

정합장 처리를 이용한 캐비테이션 터널에서의 프로펠러 소음원 위치 추적에 관한 연구

A Study on Propeller Noise Localizations in a Cavitation Tunnel Using MFP

박 철 수*, 조 용 진*, 설 한 신*

(Cheolsoo Park*, Yongjin Cho*, Hanshin Seol*)

*한국해양연구원 해양시스템안전연구소

(접수일자: 2007년 6월 16일, 채택일자: 2007년 6월 29일)

캐비테이션 터널에서 소음계측 실험의 주 목적은 프로펠러 소음레벨 계측과 소음원의 위치 판별이다. 한국해양연구원의 소음계측 실험용 "저소음 대형 캐비테이션 터널"의 기초연구의 일환으로 소음계측 실험이 동 연구원의 소형 캐비테이션 터널에서 수행되었다. 본 실험에서는 프로펠러 캐비테이션이 발생할 수 있는 반류조건을 만들기 위해 반류 생성용 모형체 (dummy body)를 제작하였고, 유동장 내의 청유기에 의한 자체소음을 줄이기 위해 유선형으로 설계된 하이드로포일내에 청음기 배열을 설치하였다. 다양한 압력조건에서 발생한 소음장과 가상 음원의 복제음장을 계측한 후, 소음원의 위치를 추적하기 위해 주파수 비상관 Bartlett 프로세서를 적용하였다. 본 논문에서는 수행된 소음계측 시험에 대해 기술하고, 계측된 소음의 분석 및 위치추적 결과를 제시한다.

핵심용어: 정합장 처리, 소음 계측, 소음원 위치추적, 프로펠러 캐비테이션 소음, 캐비테이션 터널

투고분야: 수중 음향 분야 (5.5)

The two major objectives of acoustical measurements in a cavitation tunnel are measuring the noise levels generated by rotating propellers behind a hull and localizing possible noise sources in order to reduce noise levels. Propeller noise measurement experiments were performed in MOERI cavitation tunnel at December, 2006. In order to put the propeller into cavitating conditions, a wake-generating dummy body was devised. In addition, ten hydrophones are put inside a wing-shaped casing in order to minimize the unexpected flow induced self noise around hydrophone itself. After measuring both of the noises of the rotating propeller behind the dummy body and signals generated by a virtual source, respectively, the data were matched field processed using the frequency incoherent Bartlett processor to localize noises on the propeller plane. In this paper, we presented the measured noise analysis and the localization results.

Key words: MFP, Noise measurement, Noise localization, Propeller cavitation noise, Cavitation tunnel

ASK subject classification: Underwater Acoustics (5.5)

I. 서론

선박의 고급화 및 해군 함정 및 잠수함의 정숙, 은밀함 해의 요구에 따라 수중 방사소음 분체의 중요성이 점점 커지고 있다. 그러나 수중 방사소음에 대한 연구는 현재 일부 선진국을 중심으로 제한적으로 수행되고 있고, 더욱이

그 내용이 주로 군사적인 측면과 결부되어 있기 때문에 연구결과의 공유가 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

이에 한국해양연구원은 고부가가치 선박을 포함해 수상함 및 잠수함의 수중방사소음 연구를 국내에서 자체적으로 수행하기 위해 "저소음 대형 캐비테이션 터널" 연구를 진행하고 있다. 수중 방사소음은 소음원에 따라 기계류 소음, 유체동력학적 소음, 그리고 추진기 소음으로 나눌 수 있으며, 그 중 "저소음 대형 캐비테이션 터널"은 주

책임저자: 박 철 수 (parkcs@moeri.re.kr)
305-343 대전광역시 유성구 장동 171번지 한국해양연구원
해양시스템안전연구소
(전화: 042-868-7687, 팩스: 042-868-7683)

로 유체동력학적 소음과 추진기 소음 연구에 활용될 예정이다.

캐비테이션 터널에서 수행되는 소음실험의 주된 관심은 소음원의 크기를 측정하는 것이며, 이와 관련하여 많은 연구가 수행된 바 있다 [1, 2]. 캐비테이션 터널을 활용한 모형시험은 각 소음원 별 소음의 크기를 구별하여 측정이 어려운 실선 시험에 비해 유체동력학적 소음과 특히 프로펠러에 의해 발생하는 추진기 소음을 개별적으로 측정할 수 있는 장점이 있다. 그러나 캐비테이션 터널에서 계속한 소음레벨은 모형선 스케일이기 때문에 스케일 효과 등을 고려해 이를 실선으로 확장하는 과정이 추가로 필요하다 [3, 4].

캐비테이션 터널 소음실험의 또 다른 목적은 소음원의 위치를 판별하여 해당 소음원을 제거하거나 그 크기를 최소화하는 것이다. 캐비테이션 터널에서 소음원의 위치를 판별에는 청음기 배열을 사용한 빔형성 기법이 주로 쓰였다 [5, 6]. 그러나 빔형성 기법은 캐비테이션 터널과 같이 다중반사가 지배적인 환경에서는 위치 판별의 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 따라서 다중반사의 측면에서 캐비테이션 터널과 조건이 유사한 해양환경, 특히 천해에서의 수중 소음원 위치추적에는 빔형성 기법을 확장한 정합장 처리 (Matched Field Processing)의 적용이 폭넓게 연구되어 왔다 [7-10].

