

# 능동형 레이더 리프렉터의 이용에 관한 조사연구

정중식\* · 박성현\* · 김철승\* · 안영섭\* · 김우숙\*

\* 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

## A Basic Study on Utilization of Radar Target Enhancer

Jung-Sik Jeong\* · Sung-Hyeon Park\*, Chul-Seong Kim\*, Young-sup Ahn\*, Woo-Suk Kim\*

\* Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

**요 약 :** IMO 항해안전위원회에서는 능동형 레이더 반사기(Radar Target Enhancer : RTE)를 소형선박에 적용하는 문제를 검토중에 있다. 이에 따라 국내에서도 RTE 개발의 타당성과 이용에 대한 사전검토가 필요한 실정이다. 본 논문에서는 외국에서 보고된 RTE에 대한 실험자료를 토대로 하여 RTE가 가지는 몇가지 중요한 기술적인 문제점들을 분석·요약하고, 향후 RTE를 소형선박 뿐만 아니라 항로표지에 설치하고자 할 때, 그 해결방안을 사전검토하고자 한다. 또한 IMO 항해안전 소위원회의 의제를 토의할 때 RTE가 가지는 문제점들을 명확히 이해하여 반영할 수 있도록 함과 동시에 국내에서 RTE를 개발하고자 할 때 중점 연구대상 항목을 제공하는데 그 목적이 있다.

**핵심용어 :** 레이더 리프렉터, 능동형 레이더 반사기, 수동형 레이더 반사기, 레이더 유효반사면적, 코너 리프렉터

**Abstract :** IMO sub-committee on safety of navigation has worked a draft recommendation for RTE in order to carry a radar target enhancer(RTE) on small ships. According to the draft recommendation for RTE, we need a preliminary research for RTE development and its applicability. In this paper, we investigate the results of field tests in other countries and analyze technical and critical problems in RTE. The results of our analysis will provide helpful comments in IMO subcommittee as well as in a domestic development of RTE.

**Key words :** Radar Reflector, Radar Target Enhancer, Passive Radar Reflector, Radar Cross Section, Corner Reflector

### 1. 서 론

2002년 12월 시점에서 국내 소형어선은, FRP선이 63.7%, 목선이 33.1%, 강선이 3.2% 이내를 차지하고 있다[1]. FRP선과 목선은 크기가 작고, 구성물질이 레이더파를 반사시키는 강도가 약하므로 중·대형 선박에서 탐지하지 못하여 충돌에 의한 해난사고가 가장 큰 비율로 발생하고 있다[2]. 2002년 해양수산 통계연보에 따르면 1998년-2002년 사이의 선박 사고발생율을 보면 어선에 의한 해양사고가 전체 해양사고(4,311척)의 약 72.4% (3,113척)를 차지 하고 있으며, 전체 사고중 선박 충돌사고(775건)에만 한정하여도 어선에 의한 충돌발생 건수가 약 58%(448건)를 차지하고 있다[3][4][5]. 충돌사고 예방을 위한 방법중에 소형선박에 레이더 반사기를 설치하는 것은 좋은 대안이 될 수 있으며, 어장 또는 양식장 보호를 위한 어망부이, 항로표지용으로도 확장·적용할 수 있다. 2002년 7월 1일부터 발효된 SOLAS협약 제5장 19.2.1.7 규칙(2000년 11월27일 개정)에 따르면, 150톤미만의 모든 선박에는 9GHz 레이더파(X-band)에 추가하여 3GHz의 레이더

