

실선 계측을 통한 선박 방사소음의 지향 특성해석

노용주*, 전재진**, 이필호**, 윤종락*

* : 부경대학교 정보통신공학과 ** : 국방과학연구소

Directional Characteristics of Ship Radiated Noise from On-Site Measurement Data

Yong-ju Ro*, Jae-jin Jeon**, Ho-pil Lee**, Jong-rak Yoon*

* : Dept. of Telematics Engr., Pukyong University ** : ADD

1. 서론

선박의 수중방사소음은 어군 탐지거나 AUV 음향장치 등의 수중음향계측 장비에 대한 방해 잡음으로 작용할 뿐만 아니라 군용의 수동소나에 대한 음향 표적체로써 피탐지 수준을 좌우하는 중요한 파라메타이다. 특히 각국의 해군은 보유 함정의 피탐지수준을 측정하기 위한 측정시스템 개발과 주파수 대역별 음원 준위, 캐비테이션 발생속도 혹은 함정 고유의 음향 특징 추정을 목적으로 많은 연구를 수행하고 있다.

일반 선박의 소음원은 주기관, 보조기관을 위시한 각종 기계장치와 프로펠러로 구성되고 전자의 기계장치들은 선각의 진동을 야기시켜 수중 방사소음을 생성하고 후자의 프로펠러는 선미 유속 불균형에 의한 프로펠러 압력 불균형이 선각의 진동을 야기시켜 방사소음을 생성하거나 프로펠러 자체의 캐비테이션 소음을 생성한다. 이러한 방사소음의 지향성은 기계장치의 위치(가진점), 선각과 기계장치의 결합구조, 선체의 길이, 선체의 단면 및 가진 주파수에 따라 그 특성을 달리할 뿐만 아니라 프로펠러에 의한 캐비테이션 소음의 지향성은 프로펠러의 깊이에 의해 좌우되는 해면 반사와 기여도에 따라 달라진다. 아울러 전진 항해 중에 생기는 선미의 후류(Wake)에서 발생하는 기포는 방사소음의 차단막으로 작용하여 실제 지향 특성에 변이를 가져온다.

본 연구에서는 기존의 방사소음 지향성에 대한 연구 결과들을 소개하고 실선 계측자료로부터 분석된 선박 방사소음의 지향 특성결과를 제시한다. 제시된 결과는 일반 수중음향계측 장치의 운용이나 방사소음의 분석, 함정의 대잠전 운용 등에 활용될 수 있을 것이다.

2. 선박 방사소음의 지향 특성

선체 방사소음의 특성은 선체의 기계적 구조와 유체간의 상호 연성 방정식을 풀이하여 접수면 진동의 법선

방향 변위를 구하고 이를 경계 조건으로 하여 Helmholtz 방정식을 풀이하면 수중 방사음장이 구해진다. 그러나 복잡한 형상의 선체 진동 특성이나 방사소음 특성을 해석적으로 구하기 위해서는 경계 조건이 지배 방정식이 선택한 좌표계와 일치해야 한다. 따라서 해석적으로 연구된 선체의 모델은 반몰수 원통형, 반몰수 구형 등으로, 수직 방향(해저 방향) 지향성에 대한 해석 결과는 $ka < 1$ 이하인 경우(a :반경, k :파수) 진동모드에 관계 없이 쌍극(dipole)음원의 지향성을 갖는 것으로 알려져 있고 이러한 특성은 가진점의 위치에 무관한 것으로 알려져 있다. $ka > 1$ 이상인 경우 부엽(side lobe)이 강하게 나타나며 또한 가진점의 방향으로 주엽(main lobe)이 나타나는 것으로 알려져 있다. 그림 1은 대표적인 해석적 결과이다. 이와 같은 해석적인 연구와 더불어 유한/경계 요소법, 통계 에너지법(SEA) 등 다양한 방법들이 알려져 있으나 실제 선박에 대한 지향 특성과 해석적인 지향 특성의 비교결과는 거의 전무하다.

