

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2023.23.2.79
JIIBC 2023-2-11

대역통과 필터를 이용한 S-Band 레이더 간의 간섭 회피방안 연구

A Study on Interference Mitigation Method between S-Band Radars using Band Pass Filter

박성준*, 김재연*, 장대순**

Seongjoon Pak*, Jaeyeon Kim*, Tae-Soon Chang**

요약 본 논문에서는 S-Band PSR(Primary surveillance radar) 레이더들이 가까운 거리에 인접하여 운영하는 경우에 상호 간의 주파수 간섭을 최소화함으로써 정상적으로 운영하기 위한 방안을 연구하였다. PSR 레이더 간의 전파 간섭이 발생되었을 때의 레이더 수신기에서 나타나는 현상을 분석하고, 이에 대한 대응으로 적절한 S-Band 대역통과필터를 선정하여 활용하였다. 필터 적용 전후의 레이더 RF 수신 특성을 비교 분석하여, 대역 통과 필터의 간섭전파의 억제 성능을 확인하였다. 레이더 수신기에 대역통과 필터 추가 설치 시 6.4~7.7 dB의 통과대역 감쇠가 발생하는데 이로 인한 레이더 탐지 성능 저하가 발생하는지 여부는 PSR 탐지율을 비교 분석함으로써 본 연구의 유용성을 검증하였다.

Abstract To make normal operation of S-Band PSR(Primary Surveillance Radar) which are in operation near distance, Minimizing the mutual frequency interference was studied in this paper. First, the phenomenon of radar receiver was analyzed when the interference between PSR was occurred. And next, the proper S-Band Bandpass filter(BPF) was chosen to deal with the interference. And inhibition performance of BPF was verified by comparative analysis of Radar's RF reception characteristic before and after of BPF application. There is 6.4~7.7 dB passband attenuation when BPF was applied at Radar receiver. So the PSR probability of detection were compared and analyzed to check the radar detection performance was deteriorated or not, And this result proved the usefulness of this study.

Key Words : S-Band Radar, PSR, Probability of detection, Band pass filter

1. 서 론

국내에서 S-Band 주파수 중 2.7~2.9 GHz 대역은 주로 20 kW 피크 출력을 가진 공항감시레이더(PSR, Primary surveillance radar)와 750 kW 피크 출력을

가진 기상레이더에 의해서 사용되고 있다.^[1]

국내의 항공교통량 증가 및 항공분야 시설 개선 사업의 진행에 따라서 운영 되는 레이더 수는 증가하고 있으며, 레이더 수신기 설계 방식에 따라서 레이더 간 운영 주파수가 다르더라도 상호 간에 영향을 주고 받을 수 있

*정회원, 인천국제공항공사

**정회원, 서일대학교 정보통신공학과

접수일자 2023년 1월 25일, 수정완료 2023년 3월 13일

계재확정일자 2023년 4월 7일

Received: 25 January, 2023 / Revised: 13 March, 2023 /

Accepted: 7 April, 2023

**Corresponding Author: jds6205@hanmail.net

Dept. of Information and Communication Engineering, Seoul University, Korea

기 때문에 레이더 간 간섭 회피 기술은 레이더 시설 운영상의 주요 이슈사항이 되었다. 레이더 간의 간섭 현상을 회피하기 위한 가장 좋은 방법은 각 레이더의 운영 주파수와 사이트 설치 위치를 최대한 이격하는 것인데, 레이더 운영 주파수의 고갈 및 레이더 설치 부지의 제한 때문에 간섭발생 가능성만으로 주파수 및 부지를 결정하기 어려운 상황이 되었다.

레이더 간 신호간섭에 관련해서 밀리미터파 대역의 차량용 레이더 간의 간섭 극복에 관련해서는 활발하게 연구되고^{[2]-[6]} 있지만, S-Band 레이더 간의 간섭의 해결방안에 대해서는 크게 참조할 만한 사례가 없으며, 레이더 제작사도 본 분야에 크게 관심을 기울이지 않고 있어서, 레이더 운영기관에서 레이더 간 간섭발생 시 스스로 해결방안을 찾아야 하는 상황이다. 인천공항에 위치한 신블레이더A(2000년 설치)와 신블레이더B(2017년 설치)는 167 m 이격된 상태로 설치되어 레이더 간의 간섭을 전자적으로 극복해야 하는 상황이었다.

