

해상감시레이다-II 피아식별기능 개발 및 Mode 5 AIMS 인증시험

IFF Function Design and Mode 5 AIMS Certification Test for CSR-II

이기홍 · 조명훈 · 권용욱 · 심성호 · 이기원

Ki-Hong Lee · Myeong-Hoon Jo · Yong-Wook Kwon · Seong-Ho Sim · Ki-Won Lee

요 약

미국의 피아식별(identification friend or foe, IFF)기는 2020년 7월 기점으로 40년 된 비화 알고리즘 Mode 4 운용을 중단하고 향상된 비화성능 및 재밍 대응, GPS 위치정보 제공 등의 기능을 제공하는 차세대 미군 및 NATO 회원국의 표준 비화모드인 Mode 5가 적용되고 있다. 본 논문에서는 해상감시레이다-II 체계 내 피아식별(IFF)기능 개발과 피아식별(IFF)시스템 대한 AIMS 인증 시험관련 절차, 내용 및 시험결과에 관해 제시하겠다. Mode 5 기능을 보유한 해상감시레이다-II 체계의 안정성과 인터페이스 검증을 포함한 AIMS 인증시험을 수행하였고, 美 AIMS PO에서 인증을 받았다. 저자들은 해상감시레이다-II Mode 5 플랫폼 인증 시험의 절차와 노하우를 제시함으로써, Mode 5를 적용한 무기체계 개발 시 사업 위험성을 줄이고, 플랫폼 인증획득을 위한 훌륭한 시험 사례를 제시하였다.

Abstract

As of July 2020, the United States' Identification Friend or Foe Identifier (IFF) stopped operating the 40-year-old secrecy algorithm Mode-4. Following its termination, Mode 5, which provides improved security performance, jamming response, and GPS location information, has been applied. Herein, we present the function design of the IFF system and the procedures, contents, and test results related to the AIMS PO (Air traffic control radar Beacon system, identification friend or foe, Mark XII/XIIA, systems program office) certification test for the IFF system within the CSR (coastal surveillance radar)-II system. The AIMS certification test, including the stability and interface verification of the CSR-II system with a Mode 5 function, was performed, and the certification letter was received from the US AIMS PO. We present the procedure and practical knowledge of the CSR-II mode 5 platform certification test for reducing business risk when developing a weapon system using Mode 5 and present an excellent test case for platform certification acquisition.

Key words: Coastal Surveillance Radar, IFF, AIMS, Mode-5, Mark XA, Mark XII, Mark XIIA, Platform Certification

I. 서 론

피아식별 기능은 전 · 평시 군의 작전수행 간 아군과 적군의 구분 및 아군 오인사격 방지를 위해 다양한 형태

로 광범위하게 사용되고 있다. 1960년대 비화 알고리즘을 적용한 Mode 4 기술을 시작으로 2000년 초반까지 사용되면서 보안상 취약점이 발견되어 차세대 비화 알고리즘을 적용한 Mode 5 개발이 2008년에 완료되었다. 2020년 7월

「본 과제는 방위사업청의 지원으로 수행되었음.」

LIG넥스원(주)(LIG NEX1 Co., Ltd.)

· Manuscript received August 1, 2023 ; Revised August 11, 2023 ; Accepted September 13, 2023. (ID No. 20230801-058)

· Corresponding Author: Ki-Hong Lee (e-mail: kihong.lee@lignex1.com)

부터 Mode 4 운용을 중단하고 Mode 5로 전환되면서 한미연합작전을 위해서 국내무기체계는 Mode 5의 전환이 불가피해졌다. 해상감시레이다-II 체계사업의 경우, 개발 당시에는 국내 실정상 Mode 5 시험을 할 수 있는 여건이 갖춰 있지 않아, Mode 5 기능 구현에 대한 하드웨어 구성 및 상용 시뮬레이터(모델명: IR/XP, HENSOLDT사)를 통한 질문 및 응답 시험을 수행하였다. 해상감시레이다-II 체계개발 완료 이후에 국내 무기체계에 대한 Mode 5 성능개량 사업들이 착수되면서, 해상감시레이다-II 양산사업에 Mode 5 운용을 위한 美 AIMS PO(Air Traffic Control Radar Beacon System, Identification Friend or Foe, Mark XII/XIIA, System Program Office) 인증시험^{[1]~[5]} 절차를 밟게 되었다. 본 논문에서는 해상감시레이다-II 체계의 피아식별 기능 구현에 대한 설계와 성능을 제시하고, AIMS 인증 절차^[6]를 간략히 소개하겠다. 또한 피아식별 인증 사전 시험성격인 예비시험(Dry-Run) 및 자체비행시험에 대해 설명하고, AIMS 본 시험인 1202(지상시험)와 1203(비행시험)에 대한 구성 및 시험방법과 인증시험결과에 대하여 언급하겠다.

II. 해상감시레이다-II 체계 및 피아식별부 구성

2-1 해상감시레이다-II 체계

해상감시레이다-II 체계는 대공 및 해상을 감시하는 레이다로서, 탐지된 표적정보를 해군전술자료처리체계(Korea Naval Tactical Data System, KNTDS) 및 감시정찰/유도무기체계에 실시간 전송하는 레이다 체계이다. 또한 피아식별 기능을 보유하고 있어, 항공기와 군함에 대한 피아식별이 가능하다. 해상감시레이다-II 체계의 주요 구성은 그림 1과 같이, 장비실과 상황실로 구분되고, 두 구간은 물리적인 거리로 이격되어 있으며, 유선 또는 무선으로 연결되어 있다. 우선 장비실 구성은 레이다신호의 송신과 수신기능을 하는 안테나부(피아식별안테나 포함), 안테나 장치를 보호하는 레이돔, 철탑 그리고 레이다 신호를 생성하고 운용 주파수대역으로 신호를 상향변환 및 증폭하는 송수신부, 피아식별기능을 갖는 피아식별부, 표적으로부터 반사된 신호를 처리하는 처리부 및 각 장비의 전원을 공급하는 배전반이 설치되어 있다. 또한 장비의 유지

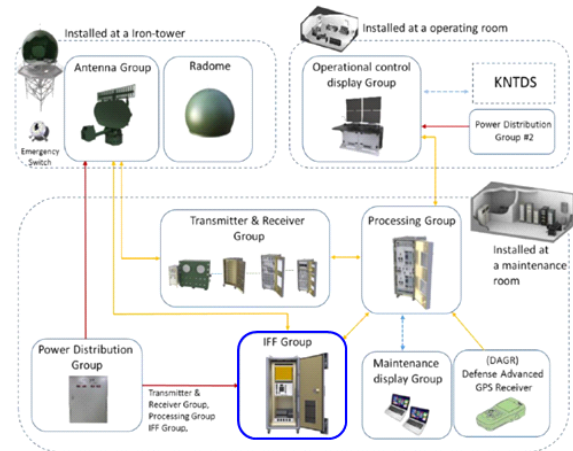


그림 1. 해상감시레이다-II 체계 구성
Fig. 1. The CSR-II system configuration.

