



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2013년01월31일  
 (11) 등록번호 10-1228403  
 (24) 등록일자 2013년01월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 F24F 13/02 (2006.01) F24F 13/24 (2006.01)  
 F01N 13/16 (2010.01)  
 (21) 출원번호 10-2012-0034157  
 (22) 출원일자 2012년04월02일  
 심사청구일자 2012년04월02일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 KR1020040017015 A

(73) 특허권자  
 한국기계연구원  
 대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)  
 (72) 발명자  
 김현실  
 대전광역시 유성구 원촌동 257-26 싸이언스 빌 1  
 1동 303호  
 김재승  
 대전 서구 둔산2동939 매그놀리아 1520호  
 (뒀면에 계속)  
 (74) 대리인  
 김종관, 박창희, 권오식

전체 청구항 수 : 총 7 항

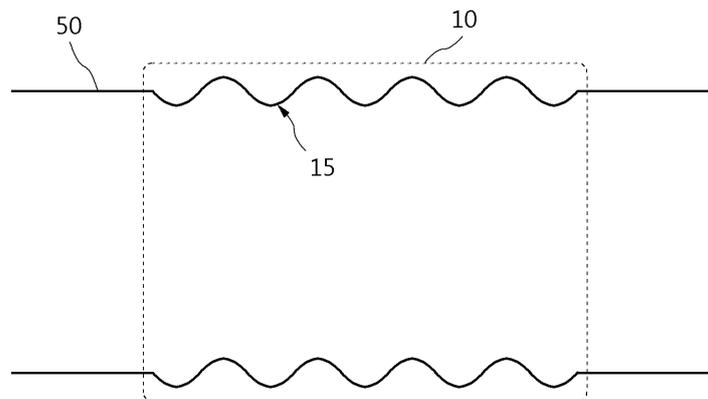
심사관 : 김재철

(54) 발명의 명칭 **반복 주름관 형태의 가변 주파수 소음 차단형 덕트 사일런서**

**(57) 요약**

본 발명의 덕트 사일런서는, 기체가 유통되는 덕트(50) 상에 구비되어 소음을 저감하는 덕트 사일런서(10)로서, 내측 벽면에 주름(15)이 형성된 통로 형상으로 형성되어, 상기 주름(15)의 형상, 주기, 높이를 포함하는 상기 주름(15)의 구조적 특성에 따라 결정되는 주파수 대역의 소음이 음향 밴드갭(acoustic bandgap) 현상에 의하여 차단되어 소음이 저감되는 것을 특징으로 한다.

**대표도 - 도2**



(72) 발명자

**김봉기**

대전 서구 월평동 무궁화 APT 104-903호

**김상렬**

대전 서구 월평동 황실타운 아파트 117동 705호

**이성현**

대전 유성구 신성동 145-18 305호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NK168E

부처명 지식경제부

연구사업명 주요사업

연구과제명 능동형 위험관리 기반기술 개발(1/3)

주관기관 한국기계연구원

연구기간 2012.01.01 ~ 2012.12.31

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

사각형 형상의 단면을 가지도록 형성되며 기체가 유통되는 덕트(50) 상에 구비되어 소음을 저감하는 덕트 사일런서(10)로서,

주름(15)의 형상, 주기, 높이를 포함하는 상기 주름(15)의 구조적 특성에 따라 결정되는 주파수 대역의 소음이 음향 밴드갭(acoustic bandgap) 현상에 의하여 차단되어 소음이 저감되도록,

내측 벽면에 단일 사인파 형상 또는 복수의 사인파가 결합된 형상의 상기 주름(15)이 형성된 통로 형상으로 형성되며, 상기 주름(15)은 상기 덕트(50)의 한 면 또는 서로 마주보는 한 쌍의 면에 배치되며,

상기 주름(15)의 구조적 특징 및 차단 주파수 대역의 관계는 하기의 수식에 의하여 결정되는 것을 특징으로 하는 덕트 사일런서.

$$f_0 = \frac{k_0 c}{2\pi}$$

$$\Delta f = \frac{\epsilon c \delta_0 k_{n0} k_{m0}}{\pi k_0 (k_{n0} + k_{m0})}$$

(이 때,

$$k_{m0} + k_{n0} = k_w \quad (\epsilon = 0)$$

$$k_{n0} = \sqrt{k_0^2 - \beta_n^2} \quad (\epsilon = 0), \quad \beta_n = \frac{\pi n}{h}$$

$$k_{m0} = \sqrt{k_0^2 - \beta_m^2} \quad (\epsilon = 0), \quad \beta_m = \frac{\pi m}{h}$$

$$\delta_0 = 2\sqrt{\Omega_{mn}} \quad (\epsilon = 0)$$

$$\left( \begin{array}{l} \Omega_{nm} = H_{nm} \begin{cases} \cos^2 \frac{\theta}{2} & (n+m = \text{odd}) \\ \sin^2 \frac{\theta}{2} & (n+m = \text{even}) \end{cases} \\ H_{nm} = \frac{(\beta_m^2 + k_w k_m)(\beta_n^2 + k_w k_n)}{k_n k_m} \end{array} \right)$$

$f_0$ : 차단 주파수 대역의 중심 주파수

$\Delta f$ : 차단 주파수 대역의 폭

$c$ : 음파 전파 속도

$\epsilon$ : 상기 주름(15)의 높이

$T$ : 상기 주름(15)의 주기

$h$ : 상기 덕트(50)의 높이

m, n: 모드(mode) 인덱스

$k_w$ : 상기 주름(15)의 파수( $T=2\pi/k_w$ )

$\delta$ : 튜닝 계수

[각 변수]<sub>0</sub>:  $\varepsilon=0$ 일 때의 [각 변수]

### 청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 주름(15)은

상기 덕트(50)를 통과하는 기체의 진행 방향과 나란한 방향을 축 방향이라 할 때, 축 방향을 따라 진행하는 형태로 형성되는 것을 특징으로 하는 덕트 사일런서.

### 청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 주름(15)은

상기 주름(15)의 구조적 특성이 가변되도록 형성되는 것을 특징으로 하는 덕트 사일런서.

### 청구항 4

제 3항에 있어서, 상기 주름(15)은

상기 주름(15)의 주기 또는 높이가 가변되도록 형성되는 것을 특징으로 하는 덕트 사일런서.

### 청구항 5

제 1항에 있어서, 상기 주름(15)은

상기 주름(15)의 형상이 모서리가 없는 곡면 형상으로 형성되는 것을 특징으로 하는 덕트 사일런서.

### 청구항 6

삭제

### 청구항 7

삭제

### 청구항 8

제 6항에 있어서,

상기 덕트(50)의 내측 벽면에 흡음재(55)가 더 부착 구비되는 것을 특징으로 하는 덕트 사일런서.

