

수중실험을 통한 원통구조물의 3차원 수중방사소음 패턴 산출기법 분석

A Analysis on the Estimation Method of the 3D Underwater Radiation Noise Pattern of Cylindrical Structure with the Underwater Experiments

이 종 주* · 강 명 환* · 한 승 진* · 정 현 주* · 오 준 석* · 배 수 룡* ·
정 우 진† · 서 영 수*

Jongju Yi, Myunghwan Kang, Seungjin Han, Hyunjoo Jeong, Junseok Oh, Sooryong Bae,
Woojin Jung and Young Soo Seo

(Received October 10, 2014 ; Revised November 11, 2014 ; Accepted November 11, 2014)

Key Words : Underwater Far-field Prediction(수중 원음장 예측), Velocity Cross-spectrum(속도 상호스펙트럼)

ABSTRACT

In this study for the prediction of 3D underwater radiated noise pattern, a comparison between the proposed method(DHIE, Discrete Helmholtz Integral Equation) and the 3D underwater radiated noise calculation results using the measurement of near-field acoustic pressure data is performed. The near-field acoustic pressure in water is measured for the calculation of the far-field radiated noise pattern and the far-field acoustic power. Also the vibration field of the underwater structure is measured in simultaneously. Using the total far-field acoustic power and the vibration field on the surface of the structure, the proposed method(DHIE) can predict the underwater radiated noise pattern of the far-field. The predicted results show the reasonable agreement within about 5dB comparing with the experiment result.

1. 서 론

선진각국은 함정 생존성을 향상시키기 위하여, 함정에서 발생하는 수중방사소음을 감소시키는 연구를 지속적으로 수행하는 것으로 알려져 있다. 함정에서 발생하는 수중방사소음을 감소시키고, 작전환경에서 효율적인 함정운용을 위해서는 함정에서 발생하는 수중방사소음 수준을 파악하는 것이 필요하다.

기존의 수중 방사소음 해석은 방사효율을 이용한 원음장 예측 연구위주로 수행되었다⁽¹⁻⁵⁾. 방사효율을 이용한 원음장 예측은 수중 소음원을 하나의 점음원으로 간주하고 모든 방향으로 동일한 음압이 된다는 전제로 수행되는 방법이다. 그러나 실제 환경에서는 모든 방향으로 음압이 동일하지 않으므로 방향별로 수중방사소음을 산출할 필요가 있으며, 기존의 방사효율법을 이용한 수중방사소음 산출방법은 모든 방향으로 동일한 음압을 나타내므로 방향별 수중방사소음인 3차원 방사소음 패턴을 산출하는데 많은 어

† Corresponding Author ; Member, Agency for Defense Development
E-mail : wjung@add.re.kr
Tel : +82-55-540-6410, Fax : +82-55-542-3737
* Member, Agency for Defense Development

‡ Recommended by Editor Don Chool Lee

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

려움이 있다.

이 논문에서는 방향별 수중방사소음인 3차원 수중방사소음 패턴 산출기법의 적용가능성을 확인하기 위하여 수중구조물과 근접음장 홀로그래피를 이용한 수중 근접음장 계측실험을 통한 방향별 수중방사소음 패턴을 산출하였으며, 실험적으로 구한 수중방사소음 패턴 산출결과들을 이산화 헬름홀츠 적분방정식을 이용한 DHIE(discrete Helmholtz integral equation) 기법⁽⁶⁻⁸⁾을 바탕으로 하는 3차원 수중방사소음 패턴 예측결과들과 비교하여 3차원 수중방사소음 패턴 산출기법의 타당성을 분석하였다.

2. 수중 근접음장 측정 시스템

2.1 수중물수체

수중 근접음장 계측 대상이 되는 수중물수체 내부 및 외부 개념도를 Fig. 1에 나타내었다. 수중물수체는 직경 1.35 m, 길이 4 m이며, 수중물수체 몸체 강판 두께는 8 mm이다. 양쪽 해치의 두께는 100 mm이다. 이와는 별도로 수중물수체 내부에 설치된 가진기의 발생 소음이 수중물수체 밖으로 유출되는 것을 막기 위하여, 마른 모래를 양쪽 해치에 두께 100 mm로 설치하였다. 수중물수체는 수중함을 모사하기 위하여 9개 T형상 보강재가 설치되어 있다.

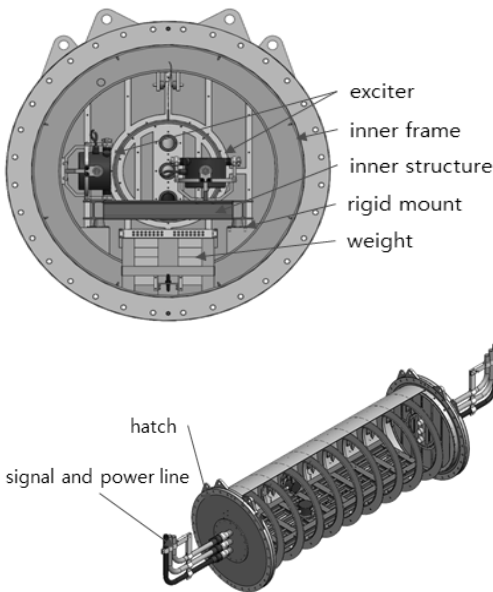


Fig. 1 The structure for experiment in underwater

수중물수체 내부에 받침대 구조물(inner structure)을 설치하였다. 받침대 구조물과 수중물수체가 연결되는 부분에 강체마운트 6개를 설치하였고, 받침대 구조물 상부에 가진기 2대를 설치하여 가진원으로 이용하였으며, 각 가진기에 임피던스 헤드를 설치하였다.

또한, 표면진동장 계측을 위하여 총 64개 가속도센서를 수중물수체 몸체 내부 표면에 설치하였다. 수중 근접음장 계측은 이동하여 계측하는 방식이기 때문에 하이드로폰 기준신호용 가속도센서 2개를 가진기 인근에 각각 설치하였다. 또한 가진기 작동시 발생하는 내부음을 확인하기 위하여 마이크로폰 2개를 설치하였다.

수중 부력과 무게중심을 조정하기 위하여 더미웨이트(dummy weight)를 내부구조물 하부에 설치하였으며, 수중물수체의 총 중량은 약 6 ton이고, 수중음 성부력은 약 300 kg이다. 수중근접음장 계측시험에 사용된 센서는 Table 1과 같으며, 가속도센서 설치 위치는 Table 2에 언급하였다.

