



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0028898
(43) 공개일자 2023년03월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B04C 5/12 (2006.01) B01D 53/60 (2006.01)
B04C 5/14 (2006.01) B04C 5/24 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B04C 5/12 (2013.01)
B01D 53/60 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0110744
(22) 출원일자 2021년08월23일
심사청구일자 2021년08월23일

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
황정호
서울특별시 강남구 개포로110길 50, 107동 1302호(일원동, 래미안 개포 루체하임)
류태우
서울특별시 관악구 성현로 80, 102동 502호(봉천동, 관악드림타운아파트)
(74) 대리인
특허법인다나

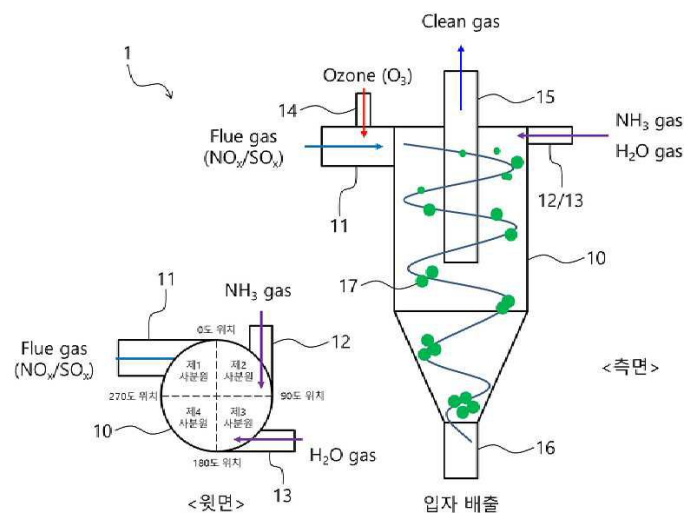
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 NO_x 및 SO_x의 건식 입자화 및 분리 배출을 위한 사이클론

(57) 요약

본 발명은 NO_x 및 SO_x의 건식 입자화 및 분리 배출을 위한 사이클론에 관한 것으로: 사이클론 본체; 사이클론 본체의 상부에 형성되고, NO_x 및 SO_x를 포함하는 배가스가 유입되는 제1유입구; 사이클론 본체의 상부에 형성되고, 기체 암모니아가 유입되는 제2유입구; 사이클론 본체의 상부에 형성되고, 수증기가 유입되는 제3유입구; 제1유입구와 연결되고, 오존이 유입되는 제4유입구; 사이클론 본체의 상부에 형성되고, 정화 배가스가 배출되는 제1유출구; 및 사이클론 본체의 하부에 형성되고, 입자가 배출되는 제2유출구를 포함하는 사이클론을 제공한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

B04C 5/14 (2013.01)

B04C 5/24 (2013.01)

(72) 발명자

유기현

서울특별시 종로구 혜화로8길 17, 씨동 401호(혜화동, 그린하우스)

강명수

서울특별시 서대문구 연희로 102, 402호(연희동, 아농스오피스텔)

최현식

서울특별시 영등포구 양평로21나길 12, 202호(양평동5가, 위너스하임)

최지수

서울특별시 서대문구 신촌로 149, 2009호(대현동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415174511

과제번호 20181110200170

부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명 한국에너지기술평가원

연구사업명 청정화력핵심기술개발[일몰]

연구과제명 [RCMS]한국기계연구원/석탄화력발전소 배출 산성가스 및 미세먼지 처리 핵심 기술 개발(4/5, 1단계)

기 여 율 1/1

과제수행기관명 한국기계연구원

연구기간 2021.01.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

사이클론 본체;

사이클론 본체의 상부에 형성되고, NO_x 및 SO_x 를 포함하는 배가스가 유입되는 제1유입구;

사이클론 본체의 상부에 형성되고, 기체 암모니아가 유입되는 제2유입구;

사이클론 본체의 상부에 형성되고, 수증기가 유입되는 제3유입구;

제1유입구와 연결되고, 오존이 유입되는 제4유입구;

사이클론 본체의 상부에 형성되고, 정화 배가스가 배출되는 제1유출구; 및

사이클론 본체의 하부에 형성되고, 입자가 배출되는 제2유출구를 포함하는 사이클론.

청구항 2

제1항에 있어서,

NO_x 및 SO_x 는 기체 암모니아 및 수증기와 반응하여 염의 형태로 입자화되고, 생성된 입자는 사이클론 본체 내부에서 배가스와 분리되어 제2유출구로 배출되며, 입자가 분리된 배가스는 제1유출구로 배출되는 사이클론.

청구항 3

제2항에 있어서,

입자화는 상온에서 건식으로 이루어지는 사이클론.

청구항 4

제2항에 있어서,

NO_x 및 SO_x 는 사이클론 본체 내부에서 기체 암모니아 및 수증기와 혼합되고, 상부에서 하부로 회전하며 이동하면서 염을 형성하는 사이클론.

청구항 5

제4항에 있어서,

생성된 염은 점성을 가져 사이클론 본체 내부에서 생성된 뒤 하부로 이동하면서 입자간 응집이 발생하여 입자의 크기가 증가하는 사이클론.

청구항 6

제1항에 있어서,

오존은 오존 발생 장치를 통해 발생되고, NO를 산화시키는 사이클론.

청구항 7

제6항에 있어서,

오존 발생 장치는 유전체 장벽 방전 플라스마 장치인 사이클론.