본 논문은 캐비테이션 터널에서의 수중 정합장 처리를 적용한 소음원 위치추적 기법을 제안하고, 저소음 대형 캐비테이션 터널 기초연구의 일환으로 기존의 소형 캐비테이션 터널에서 수행된 소음측정 데이터에 제안된 기법을 적용하여 그 타당성을 검증하며, 궁극적으로는 저소음 대형 캐비테이션 터널에서 활용하고자 하는데 그 목적이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 정합장 처리에 대해 간략히 기술하였고, 제 3장에서는 수행된 소음측정 실험의 구성에 대해 기술한 후, 제 4장에서 소음측정 데이터의 분석과 위치추적 결과를 제시하였다. 끝으로 제 5장에서 요약 및 결론을 맺었다.

II. 정합장 처리를 활용한 소음원 위치추적 기법

캐비테이션 터널에서 소음을 측정할 때, 측정된 음향신호에는 대상 소음원으로부터 전파된 신호성분과 터널 벽

면 및 선체 등에 의해 발생한 비정상 난류유동에 의한 소음 및 전기적 잡음 등 다양한 원인에 기인한 잡음성분이 함께 섞이게 된다. 선형시불변시스템 (Linear Time Invariant System)에서 소음원에서부터 매질을 통해 청음기까지 전파된 음향신호는 음원신호 $s(t)$ 와 매질의 임펄스응답 $h(t)$ 의 컨볼루션으로 표현되므로 [11], 최종 계측신호 $d(t)$ 는 다음과 같이 모델링 될 수 있다.

$$d(\mathbf{r}, t) = s(\mathbf{r}_s, t) * h(\mathbf{r}, \mathbf{r}_s, t) + n(\mathbf{r}, t). \quad (1)$$

식 (1)에서 \mathbf{r} 과 \mathbf{r}_s 는 청음기와 음원의 위치를 의미하며, $n(t)$ 는 부가적인 잡음신호이다.

식 (1)을 푸리에 변환하면 다음과 같이 표현되며, 각 주파수 ω 에서의 주파수영역 계측신호가 된다.

$$D(\mathbf{r}, \omega) = S(\mathbf{r}_s, \omega)H(\mathbf{r}, \mathbf{r}_s, \omega) + N(\mathbf{r}, \omega). \quad (2)$$

배열의 모든 청음기에서 측정된 소음신호와 복제음장 (replica)을 계측신호 벡터 $\mathbf{D} = [D_1, D_2, \dots, D_M]^T$ 와 복제음장 벡터 $\hat{\mathbf{H}} = [\hat{H}_1, \hat{H}_2, \dots, \hat{H}_M]^T$ 로 표현할 때, 동일한 주파수의 계측신호 벡터와 복제음장 벡터의 정규화된 상호상관 값은 수중 정합장 처리에서 널리 쓰이는 Bartlett 프로세서가 된다 [7]. 만약 복제음장의 음원 위치와 실제 음원의 위치가 서로 일치한다면 프로세서는 가장 높은 상관 값을 줄 것이다. 한편, 프로펠러 캐비테이션 소음과 유체 동역학적 소음은 주파수대역이 넓은 광대역 주파수 신호이므로, 본 논문에서는 다음과 같이 정의된 주파수 비상관 광대역 Bartlett 프로세서를 소음원의 위치추적에 사용한다.

$$B(\hat{\mathbf{r}}_s) = \frac{1}{N_f} \sum_{j=1}^{N_f} \frac{\left| \sum_{i=1}^{N_s} D_i(\omega_j) \hat{H}_i(\hat{\mathbf{r}}_s, \omega_j) \right|^2}{\sum_{k=1}^{N_s} |D_k(\omega_j)|^2 \sum_{k=1}^{N_s} |\hat{H}_k(\hat{\mathbf{r}}_s, \omega_j)|^2} \quad (3)$$

식 (3)에서 N_f 와 N_s 는 각각 측정에 사용된 청음기와 신호처리에 사용된 주파수 성분의 개수를 의미하며, \mathbf{r}_s 는 복제음장 음원의 위치를 의미한다.

해양환경의 정합장 처리에서 복제음장은 수치해석으로 계산하는 경우가 일반적이다. 이는 실제 수중에서 수많은 음원 위치에서 복제음장을 측정에 의해 구하는 것은 실험의 규모 등에서 볼 때 쉬운 일이 아니며, 특히 해양환경

은 환경인자의 시공간적 변동이 심하기 때문에 한 번 계측된 복제음장을 지속적으로 사용할 수 없기 때문이다. 그러나 캐비테이션 터널은 복제음장을 계측하는데 있어 해양에 비해 상대적으로 용이하므로, 여러 가정이 들어간 이상적인 계산결과보다는 실험에 의해 측정된 복제음장을 사용하는 것이 바람직하다.