2.2 수중 근접음장 측정 시스템 구성

수중 근접음장 측정용 시험시스템은 크게 수중물

Table 1 The measurement sensor

Sensor	Number	Unit
Impedence head	2	N, m/s ²
Acceleration	64	m/s ²
Hydrophone	16	Pa
Ref. sensor	2	m/s ²
Microphone	2	Pa

Table 2 The position of acceleration sensors

Acc number	X(m)	Theta(Deg.)
1~8	0.6	337.5/292.5 247.5/202.5 157.5/112.5 67.5/22.5
9~16	1.0	
17~24	1.4	
25~32	1.8	
33~40	2.2	
41~48	2.6	
49~56	3.0	
57~64	3.4	

수체, 하이드로폰 어레이, 상부구조물 및 계측시스템으로 구성되며, 수중 근접음장 측정용 하이드로폰 어레이를 Fig. 2와 같이 설계/제작하여 Fig. 2의 (b)에 나타낸 바와 같이 시계반대방향 측정면(CCW : counter clock wise)과 시계방향 측정면(CW : clock wise)으로 구분하여 계측하였다. 하이드로폰 어레이는 1번 하이드로폰이 Z축 기준으로 30°에 설치되어 있고, 10° 간격으로 하이드로폰을 총 16개를 설치하였다. 따라서 시계방향 측정시에는 330°까지 측정하게 된다.

수중물수체 표면에서 하이드로폰 어레이까지의 거리는 0.5 m이다. 하이드로폰 어레이는 수중물수체 축방향(X방향)으로 0.2 m씩 상부구조물에 설치된 레일을 따라 이동하며, 서보모터에 의한 위치 제어가

가능하다. 수중물수체의 양 막음판에서 발생하는 음압을 고려하기 위하여 양 막음판에서 바깥방향으로 0.4 m씩 축방향 계측을 실시하여 총 이동계측길이는 4.8 m이다.

수중 근접음장 측정을 위한 시험 시스템 설치도를 Fig. 3에 나타내었다. 수중물수체와 하이드로폰 어레이등을 지지하고 있는 상부구조물은 음향수조 내 브릿지에 설치되며 수중물수체는 상부구조물과 스틸와이어로 연결시켰으며, 수중물수체 경계조건이 free-free 조건이 되도록 하였다.

수중물수체는 수중물수체 중심이 수심 5 m에 설치하였다. 수중물수체에 대한 수중근접음장 계측 및

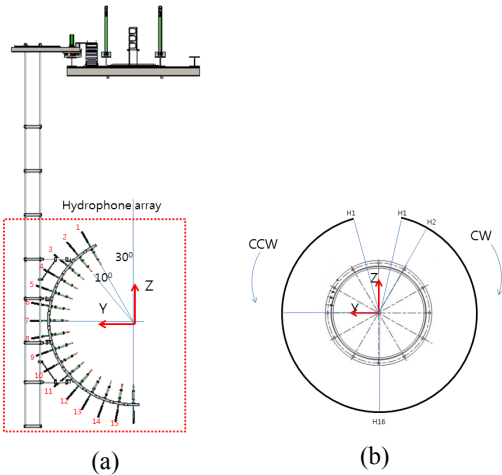


Fig. 2 The hydrophone array(a) and direction of measurement surface(b)

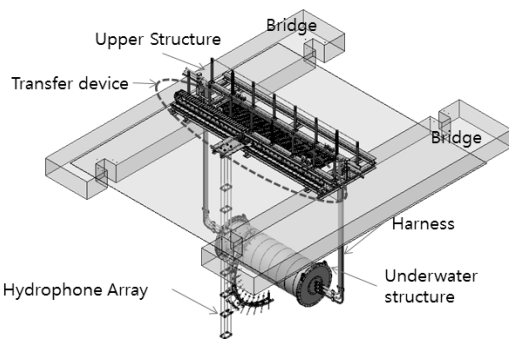


Fig. 3 The set-up of the measurement system of the near-field acoustic pressure in underwater

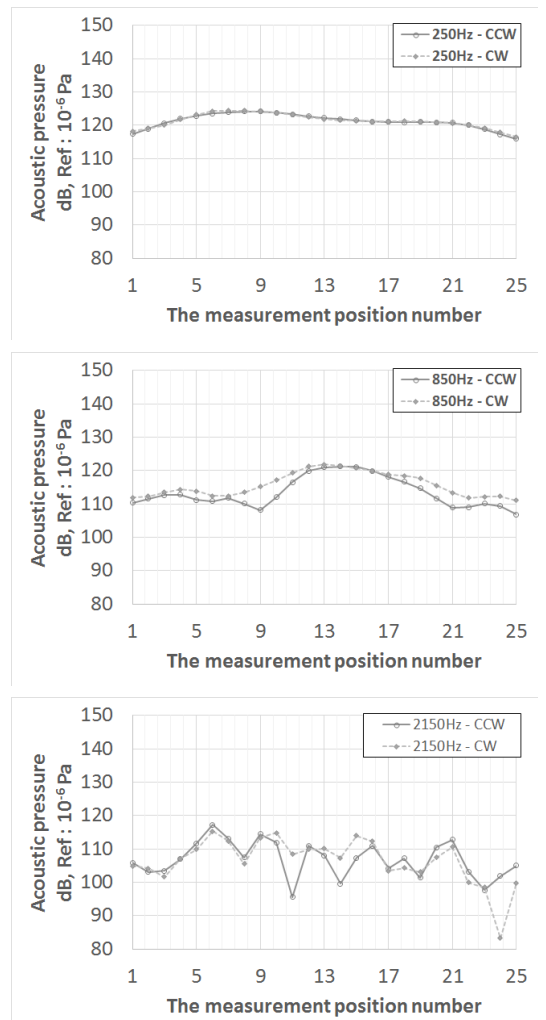


Fig. 4 The comparison of the 16th hydrophone measurement results between CCW and CW

원음장 예측은 ACOEM社에서 개발한 근접음장 계측 전용 프로그램(dBvision 5.51)⁽⁹⁾을 이용하여 수행하였다.

수중물수체의 전체 근접음장 계측을 위하여 수중물수체가 수중에 고정된 상태에서 하이드로폰 어레이를 반대방향으로 회전시켜서 측정 한 후 두 개 측정면의 계측결과를 합성하여 전체 계측결과로 이용하였다. 이때 16번 하이드로폰은 양 측정면에서 동일한 위치이다. 수중 근접음장은 25회 이동, CCW, CW 31개 계측지점으로 총 775지점에 대한 수중근접음장을 계측하였고, 계측영역은 30°~330° 사이에서 수행되었다.