### 청구항 9

제 1항에 있어서, 상기 덕트 사일런서(10)는

상기 주름(15)이 상기 덕트(50)와 별도의 구조물로 형성되어 탈부착 가능하게 형성되는 것을 특징으로 하는 덕트 사일런서.

**명세서**

**기술분야**

- [0001] 본 발명은 덕트 사일런서에 관한 것으로, 보다 상세히는 주름 형상을 이용하여 효과적으로 중·저주파 소음을 차단하는 덕트 사일런서에 관한 것이다.
- [0002] 일반적으로 다양한 기계류 및 산업 현장, 또는 일상의 생활 현장 등에서는 공기 등을 유통시키기 위한 덕트가 널리 사용되고 있다. 덕트란 공기 등과 같은 기체 상태의 유체를 유통시키는 통로 구조물을 칭하는 것으로, 공기 유통 경로로서의 덕트만이 구비되어 있는 경우도 있으나 건물이나 선박과 같은 구조물에는 외부 공기 유입과 실내공기 배출을 위해 팬이 설치되어 있는 경우가 대부분이다.
- [0003] 덕트에 팬이 설치되어 있는 경우 팬 소음이 덕트를 통해 전달되는 것은 물론이고, 팬이 없는 경우라도 공기가 흐르면서 덕트와의 마찰에 의해 유체소음이 발생된다. 이러한 소음은 사람에게 상당한 불편을 초래하므로, 덕트에서 발생하는 소음을 감소시키기 위하여 다양한 기술이 개발 및 사용되어 왔다.
- [0004] 일례로 차량의 배기 파이프에 구비되는 소음기에서는, 원통형으로 형성되어 그 내부가 몇 개의 공간으로 구분되도록 함으로써, 그 장벽을 통과하는 과정에서 음파가 간섭을 일으키거나, 압력 변동이 감소되거나, 배기 온도가 저하되도록 함으로써 소음을 줄이도록 하는 기술이 개시되어 있다. 한국등록특허 제0357578호("소음기 구조", 이하 선행기술 1)에 이러한 종래의 소음기 구조에 대하여 설명되어 있는데, 상기 선행기술에서는 종래의 소음기 구조를 개선하고자 측벽에 연통공이 형성되며 내부에 내부 튜브가 구비되는 챔버를 포함하여 이루어지는 구조를 개시하고 있다. 차량에 구비되는 소음기의 경우, 소음기의 소음 성능과 더불어 소음기 중량에 따른 차량 연비 문제, 엔진에 걸리는 배압에 따라 엔진 성능에 미치는 영향 등과 같은 여러 요인들이 복합적으로 고려되어 소음기의 구조 및 재질 등이 설계되게 됨은 당연하다.
- [0005] 비단 차량의 배기 파이프 뿐만 아니라, 공기가 유통되는 일반 공조용 덕트에도 이러한 소음기가 구비된다. 이 경우 차량 배기 파이프의 경우와 비교할 때, 일례로 소음기의 중량은 큰 문제가 되지 않는 것과 같이, 설계 조건이 일부 상이해질 수 있다. 일반 공조용 덕트에 구비되는 소음기는 통상적으로 흡음재를 사용하여 만들어지는데, 흡음재는 일반적으로 소음을 내부 섬유 조직에서 흡수하여 열에너지로 변환시키는 다공성 물질로 이루어진다. 이러한 흡음재는 내부 섬유 조직의 크기 및 밀도에 의해 그 성능이 좌우되는데, 가는 섬유 조직일수록, 밀도가 낮을수록 또는 섬유 굵기가 많을수록 우수한 흡음 성능을 발휘하게 된다는 점이 잘 알려져 있다. 흡음재로서 널리 사용되고 있는 재료로는 우레탄폼, 글라스울, 압축스펀지, 암면, 화학솜, 양모 등과 같은 것이 있다. 이와 같은 흡음재로 만들어지는 소음기는 자동차 배기 파이프에 구비되는 소음기보다 흡음에 의한 소음 저감 효과가 훨씬 높은 장점이 있다.
- [0006] 그런데 이러한 흡음재들은 상술한 바와 같이 미세한 섬유 조직으로 이루어져 있기 때문에 미세한 부스러기가 발생되게 되며, 이러한 미세 부스러기가 공기 중에 떠다니다가 인체에 흡입되어 건강에 악영향을 일으키거나 자연으로 방출되어 환경을 파괴시키는 등의 문제점이 있다. 이에 따라 상술한 재료들 중 일부는 사용이 제한되거나 금지되고 있는 실정이다.
- [0007] 뿐만 아니라 다공성 재질로 된 흡음재의 경우 고주파 소음을 흡수하여 차단하는 데에는 효과적이거나, 중·저주파 소음의 흡수 능력은 이에 미치지 못한다는 점이 잘 알려져 있다. 실제로 널리 사용되는 다공성 흡음재의 경우, 1000Hz 정도의 소음의 흡음률은 0.8~0.9 정도로 상당히 우수하나, 500Hz 정도로 주파수가 낮아지면 흡음률이 0.5 정도로 크게 떨어지며, 주파수가 낮아질수록 이러한 경향이 더욱 강해진다는 것이 실험적으로 밝혀져 있다. 그런데 산업 현장의 덕트 등에서 저주파 소음 역시 사람에게 상당한 불쾌감과 피로감을 준다는 점이 잘 알려져 있어, 이러한 중·저주파 소음의 효과적인 감소를 이룰 수 있는 소음기에 대한 요구가 꾸준히 있어 왔다.

**배경기술**

- [0008] 한편 흡음재의 사용과는 다른 관점에서, 구조적인 형상을 이용하여 소음을 차단하고자 하는 기술에 대한 연구가 이루어져 왔다. 어떠한 매질 내에 작은 입자나 봉과 같은 일정한 형상의 구조물이 격자처럼 주기적으로 배열되어 있을 때, 이를 지나는 파동은 상기 구조물의 특성(예를 들어 봉 간 간격 등)에 따라 결정되는 특정 주파수 밴드에 대해 서로 간섭 효과를 일으키게 되어 전파되지 못하는 현상이 발생하게 된다. 특히 광학과 관련된 이러한 현상을 광학 밴드갭(photonic bandgap, PBG)이라고 한다. PBG 현상은 반도체 레이저 기구, 선택 반사경, 밴

드패스 필터 및 공명기 등 다양한 물리·전자 분야에 응용되고 있다. 빛이나 전자기파와 마찬가지로, 물리적으로 음파도 파동의 한 종류이기 때문에 광학 밴드갭과 유사한 음향 밴드갭(acoustic bandgap) 현상이 존재하는데, 음향 밴드갭은 상대적으로 광학이나 전자기 분야에 비해 많은 연구가 이루어지지 않았다. 그러나 1990년대 중반 실제로 조형물에서 발생하는 음파 차단 현상이 보고되면서, 1990년대 후반 이후로 음향 밴드갭 관련 기술에 대한 이론 해석이나 실험 결과 등의 연구 결과들이 발표되기 시작하였다.

