

능동 표적신호 합성

MOving Spread Target signal simulation

성 낙 진**, 김 재 수*, 이 상 영**, 김 강**
(Nak Jin Seong, Jea Soo Kim, Sang Young Lee, Kang Kim)

요 약

최근 표적의 고속화와 저표적강도화 추세에 따라 표적 탐지의 정확성이 요구되고 있다. 본 연구는 이에 부합하여 표적 운동 해석, 표적 분류, 소나 성능 예측 모델의 개발에 필수적인 표적 산란 잔향 신호의 주파수 및 시간별 특성의 파악과 그러한 특성을 포함한 표적 신호 시뮬레이션에 목적을 두고 있다. 표적 신호 시뮬레이션에는 음향 변환자 배열의 음원 준위와 빔패턴으로 구성되는 음원모델, 전달 손실 예측부인 환경모델, 복합 표적에 의한 신호의 신장 및 표적 강도와 음원과 표적의 상대운동을 표현하는 도플러 현상이 고려된 표적모델, 수신기의 감도 및 빔패턴과 각 채널의 시간이 고려된 수신 모델 등 주요한 4부분의 모델이 필요하다. 개발된 MOST(MOving Spread Target) 신호합성기는 환경모델을 제외한 3가지 모델로 구성되어 있으며, 음원과 표적의 운동에 의한 신호 특성 시뮬레이션 등의 기능을 갖추고 있어, 소나 운용 체계 개발의 한 단계인 HILS(Hardware In the Loop Simulation)와 표적 상태 추정용 위한 신호 특성 분석 및 앞에서 언급한 각종 모델에서 신호 발생 장치로 이용될 수 있다.

Abstract

Since the modern targets are of high speed and getting quiet in both active and passive mode, the necessities of developing advanced SONAR system capable of performing target motion analysis(TMA) and target classification are evident. In order to develop such a system, the scattering mechanism of complex bodies needs to be, some extent, fully understood and modeled. In this paper, MOving Spread Target(MOST) signal simulation model is presented and discussed. The model is based on the highlight distribution method, and simulates pulse elongation of spread target, doppler effect due to kinematics of the target as well as SONAR platform, and distribution target strength of each highlight point(HL) with directivity. The model can be used in developing and evaluating advanced SONAR system through system simulation, and can also be used in the development of target state estimation algorithm.

I. 서 론

능동 표적신호 합성모델은 소나체계의 개발시에

가상표적의 역할을 수행함과 동시에 개발된 소나의 성능평가 및 소나 운용자의 훈련에 없어서는 안될 필수 장치이므로 수중음향적인 측면에서 표적신호 합성에 대한 많은 연구노력이 이루어지고 있다.

기존의 표적신호 합성모델은 미국해군의 지원하에

* 한국해양대학교

** 국방과학연구소

접수일자: 1993년 11월 8일

Raytheon의 Submarine Signal Division에서 소나체계 개발 및 운용의 목적으로 개발한 Coherent Acoustic Target and Environment Model(CATEM)[1], 독일해군의 지원하에 연구기관인 Honeywell-ELAC-Nautic GmbH에서 함대의 표적탐지 혼련용으로 개발한 UZD[2], Royal Netherlands Navy의 지원하에 TNO의 Physics and Electronics Laboratory에서 호위함 소나 운용자의 교육 및 소나체계 개발과 시험에 목적을 두고 개발한 BQT system[3] 등이 이미 실용 상태에 있으나, 실제 학회에 발표되는 논문들은 표적에 의한 산란문제를 이론적으로 다루고 있을 뿐 이를 표적신호 합성에 직접적으로 적용한 예는 찾아보기 어려운 현실이다. 자국의 기술보호 측면에서 학회에 발표되는 논문외에 선진국들이 독자 폐쇄적인 연구를 수행하고 있기 때문에 표적신호 합성기의 자체개발이 불가피하였다.

표적신호 합성의 연구 대상은 크게 음향변환자, 환경, 표적, 수신부로 구성된다. 음향변환자 모델은 주어진 음원 준위에 대한 전달 빔패턴의 방향손실을 계산하는 부분으로 Taylor 지향특성에 섭동법과 근사이론인 선형회귀법을 적용하여 설계한다. 환경 모델에서는 표적 산란 신호의 전달손실과 다중경로 효과의 고려에 목적을 두고 있으며 실시간 처리를 위해 실험식[4]의 사용과 GSM(Generic SONAR Model) 등의 활용이 가능하다. 표적모델은 크게 단위표적의 충격응답, 복합 표적의 기하학적 위치 및 표적의 운동을 고려한 단위표적들의 도플러량을 계산하여 조합하는 복합표적의 충격응답, 마지막으로 초기의 입사파와 각각의 표적강도와 방향성을 가진 복합표적의 충격응답과의 변형된 콘볼루션(modified convolution)을 통하여 가상적인 표적산란 간향신호를 산출하는 세 부분으로 구성된다. 수신부 모델은 음향변환자 모델과 동일한 방법을 적용해 수신기의 감도 및 수신 빔패턴과 빔패턴에 의한 방향손실, 각 채널의 시간지연을 계산하는 부분이다.

