

파수-주파수 분해법을 이용한 원통형 실린더의 내부 파동 특성 해석

Analysis of Wave Properties in a Circular Cylinder using Wavenumber-Frequency Decomposition

성낙진, 신구균
(국방과학연구소)

Nak-Jin Seong, Ku-Kyun Shin
(Agency for Defense Development)

1. 서론

수중 음파를 이용하여 해저 광물을 탐사하기 위하여 일반적으로 널리 이용되는 선배열 음탐기는 물과 임피던스가 유사한 복합 재질로 구성된 원통형 실린더 내부에 다수의 음압 센서(하이드로폰)가 배열되어 있으며, 예인선에 의해 수중에서 예인되면서 음파를 수중에 방사하고 해저면에서 반사되어 오는 음파의 센서간 위상차이 등을 분석하여 해저 내부 지층 구조를 파악하는 장치이다.

수중에서 예인시 선배열 음탐기에 입사되는 신호는 방사된 음파가 해저면에 반사되어 오는 음향 신호와 자체 소음으로 구성되는 데, 음탐기의 성능은 자체 소음 수준에 많은 영향을 받는다. 선배열 음탐기에 유기되는 자체 소음원들은 예인선의 기기류들에 의해 발생되어 수중으로 전달되는 예인선의 방사 소음, 케이블 운동에 의한 진동, 유체와 호스 표면의 마찰에 의해 발생하는 난류가 압력 변동의 형태로 센서에 직접 유기되는 난류 유동 소음, 예인 케이블 주위의 와류에 의한 유동 유기 진동 및 전기 소음 등이다.

소음원들에서 발생하는 자체 소음을 감소시키기 위해서는 우선적으로 소음원들의 발생 기구를 파악하고, 소음원별로 자체 소음에 미치는 기여도를 평가하여 우선 순위가 높은 소음원부터 감소시켜야 하나, 현실적으로 소음원을 제어하는 것은 거의 불가능하다. 그리하여 센서 내부의 전달 경로상에서의 소음 차단 대책 수립이 필요하다. 이를 위하여 자체 소음의 정확한 발생 기구와 전달 경로에 대한 철저한 규명이 필

요하며, 성능이 우수한 선배열 음탐기 확보 측면에서 자체 소음에 대한 체계적인 연구와 감소 대책에 대한 연구가 필수적이다.

본 논문에서는 우선 자체 소음의 종류와 기여도를 파악하기 위하여 공간-시간상에서 센서에 유기되는 신호를 파수-주파수 영역으로 분해하는 기법을 도입하였다. 파수-주파수 분해 기법은 King[1]에 의해서 선배열 및 평면 배열에 적용되었다. 이 변환의 유용성을 제시하고, 수중을 운동하는 배열 요소들에 발생하는 음향이나 진동 등의 소음장을 해석하는 데 있어 적용 방법을 설명하였으며, 측정 자료에 이 기법을 이용하여 주파수별 자체 소음에 영향을 미치는 소음원들을 분해하였다.

2. 자체 소음 특성 분석 기법

공간-시간상에서 선배열 주위로 두 종류의 파가 좌우로 진행하는 경우(그림 1), 두 파들은 파수-주파수 변환에 의하여 서로 다른 기울기로 분리된다(그림 2). 이러한 특성으로 인하여 파수-주파수 분해 기법은 선배열 음탐기에 존재하는 소음의 근원과 경로를 분리해 낼 수 있다.

