



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년02월23일
(11) 등록번호 10-2640561
(24) 등록일자 2024년02월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A24F 40/50 (2020.01) A24F 40/60 (2020.01)
A24F 40/65 (2024.01) G06F 30/28 (2020.01)
(52) CPC특허분류
A24F 40/50 (2022.01)
A24F 40/60 (2022.01)
(21) 출원번호 10-2020-0142924
(22) 출원일자 2020년10월30일
심사청구일자 2020년10월30일
(65) 공개번호 10-2022-0057847
(43) 공개일자 2022년05월09일
(56) 선행기술조사문헌
JP2008108147 A*
KR101363964 B1*
KR1020090000644 A*
KR1020200122392 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
주식회사 케이티앤지
대전광역시 대덕구 벚꽃길 71 (평촌동)
(72) 발명자
정용미
대전광역시 유성구 가정로 30
정은미
대전광역시 유성구 가정로 30
(74) 대리인
임형철, 한상욱, 서범준

전체 청구항 수 : 총 11 항

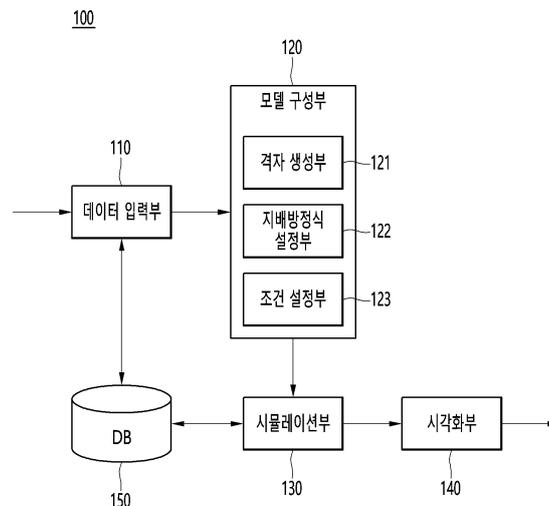
심사관 : 양경진

(54) 발명의 명칭 에어로졸 시뮬레이션 장치 및 그 방법

(57) 요약

에어로졸 시뮬레이션 장치 및 그 방법이 제공된다. 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 에어로졸 시뮬레이션 장치는, 타겟 에어로졸 발생 물품의 구조데이터를 포함하는 시뮬레이션 기초데이터를 입력받는 데이터 입력부, 시뮬레이션 기초데이터에 기반하여 CFD(Computational Fluid Dynamics) 모델을 구성하는 모델 구성부 및 구성된 CFD 모델을 이용하여 타겟 에어로졸 발생 물품에서 나타나는 열전달 현상과 에어로졸의 유동 현상을 시뮬레이션 하는 시뮬레이션부를 포함할 수 있다. 이러한 에어로졸 시뮬레이션 장치는 CFD 모델을 통해 물품 내부의 열전달 현상과 에어로졸 유동 현상에 대한 시뮬레이션 기능을 제공함으로써, 에어로졸 발생 물품의 연구 개발에 투입되는 인적 비용과 시간 비용을 절감시킬 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

A24F 40/65 (2024.01)

G06F 30/28 (2020.01)

명세서

청구범위

청구항 1

타깃 에어로졸 발생 물품의 구조데이터를 포함하는 시뮬레이션 기초데이터를 입력받는 데이터 입력부;

상기 시뮬레이션 기초데이터에 기반하여 CFD(Computational Fluid Dynamics) 모델을 구성하는 모델 구성부; 및

상기 구성된 CFD 모델을 이용하여 상기 타깃 에어로졸 발생 물품에서 나타나는 열전달 현상과 에어로졸의 유동 현상을 시뮬레이션하는 시뮬레이션부를 포함하되,

상기 모델 구성부는,

상기 구조데이터에 기반하여 계산격자를 생성하는 격자 생성부;

상기 CFD 모델의 지배방정식을 설정하는 지배방정식 설정부; 및

상기 CFD 모델의 초기조건 및 경계조건을 설정하는 조건 설정부를 포함하고,

상기 격자 생성부는 관심 영역에 대응하여 계산 격자 영역의 조밀도를 조절하고,

상기 지배방정식 설정부는 제1 지배방정식 및 제2 지배방정식을 상기 CFD 모델의 지배방정식으로 설정하고,

상기 시뮬레이션부는 상기 설정된 제1 지배방정식 및 제2 지배방정식을 연계하여 계산함으로써 상기 에어로졸의 유동 현상과 상기 열전달 현상을 시뮬레이션하되,

상기 제1 지배방정식은 상기 에어로졸의 유동에 관한 방정식이고,

상기 제2 지배방정식은 상기 타깃 에어로졸 발생 물품 내의 열전달에 관한 방정식인,

에어로졸 시뮬레이션 장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 시뮬레이션부는 상기 설정된 지배방정식, 상기 설정된 초기조건 및 상기 설정된 경계조건에 따라 상기 에어로졸의 유동 현상과 연관된 시뮬레이션 변수의 값을 계산을 계산하되, 상기 생성된 계산격자에 포함된 계산셀에 대하여 복수의 시간 스텝에 걸쳐 반복적인 계산을 수행하고,

상기 격자 생성부는 상기 반복적인 계산 도중에 상기 시뮬레이션 변수의 값이 기준치 이상으로 변동되는 계산셀을 탐지하고, 상기 탐지된 계산셀을 복수개로 분할하는,

에어로졸 시뮬레이션 장치.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 시뮬레이션부는 상기 설정된 지배방정식, 상기 설정된 초기조건 및 상기 설정된 경계조건에 따라 상기 에어로졸의 유동 현상과 연관된 시뮬레이션 변수의 값을 계산하되, 상기 생성된 계산격자에 포함된 계산셀에 대하여 복수의 시간 스텝에 걸쳐 반복적인 계산을 수행하고,

상기 격자 생성부는 상기 반복적인 계산 도중에 상기 시뮬레이션 변수의 값이 기준치 이하로 변동되는 복수개의 계산셀을 탐지하고, 상기 탐지된 복수개의 계산셀을 병합하는,

에어로졸 시뮬레이션 장치.

청구항 5

제1 항에 있어서,
 상기 조건 설정부는 상기 구조데이터에 기반하여 상기 에어로졸의 유동과 관련된 벽면의 경계조건을 설정하는,
 에어로졸 시뮬레이션 장치.

청구항 6

제1 항에 있어서,
 상기 시뮬레이션 기초데이터는 퍼프데이터를 더 포함하고,
 상기 조건 설정부는 상기 퍼프데이터에 기반하여 상기 에어로졸에 대한 유동경계조건을 설정하되,
 상기 유동경계조건은 상기 타깃 에어로졸 발생 물품으로부터 상기 에어로졸이 토출되는 하류 말단 영역에 설정
 되는 경계조건인 것인,
 에어로졸 시뮬레이션 장치.

청구항 7

제1 항에 있어서,
 상기 시뮬레이션 기초데이터는 상기 타깃 에어로졸 발생 물품을 가열하는 히터의 온도 프로파일을 더 포함하고,
 상기 조건 설정부는 상기 온도 프로파일에 기반하여 열 경계조건을 설정하는,
 에어로졸 시뮬레이션 장치.

청구항 8

제7 항에 있어서,
 상기 시뮬레이션 기초데이터는 상기 히터의 가열 구조에 관한 데이터를 더 포함하고,
 상기 조건 설정부는 상기 히터의 가열 구조에 기반하여 상기 히터로부터 타깃 에어로졸 발생 물품으로 열이 전
 달되는 경계영역을 결정하고, 상기 결정된 경계영역에 상기 열 경계조건을 설정하는,
 에어로졸 시뮬레이션 장치.

청구항 9

삭제

청구항 10

제1 항에 있어서,
 상기 시뮬레이션부는,
 상기 생성된 계산격자 내에서 상기 설정된 초기조건 및 상기 설정된 경계조건에 따라 상기 설정된 지배방정식을
 계산함으로써 상기 타깃 에어로졸 발생 물품 내의 온도 분포를 도출하고,
 상기 도출 결과에 기반하여 온도가 기준치 이하인 계산격자 영역을 검출하는,
 에어로졸 시뮬레이션 장치.

청구항 11

제1 항에 있어서,
 상기 시뮬레이션의 결과를 시각화하는 시각화부를 더 포함하는,
 에어로졸 시뮬레이션 장치.

청구항 12

컴퓨팅 장치에서 수행되는 에어로졸 시뮬레이션 방법에 있어서,
 타깃 에어로졸 발생 물품의 구조 데이터를 포함하는 시뮬레이션 기초데이터를 입력받는 단계;
 상기 시뮬레이션 기초데이터에 기반하여 CFD(Computational Fluid Dynamics) 모델을 구성하는 단계; 및
 상기 구성된 CFD 모델을 이용하여 상기 타깃 에어로졸 발생 물품에서 나타나는 열전달 현상과 에어로졸의 유동 현상을 시뮬레이션하는 단계를 포함하되,
 상기 CFD 모델을 구성하는 단계는,
 상기 구조 데이터에 기반하여 계산 격자를 생성하는 단계,
 상기 CFD 모델의 지배방정식을 설정하는 단계, 및
 상기 시뮬레이션 기초데이터에 기반하여 초기조건 및 경계조건을 설정하는 단계를 포함하고,
 상기 계산 격자를 생성하는 단계는 관심 영역에 대응하여 계산 격자 영역의 조밀도를 조절하되,
 상기 CFD 모델의 지배방정식을 설정하는 단계는 제1 지배방정식 및 제2 지배방정식을 상기 CFD 모델의 지배방정식으로 설정하는 단계를 포함하고,
 상기 시뮬레이션하는 단계는 상기 설정된 제1 지배방정식 및 상기 설정된 제2 지배방정식을 연계하여 계산함으로써 상기 에어로졸의 유동 현상과 상기 열전달 현상을 시뮬레이션하는 단계를 포함하되,
 상기 제1 지배방정식은 상기 에어로졸의 유동에 관한 방정식이고,
 상기 제2 지배방정식은 상기 타깃 에어로졸 발생 물품 내의 열전달에 관한 방정식인,
 에어로졸 시뮬레이션 방법.

청구항 13

컴퓨팅 장치와 결합되어 컴퓨터로 판독가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램에 있어서,
 상기 컴퓨터 프로그램은,
 타깃 에어로졸 발생 물품의 구조 데이터를 포함하는 시뮬레이션 기초데이터를 입력받는 단계;
 상기 시뮬레이션 기초데이터에 기반하여 CFD(Computational Fluid Dynamics) 모델을 구성하는 단계; 및
 상기 구성된 CFD 모델을 이용하여 상기 타깃 에어로졸 발생 물품에서 나타나는 열전달 현상과 에어로졸의 유동 현상을 시뮬레이션하는 단계를 실행하고,
 상기 CFD 모델을 구성하는 단계는,
 상기 구조 데이터에 기반하여 계산 격자를 생성하는 단계,
 상기 CFD 모델의 지배방정식을 설정하는 단계, 및
 상기 시뮬레이션 기초데이터에 기반하여 초기조건 및 경계조건을 설정하는 단계를 포함하고,
 상기 계산 격자를 생성하는 단계는 관심 영역에 대응하여 계산 격자 영역의 조밀도를 조절하되,
 상기 CFD 모델의 지배방정식을 설정하는 단계는 제1 지배방정식 및 제2 지배방정식을 상기 CFD 모델의 지배방정식으로 설정하는 단계를 포함하고,
 상기 시뮬레이션하는 단계는 상기 설정된 제1 지배방정식 및 상기 설정된 제2 지배방정식을 연계하여 계산함으로써 상기 에어로졸의 유동 현상과 상기 열전달 현상을 시뮬레이션하는 단계를 포함하되,
 상기 제1 지배방정식은 상기 에어로졸의 유동에 관한 방정식이고,
 상기 제2 지배방정식은 상기 타깃 에어로졸 발생 물품 내의 열전달에 관한 방정식인,
 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 에어로졸 시뮬레이션 장치 및 그 방법에 관한 것이다. 보다 자세하게는, 에어로졸 발생 물품 내에서 발생하는 에어로졸 현상을 시뮬레이션할 수 있는 장치 및 그 장치에서 수행되는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 근래에 일반적인 쉐련의 단점들을 극복하는 대체 방법에 관한 수요가 증가하고 있다. 예를 들어, 쉐련을 전기적으로 가열함으로써 에어로졸을 발생시키는 장치(e.g. 전자담배 디바이스)와 그 장치에 적용되는 새로운 구조의 쉐련 스틱에 관한 수요가 증가하고 있다. 이에 따라, 쉐련형 에어로졸 발생 장치와 쉐련 스틱에 대한 연구 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

[0003] 통상적으로, 쉐련 스틱에 대한 연구 개발은 요구사항 설정, 설계, 제조 및 검증 순으로 진행된다. 가령, 쉐련 스틱의 무화량 개선을 위한 연구 개발의 경우에는, 목표 무화량 설정, 쉐련 스틱의 구조 설계, 제조 및 흡연 실험을 통한 무화량 검증 순서로 연구 개발이 진행될 수 있다. 그런데, 이러한 연구 개발 프로세스는 때때로 반복적인 제조와 실제 실험을 요구하여, 연구 개발에 투입되는 인적 비용과 시간 비용이 상당히 증가시킬 수 있다. 가령, 설계 상의 결함이 마지막 검증 단계에서 비로소 발견됨으로써, 다시 쉐련 스틱을 설계하고 제조하는 일이 빈번하게 발생될 수 있다.

[0004] 따라서, 연구 개발에 투입되는 인적 비용 및 시간 비용을 절감하고, 연구 개발의 효율성을 강화하기 위해서는, 쉐련 스틱 내의 다양한 에어로졸 현상을 시뮬레이션할 수 있는 방법이 절실히 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 개시의 몇몇 실시예들을 통해 해결하고자 하는 기술적 과제는, 에어로졸 발생 물품에서 나타나는 열전달 현상과 에어로졸의 유동 현상을 시뮬레이션할 수 있는 장치 및 그 장치에서 수행되는 방법을 제공하는 것이다.

[0006] 본 개시의 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 개시의 기술분야에서의 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 기술적 과제를 해결하기 위한, 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 에어로졸 시뮬레이션 장치는, 타깃 에어로졸 발생 물품의 구조데이터를 포함하는 시뮬레이션 기초데이터를 입력받는 데이터 입력부, 상기 시뮬레이션 기초데이터에 기반하여 CFD(Computational Fluid Dynamics) 모델을 구성하는 모델 구성부 및 상기 구성된 CFD 모델을 이용하여 상기 타깃 에어로졸 발생 물품에서 나타나는 열전달 현상과 에어로졸의 유동 현상을 시뮬레이션하는 시뮬레이션부를 포함할 수 있다.

[0008] 몇몇 실시예들에서, 상기 모델 구성부는, 상기 구조데이터에 기반하여 계산격자를 생성하는 격자 생성부, 상기 CFD 모델의 지배방정식을 설정하는 지배방정식 설정부 및 상기 CFD 모델의 초기조건 및 경계조건을 설정하는 조건 설정부를 포함할 수 있다.

[0009] 몇몇 실시예들에서, 상기 조건 설정부는 상기 구조데이터에 기반하여 상기 에어로졸의 유동과 관련된 벽면의 경계조건을 설정할 수 있다.

