

어선용 레이더 리프렉터 개발

김우석, 안영섭, 임정빈, 박성현, 김인현/목포해양대학교 교수

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

국내 소형 어선은, 목선이 80% 이상, FRP 선이 20% 내외, 강선이 1% 이내를 차지하고 있다(1994년 해양수산부 자료). 소형 목선과 FRP 선은 크기가 작고, 구성물질이 레이더 전자파를 반사키는 강도가 약하므로 중·대형 선박에서 탐지하지 못하여 충돌에 의한 해난사고가 가장 큰 비율로 발생하고 있다. 이와 같이 소형 물체를 쉽게 탐지하기 위하여 레이더 전자파를 인위적으로 강하게 반사시키는 장치를 RADAR Reflector(레이더 리프렉터)라고 한다[1],[2]. 레이더 리프렉터(이하 리프렉터)에는 능동식(Active-type)과 수동식(Passive-type)이 있다.

능동식 리프렉터는 수신한 레이더 전자파를 전기적으로 증폭한 후 반사시키기 때문에 강력한 에너지의 전자파를 발생한다[3]. 그러나, 내부 전자회로와 배터리가 필요하기 때문에 가격이 고가이고, 장치가 크며, 반영구적이다[4].

반면, 수동식 리프렉터는 전자회로 없이 특수한 전자파 반사물질과 특수한 구조로 구성되어 강한 반사 전자파를 발생한다. 수동식 리프렉터는 능동식 리프렉터와 비교하여 반사 에너지가 작아서 탐지능력이 작지만, 수동형 리프렉터의 형상과 도포물질을 최적으로 설계하는 경우, 충돌회피를 위한 최소한의 탐지능력 3마일 이상까지 증가시킬 수 있다[4]~[9]. 또한, 소형 어선의 경우 리프렉터가 저가, 소형, 경량 및 용이한 장착이 필수적이기 때문에 능동식 보다는 수동식 리프렉터가 유리하다[10],[11].

RADAR 탐지능력은 전자파의 유효반사면적(m^2)을 나타내는 RCS(RADAR Cross Section)로 표시한다[12]. RCS는 리프렉터를 사용하는 목적에 따라서 최대화 또는 최소화한다. 군함의 경우 적의 RADAR 망으로부터 회피할 목적으로 RCS를 최소화한다. 반면, 소형 어선이나 해상용 Buoy, 어망 Buoy 등의 경우는 RADAR 탐지능력을 증가하기 위하여 RCS를 극대화한다[13]~[16].

RCS의 극대화 방법으로 RADAR 전자파를 강하게 반사시키는 물질이나 형상, 특수장치 등이 연구되고 있다[17],[18]. 물질로서는 은

이나, 동 분말 등을 이용한 방법이 주로 연구 개발되고 있고, 형상으로는 현재 리프렉터로 가장 많이 사용되고 있는 3측면 고깔모양의 Corner Reflector를 단일 또는 다중 집합한 방법이 연구 개발되고 있다(9). 특수장치로는 Luneberg Lens와 같은 유전체 렌즈(dielectric lens)를 연구 개발하는 방법이 있다(17)~(20).

해상용 RADAR는 장거리 측정용의 S-Band(3GHz, 10cm 파장)와 근거리 측정용의 X-Band(9.4GHz, 3.2cm 파장)를 사용한다. 연안에서는 소형 물체를 탐지해야 하기 때문에 X-Band를 적극 사용하고, S-Band는 보조용으로 사용한다. 따라서 리프렉터는 X-Band에 민감하게 반응하는 형태로 설계해야 한다(21), (22).

또한, 리프렉터를 부착하는 경우 낙뢰에 의한 피해를 방지하기 위하여 낙뢰방지 시스템(Lightning Protection or Prevention System)이 필요하다. 소형어선과 같이 롤과 피칭(Roll/Pitching)이 심한 경우에는 리프렉터가 RADAR 스캐너(Scanner)면과 어긋나서 RCS가 현격하게 저하되기 때문에 선체 요동에 의한 RCS 변동방지 대책도 필요하다. 적극적인 방법으로서 Pedestal을 리프렉터에 부착하여 선체 움직임에 의한 리프렉터 자세 보정장치의 연구 개발도 필요하다(20).

국내 소형 어선의 경우, 작업형태가 선장, 기관장, 부원을 포함한 모든 선원이 어로행위에 종사하기 때문에 철저한 견시와 당직이 불가능하여 해난사고가 발생하는 것으로 발표되고 있다(‘늘어나는 어선해양사고! 정부가 나선다.’ 해양수산부 해사기술담당관 오공균 저, 2000). 따라서, 소형 어선에 우수한 장비를 설치하더라도 견시를 소홀히 할 수밖에 없는 국내 어업환경을 고려한다면, 적극적인 방어수단으로서 소형, 저가, 반영구적인 고성능 수동 리프렉터를 시급히 개발하여 어선에 장착하는

것이 가장 유효한 해난사고 예방책이라 사료된다(14).

현재 국내 소형어선의 충돌 해난사고 건수와 해양에서의 많은 활용분야를 고려한다면, 시급히 국내에서 독자적으로 리프렉터를 연구 개발하여 전 세계 해난사고 1위 국에서 벗어나야 할 것이다. 또한, 리프렉터 연구 개발은 국내 소형어선의 해난사고 방지에 적극 기여할 수 있을 뿐만 아니라 해상용 Buoy, 어망 Buoy 등과 같은 해상 구조물의 탐지능력 확대에 따른 어장 보호에도 유용하게 적용될 수 있는 첨단 핵심요소기술이기 때문에 소형, 저가, 영구적이면서 RCS를 극대화한 수동식 RADAR 리프렉터의 기술개발이 시급히 필요하다.

2. 경제·산업적 측면

국내 어선현황조사(1994년 해양수산부자료)에 따르면 전국 연안어업어선, 정치성구획어업어선, 정치망어업의 관리선 등에서 목선이 차지하는 비중이 80% 이상, FRP 선은 20% 내외, 강선이 1% 내외로 나타났다. 또한, 해난사고의 유형별 조사(해양경찰청 해난사고분석(10년간), 1998)에 의하면 전체 해난사고의 86%가 선원의 운항과실 및 기술부족으로 나타났다. 그리고, 1987년부터 1996년까지의 해양수산부 통계자료에 의하면 해난사고 발생 총 1715건 중 어선이 1112건으로 64.8%를 차지하고, 이 중에서 목포해역의 해난사고가 400건으로 어선에 의한 사고 1112건의 36%로 가장 많은 사고가 발생하고 있다. 특히, 100톤 이하의 소형선박이 1715 건 중에서 1196 건으로 70%를 차지하고 있다.