[0009] 이와 같이 구조적인 형상을 이용하여 소음을 감소시키고자 하는 기술로서, 한국특허공개 제2010-0134274호("음파의 흡음과 공명에 의하여 감음이 일어나는 공조용 흡음공명형 덕트소음기", 2010.12.23, 이하 선행기술 2), 한국특허공개 제2009-0020670호("천공이 있는 플레이트를 이용한 소음 차단 구조 및 소음 차단 방법", 2009.02.26, 이하 선행기술 3) 등이 개시된 바 있다. 선행기술 2는 덕트에 구비되며 흡음판 등을 포함하여 이루어지는 소음기에서, 흡음판에도 복수 개의 구멍이 뚫려 있도록 하고, 또한 구멍이 뚫린 플레이트 형상으로 이루어지는 공명판을 여기에 더 구비시킴으로써, 흡음판 및 공명판에 형성되어 있는 복수 개의 구멍들을 통해 음파가 흡음 및 공명되도록 하여 저주파 소음을 감소시키도록 하고 있다. 선행기술 3은 역시 복수 개의 구멍이 천공된 금속재 플레이트를 여러 장 겹쳐 배치함으로써 소음을 차단하는 기술을 개시하고 있다.

[0010] 선행기술 2의 경우 기존의 소음기 구조를 개선하여 구멍이 뚫려 있는 흡음판 및 공명판의 형상을 이용하여 음파를 흡음 및 공명시킴으로써 소음을 감쇄시키도록 하고 있다. 즉 선행기술 2는 기존의 덕트에 소음기가 장착되는 구조 자체는 그대로 두고 여기에서 소음기의 구조를 개선시킨 것이라 할 수 있는데, 따라서 소음기가 차지하는 공간이 그대로 유지되어 공간 활용성을 전혀 높일 수 없다. 또한 선행기술 2의 경우 차단할 수 있는 주파수 범위가 고정적이기 때문에 다양하게 변화하는 환경에 적용시키기 어려운 단점이 있다. 선행기술 3의 경우에는 구체적인 소음차단 원리가 없을 뿐만 아니라, 고주파 차단을 목적으로 하고 있어 실질적으로 흡음재를 사용하는 경우와 큰 차이가 없다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

- [0011] (특허문헌 0001) 1. 한국등록특허 제0357578호("소음기 구조")
- (특허문헌 0002) 2. 한국특허공개 제2010-0134274호("음파의 흡음과 공명에 의하여 감음이 일어나는 공조용 흡음공명형 덕트소음기", 2010.12.23)
- (특허문헌 0003) 3. 한국특허공개 제2009-0020670호("천공이 있는 플레이트를 이용한 소음 차단 구조 및 소음 차단 방법", 2009.02.26)

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0012] 따라서, 본 발명은 상기한 바와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 덕트의 주름 형상을 이용하여 음파를 차단함으로써 효과적으로 중·저주파 소음을 차단하는 덕트 사일런서를 제공함에 있다.

**과제의 해결 수단**

[0013] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 덕트 사일런서는, 기체가 유통되는 덕트(50) 상에 구비되어 소음을 저감하는 덕트 사일런서(10)로서, 내측 벽면에 단일 사인파 형상 또는 복수의 사인파가 결합된 형상의 주름(15)이 형성된 통로 형상으로 형성되어, 상기 주름(15)의 형상, 주기, 높이를 포함하는 상기 주름(15)의 구조적 특성에 따라 결정되는 주파수 대역의 소음이 음향 밴드갭(acoustic bandgap) 현상에 의하여 차단되어 소음이 저감되는 것을 특징으로 한다.

[0014] 이 때, 상기 주름(15)은 상기 덕트(50)를 통과하는 기체의 진행 방향과 나란한 방향을 축 방향이라 할 때, 축

방향을 따라 진행하는 형태로 형성되는 것을 특징으로 한다.

- [0015] 또한, 상기 주름(15)은 상기 주름(15)의 구조적 특성이 가변되도록 형성되는 것을 특징으로 한다. 이 때, 상기 주름(15)은 상기 주름(15)의 주기 또는 높이가 가변되도록 형성되는 것이 바람직하다.
- [0016] 또한, 상기 주름(15)은 상기 주름(15)의 형상이 모서리가 없는 곡면 형상으로 형성되는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 또한, 상기 덕트(50)는 사각형 형상의 단면을 가지도록 형성되며, 상기 주름(15)은 적어도 하나 이상의 면에 형성되는 것이 바람직하다. 특히, 상기 주름(15)은 상기 덕트(50)의 서로 마주보는 한 쌍의 면에 배치되는 것이 가장 바람직하다. 또한, 상기 덕트(50)의 내측 벽면에 흡음재(55)가 더 부착 구비되는 것이 바람직하다.
- [0018] 또한, 상기 덕트 사일런서(10)는 상기 주름(15)이 상기 덕트(50)와 별도의 구조물로 형성되어 탈부착 가능하게 형성되는 것을 특징으로 한다.

