



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년07월05일
(11) 등록번호 10-1282673
(24) 등록일자 2013년07월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 3/80 (2006.01) G01H 15/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0131710
(22) 출원일자 2011년12월09일
심사청구일자 2011년12월09일
(65) 공개번호 10-2013-0065029
(43) 공개일자 2013년06월19일
(56) 선행기술조사문헌
KR101010099 B1
M. A. Poletti, "Three-Dimensional Surround Sound Systems Based on Spherical Harmonics", Journal of the Audio Engineering Society, Vol.53, No.11 pp.1004-1025(2005 .11)
JP2009257944 A

(73) 특허권자
현대자동차주식회사
서울특별시 서초구 현릉로 12 (양재동)
(72) 발명자
이종현
경기도 화성시 현대연구소로 150, 현대기아자동차 남양연구소 기능시험1팀 (장덕동)
이명환
경기도 군포시 산본2동 산본2차 e-편한세상 103-303
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
한라특허법인

전체 청구항 수 : 총 4 항

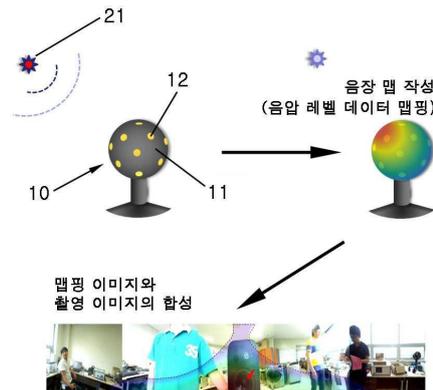
심사관 : 윤지영

(54) 발명의 명칭 **음원 위치 추정 방법**

(57) 요약

본 발명은 음원 위치 추정 방법에 관한 것으로서, 저주파 소음원에 대한 정확한 음압 분포를 예측할 수 있고, 저주파 소음원에 대한 음장 가시화의 해상도를 향상시킬 수 있는 음원 위치 추정 방법에 주된 목적이 있는 것이다. 상기한 목적을 달성하기 위하여, 구형 본체의 표면에 마이크로폰들을 고정 배열하여 구성된 구형 마이크로폰 어레이 센서를 이용하여 각 마이크로폰에 의해 측정된 음압 신호를 획득하는 과정; 상기 각 마이크로폰에 의해 측정된 음압 신호를 입력값으로 하여 구 표면의 임의의 위치에서의 음압을 산출하기 위한 음압 산출식으로부터 구형 본체 표면의 음압 분포를 구하는 과정; 및 상기 구해진 음압 분포로부터 음원의 위치를 추정하는 과정;을 포함하는 음원 위치 추정 방법이 개시된다.

대표도 - 도3



(72) 발명자

조문환

경기도 화성시 현대연구소로 150, 현대기아자동차
남양연구소 기능시험1팀 (장덕동)

이강덕

경기도 용인시 기흥구 보정동 포스홈타운 205동
1902호

특허청구의 범위

청구항 1

구형 본체의 표면에 마이크로폰들을 고정 배열하여 구성된 구형 마이크로폰 어레이 센서를 이용하여 각 마이크로폰에 의해 측정된 음압 신호를 획득하는 과정;

상기 각 마이크로폰에 의해 측정된 음압 신호를 입력값으로 하여 구 표면의 임의의 위치에서의 음압을 산출하기 위한 음압 산출식으로부터 구형 본체 표면의 음압 분포를 구하는 과정; 및

상기 구해진 음압 분포로부터 음원의 위치를 추정하는 과정;

을 포함하고,

상기 음원의 위치를 추정하는 과정은 상기 구해진 음압 분포의 각 위치별 음압 레벨로부터 음원의 위치를 추정하는 과정인 것을 특징으로 하는 음원 위치 추정 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 음압 산출식은 구형 좌표 임의의 위치에서의 음압을 나타내는 하기 식(1)의 음압 산출식에서 $r=a$ (여기서, a 는 구형 본체 표면의 반지름임)로 하고 음장분포 차수 n 을 마이크로폰의 총 개수를 고려한 하기 식(2)의 최대 차수 N 으로 제한하여 얻어지는 식인 것을 특징으로 하는 음원 위치 추정 방법.

식(1):

$$p(r, \theta, \phi) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{j_n(kr)}{j_n(ka)} \sum_{m=-n}^n Y_n^m(\theta, \phi) \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} p(a, \theta_0, \phi_0) Y_n^m(\theta_0, \phi_0)^* \sin \theta d\theta d\phi$$

여기서, $j_n(kr)$ 은 구형 1종 베셀 함수, n 은 음장분포 차수(order), $m = \{-n, -n+1, \dots, 0, 1, \dots, n-1, n\}$, $Y_n^m(\theta, \phi)$ 은 구면 조화 함수, r 은 구의 반지름, θ 는 구형 좌표의 수평각, ϕ 는 구형 좌표의 수직각, θ_0, ϕ_0 는 각 마이크로폰 위치의 수평각과 수직각, $p(a, \theta_0, \phi_0)$ 는 구형 본체 표면의 각 마이크로폰 위치에서 측정된 음압임.

식(2):

$$M \geq (N+1)^2$$

여기서, M 은 마이크로폰의 총 개수, N 은 최대 차수임.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 음압 산출식으로 하기 식(3)을 사용하는 것을 특징으로 하는 음원 위치 추정 방법.

