

모형 선체에 부착한 음향센서를 이용한 추진기 캐비테이션 초생속도 추정 알고리즘에 관한 연구

Study on Decision Algorithm for the Cavitation Inception Speed using Hydrophones Attached to a Model Vessel

이 가 향[†] · 한 형 석^{*} · 전 수 홍^{*} · 김 용 훈^{*} · 이 석 규^{**}

Gahyang Lee[†], Hyungsuk Han^{*}, Soohong Jeon^{*}, Yonghoon Kim^{*} and Sukku Lee^{**}

(Received October 4, 2023 ; Revised January 18, 2024 ; Accepted January 18, 2024)

Key Words : Acoustic Signal(음향 신호), Hydrophone(음향 센서), Propeller Sound(추진기 소음), Cavitation(캐비테이션), Cavitation Inception Speed(캐비테이션 발생 속도)

ABSTRACT

Underwater radiated noise plays an important role in the probability of detecting a naval vessel. Cavitation has a significant influence on this underwater radiated noise. Therefore, managing the cavitation inception speed (CIS) is an important task for a naval vessel. This study investigated an algorithm to determine the CIS using hydrophones to monitor the underwater radiated noise generated by a naval vessel. First, the CIS was estimated using the sound pressure level measured by attaching hydrophones to the hull of a model, and the occurrence of cavitation was determined using an algorithm. In addition, by comparing the CIS estimated in a previous study and visual cavitation, the possibility of using an acoustic cavitation occurrence speed estimation algorithm with hydrophones was determined.

1. 서 론

추진기 소음의 주원인은 추진기 회전에 의한 캐비테이션 발생이다. 수중에서 추진기가 회전함에 따라 추진기 날개의 끝단이나 표면 등에서 야기되는 상대적으로 낮은 압력으로 인해 공기방울이 생성되는 현상을 캐비테이션(cavitation)이라 한다.

함정의 경우 전진 방향으로 추진력을 얻기 위해 추진기의 회전수를 증가시키면 추진기 날개에 인접한 해수의 동압이 증가하면서 정압은 점점 낮아

지게 되며 정압이 해수의 증기압보다 낮아질 경우 추진기 날개에 인접한 해수가 기화 되어 공기방울이 된다.

캐비테이션에 의해 생성된 공기방울이 유체의 흐름 속이나 추진기 날개 표면에서 붕괴되면서 강한 소음이 발생하는데, 이 때 발생된 소음은 높은 레벨의 연속 스펙트럼 특성을 갖는다. 캐비테이션 소음은 저주파 영역에서는 주파수가 증가함에 따라 소음레벨이 증가하다가, 고주파 영역에서는 역으로 소음레벨이 감소하는 특징이 있다. 이 때 경계가 되는 주파수는 함정의 속도가 증가함에 따라 혹은 잠수함의 경우 수

[†] Corresponding Author ; Member, DTaQ, Researcher
E-mail : leegh@dtaq.re.kr

^{*} Member, DTaQ, Senior Researcher

^{**} Member, LIGNEX1, Senior Researcher

[‡] Recommended by Editor Jong Moon Ha

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

심이 알아짐에 따라 저주파 영역으로 이동하는 양상을 보인다. 추진기 소음은 전 주파수 영역에서 캐비테이션 초생속도(CIS) 이후 급격히 증가하며, 이후 선속에서는 추진기의 캐비테이션 소음에 의해 함정의 수중방사소음이 결정된다⁽¹⁾.

추진기에서 발생하는 캐비테이션 기포로 인한 소음은 함정의 피탐 능률 저하, 대잠전 능력 및 생존력의 약화 등으로 이어지게 된다. 일반적으로 추진기의 소음은 캐비테이션이 발생하고 난 후, 급격하게 증가하기 때문에 함정을 정속하게 운용하기 위해서는 반드시 캐비테이션 발생속도 이전에서 운용해야 한다. 따라서 캐비테이션 발생속도의 정의는 매우 중요하다. 특히 함정의 경우에는 캐비테이션 발생 속도가 해양환경 및 추진기 등 함 상태에 따라 변하기 때문에 하나의 값으로 정하여 관리하기 어려운 상황이며 이로 인해 진동 및 음향 신호를 이용한 CIS(캐비테이션 초생속도, cavitation inception speed)를 실시간으로 모니터링 하기 위한 연구들이 활발하게 진행되고 있는 추세이다.

선체에서 측정한 진동신호와 음압신호를 통해 CIS를 추정하기 위해서는 주로 DEMON(detection of envelop modulation on noise)분석을 이용한다. 하지만 DEMON 분석의 경우 분석자의 주관과 경험에 의존하여 분석하는 특징이 있어 이를 보완하기 위해 DEMON 신호의 단순화 및 정량화 처리를 통한 토널 신호 간섭을 제거한 DEMON 처리 기법, DEMON 스펙트럼의 첨도(kurtosis)값을 활용하는 기법⁽²⁾, DEMON 처리된 신호의 CIS 전/후 데이터 군집을 이용한 마할라노비스 거리 비교⁽³⁾, DEMON 분석 단순화를 위한 정보엔트로피와 교차엔트로피의 적용 등의 연구가 함께 이루어지고 있다⁽⁴⁾.

