



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0089316
(43) 공개일자 2019년07월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 1/38 (2006.01) **B01D 46/00** (2006.01)
B01J 19/00 (2018.01) **B01J 19/12** (2006.01)
G01N 1/22 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
G01N 1/38 (2013.01)
B01D 46/00 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2018-0007627
 (22) 출원일자 2018년01월22일
 심사청구일자 2018년01월22일

(71) 출원인
아주대학교산학협력단
 경기도 수원시 영통구 월드컵로 206 (원천동)
 (72) 발명자
허려화
 경기도 수원시 팔달구 중부대로223번길 20-3(우만동)
김형택
 경기도 용인시 수지구 법조로 251 응진스타클래스
 아파트 202동 1901호
 (74) 대리인
특허법인 태웅

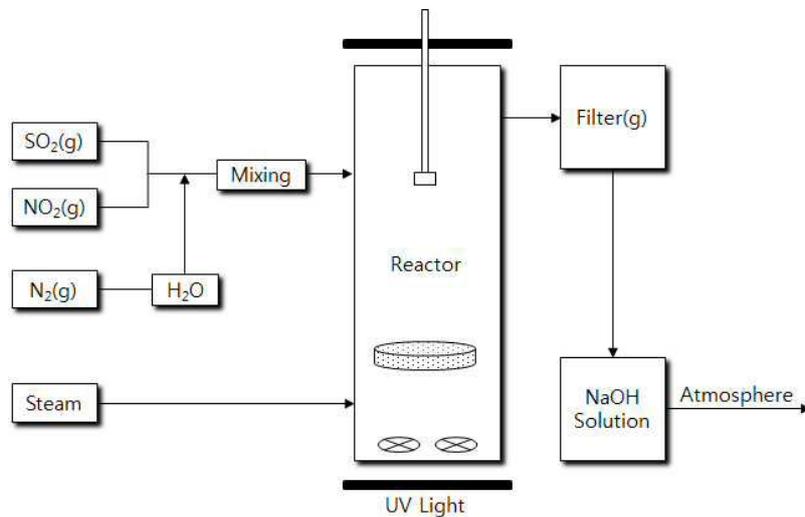
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **2차 미세먼지 생성 장치**

(57) 요약

본 발명은 반응에 필요한 반응물들을 공급하는 공급부; 광물질 입자가 투입된 반응기 및 UV 광원을 포함하여 공급된 반응물로부터 2차 미세먼지를 포함하는 생성물을 생성하는 반응부; 및 반응기로부터 배출되는 생성물을 분석하기 위하여 생성물들을 수집하는 수집부;를 포함하여, 1차 오염물질로부터 2차 미세먼지를 생성하는 2차 미세먼지 생성장치에 관한 것으로, 공급되는 반응물 및 반응부의 조건을 다양하게 변화시켜 반응시켰을 때 생성되는 생성물의 조성을 분석하여 2차 미세먼지 생성 메커니즘 분석이 가능한 2차 미세먼지 생성장치를 제공할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B01J 19/0066 (2013.01)

B01J 19/123 (2013.01)

G01N 1/22 (2013.01)

B01J 2219/0801 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017004835

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 이공학개인지초-중견연구

연구과제명 석탄 연소 배출 초미세 비산재의 2차 미세먼지 생성 특성 대한 연구

기여율 1/1

주관기관 아주대학교

연구기간 2017.03.01 ~ 2020.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

반응에 필요한 반응물들을 공급하는 공급부;

