

수중 모의표적 강도예측 모델의 펄스길이 효과 고찰

An Analysis of Pulse Length Effect on Underwater Simulated Target Strength Estimated Model

김 부 일*, 박 명 호*, 권 우 현**

(Boo-Il Kim*, Myung-Ho Park*, Woo-Hyen Kwon**)

*국방과학연구소, **경북대학교 공과대학 전자공학과

(접수일자: 2000년 12월 1일; 수정일자: 2001년 1월 30일; 채택일자: 2001년 2월 15일)

본 연구에서는 능동소나와 관련된 시스템에 적용가능한 잠수함 수중표적의 표적강도 및 신호형태를 예측하는 반사신호 합성모델을 제안한다. 이는 입사각에 따라 외부형로 하이라이트의 위치가 변하는 UTAHID (Underwater TArget by HIGHLIGHT Distribution) 모델을 기초로 하여 잠수함 내부의 복잡한 형상에 의한 반사점들을 산란자운에 의한 그룹화된 하이라이트군으로 변형을 가하여 반사신호를 합성한다. 제안된 모델은 입사신호의 펄스길이 변화에 따른 표적강도 변화특성 및 합성신호 파형, 시간분산손실, 신장효과 등에 대해 분석하였으며, 이는 능동소나, 음향대향, 감시 시스템과 같이 반사신호 합성에 관련된 여러가지 실시스템에 적용이 가능하다.

핵심용어: 수중표적, 능동소나, 표적강도, 하이라이트분포, 에코신장효과, 표적시간분산손실

투고분야: 수중음향 분야 (5.6)

This paper proposes the practical echo signal synthesis model to predict the target strength and signal shape of a submarine for a valuable tool to active sonar engineer. It is based on UTAHID (Underwater TArget by HIGHLIGHT Distribution) model which is relocated highlight points along to external hull for aspect angle, and synthesized echo signal by modified grouping highlights to internal scatter cloud. Proposed model is analyzed target strength characteristics on various incident pulse length, and synthesis signal signature, target time spreading loss, echo elongation effect and so on. Thus it can be efficiently used in various real systems related to underwater target echo signal synthesis, that is, active sonar, acoustic countermeasure and surveillance system.

Key words: Underwater target, Active Sonar, Target strength, Distributed highlight, Echo elongation effect,

Target time spreading loss

Subject classification: Underwater acoustics (5.6)

I. 서 론

수중표적에 대한 반사신호 예측 및 재현은 능동소나 (Active Sonar)를 연구, 개발하는 사람에게는 매우 중요한 분야이다. 일반적으로 수중에서 관심의 대상이 되는 것은 대부분 잠수함이며, 이는 매우 복잡한 내부 구조와 형상을 가지고 있다[1]. 따라서 이를 산란이론에 근거하여 각 반사부위를 정확하게 수학적 모델링하여 입사각도별 표적강도를 예측하는 것은 현실적으로 거의 불가능하다. 현대에서는 잠수함의 저소음화로 능동소나 분야로의 관심이 점점 더해 가고 있으며, 수중 고정형이나 자체 이동형 독립

시스템에서 여러 환경에서의 표적강도 예측은 표적에 대한 탐지, 분류, 식별 및 추적에 필수적이다. 이에 수중 표적에 대한 예측모델에 많은 연구를 해오고 있으며, 각종 알고리즘 개발을 위하여 관심있는 수중표적의 반사특성에 대한 깊이 있는 연구가 요구되어진다[2,3,4]. 고주파를 주로 사용하는 능동소나에서 반사신호는 물체표면의 거울면 반사 (Specular reflection)와 내부의 여러 동가적인 산란자 (Scatter)로 형성되며, 이는 물체에 공간적으로 분포된 하이라이트 (Highlight)로 특징되어진다[5]. 원거리에서는 점 하이라이트로 표현이 가능하지만 근거리에서는 표적이 분포로 보이므로 표적내부에 하이라이트를 분포시키는 랜덤분포모델, 등간격 분포모델 및 외부 형의 입사각도별 하이라이트를 이동시켜 거울면 반사효과를 잘 표현해 주는 UTAHID (Underwater TArget by HIGHLIGHT Distribution) 모델 등이 사용되고 있다[6,7,8]. 본 연구팀이

책임저자: 김부일 (asosci4u@dreamwiz.com)
645-600 경남 진해시 진해우체국 사서함18호 국방과학연구소
수담 1팀
(전화: 055-540-6213; 팩스: 055-542-3737)

개발한 UTAHID 모델은 입사각도별 잠수함의 반사신호 특징을 적은 수의 하이라이트로 재현해 줄 수 있어 실시간 시스템에 직접 적용, 운용하고 있다. 하지만 다른 목적에 의 수중고정 탐색형의 능동소나에서는 매우 짧은 펄스폭을 가진 신호를 사용하고 있고[9,10], UTAHID 모델은 표적내부에 배치되는 적은 수의 등간격 하이라이트 사용으로 짧은 신호에 대해서 실제와 다르게 신호의 불연속 현상이 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 짧은 펄스신호를 사용하는 능동 감시시스템에 적용을 가능할 수 있게 표적내부의 복잡한 형상에 의한 반사점들은 산란자운 (Scatter cloud)에 의한 구름화된 하이라이트군으로 변형을 가한 반사신호 합성모델인 M-UTAHID (Modified UTAHID) 모델을 제시한다. 또한 입사각 변화에 따른 표적강도 및 펄스길이 변화에 따른 강도변화 효과 및 파형 특성을 고찰하였으며, 실시간 응답 시스템으로 구현하기 위해 다양한 조건하에서 시뮬레이션을 행하여 반사신호 합성결과 특성을 분석하였다.