식(3):

$$p(a, \theta, \phi) =$$

$$\sum_{n=0}^4 \sum_{m=-n}^n Y_n^m(\theta, \phi) \int_0^{2\pi} \int_0^\pi p(a, \theta_0, \phi_0) Y_n^m(\theta_0, \phi_0)^* \sin \theta d\theta d\phi$$

여기서, n은 음장분포 차수(order), $m = \{-n, -n+1, \dots, 0, 1, \dots, n-1, n\}$, $Y_n^m(\theta, \phi)$ 은 구면 조화 함수, a는 구형 본체 표면의 반지름, θ 는 구형 좌표의 수평각, ϕ 는 구형 좌표의 수직각, θ_0, ϕ_0 는 각 마이크로폰 위치의 수평각과 수직각, $p(a, \theta_0, \phi_0)$ 는 구형 본체 표면의 각 마이크로폰 위치에서 측정된 음압임.

청구항 4

삭제

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 음원의 위치를 추정하는 과정은,

이미지 센서 또는 카메라를 이용하여 구형 마이크로폰 어레이 센서 주변 공간의 전방위 평면 이미지를 획득하고, 상기 구해진 음압 분포를 평면 이미지상에 각 위치별 음압 레벨 데이터로 변환하여 맵핑한 뒤, 상기 음압 레벨 데이터가 맵핑된 평면 이미지를 전방위 평면 이미지와 오버레이함으로써 소음원 위치 영역을 가시화한 영상을 얻는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 음원 위치 추정 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 음원 위치 추정 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 저주파 소음원에 대한 정확한 음압 분포를 예측할 수 있고, 저주파 소음원에 대한 음장 가시화의 해상도를 향상시킬 수 있는 음원 위치 추정 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 자동차, 가전제품 등 각종 제품의 소음특성이 주요한 성능지표로 인지되기 시작함에 따라 개발단계에서부터 보다 낮은 소음을 지니는 제품을 만들기 위한 노력이 지속적으로 이루어지고 있다.

[0003] 제품의 소음을 낮추기 위해서는 우선 소음이 어디에서 발생하며 이의 원인이 무엇인지를 알아내고 이에 대한 설계변경을 통하여 발생 소음을 감소시키는 방법이 사용되고 있는데, 이를 위해서는 일차적으로 소음원의 위치를 찾아내는 측정 방법을 필요로 하게 된다.

[0004] 현재 인텐시티 프로브를 이용한 음압 인텐시티의 측정 방법과 마이크로폰 어레이 빔 형성 방법(microphone array beam forming method)을 이용한 소음원 위치 추정 방법이 활용되어지고 있는 추세이다.

[0005] 비교적 최근에 개발된 구형 마이크로폰 어레이를 이용한 소음원 위치 추정 방법은, 여러 개의 소음측정센서인 마이크로폰을 이용하되, 소음원과 소음측정센서 간의 거리 차에 따른 측정신호의 위상 차이를 이용한 신호 처리를 통하여 공간상에서 소음원의 강도 분포를 계산하고, 이의 강/약에 따라 소음원의 위치를 추정하는 기법을 활용한다.

[0006] 이러한 빔 형성 방법에서 측정의 정밀도는 사용 센서의 개수에 따라 결정되는데, 일반적으로 센서의 개수를 많

이 사용할수록 그 성능이 향상되는 것으로 알려져 있다.

- [0007] 한편, 차량 실내공간에서 소음원의 위치 측정 및 음장 가시화를 위한 방법으로는, 빔 형성 방법을 사용하여 소음원의 위치를 추정하고, 이때 다수개(예, 12개)의 이미지 센서 또는 카메라를 이용하여 음원이 존재하는 차량 실내공간의 전방위(360도) 이미지를 획득한 뒤, 상기 빔 형성 방법을 이용하여 얻어진 소음원의 위치를 이미지 센서에 의해 획득된 전방위 이미지에 표시하는 과정으로 진행된다.
- [0008] 소음원의 위치 추정에 사용되는 구형 마이크로폰 어레이에 대해서는 본원 출원인 및 발명자에 의해 출원된 특허 출원 제2011-0093086호(2011.09.15. 출원)에 제시되어 있다.
- [0009] 도 1은 구형 마이크로폰 어레이를 이용하는 종래의 빔 형성 방법을 설명하기 위한 도면으로, 소음원의 위치 추정을 위해 구형 본체(11)의 표면에 다수개의 마이크로폰(12)을 고정 배열하여 구성된 구형 마이크로폰 어레이 센서(10)를 이용한다.
- [0010] 빔 형성 방법의 경우 빔 파워 혹은 빔 출력을 구하여 이를 통해 음원의 위치를 추정하는데, 각 후보 음원의 위치와 구형 본체(11) 표면의 각 마이크로폰(12) 사이의 시간 지연을 계산하여 실제 음원(21)의 위치를 추정하게 된다.
- [0011] 이때, 측정된 각 마이크로폰(12)의 음압 신호와 각 후보 음원 위치에서의 음압 신호와의 상관 관계(빔 파워)를 계산하여 가장 높은 위치를 실제 음원(21)의 위치로 추정하게 된다.
- [0012] 이러한 종래의 빔 형성 방법에서는 빔 파워를 반드시 계산해야 하고, 각 마이크로폰에서 수신된 음압 신호 간의 시간 지연을 조절하여 소음원의 위치를 추정하게 된다.
- [0013] 하기 수학식 1은 시간 영역에서의 빔 출력을 계산하는 식을 나타낸다.

