



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0158977
(43) 공개일자 2024년11월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C09C 1/48 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C09C 1/485 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-7033595
(22) 출원일자(국제) 2023년03월14일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년10월08일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2023/056507
(87) 국제공개번호 WO 2023/174949
국제공개일자 2023년09월21일
(30) 우선권주장
22162325.9 2022년03월15일
유럽특허청(EPO)(EP)

(71) 출원인
오리온 엔지니어드 카본스 아이피 게엠베하 운트
코. 카게
독일, 40789 몬하임 암 라인, 니더스트라쎄 18
(72) 발명자
쾨켈 아르트-피터
독일, 56112 란슈타인, 코르뷔지에 콰르티에 1
팀머만스 에디
독일, 50354 후르트, 메테르니히슈트라쎄 1씨
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인한얼

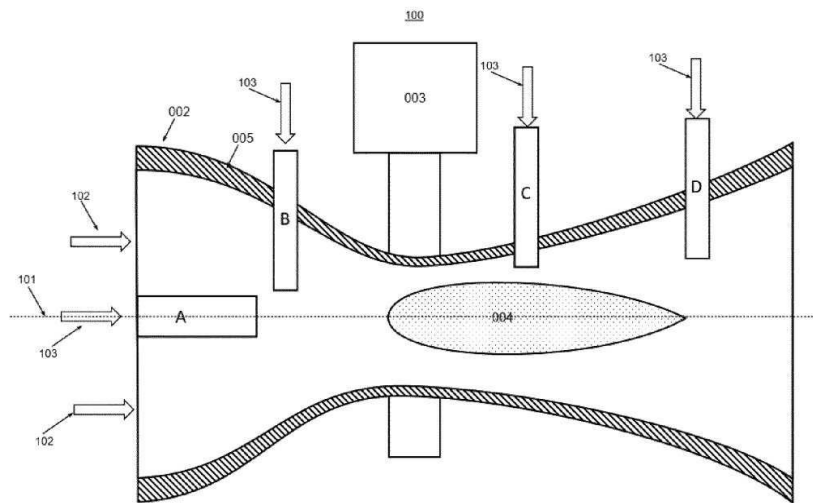
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 카본 블랙의 플라즈마 보조 생산

(57) 요약

본 발명은 카본 블랙의 플라즈마 보조 생산에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 카본 블랙 공급원료가 카본 블랙 반응기에 복수의 위치에서 주입되어 플라즈마 구역에서의 소적을 피하는 방법 및 반응기에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

아비 하이다르 자드

독일, 50939 쾰른, 린도르퍼 슈트라쎈 14에이

디터스 데이비드

독일, 53173 본, 고테스버거 호프 11

명세서

청구범위

청구항 1

카본 블랙(carbon black)을 생산하기 위한 방법으로서,

- (a) 플라즈마 가스(plasma gas)를 카본 블랙 반응기에 주입하는 단계,
- (b) 플라즈마 가스를 플라즈마 구역(plasma zone)에 가하여 카본 블랙을 포함하는 생성물 혼합물을 얻는 단계,
- (c) 생성물 혼합물을 퀀칭(quenching)시키는 단계,
- (d) 생성물 혼합물로부터 카본 블랙을 분리하는 단계를 포함하고,

여기서 (i) 플라즈마 가스가 카본 블랙 공급원료(carbon black feedstock)를 포함하거나 이로 이루어지고/거나, (ii) 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역의 상류(upstream)의 플라즈마 가스에 주입되고/거나, (iii) 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역에 주입되지만, 바람직하게는 플라즈마가 생성되는 영역 뒤에 주입되고/거나, (iv) 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역의 하류(downstream)의 플라즈마 가스에 주입되는, 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

플라즈마가 마이크로파 에너지(microwave energy)에 의한 플라즈마 가스의 여기(excitation)에 대한 반응으로 생성되고/거나, 플라즈마가 전기 아크(electric arc)에 의한 플라즈마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성되고/거나, 플라즈마가 코로나 방전(corona discharge)에 의한 플라즈마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성되고/거나, 플라즈마가 유전체-장벽 방전(dielectric-barrier discharge: DBD)에 의한 플라즈마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성되고/거나, 플라즈마가 무선 주파수 에너지(radio frequency energy)에 의한 플라즈마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성되고, 바람직하게는 플라즈마가 마이크로파 에너지에 의한 플라즈마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성되는, 방법.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

플라즈마 가스가 가스를 플라즈마 구역에 가하기 전에 예열되고, 바람직하게는, 플라즈마 가스가 100 내지 1600 °C, 예컨대, 300 내지 1400 °C, 400 내지 1200 °C, 500 내지 1000 °C, 600 내지 1500 °C, 100 내지 300 °C, 200 내지 400 °C, 300 내지 500 °C, 400 내지 600 °C, 1000 내지 1500 °C, 또는 700 내지 900 °C의 온도로 예열되는, 방법.

청구항 4

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서,

플라즈마 가스가 수소 및/또는 H₂O를 포함하거나 수소 및/또는 H₂O이고/거나, 플라즈마 가스가 카본 블랙 공급원료를 포함하거나 카본 블랙 공급원료인, 방법.

청구항 5

청구항 1 내지 청구항 4 중 어느 한 항에 있어서,

플라즈마 가스와 카본 블랙 공급원료가, 가스를 플라즈마 구역에 가하기 전에, 카본 블랙 공급원료가 카본 블랙 반응기에서 소적(droplet)을 형성하지 않는 물 비율로, 혼합되는, 방법.

청구항 6

청구항 1 내지 청구항 5 중 어느 한 항에 있어서,

가스를 플라즈마 구역에 가하기 전의, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스가,

(i) 270 내지 300 K의 최종 정상 끓는점(final normal boiling point) 및 250 내지 290 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 1 mol-% 내지 20 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나,

(ii) 300 초과 내지 350 K의 최종 정상 끓는점 및 270 내지 290 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 30 내지 95 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나,

(iii) 350 초과 내지 400 K의 최종 정상 끓는점 및 340 내지 360 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 50 내지 80 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나,

(iv) 400 초과 내지 450 K의 최종 정상 끓는점 및 390 °C 내지 420 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 50 내지 75 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나,

(v) 450 초과 내지 500 K의 최종 정상 끓는점 및 440 내지 460 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 40 내지 65 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나,

(vi) 500 초과 내지 550 K의 최종 정상 끓는점 및 490 내지 520 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 20 내지 65 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나,

(vii) 550 초과 내지 610 °K의 최종 정상 끓는점 및 540 내지 570 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 20 내지 55 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나,

(viii) 610 초과 내지 670 K의 최종 정상 끓는점 및 590 내지 630 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 30 내지 65 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하고,

물질이 바람직하게는 플라즈마 가스, 예컨대, 수소, 또는 카본 블랙 공급원료를 포함하는, 방법.

청구항 7

청구항 1 내지 청구항 6 중 어느 한 항에 있어서,

플라즈마 가스와 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역에 가스를 가하기 전에 혼합되고, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트(molar percent), 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스의 몰 퍼센트, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트(바람직하게는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트)가, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스의 전체 몰량을 기준으로 하여, $X_{\text{회석제}}$ 보다 크고, $X_{\text{회석제}}$ 가 식(V), 식(IX) 및/또는 식(XVII)에 따라서 계산되고,

$$X_{\text{회석제}} = \max \left(1 - \frac{P_0 \exp \left(-\frac{\Delta_{\text{vap}} H_m}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}} H_m}{RT_b} \right)}{P}, 0 \right) \cdot 100 \quad \text{식(V)}$$

여기에서, $X_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, $P[\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, $P_0[\text{Pa}]$ 는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}} H_m[\text{J/mol}]$ 은 카본 블랙 공급원료의 정상 몰 증발 엔탈피(normal molar enthalpy of evaporation)(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, $R[\text{J/mol/K}]$ 은 보편 기체 상수(universal gas constant), 즉, 8.314463 J/mol/K이고, $T[\text{K}]$ 는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_b[\text{K}]$ 는 카본 블랙 공급원료의 정상(대기압 $P_0 = 101325 \text{ Pa}$ 에서) 끓는 온도이고,

$$X_{\text{회석제}} = \max \left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^N \frac{x_i^{\text{표기}}}{100 P_i^s}}, 0 \right) \cdot 100 \quad \text{식(IX)}$$

여기에서, $X_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, $P[\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물이고, $\sum_{i=1}^N$ 은 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 화합물들의 화합물 지수(compound index)이고, $x_i^{\text{표기}}$ 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 몰 백분율(molar percentage)이고, $P_i^s[\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 온도 $T[\text{K}]$ 에서의 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물 i 의 증기압이고, P_i^s 는 식(X)

에 따라서 계산되고,

$$P_i^s = P_0 \exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \quad \text{식(X)}$$

P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{vap}H_{m,i}$ [J/mol]는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 정상 물 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i}$ [K]는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 정상(대기압 $P_0 = 101325$ Pa에서) 끓는 온도이고,

$$x_{\text{회석제}} = \max\left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^{10} \frac{x_{\text{증기}}^{\text{증기}}}{P_{\text{증기}}^s}}, 0\right) \cdot 100 \quad \text{식(XVII)}$$

여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, P [Pa]는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플이고, $\sum_{i=1}^{10}$ 는 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료의 샘플의 화합물 지수이고, $x_{\text{증기}}^{\text{증기}}$ 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 물 백분율이고, $P_{\text{증기}}^s$ [Pa]는 플라즈마 가스 온도 T [K]에서의 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플 i 의 증기압이고, $P_{\text{증기}}^s$ 는 식(XVIII)에 따라서 계산되고,

$$P_{\text{증기}}^s = P_0 \exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \quad \text{식(XVIII)}$$

P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{vap}H_{m,i}$ [J/mol]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상 물 증발 엔탈피(예를 들면, 식(XIII)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i}$ [K]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상(대기압 $P_0 = 101325$ Pa에서) 끓는 온도이고,

바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 $x_{\text{회석제}}$ 초과 내지 ($x_{\text{회석제}} + 20$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 1$ mol-%) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 15$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 3$ mol-%) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 12$ mol-%)이고, 가장 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 5$ mol-%) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 10$ mol-%)인, 방법.

청구항 8

청구항 1 내지 청구항 7 중 어느 한 항에 있어서, 반응 챔버(reaction chamber)가 라발 노즐(Laval nozzle)로서 설계되고, 플라즈마가 라발 노즐의 좁아지는 부분에서 생성되고/거나, 가스를 플라즈마 구역에 가하기 전의 플라즈마 가스가 스월링(swirling)되고, 바람직하게는, 플라즈마 가스가 0.2 내지 1.2, 바람직하게는, 0.3 내지 0.8, 더욱 바람직하게는, 0.5 내지 0.7, 더욱 바람직하게는, 0.55 내지 0.65의 스월 수(swirl number)를 갖는, 방법.

청구항 9

카본 블랙을 생산하기 위한 반응기로서,

반응기의 중심 세로축(central longitudinal axis)을 따라서 흐름 통로(flow passage)를 갖고,

(A) 반응 챔버,

(B) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단, 및

(C) 반응 챔버에서 플라즈마를 생성시켜 플라즈마 구역을 형성시키는 수단을 포함하며,

(i) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 상류에 위치되고/거나, (ii) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역에 위치되지만, 바람직하게는 플라즈마가 생성되는 영역

뒤에 위치되고/거나, (iii) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 하류에, 바람직하게는 플라즈마 구역의 바로 뒤에 위치되는, 반응기.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

반응 챔버가 플라즈마가 생성되는 좁아지는 부분을 포함하는 라발 노즐로서 설계되고, 플라즈마를 생성시키기 위한 수단이 아크 플라즈마 생성기(arc plasma generator), 마이크로파 플라즈마 생성기(microwave plasma generator), 무선 주파수(RF) 플라즈마 생성기(radiofrequency (RF) plasma generator), 코로나 방전 플라즈마 생성기(corona discharge plasma generator), 또는 유전체-장벽 방전 (DBD) 플라즈마 생성기(dielectric-barrier discharge (DBD) plasma generator), 바람직하게는, 마이크로파 플라즈마 생성기인, 반응기.

청구항 11

청구항 9 또는 청구항 10에 있어서,

반응 챔버의 내부 라이닝(inner lining)이 알루미늄 옥사이드를 포함하고, 바람직하게는, 플라즈마 구역의 영역 내의 반응 챔버의 내부 라이닝이 알루미늄 옥사이드, 바람직하게는, 90 내지 100 중량%의 알루미늄 옥사이드, 더욱 바람직하게는, 95 내지 100 중량%의 알루미늄 옥사이드, 가장 바람직하게는, 98 내지 100 중량%의 알루미늄 옥사이드를 포함하는, 반응기.

청구항 12

청구항 9 내지 청구항 11 중 어느 한 항에 있어서,

반응기가 플라즈마 가스를 스월링시킬 수 있는 스월링 요소(swirling element)를 추가로 포함하고, 스월링 요소가 반응 챔버에 대해 상류에 부착되는, 반응기.

청구항 13

청구항 1 내지 청구항 8 중 어느 한 항에 따르면, 바람직하게는 청구항 9 내지 청구항 12 중 어느 한 항에 따른 반응기를 사용하여 생산된 카본 블랙.

청구항 14

반응기에서의 소적의 형성을 방지하기 위한, 카본 블랙의 생산을 위한 최소 물 백분율의 플라즈마 가스, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 용도로서,

플라즈마 가스와 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역에 가스를 가하기 전에 혼합되고, 최소 물 백분율이, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스의 전체 물량을 기준으로, $X_{\text{희석제}}$ 보다 크고, $X_{\text{희석제}}$ 가 식(V), 식(IX) 및/또는 식(XVII)에 따라서 계산되고,

$$x_{\text{희석제}} = \max \left(1 - \frac{P_0 \exp \left(-\frac{\Delta_{\text{vap}} H_m}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}} H_m}{RT_b} \right)}{P}, 0 \right) \cdot 100 \quad \text{식(V)}$$

여기에서, $X_{\text{희석제}}$ 는 희석이고, $P[\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, $P_0[\text{Pa}]$ 는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}} H_m[\text{J/mol}]$ 은 카본 블랙 공급원료의 정상 물 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, $R[\text{J/mol/K}]$ 은 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, $T[\text{K}]$ 는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_b[\text{K}]$ 는 카본 블랙 공급원료의 정상(대기압 $P_0 = 101325 \text{ Pa}$ 에서) 끓는 온도이고,

$$x_{\text{희석제}} = \max \left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^N \frac{x_i \cdot \bar{V}_i}{100 P_i^s}}, 0 \right) \cdot 100 \quad \text{식(IX)}$$

여기에서, $X_{\text{희석제}}$ 는 희석이고, $P[\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의

화합물이고, $\sum_{i=1}^N$ 은 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 화합물들의 화합물 지수이고, $x_i^{\text{증기}}$ 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 몰 백분율이고, P_i^s [Pa]는 플라즈마 가스 온도 T [K]에서의 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물 i 의 증기압이고, P_i^s 는 식(X)에 따라서 계산되고,

$$P_i^s = P_0 \exp\left(-\frac{\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \quad \text{식(X)}$$

P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}$ [J/mol]는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i}$ [K]는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 정상(대기압 $P_0 = 101325$ Pa에서) 끓는 온도이고,

$$x_{\text{회석제}} = \max\left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^{10} \frac{x_{\text{증기},i}}{P_{\text{증기},i}^s}}, 0\right) \cdot 100 \quad \text{식(XVII)}$$

여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, P [Pa]는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플이고, $\sum_{i=1}^{10}$ 은 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료의 샘플의 화합물 지수이고, $x_{\text{증기},i}$ 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 몰 백분율이고, $P_{\text{증기},i}^s$ [Pa]는 플라즈마 가스 온도 T [K]에서의 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플 i 의 증기압이고, $P_{\text{증기},i}^s$ 는 식(XVIII)에 따라서 계산되고,

$$P_{\text{증기},i}^s = P_0 \exp\left(-\frac{\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \quad \text{식(XVIII)}$$

P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}$ [J/mol]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(XIII)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i}$ [K]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상(대기압 $P_0 = 101325$ Pa에서) 끓는 온도이고,

바람직하게는 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 $x_{\text{회석제}}$ 초과 내지 ($x_{\text{회석제}} + 20$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 1$ mol-%) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 15$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 3$ mol-%) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 12$ mol-%)이고, 가장 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 5$ mol-%) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 10$ mol-%)인, 용도.

청구항 15

반응기에서의 소적의 형성을 방지하기 위한, 반응기의 중심 세로축을 따라 흐름 통로를 갖는 카본 블랙을 생산하기 위한 반응기에서 카본 블랙 공급원료를 위한 적어도 두 개의 주입 수단의 용도로서, 반응기가 (A) 반응 챔버, (B) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단, 및 (C) 반응 챔버에서 플라즈마를 생성시켜 플라즈마 구역을 형성시키는 수단을 포함하고, (i) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 상류에 위치되고/거나, (ii) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역에 위치되지만, 바람직하게는 플라즈마가 생성되는 영역 뒤에 위치되고/거나, (iii) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 하류에, 바람직하게는 플라즈마 구역의 바로 뒤에 위치되는, 용도.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 카본 블랙(carbon black)의 플라즈마 보조 생산(plasma assisted production)에 관한 것이다. 특히, 본 발명은, 카본 블랙 공급원료(carbon black feedstock)가 플라즈마 구역(plasma zone) 내의 소적(droplet)을 피하기 위해서 카본 블랙 반응기 내의 복수의 위치에 주입될 수 있는, 방법 및 반응기에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 카본 블랙은 고무 및 타이어 산업을 위한 보강제 또는 충전제와 같은 다양한 용도를 갖는다. 더욱이, 카본 블랙은 복사기용 착색제 및 복사용 토너와 같은 다른 분야에서도 사용이 증가하고 있다. 카본 블랙의 다양한 적용은 입자 크기, 구조, 수율, 표면적 및 얼룩과 같은 다양한 카본 블랙 특성을 필요로 한다.

[0003] 전형적으로, 카본 블랙의 생산은 부산물로서 상당한 양의 CO₂를 생성시킨다. 과제는 CO₂ 방출을 대폭 줄이면서 카본 블랙을 지속적으로 생성시키는 카본 블랙 공정을 도입하는 것이다. 전기 에너지 공급원만을 사용하여 공정을 설치하는 것은 친환경 전기(green electricity)만 사용하여 이러한 문제를 해결할 수 있다.

[0004] 더욱이, 이용 가능한 공급원료는 플라즈마 구역 내의 소적의 존재로 인해서 흔히 제한된다. 플라즈마 구역 내의 소적은 반응 챔버(reaction chamber)의 내부 라이닝(inner lining)을 손상시킬 수 있는데, 그 이유는, 플라즈마 구역에서, 소적이 벽에 침착되어 내부 라이닝의 용점보다 더 높은 온도를 초래할 수 있기 때문이다.

[0005] 따라서, 본 발명의 목적은 상기 언급된 단점들을 극복하는 카본 블랙의 생산을 위한 반응기 및 방법을 제공하는 것이다.

발명의 내용

[0006] 이러한 목적은 (a) 플라즈마 가스(plasma gas)를 카본 블랙 반응기에 공급하고, (b) 플라즈마 가스를 플라즈마 구역에 가하여 카본 블랙을 포함하는 생성물 혼합물을 얻고, (c) 생성물 혼합물을 쿼칭(quenching)시키고, (d) 생성물 혼합물로부터 카본 블랙을 분리함을 포함하는 카본 블랙을 생산하기 위한 방법으로서, (i) 플라즈마 가스가 카본 블랙 공급원료를 포함하거나 이로 이루어지고/거나, (ii) 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역의 상류(upstream)의 플라즈마 가스에 주입되고/거나, (iii) 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역에 주입되지만, 바람직하게는 플라즈마가 생성되는 영역 뒤에 주입되고/거나, (iv) 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역의 하류(downstream)의 플라즈마 가스에 주입되는, 방법에 의해서 달성될 수 있다.

[0007] 더욱이, 반응기의 중심 세로축을 따라 흐름 통로(flow passage)를 갖는 카본 블랙을 생산하기 위한 반응기로서, (A) 반응 챔버, (B) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단, 및 (C) 반응 챔버에서 플라즈마를 생성시켜 플라즈마 구역을 형성시키는 수단을 포함하고, (i) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 상류에 위치되고/거나, (ii) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역에 위치되지만, 바람직하게는 플라즈마가 생성되는 영역 뒤에 위치되고/거나, (iii) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 하류에, 바람직하게는 플라즈마 구역의 바로 뒤에 위치되는, 반응기가 제공된다.

[0008] 더욱이, 본 발명의 방법에 따라서 생산되는 카본 블랙은 바람직하게는 본 발명에 따른 반응기를 사용함으로써 제공된다.

[0009] 본 발명은 또한, 반응기에서의 소적의 형성(또는 반응기에서의 응축)을 방지하기 위한, 카본 블랙의 생산을 위한 최소 몰 백분율(minimum molar percentage)의 플라즈마 가스, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질(바람직하게는, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스)의 용도로서,

[0010] 플라즈마 가스와 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역에 가스를 가하기 전에 혼합되고, 최소 몰 백분율이, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스의 전체 물량을 기준으로, X_{희석제}보다 크고, X_{희석제}가 식(V), 식(IX) 및/또는 식(XVII)에 따라서 계산되고,

$$x_{\text{희석제}} = \max \left(1 - \frac{P_0 \exp \left(-\frac{\Delta_{\text{vap}} H_m}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}} H_m}{RT_b} \right)}{P}, 0 \right) \cdot 100 \quad \text{식(V)}$$

[0011] 여기서, X_{희석제}는 희석이고, P[Pa]는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, P₀[Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, Δ_{vap}H_m[J/mol]은 카본 블랙 공급원료의 정상 몰 증발 엔탈피(normal molar enthalpy of evaporation)(예

를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]은 보편 기체 상수(universal gas constant), 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, T_b [K]는 카본 블랙 공급원료의 정상 (대기압 $P_0 = 101325$ Pa에서) 끓는 온도이고,

$$x_{\text{회석제}} = \max \left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^N \frac{x_i^{\text{증기}}}{100 P_i^s}}, 0 \right) \cdot 100 \quad \text{식 (IX)}$$

여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, P [Pa]는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물이고, $\sum_{i=1}^N$ 은 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 화합물들의 화합물 지수 (compound index)이고, $x_i^{\text{증기}}$ 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 몰 백분율이고, P_i^s [Pa]는 플라즈마 가스 온도 T [K]에서의 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물 i 의 증기압이고, P_i^s 는 식(X)에 따라서 계산되고,

$$P_i^s = P_0 \exp \left(-\frac{\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}}{RT_{b,i}} \right) \quad \text{식 (X)}$$

P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}$ [J/mol]는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i}$ [K]는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 정상(대기압 $P_0 = 101325$ Pa에서) 끓는 온도이고,

$$x_{\text{회석제}} = \max \left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^{10} \frac{x_{\text{증기},i}}{100 P_{\text{증기},i}^s}}, 0 \right) \cdot 100 \quad \text{식 (XVII)}$$

여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, P [Pa]는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플이고, $\sum_{i=1}^{10}$ 은 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료의 샘플의 화합물 지수이고, $x_{\text{증기},i}$ 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 몰 백분율이고, $P_{\text{증기},i}^s$ [Pa]는 플라즈마 가스 온도 T [K]에서의 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플 i 의 증기압이고, $P_{\text{증기},i}^s$ 는 식(XVIII)에 따라서 계산되고,

$$P_{\text{증기},i}^s = P_0 \exp \left(-\frac{\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}}{RT_{b,i}} \right) \quad \text{식 (XVIII)}$$

P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}$ [J/mol]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(XIII)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i}$ [K]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상(대기압 $P_0 = 101325$ Pa에서) 끓는 온도이고,

바람직하게는 플라즈마 가스의 몰 퍼센트(molar percent)는 $x_{\text{회석제}}$ 초과 내지 ($x_{\text{회석제}} + 20$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 1$ mol-%) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 15$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 3$ mol-%) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 12$ mol-%)이고, 가장 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 5$ mol-%) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 10$ mol-%)인, 용도에 관한 것이다.

더욱이, 본 발명은 반응기에서의 소적의 형성(또는 반응기에서의 응축)을 방지하기 위한 반응기의 중심 세로축을 따른 흐름 통로를 가진 카본 블랙을 생성시키기 위한 반응기 내의 카본 블랙 공급원료를 위한 적어도 두 개의 주입 수단의 용도로서, 반응기가 (A) 반응 챔버, (B) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단, 및 (C) 반응 챔버에서 플라즈마를 생성시켜 플라즈마 구역을 형성시키는 수단을 포함하고, (i) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 상류에 위치되고/거나, (ii) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역에 위치되지만, 바람직하게는 플라즈마가 생성되는 영역 뒤에 위치되고/거나,

(iii) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 하류에, 바람직하게는 플라즈마 구역의 바로 뒤에 위치되는, 용도에 관한 것이다.

도면의 간단한 설명

[0023]

도 1: 카본 블랙의 생산을 위한 반응기.

도 2: x-z-평면에서의 스윙링 요소(swirling element) 부분.

도 3: x-y-평면에서의 스윙링 요소 부분.

도 4: 공급원료 랜스(feedstock lance) 및 공급원료 랜스의 외부 표면에 연결된 스윙링 요소를 포함하는 관형 도관 부분.

도 5: 유입 깔때기, 공급원료 랜스, 및 공급원료 랜스의 외부 표면에 연결된 스윙링 요소를 포함하는 관형 도관 부분.

도 6: 공급원료 랜스 및 관형 도관의 내부 표면에 연결된 스윙링 요소를 포함하는 관형 도관 부분.

도 7: 유입 깔때기, 공급원료 랜스, 및 관형 도관의 내부 표면에 연결된 스윙링 요소를 포함하는 관형 도관 부분.

도 8: 일정한 피치의 두 영역 및 원활한 연결을 갖는 스윙링 요소 부분.

도 9: 일정한 피치의 두 영역 및 예리한 연결을 갖는 스윙링 요소 부분.

도 10: 연속적인 증가/감소 피치(continuous increasing/decreasing pitch)를 갖는 스윙링 요소 부분.

도 11: 상이한 정렬을 갖는 세 개의 스윙링 요소를 함유하는 공급원료 랜스 부분.

도 12: 상이한 정렬을 갖는 세 개의 스윙링 요소를 함유하는 공급원료 랜스 부분.

도 13: 공급원료 랜스의 외부 표면에 부착된 하나의 날개(vane)를 갖는 스윙링 요소의 정투상도(multiview projection).

도 14: 공급원료 랜스를 갖지 않는 스윙링 요소 부분.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024]

상기 언급된 바와 같이, 본 발명은 카본 블랙 반응기 및, 바람직하게는 상기 카본 블랙 반응기를 사용하여, 카본 블랙을 생산하기 위한 방법에 관한 것이다. 본 발명은 첨부된 도면을 참조하여 설명되며, 이러한 도면은 발명의 범위 및 영역을 제한하지 않는다.

[0025]

명세서 및 첨부된 청구범위에서 사용된 단수형은, 문맥상 달리 명확히 나타내지 않는 한, 복수 지시 대상을 포함한다는 점에 유의해야 한다. 따라서, 예를 들어 "공급원료"에 대한 참조는 두 개 이상의 그러한 공급원료의 혼합물 등을 포함한다.

[0026]

"세로축(longitudinal axis)"은 물체의 길이(또는 경도) 방향으로 연장되는 축을 나타낸다. "가로축(lateral axis)"은 물체의 너비 방향으로 연장되는 축을 나타낸다. "횡축(transversal axis)"은 물체의 높이 방향으로 연장되는 축을 나타낸다. 축은 서로 직교하여 위치된다. 따라서, 용어 "반응기의 중심 세로축"은 카본 블랙 반응기의 길이 방향으로 연장되는 작동 축을 나타낸다. 반응 챔버와 관형 도관은 상기 언급된 반응기의 중심 세로축을 따라 배열된다. 관형 도관의 세로축과 반응기의 중심 세로축은 동축일 수 있다.

[0027]

용어 "스윙(swirl)"은 특정 방향으로의 또는 그 방향을 따른, 예컨대, 축을 따른 회전(spin)을 갖는 가스 흐름을 나타낸다. 용어 스윙과 회전은 동의어로 사용될 수 있다. 따라서, 스윙링된 가스 흐름(swirled gas flow)은 축을 따른 방향성 회전 운동이다. 본 발명에 따른 스윙링된 가스 흐름은 반응기의 중심 세로축을 따른 회전을 갖는다. 가스의 스윙 또는 회전은 흐름 방향으로 좌우로 회전할 수 있음이 분명하다. 스윙링 요소의 설계에 따라, 회전이 조정될 수 있다. 그러나, 스윙링 요소 및/또는 날개는 흐름의 회전이 좌우이고 흐름 방향으로 전파 되도록 설계되는 것이 바람직하다. 가스의 회전축은 일반적으로 실질적으로 동축이거나, 반응기의 중심 세로축 또는 관형 도관의 중심 세로축과 실질적으로 동축이다.

[0028]

가스 흐름은 가스 흐름을 스윙링시키거나 회전시킬 수 있는 스윙링 요소를 통과시킴으로써 스윙링시킬 수 있다.

