



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

차세대 잠수함 음향표적강도 기준치
정립 방안 연구

A Study on the Setting Procedure of
Standard Value of Acoustic Target Strength
of Advanced Submarines

2018년 2월

서울대학교 대학원

조선해양공학과

홍 성 택

차세대 잠수함 음향표적강도 기준치 정립 방안 연구

지도교수 홍 석 윤

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함
2018년 2월

서울대학교 대학원
조선해양공학과
홍 성 태

홍성태의 석사 학위논문을 인준함
2018년 2월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

차세대 잠수함 음향표적강도 기준치 정립 방안 연구

초록

현대 전장에서서 무기체계가 점점 첨단화되고 다양화됨에 따라 함정의 생존성에 영향을 미치는 특수성능의 중요성이 대두되고 있다. 함정의 생존성은 피탐지율이 직접적으로 관련되는데, 고도로 발전된 탐지 시스템의 개발로 적의 탐색 장비에 감지될 확률을 감소시키는 스텔스 기술은 함정의 생존성 향상에 있어서 가장 중요한 기술 중 하나이다. 함정의 특수성능에는 레이다 반사면적(Radar Cross Section, RCS), 음향표적강도(Acoustic Target Strength, TS), 적외선신호(Infra Red, IR), 수중방사소음(Underwater Radiated Noise, URN), 함내 소음, 충격(Shock), 진동(Vibration) 등이 있다.

과거에 순항거리, 최고속력 등 기본성능과 무장 등의 전투성능을 만족하는 것이 목표였지만, 최근에는 이러한 특수성능의 관리를 통해서 함정의 생존성을 향상시키는 것이 함정 설계/건조의 중요한 목표라고 할 수 있다. 수중방사소음 등 함정 설계/건조시 특수성능 기준치를 설정하여 관리하고 있다. 현재 해군에서 수상함의 경우 수중방사소음, 함내소음 등은 기준치를 설정하고, 설계시 실측을 하는 등 엄격하게 특수성능에 대한 관리가 이루어지고 있다. 레이다 반사면적(RCS)과 적외선 신호(IR) 또한 최근 ‘스텔스’ 함정이 키워드로 떠오르면서 중요한 특수성능 중 하나로써 기준치를 설정하여 관리하고 있는 상황이다.

잠수함은 은밀성을 이용하여 적 해군전력 및 핵심 시설타격 등 주

요 임무를 수행 할 수 있는 해군의 중요한 비대칭 전력이다. 은밀성이 강조되는 잠수함은 수중에서 작전을 수행하는 특성이 있기 때문에, 수상함의 특수성능과는 조금 다르게 수중방사소음(URN)과 음향표적강도(TS)가 가장 생존성에 영향을 미치는 특수성능이다. 따라서 이 두 특수성능을 어떻게 관리하느냐에 따라 잠수함의 생존성이 결정된다고 할 수 있다. 그 중 음향표적강도는 잠수함의 생존성, 기술적 건조가능성, 작전운용성 등에 영향을 미치는 중요한 특수성능이다.

현재 대한민국 해군에서는 209/214급 잠수함의 음향표적강도 실측자료나 해석결과 등 관련 자료가 거의 확보되지 않고 있다. 기준치 또한 관련 자료가 부족하여 설정하지 않고, 설계 목표치라고 할 수 있는 성능지향수준만 설정하고 시험평가 수행시 자료에 의한 평가만 실시하는 등 이에 대한 관리 미흡한 상황이다.

따라서 본 논문에서는 잠수함 음향표적강도에 영향을 미치는 각 요소들과, 처음으로 능동소나방정식에 작전개념을 적용하여 대한민국 해군 잠수함의 음향표적강도 기준치를 설정하였고, 해석을 통해 실제 운용 잠수함의 음향표적강도를 분석하여 감소방안을 분석함으로써 차세대 잠수함의 음향표적강도 기준치 정립 및 관리 방안을 제시하였다.

주요어 : 음향표적강도(Acoustic Target Strength), 능동소나방정식(Active Sonar Equation), 잠수함(Submarines), 기준치(Standard Value)

학 번 : 2016-21144

목 차

초록	1
목차	3
표 목차	7
그림 목차	9
1. 서론	1
1.1. 연구배경 및 목적	1
1.2. 논문구성	2
2. 함정 특수성능	5
2.1. 도입	5
2.2. 함정 특수성능 개념	5
2.2.1. 수중방사소음(URN)	6
2.2.2. 음향표적강도(TS)	8
2.2.3. 레이더 반사면적(RCS)	10
2.2.4. 적외선 신호(IR)	12
2.2.5. 내충격(Shock)	14
2.3. 함정 특수성능 관리현황	15
2.3.1. 수중방사소음(URN)	15
2.3.1.1. 국외 수중방사소음 관리현황	15
2.3.1.2. 국내 수중방사소음 관리현황	16
2.3.2. 음향표적강도(TS)	17
2.3.2.1. 국외 음향표적강도 관리현황	17

2.3.2.2. 국내 음향표적강도 관리현황	18
2.3.3. 레이더 반사면적(RCS)	19
2.3.3.1. 국외 레이더 반사면적 관리현황	19
2.3.3.2. 국내 레이더 반사면적 관리현황	20
2.3.4. 적외선 신호(IR)	23
2.3.4.1. 국외 적외선 신호 관리현황	23
2.3.4.2. 국내 적외선 신호 관리현황	25
2.3.5. 충격(Shock)	27
2.3.5.1. 국외 충격 관리현황	27
2.3.5.2. 국내 충격 관리현황	29
3. 음향표적강도 일반	47
3.1. 도입	47
3.2. 음향표적강도 예측기법	47
3.2.1. 간단한 형상을 갖는 표적의 음향표적강도	47
3.2.2. 고주파수 영역에서의 음향표적강도	50
3.2.3. SCS	50
3.2.4. 음향표적강도와 SCS와의 관계	51
3.2.5. 고주파수 영역에서의 음향표적강도 예측기법	52
3.2.5.1. 도입	52
3.2.5.2. 기하광학(GO)	53
3.2.5.3. 물리광학(PO)	56
3.2.5.4. 광학 기반의 기법을 이용한 음향표적강도 추정방법	57
3.2.6. 복잡한 표적의 SCS 추정	57
3.2.6.1. 도입	57
3.2.6.2. Gauss 및 Green 정리	58
3.2.6.3. Helmholtz-Kirchhoff's Integral Equation	60
3.2.6.4. Kirchhoff's approximation	61
3.2.6.5. 임의의 다각형 평판에 대한 SCS	63

4. 음향표적강도 기준치 설정	68
4.1. 도입	68
4.2. 잠수함 작전개념	68
4.3. 소나방정식	68
4.3.1. 소나 출력레벨	70
4.3.2. 전달손실	70
4.3.3. 배경소음	73
4.3.4. 지향특성	74
4.3.5. 탐지경계레벨	75
4.4. 소나방정식을 이용한 음향표적강도 기준치 설정	75
4.4.1. 위협고각	76
4.4.2. 위협주파수	76
4.4.3. 위협방위각	77
4.4.4. 기준치 설정 - Case 1	77
4.4.5. 기준치 설정 - Case 2	78
4.4.6. 기준치 설정 - Case 3	78
5. 음향표적강도 예측 및 분석	91
5.1. 도입	91
5.2. 음향표적강도 해석 S/W - TASTRAN	91
5.2.1. TASTRAN 구성	91
5.2.2. TASTRAN 검증	92
5.3. 음향표적강소 해석 - Case 1	92
5.4. 음향표적강소 해석 - Case 2	93
5.5. 음향표적강소 해석 - Case 3	94
6. 음향표적강도 기준치 정립 방안	112
6.1. 도입	112

6.2. 음향표적강도 기준치 정립 방안	112
6.2.1. 음향표적강도 기준치 < 예측수준	113
6.2.2. 음향표적강도 기준치 > 예측수준	114
7. 결론	118
참고문헌	120

표 목 차

표 1.1 함정 특수성능 기준치 적용 현황	4
표 2.1 함정 특수성능 개념	32
표 2.2 함정 수요 소음원 및 감소대책	32
표 2.3 함정 적외선 신호(중적외선) 감소기술 선진국 수준 ...	35
표 2.4 스텔스 소재 개발기술 선진국 수준	35
표 2.5 적외선 신호 분류	35
표 2.6 함정 적외선 신호(원적외선) 감소기법	37
표 2.7 국외 해군 수중방사소음 계측체계 운용현황	39
표 2.8 국내 RCS 해석 S/W 보유 현황	43
표 2.9 국내 함정 탑재 장비용 충격시험기 보유 현황	44
표 4.1 소나배열 지향특성	84
표 4.2 NL, TL - Case 1	87
표 4.3 SL, DI, DT - Case 1	88
표 4.4 음향표적강도 기준치 설정 - Case 1	88
표 4.5 NL, TL - Case 2	89
표 4.6 SL, DI, DT - Case 2	89
표 4.7 음향표적강도 기준치 설정 - Case 2	90
표 4.8 음향표적강도 기준치 설정 - Case 1, 2, 3	90
표 5.1 TASTRAN 특징	97
표 5.2 잠수함 축소모형 제원	98
표 5.3 OO-I급 잠수함 주요 제원	99
표 5.4 OO-I급 잠수함 해석조건	100
표 5.5 OO-I급 잠수함 해석결과	102
표 5.6 OO-II급 잠수함 주요 제원	103

표 5.7	OO-II급 잠수함 해석조건	104
표 5.8	OO-II급 잠수함 해석결과	107
표 5.9	OO-III 잠수함 주요 제원	107
표 5.10	OO-III 잠수함 해석조건	108
표 5.11	OO-III 잠수함 해석결과	111
표 6.1	OO-I급 잠수함 기준치 vs 예측수준	118
표 6.2	OO-II급 잠수함 기준치 vs 예측수준	119
표 6.3	OO-III 잠수함 기준치 vs 예측수준	120

그림 목 차

그림 1.1	함정의 생존성능과 스텔스 기술	4
그림 2.1	수중방사소음 스펙트럼 분포도	33
그림 2.2	한국해양연구원 대형 캐비테이션 터널	33
그림 2.3	Prairie/Masker System 비교	34
그림 2.4	가스터빈 차폐상자 및 탄성마운트	34
그림 2.5	적외선 대역별 대기 투과도	36
그림 2.6	함정 적외선 신호(중적외선) 감소기술	36
그림 2.7	스프레이, 커튼방식 노즐 형상	37
그림 2.8	수중폭발 충격파에 대한 내충격 강화의 목적	38
그림 2.9	미 해군 원자력 잠수함의 URN 변화	38
그림 2.10	ICES CRR, 209 Recommendation	39
그림 2.11	미국 수중방사소음 측정체계 운용현황	40
그림 2.12	프랑스 수중방사소음 측정체계 운용현황	40
그림 2.13	영국 수중방사소음 측정체계 운용현황	41
그림 2.14	수중방사소음 측정방법	41
그림 2.15	함정 IRSS	42
그림 2.16	DDG-81 실선 충격시험 시뮬레이션 모델	42
그림 2.17	Air Gun Array를 이용한 친환경적 실선 충격 시험 개념도	43
그림 2.18	소해함 실선 충격시험 장면	44
그림 2.19	SEAFAC 시험장 모습	45
그림 2.20	스웨덴 잠수함 음향표적강도 실험 모습	46
그림 2.21	스웨덴 잠수함 음향표적강도 실험 개략도	46
그림 3.1	Intuitive definition for SCS	66

그림 3.2	SCS expression in Geometrical Optics	67
그림 3.3	Geometrical optics reflection from a doubly curve surface	67
그림 4.1	해역특성(표층수온, 염분)	80
그림 4.2	능동소나방정식 개념도	80
그림 4.3	수동소나방정식 개념도	81
그림 4.4	음파의 확산(구면파 및 원통형파)	81
그림 4.5	수심에 따른 음파 손실	82
그림 4.6	음파 굴절 현상 및 Shadow Zone	82
그림 4.7	Wenz의 해양소음 스펙트럼	83
그림 4.8	잠수함 작전개념도	84
그림 4.9	음향표적강도 기준치 설정 절차	84
그림 4.10	잠수함 음향표적강도 해석결과	85
그림 4.11	수상함 RCS Cardinal Point	85
그림 4.12	잠수함 작전환경	86
그림 4.13	잠수함 위협세력	87
그림 5.1	TASTRAN 주요 기능	96
그림 5.2	TASTRAN 해석 절차	96
그림 5.3	TASTRAN 검증 결과	98
그림 5.4	OO-I급 잠수함 모델링	99
그림 5.5	OO-I급 잠수함 해석결과 - 3 kHz	100
그림 5.6	OO-I급 잠수함 해석결과 - 10 kHz	101
그림 5.7	OO-I급 잠수함 해석결과 - 30 kHz	101
그림 5.8	OO-I급 잠수함 구조물 해석결과 - 30 kHz	102
그림 5.9	OO-II급 잠수함 모델링	103
그림 5.10	OO-II급 잠수함 해석결과 - 3 kHz	104
그림 5.11	OO-II급 잠수함 해석결과 - 10 kHz	105

그림 5.12	OO-II급 잠수함 해석결과 - 30 kHz	105
그림 5.13	OO-II급 잠수함 구조 특징	106
그림 5.14	OO-II급 잠수함 구조물 해석결과 - 30 kHz	106
그림 5.15	OO-III급 잠수함 모델링	108
그림 5.16	OO-III급 잠수함 해석결과 - 3 kHz	109
그림 5.17	OO-III급 잠수함 해석결과 - 10 kHz	109
그림 5.18	OO-III급 잠수함 해석결과 - 30 kHz	110
그림 5.19	OO-III급 잠수함 구조 특징	110
그림 5.20	OO-III급 잠수함 구조물 해석결과 - 30 kHz	111
그림 6.1	OO-I급 잠수함 모델	115
그림 6.2	OO-II급 잠수함 모델	116
그림 6.3	OO-III급 잠수함 모델	117

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

현대 전장에서서서 무기체계가 점점 첨단화되고 다양화됨에 따라 함정의 생존성에 영향을 미치는 특수성능의 중요성이 대두되고 있다. 함정의 생존성은 피탐지율이 직접적으로 관련되는데, 고도로 발전된 탐지 시스템의 개발로 적의 탐색 장비에 감지될 확률을 감소시키는 스텔스 기술은 함정의 생존성 향상에 있어서 가장 중요한 기술 중 하나이다. 함정의 생존성은 그림 1.1과 같이 피격성, 취약성, 회복성 등으로 구분 할 수 있다. 함정의 피격성은 피격될 확률을, 취약성은 피격되어 손상될 확률, 회복성은 피격 후 주요 기능이 일정수준 이상으로 돌아오는 능력을 의미한다. 최근에는 함정의 스텔스에 직접적인 요소인 피격성과 피격되는 위치에 따라 달라지는 피격성을 연계하여 생존성을 향상시키는 연구가 활발히 진행 되고 있다. 함정의 특수성능에는 레이더 반사면적(Radar Cross Section, RCS), 음향표적강도(Acoustic Target Strength, TS), 적외선신호(Infra Red, IR), 수중방사소음(Underwater Radiated Noise, URN), 함내 소음, 충격(Shock), 진동(Vibration) 등이 있다.

과거에 순항거리, 최고속력 등 기본성능과 무장 등의 전투성능을 만족하는 것이 목표였지만, 최근에는 이러한 특수성능의 관리를 통해서 함정의 생존성을 향상시키는 것이 함정 설계/건조의 중요한 목표라고 할 수 있다. 수중방사소음 등 함정 설계/건조시 특수성능 기준치를 설정하여 관리하고 있다. 현재 해군에서 적용 중인 특수성능 기준치 설정 현황은 표 1.1과 같다. 표 1.1과 같이 수상함의 경우 수중방사소음(URN), 함내소음 등은 기준치를 설정하고, 설계시 실측을 하는 등 엄격하게 특수성능

에 대한 관리가 이루어지고 있다. 레이더 반사면적(RCS)과 적외선 신호(IR) 또한 최근 ‘스텔스’ 함정이 키워드로 떠오르면서 중요한 특수성능 중 하나로써 기준치를 설정하여 관리하고 있는 상황이다.

잠수함은 은밀성을 이용하여 적 해군전력 및 핵심 시설타격 등 주요 임무를 수행 할 수 있는 해군의 중요한 비대칭 전력이다. 은밀성이 강조되는 잠수함은 수중에서 작전을 수행하는 특성이 있기 때문에, 수상함의 특수성능과는 조금 다르게 수중방사소음(URN)과 음향표적강도(TS)가 가장 생존성에 영향을 미치는 특수성능이다. 따라서 이 두 특수성능을 어떻게 관리하느냐에 따라 잠수함의 생존성이 결정된다고 할 수 있다. 그 중 음향표적강도는 잠수함의 생존성, 기술적 건조가능성, 작전운용성 등에 영향을 미치는 중요한 특수성능이다.

현재 대한민국 해군에서는 독일로부터 도입한 잠수함인 OO-I급 잠수함과 OO-II급 잠수함을 주력 잠수함으로 운영하고 있다 하지만 OO-I/OO-II급 잠수함의 음향표적강도 실측 자료나 해석결과 등 관련 자료가 거의 확보되지 않고 있다. 기준치 또한 관련 자료가 부족하여 설정하지 않고, 설계 목표치라고 할 수 있는 성능지향수준만 설정하고 시험평가 수행시 자료에 의한 평가만 실시하는 등 이에 대한 관리 미흡한 상황이다.

본 논문에서는 잠수함 음향표적강도에 영향을 미치는 각 요소들과, 처음으로 능동소나방정식에 작전개념을 적용하여 대한민국 해군 잠수함의 음향표적강도 기준치를 설정하였고, 해석을 통해 실제 운용 잠수함의 음향표적강도를 분석하여 감소방안을 분석함으로써 차세대 잠수함의 음향표적강도 기준치 정립 및 관리 방안을 제시하였다.

1.2. 논문구성

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 함정의 생존성에 중

요한 영향을 미치는 특수성능의 개념 및 정의 그리고 기준치 등 관리 현황에 대해 알아보고, 3장에서는 기본적인 음향표적강도의 개념 및 정의, 음향표적강도 예측기법 그리고 현재 대한민국 해군의 음향표적강도 관리 현황 등에 대해 알아보았다.

4장에서는 현재 대한민국 해군의 작전환경, 함정임무 등 작전개념을 분석하고, 운용 중인 잠수함인 OO-I/OO-II급 잠수함에 대한 작전개념을 분석하였다. 그리고 잠수함의 음향표적강도 기준치 설정을 위해서 작전개념을 최초로 능동소나방정식에 적용하였다. 잠수함의 수중에서 작전과정을 능동소나방정식에 적용하고 능동소나방정식의 각 항목을 분석함으로써 잠수함의 작전개념에 맞는 음향표적강도 기준치 설정하고 그 설정 절차를 제시하였다.

5장에서는 OO-I/OO-II/OO-III급 잠수함에 대해 기본적인 제원과 형상 정보를 바탕으로 직접 잠수함을 모델링하고 음향표적강도 해석을 수행하였다. 음향표적강도 해석 프로그램인 TASTRAN과 잠수함의 음향표적강도의 위협주파수, 위협고각, 위협방위각에 대해 분석하였고, OO-I급 잠수함, OO-II급 잠수함 그리고 OO-III 잠수함에 대해서 잠수함의 선형 및 세일 구조에 의한 음향표적강도 특성을 분석하고, 형상에 따른 감소방안 등에 대해서 알아보았다.

6장에서는 4장에서 설정한 음향표적강도 기준치와 4장에서 실제 운용 중인 잠수함에 대한 해석결과를 비교 분석하여 현재 잠수함의 건조기술력 등을 고려했을 때 기준치를 만족할 수준인지를 확인하고, 음향표적강도 예측수준에 따른 기준치 정립방안을 제시하였다. 또한 기준치 설정 후 시험평가 방안 제시를 위해, 현재 수상함의 시험평가 수행방안에 대해 분석하고, 음향표적강도 시험평가 수행방안을 제시하였다.

7장에서는 본 연구를 통해 얻은 결과를 정리하였다.



그림 1.1 함정의 생존성능과 스텔스 기술

표 1.1 함정 특수성능 기준치 적용 현황

특수성능	기준치 적용 현황	
	수상함	잠수함
음향표적강도(TS)	-	미적용
수중방사소음(URN)	적용	적용
함내소음	적용	적용
레이다 반사면적(RCS)	적용	미적용
적외선 신호(IR)	적용	미적용

2. 함정 특수성능

2.1. 도입

현대 해전의 양상이 빠르게 변화함에 따라서, 함정의 생존성을 향상시키기 위한 특수성능에 대한 관심이 커지고 있다. 이에 따라서 대한민국 해군을 비롯한 여러 해군에서는 특수성능의 중요성을 인식하고 함정 설계/건조시 특수성능 기준치를 설정하여 엄격하게 관리를 하고 있다.

본 장에서는 함정의 특수성능의 전반적인 내용을 알아보고 기준치 설정현황 및 근거에 대해 알아보았다. 또한 잠수함에게 있어서 가장 중요한 특수성능인 음향표적강도에 대해서 기본적인 정의와 기준치 설정현황 및 근거 그리고 기준치 설정의 필요성에 대해 분석하였다.

2.2. 함정 특수성능 개념

일반적으로 함정의 성능은 표 2.1과 같이 기본성능, 전투성능, 특수성능 3가지로 구분하여 설명할 수 있다. 기본성능은 함정의 기동성(최대속력, 항속거리 등), 내항성, 거주환경과 같은 플랫폼 위주의 일반 조선공학적 성능을 의미하며, 전투성능은 전투임무를 수행하기 위해 필요한 센서, 지휘/통신/통제/정보(C4ISR), 무장(Weapons), 대항책(Countermeasures)의 성능을 의미한다. 함정의 특수성능은 함정의 생존성(Survivability)과 관련된 성능으로 수중방사소음(Underwater Radiated Noise, URN), 음향표적강도(Acoustic Target Strength, TS), 레이더 반사면적(Radar Cross Section, RCS), 적외선 신호(Infra Red, IR)는 피격성(Susceptibility), 즉 적의 피탐거부가 주목적이며, 충격(Shock)은 적 공격에 대한 취약성(Vulnerability) 극복에 해당하는 능력이라고 볼 수 있다[1].

해군조함규정에서 규정한 함정의 특수성능의 정의는 다음과 같다. ‘저항, 추진, 조종 및 내항성능 등 함정의 조선공학적 일반 성능에 해당하지 않는 성능분야를 총칭하는 것으로 충격, 함내소음, 진동, 자기신호, 수중방사소음, 레이다 반사면적, 적외선신호, 전자기 간섭을 말한다.’ 해군조함규정에서는 조선공학적 기본성능을 제외한 충격, 함내소음, 진동, 자기신호, 수중방사소음, 레이다 반사면적, 적외선 신호, 전자기 간섭 등 항목을 명시하고 있다.

2.2.1. 수중방사소음(Underwater Radiated Noise, URN)

함정에서 기인하여 수중으로 전파된 소음으로서 기계류의 진동 소음이 선체를 통해 방사되는 소음, 추진기 및 프로펠러의 캐비테이션에 의해 수중으로 직접 방사되는 소음, 선체 주위의 난류유동에 의한 소음 등을 복합적으로 일컫는다. 수중방사소음은 적의 음탐기에 함정 위치 정보를 제공할 수 있는 함정에서 수중으로 전파되는 소음을 지칭하며, 소음원으로는 표 2.2와 같이 크게 함내 기계류(주기/보기 등)에 의한 소음, 추진기에 의한 소음, 배관계통에 의한 소음, 선체와 해수간의 마찰에 의한 소음 등으로 구분 할 수 있고 간단한 감소대책은 저소음 프로펠러, 탄성마운트, 플렉시블 호스 적용 등이 있다.

수중방사소음은 음향 탐지에 대한 거부가 주목적이며, 특히 적 잠수함 및 어뢰에 대한 피탐확률과 직접적인 관계가 있다. 이러한 이유로 상선과는 달리 군함의 경우 중요하게 고려되는 성능이며, 2차 대전 이후 세계 각국에서는 함정의 수중방사소음 감소를 위한 여러 가지 노력들이 이루어져 왔으나, 기술의 특성상 자국 기술에 대한 공개는 거의 이루어지고 있지 않고 있다.

함정의 추진기에서 발생하는 캐비테이션은 기동에 필요한 추진력을 저하시키고 수중방사소음의 주요 원인이 된다. 추진기 소음의 경우 캐비테이션이 발생할 경우 급격히 증가하게 되는데, 이때의 속력을 CIS

(Cavitation Inception Speed)라고 하며, 적 잠수함의 피탐거부를 위한 직접적으로 관련된 신호이기 때문에 함정 건조시부터 추진기 계약서에 CIS 보증치가 명확히 명시되어 있다. 그림 2.1은 함정의 속력별 수중방사소음의 주파수 스펙트럼을 나타내고 있다. 캐비테이션 발생이 시작된 15kts에서 급격히 소음수준이 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 이때는 추진기 소음이 수중방사소음의 가장 큰 부분을 차지하게 된다.

최근 여러 함정에서 CIS 불만족 현상이 발생해 문제가 된 경우가 있으며, 이로 인해 저소음 추진기 개발기술에 대해 관심이 높아졌다. 저소음 추진기 기술은 이와 같은 문제를 개선할 수 있는 추진기를 설계/제작하는 기술을 말한다. 저소음 추진기 개발과 관련한 선진국 기술수준은 표 2.3과 같으며, 우리나라의 경우 2011년 한국해양연구원에 저소음 대형 캐비테이션 터널(그림 2.2)이 완공되어 저소음 추진기 개발을 위한 연구 기반이 조성되었다.

Prairie 시스템은 추진기 날개 주위에 공기 배출용 구멍을 설치하여 함정의 압축공기체계로부터 유입되는 공기를 외부로 배출하는 원리로 작동되며, 스크류 날개로부터 공기를 배출하여 스크류 회전시 발생하는 공기 방울 내에 공기를 주입함으로써 캐비테이션 소음을 감소시키게 된다.(그림 2.3)

Masker 시스템도 동일한 원리로 작동되게 되는데, 함정의 선체 주위에 공기 배출용 벨트를 설치, 함정의 압축공기체계로부터 유입되는 공기를 외부로 배출하여 음파탐지 차단막을 형성함으로써 함정의 기계류 소음의 수중방사를 감소시키게 된다. 주로 저속에서 효과가 있으며, 최대 약 5dB의 소음 감소효과가 있으나 오히려 소음이 증폭되는 경우도 있다. 일반적으로 Tonal 성분을 감소시키며, 1,000 Hz 대역에서 효과가 크다. 고도의 기술이 필요한 분야로서 효과에 비해 투자비용이 많으며, 정비 및 보수 유지관리가 어려운 특징이 있다. 실제 Prairie/Masker 시스템 작동시 특정영역의 주파수 소음에 대해 효과를 보여주고 있어, 관련체계에 관한 보다 깊은 연구가 필요하다.

또한 장비에서 발생하는 소음 및 진동이 선체를 통하여 수중으로 전파되는 것을 방지하기 위해 적용되는 소음 및 진동 차폐를 위한 기술을 음향차폐장치 및 탄성마운트 설계기술이라고 한다. 이를 위해 고소음 장비의 경우 차음상자 또는 해당격실에 방음벽을 설치하여 소음의 전달을 차단하며, 개별 장비에 대해 탄성마운트를 적용하여 선체를 통해 전파되는 진동을 감쇠하는 기술 등이 적용되고 있다(그림 2.4).

최근 대한민국 해군을 비롯하여 선진 해군들은 통합 전기추진체계를 확대하고 있는 추세로 기계식 추진체계가 추진, 전력체계로 이원화하여 운용하고 있는데 반해 통합 전기추진체계는 추진, 전력체계를 일원화함으로써 에너지 효율 및 함정의 통합관리 측면에서 큰 장점이 있다. 특수 성능 관점에서 통합 전기추진체계는 감속기어, 가변피치프로펠러(CPP) 및 축계 설비 등이 생략되어 각 요소의 소음 및 진동에 의한 수중방사소음을 감소시킬 수 있다.

2.2.2. 음향표적강도(Acoustic Target Strength, TS)

음향표적강도는 능동 소나의 중요 파라미터(parameter) 중 하나로 수중 물수체에 대해서 다시 되돌아오는 반향의 정도를 나타내는 값이다. 소나 방정식에서 표적강도는 표적의 음향 중심(acoustic center)으로부터 기준 거리 (reference distance) 1m 또는 1yd 떨어진 곳에서의 되돌아 나오는 인텐시티 (return intensity)와 입사 인텐시티(incident intensity)의 비의 상용로그 값에 10을 곱한 값으로 정의되고 아래의 식과 같이 표현된다.[4]

$$TS = 10 \log \left. \frac{I_r}{I_i} \right|_{r=1} \quad (2.2.1)$$

여기서 I_r 은 반사되어 되돌아 나오는 인텐시티, I_i 는 입사 인텐시티를 뜻한다. 기준 거리에 대해서 조금 더 설명하면, 기준 거리는 1m 또는 경우에 따라서는 1yd도 사용될 수 있다. 기준 거리가 사용됨으로써 종종 표적강도를 다룰 때 양 (positive)의 값을 갖게 되는 경우가 있는데, 이는 반사되는 인텐시티가 입사 인텐시티보다 큰, 즉 더 많이 반사되는 경우를 뜻하지 않는다는 점에 유의해야 하고 표적강도 값은 기준 거리를 얼마로 잡는가에 따라서 양의 값도, 또는 음의 값도 같을 수 있다. 만약 기준 거리로 1yd 대신 1kyd가 사용되면, 1yd 일 때 표적강도가 양의 값을 많이 갖는 표적이라도 음의 값을 가지게 될 것이다. 그리고 1yd 대신 1m가 기준 거리로 사용된다면 표적강도는 $20\log 1.0936$ 또는 0.78dB 더 작은 값을 갖게 된다.

