

원추－원통－원추형으로 구성된 음향립자 속도나팔의 속도증폭특성

리일혁, 원경수

경애하는 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학기술과 경제의 일체화를 다그치고 나라의 경제를 현대화, 정보화하는데서 과학기술부문이 주도적인 역할을 하도록 하여야 합니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 41페이지)

최근 벡토르수감부에 대한 연구는 음향분야에서 중요한 연구분야의 하나로 되고있으며 벡토르수감부제작에서 압력수감부와 대비하여볼 때 낮은 주파수에서 감도가 낮은 립자속도수감부의 결함을 보충해주기 위한 높은 속도증폭도를 보장하는 음향립자속도나팔은 중요한 연구분야의 하나이다.[1, 2] 일부 종류의 나팔을 벡토르수감부의 증폭용으로 리용한 연구결과[3]들에서는 그 리용가능성을 리론적으로 제기하고있다. 실천적으로 소리를 수감하자면 나팔의 목부근에 수감부를 설치하기 위한 일정한 정도의 길이를 가진 수감부 배치공간이 요구된다.

우리는 원추형나팔 2개를 수감부배치용원통형관으로 연결한 새로운 형태의 음향립자속도나팔을 제기하고 이 경우에 주파수특성과 속도증폭에 미치는 인자들에 대하여 COMSOL 4.3을 리용하여 모의하였다.

1. 음향립자속도나팔에 대한 수값해석방법

평면파근사를 리용한 웨브스터의 방정식[3]은 나팔해석의 기본방정식으로 된다. 여기서 중요한것은 파동이 평면파로 될 정도로 충분히 유연하게 나팔의 자름면면적이 변해야 한다는것이다. 실질적으로 이 공식은 압력나팔에 대한 해석에서 매우 유용한것으로 되여있다.

음향립자속도나팔과 같이 열린 목을 가진 경우에 웨브스터방정식을 적용하는데는 입사파가 나팔주둥이를 통해 들어오는것과 함께 나팔의 바깥겉면에서 지연되고 에돌이된 똑같은 파가 목으로 들어오는 문제[1]가 제기된다.

에돌이로 인한 음마당의 이지러짐은 중요한 효과를 나타낼수 있기때문에 수값풀이는 COMSOL 4.3의 항공음향학모형을 리용한다. 압력에 대한 풀이인 COMSOL의 음향학적모형과는 달리 항공음향학적모형은 속도포텐셜 ϕ 에 대한 파동방정식을 푼다.

$$-\frac{\rho}{c_0^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + \nabla(\rho \nabla \phi) = 0 \quad (1)$$

여기서 ρ 와 c_0 은 각각 류체밀도와 음속도이다.

음향립자속도 v 와 압력 p 는 거리 r 의 함수로서 보통 다음과 같다.

$$v(r, t) = \nabla \phi, \quad p(r, t) = -\rho_0 \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (2)$$

이때 유체의 주변밀도가 일정하며 COMSOL 2차원축대칭형태의 모의형태에서 나팔겉면은 굴다고 가정한다.

2. 음향립자속도나팔의 증폭모의

원추형나팔 2개를 원통형이음부로 직렬연결한 음향립자속도나팔의 자름면은 그림 1과 같다.

음향립자속도나팔은 원추형나팔 2개를 이음부를 리용하여 직렬로 연결하여 음파의 전송통로를 구성하였다.

대기속에 있는 나팔의 축방향으로 x 축을, 개구면의 방향으로 z 축을 잡고 x 축방향으로 평면파가 입사한다고 하자.

원추형나팔 1개의 길이는 10cm, 이음부의 길이는 $l=4$ cm 즉 음속도나팔의 전체 길이는 $L=24$ cm, 나팔입구의 반경은 $R/2=10$ cm, 목반경은 $r/2=1$ cm로 구성하였다.

나팔을 둘러싸는 직4각형영역을 설정하고 나팔의 입구에 평면파를 입사시키기 위하여 COMSOL 4.3에서 흔히 하는 형식으로 직4각형의 한번에 대하여 법선속도조건을 주어 나팔에 평면파가 입사되도록 하였다.

모의결과 이음부의 길이에 따라 속도증폭도는 감소하였다.

이음부의 길이에 따르는 속도증폭도의 변화는 그림 2와 같다.