2절에서는 표적신호 합성을 위한 이론적 배경을 기술하고, 3절에서는 개발한 MOST 신호합성기의 알고리즘 중 표적모델의 핵심 부분인 표적에 의한 산란문제와 도플러효과를 중점적으로 다루고, 4절에서는 MOST 신호합성기를 사용한 표적신호의 예를 들며, 마지막 5절에서는 표적신호 합성에 대해 전반적인 문제점과 개선사항을 제시하고자 한다.

II. 표적신호 시뮬레이션 이론

표적신호 시뮬레이션에서 시뮬레이션 결과가 단지 기존의 탐지기에 사용된다면 표적신호에 도플러를 포함시킬 필요가 없다. 그러나 표적신호를 사용하여 표적의 속도를 추정하고자 한다면 도플러효과를 성공적으로 재현할 수 있어야 한다. 나아가서 표적상태 추정을 펄스 신장과 각 위치에서의 도플러에 의한 주파수 변화량과 채널간 상관관계를 이용하려 한다면 표적에서의 펄스신장을 실험 또는 해석적인 방법에 의하여 어떻게 일어나는 지를 예측하여 충실히 재현할 수 있어야 하며 이는 물리적인 현상의 이해가 선행될 때 가능하다. 표적신호 시뮬레이션의 방법론에 대하여 가장 많이 언급되는 부분이 표적을 단위표적(point target)으로 볼 것인가 아니면 분포표적(spread target)으로 볼 것인가 하는 것이다. 단위표적은 공간상 물체의 면적이 무한소인 점으로 표현되어 물리적으로는 반사체가 될 수 없는 모순이 존재하지만 인위적으로 표적강도를 주어 반사체로 간주하게 된다. 이렇게 가정된 정지해 있는 하나의 단위표적에 의해 반사되어 오는 표적신호는 음원신호(source signal)와 크기만 다를 뿐 모양은 동일하다. 단위표적이 운동을 할 경우 표적이 움직이는 결과로 나타나는 도플러량과 함께 신호가 축소 또는 신장되는 현상이 포함된다. 실제 물리적인 현상에서 단위표적 모델이 가장 근접하는 경우는 고주파에서의 거울면 반사(specular reflection)인 경우이다. 이러한 경우가 소위 기하광학 및 물리광학 범주에 속하며 이 영역에서는 회절 등의 간섭효과가 없이 한 점에서 반사가 일어나는 것처럼 보여 단위표적 모델이 만족스럽게 된다. 그러나 표적의 형태가 단순하지 않아 표적신호가 입사신호와 달리 왜곡되어 반사되는 경우와 표적의 경계가 강체(rigid)나 유체(soft)가 아닌 경우에는 표적에 입사하는 음향에너지가 표적에 전달되어 내부전달 경로를 거치면서 다시 방사되는 더욱 복잡한 현상이 관찰된다. 이런 이유에서 관심있는 표적의 반사는 후자의 경우이므로 표적을 복합표적으로 모델링하였다.

현재까지 알려진 바에 의하면 표적의 자세각이 2° 가량 변화하면 반사음장이 급격히 변화하고[5], 해양 환경의 변화는 고주파를 사용하는 경우 표적신호에 불규칙성을 더하게 되어 구조물에 대한 해석적인 방

법이 가능할 지라도 해석적인 과정을 통해 구한 해를 적용하는 것은 그다지 의미가 없다. 그렇다면 앞에서 언급했던 특성을 유지하면서 표적신호를 재현할 수 있는가? 협대역 신호인 경우에는 가정에 의해 표적신호는 입사신호와 표적의 충격응답의 변형된 콘볼루션에 의해 표현될 수 있다. 표적의 충격응답은 단위 표적, 즉 highlight(이하 HL)의 조합으로 표현한다. 확률분포를 통해 HL의 간격과 크기를 통계적으로 근사시켜 각각의 HL에 도플러와 상관손실(correlation loss)를 고려한 분포표적 모델을 제시한다.

