



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0060557
(43) 공개일자 2019년06월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B05C 5/02 (2006.01) B05C 11/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B05C 5/027 (2013.01)
B05C 11/10 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0158882
(22) 출원일자 2017년11월24일
심사청구일자 2017년11월24일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
정현욱
서울특별시 서대문구 수색로 100, 303동 702호(북가좌동, DMC래미안e편한세상)
전병진
서울특별시 강서구 공항대로 382, 203동 601호(화곡동, 우장산롯데캐슬아파트)
(74) 대리인
송인호, 윤형근, 최영중, 최관락

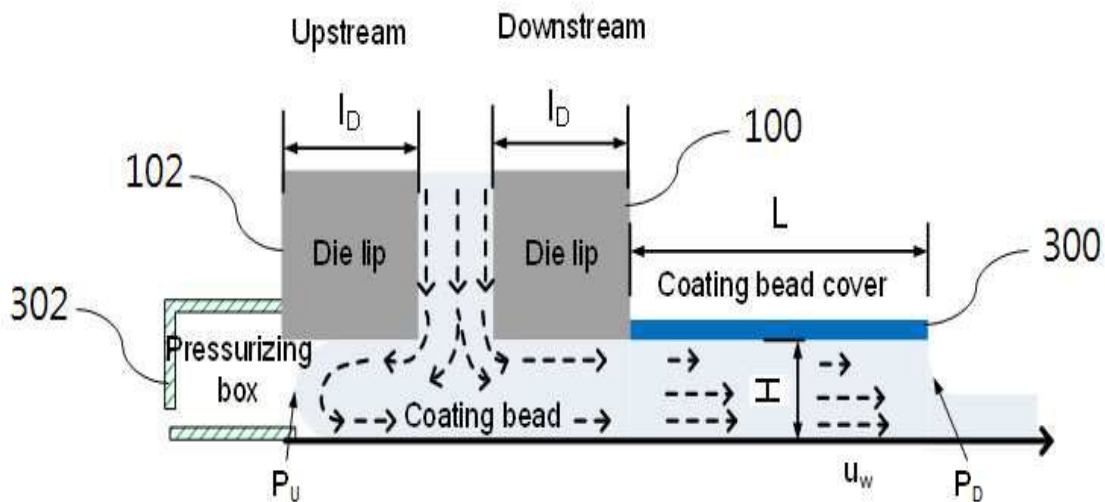
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 코팅 비드 영역이 개선된 슬롯 코팅 장치

(57) 요약

본 발명은 코팅 비드 영역이 개선된 슬롯 코팅 장치를 개시한다. 본 발명에 따르면, 고농도 입자를 포함하는 코팅액을 기재위에 코팅하는 슬롯 코팅 장치로서, 상기 코팅액의 하위흐름 측에 배치되는 제1 슬롯 다이, 상기 코팅액의 상위흐름 측에 배치되며, 상기 제1 슬롯 다이와 대향하는 제2 슬롯 다이, 상기 제1 슬롯 다이의 일측에서 기재 이동 방향으로 연장되는 코팅 비드 커버 및 상기 제2 슬롯 다이측에 제공되며, 상기 하위흐름과 상기 상위흐름 사이의 압력 구배를 형성하는 압력 조절 장치를 포함하는 슬롯 코팅 장치가 제공된다.

대표도 - 도3



(72) 발명자

이관영

서울특별시 용산구 한강대로 26, 101동 1807호(한강로3가, 한강대우트럼프월드3차)

박진석

서울특별시 관악구 보라매로 62, 103동 1407호(봉천동, 보라매삼성아파트)

이기옥

경기도 수원시 팔달구 팔달문로131번길 38, 1층 (우만동)

안원기

경기도 화성시 비봉면 일북동길 110-15, 101호(윤경빌라)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017000444

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 선도연구센터사업

연구과제명 초저에너지 자동차 초저배출 사업단

기 여 율 1/2

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2017.01.01 ~ 2017.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2016R1A5A1009592

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 선도연구센터지원사업

연구과제명 초저에너지 자동차 초저배출 사업단

기 여 율 1/2

주관기관 고려대학교

연구기간 2016.06.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

고농도 입자를 포함하는 코팅액을 기재위에 코팅하는 슬롯 코팅 장치로서,

상기 코팅액의 하위흐름 측에 배치되는 제1 슬롯 다이;

상기 코팅액의 상위흐름 측에 배치되며, 상기1 슬롯 다이와 대향하는 제2 슬롯 다이;

상기 제1 슬롯 다이의 일측에서 기재 이동 방향으로 연장되는 코팅 비드 커버; 및

상기 제2 슬롯 다이측에 제공되며, 상기 하위흐름과 상기 상위흐름 사이의 압력 구배를 형성하는 압력 조절 장치를 포함하는 슬롯 코팅 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 코팅 비드 커버의 길이(L)는 상기 제1 슬롯 다이 및 상기 제2 슬롯 다이의 다이 립과 상기 기재 표면까지의 거리인 코팅 갭의 사이즈(H)에 비례하는 슬롯 코팅 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 L은 10H 내지 2000H의 범위를 갖는 슬롯 코팅 장치.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 L은 100H 내지 1000H 범위를 갖는 슬롯 코팅 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 코팅 비드 커버의 길이(L)는 상기 압력 구배 및 상기 기재의 이동 속도에 의해 가변되는 슬롯 코팅 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 코팅액의 흐름은 상기 압력 구배, 상기 제1 슬롯 다이 및 상기 제2 슬롯 다이의 다이 립과 상기 기재 표면까지의 거리인 코팅 갭의 사이즈(H), 기재 이동 속도 및 슬러리 점도에 따른 무차원 변수를 통해 쿨렛 흐름, 경계 흐름 및 포와제 흐름으로 구분되는 슬롯 코팅 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 무차원 변수는 아래의 수학식으로 표현되는 슬롯 코팅 장치.