광물질 입자가 투입된 반응기 및 UV 광원을 포함하여 공급된 반응물로부터 2차 미세먼지를 포함하는 생성물을 생성하는 반응부; 및

반응기로부터 배출되는 생성물을 분석하기 위하여 생성물들을 수집하는 수집부;를 포함하여, 1차 오염물질로부터 2차 미세먼지를 생성하는 2차 미세먼지 생성장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 공급부는 SO_x, NO_x 및 N₂를 상기 반응기로 공급하는 SO_x 공급수단, NO_x 공급수단 및 N₂ 공급수단을 포함하는 2차 미세먼지 생성장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 N₂ 공급수단은 N₂가 반응기로 공급되는 라인 중에 H₂O를 통과하도록 하는 수단을 더 포함하는 2차 미세먼지 생성장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 공급부는 상기 반응기에 스팀을 공급하는 스팀(steam) 공급수단을 더 포함하는 2차 미세먼지 생성장치.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 공급부는 SO_x 및 NO_x가 공급되는 라인에 혼합수단을 더 포함하여 SO_x 및 NO_x가 혼합된 상태로 반응기에 공급되도록 하는 2차 미세먼지 생성장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 광물질 입자는 Al₂O₃, CaO, MgO, Fe₂O₃, SiO₂, TiO₂ 및 ZnO로 구성되는 군에서 선택되는 어느 1종 이상의 입자를 포함하는 2차 미세먼지 생성장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 반응기는 하단에 교반기를 구비하고, 투광성 재질로 구비되는 2차 미세먼지 생성장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 수집부는 필터 장치로서 생성물 중에 포함된 고체 성분을 필터링하고 기체 성분을 통과시키는 수단인 2차 미세먼지 생성장치.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 수집부 후단에 배출부를 더 포함하여, 상기 수집부를 통과한 성분을 후처리한 후 대기 중으로 배출시키는 2차 미세먼지 생성장치.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 공급부 및 반응부의 조건을 변화시켜 반응시켰을 때 생성되는 생성물의 조성을 분석하여 2차 미세먼지 생성 메커니즘 분석이 가능한 2차 미세먼지 생성장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 2차 미세먼지 생성 장치에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로 2차 미세먼지 생성 반응 메커니즘에 대한 연구에 이용될 수 있는 2차 미세먼지 생성 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 여기서는, 본 개시에 관한 배경기술이 제공되며, 이들이 반드시 공지기술을 의미하는 것은 아니다.

[0003] 먼지란 대기 중에 떠다니거나 흩날려 내려오는 입자상 물질을 말하는데, 석탄·석유 등의 화석연료를 태울 때나 공장·자동차 등의 배출가스에서 많이 발생한다. 먼지는 입자 크기에 따라 50 μm 이하인 총먼지(TSP, Total Suspended Particles)와 입자크기가 매우 작은 미세먼지(PM, Particulate Matter)로 구분된다.

[0004] 미세먼지는 지름이 10 μm 보다 작은 미세먼지(PM10)와 지름이 2.5 μm 보다 작은 미세먼지(PM2.5)로 나누어진다. 또한 미세먼지는 굴뚝 등 발생원에서부터 고체 상태의 미세먼지로 나오는 경우(1차적 발생)와 발생원에서는 가스 상태로 나온 물질이 공기 중의 다른 물질과 화학반응을 일으켜 미세먼지가 되는 경우(2차적 발생)로 나누어질 수 있다.

[0005] 미세먼지는 세계보건기구(WHO)가 분류한 1군(Group 1) 발암물질에 해당하며, 기관지에 미세먼지가 쌓이면 세균이 쉽게 침투할 수 있어 감염성 질환의 발병률이 증가하게 되고, 대기 중 이산화황(SO₂)이나 이산화질소(NO₂)가 많이 묻어있는 미세먼지는 산성비를 내리게 해 토양과 물을 산성화시키며, 토양 황폐화, 생태계 피해, 산림수목과 기타 식생의 손상 등을 일으킬 수 있고, 반도체, 디스플레이, 자동차 산업 등 생산 공정에 있어서 미세먼지에 노출될 경우 불량률이 증가하고 오작동 피해를 줄 수 있다.

[0006] 화력발전소의 경우, 1차 미세먼지(직접 배출)의 양은 많지 않지만 NO_x, SO_x에 의한 2차 미세먼지(간접 배출) 발생이 문제가 될 수 있다. 기존에는 발생된 미세먼지를 차단하거나 포집하고 제거하는 장치에 관한 연구가 주로 이루어져 왔을 뿐이며, 화력발전소 굴뚝 등에서 배출되는 NO_x, SO_x에 의한 2차 미세먼지 생성 반응 관련 연구를 위한 미세먼지 생성 장치에 관한 연구는 이루어지지 않고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0007] (특허문헌 0001) 1. 한국등록특허 제10-1553136호 (2015-09-08)
- (특허문헌 0002) 2. 한국등록특허 제10-1569721호 (2015-11-11)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로 2차 미세먼지 생성 반응 메커니즘에 대한 연구에 이용될 수 있는 2차 미세먼지 생성 장치를 제공하고자 하는 것이다.
- [0009] 그러나 본 발명의 목적들은 상기에 언급된 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 발명은 반응에 필요한 반응물들을 공급하는 공급부; 광물질 입자가 투입된 반응기 및 UV 광원을 포함하여 공급된 반응물로부터 2차 미세먼지를 포함하는 생성물을 생성하는 반응부; 및 반응기로부터 배출되는 생성물을 분석하기 위하여 생성물들을 수집하는 수집부;를 포함하여, 1차 오염물질로부터 2차 미세먼지를 생성하는 2차 미세먼지 생성장치를 제공한다.
- [0011] 또한 상기 공급부는 SOx, NOx 및 N₂를 상기 반응기로 공급하는 SOx 공급수단, NOx 공급수단 및 N₂ 공급수단을 포함한다.
- [0012] 또한 상기 N₂ 공급수단은 N₂가 반응기로 공급되는 라인 중에 H₂O를 통과하도록 하는 수단을 더 포함한다.
- [0013] 또한 상기 공급부는 상기 반응기에 스팀을 공급하는 스팀(steam) 공급수단을 더 포함한다.
- [0014] 또한 상기 공급부는 SOx 및 NOx가 공급되는 라인에 혼합수단을 더 포함하여 SOx 및 NOx가 혼합된 상태로 반응기 (21)에 공급되도록 한다.
- [0015] 또한 상기 광물질 입자는 Al₂O₃, CaO, MgO, Fe₂O₃, SiO₂, TiO₂ 및 ZnO로 구성되는 군에서 선택되는 어느 1종 이상의 입자를 포함한다.
- [0016] 또한 상기 반응기는 하단에 교반기를 구비하고, 투광성 재질로 구비된다.
- [0017] 또한 상기 수집부는 필터 장치로서 생성물 중에 포함된 고체 성분을 필터링하고 기체 성분을 통과시키는 수단이다.
- [0018] 또한 상기 수집부 후단에 배출부를 더 포함하여, 상기 수집부를 통과한 성분을 후처리한 후 대기 중으로 배출시킨다.
- [0019] 또한 상기 공급부 및 반응부의 조건을 변화시켜 반응시켰을 때 생성되는 생성물의 조성을 분석하여 2차 미세먼지 생성 메커니즘 분석이 가능하다.

