

상호 간섭 영향을 고려한 평면 배열형 음향 트랜스듀서의 방사 출력 예측

A Prediction of Radiation Power for the Planar Array Acoustic Transducer Considering Mutual Coupling Effects

이 종 길*, 서 인 창*
(Jongkil Lee* and Inchang Seo*)

요 약

소나 시스템에 주로 사용이 되는 평면 배열형 음향 트랜스듀서는 수중에서 음을 방사하여 빔(beam)을 형성하게 된다. 이러한 빔은 트랜스듀서 진동체에서 발생하는 음향 출력이 공간상에 분포되어 일어난다. 따라서 방사 출력의 산출은 트랜스듀서의 성능 및 효율을 예측하는데 필요하다. 본 논문에서는 무한 배플에 고정된 9개의 음향 진동체를 모델로 선정하였다. 개별 진동체에서의 음향 방사량은 자기방사 및 상호방사의 조합으로 표현이 되며 전기적 동가회로 기법을 이용하여 진동체 상호간의 음향 간섭 영향을 고려하여 평면 배열형 음향 트랜스듀서 진동체의 방사 출력 예측 기법을 제안 하였다.

ABSTRACT

Planar array of acoustic transducer is normally used in a sonar system. Acoustic radiation makes beam pattern in underwater uses. The main source of the beam pattern is due to the transducer array. Therefore, estimation of the acoustic radiated power is necessary to predict the performance and efficiency of the transducer. As an example of the acoustic radiation power, nine acoustic transducers mounted to a rigid infinite baffle are considered in a theoretical model. Each piston's acoustic radiation consists of self and mutual-radiation impedances. Total radiation impedances and acoustic radiation power of the transducers are extracted using on the theory of an equivalent electric circuit. The theoretical results reveal that acoustic radiation power of the transducer depends on the mutual coupling effects.

기호설명

a = 진동체의 한변의 길이
d = 진동체 배열 거리
 $i = \sqrt{-1}$ 혹은 요소번호(element number)
 I_A = 공기중에서 진동체 전체에 흐르는 전류
 I_{A_i} = 공기중에서 i번째 진동체에 흐르는 전류
 I_W = 수중에서 진동체 전체에 흐르는 전류
 I_{W_i} = 수중에서 i번째 진동체에 흐르는 전류
 $j = \sqrt{-1}$ 혹은 요소번호(element number)
k = 파수(wave number)
ka = 무차원 변의 길이
kd = 무차원 배열 거리
N = 진동체 갯수

P_{R_i} = i번째 진동체의 방사 전력(power)
 $R_{R_i} (= \text{Re}(Z_{R_i}))$ = i번째 진동체의 방사 저항(resistance)
 V_A = 공기중에서 진동체 전체에 인가된 전압
 V_{A_i} = i번째 진동체의 공기중 임피던스 전압
 V_{R_i} = i번째 진동체의 방사 임피던스 전압
 V_{RR_i} = i번째 진동체의 방사 저항 전압
 V_{RX_i} = i번째 진동체의 방사 리액턴스 전압
 $V_W (= V_{W_i})$ = 수중에서 진동체에 인가된 전압
 X_{R_i} = i번째 진동체의 방사 리액턴스(reactance)
 Y_i = 어드미턴스(admittance) 행렬 요소
 Z_{A_i} = i번째 진동체의 공기중(in air) 임피던스
 Z_{ii} = i번째 진동체의 자기 방사 임피던스
 $Z_{ij} (= Z_{ji} + Z_{ii})$ = 방사 임피던스 행렬의 대각 요소
(diagonal element)
 $Z_{ij} (= Z_{ji})$ = i번째 진동체와 j번째 진동체 간의 상호 방사 임피던스

*국방과학연구소 음향센서연구실
접수일자: 1995년 10월 20일

- 3. 소나 시스템의 특성에 대한 측정, 진동체들의 상호 방사 임피던스
- 4. 소나 시스템의 총 방사 임피던스(total radiation impedance)