CCW와 CW 계측 시 동일한 위치에 설치되는 16번 하이드로폰에서의 수중 근접음장 계측 결과를 Fig. 4에 수록하였다. 250 Hz에서는 CCW, CW의 계측결과가 거의 비슷한 수준이나 주파수가 증가할수록 2150 Hz의 24번 계측지점처럼 최대 20 dB수준의 차이를 보이고 있다. 그러나 계측값이 차이가 나는 지역은 16번 센서의 다른 계측지점에 비해 낮은 음압수준을 보이기 때문에 원음장 예측시 큰 오차가 발생하지 않을 것으로 판단된다. 근접음장 계측데이터를 이용한 원음장 산출시 16번 하이드로폰 계측데이터는 CCW 계측 데이터를 사용하였다.

2.3 가진(Excitation) 설정

수중 근접음장 측정시 수중물수체에 인가하는 가진신호는 사인파(sine wave)이며, 가진주파수들은 가진주파수 조화성분, 진원노이즈 및 근접음장 계측 장비의 계측성능을 고려하여 저주파수 대역 그룹과 고주파수 대역 그룹으로 나누어 10개 주파수를 선정하였다. 저주파수 대역 그룹은 250, 450, 650, 850, 1250 Hz이며 고주파수 대역 그룹은 1550,

1750, 1950, 2150, 2450 Hz이다.

수중물수체에 대한 가진은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 수중물수체 내부에 설치된 내부 구조물에 가진하는 경우(가진점 : 1번~8번)만 고려하였다. 이는 수중물수체 벽면가진시 내부구조물 가진 영향이 표면진동장에 전혀 나타나지 않았음을 사전 확인하였기 때문이다.

가진지점은 Table 3에 정리된 것과 같이 3가지 case로 하였다. 각 case는 가진기 2대가 동시에 작동하고, 각 가진기별 가진력을 달리하는 set로 나누었다. 이때 가진주파수와 가진력은 임피던스 헤드를 이용하여 계측하였다.

Fig. 6은 임피던스헤드에서 측정된 주파수별 가진력이다. 가진력은 가진기앰프에서 동일한 출력이 가진기에 공급했지만, 가진기가 설치된 위치의 임피던스에 따라 진동수준이 주파수마다 크기 편차가 컸다. 따라서, 가진주파수별 출력을 달리하였고, 표면진동장 진동수준이 주파수별로 약 60~80 dB(Ref : 10 μm/s²) 수준이 되도록 가진주파수별 출력을 다르게 하였다.

2.4 표면진동장을 고려한 수중 근접음장 측정

수중물수체의 CCW, CW 방향 계측을 위하여 하이드로폰 어레이를 회전시킴에 따라 동일한 가진력 조건에서 수중물수체 표면진동장이 서로 달라지는 현상이 발생하였다.

이를 고려하여 수중물수체의 CCW, CW 계측면 변경 시 각 가속도센서의 계측결과가 CCW, CW 측정시 유사한 수준인지를 확인하고, 만약 CCW,

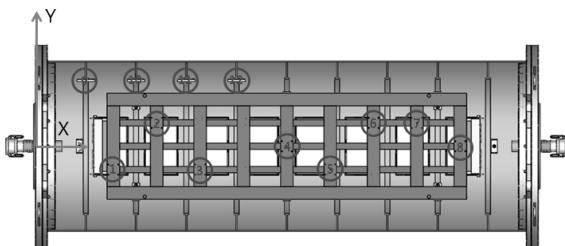


Fig. 5 The exciter position of the supporting structure inside the cylindrical structure

Table 3 The excitation configuration

Case	Set	Position	
		Exciter1	Exciter2
C1	S1	3	4
	S2		
	S3		
C2	S1	2	7
	S2		
	S3		
C3	S1	5	6
	S2		
	S3		

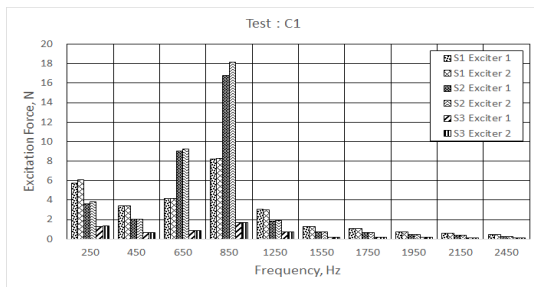
CW의 표면진동장 계측결과가 상이할 경우, 시험시스템을 재설치하는 등의 방법을 사용하여 CCW, CW 표면진동장이 비슷한 수준이 되도록 한 후 수중 근접음장을 측정하였다.

Fig. 7은 표면진동장 계측결과중 CCW, CW 계측 결과 일부를 나타낸 그래프이다. 가로축은 가속도센서 번호, 세로축은 진동수준을 나타낸다. 그래프가 겹쳐있어야 CCW, CW 수중 근접음장 계측시 동일한 표면진동장이 나타났다고 할 수 있다.

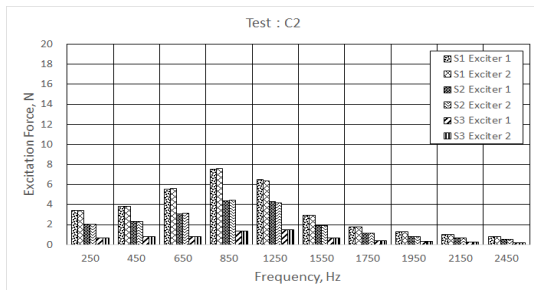
Fig. 7(c)의 6번센서 계측결과처럼 CCW, CW계측시 특정 센서에서 많은 차이를 보이지만, 다른 센서의 CCW, CW계측결과가 거의 일치하는 경우도 발생하였다. 특정 센서에서 계측 결과가 상이하게 계측

된 경우는 비슷한 진동수준을 보여주는 다른 가속도 센서에 비해 진동수준이 낮으므로 수중 근접음장 계측에 큰 영향이 없을 것으로 판단된다.

