(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년01월24일
(11) 등록번호 10-1821923
(24) 등록일자 2018년01월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01H 17/00 (2006.01) *B60Q 5/00* (2006.01)
G10L 21/0208 (2013.01)
(52) CPC특허분류
G01H 17/00 (2013.01)
B60Q 5/008 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0022289
(22) 출원일자 2017년02월20일
심사청구일자 2017년02월20일
(56) 선행기술조사문헌
JP09081162 A*
KR101330923 B1*
KR1020050053953 A*
Improvement of impact noise in a passenger car utilizing sound metric based on wavelet transform(Journal of Sound and Vibration 329(2010) 3606-3619, 2010.08.26. 공개)*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
이상권
서울특별시 강남구 선릉로 120, 8동 301호 (대치동, 개포2차 우성아파트)
이승민
강원도 춘천시 퇴계로 220-20, 306동 1402호 (석사동, 현대아파트)
한만욱
서울특별시 관악구 성현로 80, 125동 901호 (봉천동, 관악드림타운아파트)
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 16 항 심사관 : 김기환

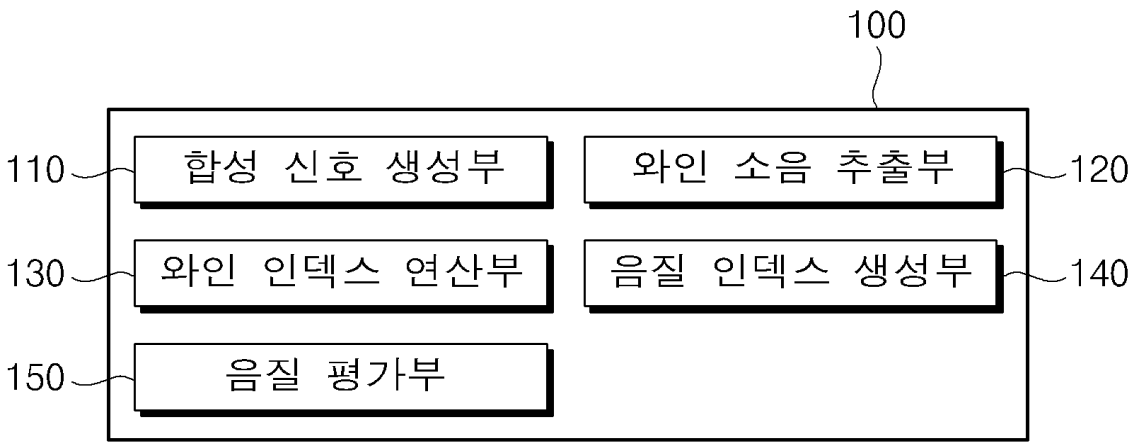
(54) 발명의 명칭 **마스킹 효과를 고려한 전기자동차 경고음 음질 평가 방법 및 그 장치**

(57) 요 약

본 발명은 마스킹 효과를 고려한 전기자동차 경고음 음질 평가 방법 및 그 장치에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 복수의 경고음과 복수의 배경 소음 간을 서로 조합하여 복수의 합성 신호를 생성하는 단계와, 상기 복수의 합성 신호로부터 상기 배경 소음에 의해 마스킹된 와인 소음(Whine Noise) 신호를 각각 추출하는 단계와, 상기

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도2



와인 소음 신호에 대한 시간 및 주파수 영역의 신호 특성에서 검출되는 신호 레벨들을 이용하여 상기 와인 소음 신호의 음질 지수인 와인 인덱스(Whine Index)를 연산하는 단계, 및 상기 합성 신호별 피검자의 짜증도를 청음평가한 주관적 평가치들과 상기 합성 신호별 연산한 상기 와인 인덱스들을 이용하여, 소정의 와인 인덱스에 대응하는 짜증도 지수를 연산하기 위한 짜증도 인덱스 식을 생성하는 단계를 포함하는 전기자동차 경고음 음질 평가 방법을 제공한다.

본 발명에 의하면, 주변의 배경소음에 의해 마스킹된 전기자동차 경고음의 음질을 마스킹 효과를 고려하여 객관적으로 평가할 수 있으며 전기자동차 경고음의 음질 평가 인덱스를 신뢰성 있게 제공할 수 있다. 또한, 실제 전기자동차 경고음으로부터 와인 인덱스를 추출하는 것만으로 경고음의 짜증도 지수 및 인지성 지수를 손쉽게 예측할 수 있어 전기자동차 경고음의 객관적 평가 및 음질 향상에 기여할 수 있다.

(52) CPC특허분류
G10L 21/0208 (2013.01)
B60Y 2200/91 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711043253
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 개인연구지원
연구과제명 휴먼의 감성을 고려한 친환경 차량 음질설계 기술
기 여 율 1/1
주관기관 인하대학교
연구기간 2016.11.01 ~ 2017.10.31
공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

복수의 경고음과 복수의 배경 소음 간을 서로 조합하여 복수의 합성 신호를 생성하는 단계;

상기 복수의 합성 신호로부터 상기 배경 소음에 의해 마스킹된 와인 소음(Whine Noise) 신호를 각각 추출하는 단계;

상기 와인 소음 신호에 대한 시간 및 주파수 영역의 신호 특성에서 검출되는 신호 레벨들을 이용하여 상기 와인 소음 신호의 음질 지수인 와인 인덱스(Whine Index)를 연산하는 단계; 및

상기 합성 신호별 피검자의 짜증도를 청음평가한 주관적 평가치들과 상기 합성 신호별 연산한 상기 와인 인덱스들을 이용하여, 소정의 와인 인덱스에 대응하는 짜증도 지수를 연산하기 위한 짜증도 인덱스 식을 생성하는 단계를 포함하는 전기자동차 경고음 음질 평가 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 와인 인덱스를 연산하는 단계는,

상기 와인 소음 신호를 VFR-STFT(Short Time Fourier Transform with Variable Frequency Resolution) 처리하여 얻은 시간 및 주파수 영역의 신호 특성에서 검출되는 상기 신호 레벨들을 이용하여 상기 와인 인덱스를 획득하는 전기자동차 경고음 음질 평가 장치.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 와인 인덱스(WI)는 아래의 수학식으로 정의되는 전기자동차 경고음 음질 평가 방법:

$$WI = \sum_{f=0} \sum_{t=0} W(t,f)$$

여기서, (t,f)는 상기 시간 및 주파수 영역의 신호 특성에서 상기 신호 레벨이 검출된 지점, W(t,f)는 (t,f) 지점의 신호 레벨을 나타낸다.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 짜증도 지수(AI)를 연산하기 위한 짜증도 인덱스 식은 아래의 수학식으로 정의되는 전기자동차 경고음 음질 평가 방법.

$$AI = 0.91836WI + 0.05696$$

청구항 5

청구항 3에 있어서,

전체 주파수 영역 중 상기 VFR-STFT 처리 시 제1 주파수 분해능이 적용된 주파수 구간에 대한 주파수 분해능을 상기 제1 주파수에서 제2 주파수로 확장하여, 상기 시간 및 주파수 영역의 신호 특성을 수정한 다음, 전체 시간 영역 중에서 상기 검출된 신호 레벨들의 합이 설정 값 이상인 시간을 탐색하여, 확장된 와인 인덱스(Extended Whine Index)를 획득하는 단계; 및

상기 합성 신호별 피검자의 인지성을 청음평가한 주관적 평가치들과, 상기 합성 신호별 연산한 상기 확장된 와인 인덱스들을 이용하여, 소정의 확장된 와인 인덱스에 대응하는 인지성 지수를 연산하기 위한 인지성 인덱스 식을 생성하는 단계를 더 포함하는 전기자동차 경고음 음질 평가 방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 확장된 와인 인덱스(EWI)는 아래의 수학식으로 정의되는 전기자동차 경고음 음질 평가 방법:

$$EWI = \text{find time t } \langle \sum_{f=0} W(t,f) > 17dB \rangle$$

여기서, 17dB는 상기 설정 값, find time t는 <·> 조건에 해당하는 시간을 탐색함을 의미한다.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 인지성 지수(DI)를 연산하기 위한 인지성 인덱스 식은 아래의 수학식으로 정의되는 전기자동차 경고음 음질 평가 방법.

$$DI = 0.4229EWI + 2.814$$

청구항 8

청구항 5에 있어서,

임의 전기자동차에서 경고음 발생 시 주변 배경 소음과 합산되어 측정되는 경고음 신호로부터 상기 와인 인덱스 및 상기 확장된 와인 인덱스를 연산하는 단계; 및

상기 연산한 와인 인덱스 및 확장된 와인 인덱스를 각각의 인덱스 식에 대입하여, 상기 경고음 신호에 대한 짜증도 지수 및 상기 인지성 지수를 획득하는 단계를 더 포함하는 전기자동차 경고음 음질 평가 방법.

청구항 9

복수의 경고음과 복수의 배경 소음 간을 서로 조합하여 복수의 합성 신호를 생성하는 합성 신호 생성부;

상기 복수의 합성 신호로부터 상기 배경 소음에 의해 마스킹된 와인 소음(Whine Noise) 신호를 각각 추출하는 와인 소음 추출부;

상기 와인 소음 신호에 대한 시간 및 주파수 영역의 신호 특성에서 검출되는 신호 레벨들을 이용하여 상기 와인 소음 신호의 음질 지수인 와인 인덱스(Whine Index)를 연산하는 와인 인덱스 연산부; 및

상기 합성 신호별 피검자의 짜증도를 청음평가한 주관적 평가치들과 상기 합성 신호별 연산한 상기 와인 인덱스들을 이용하여, 소정의 와인 인덱스에 대응하는 짜증도 지수를 연산하기 위한 짜증도 인덱스 식을 생성하는 음질 인덱스 생성부를 포함하는 전기자동차 경고음 음질 평가 장치.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 와인 인덱스 연산부는,

상기 와인 소음 신호를 VFR-STFT(Short Time Fourier Transform with Variable Frequency Resolution) 처리하여 얻은 시간 및 주파수 영역의 신호 특성에서 검출되는 상기 신호 레벨들을 이용하여 상기 와인 인덱스를 획득하는 전기자동차 경고음 음질 평가 장치.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

상기 와인 인덱스(WI)는 아래의 수학식으로 정의되는 전기자동차 경고음 음질 평가 장치:

$$WI = \sum_{f=0} \sum_{t=0} W(t,f)$$

여기서, (t,f)는 상기 시간 및 주파수 영역의 신호 특성에서 상기 신호 레벨이 검출된 지점, W(t,f)는 (t,f) 지점의 신호 레벨을 나타낸다.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 짜증도 지수(AI)를 연산하기 위한 짜증도 인덱스 식은 아래의 수학식으로 정의되는 전기자동차 경고음 음질 평가 장치.

$$AI = 0.91836WI + 0.05696$$

청구항 13

청구항 11에 있어서,

상기 와인 인덱스 연산부는,

전체 주파수 영역 중 상기 VFR-STFT 처리 시 제1 주파수 분해능이 적용된 주파수 구간에 대한 주파수 분해능을 상기 제1 주파수에서 제2 주파수로 확장하여, 상기 시간 및 주파수 영역의 신호 특성을 수정한 다음, 전체 시간 영역 중에서 상기 검출된 신호 레벨들의 합이 설정 값 이상인 시간을 탐색하여, 확장된 와인 인덱스(Extended Whine Index)를 추가로 획득하며,

상기 음질 인덱스 생성부는,

상기 합성 신호별 피검자의 인지성을 청음평가한 주관적 평가치들과, 상기 합성 신호별 연산한 상기 확장된 와인 인덱스들을 이용하여, 소정의 확장된 와인 인덱스에 대응하는 인지성 지수를 연산하기 위한 인지성 인덱스 식을 추가로 생성하는 전기자동차 경고음 음질 평가 장치.