청구항 8

사이클론 본체;

사이클론 본체의 상부에 형성되고, NO_x 및 SO_x 를 포함하는 배가스가 유입되는 제1유입구;

제1유입구와 연결되고, 기체 암모니아가 유입되는 제2유입구;

제1유입구와 연결되고, 수증기가 유입되는 제3유입구;

제1유입구와 연결되고, 오존이 유입되는 제4유입구;

사이클론 본체의 상부에 형성되고, 정화 배가스가 배출되는 제1유출구; 및

사이클론 본체의 하부에 형성되고, 입자가 배출되는 제2유출구를 포함하는 사이클론.

청구항 9

제8항에 있어서,

NO_x 및 SO_x 는 기체 암모니아 및 수증기와 반응하여 입자화된 이후에 사이클론 본체로 유입되는 사이클론.

청구항 10

제9항에 있어서,

입자가 사이클론 본체 내부에 유입된 뒤 응집을 통한 입자의 크기가 증가 가능하고, 배출되는 입자의 크기 증가로 저감 효율이 증가 가능한 사이클론.

청구항 11

제8항에 있어서,

제4유입구는 오존 발생 장치와 연결되고, 오존 발생 장치는 공기가 유입되는 제5유입구와 연결되는 사이클론.

청구항 12

제1항 또는 제8항에 따른 사이클론을 이용하는 배가스 처리방법으로서:

NO_x 및 SO_x 를 기체 암모니아 및 수증기와 혼합 및 반응시켜 염의 형태로 입자화하는 단계;

생성된 입자를 배가스와 분리하여 하부로 배출하는 단계; 및

입자가 분리된 배가스를 상부로 배출하는 단계를 포함하는 배가스 처리방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

기체 암모니아의 양론 비율은 0.1 내지 2인 배가스 처리방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

NO_2 의 제거율은 10% 이상이고, SO_2 의 제거율은 50% 이상인 배가스 처리방법.

청구항 15

제12항에 있어서,

수증기의 함량은 0.01 내지 5 부피%인 배가스 처리방법.

청구항 16

제12항에 있어서,

SO_2 의 농도는 10 내지 1500 ppm인 배가스 처리방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

입자의 입경은 0.1 내지 10 μm 이고, 입자의 농도는 10 내지 200 mg/m^3 인 배가스 처리방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 NO_x 및 SO_x 의 건식 입자화 및 분리 배출을 위한 사이클론(cyclone)에 관한 것으로, 더욱 구체적으로는 상온에서 건식으로 배가스에 존재하는 NO_x/SO_x 를 기체 암모니아와 수증기와 혼합을 통해서 입자화하고, 생성된 입자를 분리 배출할 수 있는 사이클론에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 도 1을 참고하면, 대기 오염 물질을 배출하는 시설(발전소 등)에서는 현재 NO_x 를 저감시키기 위해 선택적 촉매 환원(SCR: Selective Catalytic Reduction)을 사용하고, SO_x 를 저감시키기 위해서 배연 탈황(FGD: Flue-Gas Desulfurization)을 사용한다. 그리고 입자상 물질을 저감하기 위해서 전기집진기(ESP: ElectroStatic Precipitator)를 사용한다. 이와 같이 각 오염물질을 제거하기 위해서는 개별의 장치를 필요로 한다.

[0003] 입자상 물질의 배출원으로는 각종 사업장(반도체 제조시설 등) 및 발전소와 같은 연소 시설 등이 있다. 그리고 이러한 시설에서 입자상 물질의 2차 생성 원인물질인 NO_x 와 SO_x 가 다량으로 배출된다. 연소 시설 등에서 배출되는 배가스를 처리하기 위해서는, 상술한 바와 같이, NO_x 를 저감하기 위한 장치, SO_x 를 저감하기 위한 장치 그리고 PM 2.5와 같은 입자상 물질을 제거하기 위한 장치를 개별적으로 설치해야 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명의 목적은 개별적인 처리 장치를 사용하지 않고 단일 장치를 통해서 NO_x 와 SO_x 의 동시 저감이 가능한 사이클론을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명은 상술한 목적을 달성하기 위해: 제1실시형태로서: 사이클론 본체; 사이클론 본체의 상부에 형성되고, NO_x 및 SO_x 를 포함하는 배가스가 유입되는 제1유입구; 사이클론 본체의 상부에 형성되고, 기체 암모니아가 유입되는 제2유입구; 사이클론 본체의 상부에 형성되고, 수증기가 유입되는 제3유입구; 제1유입구와 연결되고, 오존이 유입되는 제4유입구; 사이클론 본체의 상부에 형성되고, 정화 배가스가 배출되는 제1유출구; 및 사이클론 본체의 하부에 형성되고, 입자가 배출되는 제2유출구를 포함하는 사이클론을 제공한다.

[0006] 본 발명의 제1실시형태에 따르면, NO_x 및 SO_x 는 기체 암모니아 및 수증기와 반응하여 염의 형태로 입자화되고, 생성된 입자는 사이클론 본체 내부에서 배가스와 분리되어 제2유출구로 배출되며, 입자가 분리된 배가스는 제1유출구로 배출될 수 있다.

[0007] 본 발명의 제1실시형태에 따르면, 입자화는 상온에서 건식으로 이루어질 수 있다.

[0008] 본 발명의 제1실시형태에 따르면, NO_x 및 SO_x 는 사이클론 본체 내부에서 기체 암모니아 및 수증기와 혼합되고, 상부에서 하부로 회전하며 이동하면서 염을 형성할 수 있다.

[0009] 본 발명의 제1실시형태에 따르면, 생성된 염은 점성을 가져 사이클론 본체 내부에서 생성된 뒤 하부로 이동하면서 입자간 응집이 발생하여 입자의 크기가 증가할 수 있다.

