

---

# 해상 안전을 위한 X밴드 능동형 레이더 반사기에 관한 연구

정 종 혁\*, 김 남 호\*\*, 양 규 식\*\*\*

A Study on the X-Band Active Radar Reflector for safety at the Sea

Chong-Hyeog Cheong, Nam-Ho Kim, Gyu-Sik Yang

## 요 약

여러 가지 형태의 수동 레이더 반사기가 사용되고 있지만, 해양의 악조건 즉, 파도의 높이나 해풍의 속도에 견디내기 위한 크기는 한정되어질 수밖에 없으므로 유효 반사 단면적은 제한되어질 수밖에 없다. 따라서, 저전력, 저가격으로 응답의 신뢰성을 높일 수 있는 능동장치의 필요성을 검토하게 되었다.

능동형 레이더 반사기는 마이크로웨이브 증폭기와 분리된 송수신 안테나로 구성되고, 수신된 레이더 신호를 자동적으로 증폭해서 재전송한다.

해상의 악조건에서도 소형선박이나 항해표지에 대한 레이더 응답의 명확성을 개선시키므로, 해상항해에서의 안전성을 직접적으로 증가시킬 것이다.

## Abstract

There are several improved designs of passive radar reflector available, but their performance is ultimately limited by the cross-section area and this is governed by the size of the buoy and the acceptable windage. Therefore it is needed to investigate the low-cost, low power, a active device that can be improve the reliability of response.

Active Radar Reflector(ARR) consists of a microwave amplifier with separate receive and transmit antennas. It is a device which automatically transmits a signal in response to an interrogating signal received.

---

\* 경운대학교 정보통신공학과

\*\* 부경대학교 제어계측공학과

\*\*\* 한국해양대학교 전자통신공학과

접수일자 : 1999년 8월 16일

It was intended to improve the consistency of the radar return from the buoy and the small craft, particularly in poor sea conditions. And it directly improves safety of navigation at sea.

## 1. 서 론

수동 레이더 반사기가 항해표지에 설치된 후, 소형선박이나 어장 등 위험물체의 식별이 개선되어 근거리 항해에서 레이더 표적의 식별에 다소나마 도움을 주고 있다.

여러 가지 형태의 수동 레이더 반사기(코너 리플렉터)가 사용되고 있지만, 우천시 레이더 시계를 확보하기 위하여 레이더의 신호처리장치인 강우 클러터 제거기(Anti clutter rain)를 사용하게 되면, 코너 리플렉터가 부착된 기존의 항해표지는 레이더 표시기 상에서 극단적으로 작은 점으로 보여지게 되며, 다른 클러터 속에 파묻혀서 레이더 시계에서 사라지게 된다<sup>[1]</sup>.

이러한 문제를 해결하기 위해서 코너 리플렉터를 더욱 더 크게 제작하면 되지 않겠는가 생각할 수도 있겠다. 하지만, 반사면적을 증가시키기 위해 코너 리플렉터를 크게 만든다면, 그 무게를 지탱하기 위한 부표 또한 크게 제작해야 한다. 그러나, 해양의 악조건 즉, 파도의 높이나 해풍의 속도에 견디내기 위한 코너 리플렉터의 크기는 한정되어 질 수 밖에 없다는 결론에 도달하게 된다.

그리고 다른 방안으로서 레이더 비이컨(Radar Beacon)을 설치한다면, 연안 항로를 항해하는 선박의 레이더 표시기에는 너무나 많은 레이더 비이컨의 응답신호(모르스부호 형태의 자기식별코드 발생)로 인해 항해에 도움을 주기보다는, 항해 종사자들을 더욱 혼란스럽게 만들 것이다. 또한 현재 레이더 비이컨의 가격이 너무 비싸기 때문에, 이것은 적절하지 못한 방안이라 하겠다.

아무튼, 현 시점에서 레이더의 식별이 아주 명확하게 되도록, 항해에 도움을 주는 항해표지 설비를 개선할 필요가 있다는 것이 많은 항해 종사자들의 요구이다. 따라서, 문제의 해결 방안은 보다 경제적이며 뛰어난 기능을 가진 능동형 레이더 반사기를 사용하는 것이다.

능동형 레이더 반사기는 수신된 레이더 신호를

증폭해서 재전송하면, 증폭기의 이득에 따라 레이더 표시기 상에서 20m' 이상의 증가적인 레이더 유효 반사면적의 표적으로 보여지게 된다.

이것은 표적의 유효반사면적을 증가시키고 동시에 응답의 명확성을 개선시킬 수 있으며, 또한 소형으로 제작이 가능하므로, 소형선박이나 기존의 항해표지에 같이 부착하여 사용한다면, 해상에서의 안전사고 예방에 많은 도움을 주게 될 것이다.

## 2. 레이더 반사기

### 2.1 수동 레이더 반사기

빛이 물체에 닿으면 그 물체의 성질에 의해서 반사 또는 흡수되거나, 혹은 유리와 같이 투과하기도 한다. 전파도 이와 동일하게 물체의 재질에 따라 흡수되거나 또는 반사된다.

