

폐쇄형 시험부에서 케블라 덮개가 장착된 마이크로폰 어레이의 주파수 특성에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on Frequency Characteristics of the Microphone Array Covered with Kevlar in Closed Test Section Wind Tunnel

황 은 수[†] · 최 영 민^{**} · 김 양 원^{*} · 조 태 환^{*}

Eun-sue Hwang, Youngmin Choi, Yangwon Kim and Taehwan Cho

(Received October 14, 2014 ; Revised March 12, 2015 ; Accepted March 12, 2015)

Key Words : Closed Test Section(폐쇄형 시험부), Kevlar(케블라), Self-noise(자체소음), Wind Tunnel Test(풍동 실험), Microphone Array(마이크로폰 어레이), Aeroacoustic(공력소음)

ABSTRACT

An experimental study on frequency characteristics of the microphone array covered with Kevlar sheet was conducted in the closed test section. Microphones that were flush-mounted in the wall of wind tunnel were subjected to very high flow noise resulting from the turbulence in the wall boundary layer. This noise interference by the boundary layer was referred as 'a microphone self-noise' and various approaches were studied to reduce this interference. Recessed microphone array with high tensioned cover was one of the good approaches to reduce this self-noise. But, the array cover could cause an unexpected interference to the measuring results. In this paper the frequency characteristics of the microphone array with Kevlar cover was experimentally studied. The white noise was used as a reference noise source. Three kinds of tensions for the Kevlar cover were tested and those results were compared with the test results without the Kevlar cover. The gap effect between the cover and microphone head was also tested to find out the proper position of microphone in the array module. Test results show that the mid-tension and 10mm gap was the best choice in the tested cases.

1. 서 론

폐쇄형 시험부에서 마이크로폰(microphone)을 이용한 공력소음 측정 시 일반적으로 마이크로폰을 시험부 벽면에 일치하게 설치하는 방법(flush-mounted)을 사용한다^(1,2). Fig. 1과 같이 풍동 벽면에 삽입된 마

이크로폰은 벽면 경계층(boundary layer)에서 발생된 난류(turbulence)에 의한 유체소음의 영향을 받게 된다. 이와 같이 마이크로폰 주변 유동에 의한 간섭소음을 자체 소음(self-noise)이라 하며, 폐쇄형 시험부에서는 자체 소음의 영향이 매우 크게 나타나므로 이에 대한 적절한 처리방안이 요구 된다. 자체 소음으로 인한 신호 왜곡에 대한 문제점을 개선하기 위

[†] Corresponding Author ; Member, Aerodynamics Team, Korea Aerospace Research Institute

E-mail : eunsueh@kari.re.kr

Tel : +82-42-860-3566, Fax : +82-42-860-2604

^{*} Member, Aerodynamics Team, Korea Aerospace Research Institute

^{**} Aircraft System Engineering, University of Science and Technology

[‡] Recommended by Editor Don Chool Lee

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

하여 빔형성 방법(*beamforming method*)에서는 마이크로폰으로부터 측정된 신호를 사용하여 구성된 교차상호관행렬(*cross spectrum matrix*)의 대각항(*diagonal elements*)을 제거(*diagonal term removal*)하는 방법을 적용하고 있다. 이는 각각의 마이크로폰 주변 흐름이 독립적일 경우, 자체 소음이 마이크로폰 사이의 상호간섭항(*cross-correlation*)에는 영향을 미치지 않고 자체간섭항(*auto-correlation*) 항에만 영향을 미친다는 점에 착안하여 자체간섭항을 인위적으로 제거하는 방법이다⁽³⁾.

자체 소음에 의한 영향 줄이기 위한 또 다른 접근법은 Fig. 2와 같이 마이크로폰을 벽면 후방에 설치한 후 벽면 표면에 케블라 덮개(*Kevlar sheet*)를

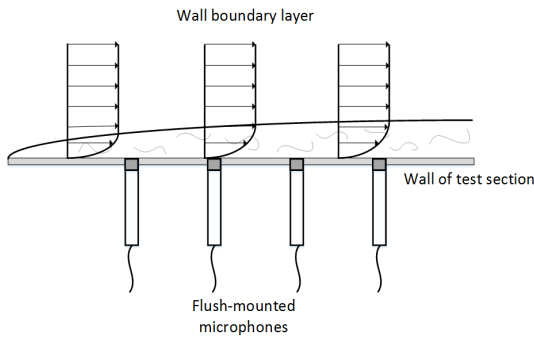


Fig. 1 Self-noise induced by the turbulence in the boundary layer of the wind tunnel

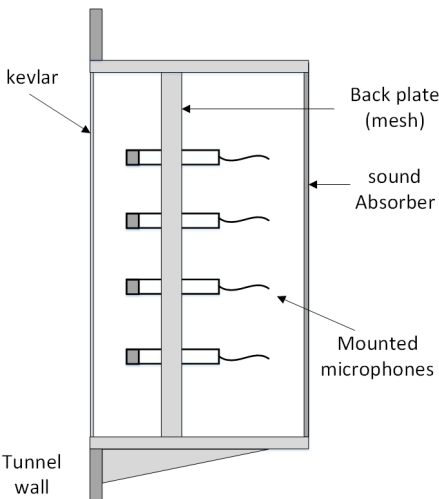


Fig. 2 Recessed microphone array in wind tunnel wall with stretched Kevlar cover

설치하는 방법으로 NASA Ames 등에서 관련 연구가 진행되었다^(2,4). 폐쇄형 풍동 시험부 벽면에 케블라를 설치하고 케블라 뒤편에 마이크로폰 어레이를 설치하여 마이크로폰이 시험부 내부 유동에 직접적인 영향을 받지 않도록 하는 방법이다. 풍동시험 시험부 내부 정압변화에 의해 덮개 형상 변형이 발생할 수 있으며, 이는 내부 유동변화를 야기하게 된다. 또한, 시험모델에서 발생한 소음신호는 덮개 투과시 신호 특성이 변화할 수 있다. 정압변동에 의한 형상 변형을 최소화하고, 투과손실을 줄이기 위해 강한 장력과 내구성을 지닌 케블라 섬유를 덮개로 사용하였다.

