한국소음진동공학회 2012년 추계학술대회논문집, pp. 437~444

다층구조 수중 방음재의 디커플링성능 측정방법에 대한 고찰

Measurement of decoupling performance of an multi-layered underwater decoupling material

김상렬† · 김재승* · 김재호** · 함일배** · 전재진**

SangRyul Kim, Jae-Seung Kim, Jae-Ho Kim, Il-Bae Ham, and Jae-Jin Jeon

Key Words : Decoupling Performance(방음성능), multi-layered decoupling material(다층구조 방음재), Pulse Excitation(펄스가진), Plane wave(평면파)

ABSTRACT

In this paper, the measurement method of the decoupling performance of a underwater decoupling material is studied. First, the simple vibro-acoustic coupled model of a multi-layered underwater decoupling material attached to a plate is analytically derived using impedance transfer matrix. Two test methods are introduced using the theoretical expression of the simple model. One is based on the ratio of the plate vibration and the radiated pressure under impact excitation of the plate. The other is based on the reciprocity theorem and uses the ratio of the incident pressure and the plate vibration under projector excitation in water. Some measurements are carried out according to the test methods using a pulse tube. The test results show the advantages and disadvantages of two methods. It is also shown that the combination of impact and projector excitation methods may be a useful tool to evaluate the performance of a underwater decoupling material.

1. 서 론

군사적 목적뿐만 아니라, 최근에서 해양 생태계 보호를 위한 선박의 수중방사소음 저감에 대한 중요성이 증대되고 있다. 이러한 수중방사소음은 프로펠러뿐만 아니라 선박 내 탑재장비들에 의해서 발생하게 되는데, 특히 탑재장비에 의한 수중방사소음은 탑재장비의 소음(공기소음 및 구조소음)에 의해 발생하는 수선 하부 선체 외판의 진동에 그 원인이 있다[(1)].

수중방사소음을 저감하기 위해 소음원인 탑재장비의 소음을 줄이는 방법[(2-3)] 외에도 직접적으로 접수 외판의 진동을 저감하기 위하여 외부 표면에 디커플링 물질(decoupling material)을 부착하여 외부로의 방사소음을 저감하는 방법이 적용되기도 한다. 이러한 디커플링 물질은 엔진실과 같은 선박 내부의 소음에 의해 발생된 접수 외판의 진동을 저감하는 역할 외에도 반향음 감소 및 투과손실 강화 등 복합적인 음향성능 확보를 위해 다층구조로 제작되어 사용된다.

일반적으로 수중에서 사용되는 소음 저감물질의 성능평가는 대형 수조 내에서 이루어져 왔으나, 최근 관내 평면파 진행 특성을 활용한 펄스튜브 측정방법이 적용되고 있다[(4)]. 디커플링 물질의 성능평가의 경우 한쪽은 공기와 다른 쪽은 물과 접하는 조건에서 실험이 이루어져야 하기 때문에 기존 수조를 이용한 방법으로는 측정이 매우 힘들다. 특히 디커플링 물질의 소음 저감효과가 접수판의 진동특성 즉, 접수판의 재질, 구조, 형태 및 크기 등에 따라 달라지기 때문에 수조 내 시험장치의 크기를 결정하기에도 쉽지 않다. 게다가 가압 조건에서의 성능평

† 교신저자; 정회원, 한국기계연구원 시스템다이나믹스연구실 음향연구팀
E-mail : srkim@kimm.re.kr
Tel : 042-868-7466, Fax : 042-868-7440
* 한국기계연구원 시스템다이나믹스 연구실 음향연구팀
** 국방과학연구소(ADD)

가가 필요한 경우 일반 수조에서는 실험은 거의 불가능하다. 따라서 쉽게 가압이 가능한 펄스튜브를 이용한 측정방법이 적절한 대안으로 고려될 수 있다.

