

수중표적의 고주파수 CW 펄스신호 반사를 위한 하이라이트 분포 모델링 해석

An Analysis of Highlight Distribution Modeling for
High Frequency CW Pulse Signal Reflection
on Underwater Target

김부일*, 이형욱*, 박명호*, 권우현**

Boo-Il Kim, Hyeong-Uk Lee, Myung-Ho Park, Woo-Hyen Kwon

Abstract

This paper proposes the practical echo-signal synthesis models - UTAHID (Underwater Target by HIGHLIGHT Distribution) & M-UTAHID(Modified UTAHID) - of underwater target for active sonar engineering. At high frequencies all the echo components that are the specular reflected waves and various elastic scattering waves can be regarded the summation of individual echo from some equivalent scattering centers, so the underwater target is characterized by highlights distributed in spatial target structure. Proposed models are compared with characteristics of random distributed model & equivalent interval highlight model, and analyzed target strength, echo-elongation effect, target time spread loss and so on. Thus these can be efficiently used in various real systems related to underwater target echo-signal synthesis on active sonar and acoustic countermeasure.

* 국방과학연구소

** 경북대학교 공과대학 전자공학과

1. 서론

현대에서 능동소나(Active SONAR)의 중요한 발전방향은 표적에 대한 탐지, 분류 및 식별이며, 이를 위해서는 관심 있는 수중표적의 반사특성에 대한 깊이 있는 연구가 요구된다[1,2,3,4]. 고주파를 주로 사용하는 능동소나에서 반사신호는 물체 표면의 거울면 반사(Specular reflection)와 내부의 여러 등가적인 산란자(Scatter)로 형성되며[5], 이는 물체에 공간적으로 분포된 하이라이트(Highlight)로 특징 된다[6,7]. 본 연구에서는 실제 시스템에 적용 가능한 기존의 모델들을 분석하고 분포표적으로 보이는 근거리에서도 사용가능한 새로운 하이라이트 분포 모델을 제시하고자 한다. 먼저 일반적인 수중표적의 반사신호 예측 모델을 위하여 회전타원체 물체를 도입하여 입사각에 따라 변화가 되는 표적의 표면에 존재하는 불연속점들을 찾아 하이라이트를 배치하고, 실제 연료탱크 및 전망탑과 같이 반사신호에 크게 영향을 미치는 특정위치에 하이라이트를 첨가시켰으며, 실제 표적내부의 복잡한 형상에 의한 반사점들은 산란자운(Scatter cloud)을 대치하여 수중표적에 대한 반사 신호를 합성 모델인 UTAHD(Underwater TArget by HIGHLIGHT Distribution) 모델과 M-UTAHD(Modified UTAHD) 모델을 완성시켰다. 이들을 실시간 응답 시스템으로 구현하기 위해 최소한의 하이라이트를 선정하여 다양한 조건하에서 시뮬레이션을 행하였으며, 각종 모델에 대하여 반사신호 합성결과 특성을 비교하였다. 또한 반사신호 특성 인자에 대하여 제시한 모델을 해석하여 실시스템에 적용가능성을 확인하였다.

2. 정상상태 펄스신호에 대한 표적반사

정상상태에서 펄스신호가 수중물체에 인가되면 물체의 형상, 재질, 구조적인 특성과 입사파의 주파수 및 펄스폭 등과 같은 인자에 의해 여러 형태의 반사가 일어난다[8,9,10]. 원거리에서 보면 수중표적은 한 점으로 보이며, 이를 단일 점 하

이라이트로 표현할 수 있으나, 근거리에서는 시간과 방위에 따라 여러 형태의 분포 특성을 가지게 되고, 이를 표현하기 위해선 표적에의 하이라이트를 적합하게 분포시켜야만 된다. 수중 환경에서의 능동소나는 고주파 신호를 사용하고 있고, 또한 표적이 입사파의 파장보다 큰 영역($ka \gg 1$)에서는 표면에 대한 산란파는 무시가 된다[11]. 따라서 고주파수를 송신단과 수신단이 같은 위치에서 사용하는 단상상태(Monostatic) 소나 시스템에서는 거울면 반사파와 내부의 기하학적인 반사파가 고려 대상이 된다. 능동소나 수신단에서의 수신신호 p_r 은 식(1)과 같이 환경요소 h_e 와 물체에서의 입사신호 p_i 및 물체의 전이함수 h_i 로 표현할 수 있다[12].

$$p_r = f(h_e, h_i, p_i) \quad (1)$$

따라서 물체에서의 반사신호 p_b 는 식(2)와 같이 h_i 와 p_i 에 의해 표현되며, 여기서 물체의 특성을 표현하는 h_i 에 의해 후방산란(Backscattering)의 신호형태가 결정된다. 수신단과 표적의 내부 반사점과의 거리 r 점에 하이라이트가 존재하여 형성되는 반사신호 p_b 를 시간의 함수로 표시하면 식(2)와 같다.

