06 dB가 안테나 #2로 수신되게 된다. 그림 8은 안테나 #2가 수신한 간섭 신호

이며 256 펄스를 누적한 결과이다. 그림 8상의 신호 크기(-5.4 dB), 노이즈 레벨(-71.5 dB) 값으로부터 펄스 신호 하나가 수신되었을 때 크기 값을 역산 가능하며 계산 값은 -14.58 dB로 이론적 수치(-13.06 dB)와 거의 근사한 값을 가짐을 확인할 수 있다.

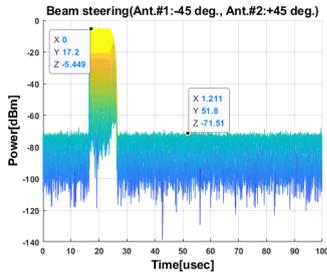


그림 8. 빔 조향 시 합 채널 수신 신호
 Fig. 8. Rx. signal of Sum channel at beam steering

마지막으로 비동기 타이밍 이면서 주파수 변화만을 통하여 신호 간섭 영향성을 확인하였다. 두 번째 결과 분석에서 송수신 안테나가 동일 주파수 일 때 경우는 신호의 간섭이 있는 것을 확인 하였다. 이와는 반대로 그림 9와 같이 송수신 주파수가 10MHz 차이가 날 때 합/차 채널 확인 결과 노이즈 레벨 위로 신호가 없으므로 신호 간섭이 없음을 알 수 있다. 20 MHz 주파수 이격 시에도 신호 간섭이 없음을 추가 확인하였으며, 각 주파수 설정 경우에 대해 빔 조향을 적용하여도 결과는 동일하였다.

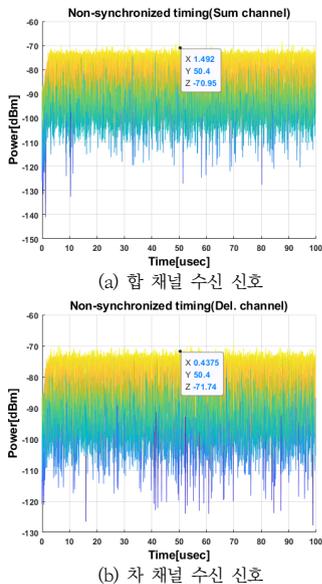


그림 9. 주파수 10MHz 이격 시 합/차 채널 수신신호
 Fig. 9. Rx. signal of Sum/Del channel at 10MHz frequency difference

IV. 결 론

본 논문에서는 X-대역 두 펄스 레이더용 안테나를 활용하여 함정용 통합마스트에 복수의 레이더가 인접 거리에 설치되었을 때 동시 운용 가능 여부를 확인하기 위해 전자파 간섭 정도를 분석하였다. 6개의 시험 시나리오 결과를 기반으로 복수의 레이더가 동기 타이밍으로 송수신 시에는 서로 간의 신호 간섭이 없음을 확인하였다. 비동기 타이밍, 동일 주파수 운용 시에는 간섭이 발생하긴 하나 주파수 이격을 통해 신호 간섭 문제를 해결할 수 있다. 운용 주파수 이격 간격은 스펙트럼 마스크 관리 대역 폭 크기 최소화 설계, 송수신 장치의 주파수 필터링 기능 강화 설계 등을 통해 줄일 수 있다. 본 고려사항 검토를 통해 통합 마스트에 적용되는 복수의 레이더가 서로간의 전자파 간섭 없이 운용 가능함을 확인하였다.

Reference

- [1] Dong-Hwan Kim, Bang Chul Jung, Choul-Young Kim, Sang-Woon Jeon, Jin-Woong Kim, "Recent Research Trends of Machine Learning-Based Radar Techniques", The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 43, No. 8, pp. 1382-1385, Aug 2018. DOI: <https://doi.org/10.7840/kics.2018.43.8.1382>.
- [2] Tae-yong Park, "Parameters for Selecting the Shipboard 2D/3D Surveillance Radar", Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 18, No. 1, pp. 233-237, Jan 2014. DOI: <https://doi.org/10.6109/JKIICE.2014.18.1.233>.
- [3] Kwan-Hyeong Lee, "A Study on Target Direction and Range Estimation using Radar Single Pulse", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 14, No. 6, pp. 107-112, Dec 2014. DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2014.14.6.107>.
- [4] K. H. Kang, H. Y. Jung, S. H. Yim, "New Directions and Technical Approaches of Integrated Mast for Integrated-operating the Multi-sensor on Shipboard", Korean Society for Precision Engineering, pp. 44-45, Oct 2016. <http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07065511>
- [5] International Telecommunication Union - Radio communication, "Techniques for measurement of unwanted emissions of radar systems", 2011. <http://www.itu.int/rec/R-REC-M.1177-4-201104-I/en>

저 자 소 개

정 채 현(정회원)



- 2008년 2월 : 충남대학교 전기정보통신공학과 (공학사)
- 2010년 2월 : 한국과학기술원 전자전기공학과 (공학석사)
- 2010년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원 선임연구원
- 주 관심분야 : 레이더 시스템, 마이크로파탐색기

유 성 현(정회원)



- 2005년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 ~ 2008년 3월 : LG전자 MC연구소
- 2008년 4월 ~ 현재 : LIG넥스원 레이더연구소 수석연구원

- 주 관심분야 : 능동위상배열 다기능레이더 시스템 설계/분석, 레이더 모델링&시뮬레이션

이 행 수(정회원)



- 2004년 2월 : 충남대학교 전파공학과 (공학사)
- 2006년 2월 : 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2006년 4월 ~ 현재 : LIG넥스원 수석연구원
- 주 관심분야 : 레이더 시스템, RF 시스템 설계 등

한 재 섭(정회원)



- 2005년 2월 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 (공학사)
- 2005년 2월 ~ 2007년 4월 : LG.Philips LCD Cell팀 엔지니어
- 2007년 10월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 위성/SAR개발단 수석연구원
- 주 관심분야 : 레이더 시스템, RF H/W

김 영 완(정회원)



- 2005년 2월 : 광운대학교 전자공학부 (공학사)
- 2007년 2월 : 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 ~ 현재 : LIG넥스원 선임연구원

- 주 관심분야 : 위상 배열 안테나 설계, 능동 위상 배열 안테나 시스템, 레이더 시스템, 초고주파 수동 회로 설계

강 연 덕(정회원)



- 1996년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2000년 8월 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2000년 9월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 연구위원
- 주 관심분야 : 항공기 사격통제레이더 시스템 설계, RF 시스템 설계 등