



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2007년12월27일
(11) 등록번호 10-0788795
(24) 등록일자 2007년12월18일

(51) Int. Cl.

G01N 21/27 (2006.01) G01N 21/35 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2006-0082055

(22) 출원일자 2006년08월29일

심사청구일자 2006년08월29일

(56) 선행기술조사문헌

JP06194343 A

JP09318533 A

KR1020020071885 A

(73) 특허권자

김성호

경기도 용인시 수지구 신봉동 708-13 삼성쉐르빌 101-501

(72) 발명자

이윤진

충청남도 천안시 신방동 한라동백 2차 아파트 101동 1103호

신철민

충청남도 아산시 신창면 경희아파트 102동 303호
(뒷면에 계속)

(74) 대리인

강성혜

전체 청구항 수 : 총 4 항

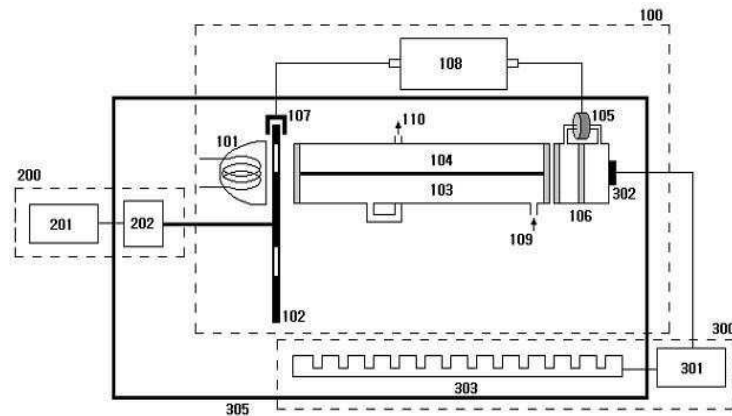
심사관 : 홍정혜

(54) 광 음향 검출기를 이용한 이산화탄소 농도 측정장치

(57) 요약

본 발명은 광 음향 검출기를 이용한 이산화탄소 농도 측정 장치에 관한 것으로서, 좀더 자세히는 광원, 초파, 시료 셀, 온도조절장치, 광 음향 검출기 그리고 신호를 증폭하는 락인(Lock-in) 앰프를 포함하여 구성된다. 이산화탄소는 4.3 μ m의 적외선을 흡수한다. 시료 셀 내의 이산화탄소는 이 적외선을 흡수하여 진동 에너지가 증가하고, 이는 밀폐된 셀의 압력을 증가시키며 셀에 부착된 마이크로폰은 그 압력을 음향신호로 전환하여 이산화탄소의 농도에 비례하는 전기신호로 내보낸다. 이산화탄소를 측정하는 데 있어 광 음향 검출기의 사용은 종래의 다른 기술에 비해 좀더 정확한 농도를 측정할 수 있고 또한 충전되는 기체의 종류를 쉽게 교체할 수 있기 때문에 적외선을 흡수하는 다른 기체의 측정도 가능하다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

안원기

경기도 안양시 동안구 비산3동 대양빌라 B동 B01호

이종진

경기도 고양시 덕양구 향동동 234-30

유근무

서울시 중랑구 상봉1동 256-32

강성훈

서울시 강남구 도곡동 895-8 역삼한신아파트 4동 707호

김성호

경기도 용인시 수지구 신봉동 708-13 삼성쉐르빌 101-501

특허청구의 범위

청구항 1

적외선 광원, 고정 구동 주파수를 갖는 쇼퍼, 시료 셀 및 더미(dummy) 셀, 온도 조절부, 레러-루프트형 광 음향 검출기 그리고 신호를 증폭하는 락인(Lock-in) 앰프를 포함하며,

시료 셀 내의 기체 시료에 포함된 이산화탄소는 광원에서 조사되는 적외선을 흡수하여 진동 에너지가 증가하여, 밀폐된 전위 셀 및 후위 셀의 압력을 증가시키며 전위 셀 및 후위 셀에 부착된 마이크로폰은 증가한 압력을 음향신호로 전환하여 이산화탄소의 농도에 비례하는 전기신호로 내보내며, 온도 조절부가 광 음향 검출기의 온도를 일정하게 조절하는 것을 특징으로 하는 광 음향 검출기를 이용한 이산화탄소 농도 측정장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 온도 조절부는 온도 조절 회로, 온도 검출 센서, 방열판, 히터 및 단열 상자를 포함하는 것을 특징으로 하는 광 음향 검출기를 이용한 이산화탄소 농도 측정장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 쇼퍼는 고정 구동 주파수가 10Hz인 것을 특징으로 하는 광 음향 검출기를 이용한 이산화탄소 농도 측정장치.