풍동시험을 통해 고속철도 팬터그래프의 공력소음 특성을 연구하기 위해서는 400 km/h(111 m/s)의 고속 유동조건이 필요하며, 이를 위해 고속유동 재현이 가능한 폐쇄형시험부에서 공력소음을 측정하기 위한 연구가 진행 중이다. 연구의 첫 단계로 기존 폐쇄형시험부에 설치가 가능한 마이크로폰 어레이를 설계-제작하였으며, 제작된 마이크로폰 어레이의 주파수 특성 및 성능을 확인하기 위하여 백색 잡음(*white noise*)에 대하여 다양한 실험을 수행하였다.

고속의 유동조건 및 풍동 운용시 발생하는 배경소음은 100 Hz 내외이며, 시험부 단면 형상(폭 4 m × 높이 3 m)에 의해 결정되는 정재파의 주파수는 폭방향 170 Hz, 높이 방향 266 Hz이다. 이상의 환경조건을 고려하여 500 Hz 이상의 주파수 영역을 대상으로 측정결과 분석을 수행하였다.

500 Hz 이상의 주파수 영역에서 케블라 덮개가 사용된 마이크로폰 어레이의 소음특성 실험결과를 이 논문에 요약하였다.

2. 본 론

2.1 케블라가 장착된 마이크로폰 어레이

실험은 한국항공우주연구원의 중형아음속풍동에서 수행되었다. 시험에 사용된 풍동의 폐쇄형 시험부 크기는 가로 4 m × 세로 3 m × 길이 10 m이며, 시험부의 왼쪽 벽면에는 내부 관측을 위하여 세로 0.5 m × 길이 1 m 관측용 창 9개가 설치되어 있다. 기존 벽면을 손상시키지 않기 위해 관측용 창을 마이크로폰 어레이로 대체하는 방안이 제시되었으며, 이를 위해 각 창문을 대체할 수 있는 마이크로폰 어레이

이 모듈 9개를 제작하였다. 제작된 어레이 모듈 1개의 크기는 0.52 m × 0.56 m × 1.21 m이다. 이때, 케블라와 격자판까지의 거리는 0.2 m이고, 케블라와 흡음재까지의 거리는 약 0.56 m이다.

풍동시험 시 마이크로폰에 미치는 유체에 의한 영향을 최소화하기 위하여 어레이 모듈 전면에 케블라 덮개를 장착하였으며, 모듈 후면에는 마이크로폰 고정용 격자판을 설치하였다. 어레이 모듈 외곽 구조물에 의한 반사 소음의 영향을 줄이기 위해 격자판 후면에는 흡음재를 부착하였다. 또한, 어레이 모듈에 장착된 케블라 덮개에 전방향으로 균일한 장력을 가할 수 있도록 덮개 지지부에 총 6개의 장력 조절 블록을 설치하였다. 동일한 형상으로 총 9개의 마이크로폰 어레이를 제작하여 Fig. 4와 같이 시험부 벽면의 관측용 창을 대체하여 설치하였다.

2.2 소음 시험 수행

케블라 덮개의 유무와 덮개 상태에 따른 주파수

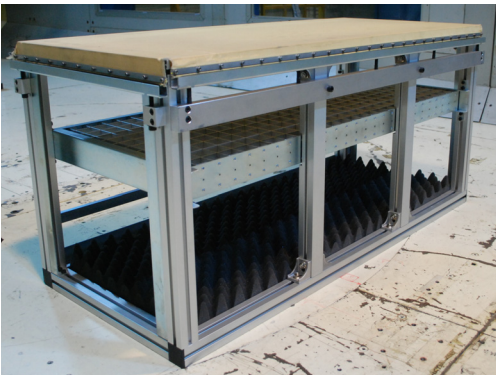


Fig. 3 Microphone array with Kevlar sheet

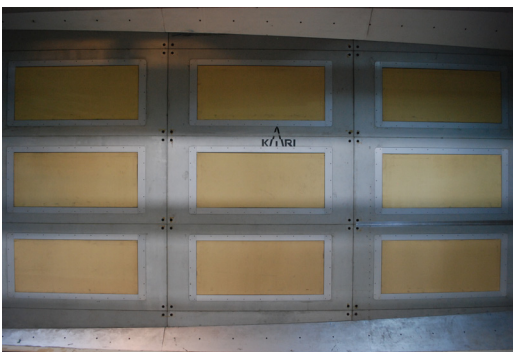


Fig. 4 The wall of closed test section wind tunnel

특성 및 투과 특성 등을 확인하기 위하여 크게 두 가지로 나누어 실험을 수행하였다. 첫 번째 실험은 유속이 없는 조건에서 스피커를 기준음원으로 사용하여 어레이 모듈의 주파수별 소음 특성을 파악하기 위해 수행되었다. 케블라 덮개의 유무와 덮개 부가 장력 조건을 변경하며 어레이 모듈의 소음특성을 측정하였다. 두 번째 실험은 시험부 유속이 있는 상태에서 어레이 모듈의 소음특성을 파악하기 위해 풍속 20 m/s 조건에서 시험을 수행하였다.