**발명의 효과**

- [0019] 본 발명에 의하면, 덕트의 주름 형상을 이용하여 음파를 차단하도록 함으로써 효과적으로 소음, 특히 중·저주파 소음을 차단하는 큰 효과가 있다. 종래의 흡음재를 사용하는 소음 방지 기술의 경우 흡음재의 특성상 고주파 소음 차단에는 효과적이거나 중·저주파 소음 차단에는 효과가 상당히 줄어드는 문제가 있었는데, 본 발명에 의하면 이러한 중·저주파 소음을 효과적으로 차단함으로써 이러한 종래 소음기의 문제점을 크게 개선해 주는 것이다.
- [0020] 뿐만 아니라 본 발명은, 덕트의 주름 형상이 가변되도록 함으로써 필요한 경우 차단하고자 하는 소음의 주파수 대역을 사용자가 원하는 대로 적절하게 조절할 수 있어, 설치되어 있는 환경에서 발생하는 소음이 변화한다 하더라도 쉽게 대처할 수 있는 큰 장점이 있으며, 다양한 환경에 대하여 그 환경에 맞게 조절하여 설치가 가능한 높은 호환성을 가진다는 장점 또한 있다.
- [0021] 더불어 본 발명은, 덕트의 주름 형상에 의하여 음파가 차단되기 때문에 별도의 소음기 구조를 덕트에 구비시키거나 할 필요가 없이 덕트 그 자체만 구비될 공간만 있으면 되기 때문에, 덕트 설치에서의 공간 활용성을 극대화하는 큰 효과 또한 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0022] 도 1은 사인 함수 형태의 주름을 가지는 2차원 덕트의 축 방향 단면 형상.  
 도 2 내지 도 5는 본 발명의 덕트 사일런서의 여러 실시예.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0023] 이하, 상기한 바와 같은 구성을 가지는 본 발명에 의한 덕트 사일런서를 첨부된 도면을 참고하여 상세하게 설명한다.
- [0024] 본 발명의 덕트 사일런서(10)는 덕트(50) 상에 구비되어 소음을 저감하는 역할을 하는 것으로서, 내측 벽면에 주름(15)이 형성된 통로 형상으로 형성된다. 쉽게는, 상기 덕트 사일런서(10)는 주름관 형태로 형성될 수 있다. 이 때, 본 발명의 덕트 사일런서(10)는, 별도의 흡음재 등을 사용하지 않고도, 상기 주름(15)의 형상, 주기, 높이를 포함하는 상기 주름(15)의 구조적 특성에 따라 결정되는 주파수 대역의 소음이 음향 밴드갭(acoustic bandgap) 현상에 의하여 차단되어 소음이 저감되도록 하는 것이 특징이다. 이 때 상기 주름(15)은, 상기 덕트(50)를 통과하는 기체의 진행 방향과 나란한 방향을 축 방향이라 할 때, 축 방향을 따라 진행하는 형태로 형성된다.
- [0025] 이하에서 상기 덕트 사일런서(10)가 상기 주름(15)의 구조적 특성에 따라 결정되는 주파수 대역의 소음을 저감시키는 이론적인 원리를 간략히 설명한다.

[0026] 격자형 형상이나 물성치가 주기적으로 변하는 구조물 내를 지나는 파동은 공학적으로 많은 응용 분야를 가지는 연구 대상의 하나로, 특히 경계가 주기적으로 변하는 주름관(corrugated duct)을 지나는 파동에 대해서 여러 연구가 이루어져 온 바 있다. 파장과 주름의 간격이 브래그의 관계식을 만족하는 주파수에서 음파의 차단이 발생하는 것이 알려졌다. 음파의 차단 주파수 대역을 알기 위해서는 파동 방정식의 해를 알아야 하는데 주름의 크기가 덕트 단면 크기에 비해 충분히 작은 경우에 대해서는 섭동법(perturbation method)을 이용한 연구가 수행된 바 있다. 반면, 주름의 크기가 덕트 직경에 비해 충분히 작지 않아 섭동법을 사용할 수 없는 경우에는, 경계를 따라 여러 지점을 선택하여 경계 조건을 만족하는 행렬식을 구성하여 수치적인 방법으로 차단 주파수를 구해야 한다. 본 발명에서는, 상술한 기존의 연구들과는 달리, 2차원 덕트의 경계가 길이 방향의 사인 함수 형태로 변하는 주름관에 대해 브래그(Bragg) 및 비-브래그(non-Bragg) 공진 주파수 대역 음파의 차단 현상의 해석을 기반으로 덕트 사일런서(10)의 구조를 결정하였다.

[0027] 보다 상세히 설명하자면 다음과 같다. 주기적 격자 형태로 배열된 원자구조에 X-선을 투시하면 X-선의 파장과 격자 간격이 일정한 관계식을 만족할 때 회절이 발생함이 알려져 있으며, 이는 결정체 연구에 큰 공헌을 하였고 최초 연구자의 이름을 따서 브래그(Bragg: 호주 출신 물리학자로 이 연구로 노벨상을 수상함)의 회절(또는 공진)이라고 부른다. 같은 원리로 표면에 주름이 반복되어 형성되어 있는 공조용 덕트에 음파가 입사할 때 다음 관계식을 만족하면 브래그 공진이 발생한다.

$$f = \frac{nc}{2d} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

[0028] 여기서 d는 주름의 간격, f는 주파수, c는 음속이다.

[0029] 실제 관측되는 현상은 브래그 공진주파수를 중심으로 음파가 전파하지 못하는 차단 밴드(stopband)가 여러 개 존재하는 것이 발견된다. 위의 식은 덕트의 단면을 따라서는 음파의 변화가 없는 기본 모드의 브래그 공진 주파수를 알려줄 뿐으로, 고차 모드의 차단 밴드 중심 주파수와 밴드 폭은 음파의 파동 방정식을 풀어야만 구할 수 있으며 덕트 단면 형상 및 덕트 주름과 크기에 따라 결정된다. 최근에는 브래그 공진 주파수 외에 다른 주파수에서도 공진 주파수가 존재한다는 사실이 알려졌으며 이를 비-브래그(non-Bragg) 공진 주파수라고 부른다.

[0030] 덕트 단면의 형상과 반복 주름의 모양 및 주기, 주름의 크기를 조절하면 가청 주파수 영역 내에서 음파의 차단 밴드가 여러 개 존재하도록 설계할 수 있다. 기존 사일런서는 공기의 흐름을 차단하거나 방해하는 형태로서, 공기 흐름을 많이 방해하거나 차단할수록 소음 저감 효과는 큰 반면, 불가피하게 압력 저하가 커지고 유동 소음이 커지는 단점을 갖고 있다. 그러나 본 발명의 덕트 사일런서는 흡음재를 사용하는 기존 사일런서가 보이는 저주파수 대역의 성능 저하 및 흡음재 내구성 문제, 다수의 천공 금속판을 사용하는 사일런서가 가지는 좁은 차단 주파수 대역 및 높은 배압의 단점을 개선하는 전혀 새로운 형태의 소음기이다. 본 발명의 사일런서의 기본 이론은 음향 밴드갭에 속한다.

[0031] 본 발명의 사일런서의 가장 큰 특징은 흡음재를 사용하지 않으며 특정 주파수 밴드를 선택적으로 차단할 수 있고, 고주파수 대역 및 중·저주파수 대역에서도 효과가 크다는 점이다. 가장 큰 장점은 공기 흐름을 방해하지 않기 때문에 압력 저하와 유동 소음의 발생을 최소화할 수 있다는 점이다. 또한 기존 사일런서는 크기나 형상이 정해지면 소음 차단 성능은 결정되는 반면, 본 발명의 사일런서는 사각 단면 덕트에서 한쪽, 또는 상·하단 면을 공기 누설 없이 이동이 가능하도록 하면 차단 주파수 대역과 밴드폭을 조절할 수 있도록 가변 주파수 형태로 설계할 수 있다는 장점이 있으며, 이는 팬의 풍량을 조절하기 위해 모터 회전수를 가변으로 하는 공조 시스템에 매우 유리하다.

