



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0084927
(43) 공개일자 2010년07월28일

(51) Int. Cl.

G01N 33/44 (2006.01) G01B 21/00 (2006.01)
B29C 45/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0004335

(22) 출원일자 2009년01월19일

심사청구일자 2009년01월19일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내

(72) 발명자

정현욱

고려대학교 공과대학 화공생명공학과 공학관 221호

현재천

서울특별시 강남구 압구정동 한양아파트 43-105

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

민영준, 최관락, 송인호

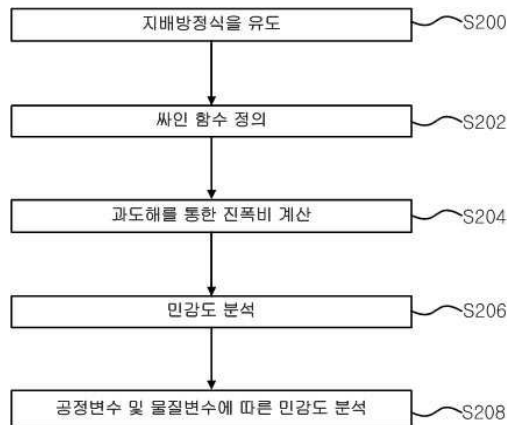
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 고분자 필름 가공 공정의 민감도 분석 방법

(57) 요약

본 발명은 고분자 필름 가공 공정의 민감도 분석 방법을 개시한다. 본 발명은 고분자 필름 가공 공정에 대해 유도된 2차원 지배방정식을 유지하는 단계-상기 2차원 지배방정식은 공정 중 발생할 수 있는 주기적 외란이 싸인 함수로 정의되는 경계조건을 포함함-; 상기 지배방정식을 이용하여 상기 싸인 함수의 주파수를 달리하면서 필름 두께, 폭 및 단면적 중 적어도 하나에 대한 과도해를 계산하는 단계 및 상기 계산된 과도해를 이용하여 각 주파수에서의 진폭비를 계산하여 민감도를 분석하는 단계를 포함한다. 본 발명에 따르면, 2차원 지배방정식 및 주기적인 외란을 모사하는 싸인 함수의 도입을 통해 실제 공정에 적용 가능한 정확한 민감도 분석이 가능하다는 장점이 있다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

신동명

경기도 고양시 덕양구 화정2동 별빛마을702동1501호

최승원

서울특별시 동대문구 용두2동 신설동역 대우아이빌 101동 611호

이주성

대전광역시 유성구 전민동 삼성푸른아파트 112동1505호

특허청구의 범위

청구항 1

고분자 헬름 가공 공정의 민감도를 분석하는 방법으로서,

- (a) 상기 고분자 헬름 가공 공정에 대해 유도된 2차원 지배방정식을 유지하는 단계-상기 2차원 지배방정식은 공정 중 발생할 수 있는 주기적 외란이 싸인 함수로 정의되는 경계조건을 포함함-
- (b) 상기 지배방정식을 이용하여 상기 싸인 함수의 주파수를 달리하면서 헬름 두께, 폭 및 단면적 중 적어도 하나에 대한 과도해를 계산하는 단계; 및
- (c) 상기 계산된 과도해를 이용하여 각 주파수에서의 진폭비를 계산하여 민감도를 분석하는 단계를 포함하는 고분자 헬름 가공 공정의 민감도 분석 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 2차원 지배방정식은,

$$\text{연속식: } \frac{\partial e}{\partial t} + \nabla \cdot e \mathbf{v} = 0.$$

$$\text{여기서, } e = \frac{\bar{e}}{e_0}, \quad v = \frac{\bar{v}}{v_0}, \quad t = \frac{\bar{t} v_0}{w_0}, \quad \nabla = \frac{\bar{\nabla}}{w_0}$$

$$\text{운동식: } \nabla \cdot e \boldsymbol{\sigma} = 0.$$

$$\text{여기서, } \boldsymbol{\sigma} = \frac{\bar{\boldsymbol{\sigma}} \bar{w}_0}{\bar{\eta}_0 \bar{v}_0}$$