관리를 위한 정비용전시부와 관급 장비인 위성항법장치인 GPS수신기가 설치되어 있다. 상황실 구성은 장비실에 설치되어있는 처리부에서 신호 처리된 신호가 상황실에 있는 운용통제전시부로 전송되면 전시기에 표적신호 및 각 장비들의 자체점검결과(built in test, BIT)들이 전시된다. 또한 표적신호는 해군전술자료처리체계(KNTDS)와 유도탄발사통제체계 등으로 전송된다.

2-2 피아식별부

피아식별부는 그림 2와 같이 3채널(합(SUM), 차(DEL), 제어(SLS)) 다이폴 어레이 구조를 갖는 안테나^[7]와 질문 신호를 생성하고 송신하며, 응답신호를 수신하고 신호 처리하는 질문기, 그리고 암호장치(crypto computer)로 구성

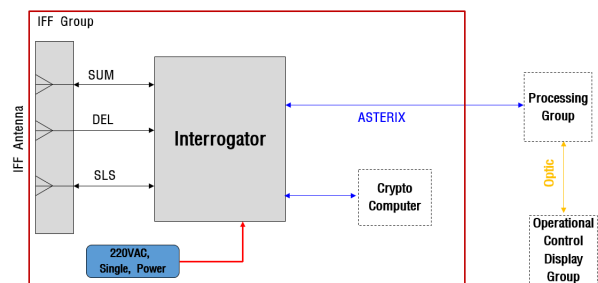


그림 2. 피아식별부 구성도
Fig. 2. The IFF subsystem configuration.

되며, 암호장비(crypto computer)는 관급으로 분류된다. 또한 220VAC 상용전원을 사용하고 있으며, 피아식별항적에 대한 정보를 ASTERIX(all purpose structured eurocontrol surveillance information exchange) 형태로 처리부로 전송되어 주(primary) 레이더 항적과 함께 개별 전시 또는 융합 표적형태로 운용통제전시부 전시창에 전시된다.

2-2-1 피아식별안테나 설계

피아식별(IFF) 시스템은 2차 감시레이다(secondary surveillance radar, SSR)로 불리며, 항공기 또는 함정을 감시하고 거리를 측정하고 검출하는 것이 아니라 부가적인 정보(식별자, 고도 등)들을 요청하며, 사용하는 주파수는 질문용으로 1,030 MHz, 응답용으로 1,090 MHz를 사용하고 있으며, 대표적으로 사용되는 피아식별안테나는 큰 수직 개구면 안테나(large vertical aperture antenna, LVA)이다. 이 안테나의 특성은 고각 빔 패턴이 0도 방향의 각도 근처에서 급격한 컷-오프가 일어나서 지표면 반사로 인한 항적 오탐을 빈도와 페이딩 영역 확장을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 단점으로는 크기와 무게(8 m×1.6 m, 500 kg 이상)가 많이 나가 큰 구조물 또는 강건한 철탑 위에 설치되어야 하는 제한이 있다.

큰 사이즈와 무게로 해상감시레이다-II체계에 큰 수직 개구면 안테나(LVA)를 설치 적용하기에는 구조적으로

제한이 있어, 안테나 개구면 사이즈를 줄여서 요구규격에 맞는 작은 수직 개구면 안테나(small vertical aperture antenna, SVA)를 적용하였다. 제작된 피아식별안테나 형상은 그림 3과 같으며, 크기는 4.1 m×0.9 m이고, 무게는 약 180 kg이다.

작은 수직 개구면 안테나(SVA)의 전기적 성능은 표 1에 제시하였고, 큰 수직 개구면 안테나(LVA)의 전기적 성능과 비교하였다. 물리적 안테나 사이즈에 영향을 주는 안테나 이득과 빔폭에 대해 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 전기적 성능을 보면, 편파는 수직편파이며, 정재파비(VSWR)는 1.5:1 이하, 안테나 이득은 19 dBi 이상으로 설계하였고, 합패턴인 안테나 방위각 및 고각 빔 규격에 대

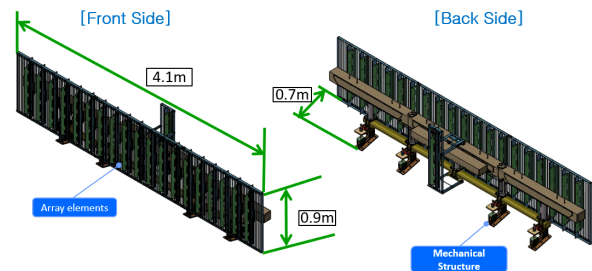


그림 3. 해상감시레이다-II 피아식별안테나 형상
Fig. 3. The IFF antenna shape for CSR-II.

표 1. 피아식별 안테나 주요 전기적 규격
Table 1. The IFF antenna main specifications.

Item			Electrical specification		Remark
			SVA (CSR-II)	LVA	
V.S.W.R			1.5:1 or less	Same as left	
Polarization			Vertical	Same as left	
Gain			19.0 dBi or higher	27 dBi or higher	
SUM	Az.	BW	$4.7^{\circ} \pm 0.5^{\circ}$	$2.4^{\circ} \pm 0.5^{\circ}$	
		Max. S.L	-20 dB or less	-26 dB	
	El.	BW	$25.5^{\circ} \pm 3^{\circ}$	$10.0^{\circ} \pm 3^{\circ}$	
		Max. S.L	-15.0 dB or less	Same as left	
SLS	Az.	Control	A pattern that is at least 4 dB higher than the SUM pattern sidelobe in an area where the SUM pattern sidelobe is -30 dB or more		Same as left

해서는, 방위각인 경우, 빔폭 4.7°, 최대부엽 -20 dB 이하이며, 고각인 경우, 빔폭 25.5°, 최대부엽 -15 dB 이하로 설계를 수행하였다. 제어패턴인 방위각인 경우, 합패턴의 부엽이 -30 dB 이상인 영역에서 합패턴 부엽보다 4 dB 이상 높은 수준의 패턴으로 설계 반영하였다.

