

3차원 수중익에서 공기분사에 의한 캐비테이션 및 소음특성 연구

Study on the cavitation and noise characteristics by air injection in three dimensional hydrofoil

설한신,[†] 정홍석¹

(Hanshin Seol[†] and Hongseok Jeong¹)

¹한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소
(Received December 17, 2020; accepted January 7, 2021)

초 록: 본 연구는 함정 추진기에 적용되고 있는 공기분사에 의한 수중방사소음 저감기술에 대한 연구기반을 마련하고자 캐비테이션 터널에서 단순화된 모형을 이용하여 공기분사에 의한 캐비테이션과 소음의 변화에 대하여 연구하였다. 추진기 날개와 유사한 특성을 나타내는 3차원 타원형 수중익에 공기분사 위치와 분사량을 조절할 수 있는 공기분사 시스템을 제작하였으며 캐비테이션 터널 시험조건을 조절하여 수중익에 다양한 형태의 캐비테이션을 모사하고 공기분사에 따른 캐비테이션과 소음특성의 변화를 실험적으로 분석하였다. 공기분사 위치 및 분사량에 따라 캐비테이션 및 소음특성이 달라짐을 확인하였다. 이는 추진기에 공기분사 기술을 적용하기 위해서는 캐비테이션의 발생위치, 거동에 따른 공기 분사위치 및 분사량의 최적화가 필요함을 의미한다.

핵심용어: 추진기 소음, 공동소음, 공기분사, 수중방사소음, 모형시험

ABSTRACT: In this study, changes in cavitation pattern and noise by air injection were investigated experimentally in a cavitation tunnel. Air injection system that can control the location and the amount of air was manufactured and installed in an elliptic wing that exhibits similar characteristics to those of a propeller blade. Various types of cavitation were simulated on the hydrofoil by adjusting the test conditions in the cavitation tunnel, and the changes in cavitation pattern and noise according to air injection were experimentally analyzed. It was shown that the noise characteristics varied depending on the position and the amount of air injection. This means that in order to apply the air injection technology to the propeller, it is necessary to optimize the air injection location and the amount of injection according to the cavitation characteristics.

Keywords: Propeller noise, Cavitation noise, Air injection, Underwater radiated noise, Model test

PACS numbers: 43.35.Ei, 43.30.Nb

1. 서 론

함정의 추진기소음은 작전성능 및 생존성에 있어 중요한 문제이며 특히 함정 추진기에서 발생하는 캐비테이션에 의한 소음은 함속의 5~7층에 비례하여 급격히 증가하는 특성을 가진다. 함 내부의 기계류나 배관 등에 의한 소음은 함 내부의 흡음장치 등으로 수

중으로 소음 전파를 차단할 수 있지만 추진기는 일반적으로 함정 외부에 노출되어 있어 추진기에 의해 발생한 소음은 근원적으로 차폐가 불가능하다.^[1-4]

이런 이유로 미 해군에서는 오래전부터 대잠작전을 수행하는 주요 전투함정의 수중방사소음저감을 위하여 PRAIRIE, MASKER-Air System 등의 공기분사 소음저감 장치들을 활용하고 있다. 특히 함정 추

[†]Corresponding author: Hanshin Seol (seol@kriso.re.kr)

Korea Research Institute Ships & Ocean Engineering, 32 Yuseong-daero 1312 beon-gil, Yuseong-gu, Daejeon 34103, Republic of Korea
(Tel: 82-42-866-3468, Fax: 82-42-866-3449)



Copyright©2021 The Acoustical Society of Korea. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

진기 설계 시 캐비테이션에 의한 수중방사소음을 최소화하기 위한 노력의 일환으로 추진기 날개에 공기 주입을 통한 캐비테이션 소음제어 방법이 연구되어 왔다. 공기 분사시스템은 가스터빈 또는 압축기에서 압축공기를 생성하여 추진축을 통해 추진기 허브로 공기를 내보내고 마지막으로 추진기 날개 양면의 앞전에 위치한 작은 구멍을 통해 수중으로 공기를 배출하는 시스템이다. 공기분사시스템은 추진기 날개가 선체 반류 중 회전하면서 생성되는 캐비테이션의 급격한 붕괴를 막아 추진기 캐비테이션 소음을 줄여주는 역할을 하며 공기분사로 추진기에서 발생하는 고유한 소음을 교란하여 함정의 탐지 및 식별을 어렵게 한다고 알려져 있다.^[5]