앞으로 근해어선은 국제규제와 정부의 구조조정으로 선복량이 점차 감소추세를 보일 것으로 예상되나, 소형 연안어선은 당분간 선복량이 그대로 유지되면서 수산자원이 고갈된 연안해역에서의 무리한 조업행위가 계속될 것으로

예상된다. 따라서 연근해 자원의 감소와 1994. 11 유엔 해양법 발효, 세계 연안 각 국 및 동북아 3국의 EEZ 선포로 새로운 동북아 어업질서가 구축되어 우리 어선의 조업어장이 축소됨에 따라서 인접국 및 국내어선간의 경합적인 어로행위로 인한 어선 해양사고 증가가 우려되고 있다.

따라서, 주로 10톤 이하의 어선이 총 선종의 70% 이상을 차지하고, 소형 어선의 해난사고가 60% 이상을 차지하는 국내 어업현실과, 어민들의 영세성을 감안하면, 소형, 저가, 영구적인 고성능 리프렉터의 개발은 귀중한 어업인의 인명손실 방지와 어민 소득증대 및 수산물의 수출증대에 크게 기여할 것으로 사료된다. 또한, 소형어선 이외에도 해상용 Buoy의 탐지능력 증가와 국방분야 응용 등 많은 분야에서 수요가 예상되므로 고부가가치 창출이 기대된다.

또한, 전 세계적으로 리프렉터 개발기술의 해외 유출을 금지하고 있는 실정을 감안하면, 국내 독자 개발에 의한 기술확보로 로열티 수입과, 국내 제작에 의한 외화낭비 방지 및 장치의 수출에 의한 외화 획득 등도 기대된다.

제2절 연구개발 목표 및 내용

1. 최종 목표

이 연구의 최종 목표는 어업용 및 어선용 레이더 리프렉터의 개발에 있다. 또한 모든 소형 어선들이 레이더 리프렉터를 장착하여 선박 충돌사고를 방지하고 해상에서 인명과 재산을 보호할 수 있도록 선박안전법이나 하위규정에 법제화하기 위한 관계법 규정마련에 연구 목적이 있다. 구체적인 목표는 다음과 같다.

- 어선용 레이더 리프렉터 개발 대상
 - 레이더 리프렉터 장착 대상 선박은 10톤 이하의 소형 목선 및 FRP선
 - 선박의 종류는 수산업에 종사하는 동

력 및 무동력 어선

- 리프렉터의 장착 위치는 어로행위에 불편을 주지 않는 위치 연구하여 선정
- 어업용 레이더 리프렉터 개발 대상
 - 연근해의 어장보호를 위한 부표의 레이더 반사능력 확대장치로 개발
 - 리프렉터 장착 용이하고, 여러개 설치시의 레이더 간섭현상 배제를 위한 위치 선정
- 리프렉터의 종류
 - 리프렉터는 전원이 필요 없는 수동식 (Passive-type) 개발 [30]
 - RCS 증강 물질은 동, 철, 알루미늄 등 다양한 물질 실험하여 선정
 - 리프렉터 몸체는 Plastic, Steel plate 또는 기타 물체 실험하여 선정
- 기술적인 데이터
 - 대상 레이더 전자파는 9.5GHz(3cm 파장)의 X-Band
 - RCS는 리프렉터 크기에 따라서 변동하며 최소 0.5㎡ 이상
 - 레이더 탐지범위 거리는 3마일 이상 (정수중)
 - 리프렉터의 탐지 범위 방위는 300도 이상
 - 리프렉터의 무게는 2파운드에서 6파운드 이내에서 설계
 - 선박의 heel/roll 에 대한 RCS 손실방지 대책으로 3축 Pedestal 설계
 - 리프렉터 구조는 Trihedral, Octahedral, None-Trihedral 등을 평가하여 선정
 - 소형어선 장착이 편리한 나이론 밴드에 금속물질 도포한 특수 리프렉터 설계시험
 - 특수장치로서 Di-electric Lens 채택한 리프렉터 분석 및 실험
 - IMO, ISO8729에서 정한 표준을 채택

2. 연차별 연구개발목표와 내용

구 분	목 표	내용 및 범위
1차 년도 (2001년 ~ 2002년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ RCS 증대방안 제시 ○ 어업용 리프렉터 모델 개발 ○ 어선용 리프렉터 모델 개발 ○ 국내외 관련법 정립 	<ul style="list-style-type: none"> - 국내외 자료수집 분석과 RCS증대방안 제시 - 해외 상용 리프렉터 모델 분석 및 표준제시 - 해상 레이더의 전자파 분석 - 어장 어업환경 특성조사와 대책, 어장 구조물의 거동 해석 - 어업용 리프렉터 요구조건 도출 및 RCS 극대화 이론 개발 - 어업용 리프렉터 모델설계 및 제작 및 전파특성 분석 - 어업용 리프렉터 성능 평가 및 최적 모델 제시 - 어선 조업형태 분석 및 어선용 리프렉터 요구조건 도출 - 레이더 전파의 전파특성 분석 및 소형어선 거동해석 - 어선용 리프렉터 최적위치 선정 - 어선용 리프렉터 모델 설계 및 제작 - 전파특성 분석, 성능 평가, 최적 리프렉터 모델 제시 - IMO, ISO 등 국외 규정분석, 충돌예방법규 분석 - 선박설비규정분석, 국내외 리프렉터설치 근거조항 제시 - 리프렉터 설치 타당성 제시
2 차 년도 (2002년 ~ 2003년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 어업용 리프렉터 신뢰성 실험과 시제품 제작 ○ 어선용 리프렉터 신뢰성 실험과 시제품 제작 ○ 리프렉터 설치 근거법제도 제시 	<ul style="list-style-type: none"> - 연근해어장, 어장밀집지역, 교통밀집지역 등에서 해상실험 - 실험분석 및 리프렉터 문제점 분석 - 수정 리프렉터 모델제작, 실험, 외부 전문가 평가 실시 - 어업용 리프렉터 시제품 제작 및 외부평가 - 기상악화 조건, 교통밀집지역의 해상실험 - 실험분석 및 리프렉터 문제점 분석 - 수정 리프렉터 모델 제작, 신뢰성 실험의 재반복 - 어선용 리프렉터 시제품 제작 및 외부평가 - 리프렉터 설치근거법 제시, 국제법상 표준만족여부평가 - 법제도화 방법 제시

3. 연구개발 추진체계

연구개발 추진체계는 다음 표와 같이 3개 세부분야를 1차년도부터 동시에 진행하면서, 1차

년도에는 주로 RCS 극대 리프렉터 모델을 제시하였고, 2차년도에는 해상에서 실선실험을 통한 신뢰성 평가로부터 실용화를 위한 리프렉터 시제품을 개발하였다.