I. 서 론

소나에 이용하는 평면 배열형(planar array) 사각형 음향 트랜스듀서(acoustic transducer)의 방사특성을 규명하기 위하여 빔 형성(beam pattern)을 통한 성능예측이 일반적인 접근방법이다. 이러한 빔 형성은 트랜스듀서 진동체에서 발생하는 방사 출력(radiation power)이 관련이다. 왜냐하면 음의 방사 세기는 결국 진동체에 걸리는 진동 및 전압에 비례하여 증가하며 이것은 빔의 주엽(main lobe)의 크기 및 모양(shape)을 결정하는데 직접적인 영향을 미치기 때문이다. 따라서 방사 출력의 추측은 전기적 등가회로 기법을 이용하여 계산하는 것이 타당하다. 또한 방사 출력을 예측하기 위하여 트랜스듀서 자체에서 방사되는 임피던스 즉, 자기 방사 임피던스(self radiation impedance) 및 트랜스듀서 상호간의 유상 간섭 효과(mutual coupling effect)으로 인한 상호 방사 임피던스(mutual radiation impedance)의 계산은 필수적이다. Lee(1995) 등은 평면 배열형 사각형 음향 트랜스듀서의 자기 및 상호 방사 임피던스를 기하학적인 관계를 이용한 적분식으로 표시하여 이를 수치해석하여 방사 임피던스의 양을 제시하였다.

수중에서 사각형 진동체 표면에서의 방사 출력의 예측에 관해서는 아직까지 발표된 논문들이 많지 않은 것으로 보인다. 다만 Gilbert(1960)는 실험을 통하여 진동체의 총 방사 임피던스를 측정하였고 Porter(1964)는 유연한 원판(flexural disk)의 근접장 유압을 계산하고 자기방사 및 상호방사의 표현식을 무한급수 전개법 이용하여 표현하였으나 빔 형태는 보이지 않았다. 그러나 Audoly(1991)는 소나 트랜스듀서 배열에서 원형(circular) 진동체의 상호 거리에 따른 빔 형태의 영향을 Helmholtz 적분 방정식을 이용하여 보였다.

본 논문에서는 무한 배플에 견고하게 고정된 9개의 평면 배열형 음향 진동체를 모델로 설정하였다. 각 진동체의 진동특성은 동일하며 음향의 역방사는 없다고 가정하였다. 개별 진동체에서의 음향 방사량은 자기 방사 및 상호 방사의 조합으로 표현이 되며 전기적 등가회로 기법을 이용하여 진동체 상호간의 유상 간섭 영향을 고려한 음향 트랜스듀서 진동체의 방사 출력을 추출하였다. 따라서 방사 출력의 계산은 트랜스듀서의 성능 및 효율을 예측하는데 그 응용이 가능하다고 본다.

II. 상호 간섭으로 인한 방사 출력 추출 기법

소나 시스템의 핵심 부품인 수중 음향 트랜스듀서는

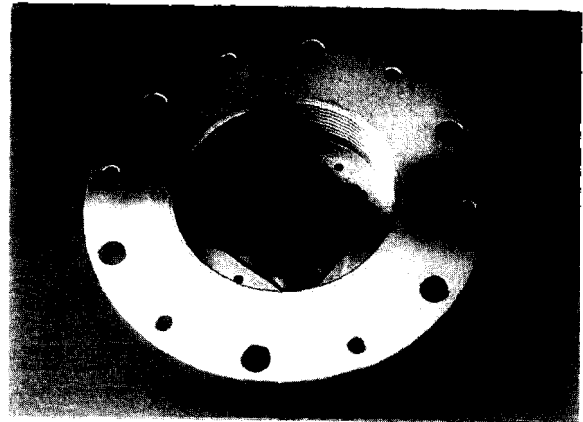


그림 1. 평면배열형 음향 트랜스듀서

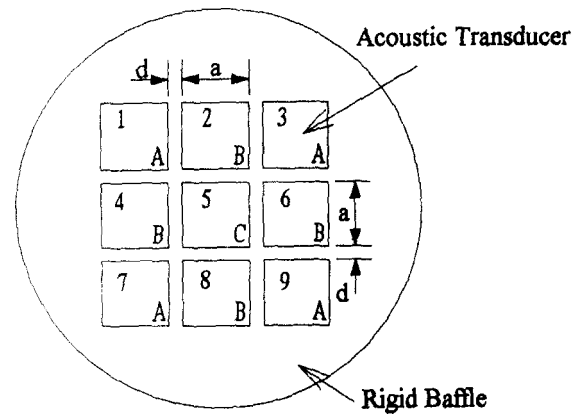
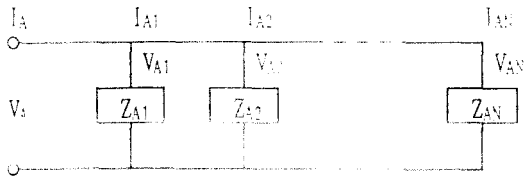