본 논문에서는 레이더 간 간섭을 해결하기 위해서 레이더에 이중아이리스(double irises) 방식의 대역통과필터를 선정하여 설치하였고, 설치 전후의 슈퍼헤테로다인 수신기의 성능을 비교 분석하였다. 대역통과필터는 6.4~7.7 dB의 대역통과 감쇠값을 갖게 되는데, 추가 수신기 감쇠발생으로 레이더 탐지 성능 저하가 발생할 수 있기 때문에 본 논문에서는 최적의 대역통과 필터 설치 위치 연구 및 레이더 탐지 파라미터 연구를 통하여 레이더 탐지 성능을 유지하면서 레이더간의 간섭을 극복하는 방안을 연구하였다.

필터 설치 전후의 간섭 피해 레이더의 탐지 성능을 장시간 비교 분석함으로써, 대역통과 필터의 추가설치가 전파 간섭을 극복하는데 도움을 주었음을 실증적으로 확인하였다.

II. S-Band 레이더 간 전파간섭

1. 전파혼신에 관련한 법조항

전파법 제29조(혼신 등의 방지)에 의하면 전파자원은 혼신/간섭등을 일으켜 타인의 전파이용을 방해하지 않도록 규정되어 있다. 이때 무선국의 설치일의 전후는 따지지 않는다. 따라서 운영한지 오래된 레이더 시설이라도 다른 시설에 영향을 주는 것이 확인이 되면, 전파 혼신을 제거할 의무가 부여된다. 국내에서 레이더 운영 기관은 주로 기상청, 공항, 해양수산부, 육해공군 등이다. 피해

레이더 운영사에서는 전파법 29조에 따라서 가해레이더에 대한 시정조치를 요구하게 되는데, 투자비용 및 효과를 고려하면 피해레이더의 수신측에 대역통과 필터를 설치하는게 바람직한데, 피해레이더 측 입장에서는 가해레이더의 시스템수정이 바람직하다고 주장하기 마련이다. 대출력 송신측 필터의 설치는 비용 대비 효과 측면에서 경제적인 성능을 내기 어렵다. 본 논문에서는 피해레이더의 대역통과필터 설치 사례를 분석 보고함으로써, 레이더 간 전파 혼신 발생시 경제적이면서 효과적인 해결방안을 모색하고자 하였다.

2. 레이더간섭에 관한 ITU-R 권고

ITU-R(International Telecommunication Union)의 권고에 따르면 레이더 간의 간섭을 회피하기 위한 간섭신호의 크기를 레이더 수신기의 노이즈 레벨 대비 6 dB 정도^[7]로 규정하고 있다. 하지만, 신블A와 신블B의 이격 거리 및 출력, 수신감도를 고려하면 6 dB의 간섭신호 레벨유지는 불가능하다.

인천공항에 167 m 간격으로 설치된 전파간섭 가해레이더와 피해 레이더의 대략적인 규격은 다음과 같다.

표 1. 전파간섭 가해 레이더 및 피해 레이더의 기술규격
Table 1. Technical specification of Aggressor radar and Victim radar

	신블레이더A (aggressor radar)	신블레이더B (Victim radar)
주파수	F1:272x, F2:281x MHz	F1:287x, F2:279x MHz
출력	21 kW(72 dBm)	21 kW(72 dBm)
수신감도	-108 dBm	-108 dBm
출력펄스	1 usec, 73 usec	1 usec, 94 usec
주파수대역폭	5 MHz	5 MHz
안테나높이	51 m (MSL)	51 m (MSL)
안테나이득	34 dBi	34 dBi
설치	2000년	2017년