자료수집 및 분석

- 국내외 연구자료 수집, 분석 및 RCS 증대 방안 제시
- 국외 제품 분석 및 평가



어업용 리프랙터 설계 평가	어선용 리프랙터 설계 평가	국내외 관련법 정립
<ul style="list-style-type: none"> - 어장 어업환경 특성조사 - 어장 구조물의 거동 해석 - 어업용 리프랙터 요구조건 도출 - RCS 극대화 알고리즘 개발 - 어업용 리프랙터 모델 설계 및 제작 - 어업용 리프랙터 전파특성 분석 - 어업용 리프랙터 성능 평가 - 최적 어업용 리프랙터 모델 제시 	<ul style="list-style-type: none"> - 어선 조업형태 분석 - 어선용 리프랙터 요구조건 도출 - 레이더 전파전파특성 분석 - 소형어선 거동 해석 - 어선용 리프랙터 최적위치 선정 - 어선용 리프랙터 모델 설계 및 제작 - 전파특성 분석과 성능 평가 - 최적 어선용 리프랙터 모델 제시 	<ul style="list-style-type: none"> - IMO 등 국외 규정 분석 - 충돌예방법규 분석 - 국내 선박설비규정분석 - 국내외법령의 리프랙터 설치강제화 근거 조항 및 타당성 제시



어업용 리프랙터 성능실험	어선용 리프랙터 성능실험	근거법 제도완성
<ul style="list-style-type: none"> - 연근해 어장에서의 해상실험 - 어장 밀집지역에서의 해상실험 - 교통 밀집지역에서의 해상실험 - 기상악화조건에서의 해상실험 - 실험분석 및 리프랙터 문제점 분석 - 수정 리프랙터 모델 제시 - 수정 리프랙터 모델 제작 및 재실험 - 외부 전문가 평가 실시 - 어업용 리프랙터 시제품 제작 	<ul style="list-style-type: none"> - 기상악화 조건 해상실험 - 교통밀집지역의 해상실험 - 실험분석 및 리프랙터 문제점 분석 - 수정 리프랙터 모델 제시 및 제작 - 신뢰성 실험의 재반복 - 외부 전문가 평가 실시 - 어선용 리프랙터 시제품 제작 	<ul style="list-style-type: none"> - 리프랙터 설치근거법 제시 - 국제법상 표준의 만족 여부 평가 - 법제도화 방법 제시



실 용 화

- 세미나 및 전시회 개최
- 기술이전 및 상품화(대량생산)
- 특허출원
- 다른 산업으로의 기술응용

제2장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 연구수행 방법

1. RCS 증대 방안 연구수행 방법

- 동, 남, 서해안 어촌 현장방문 실시하여 현황 분석하고, 100여편 관련 문헌 수집하여 분석
- 국외 상용 리프렉터 13종 수입하여 완전분해 후, 구조적 특성분석 실시하여 연구 기초자료로서 활용
- 이지스함, 미사일 회피장치 등에 적용되는 RCS 이론식 전개로 개발할 리프렉터 RCS 추정식 개발
- 함정 RCS 감소위한 방정식에 대해서 역방정식을 도출하여 개발할 리프렉터 모델에 적용
- 복합 모델의 경우, B.R Mahafza의 Swerling I, II, III, IV, V 모델 적용
- MATLAB을 이용한 이론 모델의 시뮬레이션 실행 (Signal Processing, Simulink 등)
- 한국해양대학교 전파흡수실에서 RCS 측정실시 및 실습선 ARPA/RADAR 실험으로 평가

2. 어선용 레이더 리프렉터 개발 연구수행 방법

- RCS 증대방안 이외에 어선 요동시 RCS 변동방지 위한 3축 짐발 장치 부착한 리프렉터 모델 개발 및 MATLAB의 MechaSim 이용한 6자유도 운동해석 후, 30여개 모델제작 및 RCS 측정 실험
- 실험결과, 동이나 알루미늄 원판이 무겁

고, 고가인 문제점 및 설치 방법 곤란 등이 발견되어 새로운 수정 형태 리프렉터 모델 개발 - 직경 15cm, 직경 30cm, 직경 45cm 등 3가지 원형 스토퍼폼 틀 사이에 알루미늄 포일 증착한 박막형태 리프렉터 삽입하여 새로운 어선용 부표형태 리프렉터 개발

- 이 형태는 경량이고 부유 가능하여 어선용 이외에 다양한 용도로 사용 가능하며, 목포항 PTMS에서 ECDIS와 ARPA/RADAR 이용한 해상실험 수행하여 최종 평가

3. 국내의 관련법 분석

- IMO에서 발행한 SOLAS, COLREG, Resolution, Circulation, Agenda 등과 국내 해상교통법, 민법, 상법 등 관련자료 수집과 국내 선박설비 규정 수집하여 분석 및 평가
- 리프렉터 강제장착 규정을 재정하는 경우의 민법, 형법, 공법 등에서의 지위문제 분석
- 선박검사협회에서 선박검사규정을 새로 개정하기 위한 작업에 착수하여 신규개정표를 작성하였고, 이를 해양수산부에 보고하여 새로운 선박설비규정을 개정하고 있다. (2004년도 개정 예정).

제2절 어선용 레이더 리프렉터 개발

1. 어선용 리프렉터 요구조건 도출

일반적으로 원양구역을 항해하는 선박에는 1974 SOLAS (International Convention for the Safety of Life At Sea, 1974: 1974년 국제해상인명안전협약)에 의거하여 S-band 와 X-band 등 두 가지 밴드의 레이더를 장착

하고 있다. S-band 레이더는 3GHz(10cm 파장)의 전자파를 이용하며 장거리 측정에 사용하고, X-Band 레이더는 9.4GHz(3.2cm 파장)의 전자파를 이용하며 단거리 측정에 사용한다.

소형선박이 항해하는 연안에서는 작은 물체를 탐지하기 위하여 X-band 레이더를 사용하고, S-band 레이더는 보조용으로 사용한다. 따라서, 레이더 리프렉터는 주로 X-band에 민감하게 반응하는 형태로 설계함을 알 수 있다.

또한, 리프렉터를 소형선박의 마스트나 깃대 위에 부착하는 경우 낙뢰에 의한 피해를 방지하기 위하여 낙뢰방지 시스템이 필요하다. 그리고, 소형어선과 같이 롤과 피칭(Roll and Pitching)이 심한 경우에는 리프렉터가 레이더 스캐너(scanner) 면과 어긋나서 RCS가 현격하게 저하되기 때문에 선체 요동에 의한 RCS 변동방지 대책도 필요하다.

2. 레이더 전파전파특성 분석

항해용 레이더는 X-band 와 S-band 레이더로 구분된다. 원양구역을 항해하는 상선은 두 가지 밴드 모두를 SOLAS 규정에 의거하여 장착하고 있으며, 소형선박의 경우 S-band 레이더보다 소형인 X-band 레이더를 장착하고 있다. X-band 레이더는 파장이 3.2cm인 9.4GHz를 전파하고, S-band 레이더는 X-band 레이더 보다 더 긴 10cm 파장의 3.0GHz를 전파한다. X-band 레이더는 파장이 S-band 레이더에 비하여 짧기 때문에 분해능이 더 우수하고, 더 작은 물체를 탐지할 수 있는 장점이 있으나, 비나 해면반사에 의한 간섭의 영향을 많이 받는 단점이 있다. 반면, S-band 레이더는 X-band 레이더보다 먼 거리에 있는 물체를 탐지할 수 있고, 비나 해면반사의 영향을 덜 받는 장점이 있으나, 작은 물체에 대해서는 감도가 떨어지는 단점을 갖는다.

