

하이라이트 분포 모델에 의한 수중표적 에코신호 합성

Echo Signal Synthesis of Underwater Target by Distributed Highlight 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 8월 17일; 채택일자: 2000년 10월 9일)

본 연구에서는 수중표적의 반사신호를 재현하기 위한 공간적 하이라이트 분포처리 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 입사되는 펄스의 각도에 따라 가변적인 불연속 하이라이트와 표적내부 및 특정위치의 하이라이트를 신호 입사각에 따라 분포시켜 합성한다. 완성된 UTAHID 모델은 펄스의 입사각도 및 펄스폭에 따라 침투치 표적 강도, 에너지 표적강도, 에코신장효과, 표적 시간분산 손실 및 포락선의 불규칙성 등을 각종 모의실험으로 타당성을 확인하였으며, 이는 능동소나의 표적 반사신호 합성에 관련된 각종 실제 시스템에 효율적으로 적용될 수 있다.

핵심용어: 수중표적, 하이라이트분포, 에너지표적강도, 에코신장효과, 표적시간분산손실

투고분야: 수중음향 분야 (5.6), 음향 신호처리 분야 (1.5)

This paper proposes a distributed highlight algorithm to generate efficiently echo signal for underwater target. In this algorithm, echo signal is synthesized by discontinuity highlights that are varied to incident angle, by equivalent and specified position highlights according to the spatial target structure. Completed UTAHID(Underwater Target by Highlight Distribution) model is confirmed that PTS, ETS, echo elongation effect, target time spreading loss and envelope fluctuation are satisfied to expected values by various simulations. Thus it can be efficiently used in all sorts of real systems related to underwater target echo signal synthesis in active sonar.

Key words: Underwater target, Distributed highlight, Energy target strength, Echo elongation effect, Target time spread loss

Subject classification: Underwater acoustics (5.6), Speech signal processing (1.5)

1. 서 론

수중 소나표적에 대한 표적강도, 포락선 형상 및 변화, 에코신장, 신호재현 등에 대한 정확한 예측은 능동 및 인터셉트 소나를 연구하는 사람에게 있어 매우 중요한 분야로, 선진 외국에서는 오랫동안 많은 투자와 노력을 기울이고 있다. 하지만 실제 수중표적은 매우 복잡한 형상을 가지고 있고 그 현상 또한 매우 다양하며, 현실적으로 많은 해상시험 및 신호획득의 어려움과 비용 등의 이유로 깊이 있는 연구자료는 거의 발표되고 있지 않는 실정이다. 능동소나에서의 표적탐지 및 식별, 분류를 위해서는 수중 표적에 대한 반사특성 해석이 매우 중요하며, 반사파에 대한 예측처리를 통하여 수중 음파탐지기 및 방해시스템 설계, 측정과 식별방안 정립, 각종 탐지/식별/분류 알고리즘

개발 등 실로 적용분야가 대단히 많다.

현대에서 사용하는 대부분의 능동소나 시스템의 사용 영역은 $ka \gg 1$ 로 기하광학영역에 속하고, 이 영역에서는 대부분 거울면 반사에 의해 에너지가 형성되므로 하이라이트에 의한 반사신호 모델 적용이 가능하다. 이를 위하여 수중표적의 반사신호에 대한 예측 및 실현방법으로 하이라이트(Highlight) 모델이 지속적으로 연구되어 왔으며, 적용 시스템에 따라 점 하이라이트에서 랜덤분포, 등간격 위치 하이라이트 모델로 발전하였다[1-4]. 하지만 점차 정밀한 신호처리 및 정교한 기능 등의 욕구증가로 분포표적에 대한 효과적인 표적모델에 깊이 있는 연구가 필요하게 되었다. 수중표적의 중요한 반사신호 특성으로는 그림 1에서와 같이 입사각에 따른 표적강도의 변화, 포락선 구조의 변화, 반사신호의 신장효과, 이동표적에의 주파수변이, 표적의 운용 및 구조특성에 따른 신호의 불규칙 현상, 펄스폭 효과 등 실로 고려되어야 할 요소가 많이 있다[5,6].

본 연구에서는 근거리에서 수중표적의 반사신호특성을

잘 표현해 주는 수중표적 반사신호 예측모델을 위하여 회전타원체 물체를 도입한다. 등간격 위치 하이라이트에 입사각에 따라 변화하는 협의 불연속점들을 찾아 하이라이트를 주고, 실제 반사신호에 크게 영향을 미치는 부분에

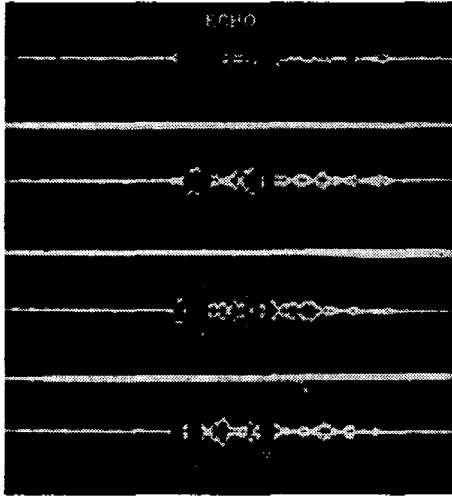


그림 1. 잠수함 표적에 대한 반사신호[7]
Fig. 1. Repeated echo signals for submarine target[7].

특정위치를 첨가하여 하이라이트를 분포시켰으며, 각종 반사특성을 위한 가중치 및 불규칙성, 신장효과를 고려하여, 수중표적에 대한 반사신호합성 UTAHID(Underwater Target by Highlight Distribution) 모델을 완성시켰다. 이는 실시간 응답 시스템으로 구현하기 위해 최소한의 하이라이트를 선정하여 다양한 조건하에서 시뮬레이션을 행하여 반사신호 합성 결과를 확인하였고, 그 결과를 각종 반사신호 특성 인자에 대하여 분석하였다.