$$R_i(t) = H_{ij}(\theta_{ij}, \varphi_{ij}, m) * S_{ij}(t)$$

$$S_{ij}(t) = S(t) \cdot \exp\{i(\omega_c + \omega_j(t))(t - \tau_{ij})\} \quad (1)$$

여기에서 m 은 표적의 종류, t 는 시간, 첨자 i 는 채널의 번호, 첨자 j 는 HL의 번호이다. H_{ij} 는 각 채널에서 표적의 방향을 고려한 각 HL의 표적강도이고, S_{ij} 는 표적과 음원의 상대운동에 따라 도플러와 시간지연을 고려한 음원신호를 표현하고 있다. 따라서 환경 모델을 제외시킨다면 최종적으로 각 채널에 입사하는 수신신호 $R_i(t)$ 는 기준이 되는 음원에서 표적을 바라볼 때의 수직방위각 θ_{ij} 와 수평방위각 φ_{ij} 에 따라 크기가 변형된 HL과 중심 각주파수 ω_c 를 가진 음원신호 $S(t)$ 에 대한 주파수의 변화 ω_j 와 채널간의 시간 지연 τ_{ij} 를 고려한 음원의 신호를 먼저 콘볼루션한 후 더하는, 변형된 콘볼루션의 형태를 취한다.

III. 표적신호 합성모델 MOST 알고리즘

3.1 좌표계의 설정 및 변환

좌표계는 그림 1과 같이 전체좌표계에 대응하는 표적과 음원의 국부좌표계로 구성되어 있다. 표적과 음원은 전체좌표계를 기준으로 서로 운동하고 있으나, 표적의 운동은 음원의 입장에서 음원의 좌표계에서 정의된 물리량만이 의미가 있으므로 전체좌표계에서 정의되는 표적의 좌표, 속도 등을 음원의 좌표계로 변환하여야 한다.

식(2)는 전체좌표계에서 정의된 표적의 좌표를 음원의 좌표계로 변환하는 식이다. 전체 좌표계를 구성하는 축(X, Y, Z)에 대한 (x_1, y_1, z_1)축의 반시계 방향의 회전각을 ($\phi_1, -\theta_1, \phi_1$)이라 하고 축회전을 z_1, y_1, x_1 순으로 한다면 전체좌표계에 대한 표적의 좌표는 음

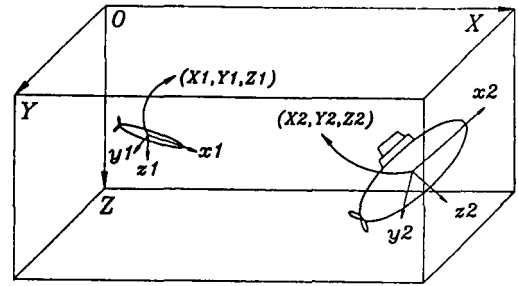


그림. 1. 좌표계의 설정

원의 좌표계에 대하여 다음의 변환으로 나타낼 수 있고,

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi_1 & \sin \phi_1 \\ 0 & -\sin \phi_1 & \cos \phi_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & -\sin \theta_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_1 & 0 & \cos \theta_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \cos \phi_1 & \sin \phi_1 & 0 \\ -\sin \phi_1 & \cos \phi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X_2 - X_1 \\ Y_2 - Y_1 \\ Z_2 - Z_1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

이와 유사하게 축회전을 구성하는 각각의 행렬들은 직교하므로 전치행렬이 역행렬이 되어 음원의 상대좌표에 대한 표적의 전체좌표는 식(3)에 의해서 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Y_2 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi_1 & -\sin \phi_1 & 0 \\ \sin \phi_1 & \cos \phi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & \sin \theta_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_1 & 0 & \cos \theta_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi_1 & -\sin \phi_1 \\ 0 & \sin \phi_1 & \cos \phi_1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ y_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

3.2 HL의 분포

수조실험이나 기존의 외국자료를 유추하여 보면 HL의 분포는 조합표적으로 신호간섭이 일어나고[6], 모든 수신된 신호에서 신호간섭을 표현하기 위해서는 최소한 $d = CT/4$ (C 는 음속, T 는 펄스폭)마다 HL이 설치되어야 하며, 길이 L 인 표적의 경우 최소한 $N = L/d + 3$ 개의 HL이 필요하다. 3을 더하는 이유는 길이방향 전체에 HL을 주기위해 1을 더하고 2는 수신신호의 시작부분과 끝부분에 간섭 현상을 주기 위함이다. 실제 표적에서처럼 불규칙성을 띤 동요를 하려면 HL의 중심위치를 기준으로 무작위 위상변화를 주어야 한다. 여기에서는 HL이 중심위치에서 $|x| \leq d/4$ 범위 안에서 불규칙 또는 3-시그마 한계인

$3\sigma \leq d/4$ 의 표준편차로 정규분포를 갖도록 하였다.

