

## 흡음재를 삽입한 디퓨저의 소음 성능

\*정갑철\* 현승일\* 이중우\*\* 권영필\*\*\*

(Noise Reduction Performance of a Diffuser with Absorptive Materials)

\*G.C.Jeong\* S.I.Hyun\* J.W.Lee\*\* Y.P.Kwon\*\*\*

### 1. 서 론

고압의 유체수송시스템이 설치된 발전소나 화학 공장 및 보일러 시설 등은 고압 가스나 증기를 감압하거나 대기로 배출하는 과정에서 매우 높은 소음이 발생한다. 고압유체의 배출소음을 저감시키기 위한 기존의 산업용 디퓨저 소음기는 Fig.1(a)에서와 같이 디퓨저를 포함한 확장실(expansion chamber)과 흡음형 격벽(splitter)으로 구성되어 있다.

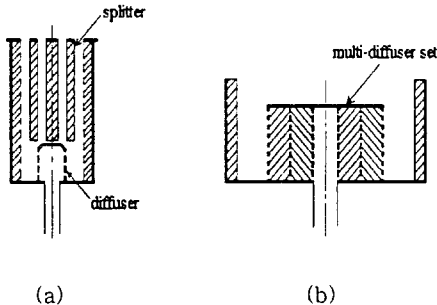


Fig.1 Industrial diffuser silencers  
(a) diffuser without absorptive material  
(b) diffuser with absorptive material

그림에서 디퓨저를 포함한 확장실은 고속 기류를 분산하여 안정화시키고 고압유체 배출시스템의 감압변에서 발생하는 소음은 주로 흡음형 격벽(splitter)에 의하여 저감된다. 따라서, 원하는 소음 감쇠량을 얻기 위하여 격벽을 길게 제작하여야

하므로 소음기 규모가 비대할 수밖에 없기 때문에 비용이 많이 들고 분출 가스를 안전하게 배출하기 위하여 건물의 높은 위치에 설치함으로써 소음기를 안전하게 지지하기 위한 구조물도 커지게 되어 설치상의 제한이 수반되는 등 경제성 측면에서 효율적이지 못하다.

소음기 크기를 줄이기 위하여 디퓨저 부분의 구멍 크기와 간격 및 공극율(porosity)을 변화시킴으로써 소음 저감방법에 관하여 지금까지 여러 연구와 실험이 있었으나 디퓨저 구멍의 전체 면적이 관의 면적보다 큰 경우는 디퓨저 자체의 감음 효과가 크지 않은 것으로 밝혀졌다.<sup>[1]</sup> 단일 디퓨저의 감음량을 증가시키기 위해 다중 디퓨저를 제작하여 기류의 속도를 완화시킴으로써 자생소음의 발생을 억제하거나 배압을 증가시켜 안전변에서의 소음발생을 줄이고자 하는 연구가 있었고, 산업용으로 다중 디퓨저 또는 흡음재를 삽입한 다중 디퓨저를 이용하고자 하는 시도는 있으나, 다중 디퓨저와 흡음재 삽입 다중 디퓨저의 소음저감 효과 및 소음성능에 관한 연구는 전무하며 충전재 삽입에 따른 효과에 대해서 구체적인 자료가 없는 실정이다. 또한, 배압의 상승으로 인한 안전변의 오동작이나 소음기의 안전상의 문제를 우려하여 흡음재를 사용하지 못하고 있는 실정이다. 산업용으로 사용되기 위해서는 고속유체가 흡음재를 삽입한 다중 디퓨저를 통과할 때의 유속, 압력 손실과 아울러 소음성능을 정확히 구하는 것이 필요하다.

본 연구는 Fig.1(b)에서와 같이 디퓨저소음기의 여러가지 설계인자가 소음성능에 미치는 영향을 알아보기 위한 것으로 오리피스 상부의 분류 압력, 흡음재의 두께와 밀도 및 디퓨저의 단수를 변화시켜 그에 따른 영향을 실험적으로 구하였다.