II. 기존의 수중표적강도 예측 모델

실질적으로 주요 관심이 되는 수중표적은 수심에서 수백미터 길이의 회전타원체 형상을 가지며, 또한 능동소나가 사용되는 주파수는 고주파대역으로 $ka > 10$ 인 물리적 광학 또는 기하학적 광학 영역에 속하므로 표적강도 예측모델로 하이라이트에 의한 분포모델을 사용할 수 있다. 목적에 따라 원거리에서는 점 하이라이트 모델을 사용하는 것이 가능하나 근거리에서의 큰 물체는 시간-방위적으로 분포특성을 가지므로 하이라이트를 표적내부에 분포시켜야 한다. 먼저 표적의 크기가 주어지면 내부에 무작위로 하이라이트를 분포시켜 반사신호를 표현하는 랜덤분포 모델이 있다. 이때 표적의 임펄스 응답함수는 식 (1)과 같이 되며, 입사각에 따른 변화는 각각의 하이라이트 위치함수를 좌표 변환 후 이에 따른 시간지연을 고려하여 합성한다.

$$h_T(t) = \sum_{k=1}^N Rnd[h_{T_k}(t - \tau_k)] \quad (1)$$

이러한 랜덤분포 방식은 간단하면서도 시간에 따른 반사신호의 불규칙성을 잘 표현할 수는 있으나, 많은 수의 하이라이트를 필요로 하고, 반사신호 신장효과는 정확하게 나타낼 수 없으며 입사각도별 펄스신호의 손실효과도 정확하게 표현할 수 없는 단점을 가진다. 또한 실제 독립 시스템에 적용하기에는 적은 수의 랜덤점으로 입사신호의 펄스길이에 따른 신호의 불연속성을 장담할 수가 없게 된다. 랜덤분포에 의한 첩두치 표적강도는 하이라이트의 표적내 무작위적인 공간분포로 인하여 그림 1과 같이 입사각에 따라 큰 차이가 없이 분포하고 있으며, 시간분산손실은 그림 2와 같이 입사각도에 따라 코사인함수 형태로 표현되어 진다.

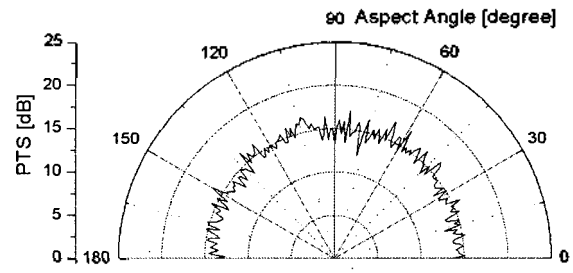


그림 1. 랜덤분포 모델의 첩두치 표적강도

Fig. 1. Peak target strength of random distributed highlight model.

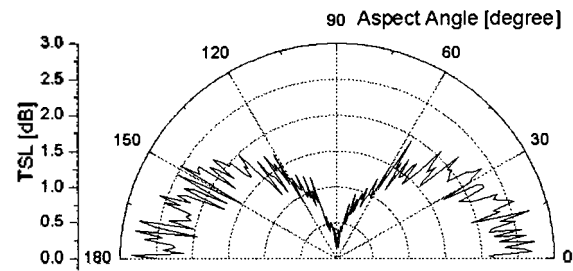


그림 2. 랜덤분포 모델의 표적 시간분산손실

Fig. 2. Target time spreading loss of random distributed highlight model.

현재까지 실제 시스템에서 가장 많이 쓰고 있는 모델은 수중표적에 등간격으로 하이라이트를 분포시켜 반사신호를 재현하는 방법이다. 이는 표적의 종축방향으로 대상 표적 및 관심 입사신호의 펄스신호를 고려하여 하이라이트 수를 결정하고 일렬로 분포하여 합성 처리한다. 이러한 등간격 분포모델은 간단하면서도 입사각도에 따른 표적강도 및 신호신장효과를 쉽게 표현할 수 있다. 하이라이트 위치 설정은 일반적으로 불연속이 생기지 않도록 간격을 주게 되고, 이는 표적의 길이와 입사 펄스폭에 의해 결정된다. 하이라이트 최소한의 수 결정은 표적의 길이가 클수록, 입사 펄스폭이 짧을수록 많아지게 되며, 각 하이라이트는 입사각이 고려된 시간지연 후 반사신호를 만들어 낸다. 실제로 수중표적의 물질적 특성 및 형상에 따라 각 반사점에서의 크기가 다르며 하이라이트 모델에서는 가중함수로서 해결할 수 있다.

$$h_T(t) = \sum_{k=1}^N W_k h_{T_k}(t - \tau_k) \quad (2)$$

여기서 W_k 는 k 번째 하이라이트의 가중함수이고, τ_k 는 k 번째 하이라이트의 시간지연 함수로서 해당 길이 L_k 와 입사각 α 에 의해 결정되는 값이다.

$$\tau_k = f(L_k, \alpha) \quad (3)$$

등간격 하이라이트 모델에서는 입사펄스가 표적 혈에

직각으로 인가될수록 내부에 위치한 하이라이트가 한 점으로 모이게 되므로, 반사신호의 길이는 입사신호와 같게 되며 실제 표적의 폭만큼 오차를 가지게 된다. 그림 3과 같이 등간격 모델은 입사각 변화에 따라 표적강도가 선수, 선미로 갈수록 작아지며, 70° ~ 110° 에서는 하이라이트의 동일한 중첩에 의해 일정한 값을 중심으로 분포되고 있다. 하지만 그림 4와 같이 중심선의 일렬 배치로 인하여 공간적인 분포를 표현할 수 없으므로 시간 분산손실은 전반적으로 작게 나타난다.