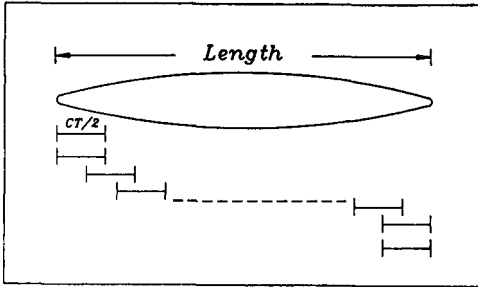


그림 2. HL의 분포

3.3 HL의 방향성 및 표적강도

각 표적의 HL은 *sinc* 함수 형태의 방향성을 갖게 되며, 평면배열(plane array)로 모델링하여 내부구조물의 종류에 따라 각기 다른 *sinc* 함수의 주기를 준다. 이는 고주파에서의 Kirshoff integral을 연상하면 된다. 선수, 선미, 상구조물에 의한 반사는 방향성이 거의 없으나, 튜브 등과 같은 내부의 공동은 산란 특성이 약간의 방향성을 가지리라 기대되며 선라에 의한 반사 특성은 상당히 높은 방향성을 가지리라 기대된다. 따라서 표적신호의 방향성 분포에 대한 모델(식(1)의 H_{ij})은 다음과 같이 가정한다[5].

$$H_{ij}(\theta_{ij}, \varphi_{ij}, m) = \frac{\sin(m\theta_{ij}) \sin(m\varphi_{ij})}{m\theta_{ij} m\varphi_{ij}} = \text{sinc}(m\theta_{ij}) \text{sinc}(m\varphi_{ij}) \quad (4)$$

여기에서 m 은 구조물의 종류에 따라 실험적으로 결정되는 것이 타당하다. m 이 커지는 경우에 방향성은 표적강도에 정규분포를 주는 것과 같은 효과가 있으며 표적강도의 분포와 함께 등요표적(fluctuating target)을 모델링하게 된다. 표적강도는 일반적으로 표적의 종류, 표적의 자세각 및 펄스 폭에 영향을 받는다. 본 연구에서는 특정 표적의 표적강도 및 분포 특성이 시뮬레이션될 수 있도록 하였다. 즉, 각 HL의 방향성 뿐만 아니라, 표적강도를 지정하여 그 표적강도는 주어진 표준편차로 정규분포가 되도록 하였다.

3.4 도달시간

음파가 음원을 떠나 표적에 맞을 때 까지의 경로

와, 표적의 각 HL에 맞은 간향신호가 수신부에 돌아오는 경로에 대하여 살펴보자. 음원을 떠난 음파가 표적에 도달할 때 까지 도달시간(AT1)은 초기 음원의 위치와 표적과 음파의 운동에 의하여 결정되고 표적에 맞은 음파가 수신부에 들어올 때까지 소요된 시간은 음파가 표적에 입사했을 때 표적의 위치와 음파가 현재 수신부에 도달할 때의 위치와 음속(C)의 함수이다.

음파가 표적에 도달할 때
$PP(n) = t(n) \cdot C$
$PP(n+1) = t(n+1) \cdot C$
if ($STR(n) \geq PP(n)$ and $STR(n+1) < PP(n+1)$)
$DT = \frac{STR(n) - PP(n)}{PP(n+1) - PP(n) - STR(n+1) + STR(n)} \cdot G/C \text{ time}$
$TRp = TR(n) + TVEL(n) \cdot DT$
$AT1 = t(n) + DT$
endif

음파가 수신부에 도달할 때
$PP(n) = t(n) - AT1 \cdot C$
$PP(n+1) = t(n+1) - AT1 \cdot C$
if ($TSR(n) \geq PP(n)$ and $TSR(n+1) < PP(n+1)$)
$DT = \frac{TSR(n) - PP(n)}{PP(n+1) - PP(n) - TSR(n+1) + TSR(n)} \cdot G/C \text{ time}$
$SRp = SR(n) + SVEL(n) \cdot DT$
$AT2 = t(n) - AT1 + DT$
endif

