3차원 수중 표적의 반향특성 모델링과 실험적 검증

Modeling and Experimental Verification of Echo Characteristics of 3 Dimensional Underwater Target

유승기, 김선호*, 최지웅*, 강돈혁**, 정동민

(Seung-ki You, Sunhyo Kim*, Jee Woong Choi*, Donhyug Kang**, and Dongmin Jeong)

LIG넥스원(주) M&S연구센터, *한양대학교 해양융합과학과 해양음향연구실, **한국해양과학기술원 해양방위연구센터
(접수일자: 2014년 2월 12일; 수정일자: 2014년 4월 17일; 채택일자: 2014년 4월 23일)

초 록: 능동소나에 의한 표적 반향 신호는 다중경로 환경에서 전파됨에 따라 신호가 변형되어 수신된다. 또한 표적의 위치와 자세각에 따라 반향 신호 특성이 다르게 나타난다. 따라서 이러한 특성을 반영할 수 있는 3차원 형상의 표적 모델을 통해 반향 특성이 모의 되어야 한다. 본 논문에서는 3차원 표적신호의 모의를 위해 표적의 각 구성부를 형상 함수화 하였으며 각 구성부의 대표 반향점을 등간격으로 선정하여 표적 모델을 개발하였다. 개발된 표적 모델을 이용하여 음의 입사각에 따른 반향 신호와 표적강도(TS : Target Strength)를 모의하였다. 모의된 표적신호의 반향 강도 및 신호 특성을 검증하기 위해 조립이 가능한 구성부별 축소 모형을 제작하여 수조에서 축소 표적을 이용한 반향 실험을 수행하였다.

핵심용어: 수중 표적, 3차원 표적신호 모델링, 표적 반향 신호, 하이라이트, 수조 실험

ABSTRACT: When a active sonar signal is transmitted and returned back from a target, it has been distorted by various properties of acoustic channel such as multipath arrivals. And signals have been appeared to be different form by target position and attitude. Therefore, we simulated the target echo signal using 3 dimensional target model include reflects target features. In this paper, we develop components form of a simulated target model is made up equally spaced highlight points, and each part of the target consists of shape function. We can simulate a target echo signal and Target strength (TS) according to wave incident angle. To verify, we made small scale target in kit form and we had got underwater target signal for comparing simulation result in water tank.

Keywords: Underwater target, 3 dimensional target modeling, Target echo signal, Highlight, Lab experiment

PACS numbers: 43.30. Gv, 43.30. Vh, 43.60. Bf

1. 서 론

실제 수중환경에서 능동소나의 음향 탐지성능을 평가할 수 있는 기회가 매우 제한적이므로 제품 개발 후 성능 평가까지 오랜 시간과 고비용이 요구된다. 따라서 M&S(Modeling and Simulation) 기법을 이용하여 능동소나 시스템 개발 및 성능을 검증함으로써 개발 기간 단축 및 개발 비용을 절약하는 방안이

대안으로 제시되고 있다. 이를 위해 표적 반향 신호를 합성하는 방법들이 연구되고 있다.

수중에서 표적 반향 신호를 재현하기 위하여 사용되는 방법은 일반적으로 표적 경계에서의 조건을 이용하여 복잡한 표적에서 음파의 후방산란 신호를 모의하는 수치 해석적 방법^[1]과 표적형상을 각각의 점 표적으로 세분화하여 형상에 따른 해석적인 표적강도를 고려한 대표 반향점 방법이 있다.^[2] 수치 해석적 방법의 경우 표적의 산란강도를 정확하게 계산할 수 있다는 장점을 가지는 반면 연산 시간의 증가로 인하여 빠른 신호모의가 어렵다.

대표 반향점을 이용한 방법은 빠른 모의가 가능하

†Corresponding author: Jee Woong Choi (choijw@hanyang.ac.kr)
Department of Marine Sciences and Convergent Technology,
Hanyang University, 55 Hanyangdaehak-Ro, Sangnok-Gu, Ansan
426-791, Republic of Korea
(Tel: 82-31-400-5531, Fax: 82-31-406-6255)

“이 논문은 2013년 한국음향학회 추계학술대회에서 발표하였던 논문입니다.”