전기의 양도체인 금속이나 해수는 목재, 돌, 흙, 식물 등에 비하여 반사능성이 좋다. 전파의 파장은 빛에 비하여 매우 길기 때문에, 표면이 상당히 거친 재질이라도 요철의 정도가 파장의 1/10보다 작은 경우에는 반사가 생긴다. 즉 전파가 반사면에 직각으로 입사할 때 가장 큰 반사가 발생하고, 입사각도가 조금 변하면 대부분의 에너지는 다른 방향으로 반사가 된다.

금속 도체에 전파가 부딪히면 반사파는 사방으로 확산한다. 원추형 부표와 같은 것으로서 입사된 전파가 상향으로 반사되어 레이더로 다시 수신되지 않는 수가 있다.

따라서 항상 강한 반사파를 얻을 수 있도록 그림 2-1과 같이 삼각형의 금속판을 서로 직각으로 조합하면 어느 방향에서 전파가 입사하더라도, 반사파는 반드시 원래의 방향으로 되돌아간다<sup>[4]</sup>.

이와 같은 것을 여러 개 조합하여 만든 것이 코너 리플렉터라 불리며, 원추형 부표의 꼭대기에 부착하여 레이더 탐지성능을 향상시키고 있다.

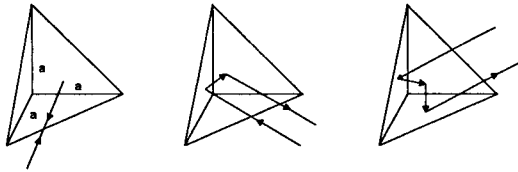


그림 2-1. 삼면체 구조의 전파 반사 형태  
Fig. 2-1. Diffused reflection of the triangular trihedral structure.

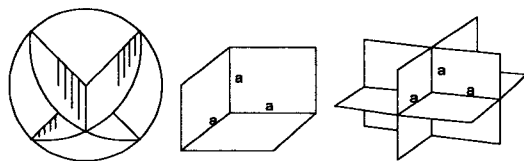
그림 2-1의 삼면체 구조의 코너 리플렉터의 최대 유효 반사면적은

$$\sigma_{MAX} \approx \frac{4\pi a^4}{3\lambda^2} \dots\dots\dots (2.1)$$

이고<sup>[5]</sup>, 각도 범위가 좌우 대칭축에 20° 정도 벗어나면 3dB정도 낮아진다. 그림 2-2(b)의 사면체는 각도 범위가 좁지만, 최대 유효 반사면적은

$$\sigma_{MAX} \approx \frac{12\pi a^4}{\lambda^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

이고<sup>[5]</sup>, 완전한 구 형태의 각도범위를 가지기 위해서는 최소한 8개의 다면체 구조를 가져야 한다. 즉, 그림 2-2(c)와 같은 형태를 가져야하며, 이와 같은 구조를 retroreflector라 부른다. 이러한 구조는 거의 완전하게 레이더 신호를 반사시킨다.



(a)Ball type (b)Square trihedral (c)Retroreflector

그림 2-2. 여러 종류의 코너 리플렉터

Fig. 2-2. Various type of corner reflector.

일반적으로 현재 사용되는 코너 리플렉터의 유효 반사면적은 탐지거리 2-3Nm에서 대략 10m<sup>2</sup>로 한정되어져 있으며, 탐지거리와 유효 반사면적을 이보다 더 증가시키는 것은 곤란한 실정이다. 왜냐하면, 반사체의 크기를 키운다면 그 무게를 지탱하기 위한 부표의 크기도 당연히 크게 제작되어야 한다. 그렇지만 해양의 악조건, 즉 해풍이나 파

도에 견디내기 위한 코너 리플렉터의 크기는 한정될 수밖에 없다. 또한 장기간 해수 노출시 부식문제와 유지보수가 힘든 것이 단점이다<sup>[4]</sup>.

2.2 능동형 레이더 반사기

레이더 트랜스폰더는 레이더로부터 질문되어진 수신신호에 대한 응답신호를 자동으로 송신하는 장치로서 레이더 비이컨, SART(Search And Rescue Transponder) 등을 들 수 있겠다.

레이더 비이컨은 모스 부호 형태의 자기 식별 코드를 가지고, SART는 조난위치를 표시하기 위해 펄스열 코드를 발사하지만, 능동형 레이더 반사기의 응답은 어떠한 식별부호도 갖지 않고, 단지 수신된 레이더 신호를 증폭하는 기능을 가지므로, 수동반사기에서 반사되는 것처럼 동일하게 표시되지만 수동반사기의 응답보다는 더욱 뚜렷하다.

능동형 레이더 반사기의 사용목적은 항해 표지 설비의 레이더 신호에 대한 반사능력을 증가시키고, 소형 선박의 레이더 탐지를 개선시키며, 충돌에 대한 위험을 감소시키는데 있다.