청구항 14

청구항 13에 있어서,

상기 확장된 와인 인덱스(EWI)는 아래의 수학식으로 정의되는 전기자동차 경고음 음질 평가 장치:

$$EWI = \text{find time t } \langle \sum_{f=0} W(t,f) > 17dB \rangle$$

여기서, 17dB는 상기 설정 값, find time t는 <·> 조건에 해당하는 시간을 탐색함을 의미한다.

청구항 15

청구항 14에 있어서,

상기 인지성 지수(DI)를 연산하기 위한 인지성 인덱스 식은 아래의 수학식으로 정의되는 전기자동차 경고음 음질 평가 장치.

$$DI = 0.4229EWI + 2.814$$

청구항 16

청구항 13에 있어서,

임의 전기자동차에서 경고음 발생 시 주변 배경 소음과 합산되어 측정되는 경고음 신호로부터 상기 와인 인덱스

및 상기 확장된 와인 인덱스가 연산되면, 상기 연산된 와인 인덱스 및 확장된 와인 인덱스를 각각의 인덱스 식에 대입하여, 상기 짜증도 지수 및 상기 인지성 지수를 획득하는 음질 평가부를 포함하는 전기자동차 경고음 음질 평가 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 전기자동차 경고음 음질 평가 방법 및 그 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 주변 배경 소음에 의한 마스킹 효과를 고려하여 전기자동차의 경고음에 대한 음질 평가를 객관적으로 수행할 수 있는 전기자동차 경고음 음질 평가 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적인 차량의 음질 평가 방법은 녹음된 차량의 소리에 대한 음질요소 분석 데이터와 차량의 소리를 들은 사람의 주관적 평가치 사이의 상관 분석을 회귀 분석을 통해 수행한다.

[0003] 음질요소와 주관적 평가치에 대한 상관함수(인덱스 식)는 회귀 분석을 통해 도출할 수 있으며 이로부터 제품의 최종적 음질지수를 결정할 수 있다. 이러한 음질 평가 방법은 후속 제품의 음질 개선 및 비교와 양산 제품의 음질 평가에 이용될 수 있다.

[0004] 내연기관은 높은 레벨의 음압을 발생시키므로 보행자는 차량이 보이지 않는 코너에서도 차량의 접근을 인지할 수 있다. 반면에 전기자동차의 경우 모터에 의해 구동되므로 기존의 내연기관을 탑재한 자동차에 비하여 소음이 작기 때문에 보행자에 대한 경고음이 필요하다.

[0005] 따라서 미국, 일본 그리고 유럽의 대부분 국가에서는 전기자동차 경고음에 대한 법률을 발표한 바 있다. 자동차 회사들은 AVAS(Approaching Vehicle Audible System)라는 청각적 정보를 제공하는 경고음 발생장치를 설치하기 시작했으며, 법률을 기반으로 경고음 설계에 많은 연구들이 있었다.

[0006] 접근하는 자동차의 경고음은 보행자의 청력을 방해하는 도로와 환경 소음, 즉 배경소음 의해 마스킹(masking)될 수 있다. 배경소음에 의한 마스킹 효과를 줄이기 위해 경고음의 음압을 키우게 되면 인지성은 높아지지만 소음 공해 레벨이 증가하게 되어 보행자의 짜증을 유발시킨다.

[0007] 경고음의 짜증도(Annoyance)와 인지성(Detectability)의 연구는 아직까지 진행중에 있다. 하지만 기존의 연구에서는 배경 소음에 의한 마스킹 효과를 고려하지 않기 때문에 마스킹이 적용된 실제 경고음에 대한 객관적인 평가가 어려운 문제점이 있다.

[0008] 본 발명의 배경이 되는 기술은 한국등록특허 제10-1347492호(2014.01.06 공고)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 주변의 배경소음에 의해 마스킹된 전기자동차 경고음의 음질을 마스킹 효과를 고려하여 객관적으로 평가할 수 있는 전기자동차 경고음 음질 평가 방법 및 그 장치를 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명은, 복수의 경고음과 복수의 배경 소음 간을 서로 조합하여 복수의 합성 신호를 생성하는 단계와, 상기 복수의 합성 신호로부터 상기 배경 소음에 의해 마스킹된 와인 소음(Whine Noise) 신호를 각각 추출하는 단계와, 상기 와인 소음 신호에 대한 시간 및 주파수 영역의 신호 특성에서 검출되는 신호 레벨들을 이용하여 상기 와인 소음 신호의 음질 지수인 와인 인덱스(Whine Index)를 연산하는 단계, 및 상기 합성 신호별 피검자의 짜증도를 청음평가한 주관적 평가치들과 상기 합성 신호별 연산한 상기 와인 인덱스들을 이용하여, 소정의 와인 인덱스에 대응하는 짜증도 지수를 연산하기 위한 짜증도 인덱스 식을 생성하는 단계를 포함하는 전기자동차 경고음 음질 평가 방법을 제공한다.

[0011] 또한, 상기 와인 인덱스를 연산하는 단계는, 상기 와인 소음 신호를 VFR-STFT(Short Time Fourier Transform with Variable Frequency Resolution) 처리하여 얻은 시간 및 주파수 영역의 신호 특성에서 검출되는 상기 신

호 레벨들을 이용하여 상기 와인 인덱스를 획득할 수 있다.

[0012] 또한, 상기 와인 인덱스(WI)는 아래의 수학식으로 정의될 수 있다.

[0013] $$WI = \sum_{f=0} \sum_{t=0} W(t,f)$$

[0014] 여기서, (t,f)는 상기 시간 및 주파수 영역의 신호 특성에서 상기 신호 레벨이 검출된 지점, W(t,f)는 (t,f) 지점의 신호 레벨을 나타낸다.

[0015] 또한, 상기 짜증도 지수(AI)를 연산하기 위한 짜증도 인덱스 식은 아래의 수학식으로 정의될 수 있다.

[0016] $$AI = 0.91836WI + 0.05696$$

[0017] 또한, 상기 전기자동차 경고음 음질 평가 방법은, 전체 주파수 영역 중 상기 VFR-STFT 처리 시 제1 주파수 분해능이 적용된 주파수 구간에 대한 주파수 분해능을 상기 제1 주파수에서 제2 주파수로 확장하여, 상기 시간 및 주파수 영역의 신호 특성을 수정한 다음, 전체 시간 영역 중에서 상기 검출된 신호 레벨들의 합이 설정 값 이상인 시간을 탐색하여, 확장된 와인 인덱스(Extended Whine Index)를 획득하는 단계, 및 상기 합성 신호별 피검자의 인지성을 청음평가한 주관적 평가치들과, 상기 합성 신호별 연산한 상기 확장된 와인 인덱스들을 이용하여, 소정의 확장된 와인 인덱스에 대응하는 인지성 지수를 연산하기 위한 인지성 인덱스 식을 생성하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0018] 또한, 상기 확장된 와인 인덱스(EWI)는 아래의 수학식으로 정의될 수 있다.

[0019] $$EWI = \text{find time t } \langle \sum_{f=0} W(t,f) > 17dB \rangle$$

[0020] 여기서, 17dB는 상기 설정 값, find time t는 <·> 조건에 해당하는 시간을 탐색함을 의미한다.

[0021] 또한, 상기 인지성 지수(DI)를 연산하기 위한 인지성 인덱스 식은 아래의 수학식으로 정의될 수 있다.

[0022] $$DI = 0.4229EWI + 2.814$$

[0023] 또한, 상기 전기자동차 경고음 음질 평가 방법은, 상기 임의 전기자동차에서 경고음 발생 시 주변 배경 소음과 합산되어 측정되는 경고음 신호로부터 상기 와인 인덱스 및 상기 확장된 와인 인덱스를 연산하는 단계, 상기 연산한 와인 인덱스 및 확장된 와인 인덱스를 각각의 인덱스 식에 대입하여, 상기 경고음 신호에 대한 짜증도 지수 및 상기 인지성 지수를 획득하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0024] 그리고, 본 발명은, 복수의 경고음과 복수의 배경 소음 간을 서로 조합하여 복수의 합성 신호를 생성하는 합성 신호 생성부와, 상기 복수의 합성 신호로부터 상기 배경 소음에 의해 마스킹된 와인 소음(Whine Noise) 신호를 각각 추출하는 와인 소음 추출부와, 상기 와인 소음 신호에 대한 시간 및 주파수 영역의 신호 특성에서 검출되는 신호 레벨들을 이용하여 상기 와인 소음 신호의 음질 지수인 와인 인덱스(Whine Index)를 연산하는 와인 인덱스 연산부, 및 상기 합성 신호별 피검자의 짜증도를 청음평가한 주관적 평가치들과 상기 합성 신호별 연산한 상기 와인 인덱스들을 이용하여, 소정의 와인 인덱스에 대응하는 짜증도 지수를 연산하기 위한 짜증도 인덱스 식을 생성하는 음질 인덱스 생성부를 포함하는 전기자동차 경고음 음질 평가 장치를 제공한다.