대부분의 항해 선박은 연안에서, 고분해 능력과 소형물체 탐지능력이 우수한 X-band 레이

더를 사용한다. 원양에서 항해사들은 일반적으로 S-band 레이더를 사용하는데, 약 24mile 레인지에 레이더를 설정하여 사용하고 있다. 이러한 경우 S-band 레이더가 갖는 장거리탐지 능력과 비나 해면반사에 의한 간섭영향을 2.5배(-4dB) 까지 줄일 수 있는 장점이 있다. 한편, 파장(λ)의 제곱에 비례하여 레이더 성능이 저하되는 것은 리프렉터의 경우 치명적인 단점이다. 이론적으로 S-band 레이더는 파장이 X-band 레이더와 비교하여 3.125배(10cm/3.2cm) 길기 때문에 3.125의 제곱인 9.77배 즉, 약 1/10(-10dB)의 성능감소를 가져온다.

레이더 리프렉터의 성능은 일반적으로, 제곱미터(m^2)로 나타낸 레이더 유효반사면적(Radar Cross Section: RCS)으로 그 성능을 나타낸다. RCS(m^2) 측정은 그림 3-1과 같이 그 특성이 명확하게 규명된 금속구(metal sphere)를 기준으로 한다. 리프렉터의 성능을 기준과 비교한 데시벨(decibel: dB)로 나타내는 경우도 있는데, 일반적으로 대권 면적이 $1.0m^2$ 인 금속구와 비교한다.

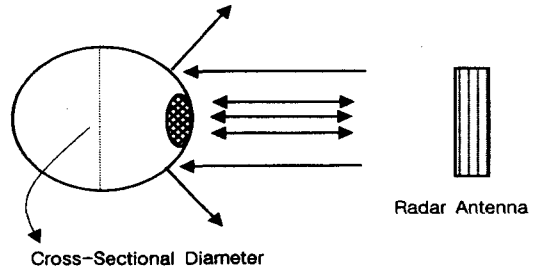


그림 3-1 레이더 리프렉터 성능을 표시하기 위한 금속구

레이더 리프렉터 설계에서 중요한 것은 가능한 큰 RCS를 갖도록 하는 것이다. 정수 중 X-band 레이더를 사용했을 때의 탐지 가능한 RCS는 $1m^2 \sim 3m^2$ 로 알려져 있다. 유명한 Firdell Blipper 리프렉터를 제작했던 GEC Marconi 사는 $2.5m^2$ 의 RCS를 X-band 레이

더에서 탐지 가능한 문턱치(threshold value)로 제안한 바 있는데, 이 값은 상용 레이더에서 일반적으로 허용 가능한 범위를 나타낸다. 레이더 리프렉터에서 성능에 중요한 영향을 미치는 것은 크기(size)이다.

리프렉터에서 반사 능력은 그 크기의 4승에 비례한다. 즉, 크기를 2배 증가하는 경우 유효 면적은 16배 증가(즉 12dB)한다. 또한, 리프렉터 크기를 19% 크게 하는 경우 성능은 2배 ($0.19^4=2.0$)가 된다. 또한, 리프렉터의 크기가 레이더 신호의 수 파장 이내로 들어올 정도로 크기가 작은 리프렉터는 그 기능을 중지한다. 따라서 X-band 레이더의 경우 파장이 3.2cm 이고, S-band 레이더는 10cm임을 고려하여 이 파장 보다 작은 물체를 탐지하는 경우 물체의 크기를 대신할 장치나 물질을 연구해야 한다.

한편, ARPA(Automatic Radar Plotting Aids) 시스템의 성능을 증가시켜 물체 탐지 능력을 증가시키는 방법도 고려할 수 있다. ARPA는 자동으로 물체를 추적하고 획득하는 장치로서, 물체가 근접하는 경우 경보음을 울린다. 그러나 ARPA의 경우, 물체가 레이더 화면 상에 나타날 때만이 탐지 가능하다는 점에 주목해야 하며, 연속된 3점이 나타나는 경우에만 유효한 물체로 간주하고 있다. 따라서 ARPA를 이용하는 경우라도 우선, 탐지할 물체 자체에 리프렉터와 같이 반사전파 강도를 증가시킬 수 있는 장치를 장착해야만 ARPA에서 탐지 가능하다.

또한, 중요한 것은 상선의 경우 야간 항해시 ARPA/RADAR에 의존하여 항해하고 있는데, 자동으로 물표를 탐지하도록 설정한 후, 물체가 3mile 이내로 접근하면 경보가 울리고 이 때 항해사가 피항조치를 취하게 된다. 그러나 최근 야간 해양사고 중에서 소형선박을 대형 상선이 덮치는 위험한 사고가 많이 발생하고 있는데, 이 것은 ARPA/RADAR가 소형 선박이 레이더에 연속하여 3회 이상 및 10회 스캔 중 5회

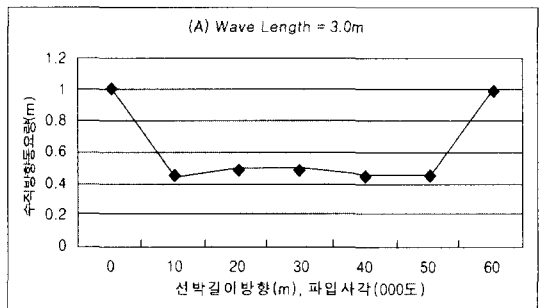
이상 포착되지 않기 때문에 항해사가 주위에 물표가 없다고 인식하고 항해하는데서 사건이 비롯되고 있다. 따라서, 레이더 리프렉터의 설치하는 ARPA/RADAR의 탐지능력을 강화시켜서 해양사고를 적극 예방할 수 있는 가장 유일한 방법이다.

3. 소형어선의 거동해석

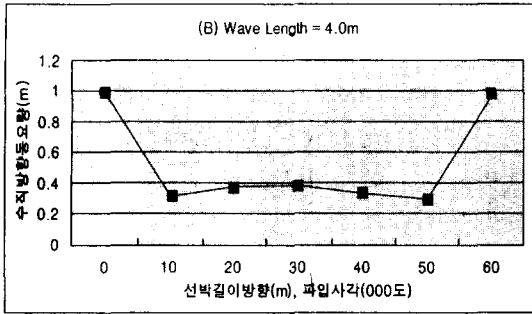
제3장 제2절에서 서술한 어장구조물의 동요 해석 시스템을 적용하여 소형선박 모형에 대한 거동 해석을 실시하였다. 세부내용으로는, 어업용 리프렉터 개발 내용에 기술한 내용과 같으며, 파장의 변화에 따른 거동해석, 소형선의 강성과 거동과의 관계, 수심과 거동과의 관계, 파의 입사 방향 변화에 따른 거동 등을 해석하였다. 해석 시스템에는 유한요소법(FEM)과 경계요소법(BEM)을 이용하였다.