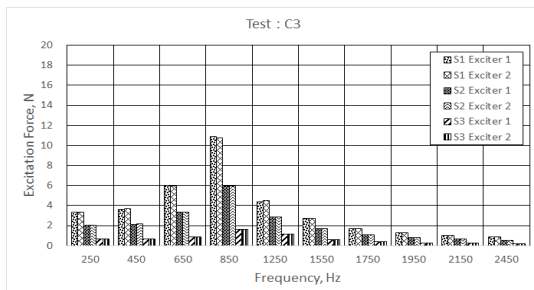
Table 3에 설정된 총 9개 시험조건에서 표면진동장의 CCW, CW 차이에 대한 평균값을 Fig. 8에 나



(a) C1

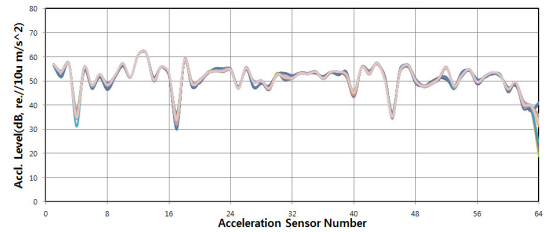


(b) C2

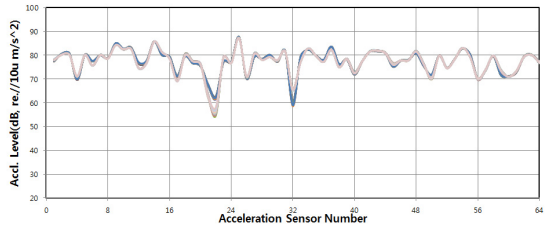


(c) C3

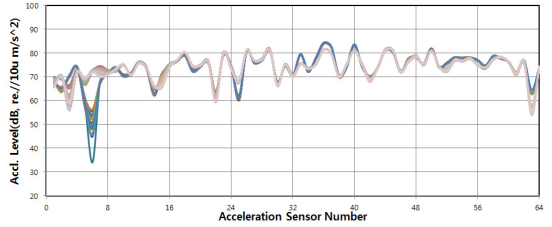
Fig. 6 The measurement of excitation forces



(a) 250 Hz



(b) 1250 Hz



(c) 2450 Hz

Fig. 7 The surface vibration measurement result: Case 1

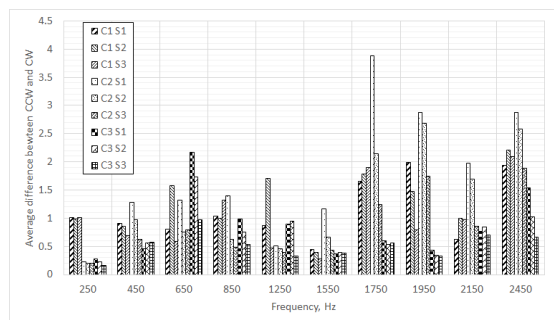


Fig. 8 The average difference of vibration field between the CCW and CW

타났다. 이 결과 1250 Hz까지는 최대 2.2 dB 수준의 계측결과 차이를 보이고 있으나, 고주파수로 갈수록 CCW, CW 표면진동장 계측결과 차이는 증가하는 것으로 나타났다.

3. 표면진동장을 이용한 원음장 예측

진동장을 이용한 원음장 예측과 관련하여 이 논문에서 적용한 DHIE 기법은 표면진동장 속도 상호 스펙트럼을 이용하여 수중방사소음패턴을 예측하고, 원음장 음향파위를 이용하여 수중방사소음패턴의 음압크기를 보정하는 기법이다. 자세한 유도과정은 참고문헌 8에 나와 있으며, 원음장 예측시 사용한 최종식은 식 (1)에 나와있다.

$$|p_{\infty}(r')|^2 \approx \frac{\rho_0^2 c_0^2 k^2}{16\pi^2} \sum_{i,j}^N \frac{\psi_{ij}}{R_i R_j} [Re(V_{ij}) \cos(k\delta_{ij}) - Im(V_{ij}) \sin(k\delta_{ij})] \sqrt{\sigma_i \sigma_j} \Delta S_i \Delta S_j \tag{1}$$

식 (1)에서 V_{ij} 는 i 번째 표면패치 진동속도와 j 번째 표면패치 진동속도간의 상호 스펙트럼이며, $\delta_{ij} = R_i - R_j$, $\psi_{ij} = 1 + \cos\beta_i + \cos\beta_j + \cos\beta_i \cos\beta_j$, 이다. $R_i, R_j, \beta_i, \beta_j$ 에 대한 정의는 Fig. 9와 같다.

식 (1)에서 사용된 표면패치 i, j 의 방사효율 σ_i, σ_j 를 구하기가 매우 어렵고, DHIE 기법에서 각 표면패치별 방사효율은 큰 의미가 없기 때문에 이 논문에서는 $\sigma_i = \sigma_j = 1$ 로 하였다. 원음장 산출을 위한 원음장 패치설정은 Fig. 10에 나타났다. 원음장 포인

트는 총 2522개이며, 반경은 100 m이다. 원음장 패치에 포함된 원음장 포인트의 음압과 면적을 고려한 음향파위를 도출하였다. 원음장 패치 음향파위는 해당 영역내에 있는 원음장 포인트의 음향파위를 합산하고 다시 원음장 패치 면적으로 나누어 원음장 패치 음압을 산출하였다. 이 논문에서 적용한 원음장 패치는 총 62개이다. 식 (2)는 원음장 k 번째 패치에 대하여 평면파 가정을 이용한 원음장 음향파위 산출식이다. 식 (2)의 \bar{P}_{peak} 는 식 (1)에서 도출된 원음장 음압이다.

$$\bar{W}_{DHIE,k} = \frac{1}{2} \int_S Re(pv_n^*) ds = \frac{1}{2} \int_S \frac{\bar{P}_{peak}^2}{\rho c} ds \tag{2}$$

한편 전체 원음장 음향파위는 원음장 패치별 음향파위를 모두 합한 값으로 아래와 같다.