피아식별안테나는 수평면과 수직면의 두 가지 특성을 가지고 있으며, 수평면 특성은 항공기의 방위각, 여러 항공기들을 분해하는 분해능 및 사이드로브에 의한 응답 간섭 최소화에 영향을 주며, 모노펄스(monopulse) 기법을 이용하여 구현이 된다. 그림 4에서 보면, 합(sum) 패턴을 중심으로 대칭이며, 중심의 좌우 측면에 하나씩 두 곳에서 동일한 차(DEL) 패턴 신호 비율을 찾아서 목표물에 대한 방위각 정보를 얻는다. 또한 여러 항공기에 대한 분해능은 합(sum) 패턴 빔의 반(3 dB) 전력 빔폭에 의존하며, 그림 5와 같이 해상감시레이다-II 체계 피아식별안테나인 경우, 질문용 및 응답용 주파수에 대해 합(SUM) 채널의 반(3 dB) 전력 빔폭은 4.7°이다. 이 값은 항공기 분해능 시험인 AIMS 1203(비행시험)을 통해서 검증을 완료하였다.

사이드로브에 의한 응답 간섭 최소화를 위해, 2차 감시레이다(SSR) 개발 초창기에는 2-채널(합(SUM), 차(DEL)) 안테나에서 차(DEL) 채널을 이용한 부엽억제기법(sidelobe suppression, SLS)을 적용하였다. 차(DEL) 채널의 부엽억제(SLS) 기능을 위해서는 합(SUM) 채널의 빔 패턴을 전방위로 덮어주어야 한다. 즉, 차(DEL) 채널 부엽레벨이 합(SUM) 채널 부엽보다 높아야 하고, 그렇지 않으면 punch through와 같은 현상이 생겨 허위 항적이나 오탐 확

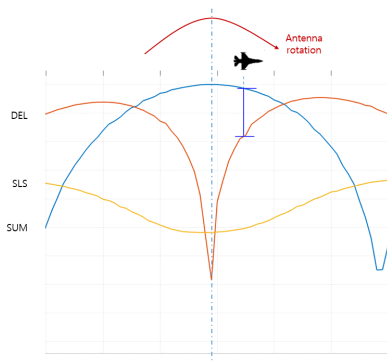


그림 4. 모노펄스 빔 패턴
Fig. 4. The monopulse beam patterns.

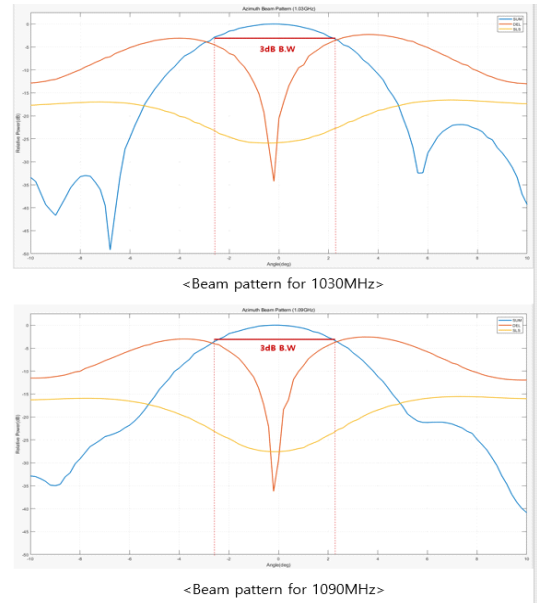


그림 5. 해상감시레이다-II 체계 피아식별안테나 빔 패턴
Fig. 5. The beam patterns for CSR-II.

률이 증가한다(그림 6).

이러한 현상을 억제하기 위해서 3-채널(합(SUM), 차(DEL), 제어(SLS))을 갖는 피아식별안테나가 적용되어, 민간 및 군 분야에서 널리 사용되고 있다. 해상감시레이다-II 체계 피아식별안테나는 3-채널을 적용하여 부엽에 의한 응답 간섭을 최소화하였다(그림 7). 그림 7을 보면 제어(SLS) 채널 패턴이 전방위로 부엽을 덮고 있어 사이드로브에 대한 응답기(transponder) 응답을 억제할 수 있다. 즉, 질문 펄스 P1과 P3은 질문 빔에 의해 전송되고 사

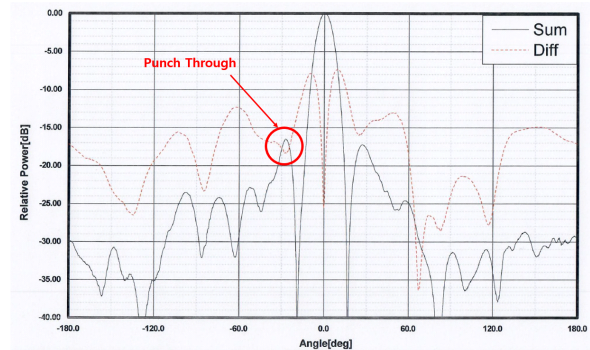


그림 6. 2-채널을 갖는 피아식별안테나 빔 패턴(예시)
Fig. 6. The IFF antenna with 2-channel (SUM & DEL).

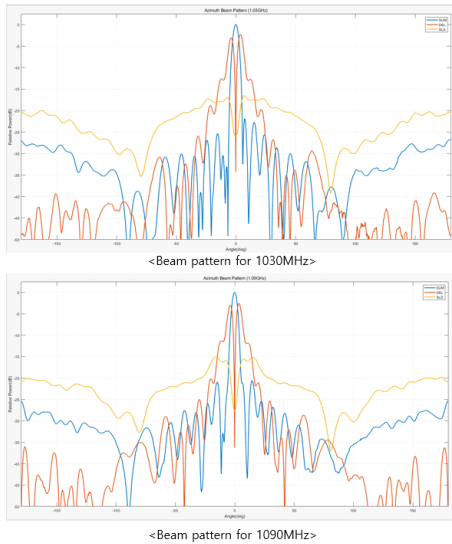


그림 7. 해상감시레이다-II 피아식별안테나 3-채널 빔 패턴
Fig. 7. The 3-CH beam patterns for CSR-II.