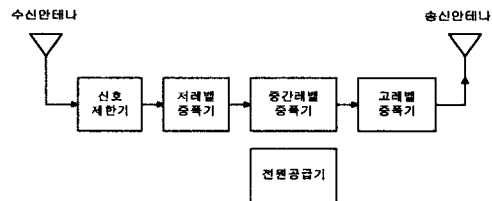


그림 2-3. 능동형 레이더 반사기 계통도  
Fig. 2-3. Block diagram of A.R.R.

능동형 레이더 반사기의 필수적인 구성 요소를 그림 2-3에 나타내었다. 수신안테나, 마이크로웨이브 전력 제한기, 저·중·고레벨 신호증폭기, 송신안테나와 전원공급기로 구성된다.

능동형 레이더 반사기로 들어오는 레이더 펄스는 증폭된 후, 파장이 변하거나 또는 어떤 현저한 지연도 없이 재전송된다. 따라서 이 장치는 표적의 크기를 키우는 것보다는 응답의 명확성을 개선시키는 효과가 있음을 알 수 있다<sup>[1]</sup>.

그리고, 수동반사기의 표시가 억압되는 극단적인

경우를 제외하고는 클러터 제거기에 의해 영향을 받지 않으며, 강우나 해면 클러터 속에서도 표적의 탐지성능을 개선시킨다.

본 논문에서 설계 제작하고자 하는 능동형 레이더 반사기의 설계 규격은 표 2.1과 같다.

표 2.1 능동형 레이더 반사기의 설계 규격  
Table 2.1 Design specification of the A.R.R.

항 목	설계 규격
주파수 범위	9,300~9,500[MHz]
송신 최대 출력	1[W]
사용 전원	11~30V 100mA
동작 온도 범위	-20~60℃
등가 레이더 반사면적	최소 20m <sup>2</sup>
안테나 편향	수평
안테나 이득	5 dBi

2.3 레이더 방정식

레이더 방정식은 표적으로부터 반사된 전력파 거리와의 관계를 표시한 식으로서 레이더의 송신기, 수신기, 안테나, 표적의 상태 그리고 주위환경과 밀접한 관계를 가지고 있다.

레이더의 송신출력을  $P_T$ 라 할 때 등방형성(무지향성) 안테나를 사용하였다고 하면  $R$ 인 거리에서 단위 면적을 통과하는 전력밀도는 그림 2-4에서와 같이 전체 복사전력  $P_T$ 를  $4\pi R^2$ 으로 나눈 값이 된다. 즉, 등방형성 안테나의 전력밀도  $d_1$ 은 다음 식으로 쓸 수 있다<sup>[5],[6]</sup>.

$$d_1 = \frac{P_T}{4\pi R^2} \text{ [W/m}^2\text{]} \dots\dots\dots(2.3)$$

그러나 레이더 안테나는 지향성 안테나를 사용하여 표적방향으로 집중해서 복사하기 때문에 송신 안테나의 이득을  $G_T$ 라 하면, 거리  $R$ 인 지점의 전력밀도  $d_2$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$d_2 = \frac{P_T G_T}{4\pi R^2} \text{ [W/m}^2\text{]} \dots\dots\dots(2.4)$$

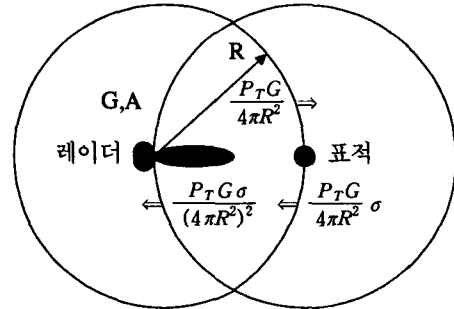


그림 2-4. 레이더 전력 밀도의 형태  
Fig. 2-4. Power densities in the radar scene.

이 전력은 모두 표적에서 반사되어 되돌아오지 않기 때문에, 레이더의 수신방향에 대한 표적의 유효 반사단면적을  $\sigma$  m<sup>2</sup>이라고 하면, 표적으로부터 반사된 전력( $P_{ref}$ )은  $\sigma d_2$ 가 되고, 이것이 레이더 안테나에 되돌아오게 되므로  $R$ 의 거리를 다시 통과하여 수신되는 전력밀도는 한번 더  $4\pi R^2$ 으로 나눈 값이 된다.

따라서, 레이더 수신안테나의 유효 개구면적을  $A_R$ 이라 하면, 레이더 안테나에서 수신되는 반사파의 전력  $P_R$ 은 다음과 같이 된다.

$$P_R = \frac{P_T G_T \sigma}{4\pi R^2} \cdot \frac{1}{4\pi R^2} \cdot A_R \dots\dots\dots(2.6)$$

$$= \frac{P_T G_T \sigma}{(4\pi R^2)^2} \cdot A_R$$

레이더에서는 수신과 송신안테나를 공용으로 사용하고 있기 때문에  $G_R = G_T = G$ ,  $A_R = A_T = A$ 이고, 레이더 안테나의 유효 개구면적  $A$ 와 안테나 이득  $G$ 와의 사이에는  $G = 4\pi A / \lambda^2$ 과 같은 관계가 있으므로, 식(2.6)은 다음과 같이 표시된다.

$$P_R = \frac{P_T \lambda^2 G^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \dots\dots\dots(2.7)$$

송신경로의 기계적인 손실과 급전 손실을 합한 것은 송신부 손실  $L_T$ 라 하고, 수신기에서 급전, 기계적 손실과 빔의 형태적 손실들은 데이터 처리시 발생하는 손실과 더해지게 되며 이것들을 모두 합한 것을 수신부 손실  $L_R$ 이라 한다.