[0010] 본 발명의 제1실시형태에 따르면, 오존은 오존 발생 장치를 통해 발생되고, NO를 산화시킬 수 있다.

[0011] 본 발명의 제1실시형태에 따르면, 오존 발생 장치는 유전체 장벽 방전 플라스마 장치일 수 있다.

- [0012] 또한, 본 발명은 제2실시형태로서: 사이클론 본체; 사이클론 본체의 상부에 형성되고, NO_x 및 SO_x 를 포함하는 배가스가 유입되는 제1유입구; 제1유입구와 연결되고, 기체 암모니아가 유입되는 제2유입구; 제1유입구와 연결되고, 수증기가 유입되는 제3유입구; 제1유입구와 연결되고, 오존이 유입되는 제4유입구; 사이클론 본체의 상부에 형성되고, 정화 배가스가 배출되는 제1유출구; 및 사이클론 본체의 하부에 형성되고, 입자가 배출되는 제2유출구를 포함하는 사이클론을 제공한다.
- [0013] 본 발명의 제2실시형태에 따르면, NO_x 및 SO_x 는 기체 암모니아 및 수증기와 반응하여 입자화된 이후에 사이클론 본체로 유입될 수 있다.
- [0014] 본 발명의 제2실시형태에 따르면, 입자가 사이클론 본체 내부에 유입된 뒤 응집을 통한 입자의 크기가 증가 가능하고, 배출되는 입자의 크기 증가로 저감 효율이 증가 가능하다.
- [0015] 본 발명의 제2실시형태에 따르면, 제4유입구는 오존 발생 장치와 연결되고, 오존 발생 장치는 공기가 유입되는 제5유입구와 연결될 수 있다.
- [0016] 또한, 본 발명은 제1실시형태 또는 제2실시형태에 따른 사이클론을 이용하는 배가스 처리방법으로서: NO_x 및 SO_x 를 기체 암모니아 및 수증기와 혼합 및 반응시켜 염의 형태로 입자화하는 단계; 생성된 입자를 배가스와 분리하여 하부로 배출하는 단계; 및 입자가 분리된 배가스를 상부로 배출하는 단계를 포함하는 배가스 처리방법을 제공한다.
- [0017] 본 발명에서 기체 암모니아의 양론 비율은 0.1 내지 2일 수 있다.
- [0018] 본 발명에서 NO_2 의 제거율은 10% 이상이고, SO_2 의 제거율은 50% 이상일 수 있다.
- [0019] 본 발명에서 수증기의 함량은 0.01 내지 5 부피%일 수 있다.
- [0020] 본 발명에서 SO_2 의 농도는 10 내지 1500 ppm일 수 있다.
- [0021] 본 발명에서 입자의 입경은 0.1 내지 10 μm 이고, 입자의 농도는 10 내지 200 mg/m^3 일 수 있다.

발명의 효과

- [0022] 본 발명에 따른 사이클론 장치는 NO_x 와 SO_x 저감을 위해서 개별적인 처리 장치를 사용하지 않고, 단일 장치를 통해서 NO_x 와 SO_x 의 동시 저감이 가능하다. 또한, NO_x 및 SO_x 의 건식 입자화를 통해 생성된 물질은 분리 배출되어 비료로서 유용하게 사용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 종래의 SCR 공정 및 FGD 공정을 나타낸 것이다.
- 도 2는 본 발명의 제1실시형태에 따른 사이클론의 구성도이다.
- 도 3은 본 발명의 제2실시형태에 따른 사이클론의 구성도이다.
- 도 4는 본 발명에서 암모니아 농도의 영향을 나타낸 그래프이다.
- 도 5는 본 발명에서 상대습도의 영향을 나타낸 그래프이다.
- 도 6은 본 발명에서 SO_2 농도의 영향을 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 이하, 첨부 도면을 참고하여 본 발명을 상세하게 설명한다.
- [0025] 도 2를 참고하면, 본 발명의 제1실시형태에 따른 사이클론(1)은 사이클론 본체(10), 제1유입구(11), 제2유입구(12), 제3유입구(13), 제4유입구(14), 제1유출구(15), 제2유출구(16) 등으로 구성될 수 있다.
- [0026] 사이클론 본체(10)는 입자(17)를 제거하는 역할을 한다. 이를 위해, 사이클론 본체(10)는 배가스가 내부에서 회전하도록 원통 형태로 형성될 수 있고, 입자(17)들이 배가스와 함께 회전하는 동안 중력과 원심력에 의해 사이클론 본체(10)의 내벽을 따라 아래쪽으로 이동한 후 바닥으로 모이도록 구성될 수 있으며, 입자(17)의 포집을