II절에서는 표적의 반사신호 특징을 표현하기 위하여 후방산란 이론을 고찰한 후, 일반적으로 사용되는 하이라이트 모델에 의한 신호합성 원리 및 방법을 분석하였고, III절에서는 근거리 표적에 효과적으로 사용될 수 있는 입사각에 따라 이동하는 불연속 반사점들을 유도하고, 실제로 크게 영향을 미치는 특징 하이라이트를 합성하는 하이라이트 분포처리 모델을 제안하였으며, IV절에서 시뮬레이션을 통해 모의신호를 합성한 후 분석하였다. 마지막으로 V절에서 제안된 모델에 대한 결론을 맺었다.

II. 표적 반사신호 특징

2.1. 표적의 후방산란신호 합성

수중물체에 펄스신호가 입사되면 물체의 형상, 재질, 구조적인 특성, 입사파의 주파수 및 펄스폭 등과 같은 인자에 의해 여러 형태의 반사가 일어나고, 후방산란에 의한 반사파는 이러한 산란자들에 의한 반사파의 합으로 표시되어 진다. 주파수 ω 인 신호 $P_i(\omega)$ 에 대한 거리 r 에서의 반사신호 $P_b(r, \omega)$ 는 물체의 전이함수를 $H(r, \omega)$ 로서 표현된다.

$$P_b(r, \omega) = \frac{e^{ikr}}{r} H(r, \omega) P_i(\omega) \tag{1}$$

여기서 $H(r, \omega)$ 는 물체의 특성이 표시되는 항으로 표적강도로 표시할 수 있으며, 이는 후방산란 절단면 (Backscattering cross-section)과도 상관관계가 있다[8].

$$TS = 10 \log |H(r, \omega)|^2 \tag{2}$$

$$\sigma_b = 4\pi |H(r, \omega)|^2 = 4\pi \lim_{r \rightarrow \infty} \left| r \frac{P_b}{P_i} \right|^2 \tag{3}$$

물체를 선형 시스템으로 취급하면 반사신호 $p_b(r, t)$ 는 식 (4)와 같이 표현할 수 있다[9].

$$p_b(r, t) = \int_{-\infty}^{\infty} p_i(\tau) h(r, t-\tau) d\tau \tag{4}$$

$h(r, t)$ 는 r 방향으로 입사될 때 발생하는 물체의 응답 함수이다. 실제로 수중물체에 입사된 펄스신호는 매질의 불연속점에서 반사가 일어나며, 반사신호는 물체에서 나타나는 여러 불연속점에서의 입사 펄스신호 합으로 표현된다. 그림 2는 물체에 평면 펄스파가 입사각 α 로 인가될 때 물체에 불연속점이 발생되어 반사신호가 형성되는 지점을 보여 주고 있으며, 이 경우 r_1 , r_2 및 r 에서 각각 불연속점이 나타나며 반사신호는 식 (5)와 같이 표현할 수 있다[10].

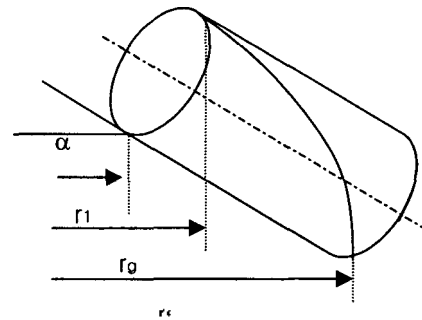


그림 2. 입사각 α 에서 존재하는 물체의 불연속점
Fig. 2. Body exhibiting discontinuities in incident angle α .

$$P_g = i \frac{M_g}{\lambda} \exp[-ik(r_g - r_1)] \sum_{g=0}^{\infty} \frac{D(A_g, g, n)}{(ik)^n} \tag{5}$$

여기서 P_g 는 불연속 지점 r_g 에서 일어나는 하나의 불연속 반사신호를 나타내며, $D(\cdot)$ 는 r_g 지점에서의 신호 크기로 $g=1$ 인 지점이 거울면 반사가 일어나는 곳으로 세기가 가장 크다. 전체 반사신호는 식 (6)과 같이 각 불연속점에서의 반사신호들의 합으로 표시될 수 있으며, 표적의 특성을 표시하는 표적강도는 식 (7)과 같이 표현된다.

$$P_r = \sum_{s=1}^S P_s = \sum_{s=1}^S \left(i \frac{M_s}{\lambda} \exp[-2k(r_s - r_1)] \sum_{n=0}^{\infty} \frac{D(A_s, g, n)}{(2k)^n} \right) \quad (6)$$

$$TS = 10 \log \left[\left(\frac{1}{\lambda} \sum_{s=1}^S \exp[-2k(r_s - r_1)] \sum_{n=0}^{\infty} \frac{D(A_s, g, n)}{(2k)^n} \right)^2 \right] \quad (7)$$

그러나 수중에서 관심의 대상이 되는 다양한 표적들은 실제로 매우 복잡한 내부구조를 가지고 있으므로 식 (7)에서 제시한 방법에 의해 정확히 모델링하는 것은 현실적으로 불가능하다. 그러므로 표적내부에 하이라이트를 위치시켜 신호를 합성하는 방법으로 모델의 수정이 필요하다.