발명의 효과

- [0020] 본 발명은 공급되는 반응물 및 반응부의 조건을 다양하게 변화시켜 반응시켰을 때 생성되는 생성물의 조성을 분석하여 2차 미세먼지 생성 메커니즘 분석이 가능한 2차 미세먼지 생성장치를 제공할 수 있다.
- [0021] 또한 NO₂(g) 및 SO₂(g)으로부터 NO₃⁻ 및 SO₄²⁻를 생성하는 반응의 메커니즘을 여러 가지 단계로 가정할 수 있으며, 본 발명은 반응 조건을 다양하게 하여 상기 가정한 반응 메커니즘과 일치하는 분석 결과를 나타내는지 비교 분석하여 2차 미세먼지의 생성 메커니즘 규명에 이용할 수 있는 2차 미세먼지 생성장치를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 2차 미세먼지 생성장치의 구성도를 나타낸 것이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 반응 전 광물질 입자의 SEM 이미지와 EDS 분석 결과를 나타낸 것이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 반응 후 광물질 입자의 SEM 이미지와 EDS 분석 결과를 나타낸 것이다.
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 반응 후 광물질 입자의 EDS 분석을 통해 S 함량을 측정한 결과를 나타낸 것이다.
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 반응 전 filter paper의 SEM 이미지를 나타낸 것이다.
- 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 반응 후 filter paper의 SEM 이미지를 나타낸 것이다.
- 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 반응 후 필터링된 성분의 EDS 분석을 통해 S 함량을 측정한 결과를 나타낸 것이다.
- 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 광물질 입자의 반응 전/후 입자 크기를 측정한 결과를 나타낸 것이다.