지만 정확한 형상의 반향특성을 모의하기가 어렵고 대표 반향점의 인위적인 가중치에 의해 표적강도 및 신호 형태가 변하는 단점이 있다. 특히 공간에서 수평/수직 입사각에 의한 형상별 가중치를 적용하기가 어렵고 정확성이 떨어지게 된다. 최근 표적의 내부 형상 특성 및 회절에 의한 표적 반향 특성을 고려한 정밀 표적 연구가 국내 연구실에서 수행되고 있다.^[3] 특히 3차원 표적 형상을 고려하여 음영구역의 경계에서 발생하는 회절을 고려한 연구가 수행되고 있다.^[4] 하지만 회절에 의한 반향 신호는 최초 접촉면에서의 반향 신호에 비해 작고^[5] 모의를 위한 연산량이 많으므로 본 연구에서는 고려하지 않았다.

따라서 본 논문에서는 빠른 연산과 함께 별도의 가중치를 적용하지 않은 3차원 하이라이트 모델을 개발하였다. 이를 위해 음파의 최초 접촉면에 반향점을 설정하였으며 별도의 가중치 없이 부분별 3차원 형상에 의한 반향특성을 간단한 함수로 적용함으로써 공간상에서 효율적인 표적 반향 신호를 모의하였다. 또한 수조에서 축소 모형을 이용한 표적 반향 신호를 획득하여 모의 결과와 비교하였다. 내부 형상을 고려하면 굽힘과 공진에 의한 Bragg와 Bloch 파가 작은 에너지로 관측된다.^[6] 실험에서 사용한 축소 표적은 별도의 내부 형상을 고려하지 않고 제작됨에 따라 내부 형상에 의한 반향 강도가 매우 작은 것으로 가정하고 모델에서 고려하지 않았다.

II. 표적신호 모의

2.1 표적 형상 모의 및 반향점 위치 설정

수중 음원으로부터 방사된 음파는 전술 상황에 따라 표적입사각이 다르기 때문에 표적 입사각에 따른 대표 반향점의 위치도 다르게 분포하게 된다. 따라서 3차원 형상의 표적 형상 모델을 만들고 표적의 자세와 음파 입사각의 변동에 따른 반향점을 설정 하였다.

3차원의 복잡한 형상을 가지는 표적은 다양한 독립된 형상의 합으로 표현될 수 있다고 가정하고 단순한 형상함수를 이용하여 잠수함 형태를 모의할 수 있다.^[7]

본 논문에서는 표적의 부분 구성부를 독립된 단일 개체 표적으로 고려하여, Fig. 1과 같이 4개의 부분으

Fig. 1. Components of a simulated target.

로 나누어 부분별 형상함수의 개념을 도입하였다. 이 때 표적의 선수(bow)는 타원체, 몸통(hull)은 실린더, 후미(stern)는 원뿔 그리고 전망탑(tower)은 타원 실린더 형상을 적용하였다. 이와 같은 각 부분에 대한 형상은 수학적으로 모델링이 가능하며 시뮬레이션 상에서 공간 좌표계를 이용한 x, y, z 좌표축에서의 회전이 가능하다.^[8]

표적으로부터 반향 되어 수신된 신호는 표적의 자세각, 형상 그리고 입사각에 따라 발생하는 신호 간의 간섭으로 수중 음원에서 송출한 신호와는 다른 신호의 형태를 가진다. 따라서 이와 같은 특성을 모의하기 위해서 표적 외부에 대표 반향점을 신호간의 간섭이 존재하도록 배치하여 수신 신호의 불연속성이 나타나지 않도록 하였다. 모든 신호에서 신호간섭을 표현하기 위한 최소 대표 반향점 간격을 계산하는 식은 아래와 같이 제시되었다.^[9]