본 논문에서는 펄스튜브를 이용한 디커플링 성능(decoupling performance, DP) 측정 방법에 대하여 살펴보고 실제 측정을 통하여 제안된 측정방법의 유용성을 확인하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 평면파에 근거한 이론적 접근

K개 층으로 구성된 디커플링 물질이 부착된 평판(hull plate)의 양면이 공기와 물에 접해 있는 경우를 고려해보자. 시스템의 양쪽 끝이 무한하다고 가정하고 공기를 통해 음파 p_i가 전파되어 온다고 하면, 전파된 음파 p_i는 평판과 다층의 디커플링 물질을 지나면서 반사와 투과가 이루어지고 최종적으로 물속으로 방사되어 나간다. Fig. 1은 시스템 내 평면파의 진행을 도식화한 것이다.

본 문제를 단순화하기 위해 1차원 거동으로 가정하고, 평판은 파장에 비하여 충분히 얇아 평판전후 표면에서 속도가 같으며 음파의 거동에 질량효과만을 고려하기로 하자. 디커플링 물질은 K개 층으로 구성되어 있는데, 편의상 평판에 가까운 쪽부터 1, 2, …, K번째 층으로 명명하고, 각 층의 두께와 밀도, 음속은 각각 d_i, ρ_{l_i} c_{l_i} $(i=1,2,3,...,K)$이며 디커플링 물질의 전체 두께는 d이다.

각 매질에서 전파하는 평면파는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$p_i = I e^{j(\omega t - k_a x)},\ p_r = R e^{j(\omega t + k_a x)} \quad (1)$$

$$p_{tl_i} = T_{l_i} e^{j(\omega t - k_{l_i} x)},\ p_{rl_i} = R_{l_i} e^{j(\omega t + k_{l_i} x)} \quad (2)$$

$$p_t = T e^{j(\omega t - k_w x)} \quad (3)$$

여기서 k_a, k_{l_i}, k_w는 각각 공기, i번째 디커플링 물질 층, 물에서의 파수(wave number)이다. 또한 각각의 경계면에서 경계조건은 압력과 속도 연속성으로부터 아래와 같이 표현된다.

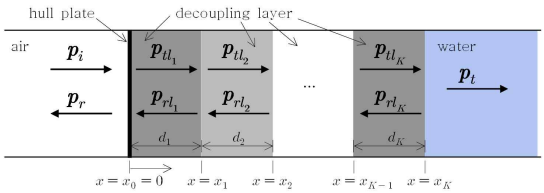

Fig. 1 Schematic of plane wave propagation in a media which consists of air, a hull plate, decoupling material of K layers, and water

$$\left(p_{tl_i}+p_{rl_i}\right)\Big|_{x=x_i} = \left(p_{tl_{i+1}}+p_{rl_{i+1}}\right)\Big|_{x=x_i},\quad i=1,2,3,...,K-1 \quad (4)$$

$$\left(u_{tl_i}+u_{rl_i}\right)\Big|_{x=x_i} = \left(u_{tl_{i+1}}+u_{rl_{i+1}}\right)\Big|_{x=x_i},\quad i=1,2,3,...,K-1 \quad (5)$$

$$\left(p_{tl_K}+p_{rl_K}\right)\Big|_{x=x_K} = p_t\,|_{x=x_K} \quad (6)$$

$$\left(u_{tl_K}+u_{rl_K}\right)\Big|_{x=x_K} = u_t\,|_{x=x_K} \quad (7)$$

$$\left(p_i+p_r\right)\Big|_{x=0} - \left(p_{tl_1}+p_{rl_1}\right)\Big|_{x=0} = m_h \frac{d}{dt} u_h \quad (8)$$

$$u_h = \left(u_i+u_r\right)\Big|_{x=0} = \left(u_{tl_1}+u_{rl_1}\right)\Big|_{x=0} \quad (9)$$

여기서 u는 매질의 속도를, m_h는 평판의 단위면적당 질량을, u_h는 평판의 속도를 나타낸다.