$$\bar{W}_{total} = \sum_k \bar{W}_{DHIE,k} \tag{3}$$

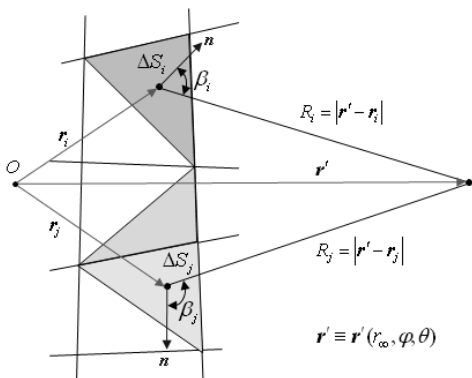


Fig. 9 The definition of surface patch and far field point

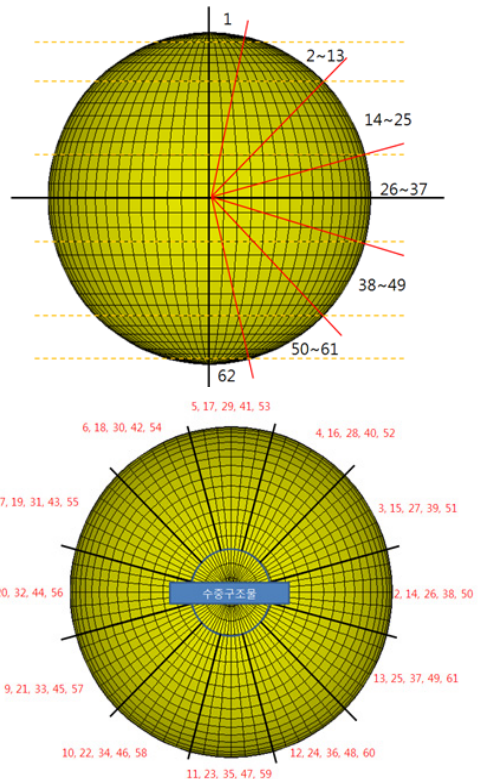
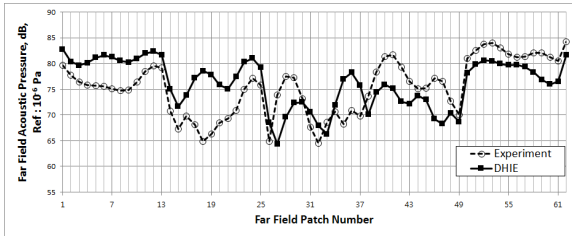
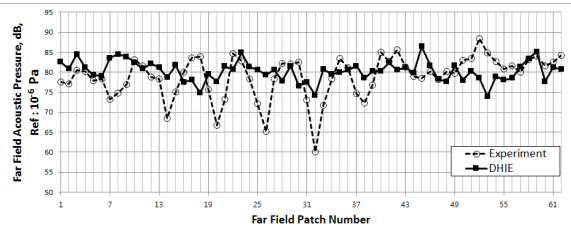


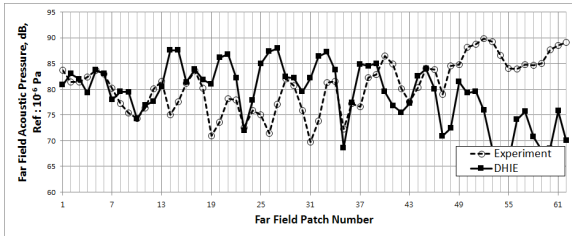
Fig. 10 The definition of the far field patch in order to estimate far field sound pressure



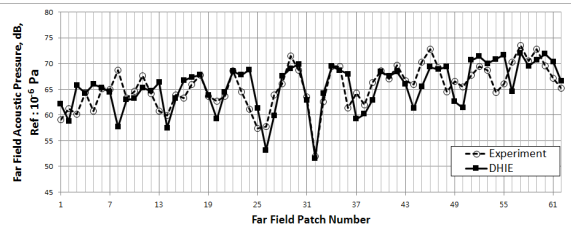
(a) 250 Hz



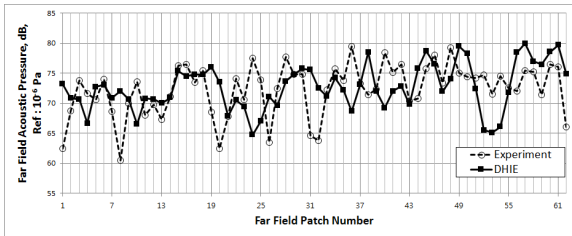
(f) 1550 Hz



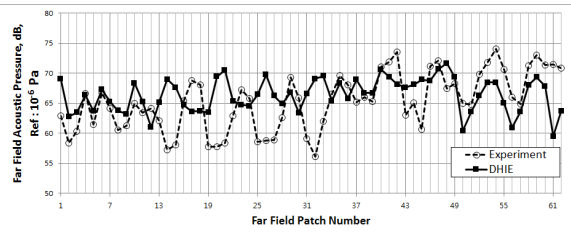
(b) 450 Hz



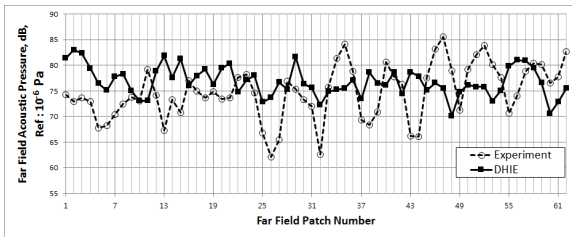
(g) 1750 Hz



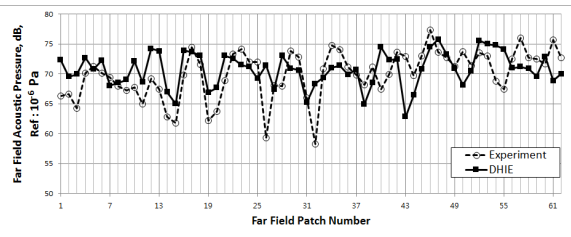
(c) 650 Hz



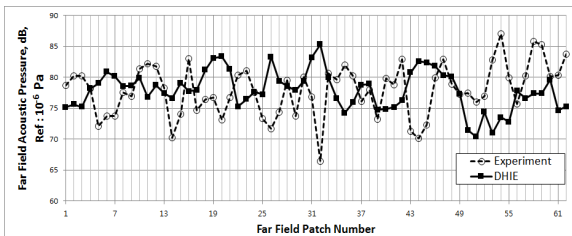
(h) 1950 Hz



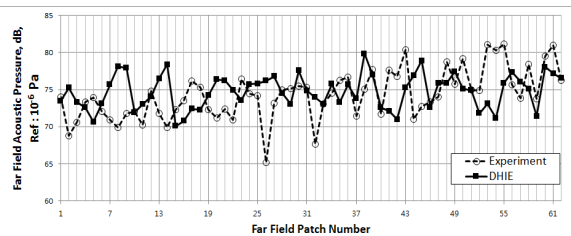
(d) 850 Hz



(i) 2150 Hz

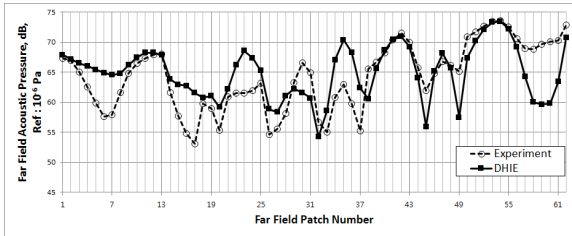


(e) 1250 Hz

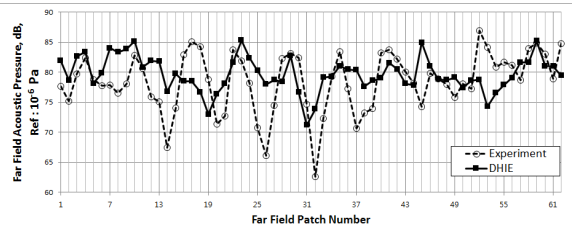


(j) 2450 Hz

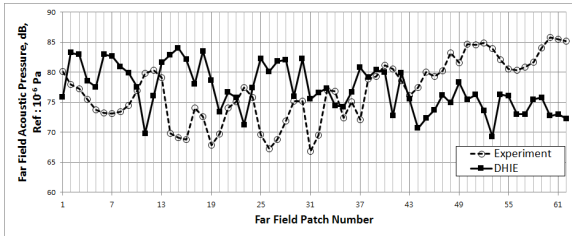
Fig. 11 The comparison of the experiment result and DHIE result for Case1, Set1 excitation