소나는 단상태 (monostatic), 양상태 (bistatic) 두 가지로 분류할 수 있는데, 우선 단상태 소나는 소스(source)와 리시버(receiver)가 같은 위치에 있는 것을 뜻하고, 양상태는 소스의 위치가 리시버의 위치와 다른 것을 의미한다.

음향표적강도의 의미를 조금 더 자세하게 알아 보기 위해서 구의 표적강도를 계산해본다. 파장에 비해서 구의 반지름이 크고, 구는 등방향성 (isotropic)의 반사체이고 강체 (rigid body)라고 가정한다. 구의 반지름을 a 라고 하고 입사 인텐시티를 I_i 라 한다면 입사파로부터 구에 의해서 차단되는 파워는 $\pi a^2 I_i$ 라고 할 수 있다. 또한 구가 이 파워를 모든 방향으로 균일하게 재 방사한다고 한다면 구에서부터 거리 r 떨어진 위치에서의 반사 인텐시티는 다음과 같이 차단된 파워를 반지름이 r 이 구 면적으로 나누어줌으로써 구할 수 있다.

$$I_r = \frac{\pi a^2 I_i}{4\pi r^2} = I_i \frac{a^2}{4r^2} \quad (2.2.2)$$

여기서 I_r 은 거리가 r 떨어진 위치에서의 반사 인텐시티이다.

기준 거리를 1m로 가정하고 반사 인텐시티와 입사 인텐시티의 비를 구하면 다음과 같다.

$$\left. \frac{I_r}{I_i} \right|_{r=1} = \frac{a^2}{4} \quad (2.2.3)$$

따라서 표적강도의 정의 식 (2.2.1)에 대입함으로써 다음과 같이 구의 표적강도를 구할 수 있다.

$$TS \equiv 10 \log \left. \frac{I_r}{I_i} \right|_{r=1} = 10 \log \frac{a^2}{4} \quad (2.2.4)$$

만약 반지름이 2m인 구인 경우 식 (2.2.4)에서 알 수 있듯이 표적강도는 0 dB가 되는 데 이를 이용해서 반지름 2m인 구는 소나 성능을 판단하는 참고 표적이 되기도 한다.

2.2.3. 레이더 반사면적(Radar Cross Section, RCS)

RCS는 레이더의 중요한 파라미터 중 하나로 레이더에서 송신된 전자파가 표적에 의하여 산란되어 되돌아오는 산란파와 송신된 전자파의 전력의 비로 정의되며 레이더에 의하여 탐지되는 정도를 나타내는 값으로 아래의 식과 같이 표현된다[2].

$$\sigma(RCS) = \lim_{r \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|\vec{E}_s|^2}{|\vec{E}_i|^2} = \lim_{r \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|\vec{H}_s|^2}{|\vec{H}_i|^2} \quad (2.2.5)$$

RCS는 단상태 양상태로 구분할 수 있는데, 단상태는 전자파의 입사방향과 산란방향이 일치하는 경우로 레이다와 리시버가 같은 위치에 있는 것을 뜻하고, 양상태는 레이다와 리시버의 위치가 다른 것을 의미한다.

과장에 비해서 표적의 크기가 크고 무한히 먼 거리로부터 입사되는 전자파는 평면파로 입사하여 구면파로 산란된다고 할 수 있다. \vec{E}_s 와 \vec{E}_i 를 구면좌표계에서 다음과 같이 표현할 수 있다[3].

$$\vec{E}_i = (\hat{\theta}_i A_\theta + \hat{\phi}_i A_\phi) e^{-jk\hat{c}_i r} \quad (2.2.6)$$

$$\vec{E}_s = (\hat{\theta}_s B_\theta + \hat{\phi}_s B_\phi) \frac{e^{-jkR}}{R} \quad (2.2.7)$$

여기서, j 는 단위 허수($=\sqrt{-1}$)를, k 는 전자기파의 파수($k=2\pi f/c$)를 나타내며, $\theta_i, \phi_i, \hat{\phi}_i, \hat{\theta}_i$ 는 입사파와 방향과 단위벡터를 나타내고, $\theta_s, \phi_s, \hat{\theta}_s, \hat{\phi}_s$ 는 산란파의 방향과 단위벡터를 나타낸다. $A_\theta, A_\phi, B_\theta, B_\phi$ 는 입사 및 산란 전기장 벡터의 θ 편파 및 ϕ 편파 성분크기를 의미하며, 산란과장에서 구면좌표계에서 다음과 같은 산란행렬로 정의된다[1].

$$\begin{bmatrix} B_\theta \\ B_\phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{\theta\theta} & B_{\theta\phi} \\ B_{\phi\theta} & B_{\phi\phi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_\theta \\ A_\phi \end{bmatrix} \quad (2.2.8)$$

여기서, $B_{uv}(u, v = \theta, \phi)$ 는 입사 전기장 벡터가 v -방향, 산란 전기장 벡터가 u -방향을 나타내는 산란행렬의 uv -편파 요소를 나타낸다. 식 (2.2.8)에서 $A_\theta = 1, A_\phi = 0$ ($\theta\theta$ -편파)일 경우 $B_\theta = B_{\theta\theta}, B_\phi = B_{\phi\theta}$ 이고, $A_\theta = 0, A_\phi = 1$ ($\theta\phi$ -편파)일 경우 $B_\theta = B_{\theta\phi}, B_\phi = B_{\phi\phi}$ 이다. 이는 입사하는 전자기파가 표면적에 의하여 나타나는 편파효과를 반영하고 있음을 나타내며, RCS 해석에 반드시 고려되어야 하는 사항이다. RCS 행렬 $[\sigma]$ 과 산란행렬 요소의 관계식은 다음과 같이 정의된다[2].

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_{\theta\theta} & \sigma_{\theta\phi} \\ \sigma_{\phi\theta} & \sigma_{\phi\phi} \end{bmatrix} = 4\pi \begin{bmatrix} |B_{\theta\theta}|^2 & |B_{\theta\phi}|^2 \\ |B_{\phi\theta}|^2 & |B_{\phi\phi}|^2 \end{bmatrix} \quad (2.2.9)$$

RCS 행렬요소 σ_{uv} 는 식 (2.2.5)로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_{uv} = 4\pi |B_{uv}|^2 = \lim_{R \rightarrow \infty} \left[4\pi R^2 \frac{|\overrightarrow{E_{s,u}}|^2}{|\overrightarrow{E_{i,v}}|^2} \right], u, v = \theta, \phi \quad (2.2.10)$$

여기서, $\overrightarrow{E_{i,v}}$ 는 입사 전기장 벡터의 u -편파성분, $\overrightarrow{E_{s,u}}$ 는 산란 전기장 벡터의 v -편파성분을 나타낸다.

레이다 등 전자기기 및 유도탄 추적기술 발달에 따라 수상에서의 탐지 수단은 시각에서 레이다 전자파로 전환되었다. 따라서 적에게 피탐 거부를 위한 대책은 과거에는 위장색 적용이 전부였으나, 최근 들어 건조되는 함정은 적의 레이다 전자파에 의한 반사면적을 최소화 하는 기술 (Stealth)을 적용하여 함정을 건조하고 있다. 레이다 반사면적 감소기술을 통해 함정의 은밀성을 증대시킬 수 있으며, 적에 대한 노출 가능성을 최소화 시켜 함정의 생존성을 향상 시킬 수 있다. 레이다의 전자파에 의한 피탐 감소를 위한 최신 기술로는 표 2.3과 같이 외부 선체 구조에 전파흡수체 등을 적용하는 것과 함정 형상을 변경함으로써 전자파를 다른 방향의 각도로 반사시키는 함정 형상화 설계 등이 있다.

2.2.4. 적외선 신호 (Infra Red, IR)

적외선 신호(IR)는 우리 눈에는 보이지 않으면서 빨간색 보다 파장이 긴 전자기파 영역을 의미하며, 함정에서 발생하는 적외선 신호의 크기를 대비복사강도(Contrast Radiated Intensity, CRI)로 정량화하여 정의한다.

주변 해수의 온도가 일정한 상황에서 함정 자체에서 발생하는 열은 함

정 탐지를 위한 또 다른 유용한 신호이다. 이러한 적외선은 전자기파의 일종이며 파장이 $0.7\mu\text{m} \sim 1,000 \mu\text{m}$ 사이의 빛으로 열선이라고도 하며 함정에서는 연돌의 폐기가스, 폐기구 표면 및 함정의 선체에서 발생한다. 대부분 유도탄의 경우 적외선(IR) 유도 방식을 채택하고 있어 함정의 생존성 향상을 위해서는 함정의 적외선 신호가 최소가 될 수 있도록 관리가 필요하다. 적외선의 분류는 표 2.5와 같다.

적외선 신호의 주요 원인은 함정의 폐기가스 및 이로 인한 폐기구 표면에서 열, 태양광 및 함정 내부의 난방설비에서 발생하는 열이다. 적외선은 대기를 통해 투과되는 정도(대기 투과도)가 파장 대역에 따라 달라지기 때문에, 이로 인해 그림 2.5와 같이 중적외선 대역과 원적외선 대역의 적외선 신호가 중요하게 다루어지고 있다.

함정에서 발생하는 적외선 신호 감소를 위해 함정 적외선 신호 감소 기술 및 선체의 적외선 신호 감소기법이 선진국에서는 실용화되어 있으며, 국내에서도 함정의 설계/건조 과정에서 적외선 신호 감소기술에 대한 성능분석을 하고 함정 설계/건조시 적용 중이다. 추진기관, 발전기의 폐기구, 폐기가스의 온도 저감을 위한 설비는 현재 국내에서 생산되지 못하고 있는 실정이며, 국외 업체에서 생산된 제품을 도입 적용하고 있는 상황으로 관련기술 확보가 시급한 실정이다.

적외선 감소기술은 크게 중적외선과 원적외선 두 가지로 나눌 수 있다. 함대함 적외선 유도탄에 대응하기 위하여 함정의 폐기관에서 방출되는 적외선 신호를 감소시키는 장치(IRSS : Infra Red Suppression System)를 개발하기 위한 기술이다. 그림 2.6의 경우 IRSS 시스템 적용시 적외선 신호가 감소하는 정도를 보여준다. 선진국 기술수준은 표 2.6과 같다. 함정 선체에서 방사되는 원적외선을 감소하기 위한 감소기법은 표 2.7rhk 같다.

2.2.5. 내충격(Shock)

내충격은 기뢰, 어뢰 등의 비접촉 수중폭발 시 발생하는 충격하중에 대해 선체구조, 탑재 장비 및 설비, 승조원 등의 안전성을 확보하기 위한 기술로써 함정설계 시 생존성 관점에서 가장 중요하게 고려해야 할 요소라고 할 수 있다.

천안함 피격사건과 같이 근접 수중폭발을 설계 대상위험으로 할 경우, 선체구조 및 탑재 장비에는 감당할 수 없을 정도로 비현실적인 설계가 되므로 전 세계적으로 함정 설계에 적용하는 수중폭발 조건은 선체로부터 비교적 먼 거리에서 폭발이 일어나는 경우인 원거리(Far Field) 비접촉 수중폭발조건이다.

원거리 비접촉 수중폭발의 경우 충격파(Shock Wave)와 가스구체(Bubble)에 의한 충격하중을 분리하여 생각할 수 있다. 함정 내충격 설계에서 고려하는 세기(Severity)의 수중폭발이 일으키는 충격파는 함정 탑재 장비의 설계에 주로 반영되며, 선체구조에는 국부적 영향은 고려되지만 주요 강도를 담당하는 선체구조는 일반적으로 충격파에 대하여 별도의 내충격 설계를 할 필요가 없을 정도로 강하다는 사실이 실제 전투 손상 경험, 실선 충격시험 등을 통해 확인되었다. 한편 Bubble의 팽창, 수축에 영향을 받아 함정이 급격히 호깅(Hogging), 새깅(Sagging)하는 현상을 수중폭발에 의한 휘핑(Whipping)이라 부르며, 통상 함정설계에서는 충격파에 대한 영향을 배제하고 Bubble의 팽창, 수축 및 정상적 수축 시 발생하는 가스구체 압력파(Bubble Pulse)에 대한 휘핑응답 해석을 통해 대상 함정 선체거더의 종강도 안전성을 최종강도 관점에서 검토하고 있다.

원래 함정 내충격 강화의 목적은 그림 2.8에 나타낸 바와 같이 수중폭발 충격파에 대해 함정의 구성요소들 즉 선체구조, 장비, 승조원 중에서 가장 취약한 장비의 내충격 성능을 선체구조와 승조원의 성능과 대등하게 향상시킴으로써 수중폭발 충격파에 대한 생존성 확보를 통하여 대상

함정의 임무수행 능력을 제고시키는 것이다. 한편, 수중폭발에 의한 또 다른 충격하중인 가스구체 압력파에 대한 내충격 설계는 비교적 최근에 들어와서야 요구되고 있다.

2.3. 함정 특수성능 관리현황

2.3.1. 수중방사소음(URN)

2.3.1.1. 국외 수중방사소음 관리현황

수중방사소음의 경우 함정의 특수성능 중 생존성에 가장 큰 영향을 미치는 특수성능이라고 할 수 있다. 현재 미국, 영국, 독일 등 선진해군의 경우 2차 대전 이후 수중방사소음에 대한 중요성을 인식하여 지속적인 연구개발을 통해 관련 기술에 대한 수준이 이미 상당한 수준에 도달해 있다. 미국, 영국 등은 특수성능을 위한 전문기관을 따로 지정하여 수중방사소음 등 해상에서 실측을 수행하고 있다. 대한민국 해군에서도 국방과학연구소에서 1980년부터 최초로 수중방사소음 시험평가를 수행하였으며, 현재까지 계속 운영 함정들의 수중방사소음을 측정하고 있는 상황이다. 그림 2.9는 미 해군 원자력 잠수함의 소음레벨 변화추세를 보여주는 자료로, 2차 대전 당시와 비교하여 약 60dB 이상 감소하였음을 알 수 있다. 민간 선박의 경우 어업조사선에 대하여 수중방사소음의 영향에 관한 연구가 ICES(International Council for the Exploration of the Sea)에 의해 수행되어 1995년 어업조사선에 대한 수중방사소음 기준 ICES CRR 209(그림 2.10)가 공표되었다. 더욱이 소음에 민감함 고래와 같은 해양생태계 보호에 대한 관심이 높아지고 있어, 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)를 중심으로 민간선박에 대한 수중방사소음 규제에 관한 내용이 활발히 논의되고 있다.

시험평가는 국외 선진 해군들의 경우 오랜 경험을 바탕으로 수중방사소음 측정을 수행하고 있으며, 관련 기술 또한 상당한 수준에 올라와 있다고 판단된다. 민간에서는 해양생물에 대한 수중방사소음의 영향에 최근 들어 큰 관심을 가지고 있으며, 이에 따라 민간 선박의 수중방사소음 측정방법에 관한 많은 연구가 진행되고 있고, 관련 워크샵이나 논문이 많이 발표가 되고 있다. 국외 해군의 수중방사소음 계측체계 운용현황은 표 2.8과 같으며, 미국의 경우 그림 2.11과 같이 1960년대부터 실제 해역에서의 수중방사소음 측정을 수행하고 있다. 또한 알래스카, 하와이의 시험평가장을 포함하여 총 8개의 시험평가장을 보유하고 있는 세계 최대/최다 운용국가이다. 프랑스는 총 3개의 시험장(그림 2.12)을 운용하고 있으며 고정형과 이동형 등 다양한 형태로 운용되고 있다. 영국은 총 4개의 시험장(그림 2.13)을 운용하고 있으며 고정형 위주 측정을 수행하고 있다.

2.3.1.2. 국내 수중방사소음 관리현황

국내에서의 최초 수중방사소음에 대한 시험평가는 1980년 FF(호위함) 인수시 국방과학연구소에서 수행되었다. 이후 수중방사소음과 관련된 기술이 계속 축적되어 왔고 관련된 연구가 진행되어 왔다.

국방과학연구소에서는 1980년 FF 건조시 수중방사소음 시험평가를 수행하였으며, 1990년부터는 신규 건조함정에 한하여 수중방사소음 측정을 시작하였다. 이후 3급함 이상 국내 건조 전 함정에 대한 수중방사소음 측정을 해왔으며, 1995년 이후부터는 운용함정에 대한 수중방사소음 측정을 하고 있다. 매년 약 10척의 함정에 대하여 수중방사소음을 측정하고 있는 상황이다. 오랜 측정 경험을 바탕으로 관련 자료 및 기술을 많이 확보하고 있다. 시험평가지 측정된 수중방사소음 데이터베이스를 기반으로 신조함정에 대한 수중방사소음 기준치를 설정하고 있다.

현재 수중방사소음에 대한 기준치 및 시험평가는 바로 국방과학연구소

에서 수행하고 있으며, 신조 함정에 대한 기준치 역시 국방과학연구소와 대한민국 해군에서 설정하고 있다. 함정 기준치의 경우 실측함정의 실측 결과와 소음해석 프로그램을 통한 소음해석 결과를 바탕으로 설정한다. 시험평가시 국방과학연구소 보유 관련 장비 및 방법은 그림 2.14와 같다. 측정장비가 설치된 시험함 주변을 다양한 속력 및 함정 운용상황으로 통과하게 되면, 시험 지원함은 수중방사소음을 계측하게 된다. 이 때 주변 환경에 의한 간섭을 최소화하기 위해 표 2.8과 같은 시험조건을 준수해야 한다.

2.3.2. 음향표적강도(TS)

2.3.2.1. 국외 음향표적강도 관리현황

국외 선진 해군의 경우를 살펴보면 미국같은 경우 그림 2.19와 같이 SEAFAC(South East Alaska Acoustic Measurement Facility)이라는 특수성능(수중방사소음, 음향표적강도 등) 전문 시험평가 및 연구기관을 두고, 잠수함과 수상함의 수중방사소음 및 음향표적강도 측정, 시험평가를 전문적으로 수행하고 있는 상황이다. SEAFAC은 Underway Measurement Site, Static Site, Back island Operation Center, Supporting Facilities 등 4개로 구성되어 있다. 스웨덴 해군에서는 스웨덴 국가연구기관인 SDRA(Swedish Defence Research Agency)와 함께 천해환경에서 잠수함의 음향표적강도를 측정 하는 연구(그림 2.20)를 수행하였다[7].

시험 개략도는 그림 2.21과 같다. 수심 40m에 잠수함을 위치시켜 실험을 수행하였으며, shallow effect와 surface effect 등을 보정하기 위해 3가지 종류의 하이드로폰을 사용하여 실험을 수행하였다. 그리고 실험결과의 검증에 위해 잠수함을 실제로 모델링하여 해석을 통해 실험결과를 검증하였다.

2.3.2.2. 국내 음향표적강도 관리현황

음향표적강도라는 개념은 수상함에서는 사용되지 않는 개념으로써, 함정정설계/건조기준을 보더라도 특수성능의 정의에서 음향표적강도는 빠져 있는 것을 알 수 있다. 하지만 현재 대한민국 해군에서 잠수함의 중요성과 전력이 점점 커지고 있는 상황에서 음향표적강도는 생존성에 큰 영향을 미치는 중요한 특수성능으로 자리 잡고 있다. 현재 독일에서도 도입한 209급 잠수함과 214급 잠수함을 주력으로 운용을 하고 있고, 최초의 한국형 잠수함인 장보고-III 잠수함을 설계/건조 중에 있다.

하지만 현재 운용 중인 209급 및 214급 잠수함에 대한 음향표적강도 실측자료나 해석결과 등 관련 데이터가 부족한 상황으로써 현재 설계/건조 중인 장보고-III 잠수함은 음향표적강도 기준치를 설정하지 않고 설계 목표치라고 할 수 있는 '성능지향수준'만 설정하여 관리를 하고 있는 상황이다.

국내의 경우에는 해군에서 운용중인 잠수함에 대한 데이터나 실험인프라 등이 전혀 마련되지 않은 상황이다. 현재는 국방과학연구소에서 잠수함의 음향표적강도 실험을 위한 시험장을 구축하고 있다.

현재 잠수함의 음향표적강도에 대한 자료 등이 전혀 없는 상황이기 때문에 음향표적강도 기준치를 설정하는데 어려움이 있고, 그로 인해 음향표적강도 관리가 미흡한 상황이다. 따라서 차세대 잠수함의 생존성을 향상시키기 위해서는 합리적인 음향표적강도 기준치를 설정하고, 관리하는 것이 필요하다.

2.3.3. 레이더 반사면적(RCS)

2.3.3.1. 국외 레이더 반사면적 관리현황

미국, 영국, 독일 등의 국외 해군은 독자적으로 형상화 기술을 포함한 스텔스 기술을 종합적으로 응용하여 스텔스 함정을 개발, 취역 운용 중에 있다. 이러한 국가들은 RCS 계산 소프트웨어와 함정 설계 소프트웨어를 이용한 함정 설계기술을 보유함은 물론 건조 후 스텔스 성능 평가를 할 수 있는 RCS 측정 장비도 보유하고 있다.

Frigate급 이상의 함정의 경우 함정 선체의 형상화뿐만 아니라 탑재무장도 형상화하여 함정 외부에 배치하고 마스트, 안테나, 연돌 등의 형상과 위치를 다양하게 취함으로써 현재 취역중인 함정의 형상과 다른 함정 설계를 추진하고 있다. 이와는 대조적으로 Corvette급 이하의 함정은 탐지 센서와 무장을 함정 내에 설치하여 갑판 구조물을 최소화함으로써 형상화 효과를 높이고 있다. 그리고 영국의 Sea Wraith와 미국의 Zumwalt급 구축함처럼 선수의 형상이 기존 함정과는 다른 Tumblehome 형상을 취함으로써 RCS 감소는 물론 함정 반류까지 감소시키는 설계기술이 나오고 있는 상황이다. 형상화 기술이 적용된 국외 해군 함정의 예는 그림 2.15와 같다.

현재 선진국에서는 함정의 스텔스화를 위한 전파흡수체로서 RASH, Panel, RAP 및 SRAM 등이 개발되어 특정대역 및 광대역 흡수체 용도로 스텔스 함정 건조시 사용되고 있다. 선진국들은 미사일 및 무기체계 스텔스화를 위하여 이러한 흡수체들을 적용할 수 있는 기술을 보유하고 있다. 특히 전파흡수체 기술은 미국에 이어 영국, 프랑스 등이 앞서 있다.

형상화에 의한 스텔스화는 함정의 크기, 용도 및 무기체계 탑재 정도 등에 제한을 받을 수밖에 없다. 따라서 최근에는 상부 구조물 및 현측에 대한 형상변화와 구조물용 흡수 구조재 및 전파흡수체를 이용한 복합방식의 함정 스텔스화가 진행되고 있다.

RCS를 감소시키기 위한 수단으로서 전파흡수체의 사용은 무기체계, 함정 및 항공기 등의 무게 증가를 초래할 뿐만 아니라 관리유지에 상당한 어려움이 있는 것으로 파악되고 있다. 특히, 함정의 경우 내해성 및 함정 정비 등에 적합한 흡수체가 필요함에 따라 레이더 신호 흡수성능이 뛰어난 재료의 응용이 확산될 것으로 보이며 이에 대한 연구개발이 더욱 활성화 될 것으로 예측된다.

최근 영국 및 미국 등 선진국을 중심으로 함정 RCS 증가의 주된 원인인 외부로 노출되어 있는 각종 레이더, 센서, 통신안테나 등을 마스트 내부에 차폐하여 해당 장비의 성능저하 없이 함정의 RCS를 획기적으로 줄이고 피탐성능을 향상시켜 함정의 생존성을 극대화하고, 유지보수의 용이함으로 인해 운용 및 유지보수 비용을 줄일 수 있는 통합 폐위형 마스트 설계가 이루어지고 있다.

2000년도 중반 영국에서는 ATM(Advanced Technology Mast)이라고 하는 폐위형 마스트를 개발하였다. ATM은 기존 마스트에 비해 가볍고 스텔스 성능이 뛰어난 것으로서 외관은 전자기파의 투과가 자유로운 주파수 선택적 복합재료로 구성되었다.

미국은 90년도 후반 폐위형 마스트를 DD급 함정에 장착하여 시험 개발하였다. 본 마스트는 각종 레이더 장비를 돔 내부에 장착하였는데 돔 자체는 레이더에 탐지되지 않는 재료로 구성되었다.

이상과 같이 통합 폐위형 마스트(그림 2.17)는 함정의 RCS를 감소하는 핵심기술로서 차세대 전투함정에는 본 기술이 적용될 것으로 판단된다.

2.3.3.2. 국내 레이더 반사면적 관리현황

국내에서 RCS 분야의 연구개발은 RCS 해석기술 분야, 실선규모 RCS 측정기술 분야, RCS 감소설계기술 분야 등 크게 세 가지로 구분하여 진행되어 왔다.

1996년 DDH-II 기본설계 단계에서 현대적인 개념의 RCS 감소설계 기

술이 처음으로 적용되었으며, 이후 설계/건조되는 함정에 대해 이 기술이 필수적으로 적용되어 왔다. 그러나 DDH-II 기본설계와 상세설계 단계에서 영국의 BAE SYSTEM, 독일의 iABG 등 국외 기술 용역사에 전적으로 의존함으로써 국내 함정의 설계자료 해외 유출에 대한 우려가 상존해왔다. 이에 연구소와 학교, 산업계 등에서 관련기술을 확보하기 위한 꾸준한 투자와 노력을 통해 현재는 상당수준의 RCS 해석기술을 국내에서 확보하고 있는 실정이다.

1990년대 RCS 감소설계 기술이 적용된 이후로 RCS 해석에 수반되는 문제영역 도출과 개선을 위한 RCS 감소설계 기술이 꾸준히 축적되어 왔다. 특히, 문제영역에 대한 개선방안을 실제 설계에 반영하는 기술은 함정사업을 통해 조선소가 축정한 노하우를 바탕으로 일반화 되어 RCS 감소설계지침 개발로 이어졌으며, 지속적인 개정작업이 이루어지고 있다.

해석분야에 대해 살펴보면, 표 2.8은 현재 국내 기관의 도입 또는 개발을 통해 확보하고 있는 RCS 해석 소프트웨어 현황을 나타낸 것이다. 현대중공업은 DDH-II 기본설계 단계 기술용역사였던 BAE SYSTEMS로부터 HILIGHT를 도입하고 관련기술을 확보하였다. 국방과학연구소는 독일의 iABG사로부터 RAMSES를, 이탈리아의 IDS사로부터 SHIP EDF를 도입하고 PKG, LST-II 등의 설계에 적용한바 있다. 또한 국내에서는 서울대학교를 비롯하여 포항공대 및 부산대에서 자체적으로 RCS 해석 소프트웨어를 개발하여 실적 함정의 RCS 해석에 활용하고 있는 상황이다.

측정 및 분석분야는 국방과학연구소, 포항공대 등 실험실 규모의 RCS 측정시설을 확보하고 있다. 반면 실선 규모의 RCS 측정 및 분석을 위한 장비는 국방과학연구소에서 개발한 육상용 RCS 계측시스템을 미국으로부터 도입한 것이 있지만, 계측결과를 가지고 시험평가에 활용할 만큼 검증이 이루어지지 않는 실정이다.

RCS의 기준치 설정현황은 최근 건조 함정부터 RCS 기준치를 설정하고 있으며, 그 근거는 크게 2가지로 나타내 수 있다. 첫째로는 재래식 함정의 RCS 수준 측정 결과로부터 도출된 경험식 있다[6].

$$\sigma = 52\Delta \sqrt{f\Delta} \quad (2.3.1.)$$

여기서, f : Radar Frequency(MHz), Δ : 배수량(kTon) 이다. BAE사에서 제시한 함정 크기에 따른 RCS 수준의 그래프를 보면, 구형 함정의 경우 배수량에 따른 RCS 수준의 최소값과 최대값을 알 수 있고, 신형 함정에 대해서는 스텔스 적용 수준에 따른 RCS 수준을 대략적으로 예측할 수 있다. 그림 2.18에서 스텔스 수준을 최저(minimum), 최적(optimum), 최고(maximum)로 구분하였는데 일반적으로 아래와 같은 RCS 감소기법을 적용한 경우로 분류할 수 있다.

- 최저 수준 스텔스
 - 코너 반사체 제거
 - 선체, 상부 구조물 기울기 적용
 - 대형 함상 탑재장비 RCS 감소설계 적용
- 최적 수준 스텔스
 - 수형 함상 탑재장비 RCS 감소설계 적용
 - 전투체계 및 탑재장비 배치 최적화
 - 갑판 등 외부 노출 설치물 마무리 최적화
- 최고 수준 스텔스
 - 형상설계가 어려운 부위의 RAM 적용
 - 가능한 함상 탑재 장비 및 설치물의 차폐 적용
 - 개구면 차폐

앞서 말한 경험식과 배수량별 RCS 수준 그리고 실제 함정 모델의 소프트웨어 해석결과를 바탕으로 기준치를 설정하고 있다. 시험평가는 현재 국내에서 실측을 시험평가에 쓸 만큼 검증된 시험평가 시설이 없기 때문에 해석으로 수행하고 있는 상황이다.

2.3.4. 적외선 신호(IR)

2.3.4.1. 국외 적외선 신호 관리현황

국외에서의 적외선 신호의 연구 기술수준을 살펴보면, 먼저 국외의 해석 관련 기술은 미국, 캐나다의 기술이 가장 앞선 것으로 파악된다. 미국에서 개발된 S/W로는 Muses가 있으나 해당 S/W는 미국내에서만 사용할 수 있도록 규제되고 있다. Muses의 일부 기능을 삭제하고 국제적으로 상용화된 S/W로는 RadThermIR이 있다. RadThermIR은 특히 지상 표적에 대한 IR 신호 해석 등에 많이 활용되고 있으나 함정용으로는 제한적으로만 활용되고 있다.