$$\text{구성방정식: } K \boldsymbol{\tau} + De \left[\frac{\partial \boldsymbol{\tau}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \boldsymbol{\tau} - \mathbf{L} \cdot \boldsymbol{\tau} - \boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{L}^T \right] = 2 \mathbf{D}.$$

$$\text{여기서, } \boldsymbol{\tau} = \frac{\bar{\boldsymbol{\tau}} \bar{w}_0}{\eta \bar{v}_0}, \quad K = \exp[\varepsilon \text{Detr} \boldsymbol{\tau}], \quad De = \frac{\lambda \bar{v}_0}{w_0}, \quad \mathbf{L} = \nabla \mathbf{v} - \boldsymbol{\xi} \mathbf{D}, \quad 2 \mathbf{D} = [\nabla \mathbf{v} + (\nabla \mathbf{v})^T] \mathbf{O}$$

고,

경계조건:

$$(i) \text{ Inlet } (\partial\Omega_1): \quad v_x=1, v_y=0, e=1, w=1, \tau=\tau_0 \quad \text{at } t=0.$$

$$v_x=1, v_y=0, e=1, w=1 \quad \text{at } t>0.$$

$$(ii) \text{ Outlet } (\partial\Omega_2): \quad v_x = D_r \equiv \frac{v_L}{v_0}, v_y = 0 \quad \text{at } t=0.$$

$$v_x = D_r(1+\delta\sin(\alpha t)), v_y=0 \quad \text{at } t>0.$$

$$(iii) \text{ Center } (\partial\Omega_3): \quad \sigma_{xy}=0 \quad \text{at } t_0.$$

$$(iv) \text{ Edge } (\partial\Omega_4): \quad \frac{\partial w}{\partial t} + v_x \frac{\partial w}{\partial x} = v_y, \sigma \cdot n = 0 \quad \text{at } t_0.$$

여기서, e 는 무차원 횡름 두께, w 는 무차원 횡름 폭, v 는 무차원 횡름 속도, σ 는 무차원 전체 응력 텐서, τ 는 무차원 엑스트라(extra) 응력 텐서, t 는 무차원 시간, D_r 는 무차원 변형률 텐서, De 는 데보라(Deborah) 수,

λ 는 폴립시간, ε 과 ξ 는 PTT(Phan Thien-Tanner) 모델 변수, D_r 은 연신비, δ 은 외란의 진폭, n 는 수직

벡터, η_0 는 영점 전단 점도, ω 는 진동수(주파수), 하첨자 0은 원점, x, y 는 각각 축 방향과 폭 방향-중심(center)에서의 경계조건은 대칭 조건임-

으로 구성되는 고분자 횡름 가공 공정의 민감도 분석 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 고분자 횡름 가공 공정에 이용되는 물의 속도가 상기 싸인 함수로 정의되는 고분자 횡름 가공 공정의 민감도 분석 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 진폭비는,

$$A = \frac{\left(\frac{e_{\max} - e_{\min}}{e_{\max} + e_{\min}} \right)}{\delta} \text{ 이고,}$$

여기서, $e_{\max}$ 는 횡름 두께, 폭 및 단면적 중 적어도 하나에 대한 최대값, $e_{\min}$ 은 최소값인 고분자 횡름 가공 공정의 민감도 분석 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 공정 조건 및 물질 변수를 변화시키면서 상기 진폭비 계산을 반복 수행하는 단계를 더 포함하는 고분자 횡름 가공 공정의 민감도 분석 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 공정 조건은 연신비 및 거리비 중 적어도 하나를 포함하며, 상기 물질 변수는 데보라 수를 포함하는 고분자 헬름 가공 공정의 민감도 분석 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

각 공정 조건 및 물질 변수에 따른 진폭비의 비교를 통해 최적 연신비, 거리비 및 데보라 수 중 하나를 결정하는 단계를 포함하는 고분자 헬름 가공 공정의 민감도 분석 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 고분자 헬름 가공 공정은 롤이 이용되는 신장 변형 공정인 헬름 캐스팅 공정인 고분자 헬름 가공 공정의 민감도 분석 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 진폭비는 신장 점도 상승(extension thickening) 유체 및 신장 점도 하강(extension thinning) 유체에 대해 정반대 경향을 나타내는 고분자 헬름 가공 공정의 민감도 분석 방법.

