



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0058769
(43) 공개일자 2012년06월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C23C 24/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0120212

(22) 출원일자 2010년11월30일

심사청구일자 2010년11월30일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가 1

(72) 발명자

김도연

서울특별시 영등포구 당산로 214, 삼성래미안4차
아파트 424동 1302호 (당산동5가)

박정재

서울특별시 성북구 지봉로24길 6-14, 307호 (보
문동2가)

윤석구

서울특별시 강남구 삼성로69길 39-4 (대치동)

(74) 대리인

특허법인남춘

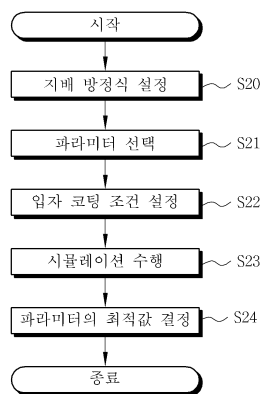
전체 청구항 수 : 총 3 항

(54) 발명의 명칭 입자 코팅에 사용되는 초음속 노즐의 유동 시뮬레이션 방법

(57) 요약

본 발명은 입자 코팅에 사용되는 초음속 노즐의 유동 시뮬레이션 방법에 관한 것으로, (a) 상기 초음속 노즐의 유동의 해석을 위한 지배 방정식을 설정하는 단계와; (b) 상기 지배 방정식에 적용되는 상기 초음속 노즐에 대한 복수의 파라미터 중 적어도 둘 이상을 선택하는 단계와; (c) 상기 선택된 파라미터 외의 나머지 파라미터를 입자 코팅 조건에 대응하도록 설정하는 단계와; (d) 상기 선택된 파라미터를 변경하며 상기 지배 방정식에 따라 시뮬레이션하는 단계와; (e) 상기 (d) 단계에 따른 시뮬레이션 결과에 기초하여, 상기 선택된 파라미터의 최적값을 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다. 이에 따라, 입자 코팅에 사용되는 초음속 노즐의 입자 유동에 영향을 미치는 다양한 파라미터를 이용하여 다양한 입자 코팅 조건에 적합한 최적의 파라미터를 갖는 초음속 노즐의 선택이 가능하게 된다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

입자 코팅에 사용되는 초음속 노즐의 유동 시뮬레이션 방법에 있어서,

- (a) 상기 초음속 노즐의 유동의 해석을 위한 지배 방정식을 설정하는 단계와;
- (b) 상기 지배 방정식에 적용되는 상기 초음속 노즐에 대한 복수의 파라미터 중 적어도 둘 이상을 선택하는 단계와;
- (c) 상기 선택된 파라미터 외의 나머지 파라미터를 입자 코팅 조건에 대응하도록 설정하는 단계와;
- (d) 상기 선택된 파라미터를 변경하며 상기 지배 방정식에 따라 시뮬레이션하는 단계와;
- (e) 상기 (d) 단계에 따른 시뮬레이션 결과에 기초하여, 상기 선택된 파라미터의 최적값을 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 입자 코팅에 사용되는 초음속 노즐의 유동 시뮬레이션 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 지배 방정식은 나비에-스토크스 방정식(Navier-Stokes equation)을 포함하는 것을 특징으로 하는 입자 코팅에 사용되는 초음속 노즐의 유동 시뮬레이션 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 초음속 노즐은 드라발 노즐(De Laval nozzle)을 포함하며;

상기 (b) 단계에서 선택되는 파라미터는 상기 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 발산각(Diverging angle), 상기 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 노즐 목(Nozzle throat)으로부터 상기 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 배출구까지의 거리, 상기 드라발 노즐(De Laval nozzle)로 입력되는 유체의 압력 및 온도 중 선택되는 것을 특징으로 하는 초음속 노즐의 유동 시뮬레이션 방법.

명세서

기술 분야

- [0001] 본 발명은 입자 코팅에 사용되는 초음속 노즐의 유동 시뮬레이션 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 다양한 입자 코팅 조건에 적합한 최적의 파라미터를 갖는 초음속 노즐을 선택하기 위한 입자 코팅에 사용되는 초음속 노즐의 유동 시뮬레이션 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 근래에 저비용 박막 솔라 셀(Solar cell)에 대한 수요가 증가하고 있는 환경이 증가하고 있다. 저비용의 박막 솔라 셀의 제조를 위해, 소요되는 에너지를 절약하고, 코팅 물질과 기관의 열 손상을 피하기 위하여 고온 기술보다는 저온 증착법이 선호되고 있다. 특히, 진공 코팅 보다는 작업성이 우수한 비진공 코팅이 보다 주목받고 있다.
- [0003] 콜로이드 액적(Colloidal drop)이나 입자와 같은 코팅 물질로 박막을 형성하기 위해 기관 위에 분사하는 스프레이(Spray)나 에어로졸(Aerosol) 증착 방법이 저비용의 박막 솔라 셀 제조 방법의 요구 조건을 충족하는 방법으로 인식되고 있다. 박막 솔라 셀 제조 산업이 저비용 방법을 통한 대량 생산을 추구하고 있어 스프레이나 에어로졸 증착 방법에 대한 요구가 증가하고 있다.
- [0004] 콜드 스프레이(Cold spray) 증착 기술과 에어로졸 증착 기술은 입자를 가속하여 입자의 운동 에너지를 기관 입펙트에 의한 접착 에너지로 전환시키기 위해 초음속 전환가스 유동을 이용한다.