예를 들어, 스월링 요소는 가스 흐름의 축을 따라 상기 언급한 방향성 회전 운동을 유도하는 수단을 제공한다. 본 발명에서, 가스는 플라스마 가스 또는 공급원료이다. 스월링 요소는 이하 상세히 기재된다.

- [0029] 직경은, 달리 명시되지 않는 한, 항상 물체의 내경을 나타낸다. 예를 들어, 관형 도관의 직경은 관형 도관의 내경을 나타낸다.
- [0030] 본 발명은 (a) 플라스마 가스를 카본 블랙 반응기에 주입하는 단계, (b) 플라스마 가스를 플라스마 구역(또는 플라스마 토치)에 가하여 카본 블랙을 포함하는 생성물 혼합물을 얻는 단계, (c) 생성물 혼합물을 쿼칭시키는 단계, (d) 생성물 혼합물로부터 카본 블랙을 분리하는 단계를 포함하여, 카본 블랙을 생산하기 위한 방법으로서, 여기서 (i) 플라스마 가스가 카본 블랙 공급원료를 포함하거나 이로 이루어지고/거나, (ii) 카본 블랙 공급원료가 플라스마 구역의 상류의 플라스마 가스에 주입되고/거나, (iii) 카본 블랙 공급원료가 플라스마 구역에 주입되지만, 바람직하게는 플라스마가 생성되는 영역 뒤에 주입되고/거나, (iv) 카본 블랙 공급원료가 플라스마 구역의 하류의 플라스마 가스에 주입되는, 방법에 관한 것이다.
- [0031] 따라서, 카본 블랙 반응기에서 여러 위치에 카본 블랙 공급원료를 제공하는 것이 가능하다. 반응 챔버의 플라스마 구역에서 소적의 형성을 피하는 것이 중요하다. 플라스마 가스에 존재하는 카본 블랙 공급원료(공급원료 또는 카본 블랙을 위한 공급원료)의 양은 플라스마 구역에서의 소적 형성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 플라스마가 생성되는 영역의 하류에, 예를 들어, 플라스마 구역에 또는 플라스마 구역의 하류에 공급원료를 도입하는 것은 플라스마 구역의 상류에 존재하는 카본 블랙 공급원료의 양을 줄일 수 있다. 플라스마가 생성되는 영역은 플라스마 가스의 여기가 일어나는 영역을 의미한다. 예를 들어, 마이크로파 방사선이 플라스마 가스를 여기시키는 영역.
- [0032] 생성물 혼합물은 생성된 카본 블랙을 포함하는 혼합물을 나타낸다. 더욱이, 플라스마 가스 및 추가 열분해 생성물이 존재할 수 있다.
- [0033] 플라스마 구역은 플라스마가 존재하거나 플라스마 토치(plasma torch)가 존재하는 반응 챔버 내의 영역이다. 플라스마 구역은 또한 플라스마 컬럼(plasma column), 플라스마 토치, 플라스마 화염(plasma flame), 플라스마 제트(plasma jet) 또는 플라스마로 여겨질 수 있다. 플라스마 구역의 크기는 요망되는 대로 선택될 수 있다. 상기 크기는, 예를 들어, 가스 흐름(플라스마 가스 흐름) 및 플라스마 생성기의 에너지 입력에 의해 조정될 수 있다. 일반적으로, 플라스마 구역은 플라스마 가스가 여기되는 위치에서 시작하여 반응 챔버 또는 반응기의 하류로 연장된다. 따라서, 카본 블랙 공급원료가 플라스마 구역에 주입되는 경우에, 주입은 플라스마가 생성되는 영역 뒤에서 또는 플라스마 가스가 여기되는 영역 뒤에서 수행되는 것이 특히 바람직하다.
- [0034] 공급원료는 반응 챔버 내의 상기 언급된 위치 중 하나에서 도입될 수 있다. 그러나, 하나 초과와 위치가 공급원료를 도입하기 위해서 사용되는 것이 바람직하다. 예를 들어, 제1 카본 블랙 공급원료는 플라스마 구역 상류에서 도입되고 제2 카본 블랙 공급원료는 플라스마가 생성되는 영역 하류에서, 바람직하게는, 플라스마 가스가 여기되는 영역 뒤에서 도입된다.
- [0035] 제1 카본 블랙 공급원료는 플라스마 가스를 플라스마 구역에 가하기 전에 플라스마 가스에 주입될 수 있고, 제2 카본 블랙 공급원료는 플라스마 구역에, 그러나 바람직하게는 플라스마가 생성된 영역 뒤에 주입된다.
- [0036] 제1 카본 블랙 공급원료는 플라스마 가스를 플라스마 구역에 가하기 전에 플라스마 가스에 주입될 수 있고, 여기서, 제2 카본 블랙 공급원료는 플라스마 구역의 바로 뒤에 주입될 수 있다.
- [0037] 제1 및 제2 카본 블랙 공급원료는 동일한 카본 블랙 공급원료인 것이 바람직하다. 그러나, 카본 블랙 공급원료가 서로 다른 것이 가능하다.
- [0038] 플라스마 가스가 반응 챔버에 들어가기 전에 스월링되면, 공급원료가 플라스마 구역의 하류에서, 즉, 플라스마 구역의 바로 뒤에서 도입되는 것이 바람직하다. 플라스마 가스의 스월이 플라스마의 형태를 수정하여 플라스마의 중앙에서의 역류를 생성시켜서, 플라스마 바로 뒤에 주입된 카본 블랙 공급원료가 플라스마로 끌려 들어가는 것으로 여겨진다.
- [0039] 플라스마 구역의 상류의 플라스마 가스에 주입되는 공급원료는 반응기의 중심 세로축과 동축인 공급원료 랜스에 의해서 주입되거나 반응기의 중심 세로축에 수직으로 배열된 노즐에 의해서 주입될 수 있다. 수직 노즐은 반응 챔버에 원주 방향으로 배열될 수 있다. 이러한 배열은 플라스마 가스(플라스마 가스 혼합물)의 스월을 유도하기 위해서 사용될 수 있다.
- [0040] 플라스마를 생성시키는 수단은 특정 플라스마 생성 수단에 한정되지 않아서, 임의의 적합한 장치를 사용할 수

있다. 플라스마는 마이크로파 에너지(microwave energy)에 의한 플라스마 가스의 여기(excitation)에 대한 반응으로 생성될 수 있고/거나, 플라스마는 전기 아크(electric arc)에 의한 플라스마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성될 수 있고/거나, 플라스마는 코로나 방전(corona discharge)에 의한 플라스마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성될 수 있고/거나, 플라스마는 유전체-장벽 방전(dielectric-barrier discharge: DBD)에 의한 플라스마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성될 수 있고/거나, 플라스마는 무선 주파수 에너지(radio frequency energy)에 의한 플라스마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성될 수 있고, 바람직하게는 플라스마는 마이크로파 에너지에 의한 플라스마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성될 수 있다. 마이크로파 에너지의 주파수는 500MHz 내지 100GHz, 바람직하게는 800MHz 내지 10GHz, 더 바람직하게는 900MHz 내지 5GHz, 가장 바람직하게는 900MHz 내지 3GHz일 수 있다.

[0041] 플라스마 가스는 가스를 플라스마 구역(또는 반응 챔버)에 가하기 전에 예열될 수 있고, 바람직하게는, 플라스마 가스는 100 내지 1600 °C, 예컨대, 300 내지 1400 °C, 400 내지 1200 °C, 500 내지 1000 °C, 600 내지 1500 °C, 100 내지 300 °C, 200 내지 400 °C, 300 내지 500 °C, 400 내지 600 °C, 1000 내지 1500 °C, 또는 700 내지 900 °C의 온도로 예열된다. 예열은 전기적인 수단에 의해서 인가될 것이다. 연료의 연소는 CO₂ 방출이 저하될 수 있도록 회피되어야 한다. 유사하게, 카본 블랙 공급원료는 100 내지 600 °C, 예컨대, 150 내지 500 °C, 또는 200 내지 400 °C의 온도로 예열될 수 있다. 카본 블랙 공급원료 및/또는 플라스마 가스의 예열을 위한 에너지원은 전기 에너지, 바람직하게는, 재생 가능한 공급원으로부터 생성된 전기 에너지이어야 한다.

[0042] 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라스마 가스는 (i) 260 내지 920 K, 바람직하게는, 269 내지 700 K, (ii) 290 내지 340 K, (iii) 340 내지 390 K, (iv) 390 내지 440 K, (v) 440 내지 490 K, (vi) 490 내지 540 K, (vii) 540 내지 590 K, (viii) 590 내지 640 K, (ix) 640 내지 690 K, 또는 (x) 690 내지 740 K의 온도를 가질 수 있다.

[0043] 플라스마 가스의 온도는 카본 블랙 공급원료의 소적 형성이 회피될 수 있도록 하기 위해서 중요할 수 있다. 낮은 온도의 가스는 반응 챔버에서의 소적 형성에 부정적으로 영향을 미친다.

[0044] 플라스마 가스는 수소(H₂) 및/또는 물(H₂O)을 포함할 수 있거나 이것일 수 있고/거나, 플라스마 가스는 카본 블랙 공급원료를 포함하거나 이것이다. 따라서, 플라스마 가스는 카본 블랙 공급원료일 수 있다. 플라스마 가스 및 카본 블랙 공급원료는 가스가 플라스마 구역에 가해지기 전에 혼합되어야 한다. 플라스마 가스는 또한 N₂, CO₂, 및/또는 공기를 포함할 수 있거나 그것이다. 그러나, 수소(H₂) 및/또는 물(H₂O)이 바람직한 플라스마 가스이고, 여기에서, 수소가 가장 바람직한 플라스마 가스이다. 플라스마 가스가 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질인 것이 특히 바람직하다. 가스는 일반적으로는 플라스마 구역의 상류에 존재하는 플라스마 가스 혼합물을 나타낸다.

[0045] 카본 블랙은 카본 블랙 공급원료를 플라스마에 가함으로써, 즉, 플라스마 보조 카본 블랙 생산에 의해서 형성된다. 카본 블랙의 형성 후에, 카본 블랙을 포함하는 생성물 혼합물은 쿼칭된다. 생성물 혼합물을 쿼칭시키는 것은 생성물 혼합물의 온도를 저하시킨다. 더욱이, 생성물 혼합물을 쿼칭시킴으로써 생성물 특성을 제어하는 것이 가능하다. 냉매, 예컨대, 물, 열 교환기, 및/또는 켄치 보일러(quench boiler)가 사용될 수 있다.

[0046] 플라스마 구역 내 또는 그 전의 소적을 방지(또는 응축을 방지)하기 위해서, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 최소 희석이 가스(플라스마 가스, 플라스마 가스 혼합물)의 온도에 따라서 필요할 수 있다. 이는 높은 끓는점 또는 높은 임계 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료가 사용되는 경우에 특히 중요하다. 그러한 카본 블랙 공급원료는 플라스마 구역에서 또는 그 근처에서 소적을 형성시키는(응축되는, 또는 간단히 액체 상으로 변하는) 경향이 있으며, 이는 반응기, 반응기 챔버 및/또는 반응기 챔버의 내부 라이닝을 손상시킬 수 있다.

[0047] 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질은, 카본 블랙 공급원료가 카본 블랙 반응기에서 소적을 형성시키지 않는(또는 응축되지 않는 또는 액체 상으로 있지 않는) 물 비율로, 가스를 플라스마 구역에 가하기 전에, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라스마 가스에 존재해야 한다.

[0048] 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질은 액체로서 존재하지 않는다. 즉, 이들은 가스의 온도에서 증기압을 갖지 않는다. 가스는, 특히 플라스마 구역의 상류에 존재하는, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라스마 가스를 나타낸다. 물질의 임계 온도는 아무리 많은 압력을 가해도 재료(또는 물질)의 증기가 액화될 수 없는 온도 및 그 초과인 온도이다. 낮은 압력에서, 물질은 기체 상이고, 높은 압력에서, 물질은 초임계 유체 상이다. 재료 또는 물질의 임계 온도는 문헌["Landolt-Boernstein, Zahlenwerte und Funktionen, 6. Aufl. Bd. 2/1, Tabelle

21116, page 328 Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1971" or NIST Chemistry WebBook (<https://webbook.nist.gov/chemistry/name-ser/>)]에 기재되어 있다.

- [0049] 플라즈마 가스는 물질이거나 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하는 것이 특히 바람직하다. 예를 들어, 수소는 33.18 K의 임계 온도를 갖는다. 플라즈마 가스(카본 블랙 공급원료를 포함함)의 온도는 일반적으로 10 °C 초과, 예컨대, 18 °C 초과, 30 °C 초과 또는 100 °C 초과의 온도이어서, 수소가 적합한 플라즈마 가스이다. 카본 블랙을 생산하기 위해서 사용될 수 있는, 즉, 공급원료 물질로서 여겨지는 메탄은 190.56 K의 임계 온도를 지녀서, 가스(또는 플라즈마 가스, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스 혼합물)가 190.56 K 초과의 온도를 가지면, 메탄이 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질일 것이다.
- [0050] 플라즈마 가스와 카본 블랙 공급원료는, 가스를 플라즈마 구역에 가하기 전에, 카본 블랙 공급원료가 카본 블랙 반응기에서 소적을 형성시키지 않는 물 비율로, 혼합(플라즈마 가스 및 카본 블랙 공급원료를 포함하는 카본 블랙 혼합물)되는 것이 특히 바람직하다. 물 비율은 이하 기재되는 바와 같이 계산될 수 있다.
- [0051] 더욱이, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질(즉, 시스템의, 가스 혼합물의, 및/또는 플라즈마 가스 혼합물의)은, 가스를 플라즈마 구역에 가하기 전에, 카본 블랙 공급원료가 카본 블랙 반응기에서 소적을 형성시키지 않는 물 비율로, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스(플라즈마 가스 및 카본 블랙 공급원료를 포함하는 카본 블랙 혼합물)에 존재하는 것이 특히 바람직하다. 물 비율은 이하 기재된 바와 같이 계산될 수 있다.
- [0052] 더 많은 양의 공급원료 물질이 사용되는 것이 바람직하면, 추가의 (iii) 카본 블랙 공급원료(제2 카본 블랙 공급원료)가 플라즈마 구역에 주입될 수 있지만, 바람직하게는 플라즈마가 생성되는 영역 뒤에 주입될 수 있고/거나, (iv) 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 가스 하류에 및/또는 플라즈마 구역 뒤에 주입된다. 뒤라는 용어는 플라즈마 구역 뒤 또는 플라즈마 토치 뒤의 1 내지 50 mm를 의미할 수 있다.
- [0053] 플라즈마 가스(공급원료 없이) 또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의(즉, 시스템의, 가스 혼합물의, 및/또는 플라즈마 가스 혼합물의) 요망되는 물 비율은 이하 식(V), 식(VI), 식(IX), 및/또는 식(XVII)을 사용하여 계산될 수 있다. 특히, 플라즈마 가스, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질(바람직하게는, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스)의 최소 물 백분율은 상기 언급된 식을 사용하여 계산된다.
- [0054] 이하에서는, 카본 블랙 공급원료 및/또는 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 물질의(즉, 시스템의, 가스 혼합물의, 및/또는 플라즈마 가스 혼합물의) 필요한 회석 또는 회석 $X_{\text{회석제}}$ 의 계산이 기재된다. 필요한(또는 최소) 회석 $X_{\text{회석제}}$ 는 플라즈마 가스 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의(즉, 시스템의, 가스 혼합물의, 및/또는 플라즈마 가스 혼합물의) 물 백분율로서 표시된다. 달리 설명하면, 일반적으로, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 특정 백분율은 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 물질의 응축을 피하기 위해서 필요하다. 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질은 플라즈마 가스 및/또는 부분적으로는 카본 블랙 공급원료일 수 있다. 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 물질이 카본 블랙 공급원료(제1 카본 블랙 공급원료)일 수 있다.
- [0055] $X_{\text{회석제}}$ 의 계산을 위한 식에서, 압력 $P[\text{Pa}]$ 뿐만 아니라 온도 T 는 요망되는 대로 선택될 수 있다. 예를 들어, 공정은 1 atm 또는 101325 Pa, 및 300 K에서 수행되는 것이 바람직하다.
- [0056] 어떠한 순수한 화합물(예를 들면, 카본 블랙 공급원료)의 경우에, 증기압은, 온도에 따른 증기압이 사용될 수 없는 경우, 정상 끓는점에서 시작하여 추정할 수 있다. 화합물의 경우에, Pictet-Troutonsch 규칙에 따라, 88 J/mol/K의 정상 증발 엔트로피가 사용된다. 모든 식에 대해서, 88 J/mol/K가 정상 증발 엔트로피(물 증발 엔트로피 $P=101325 \text{ Pa}$)에 대해서 사용하는 것이 특히 바람직하다. 대안적으로, Cedenbergsche 방정식을 사용할 수 있다. 용어 "정상"은 1기압, 즉, 101325 Pa에서의 각각의 값을 나타낸다. 압력이 계산을 위해 명시적으로 언급되지 않은 경우에, 1기압을 사용하는 것이 요망된다. 특정 단위가 표시되어 있더라도(예를 들어, 온도 및 압력에 대해서), 단위를 적합한 단위로 변환시키는 것이 가능하다.
- [0057] 정상 끓는점과 물 증발 엔트로피를 시작으로 하여, 이하 식(I)에 의한 $\Delta_{\text{vap}}H_m$ 로 표시되는 정상 물 증발 엔탈피를 얻는다:
- [0058] $\Delta_{\text{vap}}H_m = T_b \Delta_{\text{vap}}S_m$ 식(I)

[0059] 여기에서, $\Delta_{vap}H_m$ [J/mol]는 카본 블랙 공급원료의 정상 물 증발 엔탈피이고, T_b [K]는 정상 끓는점이고, $\Delta_{vap}S_m$ [J/K/mol]은 카본 블랙 공급원료의 정상 물 증발 엔트로피이다. 카본 블랙 공급원료는 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료를 나타낸다.

[0060] 끓는점 곡선에 대한 미분 방정식은 Clausius Clapyron의 방정식에 따라 상 평형 조건에서 유도될 수 있다:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta_{vap}H_m}{T(V_m^{증기} - V_m^{액체})} \quad \text{식(II)}$$

[0062] 여기에서, $\frac{dP}{dT}$ 는 어떠한 지점에서의 공존 증기압 곡선에 대한 접선의 기울기이고, $(V_m^{증기} - V_m^{액체})$ 는 기체와 액체 사이의 상전이의 부피 변화이고, $\Delta_{vap}H_m$ [J/mol]는 정상 물 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이다.

[0063] 일정한 증발 엔탈피를 가정하고, 물 증기 부피에 대한 액체 부피를 무시하고, 증기 상의 물 부피에 대한 이상 기체 법칙을 가정하면, 이하 증기압 방정식이 얻어진다:

$$\frac{P^s}{P_0} = \exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_m}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_m}{RT_b}\right) \quad \text{식(III)}$$

[0065] 여기에서, P^s [Pa]는 플라스마 가스 온도 T [K]에서의 카본 블랙 공급원료의 증기압이고, P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, R 은 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라스마 가스의 온도이고, T_b [K]는 카본 블랙 공급원료의 정상 끓는 온도이다. 카본 블랙 공급원료는 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료를 나타낸다.

[0066] 백분율로의 회석 $X_{회석제}$ 는 이하 식이다:

$$X_{회석제} = \max\left(\frac{P-P^s}{P}, 0\right) \cdot 100 \quad \text{식(IV)}$$

[0068] 여기에서, $X_{회석제}$ 는 회석이고, P^s [Pa]는 플라스마 가스 온도 T [K]에서의 카본 블랙 공급원료의 증기압이고, P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이다.

[0069] 식(III)와 식(IV)를 조합하면 이하 식(V)이 유도된다. 식(IV), 식(V) 및 식(VI)는, 최소값이 0(제로)라는 단서를 갖는데, 그 이유는 물 비율에 대한 음수 값이 간단히 회석이 필요하지 않다는 것, 즉, 물 비율이 제로(max(,0)로 표시됨)라는 것을 의미하기 때문이다.

$$X_{회석제} = \max\left(1 - \frac{P_0 \exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_m}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_m}{RT_b}\right)}{P}, 0\right) \cdot 100 \quad \text{식(V)}$$

[0071] 여기에서, $X_{회석제}$ 는 회석이고, P [Pa]는 플라스마 가스 혼합물의 압력이고, P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{vap}H_m$ [J/mol]는 카본 블랙 공급원료의 정상 물 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라스마 가스 혼합물의 온도이고, T_b [K]는 카본 블랙 공급원료의 정상(대기압 $P_0 = 101325$ Pa에서) 끓는 온도이다. 카본 블랙 공급원료는 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료를 나타낸다.

[0072] 대안적으로, 식(VI)은 $X_{회석제}$ 가 0보다 큼을 단서로 하여 사용될 수 있고, 이는 공급원료와 플라스마 가스(또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질)가 플라스마 가스(또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질)의 최소 물 비율이 필요한 방식으로 선택된다는 것을 의미한다.

$$X_{회석제} = \left(1 - \frac{P_0 \exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_m}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_m}{RT_b}\right)}{P}\right) \cdot 100 \quad \text{식(VI)}$$

[0074] 여기에서, $X_{회석제}$ 는 회석이고, P [Pa]는 플라스마 가스 혼합물의 압력이고, P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{vap}H_m$ [J/mol]은 카본 블랙 공급원료의 정상 물 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고,

R [J/mol/K]는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, T_b [K]는 카본 블랙 공급원료의 정상(대기압 $P_0 = 101325$ Pa에서) 끓는 온도이다. 카본 블랙 공급원료는 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료를 나타낸다.

[0075] 희석 $X_{\text{희석제}}$ 는 플라즈마 가스의 몰 퍼센트, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스의 몰 퍼센트, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트를 나타낸다. 바람직하게는, 희석 $X_{\text{희석제}}$ 는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스의 몰 퍼센트, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트를 나타낸다. 더욱 바람직하게는, 희석 $X_{\text{희석제}}$ 는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스의 몰 퍼센트, 및 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트를 나타낸다. 가장 바람직하게는, 희석 $X_{\text{희석제}}$ 는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트를 나타낸다.

[0076] 표 1 및 표 2에서, 희석 $X_{\text{희석제}}$ 가 계산되었고, 여기에서, 최소 $X_{\text{희석제}}$ 는 제로($\max(, 0)$)로서 표시됨)이다. 따라서, 이들 표에서의 값은 응축을 피하기(소적 없음) 위한 플라즈마 가스 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 백분율을 나타낸다. 표 1에서의 C3 내지 C23은 각각의 탄소 수를 갖는 지방족 탄화수소를 나타낸다. 예를 들어, C3은 C_3H_8 을 나타낸다. 정상 몰 증발 엔탈피 $\Delta_{\text{vap}}H_m$ 은 88 J/mol K의 정상 몰 증발 엔트로피를 사용한 식 $\Delta_{\text{vap}}H_m = T_b \Delta_{\text{vap}}S_m$ 을 사용하여 계산되었다. 백분율은 식(V)를 사용하여 계산되었다. 각각의 측정 또는 계산은, 표에 나타난 바와 같이, 특정 가스 온도, 예컨대, 268.04 K, 300 K, 350 K, 400 K, 450 K, 500 K, 550 K, 600 K, 650 K 및 700 K를 나타낸다. 식에서, 온도는 요망되는 대로 선택될 수 있다. 시스템 압력 또는 가스/플라즈마 가스 혼합물의 압력 P [Pa]는 101325 Pa이다. 표 2는 방향족 공급원료를 나타낸다.

[0077] 카본 블랙 공급원료를 포함한 계산을 위한 플라즈마 가스의 온도 T 를 시스템 온도에서 10 K 또는 5 K를 뺀 값으로 설정하는 것이 가능하여, 결과적인 몰 백분율은 가스 온도의 편차를 고려하게 한다. 이는 모든 식에서 T 에 대해 수행될 수 있다. 그러나, T 는 카본 블랙 공급원료를 포함한 플라즈마 가스의 온도여야 한다.

[0078] 다시 말해서, 계산된 몰 백분율은 플라즈마 구역의 상류에 존재하는 카본 블랙 공급원료를 포함한 플라즈마 가스를 나타낸다. 추가의 공급원료가 적절한 양으로 플라즈마 구역 내로 직접 주입되거나 플라즈마 구역 뒤에 주입될 수 있다.

[0079] 표 1: 상이한 가스 온도를 고려하여 응축을 피하기 위해 필요한 플라즈마 가스 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 계산된 몰 백분율

지방족	끓는점	증발 엔탈피	T [K]									
			268.04	300	350	400	450	500	550	600	650	700
	T_b [K]	$\Delta_{vap}H_m$ [J/mol]	응축을 피하기에 필요한 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라스마 가스 및/또는 물질의 몰 백분율 [mol-%]									
C3	268.04	20328	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	290.92	23936	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	313.8	27192	80	27	0	0	0	0	0	0	0	0
C6	336.68	30096	95	77	0	0	0	0	0	0	0	0
C7	359.56	32648	98	92	47	0	0	0	0	0	0	0
C8	382.44	35112	99	97	77	0	0	0	0	0	0	0
C9	405.32	37224	100	99	89	46	0	0	0	0	0	0
C10	428.2	39336	100	99	95	71	0	0	0	0	0	0
C11	451.08	41272	100	100	97	84	36	0	0	0	0	0
C12	473.96	43032	100	100	99	91	60	0	0	0	0	0
C13	496.84	44792	100	100	99	94	75	17	0	0	0	0
C14	519.72	46376	100	100	100	97	84	44	0	0	0	0
C15	542.6	47784	100	100	100	98	89	60	0	0	0	0
C16	565.48	49192	100	100	100	99	92	71	16	0	0	0
C17	588.36	50512	100	100	100	99	95	79	37	0	0	0
C18	611.24	51744	100	100	100	99	96	84	52	0	0	0
C19	634.12	52976	100	100	100	100	97	88	63	3	0	0
C20	657	54208	100	100	100	100	98	91	72	25	0	0
C21	679.88	55352	100	100	100	100	99	93	78	40	0	0
C22	702.76	56408	100	100	100	100	99	95	83	51	0	0

[0080]

[0081]

표 2: 상이한 가스 온도를 고려하여 응축을 피하기 위해 필요한 플라스마 가스 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 계산된 몰 백분율

방향족	끓는점	증발 엔탈피	T [K]									
			268.04	300	350	400	450	500	550	600	650	700
	T_b [K]	$\Delta_{vap}H_m$ [J/mol]	응축을 피하기에 필요한 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라스마 가스 및/또는 물질의 몰 백분율 [mol-%]									
C6H6	353	31064	97	85	9	0	0	0	0	0	0	0
C10H10	491	43208	100	100	99	91	62	0	0	0	0	0
C14H10	611.5	53812	100	100	100	100	98	91	69	18	0	0

[0082]

[0083]

식(V) 및 식(VI)은 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 하나의 카본 블랙 공급원료를 포함하는 카본 블랙 공급원료에 특히 유용하다. 예를 들어, 카본 블랙 공급원료는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 여러 탄화수소와 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 하나의 탄화수소를 포함한다. 식(V), 식(VI), 식(IX) 및 식(XVII)에 따른 계산은 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료를 고려하는 것이 바람직하다.

[0084]

플라스마 가스와 카본 블랙 공급원료는 가스를 플라스마 구역에 가하기 전에 혼합되어야 하며, 여기에서, 플라스마 가스의 몰 퍼센트 또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질(바람직하게는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트)의 몰 퍼센트는, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라스마 가스의 전체 몰량을 기준으로 하여, $x_{\text{회석제}}$ 보다 크며, 여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 이하 식(V)에 따라 계산될 수 있다:

$$x_{\text{회석제}} = \max\left(1 - \frac{P_0 \exp\left(-\frac{\Delta_{vap}H_m}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_m}{RT_b}\right)}{P}, 0\right) \cdot 100 \quad \text{식(V)}$$

[0085]

[0086]

여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, P [Pa]는 플라스마 가스 혼합물의 압력이고, P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{vap}H_m$ [J/mol]은 카본 블랙 공급 원료의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]은 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라스마 가스 혼합물의

온도이고, $T_b[K]$ 는 카본 블랙 공급 원료의 정상(대기압 $P_0 = 101325$ Pa에서) 끓는 온도이고, 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 $X_{\text{회석제}}$ 초과 내지 ($X_{\text{회석제}} + 20$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 1$ mol-%) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 15$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 3$ mol-%) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 12$ mol-%)이고, 가장 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 5$ mol-%) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 10$ mol-%)이다. 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 적어도 $X_{\text{회석제}}$ 일 수 있거나 그것이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 적어도 ($X_{\text{회석제}} + 1$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 적어도 ($X_{\text{회석제}} + 3$ mol-%)이고, 가장 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 적어도 ($X_{\text{회석제}} + 5$ mol-%)이다.

[0087] 회석 $X_{\text{회석제}}$ 는 플라즈마 가스의 물 퍼센트, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스의 물 퍼센트, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 물 퍼센트를 나타낸다. 바람직하게는, 회석 $X_{\text{회석제}}$ 는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스의 물 퍼센트, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 물 퍼센트를 나타낸다. 더욱 바람직하게는, 회석 $X_{\text{회석제}}$ 는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스의 물 퍼센트, 및 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 물 퍼센트를 나타낸다. 가장 바람직하게는, 회석 $X_{\text{회석제}}$ 는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 물 퍼센트를 나타낸다.