\* 숭실대학교 대학원  
\*\* 숭실대학교 산업대학원  
\*\*\* 숭실대학교 기계공학과

## 2. 실험

디퓨저의 성능을 실험하기 위하여 구성된 실험 장치 개략도는 Fig.2와 같다. 압축기로 최대 7atg의 압력까지 공기를 압축하여 체적이 1500인 탱크에 저장한 후 유량조절밸브를 전개하여 배관 중간에 설치된 관경 10mm의 오리피스를 통과하도록 하여 분류소음을 발생시키고 기류는 디퓨저소음을 통하여 간이 무향실내로 방출되도록 하였다. 소음측정은 관끝에서 45° 방향으로 0.5m 떨어진 위치에서 마이크로폰으로 측정하고 2 channel F.F.T analyzer를 이용하여 1/3 옥타브 밴드별 소음레벨로 분석한 후 컴퓨터로 전송하여 자료를 처리하였다.

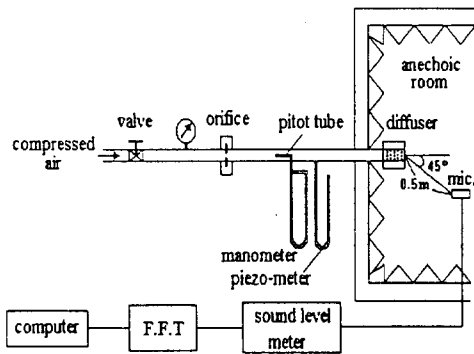


Fig.2 Schematic of the experimental apparatus for the insertion loss of a diffuser

오리피스를 통과한 기류의 유속을 측정하기 위하여 관의 중간에 pitot tube를 설치하여 액주계(manometer)를 통해 동압을 측정하였고, 관단에 흡음재가 충전된 디퓨저등의 설치에 따른 배압을 차압계(piezo-meter)로 측정하였다. 압축성 기체의 경우 속도는 밀도의 함수이므로 상태방정식과 베르누이방정식을 이용하여 밀도변화에 따른 속도를 보정하였다.

실험은 먼저, 관의 단면적에 대한 다공관 디퓨저의 전체 구멍 면적비로 나타낸 공극율이 200%인 다공관의 단일 디퓨저에 흡음재를 장착한 경우와 400% 및 600% 다공관과 조합한 다중 디퓨저 및 흡음재를 충전했을 때의 삽입손실을 유속에 따라 측정하여 비교하였다. 다음으로 위 실험의 각각의 경우에 흡음재의 밀도, 두께의 변화 및 다공관의 유무에 따른 삽입손실을 비교하고, 다중 디퓨저소음기의 설계인자에 따른 음향성능에 관하여 고찰하였다. 디퓨저의 음향성능은 디퓨저를 장착한 때와 하지 않은 때의 음압레벨차인 삽입손실로 평가하였다.

Fig.3에 실험에 사용한 디퓨저소음기의 단면 형상을 도시하였다. Fig.3(a)는 단일디퓨저의 형상이다. 디퓨저의 내경은 28mm이고 디퓨저 부분의 길

이는 40mm이며, 디퓨저의 구멍지름은 3mm, 두께는 2.5mm, 공극율은 200%이다. Fig.3(b)는 삽입재의 두께와 밀도의 영향을 보기 위하여 단일디퓨저의 외부를 흡음재로 감쌌을 경우이다. 외부 흡음층의 두께는 20mm와 40mm로 변화시켰고 밀도는 100kg/m<sup>3</sup>, 150kg/m<sup>3</sup>, 200kg/m<sup>3</sup>으로 변화시키면서 측정하였다. Fig.3(c)는 이중 다공관디퓨저에서 다공관 직경의 영향을 알아보기 위한 것으로 단일 디퓨저직경보다 20mm와 40mm를 크게하였고 직경이 단일 디퓨저보다 20mm 큰 경우 이중 다공관 디퓨저는 공극율 400%, 40mm인 경우에는 공극율 600%으로 하고 흡음재의 밀도를 100kg/m<sup>3</sup>, 150kg/m<sup>3</sup>, 200kg/m<sup>3</sup>으로 변화시켰다. Fig.3(d)는 삼중 다공관디퓨저로서 단일 디퓨저에서 20mm 이격시켜서 공극율 400%인 2차 다공관디퓨저를 설치하고 40mm이격시켜 공극율 600%의 3차 다공관 디퓨저를 관에 설치하여 실험하였다.