미국의 해석관련 연구는 주로 NRL(Naval Research Laboratory)에서 수행하고 있다. NRL에서 함정 IR 신호 해석용으로 주로 활용하고 있는 S/W는 캐나다에서 개발된 ShipIR를 활용하고 있다. ShipIR/NTCS는 함정의 IR 신호를 예측하는 부분인 ShipIR과 함정과 위협세력간의 교전을 시뮬레이션하는 NTCS(Naval Threat and Countermeasure Simulator) 부분으로 분할되어 있다. NRL에서는 NTCS부분은 활용하지 않고 미사일에 대한 교전 시뮬레이션 부분은 자체적으로 개발한 S/W를 활용하고 해당 S/W에 입력으로 사용되는 IR 신호 해석 데이터는 ShipIR을 이용하여 적용하고 있는 것으로 파악된다. NRL에서는 함의 피탐특성에 관한 연구를 가장 중요하게 다루고 있으며, 이와 관련한 다양한 분야의 연구를 수행하고 있는 것으로만 확인되고 있다.

캐나다에서는 ShipIR/NTCS를 개발한 Davis사를 중심으로 해석을 수행하고 있으며, 캐나다, 미국 등에서 연구비 지원을 받으며 ShipIR/NTCS의 업그레이드 및 해석관련 연구를 활발히 수행하고 있다. 해석관련 기술 수준은 캐나다의 Davis사가 가장 뛰어난 것으로 평가되며 국내 실적 함정의 설계/건조시 IR 기술용역과정에서도 기술지원 기관으로 참여하고 있다.

국외의 기술개발 중 해석 및 측정 분야에서 크게 미국과 NATO 연합국으로 구분되어 수행되는 것으로 파악된다. 미국의 경우 NATO 연합국의 일원으로써 NATO 연합국의 연구에도 참여하지만 자국 내의 개발도 별도로 진행함으로써 기술 선진국의 위치를 유지하고자 노력하는 것으로 보인다. 뿐만 아니라 미국 내에서 개발된 기술, 설비의 국외 유출을 엄격히 통제하는 특징을 가진다. 미국 내의 IR 관련 연구 및 기술개발과 관련하여 가장 핵심적인 기관으로 NRL을 들 수 있는데, 캐나다를 비롯한 유럽의 NATO 연합국의 경우 전체 국가들이 연합해서 수행하는 해석 및 측정 시험을 정기적으로 수행하고 있으며, 개별적으로도 2개 이상의 나라들이 공동 연구를 수행하는 경우도 있는 것으로 조사된다. 미국 이외의 NATO 연합국은 미국의 비교적 폐쇄적인 기술정책에도 불구하고 미국의 기관과 공동으로 연구를 수행하는 것을 희망하고 있는 것으로 파악된다. 그 이유로는 실제적인 기술자료, 설비의 이전은 불가능하지만 그 분야에서 가장 앞서있는 연구개발 인력 인프라와의 교류 및 협동연구를 통하여 선진 기술을 습득하고 이를 통해 자국의 기술발전을 꾀하기 위한 것으로 추정된다.

신호저감 설비(IRSS)는 그림 2.15와 같이 미국의 경우 자국 내에서 설계/생산된 것을 적용하는 것으로 파악되며, 관련 설비의 생산 기관은 파악되지 않고 있다. 최근에는 OSM과 유사한 장비개발을 위한 연구를 수행하고 있는 것으로 확인되었다. 미 해군에서도 유사 설비의 개발 및 적용을 검토하고 있는 것으로 판단된다.

캐나다 Davis사의 경우 관련 설비의 설계기술, 생산기술, 함정 설계 변경에 따른 최적화 기술 등을 확보하고 있다. 또한 해당 기술의 적용분야를 확대하여 최근에는 헬리콥터용 IRSS에도 확장하여 미국의 헬리콥터에도 해당업체의 제품을 적용하고 있다. Davis사에서는 IRSS 축소모형의 성능 평가를 위한 시험장치(고온 풍동, Hot gas Wind Tunnel)를 보유하고 있으며, 함정과 헬리콥터의 IR신호를 해석할 수 있는 고유 S/W의 개발 및 판매/기술지원, IR 신호 측정을 위한 IR 카메라 등 다양한

장비를 보유하고 있다. 또한 해당분야에서 20년 이상 오랜 경험을 갖고 있는 연구진이 다수 확보된 것도 큰 장점으로 파악된다. 기술의 선점을 통한 시장확보, 판대/실선적용에 따른 기술 업그레이드 및 자본확충, 기업이윤의 연구개발 투자라는 선순환적 경영이 비교적 오랜 시간동안 지속되어 높은 수준의 기술을 축적하고 우수한 인력을 확보하는 결과를 갖게 된 것으로 추정된다.

그 외에는 영국의 Darchem에서 폐기구 표면온도 저감장치를 개발하여 자국 해군 함정에 적용한 사례가 있었다. 그러나 국내 실적함정에 적용한 실적은 없는 것으로 확인된다.

2.3.4.2. 국내 적외선 신호 관리현황

IR 분야의 국내 기술 개발현황은 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 첫째는 예측을 위한 해석용 소프트웨어의 개발 및 해석기술, 둘째는 함정 건조시 적용할 수 있는 신호저감 설비의 설계, 생산분야, 세 번째로는 측정 및 결과분석과 관련된 기술이 있다.

첫째, 예측을 위한 소프트웨어의 개발 분야에서 국내에서는 일부 대학(중앙대학교)에서 개발을 시도하고 있다. 최근 개발하고 있는 소프트웨어는 국방과학연구소의 지원으로 연구개발을 수행하고 있으며, 관련 소프트웨어의 현재 성능은 함의 설계 및 측정 결과 분석용으로 활용하기에는 크게 미흡한 것으로 파악된다. 특히 국외에서 검증 받은 소프트웨어의 수준까지 도달하는 데는 상당한 시간이 소요될 것으로 예상된다.

현재 국내의 함 설계 및 건조 과정에서는 국외에서 개발된 해석용 소프트웨어(ShipIR/NTCS)를 도입해서 적용하고 있는 실정이다. 함정 관련 연구에 직접 적용하고 있는 기관은 한국해양연구원이 유일하다. 한국해양연구원에서는 DDG 기본설계 시부터 기술용역기관으로 참여하여 국외 기관으로부터 해석관련 기술을 도입하고 최근 함정의 설계까지 기술용역을 수행하고 있는 단계이다. 또한 측정결과 분석을 위한 비교연구 과정

에서도 해석수행은 한국해양연구원에서 수행하고 있다.

둘째, 함정 설계/건조시 적용할 수 있는 신호저감 설비(IRSS)는 현재까지는 국내에서 설계, 생산된 사례가 없다. IRSS는 함정의 폐기가스의 온도를 저감하거나 폐기구 표면온도를 낮추기 위한 설비를 의미한다. 그 외의 함정의 IR 신호와 관련된 설비로는 함정이 운용되는 과정에 실시간으로 함정의 표면온도 등을 측정하여 해당 부위의 온도를 낮추기 위한 스프링클러 작동 등을 중앙통제시스템을 이용해서 자동으로 조절하는 OSM(Onboard Signature Management) 시스템 등이 있다. 현재 국내에서 관련 설비의 생산, 또는 설계와 관련해서 연구개발하고 있는 분야는 폐기구 및 폐기가스 온도를 저감하기 위한 설비에 국한된다.

셋째로 함정의 IR 신호를 측정하고 그 결과를 분석하는 기술, 그리고 측정된 결과와 해석 S/W를 이용한 비교분석 분야이다. 이 기술분야는 국내에서 2009년부터 시작되어 수행되고 있다. 함정의 IR 신호를 측정하기 위한 주요 장비들은 국방과학연구소에서 보유하고 있고, 운용함정에 대한 IR 신호 측정 및 분석을 위한 연구는 2009년부터 국방과학연구소를 중심으로 수행하고 있다. 측정 결과와 해석 S/W를 이용한 비교분석 분야는 한국해양연구원이 지원하고 있다. 그러나 이 기술분야는 국외의 기술을 이전 받기 곤란한 특성상 함정 실측데이터 누적 및 자체적인 연구경험이 충분히 축적되어야 신뢰성 있는 결과를 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

현재 기술수준을 살펴보면 먼저 국외에서 개발된 S/W를 도입하여 해석을 통한 예측분야는 충분히 성숙된 단계에 이른 것으로 평가된다. 관련 S/W는 한국해양연구원, 국방과학연구소에서 보유하고 있으며, 한국해양연구원에서 해석 분야 연구, 함정 설계시 기술용역 수행을 다년간 수행해왔다. 해석 기술은 실적함의 설계과정에서도 적용하고 있으며, 운용함정의 IR 신호 측정결과와 비교분석하는 분야에서도 최근 활용되고 있다. 함정의 IR신호 측정을 위해서 가장 중요한 장비로는 IR 카메라와 카메라의 특성을 보정할 수 있는 보정용 흑체(Blackbody), 그리고 측정

당시 기상데이터를 동시에 측정/기록할 수 있는 장비 등이 있다. 추가적으로 대상함의 경로, 측정팀의 위치 기록 등을 위한 DGPS 장비 등이 활용된다. 이와 같은 대부분의 장비들은 국방과학연구소에서 현재 보유하고 있다. 2009년부터 지속적으로 추진되고 있는 운용함정에 대한 IR 측정을 통해 해당 장비의 운용 및 결과분석 과정은 어느 정도 숙달된 것으로 파악된다.

국내 실적함정의 IR 신호는 2009년부터 측정되기 시작했으며, IR 신호의 특성상 측정 당시의 환경에 매우 민감한 특성으로 인해 다양한 환경에서 추가적인 측정 결과 D/B가 충분히 확보되어야 할 것으로 판단된다. 현재까지 측정된 결과는 누적 데이터 부족으로 타 분야의 연구 또는 설계시 활용 등에는 크게 부족한 상태이다.

IR 신호의 시험평가지 가장 큰 문제점은 IR 신호가 환경에 매우 민감한 특성을 갖는다는 점이다. 환경의 변화에 따른 신호가 지나치게 민감하게 변화하는 특성은 국내에서 수행된 여러 측정 및 해석결과를 통해서도 확인된 바 있다. 이러한 특성으로 인해 평가대상 함정이 설계요구조건을 만족하는지 명확하게 판단할 수 있는 기준이 부족한 상황이다. 따라서 최근 IR 신호에 대한 기준치가 설정되었지만, 시험평가는 해석으로 수행하고 있는 상황이다.

2.3.5. 충격(Shock)

2.3.5.1. 국외 충격 관리현황

어뢰, 기뢰 등의 비접촉 수중폭발 충격하중에 대한 함정의 취약성 문제는 세계 2차 대전 중 대두되었다. 세계 2차 대전 중에 기뢰의 비접촉 수중폭발 충격하중으로 인해 영국 650여척, 독일 및 이탈리아 1,800여척, 일본 1,500여척의 선박이 침몰되거나 손상된 것으로 보고되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 연구에 착수하게 된 것이 비접촉 수중폭발

충격하중에 대한 함정의 내충격 강화 관련 연구의 시작이라고 할 수 있다.

이후 미국을 비롯한 선진국들은 비접촉 수중폭발 충격하중에 대한 함정의 내충격 강화를 위하여 설계 및 성능평가 방법과 기준 개발, 선체와 탑재 장비 및 받침대의 충격응답 해석 방법 및 프로그램 개발, 탑재 장비 및 실선의 충격시험을 통한 실적자료의 축적 등 수많은 연구를 현재까지 수행하여 오고 있다. 특히, 1990년대 중반부터 급격히 발전하기 시작한 전산기 환경과 M&S(Modeling & Simulation) 도구를 활용하여 실선 충격시험의 보조자로서, 궁극적으로는 이를 대체할 수 있을 정도로 신뢰성 있는 함정 수중 충격 M&S 기술 개발에 현재까지 많은 투자를 하고 있다. 한 예로서, 미국에서는 NAVSEA 주관 하에 1997년부터 3년간 약 6백만 달러의 연구비를 투입하여 Aegis급 구축함인 DDG-53의 실선 충격시험에 대한 수치 시뮬레이션을 수행하고 시험 결과와 비교/검토를 통해 함정 수중충격 M&S 기술의 정확도를 검증하기 위한 프로젝트를 수행하였다. 본 프로젝트를 통해 유용성이 상당 부분 검증된 M&S 기술을 더욱 발전시키기 위하여 2001년에 수행한 USS Winston Churchill의 실선 충격시험에 대한 M&S 프로젝트를 2002년부터 3년간 후속 프로젝트로 수행하였다. 그림 2.16에는 DDG-81의 실선 충격시험 시뮬레이션 모델과 시뮬레이션 및 시험 비교결과의 한 예를 도시하였다.

이들 프로젝트를 통해 선체구조의 충격응답 예측 측면에서는 많은 기술적 성과를 얻었지만 아직까지 탑재 장비의 충격손상을 예측하지 못하기 때문에 실선 충격시험을 대체하지 못하고 있는 실정이다. 미국에서는 탑재 장비의 충격손상도 정확하게 예측하여 실선 충격시험을 궁극적으로 대체할 수 있는 시뮬레이션 기술을 개발하기 위한 대형 프로젝트를 현재 수행 중에 있다.

시험평가 수준은 미국 등 일부 선진국에서는 내충격 강화가 요구되는 새로운 등급의 함정 획득사업에 있어서 선도함에 대해 건조 후 실선 충격시험을 실시하고, 시험동안 발생된 충격 손상들의 원인규명과 보완대

책을 마련하여 후속함 건조에 반영하고 있다.(미국의 경우 선도함에 대한 실선 충격시험을 의무적으로 실시하도록 1980년대 후반에 법제화하였음)

그러나 시험특성상 재시험이 거의 불가능한 실선 충격시험을 수행하기 위해서는 막대한 비용, 인력 및 시간이 소요될 뿐만 아니라 환경 영향의 최소화를 위한 추가 비용을 지출해야 하는 등 많은 어려움이 있다. 위에서 보는바와 같이 막대한 비용, 인력 및 시간이 소요되는 실선 충격시험을 대체할 수 있는 함정 수중충격 M&S 기술 개발뿐만 아니라 환경 영향을 최소화할 수 있는 친환경적인 실선 충격시험 기술 개발에도 많은 연구가 진행 중에 있다. 한 예로서, 미국, 호주 등에서는 현재 그림 2.17에 보인 바와 같이 실제 폭약을 사용하는 대신에 고속의 공기를 이용하여 충격파를 발생시킬 수 있는 Air Gun Array를 이용한 친환경적인 실선 충격시험 기술 개발에 박차를 가하고 있다.

2.3.5.2. 국내 충격 관리현황

국내의 경우 1980년대 후반부터 수중폭발에 대한 함정 내충격 강화기술의 중요성에 대한 인식제고와 함께 국방과학연구소와 한국기계연구원을 중심으로 수중폭발에 의한 구조물의 충격응답 해석 기법연구, 관련 해석도구의 개발, 상용 해석도구(LS-DYNA/USA 등)의 도입/활용을 통한 실제 함정 적용연구 등의 활발한 연구가 수행되고 있으며, 이러한 연구를 통해 관련 핵심기술은 상당부분 구축되었다고 판단된다. 그러나 이들 연구는 주로 신조 함정 획득사업의 일환으로 설계단계에서 대상 함정의 내충격 안전성을 검토하기 위한 기술용역의 형태로 이루어져 왔기 때문에 원천적이고 체계적인 연구는 상대적으로 미약하며, 특히 실험에 기반한 정확도 검증에 대한 관련 연구는 더욱 미미한 실정이다.

또한 한국기계연구원을 비롯한 일부 업체가 보유하고 있는 MIL-S-901D 경중량 및 중간중량 충격시험기를 이용하여 국산화 개발 무기체계 및 장비 일부에 대해 내충격 성능 시험평가를 수행하고 있다(한국기계연구원

에서는 공인기관으로서, 2006년 KOLAS 인증 획득). 그러나 현재 국내에는 MIL-S-901D 중 중량 충격시험기를 비롯한 다양한 형태의 충격시험기가 없기 때문에 대형 무기체계 및 탑재 장비의 국산화 개발에 많은 어려움이 있다.

1990년대 중반부터 현재까지 한국기계연구원을 중심으로 한국해군 선도함 획득사업의 일환으로 수행하고 있는 기술용역(MLS 상세설계, MSH 상세설계, DDH-II 상세설계 등)을 통해 함정 수중충격 M&S 기술은 미국 등 선진 해군국가에 상당히 근접한 수준에 도달하였다고 판단된다. 그러나 전술한 바와 같이 M&S의 정확도 검증(특히, 실선 충격시험과의 비교)에 대한 연구가 매우 미미하기 때문에 이에 대한 연구가 절실히 요구된다.

실선 충격시험의 경우 이의 중요성과 필요성을 충분히 인식하고 있지만, 시험에 필요한 예산확보의 어려움, 관련 전문 인력, 시험설비의 부족 등 많은 현실적 문제로 인해 기뢰탐색함(MHC, 1987년)과 소해함(MSH, 2000년, 그림 2.18) 2척을 제외하고는 실선 충격시험 사례가 없다. 이들 시험에 있어서도 충격손상 발생에 따른 후속조치 마련의 어려움으로 인해 미국에서 실시하고 있는 실선 충격시험에 해당하는 충격세기(내충격 설계기준의 2/3)를 갖는 시험은 하지 못했으며, 경험부족으로 시험자료 취득 성공률도 선진국과 비교했을 때 상대적으로 낮았던 것으로 보고되었다.

시험평가 기술 수준은 1980년대 후반부터 시작된 탑재 장비에 대한 충격 시험도 대상 장비의 내충격 성능검증 목적으로만 거의 수행되어 왔기 때문에 함정 선체 및 탑재장비에 대한 종합적인 내충격 설계 및 성능평가를 위해 반드시 요구되는 관련 실적자료의 축적이 많이 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 또한 현재 국내에는 MIL-S-901D 중중량 충격시험기를 비롯한 다양한 형태의 충격시험기가 없기 때문에(표 2.8) 대형 무기체계 및 탑재 장비의 국산화 개발에 많은 어려움이 있다. 현재 국방과학연구소에서는 2013년부터 3년간 항공기 시험장에 잠수함용 탑재 장비의

충격시험을 위한 이중 반정현과 펄스 형태의 충격 가속도 시간이력을 구현할 수 있는 충격시험기를 구축한 상황이다.

표 2.1 함정 특수성능 개념

기본성능 (플랫폼 성능)	수상함 (전투체계 성능)	특수성능 (생존성 관련 성능)
<ul style="list-style-type: none"> · 기동성 · 내항성 · 거주환경 	<ul style="list-style-type: none"> · 센서(Sensors) · 지휘/통신/통제/정보 (Command/Communications /Control/Intelligence) · 무장(Weapons) · 대항책(Countermeasures) 	<ul style="list-style-type: none"> · 은밀성(Stealth) · 전자기간섭 (EMI/EMC) · 충격(Shock)

표 2.2 함정 주요 소음원 및 감소대책

주요 소음원		감소대책
· 추진기	· 함정의 추진기가 회전함에 따라 발생하는 소음	· 저소음 프로펠러, Prairie 등
· 기계류	· 함정에 설치된 장비가 작동함에 따라 발생하는 소음	· 탄성마운트 · 차폐상자 등
· 유체	· 함정이 기동함에 따라서 발생하는 유체동역학적 소음	· Masker 체계
· 배관계통	· 함정의 배관내의 유체흐름으로 인해 발생하는 소음	· 플렉시블 호스 · 배관내 유속흐름 제한 등

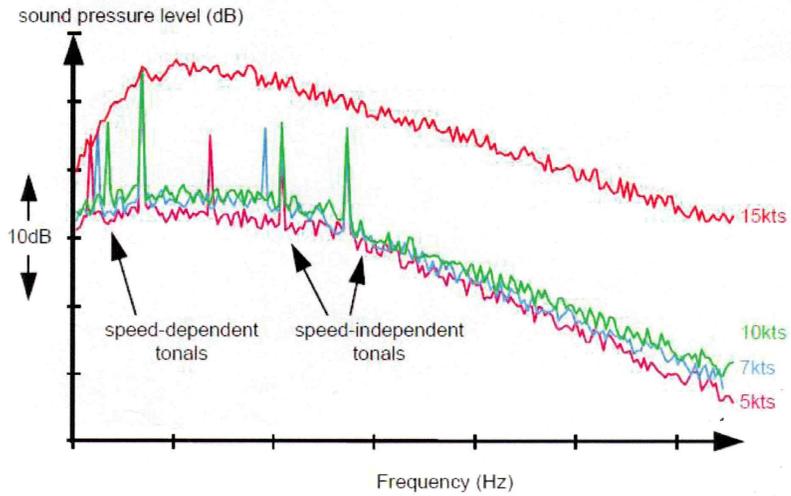


그림 2.1 수중방사소음 스펙트럼 분포도

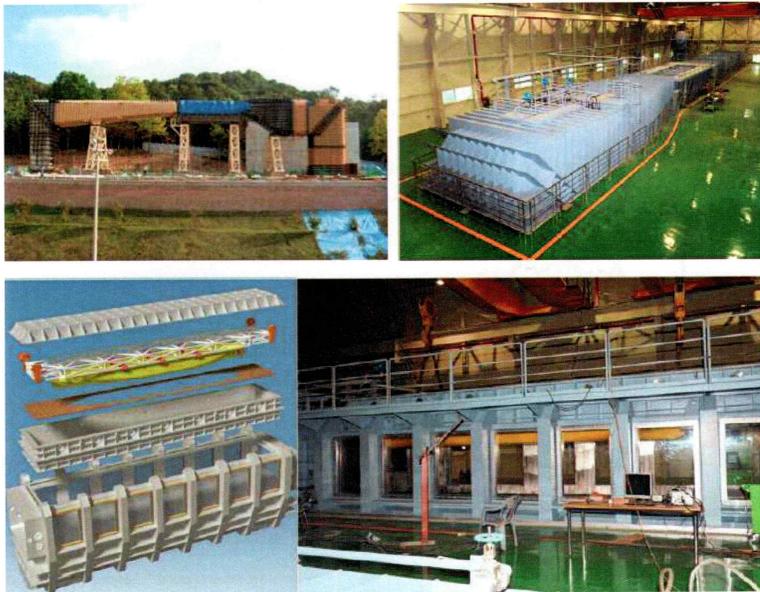


그림 2.2 한국해양연구원 대형 캐비테이션 터널

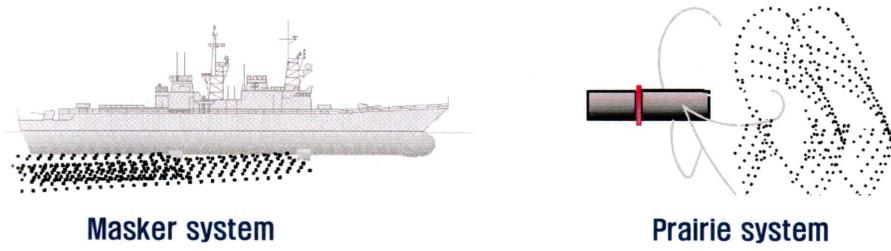


그림 2.3 Prairie/Masker System 비교

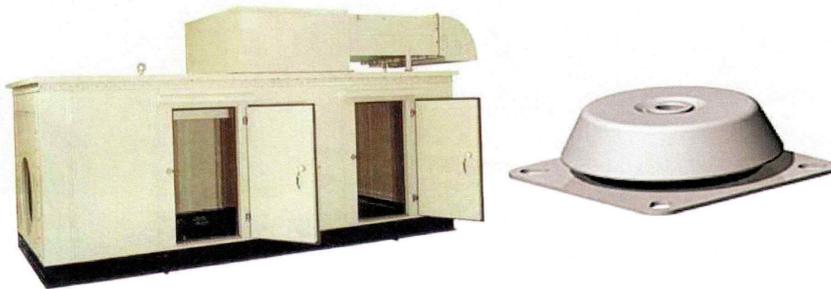


그림 2.4 가스터빈 차폐상자 및 탄성마운트

표 2.3 함정 적외선 신호(중적외선) 감소기술 선진국 수준

구 분	IR 저감장치 개발기술	스케일 모형시험 계측기술	열유동 예측 및 실험기술
수 준	실용화	모형시험 및 측정장치 보유	각종 실험기술과 예측기술 보유

표 2.4 스텔스 소재 개발기술 선진국 수준

구 분		수 준
전파 및 적외선 동시흡수재료		무기체계 적용 중
주파수 선택적 투과 및 흡수	투과	사용 주파수 선택적 투과
	흡수	개발 중
스텔스 레이돔용 광전도 박막필름		기초기술 연구단계
나노물질 스텔스 재료		기초기술 연구단계
능동형 전파흡수소자		기초기술 연구단계
재료정수 가변물질		개념연구 수준
투명 스텔스 재료		광대역 수준 개발 중

표 2.5 적외선 신호 분류

구 분	표 시	파장범위	원 인
근적외선	SWIR	0.8 ~ 2.5 μm	태양열 선체반사
중적외선	MWIR	3.0 ~ 5.0 μm	배기가스
원적외선	LWIR	8.0 ~ 12.0 μm	선체 복사열
극적외선	VLWIR	20 ~ 1000 μm	선체 복사열

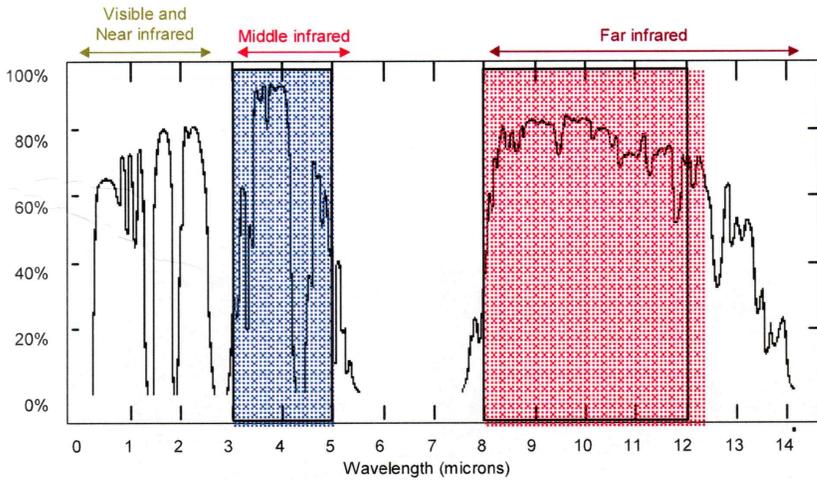


그림 2.5 적외선 대역별 대기 투과도(atmospheric transmittance)

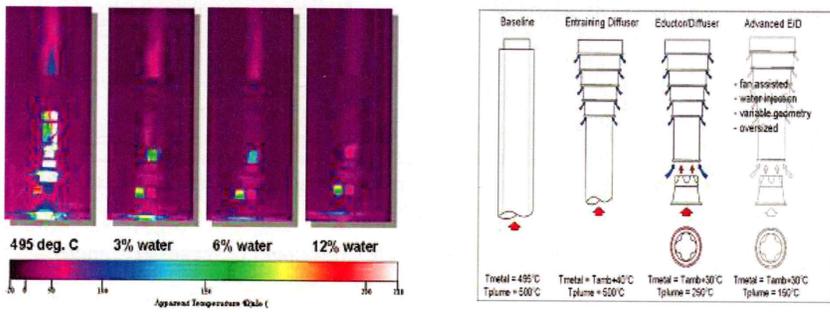


그림 2.6 함정 적외선 신호(중적외선) 감소기술

표 2.6 선체 적외선 신호(원적외선) 감소기법

적외선 신호 감소기법	특 징
흡수도 및 방사도가 낮은 페인트 사용	· 흡수도를 낮추는 경우 반사도 증가
흡수도 및 방사도를 낮추는 표면처리	· 염분, 연기, 먼지 등에 쉽게 성능 저하
바닷물을 이용한 표면 온도 강하	· 화재 소화용 배관을 보완하고 스프링클러를 추가 설치하여 사용 · 스프레이 방식, 커튼 방식을 스프링클러 사용