[0088] 물 백분율은 가스를 플라즈마 구역에 가하기 전의 상기 카본 블랙 공급원료를 나타낸다. 일반적으로, 플라즈마 가스는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질, 예컨대, 수소이다. 따라서, 플라즈마 가스(또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질) 및 카본 블랙 공급원료의 최적의 물 비율은 플라즈마 구역에서 또는 그 전에 소적의 형성 없이 이용될 수 있다. 추가적으로, 카본 블랙 공급원료의 가장 높은 가능한 비율이 생산된 카본 블랙의 특성에 유익하다.

[0089] 따라서, 플라즈마 가스에 존재하는 공급원료 함량을 정확하게 조절하는 것이 가능하다. 플라즈마 구역에 또는 플라즈마 구역의 하류에 직접 주입되는 원료는 어떠한 적합한 양으로 주입할 수 있다는 점에 유의해야 한다. 상기 공급원료는 제2 카본 블랙 공급원료일 수 있다. 따라서, 제1 카본 블랙 공급원료는 플라즈마 구역 전에 주입되는 공급원료이다.

[0090] 플라즈마 가스와 카본 블랙 공급원료(플라즈마 가스 및 카본 블랙 혼합물)는 가스를 플라즈마 구역에 가하기 전에 혼합될 수 있고, 여기에서, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스의 전체 물량을 기준으로 한, 플라즈마 가스 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질(101325 Pa의 대기압에서)의 물 퍼센트는 (i) 270 내지 300 K의 정상 끓는점 및/또는 최종 정상 끓는점(final normal boiling point) 및 250 내지 290 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에 1 내지 20 mol-%, (ii) 300 초과 내지 350 K의 정상 끓는점 및 270 내지 300 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에 30 내지 95 mol-%, (iii) 350 초과 내지 400 K의 정상 끓는점 및/또는 최종 정상 끓는점 및 340 내지 360 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에 50 내지 80 mol-%, (iv) 400 초과 내지 450 K의 정상 끓는점 및/또는 최종 정상 끓는점 및 390 내지 420 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에 50 내지 75 mol-%, (v) 450 초과 내지 500 K의 정상 끓는점 및/또는 최종 정상 끓는점 및 440 내지 460 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에 40 내지 65 mol-%, (vi) 500 초과 내지 550 K의 정상 끓는점 및/또는 최종 정상 끓는점 및 490 내지 520 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에 20 내지 65 mol-%, (vii) 550 초과 내지 610 K의 정상 끓는점 및/또는 최종 정상 끓는점 및 540 내지 570 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에 20 내지 55 mol-%, 또는 (viii) 610 초과 내지 670 K의 정상 끓는점 및/또는 최종 정상 끓는점 및 590 내지 630 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에 30 내지 65 mol-%이다. 플라즈마 가스가 270 K 미만인 임계 온도를 갖는 것이 바람직하다.

[0091] 플라즈마 가스는 카본 블랙 공급원료, 바람직하게는, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료로 구성되는 것이 가능하다. 더욱이, 공급원료는 많은 상이한 탄화수소를 포함하는 조성물일 수 있다. 각각의 탄화수소는 상이한 끓는점 및/또는 임계 온도를 가질 수 있다. 예를 들어, 플라즈마 가스는 40 중량%의 H_2 , 20 중량%의 C_3H_8 및 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 40 중량%의 탄화수소를 포함한다.

[0092] 일반적으로, 가스를 플라즈마 구역(101325 Pa의 대기압에서)에 가하기 전의, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플

라즈마 가스는, (i) 270 내지 300 K의 최종 정상 끓는점 및 250 내지 290 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 1 mol-% 내지 20 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나, (ii) 300 초과 내지 350 K의 최종 정상 끓는점 및 270 내지 290 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 30 내지 95 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나, (iii) 350 초과 내지 400 K의 최종 정상 끓는점 및 340 내지 360 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 50 내지 80 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나, (iv) 400 초과 내지 450 K의 최종 정상 끓는점 및 390 °C 내지 420 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 50 내지 75 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나, (v) 450 초과 내지 500 K의 최종 정상 끓는점 및 440 내지 460 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 40 내지 65 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나, (vi) 500 초과 내지 550 K의 최종 정상 끓는점 및 490 내지 520 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 20 내지 65 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나, (vii) 550 초과 내지 610 ° K의 최종 정상 끓는점 및 540 내지 570 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 20 내지 55 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나, (viii) 610 초과 내지 670 K의 최종 정상 끓는점 및 590 내지 630 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 30 내지 65 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하고, 여기에서, 물질은 바람직하게는 플라즈마 가스, 예컨대, 수소, 또는 카본 블랙 공급원료를 포함한다.

[0093] 카본 블랙 공급원료가 하나 초과인 탄화수소를 포함하는 경우에, 공급원료 혼합물의 최종 정상 끓는점을 측정하고 식(V) 및 식(VI)에서의 $x_{\text{희석제}}$ 의 계산을 위해서 최종 정상 끓는점을 사용하는 것이 가능하다. 이는 카본 블랙 공급원료가 +/- 30K와 같이 좁은 정상 끓는점 분포 내의 탄화수소를 포함하는 경우에 특히 유용하다.

[0094] 탄화수소 공급원료의 끓는점은 증류 또는 진공 증류에 의해서 측정될 수 있다. 하나 초과인 탄화수소 공급원료(카본 블랙 공급원료 조성물)이 사용되는 경우에, 끓는점 곡선이 측정될 수 있고, "최종 끓는점"(또는 "말단 끓는점")이 얻어지며, 예컨대, ASTM D 86-04b에 따라 측정된다. 일반적으로, 최종 끓는점은 조성물 또는 분획에서 가장 높은 끓는점을 갖는 탄화수소의 끓는점으로 여겨질 수 있다. 정상 끓는점 또는 최종 정상 끓는점은 1기압에서의 각각의 끓는점이다.

[0095] 그러나, 식(V) 및 식(VI)은 바람직하게는 하나의 탄화수소를 포함하는 카본 블랙 공급원료에 대해서 사용된다. 더욱이, 상기 탄화수소는 일반적으로는 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는다. 이는 특정 비율의 플라즈마 가스 또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질이 없는 카본 블랙 공급원료가 반응 챔버에서 또는 플라즈마 구역에 인접하여 소적을 형성시키는 것을 의미한다. 이는 이하 언급된 식에 대해서도 해당된다.

[0096] 카본 블랙 공급원료 조성물의 경우에, 예를 들어, 하나 초과인 카본 블랙 공급원료(또는 하나 초과인 화합물을 포함하는 카본 블랙 공급원료), 예컨대, 탄화수소가 존재하면, 이하 식(IX) 및 식(XVII)가 사용되어야 한다. 두 식 모두는 하나의 탄화수소 공급원료만 포함하는 카본 블랙 공급원료, 즉, 하나의 카본 블랙 공급원료(또는 하나의 화합물을 포함하는 카본 블랙 공급원료)에 대해서 사용될 수 있다. 카본 블랙 공급원료의 상기 화합물은 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 화합물 또는 물질을 나타낸다. 달리 설명하면, 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 하나 초과인 물질이 존재한다.

[0097] 상기 카본 블랙 공급원료 혼합물이 가스의 온도보다 높은 임계 온도 뿐만 아니라 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 화합물 또는 물질을 포함하는 경우에, 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 물질 또는 화합물만이 계산에 고려된다. 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질 또는 화합물은 응축되지 않으며 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 물질에 대한 희석제 역할을 할 수 있다. 플라즈마 구역의 상류 또는 플라즈마가 생성되는 영역에 존재하는 가스(가스 혼합물, 플라즈마 가스 혼합물)의 온도는 최소 온도이어야 한다.

[0098] 예를 들어, 카본 블랙 공급원료는 두 부분으로 나뉠 수 있다. 부분 1은 혼합물의 온도보다 낮거나 그와 동일한 임계 온도를 갖는 모든 종을 포함하고 부분 2는 혼합물의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 모든 종을 포함한다. 부분 1은 희석제로도 일컬어지고 부분 2는 희석제가 아니다. 부분 2의 종의 수는 N에 의해서 표시된다. 희석제가 없는 카본 블랙 공급원료의 최대 압력은 다음과 같이 정의된다:

$$P_{\text{희석제 비함유}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{x_i}{100 P_i^s}} \quad \text{식(VII)}$$

[0099]

[0100] 이러한 식에서, $x_i^{증기}$ 는 %로의 중 i 의 물 분율을 나타내고, P_i^s 는 혼합물의 온도에서의 중 i 의 증기압을 나타낸다. 가스성 혼합물을 얻기 위해서는, 회석제(예를 들면, 부분 1 및 부분 2의 혼합물 중)의 물 분율은 적어도 이하와 같다.

[0101]
$$x_{\text{회석제}} = \max\left(\frac{P-P_{\text{회석제 비활유}}}{P}, 0\right) \cdot 100 \quad \text{식(VIII)}$$

[0102] 식(VII)과 식(VIII)을 조합하면 이하 식(IX)이 유도된다. 식(VIII) 및 식(IX)은 최소값이 0(제로)라는 단서를 갖는데, 그 이유는 물 비율에 대한 음수 값이 간단히 회석이 필요하지 않다는 것, 즉, 물 비율이 제로라는 것을 의미하기 때문이다.

[0103]
$$x_{\text{회석제}} = \max\left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^N \frac{x_i^{증기}}{100 P_i^s}}, 0\right) \cdot 100 \quad \text{식(IX)}$$

[0104] 여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, $P[\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급 원료 내의 각각의 화합물이고, $\sum_{i=1}^N$ 은 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 화합물들의 화합물 지수이고, $x_i^{증기}$ 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 물 백분율이고, $P_i^s [\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 온도 $T[\text{K}]$ 에서의 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물 i 의 증기압이고, P_i^s 는 식(X)에 따라서 계산되고,

[0105]
$$P_i^s = P_0 \exp\left(-\frac{\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \quad \text{식(X)}$$

[0106] $P_0[\text{Pa}]$ 는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}[\text{J/mol}]$ 는 카본 블랙 공급 원료 내의 각각의 화합물의 정상 물 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, $R[\text{J/mol/K}]$ 은 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, $T[\text{K}]$ 는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i}[\text{K}]$ 는 카본 블랙 공급 원료 내의 각각의 화합물의 정상(대기압 $P_0 = 101325 \text{ Pa}$ 에서) 끓는 온도이다. 카본 블랙 공급원료는 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료(즉, 카본 블랙 공급원료 내의 화합물)을 나타낸다.

[0107] 이하에서, 3 가지의 예시적인 혼합물이 나타내어져 있고, 결과적인 회석 $x_{\text{회석제}}$ 가 계산된다.

[0108] 혼합물 1은 10 mol.-% 옥탄(C_8H_{18} , $T_c=568 \text{ K}$), 30 mol.-% 노난(C_9H_{20} , $T_c=594 \text{ K}$), 30 mol.-% 도데칸($\text{C}_{12}\text{H}_{26}$, $T_c=658 \text{ K}$), 30 mol.-% 도코산(C_{22} , $T_c=786 \text{ K}$)을 포함한다. 다시 설명하면, 재료 또는 물질의 임계 온도 T_c 는 문헌["Landolt-Boernstein, Zahlenwerte und Funktionen, 6. Aufl. Bd. 2/1, Tabelle 21116, page 328 Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1971"]에 개시되어 있다.

[0109] 혼합물 2는 5 mol.-% C_9H_{20} , 10 mol.-% $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$, 30 mol.-% $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$, 20 mol.-% $\text{C}_{14}\text{H}_{30}$, 5 mol.-% $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$, 5 mol.-% $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$, 5 mol.-% $\text{C}_{19}\text{H}_{40}$, 20 mol.-% $\text{C}_{22}\text{H}_{46}$ 을 포함한다.

[0110] 혼합물 3은 15 mol.-% $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$, 15 mol.-% $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$, 10 mol.-% $\text{C}_{14}\text{H}_{30}$, 5 mol.-% $\text{C}_{17}\text{H}_{36}$, 5 mol.-% $\text{C}_{18}\text{H}_{28}$, 5 mol.-% $\text{C}_{19}\text{H}_{40}$, 20 mol.-% $\text{C}_{22}\text{H}_{46}$, 25 mol.-% $\text{C}_{23}\text{H}_{48}$ 을 포함한다.

[0111] 표 3에서, 화합물 1 내지 3에 대한 응축을 피하기 위해서 필요한 플라즈마 가스 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 물 백분율이 나타내어져 있다. 시스템 압력 또는 가스/플라즈마 가스 혼합물 $P[\text{Pa}]$ 의 압력은 101325 Pa이다.

[0112] 예를 들어, 550 K에서의 혼합물 3은 가스의 온도(즉, 550 K)보다 높은 임계 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료 또는 카본 블랙 공급원료 내의 화합물(물질)만을 포함한다. 혼합물에서 가장 낮은 임계 온도를 갖는 화합물 또는 물질은 옥탄(C_8H_{18} , $T_c=568 \text{ K}$)이며, 여기에서, 가스의 온도, 즉, 550 K는 옥탄의 T_c , 즉, 568 K보다 낮다. 따라서, 혼합물 3 내의 모든 화합물은 회석 $x_{\text{회석제}}$ 의 계산에 사용된다. 화합물 또는 물질 중 하나가 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 경우, 이러한 화합물은 물 분율을 포함하여 상기 식에서 카본 블랙 공급원료 화합물로 사용되지 않는다.

[0113] 표 3: 상이한 가스 온도를 고려하여 응축을 피하기에 필요한 플라즈마 가스 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계

온도를 갖는 물질의 계산된 몰 백분율

	응축을 피하기 위해 필요한 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스 및/또는 물질의 몰 백분율 [mol-%]									
시스템 온도 T [K]	268.04	300	350	400	450	500	550	600	650	700
혼합물 1	100	100	99.95	99.45	96.39	83.98	46.02	0	0	0
혼합물 2	100	100	99.93	99.3	95.62	81.21	38.68	0	0	0
혼합물 3	100	100	99.97	99.71	98.1	91.43	70.74	18.81	0	0

[0114]

[0115]

플라즈마 가스와 카본 블랙 공급원료는 가스를 플라즈마 구역에 가하기 전에 혼합되어야 하며, 여기에서, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트 또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트(바람직하게는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트)는, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스의 전체 몰량을 기준으로 하여, $X_{\text{회석제}}$ 보다 크고, $X_{\text{회석제}}$ 는 식(IX)에 따라서 계산될 수 있다:

[0116]

$$x_{\text{회석제}} = \max \left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^N \frac{x_i^{\text{공기}}}{100 P_i^s}}, 0 \right) \cdot 100 \quad \text{식(IX)}$$

[0117]

여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, $P[\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 (가스 혼합물의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는) 카본 블랙 공급 원료 내의 각각의 화합물이고, $\sum_{i=1}^N$ 은 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 화합물들의 화합물 지수이고, $x_i^{\text{공기}}$ 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 몰 백분율이고, $P_i^s [\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 온도 $T[\text{K}]$ 에서의 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물 i 의 증기압이고, P_i^s 는 식(X)에 따라서 계산되고,

[0118]

$$P_i^s = P_0 \exp \left(-\frac{\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}}{RT_{b,i}} \right) \quad \text{식(X)}$$

[0119]

$P_0[\text{Pa}]$ 는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}[\text{J/mol}]$ 는 카본 블랙 공급 원료 내의 각각의 화합물의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, $R[\text{J/mol/K}]$ 는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, $T[\text{K}]$ 는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i} [\text{K}]$ 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 정상(대기압 $P_0 = 101325 \text{ Pa}$ 에서) 끓는 온도이다. 카본 블랙 공급원료는 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료(즉, 카본 블랙 공급원료 내의 화합물)를 나타낸다. 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 $X_{\text{회석제}}$ 초과 내지 ($X_{\text{회석제}} + 20 \text{ mol-\%}$)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 1 \text{ mol-\%}$) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 15 \text{ mol-\%}$)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 3 \text{ mol-\%}$) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 12 \text{ mol-\%}$)이고, 가장 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 5 \text{ mol-\%}$) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 10 \text{ mol-\%}$)이다. 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 적어도 $X_{\text{회석제}}$ 일 수 있거나 그것이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 적어도 ($X_{\text{회석제}} + 1 \text{ mol-\%}$)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 적어도 ($X_{\text{회석제}} + 3 \text{ mol-\%}$)이고, 가장 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 적어도 ($X_{\text{회석제}} + 5 \text{ mol-\%}$)이다.

[0120]

회석 $X_{\text{회석제}}$ 는 플라즈마 가스의 몰 퍼센트, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스의 몰 퍼센트, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트를 나타낸다. 바람직하게는, 회석 $X_{\text{회석제}}$ 는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스의 몰 퍼센트, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트를 나타낸다. 더욱 바람직하게는, 회석 $X_{\text{회석제}}$ 는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스의 몰 퍼센트, 및 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트를 나타낸다. 가장 바람직하게는, 회석 $X_{\text{회석제}}$ 는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트를 나타낸다.

[0121] 앞서 언급된 바와 같이, 식(XVII)은 카본 블랙 공급원료 또는 카본 블랙 공급원료 혼합물에 대한 회석제 $x_{\text{회석제}}$ 를 계산하기 위해서 사용될 수 있다. 상기 카본 공급원료 및/또는 카본 공급원료 혼합물은 가스의 온도보다 높은 하나 또는 하나 초과 임계 온도를 포함해야 한다.

[0122] 식(XVII)은 방대한 양의 상이한 물질을 포함하는 카본 블랙 공급원료에 대해서 특히 유용하다. 예를 들어, 카본 블랙 공급원료는 미지의 물질을 포함한다.

[0123] 전체 카본 블랙 공급원료는 바람직하게는 계산을 위해서 고려된다. 대안적으로, 단지 카본 블랙 공급원료 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 물질이 계산을 위해서 고려된다.

[0124] 식(XVII)에서, 카본 블랙 공급원료는 10개의 샘플 또는 10개의 분획으로 분할된다. 각각의 분획 또는 샘플의 경우에, 분획 또는 샘플이 하나의 슈도 성분(pseudo component)(또는 물질 또는 화합물)으로 구성되어 있다고 가정된다. 일반적으로, 각각의 샘플에서의 가장 높은 끓는점을 갖는 성분은 각각의 샘플의 슈도 성분으로서 여겨진다. 샘플은 전체 카본 블랙 공급원료의 1/10 vol.-%와 같이 동일한 vol.-% 분획을 가져야 한다. 카본 블랙 공급원료 샘플이 정확히 동일한 부피-기반 분획으로 나뉘는 것은 필요하지 않다.

[0125] ASTM D 86 - 04b에 따른 대기 증류 실험은, 바람직하게는, 미지의 카본 블랙 공급원료에 대해 수행될 수 있다. 전체 샘플이 대기 조건(1기압)에서 완전히 증발될 수 없는 경우에, 진공 증류가 적용되어야 하고 ASTM D 5236 - 03에 따라 대기 조건으로 재계산되어야 한다. 전체 혼합물(예를 들면, 100ml)이 증류에 의해서 10개의 샘플/분획(예를 들면, 10ml)으로 분리될 것이다. 각 샘플 i 의 마지막 방울의 정상 끓는 온도가 결정되고 $T_{b,i}$ 로 표시되며, 여기에서, $T_{b,i}$ 는 각각의 슈도 성분 에 대한 정상 끓는 온도[K]이다. 각각의 샘플의 경우에, 질량과 분자량이 측정된다. 분자량은 증기압 삼투압법(ASTM D 3592 - 77)을 사용하여 수평균 분자량을 측정함으로써 측정될 수 있다.

[0126] 본원에서 언급된 물질의 끓는 온도는 정상 끓는 온도, 즉, 대기압 $P = 101325 \text{ Pa}$ 에서의 끓는 온도를 나타낸다.

[0127] 샘플 당 몰 수는 식(XI)을 사용하여 얻어진다.

$$n_i = \frac{m_i}{M_i} \quad \text{식(XI)}$$

[0129] 이러한 식에서, 샘플 i 의 몰 수는 n_i 로 표시되고, 샘플 i 의 질량은 m_i 로 표시되며, 분자량은 M_i 로 표시되고, 각각의 샘플의 부피가 측정된다.

[0130] 각각의 샘플의 몰 분율은 이하 식에 의해서 측정된다:

$$x_{\text{분율},i} = 100 n_i / \sum_{i=1}^{10} n_i \quad \text{식(XII)}$$

[0132] 각각의 샘플의 경우에, $\Delta_{vap}S_m = 88 \frac{J}{\text{mol K}}$ 의 정상 증발 엔트로피를 사용한 슈도 정상 증발열 $\Delta_{vap}H_{m,i}$ 가 계산된다:

$$\Delta_{vap}H_{m,i} = T_{b,i} \Delta_{vap}S_m \quad \text{식(XIII)}$$

[0134] 각각의 샘플 i 의 경우에, 슈도 증기압 $P_{\text{분율},i}^s$ 는 이하 식에 따라서 계산된다:

$$\frac{P_{\text{분율},i}^s}{P_0} = \exp \left(-\frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{vap}H_{m,i}}{RT_{b,i}} \right) \quad \text{식(XIV)}$$

[0136] P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{vap}H_{m,i}$ [J/mol]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플(또는 분획)의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i}$ [K]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플(또는 분획)의 정상(대기압 $P_0 = 101325 \text{ Pa}$ 에서) 끓는 온도이다.

[0137] 슈도 압력은 이하 식에 따라서 계산된다:

$$P_{\text{슈도}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{10} \frac{x_{\text{슈도}}^{\text{증기}} \cdot i}{P_{\text{슈도}}^S \cdot i}} \quad \text{식(XV)}$$

10가지의 슈도 성분(바람직하게는 혼합물의 온도보다 낮은 임계온도를 갖는 것)의 혼합물에서 플라스마 가스의 필요한 몰 비율은 이하 식에 의해서 계산된다:

$$x_{\text{회석제}} = \max\left(\frac{P - P_{\text{슈도}}}{P}, 0\right) \cdot 100 \quad \text{식(XVI)}$$

식(XV)와 식(XVI)을 조합하면 이하 식(XVII)이 유도된다. 식(XVI)와 식(XVII)은 최소값이 0(제로)이라 단서를 갖는데, 그 이유는 몰 비율에 대한 음수 값이 회석이 필요하지 않다는 것, 즉, 몰 비율이 제로라는 것을 의미하기 때문이다.

$$x_{\text{회석제}} = \max\left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^{10} \frac{x_{\text{슈도}}^{\text{증기}} \cdot i}{P_{\text{슈도}}^S \cdot i}}, 0\right) \cdot 100 \quad \text{식(XVII)}$$

여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, $P[\text{Pa}]$ 는 플라스마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료(바람직하게는 플라스마 가스 혼합물의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는, 더욱 바람직하게는, 전체 카본 블랙 공급원료)의 각각의 샘플이고, $\sum_{i=1}^{10}$ 는 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급 원료의 샘플의 화합물 지수이고, $x_{\text{슈도}}^{\text{증기}}, i$ 는 카본 블랙 공급 원료의 각각의 샘플의 몰 백분율이고, $P_{\text{슈도}}^S, i [\text{Pa}]$ 는 플라스마 가스 온도 $T [\text{K}]$ 에서의 카본 블랙 공급 원료의 각각의 샘플 i 의 증기압이고, $P_{\text{슈도}}^S, i$ 는 식(XVIII)에 따라서 계산되고,

$$P_{\text{슈도}}^S, i = P_0 \exp\left(-\frac{\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \quad \text{식(XVIII)}$$

$P_0[\text{Pa}]$ 는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}} H_{m,i} [\text{J/mol}]$ 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(XIII)에 따라서 계산됨)이고, $R [\text{J/mol/K}]$ 는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, $T[\text{K}]$ 는 시스템 온도 또는 플라스마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i} [\text{K}]$ 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상(대기압 $P_0 = 101325 \text{ Pa}$ 에서) 끓는 온도이다. 카본 블랙 공급원료는 전체 카본 블랙 공급원료(즉, 카본 블랙 공급원료 내의 화합물들)를 나타낸다. 대안적으로, 카본 블랙 공급원료는 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료(즉, 카본 블랙 공급원료 내의 화합물들)를 나타낸다.

식(XVII)은 미지의 카본 블랙 공급원료 혼합물에 대한 원하는 회석을 계산하기 위해 사용하는 것이 바람직하다. 그러나, 공지된 카본 블랙 공급원료에 대한 상기 계산에도 식(XVII)을 사용하는 것이 가능하다. 미지의 카본 블랙 공급원료는 부분적으로 확인되지 않은 수많은 상이한 화합물을 포함하는 카본 블랙 공급원료를 나타낸다. 그럼에도 불구하고, 카본 블랙 공급원료 혼합물의 혼합물 내의 모든 화합물과 분획을 분석하는 것은 가능하다.

플라스마 가스와 카본 블랙 공급원료가 플라스마 구역에 가스를 가하기 전에 혼합되고, 여기에서, 플라스마 가스의 몰 퍼센트, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라스마 가스의 몰 퍼센트, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트(바람직하게는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라스마 가스의 몰 퍼센트)는, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라스마 가스의 전체 물량을 기준으로 하여, $x_{\text{회석제}}$ 보다 크고, 여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 식(XVII)에 따라서 계산된다:

$$x_{\text{회석제}} = \max\left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^{10} \frac{x_{\text{슈도}}^{\text{증기}} \cdot i}{P_{\text{슈도}}^S \cdot i}}, 0\right) \cdot 100 \quad \text{식(XVII)}$$

여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, $P[\text{Pa}]$ 는 플라스마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료(바람직하게는 플라스마 가스 혼합물의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는, 더욱 바람직하게는, 전체 카본 블랙 공급원료)의 각

각의 샘플이고, $\sum_{i=1}^{10}$ 는 i 가 1부터 10까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급 원료의 샘플의 화합물 지수이고, $x_{\text{증기},i}$ 는 카본 블랙 공급 원료의 각각의 샘플의 몰 백분율이고, $P_{\text{증기},i}^s$ [Pa]는 플라즈마 가스 온도 T [K]에서의 카본 블랙 공급 원료의 각각의 샘플 i 의 증기압이고, $P_{\text{증기},i}^s$ 는 식(XVIII)에 따라서 계산되고,

$$P_{\text{증기},i}^s = P_0 \exp\left(-\frac{\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \quad \text{식(XVIII)}$$

P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}$ [J/mol]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(XIII)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i}$ [K]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상(대기압 $P_0 = 101325$ Pa에서) 끓는 온도이다.

바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 $X_{\text{회석제}}$ 초과 내지 ($X_{\text{회석제}} + 20$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 1$ mol-%) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 15$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 3$ mol-%) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 12$ mol-%)이고, 가장 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 5$ mol-%) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 10$ mol-%)이다. 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 적어도 $X_{\text{회석제}}$ 일 수 있거나 그것이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 적어도 ($X_{\text{회석제}} + 1$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 적어도 ($X_{\text{회석제}} + 3$ mol-%)이고, 가장 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 적어도 ($X_{\text{회석제}} + 5$ mol-%)이다. 카본 블랙 공급원료는 전체 카본 블랙 공급원료(즉, 카본 블랙 공급원료 내의 화합물들)을 나타낸다. 대안적으로, 카본 블랙 공급원료는 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료(즉, 카본 블랙 공급원료 내의 화합물들)을 나타낸다.

가스를 플라즈마 구역에 가하기 전에 혼합된 카본 블랙 공급원료는 카본 블랙 공급원료의 증류에 의해 분석될 수 있으며, 여기에서, 카본 블랙 공급원료는 증류에 의해 10개의 샘플/분획으로 분리되고, 각각의 샘플/분획의 마지막 방울이 증류되는 온도는 샘플/분획의 각각의 끓는점 $T_{b,i}$ [K]로서 사용된다. 10개의 샘플/분획이 분석된 카본 블랙 공급원료의 동일한 몰 백분율을 갖는 것이 바람직하다. 바람직하게는, 각각의 샘플은 유사한 끓는점을 갖는 화합물을 포함하며, 여기에서 유사함은 ± 20 K의 끓는점을 나타낸다.

10개 초과인 샘플 또는 분획을 사용하는 것이 적합할 수 있다. 예를 들어, 카본 블랙 공급원료의 화합물은 광범위한 범위의 끓는점을 갖는다. 따라서, 식은 샘플 수가 15, 20, 25, 30 또는 40개인 것으로 수정될 수 있다.

표 4에서, 식(XVII)를 사용하여 $X_{\text{회석제}}$ 를 계산하기 위한 카본 블랙 공급원료의 예시적인 샘플로부터 유도된 ASTM D 86 - 04b에 따라 측정된 끓는점 곡선이 나타내어져 있다. 전체 카본 블랙 공급원료가 사용된다. 정상 끓는 온도 판독은 각각의 분획의 마지막 방울의 온도이다.