미 해군을 비롯한 많은 국가에서 위와 같은 추진기 공기주입 분사 시스템에 대한 효용성이 입증되어 수중방사소음 저감기술로 함정에 설치, 운용 중에 있다. 하지만 이의 세부 운용지침 및 효과에 대해서는 개발국인 미국에서 비밀로 관리하고 있어 공기주입 분사시스템의 실선성능 시험결과 뿐 아니라 연구결과에 대해서도 공개되지 않고 있다. 국내 함정에 탑재되어 있는 추진기 공기주입 분사 시스템 역시 국외 기술협력으로 생산되어 관련 정보의 접근이 제한되고 있고 추진기 공기분사시스템의 수중방사소음 저감원리 및 성능효과에 대한 국내 연구결과 역시 찾아보기 힘들다. 즉 국내 대부분의 전투함정에 본 추진기 공기주입 분사시스템이 탑재, 운용 중에 있음에도 이의 세부 운용지침 및 효과에 대해서는 정확히 파악하지 못하고 있는 실정이다.

함의 성공적인 작전수행과 생존성을 위해서는 우수한 탐지체계의 개발과 더불어 자함의 수중방사소음을 최소화 하는 기술이 바탕이 되어야 하며 함정 수중방사소음 성능향상을 위한 실효성이 기 입증된 추진기 공기주입 분사 시스템을 이용한 수중방사소음 저감기술에 대한 체계적 연구가 필요하다. 이를 위해서는 추진기 캐비테이션의 발생패턴과 공기분사에 따른 소음 특성, 캐비테이션과의 상호작용에 대한 연구가 필요하며 본 연구에서는 추진기 날개와 유사한 특성을 가지는 타원형 날개를 대상체로 하여 타원형 날개에서 발생하는 캐비테이션과 소음특성을 파악하고 공기분사에 따른 캐비테이션과 소음의 변화를 분석하였다.

II. 타원형 날개 공기분사 시험

삼차원 타원형 날개의 공기분사에 따른 캐비테이션 및 소음특성 실험은 Fig. 1에 나타난 선박해양플랜트연구소(Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, KRISO)의 관측부 크기 600 mm × 600 mm를 가지는 중형캐비테이션터널에서 수행하였다. 삼차원 타원형 날개를 제작하고 공기분사를 위하여 날개의 앞전에 등 간격으로 공기분사구멍을 만들어 압축펌프와 공기 주입구를 통하여 위치별로 공기 분사와 분사량을 제어할 수 있는 시스템을 제작하였다.

공기분사에 의한 캐비테이션 특성과 소음변화를 분석하기 위하여 초고속 카메라와 소음 계측장치를 캐비테이션 터널 관측부에 설치하여 캐비테이션의 발생 위치와 거동변화에 따른 소음특성을 계측하였다.

2.1 타원형 날개 공기분사시스템

일반적인 모형 추진기를 이용한 공기분사시스템 연구에 앞서 발생한 캐비테이션과 공기분사에 의한 특성 변화를 보다 쉽게 분석하기 위하여 삼차원 타원형 날개와 같이 단순 형상에 대한 연구를 우선 수행하였다. 타원형 날개는 모형 추진기처럼 함정의 선속 별 추진기 운용 상태를 상사법칙에 따라 모사할 수는 없지만 캐비테이션 터널의 유속과 압력을 조절하여 추진기에서 발생하는 다양한 캐비테이션의 재현이 가능하기에 캐비테이션 현상의 분석과 소음저감 기술개발의 기초연구에 많이 활용된다.^[6]

실험에 사용한 타원형 날개는 NACA0012 단면 형상을 가지며 코드 및 스패ん길이는 300 mm이다. 캐비테이션 발생 거동을 실제 추진기와 유사하게 안정적으로 발생시키기 위하여 날개 앞전에 모래를 이용하여

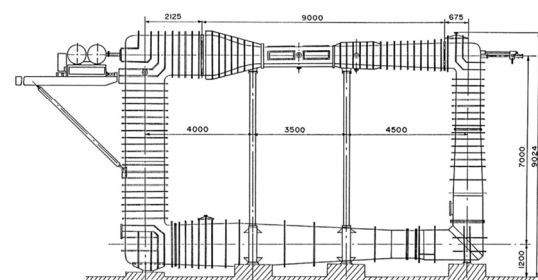


Fig. 1. Schematic diagram of the KRISO MCT.