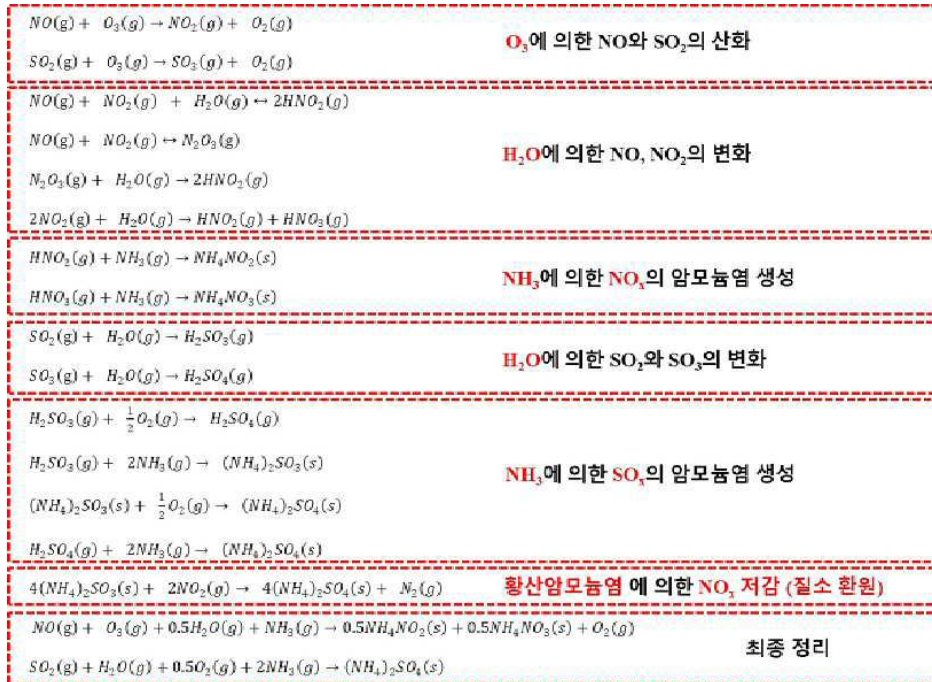
위해 사이클론 본체(10)의 하부는 원뿔 형태의 테이퍼(taper) 구조를 가질 수 있다.

- [0027] 사이클론 본체(10)의 상부에서 공급된 배가스는 회전하면서 위쪽으로부터 아래쪽으로, 그리고 내벽 쪽으로부터 중심 쪽으로 이동할 수 있다. 배가스의 이러한 사이클론 이동을 극대화시키도록, 사이클론 본체(10)에는 흐름 안내를 위한 베인(vane)이나 블레이드(blade)와 같은 구성요소가 구비될 수 있고, 이러한 구성요소는 헬리컬(helical) 형태 등과 같은 일정한 방향성을 가질 수 있다.
- [0028] 제1유입구(11)는 NO_x 및 SO_x 를 포함하는 배가스(flue gas)가 유입되는 곳으로, 체류시간 증대 및 원활하고 효율적인 입자화와 포집 등을 위해, 사이클론 본체(10)의 상부에, 예를 들어 사이클론 본체(10)의 측면 상단에 형성될 수 있다.
- [0029] 제1유입구(11)는 원통형 사이클론 본체(10)의 원형 단면을 기준으로, 원을 90도 간격으로 균등하게 4개로 나눈 사분원 중 제1사분원 위치에 배치될 수 있고, 제1유입구(11)의 바깥쪽 외주면이 사이클론 본체(10)의 외주면과 0도 위치에서 접선 형태로 접속될 수 있다.
- [0030] 배가스는 각종 사업장(반도체 제조시설 등) 및 발전소와 같은 연소 시설 등에서 배출되는 배가스일 수 있다. 이러한 시설에서 입자상 물질의 2차 생성 원인물질인 NO_x 와 SO_x 가 다량으로 배출된다.
- [0031] 제1유입구(11)는 다른 유입구들(12, 13, 14)에 비해 큰 직경을 가질 수 있고, 예를 들어 다른 유입구들(12, 13, 14)의 1.5 내지 2.5배 또는 1.8 내지 2.2배의 직경을 가질 수 있다.
- [0032] 제2유입구(12)는 기체 암모니아(NH_3)가 유입되는 곳으로, 체류시간 증대 및 원활하고 효율적인 입자화와 포집 등을 위해, 사이클론 본체(10)의 상부에, 예를 들어 사이클론 본체(10)의 측면 상단에 형성될 수 있다.
- [0033] 제2유입구(12)는 제2사분원 위치에 배치될 수 있고, 제2유입구(12)의 바깥쪽 외주면이 사이클론 본체(10)의 외주면과 90도 위치에서 접선 형태로 접속될 수 있다. 이에 따라 제2유입구(12)는 제1유입구(11)와 90도를 이루면서 배치될 수 있다. 제2유입구(12)는 제1유입구(11)와 동일 높이 또는 동일 평면 상에 배치될 수 있다.
- [0034] 제3유입구(13) 수증기(H_2O)가 유입되는 곳으로, 체류시간 증대 및 원활하고 효율적인 입자화와 포집 등을 위해, 사이클론 본체(10)의 상부에, 예를 들어 사이클론 본체(10)의 측면 상단에 형성될 수 있다.
- [0035] 제3유입구(13)는 제3사분원 위치에 배치될 수 있고, 제3유입구(13)의 바깥쪽 외주면이 사이클론 본체(10)의 외주면과 180도 위치에서 접선 형태로 접속될 수 있다. 이에 따라 제3유입구(13)는 제2유입구(12)와 90도를 이루고, 제1유입구(11)와는 180도를 이루면서 평행하게 대칭적으로 배치될 수 있다. 제3유입구(13)는 제1유입구(11) 및 제2유입구(12)와 동일 높이 또는 동일 평면 상에 배치될 수 있다.
- [0036] 이와 같이, 제1유입구(11), 제2유입구(12) 및 제3유입구(13)는 바람개비 형태처럼 90도 간격으로 엇갈리게 배치됨으로써, NO_x 와 SO_x 및 기체 암모니아와 수증기의 회전 흐름을 원활하고 효율적으로 형성할 수 있고, 이에 따라 NO_x 와 SO_x 및 기체 암모니아와 수증기의 혼합과 반응 및 입자화와 포집이 원활하고 효율적으로 이루어질 수 있다.
- [0037] 제4유입구(14)는 오존(ozone, O_3)이 유입되는 곳으로, 제1유입구(11)와 직접 연결될 수 있고, 배가스가 사이클론 본체(10)로 유입되기 전에, 오존은 배가스 중의 NO와 반응하여 NO를 NO_2 등으로 산화시킬 수 있다. 제4유입구(14)는 제1유입구(11)와 높이방향으로 위쪽에서 직교하여 연결될 수 있다. 오존은 오존 발생 장치를 통해 발생될 수 있는데, 예를 들어 오존 발생 장치는 유전체 장벽 방전(DBD: Dielectric Barrier Discharge) 플라즈마 장치일 수 있다.
- [0038] 제1유출구(15)는 정화 배가스(clean gas)가 배출되는 곳으로, 사이클론 본체(10)의 상부 중앙에 높이방향으로 길게 배치될 수 있고, 사이클론 본체(10)의 내부(예를 들어 사이클론 본체의 높이방향의 대략 중간 지점)로부터 사이클론 본체(10)의 외부까지(사이클론 본체 상단을 관통하여 외부로 돌출) 연장될 수 있다. 이와 같이, 제1유출구(15)는 사이클론 본체(10)의 내부 깊숙이까지 연장됨으로써, 입자(17)가 제1유출구(15)로 배출되는 것을 방지할 수 있다.
- [0039] 제2유출구(16)는 입자(17)가 배출되는 곳으로, 사이클론 본체(10)의 하부 중앙에, 구체적으로 테이퍼 구조를 갖는 하부의 하단에 형성될 수 있다.