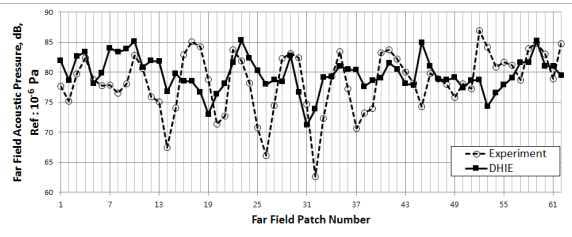
(a) 250 Hz



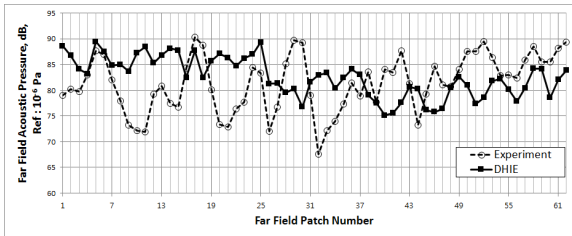
(f) 1550 Hz



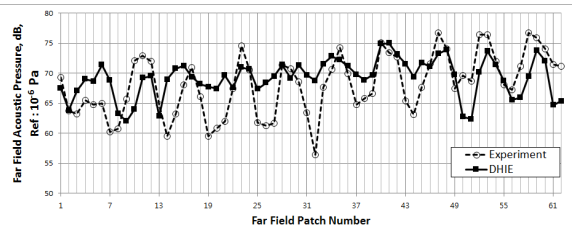
(b) 450 Hz



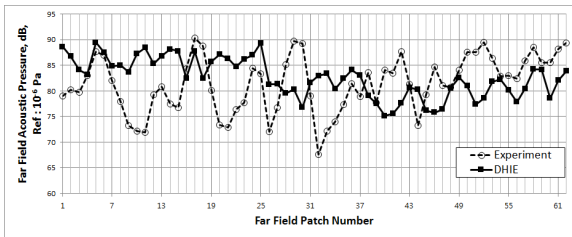
(g) 1750 Hz



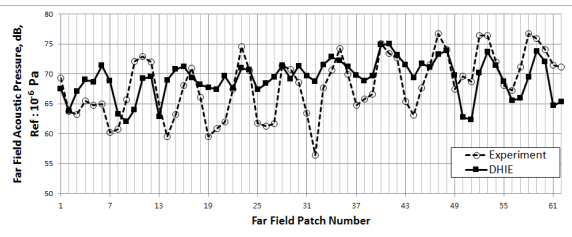
(c) 650 Hz



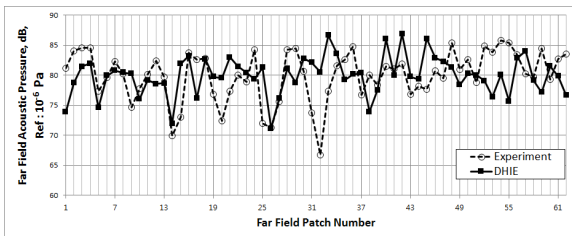
(h) 1950 Hz



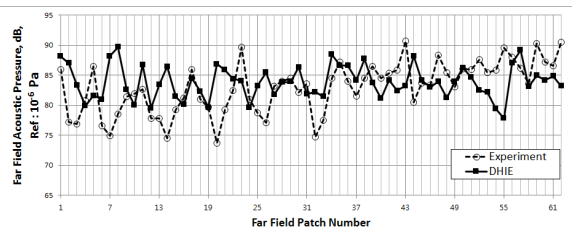
(d) 850 Hz



(i) 2150 Hz

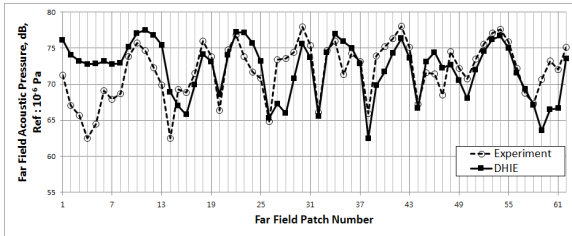


(e) 1250 Hz

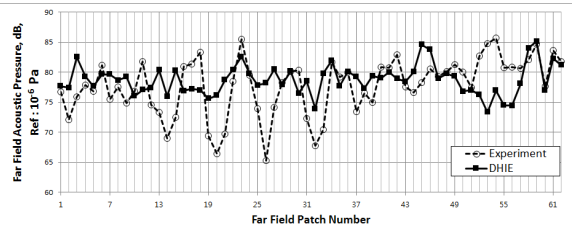


(j) 2450 Hz

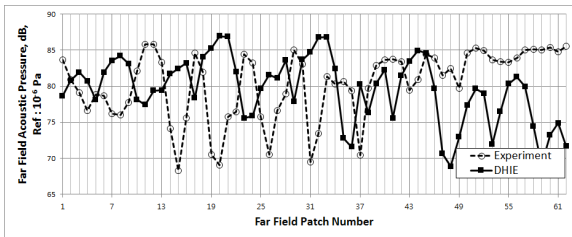
Fig. 12 The comparison of the experiment result and DHIE result for Case2, Set1 excitation