거칠기를 주었으며 수중익의 흡입면 앞전 위치에 공기 주입구 14개, 날개 끝단 부분에 3개의 공기주입구를 설치하였다. 공기분사 위치는 캐비테이션 발생특성에 따라 공기분사 위치 및 분사량을 조절 할 수 있도록 Fig. 2와 같이 세 그룹으로 제작하였다. 공기분사 위치는 날개 끝단부 세 개의 공기 주입구(G1)와 날개 0.7R 부근의 공기주입구 그룹(G2), G2 그룹아래의 날개 뿌리 부위의 공기주입구 그룹(G3)로 나누어 각 공기주입구 그룹의 공기 분사유무와 날개에서 분사되는 전체 공기 분사량을 제어할 수 있도록 제작하였다.



Fig. 2. (Color available online) Elliptic wing and Air emission group.

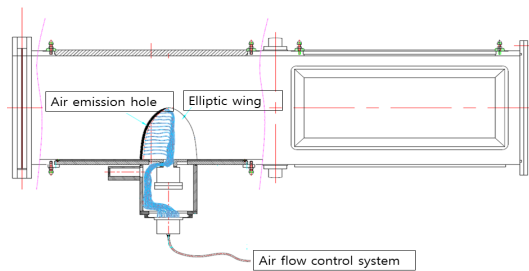


Fig. 3. (Color available online) Air emission system (3ch).

타원형 날개는 Fig. 3과 같이 중형 캐비테이션 터널 관측부 하단에 설치하였으며 날개 안쪽으로 공기 분사 주입구를 각각의 튜브로 연결하고 이를 그룹별로 제어 할 수 있는 공기분사제어시스템을 설치하였다. 공기분사시스템은 Fig. 3과 같이 설정된 분사량을 컴퓨터로 자동으로 제어할 수 있도록 하였으며 최대 공기 분사량은 30 l/min이며 컴퓨터로 제어되는 설정 유량에 대한 최대응답시간은 2s 이내이며 $\pm 1\%$ 오차를 보인다.

소음계측시스템은 유동에 의한 자체 잡음을 최소화하기 위하여 청음기를 물과 음향 임피던스가 유사한 물질로 관측창에 매립하는 방식으로 제작하였으며 타원형 날개에서 발생하는 다양한 캐비테이션 소음을 잘 계측할 수 있도록 관측창 중앙에 설치하였다. 수중 청음기에서 계측된 신호는 전하형 증폭기에서 증폭하고 소음취득장치를 통해 1 Hz ~ 100 kHz 까지 계측하였다.

2.2 시험조건 설정

타원형 수중익을 활용한 연구는 함정 추진기 캐비테이션 소음저감을 위한 기반연구로 실제 함정의 운용모드와 연계시킬 수는 없다. 하지만 다양한 형태의 캐비테이션 패턴 모사가 가능하기 때문에 캐비테이션 발생이전의 비공동 조건과 날개 끝 보텍스 캐비테이션 초생조건(Tip Vortex Cavitation, T.V.C.), 얇은 층 캐비테이션 발생 시험조건에 대하여 연구를 수행하였다.

캐비테이션 터널 내부의 유속을 8 m/s로 일정하게 유지하면서 날개의 받음각과 터널 내부 압력을 조절하여 비공동 상태에서부터 앞서 언급한 여러 가지 형태의 캐비테이션과 발생 강도를 모사하였다.

Table 1에 본 연구에서 다양한 캐비테이션 패턴을

Table 1. Test conditions and Cavitation pattern ($V = 8$ m/s).

Test Condition	$\alpha = 7^\circ$	$\alpha = 12^\circ$
Non-cavitation	$C_v = 6.6$	
T.V.C. inception	$C_v = 2.9$	
Strong T.V.C.	$C_v = 1.3$	
Sheet cavitation	$C_v = 1.0$	$C_v = 1.7$

구현하기 위한 시험조건과 발생한 캐비테이션을 나타내었다.

III. 시험결과 및 해석

본 장에서는 타원형 날개에서 발생하는 다양한 형태의 캐비테이션 상태에서 분사위치, 분사량에 따른 캐비테이션 거동 및 소음변화를 도시하고 이를 분석하였다. Table 1에 나타난 다양한 시험조건에서 공기분사에 따른 변화를 시험하였다. 공기분사량은 날개 크기를 고려하여 분당 2 l, 5 l, 10 l를 주입하여 시험하였다. 논문에서는 현재 함정 추진기에 적용된 공기분사시스템처럼 모든 주입구에서 공기를 분사하는 경우의 특성 변화를 주로 분석하였으며 캐비테이션이 충분히 발달한 얇은 층 캐비테이션이 발생한 경우는 분사량과 분사위치에 따른 소음특성 변화를 고찰하였다.