가. 파장별 선박의 동요 해석 결과

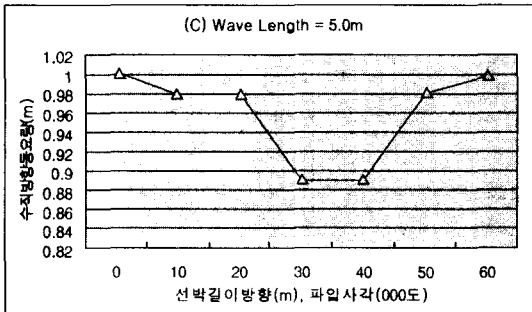
입사하는 파의 길이(WL; Wave Length)의 변화에 따른 선박의 동요해석 결과는 그림 3-2 A~E에 나타낸다. 그림 3-2 A~E는 선체의 종방향(선수, 중앙부, 선미)의 동요를 파장별로 나타낸 것이다. 종축의 W는 수직방향의 진폭을 나타낸다. 파고는 각각 3.0m인 경우에 대하여 계산을 수행하였다. 최대값은 파장 8.0m에서 약1.62m로 계산되었다.



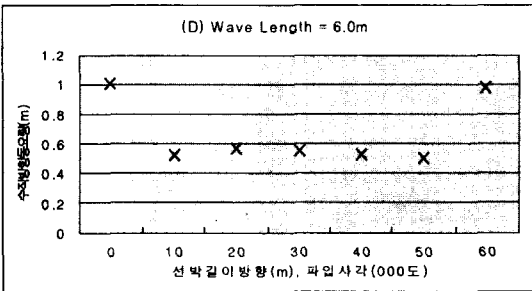
A : 파장별 선박의 동요 해석 결과(파장=3.0m)



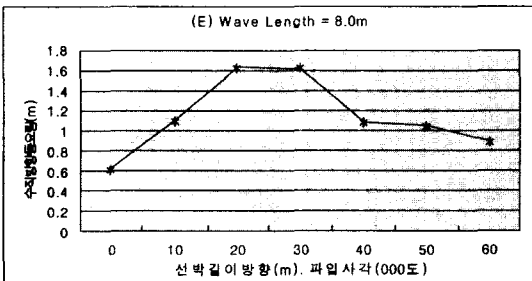
B : 파장별 선박의 동요 해석 결과(파장=4.0m)



C : 파장별 선박의 동요 해석 결과 (파장=5.0m)



D : 파장별 선박의 동요 해석 결과 (파장=6.0m)

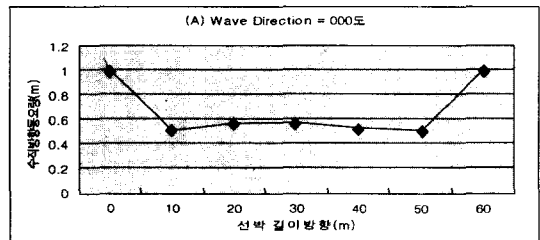


E : 파장별 선박의 동요 해석 결과 (파장=8.0m)

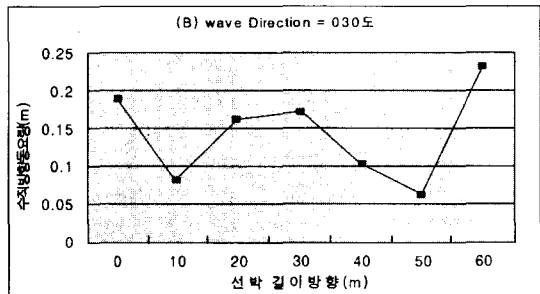
그림 3-2 파장별 소형 선박의 동요 해석 결과

나 입사 파향별 선박의 동요 해석 결과
 입사하는 파의 방향이 변하면 선박의 동요특성이 어떻게 변화하는가를 파악하기 위하여 0, 30, 60, 90도의 각도로부터 입사시켜, 파의 방향에 따른 동요의 특성을 검토하였다.

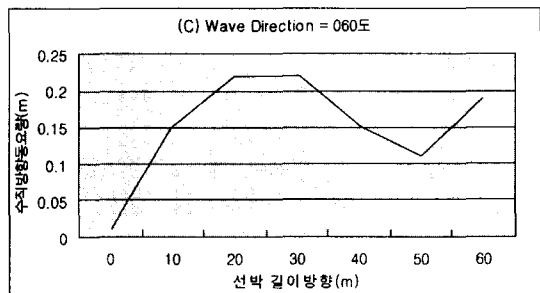
그림 3-3 A~D는 파의 입사방향에 따른 선체 종방향의 동요량을 나타낸다. 파향별 최대값은 파가 선수방향에서 작용할 때 1.01m 계산되었다. 그림 3-3 E~G는 파의 입사방향에 따른 선체 폭 방향의 중앙부의 동요량을 나타낸다.



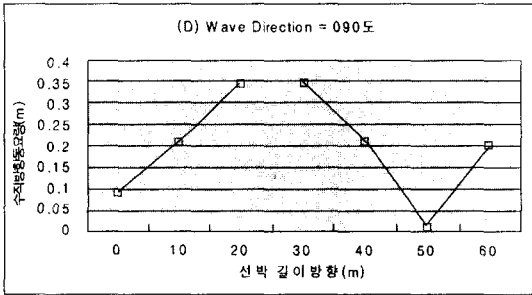
A : 파향별 선박의 동요 해석 결과 (파향 000도)



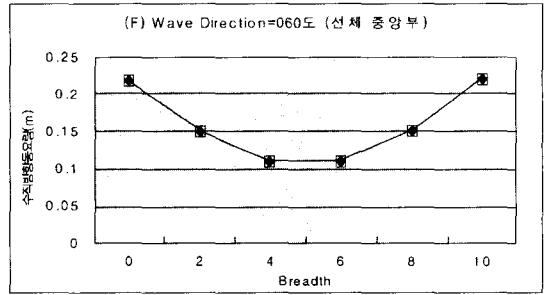
B : 파향별 선박의 동요 해석 결과 (파향 030도)



