

논문 2007-44SC-3-4

추적레이더의 주요영향인자 정의 및 분석을 통한 대함표적획득시간 성능향상에 관한 연구

(A Study on Performance Improvement for Acquiring Time of Ship Target through Defining and Analysing the Main Affecting Factors of Tracking Radar)

김 승 우*, 조 흥 기*

(Seung-Woo Kim and Heung-Gi Cho)

요 약

한국형 구축함용 전투체계의 추적레이더(STIR)는 탐색레이더(MW08)의 3차원 표적 정보에 지정되어 표적을 획득하고, 추적 알고리즘에 의해 자동추적하는 레이더로서 표적획득 시간 및 추적루프의 정확도로 레이더의 성능을 판단 할 수 있다. 함정 측면에서 보면 추적레이더의 표적획득 시간에 관계되는 요소들은 여러 가지가 있을 수 있다. 본 논문에서는 이런 요소들을 식별하고 성능향상방법을 제안함으로써 추적레이더의 표적획득 시간을 단축시켰다. 여기에서는 주요요소 세 가지에 대한 분석과 성능향상방향을 제시하였다. 첫째는 추적알고리즘을 분석하였으며, 두 번째는 획득거리에 관계되는 요소를 조정하는 파라미터의 적절성 분석하였고, 세 번째는 함기준 센서의 정확도를 분석하였다. 결과적으로 대함표적의 획득시간을 약 10초에서 3초로 성능을 향상시킬 수 있었다.

Abstract

The STIR(Signal Tracking & Illumination Radar) in KDX(Korean Destroyer Experimental) combat system acquires target from designating 3-D target information of surveillance radar (MW-08), and The performance of radar is decided by target acquisition time and accuracy of tracking loop because the STIR tracks automatically in accordance with tracking algorithm. In the view of ship, elements related with target acquisition time of the STIR can be various. In this paper the target acquisition time of the STIR is reduced by identifying the elements and suggesting the performance improvement method. The way of performance improvement is suggested through analysing main affecting factors. First, tracking algorithm is required for analysis. Second, fitness of parameters that control elements related with acquisition distance is analyzed. And the third, accuracy of ship based sensors is analyzed. In conclusion, acquisition time against ship target can be advanced to 3 seconds from 10 seconds.

Keywords : Radar(레이더), Target Acquisition(표적획득), Combat System(전투체계)

I. 서 론

함정 전투체계는 함정에 탑재되는 각종 센서와 통신 장비 및 항법 장비들을 물리적으로 통합하여 전술 상황 평가와 지휘결심을 보조하고 궁극적으로는 함 탑재 무장을 이용하여 교전을 수행하는 함정작전을 위한 핵심

체계이다. 국내의 함정 전투체계 개발은 그동안 선진국의 기술 공개 기피와 국내 기술 기반의 부족으로 인해 해외 업체에 전적으로 의존하였으나, 수십 여 년의 전투체계 운용 경험과 기술 기반 확보를 위한 연구개발 노력 및 국내업체의 생산 능력 향상, 함정 탑재 단위 센서 및 무장 체계들의 국내 개발 등을 통한 국내 기술 수준의 성숙과 더불어 체계 개발 여건이 조성됨에 따라 최근에는 점차 국내 연구개발로 전환되고 있다.

한국형구축함용 전투체계는 STIR 2.4(KDX-II용)라

* 국방기술품질원

(Defense Agency for Technology and Quality)

접수일자: 2006년8월10일, 수정완료일: 2007년4월20일

불리는 추적레이더를 탑재하고 있다. 이 추적레이더는 탐색레이더(MW08)로 부터 탐색된 3차원 표적정보에 지정, 표적을 획득하여 추적 알고리즘에 의해 자동 추적하는 레이더이다^{[1][2][3]}.

사격을 하는데 있어서 표적을 보다 빨리 획득하고 추적하는 것은 전쟁의 승패를 좌우할 만큼 큰 영향을 끼친다. 본 논문에서는 추적레이더의 표적획득시간에 영향을 주는 시스템요소들을 찾아내고, 표적획득시간 단축을 시키고자 연구를 진행하게 되었다.