$$d \leq \frac{c\tau}{4}, \quad (1)$$

여기서 d 는 대표 반향점 간의 간격, c 는 음속, τ 는 펄스 길이이다. 본 논문에서는 신호 간의 간섭효과를 높이기 위해 d 의 간격을 $c\tau/16$ 로 설정하였다. 그리고 반향점 간격을 등간격으로 설정시 표적 반사면의 끝 부분이 고려되지 않는 경우가 발생한다. 따라서 d 의 간격을 기준으로 반향점을 설정하고 표적의 반사면 모서리 부분에 반향점을 추가하여 모의하였다.

2.2 표적강도 모의

본 연구에서 표적강도는 표적의 표면을 강성체로 가정하고 내부 반사는 없는 1차원 반사만을 고려하여 모의하였다. 독립된 형상에 대한 표적강도는 해석 식을 통하여 아래 식과 같이 표현할 수 있다.^[10]

$$R_{Bow} = \left[\frac{\pi a^4 c^2}{a^2 (\sin \theta) + c^2 (\cos \theta)^2} \right], \quad (2)$$

$$R_{Hull} = \left[\frac{ac^2}{2\lambda} \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 (\cos \theta)^2 \right], \quad (3)$$

$$R_{Stern} = \left[\frac{\lambda c \tan \alpha}{8\pi \sin \theta} \{ \tan(\theta - \alpha) \}^2 \right], \quad (4)$$

$$R_{Tower} = \left[\frac{\lambda a_1^2 a_2^2 \sin \theta}{8\pi (\cos \theta) a^2 (\cos \phi)^2 + b^2 (\sin \phi)^{2.5}} \right], \quad (5)$$

여기서 $\beta = ka \sin \theta$, $\alpha = \tan^{-1}(\frac{a}{c})$ 이며, a 와 c 는 각 형상들의 반경과 길이를 나타낸다. θ 와 ϕ 는 수직 및 수평 입사각, λ 는 입사파의 파장, α 는 원뿔 끝에서의 반각이다. 그리고 a_1 과 a_2 는 타원 실린더의 장축 및 단축 반경을 나타낸다. 위 식을 이용하여 형상별 입사각에 따른 각 반향점에서의 단면적에 대한 표적 강도를 계산하고 이를 합하면 전체 형상에 대한 표적 강도를 계산할 수 있다.

2.3 표적 반향 신호 모델링

표적 반향 신호 모의를 위해 음파 전달모델을 이용하여 각 대표 반향점의 수직 입사각, 시간지연, 전달 손실의 정보와 같은 고유음선 정보와 수신 빔패턴 정보를 이용하여 수신 채널응답 $H(t)$ 를 계산하였다.

$$H(t) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^L \left[\frac{R_k h(t - \tau_k)}{TL_i TL_j B_i B_j} \right], \quad (6)$$

여기서 B_i 와 B_j 는 송수신 빔 패턴, M 은 표적에 입사하는 고유음선 개수, N 은 표적으로부터 되돌아오는 고유음선 개수, L 은 대표 반향점 개수, R_k 와 $h(t - \tau_k)$ 은 각 대표 반향점에서의 표적강도 및 시간지연, TL_i 는 음원에서 표적까지의 전달 손실, TL_j 는 표적에서 음원까지의 전달 손실이다. 수신 채널응답 $H(t)$ 는 전달모델을 통해 계산하고 그 결과를 음원으로 부터 송출된 신호 $S(t)$ 와 콘벌루션하여 Fig. 3 같이 표적 반향 신호를 모의하였다.

2차원 형상 표적의 신호는 각 대표 반향점의 가중치에 의해 표적신호 형태가 변하게 된다. 따라서 2차원 표적 모델을 이용한 반향 신호 모의는 형상별 특

(a)

(b)

Fig. 2. (a) 2D highlight position, (b) 3D highlight position.