$PP(n)$ 은 음파가 음원을 떠난 후 시간간격(time step) n (이하 n)에서의 음파의 위치에서 처음 음파가 발사된 음원까지의 거리를 나타내고 $STR(n)$ 은 n 에서의 표적의 위치에서의 거리를 나타낸다. $n+1$ 에서의 음속, 음원의 속도(SVEL), 표적의 속도(TVEL)는 주어지는 값이므로 그때의 음파와 표적의 위치를 알 수 있다. 음파가 표적에 도달하는데 소요되는 시간은 n 에서 DT 만큼 함한 시간이고, 표적의 좌표(TR)은 n 에서의 좌표에서 속도와 DT 의 곱을 더한 위치일 것이다. 표적에 맞고 반사되는 음파가 수신부에 입사하는 현상은 음파가 표적에 입사할때와 유사하기 때

문에 거의 동일한 방법으로 설명할 수 있다. 위의 알고리즘에 의하여 음파가 음원을 떠난 후 단위표적에 맞고 수신부에 돌아올 때 까지 소요된 시간은 $AT = AT1 + AT2$ 임을 알 수 있다.

3.5 각 채널의 시간지연

수신부의 중심에서 각 HL까지의 거리를 계산하여 음파가 수신부의 중심에 도달하는 시간은 3.4절에서 구하였다. 수신부의 중심에 대한 각 채널의 음향중심에서의 시간지연은 기하학적으로 아래의 식으로 표현되며 far field를 만족하지 않아도 시간지연(식(1)의 τ_{ij})은 계산할 수 있다.

$$X_j = STP_{jx}^2, Y_{ij} = (STP_{jy} + AC_i)^2, Z_{ij} = (STP_{jz} + AC_i)^2$$

$$\tau_{ij} = (\sqrt{X_j + Y_{ij} + Z_{ij}} - STR_{rj})/C \quad (5)$$

첨자 i 는 채널의 번호, j 는 HL의 번호이다. STP 는 음원좌표에서 바라본 표적의 위치벡터이고, AC_i 는 각 채널의 음향중심이다. STR_{rj} 은 수신부의 중심에서 표적까지의 거리이다.

3.6 도플러 주파수

현재까지 입수 가능한 문헌은 도플러 모델링에 대한 언급이 이루어지지 않고 있으며, 이는 기존의 모델이 표적상태 추정까지는 생각하지 않았음을 나타낸다. 음원과 표적이 상대운동하는 상황에서 도플러를 포함하는 주파수는 5개의 변수를 가진 함수로 표현된다.

$$Fd_{ijk} = F(\vec{V}l_{ijk} \cdot \vec{n}_{ijk}, \vec{V}s_{ijk} \cdot \vec{n}_{ijk}, C_j, T_o, F_o) \quad (6)$$

여기에서 첨자 i 는 HL의 번호이고 j 는 시간, k 는 음파가 음원을 떠날 때($k=1$)와 표적을 떠나는 순간($k=2$)을 나타낸다. C 는 음속, $\vec{V}l$ 은 전체 좌표계에 대한 표적의 상대 속도, $\vec{V}s$ 는 전체 좌표계에 대한 음원의 상대 속도, \vec{n} 은 음원~표적의 line of sight, T_o 는 원래의 펄스 폭, F_o 는 도플러가 일어나기 전의 주파수, F_d 는 도플러가 일어난 후의 주파수를 나타낸다.

실제의 현상에서는 펄스폭에 따라 각기 다른 도플러가 연속적으로 발생하나 관심있는 표적의 경우 거동의 순간적 변화가 일어나기란 거의 불가능한 상태여서 펄스의 앞과 뒤는 선형적인 주파수 변화를 가져

온다면 볼 수 있다. 본 논문에서는 도플러 주파수를 각 HL뿐 아니라 한 펄스내에서도 시간의 변수를 갖는 함수 형태로 표현하였다. 아래에 도플러 주파수와 보존법칙에 의해 변화된 펄스폭을 계산하는 방법을 제시한다. 매질이 균일(C : 상수)하다는 가정에 의해 도플러 주파수는 식(7)과 같다.

$$Fd_{ij} = \frac{C + \vec{V}l_{ij1} \cdot \vec{n}_{ij1}}{C - \vec{V}s_{ij1} \cdot \vec{n}_{ij1}} \cdot \frac{C + \vec{V}s_{ij2} \cdot \vec{n}_{ij2}}{C - \vec{V}l_{ij2} \cdot \vec{n}_{ij2}} \cdot F_o \quad (7)$$

펄스폭이 작고 음속에 비해 표적의 속도가 작다는 가정을 도입하여 펄스가 표적의 도달할 때 표적의 속도가 선형적으로 변한다고 하면 보존법칙에 의해 처음의 펄스폭은 식(8)로 되며,

$$Td_i = \frac{2F_o}{Fd_{i1} + Fd_{i2}} \cdot T_o \quad (8)$$

최종적으로 하나의 펄스에 대한 변화된 도플러 주파수(식(1)의 ω_j)는 시간의 함수로 된다.