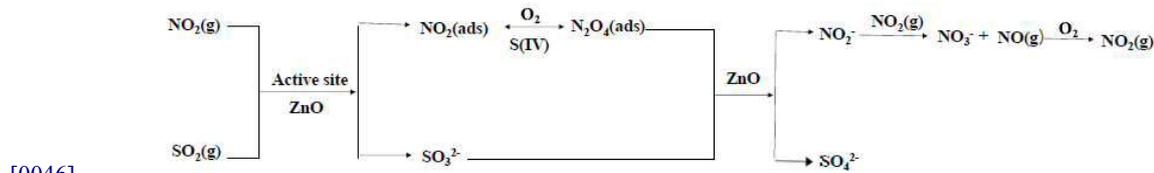
발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하에 본 발명을 상세하게 설명하기에 앞서, 본 명세서에 사용된 용어는 특정의 실시예를 기술하기 위한 것일 뿐 첨부하는 특허청구의 범위에 의해서만 한정되는 본 발명의 범위를 한정하려는 것은 아님을 이해하여야 한다. 본 명세서에 사용되는 모든 기술용어 및 과학용어는 다른 언급이 없는 한은 기술적으로 통상의 기술을 가진 자에게 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다.
- [0024] 본 명세서 및 청구범위의 전반에 걸쳐, 다른 언급이 없는 한 포함(comprise, comprises, comprising)이라는 용어는 언급된 물건, 단계 또는 일군의 물건, 및 단계를 포함하는 것을 의미하고, 임의의 어떤 다른 물건, 단계 또는 일군의 물건 또는 일군의 단계를 배제하는 의미로 사용된 것은 아니다.
- [0025] 한편, 본 발명의 여러 가지 실시예들은 명확한 반대의 지적이 없는 한 그 외의 어떤 다른 실시예들과 결합될 수 있다. 특히 바람직하거나 유리하다고 지시하는 어떤 특징도 바람직하거나 유리하다고 지시한 그 외의 어떤 특징 및 특징들과 결합될 수 있다. 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예 및 이에 따른 효과를 설명하기로 한다.
- [0026] 본 발명의 실시예에 따른 2차 미세먼지 생성장치(1)는 광물질을 이용하여 광 조사 조건에서 1차 오염물질인 황산화물(sulfur oxides, SOx), 질소산화물(nitrogen oxide, NOx)로부터 황산(sulfuric acid), 질산(nitric acid) 에어로졸을 생성하여 황산염(sulfate), 질산염(nitrate)으로 전환함으로써 2차 미세먼지를 생성하는 장치로서, 반응에 필요한 반응물들을 공급하는 공급부(10), 광물질 입자가 투입된 반응기(21) 및 UV 광원(22)을 포함하여 공급된 반응물로부터 2차 미세먼지를 포함하는 생성물을 생성하는 반응부(20) 및 반응기로부터 배출되는 생성물을 분석하기 위하여 생성물들을 수집하는 수집부(30)를 포함한다.
- [0027] 공급부(10)는 SOx 공급수단(11), NOx 공급수단(12) 및 N₂ 공급수단(13)을 포함하여 SOx, NOx 및 N₂를 반응기(21)로 공급한다. 상기 공급수단들은 각각 질량 유량 제어기(Mass Flow Controller, MFC)를 더 포함하여 반응기로 공급되는 SOx, NOx 및 N₂의 유량을 조절할 수 있다. 공급부(10)는 반응물을 일정한 양 공급하고 차단하여 회분식 공정으로 수행되도록 할 수 있으며, 반응물을 연속적으로 공급하여 연속 공정으로 수행되도록 할 수 있다.
- [0028] SOx 공급수단(11) 및 NOx 공급수단(12)은 기체상태의 황산화물 및 질소산화물을 반응기(21)로 공급하는 수단으로서 2차 미세먼지로 전환되기 위한 1차 오염물질을 공급하는 역할을 한다.
- [0029] N₂ 공급수단(13)은 기체상태의 질소를 반응기(21)로 공급하는 수단으로서 반응 전 반응기 내부의 오염물질을 제거하고 수분 및 기타 물질을 이송하는 역할을 한다. N₂ 공급수단(13)은 N₂가 반응기(21)로 공급되는 라인 중에 H₂O를 통과하도록 하여 대기 환경에서의 습도조건을 맞출 수 있다.
- [0030] 또한 공급부(10)는 스팀(steam) 공급수단(14)을 더 포함하여, 반응기(21)에 스팀을 공급함으로써, 발전소 굴뚝에서 배출되는 배가스의 습도 조건을 맞출 수 있고, 대기 환경변화에 따른 습도조건을 스팀 공급량 제어로 조절할 수 있다.