II. 기존 추적레이더의 성능 평가 및 분석

1. 시스템 분석

표적추정은 DDWCS(Dual Director Weapon Control System) Core 시스템의 표적지정 데이터를 바탕으로 표적 획득 및 추적한다. 표적추정운용모드는 획득(Acquiring), 자동추적(Automatic Tracking), 수동추적(Manual Tracking), 자유 생성(Free Generation)이 있으며, 본 논문에서는 획득 모드에서 대함표적 획득향상시간에 대하여 연구하였다. 대함표적으로 연구범위를 설정한 것은 대함표적은 대공표적에 비해 도플러 효과가 작고 해면 클러터등 노이즈의 영향을 많이 받기 때문에 표적획득에 많은 어려움이 있기 때문이다^{[4][5][6]}. 획득모드에서 DDWCS Core시스템은 타 센서로부터 들어온 표적 데이터를 추적레이더(STIR : Signal Tracking & Illumination Radar)에 전달한다. STIR Director는 지정된 위치로 회전하여 표적 탐색을 시작하며, 표적형태(대공, 대함)와 표적지정 데이터의 정확성을 기본으로 표적 탐색 패턴을 선택한다. STIR은 표적획득 후 자동 추적 상태로 들어간다^{[7][8]}.

2. 표적획득 시간 분석

추적레이더는 탐색레이더의 3차원 표적정보에 지정, 표적을 획득하여 추적 알고리즘에 의해 자동 추적하는 레이더로서 표적 획득 시간으로 장비의 성능을 판단할 수 있다. 추적레이더의 대함표적획득시간을 분석하기 위하여 추적레이더체계에 내장된 프로그램을 이용하여 Internal Logging을 실시 후 Logging 데이터를 xyplot 프로그램(분석용 도구)으로 분석하여 보았다. 그림 1은 대함표적획득시간을 분석한 결과이다.

그림 1의 분석결과로 알 수 있듯이 표본의 평균 대함 표적획득시간은 약 10초로 나타났다. 표본횟수는 15회였으며 표준편차는 9.31초였다.

그림 1에서 볼 수 있는 것과 같이 대함표적에 대한 획득시간이 10초정도 나오는 것은 사격실시시간을 많이 걸리게 하는 요인으로 전투체계 성능에 많은 영향을 줄 수 있다. 따라서 표적획득 시간은 자동추적시점과 획득 시작시점 간의 차이로 정의할 수 있다. 표적획득시간이 5초 이내인 것은 전체의 40%, 5~10초 이내인 것은 27%, 10초 이상인 것은 33%였다. 전투가 발생했을 때 신속한 대처능력을 위해 표적획득시간은 약5초 이내 80% 이상을 유지해야 한다는 것이 사용군과 전문가들의 의견이다.

III. 주요영향인자 정의 및 분석

1. 주요영향인자 정의

먼저, 전투체계 시스템 차원에서 추적레이더 표적획득시간에 영향을 주는 요소가 무엇이며 이들이 얼마나 영향을 줄 수 있는지를 조사하였다. 추적레이더는 독립적으로 동작하는 것이 아니라 자함 센서로부터 영향을

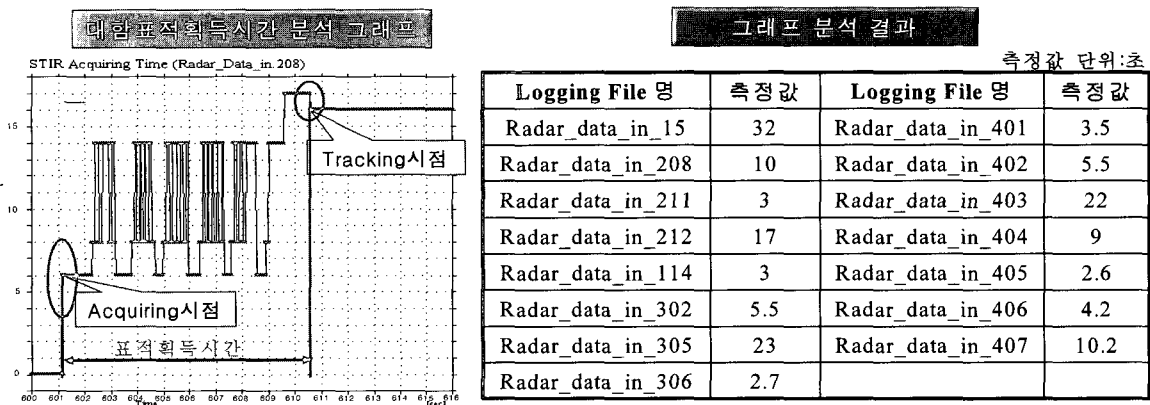


그림 1. 대함표적 획득시간 분석
Fig. 1. Anti Surface Target acquisition time Analysis.