그림 2. 방사 출력 예측 해석 모델

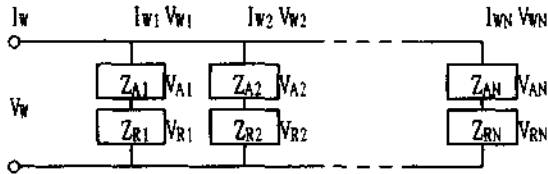
구조적으로 방사 전면추(radiating front mass), 압전소자(piezoelectric element) 및 타력 후면추(inertia tail mass)로 구성되어 있으며 전면추의 진동으로 인하여 음이 수중으로 방사 되는 원리 때문에 일반적으로 간단히 음향 진동체라고도 한다. 본 논문에서는 무한 배플에 견고하게 고정된 정사각형 진동체를 가진 9개의 음향 트랜스듀서를 모델로 설정 하였으며 실제 해석 모델 사진을 그림 1에 보였다. 그림 2는 평면 배열형 정사각형 음향 트랜스듀서의 상대위치 및 배열을 보인 것으로 이것은 일반적으로 소나 시스템에 흔히 쓰이는 배치로서 요구 출력, 크기제한 및 빔형상에 따라 여러가지 조합이 가능하다. 그림 2에서 a 및 d는 각각 정사각형 진동체의 한 변의 길이 및 배열거리를 나타낸다.

정사각형 음향센서 진동체의 총 방사임피던스(total radiation impedance), Z_{Ri} 는 자기방사임피던스와 상호 방사임피던스의 합으로 다음과 같이 표현된다.

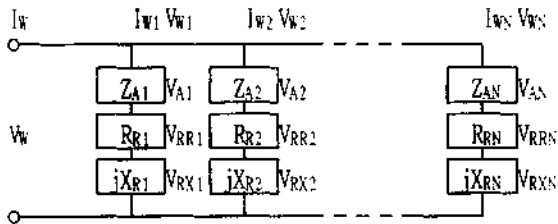
$$Z_{Ri} = \sum_{j=1}^N Z_{ij} \frac{I_j}{I_i} = Z_{i1} \frac{I_1}{I_i} + Z_{i2} \frac{I_2}{I_i} + \dots + Z_{iN} \frac{I_N}{I_i} \quad (1)$$



(a) 공기중에서 병렬 연결된 음향트랜스듀서의 등가회로



(b) 수중에서 병렬 연결된 음향트랜스듀서의 등가회로(1)



(c) 수중에서 병렬 연결된 음향트랜스듀서의 등가회로(2)

그림 3. 병렬 연결된 평면 배열형 음향트랜스듀서의 전기적 등가회로

여기서 N은 진동체의 개수, I_i 는 i번째 진동체에 발생하는 전류이며 방사 임피던스 Z_{ii} 는 $i=j$ 인 경우 자기 방사 임피던스가 되고, $i \neq j$ 인 경우 상호 방사 임피던스가 된다. 설정된 9개의 진동체 상호간의 위치는 그림 2에서와 같이 축대칭인 A, B 및 C의 3가지 경우(상호 간섭의 영향이 같은 위치)로 대별된다.

음향 진동체의 전기-기계 임피던스와 결합하여 방사 임피던스의 영향을 해석하기 위하여 그림 3의 병렬 연결된 진동체의 전기적 등가회로 기법을 도입하였다. 그림 3(a)는 공기중(in air)에서 병렬 연결된 진동체의 등가회로인데, Z_{ii} 는 공기중 임피던스이다. N개의 진동체가 동일한 임피던스 특성을 가질 경우 배열 전체에 인가되는 전압이 V_i 일때 각 진동체는 $V_i = V_{i1} = V_{i2} = \dots = V_{iN}$ 이고 전류 특성은 $I_i = I_{i1} + I_{i2} + \dots + I_{iN} = NI_{i1}$ 이 된다. 따라서 $V_i = Z_{ii} I_{i1}$ 이 성립한다. 그림 3(b)는 수중에서의 음향 방사물 고려한 각 진동체의 전기 등가회로이다. 공기중에서와 같이 진동체 배열 전체에 대해 인가되는 전압이 V_i 일때 $V_i = V_{i1} = V_{i2} = \dots = V_{iN}$ 및 $I_i = I_{i1} + I_{i2} + \dots + I_{iN}$ 이 성립한다. 따라서 $V_i = (Z_{ii} + Z_{Ri}) I_{i1}$ 의 식이 유도된다. 그림 3(c)와 같이 방사 임피던스를 실제 음향 방사 출력을 발생시키는 방사 저항과 음향 손실을 일으키는 방사 리액턴스의 항으로 분리하면