수학식 1

$$z(\vec{k}, t) = \sum_{m=1}^M p_m(t - \Delta_m(\vec{k}))$$

여기서, $z(\vec{k}, t)$ 는 빔 출력

m, M 은 각각 마이크로폰 인덱스와 총 마이크로폰의 개수

$\Delta_m(\vec{k}) = \vec{k} \cdot \vec{r}_m / c$ 은 시간 지연

\vec{k} 은 음파의 진행 방향

\vec{r}_m 은 기준점에서 m 번째 마이크로폰까지의 거리

c 은 공기 중에서의 음파 전파 속도 임.

- [0014]
- [0015] 그러나, 상기와 같은 지연-합 빔 형성 방법의 경우에는 마이크로폰 배열에 존재하는 인접 마이크로폰 사이의 간격에 비해 파장이 충분히 긴 저주파 소음원(약 500Hz 이하)에 대해서는 위치 추정에 한계를 가진다.
- [0016] 이러한 단점은 지연-합 빔 형성 방법을 사용할 때 생기는 피할 수 없는 문제로, 저주파 소음원의 경우 일반 빔 형성 방법을 이용하게 되면 가시화 성능 저하로 인해 해상도가 떨어져 소음원의 위치 추적에 한계를 갖는 것으로 알려져 있다.
- [0017] 도 2는 종래기술의 문제점을 보여주는 도면으로, 반지름이 a 인 마이크로폰 구형 배열을 이용할 경우 도 2에서 알 수 있는 바와 같이 저주파수 대역(ka 가 낮은 영역, 500Hz 이하 영역)에서는 소음원의 위치 추정이 어렵다.
- [0018] 따라서, 이러한 문제점을 해소하기 위해서는 음향 홀로그래피 기법을 이용할 수 있으며, 구형 마이크로폰 어레이에 대한 음장 가시화에 있어서 구면 조화 함수(spherical harmonic function)를 이용하는 상용화된 기술(구형 마이크로폰 어레이에 대한 음향 홀로그래피 기술)이 알려져 있다.
- [0019] 음향 홀로그래피 기법에서는 구면 조화 함수를 이용하여 $r \geq a$ 인 경우에 대한 음장 예측을 수행한다.

- [0020] 그러나, 이러한 음향 홀로그래피 기법에서는 수식적인 한계로 인하여 근거리에 대한 예측만이 가능하다.
- [0021] 즉 종래의 음향 홀로그래피를 사용할 경우에는 음장 가시화를 위해 많은 측정 횟수(차량 실내의 경우 15회 이상)가 요구되고, 이에 수식적으로 많은 계산량을 필요로 하여 오랜 분석시간이 소요되는 문제가 있는 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0022] 따라서, 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 창출한 것으로서, 저주파 소음원에 대한 정확한 음압 분포를 예측할 수 있고, 저주파 소음원에 대한 음장 가시화의 해상도를 향상시킬 수 있는 음원 위치 추정 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0023] 또한 본 발명은 종래의 음향 홀로그래피 기법에 비해서는 측정 횟수 및 시간, 계산량을 줄일 수 있는 음원 위치 추정 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0024] 상기한 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은, 구형 본체의 표면에 마이크로폰들을 고정 배열하여 구성된 구형 마이크로폰 어레이 센서를 이용하여 각 마이크로폰에 의해 측정된 음압 신호를 획득하는 과정; 상기 각 마이크로폰에 의해 측정된 음압 신호를 입력값으로 하여 구 표면의 임의의 위치에서의 음압을 산출하기 위한 음압 산출 식으로부터 구형 본체 표면의 음압 분포를 구하는 과정; 및 상기 구해진 음압 분포로부터 음원의 위치를 추정하는 과정;을 포함하는 음원 위치 추정 방법을 제공한다.

발명의 효과

- [0025] 이에 따라, 본 발명의 음원 위치 추정 방법에서는, 구형 마이크로폰 어레이 센서의 표면에서 측정되는 음압을 이용하여 구 표면에서의 음압 분포를 예측한 뒤, 예측된 음압 분포를 바탕으로 음원 위치를 추정함으로써, 종래의 빔 형성 방법을 이용하는 것에 비해 저주파 소음원에 대한 정확한 음압 분포 예측 및 음원 위치 추정이 가능하고, 저주파 소음원에 대한 음장 가시화의 해상도를 향상시키는 이점이 있게 된다.
- [0026] 또한 종래의 음향 홀로그래피 기법에 비해서는 측정 횟수 및 시간, 계산량을 줄일 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0027] 도 1은 구형 마이크로폰 어레이를 이용하는 종래의 빔 형성 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 종래기술의 문제점을 보여주는 도면이다.
- 도 3은 본 발명에 따른 음장(음압) 분포 예측 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 7은 구형 좌표에서 각 파라미터를 나타낸 도면이다.
- 도 8은 종래와 본 발명에 따른 음장 표시의 일례를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대해 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명하기로 한다.
- [0029] 도 3은 본 발명에 따른 음원 위치 추정 및 음장(음압) 분포 예측 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0030] 본 발명에서 소음원의 위치를 추정하기 위해 도시된 바와 같이 구형 본체(11)의 표면에 다수개(예, 30개)의 마이크로폰(12)을 고정 배열하여 구성된 구형 마이크로폰 어레이 센서(10)를 이용하게 된다.