3.1 타원형 날개의 캐비테이션 발생 및 소음특성 (w/o air injection)

먼저 타원형 날개에서 공기를 분사하지 않은 상태에서의 각 캐비테이션 발생 상태에서의 소음특성을 분석하였다. 타원형 날개의 받음각을 7°로 유지하고 터널 내부압력을 낮추어 캐비테이션 발생과 소음을 측정하였다. $C_v = 6.6$ 조건은 타원형 날개에서 어떤 캐비테이션도 발생하지 않은 비공동상태이며 $C_v = 2.9$ 조건은 Fig. 4(b)와 같이 사진 상으로 잘 나타나지는 않지만 날개 끝 단부에서 미세하게 캐비테이션이 발생한 초생조건이다. $C_v = 1.3$ 에서는 날개 끝 보텍스 캐비테이션이 점차 성장하고 있고 동시에 날개의 앞전에서 얇은 층 캐비테이션이 발생하기 시작하였다. $C_v = 1.0$ 에서는 날개 끝 보텍스 캐비테이션과 얇은 층 캐비테이션 모두 충분히 성장한 조건이다.

Figs. 4와 5의 캐비테이션 발생형태에 따른 소음특성을 결과에서 보듯이 비공동 상태($C_v = 6.6$)에서 날개 끝 보텍스 캐비테이션이 발생($C_v = 2.9$)하기 시작하면 일반적으로 알려진 것처럼 1 kHz 주파수 대역에서부터 소음이 10 dB~20 dB 상승되는 현상을 확인할 수 있다. 여기서 캐비테이션 수가 더 낮아져 강한

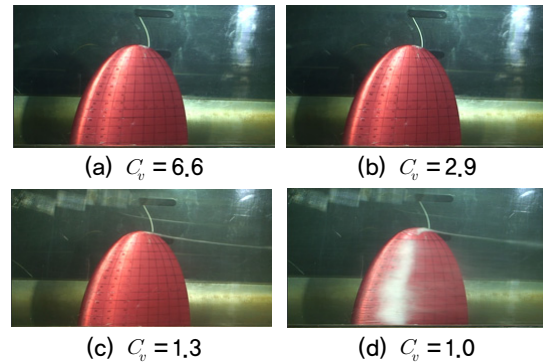


Fig. 4. (Color available online) Cavitation behavior according to the cavitation number.

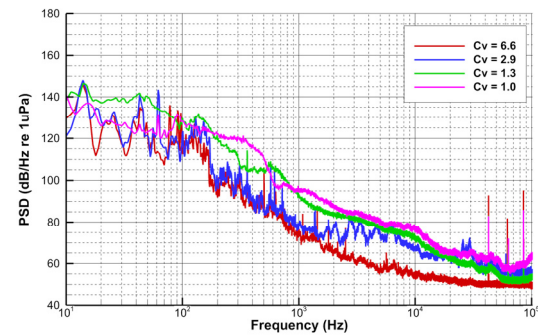


Fig. 5. (Color available online) Noise spectrum according to the cavitation number.

날개 끝 보텍스 캐비테이션과 얇은 층 캐비테이션이 발생($C_v = 1.3$)하게 되면 전 주파수 대역에서 소음이 급격히 증가하는 현상이 나타난다. 캐비테이션 수가 더 낮아지는 $C_v = 1.0$ 인 조건에서는 안정적인 얇은 층 캐비테이션과 날개 끝 보텍스 캐비테이션이 안정적인 거동을 보이며 캐비테이션 발생량은 증가하였음에도 100 Hz 이하의 저주파 대역에서는 오히려 소음도가 낮아지는 특성을 보였다. 하지만 100 Hz에서 700 Hz 사이의 주파수 대역은 성장한 얇은 층 캐비테이션의 체적변화로 인해 소음이 증가하였으며 강해진 날개 끝 보텍스 캐비테이션과 얇은 층 캐비테이션의 끝단에서 떨어져 붕괴되는 캐비테이션 버블에 의하여 고주파 광대역 소음은 증가하는 현상이 나타났다. 즉 캐비테이션 발생량이 증가한다고 하여 모든 주파수 대역의 소음이 증가하는 것은 아니며 캐비테이션의 거동변화에 따라 소음특성이 달라질 수 있는 것이다. 이는 공기분사시스템에 의해 캐비테이션의 발생과 거동을 변화시켜 소음을 감소시킬 수 있음을

의미한다.