[0156] 표 4: ASTM D 86 - 04b에 따른 예시적인 카본 블랙 공급원료의 증류

증발 점 / Vol.-%	정상 끓는 온도 판독 ¹ / °C	정상 끓는 온도, K
IBP (초기 끓는점)	184.6	457.75
5	196.5	469.65
10	210.7	483.85
20	247.5	520.65
30	279.3	552.45
40	299.7	572.85
50	313.3	586.45
60	323.5	596.65
70	331.1	604.25
80	336.5	609.65
90	339.9	613.05
95	341.3	614.45
EP (말단 끓는점 또는 최종 끓는점)	341.8	614.95

[0157]

[0158] *1 ASTM D 86 - 04b에 따른 특별히 수정된 관찰 온도 판독

[0159] 증류 동안에, 샘플은 각각 약 1/10 vol.-%의 초기 카본 블랙 공급원료(카본 블랙 공급원료 혼합물)를 갖는 10개의 샘플로 나뉜다(표 5 참조). 분자량은 증기압 삼투압법(ASTM D 3592 - 77)을 사용하여 수평균 분자량을 측정하여 측정되었다. 샘플 당 몰 수는 식(XI)을 사용하여 얻었다. 각각의 샘플의 몰 분율이 계산된다.

[0160] 표 5: 표 4에 언급된 증류로부터 얻은 몰 분율의 계산

샘플 <i>i</i>	정상 끓는 온도 / K	증발 엔탈피 / (J/mol)	질량 / g	분자량 / (g/mol)	몰 수	몰 분율 $x_{\text{증류}}^{\text{증기}} / \text{mol.-%}$	$\frac{x_{\text{증류}}^{\text{증기}}}{100 P^s_{\text{증류}, i}}$ ($T = 573.15 \text{ K}$) ($P_0 = 1.01325 \text{ bar}$)
1	457.75	42578.8	10	128	0.078	16.421	0.03115412
2	469.65	45817.2	10	150	0.066	13.895	0.05201083
3	483.85	48615.6	10	185	0.054	11.368	0.07655499
4	520.65	50410.8	10	213	0.047	9.895	0.09711397
5	552.45	51607.6	10	233	0.043	9.053	0.11421462
6	572.85	52505.2	10	249	0.040	8.421	0.1282671
7	586.45	53174	10	262	0.038	8	0.14021337
8	596.65	53649.2	10	271	0.037	7.789	0.1508393
9	604.25	53948.4	10	277	0.036	7.579	0.15627253
10	609.65	54071.6	10	281	0.036	7.579	0.16036529

[0161]

[0162] 표 4에서, 압력 P_0 는 101325 Pa 대신 1.01325 bar이다. 따라서, $\sum_{i=1}^{10} \frac{x_{\text{증류}}^{\text{증기}}}{100 P^s_{\text{증류}, i}}$ 는 1.10700611 bar⁻¹이고, 그에 따라서, 1 bar의 작동 압력 P 및 573.15 K의 온도 T 에서의 $x_{\text{회석제}}$ 는 이하와 같다:

$$x_{\text{회석제}} = \left(1 - \frac{1}{1 \text{ bar } 1.10700611 \frac{1}{\text{bar}}} \right) 100 = 9.67\%$$

[0163]

[0164] 다양한 시스템 압력 및 온도에 대해서, 회석 또는 최소 회석 $x_{\text{회석제}}$ 는 다음 표에서 계산된다.

[0165] 표 6: 다양한 시스템 압력 및 온도의 최소 회석

T/°C P/bar	225	250	275	300
0.2	13.03	0	0	0
0.3	42.02	0	0	0
0.5	65.21	36.46	0	0
0.7	75.15	54.62	21.6	0
0.9	80.67	64.7	39.02	0
0.95	81.69	66.56	42.23	4.91
1	82.61	68.23	45.12	9.67

[0166]

[0167] 따라서, 식(V), 식(IX) 또는 식(XVII) 중 적어도 하나가, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스, 즉, 플라즈마 구역에 가해지기 전의 플라즈마 가스의 전체 물량을 기준으로 하여, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트 또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트(바람직하게는, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트)를 계산하기 위해서 사용되어야 한다. 바람직하게는, 모든 식(V), 식(IX) 및 식(XVII)가 사용된다.

[0168] 달리 설명하면, 플라즈마 가스와 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역에 가스를 가하기 전에 혼합되고, 여기에서, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스의 몰 퍼센트, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트(바람직하게는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스의 몰 퍼센트)는, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스의 전체 물량을 기준으로 하여, $x_{\text{회석제}}$ 보다 크고, 여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 식(V), 식(IX) 및/또는 식(XVII)에 따라서 계산되고,

$$x_{\text{회석제}} = \max \left(1 - \frac{P_0 \exp \left(-\frac{\Delta_{\text{vap}} H_m}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}} H_m}{RT_b} \right)}{P}, 0 \right) \cdot 100 \quad \text{식(V)}$$

[0169]

[0170] 여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, $P[\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, $P_0 [\text{Pa}]$ 는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}} H_m [\text{J/mol}]$ 은 카본 블랙 공급원료의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, $R[\text{J/mol/K}]$ 은 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, $T[\text{K}]$ 는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_b[\text{K}]$ 는 카본 블랙 공급원료의 정상(대기압 $P_0 = 101325 \text{ Pa}$ 에서) 끓는 온도이고,

$$x_{\text{회석제}} = \max \left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^N \frac{x_i \cdot P_i^s}{100 P_i^s}}, 0 \right) \cdot 100 \quad \text{식(IX)}$$

[0171]

[0172] 여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, $P[\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물이고, $\sum_{i=1}^N$ 은 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 화합물들의 화합물 지수이고, $x_i^{\text{회석}}$ 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 몰 백분율이고, $P_i^s [\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 온도 $T[\text{K}]$ 에서의 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물 i 의 증기압이고, P_i^s 는 식(X)에 따라서 계산되고,

$$P_i^s = P_0 \exp \left(-\frac{\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}}{RT_{b,i}} \right) \quad \text{식(X)}$$

[0173]

[0174] $P_0[\text{Pa}]$ 는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}} H_{m,i} [\text{J/mol}]$ 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, $R[\text{J/mol/K}]$ 는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, $T[\text{K}]$ 는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i}[\text{K}]$ 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 정상(대기압 $P_0 = 101325 \text{ Pa}$ 에서) 끓는 온도이고,

$$x_{\text{회석제}} = \max \left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^{10} \frac{x_{\text{증기}}^{\text{증기}}}{100 P_{\text{증기}}^s}}, 0 \right) \cdot 100 \quad \text{식(XVII)}$$

여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, $P[\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플이고, $\sum_{i=1}^{10}$ 는 i 가 1부터 10까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료의 샘플의 화합물 지수이고, $x_{\text{증기}}^{\text{증기}}$ 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 몰 백분율이고, $P_{\text{증기}}^s [\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 온도 $T [\text{K}]$ 에서의 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플 i 의 증기압이고, $P_{\text{증기}}^s$ 는 식(XVIII)에 따라서 계산되고,

$$P_{\text{증기}}^s = P_0 \exp \left(-\frac{\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}}{RT_{b,i}} \right) \quad \text{식(XVIII)}$$

$P_0[\text{Pa}]$ 는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}[\text{J/mol}]$ 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(XIII)에 따라서 계산됨)이고, $R [\text{J/mol/K}]$ 는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, $T[\text{K}]$ 는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i}[\text{K}]$ 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상(대기압 $P_0 = 101325 \text{ Pa}$ 에서) 끓는 온도이고,

바람직하게는 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 $x_{\text{회석제}}$ 초과 내지 ($x_{\text{회석제}} + 20 \text{ mol-}\%$)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 1 \text{ mol-}\%$) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 15 \text{ mol-}\%$)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 3 \text{ mol-}\%$) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 12 \text{ mol-}\%$)이고, 가장 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 5 \text{ mol-}\%$) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 10 \text{ mol-}\%$)이다. 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 적어도 $x_{\text{회석제}}$ 일 수 있거나 그것이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 적어도 ($x_{\text{회석제}} + 1 \text{ mol-}\%$)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 적어도 ($x_{\text{회석제}} + 3 \text{ mol-}\%$), 가장 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 적어도 ($x_{\text{회석제}} + 5 \text{ mol-}\%$)이다. 카본 블랙 공급원료는 가스의 온도보다 높은 임계 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료(즉, 카본 블랙 공급원료 내의 화합물들)를 나타내야 한다. 대안적으로, 카본 블랙 공급원료는 전체 카본 블랙 공급원료(즉, 카본 블랙 공급원료 내의 화합물들)를 나타낸다.

따라서, $x_{\text{회석제}}$ 는 식(V), 식(IX) 및 식(XVII)에 따라서 계산될 수 있다. $x_{\text{회석제}}$ 는 식(V), 식(IX) 또는 식(XVII)에 따라서 계산될 수 있다. $x_{\text{회석제}}$ 는 식(V), 및 식(XVII)에 따라서 계산될 수 있다. $x_{\text{회석제}}$ 는 식(V), 및 식(IX)에 따라서 계산될 수 있다. $x_{\text{회석제}}$ 는 식(V), 또는 식(XVII)에 따라서 계산될 수 있다. $x_{\text{회석제}}$ 는 식(V), 또는 식(IX)에 따라서 계산될 수 있다.

일반적으로, 플라즈마 가스의 온도는 카본 블랙 공급원료에서 C-C 결합의 절단을 피하기 위해 가능한 한 낮은 것이 바람직하다.

본 발명은 추가로, 반응기에서의 소적의 형성(또는 반응기에서의 응축)을 방지하기 위한, 바람직하게는 본 발명에 따른 방법을 사용한, 바람직하게는 본 발명에 따른 반응기에서, 카본 블랙의 생산을 위한 최소 몰 백분율의 플라즈마 가스, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질 (바람직하게는, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스)의 용도로서, 플라즈마 가스와 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역에 가스를 가하기 전에 혼합되고, 최소 몰 백분율이, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스의 전체 물량을 기준으로 하여, $x_{\text{회석제}}$ 보다 크고, $x_{\text{회석제}}$ 가 식(V), 식(IX) 및/또는 식(XVII)에 따라서 계산되는, 용도에 관한 것이고,

$$x_{\text{회석제}} = \max \left(1 - \frac{P_0 \exp \left(-\frac{\Delta_{\text{vap}} H_m}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}} H_m}{RT_b} \right)}{P}, 0 \right) \cdot 100 \quad \text{식(V)}$$

여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, $P[\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, $P_0 [\text{Pa}]$ 는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}} H_m[\text{J/mol}]$ 은 카본 블랙 공급원료의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고,

R [J/mol/K]은 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, T_b [K]는 카본 블랙 공급원료의 정상(대기압 $P_0 = 101325$ Pa에서) 끓는 온도이고,

$$x_{\text{회석제}} = \max \left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^N \frac{x_i^{\text{증기}}}{100 P_i^s}}, 0 \right) \cdot 100 \quad \text{식 (IX)}$$

여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, P [Pa]는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물이고, $\sum_{i=1}^N$ 은 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 화합물들의 화합물 지수이고, $x_i^{\text{증기}}$ 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 몰 백분율이고, P_i^s [Pa]는 플라즈마 가스 온도 T [K]에서의 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물 i 의 증기압이고, P_i^s 는 식(X)에 따라서 계산되고,

$$P_i^s = P_0 \exp \left(-\frac{\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}}{RT_{b,i}} \right) \quad \text{식 (X)}$$

P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}$ [J/mol]는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i}$ [K]는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 정상(대기압 $P_0 = 101325$ Pa에서) 끓는 온도이고,

$$x_{\text{회석제}} = \max \left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^{10} \frac{x_{\text{증기},i}}{100 P_{\text{증기},i}^s}}, 0 \right) \cdot 100 \quad \text{식 (XVII)}$$

여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, P [Pa]는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플이고, $\sum_{i=1}^{10}$ 은 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료의 샘플의 화합물 지수이고, $x_{\text{증기},i}$ 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 몰 백분율이고, $P_{\text{증기},i}^s$ [Pa]는 플라즈마 가스 온도 T [K]에서의 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플 i 의 증기압이고, $P_{\text{증기},i}^s$ 는 식(XVIII)에 따라서 계산되고,

$$P_{\text{증기},i}^s = P_0 \exp \left(-\frac{\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}}{RT_{b,i}} \right) \quad \text{식 (XVIII)}$$

P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}} H_{m,i}$ [J/mol]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(XIII)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i}$ [K]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상(대기압 $P_0 = 101325$ Pa에서) 끓는 온도이고,

바람직하게는 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 $x_{\text{회석제}}$ 초과 내지 ($x_{\text{회석제}} + 20$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 1$ mol-%) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 15$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 3$ mol-%) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 12$ mol-%)이고, 가장 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 5$ mol-%) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 10$ mol-%)이다.

($x_{\text{회석제}} + 20$ 몰%) 또는 ($x_{\text{회석제}} + xx$ 몰%)과 같은 괄호 안의 상기 표현은 $x_{\text{회석제}}$ 와 20몰%와 같은 추가 몰 백분율을 의미한다. 따라서 괄호 안의 상기 표현은 괄호 없이도 공식화될 수 있다.

또한, 카본 블랙 생산을 위한 플라즈마 가스, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 백분율을 상기 기재된 반응기에서 소적의 형성을 방지하기 위해서 필요한 최소 몰 백분율로 자동적이고 지속적으로 조절하는 방법을 제공하는 것이 가능하다.

더욱이, 본 발명은, 반응기에서의 소적의 형성(또는 반응기에서의 응축)을 방지하기 위한, 바람직하게는 본 발

명에 따른, 반응기의 중심 세로축을 따라 흐름 통로를 갖는 카본 블랙을 생산하기 위한, 반응기, 바람직하게는 본 발명에 따른 반응기에서 카본 블랙 공급원료를 위한 적어도 두 개의 주입 수단의 용도로서, 반응기가 (A) 반응 챔버, (B) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단, 및 (C) 반응 챔버에서 플라즈마를 생성시켜 플라즈마 구역을 형성시키는 수단을 포함하고, (i) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 상류에 위치되고/거나, (ii) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역에 위치되지만, 바람직하게는 플라즈마가 생성되는 영역 뒤에 위치되고/거나, (iii) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 하류에, 바람직하게는 플라즈마 구역의 바로 뒤에 위치되는, 용도에 관한 것이다.

[0197] 적어도 두 개의 주입 수단은 (i) 플라즈마 구역의 상류에 위치되는 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단 및 (ii) 플라즈마 구역에 위치되지만, 바람직하게는 플라즈마가 생성되는 영역 뒤에 위치되는 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이어야 한다.

[0198] 플라즈마 구역 내의 압력 및/또는 플라즈마 구역 내의 플라즈마 가스의 압력은 0.1 내지 1.3 bar, 예컨대, 0.1 내지 1.2 bar, 0.1 내지 1.1 bar, 0.1 내지 1 bar, 0.2 내지 1 bar, 0.2 내지 1 bar 미만, 0.1 내지 0.5 bar, 0.2 내지 0.9 bar, 0.3 내지 0.8 bar, 또는 0.3 내지 0.5 bar이고, 여기에서, 바람직하게는 플라즈마 구역의 상류의 압력 및/또는 플라즈마 구역의 상류의 플라즈마 가스의 압력은 플라즈마 구역 내의 압력 및/또는 플라즈마 구역 내의 플라즈마 가스의 압력보다 높다. 0.3 bar 미만의 압력에서, 아세틸렌은 카본 블랙을 생산하기 위한 중간체로 얻어질 가능성이 높다. 아세틸렌은 생산된 카본 블랙에 영향을 미쳐서, 플라즈마 구역 내의 압력 및/또는 플라즈마 구역 내의 플라즈마 가스의 압력이 0.3bar 미만이거나 0.3bar 초과인 것이 바람직하다. 카본 블랙의 형성을 위한 반응 시간은 플라즈마 보조 생산에서 매우 짧다. 압력을 낮추는 것은 생산된 카본 블랙의 균일한 특성에 유익하다.

[0199] 플라즈마 구역의 상류의 압력 및/또는 플라즈마 구역의 상류의 플라즈마 가스의 압력은 0.1 내지 3 bar, 예컨대, 0.2 내지 2.6 bar, 0.5 내지 2.5 bar, 0.9 내지 2.2 bar, 1 내지 2 bar, 1.5 내지 2 bar, 1.6 내지 3 bar, 1 bar 내지 1.5 bar, 또는 1.1 내지 1.4 bar일 수 있고, 여기에서, 바람직하게는 플라즈마 구역의 상류의 압력 및/또는 플라즈마 구역의 상류의 플라즈마 가스의 압력은 플라즈마 구역 내의 압력 및/또는 플라즈마 구역 내의 플라즈마 가스의 압력보다 높다.

[0200] 반응 챔버 내의 압력은 펌프를 사용하여 간단히 감소시킬 수 있거나 라발 노즐(Laval 노즐)이 사용될 수 있다. 반응 챔버는 라발 노즐로서 설계되어, 가스가 라발 노즐의 좁아진 부분 앞에서 1 Ma 미만의 속도로, 라발 노즐의 좁아진 부분에서 1 Ma의 속도로, 그리고 라발 노즐의 좁아진 부분 뒤에서 1 Ma 초과 속도로 흐르게 할 수 있으며, 여기에서, 플라즈마는 라발 노즐의 좁아진 부분에서 생성된다. 반응 챔버는 라발 노즐로서 설계될 수 있으며, 여기에서, 플라즈마는 라발 노즐의 좁아진 부분에서 생성된다.

[0201] 반응 챔버는 라발 노즐로서 설계되어서, 가스 흐름은 라발 노즐의 좁아진 부분 앞에서 1 Ma 미만의 속도를 갖고, 라발 노즐의 좁아진 부분에서는 1 Ma 미만의 속도를 갖고, 그리고 라발 노즐의 좁아진 부분 뒤에서는 1 Ma 미만의 속도를 갖게 할 수 있고, 여기에서, 플라즈마는 라발 노즐의 좁아진 부분에서 생성되고, 좁아진 부분에서의 가스 흐름 속도는 좁아진 부분 앞보다 빠르고, 좁아진 부분 뒤의 가스 흐름 속도는 좁아진 부분에서보다 빠르다.

[0202] 플라즈마 가스와 공급원료의 균일한 혼합을 보장하기 위해서, 플라즈마 가스에 스윙(swirl)을 제공하는 것이 바람직하다. 추가로, 스윙은 플라즈마를 안정화시키기 위해서 동시에 사용될 수 있다. 따라서, 플라즈마 구역에 가스를 가하기 전의 플라즈마 가스는 스윙링될 수 있으며, 바람직하게는 플라즈마 가스는 0.2 내지 1.2, 바람직하게는 0.3 내지 0.8, 더 바람직하게는 0.5 내지 0.7, 훨씬 더 바람직하게는 0.55 내지 0.65의 스윙 수(swirl number)를 갖는다. 일반적으로, 스윙 강도는 가스의 각운동량(angular momentum)의 척도이다. 그것은 각운동량의 축 플럭스(axial flux) 대 축 운동량(axial momentum)의 축 플럭스의 비율로 정의되는 스윙 수, S를 특징으로 한다(Gupta et al., 1984).

[0203] 스윙은 스윙링 요소를 사용하여 도입될 수 있다. 스윙링 요소는 스윙을 생성하기 위한 날개를 포함할 수 있거나, 플라즈마 가스 및/또는 카본 블랙 공급원료가 접선 방향으로, 예를 들어, 하나 이상의 접선 방향 유입구로 주입된다. 플라즈마 가스 및/또는 카본 블랙 공급원료의 접선 방향 주입의 경우에, 주입은 관형 도관, 특히, 반응 챔버에 연결된 관형 도관에서 수행되는 것이 바람직하다. 스윙이 플라즈마 구역의 상류에 도입되는 것이 특히 바람직하다.

[0204] 플라즈마는 마이크로파 에너지에 의한 플라즈마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성되며, 그에 의해서, 플라즈마

구역을 생성시키고, 여기에서, 마이크로파 방사선이 반응기의 중심 세로축 또는 플라스마 가스의 흐름 방향에 수직으로 적용되고/거나, 마이크로파 방사선이 반응기의 중심 세로축 또는 플라스마 가스의 흐름 방향에 방사상으로 그리고 원주상으로 적용된다. 수직 마이크로파 방사선이 한 방향으로부터 적용되는 것이 바람직하다.

- [0205] H₂O를 주입하는 것도 가능하고/거나, 실리카가 플라스마 구역 뒤(하류)에 생성물 혼합물에 주입되는 것도 가능하다. H₂O가 플라스마 구역의 상류에 주입되는 것이 바람직하다. H₂O 및/또는 실리카는 생산된 카본 블랙의 표면 특성을 조절할 수 있다.
- [0206] 플라스마 구역 내의 온도는 1200 내지 5000 K, 예컨대, 1300 내지 4000 K, 1300 내지 3000 K, 1400 내지 3500 K, 1300 내지 2500 K, 1300 내지 2000 K, 1300 내지 1800 K, 또는 1500 내지 3000 K일 수 있다. 온도는 일반적으로는 플라스마의 온도를 나타낸다.
- [0207] 카본 블랙 공급원료는 카본 블랙의 생산에 적합한 어떠한 공급원료일 수 있다. 예를 들어, 카본 블랙 공급원료는 바람직하게는 23℃, 1atm에서 액체이다. 카본 블랙 공급원료는 비-방향족 공급원료, 방향족 공급원료, 지방족 공급원료, 지방족 오일, 지속 가능한 공급원료, 재생 가능한 카본 블랙 공급원료 및/또는 바이오-기반 공급원료를 포함할 수 있다. 상기 공급원료는 제1 및/또는 제2 카본 블랙 공급원료를 나타낸다.
- [0208] 지속 가능한 카본 블랙 공급원료(즉, 카본 블랙을 위한 공급원료), 예컨대, 지방족 오일, 재생 가능한 카본 블랙 공급원료 및 바이오매스-기반 공급원료는 높은 함량의 지방족 C-C 결합 및 낮은 함량의 방향족 C-C 결합을 갖는다. 지방족 C-C 결합은 C-H 결합 또는 방향족 C-C 결합에 비해 약하다. 따라서, 우세하게는 지속 가능한 카본 블랙 공급원료의 C-C 결합이 파괴되며, 여기에서, C-H 결합 절단이 카본 블랙의 형성을 위한 불포화 중을 얻기에 바람직하다.
- [0209] 카본 블랙 공급원료(즉, 카본 블랙을 위한 공급원료)는 비-방향족 공급원료, 방향족 공급원료, 지방족 공급원료, 지방족 오일, 지속 가능한 공급원료, 재생 가능한 카본 블랙 공급원료 및/또는 바이오-기반 공급원료를 포함할 수 있다. 따라서, 카본 블랙 공급원료는 재생 가능한 카본 블랙 공급원료, 지속 가능한 공급원료 및/또는 바이오-기반 공급원료로 제한되지 않는다.
- [0210] 바람직하게는, 지방족 공급원료는, 카본 블랙을 위한 공급원료의 전체 중량을 기준으로 하여, 20 내지 100 중량%, 예컨대, 40 내지 100 중량%, 50 내지 99 중량%, 60 내지 95 중량%, 또는 80 내지 90 중량%의 지방족 공급원료로부터 유래된 카본 블랙의 공급원료와 같이 높은 양으로 지방족 물질을 포함한다. 지속 가능한 공급원료, 재생 가능한 카본 블랙 공급원료 및/또는 바이오-기반 공급원료는 흔히 상기 언급된 바와 같은 높은 함량의 지방족 공급원료를 포함한다.
- [0211] 지속 가능한 카본 블랙 공급원료는 일반적으로 높은 함량의 지방족 C-C 결합 및 바람직하게는 낮은 함량의 방향족 C-C 결합을 갖는 공급원료를 나타낸다. 지속 가능한 카본 블랙 공급원료는 지방족 오일, 재생 가능한 카본 블랙 공급원료 및 바이오매스-기반 공급원료를 포함할 수 있다. 바이오매스-기반 공급원료, 지속 가능한 카본 블랙 및/또는 재생 가능한 카본 블랙 공급원료는 공급원료 내의 C14 함량을 측정함으로써 화석-기반 원료와 구별될 수 있다(방사성 탄소 연대 측정). C12에 비해 C14 원자의 상대적 양(C14 대 C12 비율)은 바이오매스-기반 공급원료에 비해 화석-기반 공급원료에서 더 낮다.
- [0212] 바람직하게는, 카본 블랙 공급원료는 재생 가능한 카본 블랙 공급원료이다. 재생 가능한 카본 블랙 공급원료는 식물-기반 공급원료, 바람직하게는 비-식용 식물-기반 공급원료 및/또는 폐기물 식물-기반 공급원료를 포함할 수 있다. 본원에서 사용되는 용어 "비-식용"은 인간 소비에 적합하지 않은 재료를 나타낸다. 용어 "폐기물"은 의도된 목적에 적합하지 않거나 더 이상 유용하지 않아, 예를 들어, 사용 후에, 폐기되거나 처분되는 재료를 나타낸다. 식용유, 즉 쿠키 오일과 관련하여, 사용된 쿠키 오일은 폐기물로 여겨진다.
- [0213] 재생 가능한 카본 블랙 공급원료는 고체 성분 및/또는 액체 성분을 포함할 수 있다. 바람직하게는, 재생 가능한 카본 블랙 공급원료는 액체 성분을 포함할 수 있다.
- [0214] 재생 가능한 카본 블랙 공급원료는 바람직하게는 식물-기반 오일 및 더욱 바람직하게는, 비-식용 식물-기반 오일 및/또는 폐기물 식물-기반 오일을 포함할 수 있다.
- [0215] 본 발명에 따른 재생 가능한 카본 블랙 공급원료는 목재, 풀(grass), 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌, 재생 가능한 공급원 물질로부터 얻은 천연 고무 및/또는 합성 고무를 포함하는 폐기물, 흑액(black liquor), 톨유, 고무 종자유(rubber seed oil), 담배 종자유(tobacco seed oil), 카스터 오일(castor oil), 풍가미아 오일(pongamia oil), 크램베 오일(crambe oil), 니임 오일(neem oil), 살구씨 오일, 미강유(rice bran oil), 캐

슈넛 껍질 오일, 사이페루스 에스쿨렌투스 오일(cyperus esculentus oil), 쿠키 오일, 바이오디젤 공장에서부터의 증류 잔류물 또는 앞서 언급한 것들의 혼합물 또는 조합물을 포함할 수 있다.

[0216] 본원에서 사용된 용어 "목재"는 나무와 기타 목본 식물의 줄기와 뿌리에서 발견되는 다공성 및 섬유질 구조 조직을 나타낸다. 목재의 적합한 예는, 이로 한정되는 것은 아니지만, 소나무, 가문비나무(spruce), 낙엽송(larch), 향나무(juniper), 애쉬(ash), 서어나무(hornbeam), 자작나무(birch), 오리나무(alder), 너도밤나무(beech), 참나무(oak), 소나무, 밤나무(chestnut), 뽕나무(mulberry) 또는 이들의 혼합물을 포함한다. 풀의 적합한 예는, 이로 한정되는 것은 아니지만, 식용으로 쓰이는 풀, 예컨대, 옥수수, 밀, 쌀, 보리 또는 기장; 대나무 및 자연 초원의 풀과 잔디밭과 목초지에서 채배되는 종을 포함한다. 리그닌의 적합한 예는, 이로 한정되는 것은 아니지만, Kraft 공정에 의해서 제거된 리그닌 및 리그노선택페이트를 포함할 수 있다. 재생 가능한 공급원 물질로부터 얻은 천연 고무 및/또는 합성 고무를 포함하는 폐기물은 타이어, 케이블 덮개, 튜브, 컨베이어 벨트, 신발 밑창, 호스 또는 이들의 혼합물일 수 있다. 천연 고무는 고무나무(Helvia brasiliensis), 과울레(guayule), 및 민들레(dandelion)로부터 유래될 수 있다. 합성 고무는 스티렌-부타디엔 고무, 예컨대, 에틸렌-스티렌-부타디엔 고무 (ESBR) 및 용액-스티렌-부타디엔 고무(SSBR), 폴리부타디엔, 폴리이소프렌, 에틸렌-프로필렌-디엔 고무(EPDM), 에틸렌-프로필렌 고무(EPM), 부틸 고무, 할로겐화된 부틸 고무, 염소화된 폴리예틸렌, 클로로선폰화된 폴리예틸렌, 아크릴로니트릴-부타디엔 고무, 수소화된 아크릴로니트릴-부타디엔 고무, 폴리클로로프렌, 아크릴레이트 고무, 에틸렌-비닐아세테이트 고무, 에틸렌-아크릴 고무, 에피클로로하이드린 고무, 실리콘 고무, 플루오로실리콘 고무, 플루오로카본 고무 또는 상기 것들 중 어느 것의 혼합물 또는 조합물을 포함할 수 있다. 합성 고무, 예컨대, 폴리부타디엔은 식물 바이오매스의 발효를 통해서 얻은 알코올로부터 생산될 수 있다. 발효를 통해 얻은 알코올의 적합한 제조 및 그러한 알코올로부터의 폴리부타디엔의 제조는 EP 2 868 697 A1에 기재되어 있다.