- [0031] 이러한 구형 마이크로폰 어레이 센서(10)를 차량 실내공간에 설치하고, 각 마이크로폰(12)에 의해 측정되는 음압 신호를 이용하는 경우, 후술하는 바와 같이 구 표면(센서의 구형 본체 표면)에서의 음압 분포를 구할 수 있고, 또한 구해진 음압 분포로부터 차량 실내공간에서의 소음원 위치를 추정하는 것이 가능해진다.
- [0032] 상기 소음원 위치 추정은 구해진 음압 분포의 각 위치별 음압 레벨로부터 음원의 위치를 추정하는 과정으로, 구해진 음압 분포를 평면 이미지(rainbow palette)상에 각 위치별 음압 레벨 데이터(SPL:Sound Pressure Level)로 변환하여 맵핑한 뒤, 이를 별도 촬영된 차량 실내공간의 전방위 평면 이미지상에 표시하여 소음원 위치 영역을 가시화한 영상을 얻는 과정을 포함하는 것이 될 수 있다.
- [0033] 즉 다수개(예, 12개)의 이미지 센서 또는 카메라를 이용하여 소음원이 존재하는 차량 실내공간(센서 주변 공간)의 전방위(360도) 평면 이미지를 별도로 획득한 뒤, 구형 마이크로폰 어레이 센서(10)를 통해 구해진 구 표면에서의 음압 분포를 평면 이미지상에 음압 레벨 데이터로 변환하여 맵핑하고, 음압 레벨 데이터가 맵핑된 평면 이미지를 전방위 평면 이미지와 합성함으로써 소음원 위치 영역을 시각적으로 알 수 있도록 하는 영상을 얻는 것이다.
- [0034] 이러한 본 발명의 위치 추정 방법은 구형 각 마이크로폰(12)에 의해 측정되는 음압 신호를 이용하여 빔 파워의 계산 없이 바로 구 표면에서의 음압(음장) 분포를 예측한 후 음원의 위치를 추정한다 점에서 차별화된 특징이 있다.
- [0035] 특히 본 발명의 위치 추정 방법은 저주파(500Hz 이하 영역) 소음원의 위치를 정확히 추정할 수 있는 방법으로, 저주파 영역의 소음원에 대한 위치 추정을 위해서 구형 마이크로폰 어레이 센서(10)의 표면에서 측정된 음압 신호를 이용하여 구 표면(마이크로폰이 배열된 구형 본체 표면을 의미함)에서의 음압 분포를 예측한다.
- [0036] 이때, 저주파 영역의 소음원에 대해 구면 조화 함수(spherical harmonic function)를 이용하여 구 표면에서의 음압 분포를 예측하고(하기 수학식 4, 6 참조), 예측된 음압 분포로부터 임의의 위치 및 거리에 있는 소음원의 존재 여부를 추정하게 된다.
- [0037] 이와 같이 구형 마이크로폰 어레이 센서(10)의 표면에서 측정되는 음압을 이용하여 구 표면에서의 음압 분포를 예측한 뒤, 예측된 음압 분포를 바탕으로 음원 위치를 추정함으로써, 종래의 빔 형성 방법을 이용하는 것에 비해 저주파 소음원에 대한 정확한 음압 분포 예측 및 음원 위치 추정이 가능하고, 저주파 소음원에 대한 음장 가시화의 해상도를 향상시키는 이점이 있게 된다.
- [0038] 이와 더불어 종래의 음향 홀로그래피 기법에 비해서는 측정 횟수 및 시간, 계산량을 줄일 수 있다.
- [0039] 이하, 본 발명을 보다 상세히 설명하면, 먼저 도 1에 나타난 바와 같이 구형 마이크로폰 어레이 센서(10)의 구형 본체(11) 표면에 배열된 각 마이크로폰(12)에서 음압을 측정하고, 측정된 각 마이크로폰 위치에서의 음압 신호를 바탕으로 하기 수학식 6으로부터 구 표면에서의 음압 분포를 예측하게 된다.
- [0040] 이때, 음장이 평면파들의 무수히 많은 조합들로 이루어진다는 가정이 필요하다.
- [0041] 또한 본 발명에서 강제 구형 마이크로폰 어레이 센서(10)를 사용하므로 내부 문제로 생각할 수 있는데, 만약 구의 반지름, 즉 구형 마이크로폰 어레이 센서(10)의 반지름(=구형 본체의 반지름)이 a 라면 $r \geq a$ 인 경우에 음장은 수학식 2와 같이 정의될 수 있다.

수학식 2

[$r \geq a$ 인 경우 임의의 위치 (θ, ϕ) 의 음압 신호]

$$p(r, \theta, \phi, \omega) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n A_{mn}(\omega) j_n(kr) Y_n^m(\theta, \phi)$$

여기서, $j_n(kr)$ 은 구형 1종 베셀 함수(spherical Bessel function)

n 은 음장분포 차수(order)

$m = \{-n, -n+1, \dots, 0, 1, \dots, n-1, n\}$

$Y_n^m(\theta, \phi)$ 는 구형 조화 함수(spherical harmonic functions)

ω 는 각주파수(rad/s) 임.

[0042]

[0043] 상기 수학식 2에서 (r, θ, ϕ) 는 도 7에 나타낸 구형 좌표에서의 각 파라미터를 나타내며, r 은 구의 반지름을, θ 는 구형 좌표의 수평각을, ϕ 는 구형 좌표의 수직각을 나타낸다.

[0044] 또한 상기 수학식 2에서 m 은 음장분포 차수 n 으로 구성되는 음장분포 모드를 나타내는 것으로, 잘 알려진 수학식 1에서 마이크로폰 인덱스를 나타내는 m 과는 다른 값을 밝혀둔다.