잡음이 존재하는 환경에서의 복제음장은 가상음원(virtual source)의 송출신호와 전파된 계측신호로부터 다음과 같이 추정될 수 있다 [12].

$$\hat{H}_i(\hat{r}_s, \omega) = S_{xy}(\hat{r}_i, \hat{r}_s, \omega) / S_{xx}(\omega) \quad (4)$$

식 (4)에서 S_{xx} 는 가상음원의 송출신호 $X(\omega)$ 의 자기 상관 스펙트럼 밀도함수이고 S_{xy} 는 $X(\omega)$ 와 청음기까지 전파된 신호 $Y(\hat{r}_i, \hat{r}_s, \omega)$ 와의 상호상관 스펙트럼 밀도함수를 의미한다. 만약 프로펠러에서 발생하는 소음에 초점을 맞춘다면, 프로펠러면(propeller plane)에서의 가상음원에 대한 모든 복제음장이 계측되어야 할 것이다.

III. 캐비테이션 터널 소음계측 실험 구성

저소음 대형 캐비테이션 터널 기초연구의 일환으로 소음계측 실험을 한국해양연구원의 소형 캐비테이션 터널에서 2006년 12월에 수행하였다. 본 실험의 목적은 프로펠러에 의해 발생하는 소음을 계측하고, 소음원의 위치를 추적한 후 이를 시각적으로 관찰된 캐비테이션과 비교 및 검증하는 것이다.

캐비테이션 터널은 유속과 터널 내부의 압력을 조절할 수 있는 장치이다. 실험이 수행되는 관측부의 체원은 폭 0.6m, 높이 0.6m, 길이 2.6m이며, 터널의 최대 유속은 12m/s이고 압력조절 범위는 10~200kPa이다. 한국해양연구원의 캐비테이션 터널의 형상은 그림 1과 같다.

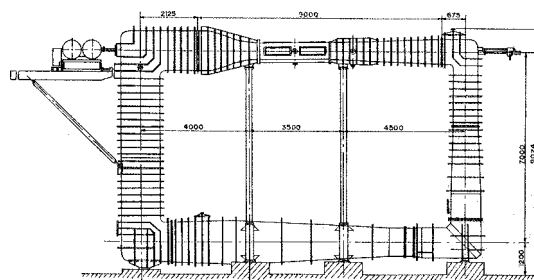


그림 1. 한국해양연구원 캐비테이션 터널 도식도
Fig. 1. Schematic diagram of MOERI cavitation tunnel.

캐비테이션 터널의 주요 용도는 실선 프로펠러를 기하학적 상사법칙에 따라 제작된 모형 프로펠러에서 발생한 캐비테이션을 관측하는데 있다. 따라서 선체의 반류(wake)를 실선과 유사하게 모의하는 것이 중요하다. 터널의 관측부에 모형선을 직접 설치할 수 있는 대형 터널에서는 모형선에 의해 반류가 재현되나, 관측부의 크기가 작은 소형터널에서는 크기가 서로 다른 여러 겹의 철망이 적층된 반류스크린을 활용해 반류를 모의하는 것이 일반적이다. 그런데 반류스크린은 철망에서의 진동 및 보오텍스의 생성 등으로 인해 그 자체가 큰 소음원이 되므로 이를 소음 계측실험에 사용하는 데에는 어려움이 따른다. 따라서 본 실험에서는 반류스크린을 사용하지 않고, 프로펠러에서 캐비테이션이 발생할 수 있도록 반류를 생성하는 모형체를 고안하여 실험을 수행하였다. 그림 2에 보인 바와 같이 모형체는 통상적인 선박의 반류와 비슷한 패턴의 유동이 생성될 수 있도록 설계되었다.

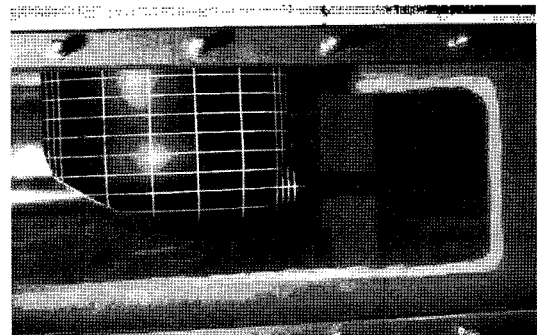


그림 2. 캐비테이션 터널에 설치된 모형체 형상
Fig. 2. Dummy body configuration installed in the test section of the tunnel.