$$p_b(r, t) = h_i(r, t) * p_i(t) \quad (2)$$

여기서 수중표적을 근거리에서 사용이 가능한 다중 하이라이트 시스템으로 보면, 총 N 개의 하이라이트 점이 존재하고 g 번째 하이라이트에 대한 반사신호는 식(3)과 같이 된다.

$$p_{bg}(r_g, t) = h_g(r_g, t) * p_i(t) \quad (3)$$

표적 전체의 하이라이트에 대한 반사신호는 각각 하이라이트의 시간지연 요소를 고려한 전체 합으로 표현할 수 있고 이는 식(4)와 같다.

$$p_b(r, t) = \sum_{g=0}^N h_g(r_g, t) * p_i(t) \quad (4)$$

이는 물체탐지, 추적하는 각종 능동소나에 필

수적인 요소로서, 입사파를 매우 짧은 펄스로 사용하면 물체의 전달함수를 근사하게 측정할 수 있다[5].

$$\begin{aligned} p_b(r, t) &= \sum_{g=0}^n h_g(r_g, t) * \delta(t) \\ &= \sum_{g=0}^n h_g(r_g, t) \\ &= h_i(r, t) \end{aligned} \quad (5)$$

물체의 전이함수 h_i 는 능동소나 방정식의 표적강도 TS (Target Strength)로 해석되고, 단순한 물체에서는 절단면 σ_b 의 함수와도 관계가 있다 [13].

$$TS = 10 \log \left| \frac{p_b}{p_i} \right|^2 \quad (6)$$

$$\sigma_b = 4\pi \lim_{r \rightarrow \infty} \left| r \frac{p_b}{p_i} \right|^2 \quad (7)$$

여기서 r 은 송/수신장치와 수중물체와의 거리를 의미하며, 거리가 무한대일 때 입사파와 반사파와의 관계를 물체의 절단면으로 표시할 수 있다.

물체를 선형 시스템으로 취급하면 반사신호 $p_b(r, t)$ 은 식(8)과 같이 표현할 수 있다[7].

$$p_b(r, t) = \int_{-\infty}^{\infty} p_i(\tau) h(r, t-\tau) d\tau \quad (8)$$

$h(r, t)$ 는 α 방향으로 입사될 때 발생하는 물체의 응답함수이다. 실제로 수중물체에 입사된 펄스신호는 매질의 불연속점에서 반사가 일어나며, 신호크기는 g 지점 절단면의 n 차 미분치 크기 합으로 표현된다[14].

$$p_{bg} = \frac{p_i}{\lambda} \exp[-j2k(r_g - r_1)] \sum_{n=0}^{\infty} \frac{D(A_g, g, n)}{(j2k)^n} \quad (9)$$

여기서 p_{bg} 는 불연속 지점 r_g 에서 일어나는 하나의 불연속 반사신호를 나타내며, A_g 는 절단면, $D(\cdot)$ 는 n 차 미분치 크기를 표시한다. 전

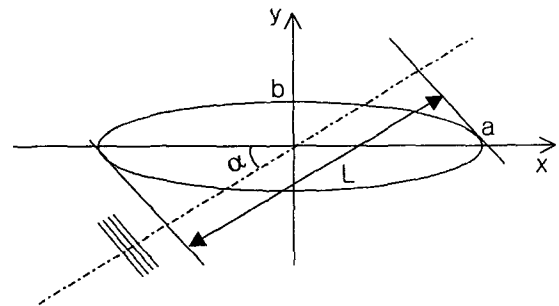
체 반사신호는 이러한 각 불연속점에서의 반사신호들의 합으로 표시되므로, 표적의 특성을 표시하는 표적강도 TS 는 식(11)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} p_b &= \sum_{g=1}^L p_{bg} \\ &= \sum_{g=1}^L \left(\frac{p_i}{\lambda} \exp[-j2k(r_g - r_1)] \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{D(A_g, g, n)}{(j2k)^n} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

$$TS = 10 \log \left| \left(\frac{1}{\lambda} \sum_{g=1}^L \exp[-j2k(r_g - r_1)] \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{D(A_g, g, n)}{(j2k)^n} \right) \right|^2 \quad (11)$$

수중표적의 중요한 반사신호 특성으로는 입사각에 따른 표적강도의 변화, 포락선 구조의 변화, 반사신호의 신장효과, 이동표적에의 주파수변이, 표적의 운용 및 구조특성에 따른 신호의 불규칙현상, 펄스폭 효과 등 실로 고려되어야 할 요소가 많이 있다[5,6]. 일반적으로 수중표적은 회전타원체와 유사한 형상을 가지며, 이때의 신호신장은 <그림 1>과 같이 길이 L 의 왕복시간 동안 나타나므로, 임의의 각도 α 로 신호가 입사되면 식(12) 만큼의 펄스신호가 신장된다.

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



<그림 1> 회전타원체에서의 신호신장 효과

여기서, a 는 타원체의 장축길이, b 는 단축길이이며, c 는 수중에서의 음속이다. 그러므로 펄

스폭 τ_p 인 신호가 인가되면 반사가 일어나는 전 체신호의 길이 τ_t 는 식(13)과 같이 표현된다.