[0010] 몇몇 실시예들에서, 상기 시뮬레이션 기초데이터는 퍼프데이터를 더 포함하고, 상기 조건 설정부는 상기 퍼프데이터에 기반하여 상기 에어로졸에 대한 유동경계조건을 설정하되, 상기 유동경계조건은 상기 타깃 에어로졸 발생 물품으로부터 상기 에어로졸이 토출되는 하류 말단 영역에 설정되는 경계조건일 수 있다.

[0011] 몇몇 실시예들에서, 상기 시뮬레이션 기초데이터는 상기 타깃 에어로졸 발생 물품을 가열하는 히터의 온도 프로파일을 더 포함하고, 상기 조건 설정부는 상기 온도 프로파일에 기반하여 열 경계조건을 설정할 수 있다.

[0012] 몇몇 실시예들에서, 상기 시뮬레이션 기초데이터는 상기 히터의 가열 구조에 관한 데이터를 더 포함하고, 상기 조건 설정부는 상기 히터의 가열 구조에 기반하여 상기 히터로부터 타깃 에어로졸 발생 물품으로 열이 전달되는

경계영역을 결정하고, 상기 결정된 경계영역에 상기 열 경계조건을 설정할 수 있다.

- [0013] 몇몇 실시예들에서, 상기 지배방정식 설정부는 제1 지배방정식 및 제2 지배방정식을 상기 CFD 모델의 지배방정식으로 설정하고, 상기 시물레이션부는 상기 설정된 제1 지배방정식 및 제2 지배방정식을 연계하여 계산함으로써 상기 에어로졸의 유동 현상과 상기 열전달 현상을 시물레이션하되, 상기 제1 지배방정식은 상기 에어로졸의 유동에 관한 방정식이고, 상기 제2 지배방정식은 상기 타깃 에어로졸 발생 물품 내의 열전달에 관한 방정식일 수 있다.
- [0014] 몇몇 실시예들에서, 상기 시물레이션부는, 상기 생성된 계산격자 내에서 상기 설정된 초기조건 및 상기 설정된 경계조건에 따라 상기 설정된 지배방정식을 계산함으로써 상기 타깃 에어로졸 발생 물품 내의 온도 분포를 도출하고, 상기 도출 결과에 기반하여 온도가 기준치 이하인 계산격자 영역을 검출할 수 있다.
- [0015] 몇몇 실시예들에서, 상기 시물레이션의 결과를 시각화하는 시각화부를 더 포함할 수 있다.
- [0016] 상술한 기술적 과제를 해결하기 위한 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 에어로졸 시물레이션 방법은, 컴퓨팅 장치에서 수행되는 에어로졸 시물레이션 방법에 있어서, 타깃 에어로졸 발생 물품의 구조 데이터를 포함하는 시물레이션 기초데이터를 입력받는 단계, 상기 시물레이션 기초데이터에 기반하여 CFD(Computational Fluid Dynamics) 모델을 구성하는 단계 및 상기 구성된 CFD 모델을 이용하여 상기 타깃 에어로졸 발생 물품에서 나타나는 열전달 현상과 에어로졸의 유동 현상을 시물레이션하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0017] 상술한 기술적 과제를 해결하기 위한 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 컴퓨터 프로그램은, 컴퓨팅 장치와 결합되어, 타깃 에어로졸 발생 물품의 구조 데이터를 포함하는 시물레이션 기초데이터를 입력받는 단계, 상기 시물레이션 기초데이터에 기반하여 CFD(Computational Fluid Dynamics) 모델을 구성하는 단계 및 상기 구성된 CFD 모델을 이용하여 상기 타깃 에어로졸 발생 물품에서 나타나는 열전달 현상과 에어로졸의 유동 현상을 시물레이션하는 단계를 실행시키기 위하여 컴퓨터 판독가능한 기록매체에 저장될 수 있다.

발명의 효과

- [0018] 상술한 본 개시의 몇몇 실시예들에 따르면, CFD 모델을 통해 타깃 에어로졸 발생 물품에서 발생하는 에어로졸 현상이 시물레이션될 수 있다. 이에 따라, 타깃 에어로졸 발생 물품에 대한 제조 및 실험 없이도 설계 결과가 용이하게 검증될 수 있으며, 에어로졸 발생 물품의 연구 개발에 투입되는 인적 비용 및 시간 비용이 크게 절감될 수 있다.
- [0019] 또한, 에어로졸 유동에 관한 지배방정식과 열전달에 관한 지배방정식을 연계하여 풀이함으로써, 타깃 에어로졸 발생 물품에서 나타나는 열전달 현상과 에어로졸 유동 현상이 정확하게 시물레이션될 수 있다.
- [0020] 또한, 에어로졸의 유동, 열전달, 화학반응 및 물질이송에 관한 복수의 지배방정식을 연계하여 풀이함으로써, 에어로졸 발생 물품 내의 다양한 에어로졸 현상이 정확하게 시물레이션될 수 있다.
- [0021] 또한, 시물레이션 변수값의 변동 정도에 기초하여 계산격자의 조밀도가 동적으로 조절될 수 있다. 가령, 시물레이션 변수값의 변동 정도가 큰 계산격자 영역의 조밀도는 증가하고, 변동 정도가 작은 계산격자 영역의 조밀도는 감소될 수 있다. 이에 따라, 중요하지 않은 계산격자 영역에 투입되는 컴퓨팅 비용이 절감될 수 있고, 중요한 계산격자 영역에 대해서는 시물레이션의 정확도가 향상될 수 있다.
- [0022] 본 개시의 기술적 사상에 따른 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 에어로졸 시물레이션 장치를 나타내는 예시적인 구성도이다.
- 도 2는 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 격자 생성부의 동작을 설명하기 위한 예시적인 도면이다.
- 도 3은 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 지배방정식 설정부의 동작과 지배방정식 간의 연계 관계를 설명하기 위한 예시적인 도면이다.
- 도 4 및 도 5는 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 조건 설정부의 동작을 설명하기 위한 예시적인 도면이다.
- 도 6 및 도 7은 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 시물레이션부의 동작을 설명하기 위한 예시적인 도면이다.

도 8 내지 도 10은 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 시각화부에 의해 시각화된 시뮬레이션 결과를 예시한다.

도 11은 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 에어로졸 시뮬레이션 방법을 나타내는 예시적인 흐름도이다.

도 12는 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 시뮬레이션 장치를 구현할 수 있는 예시적인 컴퓨팅 장치를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 개시의 바람직한 실시예들을 상세히 설명한다. 본 개시의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 개시의 기술적 사상은 이하의 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 이하의 실시예들은 본 개시의 기술적 사상을 완전하도록 하고, 본 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 개시의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 개시의 기술적 사상은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.
- [0025] 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 한다. 또한, 본 개시를 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 개시의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.
- [0026] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다. 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 개시를 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다.
- [0027] 또한, 본 개시의 구성요소를 설명하는 데 있어서, 제1, 제2, A, B, (a), (b) 등의 용어를 사용할 수 있다. 이러한 용어는 그 구성요소를 다른 구성요소와 구별하기 위한 것일 뿐, 그 용어에 의해 해당 구성요소의 본질이나 차례 또는 순서 등이 한정되지 않는다. 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결", "결합" 또는 "접속"된다고 기재된 경우, 그 구성요소는 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되거나 또는 접속될 수 있지만, 각 구성요소 사이에 또 다른 구성요소가 "연결", "결합" 또는 "접속"될 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.
- [0028] 본 개시에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0029] 본 개시의 다양한 실시예들에 대한 설명에 앞서, 실시예들에서 사용되는 몇몇 용어들에 대하여 명확하게 하기로 한다.
- [0030] 이하의 실시예들에서, "에어로졸 형성 기재"는 에어로졸(aerosol)을 형성할 수 있는 물질을 의미할 수 있다. 에어로졸은 휘발성 화합물을 포함할 수 있다. 에어로졸 형성 기재는 고체 또는 액상일 수 있다. 예를 들면, 고체의 에어로졸 형성 기재는 판상엽 담배, 각초, 재구성 담배 등 담배 원료를 기초로 하는 고체 물질을 포함할 수 있으며, 액상의 에어로졸 형성 기재는 니코틴, 담배 추출물, 보습제 및/또는 다양한 향미제를 기초로 하는 액상 조성물을 포함할 수 있다. 그러나, 본 개시의 범위가 상기 열거된 예시에 한정되는 것은 아니다.
- [0031] 이하의 실시예들에서, "에어로졸 발생 물품"은 에어로졸을 발생시킬 수 있는 물품(article)을 의미할 수 있다. 에어로졸 발생 물품은 에어로졸 형성 기재를 포함할 수 있다. 에어로졸 발생 물품의 대표적인 예로는 쥘런 스틱을 들 수 있을 것이나, 본 개시의 범위가 이러한 예시에 한정되는 것은 아니다.
- [0032] 이하의 실시예들에서, "에어로졸 발생 장치"는 사용자의 입을 통해 사용자의 폐로 직접적으로 흡입 가능한 에어로졸을 발생시키기 위해 에어로졸 형성 기재 또는 에어로졸 발생 물품을 이용하여 에어로졸을 발생시키는 장치를 의미할 수 있다. 에어로졸 발생 장치는 예를 들어 쥘런 스틱을 통해 에어로졸을 발생시키는 장치를 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0033] 이하의 실시예들에서, "상류"(upstream) 또는 "상류 방향"은 흡연자의 구부로부터 멀어지는 방향을 의미하고, "하류"(downstream) 또는 "하류 방향"은 흡연자의 구부로부터 가까워지는 방향을 의미할 수 있다. 상류 및 하류라는 용어는 흡연 물품을 구성하는 요소들의 상대적 위치를 설명하기 위해 이용될 수 있다. 예를 들어, 도 2에 예시된 에어로졸 발생 물품(200)에서, 마우스피스 세그먼트(240)는 냉각 세그먼트(230)의 하류 또는 하류 방향에 위치하고, 냉각 세그먼트(230)는 마우스피스 세그먼트(240)의 상류 또는 상류 방향에 위치한다.

- [0034] 이하의 실시예들에서, "퍼프(puff)"는 사용자의 흡입(inhalation)을 의미하며, 흡입이란 사용자의 입이나 코를 통해 사용자의 구강 내, 비강 내 또는 폐로 끌어 당기는 상황을 의미할 수 있다.
- [0035] 이하, 본 개시의 몇몇 실시예들에 대하여 첨부된 도면에 따라 상세하게 설명한다.
- [0036] 도 1은 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 에어로졸 시뮬레이션 장치(100)를 나타내는 예시적인 구성도이다.
- [0037] 에어로졸 시뮬레이션 장치(100)는 타겟(target) 에어로졸 발생 물품에서 발생하는 에어로졸 현상을 시뮬레이션 할 수 있는 컴퓨팅 장치일 수 있다. 여기서, 타겟 에어로졸 발생 물품은 시뮬레이션 대상이 되는 에어로졸 발생 물품을 의미할 수 있다. 또한, 에어로졸 발생 물품은 에어로졸 발생 장치를 통해 에어로졸을 발생시키는 물품으로서, 예를 들어 켈런 스틱이 될 수 있을 것이나, 이에 한정되는 것은 아니다. 또한, 에어로졸 발생 장치는 예를 들어 삽입된 켈런 스틱을 가열하여 에어로졸을 발생시키는 장치일 수 있을 것이나, 이에 한정되는 것은 아니다. 이하에서는, 설명의 편의상, 에어로졸 시뮬레이션 장치(100)를 "시뮬레이션 장치"(100)로 약칭하도록 한다.
- [0038] 시뮬레이션 장치(100)는 하나 이상의 컴퓨팅 장치로 구현될 수 있다. 다시 말해, 시뮬레이션 장치(100)는 단일 컴퓨팅 장치로 구현될 수도 있고, 복수의 컴퓨팅 장치로 구현될 수도 있다. 예컨대, 시뮬레이션 장치(100)의 제 1 기능은 제 1 컴퓨팅 장치에서 구현되고, 제 2 기능은 제 2 컴퓨팅 장치에서 구현될 수 있다. 또는, 시뮬레이션 장치(100)의 특정 기능이 복수의 컴퓨팅 장치에서 구현될 수도 있다.
- [0039] 상기 컴퓨팅 장치는 예를 들어 노트북, 데스크톱(desktop), 랩탑(laptop), 등이 될 수 있으나, 이에 국한되는 것은 아니며 컴퓨팅 기능이 구비된 모든 종류의 장치를 포함할 수 있다. 컴퓨팅 장치의 일 예시에 관하여서는 도 12를 참조하도록 한다.
- [0040] 도 1에 도시된 바와 같이, 실시예에 따른 시뮬레이션 장치(100)는 데이터 입력부(110), 모델 구성부(120), 시뮬레이션부(130), 시각화부(140) 및 DB(150)를 포함할 수 있다. 단, 이는 본 개시의 목적을 달성하기 위한 바람직한 실시예일뿐이며, 필요에 따라 일부 구성요소가 추가되거나 생략될 수 있음은 물론이다. 또한, 도 1에 도시된 시뮬레이션 장치(100)의 각각의 구성요소들(e.g. 110)은 기능적으로 구분되는 기능요소들을 나타낸 것으로서, 복수의 구성요소(e.g. 110)가 실제 물리적 환경에서는 서로 통합되는 형태로 구현될 수도 있음에 유의한다. 물론, 실제 물리적 환경에서 상기 각각의 구성요소들(e.g. 110)은 복수의 기능요소로 세분화되는 형태로 구현될 수도 있다. 이하, 시뮬레이션 장치(100)의 각 구성요소들(e.g. 110)에 대하여 설명하도록 한다.
- [0041] 데이터 입력부(110)는 타겟 에어로졸 발생 물품에 관한 시뮬레이션 기초데이터를 입력받을 수 있다. 시뮬레이션 기초데이터는 예를 들어 에어로졸 발생 물품의 종류, 에어로졸 발생 물품의 구조데이터, 에어로졸 발생 물품을 구성하는 재료(e.g. 에어로졸 형성 기재, 래퍼 등)에 관한 데이터(이하, "재료관련데이터"), 에어로졸 발생 물품을 가열하는 히터에 관한 데이터(이하, "히터관련데이터"), 퍼프데이터, 시뮬레이션 설정과 관련된 데이터(이하, "설정관련데이터") 등을 포함할 수 있을 것이나, 이에 한정되는 것은 아니며, 시뮬레이션과 관련된 다양한 데이터를 더 포함할 수 있다. 데이터 입력부(110)를 통해 입력된 시뮬레이션 기초데이터는 DB(150)에 저장될 수 있다.
- [0042] 상기 구조데이터는 에어로졸 발생 물품의 구조를 나타내거나 정의할 수 있는 다양한 데이터를 포함할 수 있다. 예를 들어, 구조데이터는 에어로졸 발생 물품에 대한 모델링데이터(e.g. 2D 모델링 데이터, 3D 모델링 데이터), 에어로졸 발생 물품의 체제데이터(e.g. 길이, 직경, 내부 구조 등), 에어로졸 발생 물품에 형성된 천공 구조(e.g. 천공 크기, 개수, 위치, 배열 형태 등)에 관한 데이터(이하, "천공관련데이터") 등을 포함할 수 있다. 등을 포함할 수 있다. 그러나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0043] 또한, 상기 재료관련데이터는 예를 들어 에어로졸 형성 기재(e.g. 니코틴, 글리세린/프로필렌글리콜 등의 보습제, 각초/관상엽 등의 담배 물질 등)의 종류, 함량 및 물성(e.g. 점도, 다공도, 투수율, 밀도 등), 필터 물질(e.g. 셀룰로오스 아세테이트 섬유)의 함량과 물성(e.g. 다공도, 투수율 등), 래퍼의 사양(e.g. 두께, 길이 등)과 물성(e.g. 기공도, 열전도율 등) 등을 포함할 수 있다. 그러나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0044] 또한, 상기 히터관련데이터는 히터의 온도 프로파일(e.g. 시간에 따른 가열 온도), 히터의 가열 구조에 관한 데이터(e.g. 가열 방식, 가열 위치, 형상, 길이, 두께 등), 히터의 유형(e.g. 내부 가열식, 외부 가열식, 전기 저항성 히터, 유도 가열식 히터) 등을 포함할 수 있다. 그러나, 이에 한정되는 것은 아니다. 히터의 가열 방식은 내부 가열식과 외부 가열식으로 구분될 수 있을 것이나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0045] 또한, 상기 퍼프데이터는 사용자의 퍼프를 나타내거나 정의할 수 있는 다양한 데이터를 포함할 수 있다. 예를 들어, 퍼프데이터는 퍼프 횟수, 퍼프 강도, 퍼프 간격 등에 관한 데이터를 포함할 수 있다. 그러나, 이에 한정

되는 것은 아니다. 참고로, 퍼프레이터의 형태는 다양할 수 있는데, 예를 들어 시간에 따른 부피유량의 형태로 정의될 수 있다(도 5의 360 참조).