이러한 손실들은 성능에 실질적인 영향을 주며

로, 송·수신기의 높이를 조절하여 급전손실을 최소화해야 한다. 자유공간에서 손실을 고려한 수동 반사기에 대한 2 경로 거리 방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

2 경로:

$$S_R = P_T + 2G + \sigma + 20 \log \lambda - 30 \log (4\pi) - 40 \log R - L_T - L_R \text{ [dBW]} \quad (2.8)$$

(=  $S_{R(1)} + \sigma$ )

1 경로:

$$S_{tgtFS} = P_T + G + G_{AR} + 20 \log \lambda - 20 \log (4\pi) - 20 \log R - L_T \text{ [dBW]} \quad (2.9)$$

식 (2.8)에서  $\sigma = 0 \text{ dBm}^2$ 으로 놓으면, 자유공간에서 1m<sup>2</sup>의 등가 레이더 반사 면적을 가진 표적의 에코전력  $S_{R(1)}$ 을 나타낸다.

자유공간 거리 방정식인 식 (2.8)과 식 (2.9)에 다중경로 손실  $M$ 과 기상변화 손실  $L_A$ 항을 고려하여 전체적인 굴절과 손실을 설명할 수 있다. 따라서, 식 (2.10)은 점 반사기로부터 레이더 수신기에 도달된 신호를 나타내고, 식 (2.11)는 레이더로부터 능동형 반사기에 도달된 신호이다.

$$S_R = S_{R(1)} + \sigma + 2M - 2L_A \text{ [dBW]} \quad (2.10)$$

$$S_{tgt} = S_{tgtFS} + M - L_A \text{ [dBW]} \quad (2.11)$$

유효 반사 단면적은 모든 레이더 파장의 함수로 되어 있다. 레이더 표적은 복잡한 표면을 갖고 있으므로 이 표적에서 반사되는 반사파는 서로 간섭이 일어나기 때문에 표면이 조금이라도 변화하면 유효 반사 단면적에 상당한 영향을 준다. 추가로 레이더의 표적간에 상대적 움직임이 있으면 유효 반사 단면적은 시간에 따라 변화하는 통계적인 함수로 된다<sup>[7]</sup>.

표적의 유효 반사 단면적은 특수한 모양을 제외하고 간단히 결정할 수 없으므로 레이더의 성능, 즉 최대 탐지거리를 평가할 때는 표적의 유효 반사 단면적의 평균값을 취하는 것이 보통이다.

그러나 구면 반사체나 코너 리플렉터와 같은 1

점 반사체의 유효 반사 단면적은 비교적 단순한 수식으로 구하여 진다.

레이더 방사파가 면적이  $A$ 인 반사체의 수직인 평면에 입사하여 대부분의 전력이 반사된다고 가정하면  $\sigma$ 는  $A$ 와 같게 될 것이다. 식 (2.7)로부터 이득  $G$ 는 면적  $A$ 와 연관되어

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \quad (2.12)$$

로 쓸 수 있고, 따라서 능동형 레이더 반사기에 요구되는 전체 이득은 다음 수식으로부터 계산되어 진다.

$$G_{req.} = \frac{4\pi \sigma}{\lambda^2} \quad (2.13)$$

여기서,  $G_{req.}$ 는 시스템에 요구되는 이득,  $\sigma$ 는 단위 면적당 요구되는 등가 레이더 유효 반사단면적,  $\lambda$ 는 동작시의 파장을 나타낸다.

X밴드 항해용 레이더 신호에 의해서 능동형 레이더 반사기가 동작하는 경우에, 20m<sup>2</sup>의 등가적인 레이더 유효 반사단면적을 가지기 위해서, 시스템에 요구되는 전체 이득은 54.5dB가 된다.

#### 2.4 응답 특성

능동형 레이더 반사기가 X밴드 선박용 레이더의 신호에 응답할 때 탐지거리 변화에 따른 응답 특성을 구하기 위하여, 능동형 레이더 반사기에서 증폭

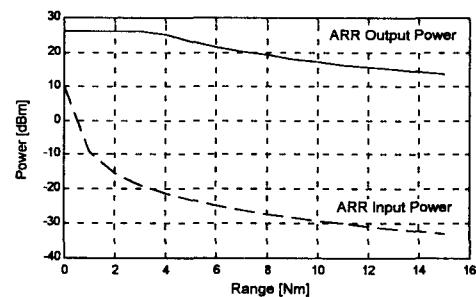


그림 2-5. 탐지거리에 대한 능동형 레이더 반사기의 입·출력 전력

Fig. 2-5. Active Radar Reflector input & output power vs. Range

기 이득은 46.5dB, 송수신 안테나 이득은 각각 5dB, 포화출력은 26dBm으로 설정하였다. 25kW의 출력과 29dB의 안테나 이득을 가지는 선박용 레이더에 대한 응답 특성을 그림 2-5, 6, 7에 나타내었다.