청구항 10

고분자 헬름 가공 공정의 민감도를 분석을 위하여 디지털 처리 장치에 의해 실행될 수 있는 명령어들의 프로그램이 유형적으로 구현되어 있으며 디지털 처리 장치에 의해 판독될 수 있는 기록매체로서,

- (a) 상기 고분자 헬름 가공 공정에 대해 유도된 2차원 지배방정식을 유지하는 단계-상기 2차원 지배방정식은 공정 중 발생할 수 있는 주기적 외란이 싸인 함수로 정의되는 경계조건을 포함함-;
- (b) 상기 지배방정식을 이용하여 상기 싸인 함수의 주파수를 달리하면서 헬름 두께, 폭 및 단면적 중 적어도 하나에 대한 과도해를 계산하는 단계; 및
- (c) 상기 계산된 과도해를 이용하여 각 주파수에서의 진폭비를 계산하여 민감도를 분석하는 단계를 수행하는 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 고분자 헬름 가공 공정의 민감도 분석 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 고분자 헬름 가공 공정, 특히 헬름 캐스팅 공정에서 발생하는 주기적 외란에 따른 제품 불균일성을 제어할 수 있도록 민감도를 분석하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

전형적인 신장 변형 공정(extensional deformation process)인 헬름 캐스팅은 도 1에 나타난 바와 같이, 다이(die, 100)로부터 연속적으로 배출되는 고분자 용융체(polymer melt)를 흐름 축 방향으로 냉각롤(chill roll) 또는 권취롤(take-up roll)이 잡아당김으로써 얇은 고분자 헬름을 생산하는 공정이다.

[0003]

권취점(take-up, 102)에서 잡아당기는 힘에 의해 헬름이 축방향으로 연신되고 그 결과 헬름 내의 분자 배향을 촉진시켜서 제품의 성질을 좋게 만들게 된다. 권취점(102)에서의 속도와 다이 출구에서의 속도의 비인 연신비(drawdown ratio, r)와 축방향 길이와 다이 폭의 비인 거리비(aspect ratio)를 조정하거나, 물질의 점탄성적 특

성(데보라 수, Deborah number)에 따라 헬름 캐스팅 공정의 제품 물성을 원하는 설계대로 제어할 수 있다.

- [0004] 헬름의 단면적이나 폭이 주기적으로 변하는 연신 공명(draw resonance), 헬름의 모서리 부분의 두께가 중심 부분의 두께보다 큰 현상(edge beads)과 다이 출구에서 권취점에 이르기까지 헬름의 폭이 감소하는 현상(neck in)과 같은 헬름 캐스팅 공정의 불안정성이 발견된 이래, 많은 연구 그룹에 의해 헬름 캐스팅 공정의 불안정성에 대한 이론적, 실험적 연구가 진행되어 왔다.
- [0005] 그러나, 이러한 불안정성에 대한 선형 안정성, 과도해 도출이나 일차원 모델에 대한 분석 등은 진보되어 왔으나, 싸인파 외란에 대한 과도 응답(transient response) 분석을 이용한 민감도 분석은 실제 공정을 반영하는 다차원 모델에 대해서 확립되어 있는 않은 상태이다.
- [0006] 실제 공정에 있어 고분자 용융체를 공급해주는 펌프의 맥동 현상, 권취점에서의 냉각롤 또는 권취롤과 같은 롤(roll) 속도의 일정치 않는 현상 등의 외란이 필연적으로 도입되게 되고 따라서 이에 대한 제품의 불균일성에 미치는 영향을 파악하는 것이 중요하다.
- [0007] 일차원 모델을 사용한 분석 방법은 헬름의 두께가 폭에 따라 일정하다고 가정하였기 때문에, 실제 공정을 제대로 모사하지 못하는 단점이 있어 해석 결과도 실제 현장에 적용하기가 불가능하다.
- [0008] 즉, 실제 공정에서는 헬름의 두께가 폭에 따라 달라지는 것이 일반적인데, 종래의 일차원 모델에 근거한 분석 방법은 이러한 점을 무시한 상태에서 민감도를 분석하기 때문에 정확한 민감도 분석이 어려운 문제점이 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- [0009] 상기한 바와 같은 종래기술의 문제점을 해결하기 위해, 본 발명은 현장 적용 가능한 이차원 모델을 사용하여 헬름 폭 방향으로 두께가 달라지는 현상도 예측하여 보다 실제 공정과 가깝게 민감도를 분석할 수 있는 고분자 헬름 가공 공정의 민감도 분석 방법을 제안하고자 한다.
- [0010] 본 발명의 다른 목적은 주기적 외란을 싸인 함수로 정의하여 보다 엄밀한 이론적 분석이 가능한 고분자 헬름 가공 공정의 민감도 분석 방법을 제공하는 것이다.

