



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0128758
(43) 공개일자 2021년10월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01H 3/12 (2006.01) F02K 9/96 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01H 3/125 (2013.01)
F02K 9/96 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0046817
(22) 출원일자 2020년04월17일
심사청구일자 2020년04월17일

(71) 출원인
국방과학연구소
대전광역시 유성구 북유성대로488번길 160 (수남동)
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
서울대학교산학협력단
서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동)
(72) 발명자
신상준
서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동, 서울대학교)
엄원석
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 무한

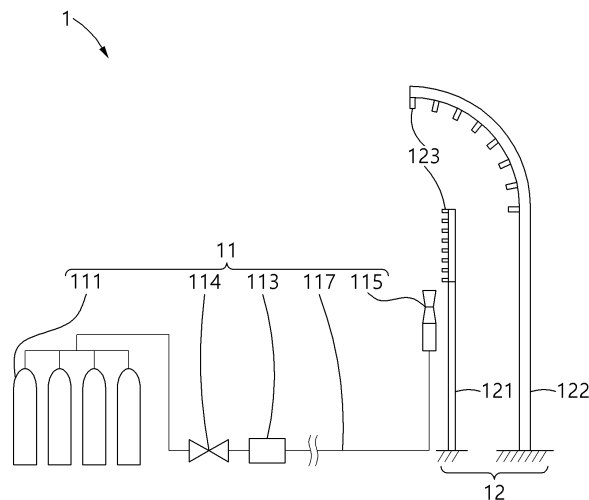
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 발명의 명칭 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치 및 방법

(57) 요약

일 실시 예에 따르면 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치는, 시험용 노즐; 고압의 기체를 저장하기 위한 압력 탱크; 상기 압력 탱크로부터 상기 시험용 노즐로 공급되는 기체의 압력을 조절하기 위한 레귤레이터; 상기 시험용 노즐에 설치된 복수 개의 피토판; 및 상기 시험용 노즐로부터 발생하는 제트의 소음을 측정할 수 있는 복수 개의 마이크폰을 포함하는 소음 측정부를 포함하고, 상기 시험용 노즐은 지면으로부터 수직인 방향으로 제트를 분출시킬 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

박대영

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

주현식

서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동, 서울대학교)

강승훈

서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동, 서울대학교)

박정원

대전광역시 유성구 북유성대로 488번길 160 (수남동)

명세서

청구범위

청구항 1

시험용 노즐;

고압의 기체를 저장하기 위한 압력 탱크;

상기 압력 탱크로부터 상기 시험용 노즐로 공급되는 기체의 압력을 조절하기 위한 레귤레이터;

상기 시험용 노즐에 설치된 복수 개의 피토판; 및

상기 시험용 노즐로부터 발생하는 제트의 소음을 측정할 수 있는 복수 개의 마이크로폰을 포함하는 소음 측정부를 포함하고,

상기 시험용 노즐은 지면으로부터 수직한 방향으로 제트를 분출시키는 것을 특징으로 하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 소음 측정부는,

복수 개의 마이크로폰이 지면과 수직한 방향으로 이격 배치된 근거리장 거치대를 포함하고,

상기 근거리장 거치대 상에 배치된 상기 복수 개의 마이크로 폰은 상기 시험용 노즐로부터 일정한 거리만큼 떨어진 위치에서 근거리 음장을 측정할 수 있는 것을 특징으로 하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 소음 측정부는,

복수 개의 마이크로폰을 환형으로 이격 배치된 원거리장 거치대를 포함하고,

상기 원거리장 거치대에 설치된 상기 복수 개의 마이크로폰은, 상기 시험용 노즐로부터 설정 거리만큼 떨어진 설정 원점을 기준으로 동일한 측정 거리를 갖는 위치에 배치되어, 원거리 음장을 측정할 수 있는 것을 특징으로 하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 설정 원점은 상기 시험용 노즐로부터 분출되는 제트에 대한 전산유체해석을 통하여 결정되는 것을 특징으로 하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 측정 거리는,

상기 시험용 노즐의 노즐 출구의 지름의 50 배 내지 200 배인 것을 특징으로 하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 압력 탱크에 연결되어, 상기 압력 탱크의 내부 압력을 증가시킬 수 있는 압축기를 더 포함하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 소음 측정부는,

상기 시험용 노즐과 제트 소음을 측정하는 부분 간의 거리를 조절 가능한 거치대 수평 이동 장치를 더 포함하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 소음 측정부는,

제트 소음을 측정하는 부분의 높이를 조절 가능한 거치대 엘리베이팅 장치를 더 포함하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 소음 측정부는,

상기 복수 개의 마이크로폰이 동일한 지점을 지향하게 하는 상태에서, 곡률 변경이 가능하게 하는 거치대 곡률 변경 장치를 더 포함하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 거치대 곡률 변경 장치는, 복수 개의 관절을 포함하고,

상기 복수 개의 관절 중 적어도 하나 이상의 관절에는 마이크로폰이 설치되는 것을 특징으로 하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 복수 개의 관절 중 어느 하나의 관절의 각도를 변경하면, 나머지 모든 관절들의 각도가 동일한 각도로 변경되는 것을 특징으로 하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 거치대 곡률 변경 장치는,

복수 개의 메인 링크를 포함하는 메인 관절; 및

상기 복수 개의 메인 링크에 각각 힌지 결합하는 복수 개의 보조 링크를 포함하는 보조 관절을 포함하고,

상기 복수 개의 메인 링크 중 인접하는 2개의 메인 링크는, 1자유도로 상대적으로 회동 가능하고,

상기 복수 개의 보조 링크 중 인접하는 2개의 보조 링크는, 1자유도로 상대적으로 회동 가능한 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치.

청구항 13

제 1 항에 있어서,

상기 시험용 노즐은, 노즐 출구의 면적에 대한 노즐 목의 면적 비를 가변시킬 수 있는 것을 특징으로 하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 시험용 노즐은,

노즐 목으로부터 연장되는 제 1 노즐 출구; 및

상기 제 1 노즐 출구보다 큰 직경을 갖고, 상기 제 1 노즐 출구에 대하여 기체의 분출 방향을 따라서 이동 가능하게 설치되는 제 2 노즐 출구를 포함하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치.

청구항 15

시험용 노즐과, 고압의 기체를 저장하기 위한 압력 탱크와, 상기 압력 탱크로부터 상기 시험용 노즐로 공급되는 기체의 압력을 조절하기 위한 레귤레이터와, 상기 시험용 노즐로부터 발생하는 제트의 소음을 측정할 수 있는 복수 개의 마이크로폰을 포함하는 소음 측정부를 포함하는 시험 장치를 이용하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 방법에 있어서,

(a) 모사하고자 하는 실효기 로켓 노즐의 출구 직경과, 로켓 노즐의 출구 제트 속력 및 측정하고자 하는 주파수를 입력받아 모사하고자 하는 소음 환경의 스트로우홀 수를 결정하는 단계;

(b) 결정된 스트로우홀 수 및 입력받은 주파수를 기초로, 시험용 노즐 출구의 지름(De) 및 시험용 노즐 출구에서의 제트 속력(Ve)의 비율을 결정하는 단계;

(c) 상기 비율을 만족시키는 시험용 노즐 출구의 지름(De) 및 시험용 노즐 출구에서의 제트 속력(Ve)을 설정하는 단계;

(d) 시험용 노즐 출구의 지름(De) 및 시험용 노즐 출구에서의 제트 속력(Ve)을 각각, 시험용 노즐 출구의 면적(A) 및 시험용 노즐 출구의 마하수(M)로 변환하는 단계;

(e) 시험용 노즐 출구의 면적(A) 및 시험용 노즐 출구의 마하수(M)를 이용하여, 시험용 노즐 목의 면적(A^*)을 결정하는 단계;

(f) 결정된 시험용 노즐 출구의 면적(A) 및 시험용 노즐 목의 면적(A^*)을 기초로 상기 시험용 노즐을 제작하는

단계;

(g) 전산수치해석을 통하여 결정된, 시험용 노즐로부터 분출되는 제트에 의한 초음속 코어가 끝나는 지점을 설정 원점으로 결정하는 단계; 및

(h) 결정된 설정 원점을 기준으로, 상기 소음 측정부를 설치하는 단계를 포함하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 방법.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 단계 (b)는 아래의 [수학식 1]에 따라 결정되는 것을 특징으로 하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 방법.

[수학식 1]

$$S_t = \frac{f D_e}{V_e}$$

(S_t : 스트로우홀 수, f : 주파수, D_e : 노즐 출구의 지름, V_e : 노즐 출구에서의 제트 속력)

청구항 17

제 15 항에 있어서,

상기 단계 (e)는 아래의 [수학식 2]에 따라 결정되는 것을 특징으로 하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 방법.

[수학식 2]

$$\frac{A}{A^*} = \frac{1}{M} \left(\frac{1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2}{1 + \frac{\gamma-1}{2}} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}$$

(A : 시험용 노즐 출구의 면적, A^* : 시험용 노즐 목의 면적, γ : 비열 비, M : 시험용 노즐 출구의 마하수)

청구항 18

시험용 노즐로부터 분출되는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 방법에 있어서,

전산유체해석을 통하여 상기 시험용 노즐로부터 분출되는 제트의 초음속 코어가 끝나는 지점을 설정 원점으로 설정하는 단계; 및

상기 설정 원점을 기준으로, 상기 제트 소음을 측정하는 소음 측정부의 위치를 조절하는 단계를 포함하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 방법.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 소음 측정부의 위치를 조절하는 단계는,

상기 시험용 노즐로부터 상기 소음 측정부까지의 수평방향 거리, 상기 소음 측정부의 높이, 및 상기 소음 측정부의 곡률 중 적어도 하나 이상을 조절하는 것을 특징으로 하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 아래의 설명은 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 초음속 제트는 우주발사체, 항공기, 미사일 등 마하수 1.2~5, 고속 운용조건을 갖는 비행체 추진기관에서 주로 발생하는 유동을 지칭한다. 아음속 유동 특성과는 다르게 초음속 유동에서는 마하수에 따라 로켓 노즐 출구로부터 소음의 주원인인 퍼텐셜 코어(potential core)와 주된 난기류(main turbulent entrainment)가 발생하는 초음속 코어(supersonic core)의 위치가 변하며, 그에 따른 소음의 크기(sound pressure level, dB) 및 지향성(directivity) 특성 또한 변한다. 퍼텐셜 코어는 로켓 노즐 출구부터 속도 및 온도가 일정하게 유지되는 초음속 구간을 지칭하며, 초음속 코어는 퍼텐셜 코어 이후부터 마하수 1이 되는 구간까지를 지칭한다. 초음속 제트는 퍼텐셜 코어, 초음속 코어를 지나 아음속 변화하면서 제트 특성이 변하게 되며 초음속에서 아음속으로 변함에 따라 후류(downstream)가 발생하게 된다. 이러한 난기류 및 후류에 의해 소용돌이(eddy)가 생성되며, 로켓 노즐 출구 마하수에 따라 소용돌이의 주요 주파수(frequency) 및 주엽(major lobe)의 방향이 변하게 된다. 이에 대해 로켓 노즐로부터 발생하는 초음속 유동의 소음은 비행체 구조물의 변형/파손 및 진동, 과도한 발사충격/음향하중에 기인한 페이로드 및 전자장비의 파손 및 오작동을 유발한다. 특히, 우주발사체 추진기관에서 발생하는 초음속 유동 소음의 주요주파수와 비행체구조물의 진동 모드수가 같을 경우 공진이 발생한다. 또한, 소음의 크기를 줄이고자 소음 저감 발사 장치를 도입할 경우 소음의 지향성이 변화하게 되므로 실제 유동장 환경과 동일한 조건을 모사하여 유동 실험을 하는 것은 매우 중요하다.