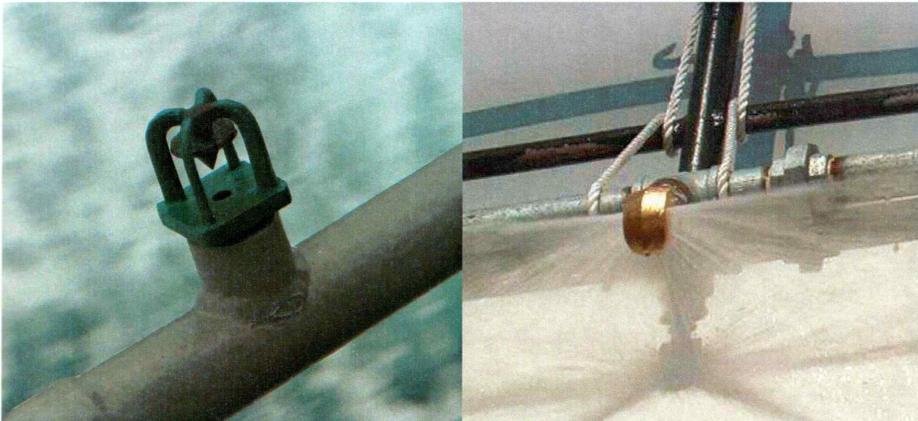


그림 2.7 스프레이, 커튼방식 노즐 형상

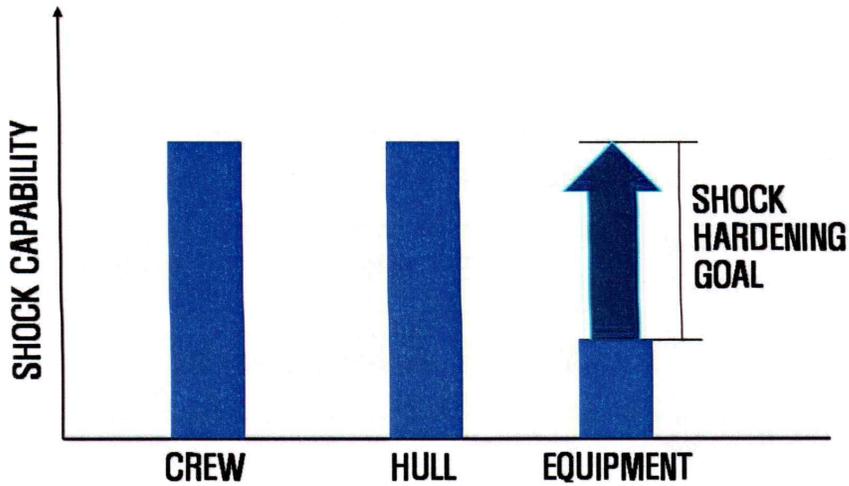


그림 2.8 수중폭발 충격파에 대한 내충격 강화의 목적

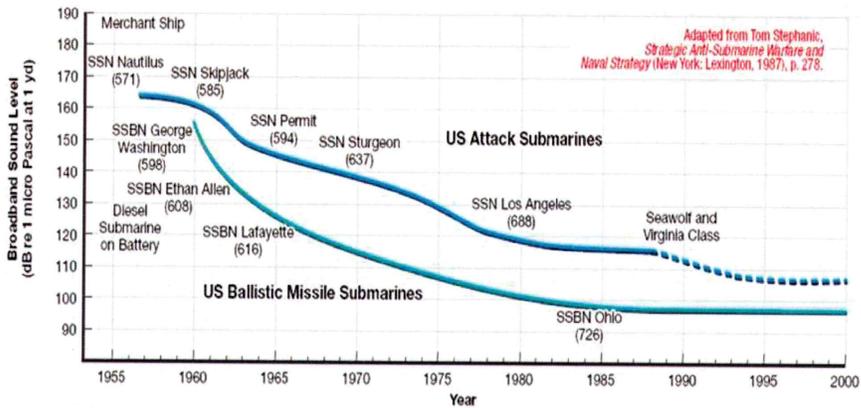


그림 2.9 미 해군 원자력 잠수함의 URN 변화

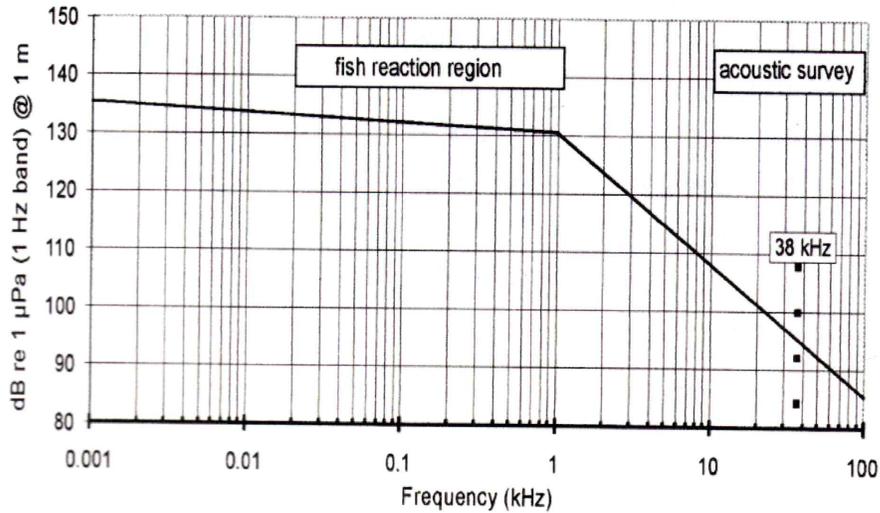


그림 2.10 ICES CRR 209 Recommendation (11 knots 자유 항주)

표 2.7 국외 해군 수중방사소음 계측체계 운용현황

국가명	운용현황
미국	· 1960년대부터 운용, 세계 최대/최다 운용국가
프랑스	· 고정형과 이동형 및 수평형 등 다양한 형태의 계측설비 운용
영국	· 고정형 위주의 정박/기동 시험 수행
독일	· 천해 근거리 음장조건에서의 시험 수행
한국	· 이동형 위주의 정박/기동 시험 수행



그림 2.11 미국 수중방사소음 측정체계 운용현황



그림 2.12 프랑스 수중방사소음 측정체계 운용현황



그림 2.13 영국 수중방사소음 측정체계 운용현황

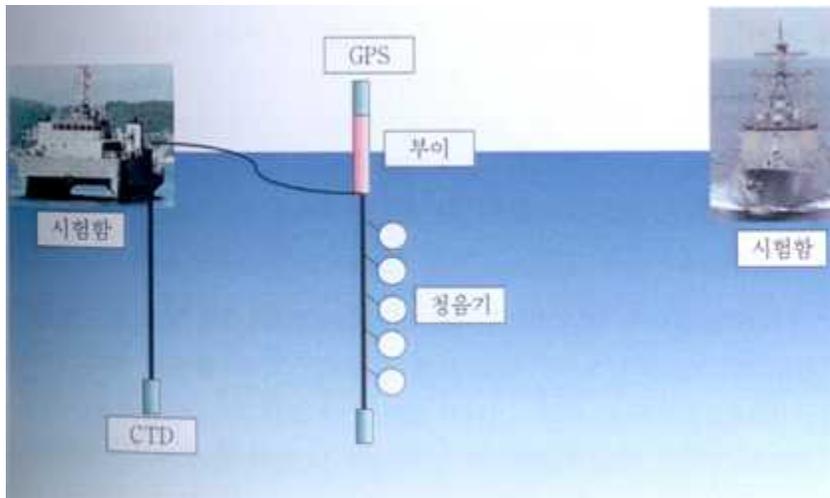


그림 2.14 수중방사소음 측정방법

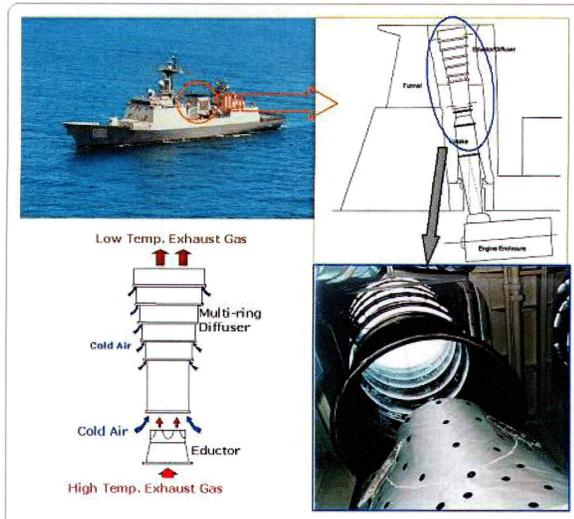


그림 2.15 함정 IRSS

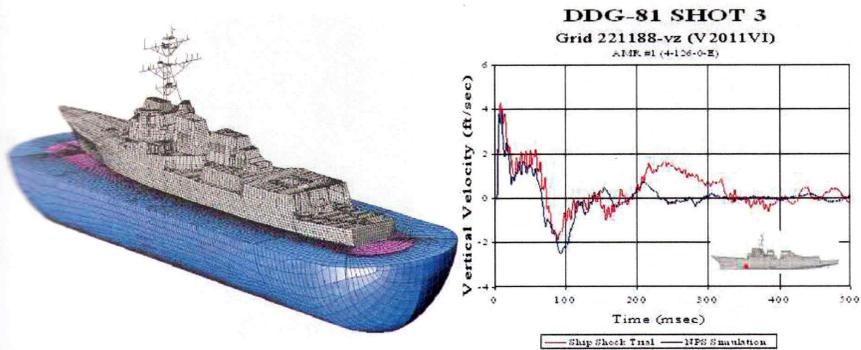


그림 2.16 DDG-81 실선 충격시험 시뮬레이션 모델



그림 2.17 Air Gun Array를 이용한 친환경적 실선 충격시험 개념도

표 2.8 국내 RCS 해석 S/W 보유 현황

프로그램명	개발기관(국가)	보유기관
HILIGHT	· BAE SYSTEMS(UK)	현대중공업
RAMSES	· IABG(GE)	국방과학연구소 / 한국해양연구원
SHIP EDF	· IDS(IT)	국방과학연구소
RACSAN	· 서울대학교	서울대학교
TRCSA	· 포항공대	포항공대
SYSCOS	· 부산대학교	부산대학교



그림 2.18 소해함 실선 충격시험 장면

표 2.9 국내 함정 탑재 장비용 충격시험기 보유 현황

기관명	운영현황	비고
한국기계연구원	· MIL-S-901D 경중량 및 중간중량 충격시험기 각 1조	· 미국 Hi-Test사 제작
대양전기	· MIL-S-901D 경중량 및 중간중량 충격시험기 각 1조	· 자체 제작
센츄리	· MIL-S-901D 중간중량 충격 시험기 각 1조	· 자체 제작
국방과학연구소	· 낙하 충격시험기 1조	

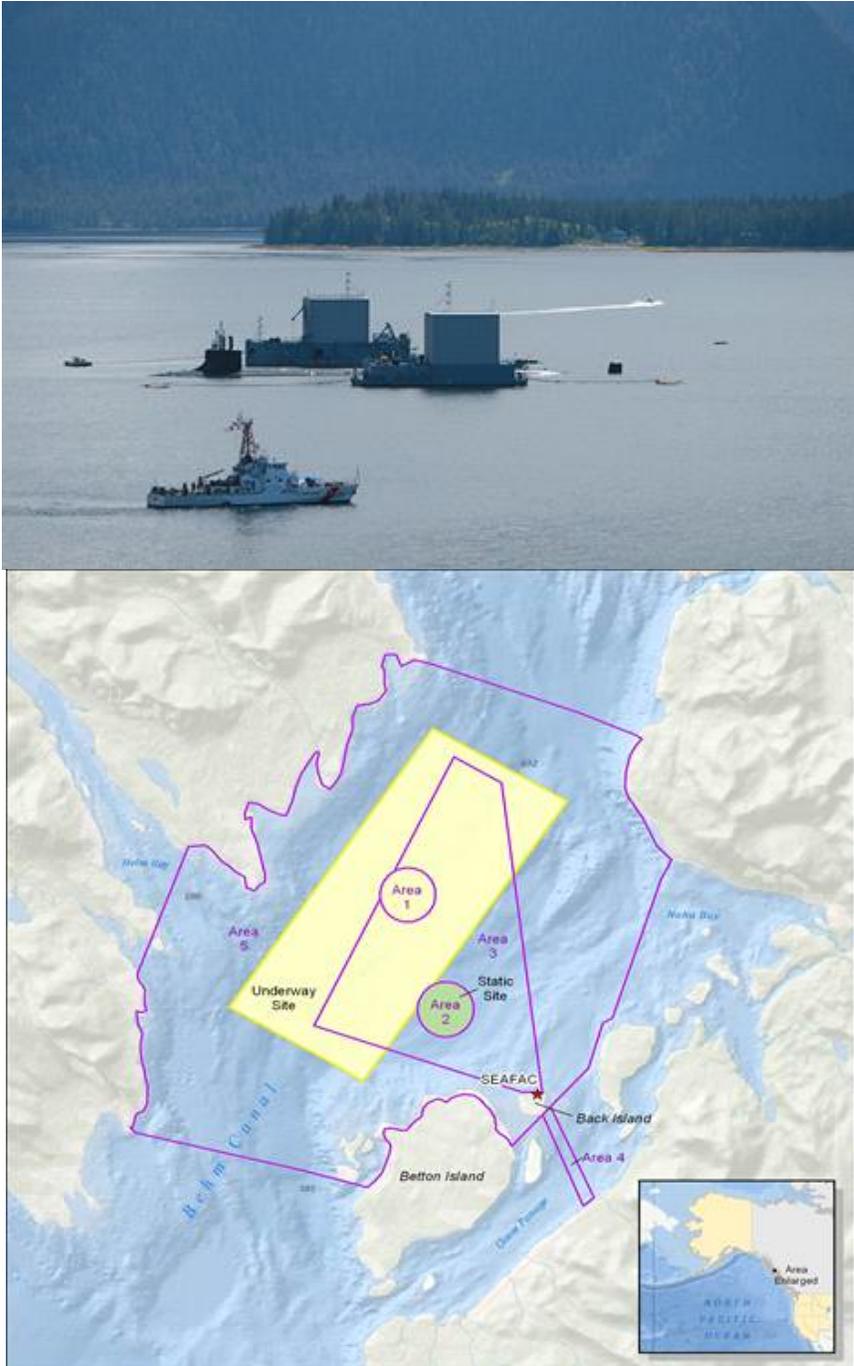


그림 2.19 SEAFAC 시험장 모습



그림 2.20 스웨덴 잠수함 음향표적강도 실험 모습

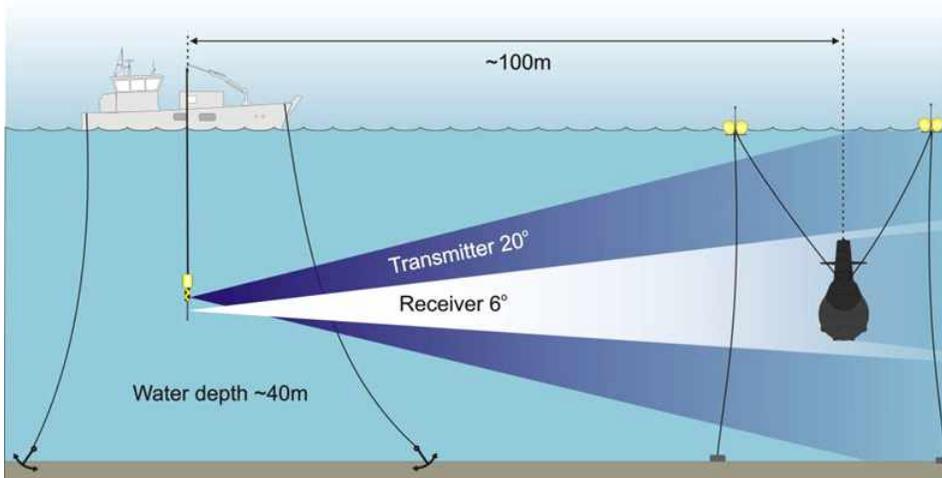


그림 2.21 스웨덴 잠수함 음향표적강도 실험 개략도

3. 음향표적강도 일반

3.1. 도입

잠수함에서 음향표적강도는 잠수함의 생존성을 결정짓는 중요한 특수 성능 중 하나이다. 따라서 본 장에서는 음향표적강도의 기본 개념과 물리 및 기하광학법을 이용한 음향표적강도 예측기법에 대해서 알아보았다. 또한 현재 대한민국 해군 잠수함의 음향표적강도 관리현황에 대해서 살펴보고, 기준치 설정 필요성에 대해 분석하였다.

3.2. 음향표적강도 예측기법

3.2.1. 간단한 형상을 갖는 표적의 음향표적강도

간단한 형상을 갖는 표적에 대한 음향표적강도는 레이다 이론이 적용된 예에서 많이 찾아 볼 수 있다.

볼록한 곡면 (convex surface)인 경우 음향표적강도는 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$TS = 10 \log \left(\frac{a_1 a_2}{4} \right) \quad (3.2.1)$$

여기서 a_1, a_2 는 곡률 반경(principle radii of curvature)을 의미한다. 위의 식 (3.2.1)이 적절한 추정 값을 주기 위한 조건은 먼저 구조물의 크기에 비해서 파장이 작아야 한다는 첫 번째 조건 $ka_1, ka_2 \gg 1$ 와 원거리 (far-field) 조건인 $r > a$ 이 성립되어야 한다. 여기서 r 은 표적과 소스와 떨어진 거리이다. 위의 두 가지 조건은 아래에 소개되는 표적강도 이론

식에 공통적으로 적용되는 조건들이다.

구의 형상을 갖는 표적은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$TS = 10 \log \left(\frac{a^2}{4} \right) \quad (3.2.2)$$

여기서 a 는 구의 반지름을 의미한다. 이론식이 올바른 값을 주도록 요구되는 조건식은 $ka \gg 1$, $r > a$ 이다.

양쪽 끝단의 효과가 포함되지 않는 유한한 길이를 갖는 실린더 형상의 표적의 경우는 다음과 같은 음향표적강도를 추정할 수 있다.

$$TS = 10 \log \left(\frac{aL^2}{2\lambda} \left(\frac{\sin(kL \sin \theta)}{kL \sin \theta} \right)^2 \cos^2 \theta \right) \quad (3.2.3)$$

여기서 a 는 실린더 단면의 반지름이고 L 은 실린더의 높이, λ 는 파장을 의미하고 r 은 음원과 표적의 기하학적 중심까지의 거리를 의미한다.

역시 위의 식이 만족되는 조건은 $ka \gg 1$, $r > L^2 / \lambda$ 이다.

직사각형 형태의 평판에 대해서는 다음의 식으로 음향표적강도를 구할 수 있다.

$$TS = 10 \log \left[\frac{a^2 b^2}{\lambda^2} \left(\frac{\sin(ak \sin \theta)}{ak \sin \theta} \right)^2 (\cos \theta)^2 \right] \quad (3.2.4)$$

여기서 a 와 b 는 평판의 두 변, θ 는 극좌표계에서 평판의 수직인 방향과 음원이 이루는 각도를 의미한다. 만족시켜야 되는 조건식은 $r > a^2 / \lambda$, $kb \gg 1$, $a > b$ 가 된다.

마지막으로 원형 형상의 평판에 대해서는 다음과 같은 식으로 음향표적 강도를 추정할 수 있다.

$$TS = 10 \log \left[\left(\frac{\pi a^2}{\lambda} \right)^2 \left(\frac{2J_1(2ak \sin \theta)}{2ak \sin \theta} \right)^2 (\cos \theta)^2 \right] \quad (3.2.5)$$

여기서 a 는 평판의 반지름을 의미한다. 역시 $r > a^2 / \lambda$, $ka \gg 1$ 가 만족 되어야 한다.

지금까지 소개한 간단한 형상에 대한 음향표적강도의 이론 해는 기본적으로 이상화된 해(idealized solution)이다. 따라서 실제 구조물에서 내부 구조물의 영향으로 일어날 수 있는 반사 및 투과 현상, 표적이 움직일 때나 강체(rigid body)가 아닐 때 일어날 수 있는 표적강도의 변화 등이 전혀 고려되지 않은, 가장 이상화된 이론 해로 볼 수 있다. 하지만 이러한 이론 해는 전혀 새로운 형상의 표적 같이 음향표적강도에 대한 계측 자료도 없고, 아무런 음향표적강도에 대한 자료가 없을 때, 음향표적강도를 예측할 수 있는 중요한 기반이 되고, 기하학적인 형상의 측면에서만 보았을 때 비교적 정확한 음향표적강도 예측 값을 준다고 알려져 있기 때문에 그런 의미에서 중요하다 할 수 있다.

또한 잠수함과 같이 복잡한 형상을 갖는 표적은 위에서 설명된 간단한 형상의 요소들로 분해를 시키면 표적강도를 추정할 수 있다. 예를 들면 잠수함과 같은 경우, 잠수함이 실린더, 평판 등과 같은 요소들로 표면의 선체 (hull)에 대해서 모델링을 하면 잠수함의 음향표적강도를 추정할 수 있다.

긴 파동의 소나(long pulse sonar)의 경우에는 표적을 간단한 형상으로 분해를 한 후 분해된 각각의 요소들이 전체 음향표적강도에 주는 영향을 합함으로써 전체 표적의 표적강도를 추정할 수 있다. 이러한 기법은 특히 레이다 분야에서 폭격기 (jet bomber) 등 복잡한 형상을 갖는

표적에 대한 음향표적강도를 추정할 때 성공적으로 쓰여 졌다.

3.2.2. 고주파수 영역에서의 음향표적강도

고주파수 영역에서, 즉 파장의 길이가 구조물의 최소 길이보다 작은 경우에 대해서 표적강도는 산란 기법(scattering method)에 의해서 효과적으로 추정될 수 있다. 여기서 구조물의 최소 길이는 구조물의 길이, 예를 들면 잠수함의 길이, 폭 등이 아니라, 그 것 보다 더 작은 길이 차원을 갖는 핀(fin)이나 선체 부가물(appendage)의 길이라는 점이다. 이는 길이 차원에서 더 작은 값을 갖는 선체 부가물 쪽이 더 표적강도에 지배적인 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미하기도 한다. 실제로 고주파수 영역에서 쓰이는 기법들은 선체의 길이나 부가물의 길이 차원에 영향을 받기는 하지만, 주로 보통 수 kHz에서 많이 적용되게 되고, 보통 선체 표면은 강체로 가정된다.

위에서 언급한 고주파수 영역에서 쓰이는 산란 기법 중 하나는 바로 물리광학(physical optics)이다. 물리광학을 이용해서 외부 표면에서 일어나는 직접 거울 반사(direct specular return)를 추정하게 되고, 다반사(multiple-bounce) 문제 같은 경우 입사각과 반사각이 같다는 거울 반사를 의미하는 물리광학(geometrical optics)으로 음향 광선(acoustic ray)을 추적하고 마지막 반사 때 표적강도에 주는 영향도를 물리광학으로 추정하는 기법이 사용된다. 또한 이러한 기법들은 구현상으로 약간 복잡하겠지만 탱크에서의 투과 현상도 고려할 수 있다. 기하광학과 물리광학에 대한 보다 자세한 내용은 후에 다루기로 한다.

3.2.3. Sonar Cross Section(SCS)

SCS는 주로 레이더 표적에서 많이 쓰는 용어로 반사 인텐시티와 입사

인텐시티의 비를 의미하는 데 개념적으로는 표적이 입사 인텐시티를 받아들이는 가상의 면적이라는 개념적인 뜻을 가진다. 그림 3.1을 보면 SCS를 이해 할 수 있는 데, P_i , P_r 은 각각 입사 인텐시티, 반사 인텐시티를 의미하고 σ 는 SCS를 의미하며, SCS를 구하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\sigma = 4\pi \frac{P_s}{P_i} \Big|_{r=1} \quad (3.2.6)$$

3.2.4. 음향표적강도와 SCS와의 관계

음향표적강도와 SCS와의 관계는 식 (3.2.1)과 식 (3.2.6)을 이용하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$TS = 10 \log \frac{\sigma}{4\pi} \quad (3.2.7)$$

표적강도와 SCS와의 관계에 대한 하나의 예로서 전에 예를 들었던 반지름이 a 인 구를 생각해볼 수 있는데, 구의 경우 입사 인텐시티를 받아들이는 면적 즉 SCS는 πa^2 으로 직관적으로 구할 수 있고, 전에 살펴보았듯이 구의 표적강도는 식 (3.2.2)와 같이 표현되므로 음향표적강도와 SCS와의 관계식 식 (3.2.7)이 만족됨을 확인할 수 있다.

3.2.5. 고주파수 영역에서의 음향표적강도 예측기법

3.2.5.1. 도입

고주파수 영역에서의 음향표적강도 예측 기법에 대해서 살펴보기로 한다. 여기서 고주파수 영역이라는 용어는 주파수가 몇 kHz 이상이 되어야 하는 등의 실제 주파수 값의 의미가 아니라는 것에 주의해야 한다. 고주파수 영역이라 함은 구조물이 입사 파장(wave length)에 비해서 크게 되는 주파수 영역으로, 표적의 크기와 함께 고려되어야 한다. 따라서 주파수가 아무리 높아도 구조물의 크기가 작다면 고주파수 영역이라 말할 수 없게 되고, 그 때는 앞으로 설명할 고주파수 영역에서의 SCS 추정 기법들을 사용했을 때는 정확한 예측값을 얻기 힘들게 된다.

고주파수 영역은 레이더 문제에서 중요한 관심 분야 중 하나였다. 감시용의 레이더로는 저주파 영역이 사용되지만, 지대공 미사일을 유도하는 등의 역할을 하는 레이더는 고주파수 영역이 많이 사용되어왔다.

VHF 영역이나 더 낮은 레이더를 쓰는 경우 보통 비행기 같은 표적은 파장의 2배 내지는 3배 정도로 고주파수 영역이라고 보기에 약간 무리가 있을 수 있지만, UHF 영역이나 미사일을 유도하기 위해 쓰는 영역들에서는 표적이 보통 최소 파장의 10배에서 수백배 더 클 수 있는 데, 이런 영역은 고주파수 예측 기법들이 정확한 예측값을 준다.

고주파수 영역에서의 예측 기법들의 장점은 비교적 적용이 단순하다는 점이다. 그 이유는 고주파수 영역에서는 산란체(scatterer)는 에너지를 다른 부분들과는 독립적으로 자신만의 값을 산란을 시키기 때문이다. 즉 표적의 한 부분이 산란시키는 에너지는 오직 그 부분으로 입사되는 에너지에 의해서만 지배되고, 다른 부분들에서 산란되는 에너지에는 영향을 받지 않기 때문이다. 따라서 이러한 점들은 원거리(far-field) 산란 에너지를 구할 때, 표적에 대해서 각 부분들을 전체적으로 통합 적분함으로

썩 산란장(scattered field)을 비교적 쉽게 예측할 수 있게 된다.

실제로 고주파수 예측 기법은 실린더, 평판, 구 등 수학적으로 표현될 수 있는 간단한 형상에 대해서만 적용이 가능하다. 따라서 실제 표적이 있을 때, 그 표적을 수학적으로 표현 가능한 간단한 형상들로 분해시키는 과정을 거치게 된다. 이 때 주의해야 할 점은 전에 고주파수 영역이라 함은 파장의 길이에 비해 표적이 크다는 것을 의미한다고 했는데, 그 표적의 길이가 전체 표적 예를 들면 비행기의 길이가 아니라, 표적이 간단한 형상들의 집합으로 분해되었을 때, 그 간단한 형상을 갖는 요소들의 길이와 파장의 길이를 비교해야 한다는 점이다. 따라서 고주파수 예측 기법들을 사용하기 위해서는 표적이 분해된 간단한 형상의 요소들의 크기가 파장에 비해서 커야 한다는 조건이 만족되어야 한다.

고주파수 예측 기법을 간단히 설명하면 가장 먼저 가장 오래되고 단순한 기법인 기하광학(geometrical optics)을 들 수 있다. 이를 이용하면 SCS, 심지어 양상태의 SCS도 반사점(specular point)에서의 곡률 반경만이 포함된 매우 간단한 식으로 얻을 수 있다. 하지만 이 기법은 한 쪽만 곡률을 가지고 있던가, 평면인 경우에 대해서는 곡률 반경이 무한대로 발산하기 때문에 올바른 예측값을 주지 못하다.

이러한 단점을 극복하고자 제안된 기법은 바로 물리광학 (physical optics)이다. 물리광학은 평면 또는 곡률이 한 쪽으로만 있는 경우에 대해서도 표면이 너무 작지 않고, 산란 방향이 거울 반사되는 방향(specular direction)과 너무 멀어지지 않는 한 올바른 예측값을 준다. 하지만 이도 거울 반사 방향에 비해 많이 벗어난 산란 방향에 대해서는 부정확한 예측값을 주고, 이를 보완하기 위해서는 회절(diffraction)이 고려되어야 한다.

3.2.5.2. 기하광학 (geometrical optics, GO)

기하광학은 천체학자나 렌즈학자들로부터 오랜 기간에 걸쳐서 광학 시스

탐을 개발하고 설계하기 위해서 사용되어 왔다. 기하광학은 부드러운 곡면을 갖는 표면에서 빛이 반사되는 것뿐만이 아니라 어떤 광선(ray)이 다른 물리적 성질을 갖는 매개물(medium)을 투과할 때 경계면에서 입사각도가 틀러지는 현상들에 대해서도 연구되었다.

기하광학은 일종의 광선 추적(ray-tracing)이라고 볼 수 있는데, 가느다란 튜브 형태의 관을 통해서 전파되는 에너지를 다음과 같이 식(3.2.8)로 표현할 수 있다.

$$u = Pe^{ikS} \quad (3.2.8)$$

여기서 진폭 P 는 진행하는 에너지의 인텐시티를 의미하고 P 와 위상인자(phase factor) S 는 모두 공간에 대한 복소수(complex number) 함수이다.

그림 3.3과 같이 부드럽고 볼록한 곡면을 가지는 표면에 에너지가 반사되는 과정을 살펴본다. 이 때 에너지는 하나의 광선 튜브에서는 위치에 상관없이 에너지가 보존해야 하므로 반사점에서 멀어질수록 에너지가 감소하게 된다. 그 것을 입사하는 튜브 쪽에서의 모든 에너지가 보전되어 반사되는 튜브 쪽 에너지로 모두 전파된다고 하면, 나오는 쪽에서의 파워 밀도와 들어가는 쪽에서의 파워밀도의 비인 파워 밀도(power density) 비를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\frac{|A(s)|^2}{|A(o)|^2} = \frac{\rho_1 \rho_2}{(s + \rho_1)(s + \rho_2)} \quad (3.2.9)$$

여기서 $A(o)$ 와 $A(s)$ 는 각각 입력 쪽과 출력 쪽의 필드 인텐시티(field intensity)이고 s 는 튜브를 따라서 입력 쪽과 출력 쪽과의 거리이고 ρ_1

과 ρ_2 는 출력 쪽에서의 파면(wavefront)의 주곡률 반경(principal radius of curvature)이다.