파(S-band)에도 탐지될 수 있는 레이더 반사기(Radar Reflector)를 설치하도록 규정하고 있다[6][7]. 게다가 IMO 항해안전위원회(Sub-Committee on Safety of Navigation)에서는 2005년 7월 이후 설치될 레이더 반사기로서 수동형(Passive type)과 능동형(Active type) 모두를 적용하기 위하여 논의중이다[7]. 국내의 경우에는 1977년 11월에 채택된 IMO 총회 결의 A.384(X)에 따른 한국산업규격 KSV 9507에서 X 밴드에 적용할 수 있는 선박용 수동형 레이더 반사기(Passive Radar Reflector)의 구조, 재료, 성능 및 설치요건을 규정하고 있을 뿐이다[8]. 국내에서 수산특정 연구개발사업으로 2001년 9월부터 2003년 8월까지 2개년간 수동형 레이더 반사기의 개발을 추진한 바가 있다. 그 결과로 어업용 레이더 반사기(수동형)를 개발하여 해양수산부에 선박설비기준 개정(안)을 상정한 바가 있다[9]. 그러나, 수동형 레이더 반사기는 저가, 소형, 경량이며 설치가 용이하다는 장점이 있으나, 능동형 레이더 반사기(Radar Target Enhancer : RTE 또는 Active Radar Reflector)에 비교하여 레이더 유효반사면적(m<sup>2</sup>) (Radar Cross Section : RCS)이 10배 정도 감소한다[2][10][11]. 또한, 기상상태가 나빠지면 RCS가 급격히 감소되어 레이더파의 탐지가 불가능하거나, 거리가 멀어지면

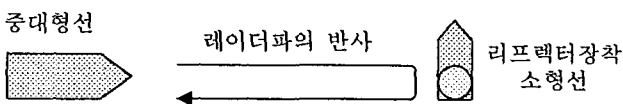
\*정희원, jsjeong, shpak, cskimu, ysahn, wskim@mmu.ac.kr 061)240-7238

RCS가 현격히 감소한다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 RTE의 개발을 위한 사전연구가 필요한 실정이다. RTE는 수동형이 가지는 단점을 보완할 수 있는 우수한 성능을 나타낼 수 있지만, 송수신안테나를 비롯한 고주파 증폭기 등의 내부 전자회로와 이를 구동할 수 있는 배터리 또는 전원공급 회로가 필요하기 때문에 가격이 고가이고, 설치가 불편하여 소형선 및 어업용으로는 장치가 곤란한 문제점이 있다. 영국과 미국 등 선진국에서는 이미 개발되어 있으나 가격이 고가이며, 주로 해양레저용, 중형선용에 제한적으로 이용되고 있는 실정이다[12][13]. 따라서, IMO 항해안전위원회에서 검토되고 있는 RTE 적용계획에 따라 사전에 국내에서도 RTE 개발의 타당성과 적용가능성에 대한 사전검토가 필요한 실정이다. 지금까지 국내에서는 RTE와 관련하여 2001년도에 “RTE의 어망부이로의 이용에 관한 연구”를 항로표지협회에서 실시한 바가 있으나, RTE를 작동하였을 때 발생할 수 있는 기술적인 문제점에 대한 조사연구 및 해결방안에 관한 검토는 미비한 상황이었다[14][15].

본 연구에서는 일본과 영국에서 보고된 RTE에 대한 실험 자료를 분석하여 RTE가 가지는 몇가지 중요한 기술적인 문제점들을 분석·요약하고, 향후 RTE를 소형선박 또는 항로표지에 설치하고자 할 때, 그 해결방안을 사전검토하고자 한다. 본 연구의 의의는 현재 IMO 항해안전소위원회에서 검토되고 있는 RTE에 관한 문제점을 명확하게 제시하고, 향후 국내에서도 RTE를 개발하고자 할 때 고려하여야 할 중점 연구대상 항목을 제공한다는 데 있다.

## 2. 능동형 레이더 리프렉터(RTE)의 개요

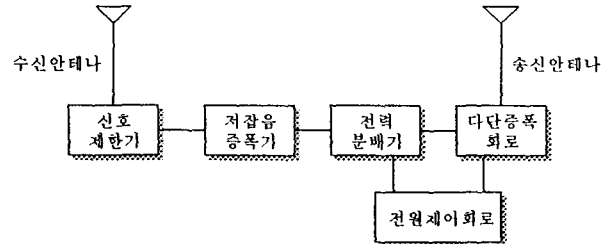
해상에서 어선 및 항로표지와 같은 소형 물표에 부착하여 레이더를 갖춘 선박으로부터의 레이더 전파에 대한 반사특성을 강조함으로써 물표의 탐지능력을 증대시키는 장치로서 레이더 리프렉터가 있다. (그림 1)은 소형선에 리프렉터를 장치하여 중대형선에 있는 레이더의 물표탐지능력을 향상시키는 개념을 도식화한 것이다. 이러한 레이더 리프렉터에는 수동형 리프렉터와 능동형 리프렉터가 있다. 수동형 리프렉터는 레이더의 유효반사면적(Radar Cross Section : RCS)이 커지도록 설계·제작한 장치로서 레이더파를 어떠한 증폭 및 변조조작 없이 입사한 방향으로 레이더파를 반사시키는 역할을 한다.