- [0046] 또한, 상기 시뮬레이션 설정관련데이터는 예를 들어 시뮬레이션 수행 시간(또는 시간 스텝의 개수), 시뮬레이션 정확도, 계산격자(calculation grid or computation grid)의 형태(e.g. 2D, 3D, 정렬형, 비정렬형), 계산격자의 조밀도, 계산셀(cell)의 개수, 시뮬레이션 목표요소, 지배방정식의 종류, 초기조건, 경계조건, 관심 영역 등을 포함할 수 있다. 그러나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0047] 상기 시뮬레이션 목표요소는 시뮬레이션을 통해 도출하고자 요소를 의미하는 것으로서, 예를 들어 온도 분포, 농도 분포(e.g. 니코틴, 보습제 등의 농도 분포), 속도 분포(e.g. 에어로졸의 속도 분포), 에어로졸 이행량(즉, 무화량), 흡인저항 등을 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 시뮬레이션을 통해 목표요소의 값을 도출하는 방법에 관하여서는 후술하도록 한다.
- [0048] 한편, 데이터 입력부(110)가 시뮬레이션 기초데이터를 입력받는 방식은 어떠한 방식이 되더라도 무방하다. 예를 들어, 데이터 입력부(110)는 웹 인터페이스(e.g. 웹 GUI)를 통해 시뮬레이션 기초데이터를 입력받을 수 있다. 또는, 데이터 입력부(110)는 로컬 저장소에 저장된 파일로부터 시뮬레이션 기초데이터를 입력받을 수도 있다. 물론, 데이터 입력부(110)는 웹 인터페이스를 통해 파일의 형태로 시뮬레이션 기초데이터를 입력받을 수도 있다.
- [0049] 몇몇 실시예들에서는, 데이터 입력부(110)가 시뮬레이션 가능한 에어로졸 발생 물품의 리스트를 제공하고, 사용자로부터 타깃 에어로졸 발생 물품을 선택받을 수도 있다. 그러면, 데이터 입력부(110)는 DB(150)를 조회하여 타깃 에어로졸 발생 물품에 대한 시뮬레이션 기초데이터를 획득할 수 있다.
- [0050] 다음으로, 모델 구성부(120)는 입력된 시뮬레이션 기초데이터에 기반하여 타깃 에어로졸 발생 물품의 에어로졸 현상을 시뮬레이션하기 위한 CFD(Computational Fluid Dynamics) 모델을 구성할 수 있다. CFD 모델은 유체 현상을 해석하기 위한 모델을 의미하는데, 당해 기술 분야의 종사자라면 CFD 모델에 대하여 자명하게 이해할 수 있을 것인 바, 이에 대한 자세한 설명은 생략하도록 한다.
- [0051] 도시된 바와 같이, 모델 구성부(120)는 격자 생성부(121), 지배방정식 설정부(122) 및 조건 설정부(123)를 포함하도록 구성될 수 있다. 이하, 모델 구성부(120)의 구성요소에 대하여 설명하도록 한다.
- [0052] 격자 생성부(121)는 시뮬레이션 기초데이터에 기반하여 계산격자를 생성할 수 있다. 계산격자는 격자 형태로 이루어진 계산영역을 의미하는데, 계산격자를 구성하는 각 계산셀이 시뮬레이션 계산의 최소 단위가 될 수 있다. 따라서, 계산셀의 개수가 증가할수록(즉, 계산격자가 조밀할수록) 시뮬레이션 정확도가 증가되고, 시뮬레이션에 소요되는 컴퓨팅 비용 또한 증가될 수 있다. 반대로, 계산셀의 개수가 감소할수록(즉, 계산격자가 조밀하지 않을수록) 시뮬레이션 정확도는 떨어지고 컴퓨팅 비용도 감소될 수 있다. 계산격자는 정렬 격자 또는 비정렬 격자의 형태를 가질 수 있으며, 2차원의 격자일 수 있고 3차원의 격자일 수도 있다. 당해 기술 분야의 종사자라면, CFD 모델의 계산격자에 대하여 자명하게 이해할 수 있을 것인 바, 이에 대한 더 이상의 자세한 설명은 생략하도록 한다.
- [0053] 구체적으로, 격자 생성부(121)는 타깃 에어로졸 발생 물품의 구조데이터에 기반하여 타깃 에어로졸 발생 물품의 물리적 구조에 대응되는 계산격자를 생성할 수 있다. 격자 생성부(121)는 계산격자에 관한 시뮬레이션 설정관련 데이터(e.g. 계산격자의 형태, 계산셀의 개수, 조밀도 등)에 더 기반하여 계산격자를 생성할 수도 있다. 보다 이해의 편의를 제공하기 위해, 도 2에 도시된 예를 참조하여 부연 설명하도록 한다.
- [0054] 도 2는 복수의 세그먼트(210 내지 240)로 구성된 타깃 에어로졸 발생 물품(200)에 대한 계산격자(300)를 생성하는 것을 예시하고 있으며, 도 2에 도시된 화살표는 에어로졸(A)의 이동 경로를 나타내고 있다.
- [0055] 도 2에 도시된 바와 같이, 타깃 에어로졸 발생 물품(200)이 전단 필터 세그먼트(210), 에어로졸 형성 기재 세그먼트(220), 냉각 세그먼트(230) 및 마우스피스 세그먼트(240) 및 래퍼(250)로 구성되었다고 가정하자. 또한, 전단 필터 세그먼트(210)는 중공 채널을 포함하는 셀룰로오스 아세테이트 필터이고, 에어로졸 형성 기재 세그먼트(220)는 에어로졸 형성 기재를 포함하며, 냉각 세그먼트(230)는 에어로졸을 냉각시키기 위한 중공 채널을 포함하는 지관 필터이고, 마우스피스 세그먼트(240)는 셀룰로오스 아세테이트 필터라고 가정하자. 본 개시의 논지를 흐리지 않기 위해, 각 세그먼트(210 내지 240)에 관한 자세한 설명은 생략하도록 한다. 또한, 타깃 에어로졸 발생 물품(200)은 에어로졸 발생 장치(미도시)의 외부 가열식 히터(260)에 의해 가열되어 에어로졸을 발생시킨다고 가정하자.

- [0056] 위와 같은 경우, 격자 생성부(121)는 타깃 에어로졸 발생 물품(200)의 구조데이터(e.g. 2D or 3D 모델링 데이터, 체제 데이터)에 기반하여 타깃 에어로졸 발생 물품(200)의 물리적 구조에 대응되는 계산격자(300)를 생성할 수 있다. 가령, 격자 생성부(121)에 의해 생성된 계산격자(300)는 타깃 에어로졸 발생 물품(200)을 구성하는 각 세그먼트(210 내지 240)에 대응되는 계산격자 영역(310 내지 340)을 포함할 수 있다.
- [0057] 다시 도 1을 참조하여 설명한다.
- [0058] 몇몇 실시예들에서는, 격자 생성부(121)가 시뮬레이션 장치(100)의 컴퓨팅 성능 및/또는 가용 컴퓨팅 자원에 기반하여 계산셀의 개수 및/또는 계산격자의 조밀도를 조절할 수 있다. 예를 들어, 가용 컴퓨팅 자원(또는 컴퓨팅 성능)이 기준치 이상인 경우, 격자 생성부(121)는 3차원의 계산격자를 생성하거나 조밀도가 높은 2차원의 계산격자를 생성하는 등 계산셀의 개수를 증가시킬 수 있다. 반대의 경우, 격자 생성부(121)는 2차원의 계산격자를 생성하거나 조밀도가 낮은 3차원의 계산격자를 생성하는 등 계산셀의 개수를 감소시킬 수 있다. 이러한 경우, 시뮬레이션 장치(100)의 컴퓨팅 성능 및/또는 가용 컴퓨팅 자원을 고려하여 시뮬레이션이 효율적으로 수행될 수 있다.
- [0059] 또한, 몇몇 실시예들에서는, 격자 생성부(121)가 관심 영역에 대응되는 계산격자 영역의 조밀도(또는 계산셀 개수)를 증가시킬 수 있다. 예를 들어, 타깃 에어로졸 발생 물품(e.g. 200)의 마우스피스 세그먼트(e.g. 240)가 관심 영역으로 지정된 경우, 격자 생성부(121)는 마우스피스 세그먼트(e.g. 240)에 대응되는 계산격자 영역(e.g. 340)의 조밀도를 증가시킬 수 있다. 이러한 경우, 관심 영역에 대한 시뮬레이션 정확도가 향상될 수 있다.
- [0060] 또한, 몇몇 실시예들에서는, 격자 생성부(121)가 에어로졸의 이동(유동) 경로와 연관성이 높은 제1 계산격자 영역(e.g. 320, 330, 340)의 조밀도(또는 계산셀의 개수)를 증가시키고, 연관성이 낮은 제2 계산격자 영역(e.g. 310)의 조밀도를 감소시킬 수 있다. 여기서, 에어로졸의 이동 경로와 연관성이 높은 영역은 예를 들어 에어로졸의 생성에 영향을 미치는 영역, 에어로졸의 이동 경로와 그 인접 영역을 포함할 수 있을 것이나, 이에 한정되는 것은 아니며, 다양하게 정의될 수 있다. 가령, 격자 생성부(121)는 제1 계산격자 영역에 포함된 계산셀의 개수가 제2 계산격자 영역보다 많도록 계산격자를 생성할 수 있다. 이러한 경우, 에어로졸의 이동 경로와 그 인접 영역에 대한 시뮬레이션 정확도가 향상될 수 있다.
- [0061] 또한, 몇몇 실시예들에서는, 격자 생성부(121)가 시뮬레이션 수행 중에 동적으로 계산격자의 조밀도(또는 계산셀의 개수)를 조절할 수도 있다. 가령, 격자 생성부(121)는 특정 계산셀을 분할하거나 복수의 계산셀을 병합함으로써 계산셀의 개수를 조절할 수 있는데, 본 실시예와 관련하여서는 추후 도 6을 참조하여 부연 설명하도록 한다.
- [0062] 다음으로, 지배방정식 설정부(122)는 CFD 모델의 지배방정식(governing equation)을 설정할 수 있다. 상기 지배방정식은 유체 현상을 정의하거나 유체 현상에 영향을 미치는 다양한 변수(e.g. 온도, 압력 등)와의 관계를 기술하고 있는 방정식을 의미하는데, 당해 기술 분야의 종사자라면 지배방정식의 개념에 대하여 이미 숙지하고 있을 것인 바 이에 대한 설명은 생략하도록 한다. 이하에서는, 보다 이해의 편의를 제공하기 위해, 실시예에 따른 CFD 모델에 적용될 수 있는 지배방정식의 종류와 연계 관계에 대하여 도 3을 참조하여 설명하도록 한다.
- [0063] 도 3에 예시된 바와 같이, 상기 지배방정식은 에어로졸의 유동 현상을 시뮬레이션하기 위한 유동 방정식(410)과 열전달 현상을 시뮬레이션하기 위한 열전달 방정식(420)을 포함하고, 그 외에 화학반응 방정식(430) 및 물질이송 방정식(440)을 더 포함할 수 있다. 그러나, 이에 한정되는 것은 아니다. 화학반응 방정식(430) 및 물질이송 방정식(440)은 에어로졸의 유동 현상과 열전달 현상을 보다 정확하게 시뮬레이션하기 위해 또는 에어로졸의 유동 현상과 열전달 현상 외에 물리 화학적 현상들(e.g. 에어로졸의 발생, 물질 이송 등)까지 복합적으로 시뮬레이션하기 위해 이용될 수 있다. 이하, 도 3에 예시된 지배방정식(410 내지 440)에 관하여 설명하도록 한다.
- [0064] 유동 방정식(410)은 에어로졸의 유동 현상을 기술하는 방정식으로, 예를 들어 에어로졸 속도(u)와 압력(p) 간의 관계를 나타내거나, 에어로졸 속도(u)와 압력(p) 중 적어도 하나를 변수로 갖는 수식일 수 있다. 보다 구체적인 예로서, 유동 방정식(410)은 질량 보존 방정식(또는 연속 방정식)과 나비에-스토크스 방정식(Navier-Stokes' equation)과 같은 운동량 방정식(momentum equation) 등을 포함할 수 있다. 그러나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0065] 질량 보존 방정식과 운동량 방정식의 일 예시는 하기의 수학식 1 및 수학식 2에 기재되어 있다. 하기의 수학식 1은 질량 보존의 법칙으로부터 유도된 방정식이고, 하기의 수학식 2는 운동량 보존의 법칙으로부터 유도된 방정식(또는 운동량 보존 방정식)으로서 유체의 속도, 압력 및 점도 등의 관계를 나타내는 수식이다.

[0066] [수학식 1]

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \nabla \cdot (n_i) = 0 \quad n_i = \rho_i u$$

[0068] [수학식 2]

$$\rho_{eja} \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) = -\nabla p + \nabla \cdot \left[\left\{ \mu_{eja} (\nabla u + (\nabla u)^T) - \frac{2}{3} \mu_{eja} (\nabla \cdot u) I \right\} \right]$$

[0070] 상기 수학식 1 및 2에서, i는 에어로졸을 구성하는 개별 유체 물질(e.g. 니코틴, 글리세린, 프로필렌글리콜, 타르, 수분 등과 같은 에어로졸 형성 기체가 증기화된 것)을 지칭하고, eja는 개별 유체 물질의 혼합체인 에어로졸을 지칭한다. 여기서, 에어로졸은 에어로졸과 공기의 혼합체를 포함할 수 있다. 그리고, ρ_i 는 물질(i)의 유체 밀도(fluid density)를 의미하고, n_i 는 물질(i)의 질량 플럭스(mass flux)를 의미하며, ρ_{eja} 는 에어로졸(eja)의 밀도를 의미하며, u는 유체 속도(fluid velocity)를 의미한다. 그리고, p는 압력을 의미하고, μ_{eja} 는 에어로졸(eja)의 점도(viscosity)를 의미하며, I는 관련 항이 텐서(tensor) 형태임(또는 텐서 형태로 변환됨)을 의미한다. 이하의 설명에서는, 본 개시의 명료함을 위해, 앞서 설명한 수학식과 중복되는 파라미터(parameter; 변수, 상수 등)에 대한 설명은 생략하도록 하고, 동일한 기호의 파라미터가 다른 의미로 사용되는 경우에는 관련 수식에서 새롭게 설명하도록 한다. 또한, 본 개시에서 언급된 수학식들의 파라미터 중 일부는 시뮬레이션 과정에서 계산될 수 있고, 다른 일부에는 실험적으로 얻어진 값이 대입될 수 있다.