[수학식]

$$G = \frac{\nabla pH^2}{u_w \eta_s}$$

여기서, ∇P 는 측방향으로 걸리는 압력구배이고, H 는 다이립(die lip)과 기재와의 갭 사이즈(gap size),

u_w 는 기재 이동 속도(web speed), η_s 는 슬러리(서스펜전 유체)의 점도

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 코팅액의 입자 결정화를 위해, 상기 무차원 변수는 0.8 내지 1.2 범위 내에서 결정되는 슬롯 코팅 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 압력 구배 또는 상기 기재의 이동 속도를 조절하여 상기 무차원 변수를 조절하는 슬롯 코팅 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 코팅 비드 영역이 개선된 슬롯 코팅 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 산업의 발전 및 제품의 소형화 및 정밀화의 움직임에 따라 소재에 요구되는 정밀도 및 특정 기능의 요구수준이 크게 높아지고 있다. 이에 따라, 코팅 시 발생하는 여러 가지 문제를 해결하기 위해 많은 시도가 이루어지고 있다. 대표적으로는 광학특성이나 전기적 특성 향상을 목적으로 한 anti-reflection, hydrophobic 필름들이나 코팅액에 전도성 입자를 포함하는 flexible 전극이 있다.

[0003] 통상적으로, 용매에 희석된 코팅 재료를 코팅하기 위해 다이렉트 그라비아, 마이크로 그라비아, 커튼 코팅, 슬롯 코팅 등의 방법을 사용된다.

[0004] 이 중 코팅 균일성을 향상시키기 위해서 통상적으로 슬롯 코팅이 주로 이용된다.

[0005] 이러한 슬롯 코팅은 다른 코팅법과는 다르게 재료의 주입부에서 토출부까지 폐쇄된 구조를 채택한다.

[0006] 슬롯 코팅은 중간에 희석용제의 휘발에 의해 두께가 불균일해지고 코팅 재료가 변질되는 현상을 원천적으로 차단할 수 있고, 코팅 두께를 다이 갭을 통해 쉽게 조절할 수 있기 때문에 유용하게 사용된다.

[0007] 기존의 슬롯 코팅에서는 고농도의 촉매 입자가 포함된 슬러리 또는 현탁 유체가 균일하게 분산되었다고 하더라도 입자간 상호작용에 의해 불균일 전단 속도를 가지는 흐름에서 전단 속도가 낮은 쪽으로 입자가 고농도가 되는 입자 불균일 분포가 발생한다.

[0008] 코팅 흐름은 전단 속도가 불균일한 흐름을 포함하고 있어서, 고농도 입자가 잘 분산된 유체라 하더라도 불균일 전단 속도가 발생하는 부분을 통과하면서 코팅되는 기재 위에서 제어할 수 없는 입자 불균일이 발생하는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 한국특허공개공보 제10-2004-0030517호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 상기한 종래기술의 문제점을 해결하기 위해, 본 발명에서는 슬롯 코팅에서 입자분포를 조절하여 기재 위에 규칙적으로 입자가 분포하는 필름을 제조할 수 있는 코팅 비드 영역이 개선된 슬롯 코팅 장치를 제안하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 고농도 입자를 포함하는 코팅액을 기재위에 코팅하는 슬롯 코팅 장치로서, 상기 코팅액의 하위흐름 측에 배치되는 제1 슬롯 다이; 상기 코팅액의 상위흐름 측에 배치되며, 상기 제1 슬롯 다이와 대향하는 제2 슬롯 다이; 상기 제1 슬롯 다이의 일측에서 기재 이동 방향으로 연장되는 코팅 비드 커버; 및 상기 제2 슬롯 다이측에 제공되며, 상기 하위흐름과 상기 상위흐름 사이의 압력 구배를 형성하는 압력 조절 장치를 포함하는 슬롯 코팅 장치가 제공된다.

[0012] 상기 코팅 비드 커버의 길이(L)는 상기 제1 슬롯 다이 및 상기 제2 슬롯 다이의 다이 립과 상기 기재 표면까지의 거리인 코팅 갭의 사이즈(H)에 비례할 수 있다.

[0013] 상기 L은 10H 내지 2000H의 범위를 가질 수 있다.

[0014] 상기 L은 100H 내지 1000H 범위에서 좀더 바람직한 결과를 얻을 수 있다.

[0015] 상기 코팅 비드 커버의 길이(L)는 상기 압력 구배 및 상기 기재의 이동 속도에 의해 가변될 수 있다.

[0016] 상기 코팅액의 흐름은 상기 압력 구배, 상기 제1 슬롯 다이 및 상기 제2 슬롯 다이의 다이 립과 상기 기재 표면까지의 거리인 코팅 갭의 사이즈(H), 기재 이동 속도 및 슬러리 점도에 따른 무차원 변수를 통해 쿨렛 흐름, 경계 흐름 및 포와제 흐름으로 구분될 수 있다.