[0004] 이러한 초음속 제트의 소음 특성은 주로 실험 결과를 기반으로 예측해왔으며, 대표적으로는 대류 마하수(convective Mach number)와 소음의 크기를 이용한 경험식이 사용되었다. 하지만 사용되는 대부분의 실험 결과는 국가기관 등에 의해 실제 크기의 우주발사체, 고속비행체 실험이 수행되어 국내 일반인들에게는 접근성의 한계가 존재한다. 이러한 한계성을 극복하고 실험실 규모에서 구축할 수 있는 경제적인 초음속 제트 및 마이크로폰 거치대를 이용한 실험 장치가 필요하다. 또한 실크기 환경 제트소음을 모사할 수 있는 상사성과 반복 실험이 가능하여 재현성을 확인할 수 있어야 하며, 다양한 유동 조건 하에서 초음속 제트 소음 특성을 확인할 수 있는 매개변수 실험이 요구된다.

[0005] 진술한 배경기술은 발명자가 본 발명의 도출과정에서 보유하거나 습득한 것으로서, 반드시 본 발명의 출원 전에 일반 공중에 공개된 공지기술이라고 할 수는 없다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 일 실시 예의 목적은 실험실 규모의 실험장치를 통하여 실크기 노즐의 음향하중을 예측하기 위해서 초음속 제트를 발생시킬 수 있는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치 및 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 일 실시 예에 따르면 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치는, 시험용 노즐; 고압의 기체를 저장하기 위한 압력 탱크; 상기 압력 탱크로부터 상기 시험용 노즐로 공급되는 기체의 압력을 조절하기 위한 레귤레이터; 상기 시험용 노즐에 설치된 복수 개의 피토관; 및 상기 시험용 노즐로부터 발생하는 제트의 소음을 측정할 수 있는 복수 개의 마이크로폰을 포함하는 소음 측정부를 포함하고, 상기 시험용 노즐은 지면으로부터 수직한 방향으로 제트

를 분출시킬 수 있다.

- [0010] 상기 소음 측정부는, 복수 개의 마이크로폰이 지면과 수직한 방향으로 이격 배치된 근거리장 거치대를 포함하고, 상기 근거리장 거치대 상에 배치된 상기 복수 개의 마이크로 폰은 상기 시험용 노즐로부터 일정한 거리만큼 떨어진 위치에서 근거리 음장을 측정할 수 있다.
- [0011] 상기 소음 측정부는, 복수 개의 마이크로폰을 환형으로 이격 배치된 원거리장 거치대를 포함하고, 상기 원거리장 거치대에 설치된 상기 복수 개의 마이크로폰은, 상기 시험용 노즐로부터 설정 거리만큼 떨어진 설정 원점을 기준으로 동일한 측정 거리를 갖는 위치에 배치되어, 원거리 음장을 측정할 수 있다.
- [0012] 상기 설정 원점은 상기 시험용 노즐로부터 분출되는 제트에 대한 전산유체해석을 통하여 결정될 수 있다.
- [0013] 상기 측정 거리는, 상기 시험용 노즐의 노즐 출구의 지름의 50 배 내지 200 배일 수 있다.
- [0014] 상기 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치는, 상기 압력 탱크에 연결되어, 상기 압력 탱크의 내부 압력을 증가시킬 수 있는 압축기를 더 포함할 수 있다.
- [0015] 상기 소음 측정부는, 상기 시험용 노즐과 제트 소음을 측정하는 부분 간의 거리를 조절 가능한 거치대 수평 이동 장치를 더 포함할 수 있다.
- [0016] 상기 소음 측정부는, 제트 소음을 측정하는 부분의 높이를 조절 가능한 거치대 엘리베이팅 장치를 더 포함할 수 있다.
- [0017] 상기 소음 측정부는, 상기 복수 개의 마이크로폰이 동일한 지점을 지향하게 하는 상태에서, 곡률 변경이 가능하게 하는 거치대 곡률 변경 장치를 더 포함할 수 있다.
- [0018] 상기 거치대 곡률 변경 장치는, 복수 개의 관절을 포함하고, 상기 복수 개의 관절 중 적어도 하나 이상의 관절에는 마이크로폰이 설치될 수 있다.
- [0019] 상기 복수 개의 관절 중 어느 하나의 관절의 각도를 변경하면, 나머지 모든 관절들의 각도가 동일한 각도로 변경될 수 있다.
- [0020] 상기 거치대 곡률 변경 장치는, 복수 개의 메인 링크를 포함하는 메인 관절; 및 상기 복수 개의 메인 링크에 각각 힌지 결합하는 복수 개의 보조 링크를 포함하는 보조 관절을 포함하고, 상기 복수 개의 메인 링크 중 인접하는 2개의 메인 링크는, 1자유도로 상대적으로 회동 가능하고, 상기 복수 개의 보조 링크 중 인접하는 2개의 보조 링크는, 1자유도로 상대적으로 회동될 수 있다.
- [0021] 상기 시험용 노즐은, 노즐 출구의 면적에 대한 노즐 목의 면적 비를 가변시킬 수 있다.
- [0022] 상기 시험용 노즐은, 노즐 목으로부터 연장되는 제 1 노즐 출구; 및 상기 제 1 노즐 출구보다 큰 직경을 갖고, 상기 제 1 노즐 출구에 대하여 기체의 분출 방향을 따라서 이동 가능하게 설치되는 제 2 노즐 출구를 포함할 수 있다.
- [0023] 일 실시 예에 따르면, 시험용 노즐과, 고압의 기체를 저장하기 위한 압력 탱크와, 상기 압력 탱크로부터 상기 시험용 노즐로 공급되는 기체의 압력을 조절하기 위한 레귤레이터와, 상기 시험용 노즐로부터 발생하는 제트의 소음을 측정할 수 있는 복수 개의 마이크로폰을 포함하는 소음 측정부를 포함하는 시험 장치를 이용하는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 방법은, (a) 모사하고자 하는 실크기 로켓 노즐의 출구 직경과, 로켓 노즐의 출구 제트 속력 및 측정하고자 하는 주파수를 입력받아 모사하고자 하는 소음 환경의 스트로우홀 수를 결정하는 단계; (b) 결정된 스트로우홀 수 및 입력받은 주파수를 기초로, 시험용 노즐 출구의 지름(De) 및 시험용 노즐 출구에서의 제트 속력(Ve)의 비율을 결정하는 단계; (c) 상기 비율을 만족시키는 시험용 노즐 출구의 지름(De) 및 시험용 노즐 출구에서의 제트 속력(Ve)을 설정하는 단계; (d) 시험용 노즐 출구의 지름(De) 및 시험용 노즐 출구에서의 제트 속력(Ve)을 각각, 시험용 노즐 출구의 면적(A) 및 시험용 노즐 출구의 마하수(M)로 변환하는 단계; (e) 시험용 노즐 출구의 면적(A) 및 시험용 노즐 출구의 마하수(M)를 이용하여, 시험용 노즐 목의 면적(A*)을 결정하는 단계; (f) 결정된 시험용 노즐 출구의 면적(A) 및 시험용 노즐 목의 면적(A*)을 기초로 상기 시험용 노즐을 제작하는 단계; (g) 시험 환경 온도 및 압력을 포함하는 환경 정보와, 제작된 시험용 노즐의 형상에 대한 정보를 기초로 계산하여, 시험용 노즐로부터 분출되는 제트에 의한 초음속 코어가 끝나는 지점을 설정 원점으로 결정하는 단계; 및 (h) 결정된 설정 원점을 기준으로, 상기 소음 측정부를 설치하는 단계를 포함할 수 있다.

[0024] 상기 단계 (b)는 아래의 [수학식 1]에 따라 결정될 수 있다.

[0025] [수학식 1]

$$S_t = \frac{f D_e}{V_e}$$

[0026]

[0027] (S_t : 스트로우홀 수, f : 주파수, D_e : 노즐 출구의 지름, V_e : 노즐 출구에서의 제트 속도)

[0028] 상기 단계 (e)는 아래의 [수학식 2]에 따라 결정될 수 있다.

[0029] [수학식 2]

$$\frac{A}{A^*} = \frac{1}{M} \left(\frac{1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2}{1 + \frac{\gamma-1}{2}} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}$$

[0030]

[0031] (A : 시험용 노즐 출구의 면적, A^* : 시험용 노즐 목의 면적, γ : 비열 비, M : 시험용 노즐 출구의 마하수)

[0032] 일 실시 예에 따르면, 시험용 노즐로부터 분출되는 제트 소음의 발생 및 측정 시험 방법은, 전산유체해석을 통하여 상기 시험용 노즐로부터 분출되는 제트의 초음속 코어가 끝나는 지점을 설정 원점으로 설정하는 단계; 및 상기 설정 원점을 기준으로, 상기 제트 소음을 측정하는 소음 측정부의 위치를 조절하는 단계를 포함할 수 있다.

[0033] 상기 소음 측정부의 위치를 조절하는 단계는, 상기 시험용 노즐로부터 상기 소음 측정부까지의 수평방향 거리, 상기 소음 측정부의 높이, 및 상기 소음 측정부의 곡률 중 적어도 하나 이상을 조절할 수 있다.

발명의 효과

[0035] 일 실시 예에 따른 제트 소음의 발생 및 측정 장치는 실험실 규모의 초음속 제트를 생성하고, 그에 따른 소음을 측정함으로써, 상사성을 이용하여 실제 유동장 환경과 동일한 조건을 모사한 유동 실험을 가능하게 하고, 실제 로켓 노즐에서의 음향 하중을 예측할 수 있다.

[0036] 일 실시 예에 따르면, 원거리 음장 또는 근거리 음장을 측정할 수 있는 부분의 상대적 각도, 높이 및 시험용 노즐까지의 거리를 조절함으로써, 하나의 장치를 이용하여 다양한 조건에서의 반복 실험을 가능하게 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0038] 도 1은 일 실시 예에 따른 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치를 나타낸 도면이다.

도 2는 일 실시 예에 따른 시험용 노즐 및 피토판을 나타낸 도면이다.

도 3은 일 실시 예에 따른 마하수에 따른 근거리장 거치대에 배치된 마이크로폰과 시험용 노즐의 상대적 위치를 나타낸 도면이다.

도 4는 일 실시 예에 따른 마하수에 따른 원거리장 거치대에 배치된 마이크로폰과 시험용 노즐의 상대적 위치를 나타낸 도면이다.

도 5는 전산수치해석을 통해 설계된 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치의 시험용 노즐의 출구 마하수가 1.8인 제트 해석결과를 나타낸 도면이다.

도 6은 전산수치해석을 통해 퍼텐셜 코어 및 초음속 코어 형성 부분을 예측한 결과를 나타낸 도면이다.

도 7은 전산수치해석을 통해 초음속 코어 시작 부분을 예측하고 그에 따른 원거리장 거치대 환경 배열의 설정 원점 기준 결과를 나타낸 도면이다.

도 8는 선행 실험 결과와 일 실시 예에 따른 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치의 결과를 대류 마하수 (convective Mach number)를 이용하여 비교 검증한 결과이다.

도 9는 근거리장 소음 측정 결과와 전산수치해석 결과를 이용한 비교 검증 결과이다.

도 10은 원거리장 소음 측정 결과와 전산수치해석 결과를 이용한 비교 검증 결과이다.

도 11은 일 실시 예에 따른 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치의 블록도이다.

도 12는 일 실시 예에 따른 제트 소음 발생 및 측정 시험 장치를 나타낸 도면이다.