[0045] 또한 상기 수학식 2에서 계수 A_{mn} 은 주파수에 관한 함수로, 한 주파수에 대해서는 하기 수학식 3과 같이 구할 수 있으며, 이때 $p(a, \theta_0, \phi_0)$ 는 각 마이크로폰(12)으로부터 측정하여 구할 수 있다.

수학식 3

[구하고자 하는 계수]

$$A_{mn} = \frac{1}{j_n(ka)} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} p(a, \theta_0, \phi_0) Y_n^m(\theta_0, \phi_0)^* \sin \theta d\theta d\phi$$

[0046]

[0047] 여기서, A_{mn} 을 구하기 위해 표현되는 θ_0, ϕ_0 는 센서(10)에서 각 마이크로폰(12)의 위치를 의미하고, a 는 마이크로폰(12)이 구 표면(구형 본체 표면)에 배열된 구형 마이크로 폰 어레이 센서(10)의 반지름(즉, 구형 본체의 반지름)이다.

[0048] 이와 같이 다수개의 마이크로폰(12)(예, 30개)에 의해 측정된 음압 신호를 바탕으로 수학식 3에 나타낸 바와 같이 계수 A_{mn} 을 수학적으로 구해낼 수 있으며, 이는 계수 A_{mn} 으로부터 구 표면에서의 음압 분포(=음장 분포)를 해석적으로 예측할 수 있음을 의미한다.

[0049] 결국, 이를 이용하여 구 표면에서의 음압 분포를 예측하고, 그로부터 음원이 마이크로폰 배열상의 어느 방향 및 위치에 있는지를 추정할 수 있다.

[0050] 상기 수학식 2와 3을 이용하여 각 계수들을 구하면 구형 좌표 임의의 위치 (r, θ, ϕ) 에서의 음압($r \geq a$)을 산출하기 위한 음압 산출식은 하기 수학식 4와 같이 표현된다.

수학식 4

[임의의 위치에서의 음압 신호]

$$p(r, \theta, \phi) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{j_n(kr)}{j_n(ka)} \sum_{m=-n}^n Y_n^m(\theta, \phi) \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} p(a, \theta_0, \phi_0) Y_n^m(\theta_0, \phi_0)^* \sin \theta d\theta d\phi$$

[0051]

[0052] 상기 수학식 4에서 n은 음장분포 차수(order)를 나타내고, m은 음장분포 차수 n으로 구성되는 음장분포 모드를 나타낸다.

[0053] 상기 수학식 4에서 구 표면(센서의 구형 본체 표면)에서의 음압은 r=a인 경우를 의미한다.

[0054] 그리고, 음장분포 차수 n은 마이크로폰 개수로부터 미지수의 제한이 생기므로, 마이크로폰 개수보다 더 적은 미지수를 발생시키도록 정해져야 하며, 이 관계는 하기 수학식 5에 나타낸 바와 같다.

[0055] 예를 들어, 본 발명에서 마이크로폰 30개(M=30)를 갖는 구형 마이크로폰 어레이 센서(10)를 사용하는 경우 수학식 5의 최대 차수 N은 4로 설정될 수 있다(N=4로 차수 제한).

수학식 5

[마이크로폰의 개수와 차수 사이의 관계]

$$M \geq (N+1)^2$$

여기서, M은 마이크로폰의 총 개수

N은 최대 차수 임.

[0056]

[0057] 이에 따라, 구 표면에서의 조건 'r=a'과, 차수 제한 조건 'n=4'를 적용하는 경우 수학식 5로부터 수학식 6이 구해질 수 있으며, 최종적으로 구 표면에서의 음압 분포는 수학식 6으로부터 예측될 수 있다.

수학식 6

[임의의 위치에서의 음압 신호 (차수 제한)]

$$p(a, \theta, \phi) = \sum_{n=0}^4 \sum_{m=-n}^n Y_n^m(\theta, \phi) \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} p(a, \theta_0, \phi_0) Y_n^m(\theta_0, \phi_0)^* \sin \theta d\theta d\phi$$

[0058]

[0059] 상기 수학식 6은 각 마이크로폰(12)에 의해 측정된 음압 신호를 입력 값으로 하여 구 표면(마이크로폰 어레이 센서에서 마이크로폰이 배열된 구형 본체 표면을 의미함)의 임의의 위치에서의 음압을 산출하기 위한 음압 산출

식이다.