(1) 소음 시험 1 : 시험 장치의 구성

‘소음시험 1’은 케블라 덮개의 영향을 파악하기

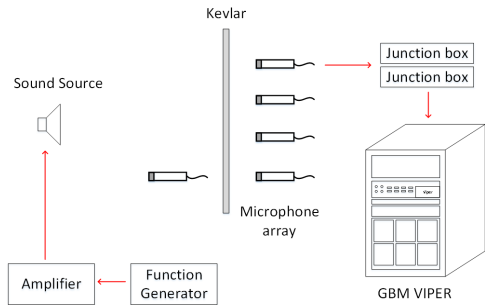


Fig. 5 Layout of test setup



Fig. 6 Test setup

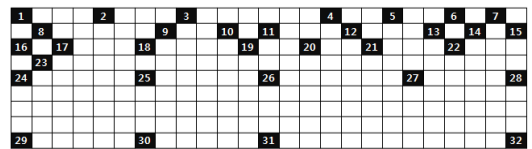


Fig. 7 Position of 32ch. microphones

위한 시험으로써 다양한 주파수의 소음원에 대한 케블라의 특성을 확인하기 위하여 Fig. 5 및 Fig. 6과 같이 시험 장치를 구성하였다.

음원 발생은 함수발생기(function generator)와 증폭기(B&K power amplifier 2716)를 연결한 스피커(B&K Sound source 4295)를 사용하였다. 스피커는 풍동 시험부 벽으로부터 1.6 m 떨어진 위치에 설치하였으며, 어레이 모듈의 중심(Mic. #26 in Fig. 7)과 일치하도록 설치하였다. 총 32개의 마이크로폰을 모듈 내부에 배치하였으며, 스피커 자체 신호를 확인하기 위하여 Fig. 6과 같이 풍동 시험부 내에 기준마이크로폰(reference microphone)을 추가로 설치하였다. 어레이 모듈 내부 공간에서 소음특성이 왜곡되지 않고 측정 될 수 있는 영역을 파악하기 위해 Fig. 7과 같이 모듈의 외곽부위에 마이크로폰을 집중적으로 배치하였다. 마이크로폰은 LinearX M51, 1/2" 모델을 사용하였으며, 각 마이크로폰의 출력신호는 어레이 후면에 설치된 Junction Box를 거쳐 자료취득장치, GBM VIPER를 사용하여 측정하였다. 측정 시 AC coupling을 적용하여 신호의 DC 성분을 제거하였다.

(2) 소음 시험 1 : 시험 수행 내용

‘소음시험 1’은 케블라 덮개의 영향을 파악하기 위해 Table 1과 같이 케블라 덮개의 유무와 부가 장력을 사전에 선정된 값으로 고정된 상태에서 수행하였다. 스피커를 사용하여 기준 소음을 발생시킨 후, 어레이 모듈에 설치된 마이크로폰의 신호를 측정하는 방식으로 실험이 진행되었다.

케블라 덮개는 구조물에 설치된 6개의 블록을 사용하여 고정되도록 제작되었다. 케블라 덮개에 전방향(omni-direction)으로 균일한 장력을 부가하기 위해서는 6개의 블록에 동일한 힘을 부가하여야 한다. 이를 위하여 각 블록에 동일한 수치의 힘을 가할 수 있는 토크렌치(torque wrench)를 사용하였다. Table 1

Table 1 Test case as a tension of Kevlar sheet

Tension of Kevlar	1) w/o Kevlar sheet 2) Low tension 3) Mid tension 3) High tension
Sound source	White noise

에서 low tension은 특정한 장력 없이 케블라가 구조물에 고정된 상태이며, mid tension은 토크렌치를 이용하여 6개의 블록에 40 kgfcm의 토크를 부가한 것이고, high tension은 60 kgfcm의 토크를 부가하여 덮개를 고정된 상태이다.

전 주파수 영역의 소음특성을 파악하기 위해 스피커에 백색 잡음 신호를 부가하여 기준음원을 발생시켰다. 마이크로폰 신호 획득은 40 kHz 획득속도로 1.6초 동안 65536개의 데이터를 취득하였다.

(3) 소음 시험 2 : 시험 장치의 구성

‘소음시험 2’는 풍속이 있을 경우 케블라 덮개의

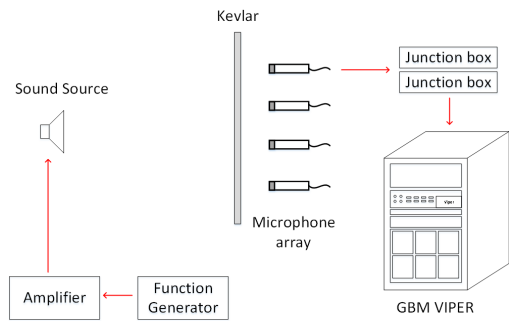


Fig. 8 Layout of test setup



Fig. 9 Test setup

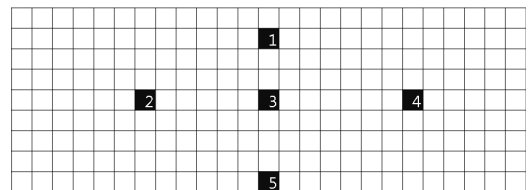


Fig. 10 Position of 32ch. microphones

영향을 파악하기 위한 시험으로써 폐쇄형 시험부 벽면에 케블라 덮개가 장착된 마이크로폰 어레이 모듈을 설치하고 이를 이용하여 공력소음 획득 시, 케블라의 장력과 케블라와 마이크로폰 사이의 간격에 따른 측정소음 신호 특성을 확인하기 위하여 Fig. 8 와 Fig. 9 같이 시험 장치를 구성하였다.