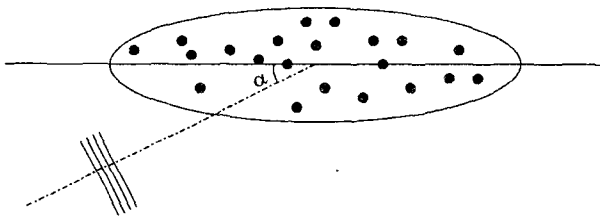
$$\begin{aligned}\tau_t &= \tau_p + \tau_e \\ &= \tau_p + \frac{4}{c} \sqrt{a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha}\end{aligned}\quad (13)$$

선수방향으로 신호가 입사되면 $4a/c$ 만큼의 신호가 신장되고, 혈에 직각방향으로 신호가 입 사되면 $4b/c$ 만큼의 신호가 신장되어 나타난다.

3. 하이라이트 분포처리 모델

3.1 랜덤 분포 모델

수중에서 관심이 되는 다양한 표적들은 실질 적으로 매우 복잡한 형상을 가지고 있어 각 반사 되는 부위를 모델링하는 것은 현실적으로 거의 불가능하다[15]. 목적에 따라 원거리에서는 점 하 이라이트 모델을 사용하는 것이 가능하나 근거리 에서의 큰 물체는 시간-방위적으로 분포특성을 가지므로 <그림 2>와 같이 하이라이트를 표적내 부에 무작위로 분포시켜 반사신호를 표현할 수 있다[7].



<그림 2> 랜덤 하이라이트 모델

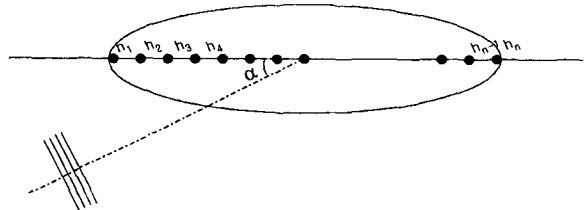
이때의 표적의 임펄스 응답함수는 식(14)와 같이 되며, 입사각에 따른 변화는 각각의 하이라 이트 위치함수에 $\cos \alpha$ 만큼의 좌표 변환 후 이 에 따른 시간지연을 고려하여 합성한다.

$$h_T(t) = \sum_{k=1}^N Rnd[h_{T_k}(t - \tau_k)] \quad (14)$$

이러한 랜덤처리 방식은 간단하면서도 시간에 따른 반사신호의 불규칙성을 잘 표현할 수는 있 으나, 많은 수의 하이라이트를 필요로 하고, 반사 신호 신장효과는 정확하게 나타낼 수 없으며 입 사각도별 펄스신호의 손실효과도 정확하게 표현 할 수 없는 단점을 가진다.

3.2 등간격 하이라이트 모델

실제 시스템에서 가장 많이 쓰고 있는 모델은 수중표적에 등간격으로 하이라이트를 분포시켜 반사신호를 재현하는 방법을 사용하고 있다[16]. 이는 <그림 3>과 같이 표적의 종축방향으로 대 상 표적 및 관심 입사신호의 펄스신호를 고려하 여 하이라이트 수를 결정하고 일렬로 분포하여 합성 처리한다.



<그림 3> 등간격 하이라이트 모델

하이라이트 위치설정은 일반적으로 불연속이 생기지 않도록 간격을 주게되고, 이는 표적의 길 이와 입사 펄스폭에 의해 결정되며, 등간격 분포 시 최소한의 하이라이트 간격 d 및 개수 N 는 식(15), 식(16)와 같다.

$$d = \frac{cT_{pw}}{M} \quad (15)$$

$$N = \frac{L}{d} + 1 = \frac{ML}{cT_{pw}} + 1 \quad (16)$$

여기서 M 은 펄스길이에 따른 신호의 불연속 을 막아주는 데 필요한 최소한의 길이로서 보통 $M=4$ 를 선택한다. 하이라이트 최소한의 수 결 정은 표적의 길이 L 이 클수록, 펄스폭 T_{pw} 가 짧을수록 많아지게 되며, 각 하이라이트는 입

사각 α 가 고려된 시간지연 τ 후 반사신호를 만들어 낸다. 실제로 해상실험을 해보면 각 하이라이트마다 반사신호의 정도가 다르며, 이는 식(17)에서의 불연속점마다 반사정도가 각각 다르며, 이는 각 물질적 특성 및 형상에 따라 다르므로 하이라이트 모델에서는 가중함수로서 해결한다.

$$h_T(t) = \sum_{k=1}^n W_k h_{T_k}(t - \tau_k) \quad (17)$$

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.

$$\tau_k = f(L_k, \alpha) \quad (18)$$

반사신호의 펄스신장 효과는 하이라이트가 일렬로 배열되어 있으므로 입사각도에 따라 식(19)와 같이 표현된다.

$$\tau_i = \tau_p + \frac{4}{c}(a \cos \alpha) \quad (19)$$

반사신호는 입사펄스가 90° 에 가까울수록 하이라이트가 한 점으로 모이므로 입사신호 길이와 같게 되며, 실제 표적의 폭만큼 오차를 가지게 된다.