3. 인천공항에서 레이더 간 간섭상황

두 레이더는 서로 다른 주파수 대역을 할당받은 채로 운영되고 있으나, 나머지 기술 규격은 대부분 비슷하다. 레이더 수신기에 입력되는 상대방 레이더의 전파의 수신 강도를 식 (1)의 Friis 방정식으로 계산하면, 6 dB의 선로손실을 가정해도 안테나 방향에 따라서 48 dBm에서 14 dBm 수준이 된다. 레이더의 수신감도 -108 dBm을 고려하면, 레이더 상호간 영향이 없으려면, 이론상 156 dB 수준의 RF 격리가 필요하다. 156 dB의 RF 격리도는

현재 가해레이더와 피해레이더의 주파수차이 (20~30 MHz)로는 유지가 어렵다.

$$P_r = P_t + D_t + D_r + 20\log_{10} \frac{\lambda}{4\pi d} \quad (1)$$

전파간섭의 피해레이더에서 간섭전파의 수신여부는 PPI(Pulse position indicator) 화면의 수신비디오를 확인해보면 쉽게 알 수 있다. 간섭전파는 레이더 안테나 방향과 무관하게 수신되며, 측정 섹터에서 거리에 무관하게 무작위로 표시되는 특성이 있다. 안테나 방향에 무관하게 표시되는 특성은 매우 강한 신호는 안테나 지향 방향각에 상관없이 안테나의 측대엽 수신특성에 따라 RF 신호가 입력되기 때문이고, 거리에 무작위성으로 표현되는 특성은 피해레이더의 펄스 송신 주기와 비동기화된 간섭신호가 피해 레이더의 수신단에 입력되기 때문에 발생한다.

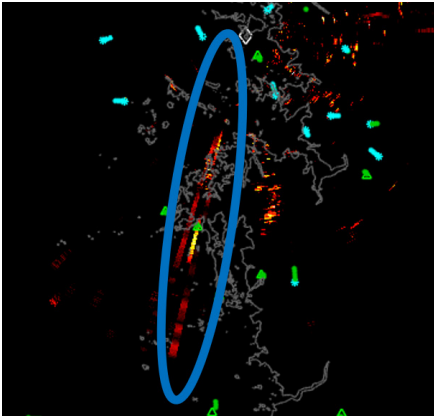


그림 1. 레이더 간섭신호의 입력(신불레이더B PPI화면)
 Fig. 1. Interference echo (ShinbulB radar PPI)

레이더의 PPI 화면에 간섭전파가 입력되면, 레이더 탐지상 몇 가지 문제가 발생할 수 있다. 기상레이더의 경우 레이더 반사 강도가 강우량으로 1대1 변환되어야 하는데 외부간섭전파가 입력되면 실제 강우인지 간섭 신호인지 레이더 수신부에서 판단할 수 없기 때문에 잘못된 구름 정보가 최종 탐지화면에 표출될 수 밖에 없다. 공항감시 레이더의 경우에는 고정물체에 대한 탐지를 억제하고 도플러 주파수 변위가 발생하는 이동물체를 중심으로 탐지하게 되는데, 외부 간섭신호가 송신주파수 대비 차이가 있으면 도플러 변위가 있는 것으로 계산되기 때문에 간섭신호가 쉽게 이동물체로 인식되어서 펄스타깃으로 탐

지될 수 있다. 경우에 따라서는 간섭신호가 미세한 항공기의 반사신호를 포화시켜서 탐지되어야 할 항공기에 대한 레이더 탐지가 불가능하도록 만들 수 있다. 레이더 신호처리과정에서 수신된 에코들을 플롯(타깃 판단계)으로 만들기 위해서 여러 가지 평가과정을 수행하게 되는데 과도한 에코생성은 신호처리장치 메모리에 대한 포화를 일으켜서 탐지소프트웨어의 논리적 오류상태를 만들 가능성이 있다.

