

# 수중 반사신호 합성을 위한 표적강도 예측모델 비교분석

## A Comparative Analysis of Target Strength Estimated Models for Underwater Echo Signal Synthesis

김 부 일\*  
Kim, Boo-Il

### 요 약 문

고주파를 주로 사용하는 능동소나에서 반사신호는 물체표면의 거울면 반사와 내부의 여러 등가적인 산란자로 형성되며, 이는 물체에 공간적으로 분포된 하이라이트에 의해 특징 된다. 본 연구에서는 기존의 모의표적에 대한 반사신호 합성모델 즉, 랜덤분포 모델, 등간격분포 모델 및 MUTAHID 모델에 대하여 분석하고, 합성된 반사신호 결과특성을 여러 조건에서 비교하였다. 이러한 하이라이트 분포 모델들은 수중표적의 반사신호 합성을 필요로 하는 각종 실시시스템의 모의표적 신호 합성에 유용하게 적용될 수 있으리라 생각된다.

### ABSTRACT

A reflection signal in an active sonar using a high frequency is mainly formed of a specular reflection from the surface of an object along with several equivalent scatters inside, which are characterized by the spatial distribution of the highlight on the object. This study analyze the existing echo signal synthesis models eq, random distribution model, equivalent interval distribution model & MUTAHID(Modified Underwater TArget by HIlght Distribution) model for simulated target, and compare the characteristics of the reflected signal synthesis results for each model in various conditions. These highlight distribution models can be efficiently applied to the simulated target signals synthesis of various real systems requiring the echo signal synthesis on the underwater target.

주요기술용어 : Target Strength(표적강도), Highlight(하이라이트), Signal Synthesis(신호합성), Echo Elongation(반사신호 신장), Active Sonar(능동소나)

### 1. 서 론

현대에서는 대잠장비인 수중 추적체의 발전으로 인 터셉터 소나 및 대항장비에 대한 관심이 높아가고 있

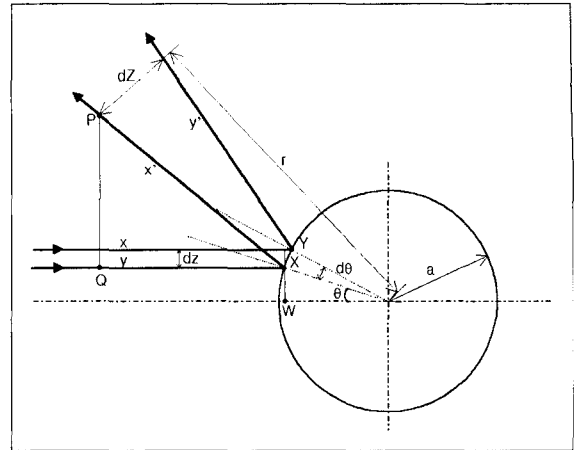
으며, 함정의 저소음화로 수중 추적체는 능동탐지방식으로 전환되고 있다<sup>(1,2)</sup>. 이에 수중물체에 대한 반사특성 분석은 표적에 대한 탐지, 추적 및 분류의 기본적인 요소가 되며, 각종 대항장비 및 해상시험에 사용되는 모의 표적기 개발을 위한 신호합성 모델에 많은 노력이 필요하다. 일반 능동 추적체에서는 고주파 필

\* 국방과학연구소 선임연구원

스 핑신호를 사용하고 있으며, 이러한 신호에 대한 반사특성은 표적의 형에서 크게 발생하는 거울면 반사(Specular reflection)와 표적 내부의 여러 등가적인 산란자(Scatter)에 의한 합성신호로 형성된다<sup>(3)</sup>. 본 연구에서는 실제 모의표적 시스템에 적용이 가능한 신호합성 알고리즘을 개발하기 위하여 먼저 수중물체에서 발생하는 여러 가지 반사현상들을 분석하고, 기존의 독립형 능동대항 시스템에 적용이 가능한 표적의 강도예측 모델들에 대한 특성을 고찰하고자 한다. 이를 위하여 수중표적으로 회전타원체를 도입하고 입사각에 따라 변화가 되는 표적강도 특성을 분석한다. 물리적 또는 기하학적인 광학영역에서는 수중표적으로 하이라이트(Highlight) 점들에 의한 신호합성 모델의 사용이 가능하므로<sup>(4,5,6)</sup>, 이들 하이라이트가 분포되는 알고리즘에 따라 반사신호의 특성이 크게 결정된다. 그리고 이러한 알고리즘들을 실시간 응답 시스템에 적용하기 위하여 제한된 하이라이트를 선정한 후 다양한 조건하에서 시뮬레이션을 수행하였고, 각종 모델에 대하여 합성된 반사신호의 결과특성을 비교해 보았다.

## 2. 수중표적의 반사특성 분석

물체에 음파가 인가되면 그 물체의 고유한 재질, 크기, 형상, 구조 등에 의해 신호는 반사를 하게 되며, 능동소나에서는 이러한 반사신호의 특성을 처리, 분석하여 수중표적의 특성을 판단하는 데 중요한 정보를 얻는다. 표적강도(Target Strength)는 평면파가 물체에 입사될 때 반사를 일으키는 산란자들의 음향중심(Acoustic Center)에서부터 1m인 지점에서의 강도 비로 정의된다.