$$Fd_i(t) = Fd_{i1} + \frac{Fd_{i2} - Fd_{i1}}{Td_i} \cdot t \quad (9)$$

펄스폭이 작다면 $\vec{V}s_{ij1} \cdot \vec{n}_{ijk} \cong \vec{V}s_{ij2} \cdot \vec{n}_{ijk}$ 와 $\vec{V}l_{ij1} \cdot \vec{n}_{ijk} \cong \vec{V}l_{ij2} \cdot \vec{n}_{ijk}$ 이 성립하여 $Fd_{i1} \cong Fd_{i2}$ 라고 할 수 있다. 그러면 각각의 HL에 관한 도플러 주파는 상수로의 표현이 가능하다.

IV. 수치모델의 검증 및 표적신호의 예

4.1 수치모델의 검증

복잡한 형상을 가진 표적의 경우에는 기하학적 형상에 의한 검증이 거의 불가능하므로 HL이 하나인 단위표적에 대한 이론적 계산과 이상의 알고리즘으로 발생한 표적신호의 도플러와 펄스신장, 각 채널에서의 도달시간에 관하여 검증을 하였다. 음원신호는 중심주파수 20kHz의 sine함수, 펄수의 길이는 10msec이다. 시간간격은 100msec, 두 채널간의 거리는 $\lambda/2$ ($\lambda = C/F_o = 1500/2000$)으로 하였다.

CASE1: 전체좌표계에 대한 음원의 좌표는 (100m, 0m, 100m), 표적의 좌표는 (135.355m, -35.355m, 100m), 음원과 표적은 정지한 상태이다. 표적과 가까이 있는 채널의 도달시간은 $AT1 = 0.0333sec$, $AT2 = 0.0333sec$, 따라서 $AT = AT1 + AT2 = 0.0666sec$ 이

다. 표적에서 멀리있는 채널의 도달시간은 $AT1 = 0.03333\text{sec}$, $AT2 = 0.03334\text{sec}$, 따라서 $AT = AT1 + AT2 = 0.06667\text{sec}$ 이다(그림 4).

CASE2: 전체좌표계에 대한 음원의 좌표는 (100m, 0m, 100m), 표적의 좌표는 (150m, 0m, 100m)이다. 음원은 10m/sce로 표적을 향해 접근하고 있고, 표적은 5m/sec의 속도로 음원과 수직한 방향으로 움직이고 있다. 표적이 채널에 대하여 거의 같은 거리에 있으므로 두 채널에 입사하는 신호의 도달시간은 거의 동일한 것이다. 아래의 값은 위의 알고리즘의 순서대로 계산한 결과이다. 음파가 음원을 떠나 표적에 도달하는 순간까지의 표적과 음원, 음파는 다음과 같은 속도를 가지고 상대운동을 하고,

$$SV11 = SVEL \cdot \cos(\tan^{-1}(TRp/STRp)) = 9.999944443 \text{ m/sec}$$

$$TV11 = SVEL \cdot \cos(\tan^{-1}(90 + TRp/STR(0))) = -0.033333703 \text{ m/sec}$$

음파가 표적을 떠나 수신부에 도달하는 순간까지의 표적과 음원, 음파는 다음과 같은 속도, 위치를 가지고 상대운동을 한다.

$$SV12 = SVEL \cdot \cos(\tan^{-1}(TRp/(50 - TSRp))) = 9.99994282 \text{ m/sec}$$

$$TV12 = SVEL \cdot \cos(\tan^{-1}(90 + TRp/STR(0))) = -0.016890745 \text{ m/sec}$$

위와 같이 음파가 표적에 도달할 때 표적에 대한 음원의 상대속도(SV11), 음파가 음원을 떠날 때의 위치에 대한 표적의 상대속도(TV11), 음파가 표적을 떠날 때의 표적의 위치에 대한 음파가 수신부에 도달할 때 수신부의 상대속도(SV12), 음파가 수신부에 들어올 때 표적의 상대속도(TV12)를 계산할 수 있어 최종적으로 수신부에 입사하는 펄스 앞부분의 변화된 중심주파수를 계산할 수 있다(그림 6).

$$Fd = (C + TV11)/(C - SV11) \cdot (C + SV12)/(C - TV12) = 20268 \text{ Hz}$$

4.2 표적신호의 예

다음은 개발한 MOST 신호합성기를 이용해 만든 표적신호이다. 표적의 길이는 100m, 높이와 폭은 각각 20m, 전체좌표계에 대한 음원의 좌표는 xyz순으로 (100m, 0m, 100m), Euler angle(0°, 0°, 0°), 표적의 좌표는 (171m, 0m, 100m), Euler angle(0°, 0°,

45°)로 두고, CASE 3은 음원과 표적이 정지해 있는 상태, CASE 4는 음원의 속도 10m/s, 표적의 속도 5m/s의 상태에서 표적신호이다. CASE 4에서는 HL의 기하학적 위치에 따라 수신 시간대(range)별 중심주파수가 변한다.