4. 가해레이더와 피해레이더

표 1에 전파간섭의 피해 레이더와 가해 레이더의 대략적인 시스템 규격을 기술하였다. 특이하게도 인천공항에서는 전파간섭을 인접한 레이더 상호 간에 받는 것이 아니라 신불레이더A에서 신불레이더B로 단방향으로 간섭이 나타나고 있었다. 레이더 간섭이 단방향으로 나타나는 이유는 레이더수신기의 FDR(Frequency Dependant Rejection) 규격 차이와 STALO(Stable local oscillator) 주파수 및 수신신호의 복조과정 차이에서 비롯된다

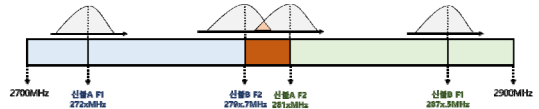


그림 2. 가해레이더와 피해레이더의 운영주파수 차이
 Fig. 2. Frequency difference between aggressor radar and victim radar

신불레이더B가 비교적 최근에 설치된 레이더인데 레이더 수신기의 대역폭이 신불레이더A보다 다소 넓다고 유추할 수 있는 부분이다. 대부분의 PSR 레이더는 탐지 신뢰도를 높이기 위해 2개 이상의 주파수를 사용하는데 2개의 주파수를 F1, F2라고 부른다. F1, F2 주파수는 각각 OBW(Occupied bandwidth)가 5 MHz 이내로 제한되며, 레이더 설정에 따라서 Long Pulse와 Short Pulse에 F1, F2를 대응시켜서 사용한다. Short Pulse는 30 NM이내의 근거리 탐지에 주로 사용되며 Long Pulse는 30 NM이상의 원거리 탐지에 사용된다.

그림 3에서는 레이더 수신단에서 항공기 동체에서 반사된 에코신호를 복조함에 있어서 레이더 송신주파수 F1, F2에 관계 없이 단일 대역으로 복조하는 방식과 F1, F2에 따라 다른 베이스밴드 대역으로 복조하는 방식의 차이점에 대해서 설명하고 있다. 신불B는 이중대역 베이스밴드 변조 방식을 사용하고 있는데, 변조 방식의 특성상 인접대역 간섭전파 입력 가능성이 다소 높은 편이다.

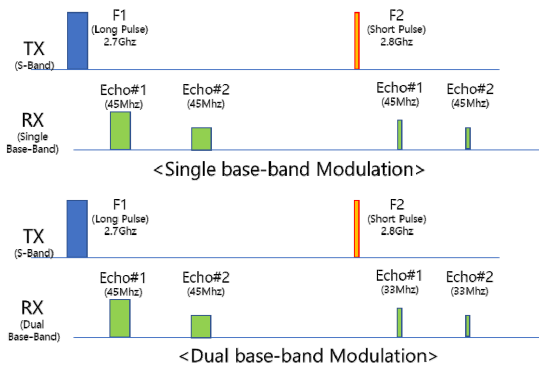


그림 3. 단일대역 vs 이중대역 베이스밴드 변조방식(가로-time)
Fig. 3. Single vs Dual base-band modulation

5. 간섭회피방안

본 논문에서는 신블레이더A에서는 레이더간섭현상이 없다는 점에 착안해서 신블레이더B 수신단에 대역통과 필터를 추가해서 간섭현상을 최소화 하는 방안에 대해서 연구하였다. 대역통과 필터의 추가에 따른 이슈 사항은 레이더 수신회로 중 대역통과 필터의 최적 설치 위치의 결정, 대역통과 필터의 규격 검토이다. 신뢰도 측면에서는 대역통과 필터의 설치 후 레이더 탐지성능이 유지되는지에 대한 확인 및 레이더 운영의 안정성에 영향을 끼치는지에 대한 검증 작업이다. 신블레이더B에서의 간섭으로 인한 피해사항은 탐지성능의 저하가 아니라 레이더 플롯 개수 과다로 인한 레이더 프로세서 알람 발생이기 때문에 신블레이더A와 신블레이더B가 동시에 운영하는 상황에서 신블레이더B에서 레이더 처리 장치 알람이 발생하지 않도록 하는 수준의 간섭 회피 방안을 연구하였다.