음원 발생 장치로는 시험 1과 동일하게 함수발생기, 증폭기와 스피커를 사용하였으며, 스피커는 풍동 시험부 벽으로부터 1.6 m 떨어진 단면 상에서 케블라의 중심(Mic. #3 in Fig. 10)과 일치하도록 설치하였다. Fig. 10과 같이 총 5개의 마이크로폰을 어레이 모듈 내에 설치하였으며, 신호 취득 시스템은 시험 1과 동일하게 구성하였다.

(4) 소음 시험 2 : 시험 수행 내용

시험은 풍속이 있는 경우 케블라 덮개와 마이크로폰 사이의 간격 및 덮개 부가 장력에 따른 영향을 확인하기 위하여, 덮개 조건을 Table 2 및 Table 3 과 같이 변경한 상태에서 수행되었다. 스피커에 백색 잡음 신호를 부가한 후 Fig. 10에 나타난 마이크로폰에서 수신된 소음신호를 측정하였다. 마이크로폰과 덮개 사이의 간격은 Table 2와 같이 5 mm, 10 mm, 15 mm 조건을 적용하였으며, 각 조건에서 유속이 있는 상태(20 m/s)와 없는 상태(0 m/s)에 대하여 측정을 수행하였다. 또한, Table 3과 같이 케블라 덮개 부가장력을 변경한 상태에 대해서도 시험을 수

행하였다.

데이터 획득은 40 kHz로 1.6초 동안 65536개의 데이터를 취득하였다.

2.3 소음 시험 결과

시험에 사용된 마이크로폰, 케이블 및 측정 시스템은 교정기(B&K acoustic calibrator 4226)를 사용하여 기준음(1 kHz, 94 dB)에 대해 감도 보정을 수행한 후 사용하였다.

실험 결과의 수렴성을 파악하기 위하여 측정 결과의 앙상블 평균(ensemble averaging) 횟수에 따른 평균값 변화를 비교하였다. 4096개의 측정값을 기본 블록으로 선정하여 각 블록에 대해 FFT 연산을 수행하고, 앙상블 평균을 1회, 5회, 10회와 15회 수행한 결과를 Fig. 11과 같이 1/3 옥타브 밴드(1/3 octave band) 로 나타냈다. Fig. 11은 케블라 덮개 없는 상태에서 백색 잡음을 발생시켰을 때, 어레이의 중앙에 위치한 26번째 마이크로폰(Mic. #26 in Fig. 7)에서 측정된 신호의 앙상블 평균에 따른 평균값 변화를 비교한 결과이다. 앙상블 평균 횟수가 ‘5’ 이상인 경우에는 평균값이 0.5 dB 이내에서 수렴하고 있으며, 횟수가 ‘10’ 이상인 경우에는 그래프 상에서 동일한 값을 나타내고 있다. 이 결과를 바탕으로 실험 결과 분석은 앙상블 평균 15회로 수행하였다.

Table 2 Test case as a distance of Kevlar sheet and microphone

Distance between Kevlar sheet and microphone [mm]	1) 5 2) 10 3) 15
Wind speed [m/s]	1) 0 2) 20
Source source	White noise

Table 3 Test case as a tension of Kevlar sheet

Tension of Kevlar	1) Low tension 2) Mid tension
Distance between Kevlar sheet and microphone [mm]	10
Wind speed [m/s]	1) 0 2) 20
Source source	White noise

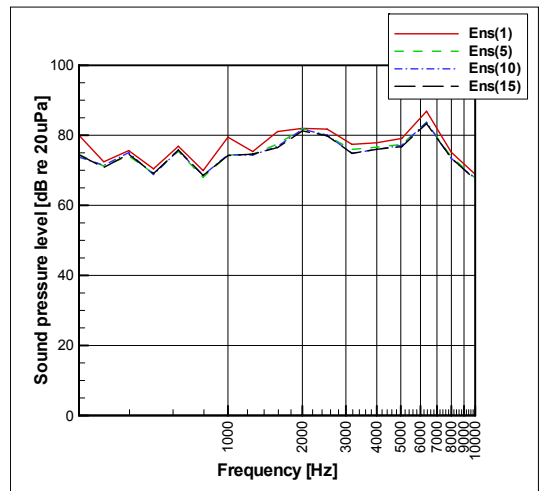


Fig. 11 Sound pressure level of being measured signal by 26th microphone as no. of ensemble averaging for white noise

(1) 소음 시험 1 : 결과

케블라 덮개로 인한 음향 신호의 전달 강도 감쇠 영향을 파악하기 위해, 스피커 주변에 설치한 기준 마이크로폰(reference microphone)에서 측정된 신호와 마이크로폰 어레이 중심점(Mic. #26 in Fig. 7)에서 측정된 신호를 비교하였다.

Fig. 12는 백색 잡음을 발생 시켰을 때 기준 마이크로폰과 마이크로폰 어레이 중심에 위치한 마이크로폰에서 측정된 값의 음압 차이($\Delta SPL [dB] = SPL_{ref.} - SPL_{center}$)를 1/3 옥타브 밴드로 나타낸 결과이다.