[0017] 상기 무차원 변수는 아래의 수학식으로 표현될 수 있다.

$$G = \frac{\nabla p H^2}{u_w \eta_s}$$

[0018]

[0019] 여기서, ∇p 는 축방향으로 걸리는 압력 구배이고, H는 다이 립(die lip)과 기재 사이의 거리, u_w 는 기재 이동 속도), η_s 는 슬러리의 점도

[0020] 상기 코팅액의 입자 결정화를 위해, 상기 무차원 변수는 0.8 내지 1.2 범위 내에서 결정될 수 있다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 따르면, 기재의 이동 방향 측으로 연장되는 코팅 비드 커버를 제공하여 입자가 기재 표면 위에서 규칙적인 구조를 가지도록 코팅되는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 일반적인 슬롯 코팅 장치의 구조를 도시한 도면이다.

도 2는 종래기술에 따른 슬롯 코팅 장치를 도시한 것이다.

도 3은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 슬롯 코팅 장치를 도시한 것이다.

도 4는 쿨렛 지배 흐름에서의 흐름 속도 및 입자 농도 분포를 나타낸 도면이다.

도 5는 경계 흐름에서의 흐름 속도 및 입자 농도 분포를 나타낸 도면이다.

도 6는 포와제 지배 흐름에서의 흐름 속도 및 입자 농도 분포를 나타낸 도면이다.

도 7은 종래기술(a)과 본 실시예(b)에 따른 쿨렛 지배 흐름에서의 필름 위에서 입자 분포를 나타낸 도면이다.

도 8은 종래기술(a)과 본 실시예(b)에 따른 경계 흐름에서의 필름 위에서 입자 분포를 나타낸 도면이다.

도 9는 종래기술(a)과 본 실시예(b)에 따른 포와제 지배 흐름에서의 필름 위에서 입자 분포를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다.
- [0024] 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조 부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.
- [0025] 이하에서, 본 발명에 따른 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0026] 본 발명은 고농도의 입자를 포함하는 용액(입자 부피분율 20% 이상) 기재 위에 도포할 때 입자의 분포를 조절할 수 있는 슬롯 코팅 장치에 관한 것이다. 구체적으로, 유체 내에서 입자간 상호작용 및 유체 흐름특성에 의해 발생하는 입자의 분포를 제어하여, 기재 위에 서스펜전 되는 입자가 규칙적인 배열을 갖도록 구조가 개선된 슬롯 코팅 장치를 제공하는 것이다.
- [0027] 도 1은 일반적인 슬롯 코팅 장치의 구조를 도시한 도면이다.
- [0028] 도 1에 도시된 바와 같이, 슬롯 코팅 장치는 제1 슬롯 다이(슬롯 다이 상판, 100) 및 제2 슬롯 다이(슬롯 다이 하판, 102)를 포함한다.
- [0029] 제2 슬롯 다이(102)에는 코팅액이 주입되는 주입부(104)가 연결되며, 주입부(104)를 통하여 주입되는 코팅액을 저장하는 챔버(chamber, 106)가 형성된다.
- [0030] 슬롯 다이 내에서 토출된 코팅액이 도포되는 대상을 웹, 기재, 또는 지지층이라 한다. 이하에서는 코팅액 도포 대상을 기재라고 칭한다.
- [0031] 이때 토출되는 코팅액의 유량에 맞춰 라인 속도 및 압력을 적절히 제어하여야 진행 방향으로 균일한 코팅 필름을 형성할 수 있다.
- [0032] 도포된 필름은 진행 방향 및 폭 방향으로 균일한 코팅 특성을 지녀야 한다. 그에 따라서 적절한 공정 조절 변수를 고려할 뿐만 아니라 용액에 맞는 적절한 슬롯 다이를 구성해야 한다.
- [0033] 도 2는 종래기술에 따른 슬롯 코팅 장치를 도시한 것이고, 도 3은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 슬롯 코팅 장치를 도시한 것이다.
- [0034] 도 2 내지 도 3을 참조하면, 제1 슬롯 다이(100)와 제2 슬롯 다이(102) 사이의 피드 슬릿에서 코팅액이 토출될 때, 상기한 피드 슬릿과 기재 사이의 영역이 코팅 비드 영역으로 정의된다.
- [0035] 종래에는 기재의 이동에 따라 제1 슬롯 다이(100)의 우측(기재의 이동 방향)은 자유 공간이 되고, 제2 슬롯 다이(102)의 좌측(기재 이동의 반대 방향)은 진공 압력을 유지한다.
- [0036] 그러나, 이러한 기존의 슬롯 코팅에서는 고농도의 입자가 포함된 코팅액의 도포 시 불균일 전단 속도를 가지는 흐름에서 입자간 상호작용에 의해 전단 속도가 낮은 쪽으로 고농도가 되는 본질적인 입자 불균일 분포가 발생한다.
- [0037] 이러한 현상을 제어하기 위해, 본 실시예에 따르면, 제1 슬롯 다이(100) 측에 소정 길이의 코팅 비드 커버(300)를 제공한다.
- [0038] 코팅 비드 커버(300)에 의해 커버 표면에서의 흐름 속도가 효과적으로 0이 되어 코팅 비드 영역의 쿼트-포와제 흐름형태가 지속적으로 유지된다.
- [0039] 코팅 비드 커버(300)의 길이는 압력구배와 기재의 속도(moving web speed)에 따라 가변적으로 조절된다.
- [0040] 코팅 비드 커버(300)로 인해 유체에 가해지는 압력구배는 기존 구조에 비해 높아진다. 이처럼 가압된 흐름에서 static contact line을 유지하기 위해, 제2 슬롯 다이(102) 측에 압력 조절 장치(302)가 제공된다.
- [0041] 압력 조절 장치(302)에서의 압력은 유량 조건에 따라 대기압보다 낮거나 높을 수 있다.
- [0042] 고농도의 입자를 포함하는 용액(입자 부피분율 20% 이상)은 입자간의 상호작용에 의해 추가적인 확산이 발생한다고 알려져 있다. 이 입자 확산 현상은 흐름내의 전단 속도가 전체적으로 균일할 경우에는 입자들이 용액 내에서 균일한 분포를 가지도록 기여하겠지만, 불균일한 전단 속도를 갖는 흐름의 경우, 국부적으로 높은 전단 속도