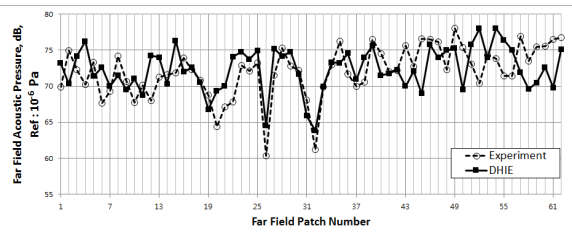
(a) 250 Hz



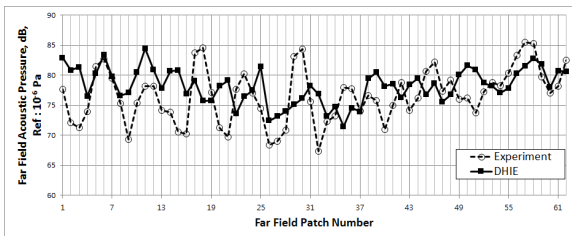
(f) 1550 Hz



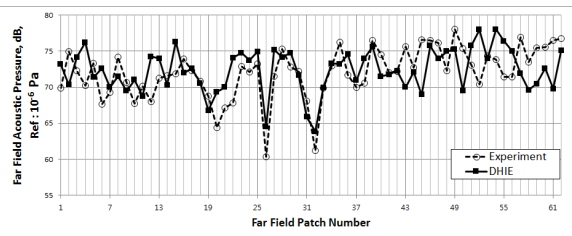
(b) 450 Hz



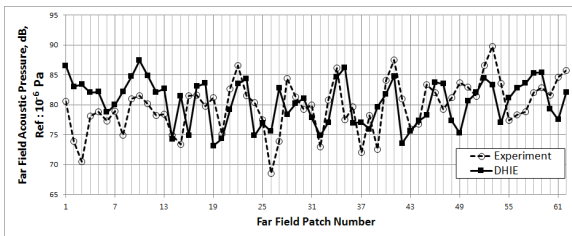
(g) 1750 Hz



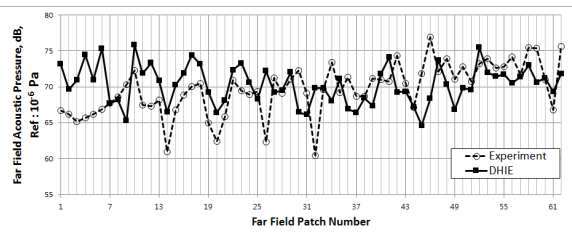
(c) 650 Hz



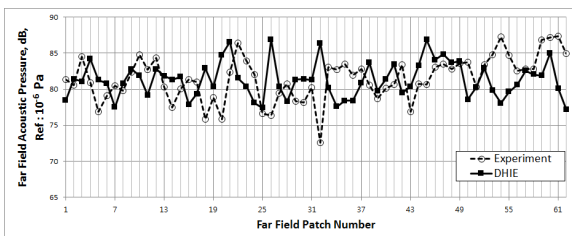
(h) 1950 Hz



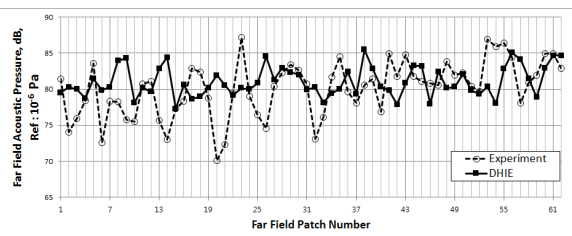
(d) 850 Hz



(i) 2150 Hz



(e) 1250 Hz



(j) 2450 Hz

Fig. 13 The comparison of the experiment result and DHIE result for Case3, Set1 excitation

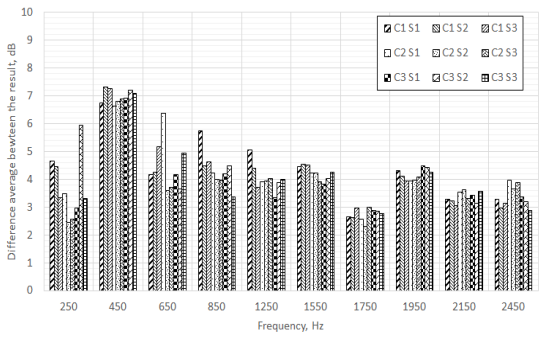


Fig. 14 The difference of averages between the experiment and DHIE results

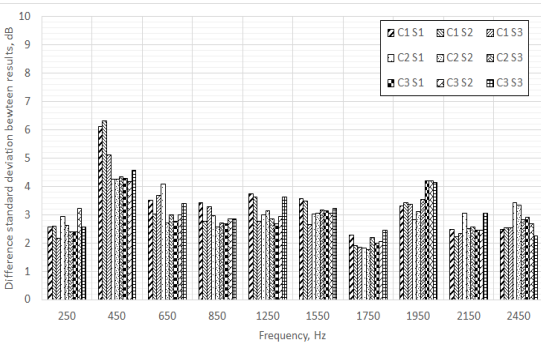


Fig. 15 The difference of standard deviation between the experiment and DHIE results

식 (2)와 식(3)을 이용하여 원음장 패치 k 에 대한 음압과위비를 식 (4)와 같이 산출할 수 있다.

$$PR_k = \frac{\overline{W}_{DHIE,k}}{W_{total}} \tag{4}$$

실험적으로 원음장 음향과위를 산출하기 위하여, 수중근접음장 계측데이터를 dBvision 5.51 S/W에 탑재된 원음장 예측⁽⁹⁾ 모듈로 원음장 포인트별 음압을 산출하고, 이들을 이용하여 전체 실험적 원음장 파워($W_{experiment, total}$)를 계산하였다. 따라서 실험적 원음장 음향과위를 이용하여 보정한 k 번째 패치원음장 파워 $W_{DHIE,k}$ 는 다음과 같이 된다.

$$W_{DHIE,k} = PR_k \times W_{experiment} \tag{5}$$

식 (5)와 식 (2)를 이용하면 원음장 패치 k 번째의 음압을 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$(P_{DHIE,k})^2 = \frac{\rho c W_{DHIE,k}}{S_k} \tag{6}$$

4. 수중방사소음 패턴 산출결과 분석

이 논문에서 적용한 수중방사소음 패턴 산출기법의 타당성을 분석하기 위하여 수중 근접음장 실험을 통하여 산출한 3차원 수중방사소음패턴 결과와 DHIE 기법을 적용하여 산출한 수중방사소음 해석 결과 중 각 case별로 set 1에 대한 비교결과를 Fig. 11~13에 나타내었다.

실험결과와 원음장 해석결과간의 차이가 가장 작은 경우는 1750 Hz이며, 2150 Hz, 2450 Hz에서도 차이가 작게 나타났다. 한편 450 Hz에서는 타 가진 주파수에 비하여 실험결과와 해석결과간에 다소 큰 차이가 발생하였다.