- [0040] 제1실시형태에 따르면, NO_x 및 SO_x 는 기체 암모니아 및 수증기와 반응하여 염의 형태로 입자화되고, 생성된 입자(17)는 사이클론 본체(10) 내부에서 배가스와 분리되어 제2유출구(16)로 배출되며, 입자(17)가 분리된 배가스는 제1유출구(15)로 배출될 수 있다.
- [0041] 이와 같이, 연소로 발생하는 NO_x 와 SO_x 가 포함된 배가스에 암모니아 가스와 수증기를 주입하여 염(입자상 물질)을 형성할 수 있고, 사이클론 내부에서 입자와 가스의 분리로 NO_x/SO_x 와 그들의 염이 제거된 배가스가 배출되는 형태를 가질 수 있다.
- [0042] 입자화는 상온에서 건식으로 이루어질 수 있다. 상온은 대략 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 를 의미할 수 있고, 건식은 물 등의 액체가 없거나 거의 없는(예를 들어 물 함량이 5, 3 또는 1 중량% 이하) 상태를 의미할 수 있다. 입자화가 상온에서 건식으로 이루어짐으로써, 온도 조절 등에 따른 비용을 절감하면서 입자화를 효율적으로 원활하게 수행할 수 있다.
- [0043] 제1실시형태에 따르면, NO_x 및 SO_x 는 사이클론 본체(10) 내부에서 기체 암모니아 및 수증기와 혼합되고, 상부에서 하부로 회전하며 이동하면서 염을 형성할 수 있다. 이와 같이, NO_x/SO_x 와 암모니아/수증기는 사이클론 내부에서 혼합되고, 상부에서 하부로 회전하며 이동하면서 염을 형성할 수 있다. 회전 흐름은 상술한 바와 같은 유입구들(11, 12, 13)의 배치 구조에 기인할 수 있다.
- [0044] 제1실시형태에 따르면, 생성된 염(입자)은 점성을 가져 사이클론 본체(10) 내부에서 생성된 뒤 하부로 이동하면서 입자(17)간 응집이 발생하여 입자(17)의 크기가 증가할 수 있다. 도 2에 도시된 바와 같이, 입자(17)는 상부에서 형성된 후 회전하면서 하부로 이동함에 따라 그 크기가 점점 커지게 되고, 이에 따라 포집 효율이 증가할 수 있다.
- [0045] 또한, DBD 플라즈마와 같은 오존 발생 장치를 통해서 오존을 발생시킨 뒤, NO_x/SO_x 가 존재하는 배가스에 주입하여 NO를 산화시킬 수 있다. 단, NO_x/SO_x 혼합 가스에 오존을 넣더라도, 오존은 NO_x 중에서 NO와만 산화 반응을 한다.
- [0046] 도 3을 참고하면, 본 발명의 제2실시형태에 따른 사이클론(2)은 사이클론 본체(20), 제1유입구(21), 제2유입구(22), 제3유입구(23), 제4유입구(24), 제1유출구(25), 제2유출구(26), 오존 발생 장치(28), 제5유입구(29) 등으로 구성될 수 있다. 제2실시형태에 따른 사이클론(2)은 다음의 두 가지 측면에서 제1실시형태에 따른 사이클론(1)과 상이하고, 나머지 구성은 제1실시형태에 따른 사이클론(1)과 동일할 수 있다.
- [0047] 첫째, 유입구의 배치에 있어서, 제2유입구(12) 및 제3유입구(13)가 사이클론 본체(10)와 독립적으로 연결된 도 2의 제1실시형태에 따른 사이클론(1)과 달리, 도 3의 제2실시형태에 따른 사이클론(2)에서 제2유입구(22) 및 제3유입구(23)는 사이클론 본체(20)와 독립적으로 연결되지 않고 제1유입구(21)에 직접 연결될 수 있다.
- [0048] 둘째, 입자화가 일어나는 시점과 위치에 있어서, 반응물질인 NO_x 와 SO_x 및 기체 암모니아와 수증기가 사이클론 본체(10)에 유입된 후에 입자화가 일어나고, 입자화가 사이클론 본체(10) 내에서 진행되는 도 2의 제1실시형태에 따른 사이클론(1)과 달리, 도 3의 제2실시형태에 따른 사이클론(2)에서는 반응물질인 NO_x 와 SO_x 및 기체 암모니아와 수증기가 사이클론 본체(20)에 유입되기 전에 입자화가 일어나고, 입자화는 제1유입구(21) 내에서 진행될 수 있다.
- [0049] 이와 같이, 제2실시형태에 따르면, NO_x 및 SO_x 는 기체 암모니아 및 수증기와 반응하여 입자화된 이후에 사이클론 본체(20)로 유입될 수 있다. 즉, 입자화는 사이클론 본체(20)에 유입되기 전에 이미 제1유입구(21) 내에서 진행될 수 있고, 이미 입자화가 완료된 입자(27)들이 바로 사이클론 본체(20)로 유입될 수 있다.
- [0050] 이러한 제2실시형태에 따르면, 제1실시형태와 비교하여, 입자(27)가 사이클론 본체(20) 내부에 유입된 뒤 응집을 통한 입자(27)의 크기가 증가 가능하고, 배출되는 입자(27)의 크기 증가로 저감 효율이 증가 가능하다.
- [0051] 제2실시형태에 따르면, 제4유입구(24)는 DBD 플라즈마와 같은 오존 발생 장치(28)와 연결될 수 있고, 오존 발생 장치(28)는 공기가 유입되는 제5유입구(29)와 연결될 수 있다. 오존 발생 장치(28)는 공기로부터 오존을 발생시킬 수 있다. 주입 순서의 경우, 오존이 배가스에 먼저 주입된 후에, 암모니아와 수증기가 나중에 주입될 수 있다. 이에 따라, 배가스 중의 NO가 먼저 오존과 반응하여 기상 산화가 이루어진 후, 암모니아와 수증기의 주입 시점에서 가스의 입자로의 전환(입자화)이 이루어질 수 있다.