도 13은 일 실시 예에 따른 거치대 곡률 변경 장치의 정면도이다.

도 14는 일 실시 예에 따른 거치대 곡률 변경 장치의 단면도이다.

도 15는 일 실시 예에 따른 거치대 곡률 변경 장치의 굽힘 동작을 나타내는 도면이다.

도 16은 일 실시 예에 따른 시험용 노즐의 제어 동작을 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0039] 이하, 실시 예들을 예시적인 도면을 통해 상세하게 설명한다. 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 한다. 또한, 실시 예를 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 실시 예에 대한 이해를 방해한다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.
- [0040] 또한, 실시 예의 구성 요소를 설명하는 데 있어서, 제 1, 제 2, A, B, (a), (b) 등의 용어를 사용할 수 있다. 이러한 용어는 그 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하기 위한 것일 뿐, 그 용어에 의해 해당 구성 요소의 본질이나 차례 또는 순서 등이 한정되지 않는다. 어떤 구성 요소가 다른 구성요소에 "연결", "결합" 또는 "접속" 된다고 기재된 경우, 그 구성 요소는 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되거나 접속될 수 있지만, 각 구성 요소 사이에 또 다른 구성 요소가 "연결", "결합" 또는 "접속"될 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.
- [0041] 어느 하나의 실시 예에 포함된 구성요소와, 공통적인 기능을 포함하는 구성요소는, 다른 실시 예에서 동일한 명칭을 사용하여 설명하기로 한다. 반대되는 기재가 없는 이상, 어느 하나의 실시 예에 기재한 설명은 다른 실시 예에도 적용될 수 있으며, 중복되는 범위에서 구체적인 설명은 생략하기로 한다.
- [0043] 도 1은 일 실시 예에 따른 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치를 나타낸 도면이고, 도 2는 일 실시 예에 따른 시험용 노즐 및 피토판을 나타낸 도면이다.
- [0044] 도 1 및 도 2를 참조하면, 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치(1)는 실험실 규모에서 초음속 제트를 발생시키고, 제트로부터 발생한 소음을 측정할 수 있다. 예를 들어 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치(1)는 제트 생성부(11) 및 소음 측정부(12)를 포함할 수 있다.
- [0045] 제트 생성부(11)는 제트를 지면에 대하여 수직한 방향으로 발생시킬 수 있다. 예를 들어, 제트 생성부(11)는, 압력 탱크(111), 압축기(112), 레귤레이터(113), 안전 밸브(114), 시험용 노즐(115), 피토판(116) 및 파이프(117)를 포함할 수 있다.
- [0046] 압력 탱크(111)는 고압의 복수 개의 봄베를 포함할 수 있다. 예를 들어, 압력 탱크(111)는 압축기(112)에 연결되어 고압 조건으로 형성될 수 있고, 설정 조건의 고압 압력이 될 때까지 재충전이 가능하여 재현성을 갖출 수 있다. 압력 탱크(111)에는 안전 밸브(114) 및 레귤레이터(113)가 파이프(117)를 통하여 연결될 수 있으며, 레귤레이터(113)는 고압의 가스가 설정한 압력 조건에 부합할 경우 시험용 노즐(115)을 향하는 가스의 유동을 허용할 수 있다. 시험용 노즐(115) 내부로 전달되는 유동이 초음속 유동으로 발달되지 않게 연결되어 있는 관은, 레귤레이터(113)에 연결되어 있는 관에 비해 지름이 클 수 있다. 이와 같은 구조에 따르면, 시험용 노즐(115) 연결부의 유동을 아음속으로 유지할 수 있다.
- [0047] 시험용 노즐(115)은 압력 탱크(111)로부터 토출된 고압의 가스를 지면으로부터 수직한 방향으로 분출함으로써

초음속 제트를 발생시킬 수 있다. 이와 같은 구조에 따르면, 지면 반사된 제트소음의 영향을 최소화할 수 있으므로, 더욱 정확한 음향 하중 측정이 가능하다. 예를 들어, 시험용 노즐(115)은 드 라발(de Laval) 노즐과 같이 제작될 수 있으며, 고압의 유동은 노즐 목(1151)을 지나면서 초음속 제트 특성으로 변할 수 있다. 예를 들어, 시험용 노즐(115)은 노즐 출구(1152) 및 노즐 목(1151)을 포함할 수 있다.

[0048] 피토관(116)은 시험용 노즐(115)의 내부 및/또는 노즐 출구(1152)의 총압력(total pressure) 및 정압력(static pressure)을 측정할 수 있다. 도 2의 (a)를 참조하면, 제 1 피토관(116a)은 시험용 노즐(115)의 내부의 총압력 및 정압력을 측정하고, 도 2의 (b)를 참조하면, 제 2 피토관(116b)은 시험용 노즐(115)의 노즐 출구(1152)의 총압력 및 정압력을 측정할 수 있다. 이와 같이 피토관(116)을 이용하면, 후술하는 것처럼, 실제 제작된 시험용 노즐(115)의 출구의 마하수가 미리 설계한 값에 일치하는지 검증할 수 있다.

[0049] 한편, 초음속용 피토관의 경우, 시험용 노즐(115)의 노즐 출구(1152)에 위치시키고, 위치된 지점에서 측정된 총압력(P02) 및 정압력(P2)을 그대로 이용하여, 노즐 출구(115)의 속도를 바로 알아낼 수 있다. 다만, 이와 같은 초음속용 피토관의 경우 가격이 매우 비싸고, 실험실 수준에서 사용하기에는 어려움이 있다.

[0050] 한편, 일반적인 피토관은 아음속($M < 0.3$, 90m/s 이하)인 유동에서 압력 등을 측정하는 장비로써, 도 2의 (a)와 같이 아음속 유동에서 위치한 피토관은 측정되는 압력(P01, P1)을 그대로 사용할 수 있다. 그러나 도 2의 (b)와 같이 초음속 유동에서 피토관을 사용할 경우, 피토관 자체에 의한 영향으로 피토관의 전방(즉, 노즐 출구(1152) 및 피토관(160)의 사이 영역)에 의도치 않은 충격파(shock)가 발생되고, 발생된 충격파의 영향으로 실제 측정되는 값(P02, P2)은 원하는 값(충격파가 발생되기 이전 부분에 해당하는 실제 노즐 출구(1152)의 마하수)을 직접적으로 도출할 수 없는 문제가 존재한다. 이와 같은 문제를 해결하고, 아음속용 피토관을 이용하여 실제 제작된 시험용 노즐(115)을 검증하는 방법에 대하여는 이하의 [수학식 3] 등을 통하여 후술하기로 한다.

[0051] 소음 측정부(12)는 제트 생성부(11)에서 발생한 소음을 다양한 위치에서 측정할 수 있다. 예를 들어, 소음 측정부(12)는 근거리장 거치대(121), 원거리장 거치대(122) 및 마이크로폰(123)을 포함할 수 있다.

[0052] 마이크로폰(123)은 근거리장 거치대(121) 또는 원거리장 거치대(122) 상에 복수 개로 형성되어 근거리 음장(near field) 또는 원거리 음장(far field)의 제트 소음을 측정할 수 있다.

[0053] 근거리장 거치대(121)는 복수 개의 마이크로폰(123)을 지면과 수직한 방향으로 이격 배치하여 고정시킬 수 있고, 근거리장 거치대(121) 상에 배치된 복수 개의 마이크로폰(123)은 시험용 노즐(115)로부터 지면에 수평한 방향으로 일정한 거리만큼 떨어진 위치에서 근거리 음장을 측정할 수 있다. 복수 개의 마이크로폰(123)은 근거리장 거치대(121) 상에서 일정한 간격으로 배치될 수 있다. 예를 들어, 3cm 내지 10cm 간격으로 배치될 수 있고, 예를 들어, 5cm 간격으로 배치될 수 있다.

[0054] 원거리장 거치대(122)는 복수 개의 마이크로폰(123)을 환형으로 배치하여 고정시킬 수 있고, 원거리장 거치대(122) 상에 배치된 복수 개의 마이크로폰(123)은 시험용 노즐(115)로부터 설정 거리만큼 떨어진 설정 원점을 기준으로, 일정한 거리에 위치하도록 환형으로 배열되어 원거리 음장을 측정할 수 있다. 복수 개의 마이크로폰(123)은 원거리장 거치대(122) 상에서 일정한 각도로 이격되어 배치될 수 있다. 예를 들어, 복수 개의 마이크로폰(123)은 원거리장 거치대(122)의 곡률 중심을 기준으로, 5° 내지 15° 만큼 각각 이격되어 배치될 수 있다.

[0056] 도 3은 일 실시 예에 따른 마하수에 따른 근거리장 거치대에 배치된 마이크로폰과 시험용 노즐의 상대적 위치를 나타낸 도면이다.

[0057] 도 3을 참조하면, 초음속 제트에 의해 생성된 근거리 음장을 측정하기 위한 근거리장 거치대(121)는 시험용 노즐(115)로부터 특정한 위치에 이격 배치될 수 있다. 시험용 노즐(115)과 근거리장 거치대(121)의 위치는, 후술할 퍼텐셜 코어의 폭과, 퍼텐셜 코어가 끝나는 지점까지의 거리를 고려하여, 마이크로폰(123)이 퍼텐셜 코어의 내부에 위치하지 않으면서, 적정한 영역을 측정할 수 있도록 설계될 수 있다. 도 3의 (a)의 노즐 출구(1152) 마하수는 도 3의 (b)의 노즐 출구(1152) 마하수보다 작은 것을 예시적으로 나타낸다. 이와 같이, 노즐 출구(1152)의 마하수가 클수록 근거리장 거치대(121)는, 시험용 노즐(115)로부터 수평한 방향으로 보다 이격되고, 지면으로부터 보다 상승된 위치에 배치될 수 있다.

[0059] 도 4는 일 실시 예에 따른 마하수에 따른 원거리장 거치대에 배치된 마이크로폰과 시험용 노즐의 상대적 위치를 나타낸 도면이고, 도 5는 전산수치해석을 통해 설계된 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치의 시험용 노즐의 출

구 마하수가 1.8인 제트 해석결과를 나타낸 도면이고, 도 6은 전산유체해석을 통해 퍼텐셜 코어 및 초음속 코어 형성 부분을 예측한 결과를 나타낸 도면이다.

[0060] 도 4를 참조하면, 원거리장 거치대(122)는 시험용 노즐(115)로부터 일정 거리에 위치한 설정 원점(C_1 , C_2)을 기준으로 환형을 형성할 수 있다. 복수 개의 마이크로폰(123)은 설정 원점(C_1 , C_2)을 기준으로 일정한 측정 거리(R)만큼 떨어져서 원거리장 거치대(122) 상에 배치될 수 있다. 설정 원점(C_1 , C_2)은 시험용 노즐(115)로부터 분출되는 제트에 대하여 전산수치해석을 통하여 결정될 수 있다.

[0061] 예를 들어, 도 6을 참조하면, 마하수에 따른 전산유체해석 결과를 나타내고, 이와 같은 결과에 따른 마하수에 따른 초음속 코어가 끝나는 지점을 설정 원점으로 결정할 수 있다. 즉, 노즐 출구(1152)로부터 설정 원점(C_1 , C_2)까지의 거리(L_1 , L_2)는 마하수에 따라서 달라질 수 있다.