(a)

(b)

Fig. 3. Comparison of target echo signals for wave incident angle by simulated target signal without weighting values (a) 2D target signal, (b) 3D target signal (Frequency: 200 kHz, Pulse Length: 0.1 ms).

성을 적용하기가 어렵고 정확성이 떨어지게 된다. 반면, 본 논문에서 제안한 부분별 3차원 형상에 의한 반향 신호는 대표 반향점의 가중치를 별도로 적용할 필요 없이 형상에 따른 음파의 입사각별 반사 강도를 구할 수 있다.

III. 표적 반향 실험 및 특성 비교

표적신호를 모의하기 위해서는 표적 모델에 대한 표적강도와 시계열 신호에서 나타나는 위상의 특성이 반영 되어야 한다. 이를 확인하기 위해 3차원 형상 모델로부터 시계열 신호를 모의하고 축소 표적 모델로부터 실측 신호를 관측하여 각 입사각별 신호에 대한 표적강도를 산출하고 비교하였다.

3.1 축소 표적

반향 신호 특성 분석을 위해 Fig. 4와 같은 축소 표적을 제작하였다.

축소 표적은 이상적형태의 원통형 몸통과 선수, 후미, 전망탑을 표현할 수 있는 반원, 원뿔, 원통 형태의 부분별 형상으로 제작하였다. 각 형상들은 Fig. 6과 같이 표적의 형태와 위치를 변환할 수 있도록 조립식 형태로 구성하였다.

3.2 표적 반향 실험 개요

수조에서의 음향실험은 해양과 달리 한정적인 공간에서 수행되므로 수면, 벽 등 경계면에 의한 영향이 최소화 되도록 실험을 계획하는 것이 중요하다.

본 축소 표적의 반향 신호 실험은 수조의 공간적 제한요소와 능동소나 성능요소를 고려하여 Fig. 7의 구성으로 실시하였다.

표적의 형태 변화에 따른 다양한 반향 신호 모의 검증을 위해 Table 1과 같이 4가지 경우의 표적 형상에 대하여 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 까지 10° 간격으로 표적 반향 신호 실험을 실시하였다.

3.3 표적 반향 신호 특성 비교

본 논문에서 모의하고자 하는 표적의 부분별 형상의 신호 특성을 확인하기 위해서는 표적의 부분 형

Fig. 4. Reduced experimental target.

Fig. 5. Unit shape parts of experimental target, (a) bow, (b) astern part, (c) tower.

Fig. 6. Geometry of each part of target (unit: mm) (a) It is assembled form of body, bow and astern part, (b) two shapes of tower.

Fig. 7. Experimental and simulated configurations. Experimental target is placed on a rotator.

Table 1. Case of experiments.

Case	Target form	Target Component
Exp. 1		Cylindrical body
Exp. 2		Cylindrical body and Tower
Exp. 3		Cylindrical body and Tower
Exp. 4		The whole of parts

상 길이보다 짧은 음원 길이를 이용하여야 한다. 따라서 타워를 중심으로 각 부분별 형상과의 거리를 고려하여 음원길이를 0.10 ms로 송신하였다. Figs. 8~10은 음의 입사각에 따른 형상별 신호의 변화 특성을 확인하기 위한 것으로 신호의 최대 값을 기준으로 신호 전체 크기를 정규화(normalized)하여 나타낸 것이다. 따라서 음파의 입사각에 따라 표적 반향 특성이 가장 큰 부분의 신호가 강조되어 보이며 형상의 크기와 위치에 따른 도달 시간이 다르게 나타나는 것을 쉽게 확인할 수 있다.