반사점에서의 반사 파동의 파면의 곡률 반경은 입사 파면의 곡률 반경과 표적의 곡률 반경의 함수로 표현되는데, 그 관계식은 표적 곡률의 주 평면(principal plane)이 입사 평면과 이루는 각도 등이 포함된 꽤 복잡한 식으로 여기서 다루지는 않는다. 그 관계식이 식 (3.2.9)에 대입되고, 거리 s 가 반사점에서부터 관측 점까지의 거리로 측정되고, 관측 방향이 소스로 다시 되돌아 나오는 방향으로 잡히면 s 는 R 이 된다. 이 때 R 을 무한대로 극한값을 취해서 입사 각도에 대해서 독립적으로 만들면 다음과 같은 기하광학으로 구한 SCS 최종식이 유도된다.

$$\sigma = \pi a_1 a_2 \quad (3.2.10)$$

여기서 a_1, a_2 는 반사점에서 표적의 주 곡률 반경이 된다.

식 (3.2.10)에서 볼 수 있듯이 기하광학은 곡률 반경만이 포함된 매우 간단한 식으로 결과가 나타나며 주파수에 대해서 독립적이라는 것을 알 수 있다. 또한 만약 구(sphere)에 적용이 된다고 했을 때 SCS는 단순히 단상태, 양상태 모두 관계없이 구의 정사영 된 면적(projected area)이 됨을 알 수 있다.

여기서 주의할 점은 곡률 반경이 반사점에서의 곡률 반경이라는 점이다. 따라서 식은 간단하지만 실제로 임의의 복잡한 형상을 갖는 표적에 대해서 적용될 때는 각 반사점을 찾아내는 알고리즘이 필요하므로, 실제 표적에 적용하는 것은 그렇게 쉽지는 않을 것이다. 또한 식 (3.3.10)에서 확인할 수 있듯이 곡률이 한 쪽으로만 존재하던지, 평면인 경우, 즉 곡률 반경이 무한대의 값을 갖는 경우에는 기하광학은 무한대의 값을 주므로 사용할 수 없게 되는 단점도 지니고 있다.

3.2.5.3. 물리광학 (physical optics, PO)

기하광학이 갖는 단점, 즉 곡률이 한 쪽으로만 존재하는 경우나 평면인 경우에도 음향표적강도를 예측 수 없다는 것을 극복할 수 있는 기법이 물리광학이다. 물리광학은 기본적으로 파장에 비해서 표적 표면이 매우 크고 평평하다라는 가정에서 출발해서, 반사되는 장(field)는 표면의 장의 값을 적분함으로써 예측할 수 있다라는 이론이다.

이 이론의 출발점은 Stratton-Chu 적분식으로 두 가지의 가정을 통해서 기하광학을 위한 식이 유도된다. 우선 첫 번째는 원거리 근사(far-field approximation)으로 표적에서 원거리의 관측점(observation point)까지의 거리 R 이 표적의 길이 차원보다 훨씬 크다는 가정이다. 이 가정을 통해서 그린 함수(green's function)의 구배(gradient)는 다음의 식과 같이 근사화 될 수 있다.

$$\nabla\psi = ik\hat{s}\psi \quad (3.2.11)$$

여기서 \hat{s} 는 산란 방향과 평행한 단위 벡터이다. 이 근사와 더불어 표적이 미소 요소 dS 에서 완벽하게 부드럽고 평평하다고 가정한 값을 표면 장(surface field)의 값으로 가정하는 접평면 근사(tangent plane approximation)을 추가로 가정하면 Stratton-Chu 적분식은 평판이나 실린더, 구 같은 수학적으로 표현되는 간단한 형상의 표적에 대해서 SCS 값을 구할 수 있다.

그리고 뒤에서 살펴보겠지만, 물리광학으로 구해지는 표적강도 식과 뒤에서 다루어질 Kirchhoff approximation으로 얻어지는 표적강도 식은 서로 같게 되는데, 이는 각 이론이 적용되는 분야가 기하광학의 경우 주로 레이다 이론에서 쓰이는 반면 Kirchhoff approximation은 음향학에서 쓰이는 등 서로 분야가 틀리지만, 쓰이는 적분식의 형태가 모두 기본적

으로는 Helmholtz-Kirchhoff 적분식과 같은 형태라는 점에서 서로 같은 표적강도 결과값을 주어진다고 볼 수 있다. 이는 뒤에서 다루어질 평판의 음향표적강도 유도에서 자세히 살펴본다.

3.2.5.4. 광학 기반의 기법을 이용한 음향표적강도 추정 방법

위에서 열거한 예측기법들을 이용하면 비교적 간단한 방법으로 크고 복잡한 표적에 대한 표적강도를 예측할 수 있다. 고주파수 영역에서는 표적의 산란 양상을 살펴보면 표적의 각각의 부분들이 서로 다른 부분들과는 독립적으로 에너지를 반사시킨다고 볼 수 있는데, 따라서 평판, 구, 실린더 등 비교적 간단한 형상의 부분으로 전체 표적을 분리시킨 다음 각각의 부분들에 대한 SCS를 구하고 그 것을 합함으로써 전체 표적의 SCS 및 표적강도를 추정할 수 있게 된다. 이 때 주의해야 할 점은 간단한 형상 요소로 전체 표적을 분해시킬 때, 기하학적으로 원래 표적의 형상과 근접하게 모델링이 잘 되었을 때, 신뢰할 수 있는 값을 예측할 수 있다는 점이다. 따라서 어떤 곡면을 갖는 표적이라 하더라도 그 표면이 적절하게 SCS를 구할 수 있는 간단한 형상을 가지는 요소들로 정확하게 모델링이 된다면 전체 표적의 음향표적강도를 추정할 수 있게 된다.

3.2.6. 복잡한 표적의 SCS 추정

3.2.6.1. 도입

평판의 표적강도를 유도한다. 임의의 곡면은 여러 개의 삼각형 같은 다변형(polygon)으로 근사화를 할 수 있는데, 복잡한 형상의 표적에 대한 고주파수 영역에서의 표적강도를 예측할 때 표적을 모델링 하는 기본 요소가 평판이다. 따라서 이번 장에서는 평판에 대한 표적강도를

Helmholtz-Kirchhoff 적분식을 기반으로 해서 Kirchhoff 근사화를 통해서 유도하기로 한다.

3.2.6.2. Gauss 및 Green 정리

Helmholtz-Kirchhoff 적분식에 앞서서 그 적분식의 근간이 되는 Green 정리(Green's theorem)에 대해서 살펴본다.

부피 V 안에 소스로부터 어떤 장(field) \mathbf{F} 가 형성된다고 하자. 여기서 \mathbf{F} 는 벡터(vector)이다. 그리고 부피 V 를 넓이 S 가 둘러싸고 있다고 하면 바깥쪽으로의 플럭스(flux)는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\text{flux} = \int_S \mathbf{F} \cdot d\mathbf{S} \quad (3.2.12)$$

여기서 $d\mathbf{S}$ 는 미소 요소이고 방향은 부피를 둘러싸는 표면의 안쪽 법선 방향(normal direction)을 가리킨다.

그린 정리(Green's theorem)는 부피 V 를 둘러싸는 넓이 S 를 통해서 바깥으로 나가는 플럭스와 소스의 divergence의 합이 같다는 것을 뜻하므로 다음의 식으로 그린 정리를 쓸 수 있다.

$$\int_S \mathbf{F} \cdot d\mathbf{S} = \int_V \nabla \cdot \mathbf{F} dV \quad (3.2.13)$$

U_1 과 U_2 를 어떤 스칼라(scalar) 양을 나타내는 파동 방정식의 해라고 하고, $U_1 \nabla U_2$ 와 $U_2 \nabla U_1$ 으로 쌍을 만든 후 식 (3.2.13)에 각각 대입하면 다음의 식 두 개를 얻는다.

$$\int_S U_1(\nabla U_2) \cdot \mathbf{dS} = \int_V \nabla \cdot (U_1 \nabla U_2) dV \quad (3.2.14)$$

$$\int_S U_2(\nabla U_1) \cdot \mathbf{dS} = \int_V \nabla \cdot (U_2 \nabla U_1) dV \quad (3.2.15)$$

위 식의 우변은 전개를 하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\nabla \cdot (U_1 \nabla U_2) = \nabla U_1 \cdot \nabla U_2 + U_1 \nabla^2 U_2 \quad (3.2.16)$$

$$\nabla \cdot (U_2 \nabla U_1) = \nabla U_2 \cdot \nabla U_1 + U_2 \nabla^2 U_1 \quad (3.2.17)$$

위의 식을 식 (3.2.14), (3.2.15)에 각각 대입한 후 빼면 다음과 같은 그런 정리를 얻을 수 있다.

$$\int_S (U_1 \nabla U_2 - U_2 \nabla U_1) \cdot \mathbf{dS} = \int_V (U_1 \nabla^2 U_2 - U_2 \nabla^2 U_1) \cdot dV \quad (3.2.18)$$

식 (3.2.18)의 좌변의 항들에서 구배에 관한 항들을 다음의 식 (3.2.19)과 같이 미소 요소 dS 에서 법선 미분(normal derivative) 성분으로 바꾸면 최종적으로 식 (3.2.20)과 그런 정리를 얻을 수 있다.

$$\nabla U_1 \cdot \mathbf{dS} = -\frac{\partial U_1}{\partial n} dS \quad \text{and} \quad \nabla U_2 \cdot \mathbf{dS} = -\frac{\partial U_2}{\partial n} dS \quad (3.2.19)$$

$$-\int_S (U_1 \frac{\partial U_2}{\partial n} - U_2 \frac{\partial U_1}{\partial n}) dS = \int_V (U_1 \nabla^2 U_2 - U_2 \nabla^2 U_1) \cdot dV \quad (3.2.20)$$

3.2.6.3. Helmholtz-Kirchhoff's Integral Equation

Q 점에 있는 소스가 주파수 $\omega = kc$ 인 연속적인 파를 발산한다고 가정한 후 파동 방정식을 만족시키는 해를 $U_1(x, y, z, t)$, $U_2(x, y, z, t)$ 라고 한다. 또한 장(field)은 시간에 대해서 하모닉(Harmonic) $\exp(i\omega t)$ 로 가정하고 그린 정리 (Green's theorem) 식 (3.3.20)을 적용시키면 다음과 같은 적분 방정식을 얻을 수 있다.

$$-\int_s \left(U_1 \frac{\partial U_2}{\partial x} - U_2 \frac{\partial U_1}{\partial x} \right) dS + \int_{s'} \left(U_1 \frac{\partial U_2}{\partial x} - U_2 \frac{\partial U_1}{\partial x} \right) dS' = 0 \quad (3.2.21)$$

식 (3.2.21)에서 Q' 는 Q 에서의 소스 특이점 (source singularity) 효과를 제거하기 위해서 소스 주변을 반구형 (hemi-sphere)으로 둘러싼 부분을 의미한다.

U_2 를 다음과 같이 구형파 (spherical wave) 방정식을 만족시키는 해라고 가정하면 U_2 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$U_2 = \frac{\exp(-jkR)}{R} \quad (3.2.22)$$

S 까지의 거리를 R , S' 까지의 거리를 a 라고 하고 U_1 의 아래 첨자를 단순함을 위해서 없애면 식 (3.2.22)는 다음 같은 형태로 변형된다.

$$-\int_S U \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) - \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) \frac{\partial U}{\partial n} dS - \int_{S'} U \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{-jka}}{a} \right) - \left(\frac{e^{-jka}}{a} \right) \frac{\partial U}{\partial n} dS' = 0 \quad (3.2.23)$$

식 (3.2.23)에서 S' 에 대한 수직 미분을 $\partial/\partial a$ 으로, 미소요소면적은 $dS' = a^2 d\Omega$ 으로 치환하고 식 (3.2.23)의 두 번째 항에서 a 를 0으로 극한값을 취하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\lim_{a \rightarrow 0} \int U \left(\frac{e^{-jka}}{a} \right) \left(-jk - \frac{1}{a} \right) - \left(\frac{e^{-jka}}{a} \right) \frac{\partial U}{\partial n} a^2 d\Omega = 4\pi U(Q) \quad (3.2.24)$$

따라서 식 (3.2.24)를 이용해서 반사파 $U(Q)$ 를 나타내는 식 (3.2.25)를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$U(Q) = \frac{1}{4\pi} \int_S U \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) - \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) \frac{\partial U}{\partial n} dS \quad (3.2.25)$$

식 (3.2.25)는 하모닉(harmonic) 소스에 대한 Helmholtz-Kirchhoff의 적분 방정식이다. 후에 S 는 부피를 갖는 표적 표면의 넓이 요소가 된다.

3.2.6.4. Kirchhoff's approximation

비록 식 (3.2.25)가 파동에 대한 표현식이지만 면적분을 수행하기에는 여전히 어렵다. 따라서 Kirchhoff approximation을 적용해서 식 (3.2.25)를 근사 및 정리한다. 이러한 방법을 Kirchhoff 방법(Kirchhoff method)이라고 한다.

Kirchhoff approximation은 반사계수와 투과계수를 구할 때, 무한한 평면의 경계 면에서 무한한 평면파(plane wave)가 입사한다는 가정 하에서 구한 반사계수(reflection coefficients)와 투과계수(transmission coefficients)를 사용한다.

Kirchhoff approximation과 함께, 표적이 존재하지 않다는 가정 하에서 표적의 표면 위치에 존재할 파를 U_s 라 하면 다음과 같이 반사파 U 가 다음과 같은 식들로 표현될 수 있다.

$$U = \Re U_s$$

$$\frac{\partial U}{\partial n} = -\Re \frac{\partial U_s}{\partial n} \quad (3.2.26)$$

여기서 \Re 은 반사계수이다.

식 (3.2.26)을 식 (3.2.25)에 대입하면 다음과 같이 반사장에 대한 표현식을 얻을 수 있다. (그림 3.1 참고)

$$U(Q) = \frac{1}{4\pi} \int \Re \frac{\partial}{\partial n} \left(U_s \frac{e^{-jkR}}{R} \right) dS \quad (3.2.27)$$

식 (3.2.27)의 경우에도 반사계수가 적분 안쪽에 위치하기 때문에 여전히 계산을 하는 데 어려움이 있는 데 다음과 같은 가정을 통해서 근사화 할 수 있다.

- (1) kR 이 크고 입사각이 임계각에 근접하지 않을 때, 구면파는 평면파로 근사화 될 수 있고 반사계수 및 투과계수도 평면파의 반사, 투과계수들을 이용할 수 있다.

- (2) 반사계수나 투과계수가 상수이던가 표면 요소에 대해서 서서히 변화할 때 평균값을 쓸 수 있다.
- (3) 경계 면이 물-공기와 같이 밀도 차가 큰 경우 수직 입사파에 대한 반사계수는 -1로 쓸 수 있다.
- (4) 두 개의 매질에서 sound speed가 비슷하고 차이는 밀도 차에서 유발된다.

위의 4가지 가정하에서 식 (3.2.27)는 다음과 같이 반사계수가 적분 바깥으로 나온 식 (3.2.28)로 표현될 수 있다.

$$U(Q) = \frac{\Re}{4\pi} \int \frac{\partial}{\partial n} \left(U_s \frac{e^{-jkR}}{R} \right) dS \quad (3.2.28)$$

3.2.6.5. 임의의 다각형 평판에 대한 SCS

고주파수 영역에서의 복잡한 표적의 SCS추정은 전체 표적을 많은 수의 기하학적으로 단순한 형태를 갖는 여러 개의 조각으로 나누어서 각각의 SCS를 추정하고 다음 표적의 총 SCS를 구한다.

간단한 형상을 갖는 표적의 경우에는 표적의 각각의 부분들에 의한 전체 표적에 대한 공헌도를 결합시켜서 전체 SCS를 추정할 때 각 부분들이 지니는 상대적인 위상차를 고려해야 한다. 위상차는 소나의 위치와 표적의 위치에 대한 거리의 지수함수(exponential function)로서 표현된다. 복잡한 표적의 SCS를 구하기 위하여 SCS 추정 기법을 도입하면,

$$\sqrt{\sigma_{total}} \approx \sum_n \sqrt{\sigma_n} \quad (3.2.29)$$

여기서, $\sqrt{\sigma_{total}}$ 는 위상차를 가지는 전체 표적의 SCS이고 n 은 나눈 총 부분요소의 개수, $\sqrt{\sigma_n}$ 는 위상 정보를 가지고 있는 각 부분에서의 SCS를 의미한다.

하지만 크고 복잡한 표적의 경우는 많은 수의 여러 요소들로 나뉘는데 그러한 경우 각각의 요소들이 전체 표적 강도에 주는 영향도가 서로 비슷비슷하게 된다. 이러한 경우 많은 수의 요소 부분들에 대한 상대적인 위상차를 고려할 때 아주 작은 오차도 전체 SCS를 추정할 때 큰 오차를 유발시킬 수 있기 때문에 이러한 큰 오차를 피하기 위해서 아래의 식과 같이 각각의 부분들에 대한 상대적인 위상차를 고려하지 않는 접근 방법(noncoherent approach)을 사용하기도 한다.

$$\sigma_{total} \approx \sum_n \sigma_n \quad (3.2.30)$$

여기서, σ_{total} 는 위상차를 가지지 않는 전체 표적의 SCS이고 n 은 나눈 총 부분요소의 개수, σ_n 는 위상 정보를 가지지 않는 각 부분의 SCS를 의미한다.

임의의 곡면을 갖는 복잡한 구조물에 대해서 신뢰성을 줄 수 있는 SCS를 추정하기 위해서는, 그 구조물의 형상을 정확히 모델링해야 하는 것이 가장 중요한 작업 중에 하나이지만, 직사각형 평판으로는 임의의 곡면에 대한 정확한 모델링을 할 수 없게 된다. 따라서 변의 수가 3개, 4개, 5개 이상 등등 이러한 임의의 다각형에 대한 식이 필요하게 된다. 이에 대한 식은 Gordon 에 의해서 다음과 같은 식으로 유도되었다[5].

$$\sqrt{\sigma} = -\frac{\hat{n} \cdot \hat{e}_r \times \hat{h}_i}{\sqrt{\pi T}} e^{jkr_0 \cdot \bar{w}} \sum_{m=1}^M (\hat{p} \cdot \bar{a}_m) e^{jkr_m \cdot \bar{w}} \frac{\sin(k\bar{a}_m \cdot \bar{w}/2)}{k\bar{a}_m \cdot \bar{w}/2} \quad (3.2.31)$$

여기서, 각 변수들은 다음과 같다.

σ = 평판의 양상태 SCS

\hat{n} = 평판의 법선 단위 벡터

\hat{e}_r = 반사파의 전기장 단위 벡터

\hat{h}_i = 입사파의 자기장 단위 벡터

\bar{r}_0 = 소나에서 좌표축의 원점을 가리키는 벡터

\bar{w} = 단위 입사 방향 벡터 - 단위 반사 방향 벡터

\bar{a}_m = 평판에서 m 번째 변을 길이와 위치를 나타내는 벡터

\bar{r}_m = m 번째 변의 중점을 가리키는 위치 벡터

T = 평판이 있는 평면으로의 정사영 시켰을 때의 벡터 길이

$\hat{p} = \hat{n} \times \bar{w} / |\hat{n} \times \bar{w}|$

M = 변의 개수

여기서, T 가 0이 될 때는 식 (3.2.14)은 발산을 하게 되는 데 그 때는 아래의 식을 쓴다.

$$\sqrt{\sigma} = -\frac{ikA}{\sqrt{\pi}} \cos\theta \exp[jk\bar{r}_0 \cdot \bar{w}] \quad (3.2.32)$$

이 결과를 이용하면 복잡한 표적의 SCS를 쉽게 구할 수 있다.

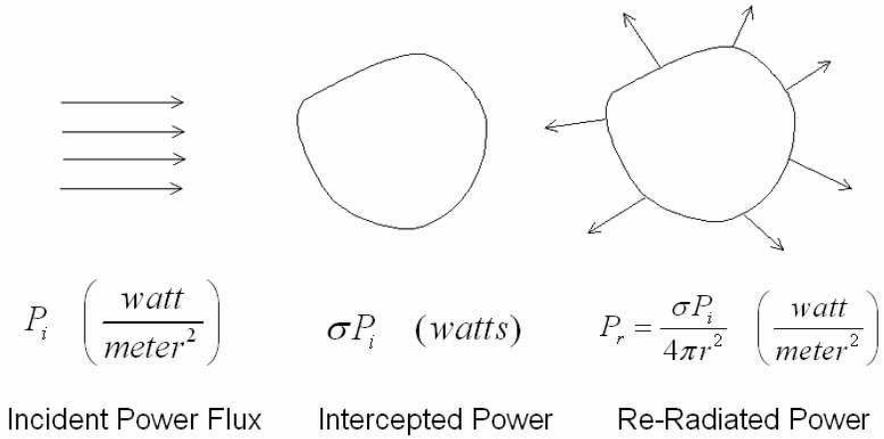


그림 3.1 Intuitive definition for SCS

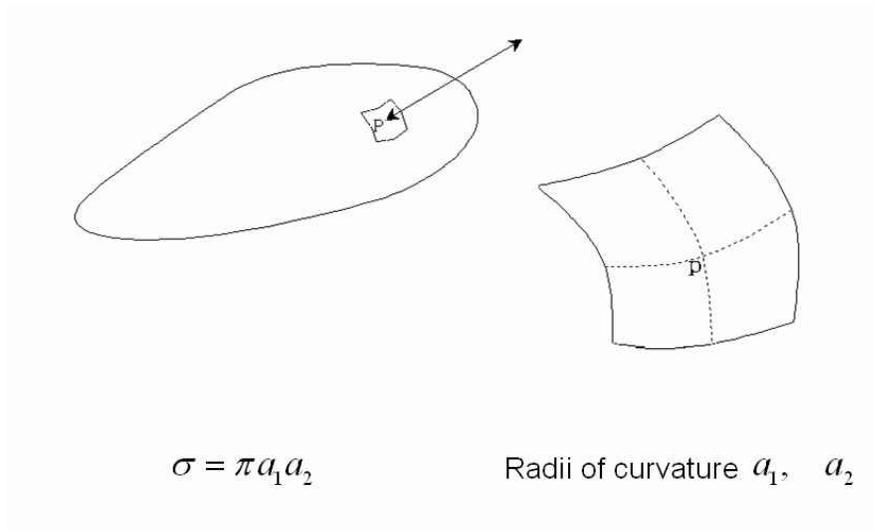


그림 3.2 SCS expression in geometrical optics

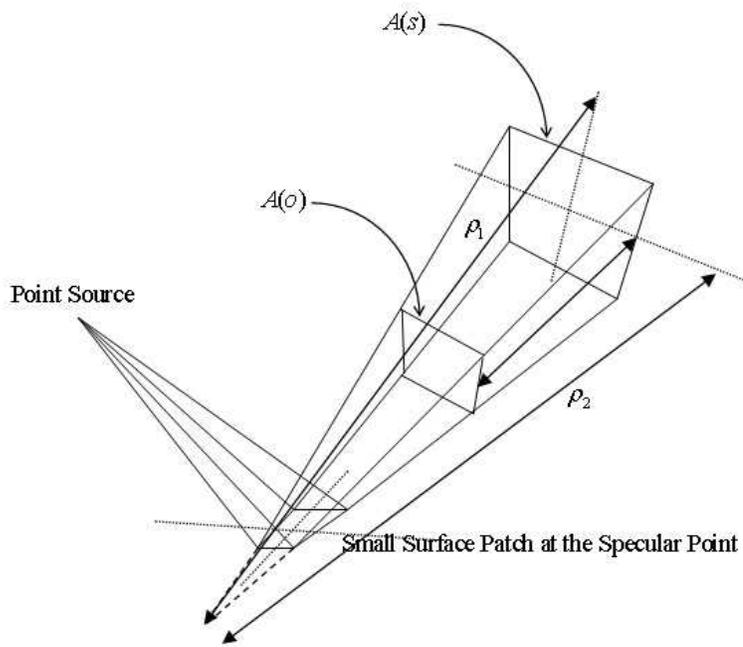


그림 3.3 Geometrical optics reflection from a doubly curve surface

4. 음향표적강도 기준치 설정

4.1. 도입

잠수함의 음향표적강도 기준치를 설정하기 위해서 잠수함의 작전개념이 반영이 되어야 한다. 본 장에서는 이러한 잠수함의 작전개념을 처음으로 능동소나방정식에 적용하여 음향표적강도 기준치를 설정하였다. 먼저 잠수함의 작전환경, 적 위협세력, 함정임무 등의 작전개념에 대해 알아보고, 이러한 작전개념을 능동소나방정식에 적용하여 최종적으로 잠수함의 음향표적강도 기준치를 설정해 보았다.

4.2. 잠수함 작전개념

잠수함은 해군의 전력운용계획에 따라서 작전운용성능이 결정되고 작전개념은 그에 따라서 결정된다. 잠수함의 작전개념은 크게 작전환경, 위협세력, 함정임무 등 3가지로 나눌 수 있다.

먼저 작전환경은 잠수함이 임무를 수행하게 될 해역을 의미하는 것으로 크게 한반도 해역(동해, 서해, 남해 등)과 동중국해 및 필리핀해, 연합작전시는 태평양 지역 등으로 볼 수 있다. 그리고 이러한 작전해역이 정해지면 그에 따른 배경소음, 전달손실, 표층수온, 염분, 수심, 조석, 조류 등 해역의 특성을 분석할 수 있다(그림 4.1).

위협세력은 크게 적 잠수함, 수상함, 기타(대잠헬기 등) 대잠전력으로 나눌 수 있다. 현재 대한민국의 특성상 주요 위협세력은 북한이라고 할 수 있으며, 북한의 대잠전력이 바로 잠수함의 위협세력이라고 할 수 있다.

마지막으로 함정임무는 잠수함이 수행해야 할 임무를 의미하는데, 크

게 대함전, 대잠전, 대지전, 해상교통로 보호작전, 기뢰부설 작전 등을 들 수 있고, 이에 따라서 잠수함의 선체/추진, 무장/타격, 탐지, 지휘통신, 생존/안전 등의 능력들이 설정되게 된다.

잠수함의 작전개념인 작전환경, 위협세력, 함정임무 등을 소나방정식에 적용해 보았다.

4.3. 소나방정식

소나방정식은 크게 수동소나방정식과 능동소나방정식으로 구분되며 이는 아래와 같이 표현된다[4].

$$\text{능동소나방정식} : SL - 2TL + TS - (NL - DI) + AL = DT \quad (4.3.1)$$

$$\text{수동소나방정식} : SL - TL - (NL - DI) + AL = DT \quad (4.3.2)$$

여기서 SL (Source Level)은 함정의 소나 출력레벨을 의미하며 TL (Transmission Loss)은 음파가 전달하는 과정에서 발생하는 음파의 전달손실을 나타내고 NL (Noise Level)은 수중에서의 배경소음레벨을 나타내며 DI (Directivity Index)는 소나 배열의 지향특성을 의미하고 DT (Detection Threshold)는 탐지경계레벨을 나타내고 TS (Acoustic Target Strength)는 목표물의 음향표적강도를 나타낸다. AL (Additional Loss)은 추가손실로써, 실제 잠수함이 수중에서 불확실성을 반영하는 항목으로 마진(Margin)의 개념과 유사하다. 능동소나방정식은 그림 4.1과 같이 잠수함의 탐색을 위해 음향신호를 직접 송출하는 경우에 해당되므로 이를 이용하면 잠수함의 음향표적강도에 관한 기준치를 세울 수 있다. 수동소나방정식은 그림 4.2와 같이 함정에서 발생하는 수중방사소음에 적용할 수 있으므로 이를 이용하면 함정의 수중방사소음 기준치를 설

정할 수 있다. 함정의 작전환경이 결정되면 TL , NL , SL , DI , DT 를 구할 수 있으며 변수들과 능동소나방정식을 이용하면 잠수함의 음향표적강도 TS 를 구할 수 있는데, 이때의 음향표적강도 값이 작전환경을 만족하는 잠수함의 음향표적강도 기준치가 된다. 능동소나방정식의 각 변수들에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.

4.3.1. 소나 출력레벨(Source Level)

함정의 소나에서 발생하는 소나 출력레벨을 의미하여 적 위협세력의 소나성능에 의해 결정된다.

4.3.2. 전달손실(Transmission Loss)

함정에서 발생한 소음이 수중으로 전달되면서 발생하는 음압의 변동은 주로 전달손실로 표현된다. 전달손실은 음원으로부터 발생한 음압이 매질을 통해 전달되면서 감소하는 정도를 나타내는 것으로 이는 주로 음의 확산(spreading)과 감쇠(attenuation)에 기인한다.

수중에서 발생하여 전달되는 음압은 주로 구면파 또는 원통형파를 이용하여 표현된다. 구면파는 균일한 무한평면에서 음원에 의해 생성된 음파를 그림 2.3과 같이 음원을 중심으로 한 구의 표면에 균일하게 분포한다고 가정하여 음압을 표현하는 것으로 구면파에 의한 음압은 식 (4.3.3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$p(r,t) = \frac{A}{r} e^{(j\omega t - kr)} \quad (4.3.3)$$

여기서 r 은 음원에서부터 떨어진 거리를 나타내고 k 는 음압의 파수를

나타낸다. 이때 거리에 의한 음압의 감소이외에 추가적인 손실이 없다고 가정하면 구면파의 거리에 따른 확산손실은 식 (4.3.4)와 같이 표현된다.

$$Spreading Loss = -10 \log \left(\frac{p_{rm}^2}{p_{1m}^2} \right) = 20 \log(r) \quad (4.3.4)$$

여기서 p_{rm} 은 소음원으로부터 r 만큼 떨어진 곳에서의 음압이고 p_{1m} 은 소음원으로부터 $1m$ 떨어진 곳에서의 음압이다. 구면파는 균일한 무한평면에서의 음파 전달을 나타내기에 적합하므로 수심이 깊은 심해에서 활용할 수 있다.