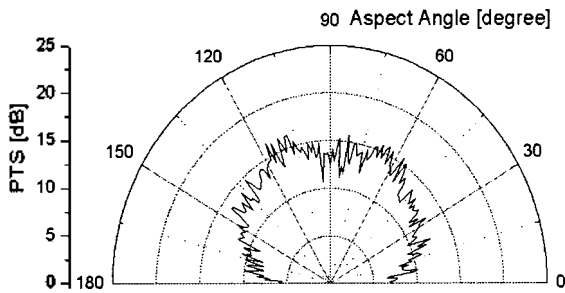


그림 3. 등간격 하이라이트 모델의 첨두치 표적강도
Fig. 3. Peak target strength of equivalent interval highlight model.

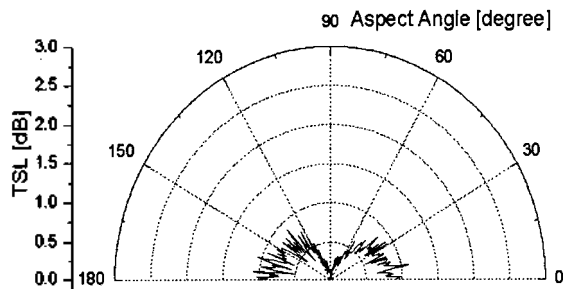


그림 4. 등간격 하이라이트 모델의 표적 시간분산손실
Fig. 4. Target time spreading loss of equivalent interval highlight model.

등간격 하이라이트 모델의 단점을 보완하고 분포표적으로 보이는 거리에서 수중추적체나 능동소나 및 대항시스템에서 반사신호 합성기로서 실제 적용이 가능한 UTAHID 모델이 있다[8]. 이는 수중표적이 입사신호에 대해 기울어짐에 따른 거울면 반사가 크게 일어나는 위치로 잠수함 외부 헬의 하이라이트를 이동 분포시키며, 실질적으로 반사신호에 크게 영향을 미치는 전망탑, 수평타, 프로펠러 및 내부 탱크에 의한 하이라이트도 첨가되었다. 표적내부는 등간격 위치에서 확률에 의한 위치 이동을 하여 최종 위치가 결정되며 전체 하이라이트는 식 (4)의 각 구별별 충격응답의 합으로 표현된다.

$$\sum_{i,j,k=1}^{N_{i,j,k}} h_{T_{i,j,k}} = \sum_{i,j,k=1}^{N_{i,j,k}} W_{i,j,k} h_{i,j,k} \left(t - \frac{2L_{i,j,k} \cos \alpha}{c} \right) \quad (4)$$

여기서, h_{T_i} 는 입사각에 따른 헬에서의 이동된 하이라이트를 나타내며, h_{T_i} 는 실제로 크게 나타나는 전망탑 등에 의한 하이라이트를 표시한다. 따라서 내부의 등간격인 h_{T_i} 의 하이라이트는 h_{T_i} , h_{T_i} 에 의한 하이라이트 수만큼 감소가 되며, 전체 하이라이트는 3차원으로 분포를 이룬다. $L_{i,j,k}$ 는 하이라이트 i, j, k 까지의 거리를 나타내며, L_i 는 입사각에 따라 하이라이트 위치가 이동하므로 변하게 된다. 외부 헬에 의한 하이라이트의 생성위치는 입사각에 따라 변하게 되며, 이에 따른 하이라이트의 위치를 각각 계산하여 주어야 한다. 반사신호의 신호은 입사각도에 따라 거울면 반사가 일어나는 외부 헬 하이라이트가 이동하므로 식 (5)와 같이 표현된다.

$$\tau_i = \tau_p + \frac{2}{c} \sqrt{(2a)^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha} \quad (5)$$

그림 5는 입사각도별 UTAHID 모델의 표적강도이며, 그림 6은 하이라이트 분포에 따른 시간 분산손실이다.

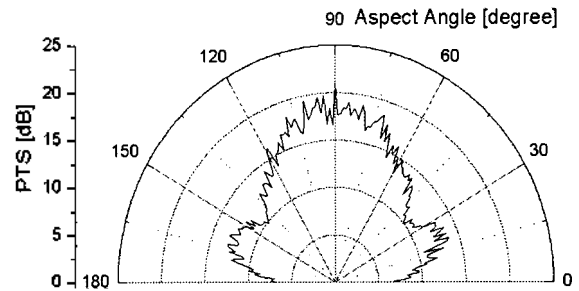


그림 5. UTAHID 모델의 첨두치 표적강도
Fig. 5. Peak target strength of UTAHID model.

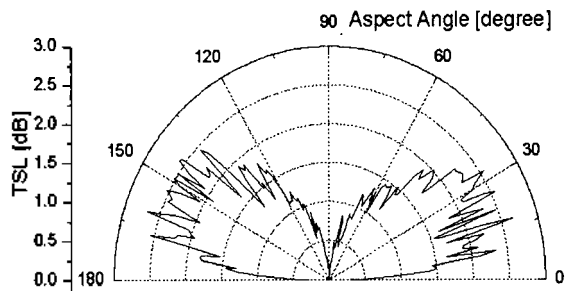


그림 6. UTAHID 모델의 표적 시간분산손실
Fig. 6. Target time spreading loss of UTAHID model.

