

GAT(Geometry Acoustic Theory)에 의한 표적신호 합성

신기철, 김재수

한국해양대학교 조선·해양공학부

Target Scattering Echo Simulation by Geometry Acoustic Theory

Kee-Cheol Shin, Jea-Soo Kim

The division of Naval Architecture and Ocean Engineering

E-mail : jskim1@hanara.kmaritime.ac.kr

요약

본 연구에서는 GAT(Geometry Acoustic Theory)를 이용한 표적신호 합성모델의 이론적 배경을 제시하고, 수치모델의 결과를 음향수조에서 축소표적 실험자료 결과와 비교한다. GAT에 의한 표적신호 합성모델은 3차원 해양환경에서 음원과 표적에 의한 음장을 적절히 묘사할 뿐만 아니라 표적 형상에 의한 효과를 정밀하게 계산함으로써 고 정밀도의 표적신호 합성을 가능하게 한다.

I. 서론

표적신호의 합성모델의 요소로서 HL(Highlight) 모델은 현실성 있게 수중 표적의 산란특성을 시뮬레이션하는 것으로 평가받고 있으며, 소나 시스템의 개발과 성능평가 및 진술훈련 등에 광범위하게 이용되고 있다. HL 모델에서 개선되어야 할 사항으로는 음향변환자와 수중 표적의 상대적인 위치와 운동을 고려한 HL의 위치, 능동소나에 대한 표적의 자세각에 따른 각 HL의 방향성, 음향변환자 모델에서 빔패턴의 on-line 계산 및 표적 형상을 고려한 산란강도 등이다.

표적신호 합성에 필요한 모델은 다음과 같다. 첫 번째로 음향변환자 모델이고, 두 번째는 환경모델로서 음파의 전달경로에 의한 기하학적 확산손실과 흡수손실, 복반사 및 다중경로에 의한 현상을 모델링한다. 그리고 세 번째 모델은 표적모델이다. 표적신호 합성모델의 개발을 위해 본 연구에서는 기하광학영역에서 음향수조 축소표적 음향산란실험을 실시하였고, 분석 결과 형상에 의해 주어지는 거울면 반사(specular reflection)가 표적 반향음에 강하게 작용하였다. 이러한 결과를 표적신호 합성에 적용하기 위해서는 음선이

론에 의해서 결정되는 표적 형상에 의한 효과를 충실히 묘사하는 표적 형상 의존 HL모델을 사용하는 것이 타당하다. 형상 의존 HL 모델은 GAT에 의해 모델링되며, 적용 가능하며, 표적형상을 고려한 HL의 산란강도가 결정하게 된다.

II. 표적신호 합성의 이론적 배경

2.1 Geometry Acoustic Theory

Fig. 1과 같이 음원에서 방사된 음향에너지가 표적의 표면에 입사하였을 경우, 반사에 의해서 음선의 발산(divergence)이 증가하게 된다.

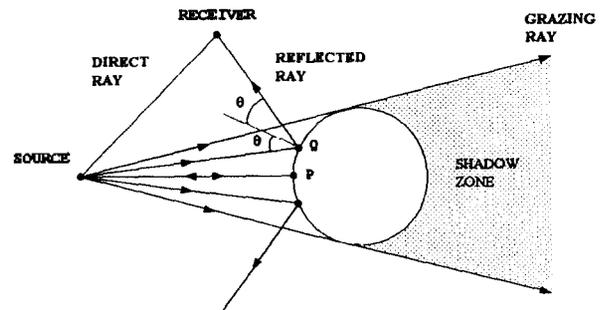


Fig. 1. 거울면 반사

거울면 반사에 의한 음선은 GAT에 의해서 식(1)과 같이 모델링할 수 있다.

$$p_r(R) = p_i(Q) A(R_1, R_2) V \exp(-ikR_2) \quad (1)$$

여기에서, $p_r(R)$ 은 수신기에서 수신된 음압의 크기, $p_i(Q)$ 은 표면상의 점 Q에 입사된 음압의 크기, $A(R_1, R_2)$ 는 GSF(Geometric Spreading Factor)의

크기, V 는 표면의 반사계수, k 는 파수(acoustic wave number)이다. 지수항은 Q 와 수신기 사이의 위상차(phase difference)를 나타낸다. 식(1)에서 GSF에 관계된 항 A 는 거리 전달경로와 표적 형상에 의한 곡률 반경의 함수로 유도된다.