청구항 4

제1항에 있어서, 더미(dummy) 셀에는 적외선 불활성 기체를 충전하는 것을 특징으로 하는 광 음향 검출기를 이용한 이산화탄소 농도 측정장치.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

<21>

무색, 무미, 무취의 이산화탄소는 동식물의 대사 작용과 연료의 연소로 생성되고, 식물의 광합성에 의해 소모된다. 산업혁명 이후 대기에 포함된 이산화탄소는 공업화에 따른 화석 연료 사용의 확대에 의하여 점차 증가하고 있다. 대기 중 이산화탄소의 증가는 온실효과를 증대시켜 기후 변화를 일으키며, 지구 온난화를 초래한다. 화석 연료 사용량과 대기 중 이산화탄소 농도 변화의 관계는 스크립스 해양 연구소의 Keeling에 의해서 1957년에 확인되었다. 이를 계기로 미국의 NOAA / CMDL 프로그램, ALE / GAGE / AGAGE 등 세계 여러 대기 관측 기관이 이산화탄소의 대기 중 농도를 지속적으로 측정하고 있다. 이와 함께 온실가스를 줄이기 위한 노력이 지속적으로 이루어지고 있으며, 화석연료의 사용량 감축을 위한 에너지 절약정책이 진행되고 있다. 특히 건물의 냉난방에 따른 에너지 효율을 높이기 위하여 건물은 밀폐 구조로 건축되고 있다. 환기가 불량한 밀폐된 실내의 자연적인 확산에 의한 희석이 실외에 비하여 떨어져 이산화탄소, 분진, 세균, 일산화탄소 및 기타 오염물질의 농도가 높다. 특히 이산화탄소는 실내에서 허용기준(한국과 일본: 1,000 ppm, 미국: 2,000 ppm) 이하이면 인체의 건강에 큰 영향을 미치지 않으나, 그 농도가 허용치 이상 증가하면 산소가 부족하게 되어 호흡이 빨라진다. 호흡 중의 이산화탄소가 4%가 되면 폐포 내의 이산화탄소는 증가하기 시작하여 호흡 곤란, 두통 등의 증상을 일으키며, 만일 5% 이상이면 호흡 곤란이 현저해지고 생명도 위협한다. 따라서 이산화탄소의 농도는 실내 공기 오염의 중요한 지표이며 그 값에 따라 건강에 중대한 결과를 초래할 수 있기 때문에 주택, 극장, 공연장, 지하철 등과 같은 인간이 거주하고 생활하는 폐쇄 공간의 이산화탄소 농도 측정은 필수적인 일이라 할 수 있다.

<22>

기체의 농도측정을 위한 광 음향 분광기의 일반적인 구성은 광원, 쇼퍼, 단색화 장치 또는 광학 필터, 시료 셀, 광음향 검출기 및 락인(Lock-In) 앰프이다. 광 음향 검출기는 시료가 흡수한 빛의 양을 직접 측정하지 않고, 시료가 흡수한 빛의 양에 따라 나타나는 압력의 변화를 검출기에 설치된 마이크로폰으로 측정하기 때문에 감도가

우수한 측정장치로 알려져 있다. 그러나, 광 음향 검출기를 이용한 기체 측정은 모든 기체에 적용된 것은 아니고, 탄화수소 기체 등에 한정적으로 적용되어 왔다.