심해와 달리 수심이 얇은 천해지역에서는 음파가 해수면과 해저면의 경계를 통과 할 수 없으므로 음의 확산은 수심을 높이로 하고 거리를 반지름으로 하는 원통형상으로 이루어지는데 이는 그림 4.3과 같이 나타낼 수 있다. 원통형파에 의한 음압은 식 (4.3.5)와 같이 표현할 수 있다.

$$p(r,t) = [AJ_0(kr) + BY_0(kr)] e^{j\omega t} \quad (4.3.5)$$

수면파와 마찬가지로 거리에 의한 음압의 감소이외에 추가적인 손실을 고려하지 않는다면 원통형파의 거리에 따른 확산손실은 식 (4.3.6)과 같다.

$$Spreading Loss = -10 \log \left(\frac{p_{rm}^2}{p_{1m}^2} \right) = 10 \log(r) \quad (4.3.6)$$

수심이 얇은 천해일지라도 음원으로부터의 초기 확산은 구형으로 발생하고 음파가 해수면과 해저면의 경계에 갇히게 되는 충분한 거리에서 원통

형확산으로 변하기 때문에 원통형파는 천해에서 계측지점이 음원으로부터 충분히 멀리 떨어져 있는 경우 적용할 수 있다.

감쇠는 해수의 점성 및 화학적 작용 등에 의해 음파가 가지는 파동에너지가 열에너지로 변환되는 과정에서 발생한다. 기하학적 손실인 확산 손실과는 달리 감쇠손실은 주파수에 의존적인 특성을 가지는데 식 (4.3.7)은 미 해군에서 주로 사용하는 감쇠손실을 표현한 식이다.

$$\alpha = \frac{0.1f^2}{1+f^2} + \frac{40f^2}{4100+f^2} + 2.75 \times 10^{-4}f^2 + 0.003 \quad (4.3.7)$$

여기서 α 는 흡음계수(Absorption Coefficient)를 나타내고 f 는 주파수를 나타낸다. 전달손실은 확산손실과 감쇠손실의 합으로 표현되며 이는 식 (4.3.8)과 같다.

$$TL = Spreading Loss + \alpha r \quad (4.3.8)$$

실제 해양환경은 확산손실에서 가정한 것처럼 균일하지 않다. 특히 음파의 전달에 큰 영향을 미치는 음속의 경우 계절과 지역에 따라 그 변화가 극히 심한 양상을 보인다. 해수의 음속은 수온, 염도, 수심에 의해 결정되는데 음선이론에 따르면 음파는 음속이 변하는 곳에서 굴절하며 이때 음파의 진행방향은 Snell의 법칙을 따른다. 수심에 따른 음속의 분포는 그림 4.4와 같이 표현된다. 한편 수심이 깊은 수심이 깊은 해역의 경우 이러한 음파의 굴절현상에 음파가 전혀 전달되지 못하는 지역이 형성되는데 이를 Shadow Zone이라 한다. Shadow Zone은 수중함의 존재를 숨기는데 이용되기도 한다(그림 4.5).

한편 해수면과 해저면에서는 매질의 음속이 급격히 변하는데, 해수면에서는 공기와 해수의 음속 및 밀도의 큰 차이로 인해 수중에서 해수면으로 입사하는 음파가 공기 중으로 투과되지 못하고 대부분 다시 수중으

로 반사된다. 이때 반사되는 위상으로 인하여 수상함의 경우 함정에서 수중으로 직접 방사된 음파와 해수면에서 반사되는 음파의 간섭으로 인해 Lloyd mirror 현상을 보이다가 원거리에서는 선저를 기준으로 수직하방으로 음파의 전달이 집중되는 다이폴(dipole) 형태의 방사패턴을 보이게 된다. 해수면과 달리 해저면에서는 음파의 반사와 투과가 동시에 이루어지며 반사되는 음파의 크기와 위상은 해수와 해수면 매질의 음속과 밀도의 차이에 의해 결정된다. 음파의 일부가 해저면으로 투과되는 현상은 전달손실과는 다른 형태의 에너지 손실로 이해 할 수 있으며 이를 해저면 손실(Bottom Loss, BL)이라 한다.

4.3.3. 배경소음(Noise Level)

배경소음은 함정의 음향표적강도 기준치 설정뿐만 아니라 음향표적강도 계측에서도 염두에 두어야 할 중요한 요소이다. 배경소음은 바다 그 자체에서 발생하는 소음으로서 항상 존재하며 함정의 운용 시에는 함정에서 발생하는 수중방사소음과 함께 발생한다. 배경소음은 해상상태와 해역의 특성에 따라 변동이 심하며, 배경소음 변화의 상당부분은 근처 해역에 운항하는 선박 양의 변화 또는 바람 세기의 변화와 소음원인의 변화에 기인한다. 이러한 변동성은 경험적으로 축적된 자료를 이용해 예측될 수 있으며 가장 잘 알려져 있는 예측자료는 그림 4.6에 나타난 Wenz의 해양소음 스펙트럼이다. 이는 파고와 풍속과 같은 해상상태 및 해역의 특성을 고려하여 주파수별 배경소음레벨을 나타낸다.

생물학적 음원과 같은 일시적인 음원들로 인하여 순간배경소음은 평균값에 기반하여 평가된 소음레벨과 약 5~10 dB의 차이를 보일 수 있다. 이 외에도 음의 전파조건 변화에 의해서 변동성이 생기기도 하는데, 여름보다 음의 전파가 잘 되는 겨울에 평균 배경소음 레벨이 더 높게 나타나기도 한다. 특히 만이나 항구에서는 조류나 인간 활동이 배경소음 변

동성의 주원인이 되기도 한다. 따라서 잠수함이 특정해역에서 운용될 경우 그 해역의 배경소음에 대한 정확한 정보의 확보가 중요하다고 할 수 있다.

4.3.4. 지향특성 (Directivity Index)

함정에서는 수중음파를 탐지하여 목표물의 존재유무 및 목표물의 위치를 파악할 수 있다. 목표물의 위치를 판단하기 위해서는 함정으로부터 떨어진 목표물의 방향과 거리를 알아야 하는데, 이를 위해 함정에서는 한 개의 센서를 사용하지 않고 여러개의 하이드로폰으로 이루어진 소나 배열을 사용하여 수중음파의 지향성을 부여한다. 함정에 사용되는 소나 배열에는 1차원적인 선배열과 2차원적인 평면, 원, 실린더 배열 등이 사용되는데, 일반적으로 소나배열은 함정 내부에 탑재되는 관계로 그 크기에 제한을 받게 된다.

소나배열의 주목적은 수중음파로부터 목표물의 위치를 파악하는 것이며 이러한 특성을 나타내기 위한 값이 지향특성이다. 지향특성은 주축 방향(응답이 가장 큰 방향)의 응답과 모든 방향에 대한 응답을 평균한 값으로 나누어 준 값으로 주축 방향으로 얼마나 큰 응답을 보이는 의미하는 값이며, 이는 식 (4.3.8)과 같이 정의된다.

$$DI = 10 \log \frac{p_{a,rms}^2(kL,0)}{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} p_a^2(kL,\theta) d\theta} \text{ (dB)} \quad (4.3.8)$$

또한 대표적인 배열의 지향특성은 표 4.1과 같다.

4.3.5. 탐지경계레벨(Detection Threshold)

소나시스템을 사용하는 목적은 목표물의 존재여부와 위치를 판단하는 것이다. 목표물의 위치를 판단하기 위해 지향특성을 포함한 소나의 배열이 사용되었다면 목표물의 존재여부를 판단하기 위해서 탐지경계레벨을 활용하는데 탐지경계레벨은 목표물의 존재유무를 판정하기 위한 최소한의 신호 대 잡음비를 의미한다. 즉, 소나 배열에서 나오는 출력의 신호 대 잡음비가 탐지경계레벨보다 작으면 목표물이 없는 것으로 판단하며 크다면 목표물이 존재하는 것으로 판정하게 된다. 이러한 탐지경계레벨은 식 (4.3.9)과 같이 정의된다.

$$DT = 10 \log \frac{S}{N_0} \text{ (dB)} \quad (4.3.9)$$

여기서 S 는 신호출력이며 N_0 는 1Hz 구간의 잡음출력을 나타낸다.

4.4. 소나방정식을 이용한 음향표적강도 기준치 설정

잠수함은 수중에서 작전을 수행하기 때문에 그 작전개념도 나타내면 그림 4.8과 같이 나타낼 수 있다. 잠수함이 적 위협세력인 수상함에 의해 탐지되는 과정을 나타내는데 이를 4.3장에서 언급한 능동소나방정식에 적용할 수 있다. 능동소나방정식의 왼쪽 항을 SE(Signal Excess)라고 하여 적 위협세력의 소나에 의해 발생하는 신호와 TL, NL 등 모든 신호들의 합이라고 하면, 이 신호의 합이 탐지경계레벨보다 낮을 때 잠수함이 탐지가 되지 않는다. 이를 식으로 나타내면 식 (4.4.1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$[SL - 2TL + TS - (NL - DI) + AL] \leq DT \quad (4.4.1)$$

식 (4.4.1)에서 만족하는 TS 값을 구하게 되면 바로 잠수함의 음향표적강도 기준치라고 할 수 있다. 작전개념을 분석하여 잠수함의 음향표적강도 기준치를 설정하는 절차는 그림 4.9와 같이 나타낼 수 있다.

작전환경인 작전해역의 분석을 통해 NL, TL 값을 설정하고, 적 위협세력(함정임무)을 분석하여 소나성능에 대한 SL, DI, DT를 설정한다. 마지막으로 식 (4.4.1)에 대입하여 DT를 넘지 않는 TS 값을 설정함으로써 잠수함의 음향표적강도 기준치를 설정할 수 있다.

본 장에서는 잠수함의 운용수심에 따라 천해/심해로 나누어 그 기준치를 설정하였다.

4.4.1. 위협고각

잠수함의 음향표적강도 위협고각은 적 함정 및 잠수함 등 위협세력의 위치에 따라 결정되는 항목으로써, 잠수함은 수중에서 작전하는 특성상 수상함처럼 항공기나 대함유도탄 같이 높은 고각(10도)에서 탐지될 확률이 적다. 따라서 잠수함의 평소 잠함수심(200 ~ 300m)과 소나의 최대 탐지거리(20Km)를 고려했을 때 위협고각은 약 0.8도로 계산할 수 있고, 대표적인 고각으로 0도를 설정하였다.

4.4.2. 위협주파수

잠수함의 음향표적강도 위협주파수 또한 적 함정 및 잠수함 등의 위협세력의 소나 성능에 따라 결정되는 항목으로써, 적 소나의 주요 주파수를 분석하여 설정할 수 있다. 하지만 현재 적 위협세력의 정확한 소나 성능을 파악하는 것은 제한이 있으므로, 현재 대한민국 해군에서 운용 중인 함정 소나의 대표 주파수를 고려하여 음향표적강도 위협주파수로

설정하였다. (3, 10, 30 kHz)

4.4.3. 위협방위각

잠수함의 음향표적강도 위협방위각은 위협고각과 유사하게 적 함정 및 잠수함 등 위협세력의 위치(방위)에 따라 결정되는 항목이다. 그림 4.10과 같이 잠수함의 일반적인 음향표적강도 해석 결과를 보면, 정 좌/우현인 90 방위각에서 최댓값을 가지고, 그 주위 방위각에서 큰 음향표적강도 값을 가지는 것을 알 수 있다. 따라서 적 소나의 탐지경계레벨보다 커야 탐지가 되기 때문에, 음향표적강도가 크게 나타나는 방위각을 위협방위각으로 설정해야 한다.(최댓값 방위각 $\pm\alpha$ 도)

위협방위각인 α 를 설정하기 위해 수상함의 RCS Cardinal Point 개념을 이용하였다. 그림 4.11과 같이 영국 해군에서 적용 중인 개념으로 함정의 구조상 정 함수/미, 정 좌/우현에서 RCS값이 크게 나타나는데 이를 Cardinal Point라 하고 전방위각의 10%(± 4.5 도)로 정의하였다.

잠수함의 경우 음향표적강도 해석결과를 수상함의 RCS와 비교했을 때, 정 함수/미에서 최댓값이 나오지 않는 것을 제외하고는 유사한 경향을 나타낸다. 따라서 위협방위각을 수상함에서 적용 중인 Cardinal Point를 적용하여 최댓값 방위각 ± 4.5 도로 정의하였다.

4.4.4. 기준치 설정 - Case 1

먼저 Case 1으로 천해환경에서 작전을 수행하는 잠수함을 가정하여 음향표적강도 기준치를 설정해보았다. 그림 4.9의 음향표적강도 기준치 설정 절차를 따라서, 먼저 작전환경을 분석하여 NL, TL을 설정하였다. 대한민국 해군 잠수함의 경우 그림 4.12와 같이 크게 작전환경을 나눌 수 있는데, 여기서는 천해 환경인 서해를 가정하였으며, 위협주파수는 3, 10, 30 kHz에 대한 NL과 TL값을 설정하였다(표 4.2).

적 위협세력을 나타내면 그림 4.13과 같이 크게 잠수함, 수상함, 기타 대잠전력으로 나눌 수 있다. 위협세력의 소나 성능에 따라서 SL, DI, DT를 결정 할 수 있고, 4.4장에서와 같이 대한민국 해군에서 운용 중인 수상함 소나의 경우를 가정하여 SL, DI, DT를 설정하면 표 4.3과 같다. 최종적으로 식 (4.4.1)을 만족하는 TS 값을 설정하여 잠수함 음향표적강도 기준치를 설정하면 표 4.4와 같이 나타낼 수 있다.

4.4.5. 기준치 설정 - Case 2

다음은 Case 2로 심해환경에서 작전을 수행하는 잠수함을 가정하여 음향표적강도 기준치를 설정해 보았다. 그림 4.9의 음향표적강도 기준치 설정 절차를 따라서, 먼저 작전환경을 분석하여 NL, TL을 설정하였다. 대한민국 해군 잠수함의 경우 그림 4.12와 같이 크게 작전환경을 나눌 수 있는데, 여기서는 심해 환경인 동해를 가정하였으며, 위협주파수는 3, 10, 30 kHz에 대한 NL과 TL값을 설정하였다(표 4.5).

적 위협세력을 나타내면 그림 4.13과 같이 크게 잠수함, 수상함, 기타 대잠전력으로 나눌 수 있다. 위협세력의 소나 성능에 따라서 SL, DI, DT를 결정 할 수 있고, 4.4장에서와 같이 대한민국 해군에서 운용 중인 수상함 소나의 경우를 가정하여 SL, DI, DT를 설정하면 표 4.6과 같다. 최종적으로 식 (4.4.1)을 만족하는 TS 값을 설정하여 잠수함 음향표적강도 기준치를 설정하면 표 4.7과 같이 나타낼 수 있다.

4.4.6. 기준치 설정 - Case 3

Case 3는 천해/심해 작전환경 중 동일한 작전환경을 가지는 잠수함 중 무장이나 소나 성능 등 전투성능이 뛰어난 잠수함은 적을 더 빠르게 탐지하고 타격할 수 있다. 그러므로 잠수함의 전투성능이 음향표적강도 기준치에 반영이 되어야 한다. 따라서 Case 2의 동일한 작전환경을 가지

는 전투성능이 더 뛰어난 잠수함의 경우에 대해 가정하여 기준치를 설정하였다. 전투성능의 경우 탐지경계레벨(DT)에 $+a$ 를 반영하여 전투성능이 뛰어난 잠수함의 경우 음향표적강도 기준치를 $+a$ 더 크게 설정하였다. a 의 기준은 다음과 같다. 전투성능을 크게 소나의 탐지거리와 무장(어뢰)의 사거리로 볼 때, 소나 탐지거리와 무장의 사거리가 더 늘어난 만큼 탐지경계레벨에 반영하였다. 현재 잠수함 어뢰와 개발 중인 어뢰의 사거리를 비교하여 a 를 설정하면 $a = 2.0412$ 가 나온다. 최종적으로 Case 1, 2, 3에 대해 기준치 설정한 결과를 나타내면 표 4.8과 같다.

구 분		표층수온			염 분	
		하계	동계	연교차	하계	동계
동해	남부	26 ~ 27°C	10 ~ 13°C	약 13°C	33.0% 이하	34.5% 이상
	북부	18 ~ 20°C	4°C 이하	약 20°C		
남해	서부	25 ~ 29°C	22 ~ 23°C	약 8°C	33.0% 이하	34.5% 이상
	동부		12 ~ 15°C	10 ~ 16°C		
서해	남부	27 ~ 28°C	7 ~ 8°C	20 ~ 22°C	31.0% 이하	32.0%
	중부	26 ~ 27°C	5 ~ 6°C			32 ~ 33%
	북부	24 ~ 25°C	2 ~ 4°C			33 ~ 34%

그림 4.1 해역특성(표층수온, 염분)



그림 4.2 능동소나방정식 개념도

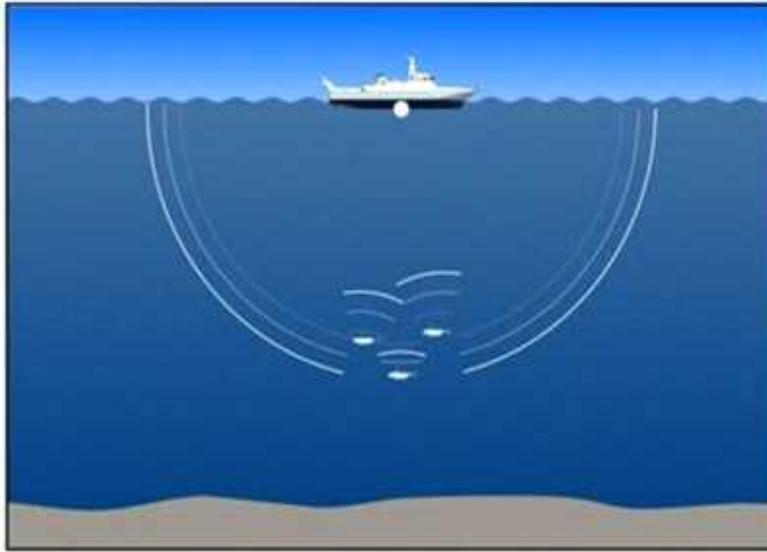


그림 4.3 수동소나방정식 개념도

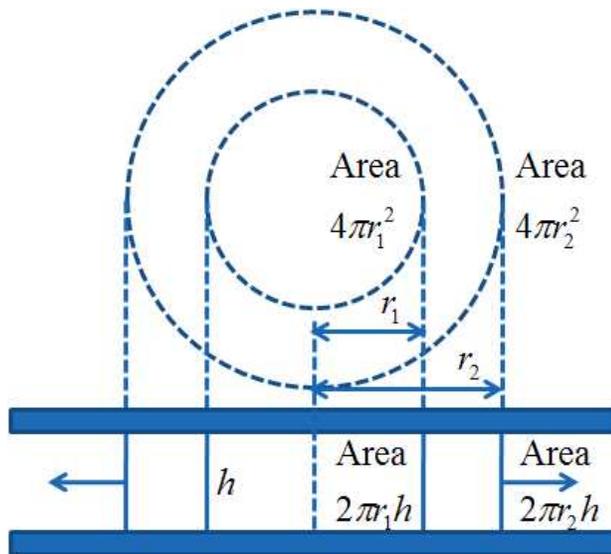


그림 4.4 음파의 확산(구면파 및 원통형파)

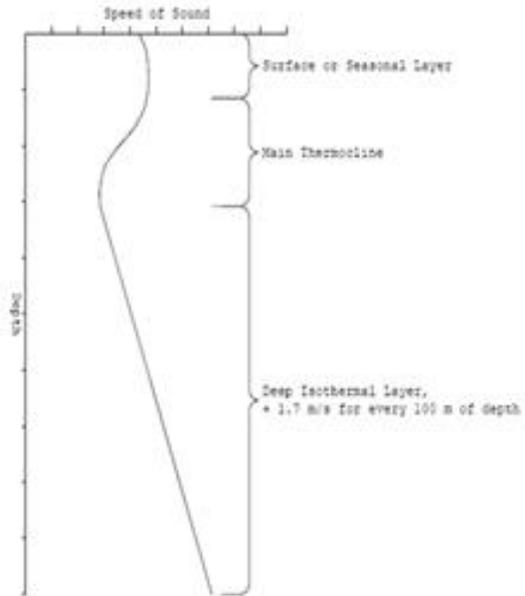


그림 4.5 수심에 따른 음파 손실

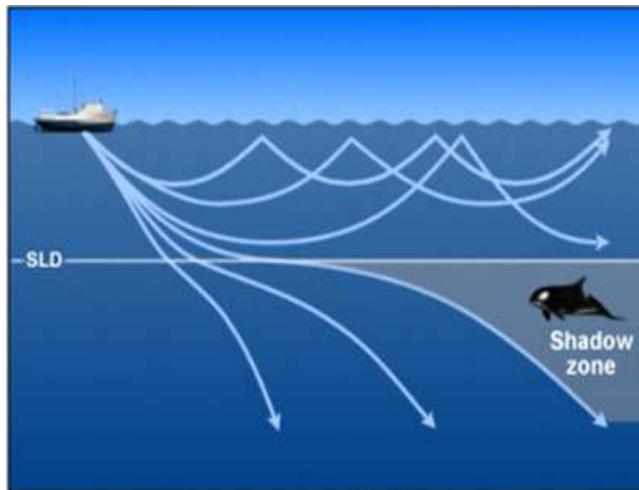


그림 4.6 음파 굴절 현상 및 Shadow Zone

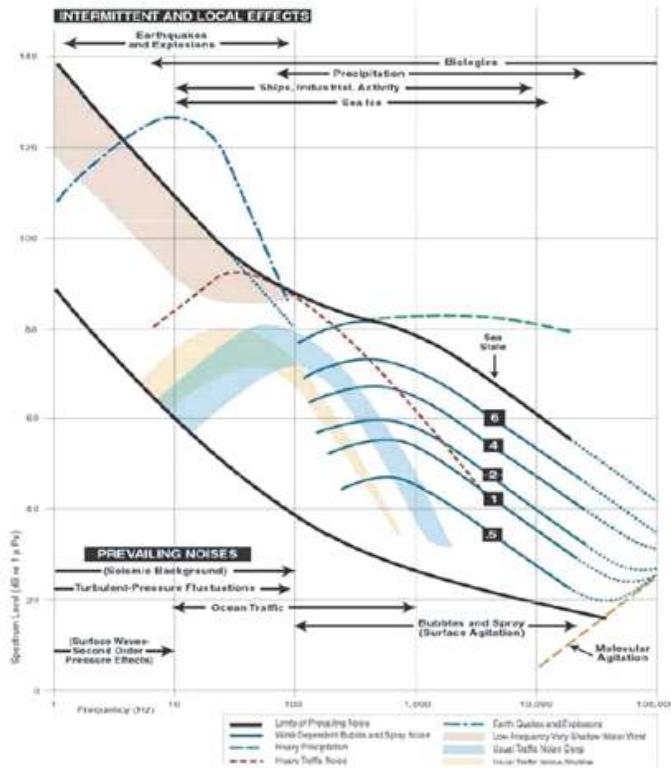


그림 4.7 Wenz의 해양소음 스펙트럼

표 4.1 소나배열의 지향특성

배열	DI (Directivity Index)	비교 (λ : 파장)
직선, 링 등 입의의 선배열	$10\log\left(\frac{2L}{\lambda}\right)$	L : 길이
원, 사각형 등 입의의 평면배열	$10\log\left(\frac{2\pi S}{\lambda^2}\right)$	S : 면적
구면배열	$\frac{8}{5}\log\left(\frac{2\pi S_g}{\lambda^2}\right)$	$S_g: \frac{\pi D^2}{4}$, D : 직경
구형배열 (체적)	$\frac{16}{9}\log\left(\frac{2\pi S_g}{\lambda^2}\right)$	

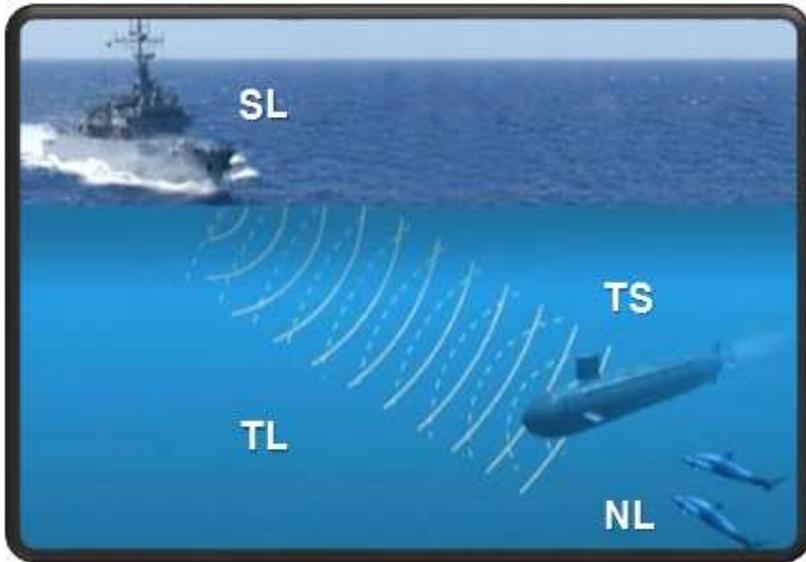


그림 4.8 잠수함 작전개념도



그림 4.9 음향표적강도 기준치 설정 절차

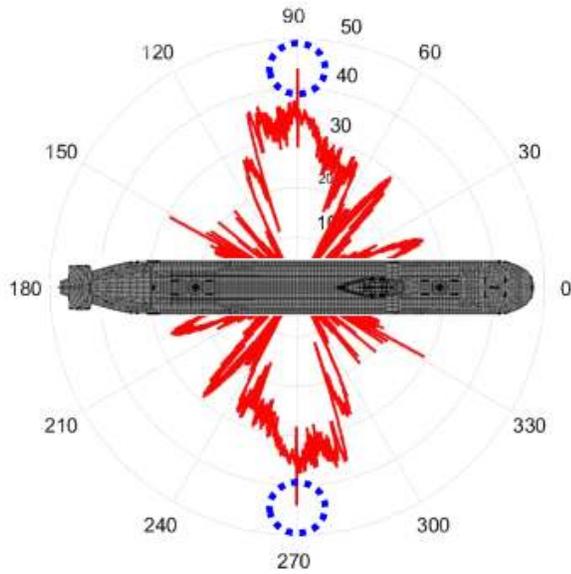


그림 4.10 잠수함 음향표적강도 해석결과

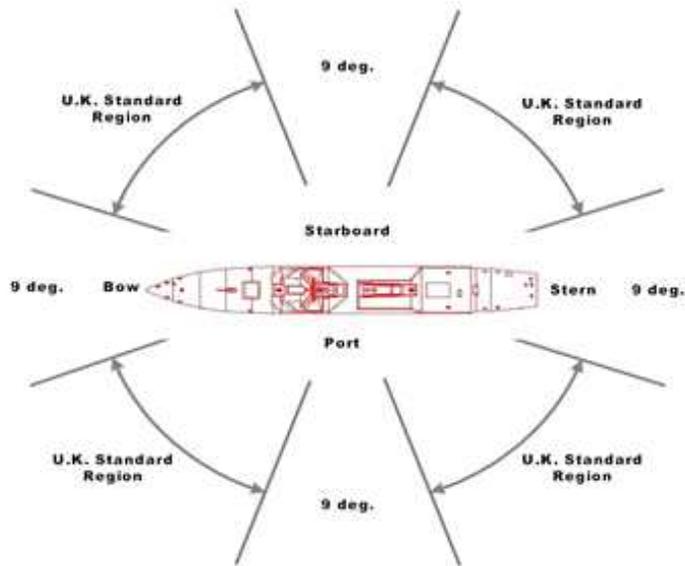


그림 4.11 수상함 RCS Cardinal Point

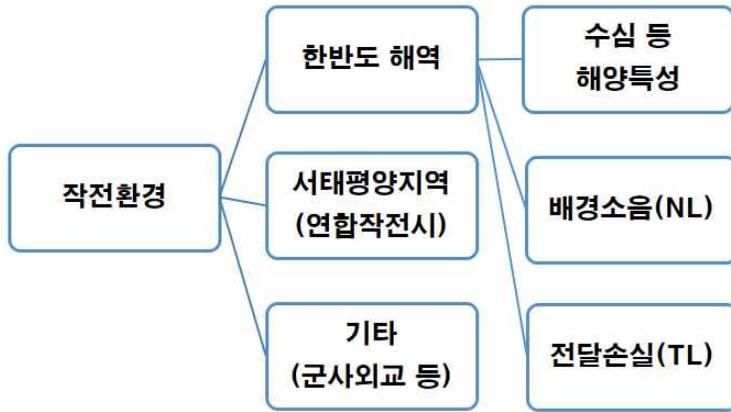


그림 4.12 잠수함 작전환경

표 4.2 NL, TL - Case 1

구 분(dB)	주파수(kHz)		
	3	10	30
배경소음(NL)	55	45	35
전달손실(TL)	85	90	95

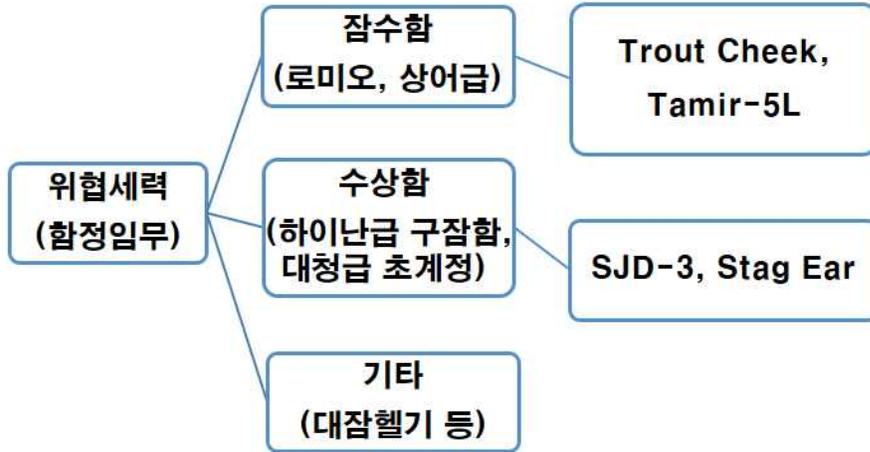


그림 4.13 잠수함 위협세력

표 4.3 SL, DI, DT - Case 1

구 분(dB)	주파수(kHz)		
	3	10	30
소나 출력레벨(SL)	205	200	195
지향특성(DI)	20	23	26
탐지경계레벨(DT)	15		

표 4.4 음향표적강도 기준치 설정 - Case 1

구 분(dB)	주파수(kHz)		
	3	10	30
배경소음(NL)	55	45	35
전달손실(TL)	85	90	95
소나 출력레벨(SL)	205	200	195
지향특성(DI)	20	23	26
탐지경계레벨(DT)	15		
추가손실(AL)	5		
음향표적강도(TS)	20	22	29

표 4.5 NL, TL - Case 2

구 분(dB)	주파수(kHz)		
	3	10	30
배경소음(NL)	50	40	30
전달손실(TL)	90	95	100

표 4.6 SL, DI, DT - Case 2

구 분(dB)	주파수(kHz)		
	3	10	30
소나 출력레벨(SL)	205	200	195
지향특성(DI)	20	23	26
탐지경계레벨(DT)	15		

표 4.7 음향표적강도 기준치 설정 - Case 2

구 분(dB)	주파수(kHz)		
	3	10	30
배경소음(NL)	50	40	30
전달손실(TL)	90	95	100
소나 출력레벨(SL)	205	200	195
지향특성(DI)	20	23	26
탐지경계레벨(DT)	15		
추가손실(AL)	5		
음향표적강도(TS)	25	27	34

표 4.8 음향표적강도 기준치 설정 - Case 1, 2, 3

구 분	주파수(kHz)		
	3	10	30
Case 1	20	22	29
Case 2	25	27	34
Case 3	27	29	36

5. 음향표적강도 예측 및 분석

5.1. 도입

실제 잠수함의 음향표적강도는 잠수함의 선형, 세일 구조, 리더 등 형상에 의해 결정된다. 특히 선체나 세일의 경사 구조 등은 수상함의 RCS 감소설계와 같이 음향표적강도에 큰 영향을 미치는 요소 중 하나이다. 본 장에서는 음향표적강도 해석 S/W인 TASTRAN을 이용하여 실제 운용 중인 잠수함을 모델링하고 음향표적강도 해석을 수행하였다. 또한 해석결과를 분석하여 설계 감소방안을 제시하였다.