를 가지는 영역에서 낮은 전단 속도를 가지는 영역으로 추가적인 입자 확산이 일어나게 된다. 이런 불균일 전단 속도를 갖는 대표적인 흐름으로는 관형의 채널에서 압력차로 유동이 생길 때 만들어지는 포와제 흐름이 있다. 포와제 흐름에서는 벽면에서 전단 속도가 높고, 채널 중간에서 전단 속도가 낮아지는 흐름이기 때문에, 채널의 중심부가 고농도가 되고, 채널의 벽면이 저농도가 되는 불균일 현상이 발생한다.

[0043] 슬롯 코팅에서도 피드 슬롯을 통과할 때의 흐름 특성은 포와제 흐름 형태를 가지게 되어, 입자의 중심부 이동이 발생하게 된다. 피드 슬롯을 통과한 후에 코팅 비드 영역에서는 움직이는 기재의 영향으로 압력차와 벽면이 잡아끄는 흐름이 복합되는 쿼트-포와제 흐름형태를 가지게 된다. 이 흐름 형태에서는 입자의 분포는 더 이상 중심부가 고농도가 아니고, 움직이는 기재 이동 속도와 압력구배 그리고 슬러리 점도에 의존하게 되는데, 그 관계식은 다음과 같은 무차원 변수로 표현된다.

수학식 1

$$G = \frac{\nabla p H^2}{u_w \eta_s}$$

[0044]

[0045] 여기서, ∇p 는 축방향으로 걸리는 압력구배이고, H는 다이립(die lip)과 기재와의 갭 사이즈(gap size),

u_w 는 기재 이동 속도(web speed), η_s 는 슬러리(서스펜전 유체)의 점도이다.

[0046] 여기서, 슬러리는 뉴튼 유체에 입자들이 서스펜전된 형태일 때, 뉴튼 유체의 점도(η)로부터 다음과 같은 크라이거 모델(Krieger model)로 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$\eta_s = \eta (1 - \phi / \phi_m)^{-c}$$

[0047]

[0048] 여기서, 최대 packing 되는 부피분율 $\phi_m = 0.68$ 과 $c = 1.82$ 가 통상적으로 사용된다.

[0049] 수학식1의 G값에 따라 쿼트-포와제 흐름 특성은 다음과 같이 세 가지로 구분된다.

[0050] 1) 쿼트 지배 흐름($G < 1$): 흐름의 발생이 주로 기재의 움직임에 의해 만들어지고, 전체적으로 흐름 특성은 쿼트 흐름에 가까워지면서, 흐름 내의 전단 분포는 어느 정도 균일한 형태이다.

[0051] 2) 경계 흐름($G \sim 1$): 쿼트 흐름과 포와제 흐름의 경계에 있는 흐름(쿼트-포와제 흐름)으로, 흐름특성은 기재의 움직임과 압력구배에 의한 두 힘이 어느 정도 동일한 크기이므로, 이 둘 모두에 의해 지배받는다. 흐름 내 전단 분포는 기재 쪽의 전단 속도가 낮은 특성을 보인다.

[0052] 3) 포와제 지배 흐름 ($G \gg 1$): 압력구배에 의한 채널을 통과하는 흐름인 포와제 흐름과 유사한 형태로, 완전히 포와제 흐름인 경우, 전단 속도는 코팅 갭의 중간이 가장 낮고 기재 면과 다이 립(Die lip)에서 높은 형태를 나타낸다.

[0053] 고농도 입자를 포함한 흐름은 공통적으로 높은 전단 속도 영역에서 낮은 전단 속도 영역으로 이동하는 현상이 나타나는데, 본 발명은 압력구배와 기재 이동 속도에 따라 나타나는 3가지 흐름 형태에 대한 현상을 바탕으로 입자 이동현상을 조절할 수 있는 장치를 제안하는 것이다.

[0054] 여기에서 추가로 상위흐름(Upstream)에서의 메니스커스(meniscus)를 정위치에 고정하기 위한 압력값(PU)을 코팅 비드 커버 길이 L의 변화에 따른 단순화된 식으로 표현할 수 있다.

수학식 3

$$P_U = \left(q - \frac{u_w H}{2} \right) \frac{12 \eta_s (l_D + L)}{H^3} - \frac{6 \eta_s u_w l_D}{H^2} + P_D$$

여기서, q 는 비부피속도(specific volume flow rate)로 전체부피속도(total volume flow rate)를 코팅폭 (coating width: W)으로 나눈값이다. l_D 는 다이 립의 길이를 나타내며, 나머지 상수와 변수는 앞에서 설명된 바와 같다.

수학식 3에서 하위흐름(Downstream) 압력(P_D)는 자유표면(free surface)의 압력이므로 대기압이다. 즉 수학식 3 으로부터 대기압 대비 필요한 상위흐름 압력을 추산할 수 있다.