<23> 광 음향 신호는 초퍼에 의해 주기적으로 차단된 빛이 단색화 장치 또는 광학 필터를 통과하여 기체가 흡수하는 파장 영역의 빛만이 시료 셀을 지나 광 음향 검출기에 조사되어 발생한다. 검출기에 조사되는 빛을 주기적으로 차단하면, 검출기 속의 기체는 빛을 받는 동안 흡수한 광 에너지의 전부 또는 일부를 열로 바꾸며 가열되어 압력이 증가하고, 빛이 차단되는 동안 열이 발생하지 않기 때문에 압력이 감소하여 초퍼와 주파수가 같은 음파를 발생시킨다. 광 음향 검출기에 설치된 마이크로폰은 발생한 음파를 전기신호로 변환하여 출력한다. 락인(Lock-in) 앰프는 초퍼의 주파수와 동일한 주파수를 갖는 음파 신호만을 수집하여 초퍼의 주파수와 다른 잡음을 제거한다. 그러므로 기준 신호가 되는 초퍼 구동 주파수의 정확도는 장치의 측정 감도에 영향을 준다.

<24> 일반적인 적외선 분광기에서 사용되는 초퍼는 수 Hz ~ 수천 Hz에 걸친 넓은 범위의 구동 주파수를 갖는 가변형이다. 가변형 초퍼는 넓은 범위의 주파수에서 구동되는 특징을 나타내지만, 특정 구동 주파수에서의 정확도는 떨어지며, 초퍼 모터를 구동하기 위해 복잡한 별도의 장치가 필요하다.

<25> 또한, 검출 기체가 채워진 하나의 셀과 셀에 연결된 마이크로폰 구조를 갖는 일반적인 광 음향 검출기는 검출 신호의 세기는 크지만, 흡수 파장이 비슷한 두 기체에 대한 선택성이 떨어진다. 선택성의 감소는 검출기에 포함된 흡수 파장이 비슷한 물질에 의해 검출신호가 증가하여 정확한 측정값을 얻지 못하는 문제점이 있다.

<26> 또한, 실온에서 사용되는 광 음향 검출기의 온도는 시료의 농도를 측정하는 동안 실온 변화에 따라 함께 변한다. 광 음향 검출기는 내부 기체의 주기적인 열의 발생이 압력으로 전환되어 발생하는 음파를 측정하는 것으로, 검출기 온도 변화는 내부의 압력을 변화시켜 검출신호에 영향을 미치는 문제점이 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<27> 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 이산화탄소 농도 측정을 위해 간단한 구동 회로로 작동되는 10Hz의 고정 주파수를 갖는 초퍼를 제작하고, 검출 신호의 선택성을 높이기 위해 레러-루프트(Lehrer-Luft) 형태의 광 음향 검출기와 이 검출기의 온도를 일정하게 유지하기 위한 온도 조절부가 적용된 적외선 분광기를 제공하는 것을 목적으로 한다.

발명의 구성 및 작용

<28> 상기 목적을 달성하기 위하여 본 발명자들은 이산화탄소의 농도를 효과적으로 측정하기 위하여 레러-루프트형 광 음향 측정기를 이용하고, 온도 조절부를 갖춘 이산화탄소 농도 측정장치를 개발하게 되었다.

<29> 본 발명은 적외선 광원, 고정 구동 주파수를 갖는 초퍼, 시료 셀 및 더미(dummy) 셀, 온도 조절부, 레러-루프트형 광 음향 검출기 그리고 신호를 증폭하는 락인(Lock-in) 앰프를 포함하며,

<30> 시료 셀 내의 기체 시료에 포함된 이산화탄소는 광원에서 조사되는 적외선을 흡수하여 진동 에너지가 증가하여, 밀폐된 전위 셀 및 후위 셀의 압력을 증가시키며 전위 셀 및 후위 셀에 부착된 마이크로폰은 증가된 압력을 음향신호로 전환하여 이산화탄소의 농도에 비례하는 전기신호로 내보내며, 온도 조절부가 광 음향 검출기의 온도를 일정하게 조절하는 것을 특징으로 하는 광 음향 검출기를 이용한 이산화탄소 농도 측정장치를 제공한다.

