

# 능동소나 핑(Ping)의 음향표적 반사 인텐시티에 대한 시간영역 해석

## Time domain analysis of reflected acoustic target intensity from active sonar ping

김기준\*, 홍석윤†

Ki-June Kim, Suk-Yoon Hong

### 1. Introduction

현대 수중 무기체계는 음파를 이용하여 타겟의 정보를 획득하며, 능동소나(Active Sonar)는 그 중 적극적인 수단 중 하나이다. 능동소나를 이용한 탐지시 표적의 상태 및 사용 주파수에 따라 반사 음파를 수신시에 실리는 표적의 정보가 다양하므로 이에 대한 파악은 수중 무기체계에서의 작전에 반드시 필요하다. 따라서 표적의 음파에 대한 산란특성을 정확히 규명할 필요가 있으며, 또한 피탐 대상체 입장에서는 탐지되지 않기 위한 적절한 대책의 수립이 필요하다. 그러한 대책을 수립하기 위해서는 반향음 특성 파악 및 감소 설계가 필요한데 이를 위해서는 물수체에 대한 음파 산란 해석이 필요하다. 이러한 표적의 음파에 대한 산란 특성을 대표하는 중요한 변수들이 있는데, 음향 인텐시티(Acoustic Intensity), 표적 강도(Target Strength : 이하 TS) 그리고 SCS(Sonar Cross Section) 등이 바로 그러한 것들이다. 위 변수들은 표적의 기하학적 형상에 의해서 결정이 되기 때문에 수치해석을 통한 해석 및 예측이 가능하다. 수중 소나의 경우 고주파수를 다루기 때문에 그런 변수들에 대한 예측기법들은 고주파수의 영역에서 이루어진다. 이러한 고주파수 대역에서의 예측기법에 대한 국내 연구는 계속 이루어져 왔으며 유체터, 보강개, 회절, 원거리 다중 반사, 내부구조물, 근접장 등을 고려한 여러 효과들에 대해 사각 평판, 실린더 형상, 그리고 잠수함 형상의 모델에 대해서 식과 프로그램이 개발되어 왔다. 하지만 위의 연구들에서는 예측시 음파는 단일주파수(Monochromatic)의 연속파라는 가정 하에 주파수 영역에서 해석을 하여 실제 소나에서 사용하는 '핑(Ping)'에 대한 해석과는 다소 거리가 있었다. 주파수 영역에서의 단일 주파수에 대한 식을 이용하면 펄스 형태의 음향 신호에 대한 반사 인텐시티를 계산시 음향신호를 여러 주파수 성분으로 분해하여 각각을 계산해야 하는 번거로움이 커지기 때문이었다. 이러한 수치적 어려움은 Scattered Electric Field 예측 시에도 존재해왔으며 그러한 수치적 어려움을 극복하기 위한 연구가 근래에 이루어져 왔다. 그 중 Sun 등이 연구한 TDPO [5] 방법은 Physical Optics를 이용한 주파수 영역에서의 Scattered Electric Field 식을 시간 영역에서 유도하여, Surface Magnetic field만 알면 Scattered Electric Field를 시간영역에서 바로 계산이 가능한 방법이다. 그러한 전자기학에서의 TDPO 방법에 착안하여 본 논문에서는 펄스 형태의 음향신호에 대해 반사 인텐시티를 예측 가능할 수 있도록 주파수 영역에서의 식을 시간 영역에서의 식으로 유도하고 잠수함 모델에 적용하여 해석을 수행하였다.