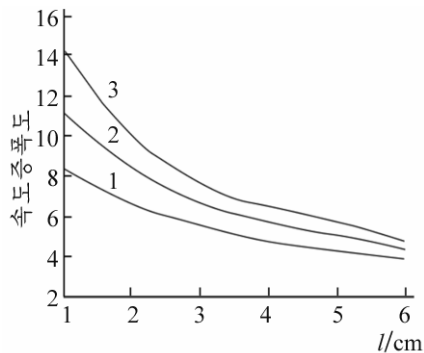


그림 2. 이음부길이에 따르는 속도증폭도

1-3은 K 가 10, 15, 20인 경우

속도증폭도가 커진다는것을 알수 있다. 이것은 우리가 제기한 나팔에서 속도증폭도를 높이기 위하여서는 나팔의 총 길이를 길게 할 필요가 있다는것을 보여준다.

한편 입구 대 목반경비가 일정할 때 목반경에 따르는 속도증폭도변화는 그림 4와 같다.

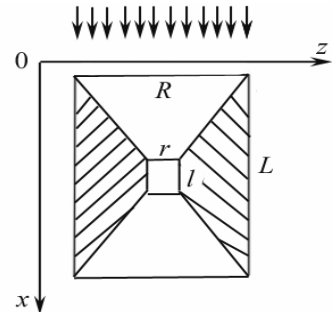


그림 1. 음향속도나팔의 자름면구조

K 는 입구 대 목반경의 비이다. 모든 경우에 목에서의 속도 V 는 입사파의 속도진폭 V_0 으로 규격화되어 있으며 속도증폭도는 입구와 목에서의 속도의 비로 정의하였다.

그림 2에서 보는바와 같이 나팔의 길이 24cm, 목반경 1cm인 경우에 이음부의 길이증가에 따라 나팔의 립자속도증폭도는 감소한다.

각이한 길이의 립자속도나팔에서 K 에 따르는 속도증폭도의 변화는 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는바와 같이 입구 대 목반경비가 증가함에 따라 나팔의 속도증폭도는 증가하며 입구 대 목반경비가 일정하여도 나팔의 길이가 증가함에 따라

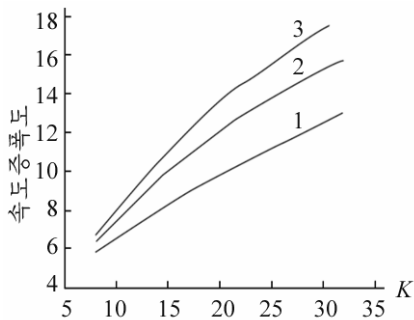


그림 3. 입구 대 목반경비에 따르는 속도증폭도
1-3은 L 이 각각 24, 34, 44cm인 경우

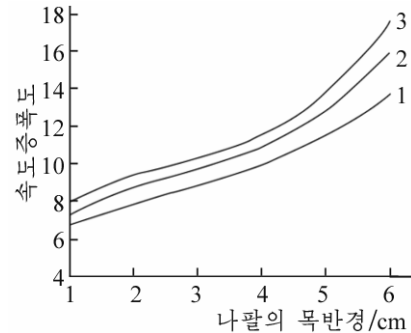


그림 4. $K=10$ 일 때 목반경에 따르는 속도증폭도
1-3은 L 이 각각 24, 34, 44cm인 경우

그림 4에서 보는바와 같이 K 를 고정시킨 상태에서 나팔의 목반경을 증가시킬 때에도 속도증폭도는 증가한다.

맺 는 말

2개의 원추형나팔을 원통형관으로 연결하여 구성된 음향속도나팔이 나팔목에서 뚜렷한 속도증폭이 나타난다는것을 COMSOL 4.3모의프로그램을 리용하여 확증하였다. 속도증폭특성을 보면 속도의 증폭도는 입구 대 목반경비가 커짐에 따라 증가한다. 또한 주어진 입구 대 목반경비에서도 목반경의 크기와 나팔의 길이가 커지면 증가하며 이음부의 길이가 증가하면 감소된다.

참 고 문 헌

- [1] F. Jacobsen et al.; JASA, 118, 3, 1510, 2005.
- [2] D. M. Donskoy et al.; J. Acoust. Soc. Am., 130, 5, EL311, 2011.
- [3] E. Eisner; J. Acoust. Soc. Am., 41, 3, 1126, 1967.

주체105(2016)년 6월 5일 원고접수

Characteristics of Velocity Amplification of Acoustic Particle Velocity Horn consisting of Double Cone-Shaped Horn connected by Cylindrical Pipe

Ri Il Hyok, Won Kyong Su

An acoustic particle velocity horn which is consisted by double cone-shaped horn connected by cylindrical pipe clearly provides velocity amplification at the throat of horn, which is calculated by COMSOL 4.3 with the different horn lengths, cylindrical pipe lengths, throat radius and flare rates.

Key word: particle velocity horn