그림 2-5에 능동형 레이더 반사기에 도달하는 입력전력과 출력전력을 탐지거리에 대해 나타내었다. 그림 2-5, 2-6에서 Y축은 dBm 단위의 전력을 나타내고, X축은 해상 마일(Nm)을 나타낸다.

그림 2-6는 1m<sup>2</sup>(=0dBm)의 유효 반사면적을 가지는 점 반사기로부터 반사된 신호와 설계된 능동형 레이더 반사기의 출력이 레이더 수신기에 도달되는 신호를 각각 비교하였다.

그림 2-7은 탐지거리에 대한 능동형 레이더 반사기의 등가 레이더 반사면적을 나타낸다.

그림 2-5에서 대략 4Nm 정도의 거리에서 시스템의 입력신호가 -20dBm이하임을 알 수 있고, 또

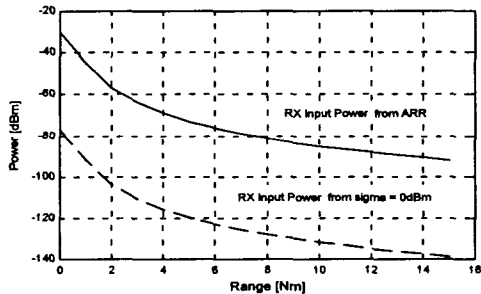


그림 2-6. 탐지거리에 대한 레이더 수신기에서의 입력 전력

Fig. 2-6. Input power at Radar Receiver vs. Range.

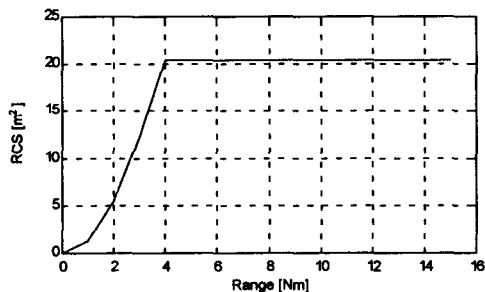


그림 2-7. 탐지거리에 대한 등가 레이더 반사면적. Fig. 2-7. Equivalent Radar Cross Section vs. Range.

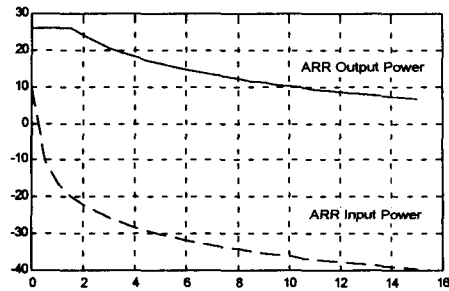


그림 2-8. 탐지거리에 대한 능동형 레이더 반사기의 입·출력 전력

Fig. 2-8. Active Radar Reflector input & output power vs. Range

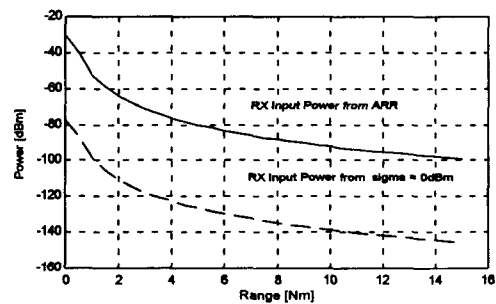


그림 2-9. 탐지거리에 대한 레이더 수신기에서의 입력 전력

Fig. 2-9. Input power at Radar Receiver vs. Range.

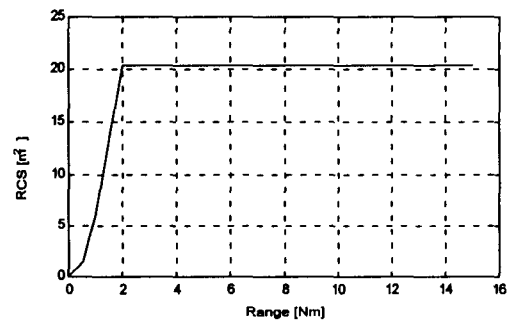


그림 2-10. 탐지거리에 대한 등가 레이더 반사면적 Fig. 2-10. Equivalent Radar Cross Section vs. Range

한 시스템은 입력 전력이 -20dBm이상일 때 출력 전력이 포화됨을 알 수 있다.

따라서 그림 2-7에서는 4Nm 이상의 거리에서 시스템에 입력되는 전력의 세기는 시스템이 정상적으로 동작할 수 있는 범위가 되므로 4Nm 이상의 거리에서 등가 레이더 반사면적이 20m<sup>2</sup> 이상을 유지함을 보인다.

그림 2-8, 9, 10은 5kW의 출력과 29dB의 안테나 이득을 가지는 선박레이더에 대한 능동형 레이더 반사기의 응답특성이다.