<31> 또한, 본 발명은 상기 온도 조절부가 온도 조절 회로, 온도 검출 센서, 방열판, 히터 및 단열 상자를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<32> 또한, 상기 초퍼는 고정 구동 주파수가 10Hz인 것을 특징으로 한다.

<33> 본 발명의 구성을 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

<34> 도 2는 본 발명의 광 음향 검출기를 이용한 이산화탄소 농도 측정 장치의 개략도이다. 이 장치는 크게 광 음향 측정부(100), 초퍼 구동부(200) 및 온도 조절부(300)로 구성된다.

<35> 광 음향 측정부의 구성 및 역할:

<36> 적외선을 복사하는 광원(101)과 조사된 빛을 주기적으로 차폐하는 초퍼(102), 이산화탄소의 농도를 측정하기 위한 시료 셀(103)과 광원의 빛이 검출기에 도달하도록 하는 더미(dummy) 셀(104), 시료 셀(103)을 통과한 빛의 투과광 강도를 마이크로폰(105)으로 측정하는 광 음향 검출기(106), 그리고 광 음향 검출기(106)와 초퍼(102)에 설치된 광센서(107)로부터 신호를 받아 노이즈를 제거하고, 신호를 증폭하는 락인(Lock-in) 앰프(108)로 구성된

다. 괄호 속에 표시된 숫자는 도 2에 나타난 부호이다.