[그림 1] 구형물체의 반사특성

$$TS \equiv 10 \log \frac{I_r}{I_i} \Big|_{r=1} \quad (1)$$

수중물체를 큰 구로 가정하면 인접하여 입사된 음선  $x, y$ 는 그림 1과 같이 반사되며, 입사각  $\theta$ 와  $\theta + d\theta$  사이의 구에 인가되는 전체 에너지  $dJ$ 와  $dZ$ 에 의한 면적  $dS$ 는 다음과 같이 된다.

$$dJ = I_i ds = 2\pi I_i X W dz = 2\pi I_i (a \sin \theta)(a \cos \theta d\theta) \quad (2)$$

$$dS = 2\pi PQ dZ = 2\pi (r \sin 2\theta)(2r d\theta) \quad (3)$$

반사되는 음파강도는 분포된 단위 면적당 인가된 에너지의 비이므로 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$I_r = \frac{dJ}{dS} = \frac{a^2}{4r^2} I_i \quad (4)$$

그러므로 큰 구형물체에 대한 표적강도는 물체의 반경에 의해 쉽게 계산할 수 있다.

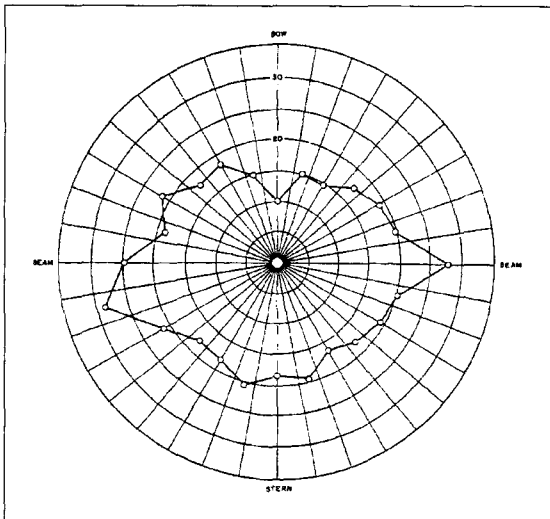
$$TS = 10 \log \left( \frac{a^2}{4} \right) \quad (5)$$

구형의 물체는 입사각에 따라 유효 반사면적이 동일하므로 강도의 크기도 동일하지만, 실린더형 물체의 경우에는 입사각에 따라 형상이 달라지므로 식 (6)과 같이 입사각에 따라 표적강도도 달라진다.

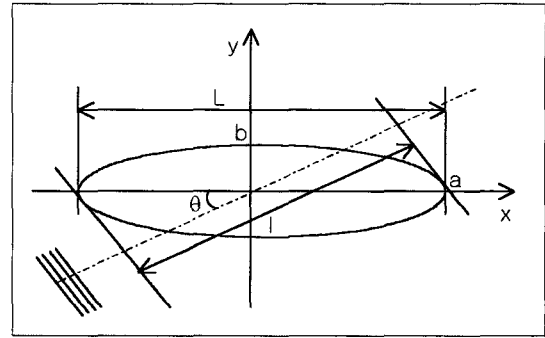
$$TS = 10 \log \frac{aL^2}{2\lambda} \left[ \frac{\sin x}{x} \right] \cos^2 \theta \quad (6)$$

여기서,  $a$ 는 반경,  $L$ 은 길이,  $x = \frac{a\pi L}{\lambda} \sin \theta$ 이다. 하지만 일반적인 수중표적은 복잡한 내부 구조와 형상을 가지고 있으므로 수학적 모델로의 표현은 불가능하다.<sup>(7)</sup> 잠수함인 경우에는 외부 혈에 의한 거울면 반사가 매우 크며, 내부 압력 혈과 내부구조에 의해 반사와 산란이 복잡하게 일어난다. 따라서 잠수함의 표적강도는 크기에 직접적인 관계가 있으며, 입사각에 따라 그림 2와 같이 큰 차이가 있게 된다.<sup>(8)</sup>

수중표적은 부피를 가지고 있으며, 내부의 각 산란자에 의해 반사신호가 형성되므로 이는 입사신호가 표적에 반사될 때의 경로 왕복시간만큼의 신호가 신장되어 나타난다. 수중표적을 폭을 무시한 긴 회전타



[그림 2] 입사각에 따른 잠수함 표적강도



[그림 3] 회전타원체에서의 신호신장 효과

원체라 가정하면 이때의 신호신장은 그림 3과 같이 입사각  $\theta$ 에 따른 유효길이  $l$ 의 왕복시간동안 펄스 신호가 신장되어 반사되는 신호의 펄스길이는 식 (7)과 같다.