III. 변형된 하이라이트 분포 모델에 의한 펄스길이 효과

UTAHID 모델은 적은 수의 하이라이트점으로 수중표적을 분포모델로 표현이 가능하므로 효과적으로 실제 시스템에 적용할 수 있다. 하지만 수중고정형 능동소나와

같이 짧은 입사 펄스를 사용하는 시스템에 대해선 내부에의 등간격 하이라이트 분포로 실제 표적과는 다르게 펄스가 연결이 되지 않고 불연속성이 생기게 되며 또한 시뮬레이션상의 정밀한 분포모델이 요구될 때에는 실제 표적의 내부처럼 약간의 변형을 가해야 한다. 표적내부는 반사의 정도는 작으나 많은 산란점을 가지고 있으므로 내부를 몇 개의 구획화된 랜덤분포를 가진 산란자운으로 대체할 수 있다. 그림 7은 UTAHID 모델에 내부 산란자운을 첨가한 M-UTAHID 모델의 하이라이트 생성을 나타낸 것으로, 이는 UTAHID 모델보다 하이라이트 수는 약간 증가하지만 근거리에서의 짧은 입사 펄스를 효과적으로 표현할 수 있고 신호의 불규칙성도 바로 표현이 가능하므로 유용하게 사용할 수 있다.

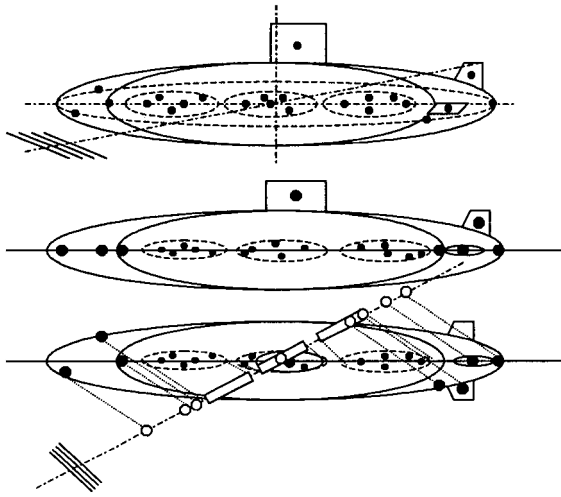


그림 7. M-UTAHID 모델의 하이라이트 분포
Fig. 7. Distributed highlights of M-UTAHID model.

회전타원체로 모델링된 수중표적의 전체 하이라이트 H_T 는 식 (6)으로 표현되며, 내부를 표현하는 산란자운 하이라이트 h_{T_i} 가 물체내부의 중복되는 등간격 하이라이트를 대체하게 된다.

$$H_T = \sum_{i=1}^{n_1} h_{T_i} + \sum_{j=1}^{n_2} h_{T_j} + \sum_{c=1}^{n_3} h_{T_c} \quad (6)$$

이때 각 하이라이트에 의한 충격응답은 식 (7)과 식 (8)로 표시된다.

$$\sum_{i,j,c=1}^{n_1+n_2+n_3} h_{T_{i,j,c}} = \sum_{i,j,c=1}^{n_1+n_2+n_3} W_{i,j,c} h_{i,j,c} \{t - f(L_{i,j,c}, a)\} \quad (7)$$

$$f(L_{i,j,c}, a) = \frac{2}{c} \sqrt{(L_{a_{i,j,c}})^2 \cos^2 a + (L_{b_{i,j,c}})^2 \sin^2 a} \quad (8)$$

$L_{i,j,c}$ 는 하이라이트 i, j, c 까지의 거리를 나타내며, 입사각도에 따른 외부 형의 하이라이트 이동은 UTAHID 모델과 동일하게 된다. 펄스신호가 입사될 때 발생하는 외부 형의 불연속 하이라이트는 입사방향이 바뀌게 되면 하이라이트가 외부 형에 따라 이동하게 되어 반사신호 합성에 다르게 영향을 미치게 된다. M-UTAHID 모델은 불연속 하이라이트가 입사각도에 적절히 이동 위치되므로 고주파 신호에서 크게 영향을 미치는 거울면 반사효과를 잘 표현할 수 있고, 또한 내부에 분포된 산란자운은 한정된 범위내에서 불규칙하게 발생되므로 반사신호의 불규칙성과 신호의 연속성도 유지할 수 있으면서 UTAHID 모델과 마찬가지로의 신호합성 효과를 그대로 표현할 수 있다. 입사신호 $p_i(t)$ 는 공간적으로 분포된 각 하이라이트에 의해 시간지연을 가진 에코신호를 형성하고, 입사각에 따라 형성된 하이라이트에 의해 반사신호 $p_r(t)$ 는 UTAHID 모델과 동일한 과정을 거쳐 합성된다.

$$p_r(t) = \int_0^T p_i(t) H_T(t - \tau) d\tau \quad (9)$$

여기서 표적강도는 입사각 a 에 따른 각 하이라이트에서의 시간지연 $f(L_{i,j,c}, a)$ 값과 펄스폭 τ_p 의 관계에 따라 증감이 이루어진다. L_i 는 하이라이트점이 이동하므로 대상표적과 입사각에 따라 크게 변하며, L_e 는 특징점으로 입사각에만 영향을 받고, L_c 는 내부 산란자운의 위치로 구획화된 랜덤위치로 계산되어진다. 따라서 M-UTAHID에서 하이라이트 위치가 결정되면 각 하이라이트에서의 시간지연 $f(L_{i,j,c}, a)$ 와 입사펄스의 길이에 의해 강도가 형성되어진다. 입사 펄스가 표적면에 수직 (90°)으로 인가될수록 반사신호는 식 (10)의 시간지연이 짧아지므로 많은 하이라이트의 영향으로 표적강도는 점점 커지게 되며, 선수 또는 선미로 갈수록 각 하이라이트마다 긴 시간지연으로 표적강도는 작아지고 반사신호의 신장효과는 커지게 된다.

$$\tau_i = \tau_p + \frac{4}{c} \sqrt{a^2 \cos^2 a + b^2 \sin^2 a}, \quad b' = b + \Delta b \quad (10)$$

여기서 a , b 는 회전타원체의 장축, 단축좌표이며, Δb 는 산란자운 분포에 의한 단축의 증가된 값이다. 수중표적이 잠수함과 같이 큰 물체일 때는 능동소나의 사용 펄스길이가 짧아지면 그림 8과 같이 각 반사지점에서 발생하는 펄스신호가 전체신호에 영향을 미치지 못하므로 표적의 강도는 작아지게 되고 각 하이라이트마다의 특성이 나타나게 된다.