식(1)~(3)을 각 경계조건에 대입하여 풀면 각 음파의 크기간의 관계식을 아래와 같이 얻을 수 있다. 다음은 그 관계식 유도를 간략히 정리한 것이다. 편의상 시간항 $e^{j\omega t}$는 생략한다. 먼저 경계 조건 식(4)와 식(5)으로부터 얻은 관계식을 행렬형태로 표현하여 풀면

$$\mathrm{M}_i \begin{pmatrix} T_{l_i} \\ R_{l_i} \end{pmatrix} = \mathrm{N}_{i+1} \begin{pmatrix} T_{l_{i+1}} \\ R_{l_{i+1}} \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{pmatrix} T_{l_i} \\ R_{l_i} \end{pmatrix} = \mathrm{M}_i^{-1} \mathrm{N}_{i+1} \begin{pmatrix} T_{l_{i+1}} \\ R_{l_{i+1}} \end{pmatrix} \quad (11)$$

가 된다. 여기서 $\mathrm{M}_i = \begin{bmatrix} e^{-jk_{l_i}x_i} & e^{jk_{l_i}x_i} \\ \dfrac{e^{-jk_{l_i}x_i}}{\rho_{l_i}c_{l_i}} & \dfrac{-e^{jk_{l_i}x_i}}{\rho_{l_i}c_{l_i}} \end{bmatrix}$,

$\mathrm{N}_{i+1} = \begin{bmatrix} e^{-jk_{l_{i+1}}x_i} & e^{jk_{l_{i+1}}x_i} \\ \dfrac{e^{-jk_{l_{i+1}}x_i}}{\rho_{l_{i+1}}c_{l_{i+1}}} & \dfrac{-e^{jk_{l_{i+1}}x_i}}{\rho_{l_{i+1}}c_{l_{i+1}}} \end{bmatrix}$이고, M_i^{-1}은 M_i의 역행

렬로 $M_i^{-1}=\frac{1}{2}\begin{bmatrix} e^{jk_{l_i}x_i} & \rho_{l_i}c_{l_i}e^{jk_{l_i}x_i} \\ e^{-jk_{l_i}x_i} & -\rho_{l_i}c_{l_i}e^{-jk_{l_i}x_i} \end{bmatrix}$ 이다. 또한 행렬 N_i과 M_i^{-1}의 곱을 행렬 L_i로 정의하면, L_i은 다음과 같이 표현되는데, L_i의 행렬식(determinant)은 1이다.

$$L_i \equiv N_i M_i^{-1}=\begin{bmatrix} \cos(k_{l_i}d_i) & j\rho_{l_i}c_{l_i}\sin(k_{l_i}d_i) \\ \frac{j\sin(k_{l_i}d_i)}{\rho_{l_i}c_{l_i}} & \cos(k_{l_i}d_i) \end{bmatrix} \quad (12)$$

경계조건 식(6)과 식(7)로부터 얻은 관계식을 행렬형태로 표현하여 풀면 다음을 얻을 수 있다.

$$\begin{pmatrix} T_{l_K} \\ R_{l_K} \end{pmatrix}= M_K^{-1}\begin{pmatrix} 1 \\ 1/\rho_w c_w \end{pmatrix} T e^{-jk_w d} \quad (13)$$

여기서 ρ_w와 c_w는 물의 밀도와 음속을 나타낸다. 또한 경계조건 식(8)과 식(9)로부터

$$\begin{pmatrix} I \\ R \end{pmatrix}= \frac{1}{2} E N_1 \begin{pmatrix} T_{l_1} \\ R_{l_1} \end{pmatrix} \quad (14)$$

를 구할 수 있다. 여기서 $E=\begin{bmatrix} 1 & \rho_a c_a + j\omega m_h \\ 1 & -\rho_a c_a + j\omega m_h \end{bmatrix}$이고, ρ_a와 c_a는 공기의 밀도와 음속을 나타낸다.

식(14)에 식(11)과 식(13)을 대입하고 식(12)의 정의를 사용하여 정리하면 다음을 얻을 수 있다.

$$\begin{pmatrix} I \\ R \end{pmatrix}= E \prod_{i=1}^{K} L_i \begin{pmatrix} 1 \\ 1/\rho_w c_w \end{pmatrix} \frac{T e^{-jk_w d}}{2} \quad (15)$$

여기서 행렬곱 $\prod_{i=1}^{K} L_i$를 아래와 같이 Q로 정의하여

$$\prod_{i=1}^{K} L_i \equiv Q = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix} \quad (16)$$

식(15)를 풀어보면 최종적으로 다음과 같은 입사파와 투과파와의 관계를 얻을 수 있다.