그림 2-8은 능동형 레이더 반사기에 도달하는 입력전력과 출력전력을 탐지거리에 대해 나타내었다. 그림 2-8, 2-9에서 Y축은 dBm 단위의 전력을 나타내고, X축은 해상 마일(Nm)을 나타낸다.

그림 2-9는 1m<sup>2</sup>(=0dBm)의 유효 반사면적을 가지는 점 반사기와 설계된 능동형 레이더 반사기의 출력이 레이더 수신기에 도달되는 입력신호를 각각 비교하였다.

그림 2-10에는 탐지거리에 대한 능동형 레이더 반사기의 등가 레이더 반사면적을 나타내었다.

그림 2-8은 레이더의 송신출력이 5kW일 때의 능동형 레이더 반사기의 응답특성을 나타내었고, 그림 2-5의 25KW의 레이더에 대한 응답과 비교하면, 레이더의 송신출력이 약하므로 대략 2Nm 정도의 지점에서 시스템의 입력신호가 -20dBm 이하임을 알 수 있다.

따라서 그림 2-8의 응답 특성에서 2Nm 이상의 거리에서 시스템에 입력되는 전력의 세기는 시스템이 정상적으로 동작할 수 있는 범위가 되므로, 그림 2-10에서 2Nm 이상의 거리에서 등가 레이더 반사면적이 20m<sup>2</sup> 이상을 유지함을 보인다.

### 3. 시스템 설계

수신과 송신 안테나는 수평방향에서 명목상 무지향성 편파의 적용 범위를 제공하도록 요구되어 지기 때문에, 선박의 기울기 등으로 인해 레이더와 능동형 레이더 반사기 사이에 19° 정도의 고도 차이를 허용하고, 수신과 재송신을 동시에 행하기 위하여, 수신과 송신 안테나 사이에 적절한 격리가 필수적이며, 그렇지 않으면 변동하는 귀환이 발생하여, 능동형 레이더 반사기가 무력하게되므로, 수

신과 송신 안테나를 분리해야만 한다. 따라서, 각각의 안테나 당 이득은 대략 5dB의 이득을 가진 도파관 슬롯 안테나를 사용하였다.

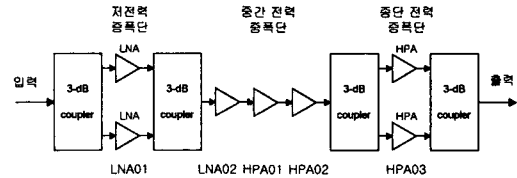


그림 3-1. 5단 증폭기의 구성도.

Fig. 3-1. Block diagram of the 5-stage Amp.

시스템의 등가 레이더 반사면적의 설계목표로 20m<sup>2</sup>을 설정하였으므로, 안테나 이득을 제외한 증폭기의 이득은 44.5dB를 상회하여야만 한다. 입력단 보호를 위한 다이오드 신호제한기의 삽입손실과 나머지 결합손실을 고려하여 46.5dB로 설계하였다.

그림 3-1과 같이 총 5단 증폭회로를 사용하였고, 초단의 저전력 증폭단과 중단 전력 증폭단은 3dB 결합기를 사용하여 평형 증폭기 구조로 구성하였다.

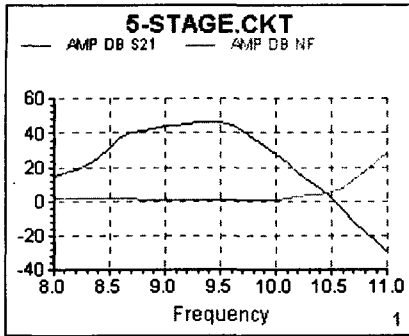
표 3.1에는 각 증폭단의 설계이득과 잡음지수를 나타내었다.

표 3.1 증폭기의 설계 파라미터.

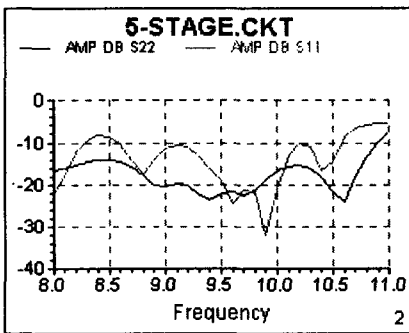
Table 3.1 Amplifier design parameter.

증폭단	1단	2단	3단	4단	5단
이득 [dB]	11.7	12.2	10.2	6	6.4
NF [dB]	1.01	1.03	2.5	3.5	3.5

그림 3-2에 각 단의 증폭기를 종속 연결한 전체 5단 증폭기의 이득과 잡음지수, 입출력반사손실을 시뮬레이션한 결과를 나타내었다. 그림 3-2(a)에서 전체이득은 46.5dB이고, 잡음지수는 1.03dB이다. 그림 3-2(b)에서 입력반사손실은 -15dB이고, 출력반사손실은 -20dB이하이다.



(a) 이득과 잡음지수



(b) 입출력 반사 손실

그림 3-2. 5단 증폭기의 시뮬레이션 결과.  
Fig. 3-2. Simulation result for 5-stage Amp.