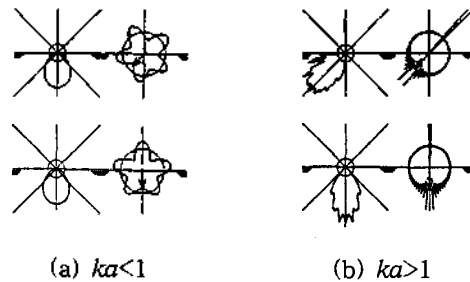


그림 1. 반몰수원통의 지향 특성으로 화살표는 가진점 (a) $ka < 1$, (b) $ka > 1$ [참고문헌 1]

기계적인 진동원에 의한 방사소음과 아울러 프로펠러에 의한 방사소음은 선박의 고속 운항시 우세한 소음으로 단극(monopole) 음원 특성을 갖는 저주파 성분과 무상관 분포 소음원 특성을 갖는 고주파 성분이 발생한

다. 따라서 프로펠러는 해면으로부터 수 m 깊이에 위치하므로 수신기에서 측정되는 음은 반사파와 직접파의 간섭에 의해 프로펠러 깊이가 파장의 1/4 이하인 저주파에서는 쌍극음원 지향특성을 갖게되고 그 이상인 고주파 영역에서는 Lloyd mirror 효과로 알려져 있는 지향특성을 갖게된다.

그림 2는 프로펠러 캐비테이션 소음의 지향특성으로 현측 방향으로 지향성을 보이고 선수 및 선미 방향은 각각 선각 및 선미 후류(Wake)의 차단 효과에 의해 현측에 비해 지향성이 둔화되며 선수방향은 선미방향의 준위보다 수 dB 낮은 것으로 알려져 있다. 그림 2의 결과는 12m 깊이의 해저면에 설치된 청음기로 측정된 결과이며 주파수 범위는 2.5kHz~5kHz 이다.

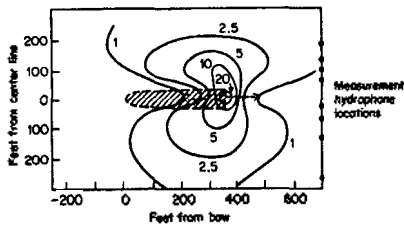
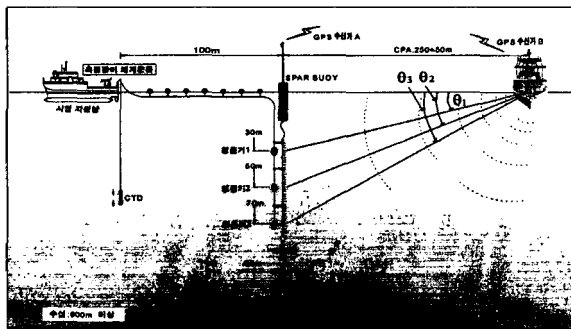


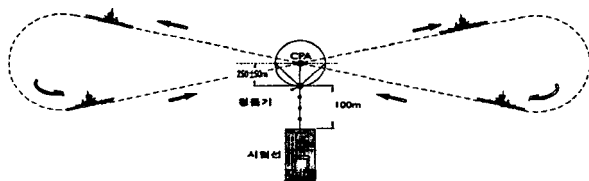
그림 2. 프로펠러 캐비테이션 소음의 지향특성 (주파수대역 : 2.5~5kHz) [참고문헌 7]

3. 실험 방법 및 결과

그림3은 방사소음 지향특성 해석을 위한 측정시스템 구성도이다.