$$I = \left[\left(Q_{11}+\frac{Q_{12}}{\rho_w c_w}\right)+\left(Q_{21}+\frac{Q_{22}}{\rho_w c_w}\right)(\rho_a c_a + j\omega m_h)\right]\frac{T e^{-jk_w d}}{2} \quad (17)$$

$$R = \left[\left(Q_{11}+\frac{Q_{12}}{\rho_w c_w}\right)+\left(Q_{21}+\frac{Q_{22}}{\rho_w c_w}\right)(-\rho_a c_a + j\omega m_h)\right]\frac{T e^{-jk_w d}}{2} \quad (18)$$

또한 식(17)~(18)을 식(9)에 대입하면 평판의 속도를 구할 수 있다.

$$u_h = \left(Q_{21}+\frac{Q_{22}}{\rho_w c_w}\right) T\ e^{-jk_w d} \quad (19)$$

2.2 Decoupling Performance의 정의

디커플링 물질의 DP를 정의하는 방법은 여러 가지 형태로 표현될 수 있는데, 먼저 입사파워와 투과파워의 비의 변화로부터 DP를 정의하면 다음과 같이 표현된다.

$$DP = -10\log\left(\frac{P_t/P_i|_{coated}}{P_t/P_i|_{bare}}\right) \quad (20)$$

여기서 P는 각 음파의 파워를 나타내며, 하첨자 coated와 bare는 각각 디커플링 물질이 부착되었을 때와 부착되지 않은 상태를 나타낸다.

식(20)의 DP는 식(1)과 식(3)으로부터 다음과 같이 표현할 수 있고,

$$DP = -20\log\left(\frac{|T/I|]_{coated}}{|T/I|]_{bare}}\right) \quad (21)$$

식(17)을 이용하면 아래와 같이 구할 수 있다.

$$DP = -20\log\left(\left|\frac{\rho_a c_a + \rho_w c_w + j\omega m_h}{D}\right|\right) \quad (22)$$

$$D = (\rho_w c_w Q_{11} + Q_{12}) + (\rho_w c_w Q_{21} + Q_{22})(\rho_a c_a + j\omega m_h) \quad (23)$$

식(22)의 음압비의 변화로 정의된 DP는 평판의 질량에 따라 다르게 나타나기 때문에 어떠한 평판에서 실험했느냐에 따라 DP값이 변화하게 된다. 따라서 설치된 평판에 무관하게 디커플링물질의 성능을

구하기 위해서는 DP를 다르게 정의할 필요가 있다.

디커플링물질의 부착으로 평판의 속도에 의한 방사가 디커플링 접수면 속도에 의한 방사로 변경되므로 디커플링물질의 성능은 디커플링물질 앞(평판 부착면)과 뒤(접수면)의 속도비로 평가될 수 있다. 식(24)는 속도비로 정의한 DP를 표현한 것이다.

$$DP = -20\log\left(\frac{|u|_{x=x_K}}{|u|_{x=0}}\right) \tag{24}$$

윗 식에서 식(7)로부터 $u|_{x=0} = u_h$이고, 식(9)와 평면파를 고려하면 $u|_{x=x_K} = u_t|_{x=x_K} = Te^{-jk_w d}/\rho_w c_w$가 되므로 식(24)의 DP는 식(19)로부터 다음과 같이 표현된다.

$$DP = -20\log\left(\left|\frac{T}{\rho_w c_w u_h}\right|\right) = -20\log\left(\left|\frac{1}{D}\right|\right) \tag{25}$$

$$D = \rho_w c_w \mathrm{Q}_{21} + \mathrm{Q}_{22} \tag{26}$$

여기서 식(22)의 DP에서 $\rho_a c_a, \rho_w c_w, \rho_{l_i} c_{l_i} \ll \omega m_h$인 경우를 생각해보면 식(22)는 식(25)와 동일한 값으로 근사됨을 알 수 있는데, 이는 평판의 질량이 크거나 고주파수에서는 음압비의 변화로 정의된 DP와 속도비로 정의된 DP가 같음을 나타낸다.