이 연구에서는 선체 추진기 상부에 부착한 음향센서를 이용하여 모형선으로 시험한 결과를 바탕으로 함정에서 발생하는 캐비테이션을 모니터링을 위한 알고리즘을 제안하였다. 먼저 모형 선체에 음향센서를 부착하여 측정한 음압레벨을 이용하여 CIS를 추정하였으며, 알고리즘을 이용하여 캐비테이션의 발생 여부를 판단하였다. 또한, 기존의 캐비테이션 발생 판정 방법인 시각적 캐비테이션의 발생 속도 결과와 음향센서를 이용한 음향학적 캐비테이션 발생 속도 추정 결과를 비교하여 이 연구의 알고리즘에 대한 사용 가능성을 검증하였다.

2. 선체부착 음향센서를 이용한 모형선 추진기 유동 소음 계측 및 분석

이 연구에 사용한 모형선은 실제 함정을 모사하여 제작되었으며, 시험은 추진기해양플랜트연구소에서 보유하고 있는 대형 캐비테이션 수조를 이용하였다. 실선과 동일한 캐비테이션수와 전진비 조건을 설정하여 추진기 직상부에 음향센서를 설치하고 소음을 계측하였다. 음향센서는 B&K사의 Type 8103을 사용하였다. 그리고 계측결과를 바탕으로 추진기 음압레벨 분석 및 DEMON 스펙트럼 분석을 수행하였다.

2.1 전달함수에 따른 추진기 음압레벨 분석

이 연구에서는 선체 부착한 하이드로폰에서 계측된 음압레벨이 아닌 추진기의 방사소음에 대한 음압레벨로 CIS를 평가하기 위해 선체에 부착한 하이드로폰 소음레벨과 추진기의 소음레벨 간 전달함수의 정의하였다.

따라서 모형시험 시 모형 추진기의 1m 떨어진 지점에서의 음압과 선체부착 하이드로폰 간 음압에 대한 전달함수를 구하기 위해서 Fig. 1과 같이 음향파위레벨을 알고 있는 ITC 1032 음원을 모형시험 추진기 위치에 설치해 두고 선체에 부착한 하이드로폰을 통해 음압을 계측하였다. 선체부착 하이드로폰으로 측정한 음압과 이미 알고 있는 음원으로부터 1m 떨어진 지점에서의 음압과의 차이를 전달함수로 정의하였다.

Fig. 2와 같이 선체의 좌/우현에 음향센서를 설치하

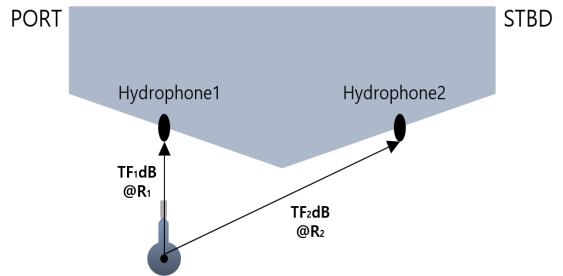


Fig. 1 Test setup to define transfer function between sound pressure measured with the hydrophones on the hull and propeller radiated sound pressure using ITC 1032 sound source

여 음압을 계측하면 각 음향센서는 좌/우현 추진기에서 방사되는 소음의 영향을 모두 받게 된다. 이 연구에서는 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 두 개의 추진기에서 방사되는 소음레벨인 L_p 는 동일하다고 가정하고, 음향센서와 좌/우현 추진기 간의 거리, 잔향 공간에 의한 잔향음 등을 고려하여 각각의 전달함수 TF_1, TF_2 로 정의한 뒤, 이를 통해 추진기 유동 소음을 계산하는 방법을 사용하였다.

$$L_{p1} = 10 \log(10^{(L_p + TF_1)/10} + 10^{(L_p + TF_2)/10}) \quad (1)$$

$$TF = L_{p1} - L_p = 10 \log(10^{TF_1/10} + 10^{TF_2/10}) \quad (2)$$

여기서 L_{p1}, L_{p2} 는 각각 전달함수를 고려한 좌/우현 추진기 동작 시 모형 선체에 부착한 음향센서의 계측 음압, L_p 는 추진기로부터 1 m 떨어진 지점의 추진기 방사소음이다. TF_1 은 추진기와 직상부 음향센서 간 전달함수이고, TF_2 는 추진기와 반대 현 쪽 상부에 설치한 음향센서 간의 전달함수이다.

음향센서로 계측한 음압 신호와 ITC 1032 음원을 이용하여 정의한 전달함수를 이용하여 각 시험 조건별 3.15 kHz ~ 8 kHz 대역의 1/1 Octave 음압레벨을 Fig. 3과 Fig. 4와 같이 계측할 수 있었다. Fig. 3과 Fig. 4의 모형 시험조건은 Table 1과 같으며, 실제 함정의 운용조건에 맞춰 설정하였다.