#### 4. 제작 및 측정

제작된 증폭기에 사용한 기판은 FR4이고, 기판의 유전율 4.8, 기판의 높이는 0.7874[mm]이다. 기구물의 전면에는 RF 증폭기 회로를 제작했으며, 그림 4-1에 나타내었다. 기구물의 후면에는 전원회로를 제작했으며, 최적의 바이어스를 위해 각각의 게이트 전압을 조절 가능하도록 하였고, 직류전원의 RF 차폐를 위해 기구물 내벽에 관통 콘덴서를 부착하였다.

그림 4-2는 측정된 송수신 안테나의 입력임피던스이다.

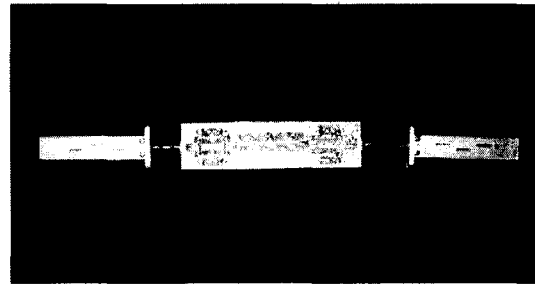
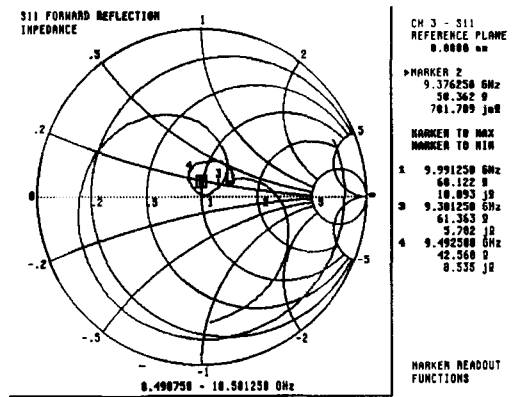
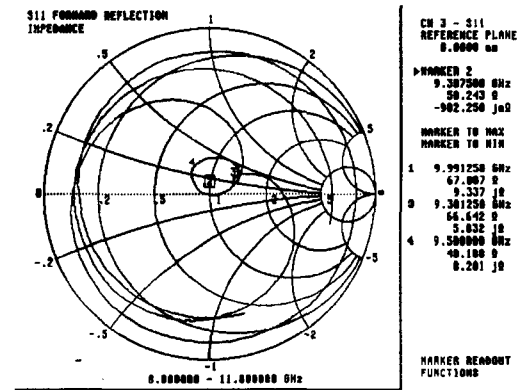


그림 4-1. 제작된 능동형 레이더 반사기의 사진  
Fig. 4-1. Photograph of the A.R.R



(a) 안테나A



(b) 안테나B

그림 4-2. 송수신 안테나의 입력임피던스  
Fig. 4-2. Input Impedance of RX & TX Antenna



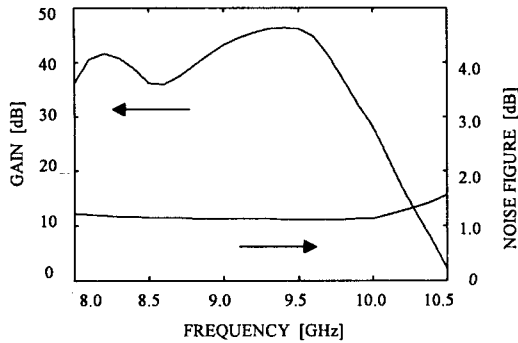


그림 4-3. 5단 증폭기의 이득과 잡음지수.  
Fig. 4-3. 5-stage amplifier gain and noise figure.

그림 4-3은 측정된 이득과 잡음지수이다. 중심주파수 9.4[GHz]에서는 46.3dB의 이득과 잡음지수는 1.22dB였으며, 9~10[GHz]대역에서의 잡음지수는 최고 1.3dB로 측정되었다.

그림 4-4는 입출력 반사 손실을 측정한 결과로서, 9.4[GHz]에서 입력 반사 손실은 -14.2dB를 나타내어 시뮬레이션 결과와 거의 일치하였고, 출력 반사 손실은 -16.3dB를 나타내며 이것은 시뮬레이션 결과와 비슷함을 알 수 있다.

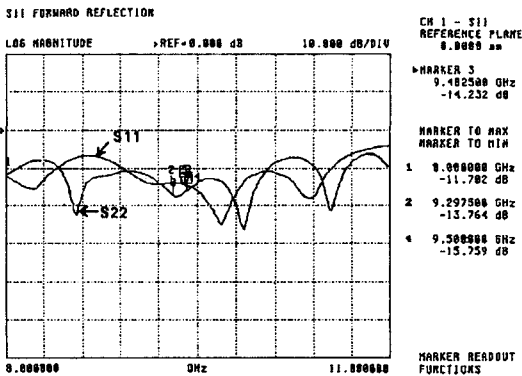


그림 4-4. 입출력 반사 손실  
Fig. 4-4. Input and output return loss

그림 4-5에서 2[MHz]차이가 나는 두 입력신호에 대하여 측정된 3차 상호변조왜곡항의 크기는 9,398.5[MHz]에서 -28dBm과 9,404.5[MHz]에서 -26.96 dBm으로 측정되었다. IM3은 각각 -32.26dBc와

-31.24 dBc로 나타났으며, 설계 값과 비교하여 양호한 특성을 알 수 있다.