[0217] 본원에서 사용된 용어 "쿠키 오일"은 식품 제조, 예컨대, 튀김, 베이킹 및 그 밖의 유형의 쿠키에서 사용되는 식용유를 나타낸다. 본 발명에 따르면, 쿠키 오일은 미강유, 유채씨 오일, 아마씨 오일, 팜 오일, 코코넛 오일, 카놀라 오일, 대두 오일, 해바라기 오일, 면실유(cotton seed oil), 송중자유(pine seed oil), 올리브 오일, 옥수수 오일, 포도씨 오일, 홍화 오일, 아사이 팜 오일(acai palm oil), 잠바 오일(Jambú oil), 참기름, 치아씨드 오일(chia seed oil), 대마 오일, 들깨 오일, 땅콩 오일, 스티링기아 오일(stillingia oil), 캐슈넛 오일(cashew nut oil), 브라질 너트 오일(brazil nut oil), 마카다미아 너트 오일(macadamia nut oil), 호두 오일, 아몬드 오일, 헤이즐넛 오일, 비치넛 오일(beechnut oil), 캔들넛 오일(candlenut oil), 밤 오일(chestnut oil) 또는 상기 것들 중 어느 것의 혼합물 또는 조합물을 포함한다. 본 발명의 쿠키 오일은 사용된 쿠키 오일일 수 있다. 본원에서 사용된 용어 "사용된 쿠키 오일"은 식품 제조, 예컨대, 조리 또는 튀김에 사용된 상업적 또는 산업적 식품 가공 작업, 예컨대, 식당으로부터 기원되는 오일을 나타낸다.

[0218] 고체 성분은, 이로 한정되는 것은 아니지만, 목재, 풀, 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌, 재생 가능한 공급원 물질로부터 얻은 천연 및/또는 합성 고무를 포함하는 폐기물 또는 상기 것들 중 어느 것의 혼합물 또는 조합물로부터 선택될 수 있다.

[0219] 액체 성분은, 이로 한정되는 것은 아니지만, 흑액, 톨유, 고무 종자유, 담배 종자유, 카스터 오일, 풍가미아 오일, 크림베 오일, 니임 오일, 살구씨 오일, 미강유, 캐슈넛 껍질 오일, 사이페루스 에스쿨렌투스 오일, 쿠키 오일, 바이오디젤 공장의 증류 잔류물 또는 상기 것들 중 어떠한 것의 혼합물 또는 조합물로부터 선택될 수 있다. 일부 오일은 실온, 예를 들어, 25 °C의 온도에서 고체일 수 있지만, 상승된 온도, 예컨대, 25 °C 초과 온도, 예를 들어, 25 내지 100 °C의 범위의 온도에서는 액체일 수 있다. 본원에서 사용된 용어 "흑액"은 셀룰로오스 펄프를 만드는 선택페이트 및 소다 공정에서 나오는 크라프트 공정(Kraft process)으로부터의 부산물을 나타낸다.

[0220] 비-식용 식물-기반 공급원료는, 이로 한정되는 것은 아니지만, 목재, 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌, 흑액, 톨유, 톨유, 고무 종자유, 담배 종자유, 카스터 오일, 풍가미아 오일, 크림베 오일, 니임 오일, 살구씨 오일, 미강유, 캐슈넛 껍질 오일, 사이페루스 에스쿨렌투스 오일, 바이오디젤 공장의 증류 잔류물 또는 상기 것들 중 어떠한 것의 혼합물 또는 조합물을 포함할 수 있다.

[0221] 폐기물 식물-기반 공급원료는, 이로 한정되는 것은 아니지만, 재생 가능한 공급원 물질로부터 얻은 천연 고무 및/또는 합성 고무를 포함하는 폐기물, 사용된 쿠키 오일 또는 상기 것들 중 어떠한 것의 혼합물 또는 조합물을 포함할 수 있다.

[0222] 카본 블랙 공급원료는 톨유를 포함할 수 있다. 용어 "톨유" 및 "미정제 톨유"는, 달리 언급되지 않는 한, 본 설

명 전체에 통해서 상호교환적으로 사용될 수 있다. 톨유는 목재의 화학적 펄핑으로부터 유래한다. 전형적으로는, 톨유는 수지산, 지방산, 스테롤, 알코올 및 추가 알킬 탄화수소 유도체를 포함하는 혼합물이다. 톨유는 천연 미정제 제품 또는 정제 제품일 수 있다. 정제된 톨 오일은 톨유 지방산, 톨유 지방 로진, 증류된 톨유 및 톨유 피치를 포함할 수 있다. 톨유는 증류하여 수지산 함량이 10중량%를 초과하는 톨유 수지산을 얻을 수 있다. 톨유는 수지산 함량이 전형적으로 10중량% 미만인 톨유 지방산으로 정제될 수도 있다. 톨유의 적합한 예는, 이로 한정되는 것은 아니지만, Kraton Corporation(USA)으로부터 모두 이용 가능한 SYLFAT™ 제품, SYLVATAL™ 제품, SYLVABLEND™ 제품 및 SYLVAROS™ 제품 뿐만 아니라 톨유 제품, 예컨대, UCY Energy(Germany)로부터 이용 가능한 톨유 및 톨유 1(Tall Oil 1)을 포함할 수 있다.

[0223] 카본 블랙 공급원료(즉, 카본 블랙을 위한 공급원료)는, 특히, 톨유 피치를 포함할 수 있다. 톨유 피치는 톨유의 증류에 의한 정제로부터의 비휘발성 잔류물로서 얻어지며, 톨유 정제의 선행물(fore-runs)과 혼합될 수 있다. 정제 공정에서의 톨유 피치의 수율은, 예를 들어, 톨유의 품질과 조성에 따라 약 15 내지 50중량% 범위일 수 있다. 톨유 피치는 전형적으로는 중성 물질, 수지산 및 지방산을 포함한 유리산, 지방산 에스테르, 결합 및 유리 스테롤, 중합체 화합물을 포함한다. 추가로, 금속, 금속 양이온, 금속 수지염 및 지방산 염을 포함한 무기 및 유기 화합물이 톨유 피치에서 발견될 수 있다. 상기 금속 양이온은 전형적으로는 목재 및 비료에서 유래한다. 톨유 피치의 적합한 예는, 이로 한정되는 것은 아니지만, Kraton Corporation (USA)으로부터 이용 가능한 SYLVABLEND™ 제품, 예컨대, SYLVABLEND FA7002, SYLVABLEND PF 40, SYLVABLEND PF 60 및 SYLVABLEND SF75 뿐만 아니라, UCY Energy(Germany)로부터 이용 가능한 톨유 1, UCY-TOF40 및 UCY-TOF60을 포함한다.

[0224] 본 발명에 따르면, 카본 블랙 공급원료(즉, 카본 블랙을 위한 공급원료)는 재생 가능한 카본 블랙 공급원료와 통상적인 카본 블랙 공급원료의 혼합물일 수 있다. 통상적인 카본 블랙 공급원료는 지방족 또는 방향족, 포화 또는 불포화 탄화수소 또는 이들의 혼합물, 콜타르 증류물, 석유 분획의 촉매 분해 중에 생성되는 잔류 오일, 나프타 또는 가스 오일의 분해를 통한 올레핀 생산 중에 생성되는 잔류 오일, 천연 가스 또는 상기 것들 중 어느 것의 혼합물 또는 조합물일 수 있다. 따라서 카본 블랙 공급원료는 특정 공급원료 물질로 한정되지 않는다. 카본 블랙 공급원료는 액체, 고체 뿐만 아니라 기체일 수 있다. 카본 블랙 공급원료는 액체 또는 기체인 것이 바람직하다. 이러한 경우에, 액체는 공급원료가 표준 온도 및 정상 압력($T = 296.15\text{ K}$ 및 $P = 101325\text{ Pa}$)에서 액체 형태임을 의미한다. 예를 들어, 기체 카본 블랙 공급원료는 지방족 공급원료, 예컨대, 메탄, 에탄, 아세틸렌, 에틸렌, 에탄, 프로핀, 프로판, 프로펜, 부타디엔, 부탄, 펜탄 또는 이들의 혼합물일 수 있다.

[0225] 본 발명의 카본 블랙 공급원료(즉, 카본 블랙을 위한 공급원료)는 카본 블랙 공급원료의 전체 중량을 기준으로 하여 10 중량% 또는 그 초과의 양으로 재생 가능한 카본 블랙 공급원료를 포함할 수 있다. 예를 들어, 본 발명에 따른 카본 블랙 공급원료는 15 중량% 또는 그 초과의 양으로, 20 중량% 또는 그 초과의 양으로, 25 중량% 또는 그 초과의 양으로, 30 중량% 또는 그 초과의 양으로, 35 중량% 또는 그 초과의 양으로, 40 중량% 또는 그 초과의 양으로, 45 중량% 또는 그 초과의 양으로, 50 중량% 또는 그 초과의 양으로, 55 중량% 또는 그 초과의 양으로, 60 중량% 또는 그 초과의 양으로, 65 중량% 또는 그 초과의 양으로, 70 중량% 또는 그 초과의 양으로, 75 중량% 또는 그 초과의 양으로, 80 중량% 또는 그 초과의 양으로, 85 중량% 또는 그 초과의 양으로, 90 중량% 또는 그 초과의 양으로, 95 중량% 또는 그 초과의 양으로 재생 가능한 카본 블랙 공급원료를 포함할 수 있으며, 중량 백분율은 카본 블랙 공급원료의 전체 중량을 기준으로 한다. 카본 블랙 공급원료는 10 중량% 또는 그 초과, 바람직하게는 15 중량% 또는 그 초과, 특히 바람직하게는 25 중량% 또는 그 초과, 더욱 바람직하게는 50 중량% 또는 그 초과, 더욱 바람직하게는 85 중량% 또는 그 초과, 가장 바람직하게는 99 중량% 또는 그 초과의 양으로 재생 가능한 카본 블랙 공급원료를 포함할 수 있고, 중량 퍼센트는 카본 블랙 공급원료의 전체 중량을 기준으로 한다. 카본 블랙 공급원료는 재생 가능한 카본 블랙 공급원료로 이루어질 수 있다.

[0226] 본 발명의 카본 블랙 공급원료(즉, 카본 블랙을 위한 공급원료)는 5 중량% 또는 그 초과, 예컨대, 10 중량% 또는 그 초과, 15 중량% 또는 그 초과, 20 중량% 또는 그 초과, 25 중량% 또는 그 초과, 30 중량% 또는 그 초과, 35 중량% 또는 그 초과, 40 중량% 또는 그 초과, 45 중량% 또는 그 초과, 50 중량% 또는 그 초과, 55 중량% 또는 그 초과, 60 중량% 또는 그 초과, 65 중량% 또는 그 초과, 70 중량% 또는 그 초과, 75 중량% 또는 그 초과, 80 중량% 또는 그 초과, 85 중량% 또는 그 초과, 90 중량% 또는 그 초과, 95 중량% 또는 그 초과의 양으로 함유 피치를 포함할 수 있고, 중량 퍼센트는 카본 블랙 공급원료의 전체 중량을 기준으로 한다. 카본 블랙 공급원료는 10 중량% 또는 그 초과, 바람직하게는, 15 중량% 또는 그 초과, 특히 바람직하게는 25 중량% 또는 그 초과, 더욱 바람직하게는, 50 중량% 또는 그 초과, 더욱 바람직하게는, 85 중량% 또는 그 초과, 가장 바람직하게는, 95 중량% 또는 그 초과의 양으로 함유 피치를 포함할 수 있고, 중량 퍼센트는 카본 블랙 공급원료의 전체 중량을 기준으로 한다. 카본 블랙 공급원료는 함유 피치로 이루어질 수 있다.

[0227] 본 발명의 재생 가능한 카본 블랙 공급원료는 5 중량% 또는 그 초과, 예컨대, 10 중량% 또는 그 초과, 15 중량% 또는 그 초과, 20 중량% 또는 그 초과, 25 중량% 또는 그 초과, 30 중량% 또는 그 초과, 35 중량% 또는 그 초과, 40 중량% 또는 그 초과, 45 중량% 또는 그 초과, 50 중량% 또는 그 초과, 55 중량% 또는 그 초과, 60 중량% 또는 그 초과, 65 중량% 또는 그 초과, 70 중량% 또는 그 초과, 75 중량% 또는 그 초과, 80 중량% 또는 그 초과, 85 중량% 또는 그 초과, 90 중량% 또는 그 초과, 95 중량% 또는 그 초과, 양으로 톨유 피치를 포함할 수 있고, 중량 퍼센트는 재생 가능한 카본 블랙 공급원료의 전체 중량을 기준으로 한다. 재생 가능한 카본 블랙 공급원료는 10 중량% 또는 그 초과, 바람직하게는, 15 중량% 또는 그 초과, 특히 바람직하게는 25 중량% 또는 그 초과, 더욱 바람직하게는, 50 중량% 또는 그 초과, 더욱 바람직하게는, 85 중량% 또는 그 초과, 가장 바람직하게는, 95 중량% 또는 그 초과, 양으로 톨유 피치를 포함할 수 있고, 중량 퍼센트는 재생 가능한 카본 블랙 공급원료의 전체 중량을 기준으로 한다. 재생 가능한 카본 블랙 공급원료는 톨유 피치로 이루어질 수 있다.

[0228] 본 발명의 카본 블랙은, ASTM D6866-20 Methode B (AMS)에 따라 측정된, 1% 또는 그 초과, 예컨대, 2 % 또는 그 초과, 또는 5 % 또는 그 초과, 또는 7 % 또는 그 초과, 또는 10 % 또는 그 초과, 또는 12 % 또는 그 초과, 또는 15 % 또는 그 초과, 또는 17 % 또는 그 초과, 또는 20 % 또는 그 초과, 또는 22 % 또는 그 초과, 또는 25 % 또는 그 초과, 또는 27 % 또는 그 초과, 또는 30 % 또는 그 초과, 또는 32 % 또는 그 초과, 또는 35 % 또는 그 초과, 또는 37 % 또는 그 초과, 또는 40 % 또는 그 초과, 또는 42 % 또는 그 초과, 또는 45 % 또는 그 초과, 또는 47 % 또는 그 초과, 또는 50 % 또는 그 초과, 또는 52 % 또는 그 초과, 또는 55 % 또는 그 초과, 또는 57 % 또는 그 초과, 또는 60 % 또는 그 초과, 또는 62 % 또는 그 초과, 65 % 또는 그 초과, 또는 67 % 또는 그 초과, 또는 70 % 또는 그 초과, 또는 72 % 또는 그 초과, 또는 75 % 또는 그 초과, 또는 77 % 또는 그 초과, 또는 80 % 또는 그 초과, 또는 82 % 또는 그 초과, 또는 85 % 또는 그 초과, 또는 87 % 또는 그 초과, 또는 90 % 또는 그 초과, 또는 92 % 또는 그 초과, 또는 95 % 또는 그 초과, 또는 97 % 또는 그 초과, 또는 99 % 또는 그 초과

의 pMC(현대 탄소의 퍼센트(percent of modern carbon))를 가질 수 있다. 각각의 샘플의 경우에, $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 의 비율이 계산되고, Oxalic Acid II standard (NIST-4990C)에 대해서 이루어진 측정과 비교된다. 측정된 값(pMC)은 동위원소 비율 질량분광계(IRMS)를 사용하여 측정된 d13C에 의해서 보정된다. 본 발명의 카본 블랙은, ASTM D6866-20 Methode B (AMS)에 따라서 측정된 경우에, 5% 또는 그 초과, 바람직하게는, 10 % 또는 그 초과, 특히 바람직하게는 15 % 또는 그 초과, 더욱 바람직하게는, 50 % 또는 그 초과, 더욱 바람직하게는, 85 % 또는 그 초과, 가장 바람직하게는, 90 % 또는 그 초과

의 pMC(현대 카본의 퍼센트)를 가질 수 있다. 본 발명의 카본 블랙은, ASTM D6866-20 Methode B (AMS)에 따라서 측정된 경우에, 100%의 pMC(현대 카본의 퍼센트)를 가질 수 있다.

[0229] 일반적으로, 60 내지 100 중량%, 바람직하게는, 90 내지 100 중량%, 더욱 바람직하게는, 97 내지 100 중량%, 더욱 바람직하게는, 99 내지 100 중량%, 가장 바람직하게는, 99.9 내지 100 중량%의 카본 블랙 공급원료는 적어도 5 개의 탄소 원자를 포함하는 화합물을 포함한다. 전체 카본 블랙 공급원료가 적어도 5 개의 탄소 원자를 포함하는 화합물을 포함하는 것이 또한 가능하다.

[0230] 카본 블랙 공급원료는 바이오메탄으로부터 유도될 수 있다. 바람직하게는 카본 블랙 공급원료는 45 내지 75 vol.-%의 메탄, 25 내지 55 vol.-%의 CO₂, 0 내지 10 vol.-%의 H₂O, 0.01 내지 5 vol.-%의 N₂, 0.01 내지 2 vol.-%의 O₂, 0 내지 1 vol.-%의 H₂를 포함한다.

[0231] 상기 언급된 바와 같이, 플라스마 가스는 수소 및/또는 물을 포함할 수 있거나, 플라스마 가스는 카본 블랙 공급원료를 포함하거나 그것이다. 바람직하게는, 플라스마 가스는 수소를 포함하거나 그것이고, 카본 블랙 공급원료의 열분해로부터 유도된다.

[0232] 플라스마 가스로서의 수소는 H 라디칼 및/또는 H⁺ 이온의 수준을 증가시키고, 그에 따라서 카본 블랙의 수율을 증가시킨다. 지방족 C-C 결합은 C-H 결합 또는 방향족 C-C 결합에 비해 약하다. 따라서, 우선적으로 C-C 결합이 파괴되고, 여기에서, C-H 결합 절단은 카본 블랙 형성을 위한 불포화 종을 얻기에 바람직하다. 높은 수준의 H 라디칼 및/또는 H⁺ 이온은 플라스마 가스로서 수소를 사용하여 2중 또는 3중 분자 반응에 의해 C-H 절단을 가속화할 수 있다. 이것은 카본 블랙의 더 높은 수율과 균일한 특성을 유도할 수 있다. 이것은 특히 지속 가능한 카본 블랙 물질에 유용하다.

[0233] 방법은 추가로 생성물 혼합물에 존재하는 카본 블랙과 H₂를 분리하고/하거나 분리된 H₂를 플라즈마 공급 가스로 제공하는 것을 포함할 수 있다. 생산된 H₂를 재사용하면 환경 친화적인 공정이 이루어진다. 더욱이, CO, CO₂,

H₂O도 생성물 혼합물로부터 분리될 수 있다.

- [0234] 플라즈마 공급 가스 또는 고온 플라즈마 공급 가스는 연료의 연소에 의해서 가열되지 않아야 한다. 따라서, CO₂의 배출이 감소될 수 있다. 예열은 단지 전기 및/또는 카본 블랙 생산이나 다른 공정에서 발생하는 폐열을 사용함으로써 수행되는 것이 바람직하다.
- [0235] 생산된 카본 블랙은 (a) 40 내지 140 m²/g, 바람직하게는, 60 내지 130 m²/g, 더욱 바람직하게는, 65 내지 120 m²/g의 범위의 ASTM D6556-17에 따라서 측정된 STSA 표면적, 및 40 내지 200 mL/100 g, 바람직하게는, 60 내지 180 mL/100 g, 더욱 바람직하게는, 80 내지 160 mL/100 g의 범위의 ASTM D2414-18에 따라서 측정된 흡유량(OAN), (b) 40 내지 120 m²/g, 바람직하게는, 50 내지 100 m²/g, 더욱 바람직하게는, 65 내지 90 m²/g의 범위의 ASTM D6556-17에 따라 측정된 STSA 표면적, 및 40 내지 180 mL/100 g, 바람직하게는, 50 내지 160 mL/100 g, 더욱 바람직하게는, 70 내지 150 mL/100 g의 범위의 ASTM D2414-18에 따라 측정된 흡유량(OAN), (c) 200 내지 600 m²/g, 바람직하게는, 250 내지 500 m²/g, 더욱 바람직하게는, 300 내지 450 m²/g의 범위의 ASTM D6556-17에 따라서 측정된 STSA 표면적, 및 50 내지 150 mL/100 g, 바람직하게는, 60 내지 120 mL/100 g, 더욱 바람직하게는, 70 내지 100 mL/100 g의 범위의 ASTM D2414-18에 따라 측정된 흡유량(OAN), 및/또는 (d) 140 내지 210 m²/g, 바람직하게는, 150 내지 200 m²/g, 더욱 바람직하게는, 160 내지 190 m²/g의 범위의 ASTM D6556-17에 따라 측정된 STSA 표면적, 및 100 내지 200 mL/100 g, 바람직하게는, 110 내지 170 mL/100 g, 더욱 바람직하게는, 120 내지 160 mL/100 g의 범위의 ASTM D2414-18에 따라 측정된 흡유량(OAN)을 가질 수 있다.
- [0236] 플라즈마 가스 흐름(바람직하게는 수소 가스 흐름)은 10 Nm³/h 내지 10000 Nm³/h, 예컨대, 20 Nm³/h 내지 5000 Nm³/h, 30 Nm³/h 내지 2000 Nm³/h, 40 Nm³/h 내지 1000 Nm³/h, 또는 50 Nm³/h 내지 500 Nm³/h일 수 있다. 바람직하게는, 가스 흐름은 40 Nm³/h 내지 1000 Nm³/h이고, 가장 바람직하게는, 가스 흐름은 50 Nm³/h 내지 500 Nm³/h이다. 요망되는 흐름은 플라즈마 구역에 영향을 준다. 플라즈마 구역은 플라즈마가 존재하는 영역을 의미한다. 플라즈마 구역은 가스 흐름을 감소시킴으로써, 바람직하게는 마이크로파 플라즈마가 사용되면, 확대될 수 있다. 유사하게, 플라즈마는 플라즈마 생성기의 파워에 의해서 조절될 수 있다.
- [0237] 더욱이, 반응기의 중심 세로축을 따라 흐름 통로를 갖는 카본 블랙을 생산하기 위한 반응기로서, (A) 반응 챔버, (B) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단, 및 (C) 반응 챔버에서 플라즈마를 생성시켜 플라즈마 구역을 형성시키는 수단을 포함하고, (i) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 상류에 위치되고/거나, (ii) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역에 위치되지만, 바람직하게는 플라즈마가 생성되는 영역 뒤에 위치되고/거나, (iii) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 하류에, 바람직하게는 플라즈마 구역의 바로 뒤에 위치되는 반응기가 제공된다.
- [0238] 방법에 대해 기재된 바와 같이, 반응기는 공급원료에 대한 하나 이상의 주입 수단을 포함할 수 있다. 적어도 하나의 주입 수단이 플라즈마 구역의 상류에 위치되고 하나의 주입 수단이 반응 영역의 하류에 위치되는 것이 바람직하다.
- [0239] 바람직하게는, 반응 챔버는 플라즈마가 생성되는 좁은 부분을 포함하는 라발 노즐로서 설계된다. 라발 노즐을 사용하면 정확한 위치에서 카본 블랙을 생산하기 위한 압력이 감소될 수 있다는 이점이 있다. 반응 챔버는 또한 관형 도관일 수 있다.
- [0240] 플라즈마를 생성시키는 수단은 아크 플라즈마 생성기, 마이크로파 플라즈마 생성기, 코로나 방전 플라즈마 생성기 또는 유전체-장벽 방전(DBD) 플라즈마 생성기 또는 무선 주파수(RF) 플라즈마 생성기, 바람직하게는 마이크로파 플라즈마 생성기이다. 플라즈마 생성기는 일반적으로 반응 챔버의 외부에 위치된다. RF 플라즈마 생성기와 마이크로파 플라즈마 생성기는 일반적으로 반응 챔버의 외부에 위치된다. 플라즈마의 유형 뿐만 아니라 플라즈마 생성기는 특정 유형으로 제한되지 않는다.
- [0241] 플라즈마를 생성시키는 수단은 바람직하게는 마이크로파 플라즈마 생성기이다. 마이크로파 플라즈마 생성기는 마그네트론(magnetron)과 공진기(resonator)를 포함해야 한다. 더욱이, 마이크로파 플라즈마 생성기는 마그네트론, 순환기, 커플러(coupler), 튜너(tuner), 도파관(waveguide), 예컨대, 테이퍼형 도파관, 및 공진기를 포함할 수 있다. 마이크로파 플라즈마 생성기는 반응 챔버에 원주 방향으로 부착된 링 공진기(ring resonator)를 포함할 수 있다.

- [0242] 마이크로파 플라즈마 생성기는 마이크로파 에너지가 반응 챔버의 중심 세로축에 대해 플라즈마 가스에 수직으로 적용되도록 도파관과 공진기를 포함할 수 있다.
- [0243] 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단은 플라즈마 구역의 상류에 위치되어야 하고 반응기의 중심 세로축에 동축으로 배열된 공급원료 렌스이다. 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단은 플라즈마 구역의 상류에 위치되고 반응기의 중심 세로축에 동축으로 배열된 공급원료 렌스이며, 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역에 위치되지만, 바람직하게는 플라즈마가 생성되는 영역 뒤에 위치된다.
- [0244] 반응 챔버의 내부 라이닝은 알루미늄 옥사이드를 포함하고, 바람직하게는, 플라즈마 구역의 영역 내의 반응 챔버의 내부 라이닝은 알루미늄 옥사이드, 바람직하게는, 90 내지 100 중량%의 알루미늄 옥사이드, 더욱 바람직하게는, 95 내지 100 중량%의 알루미늄 옥사이드, 가장 바람직하게는, 98 내지 100 중량%의 알루미늄 옥사이드를 포함한다. 알루미늄 옥사이드는 고온에 견디서, 카본 블랙의 생산이 고온을 이용하여 수행될 수 있게 할 수 있다.
- [0245] 반응기는 추가로, 플라즈마 가스를 스윙링시킬 수 있는 스윙링 요소를 포함할 수 있고, 그러한 스윙링 요소는 반응 챔버에 상류 부착된다. 스윙링 요소는 플라즈마 가스에 스윙을 유도하기 위한 날개를 포함할 수 있거나, 카본 블랙 공급원료 또는 플라즈마 가스의 접선 주입을 허용하는 주입 수단을 포함할 수 있다. 바람직하게는 스윙링 요소는 관형 도관에 존재한다.
- [0246] 반응기는 추가로 반응 챔버에 상류 부착된 또는 스윙링 요소에 상류 부착된 흐름 가이드 수단을 포함할 수 있고, 흐름 가이드 수단은 플라즈마 가스를 수용할 수 있고 플라즈마 가스가 반응기/반응 챔버의 중심 세로축에 평행하게 흐르도록 할 수 있다. 흐름 가이드 수단은 반응기의 중심 세로축에 실질적으로 직각인, 바람직하게는 그에 직각인 실린더형 바디(cylindrical body)의 벽에 개구를 포함하는 실린더형 바디를 포함할 수 있고, 실린더형 바디는 관형 도관과 연결된 상태로 있으며 반응기의 중심 세로축을 따라 위치된다.
- [0247] 공급원료 주입 수단은 공급원료 렌스이어야 하고 관형 도관을 통해 확장되고 도관의 내부 표면과 원료 렌스의 외부 표면 사이에 틈새(gap)가 있어 플라즈마 가스를 위한 통로를 정의하는 형태여야 하며, 여기에서, 바람직하게는 공급원료 렌스가 반응기의 중심 세로축을 따라 배열되거나, 주입 수단이 렌스이고 관형 도관을 통해 확장되고 도관의 내부 표면과 렌스의 외부 표면 사이에 틈새가 있어 플라즈마 가스를 위한 통로를 정의하는 형태여야 하며, 여기에서, 바람직하게는 렌스는 반응기의 중심 세로축을 따라 배열된다.
- [0248] 일반적으로, 반응기는 추가로 제1 및 제2 스윙링 요소를 포함하고, 제1 스윙링 요소는 반응 챔버에 더 가깝게 배열된다. 스윙링 요소(들)은 각각 개별적으로 적어도 하나의 날개, 바람직하게는, 복수의 날개를 포함해야 하고, 복수의 날개는 바람직하게는 반응기의 중심 세로축에 대해서 회전 대칭으로 배열된다.
- [0249] 날개가 흐름 방향을 따라 연속적인 감소 피치를 가지면, 가스는 우측 회전으로 스윙링될 것이다. 스윙링 요소의 모든 날개는 증가하는 피치 또는 감소하는 피치를 갖는 것이 특히 바람직하다. 일반적으로, 각각의 스윙링 요소의 모든 날개는 증가하는 피치 또는 감소하는 피치를 지녀서, 가스의 회전이 좌측 또는 우측이게 한다. 연속적으로 증가하는/감소하는 피치는 추가로 흐름의 중단을 피한다.
- [0250] 스윙링 요소(들)은 각각 개별적으로 적어도 하나의 날개, 바람직하게는, 복수의 날개를 포함하고, 여기에서, 바람직하게는 적어도 하나의 날개는 반응기의 중심 세로축에 대해서, 바람직하게는, 10 내지 70°, 바람직하게는, 15 내지 60°, 더욱 바람직하게는, 25 내지 55° 및 가장 바람직하게는, 25 내지 50°의 각도로 기울어져 있다.
- [0251] 적어도 하나의 날개는 반응기의 중심 세로축과 각각의 횡축을 포함하는 평면에서 반응기의 중심 세로축에 대하여 기울어져야 하며, 여기에서, 각각의 횡축은 반응기의 중심 세로축에 직교하고 각각의 가로축에 직교하고, 각각의 가로축은 반응기의 중심 세로축에 직교하고 각각의 날개의 폭 방향으로 연장되어 있으며, 여기에서, 바람직하게는 날개는 10 내지 70°, 바람직하게는 15 내지 60°, 더욱 바람직하게는 25 내지 55°, 및 가장 바람직하게는 25 내지 50°의 각도로 상기 평면에서 반응기의 중심 세로축에 대하여 기울어져 있다.
- [0252] 관형 도관과 반응기의 중심 세로축에 대한 날개의 경사에 대한 대안적인 정의는 날개의 길이 축이 반응기의 중심 세로축과 평행하고, 이어서, 특정 날개가 각각의 날개의 각각의 중심 가로축을 중심으로 상기 정의된 각도만큼 회전한다는 것이다. 간단한 날개의 예는 플레이트 또는 직사각형 플레이트, 예컨대, 금속 플레이트이다. 이러한 직사각형 플레이트는 상기 정의된 각도까지, 예컨대, 제1 및/또는 제2 각도에 대해서 회전할 수 있다.
- [0253] 두 개의 날개 시리즈, 즉, 직렬로 배열된 두 개의 스윙링 요소는 플라즈마 가스의 스윙이 단계적으로 유도될 수 있어 흐름 분리가 발생되지 않게 하는 장점을 제공한다.