Fig. 12에서 1 kHz 이상 소음신호의 경우 부가장력의 세기는 시험 결과에 큰 영향을 미치지 않고 있다. 또한, 케블라 덮개가 없는 조건에 비해 덮개가 설치된 경우에는 소음신호가 작게 나타나고 있다. 1 kHz 조건에서는 6 dB, 2 kHz 조건에서는 12 dB, 4 kHz 조건에서는 14 dB, 8 kHz 조건에서는 19 dB의 측정신호 감소를 보이고 있다. 500 Hz 이하의 저주파수에서는 부가장력 mid tension과 high tension의 경우 두 마이크로폰의 음압 차이가 2 dB 이내이며, low tension의 경우에는 5 dB 차이를 보이고 있다.

케블라 덮개가 설치된 어레이 모듈의 공간 분포 특성을 확인하기 위하여 스피커에 백색 잡음신호를 부가한 후, 각 채널(32 ch.)에서 소음신호를 측정하

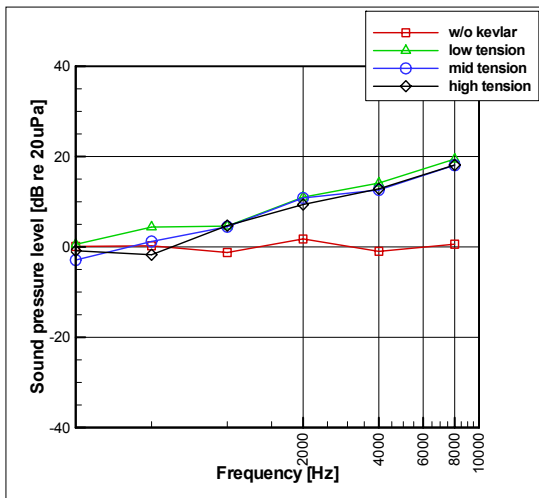


Fig. 12 Difference in sound pressure level(ΔSPL) of reference microphone and 26th microphone as kevlar tension for white noise

였다. 1/3 옥타브 밴드를 사용하여 정리한 측정 결과가 Figs. 13~ 18에 나타나 있다. 공간분포 특성을 파악하기 위해 측정 결과를 기준 마이크로폰(Mic. #26 in Fig. 7)에 대한 각 채널의 음압차이($\Delta SPL [dB] = SPL_{each\ mic.} - SPL_{center}$)로 정리하였다.

Fig. 13의 500 Hz일 때 결과와 Fig. 15의 2 kHz 일 때의 결과에서, 마이크로폰 위치에 따른 음압의 차이가 최대 8 dB로 큰 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 케블라가 없는 경우와 케블라가 있는 경우 모두에서 확인되는 현상이며, 어레이의 중심에서 먼 위치에서 설치된 마이크로폰에서 측정된 결과일수록 음압의 차이가 커지는 결과와 일치한다. 이 결과를 바탕으로 향후 마이크로폰 배치 시 이 위치에는 마이크로폰을 배치하지 않아야 할 것으로 판단된다.

케블라 덮개가 있을 때와 없을 때의 결과를 비교하였을 때, 두 결과의 경향이 일치하는 것을 확인할 수 있으며, 마이크로폰의 위치에 따른 음압의 차이가 4 dB 이내로 균일하게 분포하는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 음원이 케블라를 통과함으로써 각 마이크로폰에서 측정되는 신호의 공간 분포 특성이 변하지 않는 것을 확인할 수 있다.

(2) 소음 시험 2 : 결과

Fig. 19는 풍속이 없는 조건(0 m/s)과 20 m/s인 조건에서 측정한 배경소음 결과와 백색 잡음을 발생시켰을 때의 주파수에 대한 음압 결과이다. 어레이의 중심에 위치한 마이크로폰(Mic. #3 in Fig. 10)에서 측정된 결과를 1/3 옥타브 밴드로 정리하였다. 풍속이 없을 때와 있을 때(20 m/s)의 결과를 비교해 보면, 풍속이 있는 경우 100 Hz 이하에서 약 70 dB의 배경소음이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 풍속이 없을 때 배경소음과 백색 잡음 실험 결과를 비교해 보면, 50 Hz에서 7000 Hz 주파수 범위에서 60 dB 이상의 백색 잡음이 발생함을 확인할 수 있다. 따라서, 풍속 20 m/s 조건에서 백색 잡음을 발생시켰을 때 케블라에 의한 영향을 비교 할 수 있는 주파수 범위는 유동의 배경소음 구간을 제외한 100 Hz~ 7000 Hz 구간이다.

Figs. 20~25는 풍속 20 m/s인 조건에서 케블라와 마이크로폰의 간격이 5 mm, 10 mm와 15 mm 일 때 5개의 마이크로폰으로부터 각각 측정된 신호를 1/3

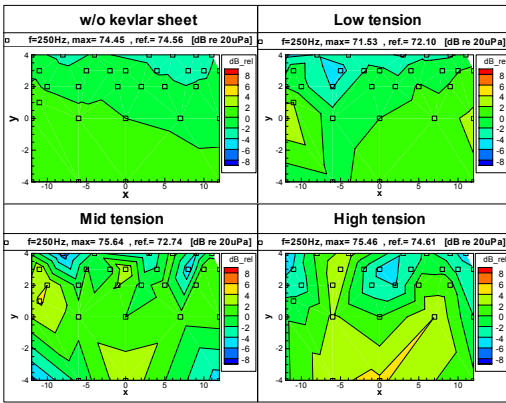


Fig. 13 Difference in sound pressure level between each channel and 26th channel at 250 Hz as a Kevlar conditions. Pref=20 μ Pa