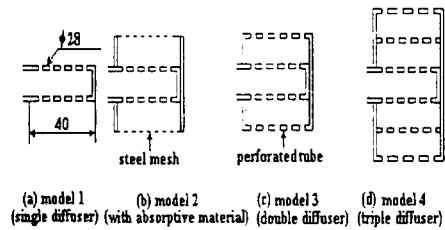


Fig.3 Diffuser models for experiment

## 3. 결과 및 고찰

오리피스에서 choke가 되면서 발생한 유동 소음은 광대역의 난류소음과 충격소음이 혼합된 소음으로 오리피스 전의 상류압력이 3atg, 4atg 및 5atg일 때 발생하는 소음의 스펙트럼은 Fig.4와 같다. 소음의 주파수 특성은 20kHz를 중심으로한 고주파수가 주성분을 이루고 상류압력의 증가에 따라 다소의 음압상승이 있으나 별로 크지 않다는 것을 알 수 있다. 오리피스 전후의 압력비에 따른 소음 파워의 차이는 2dB정도이고 10mm의 직경을 가진 오리피스에서 발생한 고주파수를 가진 소음의 주파수특성은 Maa의 실험결과와 유사한 결과를 보이고 있다.<sup>[2]</sup> Fig.3의 여러가지 디퓨저 실험모델을 관의 방사단에 부착시키고 실험한 후 삽입손실을 측정된 결과는 Fig.5부터 Fig.9에서와 같이 공통되게 8000Hz 이상의 고주파 영역에서 삽입손실이 크게 측정되었다. 관의 (1,0)모드에 대한 평면파의 차단 주파수가 7100Hz이므로 다중 디퓨저의 소음성능은 평면파 영역을 넘어선 고주파 영역에서 우수함을 알 수 있다.

Fig.5는 흡음재의 두께가 디퓨저의 성능에 미치

는 영향을 알아 보기 위하여 Fig.3(b)와 같은 model 2의 디퓨저 외부에 흡음재를 20mm와 40mm 두께로 장착하여 실험한 결과를 도시하였다. 밀도  $200\text{kg/m}^3$ 와 오리피스전의 압력이 3atg의 동일한 조건에서 두께를 2배로 했을때 감음량은 5~6dB 증가되고 있으며 차음재의 면밀도가 2배로 증가했을때 투과손실이 6dB 증가된다는 질량법칙(mass law)과 부합되는 것으로 사료된다. 흡음재 두께에 의한 삽입손실의 효과는 Fig.5(b)에서와 같이 이중 디퓨저의 경우에서도 비슷한 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

Fig.6은 오리피스전 압력이 5atg, 흡음재의 두께는 40mm로 동일할 때 밀도를  $100\text{kg/m}^3$ ,  $150\text{kg/m}^3$ ,  $200\text{kg/m}^3$ 로 변화하여 다공관의 유무별로 밀도의 영향을 도시하였다. 밀도 증가로 인한 삽입손실의 효과는 흡음재를 감쌌을 경우 및 다중 디퓨저에 흡음재를 충전한 경우에는 흡음재의 두께와 관계없이 밀도가 2배 증가할 때 삽입 손실의 증가량은 5~6dB로서 질량법칙과 부합하고 있다.