발명의 효과

[0025] 본 발명에 따른 전기자동차 경고음 음질 평가 방법 및 그 장치에 따르면, 주변의 배경소음에 의해 마스킹된 전기자동차 경고음의 음질을 마스킹 효과를 고려하여 객관적으로 평가할 수 있으며 전기자동차 경고음의 음질 평가 인덱스를 신뢰성 있게 제공할 수 있다.

[0026] 또한, 본 발명은 피검자들에 의한 주관적 청음 평가 없이, 실제 전기자동차 경고음으로부터 와인 인덱스를 추출하는 것만으로, 경고음의 짜증도 지수 및 인지성 지수를 손쉽게 예측할 수 있으며, 이를 통해 전기자동차 경고음의 객관적 평가 및 음질 향상에 기여할 수 있는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 전기자동차의 경고음 음질 평가 기법의 개념을 간략히 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 전기자동차 경고음 음질 평가 장치의 구성을 나타낸 도면이다.

도 3은 도 1에 도시된 장치를 이용한 전기자동차 경고음 음질 평가 방법을 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 사용된 4개의 경고음 각각에 대한 STFT 특성을 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에서 12개 합성 신호의 짜증도의 주관적 평가 결과값을 나타낸 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시예에서 인지성 평가를 위해 보행자에게 접근하는 차량 모델을 설명하는 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시예에서 12개 합성 신호의 인지성의 주관적 평가 결과값을 나타낸 도면이다.

도 8은 본 발명의 실시예에서 비 오는 배경 소리가 더해진 4개의 합성 신호 각각에 대한 VFR-STFT 결과를 나타낸 도면이다.

도 9는 본 발명의 실시예에서 비 오는 배경 소리가 더해진 4개의 합성 신호에서 각각 추출된 와인 소음 신호의 시간 주파수 맵을 나타낸 도면이다.

도 10은 도 9의 (c)에 도시된 시간 주파수 맵에서 일부 주파수 구간의 주파수 분해능을 확장한 결과를 나타낸 도면이다.

도 11은 본 발명의 실시예에서 짜증도의 주관적 평가치와 와인 인덱스 간의 상관성을 분석한 결과를 나타낸 도면이다.

도 12는 본 발명의 실시예에서 짜증도의 주관적 평가치와 확장된 와인 인덱스 간의 상관성을 분석한 결과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.

[0029] 본 발명은 전기자동차 경고음 음질 평가 방법 및 그 장치에 관한 것으로, 주변의 배경 소음으로 인해 마스킹(masking)된 경고음의 음질을 마스킹 효과(Masking Effect)를 고려하여 객관적으로 평가할 수 있는 기법을 제안한다.

[0030] 이를 위해 본 발명은 전기자동차의 경고음으로부터 배경 소음에 의해 마스킹된 와인(Whine) 소리에 대한 와인 인덱스(Whine Index)를 얻고, 이를 이용하여 경고음의 짜증도(Annoyance) 및 인지성(Detectability) 평가를 위한 인덱스 식을 각각 제공할 수 있다.

[0031] 각각의 인덱스 식을 이용하면 추후 임의 전기자동차의 경고음의 음질 테스트를 수행할 수 있다. 즉, 임의 전기자동차의 경고음으로부터 추출한 와인 인덱스를 각각의 인덱스 식에 대입하는 것만으로, 해당 경고음에 대한 짜증도 지수와 인지성 지수를 객관적 음질평가 지표로 각각 제공할 수 있다.

[0032] 이에 따르면, 피험자의 청음실험을 통한 주관적 음질 평가 없이도 신뢰성 있는 객관적 음질 평가 결과를 제공할 수 있고 나아가 전기자동차용 경고음의 개발 및 음질 개선에 도움을 줄 수 있다.

[0033] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 전기자동차의 경고음 음질 평가 기법의 개념을 간략히 나타낸 도면이다.

[0034] 도 1에 도시된 것과 같이, 우선 다수의 배경소음(1)과 다수의 경고음(2)을 준비하고 이들을 서로 조합하여 다수의 합성 신호(3)를 만든다. 이에 따라 배경 소음이 더해진 경고음이 만들어진다.

[0035] 이후, 합성 신호(3) 각각에 대해 마스킹 효과를 적용(4)하여 합성 신호(3)로부터 와인 인덱스(Whine Index)(5)를 얻는다. 구체적으로, 각각의 합성 신호(4)를 대상으로, 배경 소음에 의해 마스킹된 와인 소음(Whine Noise) 신호를 각각 추출한 다음, 와인 소음 신호의 시간 및 주파수 특성을 분석하여 와인 인덱스(5)를 얻는다.

[0036] 일반적으로 마스킹 효과는 어느 음이 다른 음에 의해 마스킹되어 잘 들리지 않는 현상을 의미하며, 본 발명의 실시예는 경고음이 주변의 배경 소음에 의해 잘 들리지 않는 현상과 관계한다. 마스킹 효과를 고려하여 추출한 와인 인덱스는 본 실시예에서 새롭게 개발된 음질요소이며 추후 이를 토대로 경고음의 인지성 및 짜증도 평가를

효과적으로 수행할 수 있다.

[0037] 이처럼, 와인 인덱스를 얻은 다음에는, 합성 신호(3) 별 추출한 와인 인덱스(5)와, 합성 신호(3) 별 피험자의 청음평가를 통해 획득한 주관적 평가치(6) 간의 상관도 분석(7)을 수행한다. 실제 상관도 분석 결과에 의하면, 와인 인덱스와 주관적 평가치 간의 상관도가 상당히 높은 것으로 나타났다.

[0038] 이를 토대로 경고음 음질 평가를 위한 인지성 평가 인덱스 식(8)과 음질 평가 인덱스 식(9)을 생성할 수 있다. 각각의 인덱스 식은 추후 특정 경고음에 대한 짜증도 및 인지성의 객관적 평가에 효과적으로 사용될 수 있다.

[0039] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 전기자동차 경고음 음질 평가 장치의 구성을 나타낸 도면이다. 도 2를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 전기자동차 경고음 음질 평가 장치(100)는 합성 신호 생성부(110), 와인 소음 추출부(120), 와인 인덱스 연산부(130), 음질 인덱스 생성부(140) 및 음질 평가부(150)를 포함한다.

[0040] 합성 신호 생성부(110)는 복수의 경고음과 복수의 배경 소음 간을 서로 조합하여 복수의 합성 신호를 생성한다. 와인 소음 추출부(120)는 복수의 합성 신호로부터 배경 소음에 의해 마스킹된 와인 소음 신호를 각각 추출한다.

[0041] 와인 인덱스 연산부(130)는 와인 소음 신호에 대한 시간 및 주파 영역의 신호 특성에서 검출되는 신호 레벨들을 이용하여 와인 소음 신호의 음질 지수인 와인 인덱스(WI;Whine Index)를 연산한다. 와인 소음 신호를 STFT(Short Time Fourier Transform) 처리하면 시간 및 주파수 영역의 신호 특성에 대응하는 시간 주파수 맵을 얻을 수 있다.

[0042] 여기서, STFT 처리는 VFR-STFT(STFT with Variable Frequency Resolution)를 의미한다. VFR은 인간 청각계의 주파수 인지 특성에 근접하도록, 여러 주파수 대역에 따라 각기 다양한 주파수 분해능을 적용하는 것이다.

[0043] 일반적인 STFT(Short Time Fourier Transform)는 주파수 대역에 관계 없이 일정한 주파수 해상도를 제공하기 때문에 청각계의 시간-주파수 해석 모델로 적합하지 못한 반면, VFR-STFT는 청각계의 시간 및 주파수 특성을 고려한 시간-주파수 신호 해석 기법으로, 일정 짧은 시간에 대해서 각각의 주파수 범위(구역) 별로 주파수 분해능(resolution)을 달리 적용하여 분석한 결과를 제공하므로, 청각계 신호 특성의 해석에 매우 적합한 방법이다.

[0044] 와인 인덱스 연산부(130)는 이러한 와인 소음의 시간 주파수 맵 정보를 이용하여 와인 인덱스를 연산할 수 있다. 즉, 와인 소음 신호를 VFR-STFT 처리하여 얻은 시간 주파수 맵을 이용하여 와인 인덱스를 구한다.

[0045] 여기서, 와인 인덱스 연산부(130)는 시간 주파수 맵 내의 전체 주파수 영역 중에서, 앞서 VFR-STFT 처리 시 제1 주파수(ex, 5Hz) 분해능이 적용된 해당 주파수 구역만을 제1 주파수보다 높은 제2 주파수(ex, 10Hz) 분해능으로 확장하여 시간 주파수 맵을 수정한 다음, 이를 분석함으로써 확장된 와인 인덱스(EWI;Extended Whine Index)를 추가로 획득할 수 있다.

[0046] 음질 인덱스 생성부(140)는 합성 신호별 피검자의 짜증도를 청음평가한 주관적 평가치들과 합성 신호별 연산한 와인 인덱스들을 이용하여 짜증도 인덱스 식을 생성한다. 짜증도 인덱스 식을 이용하면, 소정의 와인 인덱스에 대응하는 짜증도 지수를 연산할 수 있다.

[0047] 또한, 음질 인덱스 생성부(140)는 합성 신호별 피검자의 인지성을 청음평가한 주관적 평가치들과 합성 신호별 연산한 확장된 와인 인덱스들을 이용하여 인지성 인덱스 식을 생성한다. 인지성 인덱스 식을 이용하면, 소정의 확장된 와인 인덱스에 대응하는 인지성 지수를 연산할 수 있다.

[0048] 즉, 상술한 각각의 인덱스 식은 임의 전기자동차의 경고음에 대한 짜증도 및 인지성 테스트에 활용될 수 있다. 이를 위해, 와인 소음 추출부(120)는 추후 임의 전기자동차에서 경고음 발생 시 주변 배경 소음과 합산되어 측정되는 경고음 신호로부터, 마스킹 이론을 고려하여 와인 소음 신호를 추출하고, 와인 인덱스 연산부(130)는 와인 소음 신호를 이용하여 와인 인덱스(WI) 및 확장된 와인 인덱스(EWI)를 각각 연산한다.