[0032] 본 발명의 덕트 사일런서의 원리를 구체적으로 설명하자면 다음과 같다. 도 1은 사인 함수 형태의 주름을 가지는 2차원 덕트의 축 방향 단면 형상을 도시한 것이다. (이하에서, 상기 덕트(50)를 통과하는 기체의 진행 방향과 나란한 방향을 "축 방향", 축 방향에 수직인 단면 방향을 "단면 방향"이라 한다.) 도 1에서 x축이 축 방향이며, z 축은 단면 방향 중 높이 방향이고, 2차원 덕트의 평균 높이는 h이다. 이 경우 음파  $\phi$ 의 전파 방정식 및 경계 조건은 하기의 수학적 식 1과 같이 주어진다. k는 파수(wave number),  $k_w$ 은 벽면 주름의 파수,  $\epsilon$ 은 벽면 주름의 진폭,  $\theta$ 는 상면 및 하면 간의 위상차이며, 경계면에서 강제 조건을 가정한다.

수학식 1

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} + k^2 \phi = 0$$

$$\left( \begin{array}{l} z = \epsilon h \sin(k_w x) : \text{ at } z = 0 \\ z = h \{1 + \epsilon \sin(k_w x + \theta)\} : \text{ at } z = h \\ \frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 : \text{ at boundaries} \end{array} \right)$$

[0034]

[0035] 만일 벽면 진폭의 변화량이 덕트 높이에 비해 충분히 작다면 단순 섭동법을 이용하여 해를 구하는 것이 가능하며, 이 때 공진 조건(resonance condition)은 수학식 2와 같이 나타난다. 수학식 2에서, (1)의 식은 모드 m과 모드 n이 서로 반대 방향으로, (2)의 식은 모드 m과 모드 n이 서로 동일 방향으로 진행하는 것을 나타낸다.

수학식 2

$$k_m + k_n = k_w \dots (1)$$

$$k_m - k_n = k_w \dots (2)$$

$$\left( k_m^2 = k^2 - \left( \frac{\pi m}{h} \right)^2 \right)$$

[0036]

[0037] 벽면 진폭의 변화량이 덕트 높이에 비해 충분히 작지 않은 경우를 해석하여 안정적인 해를 얻기 위하여 다중 스케일 섭동법을 사용할 경우, 음파의 해는 수학식 3과 같이 전개할 수 있다. 수학식 3에서,  $x_0$ 는 음파의 전파와 관련된 파수를 나타내는 빠른 스케일(fast scale)이고,  $x_1$ 은 공진에 의한 파동의 진폭과 위상 모듈레이션을 나타내는 느린 스케일(slow scale)을 각각 나타낸다(비특허문헌 1 참조). 수학식 3에서  $\phi_0$  및  $\phi_1$ 은 수학식 4와 같이 가정한다.

수학식 3

$$\phi = \phi_0(x_0, x_1, z) + \epsilon \phi_1(x_0, x_1, z) + \dots$$

$$(x_0 = x, x_1 = \epsilon x)$$

[0038]

수학식 4

$$\phi_0 = \sum_n A_n(x_1) \cos(\beta_n z) e^{ik_n x_0}$$

$$\phi_1 = \sum_n \phi_n(x_1, z) e^{ik_n x_0}$$

$$\left( \beta_n = \frac{\pi n}{h}, k_n^2 = k^2 - \beta_n^2 \right)$$

[0039]

[0040] 여기에서, 모드 간의 방향이 반대가 되는 경우(즉 수학식 2의 (1)) 튜닝 계수  $\delta$ 를 도입하여 수학식 5와 같은 식을 세우고,  $\phi_1$ 에서 공진과 관련된 모드  $k_m$  및  $k_n$ 만 고려하고 다른 모드는 생략한 후, 지배 방정식(수학식 3) 및 경계 조건(수학식 1 참조)에 대입하여 정리하고, 계수 A에 대하여 정리하면 A에 대한 미분방정식을 얻을 수 있다(이 미분방정식에서의 계수를 C로 한다). 여기에서 A를 변수  $\lambda$ 에 대한 지수함수로 가정하고 이 미분방정식에 대입하면, 수학식 6과 같은 행렬식을 얻을 수 있다.

수학식 5

$$k_m + k_n = k_w + \epsilon \delta$$

[0041]

수학식 6

$$\begin{pmatrix} i(\lambda - \delta) & -C_{mn} \\ -C_{nm} & i\lambda \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_m^+ \\ a_n^- \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

[0042]

[0043] 수학식 6의 디터미넌트(determinant)는 0이 되어야 하므로(수학식 7), 이를 풀면 수학식 8과 같은 해를 구할 수 있다.

수학식 7

$$\lambda^2 - \lambda \delta + \Omega_{nm} = 0$$

$$\left( \begin{array}{l} \Omega_{nm} = H_{nm} \begin{cases} \cos^2 \frac{\theta}{2} & (n+m = \text{odd}) \\ \sin^2 \frac{\theta}{2} & (n+m = \text{even}) \end{cases} \\ H_{nm} = \frac{(\beta_m^2 + k_w k_m)(\beta_n^2 + k_w k_n)}{k_n k_m} \end{array} \right)$$

[0044]

수학식 8

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2} \left( \delta \mp \sqrt{\delta^2 - 4\Omega_{nm}} \right)$$

[0045]

[0046]  $k_n, k_m > 0$ 이라 가정하면, 언제나  $\Omega_{nm} > 0$ 이 성립한다. 수학식 8에서  $\lambda$ 가 복소수가 되면, 물리적으로는 음파가 전달하지 못하고 지수함수로 감소하는 차단 밴드(stopband)가 발생하게 된다. 이와 같이 차단 밴드가 발생하는 조건(즉 수학식 8에서  $\lambda$ 가 복소수가 되는 조건)은 수학식 9와 같이 주어진다. 이 때, 차단 밴드가 존재하기 위해서는  $\theta = \pi$ 인 경우  $m+n$ 이 짝수(even)이어야 하며,  $\theta = 0$ 인 경우  $m-n$ 이 홀수(odd)이어야 한다. 여기에 수학식 5를 적용하고,  $\epsilon$ 이 1보다 충분히 작다고 가정하여 변수  $n$ 를 도입한 식으로 전개한 후 이를 이용하여 근사해를 구하면, 수학식 10과 같은 차단 밴드에 관한 식을 얻을 수 있다. 수학식 10에서  $c$ 는 음속이다.