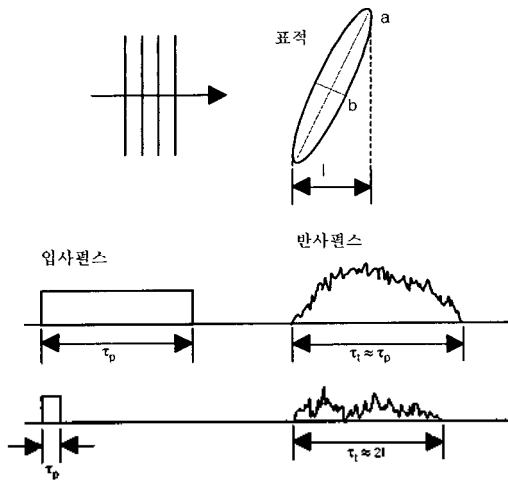


그림 8. 표적강도의 펄스길이 효과
Fig. 8. Pulse length effect on target strength.

그러므로 사용 평펄스폭은 입사신호의 물체 절단면 크기에 상관관계가 있으며, 펄스폭 τ_p 가 유효길이 l 에 비해 짧을 때에는 내부의 각 반사 하이라이트에 따라 변화가 심하게 된다. 그림 9는 주파수가 60kHz인 입사신호의 펄스길이에 따른 일반적인 잠수함에 대한 입사각도별 표적강도이다[11].

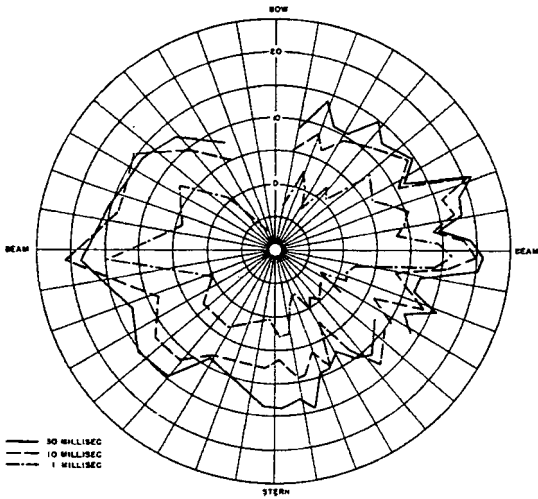


그림 9. 일반적인 잠수함의 펄스길이에 따른 표적강도
Fig. 9. Target strength on pulse length for an S-boat.

입사 평펄스폭이 표적의 반사깊이에 비해 매우 길면 ($\tau_p \gg 2l/c$) 반사신호의 길이는 식 (11)과 같이 $\tau_r \approx \tau_p$ 가 되어 반사신호의 강도는 입사신호의 강도에 직접적으로 의존되게 되며, 식 (7)에서 발생된 M-UTAHID 모델의 하이라이트가 전부 표적강도에 기여를 하므로 표적강도 값은 커지게 된다.

$$\tau_r = \tau_p + \frac{4}{c} \sqrt{a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha} \approx \tau_p \quad (11)$$

그리고 입사 평펄스폭이 표적의 반사깊이에 비해 매우 짧으면 ($\tau_p \ll 2l/c$) 반사신호의 길이는 식 (12)과 같이 $\tau_r \approx 2l/c$ 가 되며, 반사신호의 강도는 입사신호의 강도뿐만 아니라 입사신호의 폭에도 의존하게 된다.

$$\tau_r = \tau_p + \frac{4}{c} \sqrt{a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha} \approx \frac{4}{c} \sqrt{a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha} \quad (12)$$

그러므로 표적강도는 입사펄스의 길이에 직접적으로 영향이 있고, 각 하이라이트점에서의 에코가 서로 영향을 크게 미치므로 신호의 불규칙성이 심하게 된다. 따라서 침투차 표적강도는 짧은 펄스에서 에너지 표적강도와 많이 다르게 된다. 일반적인 수중 능동소나 목적에 따라 약간의 차이는 있지만 수중고정 탐색형은 1-10msec, 자체 이동 탐색형은 20-120msec의 펄스를 사용하고 있다. 또한 관심의 대상인 수중표적은 20-100m의 크기를 가지는 회전타원체의 형상이므로, 최대 시간지연은 26~133msec가 된다. 그러므로 이동 탐색형은 $\tau_p \approx 2l/c$ 가 되며, 특히 수중고정 탐색형의 경우에는 $\tau_p < 2l/c$ 가 되어 펄스길이에 따른 표적강도의 변화가 심하게 된다.

IV. 시뮬레이션 및 고찰

본 연구에서 제안한 하이라이트 분포처리에 의한 M-UTAHID 모델을 가상의 잠수함을 수중표적으로 하여 회전타원체로 시뮬레이션하였다. 대상 수중표적의 크기는 직경 5m, 길이 50m 정도로 잡았고, 입사신호는 주파수 50kHz, 길이 5, 10, 30, 50, 100msec인 펄스를 사용하였다. 각 신호는 입사각도별로 합성된 반사신호의 특성과 예측된 표적강도를 계산하였으며, 실시간 시스템에 적용을 위해 하이라이트는 이동 하이라이트 3개, 특정점 5개, 내부 3개의 구름화된 하이라이트 15개로 시뮬레이션을 행하였다. 또한 각 하이라이트는 계산된 위치에서 확률적인 변화를 주었으며 각 발생되는 반사신호의 포락선은 불규칙하게 변하게 되고, 표적강도 값은 입사각도별(2°) 각각 20회씩 총 1,800개의 합성신호를 반복하여 발생시키 이들의 평균값으로 나타내었다.