그림 3 (a)는 RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) 기법 [13]으로 해석한 모형체 주변의 압력계수(pressure coefficient)를 보여주며, 그림 3 (b)와 3 (c)에는 모형체의 중앙부와 프로펠러가 위치할 평면에서의 유속분포를 각각 나타내었다. 그림 3 (a)의 무차원화된 압력계수 분포를 살펴보면 모형체의 가장 앞면에 높은 압력 영역이 형성되었고 이 후 압력이 급격히 감소되는 것을 알 수 있다. 따라서 모형체로부터의 급격한 유동박리가 예상되며, 그림 3 (b)와 3 (c)의 유속분포 또한 이를 뒷받침 한다. 즉, 유동은 모형체의 단면적이 가장 넓은 부분에서 최대로 가속된 후 그 부분을 통과하면 급격히 감속되어 극단적인 음의 속도 영역 또한 존재하며, 그 영역에서 유동박리 및 보오텍스가 생성될 가능성이 높다. 본 수치해석은 정상유동(steady flow)을 가정하여 수행하였다. 그런데 수치해석상의 압력 및 유동으로 비춰볼

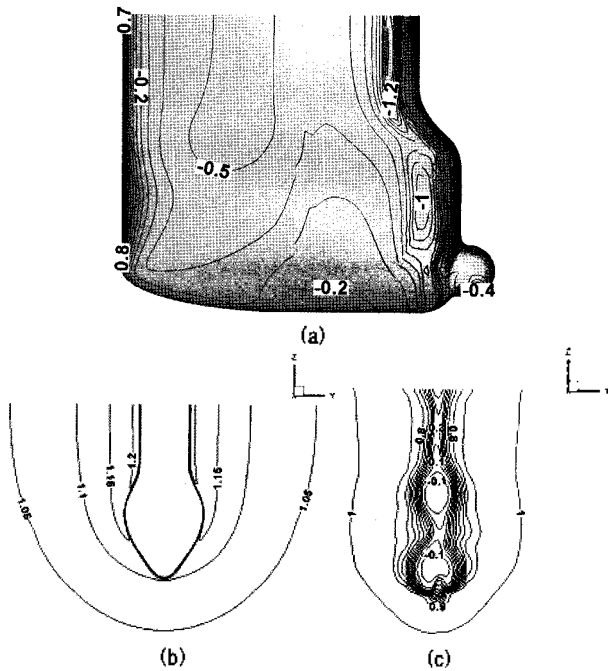


그림 3. 모형체의 RANS해석 결과 (a)압력계수, (b)모형체 중앙단면 및 (c)프로펠러 단면에서의 축방향 속도분포

Fig. 3. Pressure coefficients(a) and axial velocity contours at the center plane(b) and at the propeller plane(c) of the body calculated using RANS scheme.

때 모형체 주위의 유동은 비정상 유동 (unsteady flow) 일 가능성이 크며, 관측결과 급격한 유동의 변동성을 실제로 확인할 수 있었다.

본 실험에서는 직경 250mm이며 5개의 날개를 가진 프로펠러가 사용되었다. 프로펠러의 형상 및 주요 제원은 그림 4와 같다.

소음계측 및 데이터 저장에는 청음기, 컨디셔닝 앰프, 그리고 DAQ 유닛으로 구성된 소음신호 계측 시스템을 구성하였다. 유동장 내의 청음기에 의한 자체소음을 줄이기 위해 관측부 중앙에 수직으로 부착된 하이드로포일 케

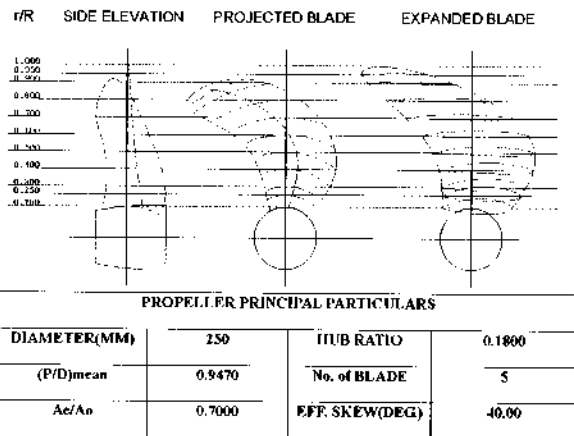


그림 4. 모델 프로펠러의 형상 및 주요 제원

Fig. 4. Principal particulars of the model propeller.

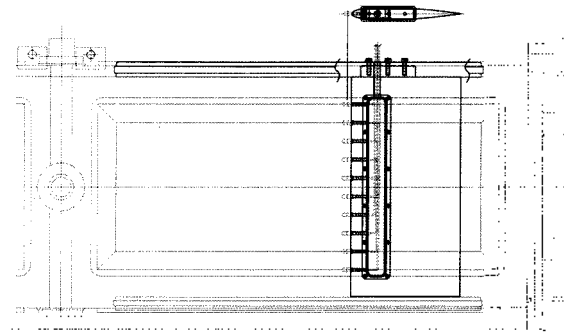


그림 5. 청음기 배열 설치도

Fig. 5. Configuration of hydrophones in a wing-shaped casing.