[0071] 참고로, 상기 수학식 2는 좌변의 2개 항과 우변의 2개 항으로 구성되는데, 좌변의 첫번째 항은 시간에 따른 속도 변화항이고, 좌변의 두번째 항은 대류항이며, 우변의 첫번째 항은 압력 변화항이고, 우변의 두번째 항은 점도에 관한 유체 저항항이다. 또한, 에어로졸을 구성하는 물질(i)이 복수개로 설정되면, 상기 수학식 1 또한 복수개가 될 수 있으며(마찬가지로, 아래의 수학식들도 복수개가 될 수 있음), 시뮬레이션 수행 시 상기 수학식 1 및 2는 서로 연계되어 계산될 수 있다.

[0072] 한편, 도 2에 예시된 타깃 에어로졸 발생 물품(200)의 구조에서, 냉각 세그먼트(230)에서의 에어로졸 유동은 에어로졸 형성 기체 세그먼트(220) 또는 마우스피스 세그먼트(240)와 달라질 수 밖에 없다. 냉각 세그먼트(230)에서의 에어로졸 유동은 장애물이 없는 자유 흐름 영역에서의 기체 이동과 다를 바 없으나, 에어로졸 형성 기체 세그먼트(220) 또는 마우스피스 세그먼트(240)에는 에어로졸의 유동을 방해하는 다공성의 물질(e.g. 필터 물질, 담배 물질)이 존재하기 때문이다. 따라서, 에어로졸 형성 기체 세그먼트(220) 또는 마우스피스 세그먼트(240)와 같이 다공성 물질이 포함된 영역에서의 에어로졸 유동을 보다 정확하게 모사하기 위해, 유동 방정식(410)에 다르시의 법칙(Darcy's law)이 더 적용될 수 있다. 다르시의 법칙은 다공성 매체를 통과하는 유체의 흐름을 관찰하여 얻어진 경험식으로부터 유도된 법칙으로, 당해 기술 분야의 종사자라면 다르시의 법칙에 대해 이미 숙지하고 있을 것인 바, 이에 대한 자세한 설명은 생략하도록 한다. 다르시의 법칙이 적용되는 경우, 상기 수학식 1 및 2는 하기의 수학식 3 및 4의 형태로 변형될 수 있다.

[0073] [수학식 3]

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \nabla \cdot (n_i) = \dot{Q}_i \quad n_i = \rho_i u_{PM} = -\rho_i \frac{k_i}{\mu_i} \nabla p - D_i \nabla c_i$$

[0075] [수학식 4]

$$\frac{\rho_{eja}}{\phi_k} \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla \frac{u}{\phi_k} \right) = -\nabla p - \left(\frac{\mu_{eja}}{K_{eja}} + \frac{\Sigma Q_i}{\phi_k^2} \right) + \nabla \cdot \left[\left\{ \mu_{eja} (\nabla u + (\nabla u)^T) - \frac{2}{3} \mu_{eja} (\nabla \cdot u) I \right\} \right]$$

[0077] 상기 수학식 3에서, Q_i 는 물질(i)에 관한 생성항으로, 증발에 의한 기체상 물질(i)의 생성(양수 형태) 또는 액상 물질(i)의 소진(음수 형태)을 의미할 수 있으며, 질량 플럭스의 단위를 가질 수 있다. 그리고, u_{PM} 은 다공성 매체(porous medium; PM) 내에서의 유체 속도를 의미하고, k_i 는 물질(i)에 대한 다공성 매체의 투수율

(permeability)을 의미하며, D_i 는 물질(i)의 확산계수를 의미하고, c_i 는 물질(i)의 농도를 의미한다.

[0078] 상기 수학식 4는 운동량 보존 방정식인 상기 수학식 2의 속도 관련항(e.g. 속도 변화항, 대류항 등)에 다공성 매체의 다공도를 반영한 수식으로 이해될 수 있으며, k 는 다공성 매체를 지칭하고, ϕ_k 는 다공성 매체(k)의 다공도를 의미하며, K_{eja} 는 에어로졸(eja)에 대한 다공성 매체의 투수율을 의미한다.

[0079] 다음으로, 열전달 방정식(420)은 에어로졸 발생 물품 내부의 열 전달을 기술하는 방정식으로, 예를 들어 에어로졸의 유동 관련 변수(e.g. 속도 u , 압력 p)와 온도(T)와의 관계를 나타내거나, 에어로졸 유동 관련 변수(e.g. 속도 u , 압력 p)와 온도(T) 중 적어도 하나를 변수로 갖는 수식일 수 있다. 예를 들어, 열전달 방정식(420)은 에너지 보존 방정식을 포함할 수 있다. 그러나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0080] 에너지 보존 방정식의 일 예시는 하기의 수학식 5 및 6에 기재되어 있다. 하기의 수학식 5는 자유 흐름 영역에 적용될 수 있는 에너지 보존 방정식을 나타내고, 하기의 수학식 6은 다공성 매체 영역에 적용될 수 있는 에너지 보존 방정식을 나타낸다.

[0081] [수학식 5]

$$\rho_{eja} C_{p,eja} \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\sum_i n_i h_i + n_a h_a \right) = \nabla \cdot (k_{eja} \nabla T)$$

[0082]

[수학식 6]

$$(\rho C_p)_{eff} \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\sum_i n_i h_i + n_a h_a + \sum_j n_j h_j \right) = \nabla \cdot (k_{eff,tot} \nabla T) - \sum H_{evap,i} \dot{Q}_i + \dot{q}$$

[0084]

[0085] 상기 수학식 5 및 6에서, i 는 기체(증기)상의 개별 유체 물질(즉, 기체 상의 에어로졸 형성 기체)을 지칭하고, j 는 액체상의 개별 유체 물질(즉, 액체상의 에어로졸 형성 기체)을 지칭하며, tot 는 복수의 개별 물질(i, j)을 포함하는 전체 물질을 지칭한다. 그리고, $C_{p,eja}$ 는 에어로졸(eja)의 열용량(C_p)을 의미하고, T 는 온도를 의미하며, h_i 는 물질(i)의 열전달 계수를 의미한다. 그리고, a 는 공기(air)를 지칭하고, n_a 는 공기(a)의 질량 플럭스를 의미하며, h_a 는 공기(a)의 열전달 계수를 의미하고, k_{eja} 는 에어로졸(eja)의 열전도율을 의미한다. 그리고, eff 는 다공성 매체 내에서 기체상과 액상이 혼재하는 상태(e.g. 액상의 니코틴과 기체상의 니코틴이 혼재하는 상태, 기체 에어로졸과 액화된 에어로졸이 혼재하는 상태)를 지칭하고, $C_{p,eff}$ 는 혼재 상태(eff)에서 전체 물질(tot)의 열용량을 의미하며, n_j 는 물질(j)의 질량 플럭스를 의미하고, h_j 는 물질(j)의 열전달 계수를 의미하며, $k_{eff,tot}$ 는 혼재 상태(eff)에서 전체 물질(tot)의 열전도율을 의미한다. 그리고, $H_{evap,i}$ 는 물질(i)의 기화 열용량을 의미하고, q 는 온도에 관한 생성항으로 에어로졸 발생 물품 내의 별도의 발열 물질이 존재하지 않는 경우에는 0으로 설정될 수 있다.

[0086] 다음으로, 화학반응 방정식(430)은 에어로졸 생성에 관한 화학반응을 기술하는 방정식으로, 예를 들어 에어로졸과 연관된 화학반응속도(K)와 물질 농도(c) 및 온도(T)와의 관계를 나타내거나, 상기 화학반응속도(K)와 물질 농도(c) 및 온도(T) 중 적어도 하나를 변수로 갖는 수식일 수 있다. 예를 들어, 화학반응 방정식(430)은 아레니우스 방정식(Arrhenius equation), 증발량 계산식, 이상기체 방정식을 포함할 수 있다. 그러나, 이에 한정되는 것은 아니다. 아레니우스 방정식, 증발량 계산식, 이상기체 방정식의 일 예시는 각각 하기의 수학식 7, 8 및 9에 기재되어 있다.

[0087] [수학식 7]

$$k_f = A_f \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{RT} \left(1 - \frac{\alpha_i}{T}\right)\right), \quad \alpha_i = \frac{(\alpha_i/R)^2}{2(E_{oi}/R)}$$

[0088]

[수학식 8]

$$EV_i = m_{evap,i} = K_i(a_i C_{sat,i} - C_i)$$

[0090]

[0091] [수학식 9]

$$c_{sat} = \frac{P_{sat}(T)}{RT}$$

[0092]

[0093] 상기 수학식 7 내지 9에서, K_f 는 반응속도상수를 의미하고, A_f 는 빈도인자를 의미하며, E_a 는 활성화에너지를 의미하고, R 은 기체상수를 의미하며, α_i 는 물질(i)의 반응속도 변수(kinetic parameter)를 의미하고, E_{0i} 는 물질(i)의 초기 활성화에너지를 의미한다. 그리고, EV_i 와 $m_{evap,i}$ 는 물질(i)의 증발량(e.g. $Kg/(m^3*s)$ or $mol/(m^3*s)$)을 의미하고, K_i 는 물질(i)의 증발속도상수를 의미하며, $C_{sat,i}$ 는 물질(i)의 포화농도를 의미하고, C_i 는 물질(i)의 농도를 의미한다. 그리고, a_i 는 물질(i)에 대한 포화농도($C_{sat,i}$)를 실제 환경(또는 시뮬레이션 목적)에 맞게 조절(제어)하는 인자로서, 적절한 값으로 설정될 수 있다. 포화농도($C_{sat,i}$)는 수학식 9의 포화농도(c_{sat}) 계산식에 기초하여 계산될 수 있으며, 수학식 7 내지 9는 연계되어 계산될 수 있다.

[0094] 참고로, 빈도인자(A_f)와 반응속도 변수(α_i)의 값은 실험적으로 얻을 수 있는데, 예를 들어 TGA-DSC, TG-FTIR, GC-mass, LC-mass 등의 기법을 통해 얻을 수 있다. 또한, 수학식 7의 반응속도상수(K_f)의 값은 수학식 8의 증발속도상수(K_i)에 적용(대입)될 수 있고, 수학식 9의 포화농도(c_{sat}) 값은 수학식 8의 포화농도(C_{sat})에 적용(대입)될 수 있다.

[0095] 다음으로, 물질이송 방정식(440)은 에어로졸 발생 물품 내에서의 물질 이송을 기술하는 방정식으로, 예를 들어 에어로졸 속도(u)와 이송량과의 관계를 나타내거나, 에어로졸 속도(u)와 이송량 중 적어도 하나를 변수로 갖는 수식일 수 있다. 예를 들어, 물질이송 방정식(440)은 종이송 방정식(species transport equation)을 포함할 수 있다. 그러나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0096] 종이송 방정식의 일 예시는 하기의 수학식 10 및 11에 기재되어 있다. 하기의 수학식 10은 자유 흐름 영역에 적용될 수 있는 이송 방정식을 나타내고, 하기의 수학식 11은 다공성 매체 영역에 적용될 수 있는 이송 방정식을 나타낸다.

[0097] [수학식 10]

$$\rho_i \left(\frac{\partial \xi_i}{\partial t} + u \cdot \nabla \xi_i \right) = -D_i \nabla^2 \xi_i + \rho_e j_a \frac{\partial \xi_i}{\partial t}$$

[0098]

[0099] [수학식 11]

$$\phi_k \rho_i \left(\frac{\partial \xi_i}{\partial t} + u_{PM} \cdot \nabla \xi_i \right) = -D_{eff,i} \nabla^2 \xi_i + \phi_k \rho_e j_a \frac{\partial \xi_i}{\partial t}$$

[0100]

[0101] 상기 수학식 10 및 11에서, ξ_i 는 물질(i)의 이송량으로 질량 플럭스 또는 농도의 단위를 가질 수 있고, D_i 는 물질(i)의 확산계수를 의미하며, $D_{eff,i}$ 는 다공성 매체 내에서 액체상과 기체상이 혼재된 상태(eff)에 있는 물질(i)의 확산계수를 의미한다. 기타 다른 파라미터의 의미는 앞선 수학식을 참조하도록 한다.

[0102] 참고로, 수학식 11의 속도항(u_{PM} 관련항)은 수학식 10의 속도항(u 관련항)에 다르시의 법칙이 적용된 것으로 이해될 수 있고, 수학식 11의 확산항($D_{eff,i}$ 관련항)은 액체상과 기체상의 혼합으로 이루어진 유체의 특성을 표현하는 식으로 변형된 것으로 이해될 수 있다.

[0103] 지금까지 설명한 지배방정식들은 도 3에 도시된 바와 같이 서로 연계되어 계산될 수 있다. 예를 들어, 상기 수학식 1 내지 11이 CFD 모델의 지배방정식으로 설정된 경우, 수학식 1 내지 4와 같은 유동 방정식(e.g. 410)을 통해 계산된 속도(u) 값 또는 압력(p) 값이 수학식 10 또는 11과 같은 물질이송 방정식(e.g. 440)에 적용(대입)될 수 있다. 다른 예로서, 수학식 5 또는 6과 같은 열전달 방정식(e.g. 420)을 통해 계산된 온도(T) 값이 수학식 7 내지 9와 같은 화학반응 방정식(e.g. 430)에 적용(대입)될 수 있다. 또 다른 예로서, 수학식 10 또는 11와 같은 물질이송 방정식(e.g. 440)을 통해 계산된 물질 이송량(ξ) 값이 수학식 7 내지 9와 같은 화학반응 방

정식(e.g. 430)의 농도(C) 값에 영향을 미칠 수 있다. 또 다른 예로서, 수학식 5 또는 6과 같은 열전달 방정식(e.g. 420)을 통해 계산된 온도(T) 값이 수학식 1 내지 4와 같은 유동 방정식(e.g. 410)의 밀도(ρ), 점도(μ), 확산계수(D) 등에 영향을 미칠 수 있다.

[0104] 이와 같이, 특정 지배방정식을 통해 계산된 변수의 값은 다른 지배방정식에 적용(대입)되거나 영향을 미침으로써, 복수의 지배방정식이 서로 연계되어 계산될 수 있으며, 이에 따라 타깃 에어로졸 발생 물품에서 나타나는 에어로졸 유동 현상과 열전달 현상뿐만 아니라 다른 복합적인 물리 화학 현상(e.g. 에어로졸의 발생, 물질 이송 등)까지 정확하게 시뮬레이션될 수 있다. 가령, 에어로졸의 발생과 유동 현상은 화학반응, 열전달, 유체의 유동 등이 복잡하게 얽혀있는 현상인데, 복수의 지배방정식을 연계하여 계산함으로써 이러한 현상들이 정확하게 시뮬레이션될 수 있다. 참고로, 특정 지배방정식의 변수 값은 동일 시간 스텝에서 다른 지배방정식의 변수에 적용(대입)될 수도 있고, 다음 시간 스텝에서 적용(대입)될 수도 있다.