그림 10은 M-UTAHID 모델을 통해 합성된 침투차 및 에너지 표적강도 특성 결과이다. M-UTAHID 모델은 UTAHID 모델과 마찬가지로 20°와 160° 부근의 내부구조 공기/연료탱크에 의한 효과가 뚜렷하게 나타나며, 선수와 선미로 갈수록 하이라이트의 넓은 위치분포로 시간 지연에 의한 에너지손실이 크므로 강도가 떨어지게 된다. 90° 부근에서는 외부형에 의한 거울면 반사효과가 크므로 강도가 크게 나타나고 있고, 에너지 표적강도는 반사신호 기간 동안의 에너지로서 표현되므로 최대값을 표현하는 침투차 표적강도보다 입사각도별 특성 변화가 완만

하게 나타난다.

시간에 따른 반사신호의 에너지의 분산은 신호신장에 따른 손실의 정도이며 이는 입사 펄스폭을 기준으로 최대 에너지에 대한 비를 계산하여 구할 수 있다. 그림 11은 하이라이트가 분포된 표적의 특성을 시간분산손실 TSL (Time Spreading Loss)로 시뮬레이션한 것이다.

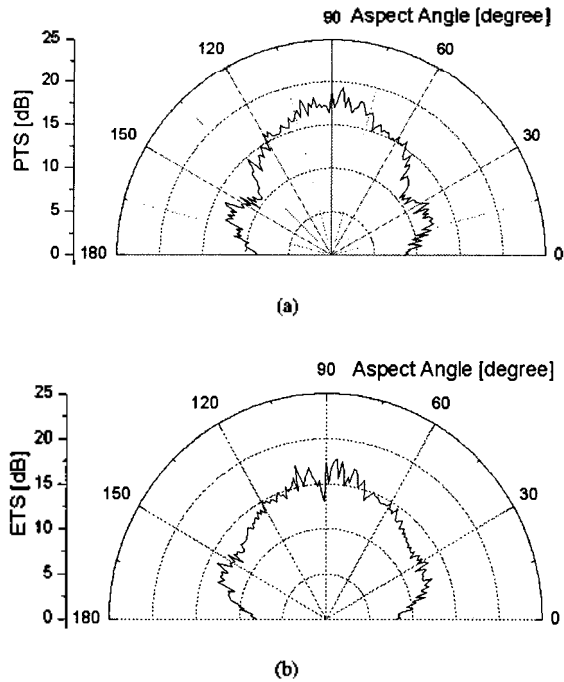


그림 10. M-UTAHID 모델의 침투치 표적강도
 (a) 침투치 표적강도 (b) 에너지 표적강도
 Fig. 10. Target strength of M-UTAHID model,
 (a) Peak target strength, (b) Energy target strength.

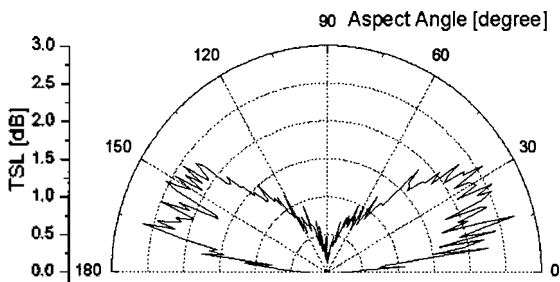


그림 11. M-UTAHID 모델의 표적 시간분산손실
 Fig. 11. Target time spreading loss of M-UTAHID model.

표적의 직각방향에서 멀어질수록 반사 산란자의 분산에 의해 신호의 에너지 분산이 커지게 된다. 등각적 분포 모델이 입사각도에 따른 에너지 분산이 잘 표현되지 않는데 비하여, M-UTAHID 모델은 하이라이트의 공간분포로 인하여 분산에 따른 손실이 잘 표현됨을 알 수 있다. 특히, 내부 탱크가 존재하는 부분에서의 반사에 따른 에너지

분산손실이 잘 이루어지고 있으며, 분산손실의 정도는 시뮬레이션으로 잡은 가상표적에 대하여 0~3dB 사이에 분포하고 있다.

그림 12는 입사펄스 길이에 변화에 따른 표적강도의 특성을 입사각도 30°, 60°, 90°에서 시뮬레이션한 결과이며, 전체적으로 입사각이 작을수록 펄스길이에 의한 영향이 커진다. 두 모델 모두 펄스길이가 긴 경우에는 내부에 위치한 하이라이트에 중첩에 의해 강도가 일정하게 나타나지만, 펄스가 짧을수록 강도가 작아지게 된다. 이는 내부의 하이라이트 분포에 기인하며, 30°로 입사시 $\tau_p < 2l/c$ 인 5msec에서는 강도가 5dB정도 떨어진다. 제시한 모델이 UTAHID보다 짧은 펄스까지 신호의 연속성이 유지되므로 입사펄스의 길이가 20msec 부근부터 작아지기 시작한다. 표적강도는 입사신호가 선수와 선미로 갈수록 짧은 펄스에 영향이 큰 이유는 각 하이라이트 위치에서의 시간지연이 상대적으로 멀어서 하이라이트들의 기여도가 작기 때문이다. 에너지 표적강도는 입사신호에 대한 반사신호의 에너지 총합이므로 펄스길이에 따른 변화는 전체적으로 비슷하게 나타난다.