이스 (그림 5)에 총 10개의 청음기가 설치되었다. 청음기 배열과 프로펠러와의 거리는 약 1.3m이고, 인접한 청음기 간의 거리는 5cm로서 1500m/s의 음속을 가정할 때 주파수 15kHz 신호의 반파장에 해당한다. 따라서 15kHz 이상의 신호는 필터링 되고, 그 이하의 주파수 성분만이 신호처리에 사용되어야 한다. 한편 프로펠러 상단부와 인접한 모형체 표면에 청음기를 추가로 설치하여 참고용으로 사용하였다. 모든 청음기에서 계측된 아날로그 신호는 DAQ 유닛의 A/D 보드를 통해 이산화 되는데, 이 때 샘플링 주파수는 100kHz이다.

소음계측은 다음과 같은 과정으로 수행되었다. 먼저, 프로펠러와 모형체를 관측부에 설치한 후, 터널 유속과 프로펠러 회전수를 각각 3.0m/s와 20rps로 일정하게 유지한 채 터널 내부의 압력을 160kPa부터 30kPa까지 10kPa 단위로 낮추면서 각 압력조건에서 발생한 소음을 계측하였다. 그 다음으로 프로펠러를 모형체에서 분리한 후 모형체 단독소음을 계측하였다. 계측 조건은 프로펠러 소음계측 시와 동일하다. 끝으로, 터널의 배경소음을 계측하였다. 여기서 배경소음이란 모형체와 프로펠러가 제거된 빈 관측부에서 유속과 프로펠러를 구동할 때 사용된 동력계의 회전수는 전과 동일하나, 터널 내부의 압력이 대기압일 때 소음을 의미한다.

복제음장 계측은 프로펠러를 제거한 후 프로펠러면에 위치한 가상음원을 활용하여 대기압 압력조건에서 수행되었다. 그림 6은 복제음장을 추정을 위해 신호를 송출한 가상음원의 위치를 보여준다. 그림 6에서 그리드 간격은 수평과 수직에 대해 공히 1cm이다. 본 실험에서는 관측부의 정 중앙에서 청음기가 수직 방향으로 배치되었으므로 배열을 중심으로 좌측과 우측의 복제음장은 대칭이 된다. 따라서 우측면에서의 가상음원에 대한 복제음장만을 계측하였다. 계측복제음장 계측용 가상음원으로는 B&K 8103 트랜스듀서가 사용되었고, 트랜스듀서의 입력신호

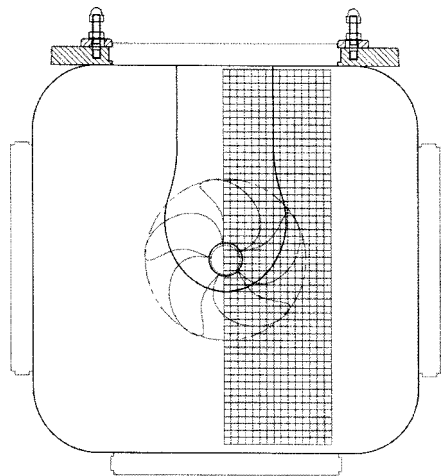


그림 6. 복제음장 계측용 가상음원 위치
Fig. 6. Grids for ambiguity surface where the virtual source is located.

는 3~15kHz 주파수 대역, 펄스폭 1초의 Chirp 펄스이다. 3kHz 이하의 주파수에서는 트랜스듀서의 송출 감도가 낮아서 가상음원 신호가 배경소음에 묻혔으므로 Chirp 펄스의 시작 주파수를 3kHz로 제한하였다. B&K 8103 트랜스듀서는 3~15kHz의 대역에서는 주파수가 증가함에 따라 송출 감도가 증가하는 특성을 보인다. 따라서 트랜스듀서에 입력되는 신호파형과 트랜스듀서가 송출하는 신호파형이 상이하므로 실제로 송출된 신호파형은 트랜스듀서의 송출 감도를 바탕으로 추정되어야 한다. 최종 복제음장은 추정된 송출신호와 청음기 배열에서 계측된 신호를 이용하여 식 (4)로부터 추정되었다.

IV. 데이터 분석 및 소음원 위치추적 결과

프로펠러에서 발생한 소음을 분석하기 앞서 모형체 자체의 소음을 분석하였다. 그림 7은 다양한 압력조건에서의 모형체 소음과 대기압에서의 배경소음을 1/3 옥타브 밴드로 나타낸 것이다. 분석에 사용된 소음신호는 모형체에 부착된 청음기에서 계측된 것이다. 그림 7로부터 모든 압력조건에서 모형체가 존재하는 경우 소음레벨은 배경소음에 비해 증가하였음을 알 수 있다. 모형체 단독 실험에서 터널 내부의 유동은 모형체로 인해 급격히 교란되었으며, 모형체로부터 강한 보오텍스가 후류로 떨어져 나오는 현상을 관측할 수 있었다. 이러한 유동특성이 모형체 소음의 원인으로 판단되었다. 그러나 압력변화에 따른 소음의 변동이 미미한 것으로 볼 때 모형체에서는 명확한 캐비테이션이 발생하지 않았음을 알 수 있다.