3.2 비공동 조건에서 공기분사

타원형 수중익에서 어떤 캐비테이션도 발생하지 않는 비공동 상태에서 공기를 분사하였을 경우 모든 경우에서 소음이 증가하였다. 특히 Fig. 6에서 나타나듯이 날개 끝단 부위에서 분사된 공기는 와류 중심부의 저압영역으로 들어가 날개 끝 보텍스 캐비테이션이 생성되어 Fig. 7과 같이 광대역 소음수준을 10 dB~15 dB 상승시키는 요인으로 작용하고 있다. 이는 분사된 공기가 캐비테이션 핵으로 작용하여 저압영역인 와류 중심부에서 급격히 팽창하여 공동화 되기 때문인데 분사된 공기는 일반적으로 물속에 존재하는 핵들에 비하여 반경이 크기 때문에 캐비테이션 현상이 발생하는 임계압력이 높아 더 쉽게 공동화 되기 때문이다. 공기분사 전에는 비공동 상태였지만 공기분사로 인하여 날개 끝 보텍스 캐비테이션과 앞전의 저압영역에서 캐비테이션

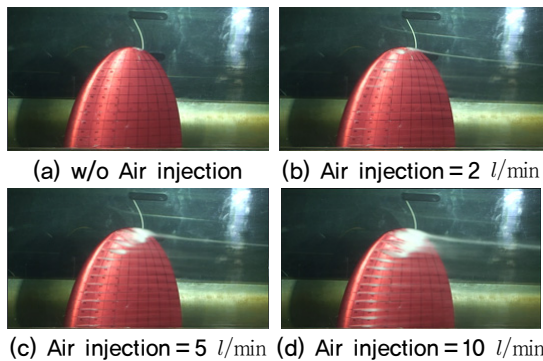


Fig. 6. (Color available online) Cavitation behavior by air injection (non-cavitation condition, $C_v = 6.6$).

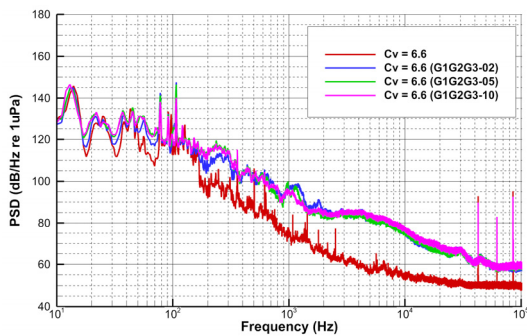


Fig. 7. (Color available online) Noise spectrum by air injection (Non-cavitation condition, $C_v = 6.6$).

이 발생하여 캐비테이션 소음원이 생성되어 소음도 역시 증가하였다.

3.3 날개 끝 보텍스 캐비테이션 초생조건 공기 분사

Fig. 8과 같이 날개 끝 보텍스 캐비테이션 초생조건에서도 비공동 조건과 유사한 결과를 보여주고 있다. 날개 끝 보텍스 캐비테이션 초생조건은 날개 끝에서 미세한 보텍스 캐비테이션이 발생한 상태이며 Fig. 9의 소음 결과에서 보듯이 공기 분사량이 많아질수록 고주파 광대역 소음이 증가하는 경향을 보이고 있다. 특히 날개 끝단 부 공기주입 위치에서 분사된 공기에 의해 날개 끝 보텍스 캐비테이션의 강도가 강해지고 날개 스펠방향으로 이어진 공기 분사에 의해 성장한 캐비테이션의 상호작용에 의하여 얇은 층 캐비테이션으로 성장, 변화하고 있음을 볼 수 있다. 이는 고주파 광대역 소음 뿐 아니라 300 Hz 이하의 저주파 대역 소음수준의 변화도 야기하고 있다.

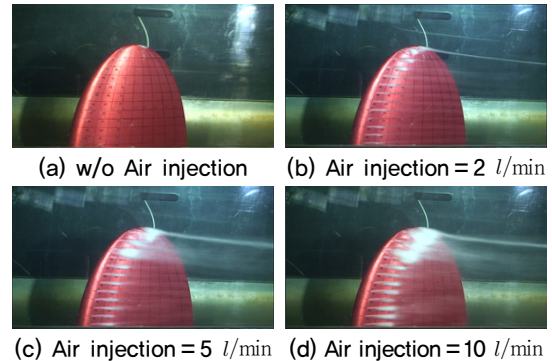


Fig. 8. (Color available online) Cavitation behavior by air injection (T.V.C inception condition, $C_v = 2.9$).