- [0005] 여기서, 콜드 스프레이 증착 기술은 비교적 높은 노즐 실행 압력 하에서 상대적으로 큰 입자, 예를 들어 10 μ m 이상 크기의 입자를 이용한다. 반면, 에어로졸 증착 기술에서, 진공 챔버가 비교적 낮은 실행 압력 하에서도 1 ~2 μ m 크기의 작은 입자로 빠른 입자 속도를 가능하게 한다.
- [0006] 이에, 콜드 스프레이 증착 기술은 일반적으로 항공 분야나 바이오 메디컬 분야의 내식 및 내열을 위한 대형 장치의 코팅에 적용되고, 에어로졸 증착 기술은 마이크로 액츄에이터, 고속 광학 모듈레이터와 같은 상대적으로 작은 장치의 코팅에 사용되며, 저비용의 구현이 가능하다는 점에서 근래에 박막 솔라 셀의 제조 분야에서 적용이 시도되고 있는 추세이다.
- [0007] 일반적으로 에어로졸 증착 기술에서, 입자 속도는 노즐의 기하학적 구조를 최적화함으로써 최대화할 수 있는 가스 속도에 비례한다. 이와 같은 최적화는 이론적으로 배출 압력을 주변 압력과 일치하도록 노즐의 기하학적 구조를 조정함으로써 달성될 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 이에, 본 발명은 입자 코팅에 사용되는 초음속 노즐의 입자 유동에 영향을 미치는 다양한 파라미터를 이용하여 다양한 입자 코팅 조건에 적합한 최적의 파라미터를 갖는 초음속 노즐의 선택을 가능하게 하는 입자 코팅에 사용되는 초음속 노즐의 유동 시뮬레이션 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0009] 상기 목적은 본 발명에 따라, 입자 코팅에 사용되는 초음속 노즐의 유동 시뮬레이션 방법에 있어서, (a) 상기 초음속 노즐의 유동의 해석을 위한 지배 방정식을 설정하는 단계와; (b) 상기 지배 방정식에 적용되는 상기 초음속 노즐에 대한 복수의 파라미터 중 적어도 둘 이상을 선택하는 단계와; (c) 상기 선택된 파라미터 외의 나머지 파라미터를 입자 코팅 조건에 대응하도록 설정하는 단계와; (d) 상기 선택된 파라미터를 변경하며 상기 지배 방정식에 따라 시뮬레이션하는 단계와; (e) 상기 (d) 단계에 따른 시뮬레이션 결과에 기초하여, 상기 선택된 파라미터의 최적값을 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 입자 코팅에 사용되는 초음속 노즐의 유동 시뮬레이션 방법에 의해서 달성된다.
- [0010] 여기서, 상기 지배 방정식은 나비에-스토크스 방정식(Navier-Stokes equation)을 포함할 수 있다.
- [0011] 그리고, 상기 초음속 노즐은 드라발 노즐(De Laval nozzle)을 포함하며; 상기 (b) 단계에서 선택되는 파라미터는 상기 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 발산각(Diverging angle), 상기 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 노즐 목(Nozzle throat)으로부터 상기 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 배출구까지의 거리, 상기 드라발 노즐(De Laval nozzle)로 입력되는 유체의 압력 및 온도 중 선택될 수 있다.

발명의 효과

- [0012] 상기와 같은 구성을 통해, 입자 코팅에 사용되는 초음속 노즐의 입자 유동에 영향을 미치는 다양한 파라미터를 이용하여 다양한 입자 코팅 조건에 적합한 최적의 파라미터를 갖는 초음속 노즐의 선택을 가능하게 하는 입자 코팅에 사용되는 초음속 노즐의 유동 시뮬레이션 방법이 제공된다.