또한 Fig. 1의 좌측 공기가 물인 경우를 생각해보면 식(21)의 입사파와 투과파의 비는 식(27)에 정의된 투과손실(Transmission Loss, TL)[4]과 같고, 식(21)은 식(28)의 삽입손실(Insertion Loss, IL)과 같게 된다. 이때 평판의 질량이 크거나 고주파수의 경우($\rho_w c_w, \rho_{l_1} c_{l_1} \ll \omega m_h$)를 생각해보면 삽입손실은 식(25)의 속도비로 정의된 DP와 같아지게 됨을 쉽게 유추할 수 있다. 이는 참고문헌 5에서 고찰된 것과 동일한 결과이다.

$$TL = -20\log\left(\left|\frac{T}{I}\right|\right) \tag{27}$$

$$IL = TL_{coated} - TL_{bare} \tag{28}$$

이러한 결론 즉 고주파수에서는 음압비의 변화로 정의된 DP와 삽입손실이 속도비로 정의된 DP와 같다는 것은 고주파수에서는 어떠한 방법이든 평판의 영향이 제거된 디커플링물질의 DP를 측정할 수 있다는 것을 말하고 있다.

3. Decoupling Performance 측정방법 제안

3.1 음압비의 변화로 정의된 DP 측정방법

식(20)에 정의된 DP를 측정하는 방법으로 Fig. 2와 같은 시험치구를 생각해볼 수 있다. 이는 공기 중에서 스피커를 사용하여 임펄스로 가진하고, 마이크로폰과 수중음압센서를 이용하여 반사파가 도달되기 전까지의 음압 신호를 측정하는 방식이다. 그러나 이 방법은 공기 중 음파로 평판을 가진하여야 하기 때문에 음압에 대한 구조물의 가진 효율이 낮아, 실제 투과된 수중음압신호 취득이 어려울 수 있다.

이를 해결하기 위하여 상반성 원리를 적용하여 측정방법을 고려해 볼 수 있다. Fig. 3은 Fig. 1의 음장에서 입사파가 물쪽에서 전파되어 올 때 각 매질에서의 평면파를 도식화한 것이다. 여기서 Fig. 1과 Fig. 3에 표현된 두 시스템 간에 상반성원리를 적용해 보면 음압비의 변화로 정의된 DP는 두 시스템 모두 식(21)과 같게 됨을 유추할 수 있다. 혹은 Fig. 3의 음장을 2장과 동일한 방법으로 전개해 보면 음압비의 변화로 정의된 DP가 식(21)과 동일하게 표현됨을 확인할 수 있다. Fig. 4는 이러한 상반성 원리에 근거하여 구상한 측정시스템을 보여주고 있다.

또한 공기 중 방사되는 음압과 평판속도간의 관계식 $u_h = u_t|_{x=0} = T/\rho_a c_a$로부터 식(20)의 DP는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$DP = -20\log\left(\frac{|u_h/I|\,]_{coated}}{|u_h/I|\,]_{bare}}\right) \tag{29}$$

이는 Fig. 4의 계측시스템에서 공기 중의 음압 대신 평판의 진동을 측정함으로써 DP를 구할 수 있음을 나타낸다. 평판의 진동을 측정하게 되면 공기 중에서의 음압 계측시 튜브 내 평면파 전파가 가능한 상한 주파수가 물이 채워진 하부 튜브에서 보다 낮아 실제 적용 주파수가 낮게 되는 문제를 해소할 수 있게 된다.

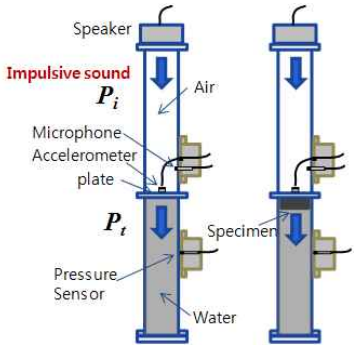

Fig. 2 Test concept for the measurement of the DP defined as equation (20)