표 1. 주요영향인자 정의
Table 1. Main Affecting Factors Definition.

장비	주요영향인자	판단기준
추적레이더	송신 출력의 안정도	Peak 출력 80kW 이상
	수신 이득 안정도	Gain Calibration Test
	주파수 변동의 안정도	Freq Band Test LO \pm 1 MHz
	고각 구동의 성능	Servo-cont Elev Test
	선회 구동의 성능	Servo-cont Bear Test
	MTTU의 신호 처리 능력	MTTU FFT Test
	추적 Algorithm (S/W)	Algorithm 분석
	추적 데이터의 정확도 (B,E,R)	NAVSEP 데이터 분석
	Range 데이터	Internal Logging 데이터 분석
탐색레이더	송신 출력의 안정도	Average 출력 805Watt 이상
	수신 이득 안정도	Calibration Pulse Test
	주파수 변동의 안정도	Freq Control Test LO \pm 2MHz
	탐색 데이터의 정확도 (B, E, R)	NAVSEP 데이터 분석
	STIR와의 데이터 일치 여부	NAVSEP 데이터 분석
	Parameter의 적절성	시스템 Parameter와 비교
자함	자함 신호(Gyro)의 안정도	Course, Roll, Pitch 신호 분석
	속도 신호(EM-Log)의 안정도	EM-Log 신호 분석
	풍향, 풍속, 조류 신호의 안정도	다기능콘솔 전시 상태 확인
	전원 안정도	전압, 주파수, 위상 측정

받고 탐색레이더의 초기 표적 정보를 표적획득 시작 값으로 하기 때문에 이들에 대한 영향성도 함께 검토하였다.^{[9][10]}

2. 주요영향인자 분석

표 1에서 정의된 주요영향인자에 대해서 단계별로 판단기준 및 시험방법에 따라 시험한 결과 추적레이더 송신출력 및 수신이득의 안정도, MTTU(Multi Task Track Unit)의 신호처리능력 및 주파수변동의 안정성, 선회 고각 구동의 성능, 추적/탐색레이더 데이터의 정확도, 탐색레이더의 송신출력/수신이득/주파수 변동의 안정도, 속도신호의 안정도 등은 정상적으로 나타났으나 추적알고리즘, Range 데이터, 자함 신호의 안정도에서는 부정확성이 높고 노이즈가 포함되어 있었다.

STIR Range Data 분석결과

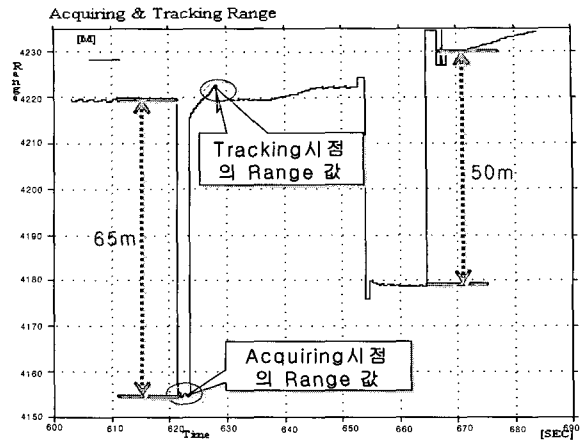


그림 2. Range 데이터 분석 결과
Fig. 2. Range Data Analysis Result.

따라서 성능향상이 필요한 주요영향인자에 대하여 현상을 분석한 결과는 다음과 같다.

가. 추적 알고리즘

추적레이더의 추적신호상태 분석을 위하여 다기능 콘솔의 Internal Logging File 및 TV/IR 카메라의 영상자료를 분석하였다.

Internal logging 파일을 FTP(File Transfer Protocol)를 통해 컴퓨터로 옮긴 후 자료 분석한 결과 추적 알고리즘 소프트웨어를 수정해야하는 몇 가지의 요소가 발견되었다.

첫째, Acquiring시 Trembling현상(떨림 현상)이 나타남을 확인 하였고, 이것은 start bearing값과 stop bearing값의 차이가 너무 작아서 생기는 현상으로 분석되었다. 둘째는 Tracking시 Hunting현상이 나타났고, 이는 Servo Motor를 구동시키는 제어값을 처리할 때 Track필터를 거치며 나온 비선형 상수 값들 때문인 것으로 분석되었다.