3.3 UTAHID 모델

등간격 하이라이트 모델의 단점을 보완하고 분포표적으로 보이는 거리에서 수중 추적체나 능동소나 및 대항시스템에서 반사신호 발생기로서 실제 적용이 가능한 UTAHID 모델을 제시한다. 일반적으로 표적은 입사신호에 대해 α 만큼 기울어져 있으며, 이에 따라 거울면 반사가 크게 일어나는 처음과 마지막 혈에의 하이라이트 위치는 변경되게 된다. 또한 전망탑, 수평타, 프로펠러 및 내부 탱크에 의한 반사신호도 크게 나타나므로[17] 정밀한 반사신호 합성을 위해서는 이들의 영향을 고려한 3차원 하이라이트 분포처리가 타당하다. 외부 혈에 의한 하이라이트는 식(10)에

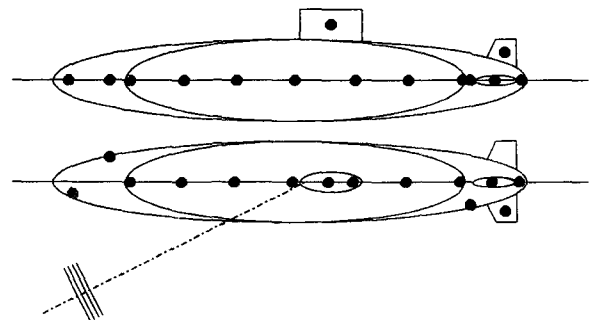
근거한 후방산란 효과를 도입하고, 각 특정 위치에의 하이라이트는 일반적인 잠수함을 근거로 첨가하여야 한다. 따라서 전체 하이라이트는 식(20)과 같이 표현된다.

$$H_T = \sum_{i=1}^{n_i} h_{T_i} + \sum_{j=1}^{n_j} h_{T_j} + \sum_{k=1}^{n_k} h_{T_k} \quad (20)$$

여기서, H_T 는 전체 하이라이트이며, h_{T_i} 는 입사각에 따른 혈에서의 이동된 하이라이트를 나타내며, h_{T_j} 는 실제로 크게 나타나는 전망탑 등에 의한 하이라이트를 표시한다. 따라서 내부의 등간격인 h_{T_k} 의 하이라이트는 h_{T_i} , h_{T_j} 에 의한 하이라이트 수만큼 감소가 되며, 전체 하이라이트는 3차원으로 분포를 이룬다. 이때 각 하이라이트에 의한 충격응답은 입사각을 고려하여 나타내면 식(21)과 같다.

$$\sum_{i,j,k=1}^{n_i+n_j+n_k} h_{T_{i,j,k}} = \sum_{i,j,k=1}^{n_i+n_j+n_k} W_{i,j,k} h_{t_{i,j,k}} \left(t - \frac{2L_{i,j,k} \cos \alpha}{c} \right) \quad (21)$$

$L_{i,j,k}$ 는 하이라이트 i, j, k 까지의 거리를 나타내며, L_i 는 입사각에 따라 하이라이트 위치가 이동하므로 변하게 된다. <그림 4>는 이렇게 제안되어 분포된 UTAHID 모델의 하이라이트 생성위치를 나타낸다.



<그림 4> UTAHID 모델

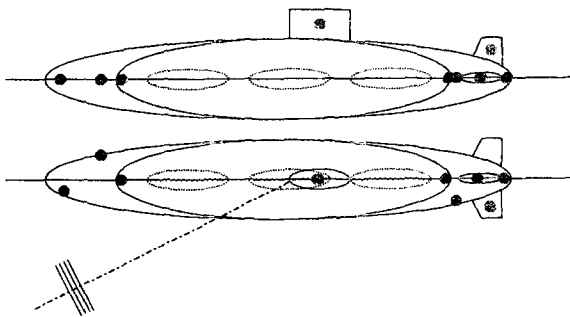
외부 혈에 의한 하이라이트의 생성위치는 입사각에 따라 변하게 되며, 이에 따른 하이라이트의 위치를 각각 계산하여 주어야 한다. 반사신호

의 신장은 입사각도에 따라 거울면 반사가 일어나는 외부 혈 하이라이트가 이동하므로 식(22)와 같이 표현된다.

$$\tau_i = \tau_p + \frac{2}{c} \sqrt{(2a)^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha} \quad (22)$$

3.4 M-UTAHID 모델

UTAHID 모델은 적은 하이라이트점으로 근거리 표적을 분포 하이라이트로 표현이 가능하므로 효과적으로 실시간에 적용이 가능하다. 하지만 짧은 입사 펄스에 대해선 내부에의 등간격 하이라이트 분포로 실제 표적과는 다르게 펄스가 연결이 되지 않고 불연속성이 생기게 되고 또한 시뮬레이션상의 정밀한 분포모델이 요구될 때에는 실제 표적의 내부처럼 약간의 변형을 가할 수 있다. 표적내부는 반사의 정도는 작으나 많은 산란점을 가지고 있으므로 내부를 몇 개의 구획화된 랜덤분포를 가진 산란자운으로 대체한다. <그림 5>는 이렇게 표현된 M-UTAHID 모델을 나타낸 것으로 이렇게 하이라이트를 분포시키면 UTAHID 모델보다 하이라이트 수는 증가하지만 근거리에서의 짧은 입사 펄스를 효과적으로 표현할 수 있고 신호의 불규칙성도 바로 표현이 가능하므로 시뮬레이션상에서는 유용하게 사용할 수 있다.