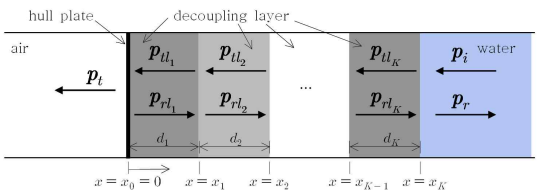

Fig. 3 Schematic of plane wave reverse propagation in a media of figure 1

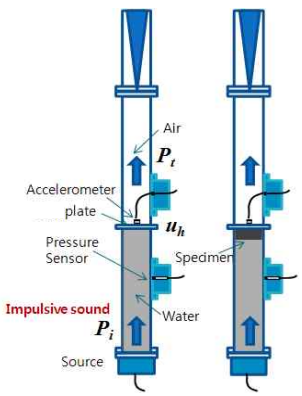

Fig. 4 Test concept equivalent to the measurement method of figure 2.

3.2 속도비로 정의된 DP 측정방법

식(24)에 속도비로 정의된 DP를 측정하는 방법으로 Fig. 5와 같은 시험치구를 생각해볼 수 있다. 이는 평판을 임팩트 가진하고 수중음압센서를 이용하여 반사파가 도달되기 전까지의 음압 신호를 측정하는 방식이다.

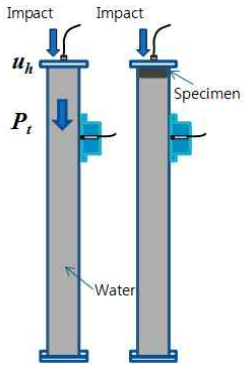

Fig. 5 Test concept for the measurement of the DP defined as equation (24)

이 방법에서는 식(24)의 변형식인 식(25)를 이용하여 디커플링 물질의 접수면 진동을 평면파 가정으로부터 방사음압과 물의 특성임피던스로부터 유추하게 되는데 실제 실험시 이 가정에서 오차가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위하여 물의 특성임피던스를 디커플링물질이 부착되지 않은 평판 실험결과로부터 측정하여 사용한 다음의 식으로 변형하여 적용할 필요가 있다.

$$DP = -20\log\left(\frac{|T/u_h|_{coated}}{|T/u_h|_{bare}}\right) \tag{30}$$

4. DP 측정방법의 실험적 고찰

4.1 측정시스템 구성

제 3장에서 제안한 DP 측정방법을 실험적으로 구현하기 위하여 Fig. 6과 같이 간이 실험장치를 구성하였다. 튜브는 직경 50 mm, 길이 1.5 m로, 튜브 하부에는 음향가진을 위한 프로젝터(Neptune T204)를 설치하였고, 하부에서 965 mm 지점에 압력센서(PCB 112A22)를 설치하여 프로젝터 혹은 상부 평판에 의해 방사되는 수중 음압을 측정하도록 하였다.

튜브 상부에는 Fig.7과 같이 평판고정홀더와 튜브 사이에 10 mm 고무패드를 삽입하여 시험용 평판(두께 10 mm)의 진동이 관 외벽을 통해 전파되는 것을 감소시켰으며, 평판을 2 mm 실리콘 패드와

함께 평판 고정홀더에 설치하였다. 이때 평판의 고정은 6개의 볼트를 이용하였다. 평판위에는 7개의 소형 가속도계(PCB 352C22)를 부착하여 평판의 평균 진동레벨을 측정하였다. 평판의 가속도계 신호는 압력센서의 음압신호와 함께 NI PCI-4462를 이용하여 측정한 후, FFT를 통해 각 채널별 주파수별 성분을 취득하였다.

4.2 측정결과 분석

실험에 사용된 디커플링 물질은 우레탄 계열의 물질로 4개의 층으로 구성되어 있으며, Fig. 8에 그 사진을 나타내었다. 실험은 10 mm 두께의 평판에 디커플링물질이 부착되기 전과 후에 대해 제안된 두 가지 측정방법에 따라 각각 수행하였다.

먼저 실험에 사용된 평판의 거동과 이론적 모델을 비교하였다. 이를 위해 디커플링물질이 설치되지 않은 평판 위를 임팩트 가진한 후 평판의 가속도와 방사된 음압과의 비를 이론적 모델과 비교하였다. Fig 9는 그 측정결과를 보여주고 있는데, 그림에서 약 3 kHz 이하에서 이론값과 잘 일치하고 있으나, 그 이상의 주파수에서는 차이가 큼을 볼 수 있다.