[0049] 이후, 음질 평가부(150)는 연산한 와인 인덱스(WI) 및 확장된 와인 인덱스(EWI)를 짜증도 인덱스 식 및 인지성 인덱스 식에 각각 대입하여, 경고음 신호에 대한 짜증도 지수(AI) 및 인지성 지수(DI)를 각각 획득한다. 이를 통해 경고음의 짜증도 및 인지성을 주관적 평가 없이도 객관적으로 평가할 수 있다.

[0050] 이처럼 전기자동차 경고음의 음질 평가가 필요한 이유는 다음과 같다. 전기자동차는 모터에 의해 구동되므로 내연기관을 탑재한 기존의 자동차에 비하여 소음이 작기 때문에, 보행자에 대한 경고음이 필요하다. 즉, 전기자동차는 낮은 레벨의 음압을 발생시키므로 보행자는 매우 가까운 거리가 되어서야 전기자동차를 인지하기도 하며 그로 인한 교통 사고의 위험이 존재한다.

[0051] 따라서 전기자동차의 경고음은 보행자에 대한 인지성이 높아야 하며, 소비자에 대한 만족을 위하여 음질적인 측면에서도 고려되어야 한다. 경고음 설계를 위한 기본적 요구사항은 낮은 짜증도와 높은 인지성이다.

[0052] 결론적으로 경고음은 배경소음 범위에서도 보행자에게 쉽게 인지되어야 한다. 또한 소음공해와 보행자의 짜증을 피하는 측면에서 주변 환경에 최대한 낮은 소음으로 경고음이 추가되어야 한다. 또한 경고음은 다양한 국가의 법률에 상응해야 한다.

[0053] 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 전기자동차 경고음 음질 평가 방법에 관하여 상세히 설명한다. 도 3은 도 1에 도시된 장치를 이용한 전기자동차 경고음 음질 평가 방법을 나타낸 도면이다.

[0054] 먼저, 합성 신호 생성부(110)는 미리 준비된 복수의 경고음과 복수의 배경 소음 간을 서로 조합하여 복수의 합성 신호를 생성한다(S310).

[0055] 예를 들어 N개의 경고음과 M개의 배경 소음 간을 서로 조합하여 N×N 개의 합성 신호를 생성한다. 이하의 본 발명의 실시예는 4개의 경고음과 3개의 배경 소음을 조합하여 12개의 합성 신호를 만들어 둔다.

[0056] 사용된 경고음과 배경 소음을 더욱 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

[0057] 먼저, 4가지 경고음을 설명한다. 본 발명의 실시예는 기존 연구에서 인용한 3개의 경고음(아래 표 1의 S1, S3, S7 참조)과 1개의 참고 신호(r)를 포함하는 4개의 경고음을 사용한다.

표 1

[0058]

No	Characteristics
S1	Stationary sound with a significant tone at 300Hz, 'Sawtooth-like'
S3	A 500Hz tone amplitude modulated with a 6Hz modulation frequency and a narrowed noise centered at a 1500Hz amplitude modulated with a 2Hz modulation frequency
S7	A narrowband noise centered at a 300Hz amplitude modulated with a 2Hz modulation frequency and swept sine tone changing frequency from 700Hz to 500Hz over 4 seconds then repeated - A pitch change

[0059] 참고 신호(r)는 1kHz 순음을 사용하였다. 순음은 알려진 바와 같이 한 개의 주파수 성분(여기서는 1kHz 성분)을 갖는 진폭이 일정한 음을 나타낸다.

[0060] 이러한 4가지 소리는 전기자동차 경고음의 음질을 객관적으로 평가하는 방법의 개발에 사용되었다. 또한 4가지 신호들의 신호 특징을 알아내기 위해 우선 STFT(Short Time Fourier Transform)이 사용되었다.

[0061] 도 4는 본 발명의 실시예에 사용된 4개의 경고음 각각에 대한 STFT(Short Time Fourier Transform) 특성을 나타낸 도면이다. 도 4의 (a)는 참조 신호(1kHz 순음), (b)는 S1, (c)는 S3, (d)는 S4를 나타낸다.

[0062] 표 1 및 도 4를 참조하면, 참조 신호는 1kHz 성분만 가진 진폭이 일정한 신호임을 알 수 있다. S1은 300Hz 단위로 일정 진폭의 신호들을 포함하는 모양이며, S3은 6Hz의 변조 주파수로 진폭 변조된 500Hz 신호와, 2Hz의 변조 주파수로 진폭 변조된 1500Hz의 협대역 노이즈를 포함하는 형태이다. S7은 2Hz의 변조 주파수로 진폭 변조된 300Hz의 협대역 노이즈와, 700Hz에서 500Hz까지 4초 동안 사인 톤 변경 주파수를 반복하는 신호를 포함하는 형태이다.

[0063] 다음은 3가지 배경 소음을 설명한다. 도로에서 배경소음은 실제 경고음을 마스킹 하므로, 맑은(dry), 비 오는(wet), 광대역 백색소음(wgn)을 포함한 3가지 배경소음이 사용되었다.

[0064] 본 발명의 실시예는 이들 3가지 배경 소음에 4가지 경고음 신호를 각각 합성하였다. 결과적으로 경고음에 배경소음이 더해진 합성 신호는 총 12개이다. 아래의 표 2는 12개의 합성 신호에 대한 심리 음향학 지표 값을 나타낸다.

[0065] 각각의 12가지 신호에 대한 Loudness(음의 크기에 대한 주관적 지각량), Roughness(음의 거칠기에 대한 주관적 지각량), Sharpness(음의 날카로움에 대한 주관적 지각량)은 상용 프로그램으로 분석 가능한 요소이다. 12가지 신호의 크기는 65dB로 균등하다.

표 2

[0066]

No	Signal	Noise	Loudness	Roughness	Sharpness	dB(A)	dB(Signal)
1	reference	dry	47.35186	3.073769	2.83352	77.7	65
2		wet	65.24767	3.471068	5.061165	78.68	65
3		wgn	59.39721	3.258007	4.31714	78.24	65
4	S1	dry	58.91116	2.664208	3.875514	73.87	65
5		wet	68.76504	3.499433	5.072198	75.86	65
6		wgn	63.99062	3.244305	4.529387	75.06	65
7	S3	dry	54.29047	2.980015	2.901736	77.15	65
8		wet	69.06829	3.47053	5.022441	78.19	65
9		wgn	63.07899	3.202886	4.29394	77.69	65
10	S7	dry	55.04054	3.037536	2.610941	76.56	65
11		wet	72.4324	3.497506	4.807484	77.74	65
12		wgn	66.45605	3.262194	4.069118	77.21	65

[0067] 다음 S320 단계의 설명에 앞서, 이들 12가지 신호들에 대한 피험자의 청음 평가를 이용한 짜증도 및 인지성의 주관적 평가 방식을 간단히 설명한다.

[0068] 짜증도 및 인지성의 주관적 평가를 위해 총 30명이 참여하였고, 총 30명 중 16명은 남성, 14명은 여성이다. 청음평가자 평균 나이는 28살이며, 1.2살의 표준편차를 가진다. 청음평가자 모두 청각기관은 건장하며, 한번도 청각기관에 관한 진단을 받은 적이 없다.

[0069] 짜증도의 주관적 평가는 다음과 같이 이루어진다. 청음평가 프로그램은 12개 합성 신호(배경이 더해진 경고음)을 임의로 배열하여 테스트한다. 주관적 평가로 사용된 방법은 평점법(Rating Method)이다. 점수범위는 0점에서 5점으로, 0은 '들리지 않는다', 1은 '조금 크다', 2는 '약간 크다', 3은 '들을 만하다', 4는 '매우 크다', 그리고 5는 '심각히 크다'를 의미한다.

[0070] 도 5는 본 발명의 실시예에서 12개 합성 신호의 짜증도의 주관적 평가 결과값을 나타낸 도면이다. 도 5는 12개의 각 신호 별로 얻은 30명에 대한 주관적 평가치의 평균값 결과로서, 가로 축은 12개 신호의 번호(No.), 세로 축은 12개 신호에 대한 주관적 평가 평균값을 나타낸다.

[0071] 도 5에서 가장 좌측의 그룹은 맑은(dry) 소음이 섞인 4가지 신호들의 결과이고, 중간 그룹은 비 오는(wet) 소음이 섞인 4가지 신호들의 결과이고, 우측 그룹은 광대역(wgn) 백색 소음이 섞인 4가지 신호들의 결과이다. 배경 소음과 관계없이 전반적으로 S1 신호는 가장 높은 짜증도를, S3 신호는 가장 낮은 짜증도를 보였다.

[0072] 도 6은 본 발명의 실시예에서 인지성 평가를 위해 보행자에게 접근하는 차량 모델을 설명하는 도면이다. 도 6에서 보행자는 Head 지점에 있고 차량은 30m 떨어진 지점에서 보행자 쪽으로 접근하는 모습을 나타낸다.

[0073] 인지성 평가를 위해서는 보행자에게 접근하는 전기자동차의 소리를 모의실험하는 모델이 필요하며, 실험 모델에서 포인트 소스는 거리의 역수로 비례한다는 음향학 이론을 근거로 하였다. 결과적으로, 접근하는 경고음의 SPL(Sound Pressure Level;음압레벨)은 다음의 수학식 1과 같이 거리 r의 함수로 표현할 수 있다.

수학식 1

[0074]

$$SPL(r) = 20\log_{10}\left|\frac{P_{rms}}{P_{ref}}\right| \propto A - \log_{10}(r)$$

[0075] 여기서, A는 모노폴 소스의 크기와 크기와 관련된 상수, r은 청음자가 소스로부터 듣는 거리, P_{ref}는 기준으로 사용되는 레퍼런스 음압, P_{rms}는 계측되는 RMS 음압으로, RMS는 'Root mean square', 즉 '제곱 평균 제곱근'의 값을 말한다. 쉽게 말해 P_{rms}는 계측되는 음압의 제곱 평균 제곱근을 나타낸다.

수학식 2

[0076] $$|p(r,\theta,t)| \propto \frac{q\rho ck}{4\pi r}$$

[0077] 수학식 2에서 Θ는 음압의 지향성, t는 시간, q는 모노폴 소스의 소스 강도, ρ는 공기 밀도, c는 음속, k는 파수를 나타낸다.