5.2. 음향표적강도 해석 S/W - TASTRAN

5.2.1. TASTRAN 구성

잠수함의 음향표적강도를 분석하기 위하여 음향표적강도 해석 프로그램 TASTRAN을 이용하였다[8]. 임의의 다각형 형상에 대한 SCS 식과 기하광학(Geometrical Optics), 물리광학(Physical Optics)을 기반으로 하여 대상 표적의 음향표적강도를 해석한다. 그림 5.1과 그림 5.2는 TASTRAN의 주요기능과 해석절차를 나타내고, 프로그램의 특징은 표 5.1에 나타낸 것과 같다.

TASTRAN은 잠수함의 외부 단반사 해석과 다중반사 해석이 가능하고 내부 구조물에 의한 내부 다중반사 해석이 가능하다. 잠수함의 음향표적강도 해석으로 각 요소들의 기여도를 분석을 통해 기여도가 요소에 대한 형상 변화 및 음파흡수체 적용을 통해 음향표적강도 감소 설계를

진행 할 수 있다.

5.2.2. TASTRAN 검증

TASTRAN 프로그램의 검증을 위하여 잠수함 축소모형 실험결과[9]를 이용해 해석결과와 비교하였다. 잠수함 축소모형의 제원은 표 5.2와 같다. 실험과 잠수함 축소 모형의 모델링을 수행하고 TASTRAN을 통해 해석한 결과를 비교하였다. 그림 5.3에서와 같이 실험결과와 해석결과가 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.

5.3. 음향표적강도 해석 - Case 1

Case 1의 경우 천해환경을 가정하여 잠수함의 기준치를 설정하였다. 따라서 현재 대한민국 해군에서는 OO-I급 잠수함이 천해 환경인 서해에서 작전활동을 하고 있기 때문에 대표적인 OO-I급 잠수함을 대상으로 음향표적강도 해석을 수행하였다. OO-I급 잠수함의 기본적인 제원은 표 5.3과 같다. 표 5.3의 기본적인 잠수함의 제원과 형상 정보를 바탕으로 직접 잠수함을 모델링 하였다. 잠수함 모델링 결과는 그림 5.4와 같다.

해석모델을 가지고 음향표적강도 해석을 수행하였다. 해석조건은 표 5.4와 나타낸 것과 같다.

해석결과는 그림 5.5 ~ 5.7과 같이 나타난다. 잠수함의 선형과 세일구조가 90도로 설계되어 음향표적강도가 비교적 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 잠수함 구조물인 러더, 세일 등의 영향을 분석하기 위해 러더와 세일에 의한 음향표적강도를 해석하였다. 잠수함 구조물 해석결과는 그림 5.8과 같이 나타난다. 결과를 분석해보면 먼저 잠수함의 정좌/우현인 90도 방위에서 음향표적강도가 최댓값을 가지는 것을 알 수가 있다. 그리고 구조물에 의한 영향을 분석했을 때, OO-I급 잠수함의 경우 세일에 의한 영향을 많이 받고 있다. 따라서 세일에서 큰 음향표적강도를 가지는 20도, 45도, 111도 등의 방위각에서 전체 잠수함의 음향표적강

도 또한 큰 값을 가지는 것을 알 수 가 있다. 따라서 잠수함의 선형과 구조물에 의한 영향이 잠수함 전체 음향표적강도에 큰 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있다.

5.4. 음향표적강도 해석 - Case 2

Case 2의 경우 심해환경을 가정하여 잠수함의 기준치를 설정하였다. 따라서 현재 대한민국 해군에서는 OO-II급 잠수함이 심해 환경인 동해 등에서 작전활동을 하고 있기 때문에 대표적인 OO-II급 잠수함을 대상으로 음향표적강도 해석을 수행하였다. OO-II급 잠수함의 기본적인 체원은 표 5.6과 같다. 표 5.6의 기본적인 잠수함의 체원과 형상 정보를 바탕으로 직접 잠수함을 모델링 하였다. 잠수함 모델링 결과는 그림 5.9와 같이 나타낼 수 있다.

해석모델을 가지고 음향표적강도 해석을 수행하였다. 해석조건은 표 5.7과 같다.

해석결과는 그림 5.10 ~ 5.12와 같이 나타난다. OO-II급 잠수함이 선체 길이나 폭 등이 OO-I급 잠수함과 비교했을 때 더 크지만, 선형이나 세일구조(그림 5.13)가 경사지게 설계되어 있어 음향표적강도가 비교적 낮게 나타나는 것을 알 수 가 있다. 잠수함 구조물인 러더, 세일 등의 영향을 분석하기 위해 러더와 세일에 의한 음향표적강도를 해석하였다. 잠수함 구조물 해석결과는 그림 5.14과 같이 나타난다.

결과를 분석해보면 먼저 잠수함의 정 좌/우현인 90도 방위에서 음향표적강도가 최댓값을 가지는 것을 알 수가 있다. 그리고 구조물에 의한 영향을 분석했을 때, OO-II급 잠수함의 경우 세일이 아닌 러더에 의한 영향을 많이 받고 있다. 따라서 러더에서 큰 음향표적강도를 가지는 175도 등의 방위각에서 전체 잠수함의 음향표적강도도 큰 값을 가지는 것을 알 수 가 있다. OO-II급 해석결과 역시 잠수함의 선형과 구조물에 의한 영향이 잠수함 전체 음향표적강도에 큰 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있다.

5.5. 음향표적강도 해석 - Case 3

Case 3의 경우 4.4장에서 서술한바와 같이, 동일한 작전환경을 가지지만 더 뛰어난 전투성능(무장, 소나 등)을 가짐으로 인해서 잠수함의 배수량이나 길이, 폭 등이 더 커진 경우를 의미한다. Case 2의 심해환경에서 유사한 작전환경을 가지는 잠수함을 선정하여야 하나 실제 해석을 위해서는 모델링 측면도 고려를 해야 하기 때문에, 일본의 OO-III급 잠수함을 설정하여 음향표적강도 해석을 수행하였다.

OO-III급 잠수함의 기본적인 제원은 표 5.9과 같다. 표 5.9의 기본적인 잠수함의 제원과 형상 정보를 바탕으로 직접 잠수함을 모델링 하였다. 잠수함 모델링 결과는 그림 5.15와 같다.

해석모델을 가지고 음향표적강도 해석을 수행하였다. 해석조건은 표 5.10과 같다.

해석결과는 그림 5.16 ~ 5.18과 같이 나타난다. OO-III급 잠수함의 특징으로는 선체 길이나 폭 등이 OO-I/OO-II급 잠수함과 비교했을 때 훨씬 더 크지만, 그림 5.19와 같이 함미 X타 적용, 세일 필렛(유선형 덮개) 설치 등을 적용하여, 음향표적강도가 비교적으로 낮게 나타나는 것을 알 수 가 있다. OO-III급 또한 잠수함 구조물인 리더, 세일 등의 영향을 분석하기 위해 리더와 세일에 의한 음향표적강도를 해석하였다. 잠수함 구조물 해석결과는 그림 5.20과 같이 나타난다.

결과를 분석해보면 먼저 잠수함의 정 좌/우현인 90도 방위에서 음향표적강도가 최댓값을 가지는 것을 알 수가 있다. 그리고 구조물에 의한 영향을 분석했을 때, OO-III급 잠수함의 경우 세일에 의한 영향을 많이 받고 있다. 따라서 세일에서 큰 음향표적강도를 가지는 25도, 67도, 110도 등의 방위각에서 전체 잠수함의 음향표적강도도 큰 값을 가지는 것을 알 수 가 있다.

하지만 OO-I/OO-II급 잠수함과 비교했을 경우 그 전체 음향표적강도에 미치는 영향이 크지 않기 때문에 전체적으로 낮은 음향표적강도 수준을 가지는 것을 알 수 있다. OO-III급 잠수함에서 채택한 선형(시가형)

과 유체저항을 줄이기 위해 설치한 필렛, 그리고 함미 X타 적용 등이 음향표적강도 감소에 큰 기여를 한 것으로 분석된다.

잠수함 음향표적강도 해석결과를 전체적으로 정리했을 때 다음과 같이 정리 할 수 있다.

- (1) 음향표적강도 최댓값은 정 좌/우현인 90도, 270도 방위각 부근에서 나타난다.
- (2) 잠수함의 구조물인 러더, 세일의 형상 및 종류에 따라 전체 잠수함의 음향표적강도에 큰 영향을 미친다.
- (3) 세일의 경우 선체와 직각(90도)으로 설계된 경우 음향표적강도가 크게 나타나고, 경사화 설계를 한 경우 낮게 나타난다.
- (4) 러더의 경우 함미에 십자타 보다 X타를 적용 했을 때 비교적 낮은 음향표적강도 수준을 나타낸다.
- (5) 종합적으로 정리했을 때 잠수함의 선형과 구조물(세일, 러더)의 설계가 음향표적강도에 큰 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있다.

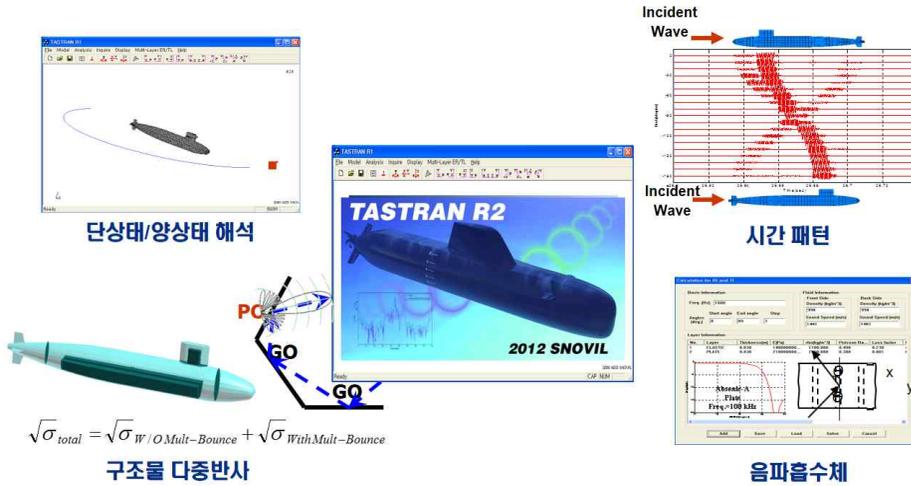


그림 5.1 TASTRAN 주요 기능

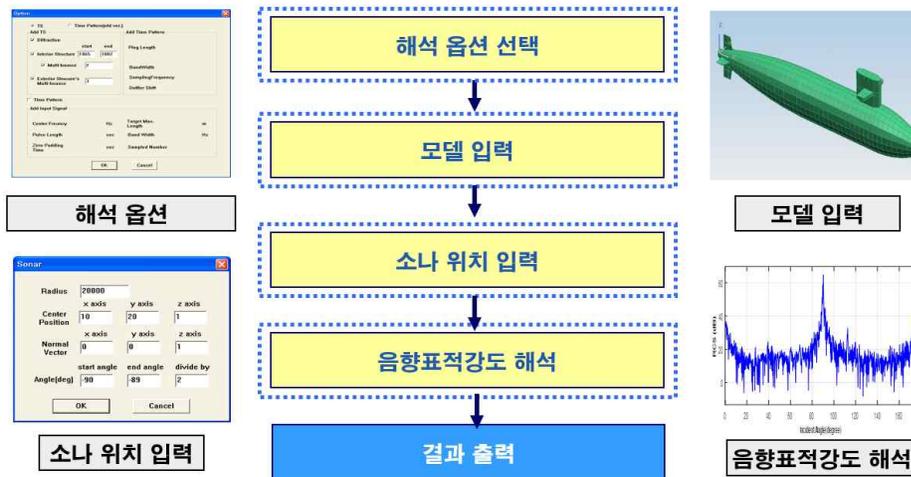


그림 5.2 TASTRAN 해석 절차

표 5.1 TASTRAN 특징

특 징	내 용
외부 단반사 해석	기본적인 음향표적강도 해석을 위해 외부 요소들에 의한 음향표적강도 해석
외부 다중반사 해석	외부 요소들 간의 다중반사에 의한 음향표적강도 해석
내부 다중반사 해석	외부 요소를 투과한 후, 내부 요소들의 다중반사에 의한 음향표적강도 해석
음파흡수체 해석	음파흡수체 해석 및 음파흡수체에 의한 음향표적강도 해석
기여도 분석	음향표적강도의 각 요소별 기여도 분석