2.2 표적 형상에 의한 표적강도

GSF는 표적의 형상에 의해서 얻어지는 효과이다. Fig. 2는 표적의 형상에 의한 GSF를 유도하기 위해 간단한 원형 물체에 대해 변수를 정의한 것이다.

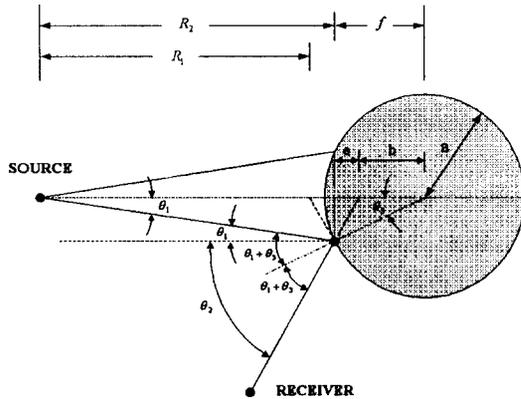


Fig. 2 곡률반경 a 를 가진 2차원 표면에서의 거울면반사

음원에 의한 파의 입사강도를 I_1 , 물체에 의해서 반사된 강도를 I_2 , 수신기에서의 수신된 강도를 I_3 라 했을 때, mono-static에서 전달손실은 식(2)와 같다.

$$TL = 20 \log R_2 + 10 \log 2 \left(1 + \frac{R_2}{a_h} \right) + 10 \log 2 \left(1 + \frac{R_2}{a_v} \right) \quad (2)$$

여기에서, θ_h 와 θ_v 는 각각 수평과 수직방향의 반사각이다. 식(5)에서 1항은 음원에서 물체까지의 기하학적 확산에 의한 손실을 나타내며, 2항과 3항은 물체 형상에 의한 효과와 물체와 수신기의 기하학적 확산에 의한 효과를 포함하고 있다. mono-static인 경우 GSF는 식(3)과 같이 간소화되어 표현된다.

$$A(R_1, R_2) = \frac{1}{2} \left[\left(1 + \frac{R}{a_h} \right) \left(1 + \frac{R}{a_v} \right) \right]^{-1/2} \quad (3)$$

2.3 표적에 의한 반사계수

표적에 의한 반사계수(reflection coefficient)는 3개의 층 즉, 물과 표적의 재질, 공기층으로 구성된 전파 매질에 의해 계산되기 때문에 Fig. 3과 같이 변수가 정의된 매질을 가정하였다. 매질 1에서 입사 평면파의 크기를 1로 가정하고, 각 층에서의 반사계수와 투과계수는 각각 R_{ij} 와 T_{ij} 로 표시한다. 여기서 첨자는 입사하는 파의 전파방향과 각각의 매질을 표시한다.

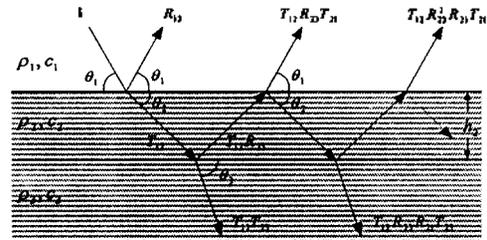


Fig. 3 다층 매질에서의 반사와 투과

Fig. 3으로부터 반사되는 전체의 신호는 부분적인 투과와 반사계수의 유한개 조합으로 계산되므로, 전 반사계수는 식(4)와 같이 표현된다.