(a) 수직단면도



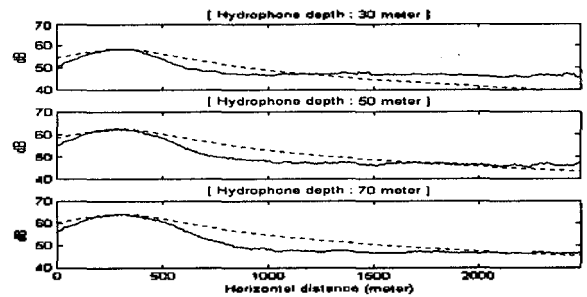
(b) 피측정 선박기동 계획

그림 3. 방사소음 측정 시스템 구성도

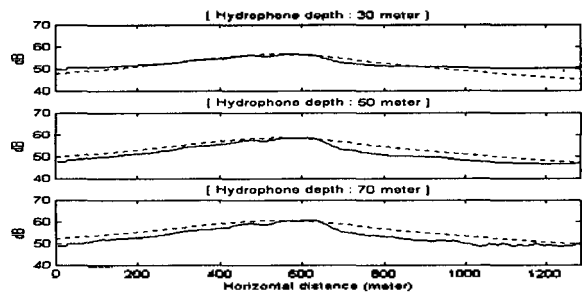
그림에서 보이는 시스템의 원래의 목적은 수상선박 방사소음의 음원준위나 캐비테이션 발생속도 등을 규명하기 위한 것으로 방사소음의 지향특성 해석을 위해 특별히 설계된 것은 아니다. 2장에서 기술한 바와 같이 선박 방사소음의 수직 방향 지향특성 해석을 위해서는 해저면에 청음기를 배열하는 것이 요구된다. 그림 3-(a)에서 보이는 바와 같이 깊이 방향 지향성은 대상 선박이 CPA(Closest Point of Approach)에 있을 때 각 청음기의 수신 음압 특성으로부터 해석하였고 수평방향 지향성은 그림 3-(b)에서 보이는 바와 같이 CPA를 중심으로 직선 기동거리 $\pm 1000m$ 구간의 수신 음압 특성으로부터 해석하였다. 대상선박은 300톤급(이하 A선박으로 표기) 및 70톤급(이하 B선박으로 표기)선박으로 흘수(draft)는 각각 약 3m와 1m 이다.

3.1. 수평 방향 등가 음원 중심점

지향 특성 해석을 위해서는 우선 음원의 중심위치가 결정되어야 한다. 선박의 기하학적 크기 및 구조의 복잡성에 의해 음원의 중심점을 예측하기는 불가능하다. 이러한 특성은 선박내의 가동 장비 위치, 가진력 크기 및 캐비테이션 소음 유무에 따라 음원 중심점은 변화하게 된다. 따라서 지향특성 해석의 전단계로 방사소음의 등가 음원 중심점을 구하였다.



(a) A 선박 16 knot



(b) B 선박 13 knot

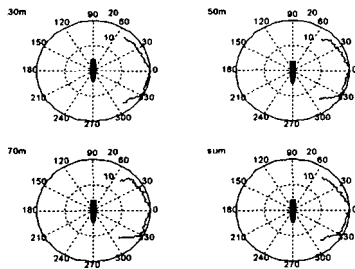
그림 4. 등가음원 중심점

실제 측정시 청음기 배열 중심과 피 측정 선박 간의

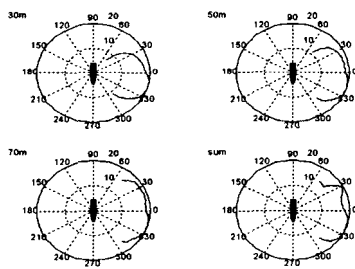
거리는 그림 3-(a)에서 보는 바와 같이 배열에 연결된 spar buoy의 GPS 수신기와 피측정 선박의 선교 상부에 설치된 GPS 수신기 간의 거리로 측정된다. 따라서 기하학적 CPA와 선박 방사소음의 등가 음원 중심점의 CPA는 상이하게 될 것이다. 등가 음원 중심점을 구하기 위해 직선 기동거리 구간에서 20Hz~4kHz까지의 음압 크기 변화를 구하고 최대 진폭을 갖는 위치를 음원 중심점으로 하였다. 그림 4는 A선박 16knot 및 B선박 13knot로 기동하는 경우의 각 청음기의 음압 변동 특성이다. 그림에서 점선은 무지향성 점음원에 대한 수신 음압 특성이다.

3.2. 수평방향 지향성

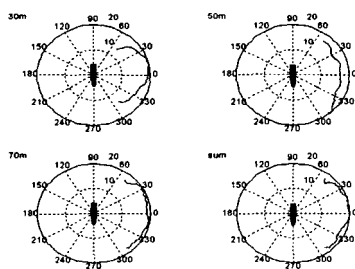
3.1절에서 분석한 등가 음원 중심점을 기준으로 수평방향 지향성을 해석하였다.