III. 이중 대역통과 필터의 선정 및 활용

이중 대역 통과필터는 대역통과 필터 2개를 병렬로 연결함으로써 제작되었다. 그림 4에서 이중대역통과필터의 실물사진을 확인할 수 있으며, 그림 5에서는 필터의 S₂₁ 파라미터 측정결과를 볼 수 있다. 대역통과필터의 주파수 대역폭은 9.7 MHz (3 dB)가 되도록 설계되었는데 S-Band에서 1 MHz대의 대역통과필터를 설계하는 것은 필터의 선택도가 너무 높이는 문제(High Q)가 발생하기 때문에, 신블A와 신블B의 인접 주파수 차이인 17 MHz를 구분할 수 있는 정도에서 선정되었다.

표 2. 이중 대역통과 필터의 규격

Table 2. The specification of dual band-pass filter

	규격
통과대역 감쇠	6.4~7.7 dB
STOP대역 감쇠	50 dB 이상
주파수대역폭(3 dB)	9.7 MHz
최고통과전력	50 dBm

피해레이더에서 표 2와 같이 설계된 대역통과필터의 설치 위치는 레이더 수신기의 안테나 다음 LNA(Low noise amplifier)전단으로 하였다. 그림 6에서 레이더수신기에서 이중대역필터의 설치 위치를 확인할 수 있다. 대역통과 필터의 통과대역 감쇠를 보상하려면 LNA 뒷단에 설치해야 하겠지만, 레이더 LNA의 비선형 증폭 특성 때문에 LNA 전단에 설치되어야 가해레이더 전파의 역제가 가능했다. 레이더에서 7.7 dB의 추가 감쇠는 레이더 성능에 큰 영향을 끼칠 수밖에 없는데 본 대역통과필터는 레이더에서 근거리 영역 탐지를 담당하는 하이빔(High-beam) 채널에만 적용되어서 레이더 성능에 큰 영향을 주지 않을 수 있었다. 40 NM(해리) 이상의 거리에서 타깃 탐지를 담당하는 로우빔(Low-beam) 채널에 대역통과 필터 적용 시에는 당연히 상당한 탐지 성능 저하가 수반된다.

대부분의 상용 레이더는 송신기 및 수신기의 상태를 자체적으로 감시하기 위하여 RF 및 IF 대역에 테스트 신호를 운영 시스템에 삽입하고 신호 레벨에 대한 감시를 통하여 레이더 성능의 신뢰도에 대해서 검증하면서 운영되고 있다.



그림 4. 이중대역통과필터의 사진

Fig. 4. Photograph of Dual band-pass filter

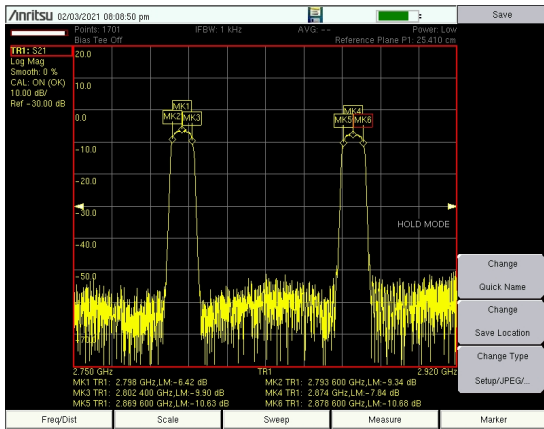


그림 5. 이중대역통과필터의 S21 파라미터 측정결과
 Fig. 5. measurement result of S21 parameter at Dual band-pass filter

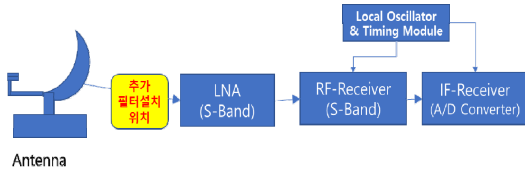


그림 6. 레이더수신기에서 이중대역필터의 설치 위치
 Fig. 6. The installation of dual-band pass filter

따라서 대역통과 필터를 추가했을 때 레이더의 셀프테스트기능에 알람이 발생되면, 레이더가 컨트롤 측면에서 불안정상태에 빠질 수도 있는데, 신블레이더B에서의 RF 수신회로 상 6~7 dB의 추가 감쇠는 셀프테스트와 관련하여 운영상 문제가 발생하지 않았다.