<그림 5> M-UTAHID 모델

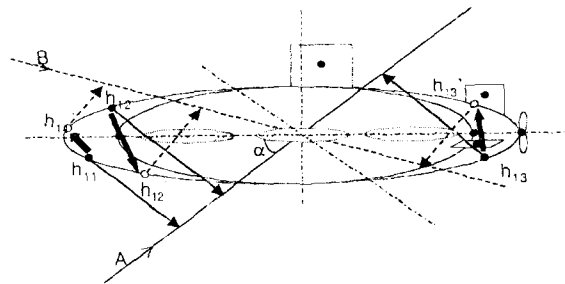
따라서 전체 하이라이트 H_T 는 식(23)으로 표현되며, 내부를 표현하는 산란자운 하이라이트 h_{T_c} 가 물체내부의 중복되는 등간격 하이라이트를 대체하게 된다.

$$H_T = \sum_{i=1}^{n_i} h_{T_i} + \sum_{j=1}^{n_j} h_{T_j} + \sum_{k=1}^{n_k} h_{T_k} + \sum_{c=1}^{n_c} h_{T_c} \quad (23)$$

따라서 h_{T_i} 의 하이라이트는 h_{T_i} , h_{T_j} 및 h_{T_c} 에 의한 하이라이트 수만큼 감소가 되며, 이때 각 하이라이트에 의한 충격응답은 식(24)로 표시된다.

$$\begin{aligned} & \sum_{i,j,k,c=1}^{n_i+n_j+n_k+n_c} h_{T_{i,j,k,c}} \\ &= \sum_{i,j,k,c=1}^{n_i+n_j+n_k+n_c} W_{i,j,k,c} h_{t_{i,j,k,c}} \left(t - \frac{2L_{i,j,k,c} \cos \alpha}{c} \right) \end{aligned} \quad (24)$$

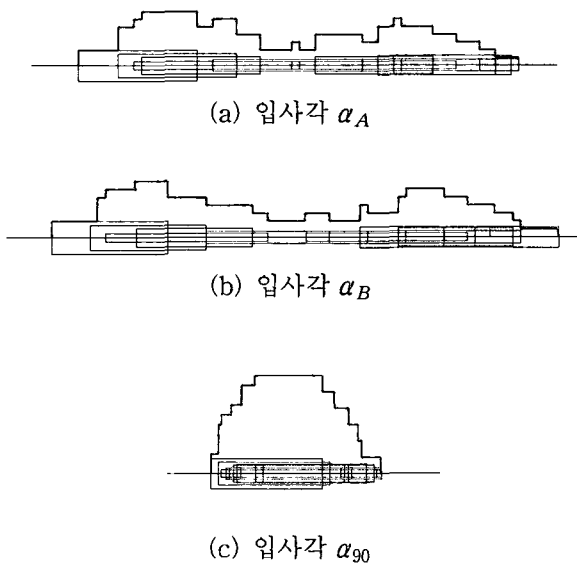
$L_{i,j,k,c}$ 는 하이라이트 i, j, k, c 까지의 거리를 나타내며, 입사각도에 따른 외부 혈의 하이라이트 이동이 UTAHID 모델과 동일하게 된다. <그림 6>은 수중표적을 M-UTAHID 모델로 신호 합성시 하이라이트들의 좌표변환을 보여준다.



<그림 6> 분포된 하이라이트 점들의 위치 변환

A방향으로 펄스신호가 입사될 때 발생하는 외부 혈의 불연속 하이라이트는 h_{11} , h_{12} , h_{13} 에 위치하게 되나, 입사방향이 B로 바뀌게 되면 하이라이트가 h'_{11} , h'_{12} , h'_{13} 로 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 마찬가지로 신호합성 효과를 그대로 표현할 수 있다. <그림 7>은 입사각에 따라 분포된 하이라이트가 좌표변환 후 합성된 반사신호를 도식화한 그림이다.