[0052] 또한, 본 발명은 제1실시형태 또는 제2실시형태에 따른 사이클론을 이용하는 배가스 처리방법으로서: NO_x 및 SO_x를 기체 암모니아 및 수증기와 혼합 및 반응시켜 염의 형태로 입자화하는 단계; 생성된 입자를 배가스와 분리하여 하부로 배출하는 단계; 및 입자가 분리된 배가스를 상부로 배출하는 단계를 포함하는 배가스 처리방법을 제공한다.

[0053] 입자화 원리 및 화학 반응식은 다음과 같다. 구체적으로, 다음과 같이, 오존에 의한 산화 반응, 수증기에 의한 반응, 암모니아에 의한 암모늄염 생성 반응, 황산암모늄염에 의한 NO_x 저감 반응이 일어날 수 있다.



[0054]

[0055] 기체 암모니아의 양론 비율(stoichiometric ratio)은 0.1 내지 2, 0.25 내지 1.75, 0.5 내지 1.5, 0.5 내지 1, 1 내지 1.5, 또는 1.25 내지 1.75일 수 있다. 여기서, 양론 비율은 (실제 주입된 암모니아 양) / (이론적으로 필요한 암모니아 양)의 비율을 의미할 수 있다.

[0056] NO₂의 제거율은 10% 이상, 20% 이상, 30% 이상, 40% 이상, 50% 이상, 60% 이상, 또는 70% 이상일 수 있다. SO₂의 제거율은 50% 이상, 60% 이상, 70% 이상, 80% 이상, 90% 이상, 또는 93% 이상일 수 있다.

[0057] 도 4는 입자화에서 암모니아 농도의 영향을 나타낸 것으로, NH₃ 양론 비율에 따른 SO_x 및 NO_x 저감 효율을 나타낸 것이다. 도 4에서 SO_x 및 NO_x 제거 효율은 다음의 식으로부터 계산될 수 있다. 여기서, η는 제거효율을 나타내고, C는 유입구 및 유출구에서의 농도를 나타낸다.

$$\eta_{NOx} = 1 - \frac{C_{NOx,outlet}}{C_{NOx,inlet}} \quad \eta_{SO_2} = 1 - \frac{C_{SO_2,outlet}}{C_{SO_2,inlet}}$$

[0058]

[0059] 양론 비율은 다음의 식으로부터 계산될 수 있다. 여기서, \dot{n} 은 몰 유속을 나타내고, λ는 양론 비율을 나타낸다.

$$\begin{aligned} \dot{n}_{NH_3,stoic} &= \dot{n}_{NO} + 2\dot{n}_{SO_2} \\ \text{Molar flow rate of } NH_3 & \quad \text{Molar flow rate of } SO_2 \\ \lambda_{NH_3} &= \frac{\dot{n}_{NH_3,injected}}{\dot{n}_{NH_3,stoic}} \\ \text{equivalence ratio of } NH_3 & \end{aligned}$$

[0060]

[0061]

도 4에 따르면, NH_3 양론 비율이 증가할수록, SO_x 및 NO_x 저감 효율이 증가하였다. 구체적으로, 양론 비율이 0.5 내지 1의 범위에서는, 증가에 따른 가파른 효율 상승이 관측되었다. 또한, 양론 비율이 1 내지 1.5의 범위에서는, 증가에 따른 완만한 효율 상승이 관측되었다. 이러한 결과의 이유로는 양론 비율 1에서부터 NH_3 슬립(slip)이 급격하게 일어났기 때문이다. NH_3 슬립은 입자화 반응 후 잔여 암모니아가 대기 중으로 배출되는 것을 의미한다. SO_2 의 경우, 양론 비율이 1.5일 때, 93.4%의 최고 제거 효율을 나타냈다. NO_2 의 경우, 양론 비율이 1.5일 때, 70.3%의 최고 제거 효율을 나타냈다.