일반적으로 캐비테이션 터널에서 캐비테이션 발생 시험을 할 경우, 무차원수인 캐비테이션수와 추진기 전진비를 가지고 실선조건과 모형시험 조건이 서로 같은 캐비테이션수와 추진기 전진비를 가질 경우 실제 운용조건과 동일하다고 간주한다. 캐비테이션 수

와 추진기 전진비의 정의는 식 (3)과 같다.

$$J_A = \frac{V_A}{nD}, \sigma_A = \frac{p_s - p_v}{0.5\rho V_A^2} \quad (3)$$

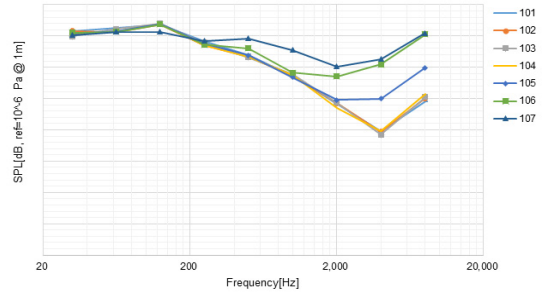


Fig. 3 Propeller sound pressure for condition 101 ~ 107(PORT)

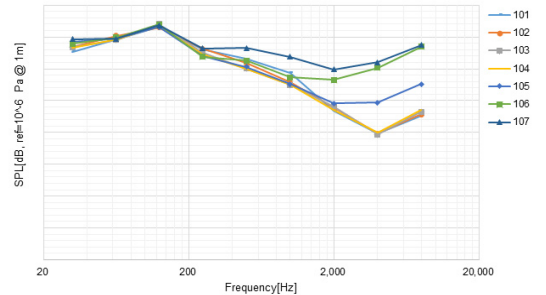


Fig. 4 Propeller sound pressure for condition 101 ~ 107(STBD)

Table 1 Test condition

Test No	Ship condition			Cavitation tunnel condition	
	Ship speed [kts]	Cavitation number (σ_A)	Advance ratio (J_A)	Model shaft [rps]	Flowing speed [m/s]
101	N - 6	3.4901	1.101	27.1	9
102	N - 4	2.8386	1.087	27.5	9
103	N - 2	2.3515	1.087	27.4	9
104	N	1.9195	1.08	27.6	9
105	N + 2	1.6832	1.059	28.2	9
106	N + 4	1.4453	1.037	28.8	9
107	N + 6	1.2511	1.023	29	9

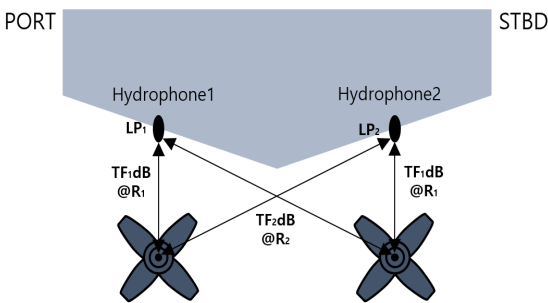


Fig. 2 Set up a test for measuring the transfer function between sound pressure of propeller and hydrophones of the model ship

여기서 n 은 추진기 회전수, D 는 추진기 직경, p_s 는 추진기 먼 중심위치에서 정압력, p_v 는 증기압력, ρ 는 물의 밀도, V_A 는 추진기 유효 전진속도이다.

또한, 루트 캐비테이션의 경우, 캐비테이션이 발생된 모형시험의 캐비테이션수와 전진비가 실제 운용조건과 일치하며, 이는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$(\sigma_A)_M = (\sigma_A)_S \tag{4}$$

여기서 $(\sigma_A)_M$ 은 모형선에서의 캐비테이션 수, $(\sigma_A)_S$ 는 실선에서의 캐비테이션 수를 의미한다.

날개 끝 볼텍스 캐비테이션의 경우, 점성 효과로 인해서 모형시험에서 캐비테이션이 발생한 캐비테이션수와 추진기 전진비는 실제 운용조건과 차이가 발생한다. 이는 식 (5)와 같이 추정하여 나타낼 수 있다. 식 (5)에서 지수 m (exponent factor)은 McCormick 계수라고도 하며, 실선과 모형선의 상관 관계에 따라 정하며 통상 0.4를 사용한다.

$$\frac{(\sigma_A)_M}{(\sigma_A)_S} = \left(\frac{Re_S}{Re_M}\right)^m, Re = (V_A D) / \nu \tag{5}$$

여기서 ν 는 동점성 계수, M 은 모형선 스케일, S 는 실선 스케일을 의미한다.

실선의 경우, 날개 끝 볼텍스 캐비테이션이 발생되고 난 후 루트 캐비테이션이 발생되는 것이 일반적이나, 모형선에서는 루트 캐비테이션이 발생된 후 날개 끝 볼텍스 캐비테이션이 발생된다. 이는 식 (4)와 식 (5)를 비교해보았을 때 날개 끝 볼텍스 캐비테이션의 경우, 캐비테이션 수가 실선에 비해 모형선이 큰 수치를 가지기 때문으로 판단된다.

이 연구에서는 캐비테이션 발생 시 캐비테이션 발생 여부를 모니터링하는 것이 목적이므로, 캐비테이션의 종류와 이에 따른 물리적 특성에 대한 고려는 하지 않았다.

Fig. 3과 Fig. 4는 식 (1)과 식 (2)를 통해 선체부착 하이드로폰 신호와 전달함수를 고려한 추진기의 방사 소음을 예측한 결과이다.

시험결과 Fig. 3과 Fig. 4와 같이 좌/우현 동일하게 105 조건에서 음압레벨이 크게 증가하기 시작하여 해

당 시험 조건에서 캐비테이션이 발생한 것으로 판단할 수 있었다.

