

낮은 상관 관계를 갖는 자동차 공력 소음에 대한 음향 홀로그래피 Application of Acoustic Holography to Automobile Aeroacoustic Noise of Low Coherence

남경욱*·김양한**
Kyoung-Uk Nam and Yang-Hann Kim

Key Words : Low Coherence (낮은 상관 관계), Aeroacoustic Noise (공력 소음), Acoustic Holography (음향 홀로그래피)

ABSTRACT

Acoustic holography is applied to automobile aeroacoustic noise. Automobile aeroacoustic noise has low coherence due to multiple independent sources and measurement noise. This paper discusses the reliability of acoustic holography on this low coherence condition. Main subjects are the number and position of reference microphones, which is used for a step-by-step scanning method, and measurement noise. A real automobile experiment verifies the results.

1. 서 론

자동차 공력 소음은 100Km/h 이상의 고속 주행에서 중요 소음이다. 특히 IQS (Initial Quality Survey) 등 자동차 품질을 판단하는 척도에서 중요한 인자로 다루어지고 있다. 자동차 공력 소음을 제어하는 방법 중 하나는 소음원을 제어하는 것이다. 소음원을 제어하기 위해서는 우선 소음원의 위치를 파악해야 한다. 하지만 유동장에서는 측정의 어려움 등으로 인해 자동차 공력 소음원의 위치를 파악하는 데 많은 시간과 노력이 드는 것이 현실이다.

소음원의 위치를 파악하기 위한 유력한 방법으로 음향 홀로그래피(acoustic holography) 방법이^(1,2) 있다. 이 방법은 FIG.1 에서 볼 수 있듯이 홀로그램면(hologram plane)이라고 불리는 2 차원 면에서 측정된 음압으로부터 임의의 위치에서 음장을 예측하는 방법이다. 특히 소리가 전파해나가는 방향뿐만 아니라 소음원들이 놓인 음원면의 음장 예측 역시 가능해서 소음원의 위치를 파악하는 데 유용하다. FIG.2 는 음향 홀로그래피의 구현을 위해 실제로 2 차원 음장을 측정하는 두 가지 대표적인 방법들을 보여준다. 음향 홀로그래피는 서로 다른 점에서의 위상 차이에 대한 정보를 필요로 하므로, 가장 확실한 측정 방법은 모든 점에서의 음압을 동시에 측정하는 것이다. 하지만

이 경우는 동시에 측정해야 하는 채널의 수가 많아 현실적으로 불가능한 경우가 많다. 대안으로 기준 신호를 두고 순차적으로 마이크로폰을 이동시켜가면 측정하는 방법⁽³⁾과 연속적으로 측정하는 방법^(4,5)이 개발되었다. 이 중에서 광대역 소음을 갖는 자동차 공력 소음에서는 순차적으로 측정하는 것이 현실적이다.

자동차 공력 소음에 순차적 측정을 적용하는 데도 문제는 존재한다. 그것은 측정된 신호들 사이의 상관 관계가 낮다는 것이다. 상관 관계가 낮은 이유는 자동차 공력 소음에서는 독립 소음원들이 많고, 유동장에서 측정하는 경우 유동장에 의한 마이크로폰 자체의 잡음이 크기 때문이다⁽⁶⁾. 상관 관계가 낮을수록 하나의 기준 신호만을 이용해서 동시에 측정하지 않은 두 점 사이의 위상 정보를 알기는 어려워진다. 또한 잡음이 많을수록 결과의 신뢰성이 떨어지는 것은 당연하다.

본 논문은 낮은 상관 관계를 갖는 자동차 공력 소음에서 음향 홀로그래피를 위한 측정의 신뢰성을 확보하는 방안을 실차 측정의 예로부터 논한다.

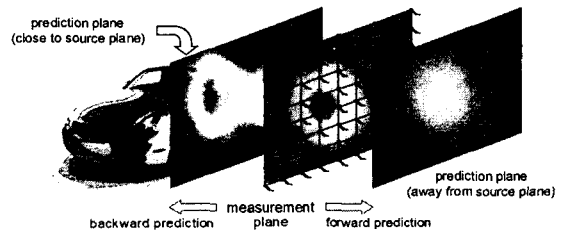


FIG.1 Illustration of acoustic holography (Y.-H. Kim, "Can we hear the shape of a noise source?," ICA 2004, Kyoto, Japan, 4-9 2004)

* 현대-기아자동차 연구개발본부
E-mail : kunam@hyundai-motor.com
Tel : (031) 368-6465, Fax : (031) 368-
** 한국과학기술원 기계공학과