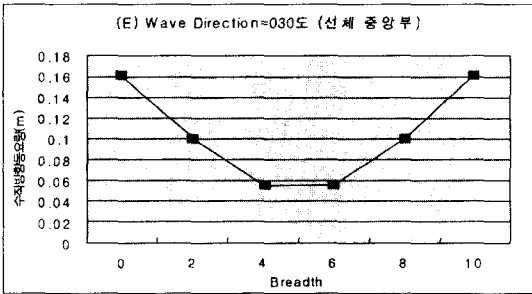
C : 파향별 선박의 동요 해석 결과 (파향 060도)



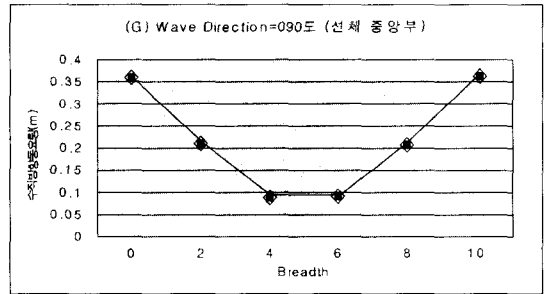
D : 파향별 선박의 동요 해석 결과 (파향 090도)



F : 파향별 선박의 동요 해석 결과 (파향 060도, 선체 중앙부)



E : 파향별 선박의 동요 해석 결과 (파향 030도, 선체 중앙부)



G : 파향별 선박의 동요 해석 결과 (파향 090도, 선체 중앙부)

그림 3-3 파향별 선박의 동요 해석 결과

유한요소법(FEM)을 적용하여 어업용 바지모양과 함께 소형선박 모형에 대한 거동 해석을 실시하였다. 파장의 변화에 따른 거동해석, 소형선의 강성과 거동과의 관계, 수심과 거동과의 관계, 파의 입사 방향 변화에 따른 거동해석 등을 행하였다. 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 유한요소법(FEM) 프로그램을 개발하여 소형선박 구조 부분의 해석이 가능하였고, 소형선박 유체 부분을 해석하기 위하여 경계요소법 프로그램을 개발하였다.

둘째, 구조부분 해석을 위한 유한요소법 프로그램과 유체 부분 해석을 위한 경계요소법 프로그램을 통합한 시스템으로 소형선의 파랑에 대한 동적응답특성의 해석이 가능하였다.

이상의 해석결과, 리프렉터를 소형선박에 설치하는 경우의 파랑에 의한 물과 핏칭이 심함으

로 이에 대한 방지대책이 요구됨을 알았다. 또한 리프렉터 설치 최적위치는 가능한 선저로부터 가까운 즉, 가능한 높이가 낮게 설치해야 RCS 변동을 방지할 수 있음을 알았고, 특히, 선체 조화진동에 Pole이 공진되는 경우에 Pole의 진동이 심하게 증폭됨으로 주의해야함을 알았다. 그러나 RCS 크기를 크게 하려면 수면으로부터 적어도 1m이상의 높이를 확보하여 장착해야 효과적이다. 선박의 동요의 영향을 고려한다면 동요방지용 짐발장치를 장착한 레이더 리프렉터가 보다 더 효과적일 것으로 사료된다.

4. 어선용 리프렉터 최적위치 선정

위의 연구결과를 토대로, 어선용 리프렉터는 소형어선이 작은 파도와 바람에 의해서도 물과

핏칭이 심하므로 가능하면 수면에 가까운 위치에 장착하는 것이 유리하지만, 레이더에 잘 감지되기 위해서는 가능한 수면에서 높이 장착해야 한다. 또한, 소형 어선의 경우 마스트 부분에 별도의 공간을 확보하여 설치해야 하는 어려움도 있지만, 선원들이 조업하는 장소에는 더더욱 설치하기가 곤란하다.

따라서, 위의 연구결과 가능하면 선박의 저점 부근 즉, 수면 부근에 설치해야 하나, 실용상 선박의 마스트 부분에 설치할 수밖에 없는 것으로 판단된다. 또한, 깃발을 이용한 리플렉터의 경우, 상기의 분석 내용과는 달리 선미나 깃대에 게양하기 때문에 이러한 깃발을 이용한 리플렉터 개발도 유용한 방법일 것으로 검토되었다.

따라서, 소형선박의 경우 이론 해석에 의한 위치보다는 실용상 작업에 지장을 주지 않는 위치를 선정하여 그 곳에 리플렉터를 설치하는 것이 타당할 것으로 판단되었다.

야간 항행을 위하여 마스트를 가진 어선에는 마스트 위에 장착하면 되나, 마스트가 없는 소형 어선의 경우에는 별도의 마스트를 달아서 리플렉터를 장착해야 하는 문제점을 안고 있다. 그러나 이러한 마스트들이 조업에 지장을 주기 때문에 마스트가 없는 소형선박들에 리플렉터를 장착하기 위해서는 보다 더 효과적인 연구가 이루어져야 한다. 즉 어민단체, 공무원, 선박 검사단체, 학계 등 관련 전문가들이 모여서 레이더 리플렉터 장착을 위한 많은 검토를 해야 할 것으로 사료된다.

5. 어선용 리플렉터 이론 모델 분석

어선용 리플렉터의 모델을 설계, 제작하기 위하여 정리한 이론식과 내용 및 분석결과는 다음과 같다.

가. 원형 평판의 RCS

그림 3-4는 원점에 중심이 있고, 반경 r 을 갖는 원형 평판을 나타낸다. 좌우 대칭(circular symmetry) 특성을 갖기 때문에 후방산란되는

RCS(σ)는 수평각 ϕ 에 관계없이 고각 θ 에 대해서만 영향을 받는다.

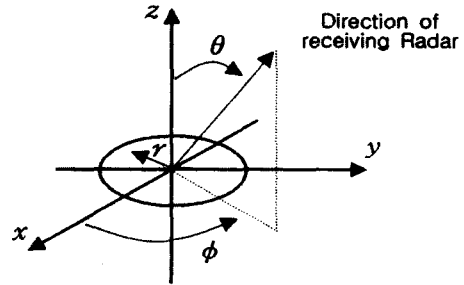


그림 3-4 원형 평판의 좌표계

원형 평판에 수직으로 전파가 입사될 때, RCS(σ)는 다음 식(3-1)과 같고,

$$\sigma = \frac{4\pi^3 r^4}{\lambda^2}, \theta = 0^\circ \quad (3-1)$$

그 외의 방향으로 입사되는 경우, 선형적으로 편광된 입사파에 대해서는 다음과 같은 두 가지 근사식 (3-2)와 (3-3)으로 나타낼 수 있다.

$$\sigma = \frac{\lambda r}{8\pi \sin\theta (\sin\theta)^2}, \theta \neq 0^\circ \quad (3-2)$$

$$\sigma = \pi k^2 r^4 \left\{ \frac{2J_1(2kr \sin\theta)}{2kr \sin\theta} \right\}^2 (\cos\theta)^2, \theta \neq 0^\circ \quad (3-3)$$

나. 사각 평판의 RCS

그림 3-5는 x - y 평면에 나타낸 사각 평판이다. 판의 두 개 면을 각각 $2a$ 와 $2b$ 로 나타냈다.