2.2 DEMON 스펙트럼 분석

특정 주파수 성분의 신호가 또 다른 특정 신호에 동조되어 나타날 경우 예측된 신호를 특정 주파수 성분이 포함된 대역통과필터(bandpass filter)로 필터링한 후 힐버트 변환을 통한 인베롭 분석을 수행하면 동조되는 포락선을 추출할 수 있다. 이렇게 추출된 포락선 데이터에 대한 FFT 스펙트럼을 일반적으로 인베롭 스펙트럼(envelop spectrum)이라고 하며 해당 신호가 음향신호일 경우 이러한 방법을 DEMON 분석이라고 한다.

일반적으로 함정에서는 캐비테이션이 발생할 경우 고주파 광대역에서 발생하는 캐비테이션 소음은 추진기 회전주파수 성분(shaft rate, SR)과 블레이드 통과주파수(blade rate, BR)의 성분 및 이들의 조화성분이 동조되어 발생한다.

따라서 DEMON 스펙트럼 상에서 회전주파수, 블레이드 통과주파수 및 이들 조화 성분 주파수에서 피크 성분이 발생할 경우 캐비테이션이 발생했음을 예측할 수 있다.

이 연구에서 관심주파수범위는 0 kHz ~ 12.8 kHz로 설정하였으며 캐비테이션에 의한 소음의 주파수 범위를 3.15 kHz ~ 9.6 kHz로 정의하여 이 주파수 밴드에 대한 대역통과필터, 인베롭 분석, FFT를 이용하여 DEMON 분석을 수행하였다.

그리고 DEMON 스펙트럼 분석 시 추진기의 회전주파수 및 날개통과주파수 성분은 주로 저주파 영역에서 발생되므로 4 Hz ~ 200 Hz 대역을 CIS 모니터링 관심 주파수로 설정하였다. 캐비테이션의 판정을 위해 시간에 따른 DEMON 스펙트럼의 컨투어(contour)를 도시하고 DEMON 스펙트럼 컨투어 화면의 최대값을 200 Pa로 설정하여 시각적으로 DEMON 스펙트럼 컨투어에 SR, BR 성분에 의한 피크가 식별되면 캐비테이션이 발생하는 것으로 판단하였다. Fig. 5는 시험 조건별 속도 증가 시 모형선의 좌/우현에 부착된 음향센서의 신호에 대한 DEMON 스펙트럼 컨투어이다. DEMON 스펙트럼 컨투어의 시각적 평가를 통해 캐비테이션의 발생속도는 좌/우현 동일하게 105 조건으로 예측된다.

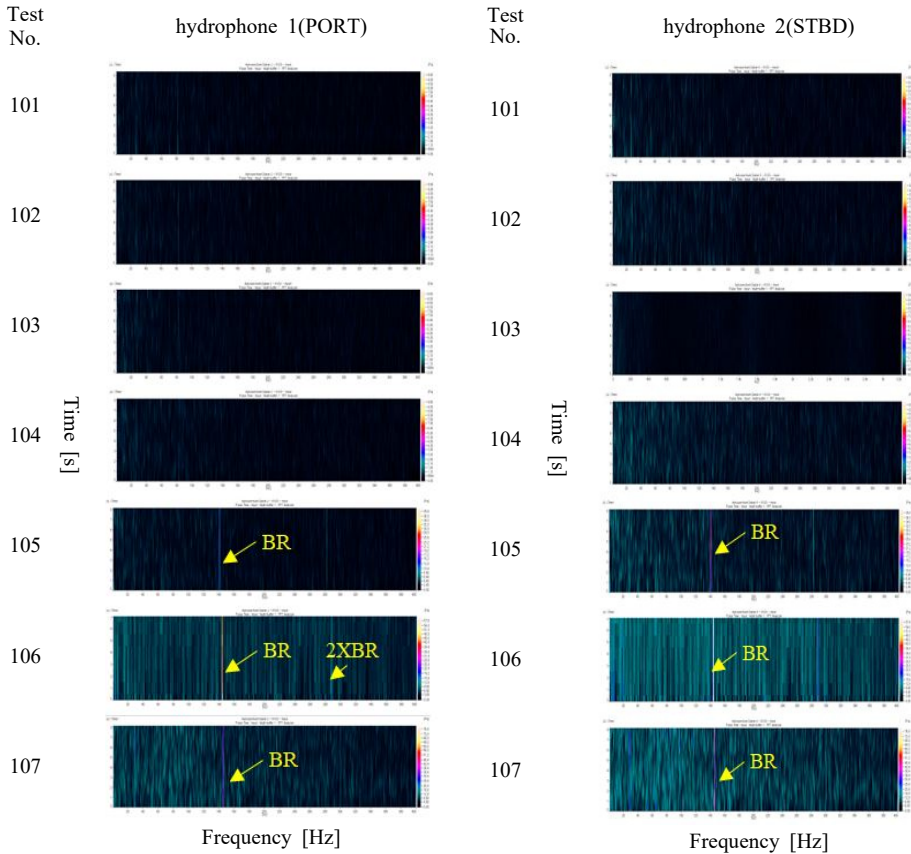


Fig. 5 DEMON spectrum for condition 101 ~ 107 (X : Frequency [Hz], Y : Time [s], Z : hydrophones limit [Pa])

3. 선체부착 음향센서를 이용한 CIS 예측 모니터링 알고리즘

이 연구에서 선체부착 하이드로폰을 이용하여 캐비테이션 발생을 모니터링하기 위해 Fig. 6의 모니터링 알고리즘을 적용하였다. Fig. 6의 판정 알고리즘에서 기준값은 Table 2와 같으며, 판정 기준치는 선행연구(2)를 기반으로 경험적으로 선별한 값이다.