(그림 1) 중대형선의 레이더에 의한 탐지능력의 향상 예.

수동형 리프렉터의 대표적인 예로서 복수개의 금속판을 상호교차시켜 접합한 것으로 코너 리프렉터와 Luneburg lens 리프렉터가 있으며 항로표지용과 소형선에 사용되어 왔

다[8][11]. 그러나 수동형 리프렉터는 시계가 불량하거나 기상조건이 악화되면 레이더 반사기능이 급격히 감소한다. 또한 레이더 리프렉터를 부착한 물표와의 거리( $R$ )가 멀어지면 RCS는  $1/R^2$ 의 비율로 급격히 떨어진다. 이와는 대조적으로 능동형 레이더 리프렉터(Radar Target Enhancer : RTE)는 수신한 레이더파를 마이크로파로 증폭하여 입사방향으로 재송신한다. (그림 2)는 RTE의 기본구성도를 보여주고 있다.



(그림 2) RTE의 기본 구성도

전방향성을 지닌 RTE는 송수신 안테나, 신호제한기, 전력분배기, 전력증폭기에 해당하는 다단 증폭회로 및 전원 제어 회로를 포함하고 있다. 신호제한기는 인접한 거리에 있는 레이더로부터 강한 전파가 수신되거나 강한 해면반사파로부터 수신증폭기를 보호하기 위한 리미터 회로이다. 또한 전력소모를 줄이기 위하여 파워세이브 모드(Power Save Mode)가 작동할 수 있도록 전원제어회로를 두고 있다. 즉, 레이더 전파가 수신될 경우에는 전원제어회로는 활성상태로 되어 정상적으로 구동전력이 공급되고 레이더 전파가 수신되지 않는 휴지 상태에서는 슬립 모드(Sleep Mode)로 전환된다. RTE에 의한 마이크로파 증폭이 유효한 경우는 레이더파를 RTE가 수신하여 RTE내에서 증폭한 후 송신한 전파를 레이더가 수신할 수 있을 때이다. 따라서 당연한 결과이긴 하지만 레이더로부터 물표까지의 거리가 멀어지면 RTE로의 입력신호가 약하게 되어 그 증폭의 효과는 급격히 감소된다. 한편 근 거리에 있는 물표의 경우에는 오히려 레이더의 STC(Sensitivity Time Control)회로의 수신감도에 의한 제한을 받으면 레이더에서는 물표를 탐지할 수 없다. RTE에 있어서 요구되는 전체 신호이득  $G$ 는 식 (1)과 같이 계산할 수 있다.

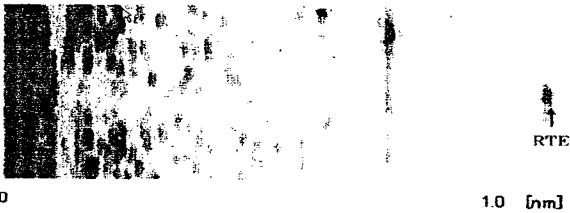
$$G = \frac{4\pi A_e \sigma}{\lambda^2} \quad (1)$$

여기서,  $\sigma$ 는 RCS로서  $m^2$ 이나 dBm를 단위로 나타내며,  $A_e$ 는 안테나의 유효구경,  $\lambda$ 는 레이더파의 파장을 나타낸다. 따라서 RCS는  $\lambda^2$ 에 비례하게 되며 사용 주파수대가 높아질수록 급격히 적어진다.