이러한 차이는 임팩트 가진시 고주파수까지 충분히 가진되지 못했을 뿐만 아니라, 1차 공진주파수 이상에서는 평판이 이론적 해석의 기본가정인 1차원 거동과 다른 형태의 거동을 보이기 때문으로 판단된다. 또한 관내를 진행하는 고주파수 음파의 감쇠(attenuation)가 저주파수보다 큰 점도 이론값과의 차이를 키운 원인이 될 수 있다.

설치된 평판의 공진주파수는 경계조건이 매우 복잡하기 때문에 단순 계산으로 정확한 값을 추정하기는 어렵다. 다만 완전고정(clamped condition)된 경계를 가진 10 mm 두께의 평판의 첫 번째 공진주파수가 약 3940 Hz, 두 번째 공진주파수가 약 8190 Hz임을 고려해 보건데, Fig. 9에서 3 ~ 4 kHz에서의 급격한 감소와 7.5 kHz 근처의 딥(dip)은 평판의 공진 발생과 관련이 있는 것으로 추정된다. 공진이 발생하게 되면 평판의 진동의 크기는 증가하나 평판 진동에 의해 방사되는 음파는 서로 상쇄되어 최종적으로 진행하는 평면파는 줄어들게 된다. 이상의 결과로부터 임팩트 가진법의 경우는 3 ~ 4 kHz까지의 주파수 영역에서 유효할 것으로 판단된다.

Fig. 6 Photo of DP measurement system

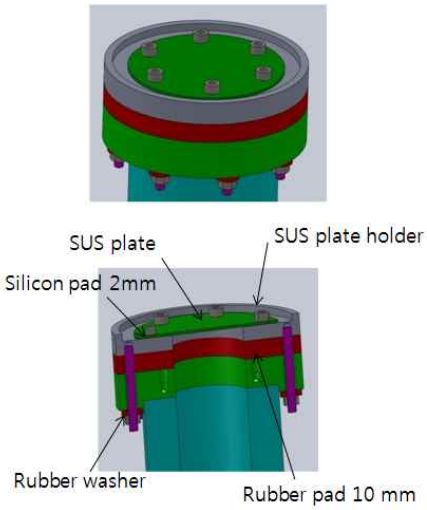

Fig. 7 Schematic of the installation part of a steel plate which a multi-layered decoupling material will be attach to.

Fig. 8 Photo of decoupling material

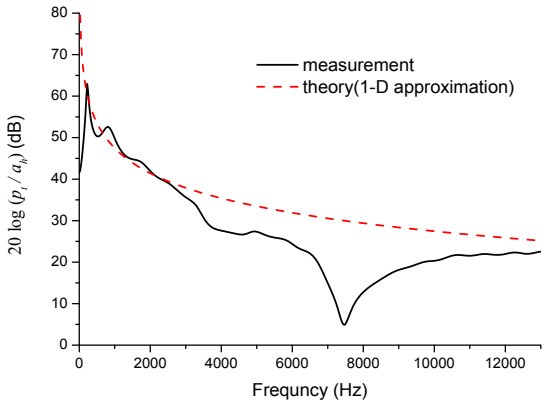

Fig. 9 Comparison of measured and theoretical results: the ratio of radiated pressure and plate acceleration in case of bare plate.

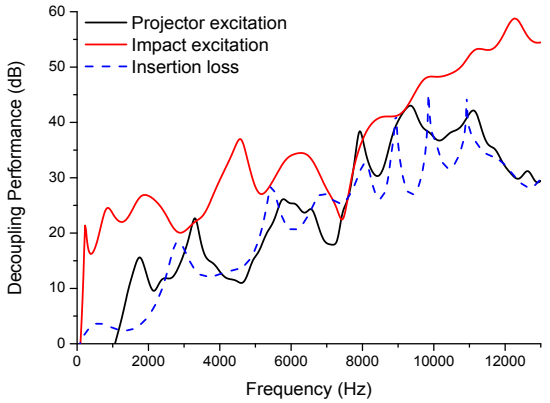

Fig. 10 Comparison between decoupling performance measured under projector excitation and impact excitation, and insertion loss measured using pulse tube method[4].