2.2. 하이라이트 표적 모델

수중표적의 후방산란은 시간-공간상으로 분산특성을 가지므로 표적을 모델링하는 방법으로 랜덤분포 및 등간격 하이라이트 모델 등, 다수의 하이라이트에 의한 모델이 많이 이용되고 있다[1,9,11]. 표적모델에서 하이라이트 설정은 위에서 유도한 산란모델을 근거로 하여, 실제 실험을 통한 신호 측정 및 분석후 산란모델에의 적용이 이루어진다. 에코신호는 수중물체의 많은 부분에서 반사와 산란이 이루어지고 있으며, 짧은 입사 펄스의 경우에는 물체의 표면에서 이루어지는 거울면 반사 및 내부 월, 수평타, 편, 방향타 등 많은 부분에서 에코신호를 형성하고, 그리고 내부 구성품에 의해 작은 하이라이트의 모임인 구름과 같은 집합체도 반사신호에 기인된다[12,13]. 이러한 특성은 해상실험에서도 확인이 되며, 특히 능동소나에서 많이 사용되는 고주파수대의 짧은 펄스의 경우에는 뚜렷하게 하이라이트의 형성을 알 수 있다. 그러므로 에코신호는 이러한 여러 종류의 하이라이트의 합으로 표시할 수 있으며, 단상상태(Monostatic)에서의 표적모델은 식 (8)과 같이 표현할 수 있다[14].

$$h_T(\tau, r_s, r_1) = \sum_{k=1}^N h_{T_k}(\tau_k, r_s, r_{i_k}) \quad (8)$$

여기서, h_T 는 표적의 임펄스 응답함수이며, h_{T_k} 는 k 번째 하이라이트의 임펄스 응답함수, τ_k 는 k 번째 하이라이트의 시간지연, r_s 는 음원의 반경벡터, r_{i_k} 는 k 번째 하이라이트의 음향 중심(Acoustic center)의 반경벡터를 나타낸다. 따라서 반사파 $p_r(t)$ 는 입사펄스 $p_i(t)$ 와 식 (7)의 표적 응답특성에 의해 결정되며, 이는 식 (9)와 같다.

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

그리고 하이라이트의 위치는 반사신호가 불연속이 생기지 않도록 간격을 주게되고, 이는 표적의 길이 L 과 입사 펄스폭 T_{pw} 에 의해 결정되며, 등간격 분포시 최소한

의 하이라이트 간격 d 및 개수 N 는 식 (10), 식 (11)과 같다.

$$d = \frac{cT_{pw}}{4} \quad (10)$$

$$N = \frac{L}{d} + 1 = \frac{4L}{cT_{pw}} + 1 \quad (11)$$

그림 3은 일반적으로 사용하고 있는 등간격 하이라이트 분포에 의한 에코신호 합성을 보여준다. 표적은 입사파에 대해 α 만큼 기울어져 있으며, 각 하이라이트는 입사각 α 가 고려된 시간지연 τ 후 반사신호를 만들어 낸다. 실제로 해상실험을 해보면 각 하이라이트마다 반사신호의 정도가 다르게 나타나며, 식 (5)에서의 불연속점마다 절단면 A_w 미분값에 대한 불연속 크기함수로 해석할 수 있고, 이는 각 물질적 특성 및 형상에 따라 다르므로 하이라이트 모델에서는 가중함수로서 해결한다.

$$h_T(t) = \sum_{k=1}^N W_k h_{T_k}(t - \tau_k) \quad (12)$$

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.

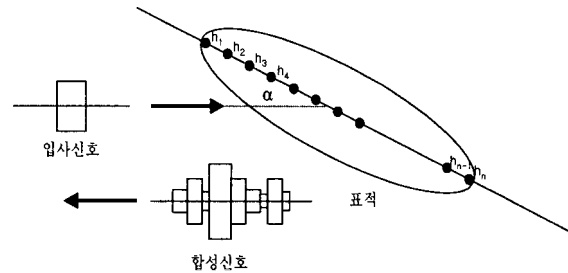


그림 3. 다수의 하이라이트에 의한 에코신호 합성도
Fig. 3. Diagram of echo signal synthesis by multi-highlight points.

III. 제안된 하이라이트 모델에 의한 에코신호 합성

등간격 하이라이트 모델은 수중추적체나 능동소나 및 대항시스템에서 많이 사용되고는 있으나 실제 분포표적으로 보이는 거리에서는 적용하기에 약간의 문제를 안고 있다. 대부분의 경우 표적은 입사신호에 대해 α 만큼 기울어져 있으며, 거울면 반사가 크게 일어나는 처음과 마지막 월의 하이라이트 위치는 변경되게 된다. 또한 전망탑, 수평타, 프로펠러 및 내부 탱크에 의한 반사신호도 크게 나타나므로 정밀한 반사신호 합성을 위해서는 이들의 영향을 고려한 3차원 하이라이트 분포처리가 타당하

다. 외부 혈에 의한 하이라이트 위치는 식 (6)에 근거한 후방산란에 의한 위치를 도입하고, 각 특정 위치에의 하이라이트는 일반적인 잠수함을 근거로 첨가하여야 한다. 따라서 전체 하이라이트 H_T 는 식 (13)과 같이 표현된다.

$$H_T = \sum_{i=1}^{n_1} h_{T_i} + \sum_{j=1}^{n_2} h_{T_j} + \sum_{k=1}^{n_3} h_{T_k} \quad (13)$$

여기서, h_{T_i} 는 입사각에 따른 혈에서의 이동된 하이라이트를 나타내며, h_{T_j} 는 실제로 크게 나타나는 전방향 등에 의한 하이라이트를 표시한다. 따라서 h_{T_i} 의 등간격 하이라이트는 h_{T_j} 및 h_{T_k} 에 의한 하이라이트 수만큼 감소가 되며, 전체 하이라이트는 3차원으로 분포를 이룬다. 이때 각 하이라이트에 의한 충격응답은 입사각을 고려하여 나타내면 식 (14)와 같다.