- <37> 적외선 광원(101)은 히터, 바람직하게는 세라믹 히터, 더욱 바람직하게는 표면 온도 700℃의 세라믹 히터를 사용한다.
- <38> 적외선 광선을 일정한 간격으로 차폐하여 보내기 위한 쇼퍼(102)는 모터, 바람직하게는 싱크로너스(synchronous) 모터(202)로 회전시킨다.
- <39> 압출 성형 후 금도금한 100mm의 알루미늄 관은 두 개의 구역으로 완전히 분리되며, 한쪽은 순수 질소 기체가 채워진 더미(dummy) 셀(104) (즉, 적외선을 흡수하지 않는 셀)로 구성되며, 다른 쪽은 시료인 이산화탄소 함유 기체를 충전하는 시료 셀(103)로 구성된다. 더미 셀(104)에 채워지는 기체는 상기 질소 기체 외에도 적외선을 흡수하지 않는 적외선 불활성 기체 즉, 네온, 아르곤, 산소 등을 이용할 수 있다.
- <40> 이산화탄소의 적외선 흡광을 광 음향으로 전환하는 광 음향 검출기(106)는 광원(101)과 반대 방향에 마주보고 놓여있다. 시료 기체는 시료 주입구(109)로 주입되고 시료 배출구(110)를 통하여 배출된다. 적외선 광원(101)으로부터 조사된 광선 중에서 시료가 채워진 셀(103)을 통과하는 광을 제 1광 경로 L1이라 하고, 더미 셀(104)을 통과하는 광을 제 2광 경로 L2라 한다. 쇼퍼(102)의 작동에 의해 주기적으로 시료 셀과 더미 셀을 통과한 적외선 광선은 제 1광 경로의 빛과 제 2광 경로의 빛으로 광 음향 검출기(106)에 교차하여 입사한다. 도 2에서는 각 구성요소의 명확한 구분을 위하여 시료 셀 및 더미 셀과 광 음향 측정기 사이에 간극이 있는 것처럼 표현되었으나, 통상은 간극 없이 CaF_2 창(106c)이 있어 시료 셀과 더미 셀을 통과한 광선이 광 음향 검출기에 입사하게 된다. 디지털 락인-앰프(108)는 쇼퍼(102)에 설치된 광 센서(107)의 신호를 기준 신호로 입력받고, 광 음향 검출기(106)의 마이크로폰(105)에서 출력된 신호를 증폭하여 이산화탄소의 농도에 따른 신호를 출력한다.
- <41> 쇼퍼 구동부의 구성 및 역할:
- <42> 쇼퍼 구동부(200)는 모터 구동회로(201)와 싱크로너스(synchronous) 모터(202)로 구성된다. 모터 구동회로(201)는 쇼퍼의 안정된 동작을 위해서 $\pm 24\text{V}/60\text{Hz}$ 의 정현파(sine wave) 신호를 발생하여 싱크로너스(synchronous) 모터(202)에 인가한다. 싱크로너스(synchronous) 모터(202)는 모터 구동회로(201)로부터 $\pm 24\text{V}/60\text{Hz}$ 의 정현파(sine wave) 신호를 입력받아 10Hz의 일정한 회전수를 유지한다.
- <43> 온도 조절부의 구성 및 역할:
- <44> 온도 조절부(300)는 온도 조절 회로(301), 온도 검출 센서(302), 방열판(303), 히터(304) 및 단열 상자(305)로 구성되며 도 3에 개략도를 나타내었다. 온도 조절 회로(301)는 비교기(301a)와 단속기(301b)로 구성되며, 비교기(301a)는 장치의 온도를 온도 검출 센서(302)로부터 입력받아 설정된 온도와 비교하고, 단속기(301b)는 장치의 온도를 올리기 위하여 방열판(303)에 설치된 히터(304)로 전원을 공급하여 장치의 온도가 일정하게 유지되도록 한다. 단열 상자(305)는 외부와 장치를 차단하여 장치 내부의 온도가 외부의 영향을 받지 않도록 한다.
- <45> 레러-루프트(Lehrer-Luft) 형 검출기의 구성 및 역할:
- <46> 레러-루프트형 검출기는 마이크로폰(105), 전위 셀(106a), 후위 셀(106b) 및 CaF_2 창(106c)으로 구성되며 도 4에 개략적인 구성을 나타내었다. 마이크로폰은 전위 셀(106a)과 후위 셀(106b)의 중간에 설치되며, 관을 통하여 셀의 압력 변화가 전달되도록 하였다. 전위 셀(106a)과 후위 셀(106b)의 길이는 제한된 것은 아니나, 통상 전위 셀(106a)이 6.5mm, 후위 셀(106b)이 13mm로 1:2의 비율을 가지며, CaF_2 창(106c)으로 나누어진 각 셀에는 이산화탄소가 채워져 있다. CaF_2 창(106c)은 이산화탄소 흡수 파장 영역의 적외선을 흡수하지 않는다. 검출기(106)에 조사된 빛은 먼저 전위 셀(106a)에 채워진 이산화탄소에 의해 흡수되어 압력을 증가시키고, 전위 셀(106a)에서 흡수되지 못한 빛은 후위 셀(106b)에 조사되어 압력을 증가시킨다. 마이크로폰(105)의 다이아프램은 전위 셀(106a)과 후위 셀(106b)의 압력 차이를 감지한다.
- <47> 도 5에 도시된 하나의 셀과 마이크로폰으로 구성된 일반 광 음향 검출기의 마이크로폰은 광로에 이산화탄소와 흡수 파장이 유사한 방해물질이 있을 때, 방해물질에 의한 빛의 세기 감소에 따라 신호를 출력한다. 그러나 레러-루프트 형 검출기(106)는 방해물질에 의한 빛의 감소가 전위 셀(106a)과 후위 셀(106b)에서 동시에 발생하기 때문에 일반 검출기에 비하여 출력신호의 크기가 작다. 그러므로, 레러-루프트형 검출기(106)는 방해물질에 의한 교차감응이 일반 검출기에 비하여 작다.
- <48> 이산화탄소 농도 측정 방법:

- <49> 이산화탄소 농도 측정은 다음의 2단계에 의해 이루어진다.
- <50> (가) 영점 신호 측정
- <51> 영점 신호 측정은 먼저 시료 셀(103)에 이산화탄소를 제거한 공기를 시료 주입구(108)로 주입하고 시료 셀(103)과 더미 셀(104)에 교대로 빛을 통과시킨 후, 광음향 검출기(106)의 출력신호를 디지털 락인-앰프(108)로 측정한다. 이때 이산화탄소가 제거된 시료를 통과한 제 1광 경로의 빛은 적외선 흡수가 발생하지 않으며, 또한 더미 셀(104) 내의 질소를 통과한 제 2광 경로의 빛 역시 적외선 흡수가 없기 때문에 두 경로를 통과한 빛의 세기는 동일하다. 따라서 동일한 세기의 광 에너지로 인하여 광 검출기에 압력의 차가 발생하지 않으며, 그 결과 광음향 검출기에 연결된 마이크로폰(105)의 다이어프램(diaphragm)은 진동하지 않는다.
- <52> (나) 시료 기체의 이산화탄소 농도 측정
- <53> 시료 기체의 농도 측정은 시료 셀(103)에 이산화탄소가 포함된 기체를 주입하고 시료 셀(103)과 더미 셀(104)에 교대로 빛을 통과시킨 후, 광음향 검출기(106)의 출력신호를 디지털 락인 앰프(108)로 측정한다. 이때 광음향 검출기(106)에 도달하는 제 2광 경로의 빛은 그 세기가 변하지 않지만, 제 1광 경로의 빛은 시료에 포함된 이산화탄소에 의해 흡수되어 빛의 세기가 약해지며, 빛의 세기는 이산화탄소의 농도에 따라 달라진다. 즉, 시료에 이산화탄소의 농도가 높으면 제 1광 경로의 적외선 흡수는 커지며 그 결과 광음향 검출기(106)에 도달하는 빛의 세기는 작아지기 때문에 제 1광 경로와 제 2광 경로의 광량 차이가 나타나며, 이는 검출기(106) 내부의 압력 변화를 유발하여 광음향 검출기(106)에 설치된 마이크로폰(105)의 다이어프램으로 하여금 전기 신호를 발생하게 한다.
- <54> 이하 실시예를 통하여 본 발명을 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명의 범위가 실시예의 기재에만 한정되는 것은 아님은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명하다.
- <55> <실시예 1>
- <56> 초퍼는 10Hz로 구동시키고, 온도 조절기를 이용하여 장치의 온도는 45℃를 유지하였다. 이산화탄소의 농도가 100ppm, 150ppm, 200ppm, 600ppm, 1,200ppm, 2,500ppm, 5,000ppm 및 10,000ppm 인 시료 기체를 각각 시료 주입구를 통하여 시료 셀에 주입하여 광음향 검출신호를 디지털 락인 앰프로 측정하였다. 시료 한 개의 검출신호를 측정한 후, 이산화탄소가 포함되지 않은 공기를 이용하여 시료 셀에 잔류하고 있는 시료 기체를 시료 배출구로 배기하고, 새로운 시료 기체를 시료 주입구로 주입하여 이산화탄소 농도에 따른 광음향 검출신호의 크기를 측정하였다. 이와 같이 순차적으로 시료 기체가 포함하고 있는 이산화탄소의 농도를 측정하였다.
- <57> 그 결과를 표 1, 도 4에 나타내었다. 표 1과 도 4에 도시된 바와 같이, 이산화탄소 농도가 100ppm에서 10,000ppm의 범위에서 농도의 로그 환산값에 따라 광음향 검출신호가 선형적으로 증가하였고, r^2 값이 0.993이었다. 이는 본 발명에 따른 장치를 이용하여 대기 중에 300ppm 정도 포함된 이산화탄소뿐만 아니라, 대기에 비하여 높은 농도의 실내 이산화탄소 농도도 측정할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

표 1

이산화탄소 농도(ppm)	100	150	200	600	1,200	2,500	5,000	10,000
광음향 검출신호세기(V)	0.117	0.257	0.339	0.849	1.014	1.486	1.680	1.880

발명의 효과

- <59> 광음향 검출기를 사용하면 종래의 다른 기술에 비해 좀더 정확한 이산화탄소의 농도를 측정할 수 있다. 또한 사용한 광음향 검출기는 충전되는 기체의 종류를 쉽게 교체할 수 있기 때문에 일산화탄소, 암모니아, 산화질소 기체(NOx) 및 탄화수소가스(TVOC) 등과 같이 적외선을 흡수하는 기체의 측정도 가능하다.