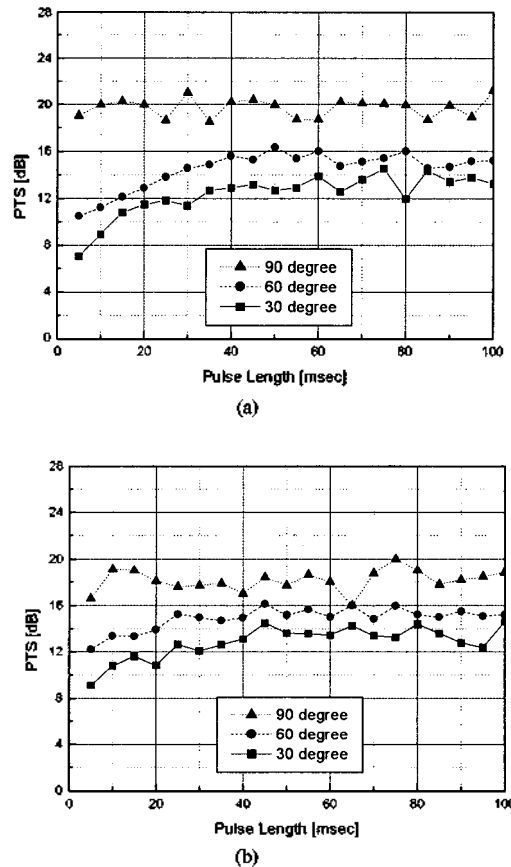


그림 12. 펄스길이에 따른 침투치 표적강도 특성
 (a) UTAHID 모델 (b) M-UTAHID 모델
 Fig. 12. Peak target strength characteristics on pulse length,
 (a) UTAHID model, (b) M-UTAHID model.

그림 13은 5msec, 30msec, 100msec인 입사펄스에 대한 M-UTAHID 모델에 의해 합성된 반사신호의 파형을 보여준다. 반사신호들은 각 하이라이트의 영향으로 포락선이 불규칙하게 형성되고, 장펄스로 갈수록 반사신호 길이는 입사신호의 길이와 비슷하며, 단펄스는 반사신호의 길이가 표적의 유효깊이로 따라감을 알 수 있다. 특히 단펄스의 경우에는 각 하이라이트간 기여도가 작으므로 주 하이라이트의 위치에서 신호가 뚜렷하게 형성됨을 볼 수 있다.

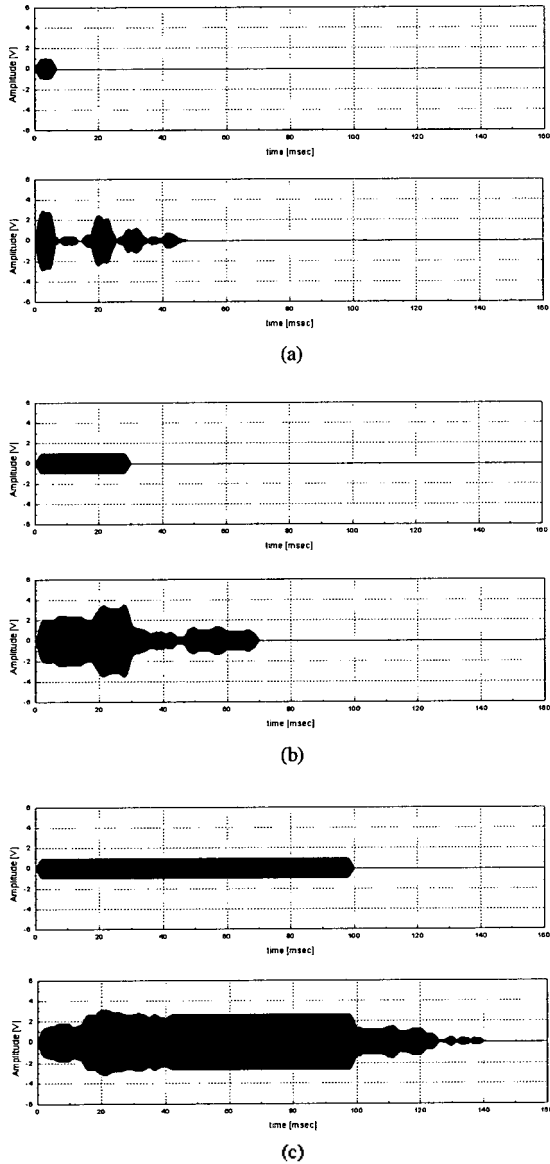


그림 13. 펄스길이 변화에 따른 반사신호 합성 결과
 (a) 5msec (b) 30msec (c) 100msec
 Fig. 13. Results of reflected synthesis signal for various pulse length.
 (a) 5msec, (b) 30msec, (c) 100msec.

입사 펄스신호에 대한 입사각도별 펄스신장 효과를 시뮬레이션한 결과는 그림 14와 같다.

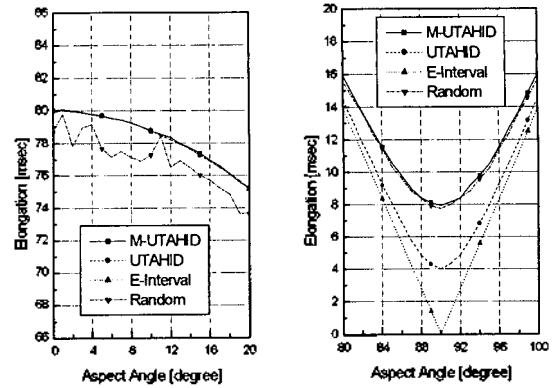


그림 14. 반사 합성신호의 에코신장 효과
 Fig. 14. Echo elongation effect of reflected synthesis signal.