$$\sum_{i,j,k=1}^{n_1+n_2+n_3} h_{T_{i,j,k}} = \sum_{i,j,k=1}^{n_1+n_2+n_3} W_{i,j,k} h_{L_{i,j,k}} \left(t - \frac{2L_{i,j,k} \cos \alpha}{c} \right) \quad (14)$$

$L_{i,j,k}$ 는 하이라이트 i, j, k 까지의 거리를 나타내며, L_i 는 입사각에 따라 하이라이트 위치가 이동하므로 변하게 된다. $W_{i,j,k}$ 는 각 하이라이트에서의 가중함수로 이론적인 값과 실제값의 차이를 보정해 준다. 실제로 $W_i |_{i=1}$ 인 거울면 반사가 일어나는 지점의 가중치가 가장 크다. 그림 4는 수중표적을 회전 타원체로 모델링할 때 발생하는 불연속점에 대한 하이라이트 생성위치를 나타낸다.

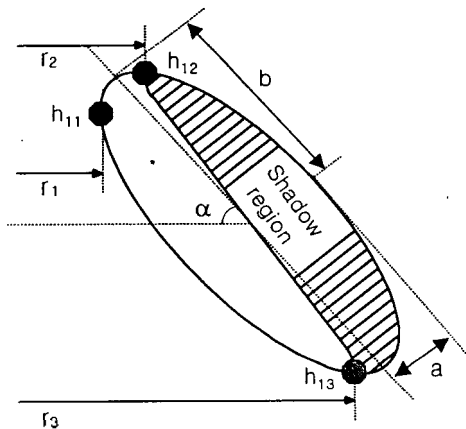


그림 4. 회전타원체 불연속점에 의한 하이라이트 위치
Fig. 4. Highlight position by the spheroid discontinuities.

입사각 α 로 물체에 평평스가 인가되면 h_{11}, h_{12}, h_{13} 에서 하이라이트가 나타나고, 이때의 거리 r_1, r_2, r_3 를 유도하면 식 (15a), (15b), (15c)와 같다.

$$r_1 = 0 \quad (15a)$$

$$r_2 = \frac{-\sqrt{A^2 C + \sqrt{BC}}}{\sqrt{B(B-A^2)}} \quad (15b)$$

$$r_3 = \frac{\sqrt{A^2 C + \sqrt{BC}}}{\sqrt{B(B-A^2)}} \quad (15c)$$

여기서,

$$A = \frac{\sin \alpha \cos \alpha (a^2 - b^2)}{a^2 \sin^2 \alpha + b^2 \cos^2 \alpha},$$

$$B = \frac{a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha}{a^2 \sin^2 \alpha + b^2 \cos^2 \alpha},$$

$$C = \frac{a^2 b^2}{a^2 \sin^2 \alpha + b^2 \cos^2 \alpha} \text{ 이다.}$$

이렇게 각 하이라이트 위치가 정해지면 각각에 대하여 신호를 합성하기 위한 좌표변환이 그림 5와 같이 이루어진다.

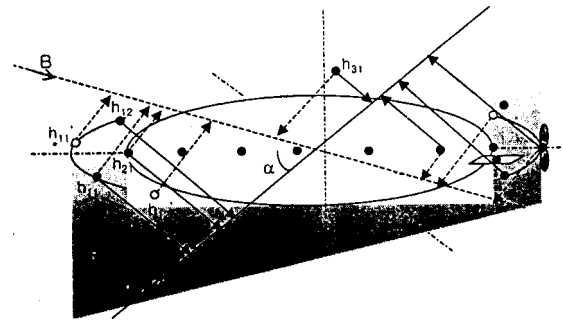


그림 5. 분포된 하이라이트 점들의 위치 변환
Fig. 5. Position transform of distributed highlight points.

그림에서와 같이 A방향에서 펄스신호가 입사될 때에는 불연속 하이라이트 h_{11}, h_{12}, h_{13} 가 ●지점에서 생성되지만, B방향에서 펄스신호가 입사될 때에는 ○지점에서 생겨 합성신호에 다르게 영향을 미친다. 이는 실제로 음파가 표적에 거울면반사 영향을 미치는 지점으로 하이라이트를 위치시킴으로 분포표적에서의 표적 모델링에 타당성을 부여할 수 있다.

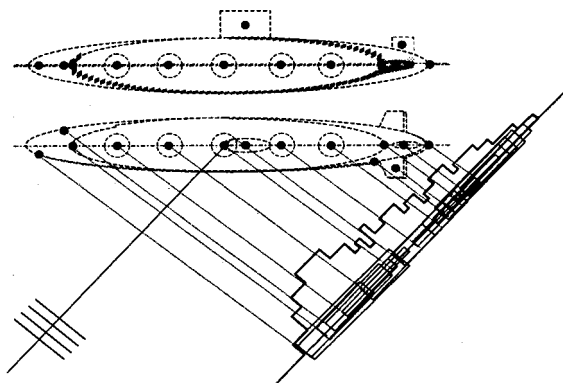


그림 6. 하이라이트 분포에 의한 에코신호 합성
Fig. 6. Echo signal synthesis by distributed highlights.