### 2. Derivation of Reflected Acoustic Pressure Field Equation in Time Domain

다음의 Rayleigh Integral Equation (2.1)의 Normal Particle Velocity 성분을 Euler's Equation을 이용하여 Surface Pressure 성분으로 바꿔 식 (2.2)와 같이 정의되는 Inverse Fast Fourier Transform에 대입하여 정리하면,

$$p(\vec{r}) = \frac{j\omega\rho_0}{2\pi R} \iint_S [v_n(\vec{r}_s) e^{-jkr} e^{j\omega t}] dS \quad (2.1)$$

$$p(\vec{r}, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} p(\vec{r}, \omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (2.2)$$

다음과 같은 식이 된다.

$$p(\vec{r}, t) = \frac{j\omega\rho_0}{2\pi R} \left[ \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \iint_S \frac{\partial}{\partial n} p(\vec{r}_s, \omega) dS \right\} e^{j\omega \left( t - \frac{R}{c} \right)} d\omega \right] \quad (2.3)$$

식 (2.3)의 exponential 항에 있는  $\left( t - \frac{R}{c} \right)$  을 하나의 지연시간인  $\tau$  로 정의하면 식 (2.2)에 의해 식 (2.3)은 다음과 같이 시간영역에 대한 식이 된다.

$$p(\vec{r}, t) = - \frac{1}{2\pi R} \iint_S \frac{\partial}{\partial n} p(\vec{r}_s, \tau) dS \quad (2.4)$$

### 3. Application to Submarine Target

간단한 모델에 대해서 검증은 완료하였고 지면상 본 논문에는 여러 다각평판으로 이루어진 잠수함 모델에 대해서 해석한 결과를 기술하겠다. 모델은 엘리먼트 수가 1024개이고 길이가 50m 인 잠수함이며 모델과 소스의 거리는 10000m, 음속은 1500m/s로 해석하였고, Geometry는 그림 1과 같다. 그리고 여러 가지 펄스에 대하여 해석할 수 있으나 본 논문에서는 정현파 펄스(Sine Pulse)에 대해서 해석을 수행한 결과만을 나타내었다. 이 때 식의 면적분을 하기 위하여 입사파를 x, y, z 성분으로 나누어 9개의 점을 이용한 Gauss-Quadrature를 이용하였다.

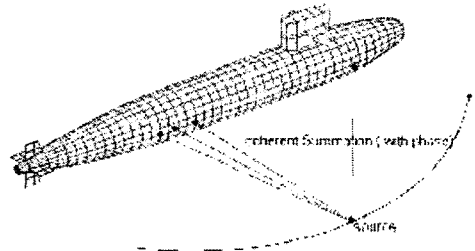


그림 1. Geometry

† 서울대학교 조선해양공학과  
E-mail : syh@sau.ac.kr  
Tel : (02)860-8757, Fax : (03)888-0208

\* 해군사관학교 조선공학과

### 3.1 Incident Sine Pulse

해석에 쓰인 입사 정현파 펄스의 식과 형태는 다음과 같다.

$$P^{inc}(t) = \frac{a}{r} \sin \omega t \quad (0 < t < 10) \quad (3.1)$$

여기서,

$a = 0.01$  (Pressure Amplitude),  $T = 1$  sec (Period)

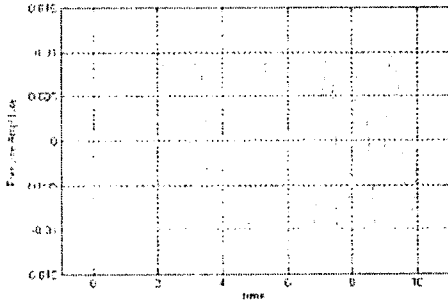


그림 2. Incident Sine Pulse Pressure, at  $T=1$ ,  $t=10$

### 3.2 Numerical Result with Computer Code

잠수함 모델에 대한 Sine Pulse 해석에 대해서는 그림 9과 같은 Source Position에 따라 그림 4와 같은 경향으로 반사되는 결과가 나타났다. 곡률이 없고 복잡한 구조가 아닌 평판과는 다르게 수직으로 입사했을 때를 중심으로 좌우 대칭으로 음압 값이 점점 감소하지 않는 이유는 잠수함 함미의 수직 수평타와 잠수함의 마스터 등의 복잡한 구조물이 좌우 대칭이 아닌 위치에서 음파를 산란시키기 때문이다.