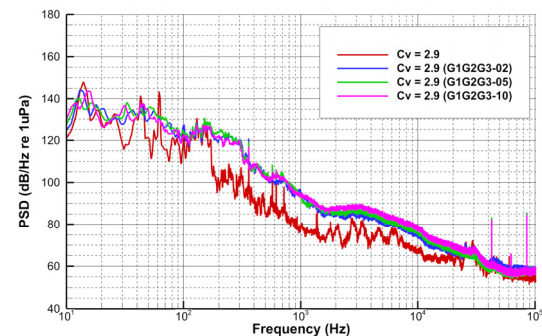


Fig. 9. (Color available online) Noise spectrum by air injection (T.V.C inception condition, $C_v = 2.9$).

3.4 얇은 층 캐비테이션 조건 공기분사

타원형 수중익에서 얇은 층 캐비테이션이 발달한 조건에서 공기를 분사하였을 경우 Fig. 10과 같이 얇은 층 캐비테이션의 발생량이 공기분사로 인하여 증가하는 것을 볼 수 있으나 Fig. 11에 나타난 것처럼 1 kHz 대역의 소음이 최대 20 dB 정도 작아지는 것을 확인할 수 있다. 얇은 층 캐비테이션 발생 시 앞전에서 공기를 주입하면 얇은 층 캐비테이션의 성장-붕괴 과정에서 분사된 공기로 인해 얇은 층 캐비테이션의 붕괴 과정에서 발생하는 특정 주파수 대역의 소음이 저감됨을 확인하였다. 얇은 층 캐비테이션은 날개 앞전에서 날개 표면을 따라 얇은 층처럼 캐비테이션이 시위방향으로 성장하는 형태로 생성되는데 재유입제트 유동에 의해서 캐비테이션의 시위방향 끝 날개 표면에서부터 박리되어 주기적으로 큰 캐비테이션의 붕괴가 나타난다. 붕괴된 캐비테이션은 유동을 따라 흘러가면서 고압영역에서 연쇄 붕괴되는 패턴을 보이게 되는데 앞전에서 공기를 분사하게 되면 재유입

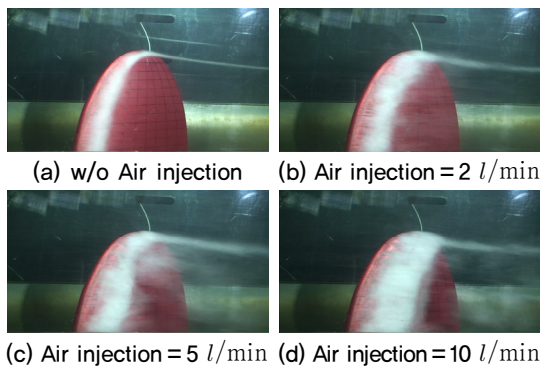


Fig. 10. (Color available online) Cavitation behavior by air injection (sheet cavitation condition, $C_v = 1.7$).

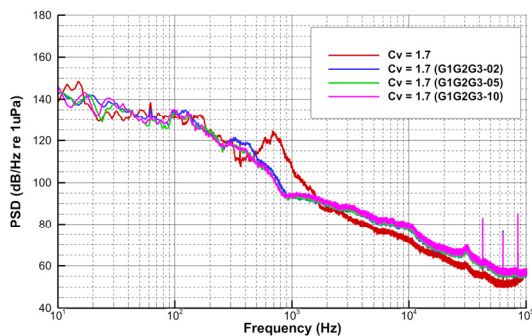


Fig. 11. (Color available online) Noise spectrum by air injection (sheet cavitation condition, $C_v = 1.7$).

제트유동에 의한 캐비테이션 붕괴가 약해진다. 또한 탈락 된 캐비테이션이 고압영역에서 붕괴 시 주입된 공기가 캐비테이션 내부에 존재하여 이 공기들이 캐비테이션 붕괴 시 완충작용을 해주어 급격한 붕괴를 방지하게 된다. 캐비테이션 소음은 캐비테이션 버블 체적의 이차변화율에 비례하기 때문에 캐비테이션 체적의 급격한 붕괴를 방지함으로써 소음저감 효과가 나타난 것으로 판단된다.^{17,8)}

함정의 고속운항 조건과 같이 얇은 층 캐비테이션이 발생한 상태에서는 날개 끝 단 부의 공기분사 위치에서만 분사량을 달리하여 소음특성 변화를 추가적으로 고찰하였다.