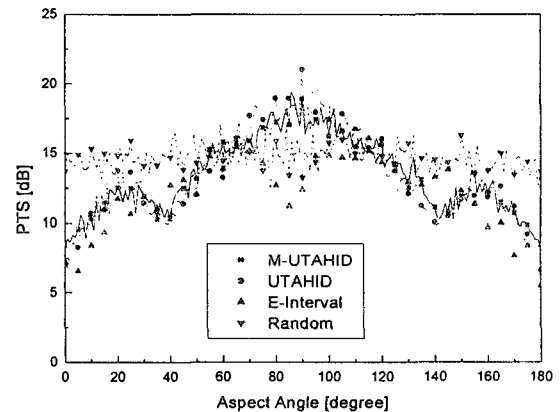
<그림 7> M-UTAHID 모델에 의한 입사각도별 합성된 반사신호

입사신호 $p_i(t)$ 는 공간적으로 분포된 각 하이라이트에 의해 시간지연을 가진 에코신호가 형성되고, 입사각에 따라 형성된 하이라이트에 의해 반사신호 $p_r(t)$ 는 UTAHID 모델과 M-UTAHID 모델이 동일한 과정을 거쳐 그림과 같이 형성된다. 입사 펄스가 표적면에 수직(90°)으로 인가될수록 반사신호는 각 하이라이트의 영향으로 표적강도가 커지게 되며, 선수 또는 선미로 갈수록 표적강도가 작아지고 신호의 신장은 커지게 된다.

그리고 각각의 하이라이트는 실제 신호합성에서 불규칙성을 주기 위하여 각 위치에서 일반적으로 사용되는 확률적인 분포를 가지도록 하였다. 또한 가중치는 실제 대상표적의 측정값에 의해 결정되나, 여기서는 문헌에 의한 잠수함 표적의 입사각에 따른 표적강도 측정값을 사용하였다[15].

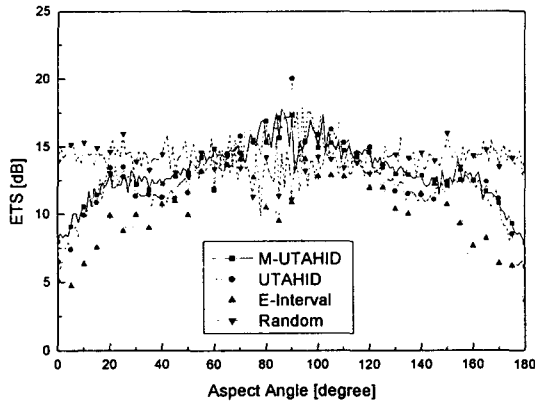
4. 시뮬레이션 결과 해석

본 논문에서는 제안한 하이라이트 분포처리에 의한 UTAHID 및 M-UTAHID 모델을 기존의 사용모델인 랜덤분포 모델과 등간격 하이라이트 모델과 비교하여 시뮬레이션 하였다. 실험대상으로는 가상의 수중표적을 직경 5m, 길이 50m 정도의 타원형 물체로 정했으며, 사용된 펄스신호는 주파수가 50KHz, 펄스폭 10/20/50msec, 펄스주기가 1sec인 CW 신호로 하였다.



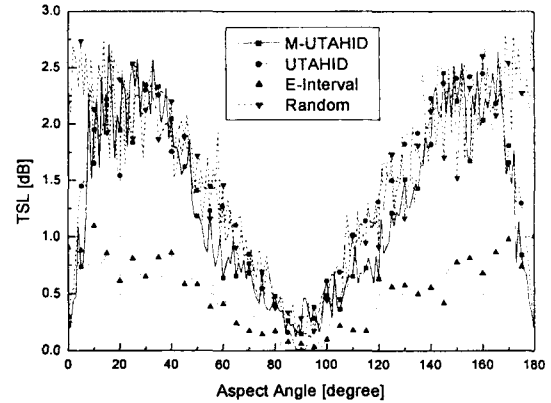
<그림 8> 침투치 표적강도(PTS)

<그림 8>과 <그림 9>는 각 모델을 통해 합성된 침투치 표적강도(PTS) 및 에너지 표적강도(ETS) 특성 결과로서, 비교대상 모델 모두가 위상동요에 의한 신호의 불규칙효과를 잘 표현하고 있다.



<그림 9> 에너지 표적강도(ETS)

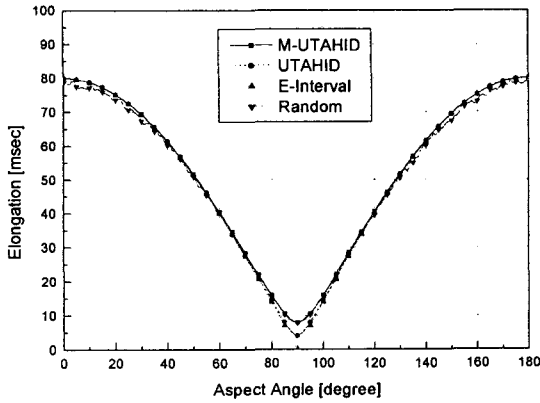
표적강도는 수중물체의 특성을 표현하는 인자로서 입사각도마다 20회의 신호합성을 반복으로 수행하여 그 평균값을 나타내었다. 전체적으로 침두치 표적강도와 에너지 표적강도는 유사한 분포특성을 보여주며, 침두치가 에너지보다는 세부적으로 변화가 크게 나타난다. 랜덤분포모델은 표적내에서 하이라이트가 무작위로 분포되어 입사각에 따른 강도가 불규칙함을 알 수 있다. 등간격 모델은 입사각 변화에 따라 표적강도가 적절하게 변하고 있으며, $70^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 에서는 하이라이트의 동일한 중첩에 의해 일정한 값을 중심으로 분포되고 있다. UTAHID 및 M-UTAHID 모델은 20° 와 160° 부근의 내부구조 공기/연료 탱크에 의한 효과가 뚜렷하게 나타나며, 선수와 선미로 갈수록 하이라이트의 넓은 위치분포로 시간지연에 의한 에너지손실이 크므로 강도가 떨어지게 된다. 90° 에서는 외부혈에 의한 거울면 반사효과가 크므로 강도가 크게 나타나고 있고, 에너지표적강도는 반사신호 기간동안의 에너지로서 표현되므로 최대값을 표현하는 침두치 표적강도보다 입사각도별 특성 변화가 완만함을 알 수 있다. 시간에 따른 반사신호의 에너지의 분산은 신호신장에 따른 손실의 정도이며 이는 입사 평평스폭을 기준으로 최대 에너지에 대한 비를 계산하여 구할 수 있다.