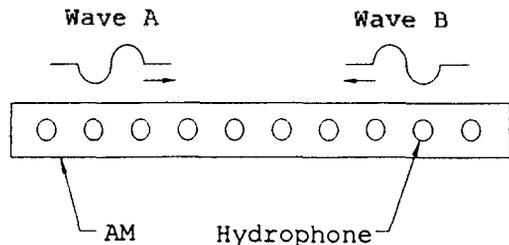


그림 1 선배열 주위의 진행파

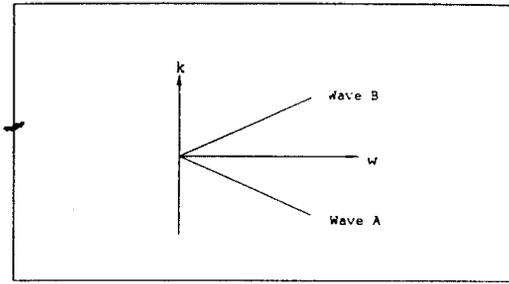


그림 2 다른 기울기로 분리된 진행파

주파수-파수 변환은 공간-시간 함수의 이중 푸리에 변환이다(식 1). 선형이나 평면 형상을 가진 하이드로폰 배열에서 샘플된 음장의 공간-시간 함수에 이 변환이 적용된다. 본 절에서는 이 변환의 유용성을 제시하고, 수중을 운동하는 배열 요소들에 발생되는 소음장을 해석하는 데 있어 적용 방법을 설명하였다.

$$F(k, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} S(x, t) e^{-ikx} e^{-i\omega t} dx dt \quad (1)$$

여기에서 $S(x, t)$ 는 변환될 공간축과 시간축인 x 와 t 로 표현되는 공간-시간 함수이다. $F(k, \omega)$ 는 파수와 주파수 변수를 나타내는 k 와 ω 영역으로 변환된 함수이다.

연속적인 축에서 이산화된 축시간 함수에 대한 푸리에 변환의 특성을 공간 함수에 그대로 적용하면 공간 함수는 파수 함수로 변환된다. 다음 그림들은 이러한 성질과 더불어 3차원 형상으로 설명하고 있다.

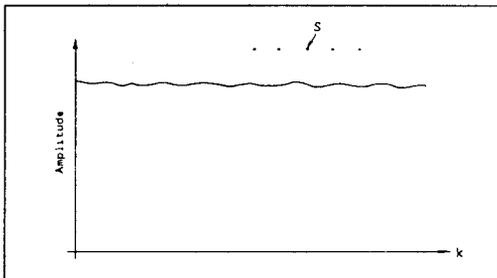


그림 3 단일 입력의 파수 변환

그림 3은 이산화된 공간상의 점 중에서 단 한 점에 특정 주파수의 음역을 가진 신호를 주었을

때 파수 변환된 결과이다. 시간에서의 한 펄스를 입력하면 주파수 영역에서는 백색 잡음 형태로 나타나는 것과 마찬가지로 공간상에서의 펄스는 파수 영역에서 백색 잡음 형태의 신호로 표현된다.

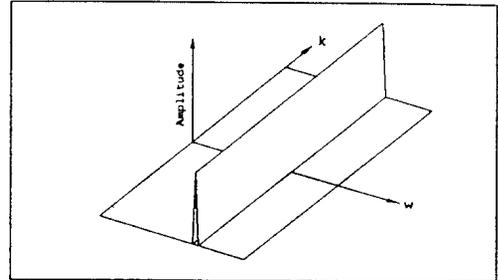


그림 4 단일 입력의 파수 변환(3차원)

그림 4는 공간상의 한 펄스 입력신호에 대한 파수로의 변환을 3차원 양식으로 나타내고 있다. 이 스펙트럼은 주파수축을 가로질러 파수축을 따라 백색 성분으로 나타난다.

그림 5는 파수-주파수 변환이 배열 센서에 입력되는 파동 해석에 유용하게 적용될 수 있다는 사실을 보여준다. 선의 기울기는 배열 센서에서 느끼는 에너지의 주파수 폭과 관련되어 있고, 기울기는 전파 속도와 일치한다. 기울기가 클수록 속도는 느리며, 반대로 기울기가 완만하면 전파 속도가 빠르다. 만일 전파 방향이 예인 방향과 같다면 k, ω 평면에서 음의 k 영역에 나타날 것이고, 반면에 에너지의 전파가 유동을 거슬러 온다면 양의 k 영역에 선의 자취가 나타날 것이다.