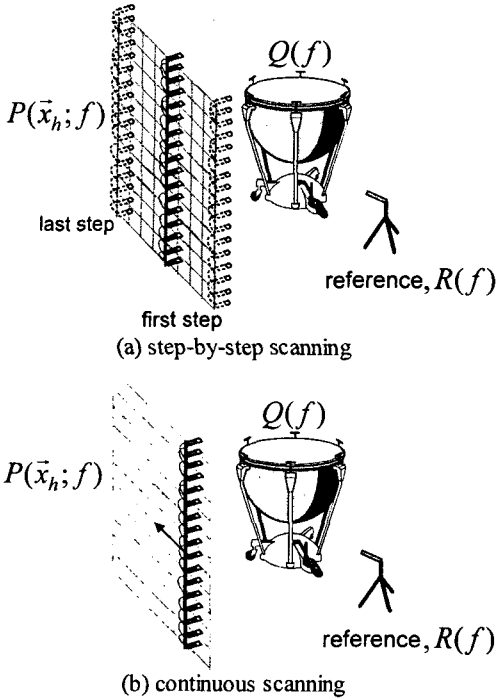


FIG.2 Two measurement methods of pressure on a hologram plane (Y.-H. Kim, "Can we hear the shape of a noise source?," ICA 2004, Kyoto, Japan, 4-9 2004)

2. 측정 모습

FIG.3 은 실제 자동차의 측면에서 음향 홀로그래피의 적용을 위해 홀로그램면에서의 음압을 측정하는 모습을 보여준다. 현대자동차 남양연구소의 무향 풍동에서 실험하였으며, 유속은 110 km/h 였다. 28 개의 마이크로폰으로 구성된 선형

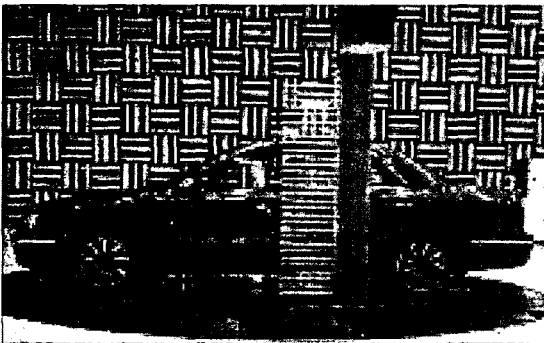


FIG.3 Photo of the side holography for vehicle aeroacoustic noise

어레이(array)를 순차적으로 이동시켜가며 측정하였다. 홀로그램면은 자동차 측면의 가장 돌출된 부위에서 20cm 떨어졌다. 측정 간격은 x 와 y 방향 모두 6cm 였다. 측정점 수는 100×28 이었다. 기준 마이크로폰은 17 개를 사용하였으며, 차 내부에 두었다.

3. 기준 마이크로폰과 잡음의 영향

3.1 기준 마이크로폰의 개수

순차적 측정에서 기준 마이크로폰은 동시에 측정하지 않은 두 점 사이의 위상차를 파악하는 역할을 한다. 하나의 기준 마이크로폰을 사용하는 경우, A 라는 점과 기준 마이크로폰 사이의 위상 차이가 30° 이고, B 라는 점과 기준 마이크로폰 사이의 거리가 30° 라면 두 점 A 와 B 사이의 위상차는 0° 라고 파악한다. 하지만 이 논리는 한 측정 신호가 주파수 영역에서 다른 신호의 상수배로 표현되는 상관 음장(coherent sound field)의 경우에만 성립된다. 상관 음장은 독립 소음원이 하나만 존재하는 경우에 발생한다⁽⁶⁾. 자동차 공력 소음처럼 독립 소음원이 두 개 이상인 경우에는 다수의 기준 마이크로폰을 사용해야 한다.

이상적인 기준 마이크로폰의 수는 독립 소음원의 수 이상이어야 한다고 알려져 있다⁽³⁾. 이를 위해서는 우선 독립 소음원의 수를 파악해야 한다. 하지만 자동차 공력 소음에서는 독립 소음원이 많아 정확한 수의 파악이 어렵다. FIG.3 의 실험에서 사용한 17 개의 기준 마이크로폰도 독립 소음원의 수보다 많다는 것을 보장하지는 못한다. 그렇다면 이처럼 기준 마이크로폰의 수가 부족한 경우 그 결과는 항상 신뢰하지 못하는가 하는 문제를 생각해야 한다. 이와 관련 기준 마이크로폰의 수에 따른 음향 홀로그래피의 수렴 특성에 대한 연구⁽⁷⁾가 존재하며, 내용은 아래와 같다.

1. 기준 마이크로폰의 수가 증가할수록 결과는 참값에 단조(monotonically) 수렴한다.
2. 기여량이 큰 소음원일수록 그렇지 않은 소음원보다 더 빨리 수렴한다.