도면의 간단한 설명

- [0013] 도 1은 에어로졸 코팅 기술이 적용된 에어로졸 코팅 장치의 구성을 도시한 도면이고,
 도 2는 본 발명에 따른 초음속 노즐의 유동 시뮬레이션 방법을 설명하기 위한 도면이고,
 도 3은 본 발명에 따른 초음속 노즐의 유동 시뮬레이션 방법이 적용된 드라발 노즐(De Laval nozzle)을 도시한 도면이고,

도 4 내지 도 6은 본 발명에 따른 초음속 노즐의 유동 시뮬레이션 방법에 따른 시뮬레이션 결과를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0014] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예들을 상세히 설명한다. 여기서, 본 발명에 따른 입자 코팅에 사용되는 초음속 노즐(20)의 유동 시뮬레이션 방법이 에어로졸 코팅 기술에 적용되는 초음속 노즐(20)의 유동 시뮬레이션에 적용되는 것을 예로 하여 설명한다.
- [0015] 도 1은 에어로졸 코팅 기술이 적용된 에어로졸 코팅 장치의 구성을 도시한 도면이다. 에어로졸 코팅 장치는, 도 1에 도시된 바와 같이, 증착 챔버(10), 초음속 노즐(20), 에어로졸 입자 공급부(300) 및 작동 유체 공급부(30)를 포함한다.
- [0016] 증착 챔버(10)는 기관(1)과 같은 증착 대상물이 수용되며, 기 설정된 정도의 진공 상태가 유지된다. 여기서, 증착 챔버(10)의 진공은 증착 챔버(10)와 연결된 진공 펌프(12) 및 부스터 펌프(11)에 의해 형성된다. 또한, 증착 챔버(10)에는 기관이 안착되어 챔버 내부로 인입 및 반출되는 기관 이송부(13)가 설치되며, 기관 이송부(13)는 이송 모터(14)의 작동에 의해 이동한다.
- [0017] 초음속 노즐(20)은 에어로졸 입자 공급부(300)로부터 공급되는 에어로졸 입자를 증착 대상물을 향해 분사한다. 여기서, 초음속 노즐(20)은 에어로졸 입자를 포함하는 작동 유체가 증착 대상물을 고속으로 분사되도록 그 내부 유로가 가변적으로 형성된다.
- [0018] 작동 유체 공급부(30)는 에어로졸 입자 공급부(300)에 작동 유체를 공급한다. 여기서, 본 발명에 따른 작동 유체 공급부(30)는, 도 1에 도시된 바와 같이, 작동 유체가 저장되는 작동 유체 저장 탱크(31)와, 작동 유체 저장 탱크(31)로부터 분출된 작동 유체를 가열하는 유체 가열부(32)와, 에어로졸 입자 공급부(300)로 유입되는 작동 유체의 유량을 조절하는 유량 조절부(33)를 포함할 수 있다.
- [0019] 여기서, 작동 유체 공급부(30)로부터 에어로졸 입자 공급장치(300)로 공급되는 작동 유체는 공기, 헬륨, 질소와 같이 상온에서 저온의 온도와 상압에서 수십 내지 수백 바(bar)의 압력으로 올릴 수 있는 특성을 갖는 불활성 기체가 사용된다.
- [0020] 또한, 작동 유체 공급부(30)는 에어로졸 입자 공급부(300)에 작동 유체를 공급할 수 있는 다양한 형태나 구성으로 마련될 수 있으며, 본 발명이 도 1에 도시된 작동 유체 공급부(30)의 구성에 국한되지 않음은 물론이다.
- [0021] 에어로졸 입자 공급부(300)는 작동 유체 공급부(30)로부터 공급되는 작동 유체를 이용하여 에어로졸 입자가 증착 챔버(10)에 설치된 초고속 노즐(20)을 통해 분사되도록 초고속 노즐(20)에 에어로졸 입자를 공급한다.
- [0022] 이하에서는, 상기와 같은 에어로졸 코팅 장치(100)에 사용되는 초음속 노즐(20)의 최적의 파라미터를 구하기 위한 초음속 노즐(20)의 유동 시뮬레이션 방법을 도 2를 참조하여 상세히 설명한다.
- [0023] 먼저, 초음속 노즐(20)의 유동의 해석을 위한 지배 방정식을 설정한다(S20). 여기서, 본 발명에 따른 초음속 노즐(20)의 유동 시뮬레이션 방법에서는 지배 방정식으로 나비에-스토크스 방정식(Navier-Stokes equation)이 적용되는 것을 예로 한다.
- [0024] 보다 구체적으로 설명하면, 나비에-스토크스 방정식(Navier-Stokes equation)은 완전 비선형적(Fully nonlinear)이고 압축적(compressible)인 방정식으로 충격파(Shockwave), 터불런스(Turbulence) 및 점성 소산(Viscous dissipation)의 측정이 가능하다.
- [0025] 그리고, 2차원 정확도 계산은 원형의 콘 형상의 노즐이 아닌 2차원의 슬롯 타입의 노즐, 예컨대 드라발 노즐(De Laval nozzle)과 일치되는 2차원 공간에서 진행된다. 즉, 본 발명에 따른 초음속 노즐(20)은 드라발 노즐(De Laval nozzle)이 적용된다. 도 3은 드라발 노즐(De Laval nozzle)을 도식화한 도면이다.
- [0026] 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 배출구와 업스트림 정체점(Upstream stagnation point)에서의 파라미터에는 각각 아래 첨자로 e와 o가 표기되었다. 또한, 아래 첨자 c와 o는 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 수렴(converging)과 발산(Diverging) 영역을 의미한다. 그리고, 노즐 배출구와 기관 사이의 이격 거리는 S로 명명한다.
- [0027] 도 3에 도시된 드라발 노즐(De Laval nozzle)에서 지배 방정식에 적용되는 파라미터를 정리하면 다음과 같다.