- [0254] 상기 언급된 스월링 요소(또는 날개(들))의 각각은 일반적으로 관형 도관의 내부 표면 또는 공급원료 주입 수단, 예컨대, 공급원료 랜스의 외부 표면에 부착된다. 따라서, 특정 부착에 따라, 스월링 요소(또는 날개(들))와 관형 도관의 내부 표면 또는 공급원료 주입 수단의 외부 표면 사이에 간극이 형성된다. 대부분의 가스가 스월링 요소를 통과하여 스월링된 가스를 제공하고 기술적 효과를 더욱 향상시키도록 간극이 작은 것이 바람직하다. 더욱이, 스월링 요소(또는 날개(들))가 관형 도관의 내부 표면에 부착되는 것이 특히 유리한데, 그 이유는 가스의 역류를 방지할 수 있기 때문이다. 공급원료 주입 수단의 외부 표면에의 스월링 요소(또는 날개(들))의 부착은 유리한 간단한 구성을 제공한다.
- [0255] 흐름을 향한 적어도 하나의 날개의 측면은 반응기의 중심 세로축과 각각의 횡축을 포함하는 평면에서 반응기의 중심 세로축에 대해 흐름 방향을 따라 일정한 피치 및/또는 연속적으로 증가/감소하는 피치를 가질 수 있으며, 여기에서, 각각의 횡축은 반응기의 중심 세로축과 직교하고 각각의 가로축과 직교하며, 각각의 가로축은 반응기의 중심 세로축과 직교하고 각각의 날개의 폭의 방향으로 연장되어 있다.
- [0256] 적어도 하나의 스월링 요소는 반응기의 중심 세로축을 따라 연속적인 나사산을 형성하는 날개를 포함할 수 있으며, 바람직하게는 날개는 2 내지 10회의 와인딩(winding), 예컨대, 2 내지 5회의 와인딩을 갖고, 연속적인 나사산은 상이한 피치, 즉, 제1 피치 및 제2 피치를 갖고, 여기에서, 제2 피치는 제1 피치보다 크고/거나, 연속 나사산은 일정한 피치를 갖고/거나, 연속 나사산의 피치는 연속적으로 증가/감소한다.
- [0257] 적어도 하나의 날개는 평면 또는 곡선 모양 또는 이들의 조합을 가져야 하고/거나, 적어도 하나의 날개는 흐름 방향을 따라 연속적으로 증가/감소하는 피치를 갖는다.
- [0258] 제1 스월링 요소는 반응기의 중심 세로축 및 각각의 횡축을 포함하는 평면에서 반응기의 중심 세로축에 대해서 제1 각도로 기울어져 있는 적어도 하나의 날개를 가질 수 있고, 제2 스월링 요소는 반응기의 중심 세로축 및 각각의 횡축을 포함하는 평면에서 반응기의 중심 세로축에 대해서 제2 각도로 기울어져 있는 적어도 하나의 날개를 갖고, 각각의 횡축은 반응기의 중심 세로축과 직교하고 각각의 가로축과 직교하고, 각각의 가로축은 반응기의 중심 세로축과 직교하고 각각의 날개의 폭의 방향으로 연장되어 있고, 제1 각도는 제2 각도보다 크고, 바람직하게는, 제1 각도는 15 내지 70°, 예컨대, 20 내지 60°, 30 내지 55°, 35 내지 60°, 35 내지 55°, 또는 40 내지 50°의 범위에 있고/거나, 제2 각도는 10 내지 60°, 예컨대, 10 내지 55°, 15 내지 50°, 20 내지 45°, 20 내지 40°, 또는 25 내지 35°의 범위에 있고/거나, 제1 각도는 적어도 5 내지 40°, 예컨대, 5 내지 30°, 8 내지 25°, 5 내지 20°, 또는 10 내지 20°만큼 제2 각도와 다르다.
- [0259] 적어도 하나의 스월링 요소(들)은 관형 도관의 내부 표면 및/또는 공급원료 랜스의 외부 표면에 부착되거나 그 에 일체로 형성되어야 하며, 적어도 하나의 스월링 요소(들)은 바람직하게는 관형 도관의 내부 표면 및/또는 공급원료 랜스의 외부 표면에 교체 가능하게 부착된다.
- [0260] 관형 도관은 추가로 흐름 방향에 대해 스월링 요소 앞에 위치하는 유입 깔때기를 포함할 수 있으며, 여기에서, 유입 깔때기의 직경은 바람직하게는 흐름 방향을 따라 연속적으로 감소하고, 바람직하게는 유입 깔때기의 최소 직경에 대한 최대 직경의 직경 비율이 1 초과 내지 3, 예컨대, 1.1 내지 2, 또는 1.5 내지 2의 범위에 있다.
- [0261] 도관 중심에서의 랜스에 의한 공급원료의 주입은 공급원료가 벽과 접촉하지 않는다는 장점이 있다. 이는 튜브가 가스보다 낮은 온도를 가지면 응축의 가능성을 감소시킨다.
- [0262] 공급원료 주입 수단은 적어도 하나의 주입 개구 및/또는 적어도 하나의 노즐을 포함할 수 있고, 적어도 하나의 주입 개구 및/또는 적어도 하나의 노즐은 반응기의 중심 세로축에 실질적으로 직교하고/거나, 반응기의 중심 세로축에 대해서 70 내지 90°, 예컨대, 75 내지 89°, 80 내지 88°의 범위의 각도로 배열된다.
- [0263] 반응기는, 바람직하게는 쿼칭 매질(quenching medium)을 반응기의 중심 세로축을 따라 흐름 통로 내로 주입하거나 열 교환기를 사용하여 온도를 낮추는 수단을 포함한, 반응 챔버에 후속되어 하류에 있는 쿼칭 챔버를 추가로 포함해야 한다.
- [0264] 카본 블랙은 고체의 간단한 분리에 의해서 가스로부터 분리될 수 있다.
- [0265] 더욱이, 바람직하게는 본 발명의 반응기를 사용하여 본 발명의 방법에 따라서 생산된 카본 블랙이 제공된다.
- [0266] 본 발명은 이제 본 발명의 범위와 영역을 제한하지 않는 첨부된 도면을 참조하여 설명될 것이다. 제공된 설명은 순전히 예와 설명을 위한 것이다. 그러나, 도면에 예시된 특정 특징은 본 발명의 범위와 청구범위를 더욱 제한하기 위해서 사용될 수 있다.

- [0267] 본 발명에 따른 반응기는 일반적으로 도 1에서 숫자 (100)으로 표시된다. 도 1에서의 반응기(100)는 플라스마(004)가 생성되는 챔버(002)를 포함한다. 도 1에서의 플라스마 생성기는 마이크로파 플라스마 생성기(003)이며, 여기에서, 마이크로파 방사선이 반응기(101)의 중심 세로축을 따라 수직으로 챔버(002) 내로 도입된다. 플라스마를 제공하는 수단은 제한되지 않는다. 예를 들어, 플라스마는 무선 주파수 플라스마, 아크 플라스마 및 마이크로파 플라스마일 수 있다. 더욱이, 마이크로파 방사선은 반응기의 중심 세로축에 수직으로 제공될 수 있다. 따라서, 반응기(100)에서 플라스마(004)를 제공하기 위한 마이크로파 방사선은 한 방향으로부터 공급될 수 있거나, 링 공진기(ring resonator)가 사용되어 마이크로파 방사선이 반응 챔버(002) 내로 원주 방향으로 향하게 할 수 있다.
- [0268] 마이크로파 방사선에 의해 제공된 플라스마(004)는 반응기(100)의 내화 라이닝(005)을 건드리지 않으면서 반응 챔버(002)에 존재한다. 도 1에서, 반응기 챔버(002)는 라발 노즐로서 설계된다. 라발 노즐은 중앙에서 줄어들어서 비대칭 모래시계 모양을 이루는 튜브이다. 그것은 흐름의 열 에너지를 운동 에너지로 변환시킴으로써 축 방향으로 플라스마 가스를 초음속으로 가속하기 위해서 사용된다. 그러나, 반응 챔버의 모양은 라발 노즐 설계로 제한되지 않는다. 또한, 일정한 내경 또는 원뿔형 부분과 연결되거나 원뿔형 부분 없이 연결된 다른 직경을 갖는 관형 튜브를 제공하는 것이 가능하다.
- [0269] 문자 A, B, C, D는 카본 블랙 공급원료(공급원료)(103)의 도입을 위한 가능한 위치를 예시한다. 그러나, 플라스마 가스(102)가 이미 카본 블랙 공급원료(103)를 포함하거나 카본 블랙 공급원료(103)이어서, A, B, C 및 D에 의해서 예시한 바와 같은 공급원료(103)의 추가의 도입이 필요 없게 되는 것이 또한 가능하다. 카본 블랙 공급원료의 도입을 위한 위치 A는 반응기(101)의 중심 세로축을 따라 위치되는 공급원료 랜스(A)일 수 있다. 따라서, 상기 랜스(A)는 플라스마를 제공하기 위한 수단, 예를 들어, 마이크로파 생성기(003)의 상류(전, 앞) 또는 플라스마(004)의 상류에 위치된다. 공급원료는 또한 위치(B)에서, 예를 들어, 노즐(또는 주입 노즐)을 통해 도입될 수 있으며, 이는 또한 플라스마(004)의 상류에 위치된다. 위치(B)에서의 노즐은 반응기(101)의 중심 세로축에 대해 수직으로 배열된다. 위치는 드로잉 평면(drawing plane)의 뒤 또는 앞일 수 있다. 이는 스월을 생성, 가속 또는 감소시킬 수 있는 기회를 제공한다. 그러나, 위치(B)에서의 노즐은 스월을 유도하거나 증가시키기 위해 카본 블랙 공급원료를 주입할 수 있다. 또한, 공급원료가 위치(C)에 따라 플라스마(004)에 직접 도입되는 것이 바람직하다. 따라서, 공급원료를 도입하기 위한 수단은 반응기 챔버(002)에 공급되는 마이크로파 방사선의 하류와 플라스마(004)가 존재하는 위치에 정위된다. 위치(B)는 공급원료가 반응기 챔버(002) 내로 공급되는 마이크로파 방사선의 상류와 플라스마의 상류에 도입됨을 나타낸다. 바람직하게는, 공급원료의 도입은 플라스마 바로 뒤의 위치 D에 따라 발생한다. 주입은 드로잉 평면에서 반응기 축에 수직으로, 드로잉 평면 뒤에서 또는 드로잉 평면 앞에서 실현될 수 있다. 주입은 여러 개의 주입 튜브로 분할될 수 있다. 이러한 설정은 플라스마 가스(102)가 스월링되는 경우에 특히 바람직하다. 공급원료의 도입을 위한 상이한 위치의 조합이 바람직하다. 예를 들어, 공급원료(103)는 플라스마(004)의 상류에 도입되고 제2 공급원료(103)는 반응기 챔버(002) 내로 공급되는 마이크로파 방사선의 하류에 도입된다. 예를 들어, 제1 공급원료는 위치(A)에서 도입되고 제2 공급원료는 위치(C)에서 도입된다.
- [0270] 플라스마 가스(102)와 공급원료(103)는 반응 챔버(002)에 들어가기 전에 예열될 수 있다. 예열은 전기를 사용하여 이루어져야 한다. 플라스마 가스 및/또는 공급원료는 연료의 연소에 의해 가열되지 않는 것이 특히 바람직하다.
- [0271] 도 1은 카본 블랙의 생산을 위한 반응기 부분에 관한 것이다. 링 챔버가 반응 챔버(002)의 하류에 존재하는 것이 바람직하다. 더욱이, 스월링 요소가 반응 챔버(002)의 상류에 위치하여 스월을 플라스마 가스(102)에 도입하는 것이 가능하다. 따라서, 플라스마 가스의 스월이 반응 챔버의 내부 라이닝과 접촉하지 않는 안정적이고 균일한 플라스마를 제공하는 것이 가능하다. 주입 B는 스월 요소(swirl element)의 상류 또는 하류에서 있을 수 있다. 그러나, 예를 들어, 링 공진기를 사용하여, 안정적이고 반응 챔버(002)의 내부 라이닝과 접촉하지 않는 마이크로파 방사선이 반응 챔버(002) 내로 원주 방향으로 향하도록 하는 것이 가능하다.
- [0272] 스월링 요소는 플라스마 가스에 스월을 제공하기에 어떠한 적합한 수단일 수 있다. 이하 도면은 날개 또는 핀(fin)을 사용하여 요망되는 스월을 제공하는 가능한 요소를 도시하고 있다.
- [0273] 이하 도면에 도시된 스월링 요소는 공급원료 랜스를 포함한다는 것에 유의해야 한다. 그러나, 공급원료 랜스가 공급원료를 제공하기 위해서 사용되지 않으면, 도 14에 도시된 바와 같이, 관형 도관이 그에 따라서 조정될 수 있다.
- [0274] 도 2 및 도 3을 참조하면, 그곳에서는, x-z 평면(010)에서의 스월링 요소 부분과 x-y 평면(011)에서의 스월링

요소 부분이 예시되고 있다.

- [0275] 상기 언급된 바와 같이, 스윙링 요소는 반응기의 중심 세로축을 따라 반응기의 흐름 방향에 대해 기울어진 날개를 포함할 수 있다. 도 2는 관형 도관(110) 내부의 공급원료 랜스(111)에 부착된 특정 날개(092)의 x-z 평면에서의 도면이다. 대안적으로, 공급원료 랜스(111)가 존재하지 않는 경우, 날개는 관형 도관의 내부 표면에서 공격을 받을 수 있다. 공급원료 랜스(111)의 세로축은 반응기(101)의 중심 세로축과 동축이다. 반응기(101)의 중심 세로축은 좌표계에서 평면의 x-축을 나타낸다. 좌표계는 데카르트 좌표계(Cartesian coordinate system)이다. 좌표계에서의 z-축 뿐만 아니라 y-축은 고려 중인 특정 날개(092)에 따라 달라진다. z-축은 반응기(101)의 중심 세로축에 직교하고 각각의 가로축(091)에 직교하는 각각의 횡축(090)이다. 고려되는 날개(092)에 대한 각각의 세로축(091)은 좌표계에서의 y-축(091)이다. 각각의 가로축(091)은 반응기(101)의 중심 세로축에 직교하고 각각의 날개의 폭 방향으로 연장된다. 날개(094)의 폭과 고려되는 날개(094)의 폭 방향으로 확장되는 y-축(091)이 도 3에 도시되어 있다. 상이한 날개의 각도(또는 위치, 정렬, 회전 및/또는 경사)가 고려되는 경우, 고려되는 날개에 대한 또 다른 각각의 가로축(z-축)(090)과 각각의 가로축(091)(y-축)이 좌표계에 사용될 것이다. 달리 설명하면, y-축과 z-축은 각각의 날개에 따라 달라진다. 더욱이, 날개(095)의 길이(경도) 방향은 흐름 방향으로 연장된다. 날개(093)의 높이는 도 2에 도시되어 있다. 바람직하게는, x-값은 흐름 방향으로 증가하거나 감소하고, 바람직하게는 증가한다.
- [0276] 도 4, 도 5, 도 6 및 도 7을 참조하면, 그곳에서 공급원료 랜스 및 스윙링 요소를 포함하는 관형 도관 부분을 예시하고 있다. 스윙링 요소는 도 1에 도시된 반응 챔버에 직접적으로 부착될 수 있다. 특히, 도 4는 공급원료 랜스와 공급원료 랜스의 외부 표면에 연결된 스윙링 요소를 포함하는 관형 도관 부분을 나타낸다(200a). 도 5는 유입 깔때기, 공급원료 랜스, 공급원료 랜스의 외부 표면에 연결된 스윙링 요소를 포함하는 관형 도관 부분을 나타낸다(200b). 도 6은 공급원료 랜스와 관형 도관의 내부 표면에 연결된 스윙링 요소를 포함하는 관형 도관 부분을 나타낸다(200c). 도 7은 유입 깔때기, 공급원료 랜스, 관형 도관의 내부 표면에 연결된 스윙링 요소를 포함하는 관형 도관 부분을 나타낸다(200d).
- [0277] 다시 설명하면, 관형 도관은 반응기(101)의 중심 세로축을 따라 배열된 두 개의 스윙링 요소(113a 및 113b 또는 114a 및 114b)를 포함한다. 상기 언급된 바와 같이, 도 4 및 도 5는 스윙링 요소(113a, 113b)는 공급원료 랜스(111)에 부착되는 관형 도관(110)을 나타내고 있다. 도 6 및 도 7에서, 스윙링 요소(114a, 114b)는 관형 도관(110)의 내벽에 부착된다. 도 5 및 도 7에서, 유입 깔때기(150)는 관형 도관(110)과 연결되어 있다.
- [0278] 이들 도면에서, 공급원료 수단은 공급원료 랜스의 외벽 주위에 원주형으로 배열된 복수의 주입 개구(250)로서 제공되어 주입 개구(250)가 반응기(101)의 중심 세로축에 대하여 실질적으로 직교 방향으로 공급원료를 주입할 수 있게 한다.
- [0279] 도 4 및 도 5를 참조하면, 제1 스윙링 요소(113a)의 날개(112a)와 제2 스윙링 요소(113b)의 날개(112b)는 공급원료 랜스(111)의 외벽에 부착되어 날개와 관형 도관(210)의 내부 표면 사이에 틈새가 생기게 한다. 도 6 및 도 7에서, 제1 스윙링 요소(114a)의 날개(112a)와 제2 스윙링 요소(114b)의 날개(112b)는 공급원료 랜스(111)의 외벽에 부착되어 날개와 공급원료 랜스(211)의 외부 표면 사이에 틈새가 생기게 한다. 각각의 틈새의 크기는, 상기 언급된 바와 같이, 0 mm 내지 10 cm, 예컨대, 0 mm 내지 10 cm, 0 mm 내지 1 cm, 0 mm 내지 5 mm, 0.1 mm 내지 10 cm, 1 mm 내지 1 cm, 1 mm 내지 5 mm, 또는 1 mm 내지 2 mm의 범위에 있어야 한다. 틈새는 가능한 한 작아서, 즉, 0 mm이어서, 플라스마 가스의 대부분이 스윙링되게 한다.
- [0280] 제1 스윙링 요소와 제2 스윙링 요소(220) 사이의 거리는 0 내지 300 cm, 예컨대, 1 내지 300 cm, 1 내지 200 cm, 1 내지 100 cm, 1 내지 70 cm, 10 내지 90 cm, 10 내지 60 cm, 15 내지 40 cm의 범위에 있을 수 있다. 그러한 거리는 0 cm일 수 있다. 제1 스윙링 요소와 반응 챔버(230)에 연결된 관형 도관의 단부 사이의 거리는 0 내지 2 m, 예컨대, 0 내지 1.5 m, 1 cm 내지 1.5 m, 1 cm 내지 1 m, 1 cm 내지 60 cm, 10 cm 내지 60 cm, 15 cm 내지 40, 5 cm 내지 30 cm, 또는 20 cm 내지 1 m의 범위에 있을 수 있다.
- [0281] 관형 도관(240)의 내경은, 상기 이미 기재된 바와 같이, 1 cm 내지 3 m, 예컨대, 2 cm 내지 3 m, 3 cm 내지 3 m, 2 cm 내지 10 cm, 13 cm 내지 1.5 m, 0.1 m 내지 2 m, 20 cm 내지 1 m, 30 cm 내지 1.5 m, 15 cm 내지 60 cm, 또는 15 cm 내지 90 cm로부터 선택될 수 있다. 관형 도관(240)의 내경은 플라스마 가스의 흐름 속도에 영향을 미치며 반응기의 크기에 따라서 조정되어야 한다.
- [0282] 제1 스윙링 요소와 공급원료 유입구(260) 사이의 거리는 1 cm 내지 1.5 m, 예컨대, 2 cm 내지 1 m, 10 cm 내지 1 m, 20 cm 내지 1 m, 또는 30 cm 내지 1 m의 범위에 있을 수 있다.

- [0283] 상기 언급된 도면들로부터 알 수 있는 바와 같이, 플라스마 구역(004)에 가장 가까운 제1 스월링 요소(112a)의 날개는 상기 기재된 바와 같은 좌표계를 고려하여 반응기(101)의 중심 세로축에 대해 기울어져 있다. 제1 스월링 요소(290a)의 날개의 길이 축과 반응기(101)의 중심 세로축 사이의 제1 스월링 요소(290a)의 날개의 제1 각도는 제2 스월링 요소(291b)의 날개의 길이 축과 반응기(101)의 중심 세로축 사이의 제2 스월링 요소(290b)의 날개의 제2 각도보다 크다. 날개는 플라스마 가스가 흐름 방향을 고려하여 왼쪽 회전으로 스월링되는 방식으로 공급원료 렌스(111)에 위치되어야 한다는 것에 유의해야 한다. 그러나, 플라스마 가스가 흐름 방향을 고려하여 오른쪽 회전으로 스월링되는 것도 본 발명에 따른 것이다. 복수의 스월링 요소가 동일한 방향으로 스월을 유도하는 것이 바람직하다. 오른쪽 회전은 간단히 날개(112a, 112b)을, 예를 들어, 상기 도면에 도시된 바와 같이 동일한 각도로 하향으로 향하게 하여, 날개의 반대쪽이 플라스마 가스 흐름을 향하게 함으로써 간단히 얻을 수 있다. 그럼에도 불구하고, 동일한 관형 도관의 내부에 제공된 모든 날개와 스월링 요소가 왼쪽이나 오른쪽과 같은 동일한 회전으로 스월을 유도하는 것이 바람직하다.
- [0284] 날개의 위치와 정렬은 또한 상기 언급된 좌표계의 함수로 설명될 수 있으며, 여기에서, 좌표계에서의 z-축 뿐만 아니라 y-축은 고려되는 특정 날개(092)에 의존한다. 특히, 각각의 날개(092)에 대한 각각의 가로축(091)은 좌표계에서의 y-축(091)이다. 각각의 가로축(091)은 반응기(101)의 중심 세로축에 직교하고 각각의 날개의 폭 방향으로 연장되어 있다. z-축은 반응기(101)의 중심 세로축에 직교하고 각각의 가로축(091)에 직교하는 각각의 가로축(090)이다. 이러한 데카르트 좌표계에서, 각각의 날개에 대해서 x-축과 z-축이 고려된다. 이러한 데카르트 좌표계의 원점은 공급 원료 렌스 또는 도관에 인접한 날개의 표면 상의 위치에 있을 수 있다.
- [0285] 도 1 내지 7에서의 날개는 둥근 모서리/가장자리를 제외하고 일정한 증가/감소 피치의 영역을 가져서, 플라스마 가스 흐름을 향한 날개의 측면이 $f(x) = (-)^n x$ 와 같은 함수로 설명될 수 있게 하며, 여기에서, n은 피치이고 x-축은 반응기(101)의 중심 세로축에 의해서 표현된다. 식에서의 용어 "(-)"는 감소하는 피치를 나타내는 대안적인 음수 기호와 관련이 있다. 따라서, 음수 기호는 선택 사항이다. 지속적으로 증가/감소하는 피치는 $f(x) = (-)^m x^m$ (또는 $f(x) = (-)^n x^m$)으로 설명될 수 있으며, 여기에서, m은 1 초과 내지 10, 예컨대, 2 내지 10, 1 내지 5, 1 내지 3, 1.1 내지 5, 또는 2 내지 3으로부터 선택될 수 있다. 특정 지점 x에서의 함수의 미분은 이러한 위치에서의 날개의 피치를 나타낸다. 함수는 x-, y-, z-방향으로 이동할 수 있고, 예를 들어, $f(x) = (-)^n(x+b)^m$ 인 경우 함수는 x-방향으로 이동한다. 일정한 피치 또는 일정한 피치의 면적을 갖는 날개의 피치는 바람직하게는 부호 없이(즉, 절대값) 0.09 내지 10, 0.17 내지 6, 0.26 내지 6, 0.26 내지 3, 또는 0.17 내지 1.75의 범위에 있다. 피치가 지속적으로 증가/감소하는 것과 같이 피치의 일정한 면적이 없는 날개의 최대 피치는 바람직하게는 부호 없이(즉, 절대값) 0.09 내지 10, 0.17 내지 6, 0.26 내지 6, 0.26 내지 3, 0.17 내지 2.74, 0.26 내지 1.73, 0.46 내지 1.42, 0.46 내지 1.2, 또는 0.17 내지 1.75의 범위에 있다. 최대 피치의 절대값이 정의되어 있기 때문에, 최대 피치는 지속적으로 증가하는 피치 뿐만 아니라 감소하는 피치를 설명한다.
- [0286] 각각의 스월링 요소(113a 및 113b 또는 114a 및 114b)의 날개의 치수는 동일하거나 상이하다. 예를 들어, 제1 스월링 요소(270)의 날개의 길이는 1 cm 내지 3 m, 예컨대, 5 cm 내지 2 m, 10 cm 내지 1 m, 15 cm 내지 1 m, 20 cm 내지 90 cm, 25 cm 내지 1 m, 30 내지 60 cm, 40 내지 1.5 m, 또는 35 내지 3 m의 범위에 있을 수 있다. 제2 스월링 요소(271)의 날개(095)의 길이는 1 cm 내지 3 m, 예컨대, 5 cm 내지 2 m, 10 cm 내지 1 m, 15 cm 내지 1 m, 20 cm 내지 90 cm, 25 cm 내지 1 m, 30 내지 60 cm, 40 cm 내지 1.5 m, 또는 35 cm 내지 3 m의 범위에 있을 수 있다. 제1 스월링 요소(280)의 날개(094)의 폭은 0.24 cm 내지 2.9 m, 예컨대, 1 cm 내지 2.5 m, 9 cm 내지 2.5 m, 10 cm 내지 2 m, 20 cm 내지 2 m, 8 cm 내지 1 m, 12 cm 내지 1.4 m, 0.1 m 내지 2 m, 19 cm 내지 1 m, 30 cm 내지 1.5 m, 14 cm 내지 60 cm, 14 내지 59, 또는 14 cm 내지 89 cm의 범위에 있을 수 있다. 제2 스월링 요소(281)의 날개(094)의 폭은 4 cm 내지 2.9 m, 예컨대, 5 cm 내지 2.5 m, 9 cm 내지 2.5 m, 10 cm 내지 2 m, 20 cm 내지 2 m, 8 cm 내지 1 m, 12 cm 내지 1.4 m, 0.1 m 내지 2 m, 19 cm 내지 1 m, 30 cm 내지 1.5 m, 14 cm 내지 60 cm, 14 내지 59, 또는 14 cm 내지 89 cm의 범위에 있을 수 있다. 특히, 스월링 요소(280, 281)의 날개(094)의 폭은 적어도 하나의 스월링 요소(들)의 느슨한 단부와 관형 도관의 내부 표면 또는 스월링 요소가 부착되지 않았거나 일체로 형성되지 않은 공급원료 렌스의 외부 표면 사이의 각도 간격이 상기 정의된 바와 같이 가능한 한 작도록, 예컨대, 0mm 내지 10cm 이하, 예컨대, 0 mm 내지 10 cm, 0 mm 내지 1 cm, 0 mm 내지 5 mm, 0.1 mm 내지 10 cm, 1 mm 내지 1 cm, 1 mm 내지 5 mm, 또는 1 mm 내지 2 mm이도록 선택되어야 한다. 특정 스월링 요소의 날개의 모양과 치수가 동일한 것이 바람직하다. 본 발명에 따르면, 두 개 이상의 스월링 요소가 또한 바람직하며, 추가 스월링 요소의 날개의 치수는 상기 언급된 치수로부터 선택될 수 있다.
- [0287] 도 8, 도 9, 및 도 10을 참조하면, 그곳에서는, 스월링 요소 부분이 예시되고 있다. 특히, 도 8은 평활한 연결

부가 있는 일정한 피치의 두 영역을 갖는 스윙링 요소 부분을 나타낸다(300a). 도 9는 날카로운 연결부가 있는 일정한 피치의 두 영역을 갖는 스윙링 요소 부분을 나타낸다(300b). 도 10은 지속적으로 감소하는 피치를 갖는 스윙링 요소 부분을 나타낸다(300c). 흐름 방향은 플라즈마 가스(102)의 통로를 나타내는 화살표로 표시된다. 피치 영역은 흐름을 향한 날개의 면을 나타낸다.