[0062] 예를 들어, 측정 거리(R)는 시험용 노즐(115)의 노즐 출구(1152)의 지름의 50 내지 200 배일 수 있고, 100배에 해당하는 거리일 수 있다. 예를 들어, 원거리장 거치대(122)의 자유단(1221) 및 설정 원점(C_1 , C_2)은 지면에 대하여 수직인 동일한 축 상에 위치할 수 있고, 제트 형상이 대칭이라는 가정하에, 시험용 노즐(115)로부터 토출되는 제트 형상의 전 방향에 해당하는 음장을 측정할 수 있다.

[0064] 도 7은 전산수치해석을 통해 초음속 코어 시작 부분을 예측하고 그에 따른 원거리장 거치대 환형 배열의 설정 원점 기준 결과를 나타낸 도면이고, 도 8는 선행 실험 결과와 일 실시 예에 따른 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치의 결과를 대류 마하수(convective Mach number)를 이용하여 비교 검증한 결과이고, 도 9는 근거리장 소음 측정 결과와 전산수치해석 결과를 이용한 비교 검증 결과이고, 도 10은 원거리장 소음 측정 결과와 전산수치해석 결과를 이용한 비교 검증 결과이다.

[0065] 시험용 노즐(115)로부터 분출되는 제트 소음의 발생 및 측정 방법은, 아래와 같은 단계를 포함할 수 있다.

[0066] 먼저, 제어부(13)는, 입력 장치(151)를 통하여, (i) 모사하고자 하는 실크기 로켓 노즐의 출구 직경과, (ii) 로켓 노즐의 출구 제트 속력 및 (iii) 측정하고자 하는 주파수를 입력받아, 모사하고자 하는 소음 환경의 스트로우홀 수(St)를 결정할 수 있다.

[0067] 다음으로, 상사성에 따른 아래의 [수학식 1]을 이용하면, 결정된 스트로우홀 수(St) 및 입력받은 주파수(f)를 기초로, 시험용 노즐 출구의 지름(D_e) 및 시험용 노즐 출구에서의 제트 속력(V_e)의 비율을 결정할 수 있다.

수학식 1

$$St = \frac{f D_e}{V_e}$$

[0068]

[0069] (St : 스트로우홀 수, f : 주파수, D_e : 노즐 출구의 지름, V_e : 노즐 출구에서의 제트 속력)

[0070] 여기서, 스트로우홀 수(St)는, 실크기 환경 제트 소음의 스트로우홀 수로서, 상사성을 이용하여 해당 값을 그대로 [수학식 1]에 대입할 수 있다. 또한, 주파수(f)는 측정하고자 하는 소음의 주파수로써, [수학식 1]에 의해, 시험용 노즐 출구(1152)의 지름(D_e) 및 시험용 노즐 출구(1152)에서의 제트 속력(V_e)의 비율이 결정된다.

[0071] 다시 말하면, 노즐 출구(1152)의 지름(D_e) 및 노즐 출구(1152)에서의 제트 속력(V_e) 중 어느 하나를 설정하면, 나머지 하나가 결정된다. 상기 어느 하나는 미리 설정된 값으로 설정하거나, 사용자에게 의해 단순히 선택될 수 있다.

[0072] 이와 같이 노즐 출구(1152)의 지름(D_e) 및 노즐 출구(1152)에서의 제트 속력(V_e)이 결정되면, 이를 각각 노즐 출구(1152)의 면적(A) 및 노즐 출구(1152)의 마하수(M)로 변환하여 아래의 [수학식 2]를 적용함으로써, 시험용 노즐(115)의 목 면적(A^*)을 산출할 수 있다.

수학식 2

$$\frac{A}{A^*} = \frac{1}{M} \left(\frac{1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2}{1 + \frac{\gamma-1}{2}} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}$$

[0073]

[0074]

(A: 시험용 노즐의 출구 면적, A*: 시험용 노즐의 목 면적, γ : 비열 비, M: 노즐 출구의 마하수)

[0075]

즉, [수학식 2]와 같이 등엔트로피 가정 및 노즐 출구(1152) 면적과 노즐 목(1151) 면적비를 이용하여 축소 실험 시험용 노즐을 제작할 수 있다.

[0076]

다음으로, 소음 측정부(12)의 근거리장 거치대(121) 및/또는 원거리장 거치대(122)를 설치하기 위한 위치를 선정하기 위하여, 설정 원점을 결정할 수 있다.

[0077]

이와 같은 설정 원점은, 시험용 노즐(115)로부터 분출되는 제트에 대하여 전산수치해석을 통하여 결정될 수 있다. 보다 구체적으로, 마하수에 따른 초음속 코어가 끝나는 지점을 설정 원점으로 결정할 수 있으며, 이와 같은 전산수치해석 과정은 통상의 기술자에게 널리 알려진 상용 프로그램 등을 이용하여, 필요한 정보, 예를 들면, (i) 시험 환경 온도 및 압력을 포함하는 환경 정보와, (ii) 제작된 시험용 노즐(115)의 형상에 대한 정보와, (iii) 로켓 노즐 입구 압력 정보 등을 단순히 입력하는 과정만으로 수행될 수 있으므로, 구체적인 설명은 생략하기로 한다.

[0079]

이하에서는 도 2에서 상술한 아음속용 피토관(116)을 이용하여 제작이 완료된 시험용 노즐(115)에서의 출구 속도가 설계 조건에 부합하는지 여부를 검증하는 방법에 대하여 설명하기로 한다.

[0080]

먼저, 도 2의 (a)와 같이 측정단이 시험용 노즐(115)의 내부에 위치한 제 1 피토관(116a)을 이용하면, 시험용 노즐(115)의 내부의 총압력(P01) 및 정압력(P1)을 측정할 수 있다. 한편, 시험용 노즐(115)의 내부로부터 출구(1152)까지, 보다 정확하게는, 제 2 피토관(116b)에 의한 충격파(shock)가 발생되기 이전 지점까지는 닫힌계(closed system)로써, 등엔트로피 가정을 사용할 수 있다. 따라서, 제 1 피토관(116a)에서 측정된 총압력(P01)은 시험용 노즐(115)의 출구에서의 총압력(P01)이라고 할 수 있다.

[0081]

다음으로, 도 2의 (b)와 같이 시험용 노즐(115)의 출구에 위치한 제 2 피토관(116b)을 이용하면, 제 2 피토관(116b)에 의한 충격파가 발생된 후류 지점의 총압력(P02) 및 정압력(P2)을 측정할 수 있다.

[0082]

이상 제 1 피토관(116a) 및 제 2 피토관(116b)에 의해 측정된 값들의 관계는 아래와 [수학식 3]과 같다는 것이 알려져 있다.

수학식 3

$$\frac{p_{02}}{p_{01}} = \frac{p_2}{p_1} \left(\frac{1 + \frac{\gamma-1}{2} M_2^2}{1 + \frac{\gamma-1}{2} M_1^2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

[0083]

[0084]

(P01: 제 1 피토관(116a)에서 측정된 총압력, P1: 제 1 피토관(116a)에서 측정된 정압력, P02: 제 2 피토관(116b)에서 측정되는 총압력, P2: 제 2 피토관(116b)에서 측정되는 정압력, γ : 비열 비, M1: 노즐 출구(1152)

의 충격파(shock) 발생 이전 지점의 마하수, M2: 노즐 출구(1152)의 충격파 발생 이후 지점의 마하수)

[0086] 또한, 각 피토관(116a, 116b)에서 측정된 정압력(P1, P2)과, 노즐 출구(1152)의 충격파 발생 이전 지점의 마하수(M1)는, 아래의 [수학식 4]와 같은 관계를 갖는 점이 알려져 있다.

수학식 4

$$\frac{p_2}{p_1} = 1 + \frac{2\gamma}{\gamma+1}(M_1^2 - 1)$$

[0088]

[0090] 또한, 충격파 발생 지점을 전후로 하는 각 지점의 마하수(M1, M2)는 아래의 [수학식 5]와 같은 관계를 갖는 점이 알려져 있다.

수학식 5

$$M_2^2 = \frac{1 + \frac{\gamma-1}{2}M_1^2}{\gamma M_1^2 - \frac{\gamma-1}{2}}$$

[0092]

[0093] 이상의 [수학식 3] 내지 [수학식 5]를 정리하면, 검증하고자 하는 노즐 출구(1152)의 마하수(M1)는, 제 1 피토관(116a)에서 측정된 총압력(P01)과, 제 2 피토관(116b)에서 측정된 총압력(P02)으로 구해질 수 있음을 알 수 있으며, 최종적인 관계식은 아래의 [수학식 6]과 같다.

수학식 6

$$\frac{P_{02}}{P_{01}} = \left(1 + \frac{2\gamma}{\gamma+1}(M_1^2 - 1)\right) \left(\frac{1 + \frac{\gamma-1}{2} \left(\frac{1 + \frac{\gamma-1}{2}M_1^2}{\gamma M_1^2 - \frac{\gamma-1}{2}} \right)}{1 + \frac{\gamma-1}{2}M_1^2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

[0094]

[0096] 이상의 과정을 통하여, 시험용 노즐(115)의 출구(1152)에서의 마하수(M1)를 측정할 수 있다. 이하의 표 1은 초음속 제트 실험 장치에 대한 마하수 실험결과를 나타낸다. 또한 도 5를 참조하면, 이를 검증하기 위하여 전산수치해석(CFD)을 통한 해석 결과를 나타낸다. 해석 결과, 노즐 출구(1152)의 마하수는 원래 설계 의도한 것처럼 1.8에 가까운 수치로 측정되는 것을 확인하였다.

표 1

실험 차수	시험용 노즐내부(bar)	P_{01} (bar)	P_{02} (bar)	$\frac{P_{02}}{P_{01}}$	출구 마하수
1차	4.9~5.1	6	4.82	0.80	1.83
2차	5	6.1	4.65	0.76	1.91
3차	4.8~4.9	6	4.61	0.76	1.91
평균	5	6.03	4.69	0.77	1.88

한편, 예를 들어, 시험용 노즐(115)이 제작된 이후, 나머지 단계를 수행하기 전에 상술한 검증 단계를 수행하고, 설계 마하수([수학적식 2]의 M값) 및 실제 피토관(116)에서 측정된 마하수([수학적식 6]의 M1 값)의 차이가 설정 값 이내일 경우에만 나머지 단계를 수행하도록 함으로써, 시험의 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것이다.

도 7은 노즐 출구(1152)로부터 마하수 분포를 나타내고, 도 8을 참조하면, 선행 실험결과 등을 이용한 경험식과의 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치(1)의 원거리장 최대 소음(Max OASPL)을 나타낸다.

도 9 및 아래의 표 2를 참조하면, 상술한 근거리장 소음 실험 결과 및 전산유체해석 결과 비교이다.

표 2

시험용 노즐로부터의 거리 [D_n]	실험결과 [dB]	수치해석결과 [dB]
2.5	133.4	137.9
5.0	132.5	137.9
7.5	133.2	139.8
10.0	135.3	143.0
12.5	139.9	144.8
15.0	141.7	145.2
17.5	142.7	144.4
20.0	142.2	142.5
22.5	140.8	140.6
25.0	139.6	139.5
27.5	137.8	137.9
30.0	136.4	137.4
32.5	134.7	136.7
35.0	132.7	136.5
37.5	131.5	136.5
40.0	130.7	135.8

또한, 도 10 및 아래의 표 3을 참조하면, 원거리장 소음 실험 및 수치해석과의 검증 결과를 나타낸다.