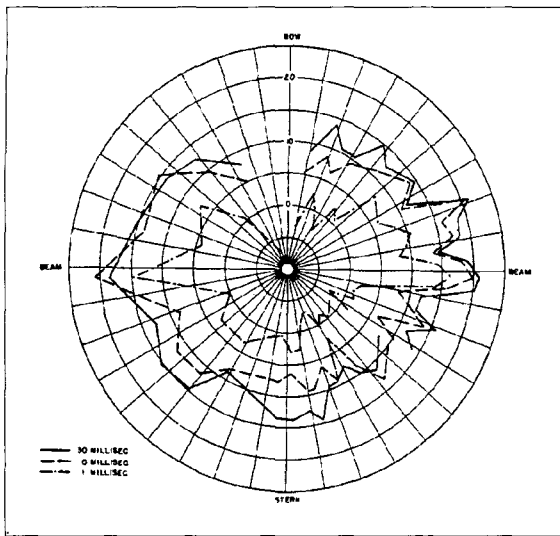
$$\tau_t = \tau_p + \frac{2l}{c} = \tau_p + \left( \frac{2L}{c} \right) \cos \theta \quad (7)$$

잠수함과 같은 복잡한 구조물에서는 폭을 가지고 있으며, 짧은 입사펄스에 대해서는 펄스폭에 따른 신장효과가 뚜렷이 나타나며, 식 (8)과 같이 함폭이 고려된 입사각의 함수가 된다.

$$\tau_t = \tau_p + \frac{4}{c} \sqrt{a^2 \cos^2 \theta + b^2 \sin^2 \theta} \quad (8)$$

여기서,  $a$ 는 타원체의 장축의  $x$ 좌표,  $b$ 는 단축의  $y$ 좌표이며,  $c$ 는 수중에서의 음속이다.

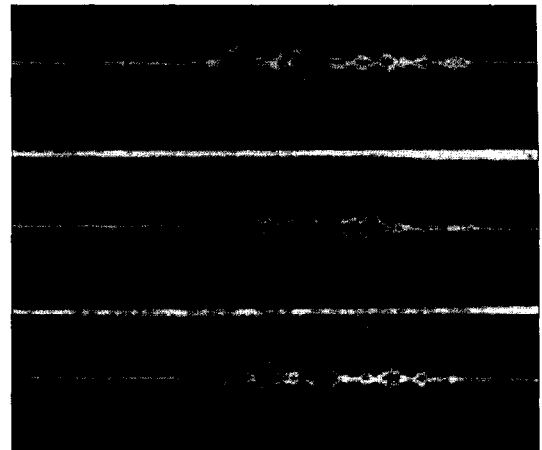
수중표적이 잠수함과 같이 큰 물체일 때는 능동소나 사용펄스의 길이가 매우 짧아지면 그림 4와 같이 각 반사지점에서 발생되는 펄스신호가 전체신호에 영향을 미치지 못하므로 표적의 강도는 작아지게 된다. 그러므로 사용 펄스폭은 물체의 크기에 상관관계가 있으며, 식 (7)에서 펄스폭  $\tau_p$ 가 유효길이  $l$ 에 비해 짧을 때에는 내부의 각 반사 하이라이트에 따라 변화가 심하게 된다.



[그림 4] 펄스길이에 따른 표적강도 변화

여기서 입사 펄스폭이  $\tau_p \gg 2l/c$  로 표적의 반사 깊이에 비해 매우 길면 반사신호의 길이는  $\tau_r \approx \tau_p$  가 되어 반사신호의 강도는 입사신호의 강도에 의존하게 되며,  $\tau_p \ll 2l/c$  와 같이 표적의 유효 반사깊이에 비해 매우 짧으면 반사신호의 강도는 입사신호의 강도 뿐만 아니라 입사신호의 폭에도 의존되게 된다. 그러므로 표적강도는 입사펄스의 길이에 직접적으로 영향이 있고, 각 하이라이트점에서의 에코가 서로 영향을 크게 미치므로 신호의 불규칙성이 심하게 된다. 그러므로 침투 표적강도는 짧은 펄스에서 에너지 표적강도와 많이 다르게 된다.

복잡한 구조의 물체에서는 각 산란자들간의 음향적인 간섭에 의해 반사신호의 포락선은 불규칙하게 변한다. 또한 전망탑, 연료탱크 등 하이라이트가 큰 지점이 존재하면 또한 각 산란자들의 위상관계가 변하거나 표적에로의 전달경로 관계에 의해 에코신호의 포락선은 변하게 된다. 그림 5는 잠수함에서 반사되는 에코신호로서 포락선 구조가 매우 복잡하고 시간에 따라 그 형상도 계속 변함을 알 수 있다.



[그림 5] 잠수함 반사신호의 불규칙성

그밖에 반사특성으로는 이동하는 표적에서의 도플러 변이특성이 있다. 이동하는 표적에 능동소나의 고주파수 신호가 인가되면 두 물체의 상대적인 속도에 의해 식 (9)와 같이 사용주파수에 편이가 발생하여, 순수 수중표적에 의한 도플러 변이는 식 (10)과 같이 된다.

$$f_1 \approx \left[ 1 \pm 2 \frac{V_t \cos \theta + V_s \cos \psi}{c} \right] f_0 \quad (9)$$

$$\Delta f = 2 \frac{V_s \cos \psi}{c} f_0 \quad (10)$$

또한 미약하지만 프로펠러의 반복적인 회전과 표적의 이동과 항적에 의한 에코신호의 변조효과가 있으며, 표적의 형태에 따라 고도각의 영향 및 사용 주파수, 거리, 운용깊이에 따른 환경요인에 의하여도 강도는 변하게 된다.