과제 해결수단

- [0011] 상기한 목적을 달성하기 위해 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따르면, 고분자 헬름 가공 공정의 민감도를 분석하는 방법으로서, (a) 상기 고분자 헬름 가공 공정에 대해 유도된 2차원 지배방정식을 유지하는 단계-상기 2차원 지배방정식은 공정 중 발생할 수 있는 주기적 외란이 싸인 함수로 정의되는 경계조건을 포함함-; (b) 상기 지배방정식을 이용하여 상기 싸인 함수의 주파수를 달리하면서 헬름 두께, 폭 및 단면적 중 적어도 하나에 대한 과도해를 계산하는 단계; 및 (c) 상기 계산된 과도해를 이용하여 각 주파수에서의 진폭비를 계산하여 민감도를 분석하는 단계를 포함하는 고분자 헬름 가공 공정의 민감도 분석 방법이 제공된다.
- [0012] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 고분자 헬름 가공 공정의 민감도를 분석을 위하여 디지털 처리 장치에 의해 실행될 수 있는 명령어들의 프로그램이 유형적으로 구현되어 있으며 디지털 처리 장치에 의해 판독될 수 있는 기록매체로서, (a) 상기 고분자 헬름 가공 공정에 대해 유도된 2차원 지배방정식을 유지하는 단계-상기 2차원 지배방정식은 공정 중 발생할 수 있는 주기적 외란이 싸인 함수로 정의되는 경계조건을 포함함-; (b) 상기 지배방정식을 이용하여 상기 싸인 함수의 주파수를 달리하면서 헬름 두께, 폭 및 단면적 중 적어도 하나에 대한 과도해를 계산하는 단계; 및 (c) 상기 계산된 과도해를 이용하여 각 주파수에서의 진폭비를 계산하는 단계를 수행하는 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능한 기록매체가 제공된다.

효 과

- [0013] 본 발명에 따르면 헬름의 폭 방향으로 두께가 달라지는 점까지 고려하여 고분자 헬름 가공 공정의 민감도를 분석하기 때문에 분석 결과를 실제 공정에 적용할 수 있는 장점이 있다.
- [0014] 또한, 본 발명에 따르면, 냉각롤 또는 권취롤의 속도에 싸인 함수가 도입되어 주기적 외란을 모사하기 때문에 실제 공정을 보다 정확히 반영하여 고분자 헬름 가공 공정의 정확한 민감도 분석이 가능한 장점이 있다.
- [0015] 나아가, 본 발명에 따르면 정확한 민감도 분석 결과를 다른 고분자 헬름 가공에서 발생하는 불안정성을 면밀히