Figs. 12와 13의 결과와 같이 캐비테이션이 충분히 성장한 경우에는 날개 끝단 부에서만 공기를 분사하더라도 분사된 공기는 날개 전체의 캐비테이션 거동에 영향을 미치게 되고 날개 전체에 공기를 분사한 것과 유사한 주파수 대역에서 소음이 저감되는 것을

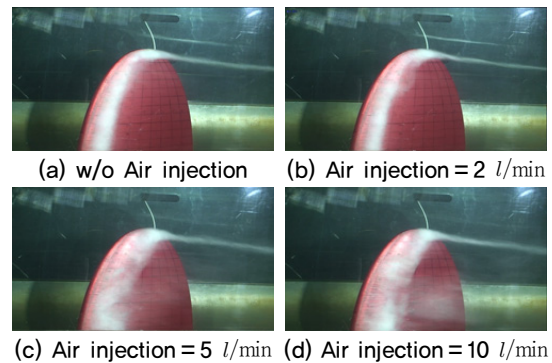


Fig. 12. (Color available online) Cavitation behavior by tip air injection (sheet cavitation condition, $C_v = 1.7$).

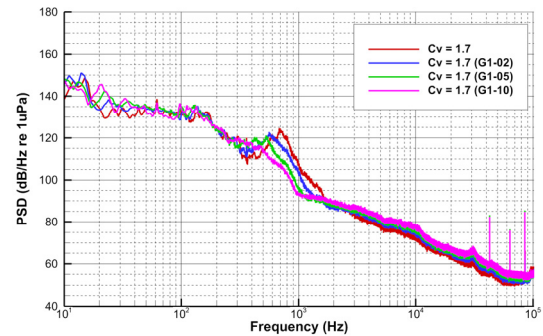


Fig. 13. (Color available online) Noise spectrum by tip air injection (sheet cavitation condition, $C_v = 1.7$).

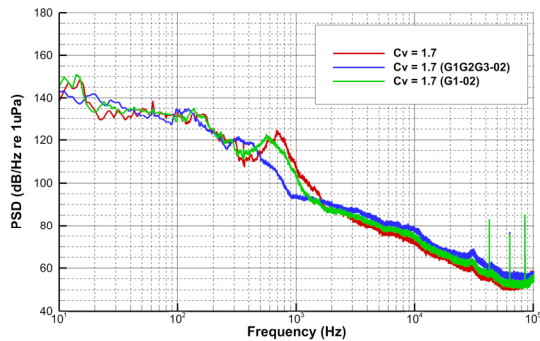


Fig. 14. (Color available online) Noise spectrum by location of air injection (sheet cavitation condition, $C_v = 1.7$).

볼 수 있다. 또한 이 경우 공기 분사량이 증가함에 따라 소음저감 성능도 향상되고 있음을 확인할 수 있다. 날개 끝단부의 공기 분사량이 증가함에 따라 날개 끝 보텍스 캐비테이션 뿐 아니라 얇은 층 캐비테이션의 거동에도 더 강한 변화를 일으켜 해당 주파수대의 소음이 저감되는 것으로 판단된다.

다만 얇은 층 캐비테이션이 발생한 경우와 같이 소음원인 캐비테이션이 날개 전체에 분포하게 되는 경우 동일한 공기 분사량을 사용하여 효과적으로 소음을 저감하기 위해서는 날개 전체 공기 주입구에서 공기를 분사하여야지만 더 큰 소음저감 효과가 나타남을 유추할 수 있다.

이는 공기 분사 위치에 따른 소음변화 결과에서 확인할 수 있다. 날개 끝 단부(G1)위치에서만 2 l/min의 공기를 주입한 경우와 날개 전체 공기 주입구(G1,G2,G3)에서 총 2 l/min의 공기를 분사한 경우 소음저감 특성이 Fig. 14에서와 같이 다르게 나타났으며 이는 추진기에서 캐비테이션의 발생위치와 발생량에 따라 소음을 저감하기 위한 최적의 분사위치와 분사량이 있음을 의미한다.

IV. 결 론

본 연구에서는 타원형 수중익에서 발생하는 다양한 형태의 캐비테이션과 이에 따른 소음특성을 분석하고 공기분사를 통한 캐비테이션 거동 변화와 소음 영향에 대하여 실험적으로 분석하였다.