[0288] 도 8은 제1 일정한 피치(310)를 갖는 날개의 제1 영역과 제2 일정한 피치(320)를 갖는 날개의 제2 영역을 갖는 스윙링 요소를 나타내고 있다. 대안적으로, 피치의 두 영역은 날개 사이의 틈새가 존재하지 않도록 0mm의 거리로 서로 부착된 두 개의 스윙링 요소로서 설명될 수 있다. 제2 일정한 피치(320)를 갖는 날개의 제2 영역은 일정한 피치의 영역과 제2 일정한 피치(330)를 갖는 날개의 제2 영역의 길이 축을 포함한다. 반응기(340)의 중심 세로축에 대한 제2의 일정한 피치를 갖는 제1의 스윙링 요소의 날개의 제2 영역의 길이 축의 각도는 상기 정의된 바와 같이, 즉, 10 내지 70°, 바람직하게는, 15 내지 60°, 더욱 바람직하게는, 25 내지 55° 및 가장 바람직하게는, 25 내지 50°의 각도로 동일할 수 있다. 제2 일정한 피치(320)를 갖는 날개의 제2 영역의 피치는 부호 없이(즉, 절대값) 0.09 내지 10, 0.17 내지 6, 0.26 내지 6, 0.26 내지 3, 0.17 내지 2.74, 0.26 내지 1.73, 0.46 내지 1.42, 0.46 내지 1.2, 또는 0.17 내지 1.75의 범위에 있을 수 있다.

[0289] 도 9는 제1 일정한 피치(310)를 갖는 날개의 제1 영역과 제2 일정한 피치(320)를 갖는 날개의 제2 영역이 날카로운 각도로 연결되어 있다는 점에서 도 8과는 상이하다.

[0290] 도 10에 도시된 스윙링 요소(300c)는 플라즈마 가스 흐름을 향한 날개의 면에 대해 지속적으로 감소하는 피치를 갖는다. 플라즈마 가스(102)의 흐름 방향을 고려하면, 피치는 지속적으로 감소한다. 플라즈마 가스를 향하고 지속적으로 감소하는 피치를 갖는 면을 설명하는 함수는 $f(x) = n^*(-x)^2$ 로 설명될 수 있다. 날개(331)의 최대 피치는 바람직하게는 부호 없이(즉, 절대값) 0.09 내지 10, 0.17 내지 6, 0.26 내지 6, 0.26 내지 3, 0.17 내지 2.74, 0.26 내지 1.73, 0.46 내지 1.42, 0.46 내지 1.2, 또는 0.17 내지 1.75의 범위에 있다. 최대 피치의 절대값이 정의되어 있으므로, 최대 피치는 지속적으로 증가하는 피치 뿐만 아니라 감소하는 피치를 설명한다. 날개의 최대 피치 뿐만 아니라 각도는 스윙 또는 스핀의 정도에 영향을 미친다는 것에 유의해야 한다.

[0291] 도 11 및 도 12를 참조하면, 그곳에서는, 상이한 정렬(400a, 400b)을 갖는 3개의 스윙링 요소를 포함하는 공급원료 랜스 부분이 예시되어 있다.

[0292] 특히, 상기 도면들은 공급원료 랜스에 부착된 스윙링 요소의 상이한 가능한 구성을 나타내고 있다. 이들 스윙링 요소는 관형 도관의 내벽에도 부착될 수 있음이 분명하다. 더욱이, 상이한 스윙링 요소의 상이한 배열이 가능하다.

[0293] 도 11에서 알 수 있는 바와 같이, 3개의 스윙링 요소가 직렬로 배열되어 있다. 플라즈마 구역(004)에 가장 가까이 위치한 제1 스윙링은 제1 피치(310a)를 갖는 날개의 제1 영역과 제2 피치(320a)를 갖는 날개의 제2 영역을 포함한다. 제1 스윙링 요소와 제3 스윙링 요소(113c) 사이에 위치한 제2 스윙링 요소는 제1 피치(310b)를 갖는 날개의 제1 영역과 제2 피치(320b)를 갖는 날개의 제2 영역을 포함한다. 제3 스윙링 요소(113c)는 제1 피치(310c)를 갖는 날개의 제1 영역과 제2 피치(320c)를 갖는 날개의 제2 영역을 포함한다. 제2 피치(330a, 330b 및 330c)를 갖는 각각의 날개의 제2 영역의 각각의 길이 축과 반응기(101)의 중심 세로축 사이의 각도(340a, 340b 및 340c)는 흐름 방향으로 연속적으로 증가하여 스윙의 정도도 연속적으로 증가하게 한다.

[0294] 도 12에서, 세 가지 상이한 유형의 스윙링 요소가 공급원료 랜스에 부착된다. 제1 스윙링 요소는 날개의 말단에서 최대 피치(331)를 갖는 연속적으로 증가하는 피치(311)를 갖는 날개를 포함한다. 제2 스윙링 요소(112b)는 일정한 피치를 가지며, 제2 스윙링 요소(291b)의 날개의 길이 축과 반응기(101)의 중심 세로축에 대해 특정 각도(290b)로 기울어져 있다. 제3 스윙링 요소는 제1 피치(310c)를 갖는 날개의 제1 영역과 제2 피치(320c)를 갖는 날개의 제2 영역을 포함한다. 다시 설명하면, 피치 및/또는 각도는 흐름 방향으로 연속적으로 증가한다.

[0295] 도 13은 관형 도관(110) 내부의 공급원료 랜스(112)의 외부 표면에 부착된 하나의 날개를 갖는 스윙링 요소의 정투상도를 도시하고 있다. 공급원료 랜스에 복수 개의 날개를 부착하는 것이 가능하다. 바람직하게는, 복수 개의 날개가 공급원료 랜스에 부착되어 각각의 날개가 적어도 제2 날개와 부분적으로 중첩되게 한다. 도 13에서의 날개는 일정한 피치(311)를 갖지만, 상기 기재된 바와 같은 다른 형태의 날개가 요망되는 대로 사용될 수 있다. 더욱이, 날개는, 특히 공급원료 랜스가 존재하지 않는 경우에, 관형 도관(110)의 내부 표면에 또한 부착될 수 있다.

[0296] 도 14는 공급원료 랜스 없이 관형 도관(110)을 나타내고 있다.

- [0297] 다양한 변형이 이루어질 수 있고, 많은 변화가 본 발명의 원리를 벗어나지 않으면서 바람직한 구체예에서 이루어질 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다.
- [0298] 1. 바람직하게는 양태 35 내지 60에 따른 반응기를 사용하여, 카본 블랙을 생산하기 위한 방법으로서,
- [0299] (a) 플라즈마 가스를 카본 블랙 반응기에 주입하는 단계,
- [0300] (b) 플라즈마 가스를 플라즈마 구역(또는 플라즈마 토치)에 가하여 카본 블랙을 포함하는 생성물 혼합물을 얻는 단계,
- [0301] (c) 생성물 혼합물을 원칭시키는 단계,
- [0302] (d) 생성물 혼합물로부터 카본 블랙을 분리하는 단계를 포함하고,
- [0303] 여기서 (i) 플라즈마 가스가 카본 블랙 공급원료를 포함하거나 이로 이루어지고/거나, (ii) 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역의 상류의 플라즈마 가스에 주입되고/거나, (iii) 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역에 주입되지만, 바람직하게는 플라즈마가 생성되는 영역 뒤에 주입되고/거나, (iv) 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역의 하류의 플라즈마 가스에 주입되는, 방법.
- [0304] 2. 양태 1에 있어서, 플라즈마가 마이크로파 에너지에 의한 플라즈마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성되고/거나, 플라즈마가 전기 아크에 의한 플라즈마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성되고/거나, 플라즈마가 코로나 방전에 의한 플라즈마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성되고/거나, 플라즈마가 유전체-장벽 방전(DBD)에 의한 플라즈마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성되고/거나, 플라즈마가 무선 주파수 에너지에 의한 플라즈마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성되고, 바람직하게는 플라즈마가 마이크로파 에너지에 의한 플라즈마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성되는, 방법.
- [0305] 3. 양태 1 또는 2에 있어서, 플라즈마 가스가 가스를 플라즈마 구역에 가하기 전에 예열되고, 바람직하게는, 플라즈마 가스가 100 내지 1600 °C, 예컨대, 300 내지 1400 °C, 400 내지 1200 °C, 500 내지 1000 °C, 600 내지 1500 °C, 100 내지 300 °C, 200 내지 400 °C, 300 내지 500 °C, 400 내지 600 °C, 1000 내지 1500 °C, 또는 700 내지 900 °C의 온도로 예열되는, 방법.
- [0306] 4. 양태 1 내지 양태 3 중 어느 한 양태에 있어서, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스가 (i) 260 내지 920 K, 바람직하게는, 269 내지 700 K, (ii) 290 내지 340 K, (iii) 340 내지 390 K, (iv) 390 내지 440 K, (v) 440 내지 490 K, (vi) 490 내지 540 K, (vii) 540 내지 590 K, (viii) 590 내지 640 K, (ix) 640 내지 690 K, 또는 (x) 690 내지 740 K의 온도를 갖는, 방법.
- [0307] 5. 양태 1 내지 양태 4 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마 가스가 수소 및/또는 H₂O(바람직하게는 H₂)를 포함하거나 그것이고/거나, 플라즈마 가스가 카본 블랙 공급원료를 포함하거나 그것인, 방법.
- [0308] 6. 양태 1 내지 양태 5 중 어느 한 양태에 있어서, (A) 플라즈마 가스와 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역에 가스를 가하기 전에 혼합되고/거나, (B) 플라즈마 가스가 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질(플라즈마 가스 혼합물)을 포함하거나 이로 이루어지고/거나(바람직하게는 이로 이루어지고/거나), (C) 카본 블랙 공급원료(바람직하게는 제1 카본 블랙 공급원료)가 가스(플라즈마 가스 혼합물)보다 높은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나 이로 이루어지는, 방법.
- [0309] 7. 양태 1 내지 양태 6 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마 가스와 카본 블랙 공급원료가, 가스를 플라즈마 구역에 가하기 전에, 카본 블랙 공급원료가 카본 블랙 반응기에서 소적을 형성하지 않는(또는 응축되지 않거나, 액체 상에 있지 않는) 물 비율로, 혼합되는, 방법.
- [0310] 8. 양태 1 내지 양태 7 중 어느 한 양태에 있어서, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질이, 가스를 플라즈마 구역에 가하기 전에, 카본 블랙 공급원료가 카본 블랙 반응기에서 소적을 형성하지 않는(또는 응축되지 않거나, 액체 상에 있지 않는) 물 비율로, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스에 존재하는, 방법.
- [0311] 9. 양태 1 내지 양태 8 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마 가스와 카본 블랙 공급원료(플라즈마 가스와 카본 블랙 혼합물)이 가스를 플라즈마 구역에 가하기 전에 혼합되고, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스의 전체 몰량을 기준으로 한, 플라즈마 가스 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 몰 퍼센트가,
- [0312] (i) 270 내지 300 K의 정상 끓는점 및/또는 최종 정상 끓는점 및 250 내지 290 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는

카본 블랙 공급원료의 경우에 1 내지 20 mol-%,

[0313] (ii) 300 초과 내지 350 K의 정상 끓는점 및 270 내지 300 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에 30 내지 95 mol-%,

[0314] (iii) 350 초과 내지 400 K의 정상 끓는점 및/또는 최종 정상 끓는점 및 340 내지 360 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에 50 내지 80 mol-%,

[0315] (iv) 400 초과 내지 450 K의 정상 끓는점 및/또는 최종 정상 끓는점 및 390 내지 420 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에 50 내지 75 mol-%,

[0316] (v) 450 초과 내지 500 K의 정상 끓는점 및/또는 최종 정상 끓는점 및 440 내지 460 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에 40 내지 65 mol-%,

[0317] (vi) 500 초과 내지 550 K의 정상 끓는점 및/또는 최종 정상 끓는점 및 490 내지 520 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에 20 내지 65 mol-%,

[0318] (vii) 550 초과 내지 610 K의 정상 끓는점 및/또는 최종 정상 끓는점 및 540 내지 570 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에 20 내지 55 mol-%, 또는

[0319] (viii) 610 초과 내지 670 K의 정상 끓는점 및/또는 최종 정상 끓는점 및 590 내지 630 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에 30 내지 65 mol-%인, 방법.

[0320] 10. 양태 1 내지 양태 9 중 어느 한 양태에 있어서, 가스를 플라즈마 구역에 가하기 전의, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스가,

[0321] (i) 270 내지 300 K의 최종 정상 끓는점 및 250 내지 290 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 1 mol-% 내지 20 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나,

[0322] (ii) 300 초과 내지 350 K의 최종 정상 끓는점 및 270 내지 290 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 30 내지 95 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나,

[0323] (iii) 350 초과 내지 400 K의 최종 정상 끓는점 및 340 내지 360 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 50 내지 80 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나,

[0324] (iv) 400 초과 내지 450 K의 최종 정상 끓는점 및 390 °C 내지 420 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 50 내지 75 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나,

[0325] (v) 450 초과 내지 500 K의 최종 정상 끓는점 및 440 내지 460 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 40 내지 65 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나,

[0326] (vi) 500 초과 내지 550 K의 최종 정상 끓는점 및 490 내지 520 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 20 내지 65 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나,

[0327] (vii) 550 초과 내지 610 ° K의 최종 정상 끓는점 및 540 내지 570 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 20 내지 55 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하거나,

[0328] (viii) 610 초과 내지 670 K의 최종 정상 끓는점 및 590 내지 630 K의 가스 혼합물의 온도를 갖는 카본 블랙 공급원료의 경우에, 30 내지 65 mol-%의 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질을 포함하고,

[0329] 물질이 바람직하게는 플라즈마 가스, 예컨대, 수소, 또는 카본 블랙 공급원료를 포함하는, 방법.

[0330] 11. 양태 1 내지 양태 10 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마 가스와 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역에 가스를 가하기 전에 혼합되고, 플라즈마 가스의 물 퍼센트, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스의 물 퍼센트, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 물 퍼센트(바람직하게는, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 물 퍼센트)가, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스의 전체 물량을 기준으로 하여, $X_{\text{희석제}}$ 보다 크고, $X_{\text{희석제}}$ 가 식(V)에 따라서 계산되고,

[0331]
$$x_{\text{희석제}} = \max \left(1 - \frac{p_0 \exp \left(-\frac{\Delta_{\text{vap}} H_m}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}} H_m}{RT_b} \right)}{p}, 0 \right) \cdot 100$$
 식(V)

[0332] 여기에서, $X_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, $P[\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, $P_0[\text{Pa}]$ 는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}}H_{\text{m}}[\text{J/mol}]$ 은 카본 블랙 공급원료의 정상 물 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, $R[\text{J/mol/K}]$ 은 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, $T[\text{K}]$ 는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_b[\text{K}]$ 는 카본 블랙 공급원료의 정상 끓는 온도이고,

[0333] 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 $X_{\text{회석제}}$ 초과 내지 ($X_{\text{회석제}} + 20 \text{ mol-}\%$)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 1 \text{ mol-}\%$) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 15 \text{ mol-}\%$)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 3 \text{ mol-}\%$) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 12 \text{ mol-}\%$)이고, 가장 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 5 \text{ mol-}\%$) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 10 \text{ mol-}\%$)인, 방법.

[0334] 12. 양태 1 내지 양태 11 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마 가스와 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역에 가스를 가하기 전에 혼합되고, 플라즈마 가스의 물 퍼센트, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스의 물 퍼센트, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 물 퍼센트(바람직하게는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 물 퍼센트)가, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스의 전체 물량을 기준으로 하여, $X_{\text{회석제}}$ 보다 크고, $X_{\text{회석제}}$ 가 식(IX)에 따라서 계산되고,

$$X_{\text{회석제}} = \max \left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^N \frac{x_i^{\text{증기}}}{100 P_i^s}}, 0 \right) \cdot 100 \quad \text{식(IX)}$$

[0336] 여기에서, $X_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, $P[\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물이고, $\sum_{i=1}^N$ 은 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 화합물들의 화합물 지수이고, $x_i^{\text{증기}}$ 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 몰 백분율이고, $P_i^s[\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 온도 $T[\text{K}]$ 에서의 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물 i 의 증기압이고, P_i^s 는 식(X)에 따라서 계산되고,

$$P_i^s = P_0 \exp \left(-\frac{\Delta_{\text{vap}}H_{\text{m},i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}}H_{\text{m},i}}{RT_{b,i}} \right) \quad \text{식(X)}$$

[0338] $P_0[\text{Pa}]$ 는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}}H_{\text{m},i}[\text{J/mol}]$ 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 정상 물 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, $R[\text{J/mol/K}]$ 는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, $T[\text{K}]$ 는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i}[\text{K}]$ 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 정상 끓는 온도이고,

[0339] 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 $X_{\text{회석제}}$ 초과 내지 ($X_{\text{회석제}} + 20 \text{ mol-}\%$)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 1 \text{ mol-}\%$) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 15 \text{ mol-}\%$)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 3 \text{ mol-}\%$) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 12 \text{ mol-}\%$)이고, 가장 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 5 \text{ mol-}\%$) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 10 \text{ mol-}\%$)인, 방법.

[0340] 13. 양태 1 내지 양태 12 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마 가스와 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역에 가스를 가하기 전에 혼합되고, 플라즈마 가스의 물 퍼센트, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스의 물 퍼센트, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 물 퍼센트(바람직하게는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 물 퍼센트)가, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스의 전체 물량을 기준으로 하여, $X_{\text{회석제}}$ 보다 크고, $X_{\text{회석제}}$ 가 식(XVII)에 따라서 계산되고,

$$X_{\text{회석제}} = \max \left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^{10} \frac{x_i^{\text{증기}}}{100 P_i^s}}, 0 \right) \cdot 100 \quad \text{식(XVII)}$$

[0342] 여기에서, $X_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, $P[\text{Pa}]$ 는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플

풀이고, $\sum_{i=1}^{10}$ 는 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료의 샘플의 화합물 지수이고, $x_{\text{증기}}^{s,i}$ 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 물 백분율이고, $P_{\text{증기}}^s$ [Pa]는 플라즈마 가스 온도 T [K]에서의 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플 i 의 증기압이고, $P_{\text{증기}}^s$ 는 식(XVIII)에 따라서 계산되고,

$$P_{\text{증기}}^s = P_0 \exp\left(-\frac{\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \quad \text{식(XVIII)}$$

P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}$ [J/mol]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상 물 증발 엔탈피(예를 들면, 식(XIII)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i}$ [K]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상 끓는 온도이고,

바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 $X_{\text{회석제}}$ 초과 내지 ($X_{\text{회석제}} + 20$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 1$ mol-%) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 15$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 3$ mol-%) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 12$ mol-%)이고, 가장 바람직하게는, 플라즈마 가스의 물 퍼센트는 ($X_{\text{회석제}} + 5$ mol-%) 내지 ($X_{\text{회석제}} + 10$ mol-%)인, 방법.

14. 양태 13에 있어서, 가스를 플라즈마 구역에 가하기 전에 혼합된 카본 블랙 공급원료가 카본 블랙 공급원료의 증류에 의해 분석되고, 카본 블랙 공급원료가 증류에 의해 10개의 샘플/분획(바람직하게는 분석된 샘플의 전체 양을 기준으로 하여 각각 10 vol.-%의 물질을 갖는 샘플/분획)으로 분리되고, 각각의 샘플/분획의 마지막 방울이 증류되는 온도가 샘플/분획의 각각의 끓는점 $T_{b,i}$ [K]로서 사용되고, 바람직하게는, 각각의 샘플/분획에 대해서, 물 분율이 계산되는, 방법.

15. 양태 1 내지 양태 14 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마 가스와 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역에 가스를 가하기 전에 혼합되고, 플라즈마 가스의 물 퍼센트, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라즈마 가스의 물 퍼센트, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 물 퍼센트(바람직하게는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질의 물 퍼센트)가, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라즈마 가스의 전체 물량을 기준으로 하여, $X_{\text{회석제}}$ 보다 크고, $X_{\text{회석제}}$ 가 식(V), 식(IX) 및/또는 식(XVII)에 따라서 계산되고,

$$x_{\text{회석제}} = \max\left(1 - \frac{P_0 \exp\left(-\frac{\Delta_{\text{vap}}H_m}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}}H_m}{RT_b}\right)}{P}, 0\right) \cdot 100 \quad \text{식(V)}$$

여기에서, $X_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, P [Pa]는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}}H_m$ [J/mol]은 카본 블랙 공급원료의 정상 물 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]은 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, T_b [K]는 카본 블랙 공급원료의 정상 끓는 온도이고,

$$x_{\text{회석제}} = \max\left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^N \frac{x_i \cdot \bar{S}_i}{100 P_i^s}}, 0\right) \cdot 100 \quad \text{식(IX)}$$

여기에서, $X_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, P [Pa]는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물이고, $\sum_{i=1}^N$ 은 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 화합물들의 화합물 지수이고, $x_i^{\bar{S}_i}$ 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 물 백분율이고, P_i^s [Pa]는 플라즈마 가스 온도 T [K]에서의 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물 i 의 증기압이고, P_i^s 는 식(X)에 따라서 계산되고,

$$P_i^s = P_0 \exp\left(-\frac{\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \quad \text{식(X)}$$

[0353] P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}}H_{\text{mi}}$ [J/mol]는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 정상 물 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{\text{b},i}$ [K]는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 정상 끓는 온도이고,

$$x_{\text{회석제}} = \max \left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^{10} \frac{x_{\text{증기},i}}{100 P_{\text{증기},i}}}, 0 \right) \cdot 100 \quad \text{식(XVII)}$$

[0354] 여기서, $x_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, P [Pa]는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플이고, $\sum_{i=1}^{10}$ 는 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료의 샘플의 화합물 지수이고, $x_{\text{증기},i}$ 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 몰 백분율이고, $P_{\text{증기},i}$ [Pa]는 플라즈마 가스 온도 T [K]에서의 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플 i 의 증기압이고, $P_{\text{증기},i}$ 는 식(XVIII)에 따라서 계산되고,

$$P_{\text{증기},i}^s = P_0 \exp \left(-\frac{\Delta_{\text{vap}}H_{\text{m},i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}}H_{\text{m},i}}{RT_{\text{b},i}} \right) \quad \text{식(XVIII)}$$

[0357] P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}}H_{\text{mi}}$ [J/mol]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상 물 증발 엔탈피(예를 들면, 식(XIII)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{\text{b},i}$ [K]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상 끓는 온도이고,

[0358] 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 $x_{\text{회석제}}$ 초과 내지 ($x_{\text{회석제}} + 20 \text{ mol-}\%$)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 1 \text{ mol-}\%$) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 15 \text{ mol-}\%$)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 3 \text{ mol-}\%$) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 12 \text{ mol-}\%$)이고, 가장 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 5 \text{ mol-}\%$) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 10 \text{ mol-}\%$)인, 방법.

[0359] 16. 양태 1 내지 양태 15 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마 구역 내의 압력 및/또는 플라즈마 구역 내의 플라즈마 가스의 압력이 0.1 내지 1.3 bar, 예컨대, 0.1 내지 1.2 bar, 0.1 내지 1.1 bar, 0.1 내지 1 bar, 0.2 내지 1 bar, 0.2 내지 1 bar 미만, 0.1 내지 0.5 bar, 0.2 내지 0.9 bar, 0.3 내지 0.8 bar, 또는 0.3 내지 0.5 bar이고, 여기에서, 바람직하게는 플라즈마 구역의 상류의 압력 및/또는 플라즈마 구역의 상류의 플라즈마 가스의 압력은 플라즈마 구역 내의 압력 및/또는 플라즈마 구역 내의 플라즈마 가스의 압력보다 높은, 방법.

[0360] 17. 양태 1 내지 양태 16 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마 구역의 상류의 압력 및/또는 플라즈마 구역의 상류의 플라즈마 가스의 압력이 0.1 내지 3 bar, 예컨대, 0.2 내지 2.6 bar, 0.5 내지 2.5 bar, 0.9 내지 2.2 bar, 1 내지 2 bar, 1.5 내지 2 bar, 1.6 내지 3 bar, 1 bar 내지 1.5 bar, 또는 1.1 내지 1.4 bar이고, 여기에서, 바람직하게는 플라즈마 구역의 상류의 압력 및/또는 플라즈마 구역의 상류의 플라즈마 가스의 압력은 플라즈마 구역 내의 압력 및/또는 플라즈마 구역 내의 플라즈마 가스의 압력보다 높은, 방법.

[0361] 18. 양태 1 내지 양태 17 중 어느 한 양태에 있어서, 반응 챔버가 라발 노즐(Laval nozzle)로서 설계되어, 가스 흐름이 라발 노즐의 좁아진 부분 앞에서 1 Ma 미만의 속도, 라발 노즐의 좁아진 부분에서 1 Ma의 속도, 그리고 라발 노즐의 좁아진 부분 뒤에서 1 Ma 초과를 갖게 하고, 플라즈마가 라발 노즐의 좁아진 부분에서 생성되는, 방법.

[0362] 19. 양태 1 내지 양태 18 중 어느 한 양태에 있어서, 반응 챔버가 라발 노즐로서 설계되고, 플라즈마는 라발 노즐의 좁아진 부분에서 생성되는, 방법.

[0363] 20. 양태 1 내지 양태 19 중 어느 한 양태에 있어서, 반응 챔버가 라발 노즐로서 설계되어, 가스 흐름이 라발 노즐의 좁아진 부분 앞에서 1 Ma 미만의 속도, 라발 노즐의 좁아진 부분에서 1 Ma 미만의 속도, 그리고 라발 노즐의 좁아진 부분 뒤에서 1 Ma 미만의 속도를 갖게 하고, 플라즈마가 라발 노즐의 좁아진 부분에서 생성되고, 좁아진 부분에서의 가스 흐름 속도가 좁아진 부분 앞보다 높고, 좁아진 부분 뒤의 가스 흐름 속도가 좁아진 부

분에서보다 높은, 방법.