(a) 50~150Hz



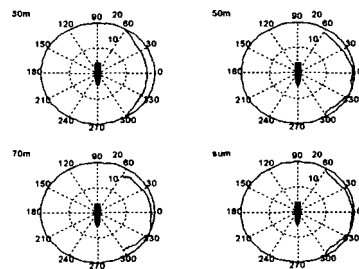
(b) 600~700Hz



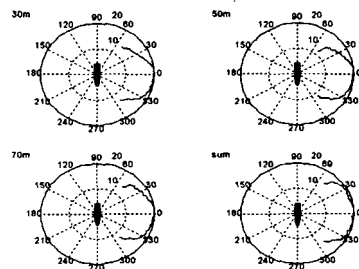
(c) 2000~2100Hz

그림 5. A선박의 청음기별 대역별 수평지향특성

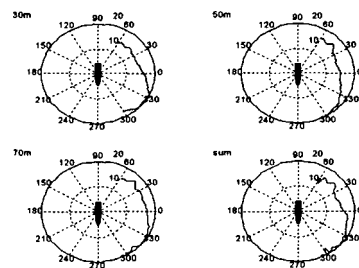
CPA로부터 멀어질수록 방사소음의 S/N비가 낮아지므로 현실적으로 모든 방위각에서 그 특성을 구할 수는 없다. 따라서 그림 4에서 보이는 바와 같이 무지향성 음압보다 높은 영역은 분석에서 제외하였다. 또한 지향성은 주파수에 의존하지만 기술한 바와 같이 프로펠라에서 발생하는 고주파수 소음은 해면 반사파에 의한 간섭효과로 고유의 지향 특성을 해석하기가 어렵다. 따라서 간섭효과에 의한 음압 변동을 보상하기 위해 기동거리를 10m 단위로 하여 이동 산술 평균을 취하였다.



(a) 50~150Hz



(b) 550~650Hz



(c) 1750~1850Hz

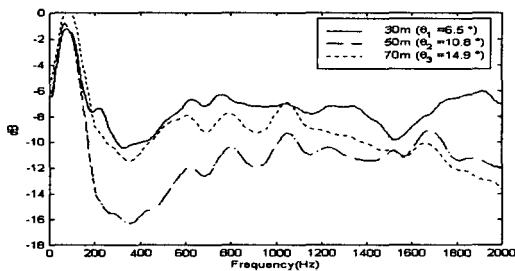
그림 6. B선박의 청음기별 대역별 수평지향특성

그림 5와 그림 6은 각각 A,B 선박의 수심별 각 청음기 결과와 아울러 3개 청음기 신호를 합성 평균한 대역별 지향 특성이다. 그림 5,6의 공통된 특성은 저주파수의 지향성에 비해 고주파수의 지향성이 우세하여 일반적인 해석과 일치하고 특히 선수 및 선미 후류 영향으

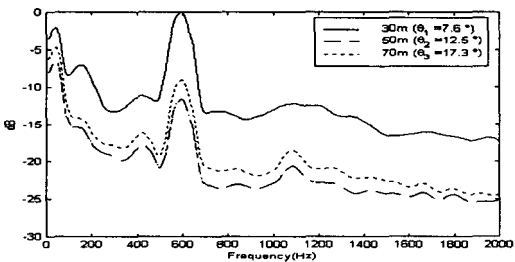
로 현측방향으로 지향성을 갖는 것으로 확인된다. 중주파수대역에 해당하는 550~700Hz 대역에서 가장 지향성이 뚜렷하여 이 주파수 대역에 대응되는 가진점이 현측에 있을 것으로 판단된다. 또한 각 주파수에 따라 음향축 방향이 그림 4의 등가음원 중심방향과는 다르게 나타난다.