$V_i = (Z_{ii} + R_{Ri} + jX_{Ri}) I_{i1}$ 이 되며 i번째 진동체에 인가되는 전압은 방사 리액턴스의 영향에 의하여

$$V_i = (Z_{ii} + \sum_{j=1}^N Z_{ij}) I_{i1} \quad (i=1, 2, \dots, N) \text{ 이다}$$

으로 된다. 이것을 행렬식으로 표현하면

$$\begin{Bmatrix} V_{i1} \\ V_{i2} \\ \vdots \\ V_{iN} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{i1} + Z_{i1} & Z_{i2} & \dots & Z_{iN} \\ Z_{21} & Z_{22} + Z_{22} & \dots & Z_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{N1} & Z_{N2} & \dots & Z_{iN} + Z_{iN} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} I_{i1} \\ I_{i2} \\ \vdots \\ I_{iN} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

이 되고, 이때 식 (3)에서 임피던스 행렬의 역행렬을 취해 얻어진 어드미턴스 행렬(admittance matrix)을 이용하여, 진동체에 발생하는 전류에 대해 다시 쓰면

$$\begin{Bmatrix} I_{i1} \\ I_{i2} \\ \vdots \\ I_{iN} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1N} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{N1} & Y_{N2} & \dots & Y_{iN} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} V_{i1} \\ V_{i2} \\ \vdots \\ V_{iN} \end{Bmatrix}$$

$$= \begin{Bmatrix} Y_{11} + Y_{12} + \dots + Y_{1N} \\ Y_{21} + Y_{22} + \dots + Y_{2N} \\ \vdots \\ Y_{N1} + Y_{N2} + \dots + Y_{iN} \end{Bmatrix} V_i \quad (4)$$

가 되므로, 개별 진동체에 발생하는 전류, I_{i1} 는

$$I_{i1} = (Y_{ii} + \sum_{j=1}^N Y_{ij}) V_i, \quad j \neq i \quad (5)$$

으로 된다. 그런데 i번째 진동체에 인가되는 전압, V_i 는 $V_{i1} = V_i + V_{Ri} = Z_{Ri} I_{i1} + Z_{ii} I_{i1}$ 이 되므로 그림 3(b)의 방사 임피던스, Z_{Ri} 에서 소모되는 전압, V_{Ri} 은

$$V_{Ri} = Z_{Ri} I_{i1} = \sum_{j=1}^N Z_{Ri} I_{ij} \quad \text{or}$$

$$\begin{Bmatrix} V_{R1} \\ V_{R2} \\ \vdots \\ V_{RN} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{R1} & Z_{R2} & \dots & Z_{RN} \\ Z_{21} & Z_{R2} & \dots & Z_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{N1} & Z_{N2} & \dots & Z_{iN} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} I_{i1} \\ I_{i2} \\ \vdots \\ I_{iN} \end{Bmatrix} \quad (6)$$

을 얻는다. 따라서 식(5) 및 (6)를 사용하여 개별 진동체에 발생하는 전류 및 전압을 계산할 수 있으며 i번째 진동체의 총 방사 임피던스(total radiation impedance), $Z_{Ri} = V_{Ri}/I_{i1}$,으로 구해진다. 또한 음향 방사 출력을 발생시키는 i번째 진동체의 총 방사 저항, R_{Ri} 는 총 방사 임피던스, Z_{Ri} 의 실수부가 되어, 음향 방사 전압, V_{Ri} 는

$$V_{Ri} = \text{Re}(Z_{Ri}) I_{i1} = R_{Ri} I_{i1} \quad (7)$$

가 된다. 따라서 (1)번에 진동체의 음향 방사 출력, P_{k0} 는 각각의 진동체의 음향파 파울러 곱이 유도된다.

$$P_{k0} = \frac{1}{2} U_k I_k = R_k I_k^2 \quad (8)$$

이러한 방사 출력, P_{k0} 는 방사수 곱이나 실제 음향이 출력된다. 일률 P_{k0} 의 실수부(유효출력)만이 되고 허수부는 무효 출력이 된다. 따라서 P_{k0} 의 실수부만 취하여 방사 출력의 양으로 추출 하면 된다.