그림 6은 분포된 하이라이트가 좌표변환 후 반사신호를 합성시키는 과정을 도식화한 그림이다. 입사신호 $p_i(t)$ 는 공간적으로 분포된 각 하이라이트 $H_T(\theta)$ 에 의해 에코신호가 형성되고 합성된 신호 $p_r(t)$ 는 그림 6에서와 같이 형성된다. 이때 혈에 의한 3개의 하이라이트 h_T 는 입사각에 따라 그림 5와 같이 위치가 이동하게 되며, 전망탑 등 4개의 특정 하이라이트 h_T 는 공간적으로 분포된다. 등간격 하이라이트중 2번째 점은 내부 탱크위치와 비슷하므로 특정점으로 대체하였으며, 각각의 하이라이트는 실제 신호합성에서 실패적의 반사신호 불규칙현상과 특정위치에의 신호단절현상을 막기 위하여 각 위치에서 일반적으로 사용되는 확률적인 분포를 가지도록 하였다[15]. 내부의 하이라이트는 산란자 운에 의한 공간적인 분포가 타당하며 실제 H/W 구현시 실시간 응답 시스템에서의 하이라이트 처리 수 제한으로 최소수 배치를 하였다. 또한 가중치는 실제 대상표적의 측정값에 의해 결정되나, 여기서는 문헌에 의한 잠수함 표적의 입사각에 따른 표적강도 측정값으로 고려한다[7].

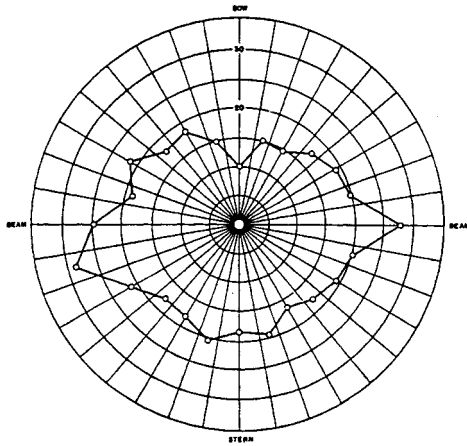


그림 7. 일반적인 잠수함 표적의 표적강도 분포
Fig. 7. Target strength distribution of general submarine target.

그림 7에서와 같이 현측에서 표적강도가 가장 크게 나타나며 선수와 선미에서는 비교적 작은 표적강도를 보인다. 또한 20-40° 및 140-160° 에서는 공기 및 연료탱크에 의해 다소 강도가 증가되는 것을 알 수 있다. 따라서 이와 같은 현상을 적절히 표현하기 위하여 특정위치 하이라이트를 주어야 하나, 앞에서 기술한 바와 같이 주변의 하이라이트를 이용하였다. 또한 각 표적의 하이라이트 방향성 함수는 일반적으로 사용되는 sinc 함수 및 지수함수를 사용하였다.

$$W_i = w_i \exp(-|\alpha - \theta_i|/p) \quad (16)$$

여기서, w_i 는 i 번째 하이라이트에서의 최대 가중치이며, α 는 입사각, θ_i 는 i 번째 하이라이트에서 최대값이 되는

각, p 는 표적마다 다르게 표시되는 가중치 변화의 기울기 값이다. 이를 식 (13)과 식 (14)에 대입하면 가중치에 의한 충격응답 전달특성이 구해진다.

IV. 모의신호 합성 및 고찰

본 논문에서 제안한 하이라이트 분포치에 의한 반사신호 합성 표적모델을 여러 경우의 모의실험을 통해 그 타당성을 검사해 보았다. 실험대상으로는 가상의 수중표적을 직경 6m, 길이 60m 정도의 타원형 물체로 정했으며, 입사신호는 주파수가 80KHz, 펄스폭 30msec, 펄스주기가 1sec인 CW 펄스로 하였다. 하이라이트 수는 H/W 설계시 적용가능한 14개로 선정하였으며, 그림 8은 UTAHID 모델을 통해 생성된 각 입사각에 따른 합성신호이다.

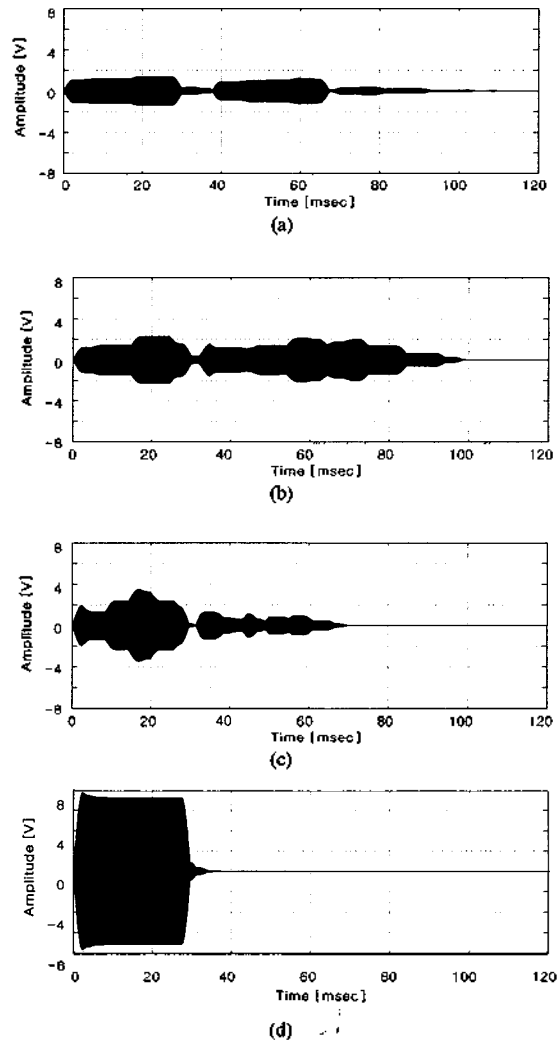


그림 8. 입사각 변화에 따른 에코신호 합성 결과
(a) 입사각 0° (b) 입사각 30°
(c) 입사각 60° (d) 입사각 90°
Fig. 8. Results of echo signal synthesis for variable incident angle,
(a) incident angle 0°, (b) incident angle 30°,
(c) incident angle 60°, (d) incident angle 90°.