### 3. 표적강도 예측 모델

능동소나에서 관심이 되는 여러 특성들 중에서 수

중물체의 반사신호의 예측은 표적의 탐지, 추적, 분류 등에 매우 중요하며, 일반적으로 수중표적으로 관심의 대상이 되는 것은 잠수함으로 이는 매우 복잡한 내부 구조를 가지고 있다. 그리고 능동소나가 사용되는 주 파수대역은 일반적으로 고주파수로  $ka > 10$ 인 물리적 광학 또는 기하학적인 광학영역에 속하므로 하이라이트에 의한 표적강도 예측모델의 사용이 가능하다. 원거리에서 보면 수중표적은 한 점으로 보이며, 이를 단일 점 하이라이트로 표현할 수 있으나, 근거리에서는 시간과 방위에 따라 여러 형태의 분포 특성을 가지게 되고 이를 표현하기 위해선 표적에의 하이라이트를 적합하게 분포시켜야만 된다. 수중물체의 반사신호  $p_b$ 는 식(11)과 같이 물체의 전이함수  $h_i$ 와 입사신호  $p_i$ 에 의해 표현된다.

$$p_b(r, t) = h_i(r, t) * p_i(t) \quad (11)$$

수중표적을 근거리에서 보면 다중 하이라이트 시스템으로 볼 수 있고, 표적 전체의 하이라이트에 대한 반사신호는 각각 하이라이트의 시간지연 요소를 고려한 전체 합으로 표현할 수 있고 이는 식(12)와 같다.

$$p_b(r, t) = \sum_{g=0}^n h_g(r_g, t) * p_i(t) \quad (12)$$

여기서 물체의 특성을 표현하는  $\sum_{g=0}^n h_g(r_g, t)$  성분을 적절히 분포시킴으로서 표적강도 및 반사신호를 예측할 수 있다. 먼저 표적의 크기가 주어지면 물체내부에 무작위로 하이라이트점을 분포시켜 신호를 합성하는 랜덤분포 모델이 있다. 이는 하이라이트점의 생성 위치를 간단하게 설정할 수 있고, 무작위적인 위치설정으로 신호의 불규칙적인 포락선 특성을 잘 표현할 수 있다. 하지만 불연속적인 점이 크게 발생하여

사용 하이라이트점들의 수가 증가되면 실시간적인 처리가 요구되는 시스템이나 정밀한 반사신호를 요구하는 시스템에서는 적절하지 못하다. 일반적으로 많이 사용하는 모델로는 등간격 분포 모델이 있다. 이는 물체내부의 종축에 일렬로 하이라이트를 등간격으로 분포시켜 신호를 합성한다. 하이라이트 간격은 입사신호 및 수중표적이 정해지면 신호의 불연속이 생기지 않도록 간격 및 수가 결정되고 각 하이라이트는 펄스신호의 입사각  $\alpha$ 를 고려한 시간지연 간격  $\tau_k$ 를 구하여 반사신호를 만들어 낸다. 이 방법은 간단하나 최초 접촉면에서의 거울면 반사 표현에는 어려움이 있다. MUTAHID (Modified Underwater TArget by Hlghlight Distribution) 모델은 표적에서 거울면 반사가 크게 일어나는 처음과 외부향 불연속 점에 하이라이트를 분포시키며 이는 입사각에 따라 외부 향 면을 따라 이동시킨다.<sup>(9)</sup> 실제표적에서 반사가 크게 일어나는 전방탐과 연료탱크 및 프로펠러에 특정 하이라이트를 분포시키며, 미소하게 반사가 일어나는 내부의 복잡한 구조의 산란자운들을 구름화된 랜덤분포로 대체한다. 다음은 각 모델에 대한 하이라이트 전체 합과 각 하이라이트에서의 시간지연 함수를 유도하여 나타내었다.

- 랜덤 분포 모델

$$h_T(t) = \sum_{k=1}^n Rnd [h_{T_k}(t - \tau_k)] \quad (13)$$

$$\tau_k = \frac{2}{c} (L_{kx} \cos \alpha \pm L_{ky} \sin \alpha) \quad (14)$$

- 등간격 분포 모델

$$h_T(t) = \sum_{k=1}^n W_k h_{T_k}(t - \tau_k) \quad (15)$$

$$\tau_k = \frac{2(k-1)}{c} \left( \frac{L}{n-1} \cos \alpha \right) \quad (16)$$

- MUTAHID 모델

$$h_T(t) = \sum_{i=1}^{n_i} h_{T_i}(t) + \sum_{j=1}^{n_j} h_{T_j}(t) + \sum_{c=1}^{n_c} h_{T_c}(t) \quad (17)$$

$$\sum_{i,j,c=1}^{n_i,n_j,n_c} h_{T_{i,j,c}}(t) \quad (18)$$

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

$$L_i \cos \alpha = 0, \quad i=1$$

$$= \frac{\sqrt{BC} - \sqrt{A^2C}}{\sqrt{B(B-A^2)}}, \quad i=2 \quad (19)$$

$$= \frac{\sqrt{BC} + \sqrt{A^2C}}{\sqrt{B(B-A^2)}}, \quad i=3$$

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

$$B = \frac{a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha}{a^2 \sin^2 \alpha + b^2 \cos^2 \alpha}, \quad (20)$$

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

$$L_j \cos \alpha = L_{jx} \cos \alpha \pm L_{jy} \sin \alpha \quad (21)$$

$$L_c \cos \alpha = L_{cx} \cos \alpha \pm L_{cy} \sin \alpha \quad (22)$$

입사신호의 길이  $\tau_p$ 에 대하여 물체에서 신장된 반사신호의 길이  $\tau_i$ 는 식(23), (24), (25)와 같다. 랜덤 분포 모델은 하이라이트의 불규칙적인 위치설정으로 총 길이의 변화가 심하며, 등간격 분포 모델은 종축상의 일렬배치로 혈에 직각으로 입사되는 신호의 경우에 하이라이트가 한 점으로 모임으로 표적의 유효 폭에 해당하는 시간지연 경로만큼의 오차가 발생한다. MUTAHID 모델은 최초 반사 점의 이동과 내부의 분포로 전체길이 및 직각으로 입사되는 신호에 대해서도 신장효과와 표현이 가능하다.