- [0031] 또한 공급부(10)는 SO_x 및 NO_x가 공급되는 라인에 혼합수단(15)을 더 포함하여 SO_x 및 NO_x가 혼합된 상태로 반응기(21)에 공급되도록 할 수 있다. SO_x 와 NO_x가 별도의 라인으로 공급되는 경우보다 혼합된 상태로 공급되는 경우 분산성이 향상되어 반응수율을 높일 수 있다.
- [0032] 상기와 같은 공급부(10)의 구성에 의하여 반응물의 유입 방식, 조성(성분 및 함량), 유량 등을 조절할 수 있다.
- [0033] 반응부(20)는 공급된 반응물로부터 2차 미세먼지를 포함하는 생성물을 생성하기 위한 광물질 입자가 투입된 반응기(21) 및 UV 광원(22)을 포함하여, 기체 상태의 반응물이 고체 상태의 광물질 입자와 반응하는 불균일계 반응이 일어나도록 한다.
- [0034] 반응기(21)는 내부에 광물질 입자가 투입될 수 있도록 구비되어 광물질 입자의 표면에서 공급된 황산화물이 황산염으로 전환되도록 한다. 이 때, 공급된 질소산화물은 광물질 입자와 공존하여 분자상태의 산소 활성을 강화하여 산화촉매제의 역할을 함으로써 광물질 입자의 표면에서 황산화물이 황산염으로 쉽게 전환되어 2차 미세먼지를 생성할 수 있도록 한다.
- [0035] 상기 광물질 입자는 Al₂O₃, CaO, MgO, Fe₂O₃, SiO₂, TiO₂ 및 ZnO로 구성되는 군에서 선택되는 어느 1종 이상의 입자를 포함한다. 석탄 회분의 경우 SiO₂ 30~35 wt%, Al₂O₃ 15~20 wt%, CaO 15~20 wt%, Fe₂O₃ 5~10 wt%, TiO₂ 0.5~1.0 wt%, MgO 3~7 wt%, K₂O 0.5~3 wt% 및 P₂O₅ 0.1~0.5 wt%의 조성을 나타내므로 광물질 입자로서 석탄연소 부산물(석탄 회분)을 사용하여 공급할 수 있다. 투입되는 광물질 입자의 종류 및 물성(입도, 비표면적 등)을 조절하여 2차 미세먼지를 생성시킬 수 있다.
- [0036] 상기 광물질 입자는 상기 반응기 내부에 일시로 투입될 수 있으나, 연속적으로 분사 공급될 수 있다.
- [0037] 또한 반응기(21)는 하단에 교반기를 구비하여 반응기 내부의 물질들이 고르게 혼합 및 분산되도록 한다. 교반 속도나 교반 형태를 조절하여 2차 미세먼지를 생성시킬 수 있다.
- [0038] UV 광원(22)은 2차 미세먼지 생성에 필요한 에너지를 제공하는 것으로서, 반응기(21) 외측에 구비되어 작동시킴으로써 광원의 세기, 조사 패턴 및 반응시간 등을 조절하여 2차 미세먼지를 생성시킬 수 있다.
- [0039] 또한 반응기(21)는 투광성 재질로 구비되어 반응기 외부에서 조사되는 UV 광이 반응기 내부로 투입될 수 있도록 하고, 반응기 내에서 2차 미세먼지가 생성되는 반응을 육안으로 관찰할 수 있도록 한다. 또한 반응기(21)에는 온도 및 습도 센서를 구비하여 2차 미세먼지 생성 반응 중 온도와 습도 변화를 실시간으로 측정할 수 있도록 한다.
- [0040] 반응물이 반응기(21) 내부에 공급된 상태에서 UV 광원(22)을 작동시키면 광물질 입자의 표면에서 황산화물 및 질소산화물로부터 SO₄²⁻ 등의 황산염 및 NO₃⁻ 등의 질산염이 생성된다. 이 때 상기 공급부 및 반응부의 조건 등을 다양하게 변화시켜 반응 조건에 따른 2차 미세먼지 생성 결과를 얻을 수 있다.
- [0041] 수집부(30)는 상기 반응기(21)에서 생성된 생성물을 통과시킴으로써 기체 생성물과 고체 생성물을 분리한다. 예를 들어, 수집부(30)는 필터 장치로서 생성물 중에 포함된 황산염, 질산염 및 광물질 입자 등 고체 성분을 필터링하고 공급된 NO_x, SO_x, N₂ 등 기체 성분을 통과시킨다.
- [0042] 상기 수집부(30)를 통과하는 성분은 후술할 배출부(40)를 통해 대기 중으로 배출되고, 상기 수집부(30)에 의해 필터링된 성분은 분석수단을 통하여 성분 분석에 이용된다. 분석수단은 SEM(Scanning Electron Microscope), EDS(Energy Dispersive Spectroscopy), IC(Ion Chromatograph), PSA(Particle Size Analyzer) 등의 다양한 분석장치를 이용할 수 있다.
- [0043] 본 발명의 일실시예에 따른 2차 미세먼지 생성장치(1)는 상기 수집부(30) 후단에 배출부(40)를 더 포함하여 상기 수집부(30)를 통과한 성분을 후처리한 후 대기 중으로 배출시키도록 한다. 예를 들어, 상기 배출부(40)는 NaOH 등의 염기성 용액을 구비하여 수집부(30)를 통과하는 기체 생성물 중 산성가스인 SO_x 및 NO_x와 반응시켜 흡수한 후 나머지 성분을 배출시킬 수 있다.
- [0044] 본 발명의 일실시예에 따른 2차 미세먼지 생성장치의 구성도를 도 1에 나타내었다. NO₂(g) 및 SO₂(g)으로부터 NO₃⁻ 및 SO₄²⁻를 생성하는 반응의 메커니즘을 여러 가지 단계로 가정할 수 있으며, 반응 조건을 다양하게 하여 상기 가정한 반응 메커니즘과 일치하는 분석 결과를 나타내는지 비교 분석하여 2차 미세먼지의 생성 메커니즘 규

명에 이용할 수 있다.

[0045] 일 예시로서, 2차 미세먼지의 생성 메커니즘을 하기와 같이 가정할 수 있다.



[0047] ① NO₂(g) and SO₂(g) absorbs on particle surface formed NO₂(ads) and SO₃²⁻.