III. 방사 출력 예측 기법의 적용 및 평가

방사 출력을 정량적으로 예측하기 위하여 유도된 해석 기법을 실제 모델에 적용 하였다. 해석 대상으로 설정된 9개의 정사각형 진동체 개개의 공진 주파수 및 임피던스 특성은 동일 하다고 가정 하였다. 또한 그림 1의 트랜스 듀서는 무차원 변의 길이, $ka=3.137$, 무차원 배열거리, $kd=3.272$ 및 $d/a=1.043$ 인 특성을 가지고 있으며 해석 모델에 사용되는 트랜스듀서의 압전소자는 각각 수중에 서 1V의 전압($V_{11} = V_{11}$)이 인가 되어 진동체가 구동 된다고 가정 하였다. 수중 유향 방사로 인한 자기 방사 및 상호 방사 임피던스를 정량적으로 얻기 위하여 Lee (1995) 등의 결과를 이용하였고 이를 그림 4~6에 보였다. 그림 4는 방사 저항(resistance)과 방사 리액턴스(reactance)를 포함한 자기 방사 임피던스를 ka 의 함수로 나타낸 것인데, 설정된 모델의 경우 $ka=3.137$ 이므로 자기 방사 임피던스는 $918.3 \text{ N-sec/m} (= 768.5 + j502.7)$ 임을 얻을 수 있다. 그림 5는 $d/a=1.043$ 인 경우 음향센서 진동체간의 상호 방사 임피던스를 ka 의 함수로 나타낸 것이며 그림 6은 kd 에 따른 상호 방사 임피던스의 경향을 보인 것이다. 따라서 식 (1)을 이용하여 방사 임피던스의 양, Z_{kk} 를 구하려면 ka 및 kd 에 따른 좌표값을 그림 4~6에서 구하여 대입하면 된다. 그러므로 그림 1의 배열을 갖는 평면 배열형 사각형 음향센서에 대해, 식 (4) 및 (5)로 유도되는 각각의 진동체에 발생되는 전류를 구하기 위해서 개개의 진동체와 인접 진동체간의 자기 및 상호 방사 임피던스를 계산하면 표 1과 같다. 또, 전체 9개의 진동체에 대한 식 (3)의 총 임피던스는 9×9 의 행렬로 표시되며, 이것은 $Z_{ij} = Z_{ji}$ 의 특성에 따라 다음의 대칭행렬(symmetric matrix)로 다시 표현된다.

$$[Z_K] = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13}^R & Z_{14}^I & Z_{15}^Y & Z_{16}^O & Z_{17}^R & Z_{18}^O & Z_{19}^I \\ & Z_{11} & Z_{23}^R & Z_{21}^Y & Z_{25}^O & Z_{26}^Y & Z_{27}^R & Z_{28}^O & Z_{29}^I \\ & & Z_{33}^R & Z_{31}^Y & Z_{35}^O & Z_{36}^Y & Z_{37}^R & Z_{38}^O & Z_{39}^I \\ & & & Z_{41}^Y & Z_{45}^O & Z_{46}^Y & Z_{47}^R & Z_{48}^O & Z_{49}^I \\ & & & & Z_{55}^R & Z_{56}^Y & Z_{57}^R & Z_{58}^O & Z_{59}^I \\ & & & & & Z_{66}^R & Z_{65}^Y & Z_{68}^O & Z_{69}^I \\ & & & & & & Z_{77}^R & Z_{76}^Y & Z_{79}^I \\ & & & & & & & Z_{88}^R & Z_{89}^I \\ & & & & & & & & Z_{99}^R \end{bmatrix}$$

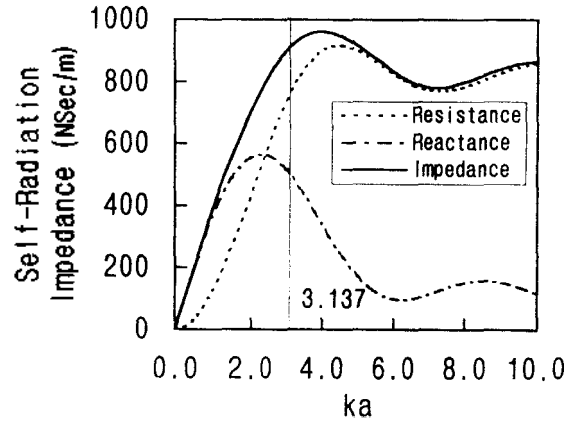


그림 4. 음향센서 진동체의 자기 방사 임피던스

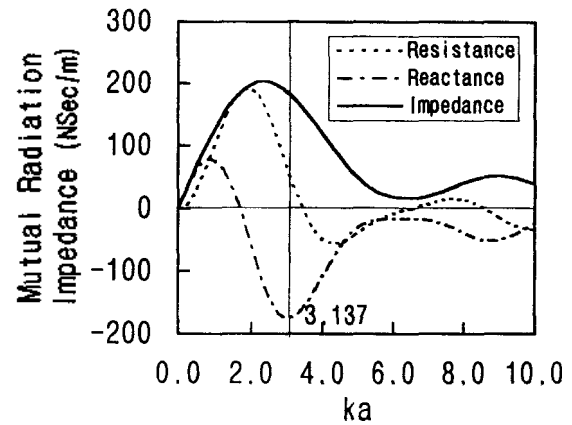


그림 5. ka 에 대한 평면 배열형 음향센서 진동체의 상호 방사 임피던스 ($d/a=1.043$)