- [0060] 또한 음장분포 차수 n 을 마이크로폰의 총 개수를 고려한 수학적 식 5의 최대 차수 $N(=4)$ 으로 제한하여 얻어진 식이다.
- [0061] 이때, 실제로 측정된 지점, 즉 마이크로폰의 위치인 θ_0, ϕ_0 는 θ, ϕ 에 포함되어 있으므로, 측정 지점을 포함한 임의의 모든 지점에 대해 음장 예측이 가능하며, 단 구의 표면인 $r=a$ 인 위치에서 음장 예측이 가능하다.
- [0062] 결국, 상기 수학적 식 6으로부터 구 표면에서의 음압 분포를 구한 뒤, 이러한 구 표면에서의 음압 분포로부터 센서 주변 공간에 위치하는 음원의 위치 추정이 가능하고, 또한 음원의 위치 추정이 가능한 정보를 생성하는 것이 가능하다.
- [0063] 즉, 구해진 음압 분포에서 각 위치별 음압의 레벨이 높은 영역을 음원이 위치한 영역으로 추정할 수 있는데, 구해진 음압 분포로부터 음원의 위치를 시각적으로 확인할 수 있는(음원의 위치가 표시된) 이미지를 생성하는 음장 가시화가 수행될 수 있고, 이때 음압 분포를 레벨에 따라 식별 가능한 컬러나 음영 등으로 구분하여 나타내는 것이 가능하다.
- [0064] 이때, 구 표면에서의 음압 분포를 평면 이미지(rainbow palette)상에 음압 레벨(SPL) 데이터로 변환하여 맵핑함으로써 컬러(예를 들면, 8비트의 RGB 컬러)나 음영 등으로 구분, 표시하고, 이를 촬영된 이미지와 합성하여 소음원 위치 영역을 시각적으로 알 수 있도록 하는 영상을 얻는 음장 가시화 과정을 수행한다.
- [0065] 음압 분포로부터 소음원의 위치 영역을 표시하여 소음원의 위치를 시각적으로 확인 가능한 이미지로 만들어주는 음장 가시화의 일례를 살펴보면 다음과 같다.
- [0066] 먼저 다수개의 이미지 센서 또는 카메라를 이용하여 획득된 구형 마이크로폰 어레이 센서 주변 공간의 전방위 이미지, 즉 차량 실내공간의 전방위 이미지를 도 3에 나타낸 바와 같이 넓게 펼친 듯한 전방위 평면 이미지로 가공한다.
- [0067] 또한 수학적 식 6으로부터 구해진 구 표면에서의 음압 분포를 평면 이미지(rainbow palette)상에 음압 레벨(SPL) 데이터로 변환하여 맵핑함으로써 음압 레벨 데이터가 맵핑된 평면 이미지를 생성한다.
- [0068] 도 4는 구 표면에서의 각 위치별 음압 분포를 RGB 컬러의 음압 레벨 데이터로 변환하여 평면 이미지상의 해당 위치에 맵핑하는 일례를 보여주고 있는데, 구해진 임의의 위치에서의 음압(P_i)을 구해진 음압의 최대값(P_{max})과 최소값(P_{min})을 이용하여 평면 이미지상에 맵핑될 음압 레벨 데이터로 변환하는 예를 보여주고 있다.
- [0069] 이때, 수치로 측정된 값을 이미지에 표현하기 위해 255의 단계를 가지고 있는 음압 레벨 데이터로 변환할 수 있으며, 측정된 최대값과 최소값 사이를 255의 단계로 나누어, 그 사이의 값으로 임의의 위치에서의 음압을 표현한다.
- [0070] 이어 상기 전방위 평면 이미지와 맵핑된 평면 이미지에 대해 각 픽셀 위치별로 매칭하여 픽셀 데이터를 오버레이(overlay)하는 방식으로 평면 이미지에 맵핑된 음압 레벨 데이터(예로서, 도 4의 컬러로 변환됨)를 전방위 평면 이미지상에 합성하여 표시하면, 소음원 위치 영역이 가시화되는 하나의 이미지를 얻을 수 있게 된다.
- [0071] 촬영된 전방위 평면 이미지와 SPL 데이터가 맵핑된 평면 이미지(rainbow palette)의 데이터를 오버레이함에 있어서, 촬영된 이미지의 32비트(bit) RGB 컬러는 도 5에 나타낸 바와 같이 8비트의 알파(alpha), 레드(red), 그린(green), 블루(blue) 값으로 구성되므로, 각 픽셀별로 촬영된 이미지의 알파 값을 제외한 레드(red), 그린(green), 블루(blue)의 RGB 성분과, 음압 레벨 데이터가 맵핑된 평면 이미지의 RGB 성분을 분리한 뒤 합함으로써 소음원의 위치가 표시된 최종의 이미지(도 3 및 도 8 참조)를 생성할 수 있다.
- [0072] 이때, 각 평면 이미지의 컬러는 레드, 그린, 블루의 8비트 데이터로 분리하여 각각 표현할 수 있는데, 촬영된 평면 이미지와 음압 레벨 데이터가 맵핑된 평면 이미지의 레드, 그린, 블루의 RGB 성분을 분리하여 각 요소끼리 더한 후 분리된 RGB 성분을 합하면 오버레이된 이미지가 표현된다.
- [0073] 여기서 인자 맵 데이터에 보정값(0 ~ 1)을 곱하여 투명도를 조정할 수도 있다.
- [0074] 도 8을 참조하면, 상술한 가시화 과정의 결과물로서 전방위 평면 이미지(예를 든 것으로, 도 8의 이미지가 차량 실내공간의 이미지는 아님)에 음압 분포로부터 구해진 소음원 위치 영역이 표시되어 있다.
- [0075] 도 8에서 종래의 빔 형성 방법에 의한 것과 본 발명에 의한 것을 비교하여 나타내고 있으며, 본 발명의 경우 종

래의 빔 형성 방법에 비해 보다 정확한 소음원의 위치 추정이 가능하고, 보다 개선된 가시화 해상도를 얻을 수 있음을 보여주고 있다.

[0076] 하기 표 1은 종래기술에 따른 빔 형성 방법과 본 발명에 따른 음압 예측 방법의 차이점을 비교하여 나타낸 것이다.