Figs. 8과 9에서 입사되는 음의 각도별 반향 신호 형태는 타워의 위치 변화에 의해 크게 변화됨을 확인할 수 있다. 타워의 위치 변화에 따라 발생하는 반향 신호 변화특성이 모의결과에서도 잘 나타남을 확인할 수 있었다. Fig. 10은 Exp. 4의 결과로 Exp. 2의 표적 형상에 선수와 선미 부분의 추가에 따른 신호 특성을 나타내고 있다. Exp. 2의 결과(Fig. 8)와 비교하면 선미의 원뿔형 형상으로 인해 180° 입사각에 대한 선미의 표적강도가 작아지고 120° 부근에서 타워보다 큰 반향 신호가 발생하였다. 또한 입사각 0°에서 선수의 반구형 형상은 원통형형상보다 작은 표적강도가 나타나는 반면 0°~90°까지 전 반향에서 큰 반향 신호가 발생하였다. 모의 결과에서 이와 같은 특성들이 잘 반영되어 시계열 신호가 모의 되었으나 선수에 의한 입사각별 반향 강도가 실험 결과에 비해 크게 모의 되었다. 이는 모의 형상은 반구 형상인데 비해 실제 축소 표적이 Fig. 5와 같이 타원형 반구 형태로 제작됨에 따른 것으로 실험에서 반향 신호는 0°를 제외한 나머지 입사각에서 모의 결과에 비해 작은

(a)

(b)

Fig. 8. Comparison of target echo signals for wave incident angle in Exp. 2 (a) simulated signal, (b) measurement signal.

(a)

(b)

Fig. 9. Comparison of target echo signals for wave incident angle in Exp. 3 (a) simulated signal, (b) measurement signal.

Fig. 10. Comparison of target echo signals for wave incident angle in Exp. 4 (a) simulated signal, (b) measurement signal.

반향 신호가 나타났다.

3.4 실험 오차 분석

축소 표적에 의한 반향 신호 실험은 표적 이외의 다른 영향을 최소화 하기 위해 표적의 크기와 수조의 공간 크기를 고려한 송신신호 길이, 표적과 치구와의 수심차이, 벽과의 거리를 결정하고 운용 소나 빔패턴 등 많은 영향요소를 고려하여 계획하고 수행되었다. 그리고 실험 환경의 영향으로 발생하는 소음은 후처리로 필터링하였다. 따라서 표적 반향 신호가 작은 경우는 실험 현장에서 소음 신호로 인해 실시간 관측이 어렵다. Fig. 11은 원통형 표적에 대해 입사각 80°일 때의 원신호 (a)와 필터링 신호 (b)를 보여주고 있다. 필터는 운용주파수인 200 kHz을 중심으로 ± 10 kHz의 FIR 대역 필터를 사용하였다. Fig. 11에서 원형으로 표시한 부분은 표적 반향 신호외의 소음으로 사후 분석시 모든 신호에서 일정 시간대에 유사한 크기로 발생하였다.

잡음 신호의 원인 분석을 위해 모의 표적신호와

Fig. 11. Comparison of (a) received raw signal and (b) filtered signal in Exp. 1.

실험 신호를 비교하였다. 모의 표적신호가 실측 표적신호와 정확하게 일치하지는 않는다. 하지만 모의 표적신호를 사전에 분석함으로써 실험신호에서 반향 신호의 수신시간, 신장효과에 의한 신호 길이 등 표적 반향 신호 대한 개략적인 정보를 확인할 수 있다. Figs. 12와 13은 Exp. 1과 4에서 입사각 0°, 45°, 80°일 때 모의 표적신호와 실험 표적신호를 비교한 그림이다. Figs. 12와 13의 하단그림은 실측신호에서 표적외 잡음신호를 확인하기 위해 y축의 크기를 고정 한 것이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 표적신호 이후 일정크기의 신호가 표적신호 수신 후 0.2~0.4 ms 사이에 수신되었다.