분석할 때도 쉽게 응용될 수 있는 장점이 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- [0016] 본 발명은 다양한 변형을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에서 자세하게 설명하고자 한다. 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 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.
- [0017] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0018] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0019] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0020] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부한 도면들을 참조하여 상세히 설명하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어 전체적인 이해를 용이하게 하기 위하여 도면 번호에 상관없이 동일한 수단에 대해서는 동일한 참조 번호를 사용하기로 한다.
- [0021] 본 발명은 고분자 휠름 가공 공정에서 주기적 외란에 발생하는 경우를 고려하여 민감도를 분석하는 것으로서, 넓은 주파수 범위에서 각 공정 조건 또는 물질의 점탄성적 특성에 따른 민감도를 분석할 수 있는 방법을 제시한다. 여기서 본 발명에 따른 과정은 미리 설정된 알고리즘에 따른 프로그램을 통해 이루어질 수 있다.
- [0022] 하기에서는 본 발명에 따른 민감도 분석이 고분자의 신장 변형 공정인 휠름 캐스팅 공정에서 수행되는 것을 중심으로 설명할 것이나, 이에 한정됨이 없이 롤(roll)이 사용되며 주기적 외란이 적용되는 다른 고분자 휠름 가공 공정에도 적용될 수 있다는 점을 당업자는 이해하여야 할 것이다.
- [0023] 도 2는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 휠름 캐스팅 공정의 민감도를 분석하는 과정을 도시한 순서도이다.
- [0024] 도 2를 참조하면, 우선, 점탄성 유체특성을 고려한 지배방정식을 유도한다(단계 200).
- [0025] 본 발명에서 사용된 휠름 캐스팅 공정의 2차원 지배방정식은 다음에 제시한 바와 같다.
- [0026] 지배방정식을 유도하기 위해 결정화를 무시한 등은 조건을 가정하며, 두께 방향으로 속도와 응력 변화를 무시한다. 이러한 가정을 통해 유도된 지배방정식은 연속식(수학식 1), 운동식(수학식 2), 고분자 유체의 유변학적 거동을 모사하기 위한 구성방정식(수학식 3)을 포함한다.
- [0027] 운동식의 경우, 고점도의 고분자에 대해 유변학적인 힘이 매우 지배적임을 가정하였고 다른 이차적인 힘들은 본 발명에서 얻고자 하는 분석 방법론에 영향을 끼치지 않는 것으로 가정된다.

수학식 1

$$\frac{\partial e}{\partial t} + \nabla \cdot e \mathbf{v} = 0.$$

연속식:

$$e = \frac{\bar{e}}{e_0}, \quad v = \frac{\bar{v}}{v_0}, \quad t = \frac{\bar{t} v_0}{w_0}, \quad \nabla = \frac{\bar{\nabla}}{w_0}$$

[0029] 여기서,

수학식 2

$$\nabla \cdot e \sigma = 0.$$

[0030] 운동식:

$$\sigma = \frac{\bar{\sigma} \bar{w}_0}{\bar{\eta}_0 \bar{v}_0}$$

[0031] 여기서,

수학식 3

$$K \tau + De \left[\frac{\partial \tau}{\partial t} + v \cdot \nabla \tau - L \cdot \tau - \tau \cdot L^T \right] = 2D.$$

[0032] 구성방정식:

$$\tau = \frac{\bar{\tau} \bar{w}_0}{\bar{\eta} \bar{v}_0}, \quad K = \exp[\varepsilon \text{Detr} \tau], \quad De = \frac{\lambda \bar{v}_0}{\bar{w}_0}, \quad L = \nabla v - \xi D, \quad 2D = [\nabla v + (\nabla v)^T]$$

[0033] 여기서,

[0034] 그리고, 공정 변수의 과도해를 계산하기 위한 경계조건은 다음과 같이 설정된다.

수학식 4

$$(i) \text{ Inlet } (\partial\Omega_1): \quad v_x=1, v_y=0, e=1, w=1, \tau=\tau_0 \quad \text{at } t=0.$$

$$v_x=1, v_y=0, e=1, w=1 \quad \text{at } t>0.$$

$$(ii) \text{ Outlet } (\partial\Omega_2): \quad v_x = D_r \equiv \frac{v_L}{v_0}, v_y = 0 \quad \text{at } t=0.$$

$$v_x = D_r(1 + \delta \sin(\alpha t)), v_y=0 \quad \text{at } t>0.$$

$$(iii) \text{ Center } (\partial\Omega_3): \quad \sigma_{xy}=0 \quad \text{at } t_0.$$

$$(iv) \text{ Edge } (\partial\Omega_4): \quad \frac{\partial w}{\partial t} + v_x \frac{\partial w}{\partial x} = v_y, \sigma \cdot n = 0 \quad \text{at } t_0.$$