합성된 에코신호는 입사각의 변화에 따라 포락선 분포가 다르게 형성되고, 90°에서는 혈에 의한 거울면 반사와 전망탐에 의한 반사가 크게 나타나며 입사각이 선수와 선미로 갈수록 내부 구조물에 의한 반사 및 시간지연에 의해 복잡한 형상을 가짐을 알 수 있다. 또한 입사각 변화에 따라 에코신장효과도 잘 표현되고 있으며, 이러한 효과는 그림 8에서 알 수 있다. 전체적으로는 입사각에 따라 분포처리 모델과 등간격 위치모델이 잘 일치하고 있다. 80° ~ 100° 부근은 에코 신장효과가 차이를 보이고 있는 데, 이는 실제 표적이 혈과 직각인 부분에서도 부피를 가지므로 반사신호는 분명 혈의 직경만큼 신호신장이 이루어져야 하며 제안된 분포모델에서는 하이라이트점의 이동으로 이를 잘 표현할 수 있다.

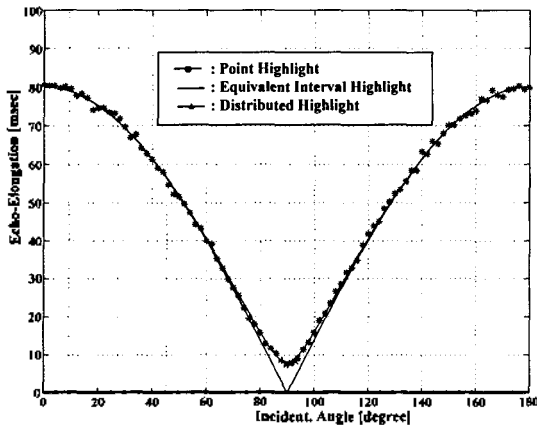


그림 9. 입사각 변화에 따른 에코신장 효과 결과
Fig. 9. Results of echo elongation effect for variable incident angle.

하이라이트가 분포된 표적의 특성을 보기 위하여 에코 신장효과의 측도로 표적 시간 분산손실 TSL (Time Spreading Loss)을 도입한다. 이는 시간에 따른 반사신호의 에너지의 분산을 입사 펄스폭을 기준으로 최대 에너지에 대한 비를 계산하는 것으로 신호신장에 따른 손실의 정도를 보는 것이다.

$$TSL = 10 \log \left(\frac{\int_0^T P_r^2(t) dt}{\int_w P_r^2(t) dt} \right) \quad (17)$$

여기서 T 는 에코신호 발생 폭이며, w 는 펄스신호의 폭과 같은 원도우 길이이다. 이 손실값으로 하이라이트의 에너지분포 정도를 알 수 있으며, 에코신호의 펄스폭에 대한 신장길이에 대한 신호의 비율이므로 항상 0보다 크거나 같다. 그림 10은 입사각에 따른 하이라이트 분포처리에 의한 TSL이며 전체적으로 0dB에서 약 4dB 이내에 분포함을 알 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 90도 부근에서는 거울면 반사와 신장효과가 적은 관계로

에너지 손실이 적고, 선수와 선미로 갈수록 손실 및 분포 정도가 크다. 선수, 선미에서는 반사되는 전체 표적강도 에너지가 작으므로 상대적으로 손실이 적음을 알 수 있다. 원거리에서 사용할 수 있는 단위 하이라이트 모델은 표적을 분포로 표시가 되지 않으므로 TSL에서는 0dB가 된다.

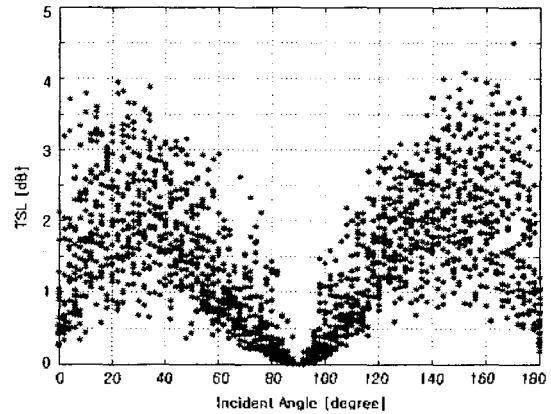


그림 10. 하이라이트 분포 모델에 대한 입사각도별 TSL
Fig. 10. TSL vs. incident angle for a HL distribution model.

입사각에 따른 수중물체의 표적강도를 일반적으로 사용되는 침투치 표적강도 PTS(Peak Target Strength)와 에너지 표적강도 ETS(Energy Target Strength)로 나누어 시뮬레이션 하였다[16].

$$PTS = 10 \log K \left(\frac{P_r^2(t)|_{\max}}{P_i^2(t)|_{\max}} \right) \quad (18)$$

$$ETS = 10 \log K \left(\frac{\int_0^T P_r^2(t) dt}{\int_0^T P_i^2(t) dt} \right) \quad (19)$$

그림 11(a)는 침투치 표적강도 PTS의 시뮬레이션 결과이며, 전체적으로 모델링하고자 하는 그림 7의 표적 강도를 중심으로 효과적으로 표현되고 있음을 알 수 있다. 직각 방향으로의 입사시에 거울면 반사가 크게 나타나므로 표적강도가 가장 크게 나타나고, 선수와 선미로 갈수록 분포에 의한 시간지연 에너지 손실로 강도가 작아진다. 20° 및 160° 부근의 내부구조 탱크에 의한 효과도 약 3dB정도로 뚜렷하게 보여진다. 그림 11(b)는 에너지 표적강도 ETS의 시뮬레이션 결과이며, 전반적으로 PTS와 비슷한 경향을 보이고 있다. 시뮬레이션은 입사각에 따라 20회씩 총 1,820회의 결과를 나타내었으며, 신호가 입사될 때마다 표적의 불규칙성이 적용되어 반사신호는 일정하지가 않고 분포를 보이게 되며, 이 또한 결과를 뚜렷하게 확인할 수 있다.