이상의 결과는 부족한 수의 기준 마이크로폰을 사용하더라도 그 수가 어느 이상되면, 중요한 소음원은 참값에 근접하게 관찰할 수 있음을 의미한다. 실제 실험에서 이를 확인하는 방법은 기준 마이크로폰의 수에 따른 결과의 수렴 특성을 관찰하는 것이다. FIG. 4 는 중심이 800Hz 인 1/3 옥타브 밴드(710~900Hz)에서 기준 신호의 수에 따

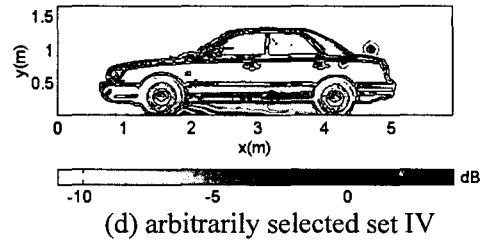
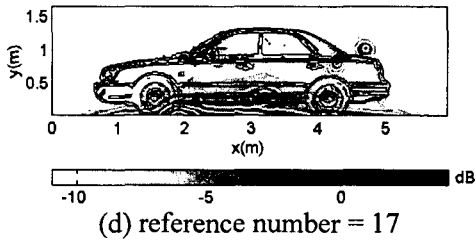
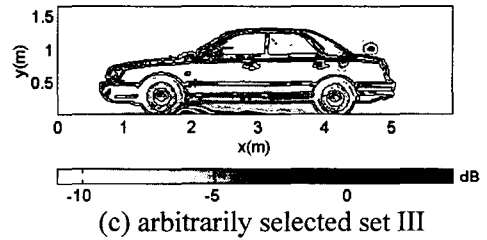
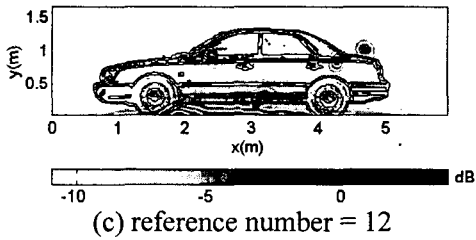
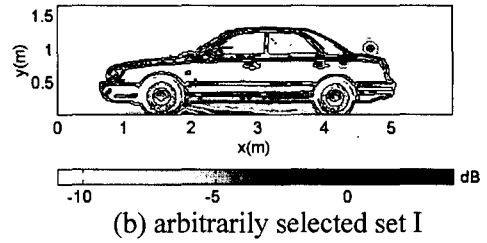
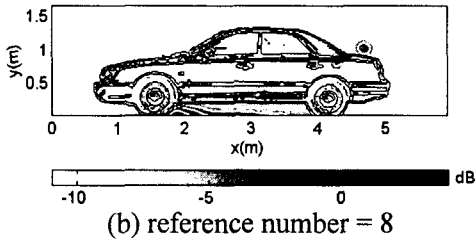
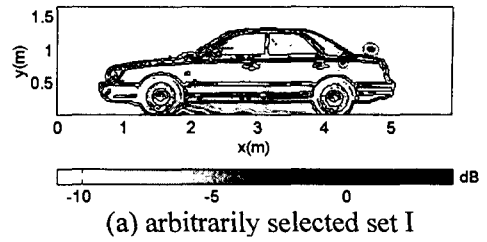
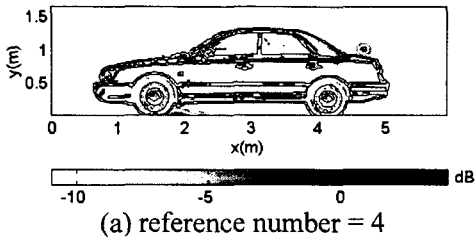


FIG.4 Auto-spectra at the 1/3 octave band with the center frequency of 800Hz on the source plane when the reference number is changed.

FIG.5 Auto-spectra at the 1/3 octave band with the center frequency of 800Hz on the source plane when the positions of 8 references are arbitrarily selected

라 음원면의 음압을 관찰한 것이다. 기준 신호의 수가 증가할수록 수렴하는 경향을 볼 수 있고, 17 개를 사용한 경우는 거의 다 수렴했음을 볼 수 있다. 또한 기여량이 큰 소음원들이 먼저 관찰되는 것도 확인할 수 있다.

는 것이다. 하지만 기준 마이크로폰의 수가 독립 소음원보다 많은 경우에는 위치에 따른 결과의 차이는 없다. 부족한 경우에도 중요한 소음원을 관찰할 수 있을 정도의 수가 되면, 그 영향은 크지 않다⁽⁷⁾. FIG.5 는 앞서의 17 개의 기준 마이크로폰 중에서 8 개의 기준 마이크로폰을 임의로 선택했을 때의 결과를 보여준다. 위치에 따라서 거의 차이가 없음을 볼 수 있다.