도면의 간단한 설명

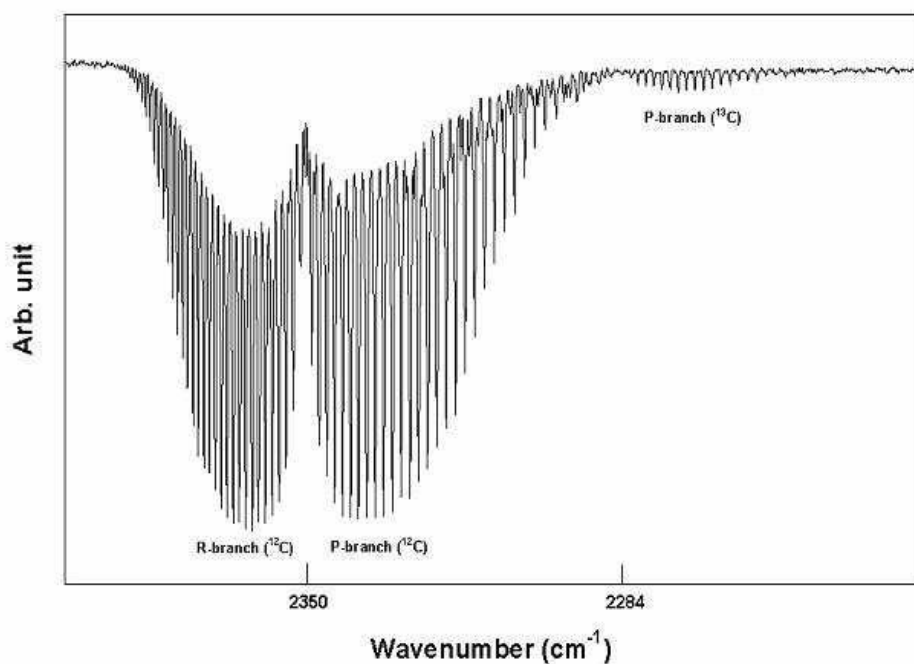
- <1> 도 1: 이산화탄소의 적외선 흡수스펙트럼
- <2> 도 2: 본 발명 장치의 구성도
- <3> 도 3: 본 발명 장치의 온도 조절부

- | | | |
|------|---|--------------------------|
| <4> | 도 4: Lehrer-Luft 형 검출기 | |
| <5> | 도 5: 일반형 검출기 | |
| <6> | 도 6: 이산화탄소의 농도(X축)에 대한 광 음향 검출 신호의 크기(Y 축) 변화 | |
| <7> | * 도면 부호 설명 * | |
| <8> | 100: 광 음향 측정부 | 101: 광원 |
| <9> | 102: 초퍼 | 103: 시료 셀 |
| <10> | 104: 더미(dummy) 셀 | 105: 마이크로폰 |
| <11> | 106: 레러-루프트형 광 음향 검출기 | 106a: 전위 셀 |
| <12> | 106b: 후위 셀 | 106c: CaF ₂ 창 |
| <13> | 107: 광센서 | 108: 락인(Lock-in) 앰프 |
| <14> | 109: 시료주입구 | 110: 시료 배출구 |
| <15> | 200: 초퍼 구동부 | 201: 모터 구동회로 |
| <16> | 202: 싱크로너스 모터 | 300: 온도 조절부 |
| <17> | 301: 온도 조절 회로 | 301a: 비교기 |
| <18> | 301b: 단속기 | 302: 온도 검출 센서 |
| <19> | 303: 방열판 | 304: 히터 |
| <20> | 305: 단열 상자 | |