수학식 9

$$|\delta| < 2 \sqrt{\Omega_{nm}}$$

[0047]

수학식 10

$$f_0 = \frac{k_0 c}{2\pi}, \quad f_{1,2} = \frac{(k_0 \mp \epsilon \eta)}{2\pi}$$

$$\Delta f = f_2 - f_1 = \frac{\epsilon c \eta}{\pi} = \frac{\epsilon c \delta_0 k_{n0} k_{m0}}{\pi k_0 (k_{n0} + k_{m0})}$$

[0048]

[0049] 수학식 10에서,  $f_0$ 는 차단 밴드의 중심 주파수,  $f_1$  및  $f_2$ 는 각각 차단 밴드의 하한 및 상한 주파수,  $\Delta f$ 는 차단 밴드의 폭을 나타낸다. 수학식 10으로부터, 차단 밴드 폭  $\Delta f$ 는  $\epsilon$ , 즉 벽면 주름의 진폭에 비례함을 알 수 있다. 또한, 튜닝 계수  $\delta$ (수학식 5 참조)가 벽면 주름 파수  $k_w$ 와 관련되어 있는 바를 통해, 차단 밴드 폭  $\Delta f$  역시 벽면 주름 파수  $k_w$ 와 관련됨을 알 수 있다. 한편, 상기 수학식들은 벽면 주름 형상이 사인 함수 형태일 때를 가정하여 유도된 것이다. 이 때 만일 벽면 주름 형상이 사인 함수 형태가 아닌 다른 형상(즉 삼각 형상, 사각 형상, 물결 형상 등)일 경우에도, 그 형상을 사인 함수들의 조합으로 나타낼 수 있으며, 따라서 수학식 10을 이용하여 사인 함수 형태가 아닌 다른 벽면 주름 형상에 대한 차단 밴드 폭  $\Delta f$ , 상·하한 주파수  $f_2, f_1$  등 역시 구할 수 있다. 또한 상기 수학식들은 상단과 하단 주름의 주기가 같고 위상차가 있는 경우인데, 주기가 다른 경우에는 상·하단 주기와 위상차를 조절하여 더욱 다양한 차단 주파수 대역을 설계할 수 있다.

[0050] 정리하자면, 상술한 바와 같은 이론적인 근거에 따라, 내측 벽면에 주름(15)이 형성된 통로 형상으로 형성되는 본 발명의 덕트 사이린서(10)에 의하여, 상기 주름(15)의 형상, 주기, 높이(크기), 또한 덕트 높이 등에 따라 음파의 차단 밴드가 결정되고, 이러한 차단 밴드에 해당하는 소음이 차단됨으로써 소음이 저감됨을 알 수 있다. 주름의 형상은 공기와 주름과의 마찰로 인한 유체 소음을 줄이기 위해 모서리가 없는 곡면이 되어야 한다. 모서리가 없는 곡면 형상은 물결 형상 등과 같이 다양하게 변형될 수 있는데, 이러한 곡면 형태로 된 임의의 형상은 사인 함수의 조합으로 표현할 수 있으며, 따라서 여러 개의 차단 밴드가 연속적으로 나타나게 된다. 도 2는 이러한 본 발명의 덕트 사이린서의 기본적인 실시예를 도시하고 있다.

[0051] 앞서 설명한 바와 같이 흡음재를 사용하는 종래의 소음기의 경우, 흡음재의 특성상 중·저주파 대역의 소음 차

단 효과가 상당히 취약한 문제가 있었다. 그러나 본 발명에서는 차단하고자 하는 소음의 주파수 대역에 따라 상기 주름(15)의 구조적 특성을 결정하면 되기 때문에, 중·저주파 대역의 소음도 매우 효과적으로 차단할 수 있다.

[0052] 또한, 이처럼 본 발명의 덕트 사일런서(10)는 상기 주름(15)의 구조적 특성에 따라 차단 주파수 상·하한값 및 차단 밴드 폭 등을 조절할 수 있는 바, 본 발명의 덕트 사일런서(10)는 상기 주름(15)의 구조적 특성이 가변되도록 형성되는 것이 바람직하다. 단순하게는, 상기 주름(15)을 밀어 주름이 촘촘하게 되고 주름의 크기는 커지게 하거나 또는 당겨서 주름이 성기게 되고 주름의 크기는 작아지게 할 수 있는데, 이와 같이 함으로써 상기 주름(15)의 주기를 변화시켜 차단되는 소음의 주파수 대역을 원하는 대로 조절할 수 있는 것이다.

[0053] 도 3은 그 한 실시예로서, 상기 주름(15)의 주기가 가변되도록 형성되는 예시를 나타낸다. 가변 주름의 경우 상기 주름(15)의 주기가 변화함에 따라 공기의 누설이 발생하는 일이 없도록 해야 한다. 이에 따라 상기 주름(15)의 끝단에 평판부(15a)가 연장 형성되도록 하여, 상기 덕트(50)의 벽면과 중첩 밀착되어 이루어지도록 하는 것이 바람직하다. 도 3(A)는 상기 주름(15)이 최대한 당겨져 있는 때의 형상을, 도 3(B)는 상기 주름(15)이 밀려 있는 때의 형상을 각각 도시하고 있다. 도 3에서는 상기 주름(15)이 구비되는 부분의 상기 덕트(50) 단면적이 일부 넓어지는 형태가 되는 것으로 도시되어 있으나, 이는 하나의 예시일 뿐이다. 예를 들어 상기 주름(15)의 끝단에 연장 형성된 평판부(15a)가 일부 절곡되어 이루어져 상기 덕트(50)의 내측 벽면과 중첩 밀착되도록 이루어질 수도 있는 등, 상기 주름(15)의 가변에 따라 공기 누설이 발생하지 않는 구조이기만 하다면 상기 덕트(50)나 상기 주름(15)의 형상은 다양하게 변경 실시 가능함은 물론이다.

[0054] 이와 같이 상기 주름(15)의 구조적 특성이 가변되도록 함으로써, 다음과 같은 여러 장점을 얻을 수 있다. 예를 들어 본 발명의 덕트 사일런서(10)가 산업 현장의 덕트에 구비된다고 한다. 이 때, 다양한 산업 현장에 따라 해당 산업 현장에서 발생하는 소음의 주파수 역시 다양하게 결정될 것이다. 이 때 어떤 소음기가 차단할 수 있는 주파수 대역이 고정적으로 결정되어 있다면, 다양한 소음이 발생하는 여러 산업 현장에 이 소음기를 공급할 때 어떤 산업 현장에서의 소음은 충분히 잡아줄 수 없는 문제가 생길 수 있다. (예를 들어 앞서 설명한 선행기술 2, 3 등과 같은 경우 이러한 문제를 피할 수 없다.) 이러한 문제를 극복하기 위해서는, 종래의 경우 차단 주파수 대역이 서로 다르게 설정된 여러 타입의 소음기를 따로 생산하여야만 하며, 이에 따라 소음기의 생산성이 크게 떨어지게 된다. 그러나 본 발명의 경우, 생산 완료된 후라 할지라도 상기 주름(15)의 주기 등을 적절하게 가변시켜 조절하여 주는 것만으로, 어떤 현장에서든 해당 현장에서 발생하는 소음에 맞는 주파수 대역을 설정하여 줄 수 있게 된다. 뿐만 아니라, 이미 본 발명의 덕트 사일런서(10)가 어떤 현장에 설치가 완료된 이후, 만일 해당 현장에서 수행되는 작업의 종류가 바뀌어서 발생하는 소음의 주파수 대역이 달라진다고 하더라도, 역시 상기 주름(15)의 주기 등을 적절하게 조절해 줌으로써 매우 용이하게 대처가 가능하다. 이처럼 본 발명의 덕트 사일런서(10)는 다양한 소음 발생 조건에 대한 호환성이 종래에 비해 비약적으로 향상되는 큰 장점을 갖는다.