<그림 10> 표적 시간분산손실(TSL)

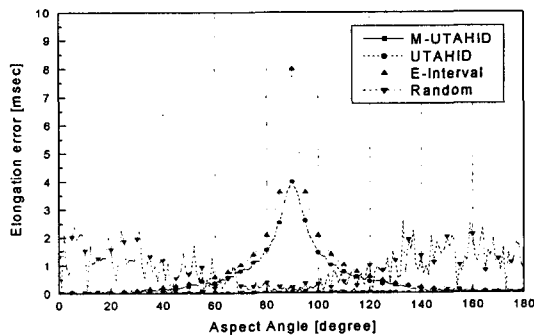
<그림 10>은 하이라이트가 분포된 표적의 특성을 분산손실 TSL(Time Spreading Loss)로 시물레이션 한 것이다. 표적의 직각방향에서 멀어질수록 반사 산란자의 분산에 의해 신호의 에너지 분산이 커지게 된다. 등간격으로 분포시킨 모델은 입사각도에 따른 에너지 분산이 잘 표현되지 않고 있으며, 랜덤, UTAHID, M-UTAHID 모델은 분산에 따른 손실이 잘 표현됨을 알 수 있다. 특히, 내부 탱크가 존재하는 부분에서의 반사에 따른 에너지 분산손실이 UTAHID와 M-UTAHID 모델에서는 잘 이루어지고 있으나 등간격 모델은 단순한 일렬 배치에 의해 분산손실이 표현되지 못하고 있다. 랜덤모델은 선수와 선미부근에서도 무작위적인 하이라이트 분포로 분산이 크게 나타난다. 분산손실의 정도는 시물레이션으로 잡은 가상표적에 대하여 전체 입사각도에 대하여 $0 \sim 3\text{dB}$ 사이에 분포함을 알 수 있다.

입사 펄스신호에 대한 입사각도별 펄스신장효과를 시물레이션한 결과는 <그림 11>과 같다. 점 하이라이트인 경우에는 신장효과가 없으며, 하이라이트 분포모델은 전반적으로 신장효과를 잘 표현되고 있다. 등간격 모델도 대부분 신장효과를 표현할 수는 있으나, 입사각이 혈의 직각에 가까울수록 차이가 크게 나타난다. UTAHID와



<그림 11> 반사신호의 에코신장 효과

M-UTAHID 모델은 등간격 모델은 대부분 비슷한 결과를 나타내나, 혈에 직각으로 입사된 펄스에 대해서도 정확하게 신장효과를 나타낸다. 이는 등간격 모델이 점점 한 점으로 하이라이트가 이동하는 반면, UTAHID 모델과 M-UTAHID 모델은 하이라이트가 외부 혈을 따라 이동하여 분포되므로 신장효과가 잘 표현되기 때문이다. 각 모델의 입사각에 따른 반사신호의 신장효과 오차는 <그림 12>와 같다.