$$R = \frac{Z_2(Z_3 - Z_1) - i(Z_2^2 - Z_1Z_3) \tan \phi_2}{Z_2(Z_3 + Z_1) - i(Z_2^2 + Z_1Z_3) \tan \phi_2} \quad (4)$$

여기에서, $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 는 Snell's law에 의해 다음과 같은 관계를 가지게 된다.

$$Z_j = \frac{\rho_j c_j}{\sin \theta_j}, \quad j = 1, 2, 3 \quad (5)$$

$$k_1 \cos \theta_1 = k_2 \cos \theta_2 = k_3 \cos \theta_3 \quad (6)$$

III. 표적신호 합성 모델

3.1 Acoustic Array Model

음향변환자 모델은 음원준위(Source Level), ping의 지속시간, PRI(Ping Repetition Interval)와 음향변환자와 표적 HL의 기하학적 위치에 따라 송수신 빔패턴에 의해서 주어지는 가중치를 모델링하게 된다.

표적신호 합성에 있어 음향변환자 모델에서는 음원과 표적 HL의 3차원적 위치와 자세각에 따라 음원의 국부좌표계(local coordinate)에 의해서 정의되는 HL의 방향각에 따라 자동적으로 송·수신 빔패턴에 의한 가중치를 계산하게 된다.

3.2 Environmental Model

표적신호 합성에 있어 가장 중요한 것은 기하학적 확산과 흡수에 의한 전달손실이며, 이를 정확히 예측하는 것이 합성된 표적신호의 신뢰성에 중요한 요소로 작용하게 된다. 축소표적 신호 합성에 있어 모델링의 음향환경은 청수와 제한된 크기의 음향수조이기 때문에 깊이에 따른 음속분포는 일정하며 또한 흡수손실에 의한 영향도 적다고 가정할 수 있으므로 고유음선은 직선경로에 의한 단일 음선에 제한된다.

3.3 Target Model

표적의 형상모델

표적 모델링에 있어서는 표적을 여러 소부분 즉, 표본형상으로 분리하여 각 부분에 대한 형상을 수학적, 수치적으로 형상의 표면을 이산화 시키게 된다. Fig. 4 (a)의 표적은 조합된 표적을 나타낸 것이고, (b)는 표본형상들로 분리하여 도시한 것이다. 표적 상의 격자 점들은 이산화된 가상의 HL 점을 구성하게 되며, 표적

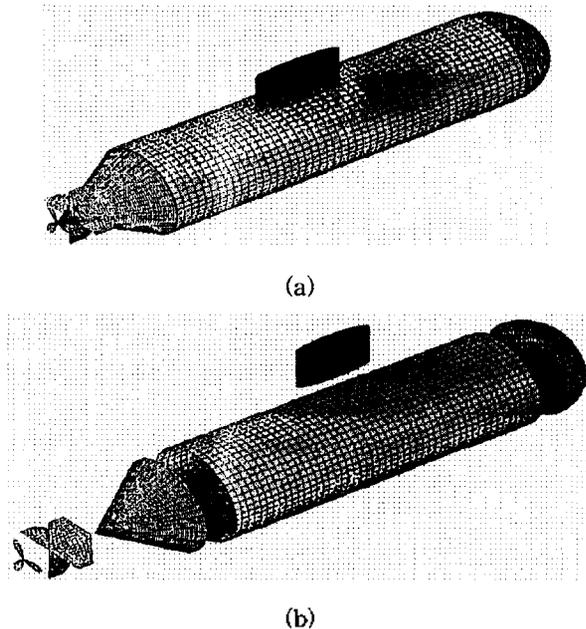


Fig. 4 표적모델 (a) 조합표적 (b) 표본형상에 의한 분리표적

의 형상과 주어진 환경에 따라 표적의 표면을 스캐닝 하는 방식으로 HL의 위치를 계산한다.