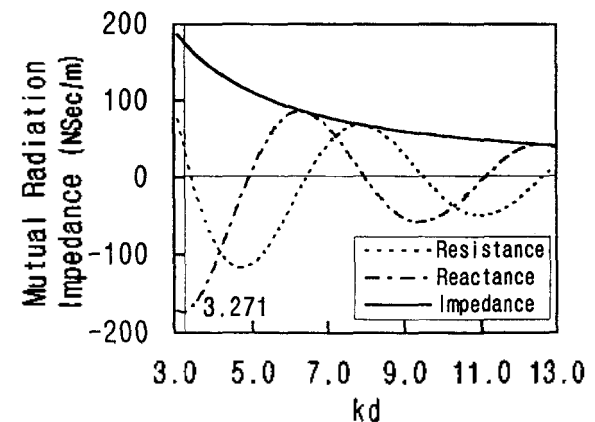


그림 6. kd 에 대한 평면 배열형 음향센서 진동체의 상호 방사 임피던스 ($ka=3.137$)

여기서 대각 요소(diagonal element)인 Z_{ii} 는 $Z_{ii} = Z_{i1} + Z_{i2}$ 를 나타내며, Z_{ij} 위첨자(superscript)인 $\alpha(1 \leftrightarrow 2, 1 \leftrightarrow 4), \beta(1 \leftrightarrow 3, 1 \leftrightarrow 7), \gamma(1 \leftrightarrow 5), \delta(1 \leftrightarrow 6, 1 \leftrightarrow 8), \epsilon(1 \leftrightarrow 9)$ 각각 다른 진동체에서 간섭 현상을 일으키는 상대 진동체 각각의 위치에 따라 붙임 어휘이다. 행렬 $[Z_{ik}]$ 의 요소(element)에서 아래 첨자에 상관 없이 위 첨자가 같으면 두 진동체의 거리가 같고 이것은 상호 간섭 임피던스가 같음을 의미한다. 또한 아래 첨자(subscript)는 상호 간섭이 일어나는 두 진동체의 번호를 표시한 것이다.

공기중에서의 임피던스, Z_{ik} 의 특성을 얻기 위하여 실제 제작된 트랜스듀서를 사용하여 계측 하였다. 임피던스 측정기(impedance analyzer, HP4194A)에 의해 측정된 진동체의 공기중에서의 임피던스, Z_{ii} 는 저항, $R = 4510 \text{ N}\cdot\text{sec/m}$, 리액턴스, $X = -1430 \text{ N}\cdot\text{sec/m}$ 및 임피던스, $Z_{ii} = 4730 \text{ N}\cdot\text{sec/m}$ 로 계측 되었다. 따라서 그림 4~6 및 Z_{ii} 의 값을 이용하여 임피던스 행렬의 요소값을 표 1과 같이 구하였다.

방사 출력을 얻기 위하여 표 1에 표시된 요소값을 식 (9)에 대입하여 방사 임피던스 행렬식 (6)을 얻고 여기서 어드미턴스 행렬을 구한다. 식 (5) 및 (6)을 이용하여 각각의 진동체에 인가된 전류 및 전압을 구하고 식 (7) 및 (8)을 사용하여 각각의 진동체에 대한 총 방사 임피던스와 방사 출력을 산출하여 그 결과를 표 2에 보였다. 표

표 1. 방사 임피던스 행렬, $[Z_{ik}]$ 요소값

Radiation Matrix Elements	Impedance (resistance + reactance)
Z_{ii}^{α}	$7.6849 + 5.0269 i$
$Z_{ij}^{\alpha} (= Z_{ji}^{\alpha}, i \neq j)$	$0.4470 - 1.7408 i$
$Z_{ij}^{\beta} (= Z_{ji}^{\beta}, i \neq j)$	$0.0659 + 0.8394 i$
$Z_{ij}^{\gamma} (= Z_{ji}^{\gamma}, i \neq j)$	$-1.1104 - 0.3281 i$
$Z_{ij}^{\delta} (= Z_{ji}^{\delta}, i \neq j)$	$0.5839 + 0.4654 i$
$Z_{ij}^{\epsilon} (= Z_{ji}^{\epsilon}, i \neq j)$	$0.1524 - 0.5783 i$