3.3. 수직 방향 지향성

수직 방향 지향 특성은 CPA에서 수신된 3개의 청음기 음압신호로 해석하였다. A선박의 경우 청음기의 각도 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 은 각각 $6.5^\circ, 10.8^\circ, 14.9^\circ$ 이고 B선박의 경우 각 청음기의 각도 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 은 각각 $7.6^\circ, 12.5^\circ, 17.3^\circ$ 로 수직 방향 전체 지향특성 해석으로는 각 범위가 제한적이다. 그러나 2장에서 기술된 일반적인 주파수 대역에 따른 일반적 특성과의 일치 여부, 지향성의 존재 여부 해석은 가능하다고 판단된다.



(a) 선박 A (속도:16knot)



(b) 선박B (속도:13knot)

그림 7. 수직방향 지향 특성

그림 7은 3개 청음기의 규준화된 음원 준위이다. 그림에서 보는 바와 같이 주파수별 음원 준위는 청음기 깊이에 따라 최대 약 10dB의 편차를 보이며 서로 다른 값으로 측정된다. 선박 A에 대응되는 그림 7-(a)에서 $ka \approx 1$ 에 대응되는 80Hz 이하에서는 깊은 수심의 청음기 준위가 높아 쌍극음원의 특성을 보인다. 그러나 이 주파수 이상에서는 30m, 70m, 50m 순으로 30m 깊이의 음원 준위가 가장 높다. 이러한 특성은 선박 A의 가진 위치가 선저에 있지 않고 30 m 깊이에 대응되는 방향

의 선각에 가진점이 있는 것으로 추정된다. 또한 선박 B에 대응되는 그림 7-(b)에서 $ka \approx 1$ 에 대응되는 240Hz 이하에서 쌍극음원의 특성을 보이지 않고 전주파수 대역에서 30m, 70m, 50m 순으로 30m 음원 준위가 가장 높다. 선박 A와 마찬가지로 가진점 위치가 선저에 있지 않고 30m 깊이에 대응되는 방향의 선각에 가진점이 있는 것으로 판단된다.

4. 결론

함정방사소음의 수평 방향 지향성은 선수 및 선미 후류 영향으로 현측방향으로 지향성을 갖는다. 또한 수직 방향으로도 지향성을 갖는 것으로 확인된다. 그러나 물수원통에 대한 일반적 해석결과와 비교는 사실상 어려운 것으로 판단되며 보다 신뢰성 있는 지향특성을 얻기 위해서는 특정 선박의 이론적 해석결과와 실제 측정결과를 비교하거나 다수의 측정결과로부터 얻을 수 있는 통계적 특성으로부터 선박의 일반적인 지향특성을 추정해야 할 것이다. 아울러 지향특성 측정을 위한 측정시스템 설계가 고려되어야 할 것이다.

후기 : 본 연구는 서울대학교 수중음향특화센터의 연구비 지원에 의한 결과입니다.

참고문헌

- 1) Hajimu Mano et al, "Fundamental Studies on Underwater Sound Radiated from a Vibrating Ship Hull (1st Report Semi-submerged circular Shell)", 일본조선학회논문집 제159호, 1986.
- 2) Youich Iwasaki et al, "Fundamental Studies on Underwater Sound Radiated from a Vibrating Ship Hull (4th Report Three dimensional problem)", 일본조선학회논문집 제162호, 1987.
- 3) D. Ross, "Mechanics of Underwater Noise", Pergamon Press, 1976.
- 4) 윤종탁, 신현욱, 노용주, "수중청음기 배열 간격 및 깊이 변화에 따른 측정 소음준위오차", 한국음향학회 학술발표회 논문집 제16권 제2(s)호, 1997.
- 5) R. Urick, "Principle of Underwater Sound", McGraw Hill, 3rd ed., 1983.
- 6) 전재진, 정우진, 배수룡, 홍진숙, "함정의 수중방사소음해석", 한국음향학회 학술발표회 논문집 제16권 제1(s)호, 1997.
- 7) C. S. Clay, "Fluctuation of Sound Reflected from the Sea Surface", JASA Vol 32(12), 1960.
- 8) "수동소나시뮬레이터용 모의 수중음향신호 합성기법 연구", 국방과학연구소 연구보고서, 1995.