- [0028] P_e : 출력 압력
- [0029] M_e : 출력 마하 수(Mach number)
- [0030] U_e : 출력 속도
- [0031] d_t : 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 노즐 목(Nozzle throat)의 폭
- [0032] l_d : 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 노즐 목(Nozzle throat)으로부터 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 배출구까지의 거리
- [0033] l_c : 노즐 유입구, 즉 업스트림 정체점(Upstream stagnation point)로부터 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 노즐 목(Nozzle throat)까지의 거리
- [0034] θ : 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 발산각(Diverging angle)
- [0035] P_o : 유체의 정체 압력
- [0036] T_o : 유체의 정체 온도
- [0037] 다시, 도 2를 참조하여 설명하면, 지배 방정식의 설정되면 지배 방정식에 적용되는 초음속 노즐(20)에 대한 복수의 파라미터 중 적어도 둘 이상이 선택된다(S21). 즉, 상술한 바와 같이, 나비에-스토크스 방정식(Navier-Stokes equation)에 적용되는 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 파라미터 중 둘 이상이 선택된다.
- [0038] 본 발명에서는 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 노즐 목(Nozzle throat)으로부터 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 배출구까지의 거리와 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 발산각(Diverging angle)이 선택되는 것을 예로 하여 설명한다.
- [0039] 그리고, S12 단계에서 선택된 파라미터 외의 나머지 파라미터를 입자 코팅 조건에 대응하도록 설정한다. 도 3에 도시된 드라발 노즐(De Laval nozzle)에 적용된 파라미터를 예로 하여 설명하면, 계산 영역의 물리적인 크기는 50×400 mm로 설정되고, 정체 압력 $P_o = 6$ bar로 설정된다. 작동 유체는 정체 온도 $T_o = 300$ K 상태의 공기로 설정된다. 또한, 노즐 목(Nozzle throat)의 지름은 0.4 mm로 설정되고, P_{amb} 는 1 bar로 설정된다.
- [0040] 여기서, 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 배출구의 지름은 S21 단계에서 선택된 파라미터, 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 노즐 목(Nozzle throat)으로부터 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 배출구까지의 거리와 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 발산각(Diverging angle)에 종속하게 된다.
- [0041] 상기와 같이 입자 코팅 조건이 설정되면, S21 단계에서 선택된 파라미터를 변경하며 지배 방정식에 따라 시뮬레이션이 수행된다(S23).
- [0042] 여기서, 시뮬레이션의 수행에 있어, S21 단계에서 선택된 파라미터는 3가지로 변경하여 수행되는 것을 예로 한다. S21 단계에서 선택된 파라미터, 즉 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 노즐 목(Nozzle throat)으로부터 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 배출구까지의 거리와 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 발산각(Diverging angle)은 배출구의 지름의 길이에 영향을 미치므로 2가지 조건을 배출구의 지름 사이즈가 각각 0.56 mm, 0.70 mm, 1.45 mm인 상태로 설정하여 수행하는 것을 예로 한다.
- [0043] 또한, 시뮬레이션 상에서의 계산에 대해서, 121,600개의 노드가 사용되는 것을 예로 한다. 예컨대, 드라발 노즐(De Laval nozzle)에 대해 60×800개의 노드와 출구측 영역에 대해 230×320개의 노드가 사용될 수 있다. 또한 콜모고로프 길이 스케일(Kolmogorov length scale) 뿐만 아니라 대류 유동의 지배 주파수의 포착이 가능한 최소 격자 간격 $\Delta x = 0.003$ mm로 설정된다.
- [0044] 또한, 뉴만 경계 조건(Neumann boundary condition)은 배출구에만 적용되는 반면에, 노-슬립 디리클레(No-slip Dirichlet) 경계 조건은 모든 격벽을 따라 적용되는 것으로 설정된다.
- [0045] 상기와 같은 시뮬레이션 수행 결과에 기초하여, S21 단계에서 선택된 파라미터의 최적값을 결정함으로써, 드라발 노즐(De Laval nozzle)에 대한 최적의 기구학적 구조가 결정된다.