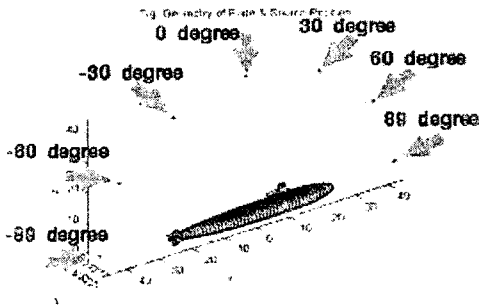
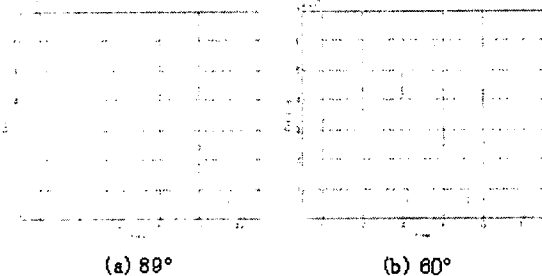
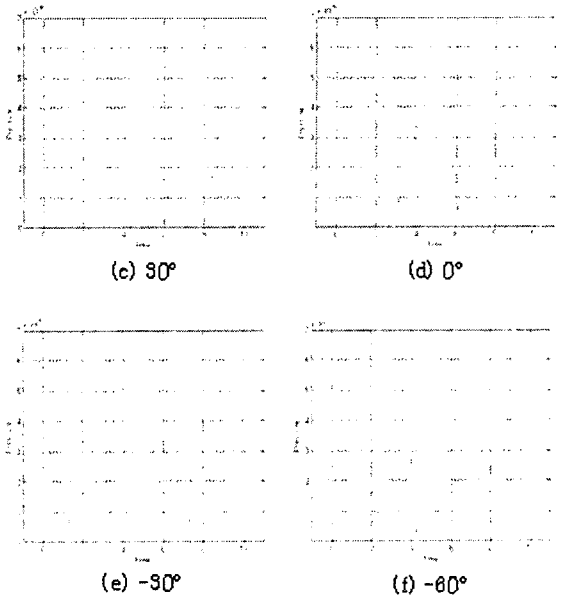


그림 3. Incident Sine Pulse Pressure, at  $T=1$ ,  $t=10$



(a) 80°

(b) 80°

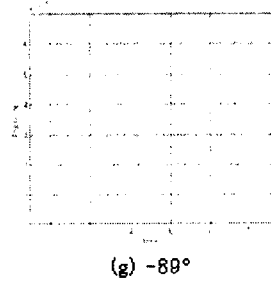


(c) 30°

(d) 0°

(e) -30°

(f) -80°



(g) -80°

그림 4. Reflected Sine Pulse Pressure

## 4. 결론

본 논문에서 수행된 연구는 잠수함 설계시 반영되는 중요 파라미터 중 하나인 음향표적강도(TS)를 시간영역에서 예측할 수 있는 식의 개발 및 프로그램 개발에 대한 것이다. 지금까지의 수중 물수체에 대한 TS 해석 및 예측에는 단일 주파수에서만 적용 가능한 식을 이용하였으나 실제로 군사 작전이나 함정 소나, 어망기 등에서 사용하는 음파는 '핑(Fing)' 형태이며 단일 주파수의 연속파 형태가 아니기에 펄스 형태의 음파에 대해서도 연구가 될 필요성이 있었다. 본 논문에서는 전자기학에서 쓰이던 개념을 음향학으로 영역을 넓혀 Kirchhoff-Helmholtz 이론으로부터 독자적인 식을 개발하였다. 그리고 개발된 식은 입사 신호만 알고 있으면 바로 반사 신호를 구할 수 있도록 식이 구성되어 있으므로 복잡한 과정과 시간을 크게 단축시킬 수 있으며 보다 복잡한 타겟에 대해서 그리고 다양한 음향 펄스에 대해서도 해석이 가능하므로 매우 파워풀한 식이라고 할 수 있다. 지금까지의 주파수 영역에 국한된 단일 주파수에 대한 TS 해석을 시간 영역으로 확대하여, 펄스 형태의 음파에 대한 TS 해석을 가능토록하고 나아가 이들 설계에 반영할 수 있는 방향을 마련한 데에 본 논문의 의의가 있다고 할 수 있겠다.