이러한 오차는 원음장 패치 49~62번에서 발생한 오차로 인하여 평균 7.5 dB 수준의 오차가 발생하여 450 Hz에서 차이가 발생한 것으로 추정된다.

가진주파수별로 일부 원음장 패치에서 실험결과와 DHIE 원음장 해석결과는 유사한 크기와 패턴을 보여주고 있지만, 특정 원음장 패치에서 차이가 크게 발생한 경우도 있다. 또한 저주파수보다는 고주파수에서 실험결과와 해석결과간의 차이가 작게 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 14는 식 (7)을 사용한 실험 결과와 DHIE 원음장 해석결과간의 차이에 대한 평균을 dB로 나타내고 있으며, Fig. 15는 실험 결과와 DHIE 원음장 해석결과간의 차이에 대한 표준편차를 dB로 나타낸 그래프이다.

$$Mean = \frac{\sum |P_{Experiment} - P_{DHIE}|}{N} \tag{7}$$

표준편차는 원음장 패턴에 관련된 것으로, 표준편차가 작다는 의미는 DHIE 원음장 해석결과가 실험결과와 전체적으로 유사함을 의미한다.

저주파수인 250, 450, 650, 850, 1250 Hz 해석결과를 보면 실험결과와 해석결과간 차이에 대한 평균은 4.6 dB 수준이며, 실험결과와 해석결과 차이에 대한 표준편차는 3.3 dB 수준이다. 고주파인 1550, 1750, 1950, 2450 Hz 해석결과에서 실험결과와 해석결과간 차이에 대한 평균은 3.6 dB, 실험결과와 해석결과간 차이에 대한 표준편차는 2.8 dB이다.

차이가 가장 많이 나타나는 가진주파수는 450 Hz로 평균 7.5 dB 수준이며, 표준편차 또한 다른 가진주파수에 비해 비교적 높다. 실험결과와 해석결과간의 차이가 가장 낮은 경우는 1750 Hz로 약 2.7 dB 수준이며, 수중방사소음패턴 예측에 있어서도 만족스러운 결과를 보여주고 있다.

또한 고주파수일수록 원음장 수중방사소음패턴 해석결과와 실험결과간 차이가 적게 나타나고 있음도 알 수 있다. 이는 저주파대역에서는 주파수 영향보다는 모드영향이 커지게 되어 구조물 표면 진동을 대표하기 위해서는 많은 센서가 요구되나, 고주파로 갈수록 주파수 영향이 크게 나타나고 모드의 영향이 작게되므로 통계학적으로 적은 수의 센서로도 구조물 표면진동을 대표할 수 있기 때문인 것으로 생각된다.

5. 결 론

이 논문은 선체 진동장을 이용한 원음장 산출을 위한 DHIE 기법의 타당성을 확인하기 위하여 수중근접음장 계측실험을 실시하였다. 수중근접음장 계측 자료들을 이용한 원음장 음압을 산출하였으며, DHIE기법으로 산출한 해석결과와 비교하였다. 이때 수중물수체 표면진동장 계측결과와 수중근접음장 계측결과를 이용한 원음장 음향파위를 DHIE 기법의 원음장 해석용 입력값들로 이용하였다.

DHIE 기법을 이용한 원음장 해석결과와 수중근접음장 데이터를 이용한 원음장 예측결과는 저주파수 대역인 경우 평균 4.6 dB 이내 차이가 발생하였고, 고주파수 대역인 경우 평균 3.6 dB 오차가 발생하였다.

이로부터 가진 주파수에서 DHIE 기법을 이용한 수중방사소음 패턴 산출결과는 대략 5 dB이내의 실험결과와 차이를 보이는 수준으로 보이며, 향후 지속적인 연구를 통하여 이 차이를 최소화할 계획이다.

References

(1) Maidanik, G., 1962, Response of Ribbed Panels to Reverberant Acoustic Fields, The Journal of the Acoustic Society of America, Vol 34, No, 6m pp. 802~826.

(2) Uchida, S., Yamanaka, Y., Ikeuchi, K, Hattori, K. and Nakamachi, K., 1986, Prediction of Underwater Noise Radiated form Ship's Hull, Bulletin of the Society of Naval Architectures of Japan, No 686, pp. 36~45

(3) Han, H. S. and Lee, K. H., 2013, Estimation of the Underwater Radiated Noise of a Naval Vessel Using Hull Vibration, Transaction of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 23, No. 5, pp. 394~400.

(4) Han, H. S., Lee, K. H. and Park, S. H., 2013, Estimation of the Sound Radiation Efficiency of the Hull Considering the Type and Natural Frequency of Plates of It, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 23, No. 12, pp 1073~1081.

(5) Jung, W. J., Yi, J. J., Kang, M. H. and Jeon, J. J., 2014, A New Extraction Method for the Radiation Efficiency and Radiation Directional Coefficient, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 24, No. 2, pp 93~101.

(6) Musha, T. and Sawatari, K., 1995, Far-field Radiated Noise Prediction using the Cross-spectrum of Surface Vibration Velocity, The Journal of the Acoustic Society of Japan(E), No16, pp. 381~383.

(7) Musha, T. and Kikuchi, T., 1999, Numerical Calculation for Determining Sonar Self Noise Source due to the Structural Vibration, Applied Acoustics, Vol. 69, pp. 19~32.

(8) Yi, J. J., Kim, J. H., Jung, W. J. and Jeon, J. J., 2013, A Study of the Prediction of Far Field of the Stiffened Cylinder Using Surface Vibration Field and Radiation Efficiency in Air, Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, 2013 The Conference, pp. 2272~2275.

(9) dBVision User's Manual, 2012, ACOEM.



Jong-Ju Lee is received his B.S. and M.S. degrees from Yonsei University in 2006 and 2008 respectively. He is currently a senior researcher at the Agency for Defense Development, Korea. His research interests are underwater acoustic stealth technologies.



underwater acoustic stealth technologies.

Myung-Hwan Kang is received a B.S. degree from Kyungpook National University in 2007, M.S. degree from Postech in 2009. He is currently a researcher at the Agency for Defense Development, Korea. His research interests are



Woo-Jin Jung is received his B.S. and M.S. degrees from Korea Aerospace University in 1985 and 1987 respectively, a Ph.D. degree from Pusan National University. He is currently a principal researcher at the Agency for Defense

Development, Korea. His research interests are underwater acoustic stealth technologies.



interests are in the reduction of noise in the ship.

Youngsoo Seo is currently a senior researcher at Agency for Defense Development(ADD). He received the B.S degree, M.S. degree and the Ph.D. degree in Mechanical Engineering from Busan National University, Korea