[0062]

수증기의 함량은 0.01 내지 5 부피%, 0.05 내지 4 부피%, 0.1 내지 3 부피%, 1 내지 3 부피%, 또는 2 내지 3 부피%일 수 있다.

[0063]

도 5는 입자화에서 상대습도의 영향을 나타낸 것으로, 상대습도에 따른 SO_x 및 NO_x 저감 효율을 나타낸 것이다.

[0064]

SO_2 의 경우, 상대습도가 높을수록 제거 효율이 증가하였다. 상대습도가 95%일 때, 최대 90%의 효율을 나타냈다. 다음의 반응처럼, 상대습도가 높을수록, SO_2 와 반응할 과량의 H_2O 가 존재하기 때문이다.



[0065]

[0066]

NO_x 의 경우, 상대습도에 영향을 거의 받지 않았다. NO_x 제거 메인 메커니즘은 질산암모늄 생성이 아닌, 황산암모늄염에 의한 제거이기 때문이다. 따라서 H_2O 에 대한 영향이 없었다.

[0067]

SO_2 의 농도는 10 내지 1500 ppm, 50 내지 1300 ppm, 100 내지 1200 ppm, 200 내지 1100 ppm, 300 내지 1000 ppm, 또는 600 내지 900 ppm일 수 있다.

[0068]

입자의 입경은 0.1 내지 10 μm , 0.15 내지 9 μm , 0.2 내지 8 μm , 0.25 내지 7 μm , 0.3 내지 6 μm , 0.35 내지 5 μm , 또는 0.4 내지 4 μm 일 수 있다. 입자의 최빈 입경(node diameter)은 $1.5 \pm 0.2 \mu m$ 일 수 있다.

[0069]

입자의 농도는 10 내지 200 mg/m^3 , 20 내지 190 mg/m^3 , 30 내지 180 mg/m^3 , 40 내지 170 mg/m^3 , 50 내지 160 mg/m^3 , 60 내지 150 mg/m^3 , 70 내지 140 mg/m^3 , 80 내지 135 mg/m^3 , 90 내지 130 mg/m^3 , 또는 100 내지 125 mg/m^3 일 수 있다.

[0070]

도 6은 입자화 결과로서, SO_2 농도에 따른 암모늄 생성 입자의 크기 분포 및 농도를 나타낸 것이다. 입도 분석기로는 APS(Aerodynamic Particle Sizer) 및 SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer)를 사용하였다. NH_3 주입에 의해 약 1.5 μm 의 최빈 입경을 갖는 암모늄염($1.59 g/cm^3$) 입자들이 생성되었다. SO_2 농도를 증가시킬 경우, 입자의 농도가 증가하였다. 또한, SO_2 농도를 증가시키더라도, 최빈 입경은 거의 변하지 않았다.

부호의 설명

[0071]