## 3. RTE의 문제점 분석

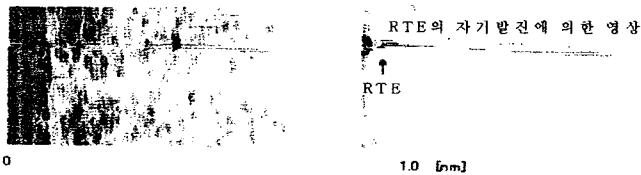
RTE에서 나타나는 주요한 문제점은 크게 두가지로 나눌 수 있다. 첫째, RTE와 일정한 거리에 수동형 리프렉터를 포

함한 모든 레이더와 반사체 또는 다른 RTE를 설치한 물표가 존재하는 경우에 일어나는 RTE의 자기발전현상이다. RTE의 자기발전은 레이더 수신파에 영향을 미쳐 물표의 형상이 크게 일그러지거나 분산되는 문제를 초래한다. 둘째로는 레이더와 RTE와의 거리가 가까워져 RTE내부의 증폭기의 출력단이 포화되는 시점에 도달할 경우에 RTE의 RCS가 급격히 감소되어 RTE를 설치하지 않은 물표의 RCS와 동등하게 되어 버려 RTE의 기능을 정상적으로 발휘하지 못하는 경우가 있다[10][16]. 이 경우에 레이더와 RTE의 거리가 1/2로 되면, RTE의 RCS가 1/4 정도로 적어진다. 증폭기가 포화상태에 이르는 거리는 증폭기의 설계방법에 따라 달라지기도 하지만 레이더 자체의 실효출력에도 크게 좌우된다. 문헌 [1],[2]에 따르면 약 30dB의 안테나 이득을 가지고 있는 대형선 레이더를 고려하면 약 4마일의 거리에서 증폭기가 포화상태로 나타나는 것으로 보고되고 있다. (그림 3)은 길이 7m의 FRP소형보트에 RTE를 탑재하고 가까이 RCS가 약 100 m<sup>2</sup>인 코너리프렉터가 병행설치된 경우, 25kW첨두출력을 가진 9.4GHz대의 X밴드 레이더로 호수면 1.1 마일[nm] 지점에서 관측한 결과를 보여준다.



(그림 3) RTE의 가까이 코너리프렉터가 설치된 경우의 레이더 영상 (출처 : 문헌 [16])

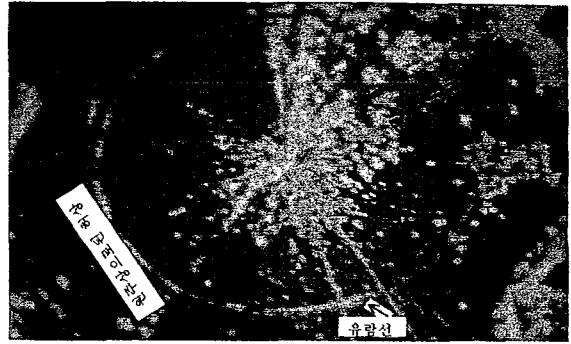
(그림 3)에서 보는 것처럼 RTE로 표시된 부분의 아래부분에 영상이 길게 늘어져 있다. 이것은 레이더의 주빔에 대한 RTE의 응답이 주빔의 통과후에도 계속되어 코너리프렉터로부터 반사된 신호가 RTE에 의하여 증폭된 후 레이더에 수신된 결과로 나타나는 것으로 보인다. (그림 4)의 경우에는 레이더로부터 약 0.9마일의 위치에 있는 두 대의 보트에서 각각 RTE를 작동시킨 경우 레이더 화면상에 나타난 영상을 보여준다.