나. Range 데이터

STIR Internal Logging 데이터 분석을 통한 표적획득시의 Range 데이터 분석을 실시한 결과는 그림 2와 같다. 두번의 표적 지정을 실시한 결과 첫 번째 표적에 대하여는 실표적 거리 4,220m인 경우 Acquiring Range 값이 4,155m로 약 65m의 거리 차이가 났다는 것을 알 수 있다.

두 번째 표적에 대하여는 실거리 표적 4,230m인 경우 Acquiring Range값이 4,180m로 약 50m의 거리차이

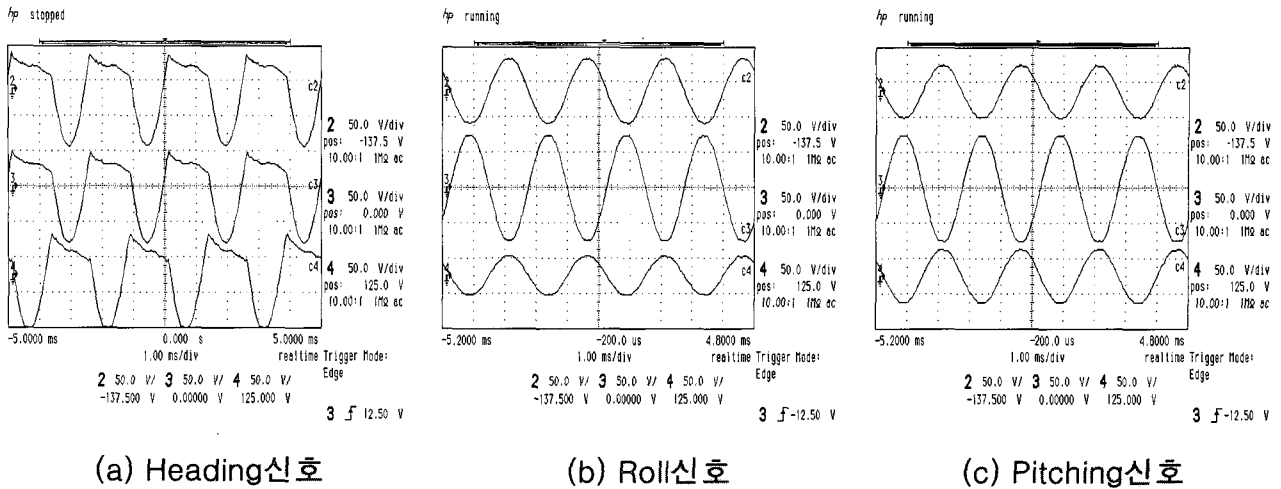


그림 3. 자함 신호(Gyro)의 안정도 분석
Fig. 3. Stability analysis of Own Ship Gyro Signal.

가 낮다는 것을 알 수 있다. 그러나 Acquiring 시점에서 Tracking 상태로 갈 때 Track Range Gate Size가 ±30m이내(설계 값)이어야 하나 오차가 50m~65m가 발생하여 Acquiring Range의 적절한 산출이 반드시 요구된다.

다. 자함 신호(Gyro)의 안정도

자이로 신호는 함 기준 신호연동단을 거쳐 자료전송장치와 각종연동장비로 분배되는데 이렇게 신호를 분배시키는 장치가 DDU(Data Distribution Unit)이며, DDU에서 모니터링한 자이로의 Synchro 신호 중 Heading을 주는 정보가 그림 3의 (a)와 같이 왜곡이 생겨있음을 확인하였다.

자이로 신호가 조금만 틀려도 Director의 자세를 보상해주는 offset값이 틀려져 탐색 및 추적레이더에 많은 영향을 줄 수 있다. 신호의 왜곡이 발생한 원인을 분석한 결과 current amplifier 역할을 하는 Booster에서 신호를 증폭하는 과정 중 트랜지스터의 동작점 이동에 따른 왜곡이 발생되었음을 확인할 수 있었다. 따라서 적절한 왜곡이 없이 신호의 증폭을 위해서는 트랜지스터의 동작점 이동이 필요하다.