표적의 영향을 받지 않은 반향 신호의 원인을 파악하기 위하여 표적신호가 수신된 이후인 0.2~0.4 ms 부분의 신호를 분석하였다. 수조의 음속이 1460 m/s이었으므로 0.2~0.4 ms를 거리로 환산하면 14~29 cm이다. 능동소나에서 표적까지의 거리(400 cm)보다 14~29 cm 먼 거리에 위치한 물체는 센서 고정치구이다(Fig. 14). 잡음 신호는 송수신 빔의 주엽에서 벗어나 있는 능동소나의 고정치구에 의한 것으로 부엽신호가 반향되어 수신된 것으로 확인되었다. 운용 소나는 주빔이 $\pm 7^\circ$ 이지만 치구와의 각도가 약 $12.5^\circ \sim 16^\circ$ 로서 Fig. 15와 같이 주빔에 비해 15~25 dB 작은 부엽신호가 송신되게 된다. 이러한 부엽신호의 영향은 표적강도가 큰 입사각의 반향 신호에는 나타나지 않지만, 표적강도가 작은 원통형 표적의 측면 입사각 반향 신호에는 크게 나타났다.

3.5 표적강도 보정

제작된 축소 표적은 스테인리스 재질로 강성체로 가정하고 제작되었다. 하지만 실제 표적 반향 신호

Fig. 12. Comparison of (a) simulated signal and (b) measurement signal when aspect angle 0° , 45° and 80° in Exp. 1 (Circle sign is an error signal).

Fig. 13. Comparison of (a) simulated signal and (b) measurement signal when aspect angle 0° , 45° and 80° in Exp. 4 (Circle sign is an error signal).

Fig. 14. Schematics of representative installation range from the active sonar to the experimental target.

Fig. 15. (a) Test fixture for a target, (b) active sonar beampattern and sidelobe beam angle to the fixture.

와 모델의 결과 비교를 위해서는 표적강도실험을 통한 보정작업을 수행해야 한다. 이를 위해 해양 생물체의 표적강도 측정용 소나인 420 kHz Biosonics 능동소나를 이용하여 표적강도를 측정하고 모델을 통해 계산된 표적강도와 비교하였다. 420 kHz Biosonic 능동소나는 표적강도측정용으로 시간 신호의 획득은 불가능하다. 표적강도 보정을 위한 420 kHz 능동소나의 송신 신호 길이는 표적의 크기와 수조의 공간적 제한을 고려하여 0.5 ms로 설정하였다. 실험은 가장 이상적 형태인 원통형 표적을 이용하여 수평 입사각을 $0^{\circ} \sim 190^{\circ}$ 까지 10° 간격으로 변화시키며 실시하였다. 정밀한 비교를 위해 0° , 90° , 180° 에서는 $\pm 10^{\circ}$ 범위에 대해 1° 간격으로 측정하였다.

Biosonic 420 kHz 능동소나로 측정한 표적강도로부터 표적의 반사계수를 산출한다. 모델링에 의한 표적강도는 재료의 반사강도를 완전 반사체로 가정하고 그에 따른 각 반향점에서의 반향 강도를 모의한다. 따라서 제작된 표적의 표적강도를 확인하기 위해서는 실제 표적강도를 산출하고 모델링의 반사계수를 보정해 주어야 한다. 표적신호는 입사각에 의해 신호의 위상이 차이가 나타나므로 반향되는 신

호 특성이 예민하게 변하게 된다. 즉, 본 실험에서 능동소나와 표적간의 1° 오차는 표적중심과 7 cm의 수평거리 오차가 발생하게 된다. 이러한 영향으로 측면 입사각 일부에서 ± 10 dB 정도의 표적강도 오차가 나타났다.

실험 결과 Fig. 16과 같이 입사각 90° 에서 실험 표적강도는 -13.2 dB 였으며 모델에 의한 모의 표적강도는 -13.9 dB 였다. 이는 제작된 스테인리스 재료의 표적이 완전 반사체라고 가정할 수 있음을 의미한다. 그리고 신호 획득을 위해 사용한 200 kHz 능동소나는 $ka \approx 25$ 로서 420 kHz와 마찬가지로 $ka \gg 1$ 의 선결조건을 만족하는 기하학적 산란체(geometrical scatter)에 해당한다.^[5,11]

3.6 표적강도 비교

표적강도는 모의하고자 하는 표적의 재료, 형태와 크기에 따라 다르게 나타난다. 이를 확인하기 위해 3차원 형상모델로부터 시계열 신호를 모의하고 축소 표적 모델로부터 실측 신호를 관측하여 각 입사각별 신호에 대한 표적강도를 산출하고 비교하였다.