표 5.2 잠수함 축소모형 제원

구 분	제 원
길이	1.714m
직경	0.4m
해석 주파수	135 kHz

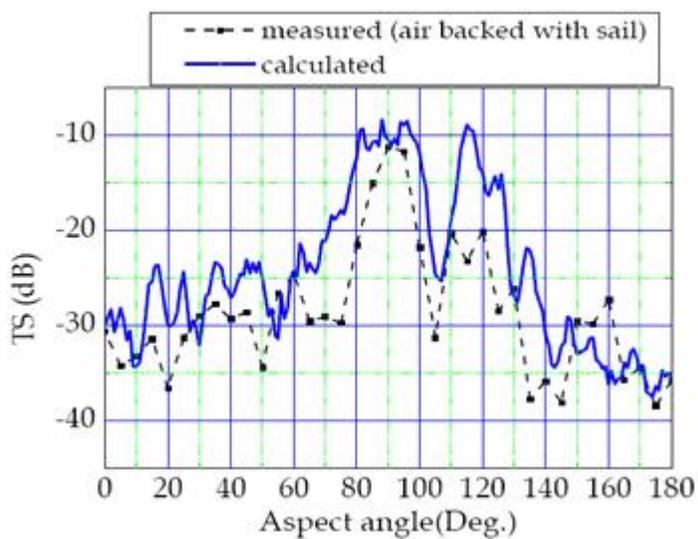


그림 5.3 TASTRAN 검증 결과

표 5.3 OO-I급 잠수함 주요 제원

구 분	제 원
전장	55.9m
폭	6.2m
흘수	5.5m
배수량	1285 ton

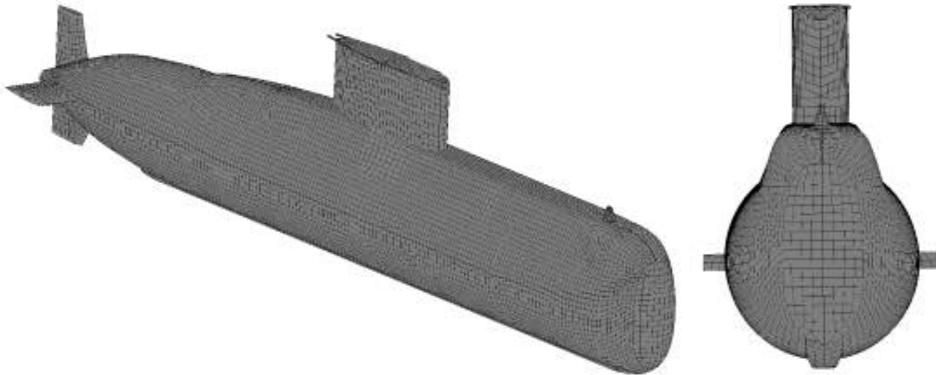


그림 5.4 OO-I급 잠수함 모델링

표 5.4 OO-I급 잠수함 해석조건

구 분	해석조건
주파수	3, 10, 30 kHz
고각	0도
방위각	0 ~ 180도
격자수	32,145개
소나위치	20 Km

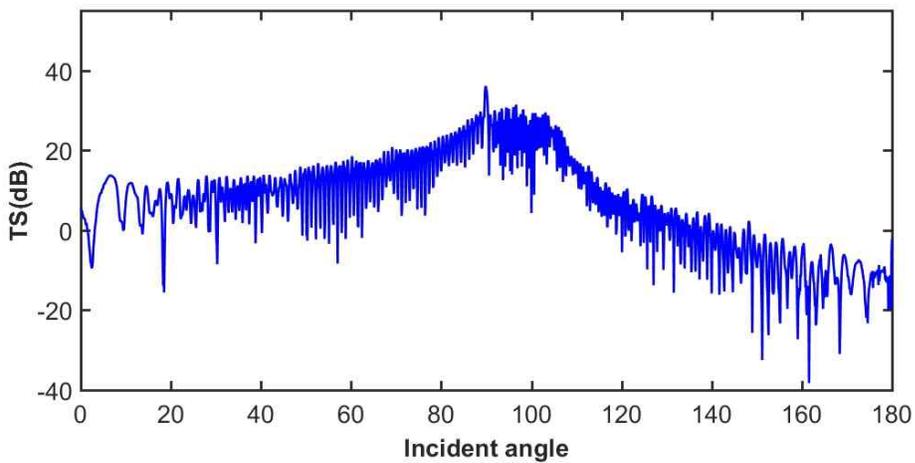


그림 5.5 OO-I급 잠수함 해석결과 - 3 kHz

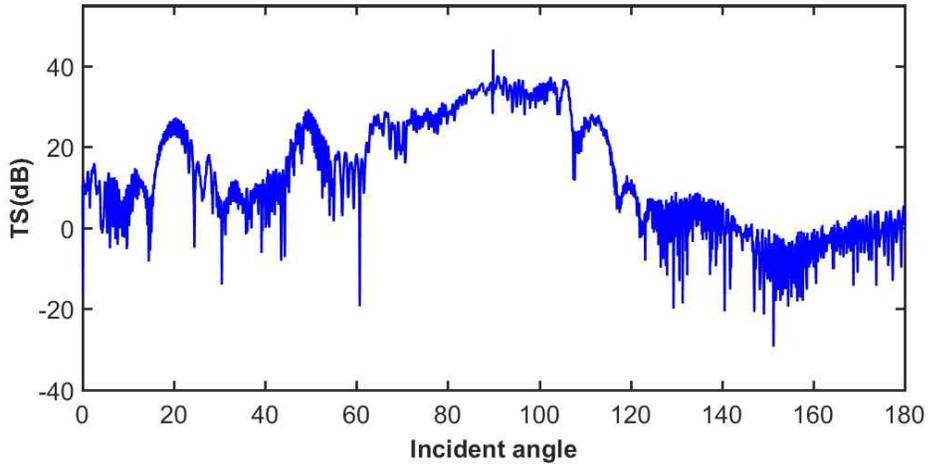


그림 5.6 OO-I급 잠수함 해석결과 - 10 kHz

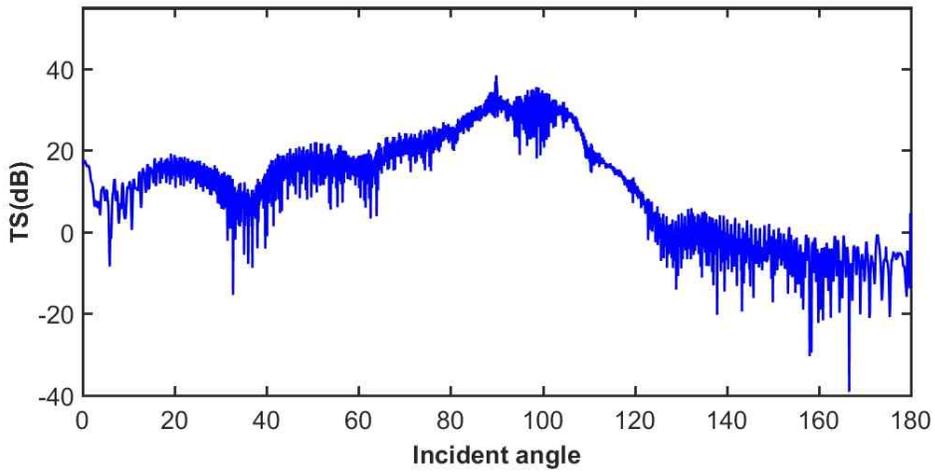


그림 5.7 OO-I급 잠수함 해석결과 - 30 kHz

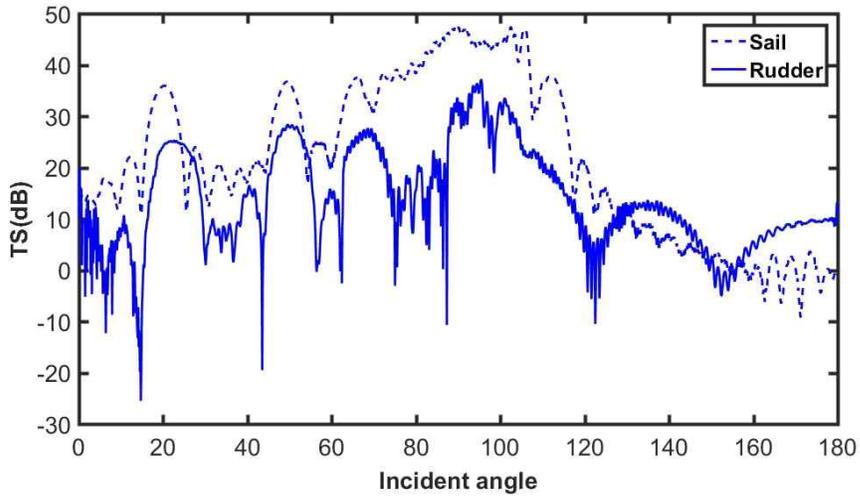


그림 5.8 OO-I급 잠수함 구조물 해석결과 - 30 kHz

표 5.5 OO-I급 잠수함 해석결과

주파수(kHz)	해석결과	
	최댓값	평균값
3	35.93	27.94
10	38.36	31.03
30	44	34.92

표 5.6 OO-II급 잠수함 주요 제원

구 분	제 원
전장	65m
폭	6.3m
흘수	6m
배수량	1,860 ton

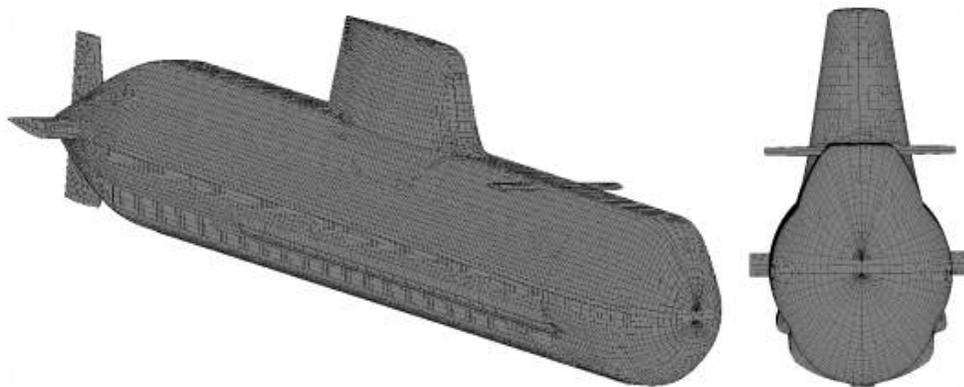


그림 5.9 OO-II급 잠수함 모델링

표 5.7 OO-II급 잠수함 해석조건

구 분	해석조건
주파수	3, 10, 30 kHz
고각	0도
방위각	0 ~ 180도
격자수	35,311개
소나위치	20 Km

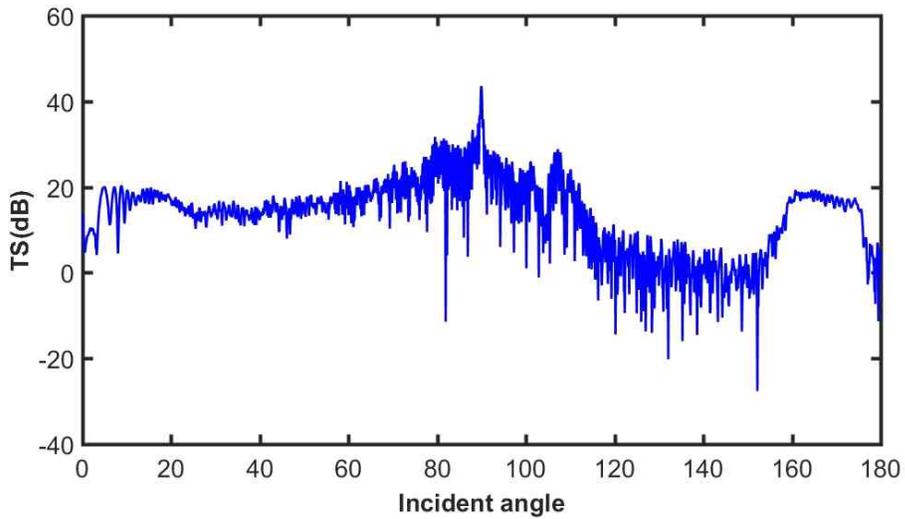


그림 5.10 OO-II급 잠수함 해석결과 - 3 kHz

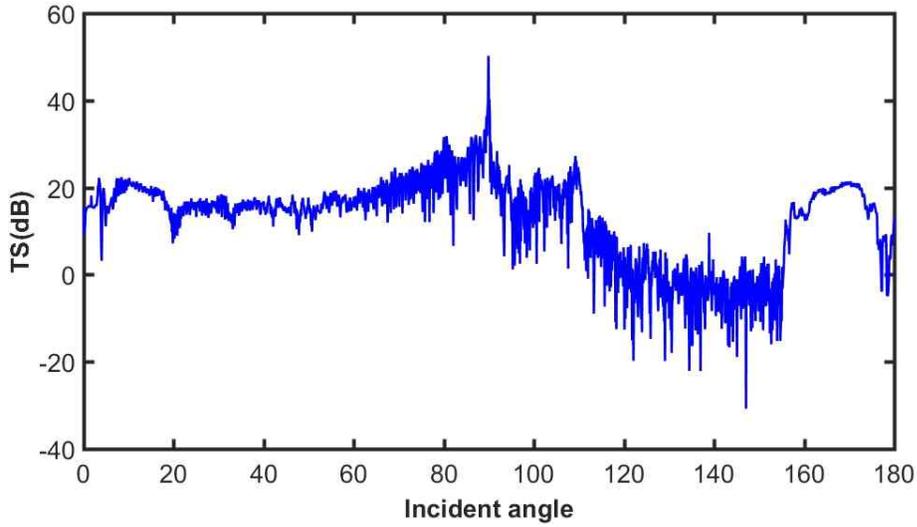


그림 5.11 OO-II급 잠수함 해석결과 - 10 kHz

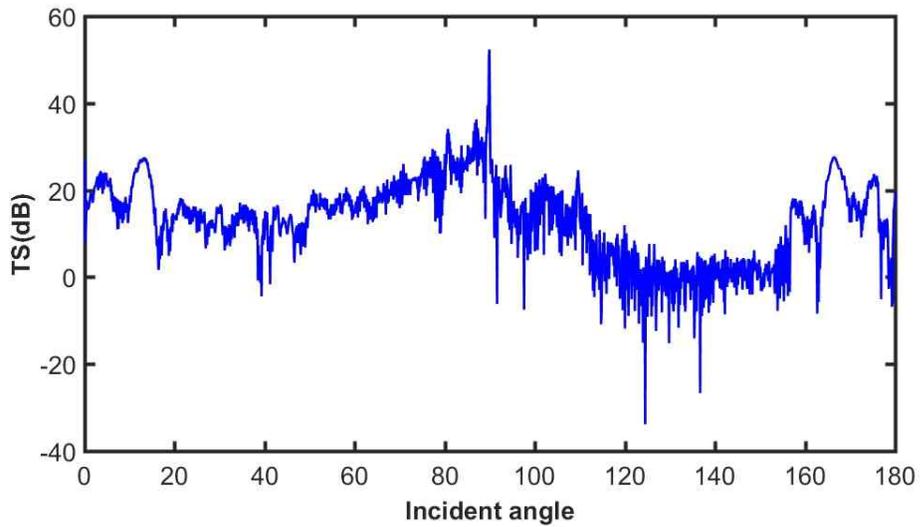


그림 5.12 OO-II급 잠수함 해석결과 - 30 kHz

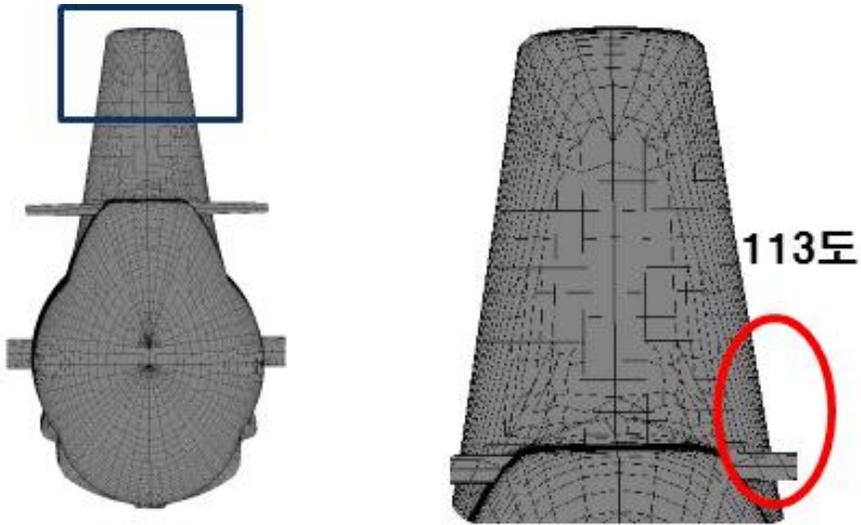


그림 5.13 OO-II급 잠수함 구조 특징

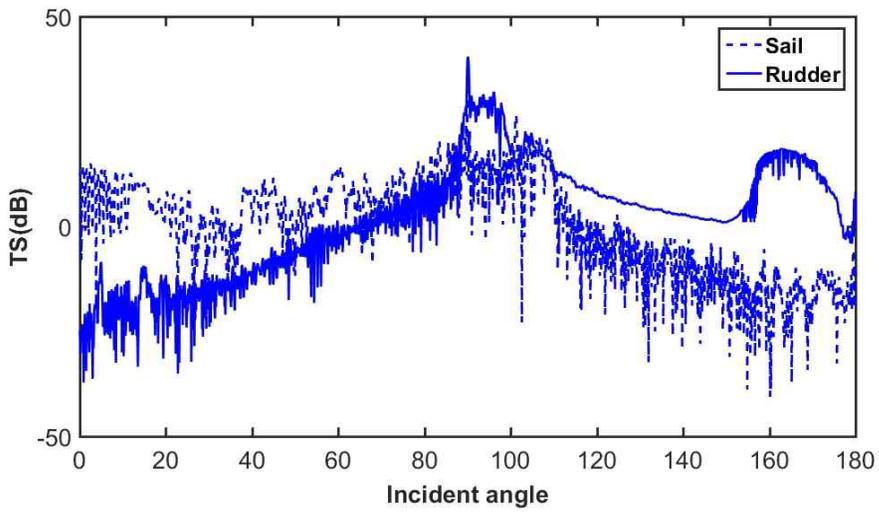


그림 5.14 OO-II급 잠수함 구조물 해석결과 - 30 kHz

표 5.8 OO-II급 잠수함 해석결과

주파수(kHz)	해석결과	
	최댓값	평균값
3	37.1	25.06
10	44.02	28.34
30	43.62	30.29

표 5.9 OO-III급 잠수함 주요 제원

구 분	제 원
전장	84.0m
폭	9.1m
흘수	8.5m
배수량	4,500 ton

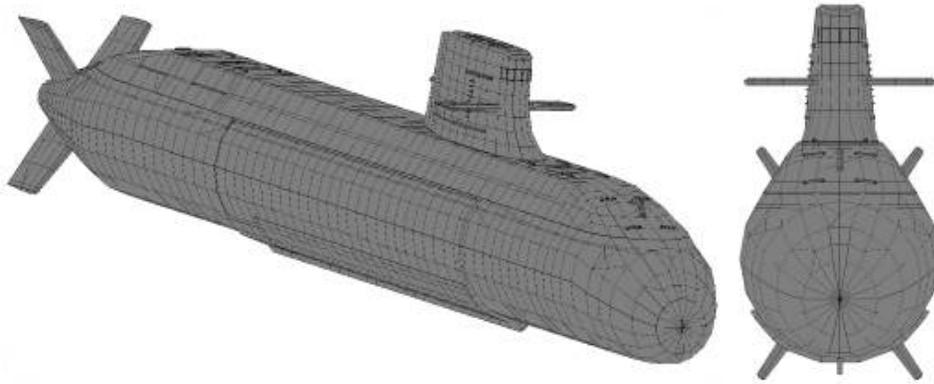


그림 5.15 OO-III급 잠수함 모델링

표 5.10 OO-III급 잠수함 해석조건

구 분	해석조건
주파수	3, 10, 30 kHz
고각	0도
방위각	0 ~ 180도
격자수	38,872개
소나위치	20 Km

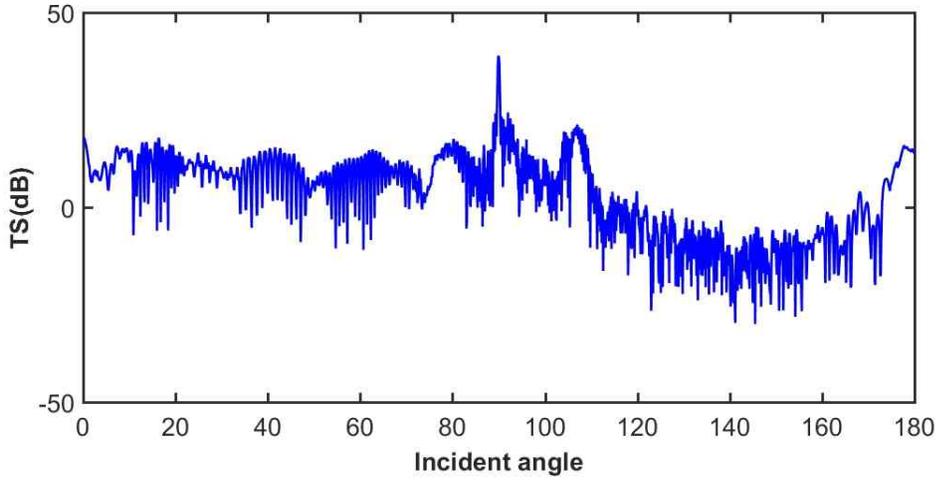


그림 5.16 OO-III급 잠수함 해석결과 - 3 kHz

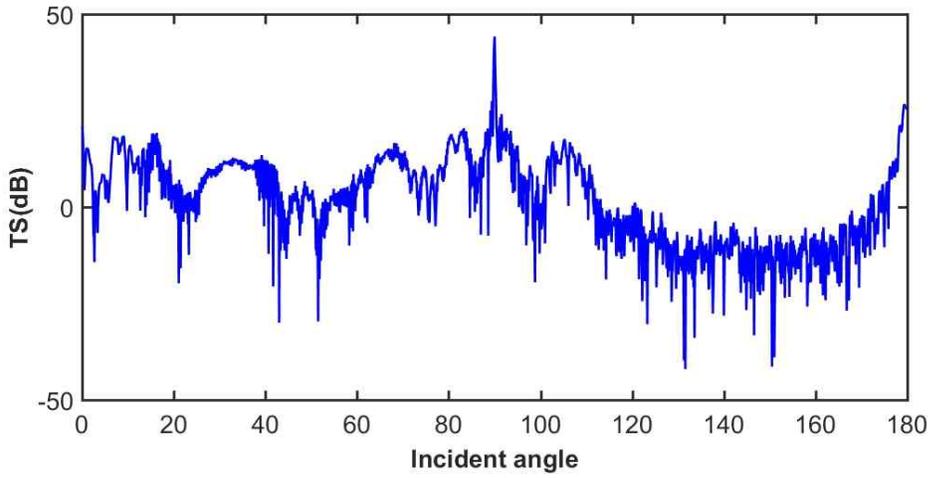


그림 5.17 OO-III급 잠수함 해석결과 - 10 kHz

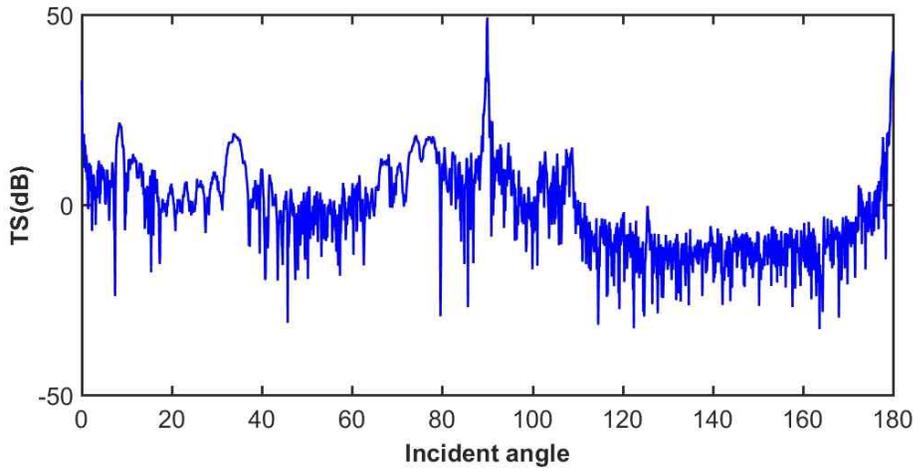


그림 5.18 OO-III급 잠수함 해석결과 - 30 kHz

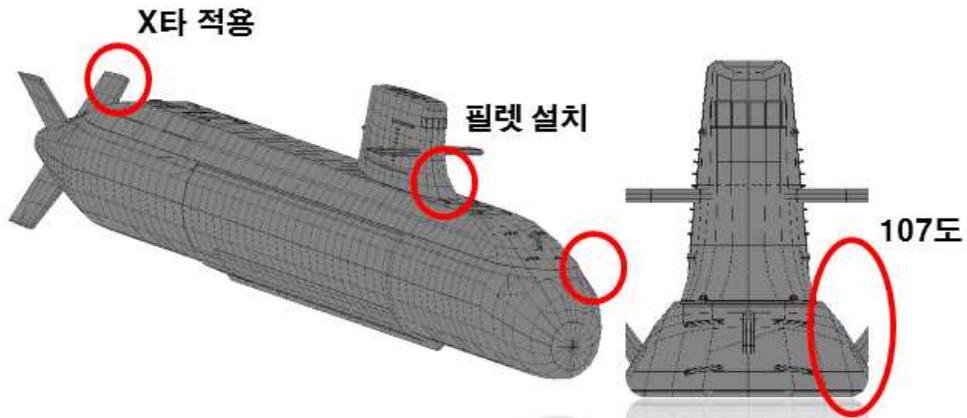


그림 5.19 OO-III급 잠수함 구조 특징

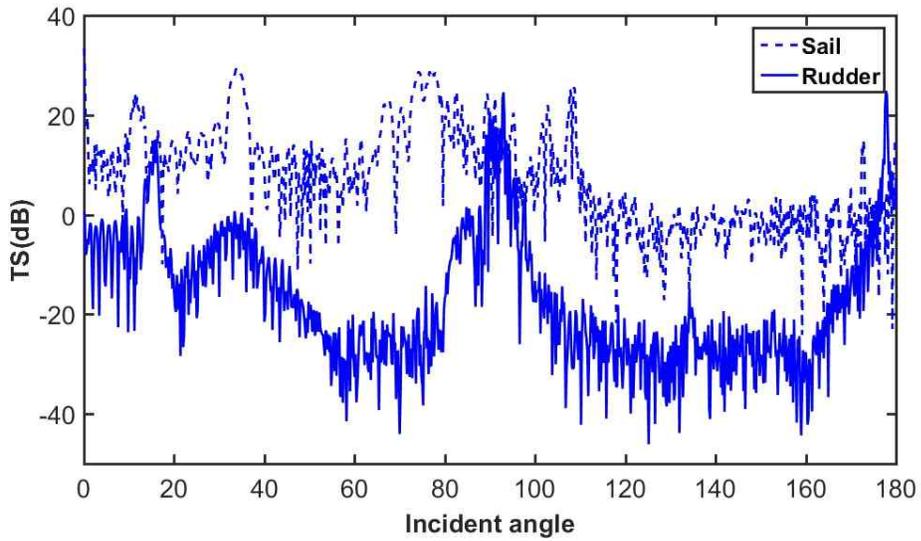


그림 5.20 OO-III급 잠수함 구조물 해석결과 - 30 kHz

표 5.11 OO-III급 잠수함 해석결과

주파수(kHz)	해석결과	
	최댓값	평균값
3	38.87	25.44
10	44.2	28.25
30	49.24	32.33

6. 음향표적강도 기준치 정립 방안

6.1. 도입

4장과 5장에서 잠수함의 음향표적강도 기준치를 설정하였고, 잠수함의 음향표적강도 수준을 예측하였다. 실제 잠수함의 경우 함정 건조기술력, 작전운용성능 등을 고려했을 때, 4장에서 설정한 기준치를 만족할 수 있는지는 예측수준과 비교를 통한 분석이 필요하다. 따라서 6장에서는 능동소나방정식을 이용하여 설정한 잠수함의 음향표적강도 기준치와 실제 잠수함에 예측되는 음향표적강도 수준을 비교하여 차세대 잠수함의 기준치 정립방안에 대해 알아보았다.

6.2. 음향표적강도 기준치 정립 방안

소나방정식을 이용하여 설정한 음향표적강도의 기준치와 실제 잠수함의 예측수준은 크게 두 가지 경우로 나타낼 수 있다.

첫 번째는 잠수함의 음향표적강도 기준치가 예측수준보다 낮은 경우, 두 번째는 음향표적강도 기준치가 예측수준보다 높은 경우이다. 차세대 잠수함의 음향표적강도 기준치 정립 방안을 제시하기 위해 각각의 경우에 대하여 기준치 적용 방안에 대해 분석하고, 음향표적강도 감소설계 방안에 대해서도 제시하였다.

6.2.1. 음향표적강도 기준치 < 예측수준

잠수함의 음향표적강도 기준치가 예측수준 보다 낮은 경우, 대표적인 경우로 표 6.1과 같이 OO-I급 잠수함에 대한 기준치와 예측수준을 살펴보면, 예측수준이 기준치 보다 최대 9dB 이상 큰 것을 알 수 있다. 이는 그림 6.1과 같이 OO-I급 잠수함이 선형 설계와 세일 구조(직각) 등 음향표적강도 감소설계가 반영이 되지 않았기 때문에, OO-I급 잠수함에 대해 기준치를 적용하게 된다면 이를 만족하기 위한 감소설계 적용이 필요할 것으로 판단된다. 그 감소설계 방안으로는 세일구조의 경사화, 선형 및 러더의 설계 변경, 음향무반향코팅재 반영 등으로 볼 수 있다. 특히 그림 6.3과 같이 OO-III급에서 분석했던 것처럼 함미 십자타를 X타로 변경이 가능하다면 훨씬 낮은 수준의 음향표적강도를 가질 수 있을 것으로 판단된다.

다음으로 OO-II급 잠수함의 음향표적강도는 표 6.2와 같이 예측수준이 기준치보다 최대 1.34dB 크게 나타난다. OO-II급 잠수함은 그림 6.2와 같이 선체구조나 세일구조 등의 경사화로 인해 비교적 낮은 음향표적강도 수준을 나타내고 있다. 기준치와 예측수준을 살펴보면 3, 10 kHz에서는 기준치가 조금 작은 수준이고, 30 kHz에서는 기준치가 조금 더 큰 수준인 것을 알 수 있다. 따라서 3, 10 kHz에서 기준치 만족을 위해서는 음향무반향코팅재 등의 설계 감소방안이 필요할 것으로 보인다. 특히 OO-II급 잠수함의 경우 그림 5.14에서 나타난 것처럼 러더에 의한 영향으로 175도 방위각 부근에서 큰 음향표적강도 값을 가지는 것을 알 수 있다. 따라서 함수 수평타 또는 함미 십자타의 설계 변경이나 X타 적용 등의 감소설계를 통해 음향표적강도 수준을 더 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

6.2.2. 음향표적강도 기준치 > 예측수준

음향표적강도 기준치가 실제 예측수준보다 큰 경우는 OO-III급 잠수함을 예로 들 수 있다. 표 6.3과 같이 OO-III급 잠수함의 경우 기준치와 비교하였을 때 최대 3.77dB 만큼 작은 값을 가지는 것을 알 수 있다.

OO-III급 잠수함은 그림 6.3에서 보는 바와 같이 함미 X타의 적용, 시가형 선형 설계, 그리고 세일구조의 경사화와 세일 앞에 유체저항을 줄이기 위한 필렛(유선형 덮개)을 설치하였다. 시가형 선형 설계와 필렛 설치 등은 유체저항을 줄이기 위한 것으로 판단되지만, 이러한 특징으로 인하여 OO-III급 잠수함의 음향표적강도 수준은 OO-I/OO-II급 보다 잠수함이 전장이나 폭이 크에도 낮게 나타나고 있다. 따라서 실제 잠수함의 음향표적강도 예측수준이 기준치보다 낮게 나타나는 것을 알 수 있고, 앞의 음향표적강도 기준치가 예측수준보다 낮은 경우와는 다르게 기준치를 적용해야 함을 알 수 있다.

기준치가 예측수준보다 높은 경우에는 기준치는 그대로 적용을 하고 해석을 통한 예측수준은 설계 목표치인 성능지향수준으로 설정하는 것이 타당하다.

표 6.1 OO-I급 잠수함 기준치 vs 예측수준

주파수(kHz)	기준치	예측수준	비 고
3	20	27.94	+ 7.94
10	22	31.03	+ 9.03
30	29	34.92	+ 5.92

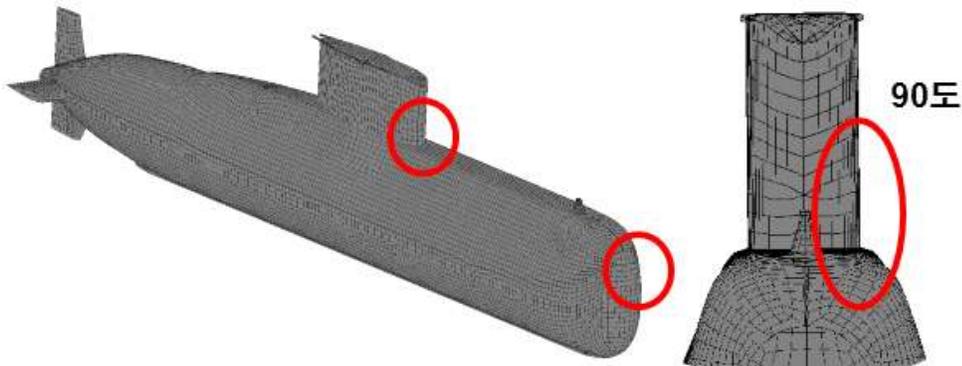


그림 6.1 OO-I급 잠수함 모델

표 6.2 OO-II급 잠수함 기준치 vs 예측수준

주파수(kHz)	기준치	예측수준	비 고
3	25	25.06	+ 0.06
10	27	28.34	+ 1.34
30	34	30.29	- 3.71

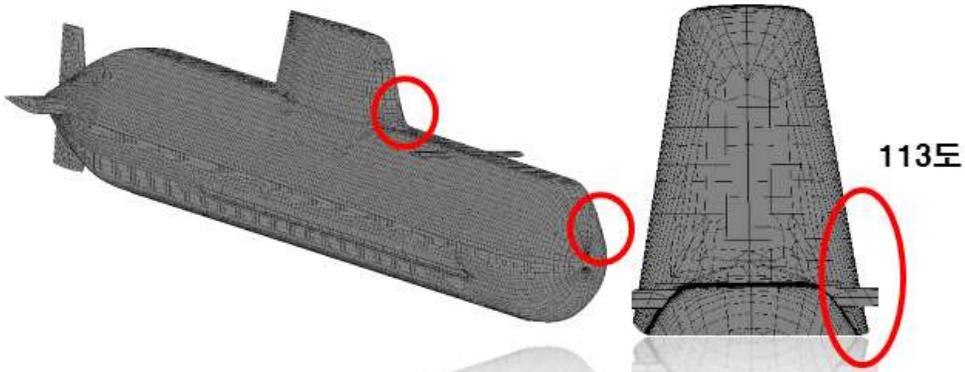


그림 6.2 OO-II급 잠수함 모델

표 6.3 OO-III급 잠수함 기준치 vs 예측수준

주파수(kHz)	기준치	예측수준	비 고
3	27	25.44	- 1.56
10	29	28.25	- 0.75
30	36	32.23	- 3.77

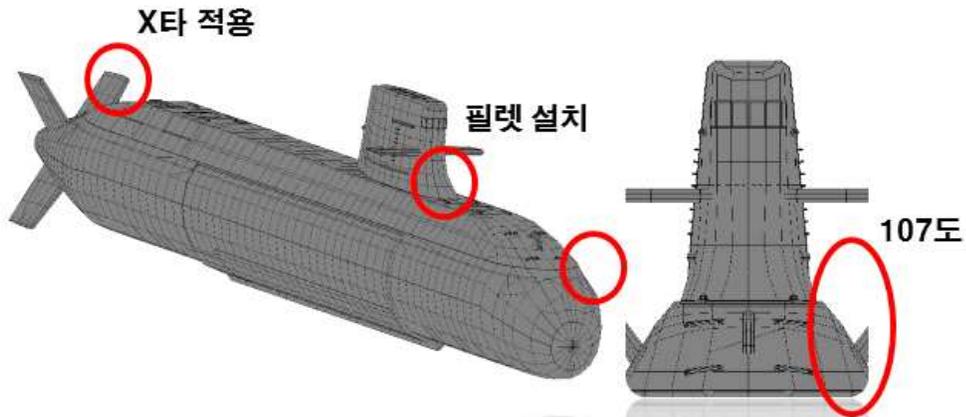


그림 6.3 OO-III급 잠수함 모델

7. 결론

본 논문에서 수행된 연구는 잠수함의 생존성에 가장 큰 영향을 미치는 음향표적강도에 대해 잠수함의 작전개념을 능동소나방정식에 적용하여 차세대 잠수함 음향표적강도 기준치 정립 방안을 제시하고, 실제 잠수함의 음향표적강도를 해석 S/W인 TASTRAN을 이용하여 해석 및 분석하였으며, 이를 통해 잠수함의 음향표적강도 기준치 정립 방안과 음향표적강도 감소 방안과 그리고 관리 방안을 제시하였다.

수행된 연구로부터 본 논문의 결론은 다음과 같이 정리하였다.

- (1) 지금까지 잠수함의 음향표적강도는 성능지향수준만 설정하여 함정 설계/건조시 그 관리가 미흡하였다. 기준치를 설정하지 못한 이유는 잠수함의 음향표적강도 실측자료와 해석결과 등 기준치를 설정할 수 있는 논리 부족이라고 할 수 있다. 따라서 잠수함의 작전개념을 능동소나방정식에 적용하여 그 잠수함의 작전개념에 맞는 음향표적강도 기준치를 설정함으로써 기준치 설정의 논리를 구성하고, 합리적인 음향표적강도 기준치 설정 방안을 제시하였다.
- (2) 잠수함의 음향표적강도는 잠수함의 형상 정보(길이, 폭 등)에 의해서 결정되는 것으로, 실제 운용 잠수함의 형상정보를 바탕으로 모델링을 하였고, 해석을 수행하였다. 해석결과를 분석하고 실제 잠수함의 음향표적강도 수준을 예측하고 기준치와 비교하여 두 가지 경우로 나누어 기준치 정립 방안을 제시하였다. 그리고 각 잠수함의 음향표적강도 해석결과를 분석하여 감소 방안을 제시하였다.

- (3) 최종적으로 잠수함의 음향표적강도 기준치 정립방안을 제시하였고, 그 기준치에 대한 관리방안과 시험평가 수행 방안 등을 분석함으로써 차세대 잠수함 설계/건조시 음향표적강도 기준치를 설정하고 관리함으로써 잠수함의 생존성 향상을 기대 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 함정기술연구회, “함형 및 획득단계별 특수성능 기준 설정방안 연구”, 2011.
- [2] Knott, E. F, Shaeffer, J. F. and Tuley, M. T., “Radar Cross Section”, 2nd Edition, Artech House, Boston·London, pp. 183-224. 1993.
- [3] Wang, S. Y, and Jeng, S. K., “A Deterministic Method for Generating a Scattering-Center Model to Reconstruct the RCS Pattern of Complex Radar Targets”, IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY, VOL. 39, NO. 4 PP 315-323, 1997.
- [4] Urick, R. J, Principles of Underwater Sound, 3rd Edition, Mcgraw-Hill, New York, pp. 291-327, 1983.
- [5] Gordon, W. B, “Far Field Approximation of the Kirchhoff-Helmholtz Representation of Scattered Fields,” IEEE Trans. on Antenna and Propag, Vol. AP-23, No. 5, pp. 590-592, 1975.
- [6] BAE SYSTEMS, “Introduction to BAE SYSTEMS signature analysis tools”, BAE SYSTEMS, 2004.
- [7] Jorgen Phil, “Target Strength Measurement in Shallow Water”, Swedish Defence Research Agency, 2014.

- [8] Kwon, H. W, S. Y. Hong, H. M. Kim, J. J. Jeon and J. H. Kim, “Development of Acoustic Target Strength Analysis Software Considering Anechoic Coating Effect”, Proceedings of The Acoustical Society of Korea Conference, 2011.
- [9] 한승진, 배수룡, 전재진, “잠수함 축소모형 음향표적강도 측정”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회, 2007.
- [10] Wenz, G. M, “Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra Sources”, J. Acout. Soc. Am. 34, 1962.
- [11] 방위사업청, “무기체계 소프트웨어 개발 및 관리 실무지침서”, 2013
- [12] 한국기계연구원, “함정 수중방사소음 목표치/기준치 설정방법 및 고려요소 연구”, 2004.
- [13] 국방과학연구소, “구축함 RCS 기준치 설정 및 감소대책 연구”, 2012.
- [14] 박태용, “함정 RCS 최적화 설계를 위한 시뮬레이션 틀에 관한 연구”, 석사학위논문, 포항공과대학교, 2005.
- [15] 동의대학교, “IR 기준치(안) 설정 및 이를 위한 감소대책 연구”, 2012.
- [16] 조병구, “근접장 음향표적 강도식 개발 및 근접장 다중반사효과를 고려한 프로그램 개발“, 석사학위논문, 서울대학교, 2007.

- [17] 김기준, “펄스 타입의 음향신호를 고려한 음향표적강도 이론식 개발 및 적용”, 석사학위논문, 서울대학교, 2008.
- [18] Youssef, N., “Radar Cross Section of Complex Targets”, in Proceedings of the IEEE, Vol. 77, No. 5, 1989.
- [19] Knott, E. F. and Thomas, B. A., “Comparison of Three High-Frequency Diffraction Techniques”, Vol 72, No. 11, November, Proceedings of the IEEE, 1974.
- [20] Cripin, J. W, and K. M. Siegel(eds.), “Methods of Radar Cross Section Analysis, Electrical Science Series”, Academic Press, Inc., New York, 1968
- [21] Martin Almgren and Magnus Kallman, “Acoustic target strength prediction of underwater objects”, UDT-97, 197~200, Hamburg Congress Centre, Germany, June 24-26, 1997.
- [22] David C. Jean, “Radar and Laser Cross Section Engineering”, Education Series, Ohio 1995

Abstract

A Study on the Setting Procedure of Standard Value of Acoustic Target Strength of Advanced Submarines

Hong, Seong-Taek

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering

The Graduate School

Seoul National University

When it comes to modern weapon systems, detection capabilities and stealth technology is one of the important factors in survivability. Stealth technology is decreasing radiated signals from warship. Typical examples of radiated signal is Radar Cross Section(RCS), Acoustic Target Strength(TS), Underwater Radiated Noise(URN), Infrared Signature(IR).

Acoustic target strength (TS) is one of the most considerable design elements for survival capacities of submarines. It needs to

reduce acoustic target strength that submarines are getting larger and larger. In this paper, we researched that setting procedure of standard value for acoustic target strength of advanced submarines, using active sonar equation. And we analyzed acoustic target strength of submarines by numerical method. TASTRAN, acoustic target strength analysis program, is used to analyze acoustic target strength of submarines. By setting procedure of standard value for acoustic target strength of advanced submarines we could expect that the survival capacities of advanced submarines are enhanced.

keywords : Acoustic Target Strength(TS), Active Sonar Equation, Standard Value, Submarines,

Student Number : 2016-21144