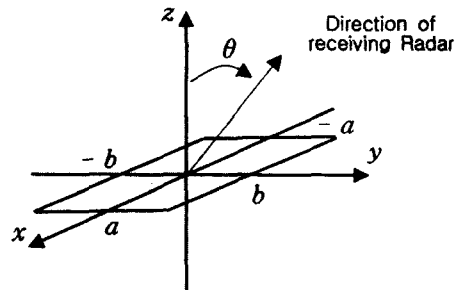


그림 3-5 사각형 평판의 좌표계

x-y 평면에 선형적으로 편광된 입사파에 대해서 수평 후방산란 RCS(σ_H)와 수직 후방산란 RCS(σ_V)는 다음 식과 같이 나타난다.

$$\sigma_V = \frac{b^2}{\pi} \left| \sigma_{1V} - \sigma_{2V} \left[\frac{1}{\cos\theta} + \frac{\sigma_{2V}}{4} (\sigma_{3V} + \sigma_{4V}) \right] \sigma_{5V}^{-1} \right|^2 \quad (3-4)$$

$$\sigma_H = \frac{b^2}{\pi} \left| \sigma_{1H} - \sigma_{2H} \left[\frac{1}{\cos\theta} + \frac{\sigma_{2H}}{4} (\sigma_{3H} + \sigma_{4H}) \right] \sigma_{5H}^{-1} \right|^2 \quad (3-5)$$

여기서, $k = 2\pi/\lambda$ 이고,

$$\sigma_{1V} = \cos(kasin\theta) - j \frac{\sin(kasin\theta)}{\sin\theta} = (\sigma_{1H})^* \quad (3-6)$$

여기서, *는 복소공액(complex conjugate).

$$\sigma_{2V} = \frac{e^{j(ka - \pi/4)}}{\sqrt{2\pi}(ka)^{3/4}} \quad (3-7)$$

$$\sigma_{3V} = \frac{(1 + \sin\theta) e^{-jkasin\theta}}{(1 - \sin\theta)^2} \quad (3-8)$$

$$\sigma_{4V} = \frac{(1 - \sin\theta) e^{jkasin\theta}}{(1 + \sin\theta)^2} \quad (3-9)$$

$$\sigma_{5V} = 1 - \frac{e^{j(2ka - \pi/2)}}{8\pi(ka)^3} \quad (3-10)$$

$$\sigma_{2H} = 1 - \frac{4e^{j(ka + \pi/4)}}{\sqrt{2\pi}(ka)^{1/2}} \quad (3-11)$$

$$\sigma_{3H} = \frac{e^{-jkasin\theta}}{1 - \sin\theta} \quad (3-12)$$

$$\sigma_{4H} = \frac{e^{jkasin\theta}}{1 + \sin\theta} \quad (3-13)$$

$$\sigma_{5H} = 1 - \frac{e^{j(2ka + \pi/2)}}{2\pi(ka)} \quad (3-14)$$

위의 식(3-4)과 식(3-5)는 $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 에 대해서 정확한 값을 계산할 수 있다. 고각 θ 와 수평각 ϕ 방향으로 입사되는 전파에 대해서 이상적으로 얇은 사각 평판에 대한 후방산란 RCS(σ)는 다음 식(3-15)와 같이 근사될 수 있다.

$$\sigma = \frac{4\pi a^2 b^2}{\lambda^2} \left[\frac{\sin(a k \sin\theta \cos\phi)}{a k \sin\theta \cos\phi} - \frac{\sin(b k \sin\theta \sin\phi)}{b k \sin\theta \sin\phi} \right]^2 (\cos\theta)^2 \quad (3-15)$$

위의 식(3-15)는 편광에 대해서 독립적이며 단, $\theta \leq 20^\circ$ 인 입사각에 대해서만 유효하다.

다. 삼각 평판의 RCS

그림 3-6은 이등변 삼각 평판의 좌표계를 나타낸다.

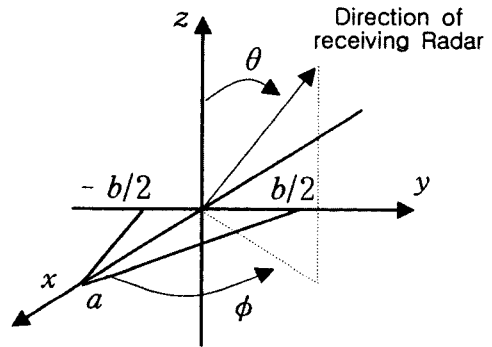


그림 3-6 이등변 삼각 평판의 좌표계

그림 3-6에서 30도이하의 작은 입사각을 고려하는 경우, 후방산란 RCS(σ)는 다음 식(3-16)과 같이 근사될 수 있다.

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2} (\cos\theta)^2 \sigma_0 \quad (3-16)$$

여기서,

$$\sigma_0 = \frac{[(\sin\alpha)^2 - (\sin(\beta/2))^2]^2 + \sigma_{01}}{\alpha^2 - (\beta/2)^2} \quad (3-17)$$

$$\sigma_{01} = 0.25(\sin\phi)^2 [2(ab)\cos\phi \sin\beta - \sin\phi \sin 2\alpha]^2 \quad (3-18)$$

그리고, $\alpha = k a \sin\theta \cos\phi$, $\beta = k b \sin\theta \sin\phi$, $A = ab/2$.

수평각 $\phi=0$ 로 입사되는 전파에 대해서 위의 식(3-16)은 다음 식(3-19)와 같이 되고,

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2} (\cos\theta)^2 \left[\frac{(\sin\alpha)^4}{\alpha^4} + \frac{(\sin 2\alpha - 2\alpha)^2}{4\alpha^4} \right] \quad (3-19)$$

수평각 $\phi = \pi/2$ 에 대해서는 다음 식(3-20)과 같이 된다.

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2} (\cos\theta)^2 \left[\frac{(\sin(\beta/2))^4}{(\beta/2)^4} \right] \quad (3-20)$$

라. 계산 결과

먼저, 원형 평판에 대한 식 (3-2)와 식 (3-3)를 이용하여 계산한 RCS(σ)를 그림 3-7에 나타냈다. 그리고 사각형 평판에 대해서 수직 후방산란 σ_v 에 대한 식(3-4)와 수평 후방산란 σ_H 에 대한 식(3-5) 및 고각 θ 와 수평각 ϕ 에 대한 근사식(3-15)를 이용한 RCS 계산결과를 그림 3-8과 그림 3-9에 각각 나타냈다. 그림 3-10과 그림 3-11은 이등변 삼각 평판에 대한 식(3-19)와 식(3-20)를 이용하여 계산한 결과로서, 그림 3-10은 $\phi = 0$ 도일 때의 결과이고, 그림 3-11은 $\phi = 90$ 도일 때의 결과이다.