다음은 프로펠러에서 발생한 소음의 분석 결과이다. 그림 8은 모형체 실험 결과를 압력에 대해 평균을 취한 값과 프로펠러 실험에서 계측된 소음을 1/3 옥타브 밴드에서 비교하여 나타낸 것이다. 프로펠러 실험에서는 모형체 경우와는 달리 압력이 낮아질수록 소음레벨이 점차 증가하였음을 알 수 있다. 특히 40kPa 이하의 압력에서는 모든 주파수 영역에 걸쳐 소음이 눈에 띄게 증가하였다. 그러나 50kPa 이상의 압력에서는 모형체에 비해 저주파 영역에서는 BPF (Blade Passing Frequency)에 해당하는 100Hz 성분을 제외하고는 명확한 소음증가가 보이지 않았고 1kHz 이상의 고주파 영역에서만 소음레벨이 증가하였다. 따라서 40kPa 이하에서 캐비테이션이 완전 생성되었음을 판단할 수 있다. 한편, 비공동 상태에 해당하는 160kPa의 압력조건에서 4kHz이상의 고주파 영역의 소음증가가 관찰되었다. 이는 캐비테이션 소음이라기 보다는 모형체의 후류와 회전하는 프로펠러의 상호작용에 기인하는 것으로 판단된다.

그림 9 (a)와 9 (b)는 압력조건 50kPa과 30kPa에서의 프로펠러를 고속카메라로 촬영한 사진이다. 50kPa의 압력조건에서는 프로펠러 중심으로부터 0.75R 떨어진 앞단에서 층 캐비테이션이 관찰되었다. 또한 모형체로부터 떨어져 나온 보오텍스가 프로펠러의 0.7R 부근에 부딪혀 깨지며 생성된 공기방울들이 관찰되었다. 반면에 30kPa의 압력조건에서는 0.6R 이상의 날개면의 절반 이상에 걸쳐 캐비테이션이 발생하였고, 강한 끝단 보오텍스 캐비

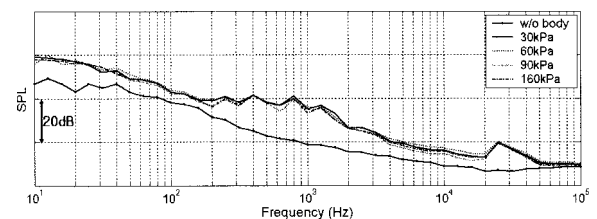


그림 7. 모형체가 있을 때와 없을 때의 1/3 옥타브 밴드 소음 분석
Fig. 7. One-third octave noise levels of the test with dummy body for selected pressures and without dummy body at atmospheric pressure.

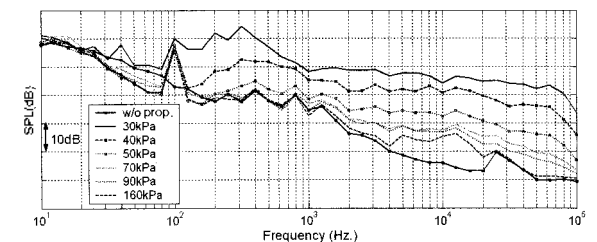


그림 8. 프로펠러가 있을 때와 없을 때의 1/3 옥타브 밴드 소음 분석
Fig. 8. One-third octave noise levels of the dummy body with the propeller for selected pressures and averaged body-only noise levels.

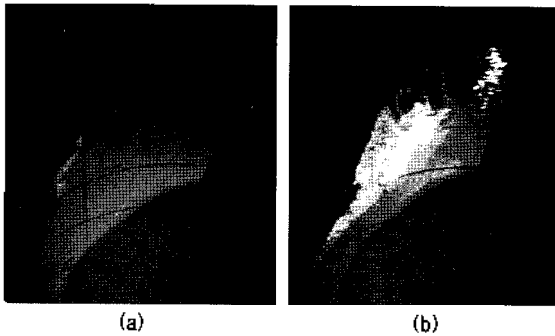


그림 9. 압력 (a)50kPa와 (b)30kPa조건에서 프로펠러 날개면의 캐비테이션 패턴
 Fig. 9. The photographs of the cavitation patterns: (a)50kPa, (b)30kPa

테이션 또한 관측되었다. 이러한 압력변화에 따른 캐비테이션 발생 패턴의 차이는 계측된 소음레벨 분석 결과와 일치함을 알 수 있다.

소음원 위치 추적에는 청음기 배열에서 계측된 1Hz간격의 3~15kHz 대역 주파수 성분 신호들이 사용되었다. 그림 10은 각 압력조건에서 프로펠러 평면의 소음원 위치 추적 결과를 보여주는 모호도 평면 (ambiguity surface) 이다. 각 그림에서 밝은 색이 프로세서 값이 높은 영역을 나타내며, 소음원이 존재하는 것으로 판단되는 위치에 해당한다.