[0078] 거리 '0'에서 수학식 1과 같이 음압 레벨이 주어진다면, 경고음의 SPL은 증가할 것이며, 도 6과 같이 마치 자동차가 보행자에게 다가오는 것과 같을 것이다. 이 모델에서 자동차의 속도(v)는 20㎞/h이다.

[0079] 앞서 설계된 12개 합성 신호들을 보행자에게 접근하는 모델로 만들기 위해 수학식 1에 적용하였다. 결과적으로, 인지성 평가에 사용되기 위한 12개의 접근하는 경고음이 만들어졌으며, 이는 전기자동차의 경고음 인지성 분석에 사용되었다. 여기서 접근하는 자동차의 속도는 20㎞/h이다.

[0080] 인지성 주관적 평가를 위해, 앞서와 마찬가지로 12개 신호들은 주관적 평가 프로그램에서 임의로 배열되었다. 평가자들의 인지 시간 데이터를 얻은 다음 20㎞/h 자동차 속도를 곱하면 인지 거리를 계산할 수 있다.

[0081] 도 7은 본 발명의 실시예에서 12개 합성 신호의 인지성의 주관적 평가 결과값을 나타낸 도면이다. 이러한 도 7은 앞서 상술한 접근하는 경고음 소리의 모델을 사용하여 12개의 합성 신호에 대한 인지성을 주관적으로 평가한 것이다.

[0082] 도 7에서 가장 오른쪽에 도시된 head 부분은 보행자의 위치(r=0 지점)로서, 도 7의 가로축은 보행자와 소스 간의 거리를 의미하고, 세로축은 12개의 합성신호를 나타낸다. 각각의 합성 신호에서 진한색 그래프의 길이가 길수록 원거리에서도 경고음의 인지성이 좋은 것을 의미한다.

[0083] 도 7의 결과에 의하면, S7이 가장 인지성이 좋으며, S1은 낮은 인지성으로 인해 경고음으로는 적합하지 않음을 알 수 있다. 참고 신호(ref)와 S3 신호의 인지성은 배경소음에 의해 영향을 받았다.

[0084] 짜증도 및 인지성의 주관적 평가 결과는 추후 S350 단계에서 짜증도 및 인지성 인덱스 식을 생성하는데 사용된다. 이상과 같은 주관적 평가는 S310 단계 이후에 수행할 수 있으며, S310 내지 S350 단계 사이의 어떠한 시점에 수행해도 무관하다. 이하에서는 다시 S320 단계부터 상세히 설명한다.

[0085] S310 단계 이후, 와인 소음 추출부(120)는 복수의 합성 신호로부터 배경 소음에 의해 마스킹된 와인 소음 신호를 각각 추출한다(S320).

[0086] 일반적으로 전기자동차는 모터 소리, 기어박스 소리 그리고 다른 회전 부품들의 소리로 구성된다. 이러한 부품에서는 토널(Tonal) 소리와 와인(Whine) 소리가 나온다. 4가지 경고음 또한 토널 신호를 포함하는데 이러한 토널 신호들이 배경소음에 묻힌다면, 와인 소리도 마스킹 될 수 있다. 배경소음에 의해 마스킹 된 와인 소리는 마스킹 이론을 이용하여 추출할 수 있으며 경고음의 주관적 인지를 위한 음질 매트릭스로 사용할 수 있다.

[0087] 와인 소음 신호는 마스킹 이론을 이용한 수학식 3을 통하여 12가지 각각의 경고음 파형 신호(합성 신호)로부터 각각 추출될 수 있다.

수학식 3

[0088] $$LX(f) = L(f) - 10\left[\left(\sum_{\substack{n=1 \\ n\neq f}}^{N} 10^{L_{E,n}(f)/20dB}\right) + 10^{L_{TH}(f)/dB} + I\right]$$

[0089] 여기서, LX(f)는 추출된 와인 소음 신호, L(f)는 파형의 음압 레벨, f는 주파수, $L_{E,N}$은 n번째 마스커의 주파수 마스킹 곡선, I는 고려된 토널 성분 주변 임계대역에서의 소음 강도, $L_{TH}(f)$는 주파수 f 청력 역치를 의미한다.

[0090] 이와 같이 합성 신호의 파형 L(f)에서 마스커 요소인 [·] 성분을 제거하면 와인 소음 신호 부분을 추출할 수 있다. 또한, 추출한 와인 소음 신호를 STFT 변환하면 와인 소음에 대한 시간 주파수 맵을 얻을 수 있으며, 시간 주파수 맵을 이용하면 본 발명에서 제안하는 와인 인덱스(Whine Index)를 얻을 수 있다.

[0091] 즉, S320 단계 이후, 와인 인덱스 연산부(130)는 와인 소음 신호에 대한 시간 및 주파수 영역의 신호 특성에서 검출되는 신호 레벨들을 이용하여 와인 소음 신호의 음질 지수인 와인 인덱스를 연산한다(S330).

[0092] 도 8은 본 발명의 실시예에서 비 오는 배경 소리가 더해진 4개의 합성 신호 각각에 대한 VFR-STFT 결과를 나타낸 도면이다. 쉽게 말해서 도 8의 (a), (b), (c), (d)는 표 2에 나타낸 12개의 합성 신호 중 No. 2, 5, 8, 11 신호에 대한 STFT(Short Time Fourier Transform) 결과를 나타낸다.

[0093] 이러한 도 8은 합성 신호 자체에 대한 VFR-STFT 처리 결과를 나타낸다. 실제 S330 단계에서는 합성 신호에서 추출한 와인 소음 신호에 대한 VFR-STFT 처리 결과를 이용하여 와인 인덱스를 연산한다.

[0094] 앞서 설명한 바와 같이 VFR는 여러 주파수 구역 별로 주파수 분해능을 달리 적용하여 분석하는 기법을 의미한다. 일정 짧은 시간에 대해서 VFR(Variable Frequency Resolution)을 적용하고 이를 모든 시간에 대해 진행하면 VFR-STFT 결과를 얻을 수 있다. 이하의 실시예에서 WI는 VFR-STFT 결과를 분석해서 얻은 값이고, EWI는 VFR-STFT 결과 내 전체 주파수 영역 중에서 제1 주파수(5Hz) 분해능이 적용된 주파수 구역만을 다시 제2 주파수(10Hz)의 분해능으로 확장하여 분석해서 얻은 값을 의미한다.

[0095] 구체적으로 와인 인덱스 연산부(130)는 합성 신호로부터 추출한 와인 소음 신호를 VFR-STFT 처리하여 시간 및 주파수 영역의 신호 특성을 나타내는 와인 소음의 시간 주파수 맵을 획득한다.

[0096] 도 9는 본 발명의 실시예에서 비 오는 배경 소리가 더해진 4개의 합성 신호에서 각각 추출된 와인 소음 신호의 시간 주파수 맵을 나타낸 도면이다. 즉, 도 9의 (a), (b), (c), (d)는 표 2의 No. 2, 5, 8, 11 신호로부터 각각 와인 소음 신호를 추출한 다음 와인 소음 신호를 VFR-STFT 변환하여 얻은 시간 주파수 맵을 나타낸다.

[0097] 시간 주파수 맵에서 가로 축은 시간 값, 세로 축은 주파수 값을 나타내며, 각각의 좌표 지점은 해당 시간 값과 해당 주파수 값에 대응하는 신호 레벨을 색상 정보로 표출한다. 파란 색상에서 노란 색상으로 갈수록 레벨이 높은 것을 의미한다. 도 9에서 대부분의 지점에서 관측된 파란 영역의 경우 신호 레벨이 0인 것이고 그보다 연한 하늘 색상의 영역은 레벨이 0보다 크며 신호 레벨이 검출된 지점에 해당한다.

[0098] 이러한 도 9는 전체 주파수 대역(ex, 0~4000Hz)을 대상으로, 여러 주파수 구간(구역) 별로 서로 상이한 주파수 분해능을 적용하여 시간에 따라 분석한 시간-주파수 특성 결과(시간 주파수 맵)를 제공한다.

[0099] 본 발명의 실시예는 이러한 시간 주파수 특성으로부터 와인 인덱스(WI)를 획득하고, 제1 주파수(5Hz) 분해능으로 분석되었던 주파수 구간만을 다시 제2 주파수(10Hz) 분해능으로 확장한 시간 주파수 맵 결과를 이용하여, 확장된 와인 인덱스(EWI)를 획득한다.

[0100] 즉, 와인 인덱스 연산부(130)는, 아래의 수학식 4와 같이, 도 9에 도시된 시간 및 주파수 영역의 신호 특성에서 검출되는 신호 레벨들을 이용하여 와인 인덱스(WI)를 획득한다.

수학식 4

[0101]
$$WI = \sum_{f=0} \sum_{t=0} W(t,f)$$

[0102] 여기서, (t,f)는 상기 시간 및 주파수 영역의 신호 특성에서 신호 레벨이 검출된 지점, W(t,f)는 (t,f) 지점의 신호 레벨을 나타낸다.

[0103] 연산한 와인 인덱스는 추후 경고음의 짜증도 평가에 사용된다. 이처럼 마스킹된 와인 소리의 SPL은 짜증도의 음질 매트릭스로써 사용됨을 알 수 있다.

[0104] 그 밖에도, 와인 인덱스 연산부(130)는 상술한 시간 주파수 맵의 주파수 분해능을 조정한 결과를 통하여, 확장된 와인 인덱스(Extended Whine Index)를 추가적으로 연산할 수 있다.

[0105] 이를 위해, 와인 인덱스 연산부(130)는 상술한 도 9의 시간 주파수 맵에서 제1 주파수 분해능이 적용된 주파수 구간에 대한 주파수 분해능을 제1 주파수(5Hz)보다 높은 제2 주파수(10Hz)의 단위로 확장하여 시간 주파수 맵을 수정한 다음, 전체 시간 영역 중에서 신호 레벨들의 합이 설정 값(ex, 17dB) 이상인 시간을 탐색함으로써, 확장된 와인 인덱스(EWI)를 추가적으로 획득할 수 있다(S340). 이러한 과정을 도 9의 (c)를 대표 예시로 하여 설명하면 다음과 같다.