표적 HL의 운동학적 모델

표적의 형상에 의한 거울면 반사점은 음원과 표적의 배치와 자세각에 따라 그 위치가 가변적이다. 주어진 음원과 표적의 배치에서 표본형상의 함수는 격자점에서 정의되는 법선 벡터장을 구성한다. 임의의 법선벡터는 그 점에서 음원을 바라보는 벡터와 일치될 수 있으며, 일치된 점이 존재한다면 결국 이 점이 형상함수

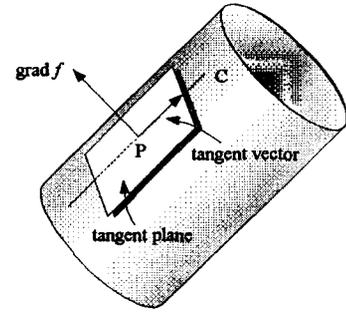


Fig. 5 형상에 의한 법선벡터와 접선벡터

에 의해서 주어지는 거울면 반사점이 된다. 이러한 거울면 반사 위치는 가변적이며, 음원과 표적의 배치에 따라 존재하지 않을 수도 있다.

Fig. 5에서와 같이 곡면의 법선벡터는 식(7)로부터 얻어진다.

$$\text{grad } f = \nabla f = \frac{\partial f}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial f}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial f}{\partial z} \vec{k} \quad (7)$$

형상함수에 의한 표본형상의 표면은 이산화된 유한개의 점으로 구성되고, 각 점은 형상함수에 의해서 유일하게 정의되는 고유의 정규화된 법선벡터 $\vec{n}_i(x_i, y_i, z_i)$ 을 가진다. 여기에서 x_i, y_i, z_i 는 표적 국부좌표계에서 위치를 나타낸다. 거울면 반사점을 계산하기 위해 정의하여야 할 또 다른 벡터는 그 위치에서 음원을 향하는 정규화된 벡터 $\vec{n}_s(x_i, y_i, z_i)$ 이다. 운동학적 모델은 주어진 조건에서 식(8)에서와 같이 두 벡터의 내적(dot product)이 1이 되는 거울면 반사점을 찾는 과정이다.

$$\vec{n}_i(x_i, y_i, z_i) \cdot \vec{n}_s(x_i, y_i, z_i) = 1 \quad (8)$$

IV. 축소표적신호 합성의 결과

기하광학영역에서의 축소표적 신호 합성에 있어 거울면 반사가 중요하다는 사실은 결국, 3차원 환경에서 표본형상에 따라 음향에너지의 전달경로가 변화한다는 것을 의미한다. 표본형상으로 구성되는 표적모델은 표적의 소부분을 독립된 단일 객체로 고려할 수 있으므로, 3 차원 표적에 대해 각 표본형상에 따라 효율적인 가변 HL 배치와 HL 수를 정의할 수 있었고, 또한 운동학적 모델에서 음원과 표적의 운동 및 자세각과 표본형상에 의해서 변화하는 HL 위치를 계산할 수 있었다. Fig. 6은 축소표적 반향실험에 의한 결과와 GAT