[0048] ② NO₂(ads) dimerizes to N₂O₄(ads) in the presence of O₂ and S(IV).

[0049] ③ N₂O₄(ads) oxidize the SO₃²⁻ to SO₄²⁻, itself converted into NO₂⁻.

[0050] ④ NO₂⁻ converted into NO₃⁻ in the presence of NO₂(g).

[0051] 상기와 같이 반응 메커니즘을 가정하고, 반응물의 조성을 변화시켰을 때 생성되는 생성물의 조성을 분석하여 상기 메커니즘과 일치하는지를 판단해볼 수 있다.

[0052] 이하, 실시예 및 실험예에서 본 발명의 장치를 이용하여 조절할 수 있는 반응 조건 중 일부를 조절하여 2차 미세먼지를 생성시킨 후 분석한 일예시를 나타내었다.

[0053] **실시예**

[0054] 본 발명 장치를 이용하여 하기 표 1에 나타난 조건으로 조절하여 2차 미세먼지를 생성하였다. NO₂ 및 SO₂의 농도는 모두 50ppm 이고, N₂는 99.99% 를 사용하였다. UV 광원은 20W UV 램프를 사용하였으며, 광물질 입자는 105℃ 에서 24시간동안 건조시킨 후 500mg 정량을 사용하였다.

표 1

[0055]

	유량(cm ³ /min)			광물질 입자	반응 시간(h)
	NO ₂	SO ₂	N ₂		
실시예 1	100	100	-	Al ₂ O ₃	2
실시예 2	100	100	200	Al ₂ O ₃	2
실시예 3	100	100	-	CaO	2
실시예 4	100	100	-	MgO	2
실시예 5	100	100	-	TiO ₂	2
실시예 6	100	100	-	SiO ₂	2
실시예 7	100	100	-	Fe ₂ O ₃	2
실시예 8	100	100	-	ZnO	2

[0056] 상기 조건으로 2차 미세먼지를 생성한 후, 반응 후의 광물질 입자와 필터 장치에 삽입된 필터 페이퍼에 필터링 된 성분을 하기 실험예와 같이 분석하였다.

[0057] **실험예**

[0058] (1) IC(Ion Chromatograph)

[0059] Ion Chromatograph 장비를 이용하여 실시예에 따른 생성물 내의 황산염(SO₄²⁻) 및 질산염(NO₃⁻)의 함량을 측정하여 하기 표 2에 나타내었다. 하기 표 2에 나타나는 것과 같이 광물질 종류별, 분위기 가스 농도 등에 따라서 생성되는 황산염, 질산염 량이 다를 수 있다.

표 2

[0060]

	SO ₄ ²⁻ (μg)	NO ₃ ⁻ (μg)
실시예 1	25.58	1180.52
실시예 2	28.24	984.90
실시예 3	8.98	87.27
실시예 4	45.08	321.02
실시예 5	17.53	14.73
실시예 6	7.68	19.09
실시예 7	11.65	24.88
실시예 8	24.38	28.89

[0061]

(2) SEM-EDS 및 S content

[0062]

실시예 1, 실시예 3, 실시예 5 및 실시예 7에 대하여 광물질 입자와 황산화물 및 질소산화물의 반응으로 생성되는 황산염 및 질산염을 확인하기 위하여 반응 전/후의 광물질 입자를 SEM-EDS 장비를 통하여 분석하였다. 도 2에 반응 전 광물질 입자의 SEM 이미지와 EDS 분석 결과를 나타내었으며, 도 3에 반응 후 광물질 입자의 SEM 이미지와 EDS 분석 결과를 나타내었다. 또한 반응 후 광물질 입자의 EDS 분석을 통해 S 함량을 측정하여 도 4에 나타내었다. 도 4에 나타나는 것과 같이 반응 후 광물질 입자 시료에서 S 성분이 검출되어 광물질 입자와 오염물질(NO₂, SO₂) 사이에 화학반응이 일어났다는 것을 확인하였으며, 실시예 1의 광물질 입자에서 S 함량이 상대적으로 높은 것을 알 수 있다.

[0063]

또한 필터링된 성분을 SEM-EDS 장비를 통하여 분석하였다. 도 5에 반응 전 filter paper의 SEM 이미지를 나타내었으며, 도 6에 반응 후 filter paper의 SEM 이미지를 나타내었다. 또한 반응 후 필터링된 성분의 EDS 분석을 통해 S 함량을 측정하여 도 7에 나타내었다. 도 6에 나타나는 것과 같이 TiO₂를 제외한 Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃ 실험에서 Filter paper에 입자가 포집된 것을 알 수 있다. 또한 도 7에 나타나는 것과 같이 Al₂O₃, CaO의 EDS 분석에서 S 성분이 측정된 것을 알 수 있다.