표 3

각도 [$^{\circ}$]	실험결과 [dB]	수치해석결과 [dB]
20	122.0	118.7
25	123.4	121.4
30	124.4	123.1
35	124.9	124.1
40	124.1	124.6
45	122.7	124.8
50	119.9	124.0
55	117.0	122.5

60	114.7	121.1
65	112.8	120.7
70	111.4	120.3
75	111.5	119.7
80	110.4	119.0
90	108.7	118.1
100	110.3	116.2

- [0108] 도 11은 일 실시 예에 따른 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치의 블록도이다.
- [0109] 도 11을 참조하면, 제트 소음의 발생 및 측정 시험 장치(1)는, 제트 생성부(11) 및 소음 측정부(12) 이외에도, 제어부(13), 메모리(14) 및 입력 장치(15)를 더 포함할 수 있다.
- [0110] 제어부(13)는, 입력 장치(15)를 통하여 입력된 스트로우홀 수(St) 및 주파수(f)를 기초로, [수학식 1]에 의해, 노즐 출구의 지름(De) 및 노즐 출구(1152)의 속도(Ve)의 비를 결정할 수 있다. 또한, 제어부(13)는, 노즐 출구의 지름(De) 및 노즐 출구(1152)의 속도(Ve) 중 어느 하나를, (i) 입력 장치(15)를 통하여 입력 받거나, (ii) 미리 결정된 값으로 설정함으로써, 나머지 하나를 결정할 수 있다. 다음으로, 제어부(13)는, [수학식 2]를 통하여, 노즐 목(1151)의 면적(A^*)을 결정하고 실험자에게 제공함으로써, 실험자는 설계된 값을 통하여, 실험용 시험용 노즐(115)을 제작할 수 있다.
- [0111] 제어부(13)는, 피토크관(116)에서 측정된 값을 입력받아, [수학식 3]을 통하여, 시험용 노즐(115) 내부의 마하수($M1$)를 결정하고, 환경 센서에 의해 수집된 정보를 함께 이용하여, 전산수치해석을 통해 초음속 코어가 끝나는 지점을 설정 원점으로 결정할 수 있다.
- [0112] 한편, 소음 측정부(12)는 근거리장 거치대(121), 원거리장 거치대(122) 및 마이크로폰(123) 이외에도, 거치대 엘리베이팅 장치(124), 거치대 곡률 변경 장치(125) 및 거치대 수평 이동 장치(126)를 더 포함할 수 있다.
- [0113] 거치대 엘리베이팅 장치(124)는 근거리장 거치대(121) 또는 원거리장 거치대(122) 상에서 제트 소음을 측정하는 부분의 높이를 조절할 수 있다.
- [0114] 거치대 곡률 변경 장치(125)는 제트 소음을 측정하는 부분 간의 상대적 각도를 조절할 수 있다. 예를 들어, 거치대 곡률 변경 장치(125)는 노즐 출구(1152)의 직경이나 마하수에 따라 원거리장 거치대(122)의 환형의 곡률을 변경할 수 있다.
- [0115] 거치대 수평 이동 장치(126)는 시험용 노즐(115)과 제트 소음을 측정하는 부분 간의 거리를 조절할 수 있다. 거치대 수평 이동 장치(126)는 지면에 대하여 수평 이동할 수 있도록 슬라이드방식으로 구동될 수 있다. 예를 들어, 근거리장 거치대(121)에 설치된 거치대 수평 이동 장치(126)는 근거리장 거치대(121)가 시험용 노즐(115)과 원거리장 거치대(122)가 설치된 영역 사이의 범위에서 이동하도록 할 수 있다. 예를 들어, 원거리장 거치대(121)에 설치된 거치대 수평 이동 장치(126)는 원거리장 거치대(122)가 시험용 노즐(115)로부터 근거리장 거치대(121)보다 멀리 떨어지고, 일정한 거리에 위치하도록 이동할 수 있다.
- [0116] 제어부(13)는 입력 장치(15)에서 입력받은 실험 조건과 마이크로폰(123)과 피토크관(116)에서 측정된 압력값을 메모리(14)에 저장하고, 상술한 수학식에 따라 산출된 제어 조건을 기반으로 압축기(112), 레귤레이터(113), 거치대 엘리베이팅 장치(124), 거치대 수평 이동 장치(126), 거치대 곡률 변경 장치(125) 및 시험용 노즐(115)을 작동시킬 수 있다.
- [0117] 예를 들어, 제어부(13)는, (i) 근거리장 거치대(121)의 중앙부가 시험용 노즐(115) 및 설정 원점의 중앙에 위치하도록 거치대 엘리베이팅 장치(124)를 제어하거나, (ii) 근거리장 거치대(121)가 피텐셜 코어로부터 벗어난 위치에 위치하도록 거치대 수평 이동 장치(126)를 제어할 수 있다.
- [0118] 예를 들어, 제어부(13)는, (i) 원거리장 거치대(122)에 설치된 복수 개의 마이크로폰(123) 중 가장 하단에 위치하는 마이크로폰(123)이 설정 원점과 같은 높이에 위치하도록 거치대 엘리베이팅 장치(124)를 제어하거나, (ii) 원거리장 거치대(122)에 설치된 복수 개의 마이크로폰(123)이 설정 원점으로부터 같은 측정 거리(R)에 위치하도록 거치대 곡률 변경 장치(125)를 제어하거나, (iii) 측정 거리(R)가 노즐 출구(1152)의 지름의 100배가 되도록 거치대 수평 이동 장치(126)를 제어할 수 있다.

- [0119] 이하 예시적인 도면을 통하여 보다 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0121] 도 12는 일 실시 예에 따른 제트 소음 발생 및 측정 시험 장치를 나타낸 도면이다.
- [0122] 도 12를 참조하면, 제트 소음 발생 및 측정 시험 장치(2)는 제트 생성부(21), 소음 측정부(22), 제어부(13), 메모리(14) 및 입력 장치(15)를 포함할 수 있다.
- [0123] 제트 생성부(21)는 압력 탱크(211), 압축기(112), 레귤레이터(213), 안전 밸브(214), 시험용 노즐(215) 및 피토판(116)을 포함할 수 있다.
- [0124] 소음 측정부(22)는 근거리장 거치대(221), 원거리장 거치대(222), 마이크로폰(223), 거치대 엘리베이팅 장치(224), 거치대 곡률 변경 장치(225) 및 거치대 수평 이동 장치(226)를 포함할 수 있다.
- [0125] 이하 도 13 내지 도 16을 통하여 각 구성 요소들을 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0127] 도 13은 일 실시 예에 따른 거치대 곡률 변경 장치의 정면도이고, 도 14는 일 실시 예에 따른 거치대 곡률 변경 장치의 단면도이다.
- [0128] 도 13 및 도 14는, 도 12의 a부분의 구조를 나타낸 것이다. 일 실시 예에 따른 거치대 곡률 변경 장치(225)는, 복수 개의 관절(2251, 2252)을 포함하고, 복수 개의 관절(2251, 2252) 중 적어도 하나 이상의 관절에는 마이크로폰(223)이 설치될 수 있다. 거치대 곡률 변경 장치(225)는, 복수 개의 관절(2251, 2252) 중 어느 하나의 관절의 각도를 변경하면, 나머지 모든 관절들의 각도가 동일한 각도로 변경됨으로써, 전체적인 거치대 곡률 변경 장치(225)의 곡률이 변경될 수 있다. 따라서, 곡률이 변경되더라도, 설정 원점에 대하여 복수 개의 마이크로폰(223)이 항상 동일한 측정 거리(R)를 갖도록 할 수 있다. 거치대 곡률 변경 장치(225)는, 메인 관절(2251) 및 보조 관절(2252)을 포함할 수 있다.
- [0129] 메인 관절(2251)은, 일렬로 연결되는 복수 개의 메인 링크(22511)를 포함할 수 있다.
- [0130] 메인 링크(22511)는, 양단에 메인 접촉면(22513)을 형성하며 인접한 다른 메인 링크(22511)와 맞물리면서 상대적으로 회전할 수 있다. 예를 들어, 메인 접촉면(22513)은 기어 형상을 포함하여, 기어 치형을 따라 서로 맞물리면서 회전할 수 있다. 메인 링크(22511)는, 복수 개의 홀(22512)을 포함할 수 있다.
- [0131] 복수 개의 홀(22512)은, 메인 링크(22511)의 양측에 각각 하나씩 형성될 수 있고, 복수 개의 홀(22512)에는 각각 인접한 보조 링크(22521)가 상대적으로 회전 가능하게 결합될 수 있다.
- [0132] 메인 접촉면(22513)은, 메인 링크(22511) 및 보조 링크(22521)의 상대적인 회전 중심을 중심으로 하는 호(arc)에 해당하는 형상을 포함할 수 있다. 예를 들어, 홀(22512)은, 반경이 작은 원 형상을 가질 수 있고, 접촉면(22513)은 홀(22512)과 같은 중심 갖고 홀(22512)보다 반경이 큰 원의 호(arc) 형상일 수 있다.
- [0133] 보조 관절(2252)은, 일렬로 연결되는 복수 개의 보조 링크(22521)를 포함할 수 있다.
- [0134] 복수 개의 보조 링크(22521)는, 복수 개의 메인 링크(22511)에 각각 힌지 결합할 수 있다. 보조 링크(22521)는, 인접한 2개의 메인 링크(22511)가 서로 이탈되지 않도록 2개의 메인 링크(22511)를 연결할 수 있다. 다시 말하면, 보조 링크(22521)는, 회동 결합된 두 개의 메인 링크(22511)의 상대적인 회동(rotation)을 가능하게 한다. 보조 링크(22521)에 의해, 복수 개의 메인 링크(22511) 중 인접하는 2 개의 메인 링크(22511)는 1자유도로 상대적으로 움직일 수 있다.
- [0135] 보조 링크(22521)는, 양단에 보조 접촉면(22523)을 형성하며 인접한 보조 링크(22521)와 상대적으로 움직일 수 있다. 예를 들어, 메인 접촉면(22523)은 기어 형상을 포함하여, 기어 치형을 따라 서로 맞물리면서 회전할 수 있다.
- [0136] 예를 들어, 보조 링크(22521)는, 메인 링크(22511)와 결합하기 위한 복수 개의 돌기(22522)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 보조 링크(22521)는, 두 개의 돌기(22522)를 포함하고, 각각의 돌기(22522)는, 인접한 한 쌍의 메인 링크(22511)의 홀(22512)에 각각 회동 결합될 수 있다. 다시 말해서, 두 개의 돌기(22522) 중 하나의 돌기는, 제 1 메인 링크(22511a, 도 15 참조)의 홀(22512)과 회동 결합하고, 다른 하나의 돌기는, 제 1 메인 링크(22511a)와 접촉하는 제 2 메인 링크(22511b, 도 15 참조)의 홀과 회동 결합할 수 있다.