Table 2에서 최소 선체 음압레벨(L_{Pmin})은 소나체계에 감지되지 않는 최소 소음을 의미하며, 캐비테이션 발생 음압레벨(L_{Pcav})은 캐비테이션이 충분히 발생했을 때의 최소 음압레벨을 의미한다.

그리고 SR과 BR의 판정 기준은 2.0을 기준으로 초과하면 캐비테이션이 발생한다는 것을 의미하며, SR/BR의 판정기준의 값은 식 (6)과 같이 계산하며, SR, BR의 값은 일정값 이상의 존재 유, 무에 따라 1

또는 0으로 판단하여 계산한다.

$$\begin{aligned}
 & \text{SR/BR Limit (sum)} \\
 & = SR \times 1.0 + (2SR + BR + 2BR) \times 2.0 \quad (6)
 \end{aligned}$$

식 (6)에서 단순히 SR 피크만 나타날 경우에 대해서는 축-베어링 마찰 등에 의해 발생했을 가능성이 있으므로 캐비테이션 발생으로 경보하지 않고 SR성분에 추가로 BR, 2BR, 2SR 성분이 경보치를 초과할 경우 캐비테이션이 발생 한 것으로 경보하도록 구성하였다. 또한, SR성분은 약하더라도 2SR, BR, 2BR 성분 중 한 성분이라도 경보 기준치를 초과할 경우 캐비테이션이 발생한 것으로 경보하는 것으로 구성하였다. 여기서 Table 2의 ‘based on SR/BR component’는 음향 신호의 DEMON 스펙트럼의 SR 성분 및 BR 성분의 기준이 되며, 경보 기준치를 1.6 Pa로 설정하였다. 여기서 경보 기준치는 육안으로 캐비

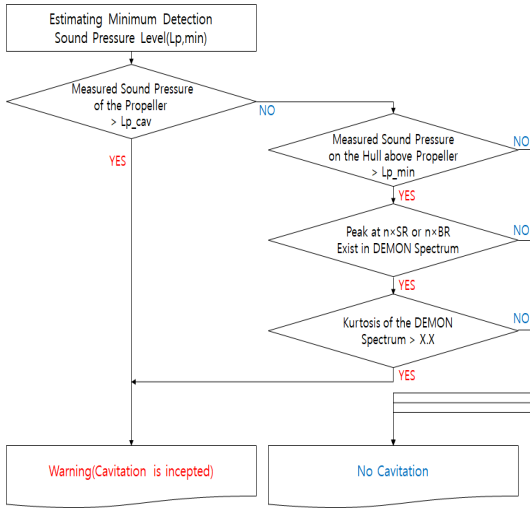


Fig. 6 The decision algorithm of the cavitation inception speed using hydrophones attached to the vessel

Table 2 Criteria for determining CIS prediction algorithm using hydrophones

Criteria for determining CIS prediction	Value
Minimum sound pressure on the hull (L_{pmin})	147.9 dB
Sound pressure level generated cavitation (L_{pcav})	162.1 dB
Criteria for SR/BR judgment	2.0
Based on SR/BR component	1.6 Pa
Kurtosis limit	4.0

*Sound pressure level dB ref. = 1 μ Pa

테이션을 판정한 결과를 기반으로 경험적으로 설정한 값이다.

Kurtosis limit은 DEMON 스펙트럼에서의 SR/BR의 신호가 다른 신호에 대해 얼마만큼 크게 발생하는지에 대해 정량화를 할 수 있는 지수인 kurtosis level 기준을 의미한다.

이렇게 Table 2와 같이 기준을 설정하여 선체에서 계측한 음압레벨의 크기가 기준에서 설정한 최소 선체 음압레벨 이상이며 동시에 DEMON 스펙트럼의 SR/BR 성분과 DEMON 스펙트럼의 첨도가 명시한 기준을 초과할 경우 캐비테이션이 발생한 것으로 정의하였다. 그리고 캐비테이션이 육안으로 식별이 될

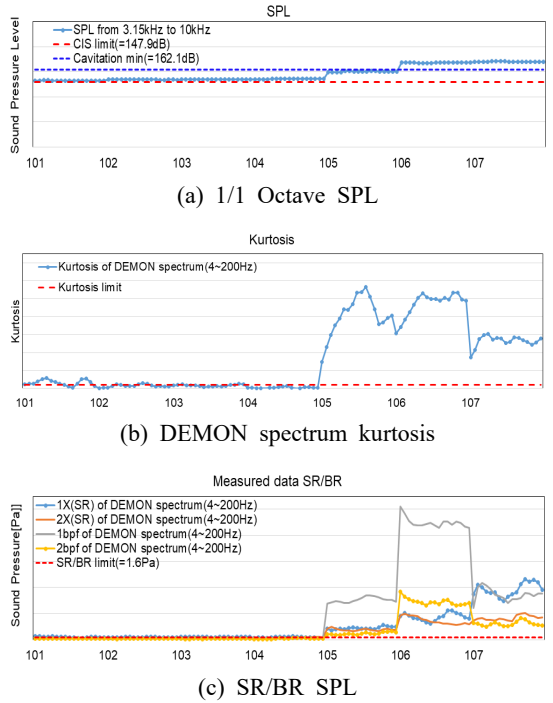


Fig. 7 Data from hydrophone with model vessel (PORT)