오른쪽의 첫 번째 항은 하위흐름의 쿨렛-포와제 흐름에 의한 압력값이고, 두 번째 항은 재순환(recirculation) 되는 상위흐름 부분에서의 압력값이다. 즉, 종래기술의 경우($L=0$), 많은 경우에 음압이 필요하게 되어 진공장치 (vacuum box)가 필요하게 됨을 알 수 있다. 하지만 본 실시예에서는 하위흐름에서 상대적으로 긴 길이의 코팅 비드 커버가 존재함으로 인해서, 양압이 필요하게 되어 압력 조절 장치(302)가 필요함을 알 수 있다.

수학식 3은 많은 가정들이 도입되어 단순화된 식이므로, 실제 작업 시 압력값은 식에서 얻어진 압력값을 초기값 으로 하여, 재조절이 필요하다(가정: 점도값의 전단 속도의존성, 고점도로 인한 슬러리액의 표면장력에 의한 압 력차, 입구효과(Entrance effect)와 같은 변수들이 무시된 식이다).

실시예

코팅 비드 영역은 기본적으로 밀리미터 이하(sub-millimeter)이다. 피드 슬롯 갭과 코팅 갭(슬롯 다이와 기재 사이 간격)은 수백 마이크로미터이고, 건조 후 에는 기재 위의 코팅층 두께는 수십 마이크로 정도이다. 보통의 기재 이동 속도는 수십 m/min정도이다. 도포된 코팅액은 보통은 건조 또는 경화 열처리를 하여 고형화된다.

슬롯 코팅 장치의 흐름 특성을 보면, 압력차로 밀어지는 흐름(포와제 흐름)을 지나서 기재의 움직임과 압력차 가 동시에 존재하는 코팅 비드 영역(쿨렛-포와제 흐름), 그리고 기재만 지나가는 자유흐름영역(free surface 흐 림)으로 구분된다.

일반적으로, 코팅액으로 사용되는 입자가 포함된 슬러리액에서 부유입자의 비중차가 크지 않기 때문에, 중력에 의한 침전(sedimentation)은 쉽게 무시될 수 있다.

실험에 사용된 용액은 글리세린과 물이 6:4의 비율로 섞인 뉴튼 유체이다. 여기서 뉴튼 유체라 함은 전단 속도 의 변화에 의한 점도의 변화가 없는 유체를 의미한다. 유체점도는 Anton Paar MCR301레오미터를 이용하여 $\eta = 50 \text{ mPa.s}$ 로 측정되었다. 사용된 입자는 구형의 폴리스티렌 ($D_{50} = 10 \mu\text{m}$) 입자를 40wt%로 가정하였다. 여기서 폴 리스티렌 입자는 비중이 용매와 거의 동일한 값에 가깝기 때문에 부피분율로 40vol%로 환산이 된다.

이때, 압력 구배와 기재 이동 속도에 따라 다음과 같이 세 가지 다른 조건에서 진행하였다.

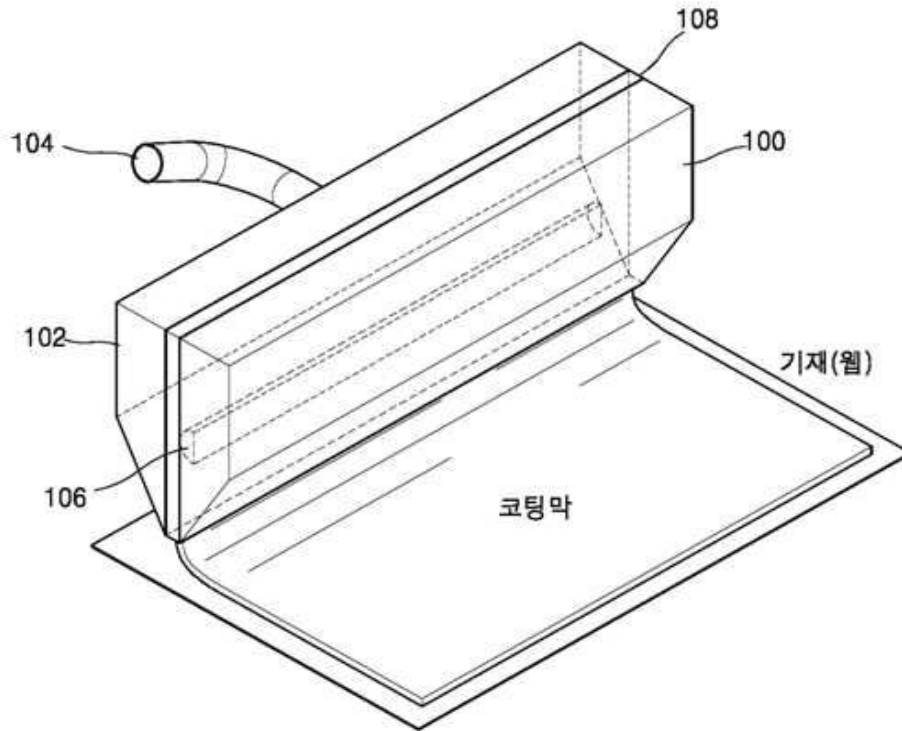
표 1

조건	L[cm]	$\nabla p[\text{Pa/m}]$	$uw[\text{m/min}]$	G	결정화
IA	0	1.2×10^5	3	0.6	×
IB	10				×
IIA	0	2.0×10^5	3	1.0	×
IIB	10				○
IIIA	0	1.0×10^6	3	5.0	×
IIIB	10				×