비공동상태와 날개 끝 보텍스 캐비테이션 초생조

건에서 날개 앞전에서 공기를 분사하였을 경우 분사된 공기가 날개 끝의 보텍스 코어, 즉 저압 유동장으로 흘러들어가 공동화 되는 현상을 보여 광대역 소음을 10 dB ~ 15 dB 상승시키는 결과로 나타났다. 이는 버블거동 모델을 이용한 캐비테이션 초생연구에서도 알 수 있듯이 분사된 공기는 캐비테이션을 더 쉽게 발생할 수 있게 하는 캐비테이션 핵 역할을 하기 때문이다. 즉 함정 추진기 운용 시 추진기 캐비테이션 발생선속(Cavitation Inception Speed, CIS) 이하에서는 공기분사시스템의 효과가 없거나 오히려 수중방사소음을 증가시킬 수 있음을 유추할 수 있다.

얇은 층 캐비테이션이 발생한 상태에서 공기분사는 얇은 층 캐비테이션의 발생 체적을 증가시키지만 소음측면에서는 1 kHz 대역의 소음을 20 dB 가량 저감하는 성능을 보여주었다. 이는 공기분사로 인하여 캐비테이션의 성장-붕괴 과정에 영향을 주어 수중방사소음이 저감되는 전형적인 함정 추진기 공기분사시스템의 특성을 보여주고 있다. 특히 공기분사 위치/분사량에 따라 소음특성의 변화가 나타나고 있는데 이는 실제 함정 추진기에서도 운항상태에 따라 최적의 공기분사시스템 운용모드가 있음을 간접적으로 나타내고 있다.

위와 같이 본 연구에서 추진기 공기분사시스템의 소음저감 성능을 효과적으로 활용하기 위해서는 추진기에서 발생하는 캐비테이션의 발생위치, 발생량, 거동특성 등에 따라 공기분사 위치와 분사량을 최적화하여 활용해야 하는 것을 확인하였다.

향후 본 연구를 기반으로 대형캐비테이션터널을 이용하여 실제 함정 추진기를 모사한 모형 추진기에서의 연구와 실제 함정 추진기를 활용한 체계적 연구가 진행 된다면 궁극적으로 함정 추진기 수중방사소음을 저감할 수 있는 효과적인 제어기법과 운용기법이 도출 될 수 있을 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 선박해양플랜트연구소 주요사업 ‘고효율/저소음 선박을 위한 추진기소음 원천기술 개발 및 실선적용 연구(2/5)’(PES3890)와 산업통상자원부 조선해양산업핵심기술개발사업 ‘IMO 해양환경보

호 규제대응을 위한 선박 수중방사소음 모니터링 및 소음저감 기술개발(1/4)(20012974) 사업, 해군전력 분석시험평가단의 지원으로 수행되었습니다.

References

1. H. Seol and S. Y. Kim, "Study on the analysis of model propeller tip vortex cavitation inception" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **37**, 387-395 (2018).
2. D. P. Ross, *Mechanics of Underwater Noise* (Pergamon Press, New York, 1973), Chap. 8.
3. J. S. Carlton, *Marine Propellers and Propulsion* (Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 1994), Chap. 10.
4. W. K. Blake, *Mechanics of Flow-Induced Sound and Vibration volume II* (Academic Press, London, 1986), pp. 460-469.
5. H. Lee, Y. Moon, and S. Kang, "Tests on ventilation control of prairie for improving acoustic stealth performance" (in Korean), *J. KIMST.* **23**, 602-608 (2020).
6. G. Ku, C. Cheong, and H. Seol, "Numerical investigation of blade tip vortex cavitation noise using Reynolds-averaged Navier-Stokes simulation and bubble dynamics model" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **39**, 77-86 (2020).
7. G. Bark and W. B. Berlekom, "Experimental investigations of cavitation dynamics and cavitation noise," Proc. 12th Symp. on Naval Hydrodyn. National Academy of Sciences, 470-493 (1978).
8. C. T. Hsiao, G. L. Chahine, and H. L. Liu, "Scaling effect on prediction of cavitation inception in a line vortex flow," *J. Fluids Eng.* **125**, 53-60 (2003).

▶ 정 흥 석 (Hongseok Jeong)



2012년 2월 : 서울대학교 기계항공공학
학사
2014년 2월 : 서울대학교 기계항공공학
석사
2019년 2월 : Institute of Sound and Vibration
Research, University of Southampton,
박사
2019년 6월 ~ 현재 : 선박해양플랜트연구
소 전문연구요원

저자 약력

▶ 설 한 신 (Hanshin Seol)



1998년 2월 : 부산대학교 항공우주공학
학사
2001년 2월 : 서울대학교 기계항공공학
석사
2005년 2월 : 서울대학교 기계항공공학
박사
2005년 3월 ~ 현재 : 선박해양플랜트 연구
소 책임연구원