(그림 4) RTE의 인근에 또 다른 RTE가 설치된 소형선이 있는 경우 레이더 영상의 퍼짐현상 (출처 : 문헌 [16])

(그림 4)에서 RTE를 화살표로 표시한 부분으로부터 좌측의

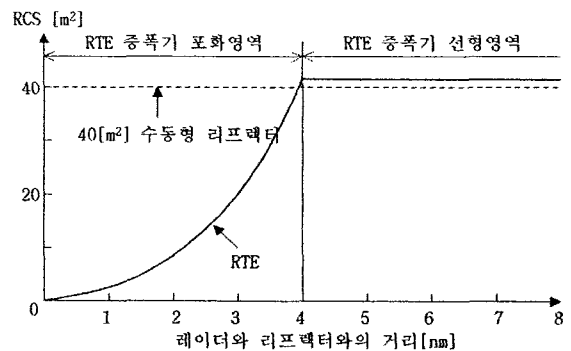
횡방향으로 레이더 영상이 퍼져서 길게 선상으로 나타난 것을 볼 수 있다. 이것은 두개의 RTE의 상호간섭에 의하여 한쪽의 RTE에서 응답한 신호가 다른 RTE에서 재증폭되어 전송되는 상호간섭의 영향과 자체발전에 의한 영향으로 나타난 결과로 보인다. (그림 5)는 총톤수 60톤의 유람선의 전면에 RTE를 설치하여 레이더가 설치된 선박에 0.7마일 정도까지 접근하였을 때 나타난 레이더 영상을 표시하고 있다.



(그림 5) RTE와 레이더가 근거리(약 0.7마일)에 있을 경우 레이더 영상의 변화 (출처 : 문헌 [16])

(그림 5)에서 나타난 바와 같이 RTE가 설치된 유람선이 나타나는 거리를 따라 원주상으로 허상이 나타나고 있다. (그림 3), (그림 4) 및 (그림 5)에서와 같이 RTE의 자기발전에 의한 영향은 RTE의 송수신 안테나가 무지향성으로 제작되고 증폭기능만을 가지도록 설계되는 한, 피할 수 없는 것으로 보인다.

한편, (그림 6)은 레이더와 리프렉터사이의 거리가 가까워져 RTE에 수신되는 입력신호레벨이 증가하여 RTE 증폭기의 포화영역내로 들어갈 경우, 거리에 따른 RCS의 급격한 변화를 보여 주고 있다. (그림 6)에서처럼 4마일의 거리에서 RTE는 포화영역에 도달하여 거리가 좁아짐에 따라 RCS는 급격히 감소하여 RCS가 40m<sup>2</sup>인 수동형 리프렉터 보다 더 적은 RCS를 가진다는 것을 알 수 있다.



(그림 6) RTE 증폭기의 포화영역에서의 RCS변화 (출처 : 문헌 [10])

#### 4. RTE의 이용에 대한 고찰

RTE는 수동형 리프렉터의 단점을 보완하여 레이더파의 반사성능을 개선할 수 있는 좋은 수단이다. 그러나 3절에서 살펴본 바와 같이 RTE는 주변 반사체에 의한 자기발전의 영향을 받아 오히려 레이더 영상을 흐리게 한다. 또 다른 한편으로 레이더와의 거리가 4마일 이내로 가까워지면 RCS가 급격히 감소하여 오히려 수동형 리프렉터가 더 좋은 반사성능을 가질 수가 있다. 이러한 문제점들은 IMO 항해안전위원회에서 논의되고 있는 것처럼 RTE를 소형선박에 설치하려면 해결하여야 할 주요한 문제점들이다. 자기발전의 영향에 대해서는 기술적으로 세가지 해결방안이 고려될 수 있다. 첫째, RTE의 송수신안테나가 지향성을 가지도록 설계하는 방법을 들 수 있다. 즉, 코너리프렉터와 같이 레이더파가 입사한 방향으로만 RTE가 응답파를 송신하는 방법이다. 둘째 RTE에 주파수변환기능 또는 주파수 호핑(Frequency Hopping)기능을 추가하는 방법이다[17]. 이것은 다른 RTE로부터의 레이더파 응답신호가 자체 RTE의 수신안테나에 유입되더라도 자체 응답신호와 동일주파수로 혼합되어 발전하지 않도록 하는 방법이다. 즉, 레이더 유효탐지 거리내에서 복수개의 RTE가 작동할 때 주파수 호핑기능에 의하여 상호 교번으로 레이더에 탐지할 수 있도록 설계하는 수밖에 없다. 그러나 이러한 방법들은 결국 RTE에 레이더파를 증폭시키기 위한 기능이외의 자체 신호처리기능을 부가시켜 제작 비용의 증대를 가져온다. 또 문제의 하나로는 RTE 증폭기가 포화영역내에서 작동할 때 발생하는 RCS 감소문제이다. 이 문제는 능동형과 수동형 반사기의 동시사용에 의하여 해결할 수도 있다. 즉, 4마일 이내의 근거리에서는 수동형 리프렉터를 이용하도록 하고 4마일 이상의 거리에서 수동형 리프렉터의 RCS가 약해지는 경우를 대비하여 RTE에 의하여 RCS를 증가시키는 방법이 대안이 될 수 있다. 그러나 RTE와 수동형 리프렉터를 겸용하여 활용하더라도 자기발전에 의한 영향을 제거하지 않으면 현실적인 방안이 되지는 못할 것이다. 결국 현재로서 RTE가 안고 있는 문제점을 해결하고 실용성 있는 RTE를 제작하기는 어려운 실정이다. 비용과 기술구현의 관계는 또 다른 문제로서 결정되어야 할 것으로 보인다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 RTE가 가지는 문제점들을 기존의 연구자료들의 조사분석 결과를 요약하여 정리하였다. 그 결과로서 마이크로파 송수신 증폭기와 무지향성 송수신 안테나로 구성되는 RTE는 인근의 레이더 반사체 또는 다른 RTE에 의하여 심한 자기발전의 영향을 입고 있음이 확인되었다. 또한