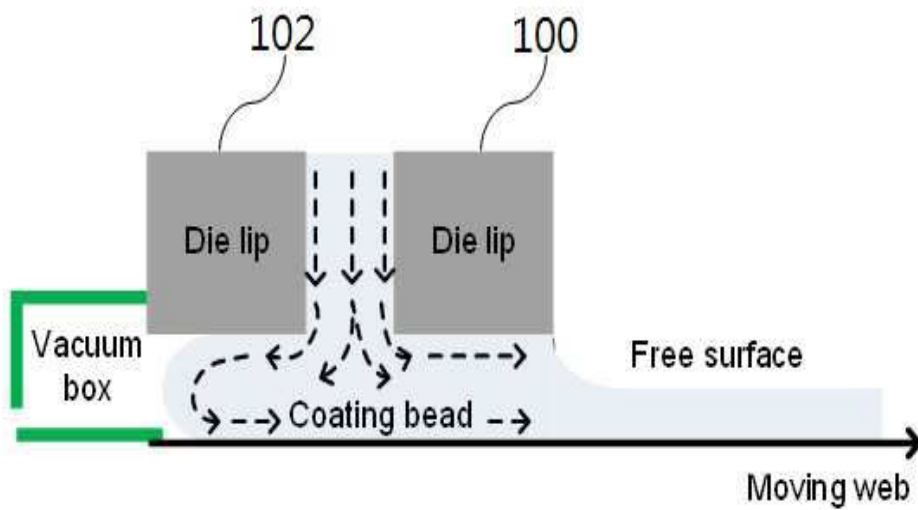
- [0067] 각 조건에서 얻어진 G값을 보면, I은 쿠엣 지배 흐름, II는 경계 흐름(쿠엣-포와제 흐름), III은 포와제 지배 흐름 영역에 속하고 있음을 알 수 있다. 그리고 각각 A 와 B는 종래기술과 본 발명에 따른 장치를 나타낸다.
- [0068] 위의 6가지 조건에 대해서, 필름 위의 입자 결정화 유무를 확인해 보면, IIB 조건에서만 입자 결정화가 됨을 알 수 있다. 이에 대한 설명은 아래와 같다.
- [0069] 각 조건별로 다이 캡에서, 기재 표면으로부터 다이 립까지의 높이 방향을 y방향이라 할 때, 각각 유속 분포, 입자 분포 및 필름 위 입자 직경 기준으로 두 층까지의 입자 결정화를 도면으로 나타내었다.
- [0070] 다이 립이 끝나고, 자유표면 흐름이 시작되기 직전에서의 흐름 속도는 도 4(a), 도 5(a), 도 6(a)와 같이 변화함을 알 수 있다. 종래기술에 비해 본 발명에 따른 슬롯 코팅 장치에서는 더 긴 구간에서의 흐름을 통해 서스펜션의 흐름 분포가 보다 fully developed된 형태로 됨을 알 수 있다.
- [0071] 도 4 내지 도 6에서 Conventional은 종래기술의 흐름 및 농도 분포, Modified는 본 실시예에서의 흐름 및 농도 분포를 나타낸다.
- [0072] 모든 흐름 속도 분포는 기재 표면($y=0$)에서 $U=u_x$ 와 다이 립 또는 커버 표면($y=H$)에서의 no-slip ($U=0$) 조건을 만족하고 있음을 확인할 수 있다.
- [0073] 이 흐름 분포의 변화로 국부적인 전단 속도의 변화가 발생하게 되며, 이는 입자 분포의 변화를 가져오게 된다.
- [0074] 종래기술과 본 실시예에 따른 입자의 분포를 계산한 결과는 도 4(b), 도 5(b), 도 6(b)와 같이 변화됨을 알 수 있다. 특징적으로, 쿠엣 지배 흐름에서는 특별히 고농도 영역 없으나, 경계 흐름 및 포와제 지배 흐름에서는 각각 기재 표면쪽($y=0$)과 중심 이하 ($y/H < 0.5$) 쪽에서 고농도 분포가 만들어지는 것이 확인된다.
- [0075] 이러한 현상은 본 실시예에 따른 슬롯 코팅 장치에서 뚜렷하게 나타나고 있다.
- [0076] 도 7 내지 도 9는 각 조건에서, 기재표면 위 $20\mu\text{m}$ 영역 ($0 < y < 20\mu\text{m}$)에서의 입자가 정렬되는 모습을 평면도로 나타낸 것이다. 두 층으로 형성된 입자를 구분하기 위해서, 첫 번째 층을 백색, 두 번째 층을 흑색으로 나타내었다. 입자 분포는 쿠엣 지배 흐름이나, 포와제 지배 흐름에서는 종래기술과 본 발명에서 모두에서 무작위 배열 형태를 가지고 있음을 알 수 있다. 하지만, 도 8(b)의 개선된 디자인의 경계 흐름 조건에서 2차원의 육각형 배열을 갖은 잘 패킹된 형태의 입자 코팅을 얻을 수 있음이 확인된다.
- [0077] 상기한 실시예 및 도면에 도시된 바와 같이, 본 실시예는 제1 슬롯 다이의 일측에 코팅 비드 커버를 소정 길이로 제공하여, 고농도의 입자를 포함하는 용액(입자 부피분율 20% 이상) 기재 위에 도포할 때 수학적 1과 같은 무차원 변수를 이용하여 쿠엣-포와제 흐름, 즉 경계 흐름이 긴 구간 동안 유지되도록 한다.
- [0078] 본 실시예에 따르면, 코팅 비드 커버의 길이(L)는 코팅 갭 (H)의 크기에 비례하여 L/H 는 10 ~ 2000 이내로 제한한다. 바람직하게는 $L = 100H$ 이상 $1000H$ 이하를 갖도록 하는 것이 바람직하다.
- [0079] 또한, 기재 위에 입자가 결정화될 수 있도록 수학적 1의 G값이 1 부근이 적당하다. 구체적으로는 G는 0.8 이상 1.2 이하로 유지하는 것이 바람직하다.
- [0080] 상기한 수학적 1에서 n_s 는 유체의 물성값으로, 제품의 최종 건조잔유물의 양과 같은 품질과 바로 연결되어 있어서 쉽게 변경하기 어려우며, Gap size H 또한 코팅된 제품의 최종 두께와 직접적인 연관이 있어 쉽게 변경이 어려운 값이다. 결국, 공정상에 압력구배 ∇p 또는 증가적인 피드의 펌핑되는 유량 및 기재의 속도 uw 를 변경하여, 이 둘의 상대비인 G값을 원하는 값으로 조절한다.
- [0081] 상기한 본 발명의 실시예는 예시의 목적을 위해 개시된 것이고, 본 발명에 대한 통상의 지식을 가지는 당업자라면 본 발명의 사상과 범위 안에서 다양한 수정, 변경, 부가가 가능할 것이며, 이러한 수정, 변경 및 부가는 하기의 특허청구범위에 속하는 것으로 보아야 할 것이다.