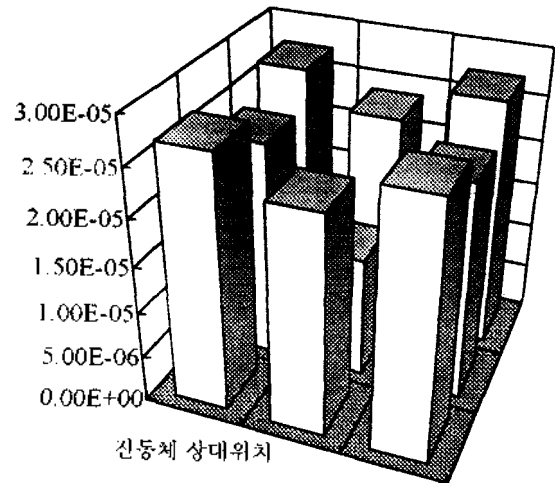


그림 7. 상대 위치에 따른 개별 진동체의 수중 음향 방사 출력 (단위 : Watt)

2는 9개의 진동체에 발생하는 총 방사 임피던스, 음향 방사 출력 및 방사 출력의 실수부분을 정규화한 값을 보인 것이다.

그림 7은 표 2의 방사 출력의 실수성분만을 위하여 개별 진동체가 수중에서 방사 할 수 있는 출력을 예측 하였다. 표 2 및 그림 7에서와 같이 5번째 진동체의 방사 출력이 다른 위치의 진동체에 비해 상대적으로 가장 작게 나타남을 알 수 있다. 이는 5번(C type) 위치의 진동체가 평면 배열상에서 중심에 위치하여, 즉 주변의 진동체들이 상대적으로 근접한 위치에 존재하여 상호 간섭에 의한 방사 임피던스가 중첩되기 때문이다. 또한 2, 4, 6 및 8번(B type) 진동체와 1, 3, 7 및 9번(A type) 진동체의 방사 출력이 각각 동일함을 볼 수 있다. 방사 출력은 $A > B > C$ 의 경우로 감소함을 알 수 있었다.

만약 상호 간섭 현상이 없는 경우에는 음향 센서 진동체들이 서로 동일한 자기 방사 임피던스만을 가지게 된다. 이때 전기적 등가회로에서 진동체가 직렬 연결되어 있는 경우 진동체의 양단에서 동일한 전류가 발생하여 방사 출력은 전압의 비에 의해서 표현된다. 또한 병렬 연

표 2. 평면 배열형 진동체에서의 총 방사 임피던스

Transducer No. No. (Type)	Total Radiation Impedance	Acoustic Radiation Power (ARP)	Normalization of Re(ARP)
1(A)	$905.28 + 316.81 i$	$0.2722\text{E-}4 + 0.1168\text{E-}4 i$	1.0000
2(B)	$807.55 + 80.61 i$	$0.2358\text{E-}4 + 0.1279\text{E-}4 i$	0.8665
3(A)	$905.28 + 316.81 i$	$0.2722\text{E-}4 + 0.1168\text{E-}4 i$	1.0000
4(B)	$807.55 + 80.61 i$	$0.2358\text{E-}4 + 0.1279\text{E-}4 i$	0.8665
5(C)	$454.61 - 245.43 i$	$0.1317\text{E-}4 + 0.1003\text{E-}4 i$	0.4840
6(B)	$807.55 + 80.61 i$	$0.2358\text{E-}4 + 0.1279\text{E-}4 i$	0.8665
7(A)	$905.28 + 316.81 i$	$0.2722\text{E-}4 + 0.1168\text{E-}4 i$	1.0000
8(B)	$807.55 + 80.61 i$	$0.2358\text{E-}4 + 0.1279\text{E-}4 i$	0.8665
9(A)	$905.28 + 316.81 i$	$0.2722\text{E-}4 + 0.1168\text{E-}4 i$	1.0000

고양이 같은 경우에는 진동체의 양단에서 동일한 진압이 발생하여 방사 출력을 진류의 비에 의해 식 표현된다. 그러나 이때의 진압과 진류의 비는 모든 진동체에서 서로 균일하지 않게 되므로 같은 방사 출력을 갖게 된다. 그러나 상호 간섭 현상이 발생되어 유한원자 진동체들이 각각의 배열 배열 위치마다 서로 다른 상호 방사 임피던스를 가지게 되면, 상호 방사 임피던스의 영향으로 인해 이 전체 각각의 진동체에서의 총 방사 임피던스가 달라지게 된다. 또 진동체의 양단에서 발생하는 전압과 전류도 서로 다르게 나타나며, 이로 인해 각각의 진동체에서의 방사 출력이 달라져 그림 7과 같이 나타나게 된다. 따라서 평면 배열형 유향센서의 경우에 진동체간의 상호 간섭 현상이 심하게 발생되면 소나의 출력이 급격히 변하여 요구 성능을 만족시킬 수 없음을 알 수 있다.