[0046] 이하에서는 도 4 내지 도 6을 참조하여, 실제 시뮬레이션 결과를 이용한 드라발 노즐(De Laval nozzle)에 대한 최적의 기구학적 구조를 결정하는 예를 설명한다. 여기서, 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 배출구의 지름을 0.56 mm로 설정한 조건을 제1 조건으로, 0.70 mm로 설정한 조건을 제2 조건으로, 1.45 mm로 설정한 조건을 제3 조건으로 정의하여 설명한다.

[0047] 도 4의 (a) 및 (b)는 각각 제1 조건의 드라발 노즐(De Laval nozzle)로부터 분사되는 초음속의 비등압(Non-isobaric) 및 비등엔트로피(Non-isentropic) 상태의 분사 유체의 슐리렌 이미지(Schlieren image)와 UV-레이저-레일리-산란 이미지(UV-laser-Rayleigh-scattering image)를 나타낸 도면이다.

[0048] 도 4의 (a)에 도시된 슐리렌 이미지(Schlieren image)는 Zapryagaev 등의 논문 "An Experimental and Numerical Study of a Supersonic-Jet-Shock-Wave Structure(Proceedings of the XI International Conference on the Methods of Aerophysical Research, Novosibirsk, Russia, 2002, p 187-191)"에서 인용한 이미지이고, 도 4의 (b)에 도시된 UV-레이저-레일리-산란 이미지(UV-laser-Rayleigh-scattering image)는 Dam 등의 논문 "Imaging of an Underexpanded Nozzle Flow by UV Laser Rayleigh Scattering(Exp. Fluids, 1998, 24, p 93-101)"에서 인용한 이미지이다.

[0049] 도 4의 (a)에 도시된 슐리렌 이미지(Schlieren image) 상의 압력비 $P_e/P_{amb} = 2.3$ 이다. 도 4의 (b)에 도시된 UV-레이저-레일리-산란 이미지(UV-laser-Rayleigh-scattering image)에서는 4주기의 다이아몬드 구조가 26 mm 다운-스트림(Down-stream) 이내에서 얼마나 적절한지를 보여준다. 여기서, 도 4의 (b)에서 흰색 사각형 부분이 배출구이다.

[0050] 도 4의 (d)는 본 발명에 따른 초음속 노즐(20)의 유동 시뮬레이션 방법을 이용한 시뮬레이션 결과를 도시한 도면으로, 4개의 다이아몬드 충격파의 주파수와 정확하게 근접함을 알 수 있다. 여기서, 다이아몬드 충격파는 도 4의 (b)에 도시된 UV-레이저-레일리-산란 이미지(UV-laser-Rayleigh-scattering image)와 본 발명에 따른 유동 시뮬레이션 방법을 통한 시뮬레이션 이미지 모두에서 다운-스트림을 소멸시키는 것을 확인할 수 있다. 도 4의 (a)는 본 발명에 따른 초음속 노즐(20)의 유동 시뮬레이션 방법을 통해 시뮬레이션된 슐리렌 이미지(Schlieren image)를 도시한 도면이다.

[0051] 한편, 도 5는 상술한 제1 조건, 제2 조건 및 제3 조건 각각에 대해 본 발명에 따른 유동 시뮬레이션 방법이 적용된 시뮬레이션 결과를 도시한 도면으로, 드라발 노즐(De Laval nozzle)로부터의 출력되는 작동 유체의 속도 분포(Speed contour)를 나타내고 있다. 도 5의 (a)는 제1 조건에 대한 시뮬레이션 결과를 도시한 도면이고, 도 5의 (b)는 제2 조건에 대한 시뮬레이션 결과를 도시한 도면이고, 도 5의 (c)는 제3 조건에 대한 시뮬레이션 결과를 도시한 도면이다. 도 5의 시뮬레이션 조건은 [표 1]에 나타낸 바와 같다.

[0052] [표 1]

	제1 조건	제2 조건	제3 조건
P_e	1.42 bar	1.04 bar	0.766 bar
l_c	10.0 mm	10.0 mm	10.0 mm
l_d	10.0 mm	10.0 mm	5.0 mm
d_t	0.4 mm	0.4 mm	0.4 mm
d_e	0.5625 mm	0.7 mm	1.448 mm
θ	0.47°	0.86°	5.98°

[0053]

[0054] 그리고, 노즐 압력비($NPR = P_0/P_e$)는 각각의 조건에 대해 4.23, 5.77, 7.83이 적용되었으며, 이 때 P_0 값은 6 bar로 일정하게 유지된다. 또한, 배출구 대비 노즐 목(Nozzle throat)의 영역비는 각각 1.98, 3.06, 13.10으로 설정된다.

[0055] 도 5를 참조하여 설명하면, 상호 교차하는 저밀도 영역과 고밀도 영역, 즉 다이아몬드 충격파 구조의 패턴이 제1 조건 및 제3 조건에서 나타났다. 이러한 구조는 배출구 근처에서 가장 많이 나타나며 다운-스트림을 소멸시킨다.