이드로브는 P1과 P2의 상대 진폭을 비교하고 신호가 안테나 사이드로브($P2 > P1$)에서 수신되는지 메인 빔($P1 > P2$)에서 수신되는지 여부를 판단한다. 응답기(transponder) 설계는 P1이 P2보다 신호강도가 9 dB 이상 크면 질문에 대한 응답을 하지만 그렇지 않은 경우($P1 < P2$)에는 응답을 하지 않게 되어 있다.

다음은 수직면 특성인 경우, 수직면 길이에 따라 고각 빔 모양이 넓어지거나 좁아지는 경향을 가지고 있다. 고각 빔이 넓은 경우는 대부분 지면 방향으로 향하고 다시 하늘을 향해 반사될 수 있다(그림 8). 항공기 식별에서, 하나는 안테나에서 직접, 다른 하나는 지면에서 반사된

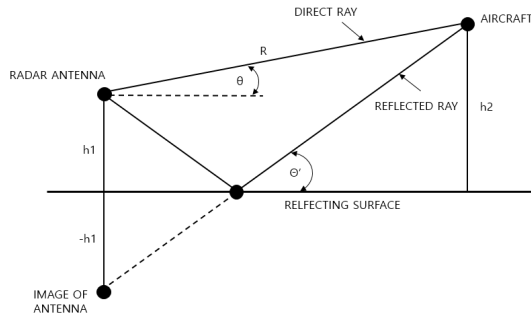


그림 8. 송신 신호에 대한 지면 반사파 형태
Fig. 8. The signal path for ground reflection.

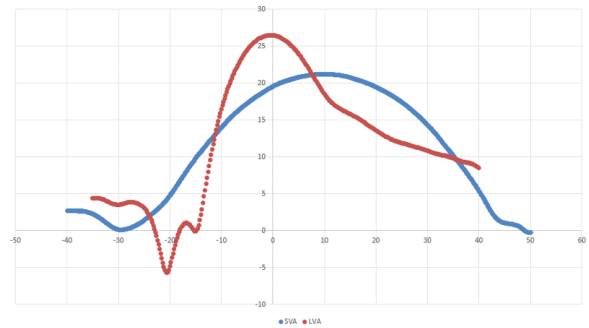


그림 9. 수직 개구면 크기에 따른 고각 빔 형태
Fig. 9. The elevation beam pattern according to vertical aperture size (SVA vs. LVA).

신호로 간접적으로 항공기 응답기(transponder)에 수신되어, 잘못된 응답을 할 가능성이 높다.

그림 9를 보면, 작은 수직 개구면 안테나(SVA)가 적용된 해상감시레이다-II 피아식별안테나는 파란색 고각 빔 형태를 가지며, 장거리 표적 탐지 및 항공관제(air traffic control, ATC)에 적용되는 큰 수직 개구면 안테나(LVA)는 적색 고각 빔 형태를 가지고 있는 것을 볼 수 있다. 고각 방향 $0^\circ \sim 10^\circ$ 에서 큰 수직 개구면 안테나(LVA) 빔패턴 이득 감쇠가 작은 수직 개구면 안테나(SVA)보다 급격하게 일어난다. 이것은 방사된 고각 빔 에너지가 지면으로 향하는 에너지를 줄임으로써 페이딩 또는 반사로 인한 오탐지 발생률을 줄이기 위함이다. 해상감시레이다-II 체계에 적용된 피아식별안테나(SVA)는 탐지거리가 90 NM 인 중거리이며, 넓은 고각 빔폭으로 항공기 탐지가 우수하며, 지면으로 향하는 고각 빔 에너지를 최소화하기 위해 안테나 자세 경사각(tilt)를 적용하여 최소화하였다.

2-2-2 피아식별 질문기 선정 및 주요 성능

해상감시레이다-II 체계에서 적용된 피아식별 질문기는 여러 제조사별 암호장비(crypto computer) 적용여부, 확장성 및 사이트 설치 시 파라미터 조정 등 관점에서 유럽 업체, HENSOLDT사(獨), MSSR2000 ID^[8] 제품을 선정하였다. 적용된 질문기(모델명: MSSR2000 ID) 주요 성능은 표 2에 제시하였으며, 요구규격에 만족함을 확인하였다.

또한, 적용된 질문기(모델명: MSSR2000 ID)는 美 AIMS Box 레벨 인증(그림10)^[9]을 획득한 제품으로 유럽 NATO

표 2. 질문기 요구규격 대비 성능

Table 2. Interrogator specifications vs. requirements.

Item	Required Spec.	Interrogator (MSSR 2000 ID)
Antenna rotation speed	O or OO RPM	15 RPM or less
Mode	MrkX, MrkXII-A	same as left
Max. range	90 NM	Up to 331 NM
Max. target handling capacity	OOOO targets	OOOO Target in 360° OOO Target in 45° OOO Target in 3.5°
Range accuracy	<OO m rms	≤OO m for SSR ≤OO m for Mode S
Range resolution	<OO m rms	≤OO m
Azimuth accuracy	<OOO°	≤0.05°
Azimuth resolution	<O°	<OOO°
Pd	>OO %	≥99 %
MTTR	<O hr	OO hr

회원국에서 실전에 배치된 제품이다. 개발과정에서 제조사인 BAE사(英), Telephonics사(美) 제품을 병행 검토하였으나, 선정된 질문기(모델명: MSSR2000 ID)가 개발일정과 성능 면에서 우수하였고, 기전력화된 무기체계에서 사이트 테스트 및 성능이 검증된 제품으로 개발 단계에서 위험요소를 최소화하였다.

주(primary) 레이더와 달리 2차 감시레이더(SSR)는 항공기에서 수신된 신호가 응답기(transponder)에 최대 전력으로 응답하도록 트리거하므로 단방향 손실에만 관련이 있다. 식 (1)은 2차 감시레이더(SSR)의 거리 방정식이다.

$$R = \frac{\lambda}{4\pi} \left(\frac{P_t G_t G_r}{L P_r} \right)^{1/2} \quad (1)$$

R 은 레이더 거리, λ 는 파장, P_t 는 송신전력, G_t 는 송신기 안테나 이득, G_r 는 수신기 안테나 이득이며, P_r 은 수신기 입력 전력, 그리고 L 은 시스템 손실이다. 또한 시스템 변수의 관점에서 수신기 안테나 입력 전력으로 식 (1)을 다시 표현하면, 식 (2)와 같이 표현된다.