IV. 결과 및 분석

이중대역통과 필터의 설치를 통한 레이더 간 간섭을 억제하기 위한 성능은 두 가지 측면에서 분석되었다. 첫 번째는 추가된 필터의 기능적인 측면으로 필터 설치 후 간섭신호의 억제성능에 대한 분석이다. 피해레이더의 PPI(Plan position indicator)화면에서 가해레이더의 간섭신호가 수신되는지 여부를 확인하고, 레이더 수신기의 주파수 특성을 측정함으로써 필터의 설치의 효과를 측정하였다.

레이더의 민감도를 측정하기 위하여 레이더 PPI 화면의 에코표현 여부를 기준으로 하였으며, 표 3에 의하여, 이중대역통과 필터를 적용함에 따라, 가해레이더에 대한

민감도를 50 dB 가량 높일 수 있었지만, 가해레이더 방사 전파에 대한 완벽한 격리는 불가능했다.

두 번째는 필터 추가로 인한 레이더 성능에 대한 검증이다. 공항감시레이더는 항공기 탐지를 목적으로 하기 때문에 필터 설치 전후의 레이더 탐지율을 비교 분석함으로써 레이더 운영에 필터의 추가가 영향을 주는지 여부를 검사하였다.

레이더 탐지 성능은 스캔당 펄스타깃 개수(작을수록 좋음)와 탐지율로 표현이 가능하다. 표 4는 이중대역통과 필터를 적용함으로써 근거리 탐지율이 8% 가량 하락하였음을 보여준다. 하지만 필터의 설치에 따라 간섭신호의 입력 즉 클러터 신호의 유입이 감소함으로써, 레이더 신호 감도를 향상시키고, 레이더 맵을 이에 맞게 변경함으로써 이중대역통과 필터 사용 이전의 성능을 이끌어 낼 수 있었다.

피해레이더 PPI 화면에서 가해레이더의 간섭 신호 수신 현황을 확인해 보면, 대역통과 필터 설치 전 360도 전 방향에서 수신되던 간섭신호가 설치 후 단방향의 간헐적인 수신 수준으로 감소되었다. 하지만, 피해레이더의 수신기에서 가해레이더의 방사전파를 100% 차단하는 것은 50 dB의 대역의 감쇠로 불가능했으며 이는 Friis 방정식을 이용해서 최대 156 dB의 RF 격리가 필요하다는 이론적 계산과 합치되는 사실이다.

하지만 필터의 삽입손실을 6.4~7.7 dB로 유지하고 대역의 감쇠를 50 dB로 설계된 필터를 사용함으로써, 가해레이더에서 발생하던 레이더 프로세서의 “타깃 개수 포화 알람-Plot saturation alarm”이 발생하지 않았으며, 탐지 성능저하는 거의 없도록 레이더를 운영할 수 있었다. 가해레이더의 PPI 화면상 간섭신호도 매우 적은 수준에서 운영되어 결과적으로 레이더 간 전파 간섭을 해결할 수 있었다.

표 3. BPF 적용 전후의 LNA(Low noise amplifier) 및 IF(Intermediate Frequency) 수신기의 민감도
 Table 3. Minimum distinguishable signal of LNA, IF receiver comparison between with BPF and without BPF

	Without BPF	With BPF
가해레이더 F1	-50 dBm	-0.5 dBm
피해레이더 F2	-94 dBm	-88 dBm
가해레이더 F2	-65 dBm	-15 dBm
피해레이더 F1	-94 dBm	-87 dBm

표 4. BPF의 적용 전후의 레이더탐지율(24시간)
Table 4. PSR Pd (the probability of detection) comparison between with BPF and without BPF for 24 hour

	Without BPF	With BPF	With BPF (optimized again)
전체 PSR 탐지율 스캔당 펄스타킷 (0~80 NM)	94% 0.13개	89% 0.45개	94% 0.24개
근거리 PSR 탐지율 스캔당 펄스타킷 (0~40 NM)	93% 0.07개	85% 0.14개	92% 0.10개

V. 결 론

본 연구에서는 인접하여 설치된 두 S-Band 레이더 간 전파간섭이 발생하는 상황에서 레이더 RF 수신기의 변조특성을 분석하여, 대역통과필터를 선정하여 적용함으로써 레이더 간 전파간섭을 극복하고자 하였다.