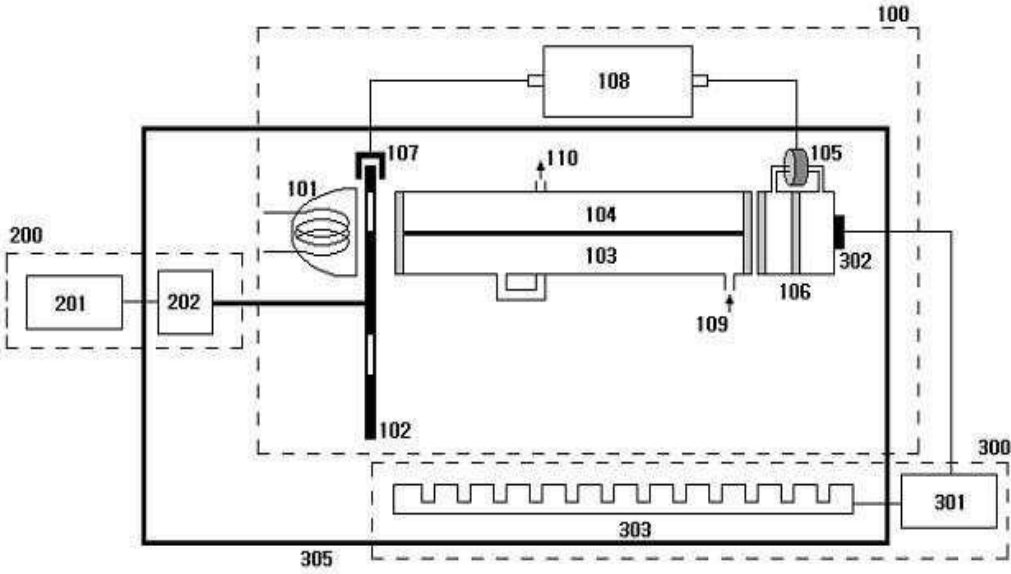
도면

도면1

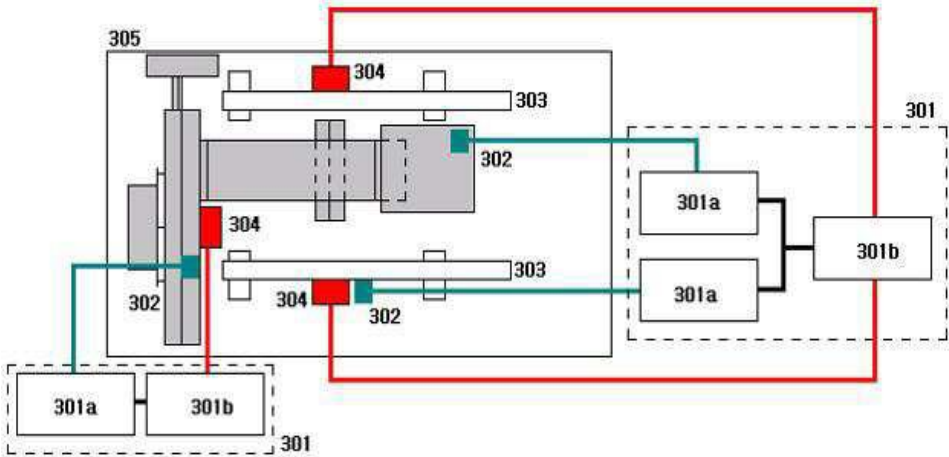
The ν_3 vibrational mode of carbon dioxide



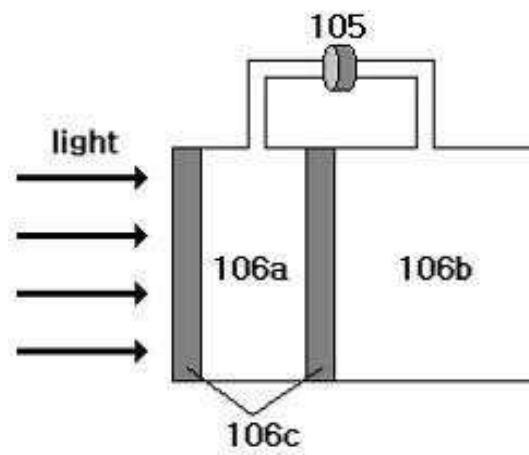
도면2



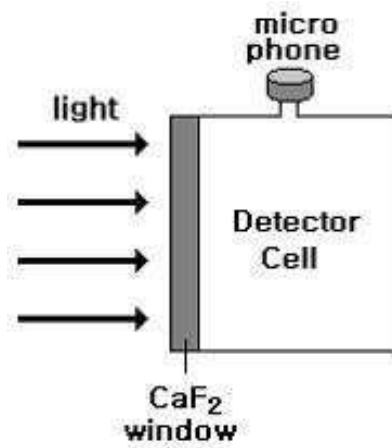
도면3



도면4



도면5



도면6