점 하이라이트인 경우에는 신장효과가 없으며, 하이라이트 분포모델은 전반적으로 신장효과를 잘 표현되고 있다. 입사신호가 혈에 직각으로 가까울수록 등간격 모델은 다른 모델과 차이가 크게 나타나고, 이는 등간격 모델이 점차 한 점으로 하이라이트가 이동하는 반면, UTAHID 모델과 M-UTAHID 모델은 하이라이트가 외부 혈을 따라 이동하여 분포되기 때문이다. 랜덤분포 모델은 하이라이트점의 무작위 분포로 20° 이하에서는 신장효과 변동이 크나, 제시한 모델은 외부혈의 이동 하이라이트와 내부의 산란자운 하이라이트에 의하여 입사각도에 따른 신장효과가 뚜렷하게 나타난다.

V. 결론

본 논문에서는 수중 모의표적의 강도예측 모델로 실시간 시스템에 적용할 수 있으며 근거리에서도 분포표적으로 반사신호를 합성 표현할 수 있는 M-UTAHID 모델을 제시하였다. 제안된 모델은 기존의 UTAHID 모델을 기반으로 회전타원체 형상의 표적에서 반사가 강하게 일어나는 외부 혈의 불연속점을 입사각도에 따라 하이라이트를 이동 위치시켜 신호를 합성시켰으며, 표적내부에서 일어나는 미소 반사파들을 산란자운으로 표현하여 랜덤하게 분포시켜 하이라이트를 표현하였다. 이는 UTAHID 모델에서의 짧은 입사신호에 대해 신호의 연속성을 증가시킬 수 있으며, 신호의 불규칙성도 쉽게 표현할 수 있다. 완성된 표적신호 합성모델은 표적강도, 시간분포손실, 반사신호 신장효과 및 입사신호의 펄스길이 변화에 따른 강도변화 특성을 시뮬레이션을 통해 비교 분석하였다. 제시한 모델은 입사각도에 따른 표적강도의 변화 특성 및 시간분산 손실 특성이 UTAHID 모델과 유사하게 나타나며, 혈과 직각부근에서 크게 나타나는 신호신장 오차는 표적내부의 산란자운 적용으로 해결하였다. 신호의 길이에 따른 침투치 표적강도 변화특성은 입사신호 길이와 표적의 상대적인 시간지연과의 관계에 의해 유효 표적깊이 지연인 100msec와 해저고정 능동소나가 주로 사용하는 5msec와의 차이가 약 5dB 정도 나타난다. 본 연구에서 제한한

하이라이트 분포 모델은 공간분포에 의해 반사신호를 합성하므로 분포표적의 입사각도 및 펄스길이에 따른 표적 강도 예측모델로 사용될 수 있고, 실시간으로 응답하는 독립 시스템에도 적용될 수 있다. 또한 각종 능동알고리즘 개발시 모의표적 신호발생으로도 사용하고 있으며, 수중표적의 능동탐지, 감시 및 대항시스템의 표적신호 합성에 적용이 가능하다.

참고 문헌

1. T. Clancy, *Submarine - A Guided Tour Inside a Nuclear Warship*, (Berkley Books, New York, 1993), Chap. 3, pp. 49-115.
2. V. Carnillet, P. O. Amblard, G. Jourdain, "Detection of Phase or Frequency Modulated Signals in Reverberation Noise", *JASA* 105(6), pp. 3375-3389, 1999.
3. Z. Sun, G. Gimenez, "Evaluation of the interference Effect in the Energy Investigation of Echoes Scattered by the Uncorrelated Planar Distribution of Spherical Targets", *JASA* 92(2), pp. 3259-3270, 1992.
4. C. N. Wang, C. C. Tse, "The Scattering of an Acoustic Wave Incident on the Rigid Floating Body", *Applied Acoustics* 53(1), pp. 35-47, 1998.
5. J. Yongmin, F. Haihong, H. Xinya, H. Junying, "A Study on 2-Dimensional Highlight Distribution of Underwater Target", *ACTA ACUSTICA* 22, pp. 79-86, 1994.
6. A. Rondini, E. Ruchaud, "Highlights Model for Submarines", *Proc. UDT Conf.*, pp. 339-343, July 1994.
7. S. G. Chamberlain, A. M. Berlinsky, "Coherent Target and Environmental Modeling for Torpedo Terminal Homing Simulations", *Electronic Progress* 24, pp. 19-22, 1982.
8. 김부일, 박명호, 권우현, "하이라이트 분포 모델에 의한 수중 표적 에코신호 합성", *한국음향학회지* 제19권, 제7호, pp. 15-22, 2000.
9. C-Tech Ltd., *CSAS-80 Omni Sonar Product Description*, (C-Tec Ltd., Canada, 1999), Chap. 4, pp. 11-30.
10. Reson Inc., *SeaBat 8112 Diver Detection Sonar*, (Reson Inc., USA, 1999), Chap. 3-6, pp. 31-62.
11. J. K. Maier, *Physics of Sound in the Sea, Part III Reflection of Sound from Submarines and Surface Vessels*, (Gordon & Breach Science Pub., USA), Chap. 23, pp. 144-177.

▲ 김 부 일 (Boo-II Kim)

한국 음향학회지 제19권 제7호 참조

▲ 박 명 호 (Myung-Ho Park)

한국 음향학회지 제19권 제7호 참조

▲ 권 우 현 (Woo-Hyen Kwon)

한국 음향학회지 제19권 제7호 참조