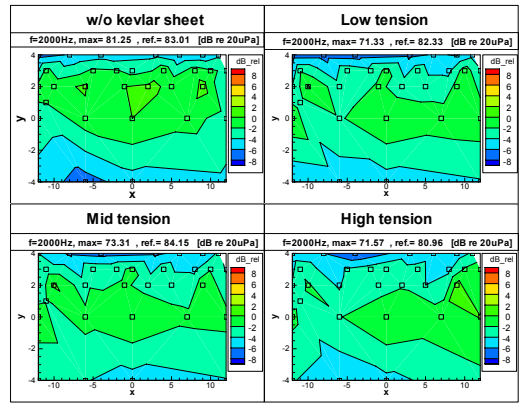


Fig. 16 Difference in sound pressure level between each channel and 26th channel at 2000 Hz as a Kevlar conditions. Pref=20 μ Pa

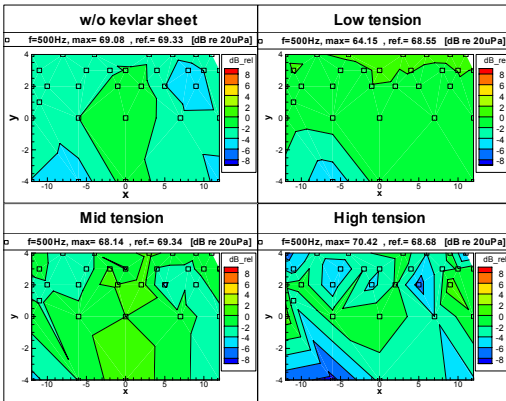


Fig. 14 Difference in sound pressure level between each channel and 26th channel at 500 Hz as a Kevlar conditions. Pref=20 μ Pa

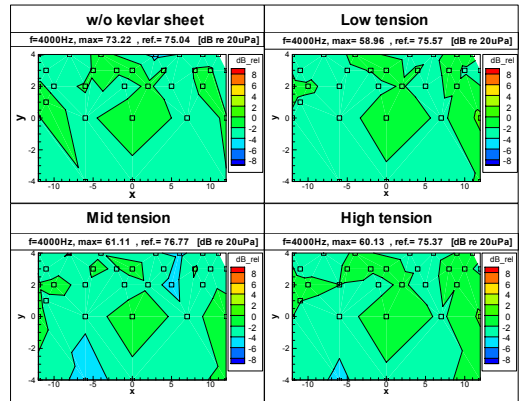


Fig. 17 Difference in sound pressure level between each channel and 26th channel at 4000 Hz as a Kevlar conditions. Pref=20 μ Pa

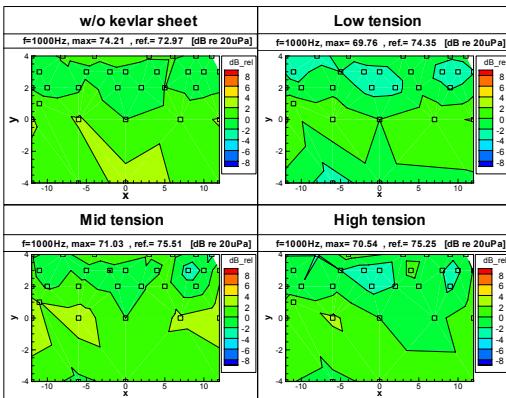


Fig. 15 Difference in sound pressure level between each channel and 26th channel at 1000 Hz as a Kevlar conditions. Pref=20 μ Pa

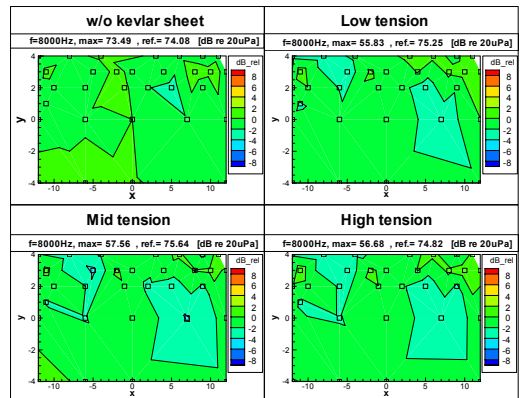


Fig. 18 Difference in sound pressure level between each channel and 26th channel at 8000 Hz as a Kevlar conditions. Pref=20 μ Pa

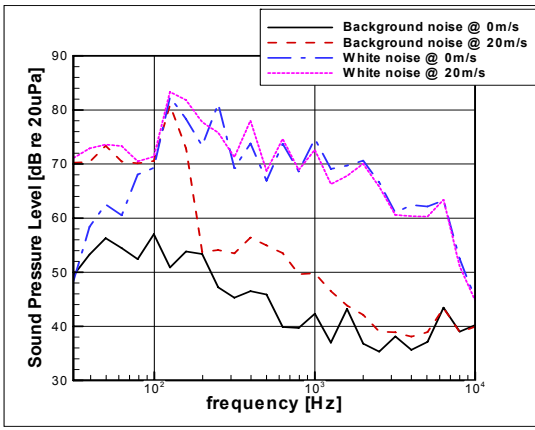


Fig. 19 SPL of Background noise and white noise measured by 3rd microphone in Fig. 10 when wind speed is 0 m/s and 20 m/s