[0055] 도 4는 본 발명의 덕트 사일런서의 또다른 실시예이다. 도 4에서는, 상기 덕트(50)가 사각형 형상의 단면을 가지도록 형성되며, 상기 주름(15)은 적어도 하나 이상의 면에 형성되는 형태로서, 특히 가장 바람직한 최적 실시예로서 상기 주름(15)은 상기 덕트(50)의 서로 마주보는 한 쌍의 면에 배치되는 형태를 도시하고 있다. 물론 상기 덕트(50)의 단면 형태가 사각형이 아닌 다른 다각형이나 원형 형상 등이 될 수도 있겠으며, 상기 주름(15) 역시 다각형 단면 덕트의 적어도 어느 한 면에 형성되도록 할 수 있는 등 변경 실시 가능성은 다양하나, 앞서 설명한 바와 같은 이론적인 원리 및 실제 본 출원인에 의하여 수행된 실험 결과 등을 종합할 때, 도 4와 같이 상기 덕트(50)가 사각형 형상의 단면을 가지며 상기 주름(15)은 상기 덕트(50)의 서로 마주보는 한 쌍의 면(그 중에서도 특히 상하면)에 구비되는 것이 가장 소음 저감 효과가 높음을 확인할 수 있다.

[0056] 더불어, 상기 덕트(50)의 내측 벽면에 흡음재(55)가 더 부착 구비되도록 할 수도 있다. 도 4에서 보이는 바와 같이, 상기 덕트(50)의 내측 4면에 흡음재(55)를 부착하고, 그 전단이나 후단에 (상기 주름(15)으로 이루어지는) 본 발명의 덕트 사일런서(10)가 구비되도록 함으로써 소음 저감 효과를 최대화할 수 있다. 즉, 앞서 설명한 바와 같이 흡음재는 중·저주파 소음에 대한 흡음률은 좋지 않으나 고주파 소음에 대한 흡음 효과는 상당히 뛰어나므로, 상기 주름(15)을 이용하여 중·저주파 소음을 저감시키고 흡음재로 고주파 소음을 저감시키도록 함으로써, 보다 넓은 주파수 대역의 소음을 효과적으로 저감시킬 수 있는 것이다.

[0057] 도 5는 본 발명의 덕트 사일런서의 또다른 실시예로서, 상기 덕트 사일런서(10)에서 상기 주름(15)이 별도의 구

조물로 형성되어 탈부착 가능하게 형성되는 형태를 보여주고 있다. 이와 같이 할 경우 단지 상기 주름(15)만을 생산하여 기존의 덕트(50)에 삽입 구비하기만 하면 된다. 기존 사일런서는 일체형 구조물로서 덕트 중간을 제거하고 사일런서를 삽입 설치해야 하는 문제가 있었으나, 본 발명의 덕트 사일런서(10)는 기존 덕트(50) 표면 위에 도 5처럼 주름(15)을 추가로 부착하는 것만으로 구현이 가능하다. 따라서 본 발명의 덕트 사일런서(10)는, 사일런서의 설치나 교체가 매우 용이하며, 경제적으로도 제작 비용이 크게 절감될 수 있고, 주름 가변 구조를 구현하기도 훨씬 용이해지는 등의 장점이 있다.

[0058] 본 발명은 상기한 실시예에 한정되지 아니하며, 적용범위가 다양함은 물론이고, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이다.