- 랜덤 분포 모델

$$\tau_i = \tau_p + \frac{4}{c} \sqrt{L_{xmax}^2 \cos^2 \alpha + L_{ymax}^2 \sin^2 \alpha}, \quad (23)$$

- 등간격 분포 모델

$$\tau_i = \tau_p + \frac{4a}{c} \cos \alpha \quad (24)$$

- MUTAHID 모델

$$\tau_i = \tau_p + \frac{4}{c} \sqrt{a^2 \cos^2 \alpha + b'^2 \sin^2 \alpha}, \quad b' = b + \Delta b \quad (25)$$

입사 펄스가 표적 면에 수직으로 인가될수록 반사 신호는 각 하이라이트의 영향으로 표적강도가 커지게 되며, 선수 또는 선미로 갈수록 표적강도가 작아지고 신호의 신장은 커지게 된다. 그리고 각각의 하이라이트는 실제 신호합성에서 동요효과를 주기 위하여 각 위치에서 일반적으로 사용되는 확률적인 분포 함수를 적용한다. 이들은 설정된 점에서 평균값을 가지며 표준편차에 의해 동요현상을 나타내는 하이라이트 위치가 결정된다. 또한 기준치는 실제 대상표적의 측정값에 의해 결정되나, 여기서는 각 모델들의 특성을 비교하므로 문헌에 의한 잠수함 표적의 입사각에 따른 표적강도 측정값을 사용하였다<sup>(8)</sup>.

#### 4. 실험 및 고찰

본 논문에서는 수중 모의표적을 생성하는 각종 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 각 모델들의 반사 신호의 특성을 비교하여 시뮬레이션 하였다. 모의실험 환경으로는 다음과 같으며, 총 시뮬레이션 횟수는 각 조건별 20회를 시뮬레이션 하여 그 평균값을 나타내었다.

● 수중 모의표적

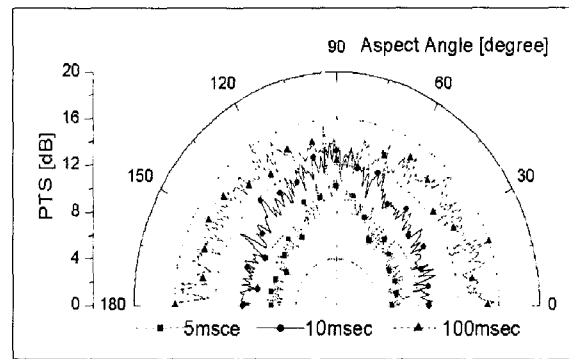
- 형태 : 회전타원체

- 크기 : 30 × 3m, 50×5m, 100×10m
- Aspect angle : 0° ~180°, 2° 간격
- 사용 펄스신호
  - 주파수 : 50Hz, CW
  - 펄스폭 : 5~100msec, 5msec간격
  - 펄스주기 : 1sec

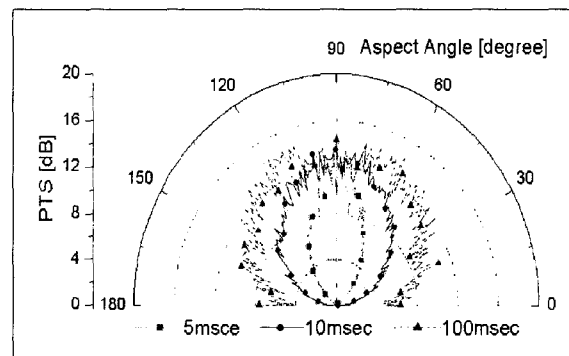
그림 6은 입사각도별 침투치 표적강도의 모델별 특성이다. 랜덤분포모델은 표적 내에 무작위적인 하이라이트 분포로 입사각도에 의한 강도크기변화는 미소하다. 등간격 분포모델은 일직선상에 하이라이트를 분포시키므로 혈과 수직인 면(Beam)에서는 크기가 일정하며, 선수(Bow)와 선미(Stern)로 갈수록 하이라이트가 최대간격이 되므로 강도는 줄어든다. MUTAHID 모델은 거울면 반사가 크게 일어나는 80~100° 부근에서 강도가 매우 크게 나타나며, 공기/연료 탱크가 존재하는 20°, 160° 부근에서 이 효과가 크게 나타남을 알 수 있다.

그림 7은 함정크기별 반사신호 신장효과를 시뮬레이션 한 결과이다. 각 모델 모두가 함정크기에 대한 신호의 신장효과는 잘 표현하고 있으나, 등간격분포모델인 경우에는 90° 부근으로 입사한 신호의 신장효과는 없게 나타난다. 이는 입사신호가 90°로 가까워질수록 각 하이라이트점들이 한 점으로 모이므로 나타나는 현상이다. 신장은 최초 하이라이트점과 유효합성 신호의 마지막 하이라이트까지의 왕복 경로차이로 발생되며, 큰 표적일수록 신장이 크게 나타난다.