표 1

구 분	종래(빔 형성 방법)	본 발명
빔 파워	계산 필요	계산 불필요
알고리즘	각 마이크로폰에서 수신된 음압 신호별 시간 지연 조절	각 모드별 모드 상수 A_{mm} 계산
표현 값	빔파워	예측 음압 신호
추정 거리	배열로부터 멀리 떨어져도 추정 가능	배열로부터 상대적으로 가까운 거리일 때 음압 분포 예측 가능
주파수 범위	마이크로폰 배열과 관련	저주파 (500 Hz 이하)

[0077]

[0078] 이와 같이 하여, 본 발명에서는 빔 파워의 계산 없이 마이크로폰에 의해 측정된 음압 신호만을 사용하여 구표면에서의 음압 분포를 예측하고, 예측된 음장 분포로부터 음원의 위치를 추정할 수 있는 바, 저주파 영역의 음원 위치를 정확히 추정할 수 있는 이점이 있으며, 저주파 소음원에 대한 음장 가시화의 해상도를 향상시키는 이점이 있게 된다.

[0079] 이와 더불어 종래의 음향 홀로그래피 기법(구면 조화 함수를 이용하여 $r \geq a$ 에 대한 음장 예측을 수행)에 비해서는 측정 횟수 및 시간, 계산량을 줄일 수 있다.

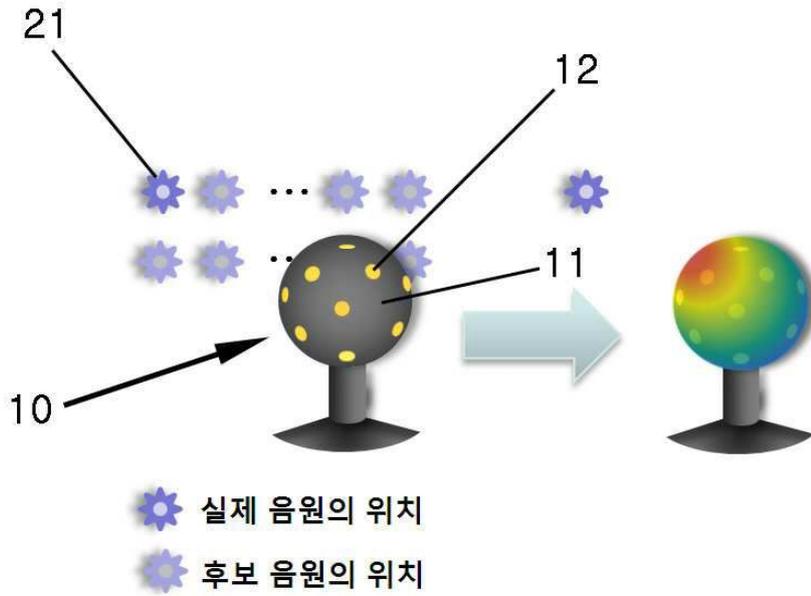
[0080] 이상으로 본 발명의 실시예에 대해 상세히 설명하였는 바, 본 발명의 권리범위는 상술한 실시예에 한정되지 않으며, 다음의 특허청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 포함된다.

부호의 설명

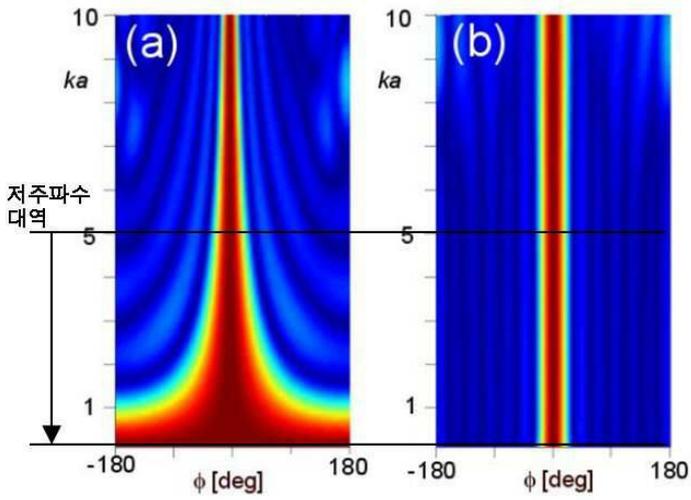
- [0081] 10 : 구형 마이크로폰 어레이 센서
- 11 : 구형 본체
- 12 : 마이크로폰
- 21 : 실제 음원 위치