[0035] 경계조건:

[0036] 상기한 수학식 1 내지 4에서, e는 무차원 횡름 두께, w는 무차원 횡름 폭, v는 무차원 횡름 속도, s는 무차원 전체 응력 텐서, τ는 무차원 엑스트라(extra) 응력 텐서, t는 무차원 시간, D는 무차원 변형률 텐서, De는 데 보라(Deborah) 수, λ는 폴립시간, ε과 ξ는 PTT(Phan Thien-Tanner) 모델 변수, D_r은 연신비, d은 외란의 진

폭, n는 수직 벡터, η₀는 영점 전단 점도, ω는 진동수를 각각 뜻한다. 또한, 하첨자 0은 원점, x, y는 각각 축 방향과 폭 방향을 각각 나타낸다. 또한 중심(center)에서의 경계조건은 대칭 조건을 의미한다.

[0037] 본 발명에 따르면, 수학식 4의 경계조건 (iii)에 나타난 바와 같이, 냉각률 또는 권취률과 같은 롤 속도(권취 속도)를 특정 주파수를 갖는 싸인 함수로 정의하며(단계 202). 싸인 함수를 통해 공정 중에 발생할 수 있는 주기적인 외란을 수학적으로 모사한다. 본 발명에 따른 싸인 함수는 월름 두께, 폭 및 단면적의 과도적인 변화로 응답한다.

[0038] 여기서, 과도해는 시간에 따라 공정 변수들이 변하게 될 때 상기한 수학식 1 내지 3을 통해 도출되는 해이다.

[0039] 본 발명에 따르면, 다음의 수학식 5를 통해 싸인과 외란에 대한 과도 응답(과도해)의 진폭비를 계산한다(단계 204).

수학식 5

$$A = \frac{(e_{\max} - e_{\min}) / (e_{\max} + e_{\min})}{\delta}$$

[0040]

[0041] 여기서, $e_{\max}$ 는 월름 두께, 폭 또는 단면적의 최대값, $e_{\min}$ 은 최소값을 의미한다.

[0042] 도 3은 월름 캐스팅 공정에서 싸인과 외란에 대한 권취점에서의 월름 단면적(take-up area)의 변화를 도시한 도면으로서, 도 3(a) 내지 도 3(c)는 싸인과 외란의 주파수를 높여가면서 계산한 월름 단면적의 진폭비 변화를 도시한 결과이다.

[0043] 본 발명에 따르면, 단계 204는 도 4에 도시된 바와 같이, 넓은 범위의 주파수 영역에 대하여 수행될 수 있다.

[0044] 이후, 각 주파수에서의 진폭비를 통해 월름 캐스팅 공정의 민감도를 분석한다(단계 206).

[0045] 도 3 내지 도 4는 싸인과 외란에 대한 권취점에서의 월름 단면적 변화를 도시한 것이나, 본 발명에 따르면, 권취점에서의 월름의 중심 두께(center thickness)와 모서리 두께(edge thickness), 월름 폭(width)의 진폭비가 각 주파수의 싸인과 외란에 대해 계산될 수 있다.

[0046] 도 5는 점탄성 유체(Phan-Thien and Tanner: PTT 모델)를 도입한 시스템의 민감도를 나타낸 것으로서, 도 5(a)는 LDPE(Low Density PolyEthylene)과 같은 extension thickening(신장 점도 상승) 유체에 대한 싸인과 외란에서의 월름의 중심 두께(center thickness), 모서리 두께(edge thickness), 월름 폭(width)의 진폭비를 도시한 도면이다.

[0047] 한편, 도 5(b)는 HDPE(High Density PolyEthylene)과 같은 extension thinning(신장 점도 하강) 유체에 대한 싸인과 외란에서의 월름의 중심 두께(center thickness), 모서리 두께(edge thickness), 월름 폭(width)의 진폭비를 도시한 도면이다.

[0048] 도 5(a) 내지 도 5(b)를 참조하면, 유체의 물성에 관계없이 넓은 범위의 주파수 영역에서 월름의 중심 부분의 두께가 모서리 부분이나, 월름 폭의 변화보다 민감도가 크다는 점을 확인할 수 있다.