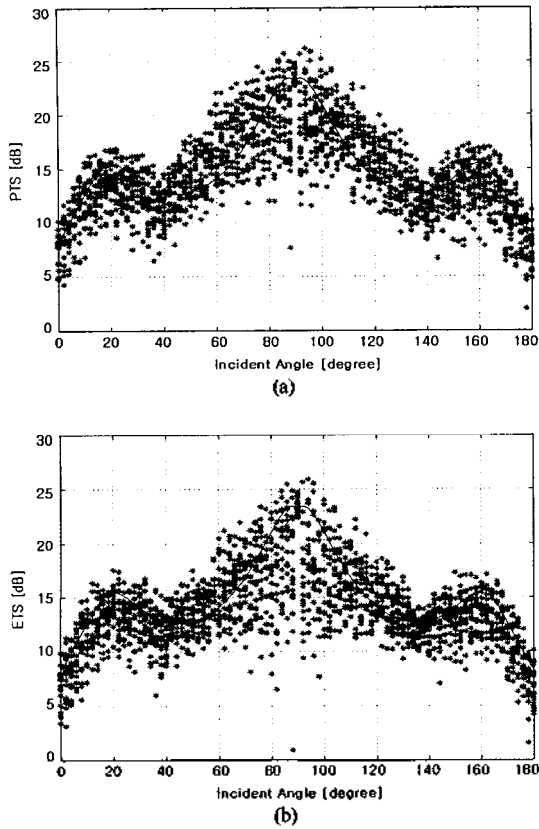


그림 11. 입사각도에 대한 표적강도 시뮬레이션 결과
 (a) 첨두치 표적강도 (b) 에너지 표적강도
 Fig. 11. Results of target strength simulation for incident angle,
 (a) Peak target strength, (b) Energy target strength.

그림 12는 같은 조건에서 연속적인 입사 펄스를 인가하였을 때 합성되는 반사파의 불규칙한 포락선특성을 나타낸 것이다. 이는 입사각이 60°인 경우 펄스폭 30msec와 10msec인 4개의 연속 펄스에 대한 반사신호의 합성결과로서, 펄스가 입사될 때마다 각 하이라이트 이동분포에 의한 효과가 전체 반사파의 포락선 불규칙 성질을 잘 나타내어 주고 있다. 펄스의 길이가 짧을수록 단독 하이라이트 형태가 뚜렷하게 작용하므로 포락선 형태는 점점 복잡해지고, 그림 1의 실제 표적 반사신호와 비교해 볼 때 매우 유사함을 확인할 수 있다.

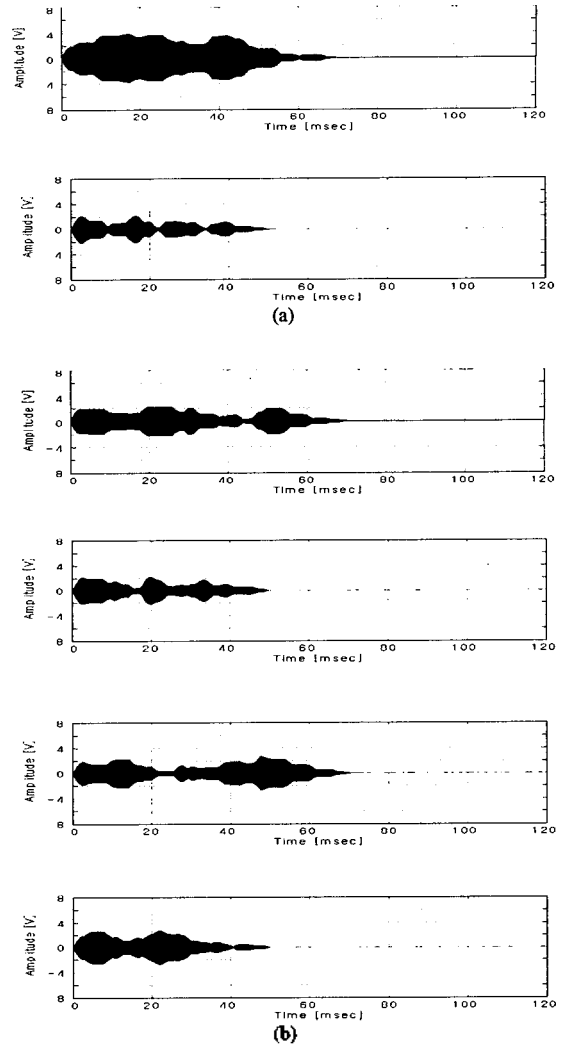
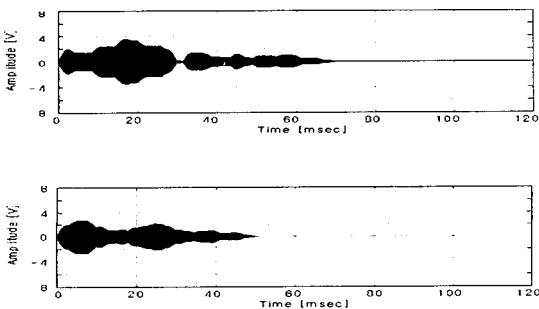


그림 12. 반복적인 4개의 입사 펄스신호에 대한 반사신호 불규칙 결과특성
 (a) 펄스폭, 30msec (b) 펄스폭, 10msec
 Fig. 12. Characteristics of echo signal fluctuation for repeated 4 incident ping pulses,
 (a) Pulse width, 30msec, (b) Pulse width, 10msec.