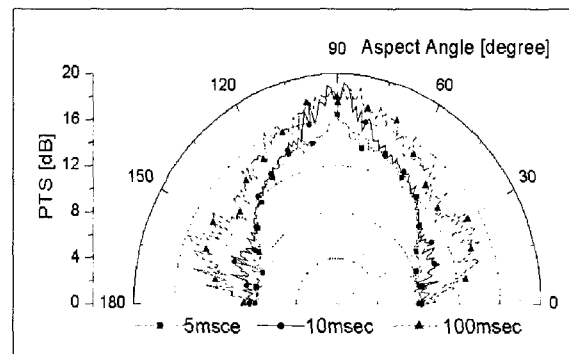
그림 8은 함정크기 50×5m일 때의 펄스길이 효과를 본 결과이다. 실시스템에 적용 가능한 하이라이트 수의 고정(23개)으로 펄스길이가 20~30msec부터 펄스길이 효과가 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다. 펄스길이가 길어지면 각 내부 분포 하이라이트들의 중첩효



(a)



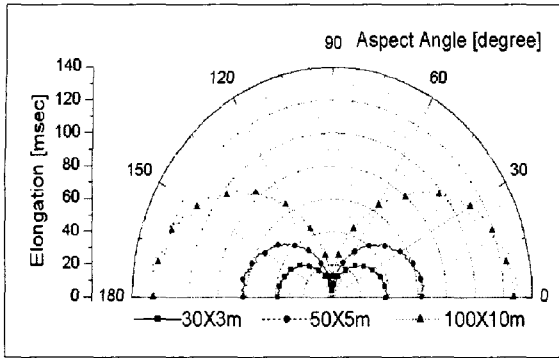
(b)



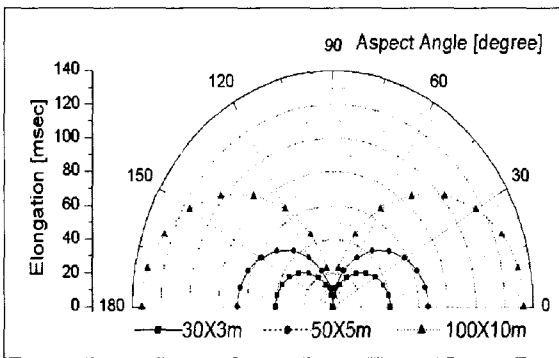
(c)

(a) 랜덤분포 모델 (b) 등간격분포 모델  
(c) MUTAHID 모델

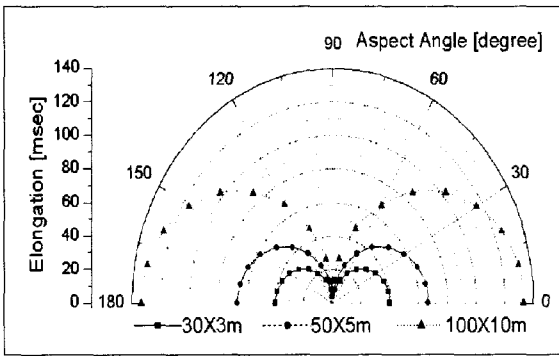
[그림 6] 입사각에 따른 표적강도 변화



(a)



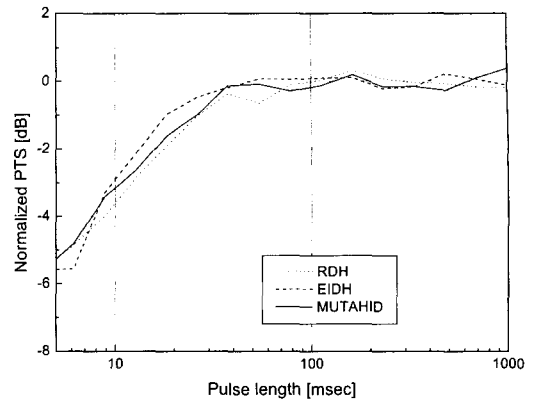
(b)



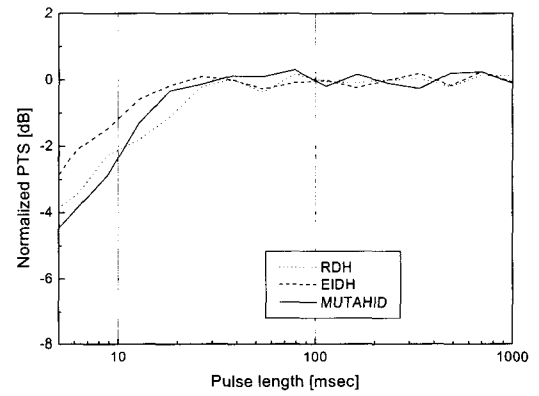
(c)