[0049] 한편, 본 발명에 따르면 싸인과 외란의 주파수 변화뿐만 아니라, 공정 조건 및 물질 변수의 변화에 따른 민감도 분석이 수행된다(단계 208).

[0050] 여기서, 공정 조건은 연신비(D_r) 또는 거리비(A_r)를 포함할 수 있으며, 물질 변수는 물질의 점탄성적 특성을 나타내는 데보라 수(De)일 수 있다.

[0051] 도 6은 점탄성 유체를 도입한 시스템에서 공정 조건에 따른 민감도를 도시한 도면이다.

[0052] 도 6(a)는 연신비에 따른 권취점에서의 월름 단면적 변화를 나타낸 도면으로서, 도 6(a)에 도시된 바와 같이, 연신비가 커짐에 따라 월름 단면적의 진폭비가 크게 변화하며, 이를 통해 연신비가 커짐에 따라 월름 캐스팅 공정의 민감도가 커지는 점을 확인할 수 있다.

[0053] 한편, 도 6(b)는 거리비에 따른 권취점에서의 월름 단면적 변화를 나타낸 도면으로서, 도 6(b)에 도시된 바와 같이, 거리비가 작아짐에 따라 월름 단면적의 진폭비가 작게 변화하며, 이를 통해 거리비가 작아짐에 따라 월름 캐스팅 공정의 민감도가 커지는 결과를 확인할 수 있다.

[0054] 도 7은 점탄성 유체(extension thinning 유체)가 도입된 시스템에서 데보라 수(Deborah number)가 민감도에 미

치는 영향을 나타낸 것이다.

- [0055] 여기서, 도 7 (a)는 HDPE 유체의 데보라 수에 따른 휠름 모서리 부분 두께에 대한 진폭비, 도 7(b)는 데보라 수에 따른 휠름 중심 부분 두께의 진폭비, 도 7(c)는 데보라 수에 따른 휠름 두께 방향의 넓이, 즉 단면적의 진폭비를 도시한 도면이다.
- [0056] 도 7(a) 내지 도 7(c)에 도시된 바와 같이, HDPE와 같은 extension thinning 유체의 경우, 데보라 수 증가, 즉 점탄성적 성질이 증가함에 따라 공정의 민감도가 커진다는 점을 확인할 수 있다.
- [0057] 상기한 도 6 내지 도 7의 결과를 통해 HDPE를 이용한 휠름 캐스팅 공정에서는 공정의 민감도를 낮추기 위해 공정에서 연신비를 작게, 거리비를 크게 설정하고, 점탄성적 성질을 감소시키기 위해 다이에서의 압출 속도를 감소시키거나 소정의 첨가제를 첨가하여 휠름 캐스팅 공정을 수행하는 것이 바람직하다는 점이 확인된다.
- [0058] 한편, 도 8은 점탄성 유체(extension thickening 유체)가 도입된 시스템에서 데보라 수(Deborah number)가 민감도에 미치는 영향을 나타낸 것이다.
- [0059] 여기서, 도 8(a)는 LDPE 유체의 데보라 수에 따른 휠름 모서리 부분 두께에 대한 진폭비, 도 8(b)는 데보라 수에 따른 휠름 중심 부분 두께의 진폭비, 도 8(c)는 데보라 수에 따른 휠름 두께 방향의 넓이, 즉 단면적의 진폭비를 도시한 도면이다.
- [0060] 도 8(a) 내지 도 8(c)에 도시된 바와 같이, LDPE와 같은 extension thickening 유체의 경우, 데보라 수 증가, 즉 점탄성적 성질이 증가함에 따라 공정의 민감도가 작아진다는 점을 확인할 수 있다.
- [0061] 상기한 도 6 및 도 8의 결과를 통해 LDPE를 이용한 휠름 캐스팅 공정에서는 공정의 민감도를 낮추기 위해 공정에서 연신비를 작게, 거리비를 크게 설정하고, 점탄성적 성질을 증가시키기 위해 다이에서의 압출 속도를 증가시켜 휠름 캐스팅 공정을 수행하는 것이 바람직하다는 점이 확인된다.
- [0062] 본 발명에 따르면, 도 6 내지 도 8에 도시된 바와 같이, 휠름 캐스팅 공정의 민감도가 양분된 성질(dichotomous behavior)을 가질 수 있으며 어떠한 종류의 유체를 공정에 사용하느냐에 따라 공정의 민감도에 정반대의 영향을 나타낼 수 있다는 점을 확인할 수 있다.
- [0063] 이를 통해 민감도를 최소화할 수 있는 공정 조건 및 물질 변수를 도출할 수 있다.
- [0064] 본 발명을 이용하면, 첫째로 싸인 함수를 이용하여 외란을 모사함으로써 실제 공정에서 각 공정 조건이나 물질 변수가 미치는 영향을 이론적으로 분석할 수 있고, 둘째로 도 7 및 도 8의 결과와 같이 물질에 따라 민감도에 미치는 정반대의 영향을 예측할 수 있으며, 셋째로 기존의 일차원 모델의 분석 방법으로는 판별할 수 없었던 휠름 폭 방향으로 두께 차이의 민감도를 구별할 수 있는 장점이 있다.
- [0065] 한편, 상기에서는 민감도 분석을 휠름 캐스팅 공정에 대해서만 설명하였으나, 본 발명에 따른 민감도 분석은 싸인과 외란이 적용되는 고분자 휠름 가공 공정에 일반적으로 적용될 수 있을 것이다.
- [0066] 상기한 본 발명의 바람직한 실시예는 예시의 목적을 위해 개시된 것이고, 본 발명에 대해 통상의 지식을 가진 당업자라면 본 발명의 사상과 범위 안에서 다양한 수정, 변경, 부가가 가능할 것이며, 이러한 수정, 변경 및 부가는 하기의 특허청구범위에 속하는 것으로 보아야 할 것이다.