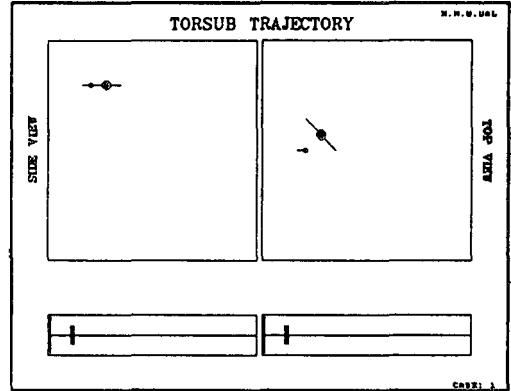


그림 3. CASE 1의 표적과 음원의 위치

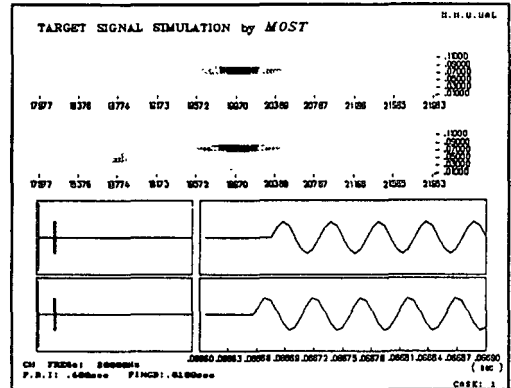


그림 4. CASE 1의 수신신호

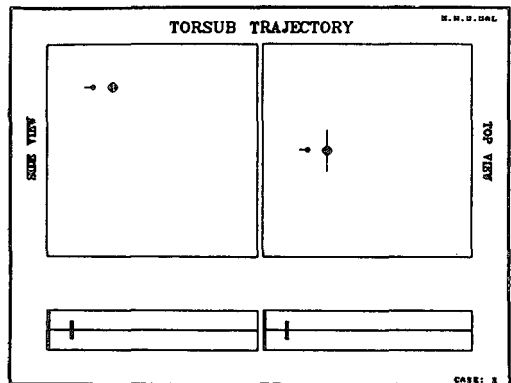


그림 5. CASE 2의 표적과 음원의 위치

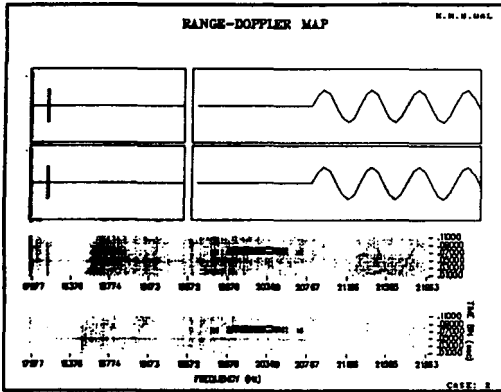


그림 6. CASE 2의 표적신호와 도플러 맵

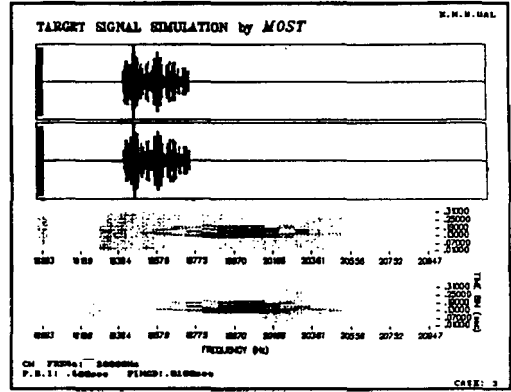


그림 8. CASE 3의 표적신호와 도플러 맵

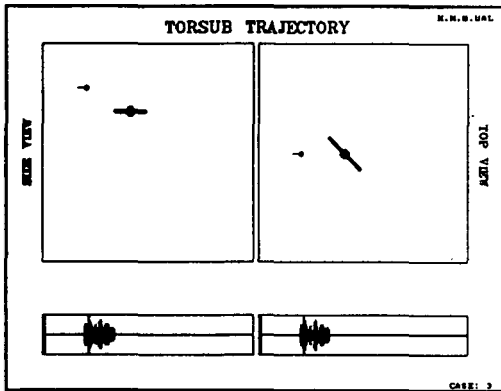


그림 7. CASE 3, 4의 표적과 음원의 위치

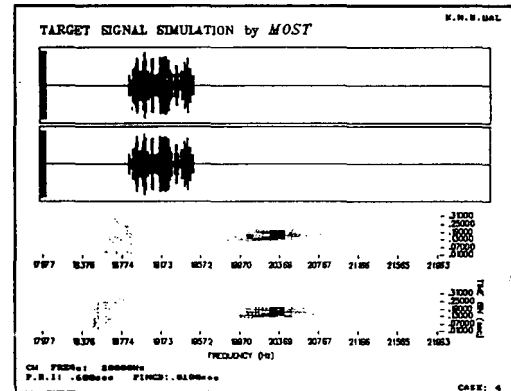


그림 9. CASE 4의 표적신호와 도플러 맵

V. 결 론

본 논문에서는 도플러, 펄스신장, 채널간 시간지연, 표적강도 분포가 포함된 MOST 신호합성기를 제시하였다. 이 신호발생기는 기존의 신호합성모델에 비해 한 펄스에 대해서도 시간에 따라 연속적으로 도플러 주파수의 변화를 표시할 수 있으며, 표적의 속도를 추정할 수 있어 고도의 기능의 갖춘 소나체계의 개발과 소나의 성능평가에 신호발생장치로서 역할과 최선의 탐지 알고리즘의 개발 및 검증에 사용될 수 있을 것이다. 앞으로는 표적의 형상과 표적 내부구조의 불연속점들의 경계에서 발생하는 산란현상을 표현하고 있는 HL의 주파수특성을 파악하기 위해 수치 실험이나 해상실험을 통한 지속적인 연구가 필요하며 여기에서 나온 결과들을 표적신호 합성에 이용해야 할 것이다.

참 고 문 헌

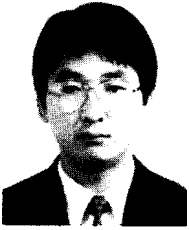
1. S. G. Chamberlain and A. M. Berlinsky, "Coherent Target and Environmental Modeling for Torpedo Terminal Homing Simulation," *Electronic Progress*, Vol. XXIV, No. 1, Spring, pp. 19-22, Raytheon Company, 1982
2. R. Ludwig, L. Hogrefe, W. Tietz, "Acoustic Underwater Target System," *UDT Conference Proceedings*, pp. 864-869, Paris, France, April 1991
3. J. C. Bol, "Some Developments in Simulating SONAR Targets," *UDT Conference Proceedings*, pp. 637-642, London, England, Oct. 1988