신호를 이용한 표적강도 산출은 주변소음, 실험 장비 등의 소음을 배제하기 위하여 표적신호의 최고 음압을 기준으로 산출하였다. 실험결과와 모의결과는 ± 3 dB 이내로 형상의 특성이 잘 반영됨을 확인할 수 있었다.

Exp. 1은 앞에서 분석한 실험 오차로 인해 측면 입사각의 표적강도가 모의 결과에 비해 높게 나타났다 (Fig. 17). 그리고 Exp. 2와 3은 공간상에서 표적 부분 형상의 위치만 변경 되었으므로 표적강도는 모의결과와 시험 결과 모두 유사하였다(Fig. 18, Fig. 19).

Exp. 4는 선수와 선미부가 모두 결합된 표적 형태로 선미부형상으로 인해 입사각 120° 에서 표적강도가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있으며 모의 결과에서도 이러한 특성이 잘 나타나는 것을 확인할 수 있다. 다만 3.3절에서 분석된 바와 같이 선수부 형상 차이 때문에 모의신호가 실제 표적강도보다 크게 모의되었다(Fig. 20).

Fig. 16. Measured and simulated target strength according to wave incident angle use 420 kHz Biosonic sensor, Incident angle: (a) $0^{\circ} \sim 190^{\circ}$, (b) $80^{\circ} \sim 100^{\circ}$.

Fig. 17. Measured and simulated target strength according to wave incident angle in Exp. 1.

Fig. 18. Measured and simulated target strength according to wave incident angle in Exp. 2.

Fig. 19. Measured and simulated target strength according to wave incident angle in Exp. 3.

Fig. 20. Measured and simulated target strength according to wave incident angle in Exp. 4.

IV. 결론 및 향후 계획

M&S 모의를 위한 표적신호 모의를 위해 표적의

부분별 함수를 적용한 3차원 형상 모델을 개발하였다. 그리고 모델의 정확도 검증을 위해 수조에서 측정한 모의 표적의 신호특성과 표적강도를 비교하였다. 비교 결과 표적 자세에 따른 반향 신호의 공간적 신장효과와 표적 형상에 따른 특성이 잘 반영되었으며 표적강도 또한 ± 3 dB 이내로 잘 일치하였다. 하지만 모의 표적과 모델링 형상의 차이로 인해 수신신호와 표적강도가 민감하게 변화하였다. 이는 표준화된 모형으로 구성된 형상함수를 이용하여 표적 모델링을 수행하였기 때문이며 표준화 되지 않은 표적의 해석에는 한계가 있음을 의미한다. 또한, 수조의 제한된 공간에서 이루어진 측정으로 거리오차에 따른 간섭신호가 표적신호에 영향을 주었을 것으로 예측된다.

본 논문에서는 능동소나와 표적이 모두 고정된 상태에서 반향되어 수신되는 단상태 개념의 표적신호를 모델링하였다. 실제 표적을 탐지하기 위한 능동소나환경에서는 송신기와 수신기가 분리되어 운용되거나 능동소나와 표적이 모두 기동함에 따라 송수신이 다른 양상태 개념의 표적신호가 수신되게 된다. 따라서 교전 상황을 고려한 양상태 표적신호 모의연구가 추가적으로 필요하다. 이를 위해 표적의 산란 면적을 고려한 표적강도 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단되며 전술상황에서 발생하는 도플러 효과도 적용되어 연구해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 LIG넥스원[합성환경에서 수중무기 신호모의 프로그램 개발(Y11- 011)]의 지원으로 수행되었습니다.

References

1. B. Nolte, I. Schafer and J. Ehrlich, "Numerical methods for wave scattering phenomena by means of different boundary integral formulations," J. Comp. Acous. **15**, 495-529 (2007).
2. T. H. Kim, J. H. Park, J. G. Nam, S. H. Lee, and K. S. Bae, "Synthesis and classification of active sonar target signal using highlight model" (in Korean), J. Acoust. Soc. Kr. **28**, 135-140 (2009).