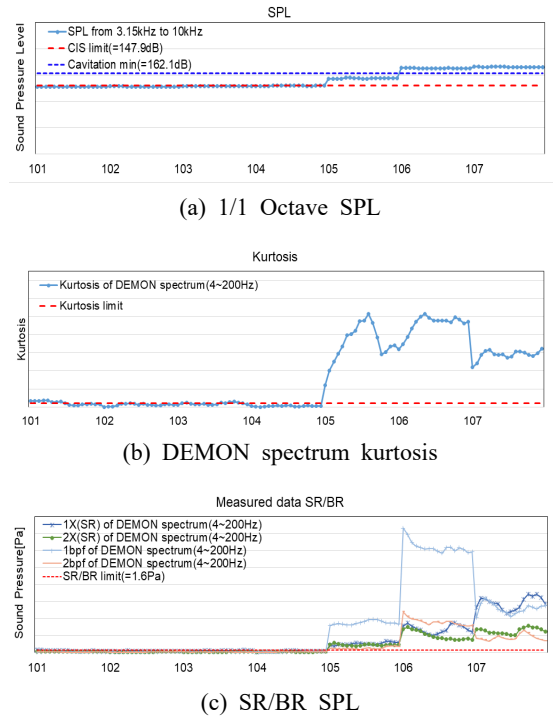


Fig. 8 Data from hydrophone with model vessel (STBD)

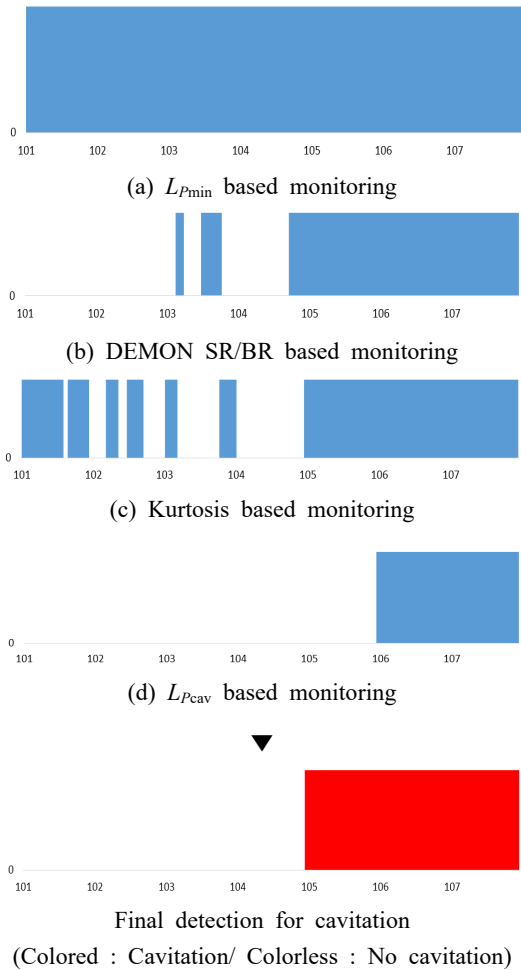


Fig. 9 Results of propeller CIS monitoring using hydrophone signals attached to model vessel (PORT), cavitation determination (a)~(c) : The intersection, condition (d) : The separate condition

정도로 진전되어 지속된다면 DEMON 스펙트럼에서 다양한 피크가 발생하게 되고 이로 인해 침도는 작아질 수 있기 때문에 캐비테이션이 발생했음에도 불구하고 경보를 하지 못할 수 있다. 이를 방지하기 위해서 선체에서 계측한 음압레벨의 크기가 캐비테이션이 충분히 진전하였을 때의 음압레벨보다 초과 할 경우에는 캐비테이션이 발생한 것으로 정의하도록 알고리즘을 보완하였다. 따라서 이 연구에서는 모형시험을 이용하여 Fig. 6의 알고리즘을 통해 캐비테이션 발생 속도를 평가한 후 시각적 CIS와 비교하여, 선체부착 음향센서를 이