(a) 랜덤분포 모델 (b) 등간격분포 모델  
(c) MUTAHID 모델

[그림 7] 함정크기에 따른 반사신호 길이 변화



(a) 입사각도 30°



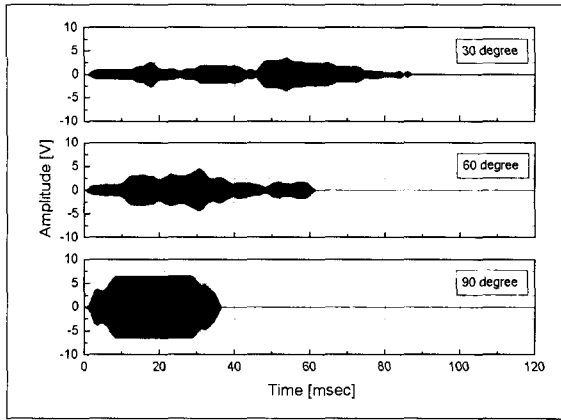
(b) 입사각도 60°

[그림 8] 펄스길이에 따른 표적강도 변화

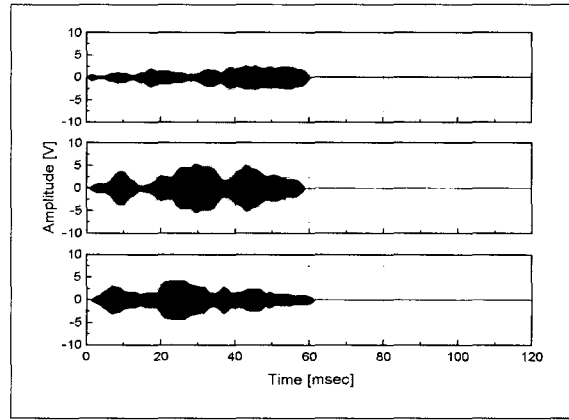
과로 강도는 일정한 값으로 수렴하고, 일반적인 표적 강도의 대표 값으로 표현된다. 입사각도가 작을수록 펄스길이 효과는 크게 나타나며, 혈과 수직에 가까워지면 유효 하이라이트 간격이 좁아지므로 펄스폭 효과는 작게 나타나게 된다. 각 모델과의 현상은 비슷하나 랜덤분포의 경우에는 적은 수의 하이라이트 배치로 변화가 심하게 나타난다.

그림 9는 입사각도별(30°, 60°, 90°) 반사신호의 파형을 시뮬레이션한 결과로 각 모델의 반사신호 형태가 비슷하게 나타난다. 입사 펄스신호에 대한 입사각