[0056] 도 6은 도 5에 도시된 제1 조건, 제2 조건 및 제3 조건에 있어서 드라발 노즐(De Laval nozzle)의 중앙 라인

의 유동 특성은 나타낸 그래프이다. 도 6의 (a)는 유동 특성 중 밀도를 나타낸 그래프이고, 도 6의 (b)는 유동 특성 중 흐름 방향으로의 속도를 나타낸 그래프이고, 도 6의 (c)는 유동 특성 중 절대 압력을 나타낸 그래프이고, 도 6의 (d)는 유동 특성 중 온도를 나타낸 도면이다. 모든 유체 유동의 특성은 충격파를 관통하여 변동을 거듭하지만, 변동은 제2 조건에서 최소임을 확인할 수 있다.

[0057] 따라서, 본 발명에 따른 초음속 노즐(20)의 유동 시뮬레이션 방법을 통해 제2 조건이 도 3에 도시된 기구학적 구조를 갖는 코팅 환경에서 최적의 드라발 노즐의 기구학적 구조를 제공하게 된다.

[0058] 상술한 바와 같은 시뮬레이션을 통해 실제 다양한 입자 코팅 조건에 적합한 최적의 파라미터를 갖는 초음속 노즐(20)의 기구학적 구조를 확정할 수 있게 된다.

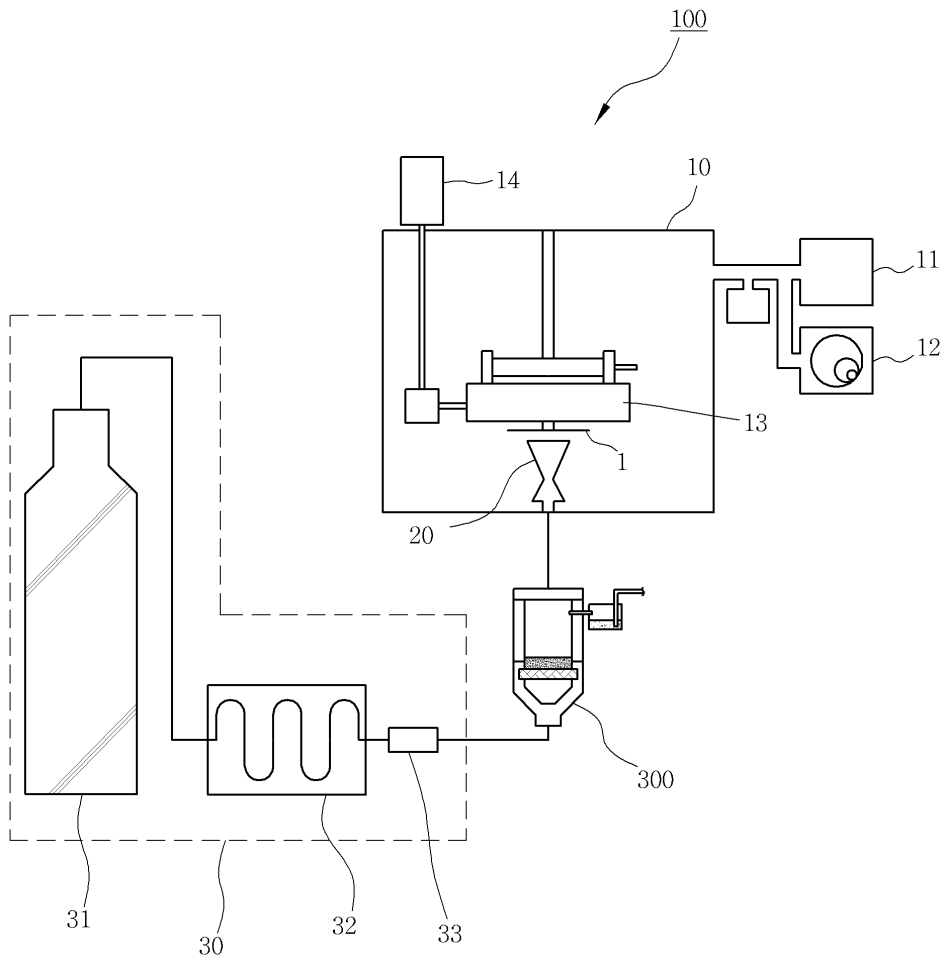
[0059] 비록 본 발명의 몇몇 실시예들이 도시되고 설명되었지만, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 당업자라면 본 발명의 원칙이나 정신에서 벗어나지 않으면서 본 실시예를 변형할 수 있음을 알 수 있을 것이다. 발명의 범위는 첨부된 청구항과 그 균등물에 의해 정해질 것이다.