[0106] 도 10은 도 9의 (c)에 도시된 시간 주파수 맵에서 일부 주파수 구간의 주파수 분해능을 확장한 결과를 나타낸 도면이다. 즉, 도 9의 (c)에서 약 1800Hz 이하의 일부 주파수 구역(낮은 주파수 구역)은 앞서 VFR-STFT 처리 시 제1 주파수(5Hz) 분해능이 적용된 주파수 구간인데, 이 주파수 구역의 주파수 분해능만을 제2 주파수(10Hz)로 확장하여 분석하면 도 10과 같은 결과를 얻을 수 있다. 이처럼 주파수 분해능을 확장하게 되면 앞서와 상이한 시간 주파수 맵이 얻어짐을 알 수 있다.

[0107] 도 8의 (c)에서 500Hz의 낮은 주파수 신호와 같은 토널은 변조된 소리이므로 도 9의 (c)와 같이 와인 소리로 인지를 못하며 와인 소리가 아닌 변조된 소리로써 인지한다. 도 9의 (c)에 도시된 시간 주파수 맵에서 낮은 주파수의 주파수 해상도는 5Hz에서 10Hz로 조정하였으며 이 변조 소리의 시간 주파수 맵은 도 10의 결과와 같다. 시간 주파수 맵에서 신호와 같은 이 토널의 SPL은 매 시간마다 확장된 주파수 분해능으로 계산된다. 레벨 값이 17dB 이상이면 보행자는 소리를 인식할 수 있다.

[0108] 즉, 와인 인덱스 연산부(130)는, 전체 주파수 영역 중에서 제1 주파수(ex, 5Hz) 분해능이 적용된 주파수 구간을 대상으로 주파수 해상도를 제1 주파수에서 제2 주파수(ex, 10Hz)로 확장하여 시간 주파수 특성을 수정한 다음, 전체 시간 영역 중에서 신호 레벨들의 합이 17dB 이상인 시간을 탐색하고, 탐색한 시간을 와인 인덱스(EWI) 값으로 획득할 수 있다. 확장된 와인 인덱스(EWI)는 아래의 수학식 5와 같이 정의될 수 있다.

수학식 5

[0109]
$$EWI = \text{find time t } \langle \sum_{f=0} W(t,f) > 17dB \rangle$$

[0110] 여기서, 17dB는 상기 설정 값, find time t는 <·> 조건에 해당하는 시간을 탐색함을 의미한다.

[0111] 결과적으로 17dB는 경고음의 인지를 위한 역치(임계값)이며, 역치에 상응하는 시간은 인지성의 음질 메트릭으로써 사용된다. 즉, 확장된 와인 인덱스는 추후 경고음의 인지성 평가에 사용된다.

[0112] 다음, 음질 인덱스 생성부(140)는 합성 신호별 피검자의 짜증도 주관적 평가치들 및 합성 신호별 얻은 와인 인덱스(WI)를 이용하여 짜증도 인덱스 식을 생성하고, 합성 신호별 피검자의 인지성 주관적 평가치들 및 합성 신호별 얻은 확장된 와인 인덱스(EWI)를 이용하여 인지성 인덱스 식을 생성한다(S350). 도 11은 본 발명의 실시예에서 짜증도의 주관적 평가치와 와인 인덱스 간의 상관성을 분석한 결과를 나타낸 도면이고, 도 12는 본 발명의 실시예에서 짜증도의 주관적 평가치와 확장된 와인 인덱스 간의 상관성을 분석한 결과를 나타낸 도면이다.

[0113] 먼저, 도 11은 도 5의 짜증도에 대한 주관적 평가와 수학식 4에 의한 와인 인덱스 간의 상관성을 분석한 것으로, 세로축은 짜증도에 관한 주관적 평가의 평균값이며, 가로축은 와인 인덱스 값을 나타낸다. 이러한 도 11은 12개의 합성 신호 별로, 해당 합성 신호의 짜증도 주관적 평가치와 와인 인덱스 값이 만나는 지점을 그래프에 매핑한 결과이다.

[0114] 실선은 최종 피팅된 커브(선)을 나타내고, 점선은 95%의 신뢰 구간을 나타낸다. 도 11을 회귀 분석한 결과 주관적 평가와 와인 인덱스 간의 상관계수는 0.86로 나타났으며, 와인 인덱스는 짜증 인덱스를 만드는데 사용될 수 있음을 알 수 있다.

[0115] 결과적으로 경고음에 대한 짜증도 인덱스(AI)는 선형 회귀모델을 이용하여 아래의 수학식 6으로 나타낼 수 있다.

수학식 6

[0116] $$AI = 0.91836WI + 0.05696$$

[0117] 추후, 임의 전기자동차의 경고음을 녹음한 신호로부터 추출한 와인 인덱스 값(WI)을 수학식 6의 WI 항에 대입하기만 하면 해당 경고음에 대한 짜증도 지수를 AI 항을 통해 손쉽게 얻을 수 있다.

[0118] 도 12는 도 7의 인지성에 대한 주관적 평가와 수학식 5에 의한 확장된 와인 인덱스 간의 상관성을 분석한 것으로, 세로축은 인지성에 관한 주관적 평가의 평균값이며, 가로축은 확장된 와인 인덱스 값을 나타낸다. 이러한 도 12는 12개의 합성 신호 별로, 해당 합성 신호의 인지성 주관적 평가치와 확장된 와인 인덱스 값이 만나는 지점을 그래프에 매핑한 결과이다.

[0119] 도 12 역시 실선은 최종 피팅된 커브(선)을 나타내고, 점선은 95%의 신뢰 구간을 나타낸다. 도 11을 회귀 분석한 결과 주관적 평가와 확장된 와인 인덱스의 상관계수는 0.85로 나타났으며, 결과적으로 화장된 와인 인덱스는 인지성 인덱스를 만드는데 사용될 수 있음을 알 수 있다.

[0120] 결과적으로 경고음에 대한 인지성 인덱스(DI)는 선형 회귀모델을 이용하여 아래의 수학식 7로 나타낼 수 있다.

수학식 7

[0121] $$DI = 0.4229EWI + 2.814$$

[0122] 추후, 임의 전기자동차의 경고음을 녹음한 신호로부터 추출한 확장된 와인 인덱스 값(EWI)을 수학식 7의 EWI 항에 대입하기만 하면 해당 경고음에 대한 인지성 지수를 DI 항을 통해 손쉽게 얻을 수 있다.

[0123] 즉, 추후 임의 전기자동차의 경고음 발생 시 주변 배경 소음과 합산되어 측정되는 경고음 신호로부터 와인 인덱스(WI) 및 확장된 와인 인덱스(EWI)가 연산되면, 음질 평가부(150)는 연산된 와인 인덱스 및 확장된 와인 인덱스를 각각의 인덱스 식에 대입하여, 짜증도 지수(AI) 및 인지성 지수(DI)를 획득한다(S360). 이를 통해 임의 전기자동차 경고음의 짜증도 및 인지성 지수를 객관적으로 평가할 수 있다.

[0124] 이상과 같은 본 발명에 따른 전기자동차 경고음 음질 평가 방법 및 그 장치에 따르면, 주변의 배경소음에 의해 마스킹된 전기자동차 경고음의 음질을 마스킹 효과를 고려하여 객관적으로 평가할 수 있으며 음질 평가 인덱스를 신뢰성 있게 제공할 수 있다. 또한, 피검자들에 의한 주관적 청음 평가 없이, 실제 전기자동차 경고음으로부터 와인 인덱스를 추출하는 것만으로, 경고음의 짜증도 지수 및 인지성 지수를 손쉽게 예측할 수 있으며, 전기자동차 경고음의 객관적 평가 및 음질 향상에 기여할 수 있다.

[0125] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0126] 100: 전기자동차 경고음 음질 평가 장치