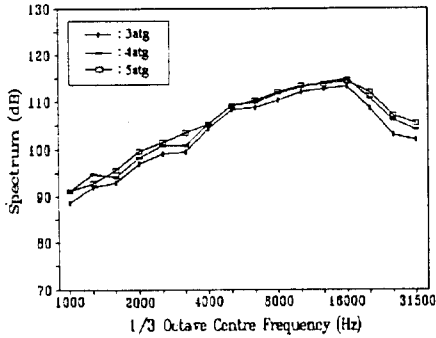
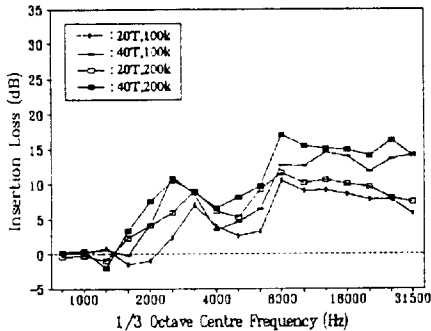
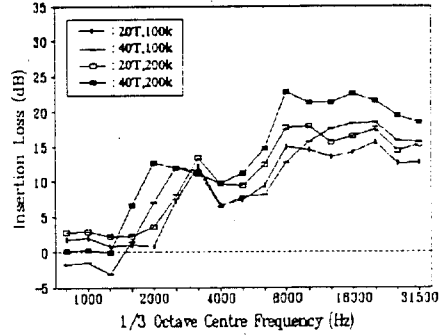


Fig.4 Sound pressure spectrum level of jet noise at 1/3 octave centre frequency for various upstream pressure : 3atg, 4atg and 5atg

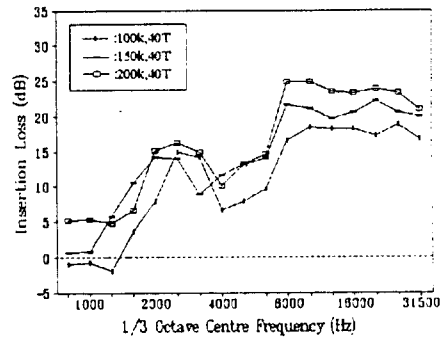


(a) model 2

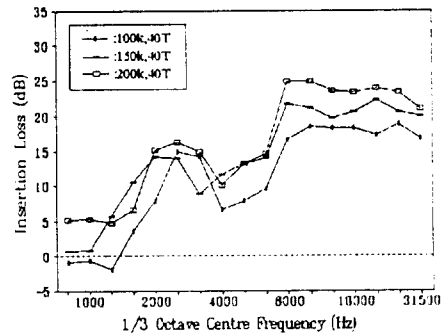


(b) model 3

Fig.5 Effect of thickness of absorptive material on the performance



(a) model 2



(b) model 3

Fig.6 Effect of density of absorptive material on the performance

Fig.7은 model 1의 단일 디퓨저에 밀도  $200\text{kg/m}^3$ , 두께 40mm의 흡음재를 장착하여 분출 압력이 1atg, 2atg, 3atg, 4atg 및 5atg일 때의 삽입손실을 도시한 것이다.

분출압력이 1atg, 2atg, 3atg, 4atg 및 5atg에서 유속은 각각 62m/s, 84m/s, 106m/s, 126m/s, 142m/s로 측정되었다. 두께에 상관없이 압력 1atg 증가에 따른 감음량은 1~2dB 미만의 작은 변화를 나타내고 있다.

Fig.8은 1차에서 3차 디퓨저까지 디퓨저 각 단의 영향을 보기 위하여 흡음재가 없을 때 오리피스 전 정체압력이 5atg에서 삽입손실의 변화를 도시하였다. 그 결과 1차 디퓨저가 5dB의 삽입 손실 효과가 있음에 비해 다단 디퓨저는 15dB의 효과가 나타났다. 그러나 2차 디퓨저와 3차 디퓨저의 단수의 변화에 따른 삽입손실의 변화는 크지 않은 것으로 보인다. 이는 고속 기류음이 디퓨저를 통과할 때 디퓨저 형상에 기인한 자생소음(regeneration noise)의 증가의 영향으로 보여지며 2단 이상의 다단 디퓨저에서 소음저감효과를 기대할 수 없다.