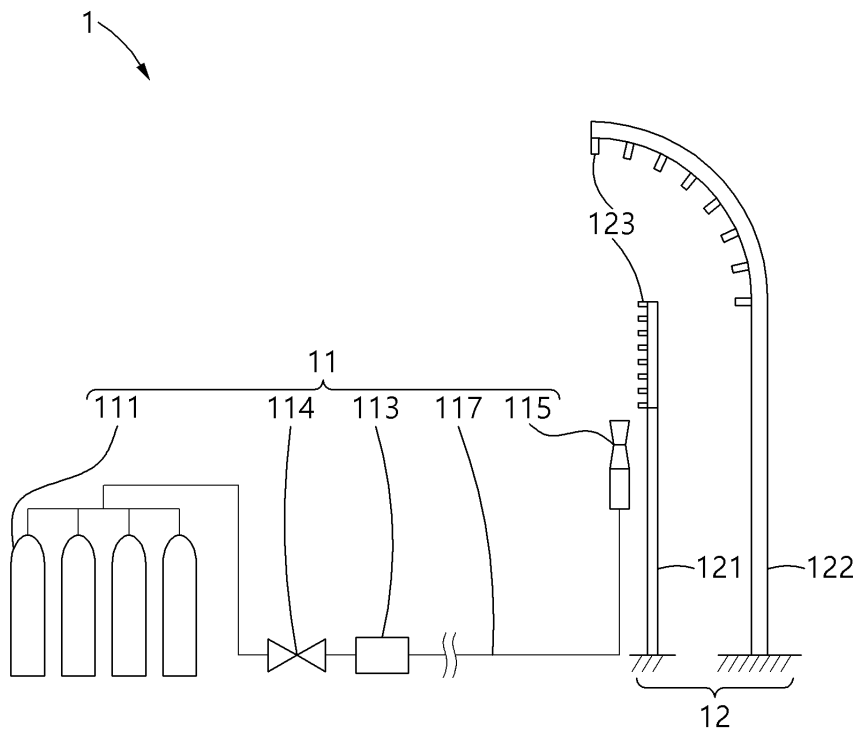
- [0137] 앞서 설명한 거치대 곡률 변경 장치(225)는, 메인 링크(22511)는 홀(22512)을 포함하고, 보조 링크(22521)는 돌기(22522)를 포함하지만, 이와 같은 방식에 제한되지 않는다. 예를 들어, 메인 링크(22511)는 돌기를 포함하고, 보조 링크(22521)에 상기 돌기가 회동 결합 가능한 홀을 포함할 수 있다. 다른 예로, 메인 링크(22511) 및 보조 링크(22521)는, 중심을 공유하는 같은 크기의 홀을 포함하고, 그 홀들을 관통하는 별개의 부재가 추가적으로 마련될 수 있을 것이다.
- [0139] 도 15는 일 실시 예에 따른 거치대 곡률 변경 장치의 굽힘 동작을 나타내는 도면이다.
- [0140] 도 15를 참조하면, 메인 관절(2251)은, 연속적으로 배치되는 제 1 메인 링크(22511a), 제 2 메인 링크(22511b) 및 제 3 메인 링크(22511c)를 포함할 수 있다. 보조 관절(2252)은, 제 1 메인 링크(22511a) 및 제 2 메인 링크(22511b)에 회동 결합되는 제 1 보조 링크(22521a)와, 제 2 메인 링크(22511b) 및 제 3 메인 링크(22511c)에 회동 결합되는 제 2 보조 링크(22521b)를 포함할 수 있다.
- [0141] 이하 제 1 메인 링크(22511a), 제 2 메인 링크(22511b) 및 제 3 메인 링크(22511c)가 각각 동일한 형상을 가지고, 각각의 링크가 포함하는 홀(22512)의 형상 및 위치도 동일한 경우에 대하여 예시적으로 설명하기로 한다.
- [0142] 제 2 메인 링크(22511b)가, 제 1 메인 링크(22511a)에 대해서 상대적으로 회전하였을 때, 제 1 메인 링크(22511a)의 길이 방향 및 제 2 메인 링크(22511b)의 길이 방향은 제 1 각도(θ_1)를 형성할 수 있다. 제 1 각도(θ_1)가 형성 됨에 따라, 제 1 메인 링크(22511a) 및 제 2 메인 링크(22511b)에 연결되어 있는 제 1 보조 링크(22521a)의 길이 방향은, 제 1 메인 링크(22511a)의 길이 방향에 대하여 각도(θ_{11})를 형성할 수 있다.
- [0143] 도시된 바에 따르면, 제 1 보조 링크(22521a)의 길이 방향 및 제 2 메인 링크(22511b)의 길이 방향이 형성하는 각도(θ_{12})는, 제 1 보조 링크(22521a)의 길이 방향 및 제 1 메인 링크(22511a)의 길이 방향이 형성하는 각도(θ_{11})와 동일하게 된다. 결과적으로, 제 1 각도(θ_1)의 크기는 상기 각도(θ_{11})의 크기의 두 배가 된다.
- [0144] 제 2 보조 링크(22521b)는, 제 1 보조 링크(22521a)와 접촉한 상태로 회전하기 때문에, 제 2 보조 링크(22521b)의 길이 방향 및 제 2 메인 링크(22511b)의 길이 방향이 형성하는 각도(θ_{22})는, 제 1 보조 링크(22521a)의 길이 방향 및 제 2 메인 링크(22511b)의 길이 방향이 형성하는 각도(θ_{12})와 동일하게 된다.
- [0145] 마찬가지로, 제 2 보조 링크(22521b)의 길이 방향 및 제 2 메인 링크(22511b)의 길이 방향이 형성하는 각도(θ_{22})는, 제 2 보조 링크(22521b)의 길이 방향 및 제 3 메인 링크(22511c)의 길이 방향이 형성하는 각도(θ_{23})와 동일하게 된다. 결과적으로, 제 2 메인 링크(22511b)의 길이 방향 및 제 3 메인 링크(22511c)의 길이 방향은 제 2 각도(θ_2)를 형성할 수 있고, 제 2 각도(θ_2)는 제 1 각도(θ_1)와 동일하게 된다.
- [0146] 또한, 제 1 보조 링크(22521a)의 길이 방향 및 상기 제 2 보조 링크(22521b)의 길이 방향이 이루는 제 3 각도(θ_3)는, 제 1 각도(θ_1) 및 제 2 각도(θ_2)와 동일하게 된다.
- [0147] 이와 같이, 제 1 각도(θ_1), 제 2 각도(θ_2) 및 제 3 각도(θ_3)가 동일하게 변경되므로, 희망하는 측정 거리(R)가 변경되더라도, 측정 거리(R)에 맞춘 곡률을 이루도록 변경하는 것이 가능하므로, 별도의 거치대를 제작할 필요 없이, 하나의 장치만을 이용하여, 다양한 조건에서 시험을 수행하는 것이 가능하다.
- [0149] 도 16은 일 실시 예에 따른 시험용 노즐의 제어 동작을 나타내는 도면이다.
- [0150] 도 16을 참조하면, 일 실시 예에 따른 시험용 노즐(215)은, 노즐 출구(2152)의 면적에 대한 노즐 목(2151)의 면적 비를 다양하게 가변시킬 수 있다. 예를 들어, 노즐 출구(2152)는 계단식으로 분할 조립되어 있고, 각 계단층을 구성하는 노즐 출구(2152a, 2152b, 2152c)가 각각 노즐 목(2151)에 대하여 상하 이동할 수 있다. 한편, 각각의 노즐 출구들은, 예를 들어, 레일 방식 등의 선형 가이드나, 나선상의 회전 가이드 등 다양한 공지의 수단을 통하여 연결될 수 있을 것이다. 통상의 기술자라면 이에 대하여 충분히 이해할 수 있을 것이므로, 이에 대한 구체적인 설명은 생략하기로 한다.
- [0151] 예를 들어, 시험용 노즐(215)은 노즐 목(2151), 제 1 노즐 출구(2152a), 제 2 노즐 출구(2152b) 및 제 3 노즐 출구(2152c)를 포함할 수 있다. 여기서 노즐 출구(2152)는 3개의 층으로 국한되지 않음을 밝혀 둔다.
- [0152] 제 1 노즐 출구(2152a)의 단면적(D1)은 제 2 노즐 출구(2152b)의 단면적(D2)보다 크고, 제 2 노즐 출구(2152b)의 단면적(D2)은 제 3 노즐 출구(2152c)의 단면적(D3)보다 크다. 도 16의 (a)상태에서는, 제 1 노즐 출구

(2152a)의 단면적(D1)을 통과하여 제트가 분출되고, 제 1 노즐 출구(2152a)가 하강하면, 도 16의 (b)에 도시한 바와 같이, 제 2 노즐 출구(2152b)의 단면적(D2)에 의하여 제트가 분출되므로, 제트가 분출되는 단면적이 감소할 수 있다. 여기서 시험용 노즐(215)의 목(2151)의 면적은 일정하므로, 노즐 출구(2152)의 상하 운동에 의하여 노즐 출구(2152)에 대한 노즐 목(2151)의 면적 비를 다양하게 할 수 있다. 따라서, 시험 조건에 따라서 시험용 노즐(215)을 새로 제작할 필요 없이, 하나의 장치를 이용하여 다양한 조건에서 시험을 수행하는 것이 가능해진다.

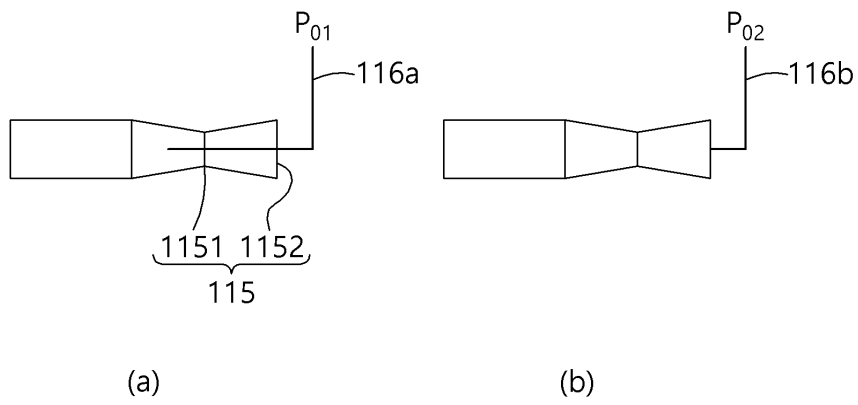
[0154] 이상과 같이 비록 한정된 도면에 의해 실시 예들이 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 구조, 장치 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