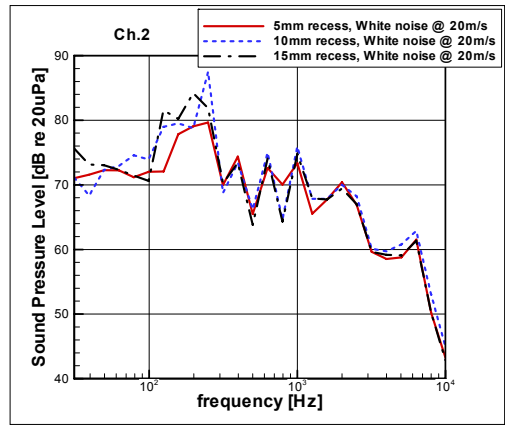


Fig. 21 SPL measured by 2nd microphone as distance of Kevlar and microphone for white noise in 20 m/s

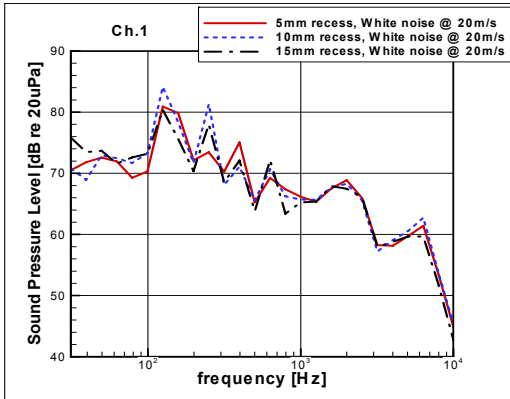


Fig. 20 SPL measured by 1st microphone as distance of Kevlar and microphone for white noise in 20 m/s

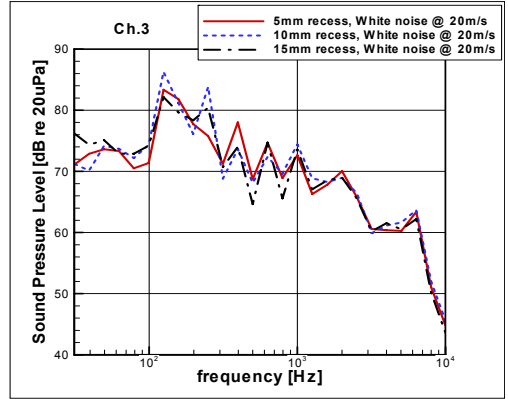


Fig. 22 SPL measured by 3rd microphone as distance of Kevlar and microphone for white noise in 20 m/s

옥타브 밴드로 나타낸 결과이다. 케블라 덮개는 다공성 섬유조직으로 구성되어 있으므로 덮개와 근접한 거리에 마이크를 위치할 경우 유체에 의해 유발되는 자체소음 영향이 커질 것으로 추정되므로 마이크를 설치 가능한 깊이 위치를 시험 전에 판단하여야 한다. Figs. 20~25에서 시험이 수행된 깊이 조건(5 mm, 10 mm와 15 mm)에서는 케블라 덮개와 마이크 사이의 거리에 따른 큰 영향이 없는 것으로 확인되었다.

Fig. 25는 풍속 20 m/s일 때, 케블라 덮개 부가 장력에 따른 배경소음과 백색 잡음 측정된 결과를 3번째 마이크(Mic. #3 in Fig. 10)에서 측정된 결

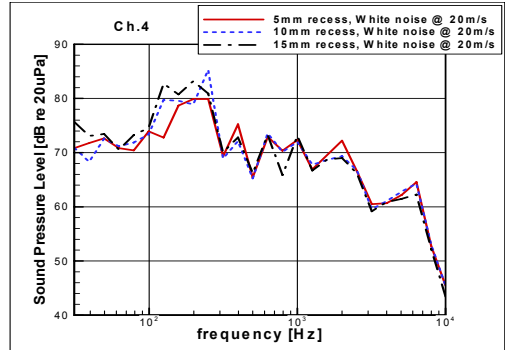


Fig. 23 SPL measured by 4th microphone as distance of Kevlar and microphone for white noise in 20 m/s

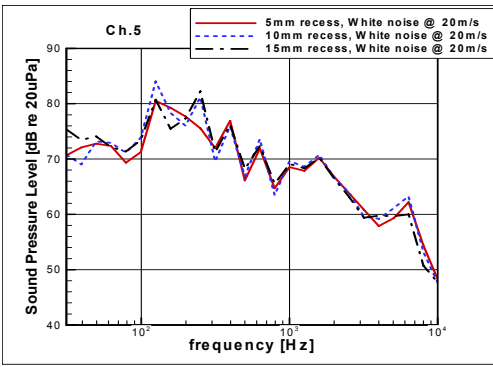


Fig. 24 SPL measured by 5th microphone as distance of Kevlar and microphone for white noise in 20 m/s

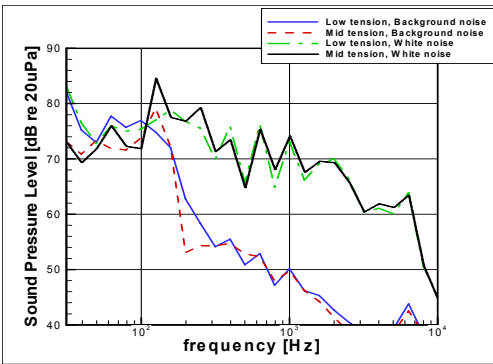


Fig. 25 SPL of Background noise and white noise measured by 3rd microphone as tension in 20 m/s

과를 1/3 옥타브 밴드로 나타내었다.