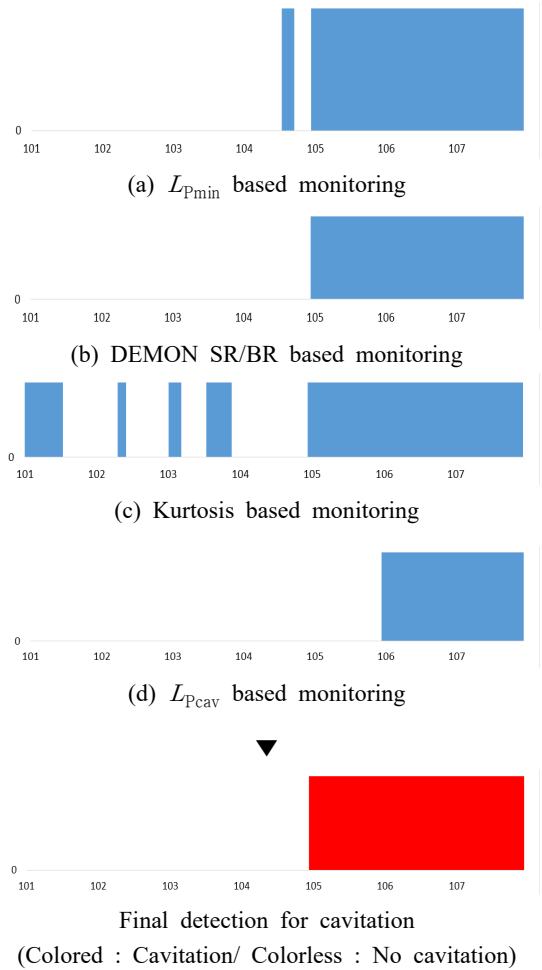


Fig. 10 Results of propeller CIS monitoring using hydrophone signals attached to model vessel (STBD), cavitation determination (a)~(c) : The intersection, condition (d) : The separate condition

용한 CIS 판정 알고리즘에 대한 효과성을 검증하고자 한다.

3.1 모형시험을 통한 CIS 모니터링 결과 및 분석

3절의 Fig. 6에서 정의하였던 CIS 예측 알고리즘을 바탕으로 실제 함정의 운전 조건을 모형시험에 적용하여 조건별로 CIS를 판정하였다. 캐비테이션 발생 여부에 대해 알고리즘으로 판정하기 전, 모형선체의 좌/우현에서 계측한 1/1 옥타브밴드 3.15 kHz ~ 8 kHz의 음압레벨, 3.15 kHz ~ 8 kHz에서 DEMON 스펙트럼의

kurtosis 및 SR/BR에서의 음압레벨을 Fig. 7~Fig. 8과 같이 모니터링을 할 수 있었다.

Fig. 7과 같이 좌현의 경우, 104에서 105 조건으로 변경 시 평균음압레벨이 각각 약 8.8 dB 정도 증가함을 확인할 수 있었다. 그리고 DEMON 스펙트럼 첨도의 경우 105 조건부터 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, DEMON 스펙트럼의 SR과 BR에서의 음압레벨의 경우에도 105 조건에서부터 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 8과 같이 우현의 경우, 104에서 105 조건으로 변경 시 평균음압레벨이 각각 약 8.5 dB 정도 증가함을 확인할 수 있었다. DEMON 스펙트럼의 첨도와 DEMON 스펙트럼의 SR과 BR에서의 음압레벨의 경우에도 좌현과 동일하게 105 조건에서 부터 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

전반적으로 좌현이 우현에 비해 높은 수치를 나타내는 경향은 있으나, 105 조건에서 캐비테이션이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

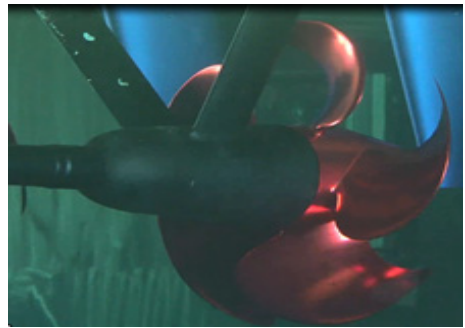
105 조건을 캐비테이션 발생속도로 정의하기 위해 Fig. 6의 알고리즘을 가지고 캐비테이션 발생여부에 대한 모니터링을 Fig. 7~Fig. 8과 같이 수행하였다. 여기서 모니터링은 각 조건에서 1분간위로 0.5초 간격으로 수행하였다. 모니터링의 표에서 백색 구간은 캐비테이션이 발생하지 않은 구간이며, 유색 구간은 캐비테이션이 발생한 구간이다.

Fig. 9~Fig. 10과 같이 선체부착 하이드로폰을 이용하여 캐비테이션 발생을 모니터링한 결과, 좌/우현에서 각각의 판정 기준에 대해 캐비테이션이 발생한다고 판단되는 추정할 수 있는 조건은 상이하지만, 최종적으로 좌/우현 모두 105 조건에서 캐비테이션이 발생하였다고 판정할 수 있었다.

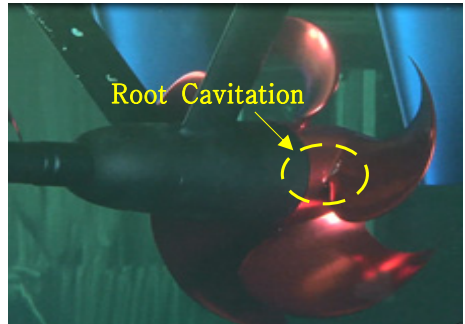
4. 캐비테이션 발생 속도 추정

모형선체의 추진기 직상부에 설치한 음향센서로 측정한 결과 캐비테이션의 발생속도는 Fig. 9~Fig. 10과 같이 유색을 띄는 105 조건임을 알 수 있었다.