IV. 주요영향인자 성능향상방안 및 적용

1. 주요영향인자 성능향상방안

분석 단계에서 나타난 주요영향인자 성능향상방법에 대하여 표 2와 같이 정리하였다.

첫째, 추적 알고리즘 분석과 관련된 문제들은 소프트

표 2. 주요영향인자 성능향상방안

Table 2. method of Performance Improvement for Main Affecting Factors.

주요 영향인자	성능향상 방법
추적 레이더 추적 알고리즘	◎ Acquiring시 Trembling start bearing값과 stop bearing값의 차이가 너무 작아서 생기는 현상 ⇒ Scanning Pattern의 Bearing간격 수정 (0.017→0.021)
	◎ Tracking시 Hunting Track 필터를 거치며 나온 비선형 상수들 때문에 생기는 현상 ⇒ 비선형 상수 제거를 위한 필터 값 수정
추적 레이더 Range 데이터	◎ Acquiring시와 Automatic Tracking시의 Range값의 차이50~65m 발생(규격:±30m이내) Acquiring시의 Range값과 Tracking시의 Range값의 차이가 ± 30m 이내가 되도록 Range관련 ⇒ Parameter값(360→300)을 재설정
자함 신호의 안정도	◎ Heading 신호 왜곡 Gyro의 Heading 신호 개선 ⇒ 증폭기 트랜지스터의 동작점 이동

웨어적 필터의 설계가 요구된다.

둘째, 추적레이더의 Acquiring시의 Range값과 Tracking시의 Range 값의 차이를 줄이기 위해서 Acquiring시 거리 초기값과 관계된 연산을 하는 파라미터의 변경이 필요하고,

셋째, 자함 신호의 안정도와 관련해서 왜곡이 생기는 부분을 신호개선을 통해서 해결해야 할 것으로 개선방향을 설정하여, 자함 신호의 안정도와 관련해서 왜곡이 생기는 부분은 증폭기의 신호개선을 위해 트랜지스터 동작영역을 변경할 필요가 있다.

2. 주요영향인자 성능향상방안 적용

가. 추적 알고리즘

추적레이더 알고리즘을 분석한 결과에 따라 Acquiring시 Trembling현상은 start bearing값과 stop bearing값의 차이가 너무 작아서 생기는 현상으로 파악되었고, 이에 따라 적절한 Scanning Pattern의 Bearing 간격을 0.017에서 0.021로 수정하였으며, Tracking 시 Hunting현상은 Track 필터를 거치며 나온 비선형 상수들 때문에 생기는 현상으로 비선형 상수 제거를 위한 필터(S/W적으로 처리하는 필터)값을 수정해줌으로써 추적레이더의 표적 획득 시와 자동추적 시 발생하는 떨림을 감소시켰다.

나. Range 데이터

추적레이더의 서브시스템 파라미터에는 선회/고각의 정확도 및 방위/거리 정확도 파라미터 등 다양한 변수가 있는데 Acquiring시 초기 거리값과 관계된 파라미터인 INDO2(Acquiring Range Parameter) 값을 실험적 반복을 통해서 360에서 300으로 수정 하였다.

실제 이 파라미터들은 추적신호처리 캐비닛(추적레이더 구성장비)의 하드디스크에 파일형태로 저장 되어 있다가 장비 전원 입력시 메모리로 올라가 상주하는 파라미터이다. 결과적으로 그림 4와 같이 파라미터 변경 후 Acquiring시의 Range값과 Automatic Tracking시의 Range값의 차이가 ± 2m로 성능향상 되었음을 확인하였다.

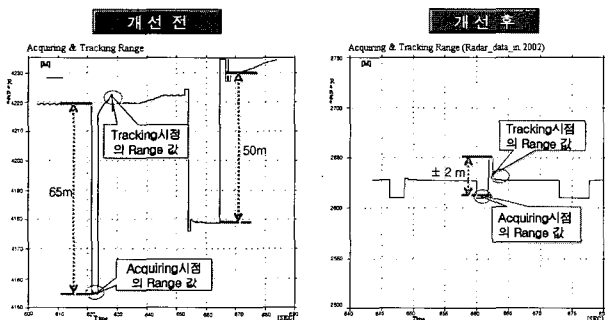


그림 4. Range 데이터 정확성 향상
Fig. 4. Accuracy Improvement of Range Data.