Fig.9는 다중 디퓨저에 밀도  $200\text{kg/m}^3$ 의 흡음재를 충전하였을 경우의 삽입손실을 도시하였다. 흡음층 두께가 20mm에서 40mm로 증가시 5~6dB 삽입손실이 나타나고, 20mm와 40mm의 흡음층에 다공관의 유무에 따라 삽입손실이 5~6dB의 차이를 보이는 것은 흡음재의 삽입으로 유동의 안정화에 의한 자생소음 감소 및 흡음효과(attenuation effect)로 볼 수 있다. 다단 디퓨저의 각단 내부에 흡음재를 삽입한 결과 각 단에서 삽입손실의 증가 효과는 뚜렷해지는데 삼중 디퓨저 및 40mm 두께의 이중 디퓨저에서 전체 두께 및 밀도는 동일하고 다공관이 1장 더 있는 것으로 5dB의 삽입손실 증가는 다중 다공관 디퓨저에 흡음재를 충전하였을 때 다공관의 효과가 있다는 것을 나타낸다.

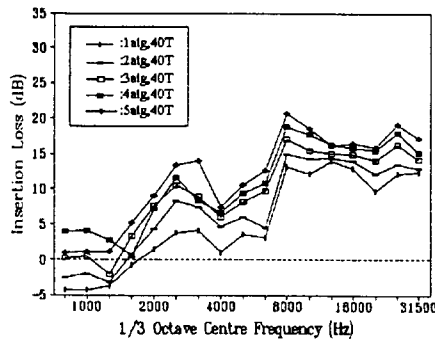


Fig.7 Effect of upstream pressure for model 1 with absorptive material on the insertion loss

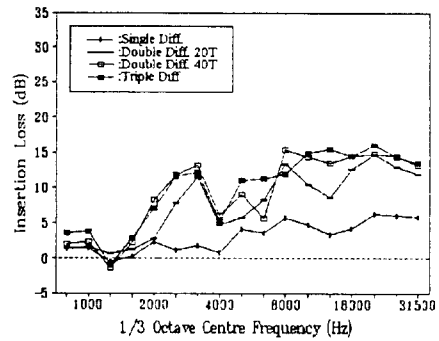


Fig.8 Effect of number of diffuser on the performance

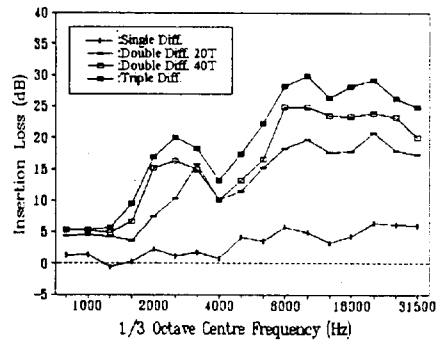


Fig.9 Insertion loss of diffusers with absorptive material

## 4. 결 론

다중 디퓨저에서 충전 흡음재의 두께 및 밀도가 2배로 될때 5~6dB의 감음이 있고, 압력 1atg 증가에 따라 감음량은 1~2dB이며, 다공관 1개당 감음량은 5~6dB이다.

## 참 고 문 헌

- (1) 서기원, "오리피스 분류음의 음향특성 및 디퓨저의 소음성능에 관한 연구", 숭실대학원, 박사학위 논문, 1992
- (2) Maa Dah-you and Li Pei-zi, "Pressure Dependence of Jet Noise and Silencing of Blow-Offs", Noise Control Engineering, pp.104-112, 1981.
- (3) J. K. Floyd, "Control of Steam Venting Noise in Power Plant", J. Engineering for Power, 100, pp.369-373, 1978
- (4) W. M. Jungowski, W. C. Selerowicz, "Theory and Operation of a Low Noise Throttling-Venting Device", Noise Control Engineering, 17, pp.86-94, 1981