도면

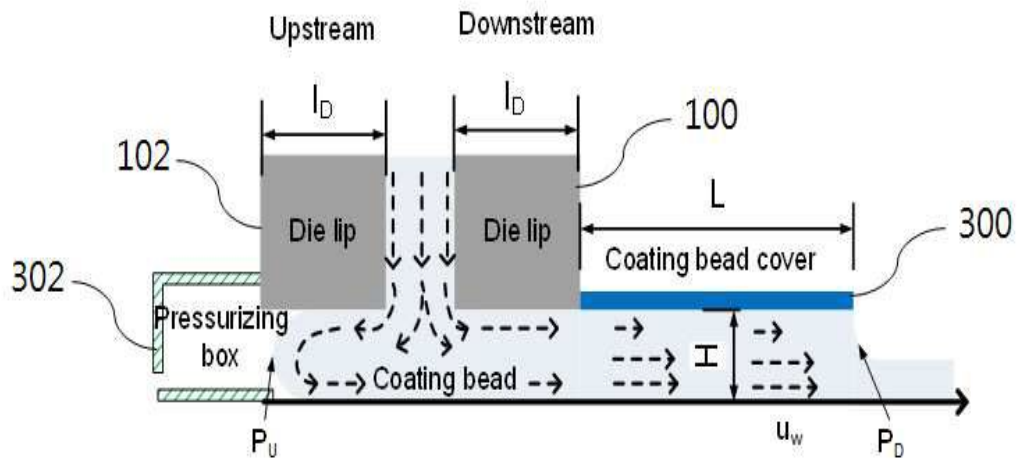
도면1



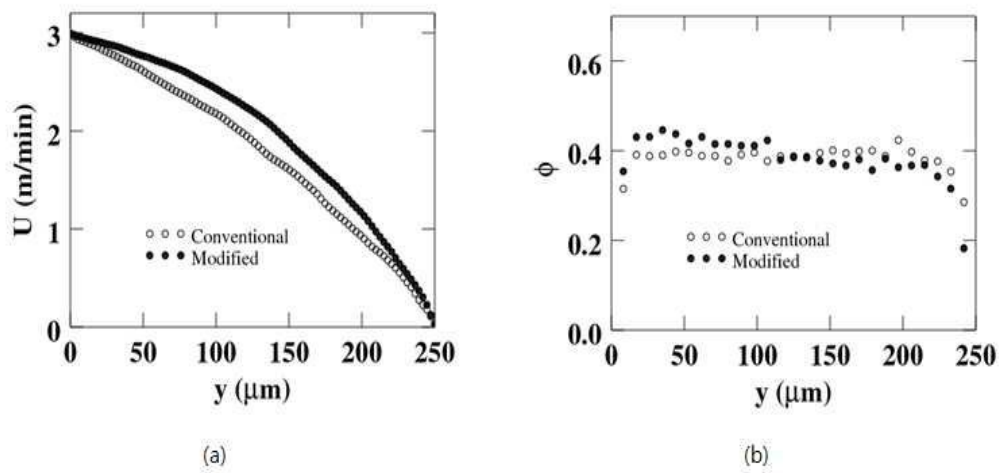
도면2



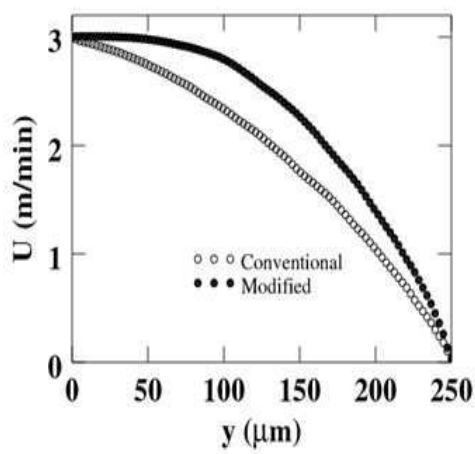
도면3



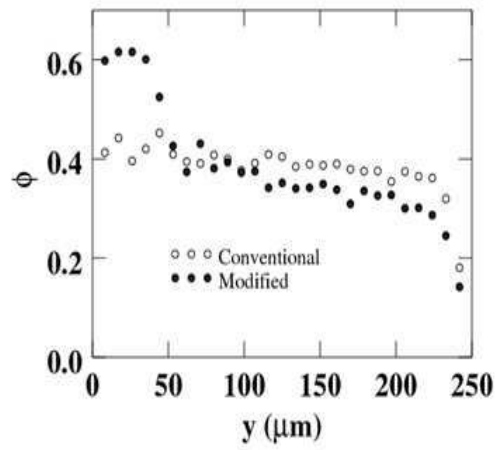
도면4



도면5

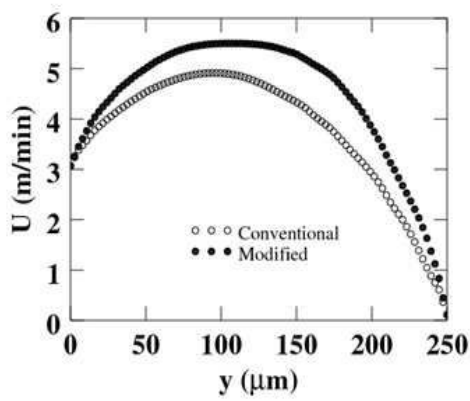


(a)

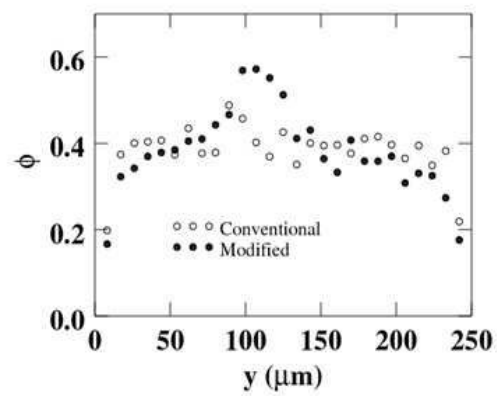


(b)

도면6