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{L} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad (2)$$

인수 $(\lambda/4\pi R)^2$ 부분은 자유공간손실로 표현될 수 있고 식 (3) 및 식 (4)와 같이 표현되며, 탐지거리 D 는 해리(NMI) 단위이다.

$$\text{질문용}(1,030 \text{ MHz}) \ a = -98.058 - 20 \times \log_{10} (D) \quad (3)$$

$$\text{응답용}(1,090 \text{ MHz}) \ a = -98.558 - 20 \times \log_{10} (D) \quad (4)$$

2차 감시레이더(SSR) 시스템 설계를 위해서, 그림 11과 같은 설계요소들의 값을 적용하여 시스템 설계를 수행한다. 노란색으로 표시된 설계요소들은 규격서^{[1],[10],[11]}에 값이 명시되어 있는데, 질문 빔 형태 손실(interrogation beam shape loss)은 보통 0 dB로 제시되어 있으며, M 요소(factor)는 주로 대기산란, 변동(fluctuation), 편파, 및 신호처리 손실 등을 감안하여 0 dB 제시되었다. 대기 손실과 렌즈효과 손실은 그림 12 및 그림 13에 나타내었다.

항공기에 장착되어 있는 응답기(transponder)용 안테나 패턴 손실은 0 dB이고, 안테나와 응답기(transponder)와

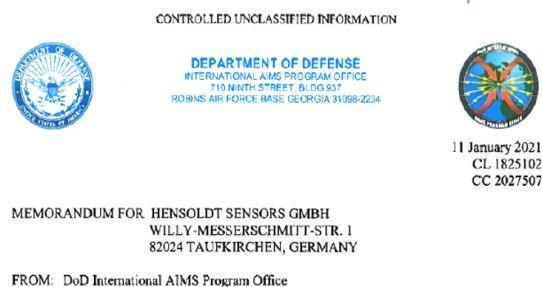
그림 10. 질문기의 AIMS 박스 레벨 인증^[9]

Fig. 10. The interrogator AIMS box level certification.

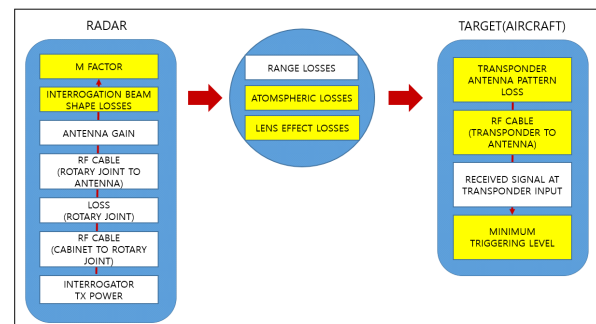


그림 11. 2차 감시레이더 시스템 설계요소

Fig. 11. The system design parameters for secondary surveillance radar.

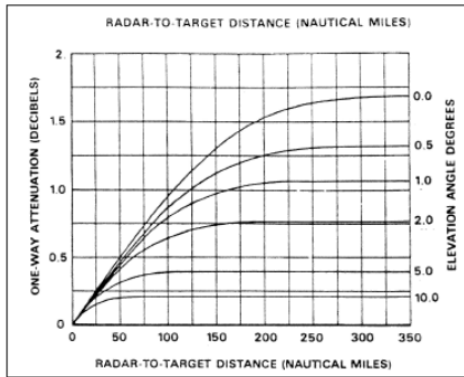


그림 12. 신호 고각에 따른 거리 대비 대기 흡수율^[12]
Fig. 12. Atmospheric absorption versus range for various signal elevation angles.

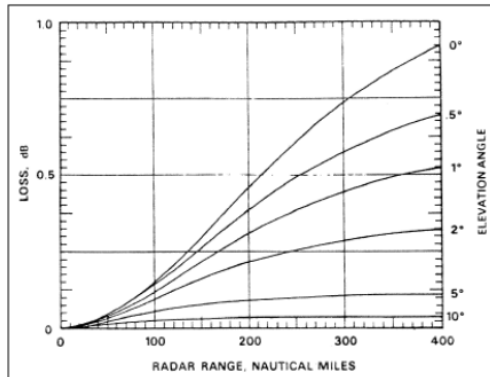


그림 13. 신호 고각에 따른 렌즈 손실^[12]
Fig. 13. Lens loss for various signal elevation angles.

연결되는 무선(radio frequency, RF) 케이블 손실은 0 dB로 명시되어 있다. 최종적으로 응답기(transponder) 수신레벨(min. triggering level)은 -00 dBm으로 제시되어 있다. 그 외 나머지 요소들은 시스템 설계자의 설계값으로 적용하면 된다. 해상감시레이다-II 체계 피아식별 기능을 위한 최대 탐지거리를 만족하는 송신출력은 그림 11에서 제시된 설계요소값을 반영하여 계산하면 60.5 dBm이며, AIMS 1202(지상시험) 및 AIMS 1203(비행시험)을 통하여 최대탐지거리를 검증하였다.

2-3 피아식별 기능시험 구성

해상감시레이다-II 체계의 피아식별기능 시험은 운용

시험평가(Operation Test & Evaluation, OT&E)를 통하여 검증완료하였다. 평가항목은 Mode 5를 포함한 Mark XII-A에 따른 질문과 응답시험을 수행하는 것이다. 운용 시험평가(OT&E) 기간에는 Mode 5용 암호장비(crypto computer)가 입수 되지 않아 상용 암호장비 시뮬레이터(모델명: IR/XP, HENSOLDT사)를 이용하여 Mode 5시험을 수행하였다. 피아식별 기능시험 구성은 그림 14와 같이 해상감시레이다-II체계 설치장소에 피아식별 안테나가 위치되어 있고, 약 1 km 떨어진 장소에 비콘 타워에 피아식별 모의표적장치를 설치하여 시험을 수행하였다. 피아식별 운용 시, 질문모드가 많아서 사용자가 개별로 수동 질문하지 않고, 질문 패턴(mode interlace patterns, MIP)을 프로그램화하여 표 3처럼 구성하여 사용자로 하여금 선택적으로 질문하도록 하였다. 질문모드는 순번을 정하고 그룹화하여 질문기에 장입하여 동작하는 방식으로, 예를 들어, Mark XA 또는 선택적 식별 질문(selective identification facility, SIF)모드인 경우, Mode 4와 SIF를 같이 질문하는 Super모드인 경우, Mode 5 ID, PIN(platform ID number), NO(national origin)를 질문하는 경우, Mode 5의 확장모드인 Extended 모드(SIF 모드포함)인 경우,



그림 14. 피아식별기능 시험 구성도
Fig. 14. The IFF function test configuration.