다. 자함 신호(Gyro)

DDU를 통과한 자이로 신호 중 헤딩 신호의 왜곡현상은 싱크로/디지털 변환기의 트랜지스터의 동작점을 이동시켜 왜곡이 생기지 않는 포화된 상태에서 동작하도록 하였다. 비선형영역에서 동작하는 신호는 입력전압에 따른 출력전압의 이득의 크기와 상관없이 왜곡된

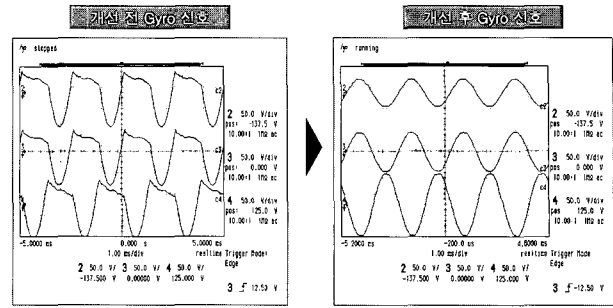
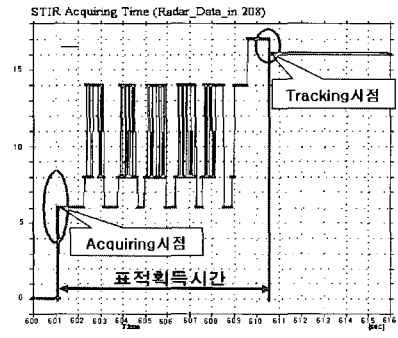


그림 5. 자함 신호(Gyro) 왜곡 제거
Fig. 5. Distortion Reduction of Own Ship Gyro Signal.

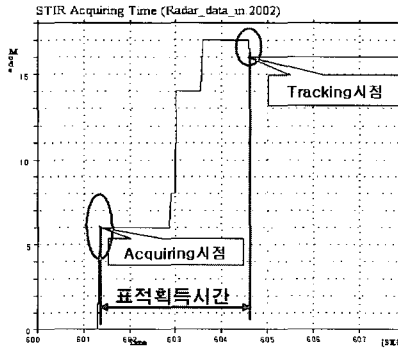
신호를 출력할 수 있다. 따라서 트랜지스터를 선형영역에서 동작하도록 함으로서 그림 5와 같이 자이로 신호의 왜곡이 제거되었다.

V. 실험 및 결과고찰

주요영향인자의 성능향상방법을 종합적으로 적용 후 대함표적획득시간을 분석 및 측정하여 보았다.



대함표적획득시간:약 10초
(a) Before of Performance Improvement



대함표적획득시간:약 3초
(b) After of Performance Improvement

그림 6. 성능향상 전,후 표적획득시간
Fig. 6. Target Acquiring Time for Before&After of Performance Improvement.

그림 6은 시스템 성능향상 전·후의 대함표적획득시간을 분석한 것으로 개선 전 대함표적획득시간이 약 10초에서 개선 후 약 3초로 단축되어 약 7초 단축된 것을 확인 할 수 있어 성능향상이 크게 이루어짐을 알 수 있었다. 이렇게 표적획득시간이 줄어든 것은 표적대응 시간측면에서 보면 큰 성능향상이라 할 수 있다. 또한 모드6에서 모드16까지 모드의 변화가 순차적이며, Acquiring 시점부터 Tracking 시점까지 가는데 표적의 재탐색 없이 한번에 표적을 획득 및 추적하고 있음을 나타낸다고 볼 수 있다. 그림 7은 시스템 성능 향상된 후 표본횟수 30번을 측정하여 성능향상 전·후의 표적 획득시간 비교한 것으로 표본평균은 10.21에서 3.09초로 줄었으며, 표준편차는 9.31에서 0.826으로 줄어들었다는

것을 확인하였고, 또한 평균을 중심으로 편차가 적어 안정된 표적획득성능을 보임을 확인 할 수 있었다.

IV. 결 론

한국형구축함용 전투체계의 추적레이더 성능향상을 위해 대함표적획득시간의 주요영향인자에 대하여 정의 및 분석을 하였다. 분석결과를 바탕으로 성능향상 방법을 적용하였으며, 적용 후 결과는 다음과 같았다.