IV. 결 론

소나 시스템(sonar system)에 주로 사용이 되는 평면 배열형 유향 트랜스듀서는 수중에서 음을 방사하여 빔 (beam)을 형성하게 된다. 이러한 빔은 트랜스듀서 진동체에서 발생하는 방사 출력이 근원이다. 따라서 본 논문에서는 무한 배열에 견고하게 고정된 9개의 평면 배열형 유향 진동체를 모델로 설정하였다. 개별 진동체에서의 유향 방사량은 자기방사 및 상호방사의 조합으로 표현이 되며 전기적 등가회로 기법을 이용하여 진동체 상호간의 유향 간섭 영향을 고려한 개별 진동체의 방사 출력 예측 기법을 제시 하였다. 또한 제시된 예측 기법을 이용하여 평면 배열된 9개 진동체의 방사 출력을 계산 하였으며 유향 상호간섭의 영향이 많을수록 방사 출력이 감소함을 알 수 있었다.

유향 상호간섭의 영향을 고려한 방사 출력의 예측은 궁극적으로 소나 시스템에서 자주 일어나는 트랜스듀서 배열의 문제(유향 상호간섭 영향을 최소화 시켜 출력 증대)를 푸는데 그 응용성이 높다고 본다.

참 고 문 헌

1. Audoly, C., 1991, "Some Aspects of Acoustic Interactions in Sonar Transducers Arrays," *The Journal of the Acoustical Society of America* 89(3), pp. 1428-1433.
2. Gilbert, L. A., 1960, "Measurements of the Total Acoustic Radiation Impedances of Rigid Pistons in an Array," *Nature*, Vol. 186, pp. 144-146.
3. Lee, J. and Seo, I., 1995, "An Investigation of Self-Radiation Impedance of a Square Piston using an Integral Equation in the Rigid Infinite Baffle," *The Journal of the Acoustical Society of Korea* Vol. 14, No. 5.
4. Lee, J. and Seo, I., 1995, "Mutual Radiation Impedance in a Plane Array Acoustic Transducer," *The Journal of the Acoustical Society of Korea*, Vol. 14, No. 6.

5. Porter, D. T., 1964, "Self and Mutual-Radiation Impedance and Beam Patterns for Flexural Disks in a Rigid Plane," *The Journal of the Acoustical Society of America* 36(6), pp. 1154-1161.
6. Richards, R. T., Blottman III, J. B., and McTaggart, B., 1991, "Physics of Array Element Interaction Phenomena," *Power Transducers for Sonics and Ultrasonics*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 86-108.
7. Rusby, J. S. M., 1964, "Investigation of a Mutual Radiation Impedance Anomaly between Sound Projectors Mounted in an Array," *Acustica*, Vol. 14, No. 3, pp. 127-137.
8. Sherman, C. H., 1966, "Analysis of Acoustic Interactions in Transducer Arrays," *Transactions on Sonics and Ultrasonics*, Vol. SU-13, No. 1, pp. 9-15.
9. Wang, Wei-Ming, 1972, "Mutual Coupling through Radiation between Transducer Elements in an Infinite Array," *IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics*, Vol. SU-19, No. 1, pp. 28-31.

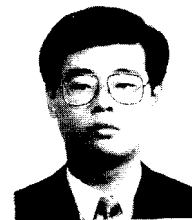
▲李 鍾 吉 (Jongkil Lee) 1962년 2월 23일생



1984년 2월 : 부산대학교 기계설계학과(B.S.)
 1990년 12월 : University of Utah, Mechanical Engineering, (M.S.)
 1993년 8월 : University of Utah, Mechanical Engineering, (Ph.D.)

1995년 1월 : 소음진동기술사(P.E.)
 1984년 3월~1989년 8월 : 국방과학연구소 연구원
 1994년 4월~1994년 12월 : 현대중공업(주) 진동소음연구실 선임연구원
 1995년 1월~현재 : 국방과학연구소 음향센서연구실 선임연구원

▲徐 寅 彰 (Inchang Seo) 1966년 3월 6일생



1988년 2월 : 한양대학교 물리학과 (학사)
 1990년 2월 : 한양대학교 물리학과 (석사)
 1990년 3월~현재 : 국방과학연구소 음향센서연구실 연구원