표 3. 질문 패턴(예시)
Table 3. The IFF MIP (mode interlace patterns).

Num	MIP	Description
1	Mode 1, Mode 3, Mode C	Normal mode 1
2	Mode 1, Mode 2, Mode C	Normal mode 2
3	Super Mode (Num1+Num2+Mode 4)	Super mode 1
4	Super Mode (Num1+Num2+Mode 5)	Super mode 2

Mode 5 DATA와 확장모드인 Extended 모드(SIF 모드포함)를 같이 질문하는 경우들로 구성하였다. 참고로 상기 질문패턴(MIP)은 사용자의 요구에 따라 다양하게 프로그램화하여 변경 가능하다.

2-3-1 피아식별 기능시험 결과

비콘 타워에 설치된 피아식별 모의표적장치 내 피아식별 질문용 응답시험코드를 표 4와 같이 설정하고, 운용통제전시부 내 피아식별 질문패턴(MIP)을 설정하고, 송신하여 피아식별 기능 시험을 수행하였다. 송신된 질문신호는 모의표적장치의 안테나로 수신되어, 질문에 대한 응답신호를 재송신한다. 그림 15와 같이 운용통제전시부 전시기로 확인한 결과, Mode 1, 2, 3/A, C에 대한 응답은 각각 52, 2552, 5225 그리고 20000 코드가 나오는 것을 확인하였고, 암호 응답 모드인 Mode 4는 Probably Friendly, Mode 5는 ID로 표시되어 시험결과를 확인하였다.

표 4. 질문용 응답시험 코드

Table 4. The response test code for interrogation.

Num	Item	Value
1	Range	25 NM
2	Mode 1 code	52
3	Mode 2 code	2,552
4	Mode 3/A	5,225
5	Mode C	20,000 ft
6	Mode 4	Simulator code settings
7	Mode 5	Test equipment settings

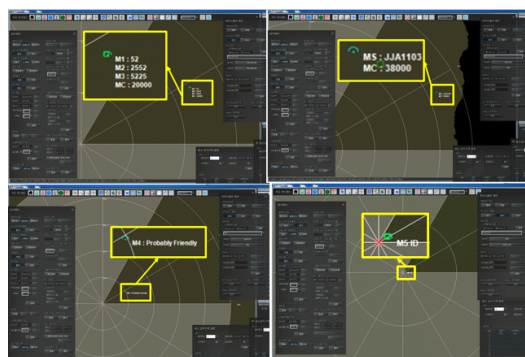


그림 15. 피아식별 기능 모드별 시험결과

Fig. 15. The test results by the IFF function modes.

2-3-2 체계연동 시 피아식별 기능시험

체계연동 시 피아식별 기능시험은 실패적(군용기)을 이용하여 수행하였다. Mode 5에 대한 시험은 암호장비 (crypto computer) 미입수로 인하여 별도의 모의표적장치 (Mode 5 응답용)를 그림 16과 같이 설치하여 시험하였다. 실패적(군용기)의 질문 Mode 1, 2, 3/A, C, 4에 대한 응답 정보를 얻었고, Mode 5에 대한 응답은 모의표적장치 (Mode 5 응답용)를 이용하여 응답정보를 획득하였다.

그림 17과 같이 Mode 5에 대한 응답정보는 Mode 1, 2, 3/A, C별 응답코드는 1111, 2222, 7777, 890이고, Mode 5에 대한 플랫폼 ID, NO(national origin) 그리고 Extended 모드 응답 정보는 12345, 47, D12D3C으로 전시되었다. 전시기에 표시되는 질문에 대한 응답코드는 AIMS 인증시험 시, OCTAL로 전시되어야 하며, 고도는 100 ft 단위로 표시하고, 유효하지 않는 코드가 들어오면, 표적의 위치는 표시하되, 고도정보는 미전시하게 하였다.

2-4 피아식별 인증시험

2-4-1 피아식별 인증절차

피아식별 인증은 Mode 5 유통을 위한 암호키를 획득하

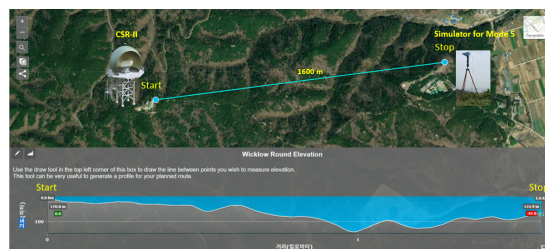


그림 16. 체계시험 시 피아식별 기능시험 구성

Fig. 16. The IFF test configuration for CSR-II test.

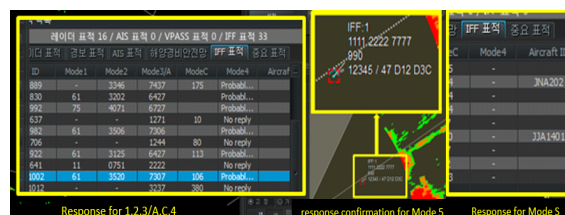


그림 17. 체계연동관련 피아식별기능 시험결과

Fig. 17. The IFF function test result for CSR-II test.

기 위한 인증시험으로 美 국방성 문서 “DoD AIMS 17-1000”에 요구되는 성능을 검증하여야 한다. 해상감시레이다-II 체계의 피아식별 인증업무는 방위사업청과 美 AIMS PO와 접촉하여 수행된다. 인증 절차는 인증신청(platform charter) - 연합암호장비 제3자 이전(third party transfer, TPT) 요청 - 연합암호장비 제3자 이전(TPT) 승인 - 시험절차서 작성 및 예비시험(dry-run) 계획 - 예비시험(dry-run) 및 자체비행시험 - 예비시험(dry-run) 시험결과보고서 제출 - 인증시험(1202 및 1203) - 시험결과보고서 제출 - 불일치 사항(discrepancy letter, D/L) 입수 - D/L 회신 - 인증서 획득 순으로 이루어진다. 여기서, 예비시험(dry-run) 시험결과보고서 제출 후에 美 AIMS PO에서 검토사항에 대한 언급이 없으면 인증시험 일정을 확정통보를 하고, 美 AIMS PO 입회하에 인증시험을 진행하면된다. 또한, 본 시험결과에 대한 불일치 사항(D/L)이 발생하면 신속히 검토 및 보완 자료를 작성하여 美 AIMS PO에 제출하여 인증서 획득에 문제가 없도록 한다(표 5).