4. R. J. Urlick, *Principles of Underwater Sound*, 3rd Ed., McGraw-Hill Book Co., 1983
5. B. M. Brown and G. Maltin, "Extension of the Target of the Target Strength Studies," *TRACOR Document*, T72-AU-9508-U, 6500 Tracor Lance,

Austin, Texas, U.S.A., Oct. 1972

6. D.E. Nelson, A Statistical Scattering Model for Time-Spread SONAR Targets, Ph.D. Dissertation,

Dept. of Electrical Eng., Univ. of Rochester, Rochester, New York, U.S.A., 1975

▲Nak Jin Seong



1992년 2월 : Korea Maritime Univ. (B.S. in Ocean Eng.)

1994년 2월 : Korea Maritime Univ. (M.S. in Ocean Eng.)

present : Researcher, ADD

▲Jea Soo Kim



1981년 2월 : Seoul National Univ. (B.S. in Naval Architecture)

1984년 5월 : Univ. of Florida (M.S. in Oceanographic Eng.)

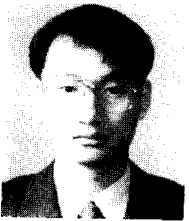
1989년 5월 : M.I.T. (Ph.D. in Underwater Acoustics)

1989년 12월 : M.I.T. -Post-doctoral Associate

1991년 2월 : Scientist, ADD(Agency for Defense Development)

present : Assistant Professor Dept. of Ocean Eng., Korea Maritime Univ.

▲Sang Young Lee



1988년 2월 : Sogang Univ. (B.S. in Physics)

1990년 2월 : Sogang Univ. (M.S. in Physics)

present : Researcher, ADD

▲Kang Kim



1986년 2월 : Seoul National Univ. (B.S. in Education of Physics)

1988년 6월 : Université de Pierre et Marie Curie (Paris 6), France (M.S. in Physics)

present : Researcher, ADD