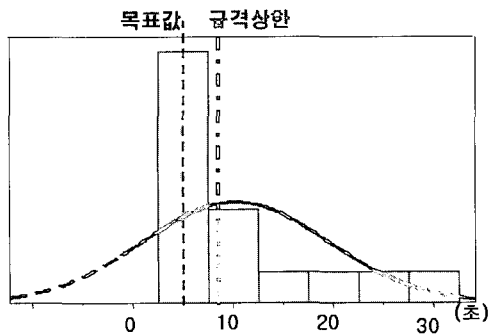
추적레이더의 대함표적획득시간을 단축(개선 전 대비 : 약 7초 단축)하여 장비 신뢰성 및 고객만족도를 크게 제고하였으며, 전투체계 시스템 관점에서 추적레이더 표적획득에 영향을 주는 요소들을 정의하고, 체계진단 프로세서로 발전시킬 수 있는 기반 마련하였다.

무엇보다도 대함표적획득시간이 줄어든다는 것은 표적에 대한 대응시간이 줄어든다(전장에서 승패와 직결되는 문제임)는 것을 의미하며 이는 곧 전투력 증강에 크게 기여를 한다고 볼 수 있다.

본 논문은 국내 함정 전투체계에 적합한 추적레이더 설계시 참고자료로 활용될수 있을 것이다.

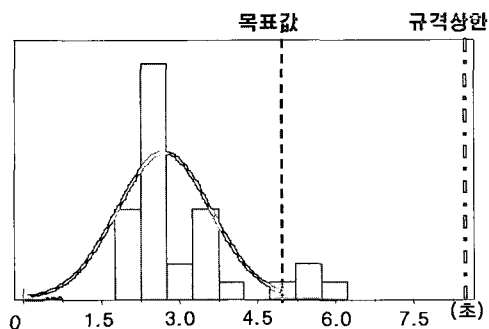
참 고 문 헌

- [1] Merrill I.Skolnik , "Introduction to Radar Systems(2nd Ed.)", McGraw-Hill Book Co., 1980.
- [2] Merrill I. Skolnik , "Radar Handbook(2nd Ed.)", McGraw-Hill Book Co., 1990.
- [3] Jerry L.Evans and Edward K.Reedy, "Principles of Modern Radar", Van Nostrand Reinhold Co., 1987.
- [4] George W. Ewell , "Radar Transmitter", McGraw-Hill Book Co., 1981.
- [5] Simon Kingsley, Shaun Quegan, "Understanding Radar Systems", McGraw-Hill Book Co., 1992.
- [6] David K. Barton, "Modern Radar System Analysis", Artech House, 1988.
- [7] 양성욱 외, "추적 레이다용 Dual-band 모노펄스 수신기", 한국전자과학회논문지, 17(8), pp.767~772, 2006년 9월.
- [8] Jeffrey, T.W; "Track quality estimation for multiple-target tracking radars", Radar Conference, 1989, Proceedings of the 1989 IEEE National, 29 March 1989, page 76~79
- [9] Wynn, D.A; Cooper, D.C, "Coherent track-before-detection processing in a ship-based multifunction radar", Radar 92,



- 표본개수 : 15개, 표준편차 : 9.31
- 표본평균 : 10.21초
- 최소표적획득시간 : 3초
- 최대표적획득시간 : 32초

(a) Before of Performance Improvement



- 표본개수 : 30개, 표준편차 : 0.826
- 표본평균 : 3.09초
- 최소표적획득시간 : 3초
- 최대표적획득시간 : 6초

(b) After of Performance Improvement

그림 7. 성능향상 전.후 표적획득시간 분석
Fig. 7. Target Acquiring Time Analysis for Before&After of Performance Improvement.

International Conference, 12 OCT 1992, page 20
6~209

[10] Leong, H; Helleur, C.; Rey, M, "Ship detection and tracking using HF surface wave radar", RADAR 2002, 15 OCT 2002, page 61~65

— 저 자 소 개 —



김 승 우

2001년 금오공과대학교
전자공학과 학사 졸업.
2003년 부산대학교 전자공학과
석사 졸업.
2006년 부산대학교 전자공학과
박사 과정.

2003년~현재 국방기술품질원 합정센터.
<주관심분야 : 사운드 압축 및 복원, 레이더 신호
처리, DSP 설계>



조 흥 기

1985년 숭실대학교 전기공학과
학사 졸업.
1998년 숭실대학교 전기공학과
석사 졸업.
2003년 숭실대학교 전기공학과
박사 졸업.

1990년~현재 국방기술품질원 합정센터.
<주관심분야 : 통신, 영상신호처리, 레이더 추적
필터 설계>