[0064]

상기 분석 결과에 의해 광물질 입자와 오염물질(NO₂, SO₂) 사이에 화학반응이 일어나는 것을 확인할 수 있으며, Al₂O₃, CaO, TiO₂, Fe₂O₃ 중 Al₂O₃에서 가장 많은 양의 S가 검출되는 것을 확인하였다. 이로써 반응을 통하여 광물질이 황을 함유한 물질로 전환되었음을 알 수 있다.

[0065]

(3) PSA

[0066]

실시예 2 및 실시예 3의 광물질 입자의 반응 전/후 입자 크기를 측정하여 도 8에 나타내었다. 도 8에 나타나는 것과 같이 광물질 입자들이 SO_x, NO_x와 반응한 후 더 작은 입자들이 증가한 것을 알 수 있고, 이로부터 1차 미세먼지가 대기 중에서 반응을 하여 인체에 위험성이 더 큰 작은 크기의 2차 미세먼지가 생성되는 것을 알 수 있다.

[0067]

전술한 각 실시예에서 예시된 특징, 구조, 효과 등은 실시예들이 속하는 분야의 통상의 지식을 가지는 자에 의하여 다른 실시예들에 대해서도 조합 또는 변형되어 실시 가능하다. 따라서 이러한 조합과 변형에 관계된 내용들은 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

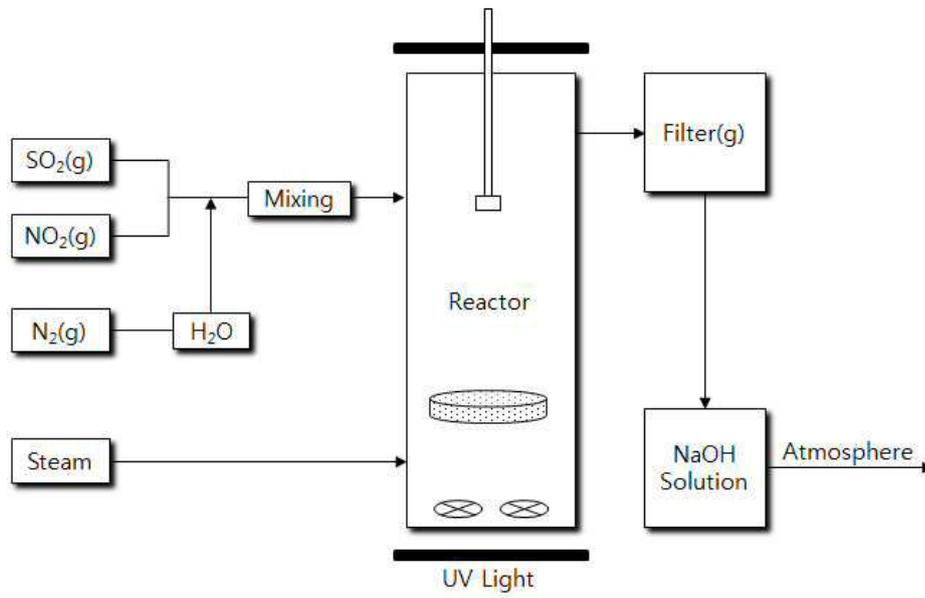
[0068]

- 1: 2차 미세먼지 생성장치
- 10: 공급부
- 11: SO₂ 공급수단
- 12: NO₂ 공급수단
- 13: N₂ 공급수단
- 14: Steam 공급수단

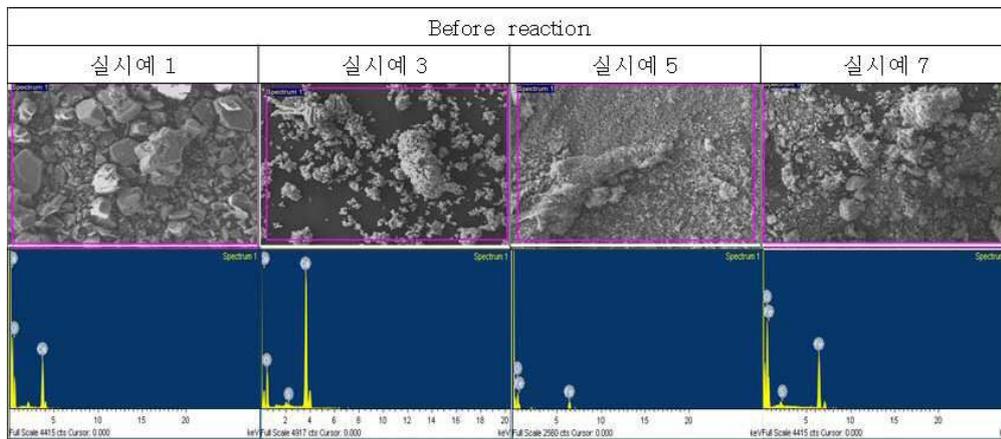
- 15: 혼합수단
- 20: 반응부
- 21: 반응기
- 22: UV 광원
- 30: 수집부
- 40: 배출부