[0105] 한편, 지배방정식 설정부(122)는 사용자로부터 직접 입력받은 수식을 CFD 모델의 지배방정식으로 설정할 수 있고, 시뮬레이션 목표요소에 기초하여 자동으로 지배방정식을 설정할 수도 있다. 가령, 시뮬레이션 목표요소가 무화량인 경우, 지배방정식 설정부(122)는 유동 방정식(410), 열전달 방정식(420), 화학반응 방정식(430) 및 물질이송 방정식(440)을 CFD 모델의 지배방정식으로 설정할 수 있다. 다른 예로서, 시뮬레이션 목표요소가 흡인저항인 경우, 지배방정식 설정부(122)는 유동 방정식(410)만을 CFD 모델의 지배방정식으로 설정할 수 있다. 또 다른 예로서, 시뮬레이션 목표 요소가 온도 분포인 경우, 지배방정식 설정부(122)는 유동 방정식(410)과 열전달 방정식(420)을 CFD 모델의 지배방정식으로 설정할 수 있다.

[0106] 다시 도 1을 참조하여 시뮬레이션 장치(100)의 다른 구성요소에 대한 설명을 이어가도록 한다.

[0107] 조건 설정부(123)는 CFD 모델의 초기조건 및/또는 경계조건을 설정할 수 있다. 초기조건 및/또는 경계조건은 시뮬레이션을 정확하게 수행하기 위해 설정되는 조건들로서, 수치 해석 기법을 통해 지배방정식을 풀이하는 데 이용될 수 있다.

[0108] 상기 초기조건은 다양한 시뮬레이션 변수의 초기값을 설정하는 조건을 포함할 수 있고, 조건 설정부(123)는 시뮬레이션 기초데이터 및/또는 입력된 초기값(DB 150에 미리 저장된 초기값)에 따라 초기조건을 설정할 수 있다. 예를 들어, 타깃 에어로졸 발생 물품의 시뮬레이션 변수(e.g. 지배방정식의 변수들)가 속도(에어로졸의 속도), 압력, 온도 및 농도(e.g. 구성 물질의 농도)를 포함하는 경우, 도 4에 도시된 바와 같이, 조건 설정부(123)는 계산격자(300)를 구성하는 각 계산셀(e.g. 321, 341)에 대해 속도, 압력, 온도 및 농도에 대한 초기조건(e.g. 322, 342)을 설정할 수 있다.

[0109] 보다 구체적인 예로서, 조건 설정부(123)는 재료관련데이터(e.g. 구성 물질의 함량 데이터)에 기반하여 물질 농도에 대한 초기조건을 설정할 수 있다. 이를테면, 조건 설정부(123)는 물질(e.g. 담배 물질, 보습제 등)의 함량(e.g. 충전량)을 상기 물질이 포함된 부분(e.g. 에어로졸 형성 기체 세그먼트 260)의 부피로 나누어 농도값을 구하고, 구해진 농도값을 초기조건으로 설정할 수 있다. 또한, 조건 설정부(123)는 [속도 = 0], [압력 = 1기압], [온도 = 상온]과 같은 형태로 속도, 압력 및 온도에 대한 초기조건을 설정할 수 있다. 흡연 시작 전에는 히터에서 열이 발생되지 않고 에어로졸 발생 물품 내에 에어로졸의 유동도 없을 것이기 때문이다.

[0110] 상기 경계조건은 에어로졸의 유동, 히터의 열, 물질의 전달 등에 관한 다양한 경계조건을 포함할 수 있고, 조건 설정부(123)는 시뮬레이션 기초데이터 또는 입력된 경계조건에 따라 CFD 모델의 경계조건을 설정할 수 있다.

[0111] 예를 들어, 조건 설정부(123)는 퍼프데이터에 기반하여 에어로졸 토출(흡입)에 관한 유동 경계조건을 설정할 수 있다. 또한, 조건 설정부(123)는 상기 구조 데이터에 기반하여 에어로졸의 유동을 제한하거나 차단하기 위한 벽면 경계조건(e.g. non-slip)을 설정할 수 있다. 가령, 조건 설정부(123)는 타깃 에어로졸 발생 물품의 하류 말단이 아닌 다른 방향으로 에어로졸이 이동하는 것을 제한하거나 차단하기 위한 벽면 경계조건을 설정할 수 있다. 또한, 조건 설정부(123)는 히터관련데이터에 기반하여 열 경계조건을 설정할 수 있으며, 타깃 에어로졸 발생 물품(200)의 재료관련데이터에 기반하여 유동 또는 물질 전달에 관한 경계 조건(e.g. 벽면 경계 조건)을 설정할 수 있다. 이외에도, 조건 설정부(123)는 재료관련데이터(e.g. 래퍼의 종류, 물성 등)에 기초하여 단일 경계 조건을 설정할 수도 있다. 보다 이해의 편의를 제공하기 위해, 도 5를 참조하여 경계조건을 설정하는 예에 관하여 부연 설명하도록 한다.

[0112] 도 5는 퍼프데이터(360)와 히터의 온도 프로파일(350)에 기반하여 유동 경계조건과 열 경계조건을 설정하는 예를 도시하고 있다. 참고로, 도 5는 퍼프데이터(360)가 시간(t)에 따른 부피유량(Qv; ml/s)의 변화로 정의된 것을 예로써 도시하고 있으며, 부피유량의 변화가 특정 시점(t1) 이후에 발생하는 것은 예열이 완료된 이후(t1 시

점)에 퍼프가 발생하는 것을 모사한 것으로 이해될 수 있다.

- [0113] 도 5에 도시된 바와 같이, 조건 설정부(123)는 히터의 온도 프로파일(350)과 가열 구조에 관한 데이터에 기반하여 열 경계조건을 설정할 수 있다. 가령, 조건 설정부(123)는 히터의 가열 구조에 기반하여 히터로부터 타깃 에어로졸 발생 물품(e.g. 200)으로 열이 전달되는 경계영역(370, 380)을 결정하고, 결정된 경계영역(370, 380)에 온도 프로파일(350)에 따른 경계조건을 설정할 수 있다. 이러한 경우, 히터의 가열 구조 및 온도 프로파일에 의한 가열이 CFD 모델에 정확하게 반영될 수 있다.
- [0114] 참고로, 도 6은 타깃 에어로졸 발생 물품(e.g. 200)을 가열하는 히터(e.g. 260)가 외부 가열식이기 때문에(도 2 참조), 경계영역(370, 380)이 타깃 에어로졸 발생 물품(e.g. 200)의 외곽부에 형성되는 것을 예로써 도시하고 있을 뿐이고, 히터의 가열 구조가 변경되면 열전달과 관련된 경계영역(e.g. 370, 380)은 다른 위치에 형성될 수 있다. 가령, 대상 히터가 내부 가열식인 경우, 상기 경계영역(e.g. 370, 380)은 타깃 에어로졸 발생 물품의 내부에 형성될 수 있다.
- [0115] 또한, 조건 설정부(123)는 퍼프데이터(360)에 기반하여 유동 경계조건을 설정할 수 있다. 가령, 조건 설정부(1230)는 퍼프에 의해 에어로졸이 토출되는 하류 말단 영역(390)에 유동 경계조건을 설정할 수 있다. 이러한 경우, 퍼프에 의한 에어로졸의 흡입이 CFD 모델에 정확하게 반영될 수 있다.
- [0116] 다시 도 1을 참조하여 설명한다.
- [0117] 다른 예로서, 조건 설정부(123)는 천공관련데이터에 기반하여 천공에 관한 유동경계조건을 설정할 수 있다. 이때, 천공관련데이터는 타깃 에어로졸 발생 물품에 형성되어 있는 천공의 위치, 개수, 배열 형태, 천공을 통해 유입되는 외기의 부피유량, 외기의 온도 등에 관한 데이터를 포함할 수 있고, 상기 유동경계조건은 상기 천공관련데이터에 기반하여 천공을 통해 외기가 유입되는 경계영역에 설정될 수 있다. 본 예시에서, 천공에 관한 유동 경계조건이 설정되면, 천공을 통해 유입되는 외기의 유량과 온도를 고려하여 에어로졸 현상(e.g. 에어로졸의 유동 현상, 열전달 현상)이 시뮬레이션될 수 있으며, 시뮬레이션 결과는 천공 설계에 효과적으로 활용될 수 있다.
- [0118] 다음으로, 시뮬레이션부(130)는 구성된 CFD 모델을 이용하여 타깃 에어로졸 발생 물품에 대한 에어로졸 현상을 시뮬레이션할 수 있다. 구체적으로, 시뮬레이션부(130)는 수치 해석 기법(e.g. FDM, FEM, FVM 등)을 통해 지배 방정식을 대수방정식으로 변환하고, 초기조건 및 경계조건에 따라 대수방정식을 풀이함으로써 에어로졸 현상과 연관된 시뮬레이션 변수의 값을 계산할 수 있다. 가령, 도 6에 도시된 바와 같이, 시뮬레이션부(130)는 계산격자(300)에 포함된 각 계산셀(e.g. 321, 341)에 대하여 복수의 시간 스텝에 걸쳐 시뮬레이션 변수(e.g. 속도, 압력, 온도, 농도 등)의 값을 반복적으로 계산할 수 있다. 이러한 계산 과정에 따라, 흡연에 의해 타깃 에어로졸 발생 물품 내부에서 발생하는 다양한 에어로졸 현상이 정확하게 시뮬레이션될 수 있다.
- [0119] 일 예로서, 시뮬레이션부(130)는 유동 방정식(e.g. 410)을 계산함으로써, 타깃 에어로졸 발생 물품 내의 에어로졸 유동 현상을 시뮬레이션할 수 있다. 그리고 시뮬레이션 결과로, 타깃 에어로졸 발생 물품 내의 압력 분포와 속도 분포(e.g. 에어로졸의 속도 분포)가 도출될 수 있다. 이때, 시뮬레이션부(130)는 타깃 에어로졸 발생 물품(e.g. 200)의 자유 흐름 영역 세그먼트(e.g. 냉각 세그먼트 230)에 대응되는 계산격자 영역(e.g. 330)에 대해서는 자유 흐름 영역에 대한 유동방정식(e.g. 수학적 식 1 및 2)에 따라 계산을 수행하고, 다공성 매체 영역 세그먼트(e.g. 에어로졸 형성 기재 세그먼트 220, 마우스피스 세그먼트 240)에 대응되는 계산격자 영역(e.g. 320, 340)에 대해서는 다공성 매체 영역에 대한 유동방정식(e.g. 수학적 식 3 및 4)에 따라 계산을 수행할 수 있다. 본 예시에서, 시뮬레이션부(130)는 흡연 완료 후의 압력 분포, 특정 흡연 시점의 압력 분포, 퍼프에 따른 압력 분포 변화, 흡연 동안의 압력 분포 변화, 특정 위치의 시간에 따른 압력 변화 등을 도출할 수 있다. 또한, 시뮬레이션부(130)는 퍼프에 따른 에어로졸 이동 속도 변화, 이동 경로 등을 도출할 수도 있다. 또한, 시뮬레이션부(130)는 타깃 에어로졸 발생 물품의 양단부의 압력 차이(즉, 양단부에 대응되는 계산격자 영역 또는 계산셀의 압력값 차이)에 기초하여 타깃 에어로졸 발생 물품 전체에 대한 흡인저항을 도출할 수 있다. 유사한 방식으로, 시뮬레이션부(130)는 타깃 에어로졸 발생 물품의 일부분에 대한 흡인저항을 도출할 수도 있다. 가령, 시뮬레이션부(130)는 타깃 에어로졸 발생 물품(e.g. 200)을 구성하는 마우스피스 세그먼트(e.g. 240)의 양단부에 대응되는 계산격자 영역(또는 계산셀)의 압력값 차이에 기초하여 마우스피스 세그먼트(240)에 대한 흡인저항을 도출할 수 있다.
- [0120] 다른 예로서, 시뮬레이션부(130)는 유동 방정식(e.g. 410)과 열전달 방정식(e.g. 420)을 연계하여 계산함으로써, 타깃 에어로졸 발생 물품 내의 에어로졸 유동 현상과 열전달 현상을 시뮬레이션할 수 있다. 그리고 시뮬레이션 결과로, 타깃 에어로졸 발생 물품 내의 압력 분포, 속도 분포 및 온도 분포가 도출될 수 있다.

이때, 시뮬레이션부(130)는 타깃 에어로졸 발생 물품(e.g. 200)의 자유 흐름 영역 세그먼트(e.g. 냉각 세그먼트 230)에 대응되는 계산격자 영역(e.g. 330)에 대해서는 자유 흐름 영역에 대한 지배방정식(e.g. 수학적 식 1, 2, 5)에 따라 계산을 수행하고, 다공성 매체 영역 세그먼트(e.g. 에어로졸 형성 기재 세그먼트 220, 마우스피스 세그먼트 240)에 대응되는 계산격자 영역(e.g. 320, 340)에 대해서는 다공성 매체 영역에 대한 지배방정식(e.g. 수학적 식 3, 4, 6)에 따라 계산을 수행할 수 있다. 본 예시에서, 시뮬레이션부(130)는 흡연 완료 후의 온도 분포, 특정 흡연 시점의 온도 분포, 퍼프에 따른 온도 분포 변화, 흡연 동안의 온도 분포 변화, 특정 위치의 시간에 따른 온도 변화 등을 도출할 수 있다.

[0121] 또 다른 예로서, 시뮬레이션부(130)는 유동 방정식(e.g. 410), 열전달 방정식(e.g. 420), 화학반응 방정식(e.g. 430) 및 물질이송 방정식(e.g. 440)을 연계하여 계산함으로써, 에어로졸의 발생, 유동, 열전달 및 물질 이송을 포함하는 다양한 에어로졸 현상을 시뮬레이션할 수 있다. 그리고 시뮬레이션 결과로, 타깃 에어로졸 발생 물품 내의 압력 분포, 속도 분포, 온도 분포, 농도 분포, 화학반응속도, 외부로 토출되는 에어로졸 이송량 등이 도출될 수 있다. 이때, 시뮬레이션부(130)는 타깃 에어로졸 발생 물품(e.g. 200)의 자유 흐름 영역 세그먼트(e.g. 냉각 세그먼트 230)에 대응되는 계산격자 영역(e.g. 330)에 대해서는 자유 흐름 영역에 대한 지배방정식(e.g. 수학적 식 1, 2, 5, 7 내지 10)에 따라 계산을 수행하고, 다공성 매체 영역 세그먼트(e.g. 에어로졸 형성 기재 세그먼트 220, 마우스피스 세그먼트 240)에 대응되는 계산격자 영역(e.g. 320, 340)에 대해서는 다공성 매체 영역에 대한 지배방정식(e.g. 수학적 식 3, 4, 6, 7 내지 9, 11)에 따라 계산을 수행할 수 있다. 본 예시에서, 시뮬레이션부(130)는 타깃 에어로졸 발생 물품으로부터 에어로졸이 토출되는 하류 말단 영역에 대응되는 계산격자 영역의 에어로졸 이송량을 종합하여(즉, 상기 계산격자 영역에 포함된 계산셀의 에어로졸 이송량을 종합하여) 에어로졸 이행량(무화량)을 도출할 수 있다. 이를테면, 계산격자가 2D 격자인 경우 시뮬레이션부(130)는 면적분(surface integral)을 통해 에어로졸 이송량을 종합할 수 있고, 3D 격자인 경우 부피적분(volume integral)을 통해 에어로졸 이송량을 종합할 수 있다. 또한, 시뮬레이션부(130)는 퍼프에 따른 농도 분포 변화, 흡연 동안의 농도 분포 변화, 특정 위치의 시간에 따른 농도 변화, 물질 별 농도 변화, 퍼프에 따른 에어로졸 이행량 변화 등을 도출할 수 있다.