부호의 설명

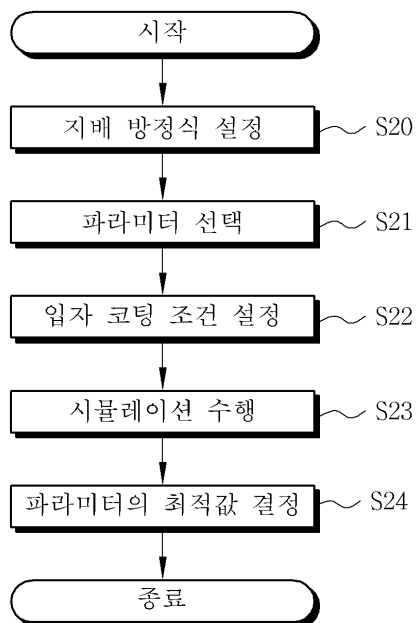
[0060]	100 : 에어로졸 증착 장치	10 : 증착 챔버
	11 : 부스터 펌프	12 : 진공 펌프
	13 : 기관 이송부	14 : 이송 모터
	20 : 초음속 노즐	30 : 작동 유체 공급부
	31 : 작동 유체 저장 탱크	32 : 유체 가열부
	33 : 유량 조절부	300 : 에어로졸 입자 공급부