1, 2: 사이클론

10, 20: 사이클론 본체

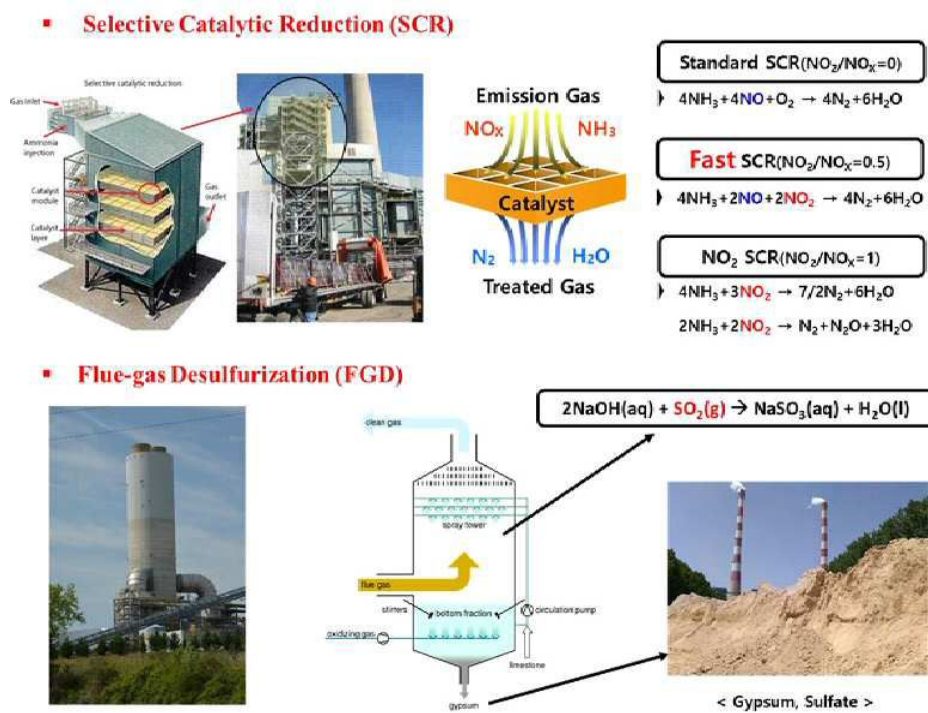
11, 21: 제1유입구

12, 22: 제2유입구

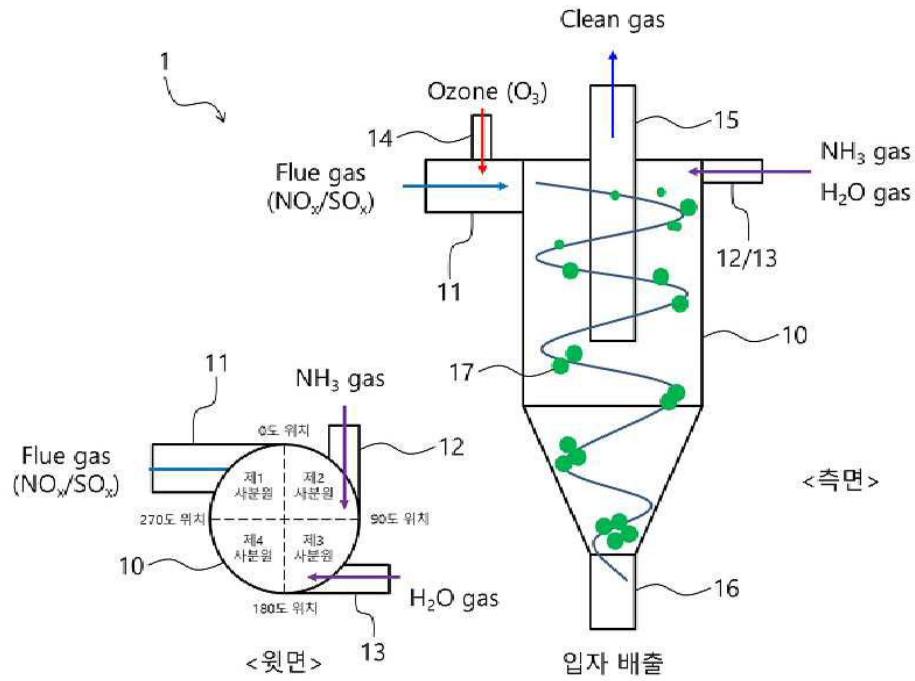
- 13, 23: 제3유입구
 14, 24: 제4유입구
 15, 25: 제1유출구
 16, 26: 제2유출구
 17, 27: 입자
 28: 오존 발생 장치
 29: 제5유입구

도면

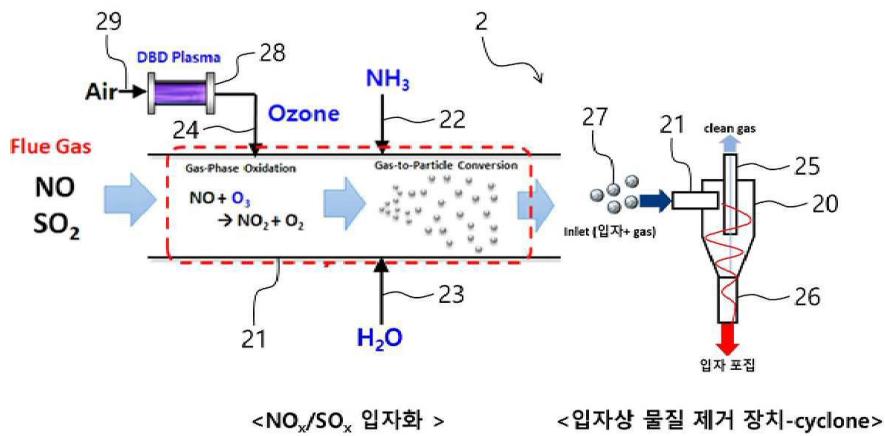
도면1



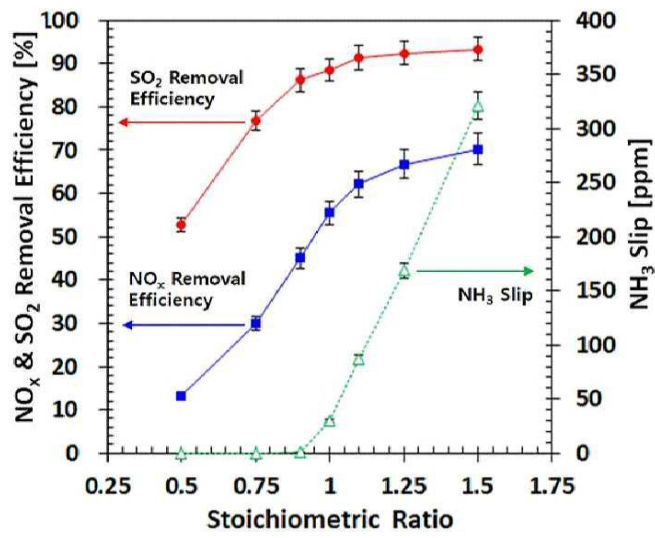
도면2



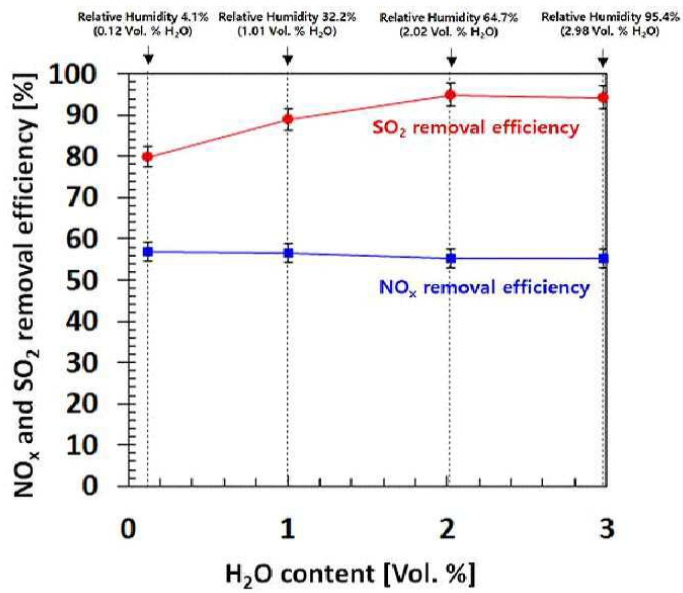
도면3



도면4



도면5



도면6