V. 결론

본 논문에서는 분포표적으로 보이는 근거리에서도 수중표적에 효과적으로 사용할 수 있는 공간적 하이라이트 분포치리에 의한 표적의 반사신호를 재현하는 알고리즘을 제시하였다. 제안된 알고리즘은 펄스 펄스신호의 입사각도에 따라 반사가 강하게 일어나는 회전타원체 불연속점으로 하이라이트가 이동하여 위치되며, 전방탐 등 실제 표적에서의 중요한 특정위치의 하이라이트들과의 공간 입사각에 의해 응답함수를 설정하였으며, 내부에서 일어나는 반사신호는 등간격분포 가중치에 의하여 수중 표적 모델을 완성시켰다. 완성된 UTAHID 표적신호 합성모델은 각종 시뮬레이션 및 수조시험에서 그 타당성을 점검하였으며, 각 입사각에 따른 포락선 분포의 변화 및 에코

신호 신장효과는 예측된 값과 잘 일치하였다. 또한 침투치 표적강도 및 에너지 표적강도를 입사각도 변화에 대해 반복적 시뮬레이션으로 그 타당성을 확인하였으며, 이는 실제 하드웨어로 구현되어 현재 운용중에 있다. 제안된 알고리즘은 하이라이트의 공간분포에 의해 신호합성이 이루어지므로 특히 근거리에서 사용되는 각종 시스템에 적용될 수 있고, 포락선의 불규칙성 인자 적용으로 문헌에 나타나 있는 각종 실제 반사신호 측정결과와도 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 본 연구에서 제안한 하이라이트 분포치리에 의한 수중표적 신호합성 모델은 각종 능동소나 및 대항시스템, 감시시스템에서의 모의표적신호에 이용될 수 있고, 능동소나처리 알고리즘 개발 및 다양한 조건에서의 능동 표적신호 합성에 직접적으로 응용될 수 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌

1. S. G. Chamberlain, A. M. Berlinsky, "Coherent Target and Environmental Modeling for Torpedo Terminal Homing Simulations," *Electronic Progress* 24, pp. 19-22, 1982.
2. A. Rondini, E. Ruchaud, "Highlights Model for Submarines," *Proc. UDT Conf.*, pp. 339-343, July 1994.
3. M. T. V. Nhieu, G. Deniau, J. R. Hartmann, "Computation of backscattered echoes from submarines," *Proc. UDT Pacific Conf.*, pp. 73-75, 1998.
4. 김부일, 김우현, 박철우, 박명호, 권우현, "수중 표적 반사신호의 새로운 합성방법," *한국군사과학 기술학회지* 2, pp. 30-38, Dec. 1999.
5. A. D. Waite, *Sonar for Practicing Engineers* (Ferranti Thomson Sonar Systems, Great Britain, 1998), Chap.4, pp. 53-59.
6. R. O. Nielsen, *Sonar Signal Processing*, (Artech House Inc., Boston, 1991), Chap.5, pp. 187-211.
7. J. K. Maior, *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.
8. D. Brill, G. Gaunard, H. Strifors, W. Wertman, "Backscattering of Sound Pulses by Elastic Bodies Underwater," *Applied Acoustics* 33, pp. 87-107, 1991.
9. W. Tang, "Highlight Model of Echoes from Sonar Target," *Chinese J. Acoust.* 13, pp. 92-100, June 1994.
10. Robert J. Urick, *Principles of Underwater Sound* (McGraw-Hill Book Company, USA, 1983), Chap.9, pp. 291-325.
11. 성낙진, 김재수, 이상영, 김강, "능동 표적신호 합성," *한국음향학회지* 13, pp. 30-37, 1994.
12. J. Yongmin, F. Haihong, H. Xinya, H. Junying, "A Study on 2-Dimensional Highlight Distribution of Underwater Target," *ACTA ACUSTICA* 22, pp. 79-86, Jan. 1994.
13. T. Weilin, "Pure Elastic Resonance scattering for submerged Elastic-objects with Separable Geometries," *ACTA ACUSTICA* 20, pp. 456-465, Nov. 1995.
14. Y. Jiang, Z. Wang, X. Hao, J. Hui, P. Cai, "Active sonar target modeling," *Proc. UDT Europe Conf.*, pp. 36-37, 1998.
15. B. M. Brown, J. J. Lobdill, W. McKemie, "Target Strength Prediction," *Tracor Document T72-AU-9508-U*, pp. 1-23, Feb., 1972.
16. H. G. Urban, *Adaptive Methods in Underwater Acoustics*, (British Crown, 1985), pp. 155-163.

▲ 김 부 일(Boo-II Kim)

1981년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1985년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1999년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사 수료)
 1985년 5월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원
 ※ 주관심분야 : 능동소나신호처리 및 신호합성

▲ 박 명 호(Myung-Ho Park)

1988년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1991년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1991년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원
 ※ 주관심분야 : 능동소나신호처리 및 신호합성

▲ 권 우 현(Woo-Hyen Kwon)

1977년 2월 : 서강대학교 전자공학과(공학사)
 1979년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과(공학석사)
 1993년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과(공학박사)
 1979년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 전자공학과 교수
 ※ 주관심분야 : 컴퓨터 응용제어 및 신호합성