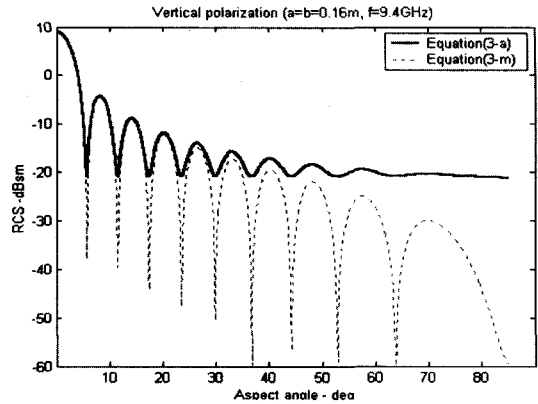


그림 3-8 사각형 평판에 대한 수직 후방산란 σ_v 계산결과

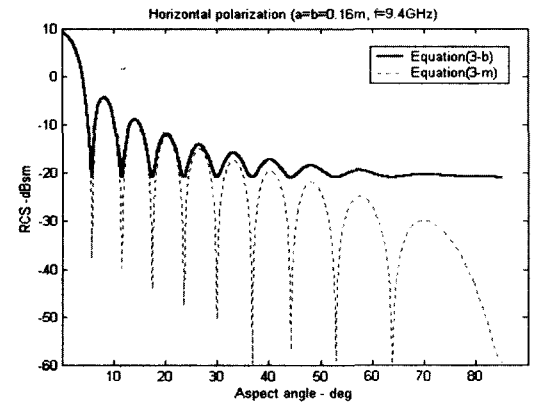


그림 3-9 사각형 평판에 대한 수평 후방산란 σ_H 에 대한 RCS 계산결과

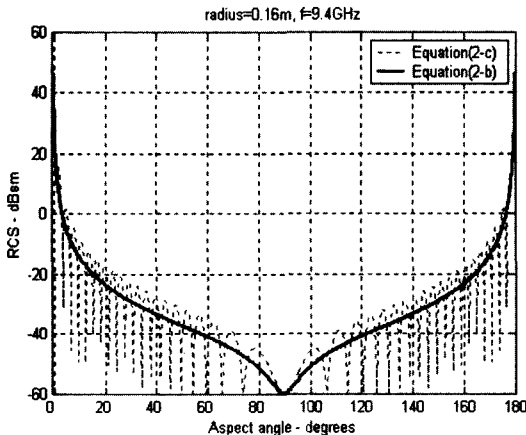


그림 3-7 원형 평판에 대한 RCS 계산결과

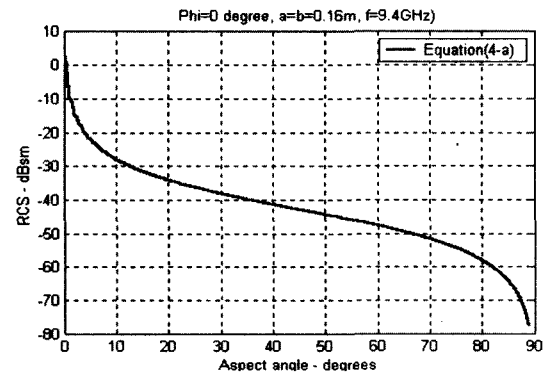


그림 3-10 이등변 삼각 평판에 대한 $\phi = 0$ 도 일때 RCS 계산결과

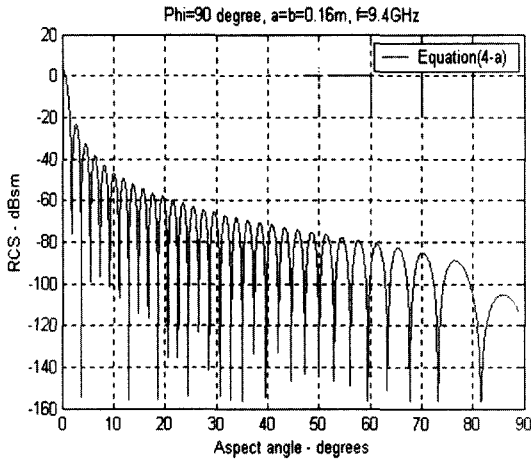


그림 3-11 이등변 삼각 평판에 대한 $\phi=90$ 도 일때 RCS 계산결과

그림 3-7부터 그림 3-11까지에 나타낸 RCS 계산결과는 3가지 평판이 모두 대칭이기 때문에 수평각 0도부터 180도 또는, 0도부터 90까지만 나타냈고, MATLAB 6.1을 이용하여 프로그램을 작성한 후 계산하였다. 그리고 5가지 결과에 대한 계산조건은, $a=b=16\text{cm}$, $\gamma=16\text{cm}$, $\lambda=3.2\text{cm}(9.4\text{GHz})$ 로 공통이고, 이 값들은 현재 상용 레이더 리프렉터에 일반적으로 적용되고 있는 값이다.

위의 5가지 결과를 분석하면, 고각 $\theta=0$ 에 서의 RCS 값의 순위는 원형평판 > 사각평판 > 삼각평판 순서로 나타났다. 그림 3-7의 원형

평판을 보면, 입사각 변화에 따라서 급격한 감쇠를 나타내며, 간격이 좁은 널(null)이 발생하고, 그림 3-8과 그림 3-9의 사각 평판은 수직 후방산란 σ_v 과 수평 후방산란 σ_H 에 대한 RCS가 대등하게 나타나며, 입사각 변화에 따른 감쇠현상이 다른 형태 보다 적으며 널의 간격이 넓은 것으로 나타났다. 그리고 그림 3-10의 삼각 평판에서 $\phi=0$ 도로 주어질 때, 급속한 감쇠 특성을 나타내고 있는 반면, $\phi=90$ 도인 그림 3-11의 경우, 감쇠특성은 $\phi=0$ 도일 때와 대등하면서 간격이 좁고 깊은 널이 나타나고 있다.

이상의 결과로부터, 평가에 사용한 3가지 종류의 형태 중에서 RCS가 가장 큰 원형평판을 리프렉터로 이용하는 경우에는 입사각 변동에 따른 급격한 감쇠특성에 주의해야하고, 사각평판을 이용하는 경우에는 간격이 넓은 깊은 널에 주의해야하며, 삼각평판의 경우는 경사각 변동에 따른 감쇠특성에 주의해야함을 알 수 있다.

이러한 계산결과는 단순한 형태의 반사체에 대한 것일 뿐이기 때문에 최적형상 결정을 위한 실험결과로는 부족하다. 그래서, 두 번째 분석단계로서, 다음과 같이 단순한 평판의 3개 면으로 구성된 트리헤드럴(Tri-hedral) 형태의 레이더 반사체에 대한 RCS(σ)를 이용하여 특성 분석을 시도하였다.

<다음호에 계속>