도면

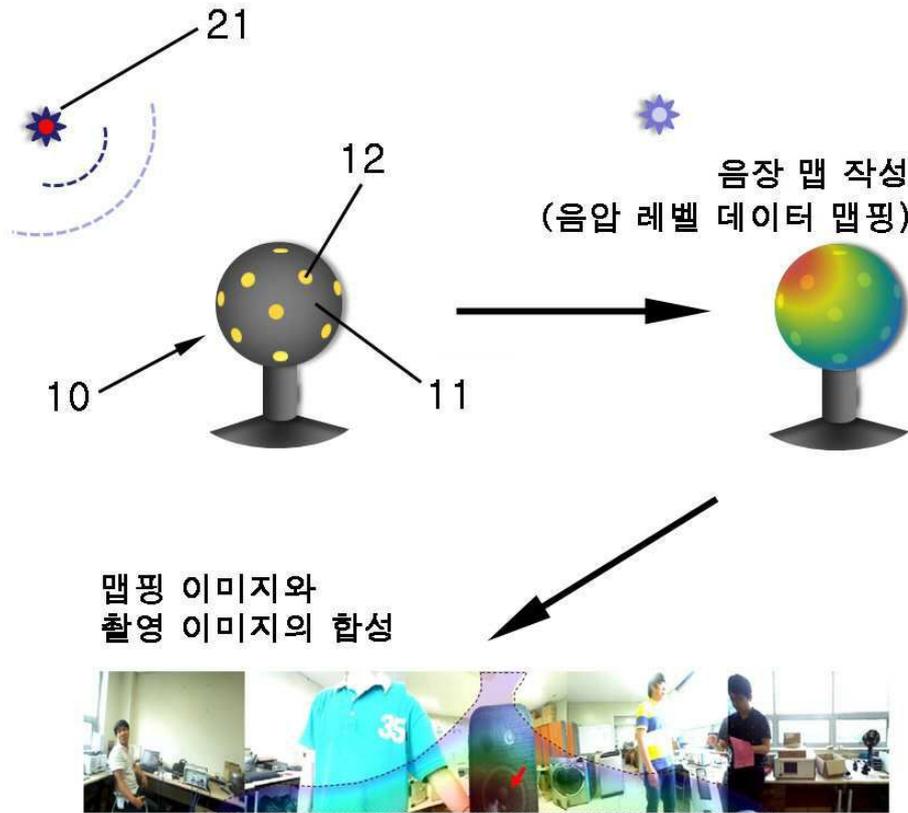
도면1



도면2



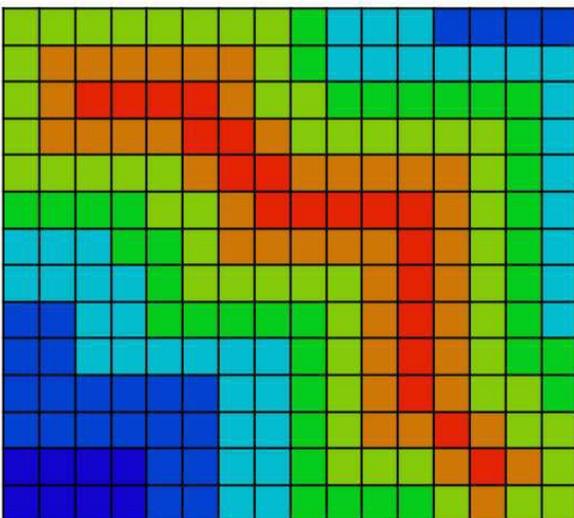
도면3



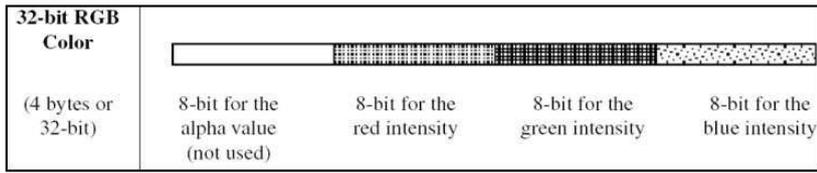
도면4

- 평면상의 음압 레벨 데이터로 변환

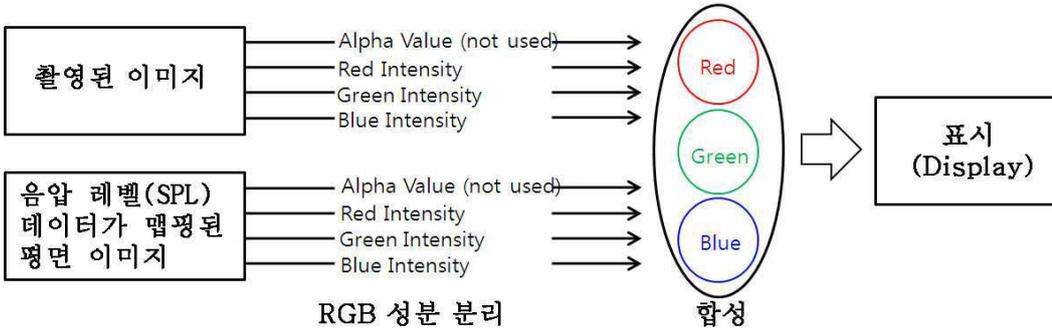
- $\frac{P_i - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} \times 255$



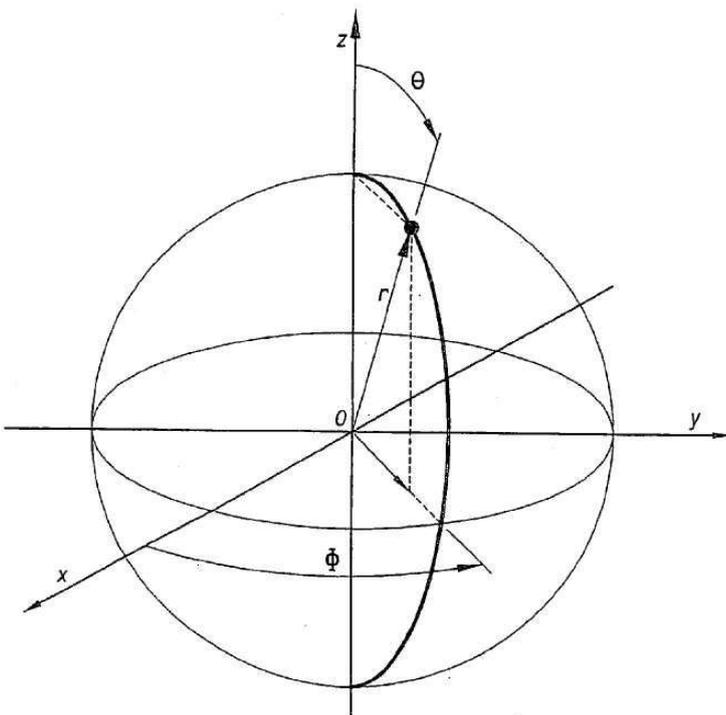
도면5



도면6



도면7



도면8