도면

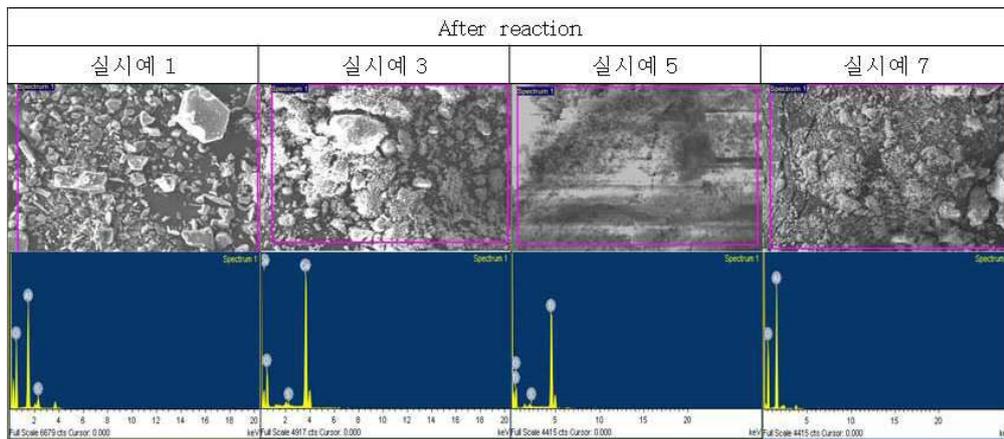
도면1



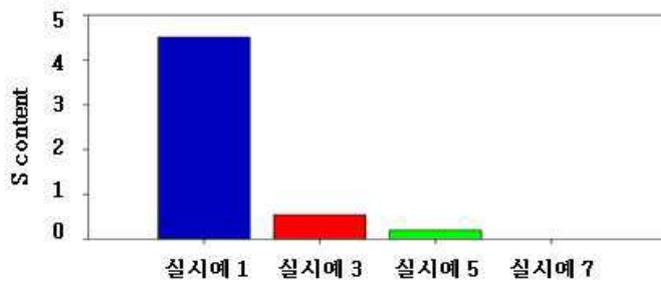
도면2



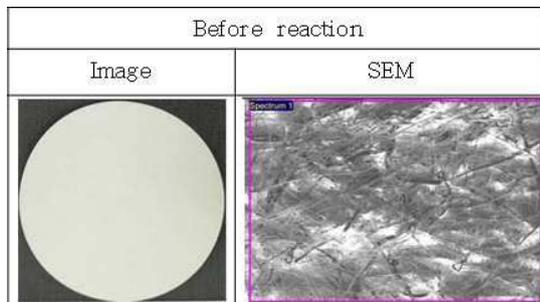
도면3



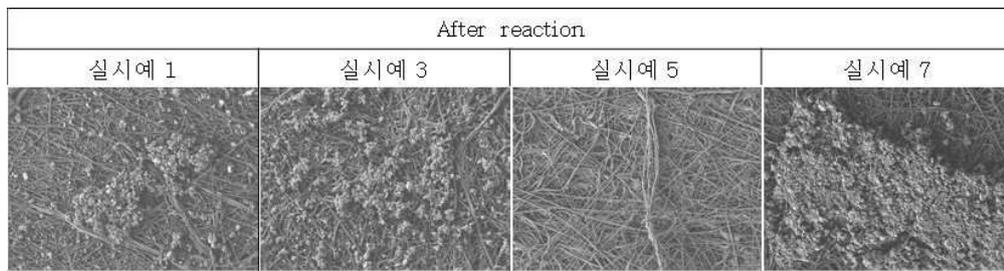
도면4



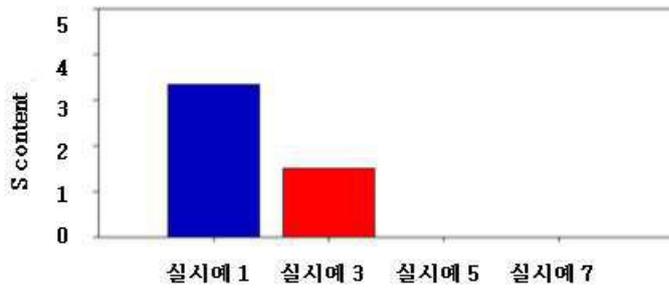
도면5



도면6



도면7



도면8