[0122] 몇몇 실시예들에서는, 도 6에 도시된 바와 같이, 시뮬레이션부(130)가 복수의 시간 스텝에 걸쳐 시뮬레이션 변수를 계산하는 도중에, 계산격자(300)의 적어도 일부 영역의 조밀도가 격자 생성부(121)에 의해 동적으로 조절될 수 있다. 가령, 격자 생성부(121)는 시뮬레이션 변수(e.g. 온도, 압력 등)의 값이 기준치 이상으로 변동되는 계산셀을 탐지하고, 탐지된 계산셀을 복수개로 분할할 수 있다(즉, 조밀도를 증가시킬 수 있다). 또는, 격자 생성부(121)는 시뮬레이션 변수(e.g. 온도, 압력 등)의 값이 기준치 이하로 변동되는 복수개의 계산셀을 탐지하고, 탐지된 복수개의 계산셀을 병합할 수도 있다(즉, 조밀도를 감소시킬 수 있다). 시뮬레이션 변수의 값이 크게 변동하는 계산격자 영역은 에어로졸 현상과 밀접하게 연관된 중요한 영역일 가능성이 높다. 따라서, 본 실시예에 따르면, 중요 계산격자 영역에 대한 시뮬레이션 정확도가 향상되고, 중요하지 않은 계산격자 영역에 투입되는 컴퓨팅 비용은 절감되어, 보다 효율적으로 시뮬레이션이 수행될 수 있다.

[0123] 또한, 몇몇 실시예들에서는, 시뮬레이션부(130)가 시뮬레이션 결과를 토대로 타깃 에어로졸 발생 물품 내의 데드존(dead zone)을 검출할 수 있다. 여기서, 데드존은 흡연 시에 타깃 에어로졸 발생 물품 내에서 잘 활용되지 않는 영역을 의미할 수 있다. 구체적으로, 시뮬레이션부(130)는 전체 계산격자 영역에서 화학반응속도, 온도 또는 물질의 농도 감소 정도가 기준치 이하인 영역(또는 계산셀들)을 데드존으로 검출할 수 있다. 이렇게 검출된 데드존은 에어로졸 발생 물품, 히터 등의 구조를 재설계하는데 효과적으로 활용될 수 있다. 보다 이해의 편의를 제공하기 위해, 도 7에 도시된 예를 참조하여 부연 설명하도록 한다.

[0124] 도 7은 에어로졸 형성 기재부(520)와 필터부(510)를 포함하는 타깃 에어로졸 발생 물품(500)의 온도 분포에 관한 시뮬레이션 결과(600)를 예시하고 있다. 특히, 도 7은 계산격자(600)의 온도값을 히트맵 형태로 시각화한 것을 예시하고 있다.

[0125] 도 7을 참조하면, 시뮬레이션부(130)는 계산격자(600) 내에서 온도가 기준치 이하인 영역(610, 620)을 데드존으로 검출할 수 있다. 이때, 상기 기준치는 계산격자 영역 별 또는 계산셀 별로 다른 값으로 설정될 수 있다. 가령, 히터로부터 가까이 위치한 계산격자 영역의 기준치는 높은 값으로 설정되고, 멀리 위치한 계산격자 영역의 기준치는 낮은 값으로 설정될 수 있다. 또는, 에어로졸 형성 기재부(520)에 대응되는 계산격자 영역의 기준치는 높은 값으로 설정되고, 필터부(510)에 대응되는 계산격자 영역의 기준치는 낮은 값으로 설정될 수 있다.

[0126] 다시 도 1을 참조하여 시뮬레이션 장치(100)의 다른 구성요소에 대한 설명을 이어가도록 한다.

[0127] 시각화부(140)는 타깃 에어로졸 발생 물품에 대한 시뮬레이션 결과를 시각화할 수 있다. 예를 들어, 시각화부

(140)는 타깃 에어로졸 발생 물품을 나타내는 2D 또는 3D 객체 상에 시뮬레이션 결과(e.g. 온도 분포, 속도 분포, 압력 분포, 농도 분포 등)를 히트맵 형태로 시각화할 수 있다(도 7 내지 도 10 참조). 또한, 시각화부(140)는 에어로졸의 이동 경로 및/또는 이동 방향을 상기 객체 상에 표시하거나, 데드존을 강조하여 표시할 수도 있다.

[0128] 보다 구체적인 예로서, 도 8에 도시된 바와 같이, 시각화부(140)는 타깃 에어로졸 발생 물품을 나타내는 2D 객체 상에 물품 내부의 온도 분포가 히트맵 형태로 도시된 시각화 정보(700)를 생성할 수 있다. 물론, 시각화부(140)는 다른 시뮬레이션 결과(e.g. 속도 분포, 농도 분포, 압력 분포 등)에 대해서도 도 8 등에 도시된 바와 같은 시각화 정보를 생성할 수 있다.

[0129] 다른 예로서, 도 9에 도시된 바와 같이, 시각화부(140)는 타깃 에어로졸 발생 물품을 나타내는 3D 객체 상에 물품 내부의 온도 분포가 히트맵 형태로 도시된 시각화 정보(800)를 생성할 수도 있다.

[0130] 또 다른 예로서, 도 10에 도시된 바와 같이, 시각화부(140)는 타깃 에어로졸 발생 물품의 특정 위치(e.g. 포인트 A, B, C)의 시간에 따른 온도 변화가 그래프 형태로 도시된 시각화 정보(900)를 생성할 수도 있다.

[0131] 또한, 도시되어 있지는 않으나, 시각화부(140)는 에어로졸의 이동 방향을 화살표의 형태로 시각화할 수 있다. 이때, 시각화부(140)는 화살표의 굵기(또는 개수)를 통해 에어로졸의 이동량을 표시할 수 있고, 화살표의 색상을 통해 이동 속도를 표시할 수도 있다.

[0132] 다음으로, DB(150)에는 에어로졸 시뮬레이션과 관련된 각종 데이터가 저장될 수 있다. 가령, DB(150)에는 에어로졸 발생 물품의 유형에 따른 시뮬레이션 기초데이터가 저장되어 있을 수 있다. 또는, DB(150)에는 에어로졸 발생 물품의 유형(또는 시뮬레이션 기초데이터)에 따른 시뮬레이션 결과가 저장되어 있을 수 있다.

[0133] 몇몇 실시예들에서, 시뮬레이션부(130)는 시뮬레이션 수행 전에 입력된 시뮬레이션 기초데이터에 대응되는 시뮬레이션 결과가 DB(150)에 저장되어 있는지 여부를 판단할 수 있다. 그리고, 저장되어 있다는 판단에 응답하여, 시뮬레이션부(130)는 시뮬레이션을 수행하지 않고 기 저장된 시뮬레이션 결과를 제공할 수 있다. 이러한 경우, 시뮬레이션에 수행되는 컴퓨팅 비용이 크게 절감되는 효과가 달성될 수 있다.

[0134] 한편, 본 개시의 몇몇 실시예들에 따르면, 시뮬레이션 장치(100)가 사용자에게 에어로졸 시뮬레이션 서비스를 제공할 수도 있다. 예컨대, 시뮬레이션 장치(100)는 웹 인터페이스 등을 통해 사용자로부터 시뮬레이션 요청을 수신하고, 상기 요청에 응답하여 에어로졸 시뮬레이션 서비스를 제공할 수 있다. 이때, 시뮬레이션 장치(100)는 사용자에게 서비스 이용 요금을 요청할 수도 있다. 서비스 이용 요금은 시뮬레이션에 투입된 컴퓨팅 자원에 기반하여 산정될 수 있을 것이나, 다른 방식으로 산정되더라도 무방하다. 몇몇 예들에서는, 시뮬레이션 요청 시 사용자가 시뮬레이션 정확도(또는 서비스 이용 요금)를 선택할 수도 있다. 그러면, 시뮬레이션 장치(100)가 선택된 정확도(또는 서비스 이용 요금)에 따른 계산격자를 생성하여 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 가령, 사용자가 높은 정확도를 선택한 경우, 시뮬레이션 장치(100)는 계산셀의 개수가 많고 조밀한 계산격자를 생성할 수 있다.

[0135] 도 1의 각 구성요소(e.g. 110)는 소프트웨어(Software) 또는, FPGA(Field Programmable Gate Array)나 ASIC(Application-Specific Integrated Circuit)과 같은 하드웨어(Hardware)를 의미할 수 있다. 그렇지만, 상기 구성요소들은 소프트웨어 또는 하드웨어에 한정되는 의미는 아니며, 어드레싱(Addressing)할 수 있는 저장 매체에 있도록 구성될 수도 있고, 하나 또는 그 이상의 프로세서들을 실행시키도록 구성될 수도 있다. 상기 구성요소들 안에서 제공되는 기능은 더 세분화된 구성요소에 의하여 구현될 수 있으며, 복수의 구성요소들을 합하여 특정한 기능을 수행하는 하나의 구성요소로 구현될 수도 있다.

[0136] 지금까지, 도 1 내지 도 10을 참조하여 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 시뮬레이션 장치(100)의 구성 및 동작에 대하여 설명하였다. 상술한 바에 따르면, CFD 모델을 통해 타깃 에어로졸 발생 물품에서 발생하는 에어로졸 현상이 정확하게 시뮬레이션될 수 있다. 이에 따라, 타깃 에어로졸 발생 물품에 대한 제조 및 실험 없이도 설계 결과가 용이하게 검증될 수 있으며, 에어로졸 발생 물품의 연구 개발에 투입되는 인적 비용 및 시간 비용이 크게 절감될 수 있다.

[0137] 이하에서는, 도 11 이하의 도면을 참조하여 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 에어로졸 시뮬레이션 방법에 대하여 상세하게 설명하도록 한다.

[0138] 상기 방법의 각 단계는 컴퓨팅 장치에 의해 수행될 수 있다. 다시 말하면, 상기 방법의 각 단계는 컴퓨팅 장치의 프로세서에 의해 실행되는 하나 이상의 인스트럭션들로 구현될 수 있다. 상기 방법에 포함되는 모든 단계는

하나의 물리적인 컴퓨팅 장치에 의하여 실행될 수도 있을 것이나, 복수의 물리적인 컴퓨팅 장치에 의해 분산되어 실행될 수도 있다. 예를 들면, 상기 방법의 제1 단계들은 제1 컴퓨팅 장치에 의하여 수행되고, 상기 방법의 제2 단계들은 제2 컴퓨팅 장치에 의하여 수행될 수도 있다. 이하에서는, 이해의 편의를 제공하기 위해, 상기 방법의 각 단계가 도 1에 예시된 시뮬레이션 장치(100)에 의해 수행되는 것을 가정하여 설명을 이어가도록 한다. 따라서, 아래의 설명에서 각 동작의 주어가 생략된 경우, 상기 예시된 장치(100)에 의하여 수행되는 것으로 이해될 수 있다.

- [0139] 도 11은 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 에어로졸 시뮬레이션 방법을 나타내는 예시적인 흐름도이다. 단, 이는 본 개시의 목적을 달성하기 위한 바람직한 실시예일뿐이며, 필요에 따라 일부 단계가 추가되거나 삭제될 수 있음은 물론이다.
- [0140] 도 11에 도시된 바와 같이, 상기 에어로졸 시뮬레이션 방법은 타깃 에어로졸 발생 물품에 관한 시뮬레이션 기초 데이터를 입력받는 단계 S100에서 시작될 수 있다. 본 단계에 관하여서는 데이터 입력부(110)에 대한 설명을 더 참조하도록 한다.
- [0141] 단계 S200에서, 입력된 시뮬레이션 기초데이터를 기초로 CFD 모델이 구성될 수 있다. 가령, 시뮬레이션 장치(100)는 입력된 시뮬레이션 기초데이터를 기초로 계산격자를 생성하고, 지배방정식을 설정하며, 초기조건과 경계조건을 설정함으로써 CFD 모델을 구성할 수 있다. 본 단계에 관하여서는 모델 구성부(120)에 대한 설명을 더 참조하도록 한다.
- [0142] 단계 S300에서, 구성된 CFD 모델을 이용하여 타깃 에어로졸 발생 물품에 대한 에어로졸 현상이 시뮬레이션될 수 있다. 가령, 시뮬레이션 장치(100)는 설정된 초기조건과 경계조건에 따라 지배방정식을 계산하되, 복수의 시간 스텝에 따라 반복적으로 지배방정식을 계산함으로써 에어로졸 현상을 시뮬레이션할 수 있다. 이때, 지배방정식에 대한 계산은 계산격자를 구성한 계산셀 단위로 수행될 수 있다. 보다 구체적인 예로서, 시뮬레이션 장치(100)는 복수의 시간 스텝에 따라 유동 방정식(e.g. 410)과 열전달 방정식(e.g. 420)을 연계하여 반복 계산함으로써 타깃 에어로졸 발생 물품에서 나타나는 열전달 현상과 에어로졸 유동 현상을 시뮬레이션할 수 있다. 본 단계에 관하여서는 시뮬레이션부(130)에 대한 설명을 더 참조하도록 한다.
- [0143] 단계 S400에서, 시뮬레이션 결과가 시각화될 수 있다. 가령, 시뮬레이션 장치(100)는 타깃 에어로졸 발생 물품을 가리키는 2차원 또는 3차원 객체 상에 시뮬레이션 결과를 시각화할 수 있다. 이를테면, 시뮬레이션 장치(100)는 온도 분포, 압력 분포, 속도 분포, 농도 분포 등을 히트맵 등의 형태로 시각화하거나, 상기 객체 상에 에어로졸의 이동 경로를 표시하거나, 데드존을 강조하여 표시할 수 있다. 다만, 시각화 방식이 이에 한정되는 것은 아니다. 본 단계에 관하여서는 시각화부(140)에 대한 설명을 더 참조하도록 한다.
- [0144] 참고로, 도 11에 예시된 단계 S100 내지 단계 S400은 각각 데이터 입력부(110), 모델 구성부(120), 시뮬레이션부(130) 및 시각화부(140)에 의해 수행될 수 있다.
- [0145] 지금까지, 도 11을 참조하여 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 에어로졸 시뮬레이션 방법에 대하여 설명하였다. 상술한 바에 따르면, CFD 모델을 통해 타깃 에어로졸 발생 물품에서 발생하는 에어로졸 현상이 정확하게 시뮬레이션될 수 있다. 이에 따라, 타깃 에어로졸 발생 물품에 대한 제조 및 실험 없이도 설계 결과가 용이하게 검증될 수 있으며, 에어로졸 발생 물품의 연구 개발에 투입되는 인적 비용 및 시간 비용이 크게 절감될 수 있다.
- [0146] 이하에서는, 도 1에 예시된 시뮬레이션 장치(100)를 구현할 수 있는 예시적인 컴퓨팅 장치(1000)에 대하여 설명하도록 한다.
- [0147] 도 12는 본 개시의 컴퓨팅 장치(1000)를 나타내는 예시적인 하드웨어 구성도이다.
- [0148] 도 12에 도시된 바와 같이, 컴퓨팅 장치(1000)는 하나 이상의 프로세서(1100), 버스(1300), 통신 인터페이스(1400), 프로세서(1100)에 의하여 수행되는 컴퓨터 프로그램을 로드(load)하는 메모리(1200)와, 컴퓨터 프로그램(1600)을 저장하는 스토리지(1500)를 포함할 수 있다. 다만, 도 12에는 본 개시의 실시예와 관련 있는 구성요소들만이 도시되어 있다. 따라서, 본 개시가 속한 기술분야의 통상의 기술자라면 도 12에 도시된 구성요소들 외에 다른 범용적인 구성요소들이 더 포함될 수 있음을 알 수 있다. 즉, 컴퓨팅 장치(1000)에는, 도 12에 도시된 구성요소 이외에도 다양한 구성요소가 더 포함될 수 있다.
- [0149] 프로세서(1100)는 컴퓨팅 장치(1000)의 각 구성의 전반적인 동작을 제어한다. 프로세서(1100)는 CPU(Central Processing Unit), MPU(Micro Processor Unit), MCU(Micro Controller Unit), GPU(Graphic Processing Unit) 또는 본 개시의 기술 분야에 잘 알려진 임의의 형태의 프로세서 중 적어도 하나를 포함하여 구성될 수 있다. 또

한, 프로세서(1100)는 본 개시의 실시예들에 따른 방법/동작을 실행하기 위한 적어도 하나의 애플리케이션 또는 프로그램에 대한 연산을 수행할 수 있다. 컴퓨팅 장치(1000)는 하나 이상의 프로세서를 구비할 수 있다.