3.2 기준 마이크로폰의 위치

기준 마이크로폰과 관련된 오해 중 하나는 그 위치가 각각의 독립 소음원 가까이 놓여야 한다

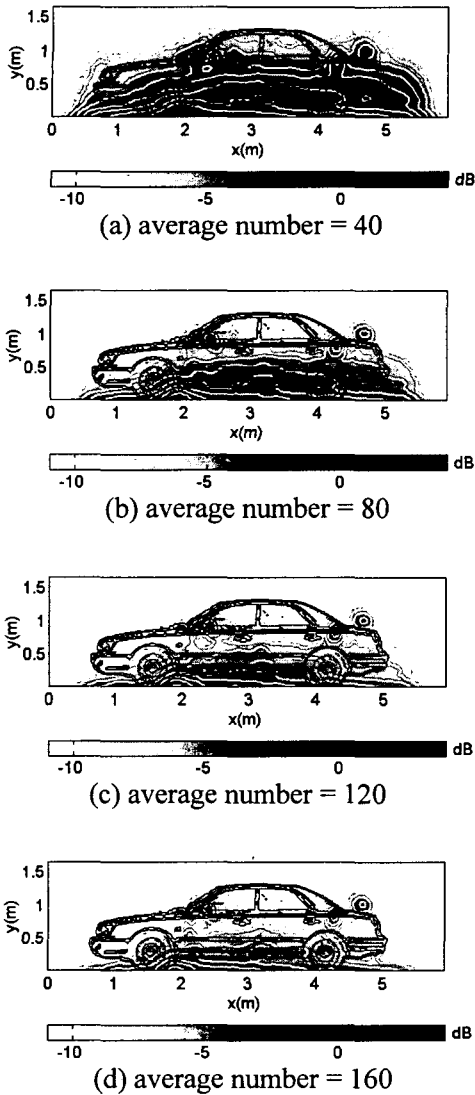


FIG.6 Auto-spectra at the 1/3 octave band with the center frequency of 800Hz on the source plane when the average number is changed

3.3 잡음의 영향

유동장에서 마이크로폰을 사용하는 경우 유동장에 의한 교란에 의해 마이크로폰 자체의 잡음이 커진다. FIG.3의 홀로그래피 실험에서도 이러한 현상이 발생하였다. 하지만 홀로그램면에서 측정된 음압은 순차적 측정에서는 기준 신호와의 상호 스펙트럼(cross-spectrum)으로 이용된다⁽³⁾. 상호 스펙트럼은 평균 횟수가 증가할수록 잡음의 영

향은 감소하는 특성을 갖고 있다⁽⁶⁾. FIG. 5는 평균 횟수의 변화에 따른 홀로그래피 결과의 차이를 보여준다. 평균 횟수가 증가할수록 소음원들을 더 뚜렷이 관찰할 수 있음을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문은 상관 관계가 낮은 자동차 공력 소음에서 음향 홀로그래피의 신뢰성을 확보하는 방안을 논하였다. 독립 소음원이 많아 기준 신호가 부족한 경우에도 중요한 소음원들은 관찰할 수 있음을 확인하였다. 이때 신뢰성을 확인하는 방법은 기준 신호의 개수 변화에 따른 결과의 수렴 특성을 관찰하는 것이다. 유동장에 의해 생기는 마이크로폰 자체의 잡음은 상호 스펙트럼의 특성에 의해 평균 횟수가 증가할수록 그 영향이 작아짐도 실차 실험을 통해 확인하였다.

후기

본 연구는 과학기술부의 국가지정연구실사업(NRL)과 교육인적자원부의 BK21 사업, 현대자동차의 연구지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) E. G. Williams, J. D. Maynard, and E. Skudrzyk, 1980, "Sound source reconstruction using a microphone array," *J. Acoust. Soc. Am.* **68**, pp. 340-344.
- (2) E. G. Williams and J. D. Maynard, 1980, "Holographic imaging without the wavelength resolution limit," *Phys. Rev. Lett.* **45**, pp. 554-557.
- (3) J. Hald, 1989, "STSF - a unique technique for scan-based near-field acoustic holography without restrictions on coherence," B&K Technical Review No. 1.
- (4) H.-S. Kwon and Y.-H. Kim, 1998, "Moving frame technique for planar acoustic holography," *J. Acoust. Soc. Am.* **103**, pp. 1734-1741.
- (5) S.-H. Park and Y.-H. Kim, 1998, "An improved moving frame acoustic holography for coherent band-limited noise," *J. Acoust. Soc. Am.* **104**, pp. 3179-3189.
- (6) J. S. Bendat and A. G. Piersol, 1986, *Random Data: Analysis and Measurement Procedures*, 2nd ed., Wiley, New York.
- (7) 남경옥, 2004, "낮은 상관 관계를 갖는 음장에서 음향 홀로그래피의 적용," 한국과학기술원 박사학위논문