두 가지의 장력 조건에서 배경소음과 백색 잡음 시험 결과를 비교해 보면, 100 Hz 이하의 유동 소음 성분이 적게는 0 dB, 크게는 8 dB의 차이를 가지며 low tension의 결과가 비교적 크게 측정된 결과를 확인할 수 있다. 100 Hz 이상의 주파수에서는 장력에 의한 영향은 미비한 것으로 판단된다.

배경소음 주파수인 100 Hz 이하의 소음 성분을 제외하고 특히 관심 주파수 성분인 500 Hz~1500 Hz에서 장력에 따른 큰 영향은 없는 것으로 판단된다.

3. 결 론

폐쇄형 시험부에서 마이크로폰 어레이를 이용한 공력소음 측정 시 경계층 난류에 의해 발생하는 유

체 소음의 영향을 최소화하기 위하여 음향 투과 특성이 좋은 케블라 덮개를 장착한 마이크로폰 어레이를 설계 및 설치하였다. 케블라 덮개를 장착한 마이크로폰 어레이의 주파수에 대한 음향 신호의 전달 강도 특성을 확인하기 위하여 다양한 실험적 연구를 수행하였다.

케블라 덮개에 의한 음향 신호의 전달 강도 감쇠 영향을 파악하고 케블라를 고정할 장력을 결정하기 위하여, 기준 소음원에 대한 시험을 수행하였으며 측정된 신호를 비교하였다. 500 Hz 이하의 저주파수에서는 기준 마이크로폰과 케블라가 장착된 마이크로폰 어레이 중심에 위치한 마이크로폰의 음압 차이가 mid tension과 high tension의 경우 2 dB 이내이며, low tension의 경우 5 dB의 차이를 나타낼 수 있었다. 주파수 범위가 2 kHz 이상으로 높아짐에 따라 그 차이가 더 커지는 경향을 확인할 수 있었다. 실험 결과를 바탕으로 mid tension의 결과가 상대적으로 우수한 것으로 판단되어 진다.

케블라 덮개가 장착된 마이크로폰 어레이의 공간 분포 특성을 확인하기 위하여 백색 잡음을 이용하여 시험을 결과를 비교하였다. 동일 주파수에서 케블라가 있는 경우와 없는 경우의 결과를 비교하였을 때, 공간 분포 특성의 경향성이 일치 하는 것을 확인할 수 있다. 2 kHz일 때 마이크로폰 어레이의 중심으로 부터 먼 거리에 위치한 어레이의 상단과 하단의 마이크로폰에서 측정된 결과는 중심 마이크로폰과의 음압 차이가 최대 8 dB인 것을 확인할 수 있었다. 이 결과를 바탕으로 마이크로폰 배치 시 이 위치에 마이크로폰 설치하는 것을 피해야 할 것으로 판단된다. 이외의 모든 공간 분포 결과에서 마이크로폰 위치에 따른 음압의 차이가 4 dB 이내로 균일한 것을 확인할 수 있고, 음원이 케블라를 통과함으로써 각 마이크로폰에서 측정되는 신호의 공간 분포 특성이 변하지 않는다는 것을 확인할 수 있다.

케블라 덮개의 유속에 의한 영향을 확인하기 위하여 20 m/s의 풍속 조건에서 수행된 시험 결과에서 100 Hz 이하의 주파수 범위에서 약 70 dB의 배경소음이 발생하는 것을 확인하였다. 20 m/s일 때 백색 잡음을 발생시킨 결과에서 마이크로폰과 케블라 사이의 간격에 대한 영향은 크지 않은 것으로 확인되었으며, 장력에 의한 영향 또한 크지 않은 것으로 판단된다.

향후 공력소음 측정 시, 음향 신호 전달 강도 특성이 상대적으로 우수하였던 mid tension의 강도로 케블라에 장력을 부가하고, 케블라와 마이크로폰 사이의 간격은 10 mm로 수행하는 것으로 결정하였다. 케블라가 장착된 마이크로폰 어레이를 활용한 폐쇄형 풍동 시험부에서 공력소음 수행 시 자체 소음을 최소화할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 연구는 국토해양부 ‘건설교통기술촉진연구사업’의 ‘고속철도용 저소음/저저항 팬터그래프 공력설계 기술 및 폴스케일 팬터그래프 형상 개발’ 과제의 지원으로 수행되었습니다.

References

(1) Sijtsma, P. and Holthusen, H., 1999, Source Location by Phased Array Measurements in Closed Wind Tunnel Test Sections, 5th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Bellevue, WA, AIAA Paper 99-1814, May 10-12.

(2) Thomas, J. M., 2002, Aeroacoustics Measurements, Springer, New York.

(3) Rhee, W., Park, S., Choi, J. S. and Kim, J. M.,

2006, Elimination of Self Noise & Doppler Effects from the Microphone Array Measurement, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 16, No. 7, pp. 677~682.

(4) Jaeger, S. M., Horne, W. C. and Allen, C. S., 2000, Effect of Surface Treatment on Array Microphone Self-noise, AIAA-2000-1937.



Eun-sue Hwang received the M.S. degree in Aerospace engineering and Aeroacoustics at Chungnam national university, Korea. Main area of research is measuring aeroacoustics and localization of noise source using beamforming

method.



Taehwan Cho is principal researcher at the Korea Aerospace Research Institute. He received Ph. Degree in Aerospace engineering and Aeroacoustics at KAIST. Areas of research are Aeroacoustics and localization of

noise source using beamforming method.