3. Y. H. Choi, J. S. Kim, K. C. Shin, J. S. You, W. H. Joo, Y. H. Kim, J. H. Park, S. M. Choi, and W. S. Kim, "Numerical analysis method for target strength and experimental verification"(in Korean), J. Acoust. Soc. Kr. Suppl. 1(s) **23**, 171-174 (2004).
4. Y. H. Choi, K. C. Shin, J. S. You, J. S. Kim, W. H. Joo, Y. H. Kim, J. H. Park, S. M. Choi, and W. S. Kim, "Numerical modeling and experimental verification for target strength of submerged objects"(in Korean), J. Ocean Eng. and Tech. **19**, 64-80 (2005).
5. R. J. Urick, *Principle of Underwater Sound* (McGraw- Hill, New York, 1983), pp. 291-327.
6. K. C. Shin, J. S. Kim, W. S. Kim, W. H. Kim, and Y. Y. Kim, "A study on the acoustic scattering of submerged scale target-experiment and analysis"(in Korean), J. Ocean Eng. and Tech. **12**, 92-100 (1998).
7. S. K. You, *A target modeling in synthetic underwater environment for performance analysis of acoustic*, (Ph.D. thesis, Hanyang University, 2013)
8. S. H. Kim, S. K. You, J. W. Choi, D. H. Kang, J. S. Park, D. J. Lee and K. J. Park, "Target signal simulation in synthetic underwater environment for performance analysis of monostatic active sonar"(in Korean), J. Acoust. Soc. Kr. **32**, 455-471 (2013)
9. B. I. Kim, H. U. Lee, M. H. Park, and W. H. Kwon, "An analysis of highlight distribution modeling for high frequency CW pulse signal reflection on underwater target" (in Korean), J. Simul. Soc. Kr. **9**, 1-11 (2000).
10. B. R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*, (CHAPMAN & HALL/CRC, 2000).
11. H. Medwin and C. S. Clay, *Fundamentals of Acoustical Oceanography*, (Academic Press, NewYork, 1998), pp. 267-286.

저자 약력

▶ 유 승 기(Seungki You)

2002년 2월: 한양대학교 이학사
2004년 8월: 한양대학교 이학석사
2013년 8월: 한양대학교 이학박사
2004년 ~ 2009년: (주)환경과학기술 정보사업팀 팀장
2010년 ~ 현재: LG넥스원 M&S연구센터 선임연구원

▶ 김 선 호(Sunhyo Kim)

2009년 2월: 한양대학교 이학사
2011년 2월: 한양대학교 이학석사
2011년 9월 ~ 현재: 한양대학교 박사과정

▶ 최 지 웅(Jee Woong Choi)

1996년 2월: 한양대학교 이학사
1998년 2월: 한양대학교 이학석사
2002년 8월: 한양대학교 이학박사
2002년 11월 ~ 2007년 8월: Applied Physics Lab., Univ. of Washington, USA, Research Associate
2004년 ~ 현재: 미국음향학회 수중음향 기술위원회 위원
2007년 9월 ~ 현재: 한양대학교 해양융합 과학과 부교수

▶ 강 돈 혁(Don Hyug Kang)

1992년 2월: 한양대학교 이학사
1994년 8월: 한양대학교 이학석사
2002년 2월: 한양대학교 이학박사
2002년 11월 ~ 2004년 10월: 일본 북해도 대학 특별연구원
2005년 ~ 현재: 한국해양과학기술원 해양 방위연구센터 책임연구원

▶ 정 동 민(Dongmin Jeong)

2008년 2월: 경북대학교 전자전기컴퓨터 공학부 학사
2010년 2월: 경북대학교 전자전기컴퓨터 공학부 석사
2010년 ~ 현재: LG넥스원 M&S연구센터 선임연구원