도면

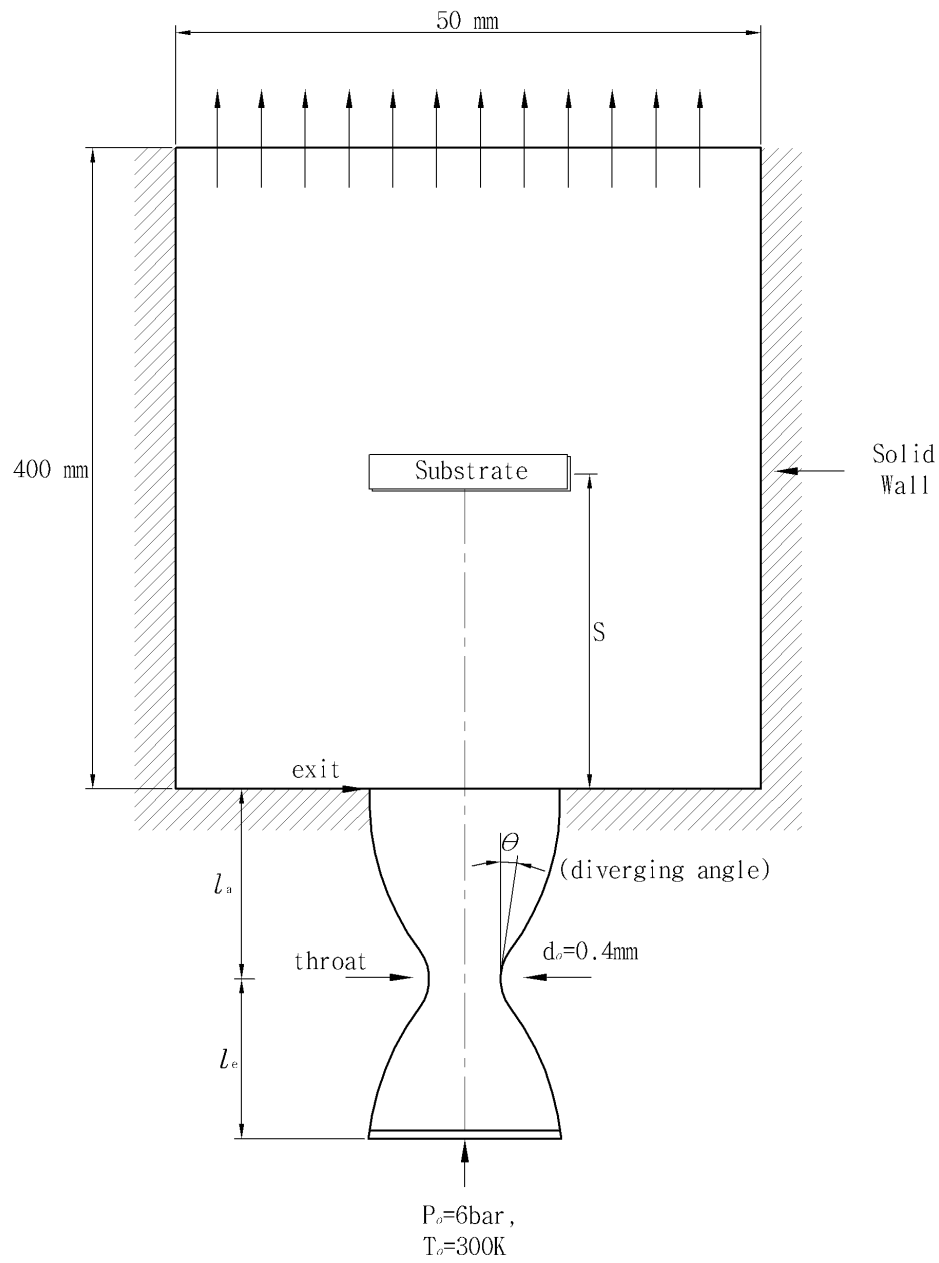
도면1



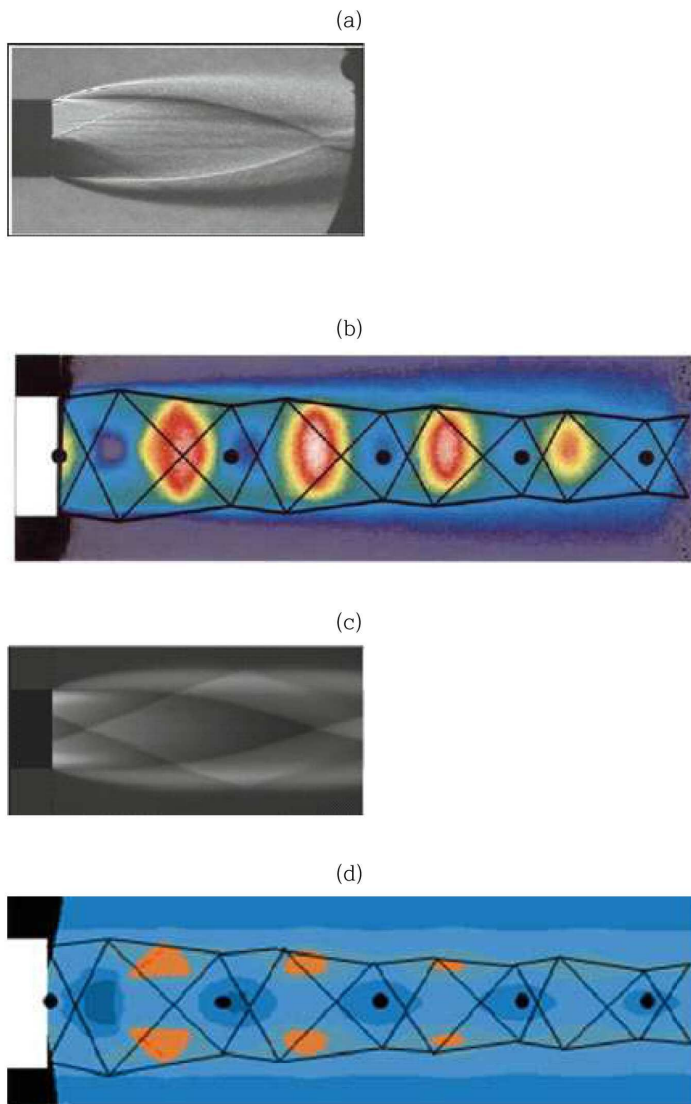
도면2



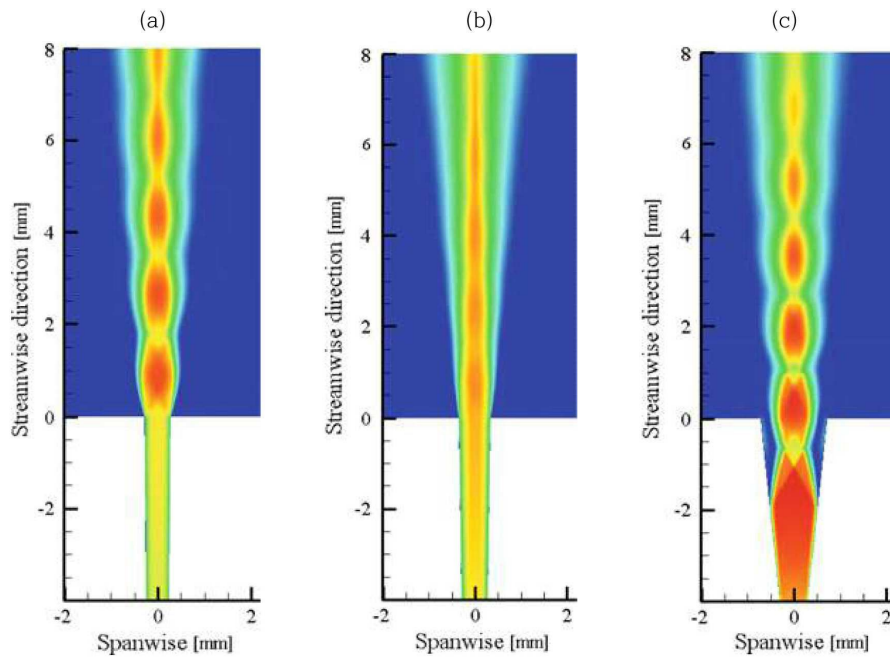
도면3



도면4



도면5



도면6