<그림 12> 입사각에 따른 반사신호 신장 오차

랜덤분포 모델은 입사각 전반적으로 오차를 가지나 등간격과 UTAHID 모델은 혈과 직각으

로 입사되는 각도에서 오차가 발생된다. 이는 내부에 분포된 등간격의 하이라이트가 같은 위치로 모이기 때문이다. M-UTAHID 모델은 내부의 반사신호들을 산란자운으로 분포시켰기 때문에 입사각도에 무관하게 신장효과의 오차가 작음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 수증표적의 반사모델로 근거리에서 사용가능한 각종 모델을 해석하였으며, 분포표적으로 정밀하게 반사신호를 합성 표현할 수 있는 UTAHID 모델과 M-UTAHID 모델을 제시하였다. 제안된 모델은 회전타원체 형상을 가진 수증표적에서 반사가 강하게 일어나는 외부 혈의 불연속점을 입사각도에 따라 하이라이트를 이동 위치시켜 신호를 합성시켰으며, 실제 표적에서의 중요한 특징점의 하이라이트들과의 공간 입사각에 의해 응답함수를 설정하였다. 특히 M-UTAHID 모델에서는 표적내부에서 일어나는 미소 반사파들을 산란자운으로 표현하여 랜덤하게 분포시켜 하이라이트를 표현하였다. 완성된 표적신호 합성 모델은 표적강도, 반사신호 신장효과, 시간분포손실 등의 각종 시뮬레이션을 수행하였으며 입사각 변화에 따른 각 모델들의 분포특성을 비교 분석하였다. 제안된 알고리즘은 하이라이트의 공간분포에 의해 신호합성이 이루어지므로 근거리에서 사용되는 각종 시스템에 효과적으로 적용될 수 있고, 포락선의 불규칙성 인자 적용으로 문헌에 나타나 있는 각종 실제 반사신호 측정결과와도 유사한 결과를 얻을 수 있었다. M-UTAHID 모델은 근거리 분포표적의 반사신호를 시뮬레이션하는 데 적합하며, 실제 독립 시스템에의 적용은 하이라이트 수 증가로 UTAHID 모델이 적합하리라 사료된다. 본 연구에서 제안한 하이라이트 분포처리 모델은 수증표적 신호합성을 필요로 하는 각종 능동소나처리 알고리즘 개발 및 대항시스템의 모의 표적신호 합성에 직접적으로 응용될 수 있으리라 생각된다.

참고 문헌

- [1] Albert W. Cox, *Sonar and Underwater Sound*, Lexington Books, London, 1982.
- [2] V. Carmillet, P. O. Amblard, G. Jourdain, "Detection of Phase or Frequency Modulated Signals in Reverberation Noise", *JASA*, Vol.105, No6(1999), pp3375-3389.
- [3] A. D. Waite, *Sonar for Practicing Engineers*, Ferranti Thomson Sonar Systems, Great Britain, 1998.
- [4] 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*, Vol.92, No2 (1992), pp3259-3270.
- [5] J. Yongmin, F. Haihong, H. Xinya, H. Junying, "A Study on 2-Dimensional Highlight Distribution of Underwater Target," *Acta Acustica* Vol.22, NO1 (1994), pp.79-86.
- [6] A. Rondini, E. Ruchaud, "Highlights Model for Submarines," *Proc. UDT Conf.*(1994), pp.339-343.
- [7] S. G. Chamberlain, A. M. Berlinsky, "Coherent Target and Environmental Modeling for Torpedo Terminal Homing Simulations", *Electronic Progress*, Vol.24 (1982), pp.19-22.
- [8] M. T. V. Nhieu, G. Deniau, J. R. Hartmann, "Computation of backscattered echoes from submarines," *Proc. UDT Pacific Conf.*(1998), pp.73-75.
- [9] W. Tang, "Pure Elastic Resonance Scattering for Submerged Elastic Objects With Separable Geometries", *Acta Acustica*, Vol.20, No6(1995), pp.456-465.
- [10] C. N. Wang, C. C. Tse, "The Scattering of an Acoustic Wave Incident on the Rigid Floating Body", *Applied Acoustics* Vol.53, No1(1998), pp.35-47.
- [11] H. G. Urban, *Adaptive Methods in Under-water Acoustics*, British Crown, 1985.
- [12] Y. Jiang, Z. Wang, X. Hao, J. Hui, P. Cai, "Active sonar target modeling", *Proc. UDT Europe Conf.*(1998), pp.36-37.
- [13] D. Brill, G. Gaunard, H. Strifors, W. Wertman, "Backscattering of Sound Pulses by Elastic Bodies Underwater", *Applied Acoustics* Vol.33(1991), pp.87-107.
- [14] R. J. Urick, *Principles of Underwater Sound*, McGraw-Hill, USA, 1983.
- [15] J. K. Maior, *Physics of Sound in the Sea, Part III Reflection of Sound from Submarines and Surface Vessels*, Gordon & Breach Science Pub., USA.
- [16] B. M. Brown, G. Maltin, "Extension of the Target Strength Studies", *Tracor Document T72-AU-9597-U*(1972), pp.1-28.
- [17] T. Clancy, *Submarine (A Guided Tour Inside a Nuclear Warship)*, Berkley Books, New York, 1993.

● 저자소개 ●



김부일

1981년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)

1985년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1999년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사 수료)

1985년 5월~현재 : 국방과학연구소 선임연구원

관심분야 : 능동소나신호처리 및 신호합성



이형욱

1986년 8월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)

1989년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1999년 3월~현재 : 경북대학교 대학원 전자공학과(박사과정)

1989년 11월~현재 : 국방과학연구소 선임연구원

관심분야 : 수증음향신호처리 및 표적위치추정/분류



박명호

1990년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)

1992년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1992년 3월~현재 : 국방과학연구소 선임연구원

관심분야 : 능동소나신호처리 및 신호합성



권우현

1977년 2월 : 서강대학교 전자공학과(공학사)

1979년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과(공학석사)

1993년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과(공학박사)

1979년 3월~현재 : 경북대학교 전자공학과 교수

관심분야 : 컴퓨터 응용제어 및 신호합성