2-4-2 예비시험(Dry-Run)

예비시험(dry-run)은 美 AIMS PO 인증시험에 대한 사전시험 성격으로, 美 AIMS PO에 전달하기 위하여 인증

시험 6주 전까지 AIMS 1202(지상시험)에서 요구하는 피아식별 시험을 수행하며, 예비시험(dry-run)결과보고서와 함께 해상감시레이다-II 체계에 대한 피아식별 설계 및 시험결과 내용이 포함된 기술문서(white paper)를 제출하여야 한다. 예비시험(dry-run) 결과보고서의 주요내용은 적용된 질문기의 美 AIMS Box 레벨(1201) 인증 내용을 언급했고, 해상감시레이다-II 체계 내 피아식별기능을 담당하는 구성품(안테나, 질문기, 암호장비, 암호키 로더, 시험장비)에 대한 제원, 전기적 규격을 기술하였다. 美 AIMS PO에서 인정하는 Mode 5용 시험장비와 직접 연결하는 AIMS 1202(지상시험)를 수행했으며, 또한 Mode 5는 GPS 시간 연동이 중요하기 때문에 협정시간(universal time coordinated, UTC)과 질문기 내 암호장비의 시간 동기화를 위한 TOD(time of day) 설정내용과 암호장비의 초기화(reset)를 위한 zeroize 기능 보유 여부를 기술하였다. 그림 18은 TOD(time of day)와 암호장비 초기화(reset)를 위한 zeroize 기능구현을 한 GUI 형상이다.

또한 Mark-XA 및 Mark-XIIA의 모드별 방사시험에 대한 응답 코드 결과값을 제시하였으며, 자체비행시험은 美 AIMS인증시험인 AIMS 1203(비행시험) 대비 사전 점검 개념으로 수행하였다. 비행시험 간 지형에 의한 질문과

표 5. AIMS 인증단계별 주요 사항
Table 5. AIMS certification steps and contents.

Step		From/To	Submission document
1	Start	DAPA→ AIMS PO	1. Platform charter: Complete and submit basic information for certification contract, including basic information about the platform, POC information, and test schedule
2	TPT request	DAPA→ CFC→ US DoD	1. Warranty letter and security measures (Korean/English) for each company participating in certification (overseas/domestic): To obtain approval for access to union cryptography equipment and AIMS certification documents
3	Dry-run	DAPA→ US AIMS PO	1. Information needed prior to platform testing: A white paper that is required before performing platform certification and includes the purpose of use of Mode 5, required specifications, and overall platform description 2. Dry-run report: 1202 test report equivalent to ground test
4	AIMS test	DAPA→ US AIMS PO	1. Platform technical data: Brief description of the platform 2. White paper: Technical description of the platform (software information) 3. 1202/1203 test report 4. 1203 log data set
5	AIMS certification	DAPA→ US AIMS PO	1. Discrepancy letter responses (D/L): Action or explanation for D/L issued by AIMS PO regarding the results of this test

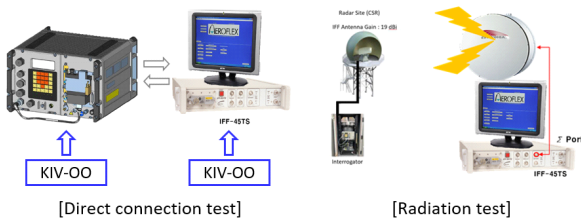


그림 22. AIMS 1202(지상시험) 시험 구성도
Fig. 22. The configuration for AIMS 1202 (ground test).

연결시험 시, 사전에 질문기와 美 AIMS PO가 인정한 시험장비 간 연결용 및 방사용 케이블 및 감쇄기에 대한 손실값을 측정한다. 또한 해상감시레이다-II 체계에서 피아식별안테나와 질문기 간 연결된 3-채널(합(SUM), 차(DEL), 제어(SLS)) 케이블 손실, 정재파비(VSWR)를 측정하여 값을 보고서에 기입한다.

2-5-2 AIMS 1203(비행시험)

AIMS 1203(비행시험)은 美 AIMS PO로부터 인정한 시험용 비행기(CN-235)와 해군에서 제공된 지원비행기(P-3C)를 이용하여 수행된다. 시험항목으로는 작전반경시험과 분해능 시험이 있고, 작전반경 시험의 경우, 시험용 비행기(CN-235) 1대로 진행되며, 분해능 시험 시에는 지원비행기(P-3C)가 추가되어 2대로 진행된다(그림 23).

시험내용으로는 해상감시레이다-II 체계의 작전반경까지 목표물 탐지 및 정확도 측정 항목이 있고, 시험비행기(CN-235)와 지원비행기(P-3C) 간 인증 시나리오 비행에 따른 거리 및 방위각 분해능 항목이 있다.

2-5-3 AIMS 인증시험 결과

해상감시레이다-II 체계의 Mode 5 사용을 위한 피아식별 인증시험은 美 AIMS PO에서 요구하는 시험절차에 맞

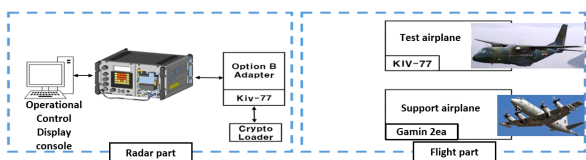


그림 23. AIMS1203(비행시험) 시험구성도
Fig. 23. The configuration for AIMS1203 (flight test).

게 수행되었다. 예비시험(dry-run) 결과보고서 제출 이후 본 인증시험이 美 AIMS PO 평가인원, 방위사업청, 소요군의 임회하에 AIMS1202(지상시험)와 AIMS1203(비행시험) 순으로 진행되었으며, AIMS1202(지상시험)인 경우, 장비실 내부 즉, 실내에서 진행되어 날씨에 영향을 받지 않아 시험절차에 따라 순조롭게 진행되었으나, AIMS1203(비행시험)인 경우, 시험지역 상공 날씨가 좋지 않아 몇 번의 지연으로 비행시험이 진행되었다. 참고로 비행일정은 미리 설정된 비행공역을 쓰기 때문에 해당 일자에 비행을 못 하면 일정을 다시 잡아야 하는 일정 위험요소가 있다.