그림 10에서 30kPa과 40kPa의 압력조건에서 모호도 평면을 살펴보면 프로펠러 날개면의 프로세서 값의 분포 형태가 거의 유사함을 알 수 있다. 두 압력조건 공히 약 0.7R을 중심으로 프로펠러 날개 상단부에 강한 소음원이 존재하는 것으로 나타났으며, 이는 그림 9 (b)의 캐비테이션 위치와 일치하는 결과이다. 한편, 육안 관찰에 의하면 압력이 증가할수록 캐비테이션의 분포영역은 축소되나, 모든 압력조건에서 모형체로부터 떨어져 나온 보오텍스가 프로펠러의 날개면에 부딪쳐 발생된 작은 공기방울들로부터의 소음 발생이 예측되었다. 30kPa과 40kPa에서는 모형체 보오텍스가 프로펠러의 넓게 발달한 캐비테이션에 묻혀 구분할 수 없으나, 50kPa과 70kPa의 결과에서는 이러한 모형체 보오텍스로 추정되는 소음원이 포착되었다. 90kPa 이상의 압력에서는 프로펠러의 중심과 그 하단까지 소음원의 분포가 확장되었음을 알 수 있는데, 이는 비공동 상태에서의 프로펠러 소음에 해당한다.

이상에서 분석된 프로펠러 날개면의 소음원 외에 또 다른 소음원이 모형체 옆면에서 존재함을 알 수 있다. 그런데 이는 모형체와 프로펠러의 상호작용에 의해 발생한 유동에 기인하는 것으로 판단되나, 정확한 소음원의 원인을 파악하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.

정합장 처리 관련 연구에서 또 다른 주요 연구 분야는 오정합 (mismatch) 문제이다 [7, 14]. 오정합은 계측음장과 복제음장의 음속을 위시한 다양한 환경의 차이를 의미하며 이러한 차이에 기인하는 위치추정 결과의 신뢰도 및 결과에 대한 환경인자의 민감도가 주된 관심이 된다. 특히 해양환경에서 오정합이 문제가 되는 것은 복제음장을 수치해석으로 추정하는 것이 일반적이는데, 수치해석에서 시공간적으로 변화가 있는 해양환경을 정확히 모사하

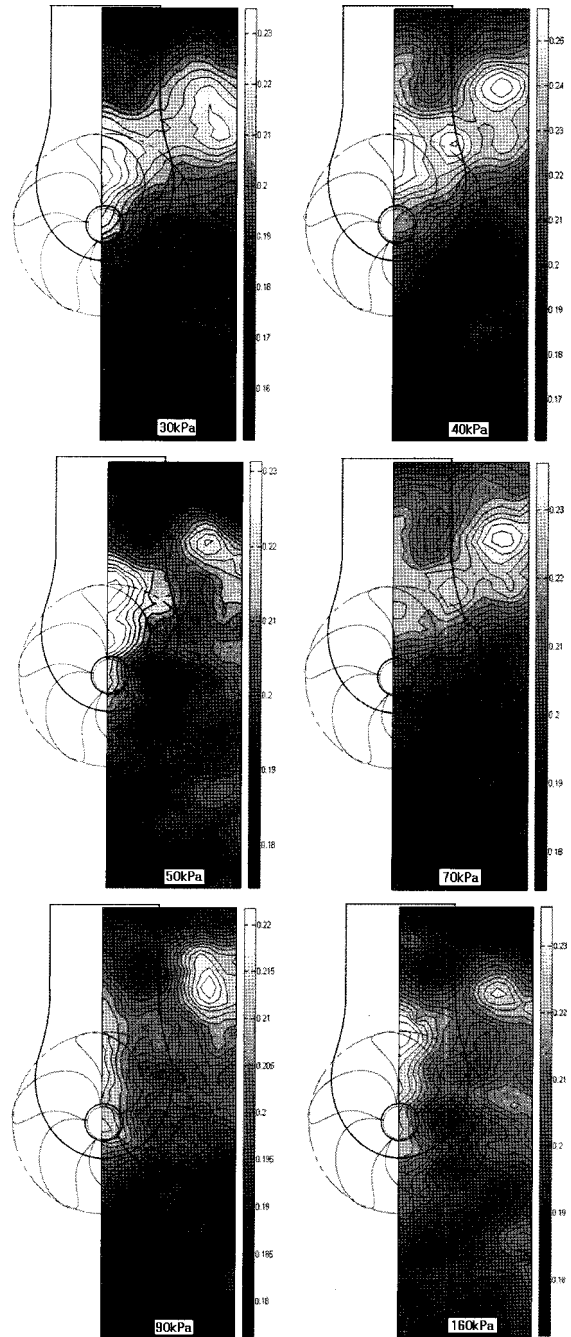


그림 10. 소음원 위치추적 결과
 Fig. 10. Results of noise source localization at various pressure conditions.

는 것이 어렵기 때문이다. 본 실험에서 오정합의원인으로 는 압력을 비롯한 상이한 계측조건과 프로펠러의 유무 등 을 들 수 있는데, 이러한 오정합의 영향을 파악하기 위해 서는 추가적인 실험연구가 요구된다.