[0150] 메모리(1200)는 각종 데이터, 명령 및/또는 정보를 저장한다. 메모리(1200)는 본 개시의 실시예들에 따른 방법/동작을 실행하기 위하여 스토리지(1500)로부터 하나 이상의 프로그램(1600)을 로드할 수 있다. 가령, 메모리(1200)에 컴퓨터 프로그램(1600)이 로드되면, 도 1에 도시된 바와 같은 모듈이 메모리(1200) 상에 구현될 수 있다. 메모리(1200)는 RAM과 같은 휘발성 메모리로 구현될 수 있을 것이나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0151] 버스(1300)는 컴퓨팅 장치(1000)의 구성요소 간 통신 기능을 제공한다. 버스(1300)는 주소 버스(Address Bus), 데이터 버스(Data Bus) 및 제어 버스(Control Bus) 등 다양한 형태의 버스로 구현될 수 있다.

[0152] 통신 인터페이스(1400)는 컴퓨팅 장치(1000)의 유무선 인터넷 통신을 지원한다. 또한, 통신 인터페이스(1400)는 인터넷 통신 외의 다양한 통신 방식을 지원할 수도 있다. 이를 위해, 통신 인터페이스(1400)는 본 개시의 기술 분야에 잘 알려진 통신 모듈을 포함하여 구성될 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 통신 인터페이스(1400)는 생략될 수도 있다.

[0153] 스토리지(1500)는 하나 이상의 프로그램(1600)을 비임시적으로 저장할 수 있다. 스토리지(1500)는 ROM(Read Only Memory), EPROM(Erasable Programmable ROM), EEPROM(Electrically Erasable Programmable ROM), 플래시 메모리 등과 같은 비휘발성 메모리, 하드 디스크, 착탈형 디스크, 또는 본 개시가 속하는 기술 분야에서 잘 알려진 임의의 형태의 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체를 포함하여 구성될 수 있다.

[0154] 컴퓨터 프로그램(1600)은 메모리(1200)에 로드될 때 프로세서(1100)로 하여금 본 개시의 다양한 실시예에 따른 방법/동작을 수행하도록 하는 하나 이상의 인스트럭션들(instructions)을 포함할 수 있다. 즉, 프로세서(1100)는 상기 하나 이상의 인스트럭션들을 실행함으로써, 본 개시의 실시예들에 따른 방법/동작을 수행할 수 있다.

[0155] 예를 들어, 컴퓨터 프로그램(1600)은 타깃 에어로졸 발생 물품의 구조데이터를 포함하는 시뮬레이션 기초데이터를 입력받는 동작, 입력된 시뮬레이션 기초데이터에 기반하여 CFD 모델을 구성하는 동작 및 구성된 CFD 모델을 이용하여 타깃 에어로졸 발생 물품에서 나타나는 열전달 현상과 에어로졸의 유동 현상을 시뮬레이션하는 동작을 수행하도록 하는 인스트럭션들을 포함할 수 있다. 이러한 경우, 컴퓨팅 장치(1000)를 통해 본 개시의 몇몇 실시예들에 따른 시뮬레이션 장치(100)가 구현될 수 있다.

[0156] 지금까지 도 1 내지 도 12를 참조하여 설명된 본 개시의 기술적 사상은 컴퓨터가 읽을 수 있는 매체 상에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로 구현될 수 있다. 상기 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체는, 예를 들어 이동형 기록 매체(CD, DVD, 블루레이 디스크, USB 저장 장치, 이동식 하드 디스크)이거나, 고정식 기록 매체(ROM, RAM, 컴퓨터 구비형 하드 디스크)일 수 있다. 상기 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체에 기록된 상기 컴퓨터 프로그램은 인터넷 등의 네트워크를 통하여 다른 컴퓨팅 장치에 전송되어 상기 다른 컴퓨팅 장치에 설치될 수 있고, 이로써 상기 다른 컴퓨팅 장치에서 사용될 수 있다.

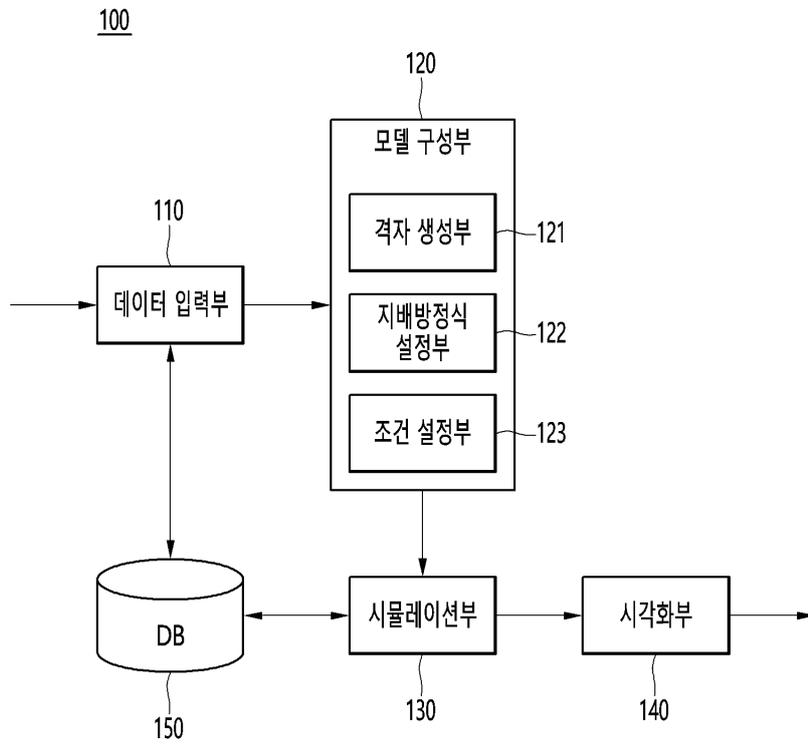
[0157] 이상에서, 본 개시의 실시예를 구성하는 모든 구성요소들이 하나로 결합되거나 결합되어 동작하는 것으로 설명되었다고 해서, 본 개시의 기술적 사상이 반드시 이러한 실시예에 한정되는 것은 아니다. 즉, 본 개시의 목적 범위 안에서라면, 그 모든 구성요소들이 하나 이상으로 선택적으로 결합하여 동작할 수도 있다.

[0158] 도면에서 동작들이 특정한 순서로 도시되어 있지만, 반드시 동작들이 도시된 특정한 순서로 또는 순차적 순서로 실행되어야만 하거나 또는 모든 도시된 동작들이 실행되어야만 원하는 결과를 얻을 수 있는 것으로 이해되어서는 안 된다. 특정 상황에서는, 멀티태스킹 및 병렬 처리가 유리할 수도 있다. 더욱이, 위에 설명한 실시예들에서 다양한 구성들의 분리는 그러한 분리가 반드시 필요한 것으로 이해되어서는 안 되고, 설명된 프로그램 컴포넌트들 및 시스템들은 일반적으로 단일 소프트웨어 제품으로 함께 통합되거나 다수의 소프트웨어 제품으로 패키징될 수 있음을 이해하여야 한다.

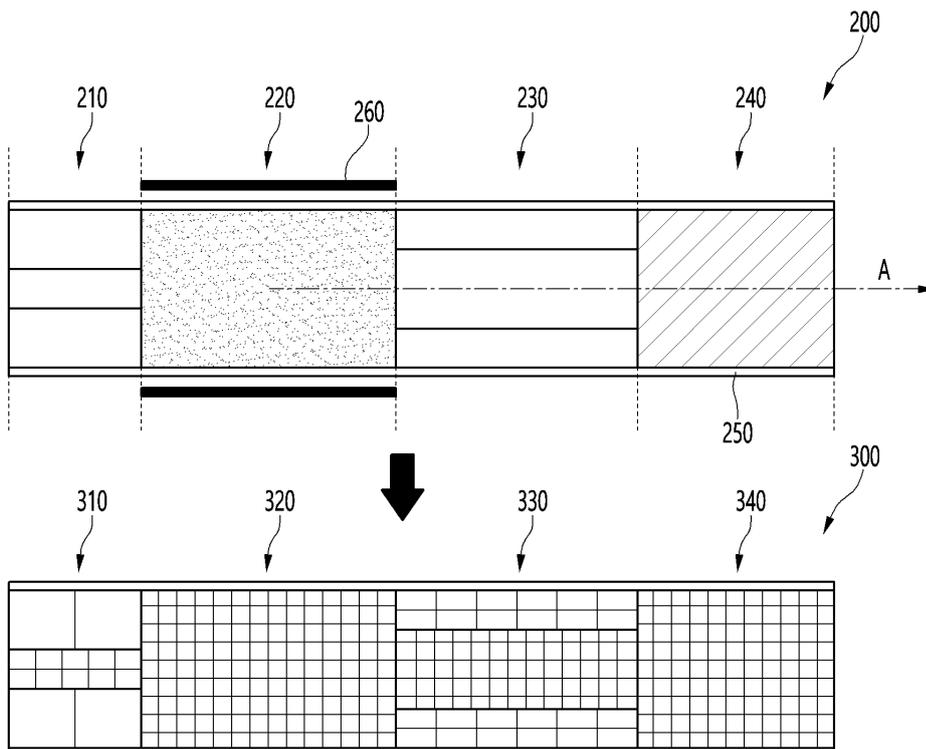
[0159] 이상 첨부된 도면을 참조하여 본 개시의 실시예들을 설명하였지만, 본 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 본 개시가 다른 구체적인 형태로도 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 본 개시의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 개시에 의해 정의되는 기술적 사상의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