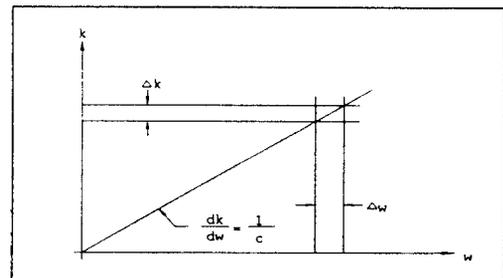


그림 5 파수-주파수 영역의 기울기

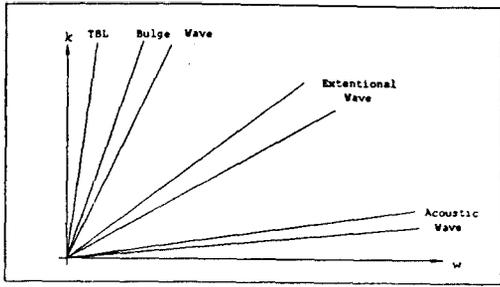


그림 6 자체 소음원들의 속도 분포

여러 형태로 뒤섞여 있는 파들의 전파 속도는 그룹으로 분리되며 몇 종류로 한정되므로, 자체 소음에 기여하는 소음원들이 그림 6에서와 같이 각각의 다른 기울기로 나타난다.

3. 자체 소음 특성 분석 기법의 적용

그림 7은 예인되는 32개 채널을 가진 선배열 음탐기에 파수-주파수 분해 기법을 적용한 결과이다. 예인선의 위치가 음탐기의 중심에서 앞쪽이라 한다면, 음의 기울기를 가지는 파들은 예인선 방향에서 입사되는 파이고, 양의 기울기를 가지는 파들은 음탐기의 중심으로부터 뒤쪽에서 오는 파들이다.

저주파 대역에서 음파보다 낮은 속도로 전후로 움직이는 파가 존재하며, 전 주파수 대역에 음파로 보이는 기울기를 가진 파들이 자체 소음에 지배적인 영향을 미친다. 두 개의 음의 기울기를 가진 음파 중에서 가파른 곡선은 예인선으로부터 직접 도달되는 소음으로 속도가 2700% 정도이며, 이는 다양한 이유에서 일어날 수 있는 현상이므로 하나의 예인 속도 결과로서는 판단하기 어렵다. 완만한 곡선은 기울기가 대략 6800% 정도로 이는 바닥이나 수면에 1차 반사된 파이거나, 상선 등의 신호로 판단된다. 고주파수 대역에서 양의 기울기를 가진 곡선의 수준이 높게 나타나, 예인선 소음보다 주변 환경 소음이 자체 소음에 지배적이라는 사실을 말해 준다. 이상의 결과에서 파수-주파수 분해법을 이용하여 이론에서 밝힌 바와 같이 소음원별로 분해와 소음원의 주파수별 특성에 대한 해석이 가능함을 확인하였다.

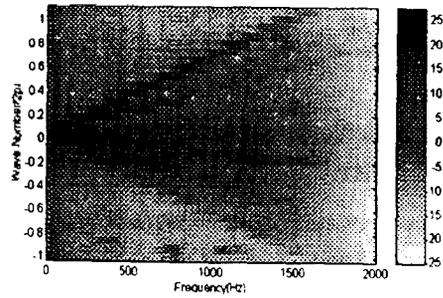


그림 7 파수-주파수 분해 결과

4. 결론

선배열 음탐기의 센서에 전달되는 자체 소음의 특성을 파악하기 위하여 공간-시간상에서 센서에 유기되는 신호를 파수-주파수 영역으로 분해하는 기법을 도입하였다. 이 기법을 실험 자료에 적용하여 예인 음탐기 내부에서 발생하는 파동을 종류별로 분해 가능함을 확인하였다.

5. 참고문헌

- [1] Louis A. King, "Wavenumber Frequency Analysis of the Self Noise of a Structure Moving through Water", American Institute of Aeroacoustics and Astronautics, 1983.
- [2] 신구관, 홍진숙, "선배열 음탐기의 유체 유기 소음 해석 연구", ADD 보고서, 1993
- [3] M. C. Junger and D. Feit, *Sound, Structures, and Their Interaction*, JASA