도면

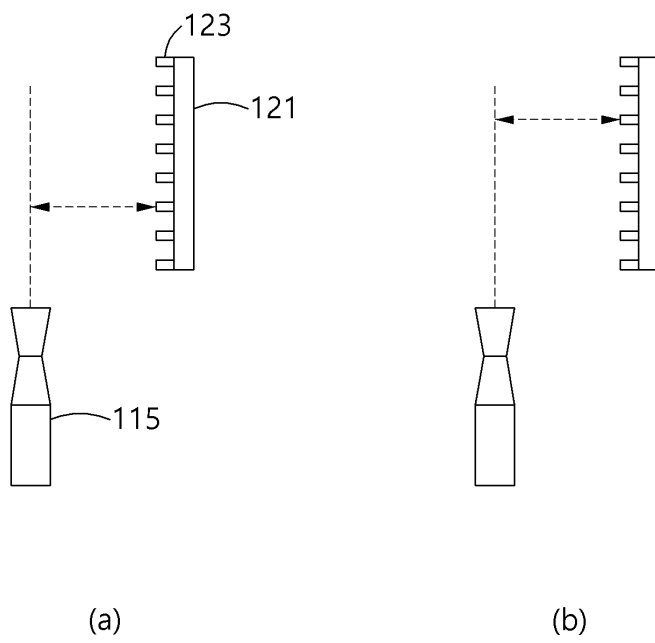
도면1



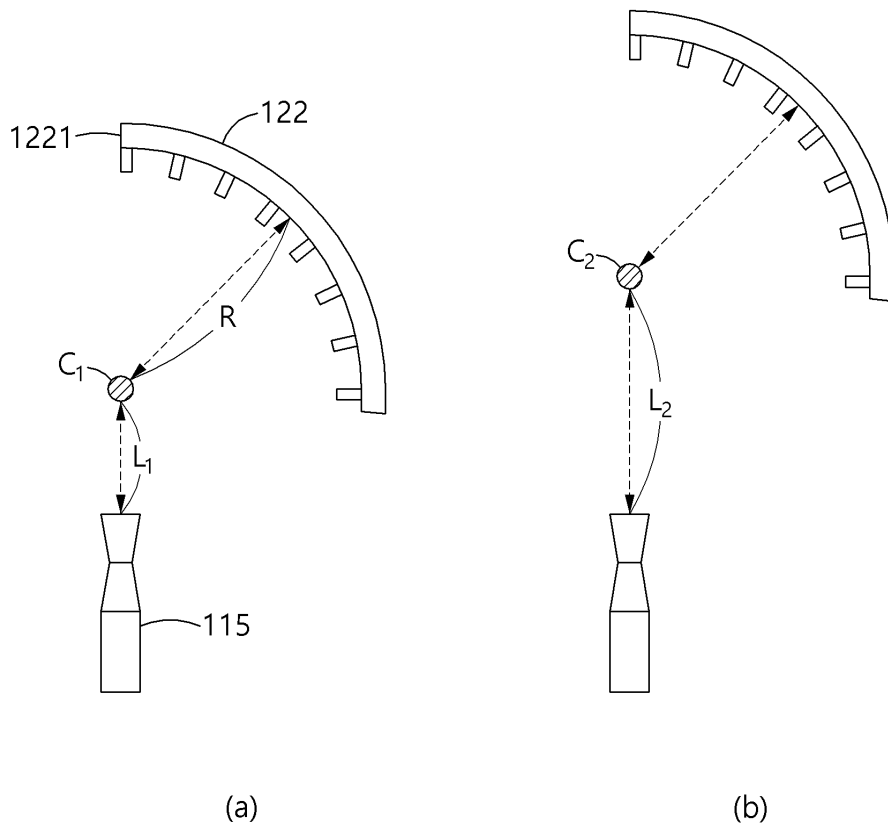
도면2



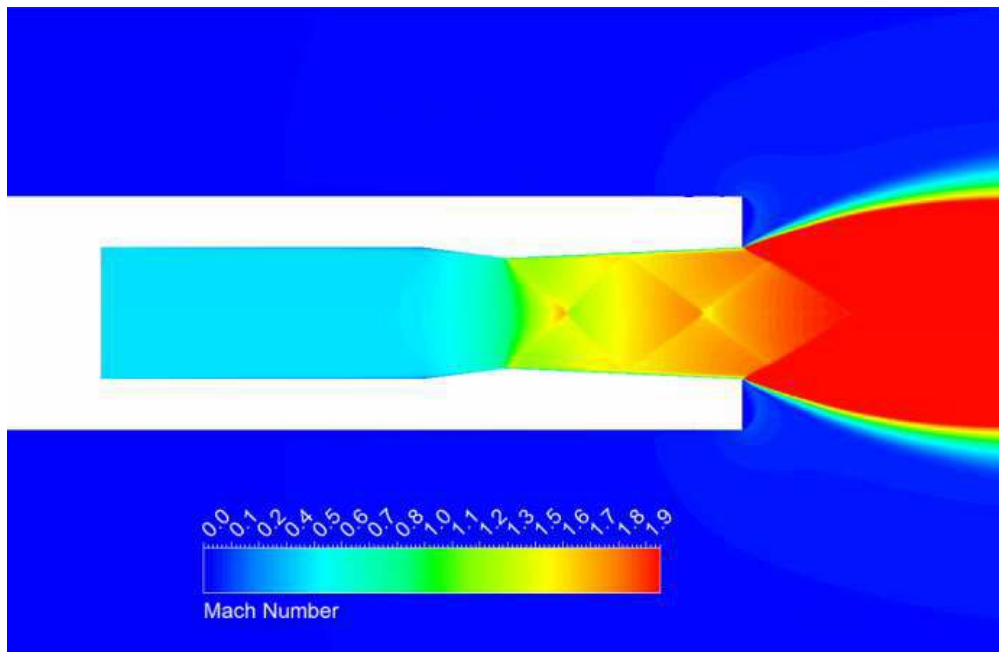
도면3



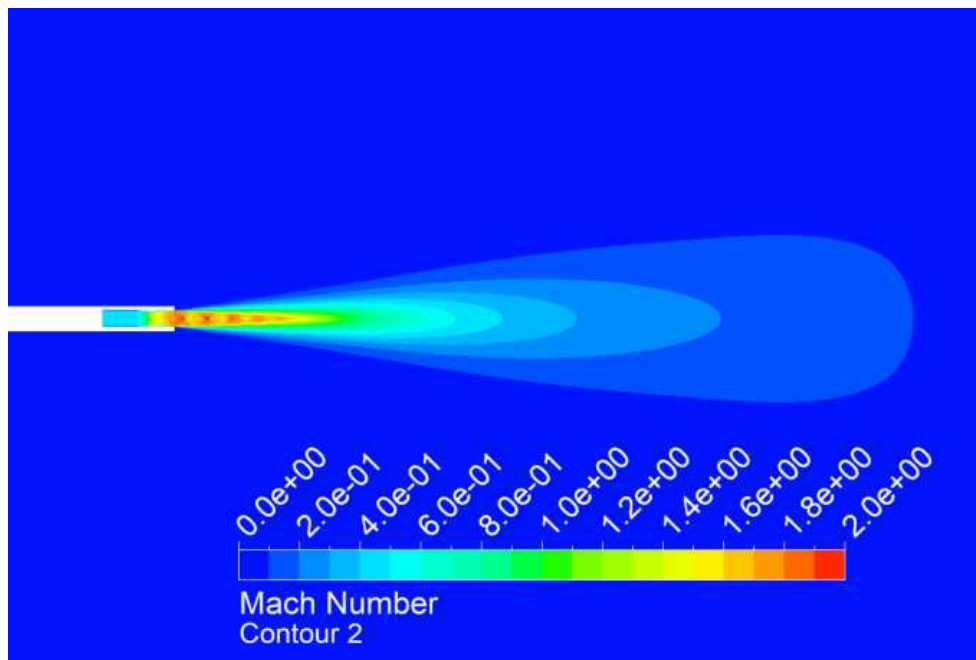
도면4



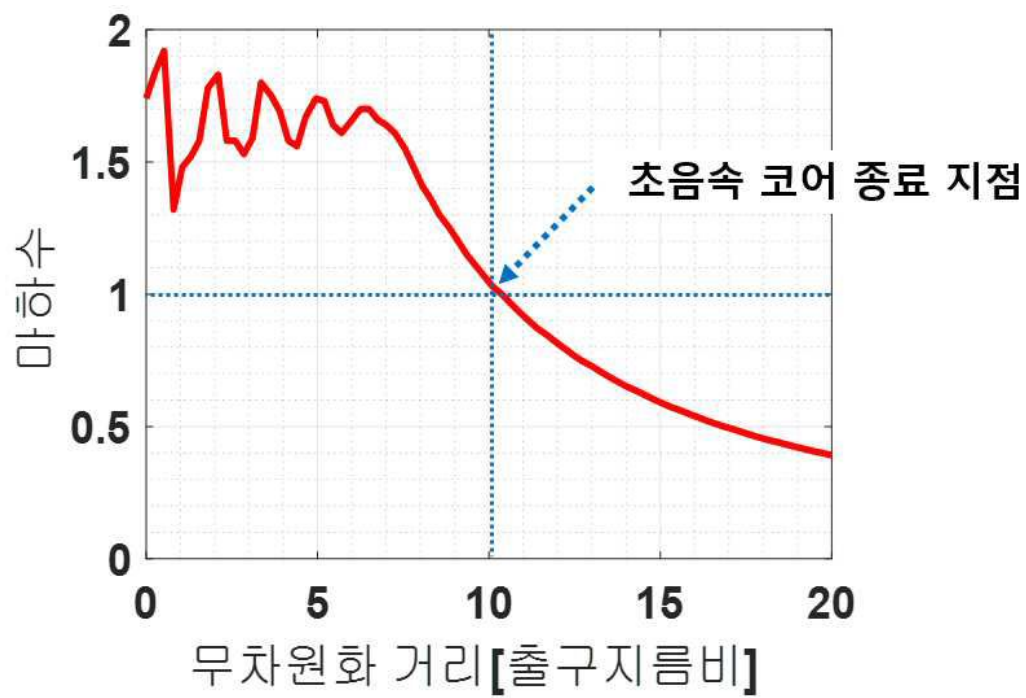
도면5



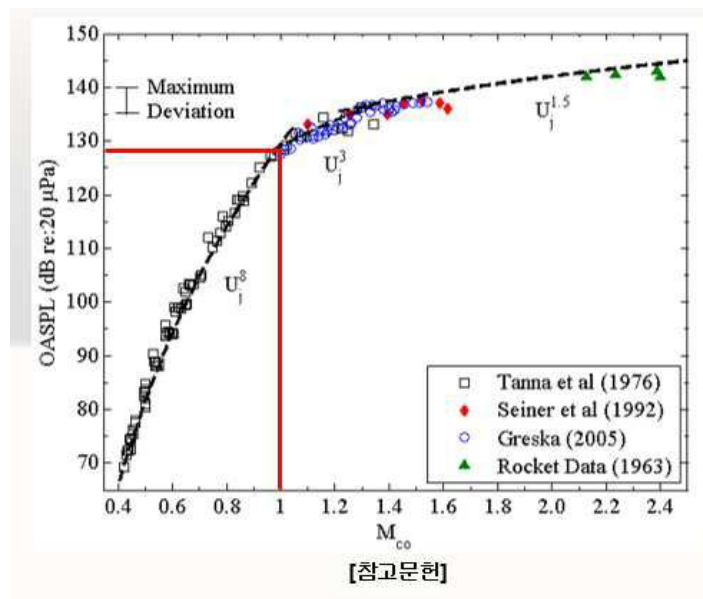
도면6



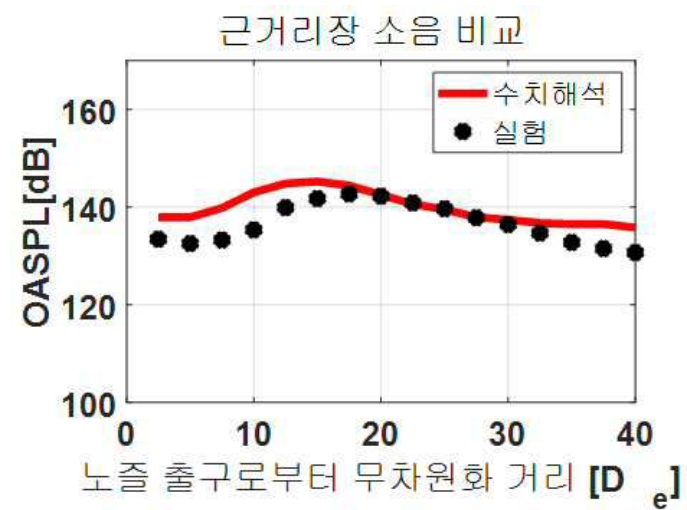