- [0364] 21. 양태 1 내지 양태 20 중 어느 한 양태에 있어서, 가스를 플라즈마 구역에 가하기 전의 플라즈마 가스가 스월링(swirling)되고, 바람직하게는, 플라즈마 가스가 0.2 내지 1.2, 바람직하게는, 0.3 내지 0.8, 더욱 바람직하게는, 0.5 내지 0.7, 더욱 바람직하게는, 0.55 내지 0.65의 스월 수(swirl number)를 갖는, 방법.
- [0365] 22. 양태 1 내지 양태 21 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마가 마이크로파 에너지에 의한 플라즈마 가스의 여기에 대한 반응으로 생성되며, 그에 의해서, 플라즈마 구역을 생성시키고, 마이크로파 방사선이 반응기의 중심 세로축 또는 플라즈마 가스의 흐름 방향에 수직으로 적용되고/거나, 마이크로파 방사선이 반응기의 중심 세로축 또는 플라즈마 가스의 흐름 방향에 방사상으로 그리고 원주상으로 적용되는, 방법.
- [0366] 23. 양태 1 내지 양태 22 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마 가스가 H₂O를 추가로 포함하고/거나, 실리카가 플라즈마 구역 뒤(하류)에서 생성물 혼합물에 주입되는, 방법.
- [0367] 24. 양태 1 내지 양태 23 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마 구역 내의 온도가 1200 내지 5000 K, 예컨대, 1300 내지 4000 K, 1300 내지 3000 K, 1400 내지 3500 K, 1300 내지 2500 K, 1300 내지 2000 K, 1300 내지 1800 K, 또는 1500 내지 3000 K인, 방법.
- [0368] 25. 양태 1 내지 양태 24 중 어느 한 양태에 있어서, 카본 블랙 공급원료가, 바람직하게는 23 °C 및 1 atm에서, 액체인, 방법.
- [0369] 26. 양태 1 내지 양태 25 중 어느 한 양태에 있어서, 카본 블랙 공급원료가 비-방향족 공급원료, 방향족 공급원료, 지방족 공급원료, 지방족 오일, 지속 가능한 공급원료, 재생 가능한 카본 블랙 공급원료 및/또는 바이오-기반 공급원료를 포함하는, 방법.
- [0370] 27. 양태 1 내지 양태 26 중 어느 한 양태에 있어서, 바람직하게는, 플라즈마 가스가 수소를 포함하거나 그것이고, 카본 블랙 공급원료의 열분해로부터 유도되는, 방법.
- [0371] 28. 양태 1 내지 양태 27 중 어느 한 양태에 있어서, 방법이 생성물 혼합물에 존재하는 카본 블랙과 H₂를 분리하고 분리된 H₂를 플라즈마 공급 가스로서 제공함을 추가로 포함하는, 방법.
- [0372] 29. 양태 1 내지 양태 28 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마 공급 가스 또는 고온 플라즈마 공급 가스가 연료의 연소에 의해서 가열되지 않는, 방법.
- [0373] 30. 양태 1 내지 양태 29 중 어느 한 양태에 있어서, 제1 카본 블랙 공급원료가, 플라즈마 가스를 플라즈마 구역에 가하기 전에, 플라즈마 가스에 주입되고, 제2 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역에 주입되지만, 바람직하게는 플라즈마가 생성되는 영역 뒤에 주입되고, 바람직하게는 제1 카본 블랙 공급원료가 양태 1 내지 양태 29 중 어느 한 양태에서 정의된 바와 같은 카본 블랙 공급원료인, 방법.
- [0374] 31. 양태 1 내지 양태 30 중 어느 한 양태에 있어서, 제1 카본 블랙 공급원료가, 플라즈마 가스를 플라즈마 구역에 가하기 전에, 플라즈마 가스에 주입되고, 제2 카본 블랙 공급원료가 플라즈마 구역 바로 뒤에 주입되고, 바람직하게는 제1 카본 블랙 공급원료가 양태 1 내지 양태 30 중 어느 한 양태에서 정의된 바와 같은 카본 블랙 공급원료인, 방법.
- [0375] 32. 양태 1 내지 양태 31 중 어느 한 양태에 있어서, 생산된 카본 블랙이,
- [0376] (a) 40 내지 140 m²/g, 바람직하게는, 60 내지 130 m²/g, 더욱 바람직하게는, 65 내지 120 m²/g의 범위의 ASTM D6556-17에 따라서 측정된 STSA 표면적, 및 40 내지 200 mL/100 g, 바람직하게는, 60 내지 180 mL/100 g, 더욱 바람직하게는, 80 내지 160 mL/100 g의 범위의 ASTM D2414-18에 따라서 측정된 흡유량(OAN),
- [0377] (b) 40 내지 120 m²/g, 바람직하게는, 50 내지 100 m²/g, 더욱 바람직하게는, 65 내지 90 m²/g의 범위의 ASTM D6556-17에 따라 측정된 STSA 표면적, 및 40 내지 180 mL/100 g, 바람직하게는, 50 내지 160 mL/100 g, 더욱 바람직하게는, 70 내지 150 mL/100 g의 범위의 ASTM D2414-18에 따라 측정된 흡유량(OAN),
- [0378] (c) 200 내지 600 m²/g, 바람직하게는, 250 내지 500 m²/g, 더욱 바람직하게는, 300 내지 450 m²/g의 범위의 ASTM D6556-17에 따라서 측정된 STSA 표면적, 및 50 내지 150 mL/100 g, 바람직하게는, 60 내지 120 mL/100 g, 더욱 바람직하게는, 70 내지 100 mL/100 g의 범위의 ASTM D2414-18에 따라 측정된 흡유량(OAN), 및/또는

- [0379] (d) 140 내지 210 m^2/g , 바람직하게는, 150 내지 200 m^2/g , 더욱 바람직하게는, 160 내지 190 m^2/g 의 범위의 ASTM D6556-17에 따라 측정된 STSA 표면적, 및 100 내지 200 mL/100 g, 바람직하게는, 110 내지 170 mL/100 g, 더욱 바람직하게는, 120 내지 160 mL/100 g의 범위의 ASTM D2414-18에 따라 측정된 흡유량(OAN)을 갖는, 방법.
- [0380] 33. 양태 1 내지 양태 32 중 어느 한 양태에 있어서, 60 내지 100 중량%, 바람직하게는, 90 내지 100 중량%, 더욱 바람직하게는, 97 내지 100 중량%, 더욱 바람직하게는, 99 내지 100 중량% 및 가장 바람직하게는, 99.9 내지 100 중량%의 카본 블랙 공급원료가 적어도 5 개의 탄소 원자를 포함하는 화합물을 포함하는, 방법.
- [0381] 34. 양태 1 내지 양태 33 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마 가스 흐름(또는 수소 가스 흐름)이 10 Nm^3/h 내지 10000 Nm^3/h , 예컨대, 20 Nm^3/h 내지 5000 Nm^3/h , 30 Nm^3/h 내지 2000 Nm^3/h , 40 Nm^3/h 내지 1000 Nm^3/h , or 50 Nm^3/h 내지 500 Nm^3/h 인, 방법.
- [0382] 35. 반응기의 중심 세로축을 따라서 흐름 통로를 갖는 카본 블랙을 생산하기 위한 반응기로서, 양태 1 내지 양태 33 중 어느 한 양태에 따르고,
- [0383] (A) 반응 챔버,
- [0384] (B) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단, 및
- [0385] (C) 반응 챔버에서 플라즈마를 생성시켜 플라즈마 구역을 형성시키는 수단을 포함하며,
- [0386] (i) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 상류에 위치되고/거나, (ii) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역에 위치되지만, 바람직하게는 플라즈마가 생성되는 영역 뒤에 위치되고/거나, (iii) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 하류에, 바람직하게는 플라즈마 구역의 바로 뒤에 위치되는, 반응기.
- [0387] 36. 양태 35에 있어서, 반응 챔버가 플라즈마가 생성되는 좁아지는 부분을 포함하는 라발 노즐로서 설계되는, 반응기.
- [0388] 37. 양태 35 또는 양태 36에 있어서, 반응 챔버가 관형 도관인, 반응기.
- [0389] 38. 양태 35 내지 양태 37 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마를 생성시키기 위한 수단이 아크 플라즈마 생성기, 마이크로파 플라즈마 생성기, 무선 주파수(RF) 플라즈마 생성기, 코로나 방전 플라즈마 생성기, 또는 유전체-장벽 방전 (DBD) 플라즈마 생성기, 바람직하게는, 마이크로파 플라즈마 생성기인, 반응기.
- [0390] 39. 양태 35 내지 양태 38 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마를 생성시키기 위한 수단이 마이크로파 생성기이고, 마이크로파 생성기가 반응 챔버의 외부에 위치되는, 반응기.
- [0391] 40. 양태 35 내지 양태 39 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마를 생성시키기 위한 수단이 마이크로파 플라즈마 생성기이고, 마이크로파 플라즈마 생성기가 반응 챔버에 원주상으로 부착된 링 공진기(ring resonator)를 포함하는, 반응기.
- [0392] 41. 양태 35 내지 양태 40 중 어느 한 양태에 있어서, 플라즈마를 생성시키기 위한 수단이 마이크로파 플라즈마 토치이고, 마이크로파 플라즈마 생성기가 도파관(waveguide)과 공진기를 포함하여, 마이크로파 에너지가 반응 챔버의 중심 세로축에 대해서 플라즈마 가스에 수직으로 인가하게 하는, 반응기.
- [0393] 42. 양태 35 내지 양태 41 중 어느 한 양태에 있어서, 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 상류에 위치되고, 반응기의 중심 세로축에 동축으로 배열된 공급원료 렌스인, 반응기.
- [0394] 43. 양태 35 내지 양태 42 중 어느 한 양태에 있어서, 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 상류에 위치되고, 반응기의 중심 세로축에 동축으로 배열된 공급원료 렌스이고, 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역에 위치되지만, 바람직하게는 플라즈마가 생성되는 영역 뒤에 위치되는, 반응기.
- [0395] 44. 양태 35 내지 양태 43 중 어느 한 양태에 있어서, 반응 챔버의 내부 라이닝이 알루미늄 옥사이드를 포함하고, 바람직하게는, 플라즈마 구역의 영역 내의 반응 챔버의 내부 라이닝이 알루미늄 옥사이드, 바람직하게는, 90 내지 100 중량%의 알루미늄 옥사이드, 더욱 바람직하게는, 95 내지 100 중량%의 알루미늄 옥사이드, 가장 바람직하게는, 98 내지 100 중량%의 알루미늄 옥사이드를 포함하는, 반응기.

- [0396] 45. 양태 35 내지 양태 44 중 어느 한 양태에 있어서, 반응기가 플라즈마 가스를 스월링시킬 수 있는 스월링 요소를 추가로 포함하고, 스월링 요소가 반응 챔버에 대해 상류에 부착되는, 반응기.
- [0397] 46. 양태 35 내지 양태 45 중 어느 한 양태에 있어서, 반응기가 반응 챔버에 상류 연결된 또는 스월링 요소에 상류 연결된 흐름 가이드 수단을 추가로 포함하고, 흐름 가이드 수단이 플라즈마 가스를 수용하고 플라즈마 가스를 반응기의 중심 세로축에 평행하게 흐르게 할 수 있는, 반응기.
- [0398] 47. 양태 35 내지 양태 46 중 어느 한 양태에 있어서, 흐름 가이드 수단이 원통형 바디(cylindrical body)를 포함하며, 이러한 원통형 바디의 벽에는 개구부가 있으며, 이러한 개구부는 반응기의 중심 세로축에 실질적으로 직교하고, 바람직하게는 직교하며, 원통형 바디는 관형 도관과 연결되어 있고 반응기의 중심 세로축을 따라 위치되는, 반응기.
- [0399] 48. 양태 35 내지 양태 47 중 어느 한 양태에 있어서, 공급원료 주입 수단이 공급원료 렌스이고 관형 도관을 통해 연장되며, 도관의 내부 표면과 공급원료 렌스의 외부 표면 사이에 틈새(gap)가 플라즈마 가스의 통로를 정의하고, 바람직하게는, 공급원료 렌스가 반응기의 중심 세로축을 따라 배열되거나, 주입 수단이 렌스이고 관형 도관을 통해 연장되며, 도관의 내부 표면과 렌스의 외부 표면 사이에 틈새가 플라즈마 가스의 통로를 정의하고, 바람직하게는, 렌스가 반응기의 중심 세로축을 따라 배열되는, 반응기.
- [0400] 49. 양태 35 내지 양태 48 중 어느 한 양태에 있어서, 반응기가 제1 및 제2 스월링 요소를 포함하고, 제1 스월링 요소가 반응 챔버에 더 가깝게 배열되는, 반응기.
- [0401] 50. 양태 35 내지 양태 49 중 어느 한 양태에 있어서, 스월링 요소(들)이 각각 개별적으로 적어도 하나의 날개, 바람직하게는, 복수의 날개를 포함하고, 복수의 날개가 바람직하게는 반응기의 중심 세로축에 대해서 회전 대칭으로 배열되는, 반응기.
- [0402] 51. 양태 35 내지 양태 50 중 어느 한 양태에 있어서, 스월링 요소(들)이 각각 개별적으로 적어도 하나의 날개, 바람직하게는, 복수의 날개를 포함하고, 바람직하게는, 적어도 하나의 날개가, 바람직하게는 10 내지 70°, 바람직하게는, 15 내지 60°, 더욱 바람직하게는, 25 내지 55° 및 가장 바람직하게는, 25 내지 50°의 각도로, 반응기의 중심 세로축에 대해서 기울어져 있는, 반응기.
- [0403] 52. 양태 35 내지 양태 51 중 어느 한 양태에 있어서, 적어도 하나의 날개가 반응기의 중심 세로축과 각각의 횡축을 포함하는 평면에서 반응기의 중심 세로축에 대해서 기울어져 있고, 각각의 횡축이 반응기의 중심 세로축과 직교하며 각각의 가로축과 직교하고, 각각의 가로축이 반응기의 중심 세로축과 직교하며 각각의 날개의 폭의 방향으로 연장되고, 바람직하게는, 날개가 10 내지 70°, 바람직하게는, 15 내지 60°, 더욱 바람직하게는, 25 내지 55° 및 가장 바람직하게는, 25 내지 50°의 각도로 상기 언급된 평면에서 반응기의 중심 세로축에 대해서 기울어져 있는, 반응기.
- [0404] 53. 양태 35 내지 양태 52 중 어느 한 양태에 있어서, 흐름을 향한 적어도 하나의 날개의 면이 반응기의 중심 세로축과 각각의 횡축을 포함하는 평면에서 반응기의 중심 세로축에 대해서 흐름 방향을 따라서 일정한 피치 및/또는 지속적으로 증가하는/감소하는 피치를 가지며, 각각의 횡축이 반응기의 중심 세로축과 직교하며 각각의 가로축과 직교하고, 각각의 가로축이 반응기의 중심 세로축과 직교하며 각각의 날개의 폭의 방향으로 연장되는, 반응기.
- [0405] 54. 양태 35 내지 양태 53 중 어느 한 양태에 있어서, 적어도 하나의 스월링 요소가 반응기의 중심 세로축을 따라 연속적인 나사산(thread)을 형성하는 날개를 포함하고, 바람직하게는 날개가 2 내지 10회의 와인딩(winding), 예컨대, 2 내지 5회의 와인딩을 갖고, 바람직하게는 연속적인 나사산이 상이한 피치, 즉, 제1 피치 및 제2 피치를 갖고, 제2 피치가 제1 피치보다 크고/거나, 연속 나사산이 일정한 피치를 갖고/거나, 연속 나사산의 피치가 연속적으로 증가/감소하는, 반응기.
- [0406] 55. 양태 35 내지 양태 54 중 어느 한 양태에 있어서, 적어도 하나의 날개가 평면 또는 곡선 모양 또는 이들의 조합을 갖고/거나, 적어도 하나의 날개가 흐름 방향을 따라 연속적으로 증가/감소하는 피치를 갖는, 반응기.
- [0407] 56. 양태 35 내지 양태 55 중 어느 한 양태에 있어서, 제1 스월링 요소가 반응기의 중심 세로축 및 각각의 횡축을 포함하는 평면에서 반응기의 중심 세로축에 대해서 제1 각도로 기울어져 있는 적어도 하나의 날개를 가지며, 제2 스월링 요소가 반응기의 중심 세로축 및 각각의 횡축을 포함하는 평면에서 반응기의 중심 세로축에 대해서 제2 각도로 기울어져 있는 적어도 하나의 날개를 갖고, 각각의 횡축이 반응기의 중심 세로축과 직교하며 각각의 가로축과 직교하고, 각각의 가로축이 반응기의 중심 세로축과 직교하고 각각의 날개의 폭의 방향으로 연장되어

있고, 제1 각도가 제2 각도보다 크고, 바람직하게는, 제1 각도가 15 내지 70°, 예컨대, 20 내지 60°, 30 내지 55°, 35 내지 60°, 35 내지 55°, 또는 40 내지 50°의 범위에 있고/거나, 제2 각도가 10 내지 60°, 예컨대, 10 내지 55°, 15 내지 50°, 20 내지 45°, 20 내지 40°, 또는 25 내지 35°의 범위에 있고/거나, 제1 각도가 적어도 5 내지 40°, 예컨대, 5 내지 30°, 8 내지 25°, 5 내지 20°, 또는 10 내지 20°만큼 제2 각도와 상이한, 반응기.

[0408] 57. 양태 35 내지 양태 56 중 어느 한 양태에 있어서, 적어도 하나의 스월링 요소(들)가 관형 도관의 내부 표면 및/또는 공급원료 랜스의 외부 표면에 부착되거나 그에 일체로 형성되며, 적어도 하나의 스월링 요소(들)가 바람직하게는 관형 도관의 내부 표면 및/또는 공급원료 랜스의 외부 표면에 교체 가능하게 부착되는, 반응기.

[0409] 58. 양태 35 내지 양태 57 중 어느 한 양태에 있어서, 관형 도관이 추가로 흐름 방향에 대해 스월링 요소 앞에 위치하는 유입 깔때기를 포함하고, 유입 깔때기의 직경이 바람직하게는 흐름 방향을 따라 연속적으로 감소하고, 바람직하게는 유입 깔때기의 최소 직경에 대한 최대 직경의 직경 비율이 1 초과 내지 3, 예컨대, 1.1 내지 2 또는 1.5 내지 2의 범위에 있는, 반응기.

[0410] 59. 양태 35 내지 양태 58 중 어느 한 양태에 있어서, 공급원료 주입 수단이 적어도 하나의 주입 개구 및/또는 적어도 하나의 노즐을 포함하고, 적어도 하나의 주입 개구 및/또는 적어도 하나의 노즐이 반응기의 중심 세로축에 실질적으로 직교하고/거나, 반응기의 중심 세로축에 대해서 70 내지 90°, 예컨대, 75 내지 89°, 80 내지 88°의 범위의 각도로 배열되는, 반응기.

[0411] 60. 양태 35 내지 양태 59 중 어느 한 양태에 있어서, 반응기가, 바람직하게는 쿨링 매질(quenching medium)을 반응기의 중심 세로축을 따라 흐름 통로 내로 주입하거나 열 교환기를 사용하여 온도를 낮추는 수단을 포함한, 반응 챔버에 후속되어 하류에 있는 쿨링 챔버(quenching chamber)를 추가로 포함하는, 반응기.

[0412] 61. 양태 1 내지 양태 34 중 어느 한 양태에 따르면, 바람직하게는 양태 35 내지 양태 60 중 어느 한 양태에 따른 반응기를 사용하여 생산된 카본 블랙.

[0413] 62. 반응기에서의 소적의 형성(또는 반응기에서의 응축)을 방지하기 위한, 바람직하게는 양태 1 내지 양태 34 중 어느 한 양태에 따른 방법을 사용하는, 양태 35 내지 양태 60 중 어느 한 양태에 따른 반응기에서, 카본 블랙의 생산을 위한 최소 몰 백분율의 플라스마 가스, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라스마 가스, 및/또는 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 물질(바람직하게는, 가스의 온도보다 낮은 임계 온도를 갖는 플라스마 가스)의 용도로서, 플라스마 가스와 카본 블랙 공급원료가 플라스마 구역에 가스를 가하기 전에 혼합되고, 최소 몰 백분율이, 카본 블랙 공급원료를 포함하는 플라스마 가스의 전체 물량을 기준으로, $X_{\text{회석제}}$ 보다 크고, $X_{\text{회석제}}$ 가 식(V), 식(IX) 및/또는 식(XVII)에 따라서 계산되고,

$$x_{\text{회석제}} = \max\left(1 - \frac{P_0 \exp\left(-\frac{\Delta_{\text{vap}}H_m}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}}H_m}{RT_b}\right)}{P}, 0\right) \cdot 100 \quad \text{식(V)}$$

[0414] 여기서, $X_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, $P[\text{Pa}]$ 는 플라스마 가스 혼합물의 압력이고, $P_0[\text{Pa}]$ 는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}}H_m[\text{J/mol}]$ 은 카본 블랙 공급원료의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, $R[\text{J/mol/K}]$ 은 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, $T[\text{K}]$ 는 시스템 온도 또는 플라스마 가스 혼합물의 온도이고, $T_b[\text{K}]$ 는 카본 블랙 공급원료의 정상(대기압 $P_0 = 101325 \text{ Pa}$ 에서) 끓는 온도이고,

$$x_{\text{회석제}} = \max\left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^N \frac{x_i \cdot \bar{g}_i}{100 P_i^s}}, 0\right) \cdot 100 \quad \text{식(IX)}$$

[0416] 여기서, $X_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, $P[\text{Pa}]$ 는 플라스마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물이고, $\sum_{i=1}^N$ 은 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료 내의 화합물들의 화합물 지수이고, $x_i^{\text{회석}}$ 는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 몰 백분율이고, $P_i^s[\text{Pa}]$ 는 플라스마 가스 온도 $T[\text{K}]$ 에서의 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물 i 의 증기압이고, P_i^s 는 식(X)에 따라서 계산되고,

[0418]

$$P_i^s = P_0 \exp\left(-\frac{\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \quad \text{식(X)}$$

[0419]

P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}$ [J/mol]는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(I)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i}$ [K]는 카본 블랙 공급원료 내의 각각의 화합물의 정상(대기압 $P_0 = 101325$ Pa에서) 끓는 온도이고,

[0420]

$$x_{\text{회석제}} = \max\left(1 - \frac{1}{P \sum_{i=1}^{10} \frac{x_{\text{증기}}^{\text{증기}}}{P_{\text{증기},i}^s}}, 0\right) \cdot 100 \quad \text{식(XVII)}$$

[0421]

여기에서, $x_{\text{회석제}}$ 는 회석이고, P [Pa]는 플라즈마 가스 혼합물의 압력이고, i 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플이고, $\sum_{i=1}^{10}$ 는 i 가 1부터 N 까지의 합이고, i 는 카본 블랙 공급원료의 샘플의 화합물 지수이고, $x_{\text{증기}}^{\text{증기}}$ 는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 몰 백분율이고, $P_{\text{증기},i}^s$ [Pa]는 플라즈마 가스 온도 T [K]에서의 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플 i 의 증기압이고, $P_{\text{증기},i}^s$ 는 식(XVIII)에 따라서 계산되고,

[0422]

$$P_{\text{증기},i}^s = P_0 \exp\left(-\frac{\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}}{RT_{b,i}}\right) \quad \text{식(XVIII)}$$

[0423]

P_0 [Pa]는 101325 Pa로 설정된 대기압이고, $\Delta_{\text{vap}}H_{m,i}$ [J/mol]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상 몰 증발 엔탈피(예를 들면, 식(XIII)에 따라서 계산됨)이고, R [J/mol/K]는 보편 기체 상수, 즉, 8.314463 J/mol/K이고, T [K]는 시스템 온도 또는 플라즈마 가스 혼합물의 온도이고, $T_{b,i}$ [K]는 카본 블랙 공급원료의 각각의 샘플의 정상(대기압 $P_0 = 101325$ Pa에서) 끓는 온도이고,

[0424]

바람직하게는 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 $x_{\text{회석제}}$ 초과 내지 ($x_{\text{회석제}} + 20$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 1$ mol-%) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 15$ mol-%)이고, 더욱 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 3$ mol-%) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 12$ mol-%)이고, 가장 바람직하게는, 플라즈마 가스의 몰 퍼센트는 ($x_{\text{회석제}} + 5$ mol-%) 내지 ($x_{\text{회석제}} + 10$ mol-%)인, 용도.

[0425]

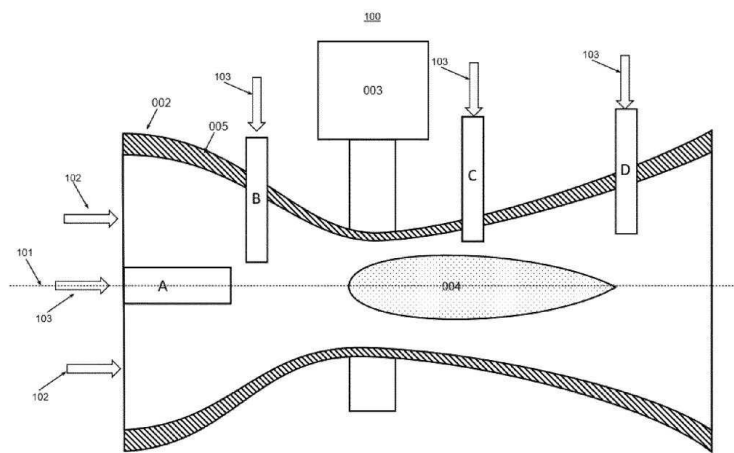
62. 반응기에서의 소적의 형성(또는 반응기에서의 응축)을 방지하기 위한, 바람직하게는 양태 1 내지 양태 34 중 어느 한 양태에 따른, 반응기의 중심 세로축을 따라 흐름 통로를 갖는 카본 블랙을 생산하기 위한, 반응기, 바람직하게는 양태 35 내지 양태 60 중 어느 한 양태에 따른 반응기에서 카본 블랙 공급원료를 위한 적어도 두 개의 주입 수단의 용도로서, 반응기가 (A) 반응 챔버, (B) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단, 및 (C) 반응 챔버에서 플라즈마를 생성시켜 플라즈마 구역을 형성시키는 수단을 포함하고, (i) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 상류에 위치되고/거나, (ii) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역에 위치되지만, 바람직하게는 플라즈마가 생성되는 영역 뒤에 위치되고/거나, (iii) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 하류에, 바람직하게는 플라즈마 구역의 바로 뒤에 위치되는, 용도.

[0426]

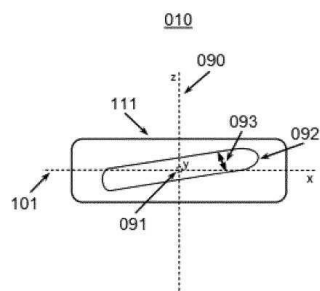
63. 양태 62에 있어서, 적어도 두 개의 주입 수단이 (i) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역의 상류에 위치되고, (ii) 카본 블랙 공급원료를 공급하기 위한 주입 수단이 플라즈마 구역에 위치되지만, 바람직하게는 플라즈마가 생성되는 영역 뒤에 위치되는 것인, 용도.

도면

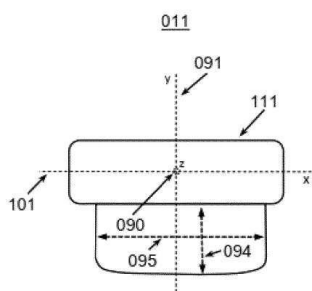
도면1



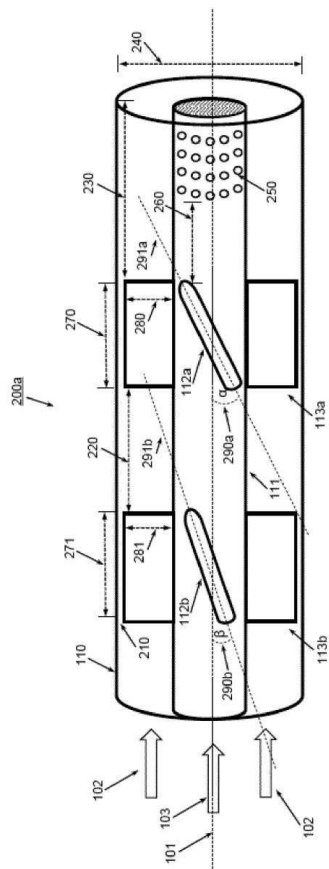
도면2



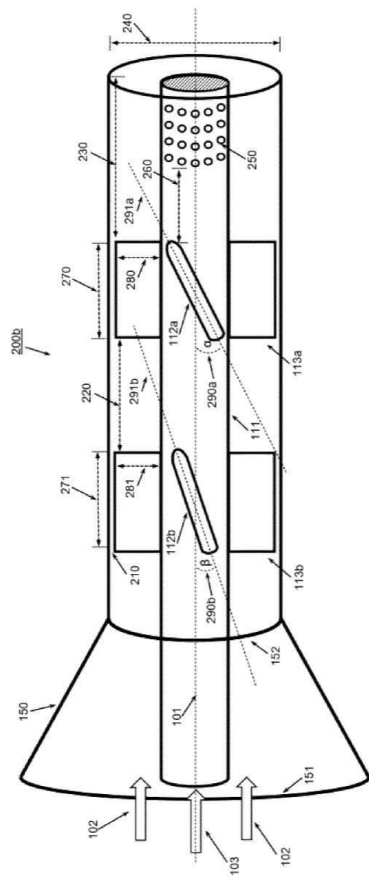
도면3



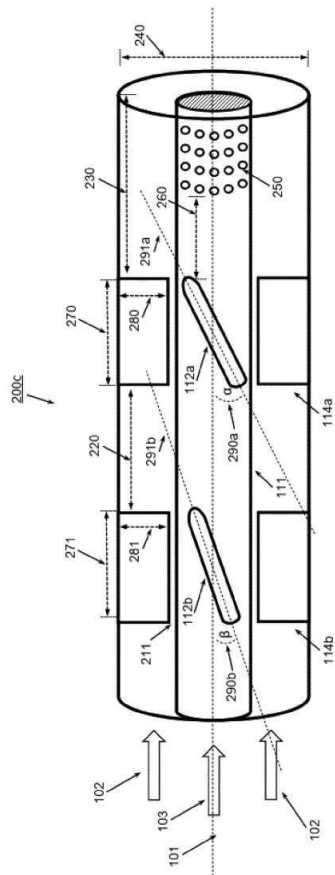
도면4



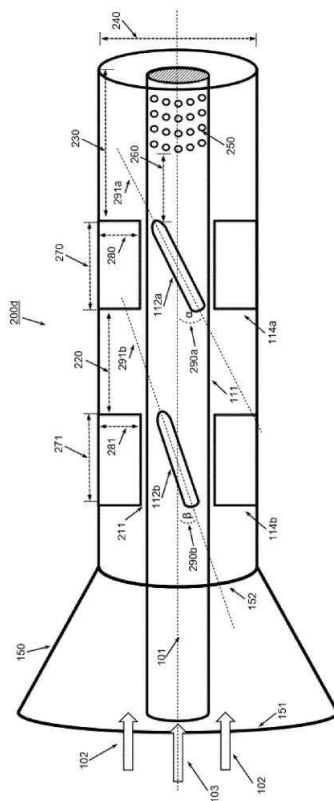
도면5



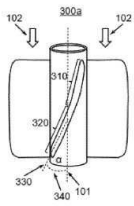
도면6



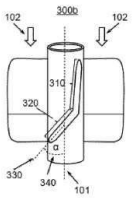
도면7



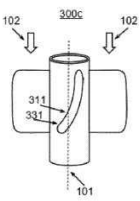
도면8



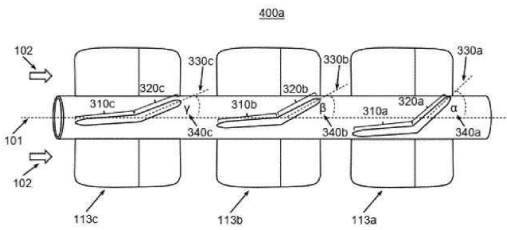
도면9



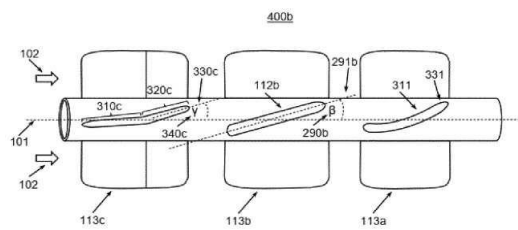
도면10



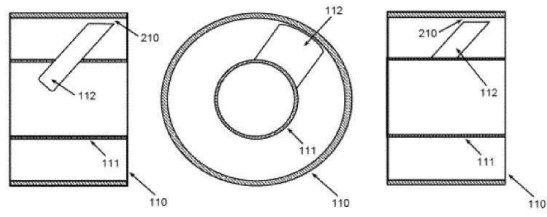
도면11



도면12



도면13



도면14