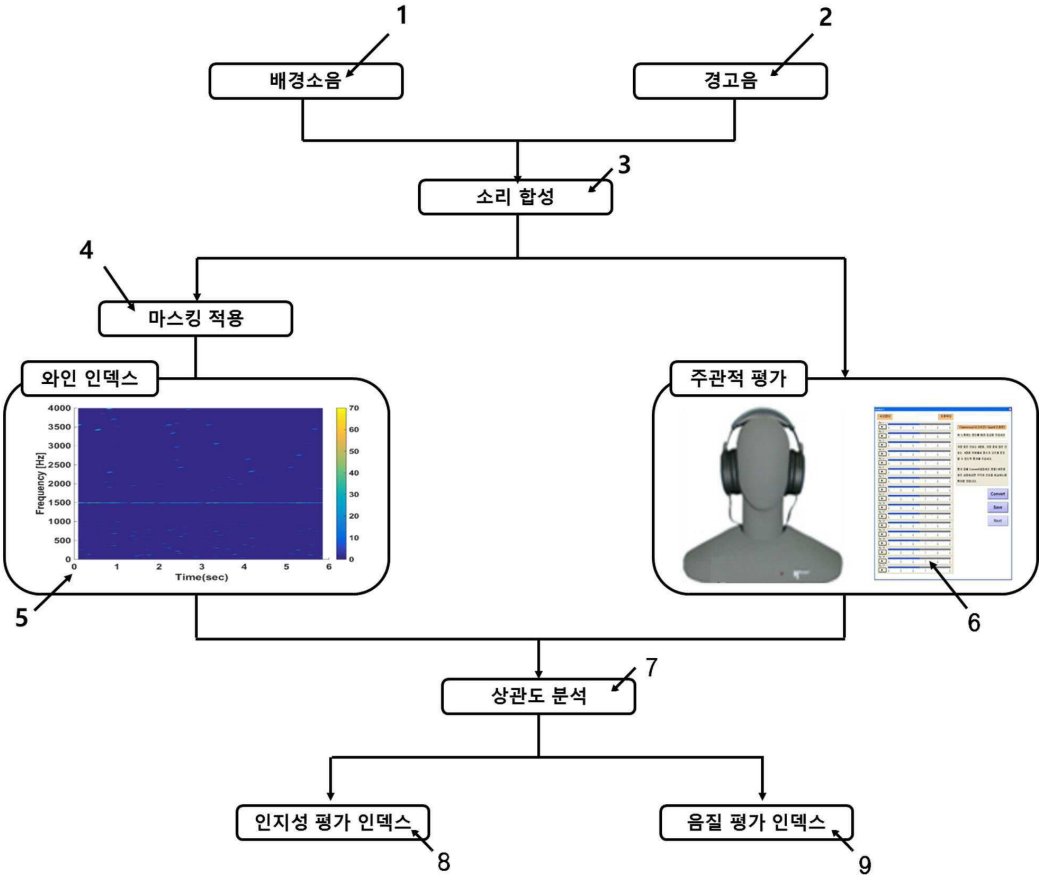
110: 합성 신호 생성부 120: 와인 소음 추출부

130: 와인 인덱스 연산부 140: 음질 인덱스 생성부

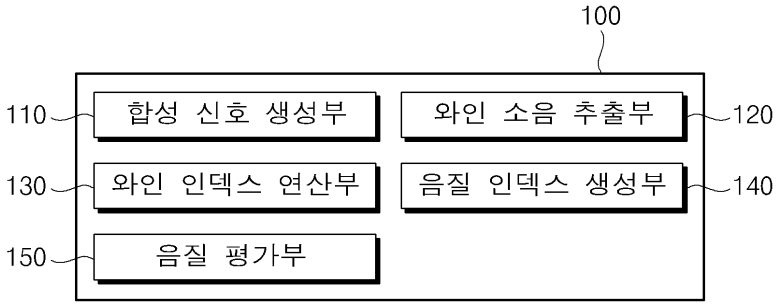
150: 음질 평가부

도면

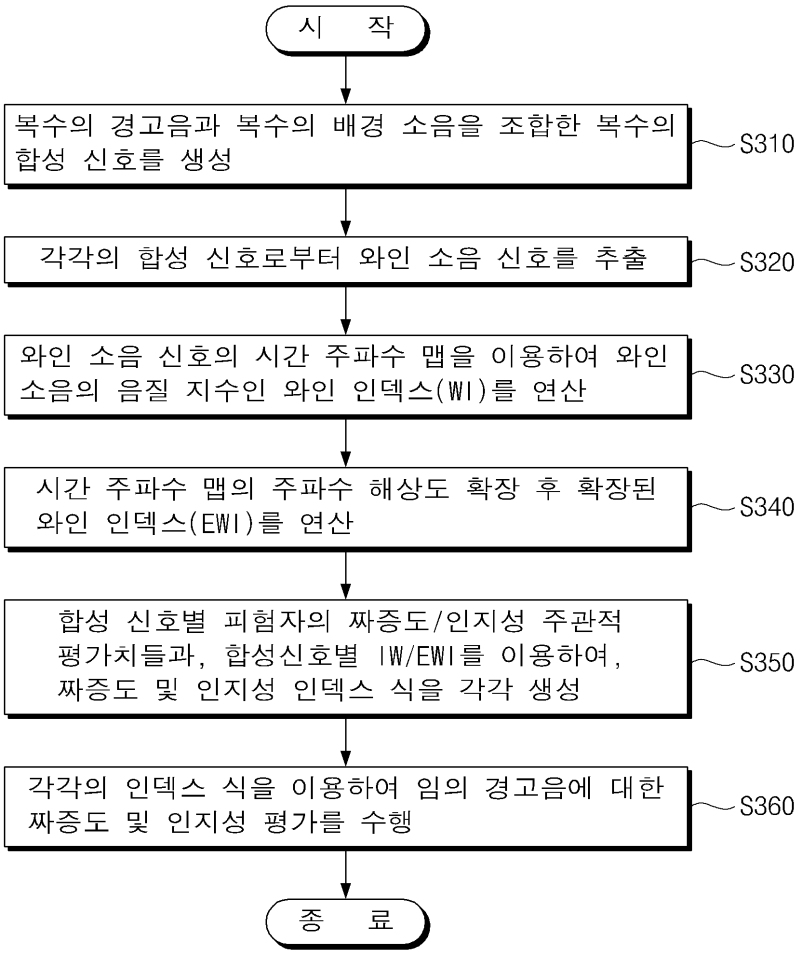
도면1


1
배경소음
2
경고음
3
소리 합성
4
마스킹 적용
와인 인덱스
주관적 평가
Frequency (Hz)
Time(sec)
5
6
7
상관도 분석
인지성 평가 인덱스
음질 평가 인덱스
8
9

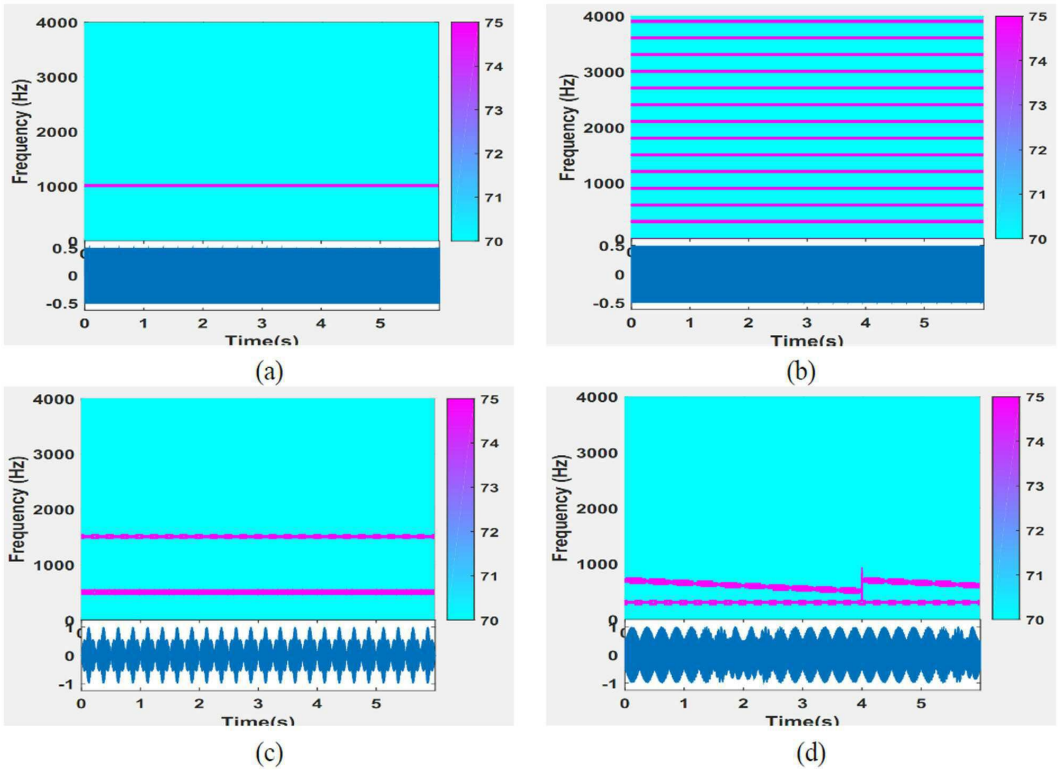
도면2


100
110
합성 신호 생성부
와인 소음 추출부
120
130
와인 인덱스 연산부
음질 인덱스 생성부
140
150
음질 평가부

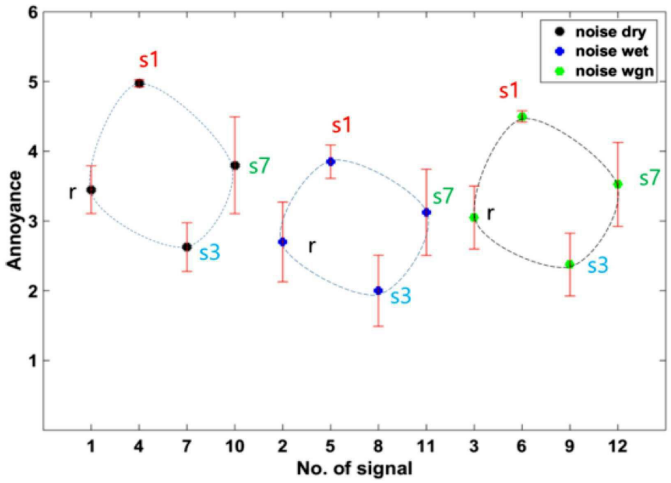
도면3


시 작
복수의 경고음과 복수의 배경 소음을 조합한 복수의 합성 신호를 생성
S310
각각의 합성 신호로부터 와인 소음 신호를 추출
S320
와인 소음 신호의 시간 주파수 맵을 이용하여 와인 소음의 음질 지수인 와인 인덱스(WI)를 연산
S330
시간 주파수 맵의 주파수 해상도 확장 후 확장된 와인 인덱스(EWI)를 연산
S340
합성 신호별 피험자의 짜증도/인지성 주관적 평가치들과, 합성신호별 IW/EWI를 이용하여, 짜증도 및 인지성 인덱스 식을 각각 생성
S350
각각의 인덱스 식을 이용하여 임의 경고음에 대한 짜증도 및 인지성 평가를 수행
S360
종 료

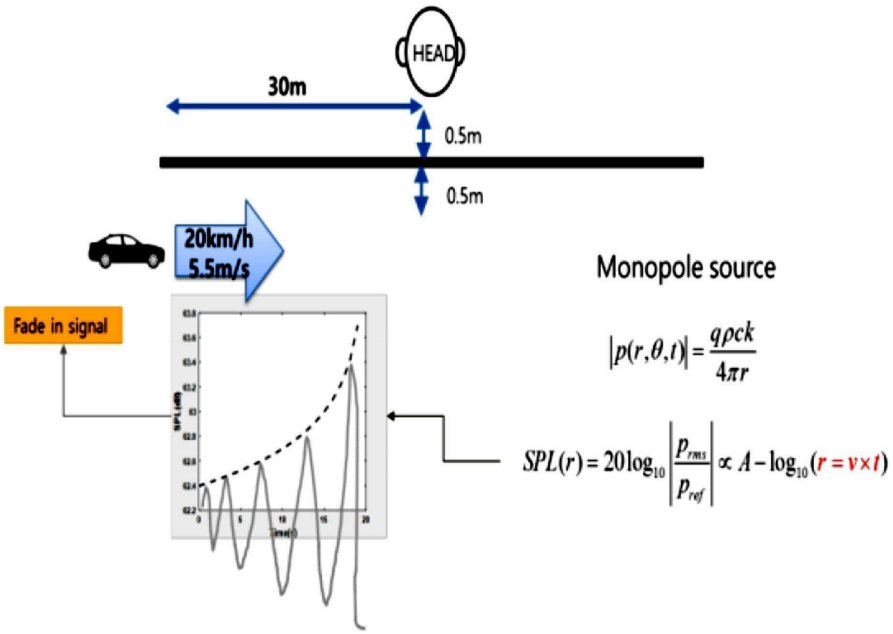
도면4


Frequency (Hz)
Time(s)
(a)
(b)
(c)
(d)