도면7



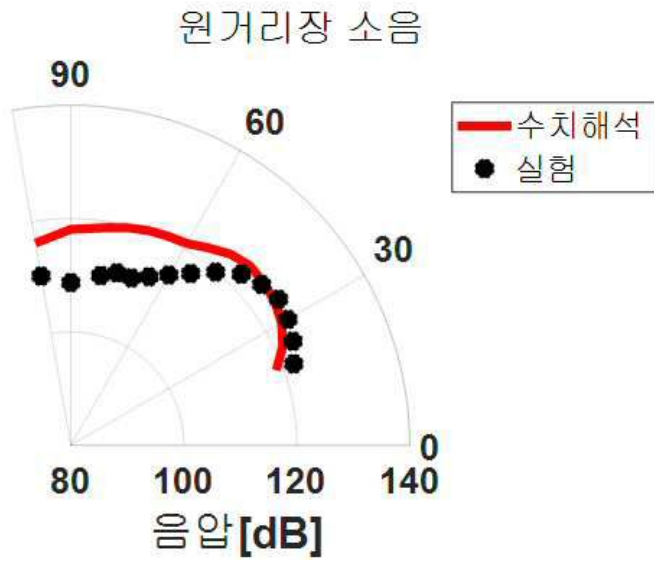
도면8



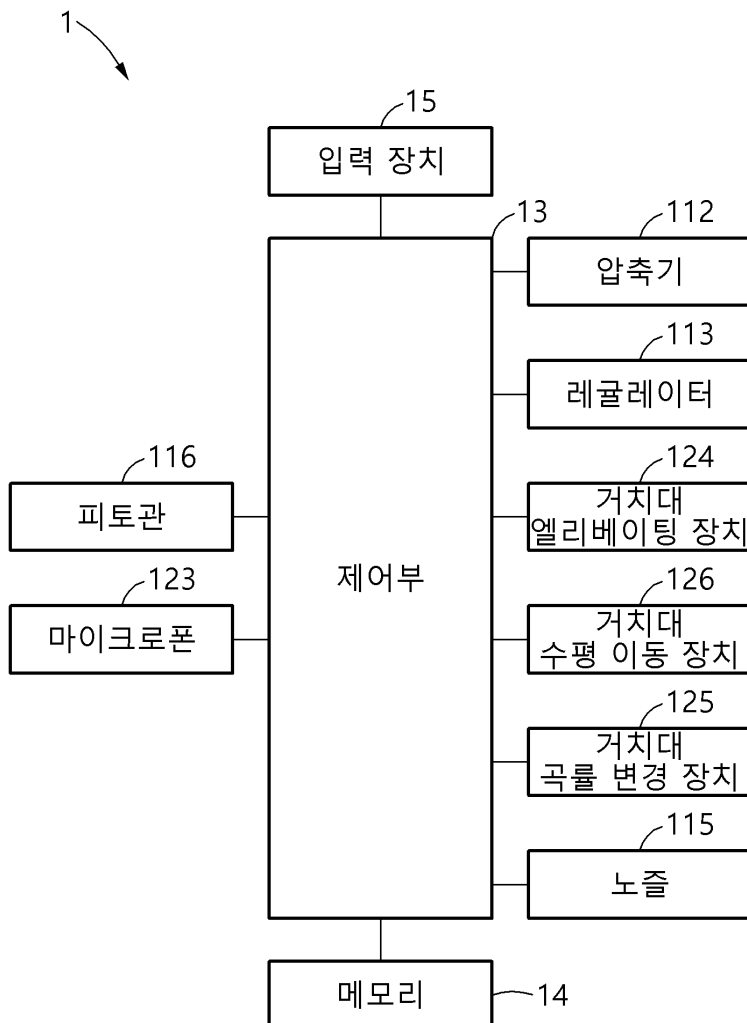
도면9



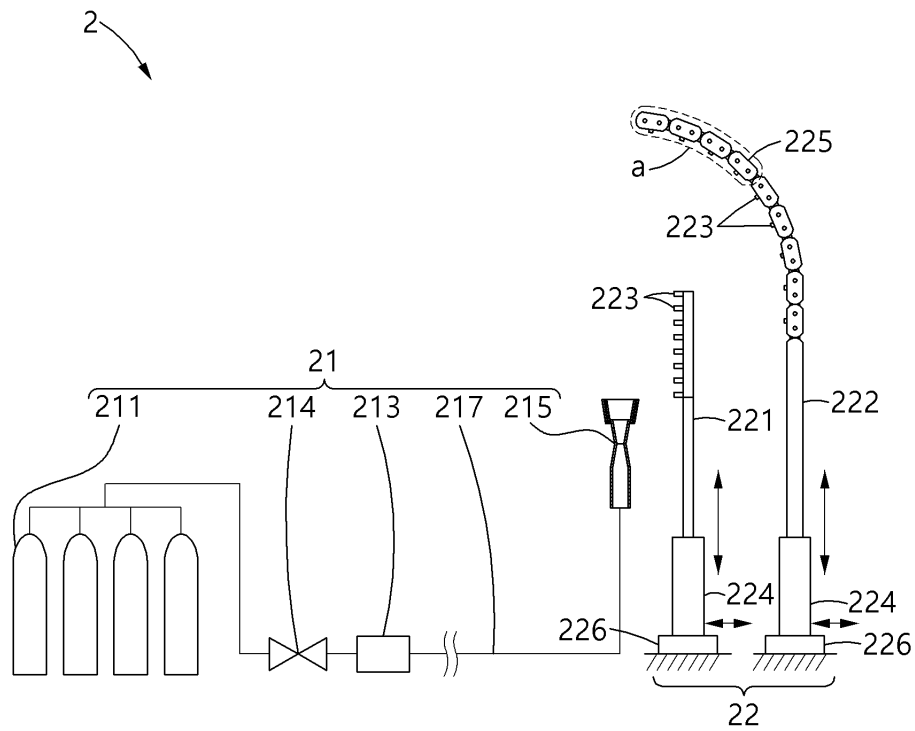
도면10



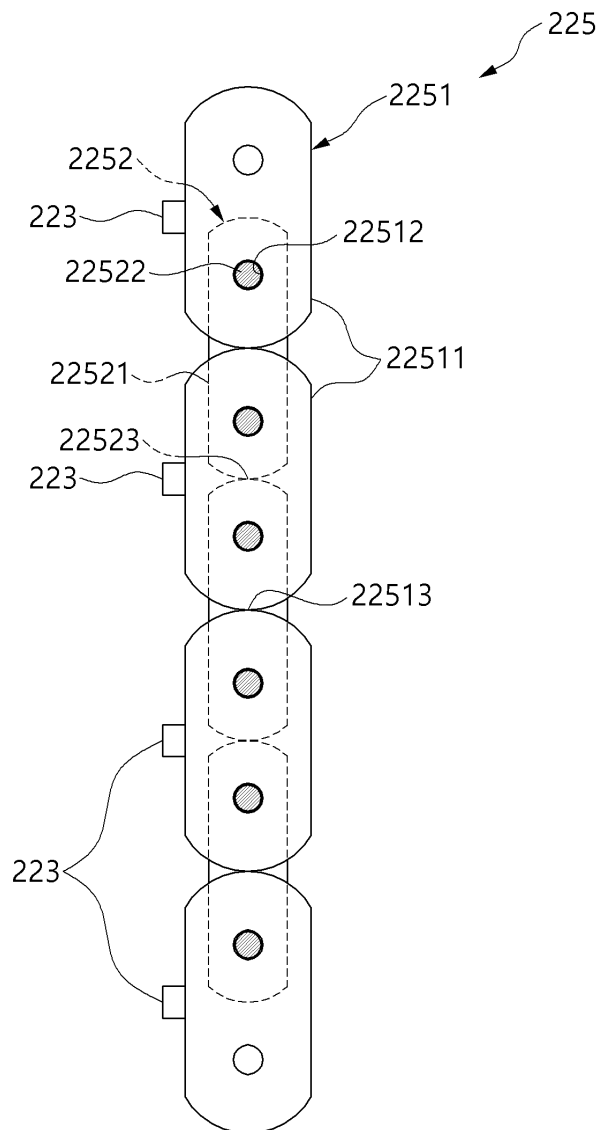
도면11



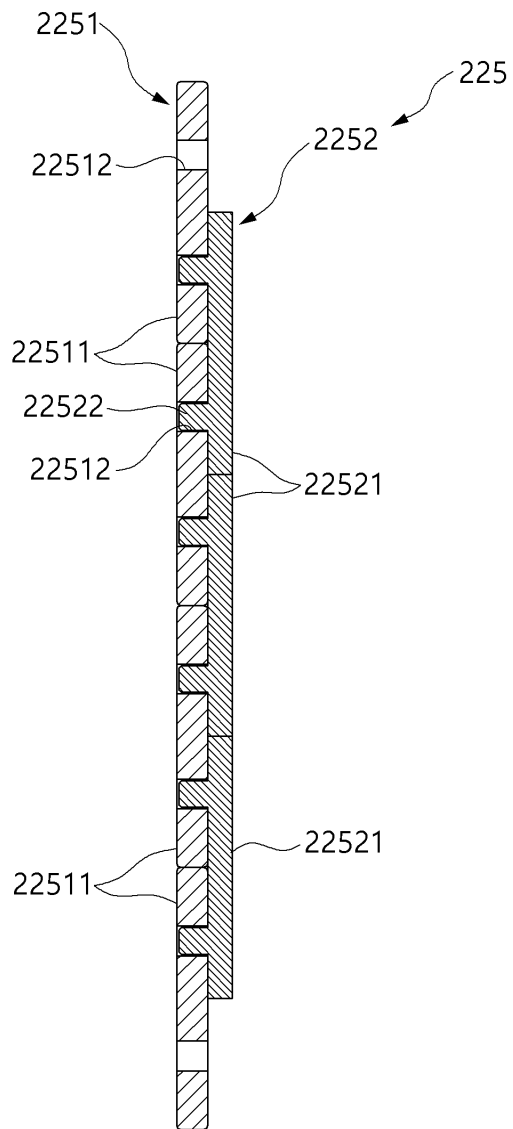
도면12



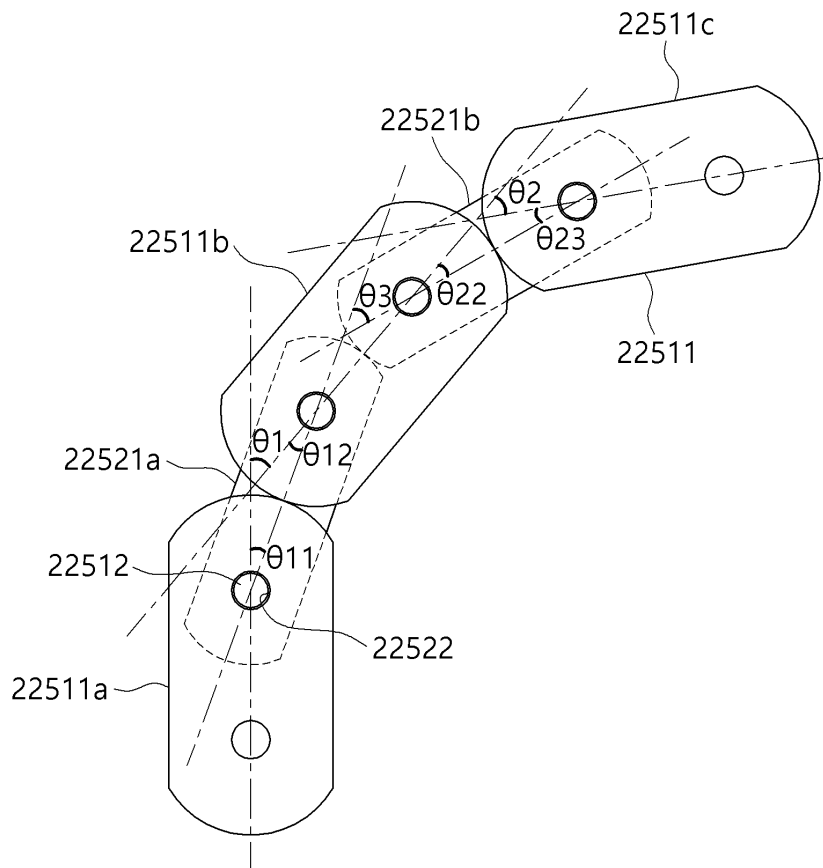
도면13



도면14



도면15



도면16