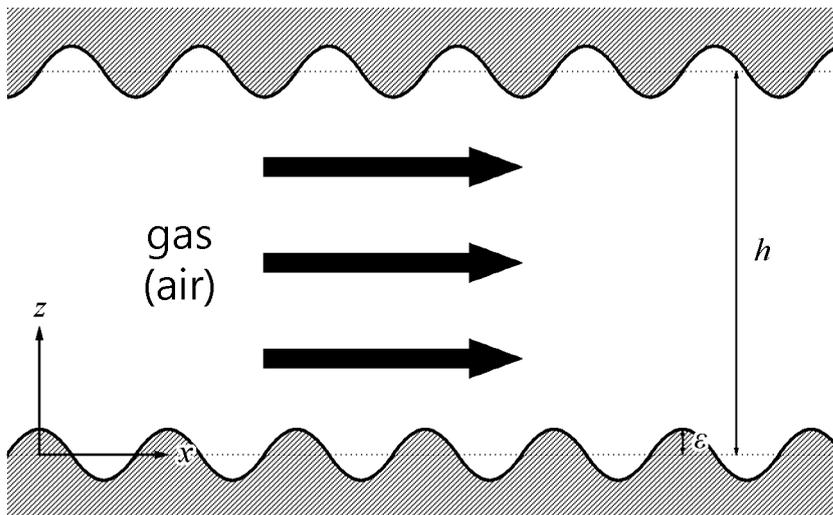
**부호의 설명**

- [0059] 10: 덕트 사일런서  
 15: 주름  
 50: 덕트

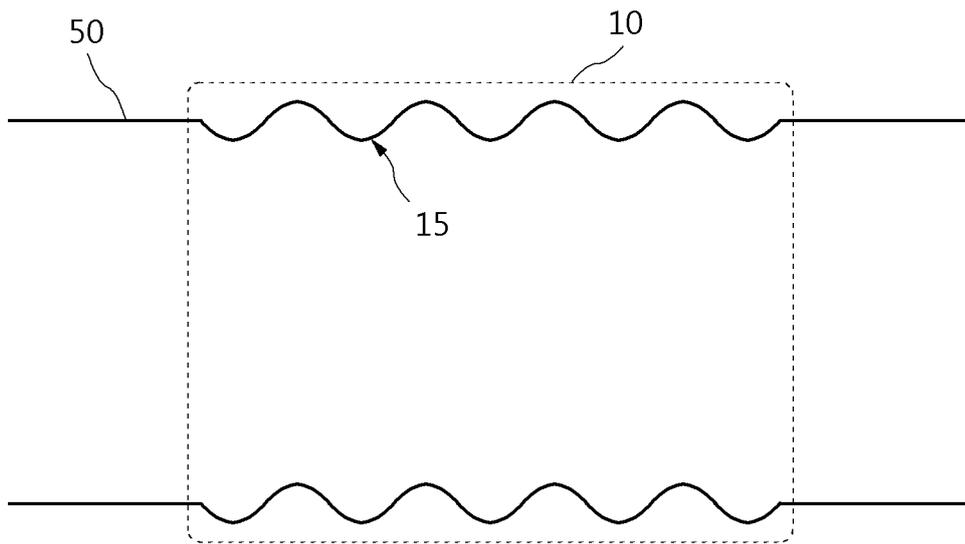
- 15a: 평관부  
 55: 흡음재

**도면**

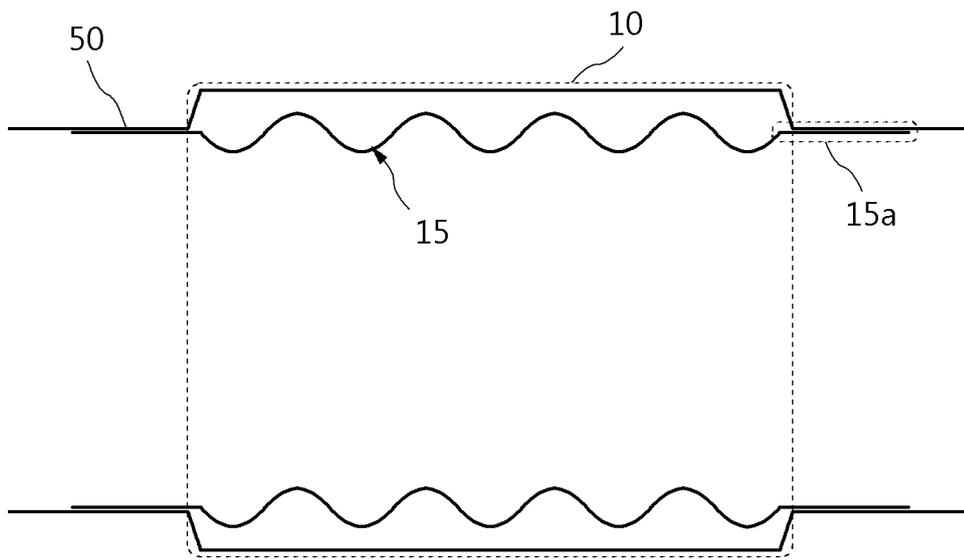
**도면1**



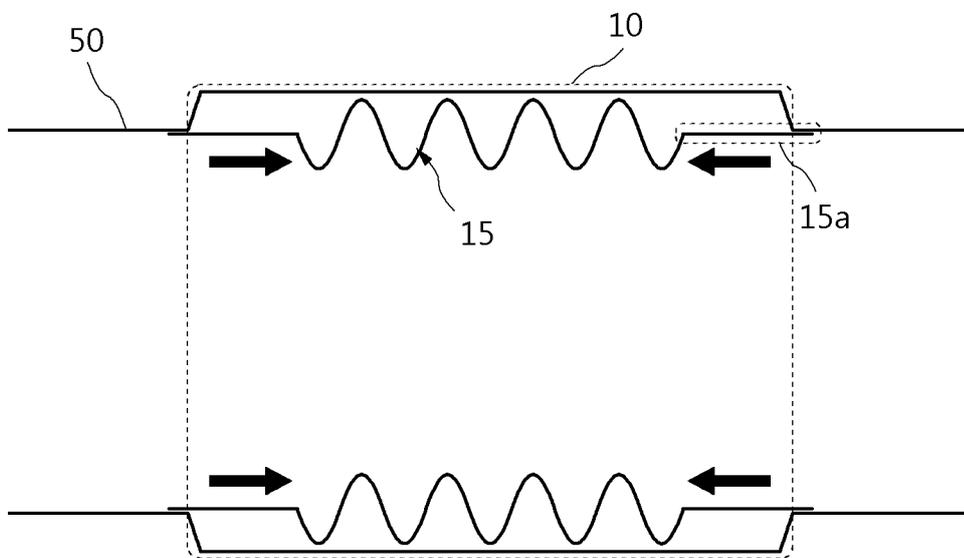
도면2



도면3

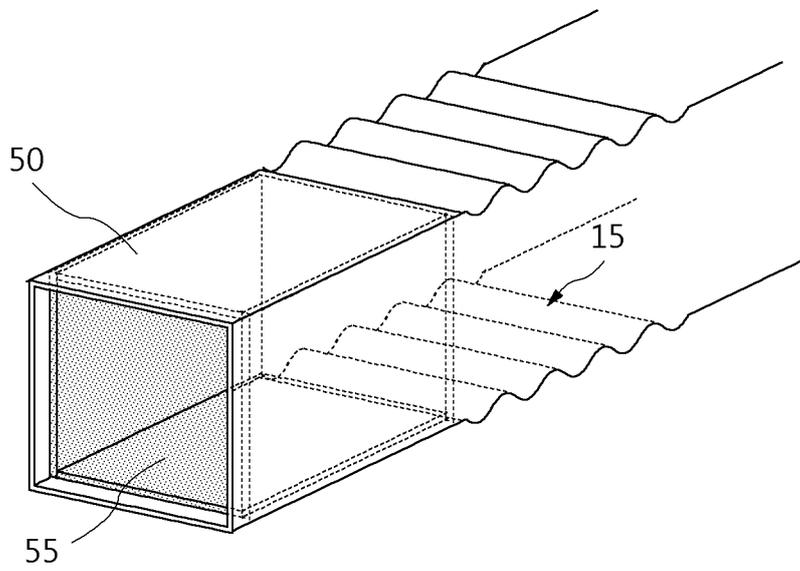
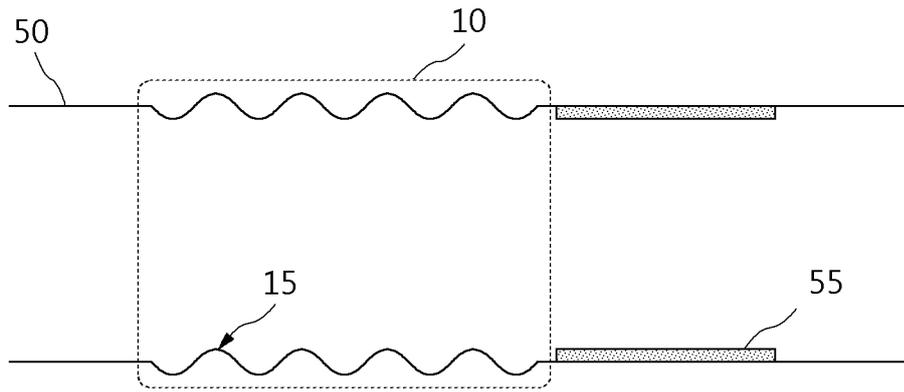


(A)



(B)

도면4



도면5