전파간섭상황에서 가해레이더와 피해레이더의 변조방식, 주파수 차이의 대한 분석을 통하여 간섭상황 해소를 위한 이중대역통과필터를 선정하였다.

추가 설치될 필터는 통과대역 감쇠값이 6.4~7.7 dB, 대역외 감쇠값은 50 dB로 선정되었으며 LNA 전단에 위치시켰다. 이중대역통과필터의 설치 효과 및 레이더 탐지 성능에 대한 조사를 통하여 설계된 필터의 성능상 유용성을 검증하였다.

본 연구는 피해레이더의 수신기 측에 이중대역통과필터를 설치함으로써 레이더 간 간섭을 극복한 실제 레이더 운영 사례로서, 전파간섭 발생 시 시도할만한 매우 경제적인 대안을 제시하였다.

References

- [1] Jongbin Moon and Chansu Ryu, "WiFi(RLAN) and a C-Band Weather Radar Interference", J. Chosun Natural Sci.Vol. 10, No.4, pp. 216-224, Dec. 2017. DOI: <https://doi.org/10.13160/ricns.2017.10.4.216>
- [2] Graham M. Brooker, "Mutual Interference of Millimeter-Wave Radar Systems", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 49, No. 1, pp. 170-181, Feb. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1109/TEM.2006.890223>
- [3] Young-Joo Kong, Sung-Hwan Sohn, Jun-Seok Hyun, Dong-Gil Yoo, and In-Cheol Cho, "Design Plan of Signal Processing Structure for Real-Time Application

in Drone Detection Radar", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (JIIBC), Vol. 22, No. 3, pp. 31-36, Jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.3.31>

- [4] Chae-Hyun Jung, Seong-Hyun Ryu, Hang-Soo Lee, Jae-Sub Han, Young-Wan Kim, and Yeon-Duk Kang, "A Study on the effect of electromagnetic interference in adjacent antenna apertures of multi-function radar for Integrated MAST", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (JIIBC), Vol. 20, No. 2, pp. 117-122, Apr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.2.117>
- [5] Jeil Jo and Jae Min Ahn, "Jamming Selection Method against Unknown Radar Signals based on Deep Learning using Co-occurrence Matrix", Journal of KIIT, Vol. 19, No. 10, pp. 105-113, Oct. 2021. DOI: <https://doi.org/10.14801/jkiit.2021.19.10.105>
- [6] Jung-Hyeon Ha, Eun-Young Shin, Min-Woo Kang, Chil-Hyeon Gwon, Byung-Hoon Park, Jong-Sik Lim, Heung-Taek Choi, and Dal Ahn, "A Design of Tunable Band Pass Filter using Varactor Diode", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society(JKAIS), Vol. 10, No. 6, pp. 1196-1200, Jun. 2009. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.6.1196>
- [7] Recommendations ITU-R M.1464

저 자 소 개

박 성 준(정회원)



- 1998년 서울시립대 전자공학부(공학사)
- 2004 한국정보통신대학교대학원 (現KAIST) (공학석사)
- 2007~현재 인천국제공항공사 근무
- 주관심분야 : 레이더 및 신호처리 등

김 재 연(정회원)



- 2016년 2월 건국대학교 전자공학부 (공학사)
- 2020년 8월 건국대학교 전자정보통신 공학과 (공학석사)
- 주관심분야 : 안테나 및 레이더 등

장 대 순(정회원)



- 2001년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학박사)

- 2009년 2월 ~ 2011년 11월 : (주) 유니스트립 근무
- 2012년 3월 ~ 현재 : 서일대학교 정보통신공학과 조교수
- 주 관심분야 : 안테나 설계, UWB system, 무선전력전송 등