V. 결론

본 연구에서는 캐비테이션 터널에서 모형체를 이용한 프로펠러의 소음계측 실험을 수행하였고 계측 데이터를 분석하였다. 또한 기존의 천해환경에서 널리 활용되고 있 는 수중 정합장 처리기법을 적용한 캐비테이션 터널에서 의 소음원의 위치를 추적 기법을 제안하고 이를 실험적으 로 검증하였다.

실험에 사용된 모형체는 비정상 반류장을 생성하였고 이로 인해 모형체 자체가 소음원이 됨을 확인하였다. 모 형체의 반류장 내에서 회전하는 프로펠러에 의한 소음은 터널 내부의 압력이 낮아짐에 따라 고주파 영역을 중심으 로 증가하였고, 캐비테이션이 완전 생성되는 40kPa 이하 의 압력에서는 전 주파수에 걸쳐 급격한 증가를 보였다.

끝으로 프로펠러면의 가상음원에 대한 복제음장을 계 측한 후 이를 계측된 프로펠러 소음 데이터와 더불어 주 파수 비상관 광대역 Bartlett 프로세서에 적용하여 소음 원의 위치를 추적한 결과, 각 압력 조건에서의 육안으로 관찰된 캐비테이션의 패턴 및 모형체 보오텍스와 일치하 는 소음원 위치 추정결과를 얻을 수 있었다.

이상으로부터 본 논문에서 제시된 기법은 한국해양연 구원에 건설된 저소음 대형 캐비테이션 터널에 적용 가능 하다고 판단된다.

감사의 글

이 연구는 한국해양연구원의 기본연구사업 (PE0116C, PE0115I)의 지원으로 이루어졌습니다.

참고 문헌

1. G. Bark and W. B. van Berlekom "Experimental Investigation of Cavitation Dynamics and Cavitation Noise," Proc. 12th Symposium on Naval Hydrodynamics, 470-493, Washington D.C., 1978.

2. 안종우 외 "수중 소음 계측을 위한 KRISO 캐비테이션 터널의 음향학적 특성," 대한조선학회 논문집, 37 (1) 111~117, 2000.
3. M. Strasberg, "Propeller Cavitation after 35 Years of Study," Proc. ASME Symposium on Noise and Fluid Engineering, Atlanta, 1977.
4. U. Pollmann, "Generalized Acoustic Similarity Parameters for the Broadband Cavitation Noise of a Five-Bladed Marine Propeller. Their Empirical Determination Based on the Analysis of Acoustic Model and Full-Scale Data," Proc., CAV95, 181-200, Deauville, 1995.
5. P. Abbot, S. Celuzza, R. Etter, "The Acoustic Characteristics of the Naval Surface Warfare Center's Large Cavitation Channel(LCC)," Proc. ASME Symposium on Flow Noise Modeling, Measurement, and Control, 137-156, 1993.
6. J. Friesch, "HYKAT, The New Cavitation Test Facility of Hamburg Ship Model Basin," Proc. International Symposium on Hydro- and Aerodynamics in Marine Engineering, 1991.
7. A. Tolstoy, Matched Field Processing for Underwater Acoustics (World Scientific, NJ, 1993).
8. 박정수, 김성일, 홍준석, 김익형, 김영규, "수온의 단주기 변동이 있는 동해에서의 정합장처리 실험: MAPLE 0310," 한국음향학회지, 24 (6호) 317-324, 2006
9. 김경섭, 성우제, 박철수, 김성일, "전달손실 비교를 통한 지음향학적 인자 역산과 정합장 처리," 한국음향학회지, 24 (6) 325-333, 2006.
10. 김경섭, 이근화, 성우제, 김성일, 김영규, "L-자형 산배열을 이용한 지음향학 적 인자 역산 및 음원 위치 추정," 한국음향학회지, 25 (7) 346-355, 2006.
11. A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer, *Discrete-time signal processing* (Prentic-Hall, NJ, 1989).
12. J. Bendat and A. Piersol, *Random Data Analysis and Measurement Procedures* (John Wiley & Sons, NY, 1986).
13. Kim, W.J., Kim, D.H., and Van, S.H., "Computational study on turbulent flows around modern tanker hull forms," *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 38 (4) 377-406, 2002.
14. 박재은, 신기철, 김재수, "해상 정합장처리에서 매개변수 오정합과 바이어 스" 한국음향학회지, 24 (2) 87-96, 2005.

저자 약력

• 박철수 (Cheolsoo Park)

한국음향학회지 제 25권 제6호 참조

• 조용진 (Yongjin Cho)

한국음향학회지 제 25권 제6호 참조

• 설한신 (Hanshin Seol)



1998.2 : 부산대학교 항공우주공학과 (공학사)
 2001.2 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학석사)
 2005.2 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학박사)
 2003.3~2005.2 : 서울대학교 수중음향특화연구센터 연구원
 2005.3~현재 : 한국해양연구원 해양사스텍안전연구소 선임연구원

* 관심분야 : 추진기 소음, 수중 소음