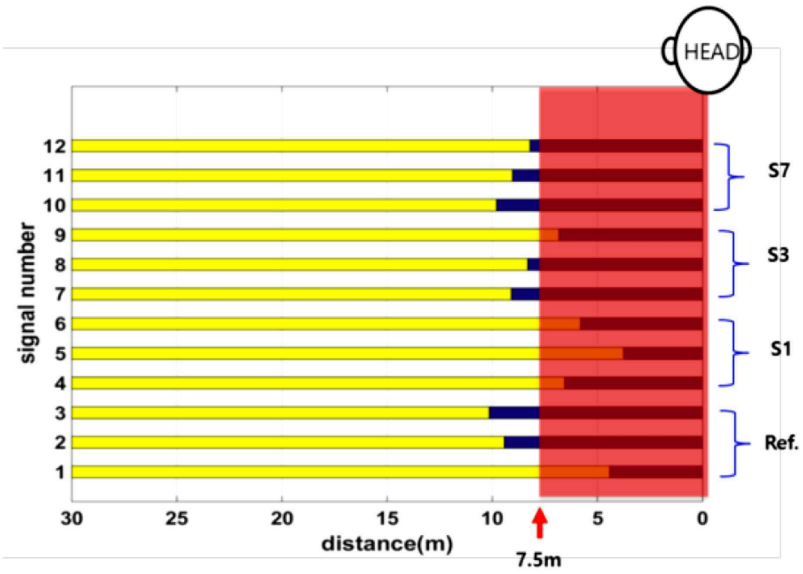
도면5


noise dry
noise wet
noise wgn
Annoyance
No. of signal
s1
s3
s7
r

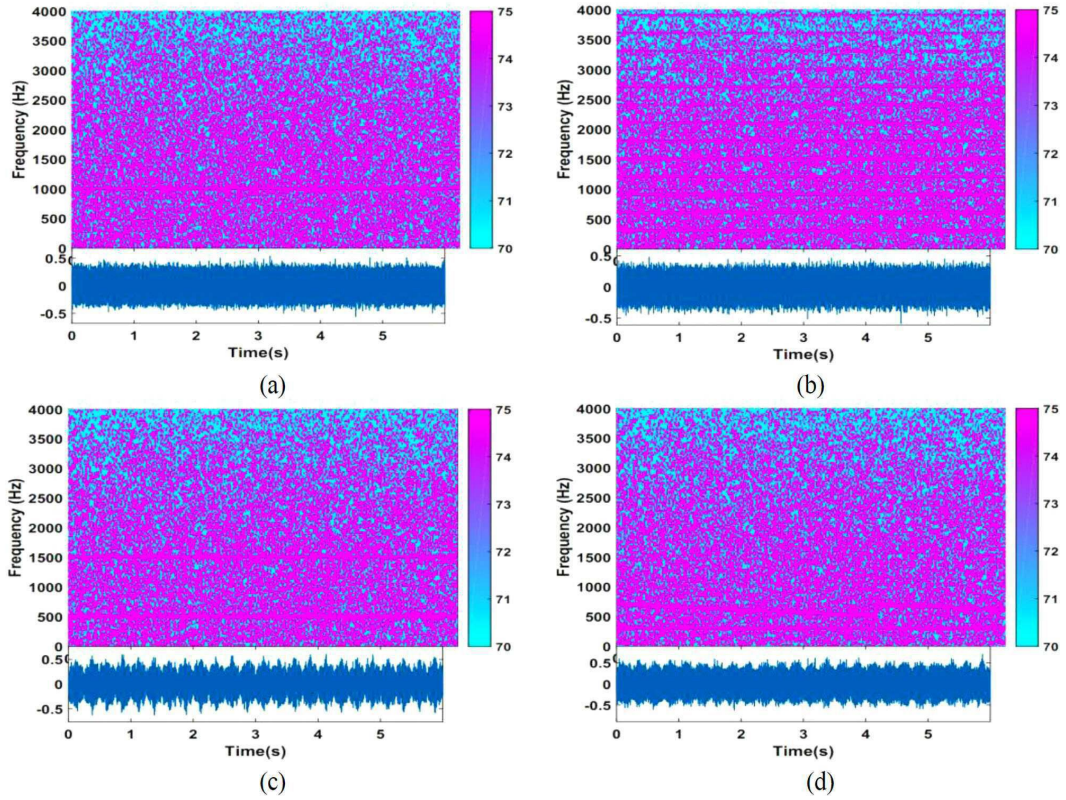
도면6


HEAD
30m
0.5m
0.5m
20km/h
5.5m/s
Fade in signal
Monopole source
$|p(r,\theta,t)| = \frac{q\rho ck}{4\pi r}$
$SPL(r) = 20\log_{10}\left|\frac{p_{rms}}{p_{ref}}\right| \propto A - \log_{10}(r = v \times t)$

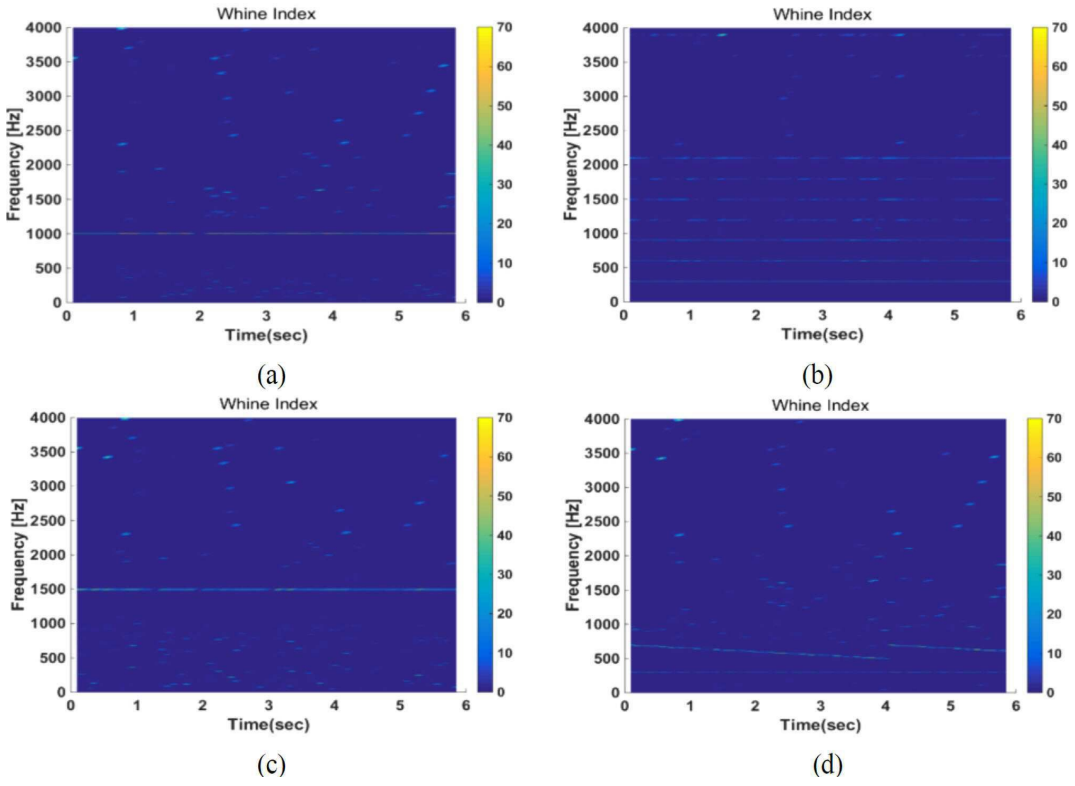
도면7


HEAD
signal number
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
S7
S3
S1
Ref.
30
25
20
15
10
5
0
distance(m)
7.5m

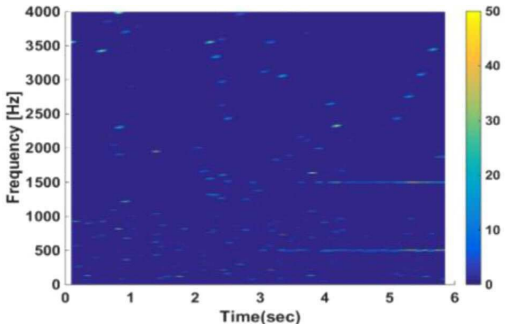
도면8


Frequency (Hz)
Time(s)
(a)
(b)
(c)
(d)

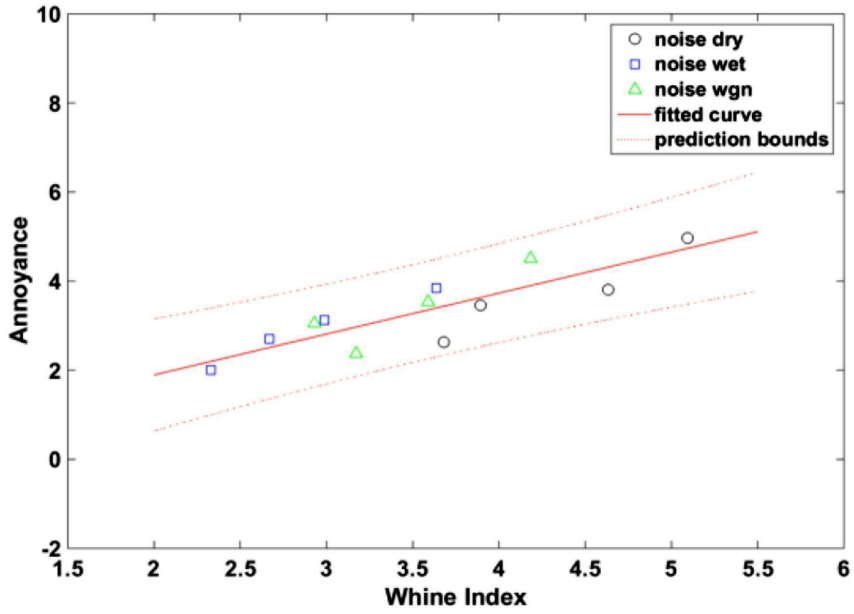
도면9


Whine Index
Frequency [Hz]
Time(sec)
(a)
(b)
(c)
(d)

도면10



도면11



도면12