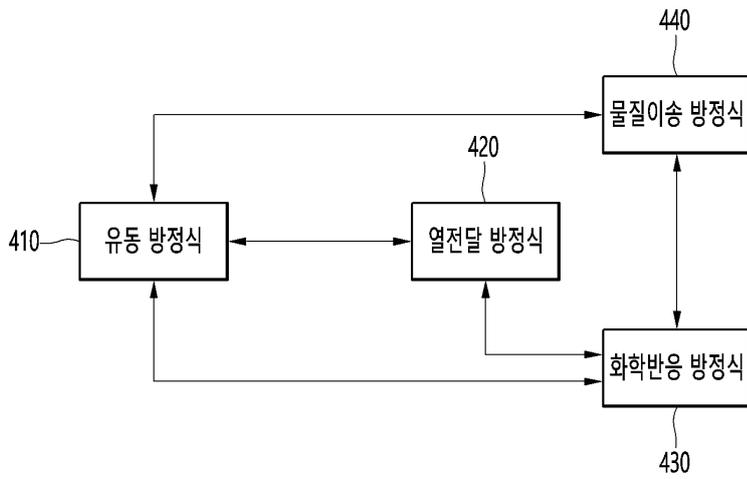
도면1



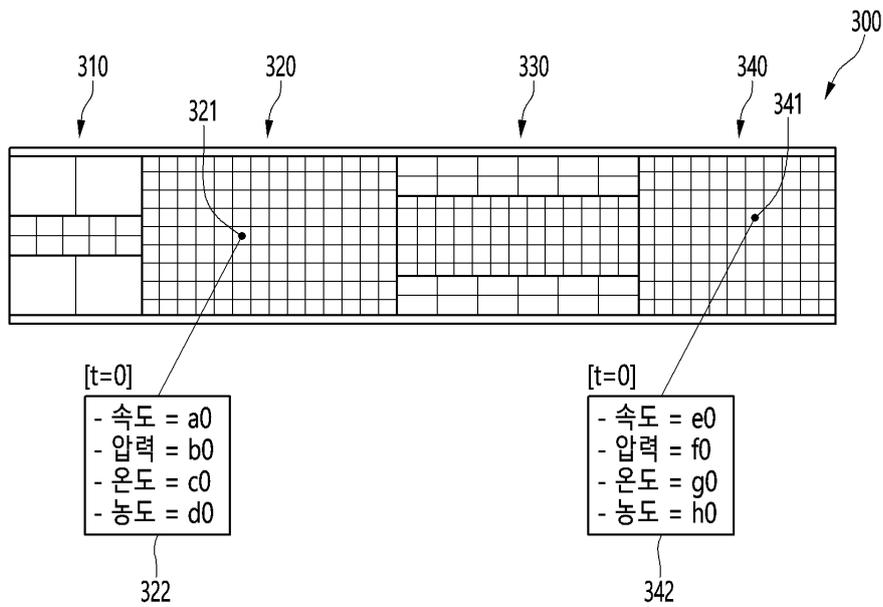
도면2



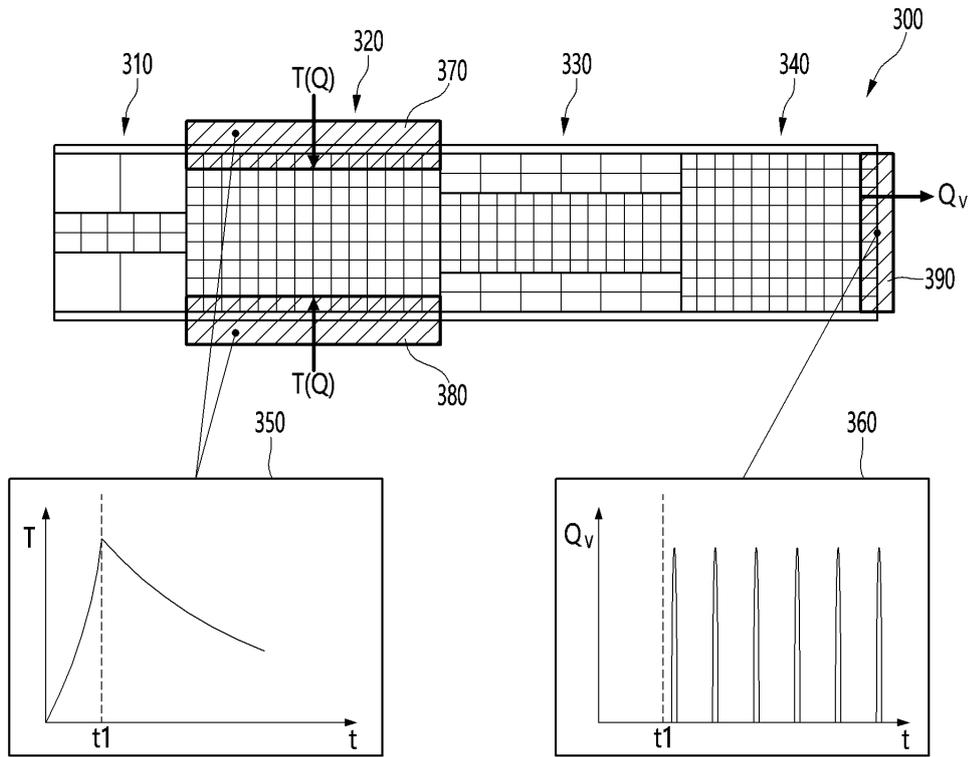
도면3



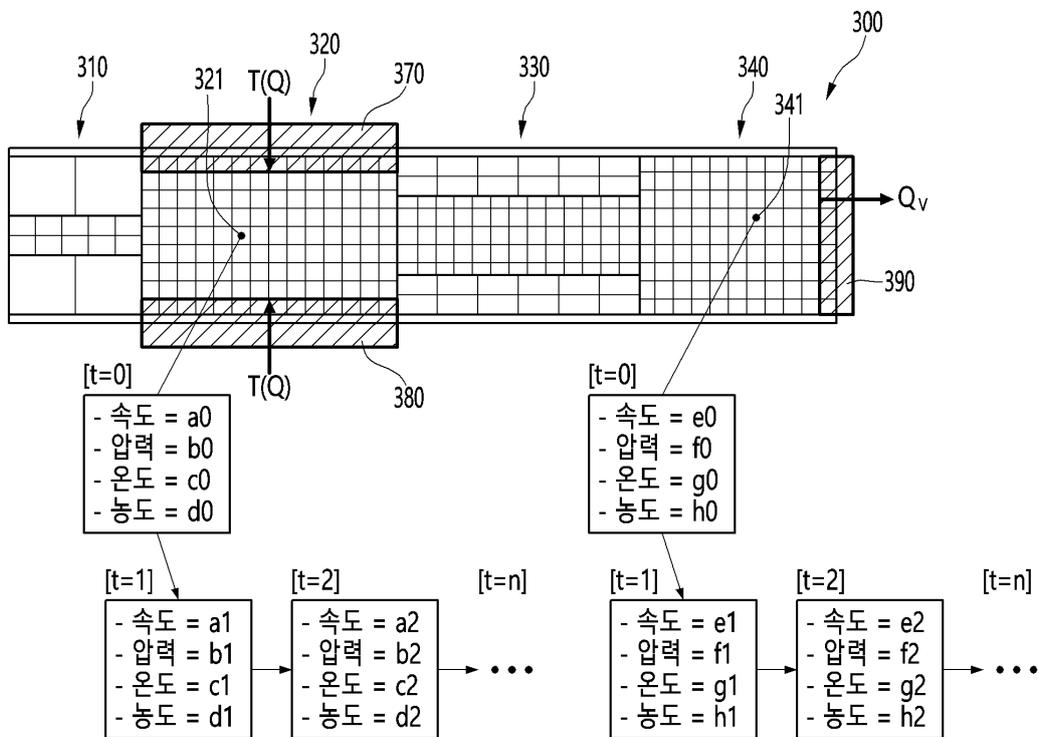
도면4



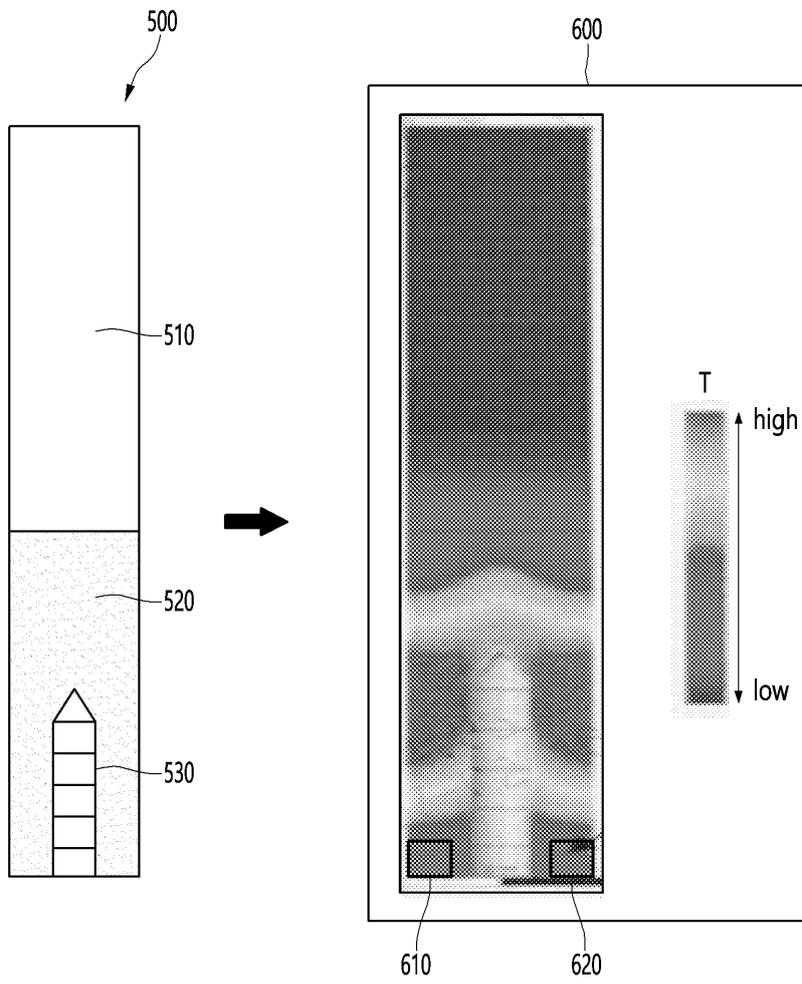
도면5



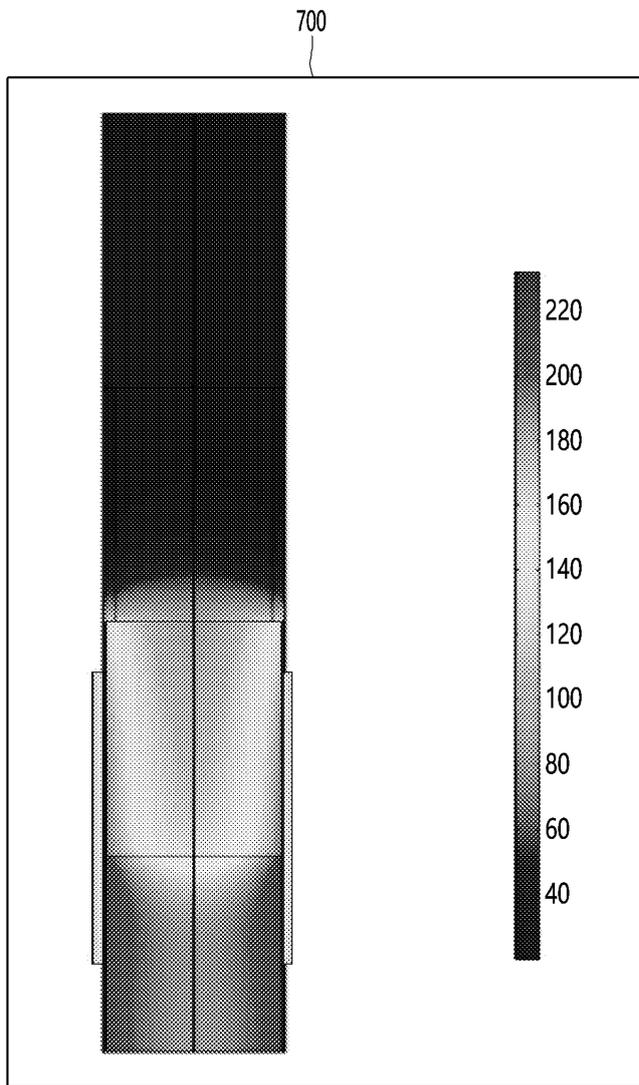
도면6



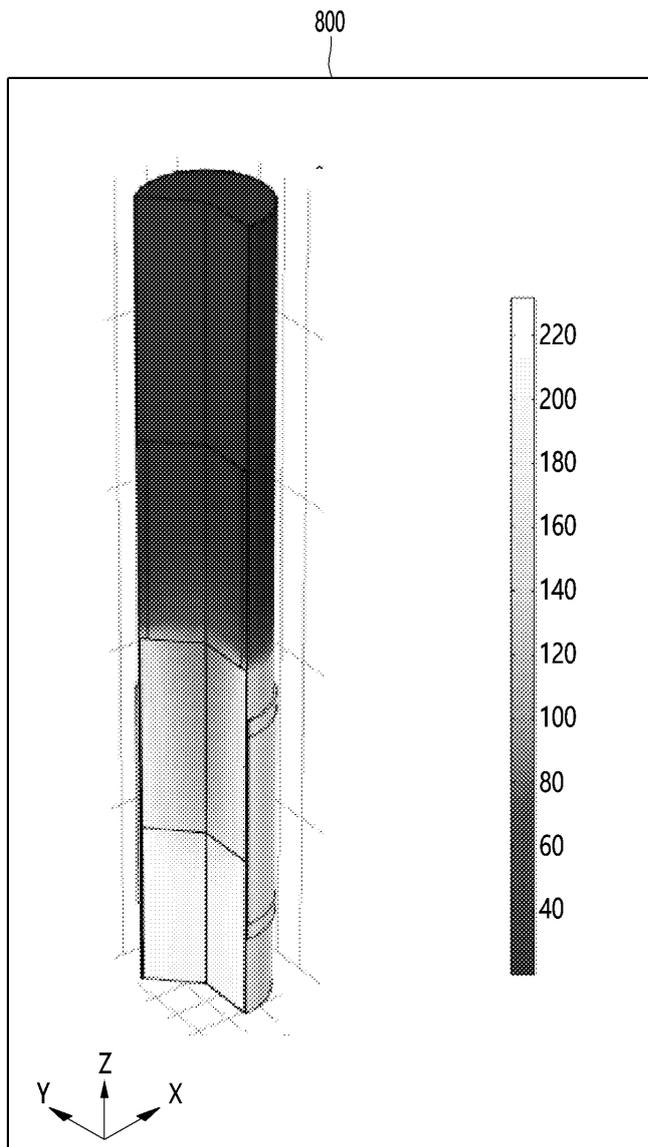
도면7



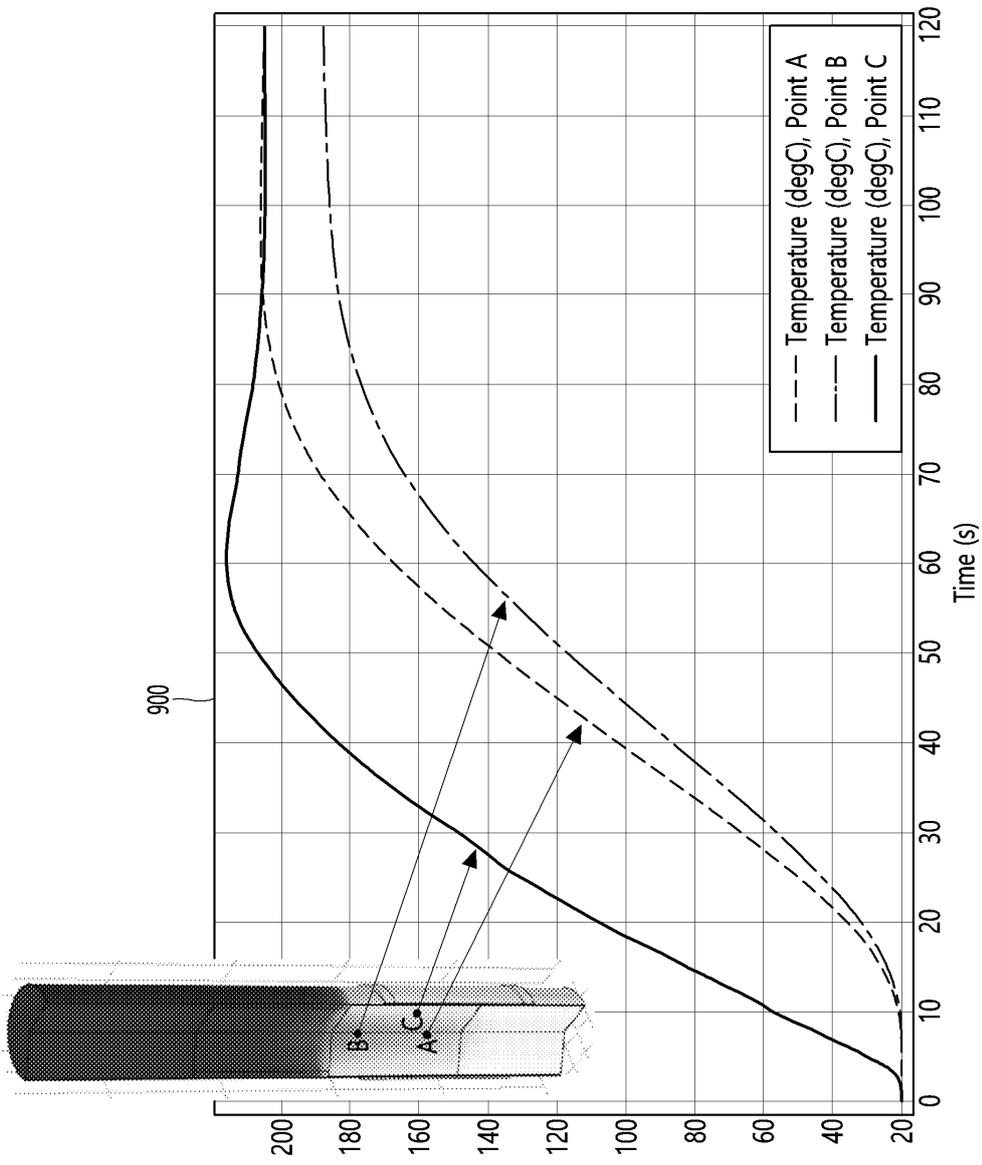
도면8



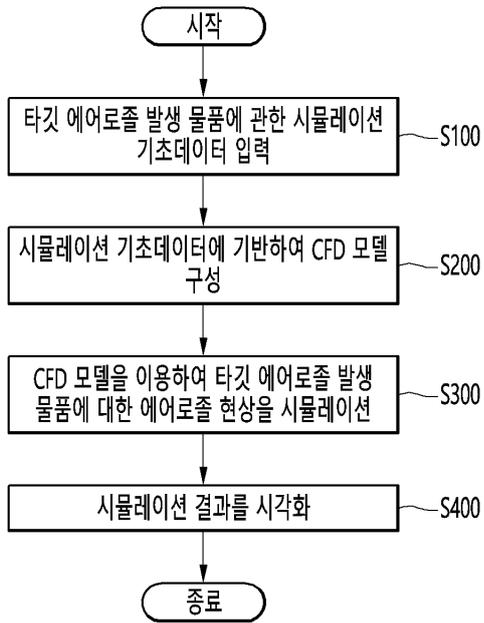
도면9



도면10



도면11



도면12