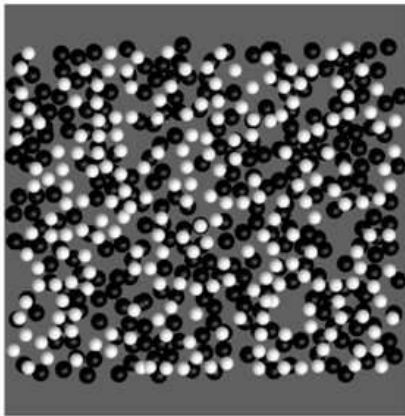


(a)

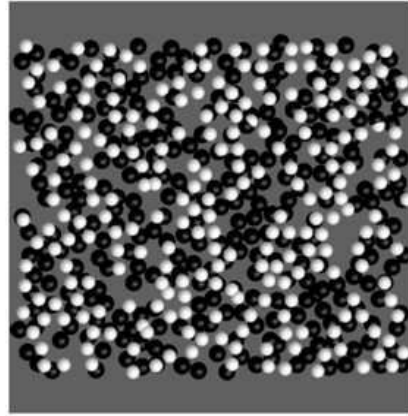


(b)

도면7

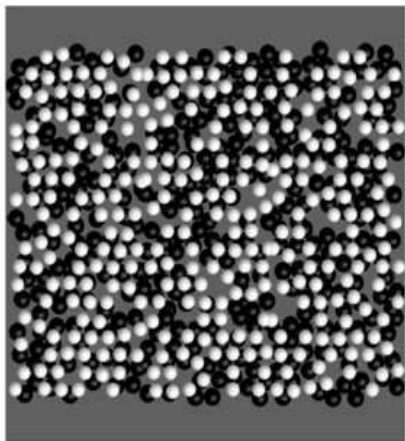


(a)

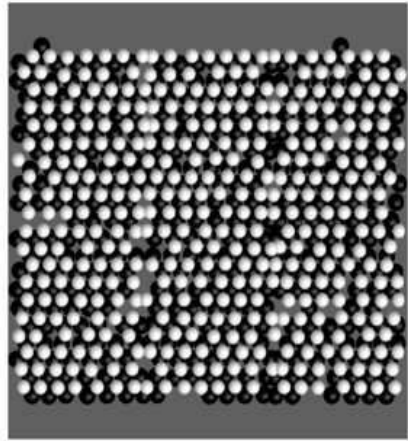


(b)

도면8

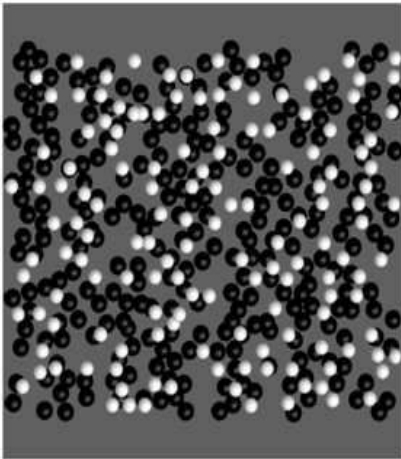


(a)

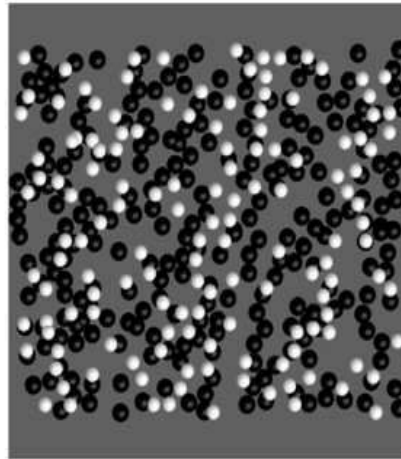


(b)

도면9



(a)



(b)