RTE와 레이더가 근거리에서 존재할 경우 RTE 증폭기의 포화영역에서의 급격한 RCS 감소현상이 나타난다. 비록 IMO 항해안전소위원회에서 RTE를 설치하기 위한 규정을 만들기 위하여 현재 논의되고 있기는 하지만, RTE의 설치를 위해서는 상기에 지적된 문제점들의 해결이 선행되어야 할 것이다. RTE의 이용을 더욱 어렵게 하고 있는 점은 ITU-R에서 정하고 있는 것처럼 RTE에 증폭기능과 신호리미터 기능외에 특별한 장치를 부가하여서는 안된다는 점이다. 현재로서는 RTE가 가지는 기술적인 문제점들을 해결하면서 소형, 경량 및 저가격의 RTE를 제작한다는 것은 어려운 실정이다. 이것은 향후 중요한 연구과제의 하나이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 해양수산부 해양수산통계연보, 해양사고통계 자료, 2002.
- [2] J.N.Briggs, "Specifications for Reflectors and Radar Target Enhancers to Aid Detection of Small Marine Radar Targets," The Journal of Nav., vol 55, pp.22-38, 2002.
- [3] 해양안전 심판원, 제18차 해양사고방지세미나 자료집, 2003.
- [4] 해양수산부 해양안전심판 사례집, 2002.
- [5] 해양수산부, 책임있는 수산업규범 및 기술지침, 1998.
- [6] Sub-Committee on Safety of Navigation the 49th session Agenda, NAV 49/19, July 28, 2003.
- [7] Sub-Committee on Safety of Navigation the 49th session Agenda, NAV 49/8/1, March 24, 2003.
- [8] 한국산업규격, 선박용레이더 반사기, KSV 9607-1997.
- [9] 해양수산부, 어업용레이더 리프렉터 개발, 수산특정연구개발사업 최종연구결과 보고서, 2003.
- [10] Richard M.Trim, "Radar Transponders and Radar Target Enhancers," The Journal of Nav., vol 48, No.3, pp.396-409, 1995.
- [11] Merrill I. Skolnik, Radar Handbook, 2nd Ed., McGraw Hill, USA, 1990.
- [12] <http://www.tidelandsignal.com>
- [13] <http://www.see-me.co.uk>
- [14] 김우숙, 박계각, 안병원, "어망부표로서 RTE의 이용에 관한 연구," 한국항해항만학회지, 25권,3호, pp.237-245, 2001.
- [15] 한국항로표지협회, RTE의 어망부표로서의 이용에 관한 연구보고서, 2000.
- [16] 일본 항로표지협회, RTE 성능조사보고서, 2001.
- [17] Microwave Workshop Digest, MWE'99, Japan, pp.455-464, 1999.