모형 시험 시 캐비테이션 발생을 육안으로 관찰을 한 경우에도 Fig. 11과 같이 105 조건에서부터 모든 추진기의 날개에서 루트 캐비테이션(root cavitation)이 발생되고 있음을 확인할 수 있었으며, 이



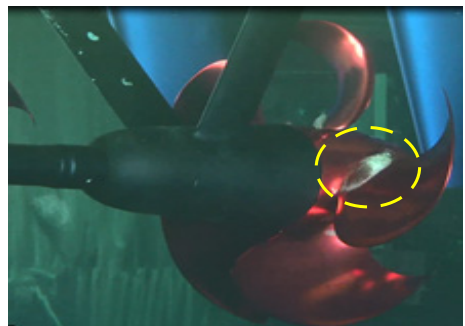
(a) 104



(b) 105



(c) 106



(d) 107

Fig. 11 Visual inspection of the cavitation

로부터 육안으로 캐비테이션의 발생속도를 평가한 결과(시각적 CIS 결과)와 선체부착 하이드로폰을 이용하여 예측한 CIS의 결과가 유사함을 검증할 수 있었다.

5. 결 론

이 논문에서는 모형선체에 음향센서를 부착하여 캐비테이션의 초생속도를 판정하는 알고리즘을 제시하였으며, 이를 수행하기 위해 다음의 4가지를 분석해야 한다.

(1) 추진기 직상부 선체의 3.15 kHz ~ 8 kHz 최소 음압레벨

(2) 캐비테이션이 충분히 진전되었을 때 추진기의 음압레벨

(3) 선체음향신호의 DEMON 스펙트럼에서 SR 및 BR 성분의 크기

(4) 선체음향신호의 DEMON 스펙트럼에서 kurtosis 이를 통해 선체 추진기의 직상부에 음향센서를 설치하여 음향신호를 통해 CIS 판정 예측이 가능함을 확인할 수 있었다. 모형시험 시 시각적으로 캐비테이션이 발생하였을 때의 조건과 비교해보았을 때에도 동일 조건에서 캐비테이션이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

따라서 이 논문에서 알고리즘으로 모형 시험을 통하여 캐비테이션의 발생 속도에 대해 예측하여 판정될 수 있음을 확인할 수 있었다. 다만, 실제 함정에 적용할 경우, 함 운용조건 및 환경조건에 따라 캐비테이션의 발생 속도 정의가 달라질 수 있다. 따라서 추후 다양한 실선 시험을 통해 데이터를 획득하여 추가적으로 검증해 나갈 예정이다.

후 기

이 연구는 방위사업청과 방위산업기술지원센터의 지원(사업명: 선체 부착 센서를 이용한 함정추진기 CIS 모니터링 기술, 계약번호: UC200001D)하에, LIG넥스원 위탁연구(계약번호: LIGNEX1-2020-0937(00))로 진행되었습니다.

References

(1) Korean Resister, 2014, Control of Ship Vibration and Noise, 3rd Edition, Textbooks, Paju, Korea.

(2) Han, H., Jeon, S., Lee, C., Lee, D.-N., Kim, Y. and Lee, S.-K., 2021, Study for Monitoring of the Sound Pressure Level and Cavitation Inception Speed of the Propeller Using the Acceleration Signal on the Hull, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 31, No. 4, pp. 398~407.

(2) Kim, S.-Y., Lee, H.-C., Choi, J.-Y. and Oh, J.-S., 2017, Study on the Analysis of Cavitation Inception Speed Using Hull Vibration, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 27, No. 5, pp. 602~607.

(3) Kim, Y., Han, H., Jeon, S., Lee, C., Lee, D.-N. and Lee, S.-K., 2021, Study on Simplification Method of DEMON Analysis and Quantified Evaluation Indicator for CIS Judgement Using Cross Entropy, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 31, No. 4, pp. 432~441.

(4) Han, H., Jeon, S., Lee, C. and Kim, Y., 2019, Study for Estimation of Propeller Cavitation Sound Using Underwater Radiated Sound from the Hull Estimating with Hull Vibration, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 29, No. 6, pp. 705~713.



Gahyang Lee received a B.S and M.S in Department of marine Engineering from Mokpo National Maritime University in 2018 and 2020. Ms. Lee is currently a Researcher at Defence Agency for Technology and Quality, Daejeon, Korea.



Hyungsuk Han received a B.S. in Production and Mechanical Engineering from Pusan National University in 1996. He then went on to receive his M.S. and Ph.D. degrees in Mechanical Engineering from Pusan National University in 1998 and 2007, respectively. Dr. Han is currently a Principal Researcher at Defense Agency for Technology and Quality, Daejeon, Korea.



Soohong Jeon received a B.S. in Production and Mechanical Engineering from Pusan National University in 2007. He then went on to receive his M.S. and Ph.D. degrees in Mechanical Engineering from Pusan National University in 2009 and 2014, respectively. Dr. Jeon is currently a Senior Researcher at Defense Agency for Technology and Quality, Daejeon, Korea.



Sock-Kyu Lee received his B.S. and M.S. degrees from Pusan University in 1995 and 1997. He is a research engineer at Mechanical Engineering R&D Lab, LIG Nex1. His research interests are design and analysis about military equipment endured at vibration, shock and noise environments.



Yonghoon Kim received a B.S. in Mechanical Engineering from Pusan National University in 2009. Mr. Kim is currently a Researcher at Defence Agency for Technology and Quality, Daejeon, Korea.