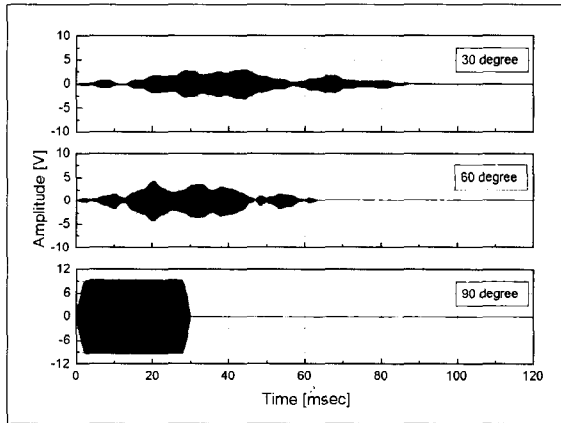




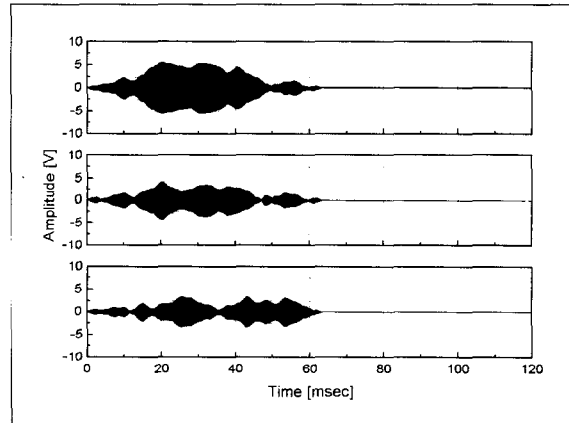
(a) 랜덤분포 모델



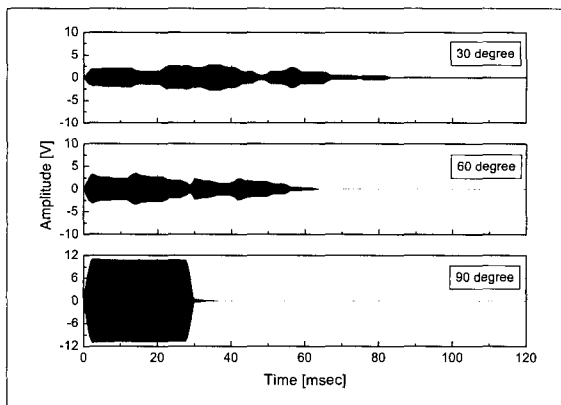
(a) 랜덤분포 모델



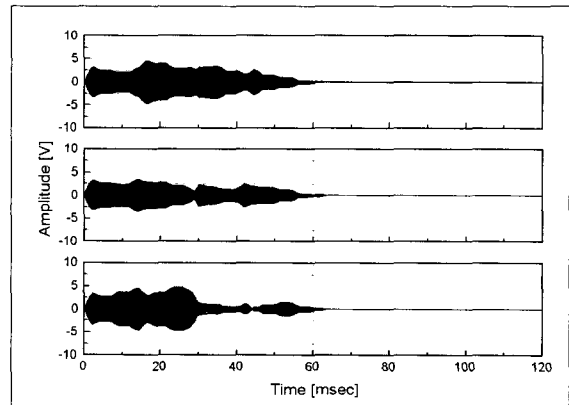
(b) 등간격분포 모델



(b) 등간격 분포 모델



(c) MUTAHID 모델



(c) MUTAHID 모델

[그림 9] 입사각에 따른 반사신호 파형 특성

[그림 10] 합성된 반사신호 포락선의 불규칙 특성

도가 클수록 크기는 커지며 반사신호 길이는 짧아지고, 입사각도가 작을수록 각 하이라이트의 효과로 파형은 불규칙해지며, 반사신호 길이는 길어진다. 등간격분포는 대부분 가운데로 신호가 모이게 되고, MUTAHID는 거울면 반사에 의한 최초 하이라이트의 효과를 볼 수 있다.

그림 10은 각 모델에 대한 반사신호의 불규칙 특성을 시뮬레이션한 결과이다. 이때의 입사각도는  $60^\circ$ 이며, 30msec의 입사신호를 연속해서 3번 합성되는 반사신호를 모델별로 각각 나타내었다. 그리고 간격  $d$ 는 7.5m, 간섭인자  $M$ 은 4, 편차  $\sigma$ 는 0.3125로 설정하였다. 비교 모델 모두 각 하이라이트 위치에서의 확률분포에 의한 위치설정으로 매번 파형이 불규칙하게 생성됨을 알 수 있고, 표적의 크기와 입사각도가 고정되어 반사신호의 길이는 일정하게 표현된다. 하지만 랜덤분포는 하이라이트의 무작위적인 설정으로 길이가 변화가 있으며, 등간격 분포 모델은 합성된 반사신호의 가운데 부분이 항상 크게 나타난다. 하지만 MUTAHID 모델은 반사파는 총 길이가 일정하며, 거울면 반사가 일어나는 최초 반사면에서의 효과를 뚜렷이 볼 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 수중표적의 반사신호 합성을 위하여 수중물체의 반사특성 인자와 하이라이트에 의한 분포 모델들의 특성을 비교 분석하였다. 각 모델들의 특성은 하이라이트 위치설정 및 합성방법에 따라 영향이 크게 나타났으며, 각 사용 목적에 따라 이들의 적용을 신중하게 선택 또는 변형 적용을 하여야 한다. 각 예측모델들의 표적강도 변화는 입사각에 따라 달라지며,

MUTAHID 모델은 직각으로 입사되는 신호에 대한 거울면 반사특성을 잘 표현하고 있다. 등간격 모델은 선수와 선미로 입사되는 펄스에 대하여 강도가 작게 나타나며, 펄스길이가 짧을 때 이 효과는 더욱 커진다. 랜덤분포 모델은 매우 간단하게 신호를 합성할 수는 있으나 강도의 변화가 심하고, 신호의 신장효과에 대한 변화도 심하게 나타난다. 혈과 직각으로 입사되는 신호에 대한 폭에 대한 신장효과는 등간격 모델에서는 나타나지 않으며, 혈면에 따라 하이라이트를 이동 분포하는 모델은 이를 잘 표현할 수 있다. 하지만 MUTAHID 모델은 하이라이트의 위치결정 및 신호 합성에 정밀한 계산이 요구되며, 실시스템에 적용시에는 고성능의 하드웨어가 필요하다. 합성크기에 따른 신호신장은 직접적으로 관계가 있으며, 모든 모델에 확률적인 분포함수의 적용으로 반사신호의 불규칙 특성의 표현을 해결할 수 있으나 사용 입사신호에 따라 분포함수의 파라미터 결정에 주의가 필요하고, 복잡한 표적에서의 가중함수 적용은 실제 해상에서의 반복적인 시험을 통하여 분석 적용하여야 한다. 본 연구에서 분석한 하이라이트 분포에 의한 강도 예측모델들은 수중표적 신호합성을 필요로 하는 각종 능동처리 알고리즘개발 및 대항시스템, 감시시스템의 관련 분야에 목적에 따라 응용하여 적용할 수가 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Lois C. Gerken, Torpedo Technology, American Scientific Corp., California, 1989, pp.124~141
2. Robert J. Urick, Principles of Underwater Sound, 3rd edition, McGraw Hill Book Company, USA, 1983, pp.332~351

3. 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
4. Y. Jiang, Z. Wang, X. Hao, J. Hui, P. Cai, "Active sonar target modeling", *Proc. UDT Europe Conf.*, 1998, pp.36~37
5. A. Rondini, E. Ruchaud, "Highlights Model for Submarines", *Proc. UDT Conference*, 1994, pp.339~343.
6. W. Tang, "Highlight Model of Echoes from Sonar Target", *Chinese J. Acoust.*, Vol. 13, 1994. 6, pp.92~100
7. T. Clancy, *Submarine (A Guided Tour Inside a Nuclear Warship)*, Berkley Books, New York, 1993, pp.49~115
8. J. K. Maior, *Physics of Sound in the Sea, Part III Reflection of Sound from Submarines and Surface Vessels*, Gordon & Breach Science Pub., USA. pp.144~177
9. 김부일, 박명호, 권우현, "하이라이트 분포 모델에 의한 수중표적 에코신호 합성," *한국음향학회지* Vol. 19, NO.7, 2000. 10, pp.15~22