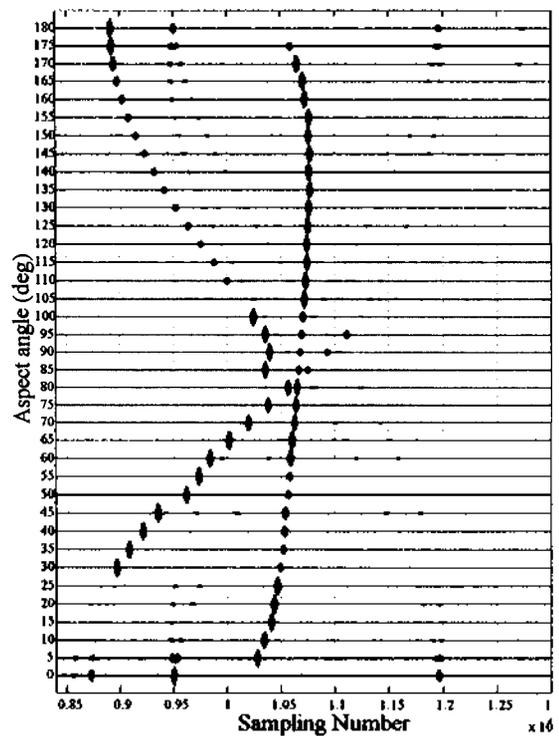
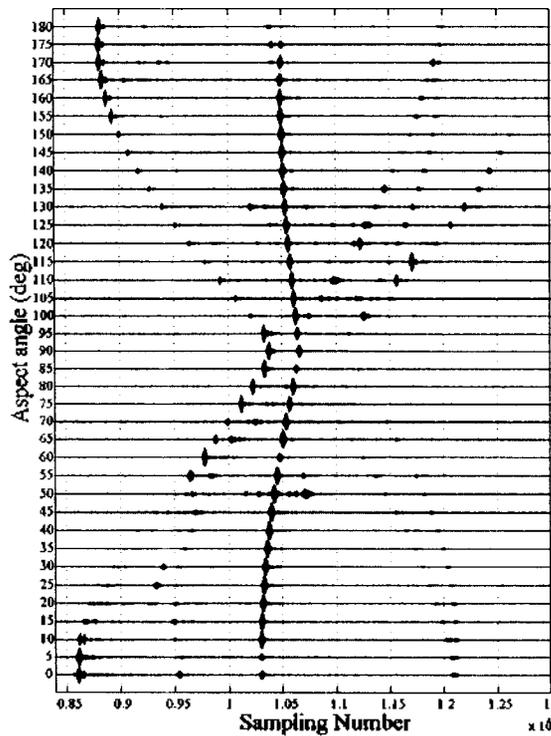


Fig. 6 축소표적신호 합성의 비교 (a) 실측자료 (b) 합성결과

에 의한 축소표적 신호 합성에 의한 결과를 도시한 것이다. 두 결과를 비교해 볼 때, HL의 위치의 변화와 점멸(shadowed) HL 등과 같은 현상을 충실히 반영함을 알 수 있다.

V. 결 론

표적신호에 대한 해석적 예측 모델은 각 부구조물(substructure)에 대한 산란 특성에 관한 주어진 구조물의 거동을 표현하는 수학적 모델들을 조합하여 표현할 수 있다.

기하광학영역에서의 축소표적 반향실험의 분석결과 표적 반향음의 생성과정에 있어 기여도가 높은 것은 표적의 외부 형상에 의한 거울면 반사였으며, 이러한 결과를 토대로 할 때, GAT에 의한 표적신호 합성모델은 3차원 환경에서 음원과 표적의 음장을 적절히 묘사할 뿐만 아니라, 표적 형상에 의한 효과를 정밀하게 계산함으로써 고 정밀도의 합성을 가능하게 하였다. 실험 결과를 토대로한 표적신호 합성모델은 통계적인 HL모델과 수리적인 HL모델을 통합하게 되고, 3 차원 해양환경에서 임의로 움직이는 물체와 소나에 대해 표적의 기하학적 형태에 따른 각각의 HL의 강도와 방향성을 시뮬레이션 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. D. E. Nelson, A Statistical Scattering Model for Time-Spread SONAR Targets, Ph.D. Dissertation, Dept. of Electrical Eng., Univ. of Rochester, New York, U.S.A, 1975
2. R. O'Neill, "Active SONAR Target Classification(U)-Vol.I Experimental", Technical Report B912 Vol. I, Electronic Equipment Division, McDonnell, July, 1965
3. S. G. Chamberlin and A.M. Berlinsky, "Coherent Target and Environmental Modelling for Torpedo Terminal Homing Simulation", Electronic Progress, Vol. XXIV, No.1, Spring, pp19-22, Raytheon Company, 1982
4. R. Ludwig, L. Hogrefe and W. Tietz, "Acoustic Underwater Target System", UDT Conference Proceedings, pp 864-869, Paris, France, April, 1991
5. F. B. Jensen et al, Computational Ocean Acoustic, AIP Press, New York, 1994