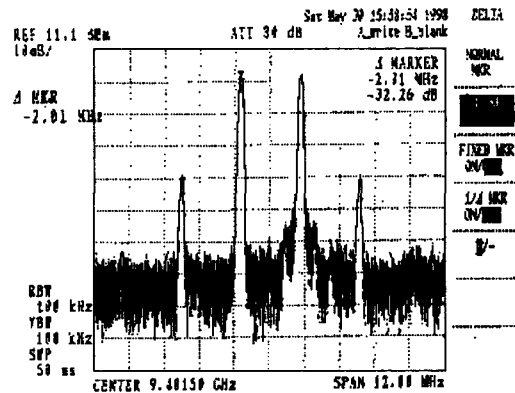


그림 4-5. 상호 변조 왜곡 특성(2-tone)  
Fig. 4-5. Intermodulation characteristics(2-tone)

### 5. 결론

본 연구에서는 X밴드 대역에서 사용되는 레이더 신호에 응답하여 레이더 반사면적을 증가시키고, 레이더 표시기에서의 항해표지나 소형선박의 인식을 명확히 개선시킬 수 있는 능동형 레이더 반사기를 설계하고 제작하였다.

레이더 송신출력이 25kW인 경우 대략 4Nm 정도의 탐지거리 이상에서는 20m<sup>2</sup>의 RCS을 가짐을 알 수 있다.

이것은 시스템에 인가되는 입력이 -20dBm 보다 큰 경우에는 시스템의 출력이 포화되기 때문이다. 이것이 단점일 수 있겠지만 근거리에서는 기존의 수동반사기에 같이 부착하여 사용한다면 이러한 단점은 해결될 것이다.

레이더 송신출력이 5kW인 경우 대략 2Nm 정도의 거리 이상에서는 20m<sup>2</sup>의 RCS을 가짐을 알 수 있다.

보다 근거리에서 시스템이 동작되지만 레이더의 송신출력이 낮으므로 25kW레이더를 가진 선박 레이더에 비하여 원거리 탐지성능은 낮게 될 것이다. 그렇지만 수동 반사기 보다는 확실히 개선된 성능을 가진다.

따라서 본 연구에서 개발된 능동형 레이더 반사

기는 소형 선박이나 항해표지의 레이더 시계를 증가시키는 수단으로 아주 넓게 사용되어질 수 있으며, 기존의 수동 레이더 반사기와 결합하는 것도 가능하다.

이러한 제작기술은 S밴드 능동형 레이더 반사기, 레이더 비이컨, 위성수신기의 제작에도 응용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] Richard M. Trim, "Radar Transponders and Radar Target Enhancers", *The Journal of Navigation*, vol. 48, no. 3, pp. 396-409, 1995.

[2] Skolink, M. I., *Introduction to Radar Systems*, pp. 15-65, McGraw-hill, 1970.

[3] 落合徳臣, 茂在寅男, *レーダの理論と實際*, pp. 15-39, 海文堂, 1970.

[4] G. J. Sonnenberg, *Radar and Electronic Navigation*, pp. 317-345, Butterworths, 1980.

[5] Levanon, *RADAR PRINCIPLES*, pp. 4-27, Wiley Inc., 1988.

[6] Byron Edde, *Radar Principles, Technology, Applications*, pp. 53-146, Prentice-hall, 1993.

[7] 李相高, 姜貞洙, *레이다 공학*, pp. 57-60, pp. 75-81, pp. 397-401, 보성문화사, 1995.

[8] 정종혁, "X밴드 전자식 레이더 반사기용 마이크로웨이브 증폭기 설계 및 구현", *공학박사학위논문*, 1999.

정종혁(Chong-Hyeog Cheong)

1992년 2월 부경대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1994년 2월 동아대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1999년 2월 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학박사)  
 2000년 3월 경운대학교 정보통신공학과 전임강사  
 \*관심분야 : 초고주파회로설계, 회로 및 시스템

김 남 호(Nam-Ho Kim)

1984년 2월 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사).  
 1986년 2월 영남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사).  
 1991년 8월 영남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사).  
 1992년 3월 - 현재 부경대학교 전기제어계측공학부 부교수.  
 1999년 6월 - 현재 한국통신학회 부산경남지부 총무이사.  
 \*관심분야 : 회로 및 시스템, 신호처리



양 규 식(Gyu-Sik Yang)

1974년 2월 한국항공대학교 항공통신공학과 졸업  
 1984년 2월 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1991년 8월 동대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1986년 ~현재 한국해양대학교 전자통신공학과 교수  
 \*관심분야 : 안테나 설계, 초고주파회로 설계