본 인증 시험절차에 맞게 작성된 결과보고서는 해상감시레이다-II 체계 기술정보(platform technical data), 기술보고서(white paper), 시험결과보고서(AIMS1202 및 1203) 그리고 美 AIMS PO의 추가적인 질의에 대한 답변서와 함께 방위사업청을 통해 美 AIMS PO 담당자에게 제출되었고, 이듬해인 2023년 4월에 피아식별 인증(C/L, certification letter)을 획득하였다(그림 24).

III. 결 론

피아식별 Mark-XII의 Mode 4의 단종으로 Mark-XII-A로 전환되는 2020년 시점에 해상감시레이다-II 체계의 Mode 5 인증이 요구되었다. 피아식별 기능에 대한 성능

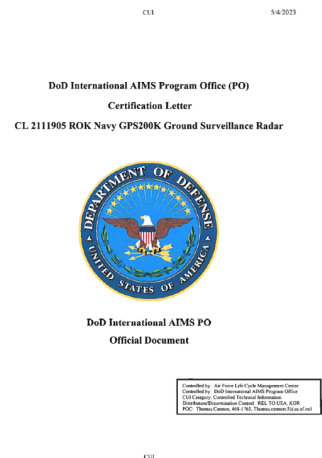


그림 24. 해상감시레이다-II 체계의 美 AIMS 인증서
Fig. 24. The US AIMS certification document for CSR-II.

검증은 2019년 말에 완료하였으며, Mode 5 인증 수행은 해상감시레이다-II 양산사업 진행 간 수행되었다.

본 논문에서는 해상감시레이다-II 체계의 피아식별 기능에 대한 설계 및 성능을 제시하였고, Mode 5용 암호장비 획득 및 사용을 위한 美 AIMS 인증절차 및 시험수행을 설명하였다. AIMS 인증절차는 방위사업청과 美 AIMS PO 간 긴밀한 협조하에 개발업체 시험지원으로 이루어졌으며, 요구되는 신청문서(platform charter) 및 플랫폼 정보(white paper) 등을 제출하였다. 예비시험(dry-run), 인증시험(AIMS 1202 및 1203)을 수행했고, 시험결과보고서를 제출하였다. 美 AIMS PO의 시험결과보고서 내용 검토에서 질문기의 기능관련 내용에 대한 불일치 사항(D/L)이 지적되어 답변서를 제출하였고, 최종적으로 2023년 4월 경에 美 AIMS 인증^[13]을 획득하였다.

끝으로 본 피아식별 기능 개발, AIMS 인증 절차 및 수행 업무들이 체계적으로 정리되어 향후에 진행될 성능개량 및 새로운 무기 체계사업에 적용되길 기대한다.

References

- [1] *Technical Standard for the Mark XIIIB Electronic Identification Standard*, DoD AIMS 17-1000, Apr. 2018.
- [2] *Technical Standard for the ATCRBS/IFF/Mark XIIA Electronic Identification System and Military Implementation of Mode S*, DoD AIMS 03-1000C, Apr. 2018.
- [3] *Technical Manual Performance Test Requirement Mark XIIA and Mode S & Mark XIIIB Interrogator Bench Performance Test Requirements*, DoD AIMS 1201, Jul. 2018.
- [4] *Technical Manual Performance Test Requirement Mark XIIA and Mode S & Mark XIIIB Interrogator Installation Test Requirements*, DoD AIMS 1202, Jul. 2018.
- [5] *Technical Manual Performance Test Requirement Mark XIIA and Mode S & Mark XIIIB Interrogator Operational Test Requirements*, DoD AIMS 1203, Jul. 2018.
- [6] W. H. Kim, S. Y. Jung, Y. S. Lee, and S. M. Chang, "Mark XIIA(mode 5) IFF system interaction and certification test for surface to air missile system," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 25, no. 2, pp. 160-168, Apr. 2022.
- [7] J. H. Choi, H. D. Chae, J. Park, and H. G. Na, "Monopulse secondary surveillance radar antenna with sum/difference/SLS channels," *Journal of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 22, no. 7, pp. 720-728, Jul. 2011.
- [8] HENSOLDT, "MSSR 2000 ID IFF interrogator," 2023. Available: <https://www.hensoldt.net/products/radar-iff-and-comms/mssr-2000-id-iff-interrogator/>
- [9] DoD AIMS Program Office, "CL1825102." Jan. 2021.
- [10] *Technical Characteristics of the IFF Mk XIIA System Part I: System Description and General Characteristics*, STANAG 4193, Nov. 1990.
- [11] *Technical Characteristics of the IFF Mk XIIA System Part III: Installed System Characteristics*, STANAG 4193, Nov. 1990.
- [12] M. C. Stevens, *Secondary Surveillance Radar*, London, Artech House, 1988.
- [13] DoD AIMS Program Office, "CL 2111905." Apr. 2023.

이 기 홍 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0009-0003-4280-260X>



2000년 8월: 건국대학교 전자공학과 (공학 석사)
2008년 4월: LG이노텍 선임연구원
2008년 4월~현재: LIG넥스원 레이더연구소 수석연구원
[주 관심분야] 레이더체계설계, M&S, 전파전파, RF&MMW 능동회로 등

심 성 호 [LIG넥스원/연구원]

<https://orcid.org/0009-0008-7855-8756>



2021년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)
2022년 1월~현재: LIG넥스원 레이더기술팀 연구원
[주 관심분야] 레이더, 능동위상배열시스템 등

조 명 훈 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0009-0009-7235-5058>



1997년 8월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
2006년 8월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
2006년 9월~현재: LIG넥스원 레이더연구소 수석연구원
[주 관심분야] 레이더체계설계, 레이더신

호처리 등

이 기 원 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-2545-7579>

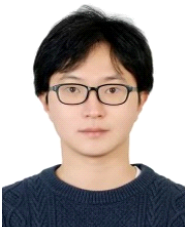


2000년 2월: 충남대학교 전기공학과 (공학사)
2002년 8월: 충남대학교 전기공학과 (공학 석사)
2002년 7월~현재: LIG넥스원 레이더연구소 수석연구원
[주 관심분야] 레이더체계설계, 안테나,

신호처리 등

권 용 옥 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-0850-4954>



2008년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학 석사)
2008년 2월~현재: LIG넥스원 레이더기술팀 수석연구원
[주 관심분야] 레이더, 능동위상배열시스템 등