Fig. 10은 디커플링물질에 대하여 측정한 DP를 삽입손실 측정결과와 함께 비교하여 나타낸 것이다. 여기서 삽입손실은 별도의 펄스튜브[4]를 이용하여 측정한 투과손실로부터 식(28)로부터 계산한 결과이다.

그림에서 3 kHz 이하의 주파수 영역의 경우 임팩트가진 측정결과(속도비로 정의된 DP 측정방법)가 프로젝터가진(음압비의 변화로 정의된 DP 측정방법)과 삽입손실 측정결과에 비하여 큰 것을 볼 수 있는데, 이는 이론적 해석을 통해 고찰된 결과와 동일하다[5].

임팩트가진 측정결과와 삽입손실의 결과가 9 kHz 이상의 고주파수 영역에서 상당한 차이를 보이고 있는데, 이는 앞서 언급하였듯이 해당 주파수 영역에서 임팩트가진 불량과 평판의 공진 등에 의해 임팩트 가진법의 측정결과가 유효하지 않은데 기인하는 것으로 판단된다.

반면, 프로젝터가진 측정결과는 전 주파수 대역에서 삽입손실과 유사한 경향을 가짐을 볼 수 있다. 이는 프로젝터가진법이 저주파수 영역에서는 후면 평판의 영향으로 임팩트가진법보다 낮은 DP를 얻게 함을 말하고 있다.

이상의 측정결과로부터 저주파수에서는 임팩트가진법을, 고주파수에서는 프로젝터가진법을 적용하면 전 주파수대역에서 후면 평판의 영향이 없는 DP를 측정하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 디커플링물질이 부착되는 평판의 영향이 포함되지 않는 디커플링물질의 성능을 측정하는 방법에 대하여 고찰하였다. 먼저 평면파 전파를 가정하는 1차원 이론적 해석을 수행하였으며, DP의 정의에 근거한 2가지 측정방법을 도출하고 이론적으로 비교하였는데, 특히 후면 평판의 질량이 크거나 고주파수영역($\rho_a c_a, \rho_w c_w, \rho_{l_1} c_{l_1} \ll \omega m_h$)에서는 두 측정방법의 결과가 동일하게 됨을 확인하였다.

도출된 측정방법에 따라 수행한 DP 실험결과로부터 실제 임팩트가진방법은 고주파수에 적용하는데 어려움이 있으며, 프로젝터 가진법은 저주파수에서 후면 평판의 영향이 포함될 수 있음을 확인하였다.

따라서 두 측정방법을 보완하여 저주파수에서는 임팩트가진법을, 고주파수에서는 프로젝터가진법을 사용하게 되면 모든 주파수에서 후면 평판의 영향이 제거된 DP의 유용한 측정방법으로 사용할 수 있을 것으로 판단한다.

향후에 두 측정방법의 DP가 오버랩되는 주파수영역에 대한 연구와 다양한 디커플링물질에 대한 실험을 통해 제안된 측정방법의 정밀도 고찰을 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

(1) Kim, H.-S., Kim, J.-S., Kim, B.-K., Kim S. R., and Lee, S.-H., 2011, Effect of Airborne Noise from Ship Machinery on Underwater Noise, J. of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 48, No. 6, pp. 569~574.

(2) Kim, H.-S., 2006, Reduction of airborne and structureborne noise of shipboard machineries, J. of KSNVE, Vol. 16, No. 3, pp. 10~15.

(3) Kim S. R., Kim, H.-S., Kim, B.-K., Kim, J.-S., and Kang, H.-J., 2007, Case study on the reduction of airborne and structure-borne noise of a shipboard pump, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 411~415.

(4) Lee, S.-H., Kim J.-S., Kim, H.-S., Kim, B.-K., and Kim, S. R., 2011, Measurement of underwater acoustic properties using impluse signal, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 283~284.

(5) Tao, M., Tang, W. L., and Hua, H. X., 2010, Noise reduction analysis of an underwater decoupling layer, J. of Vibration and Acoustics, Vol. 132, No. 6, pp. 061006-1~061006-7.