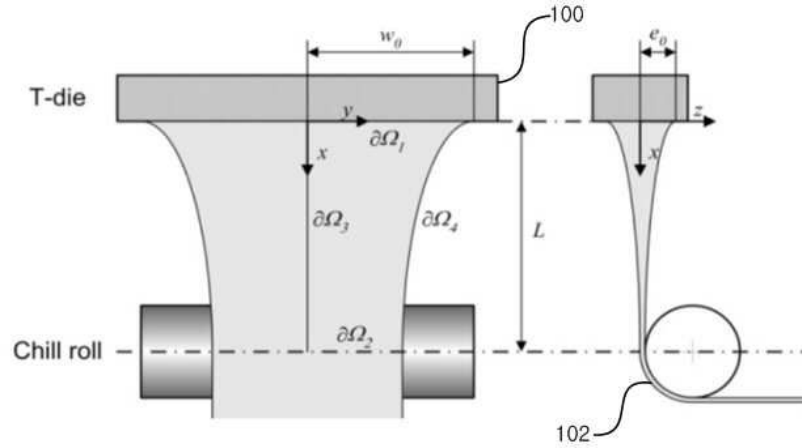
도면의 간단한 설명

- [0067] 도 1은 일반적인 휠름 캐스팅 공정의 모식도.
- [0068] 도 2는 본 발명에 따른 고분자 휠름 가공 공정의 민감도 분석 과정의 순서도.
- [0069] 도 3은 휠름 캐스팅 공정에서 싸인과 외란에 대한 권취점에서의 휠름 단면적(take-up area)의 변화를 도시한 도면.
- [0070] 도 4는 싸인과 외란의 주파수를 넓은 영역에 걸쳐서 도입하고, 그 진폭비를 구한 결과를 도시한 도면.
- [0071] 도 5는 점탄성 유체(Phan-Thien and Tanner: PTT 모델)를 도입한 시스템의 민감도를 나타낸 도면.
- [0072] 도 6은 점탄성 유체를 도입한 시스템에서 공정 조건에 따른 민감도를 도시한 도면.
- [0073] 도 7은 점탄성 유체(extension thinning 유체)가 도입된 시스템에서 데보라 수(Deborah number)가 민감도에 미치는 영향을 나타낸 도면.

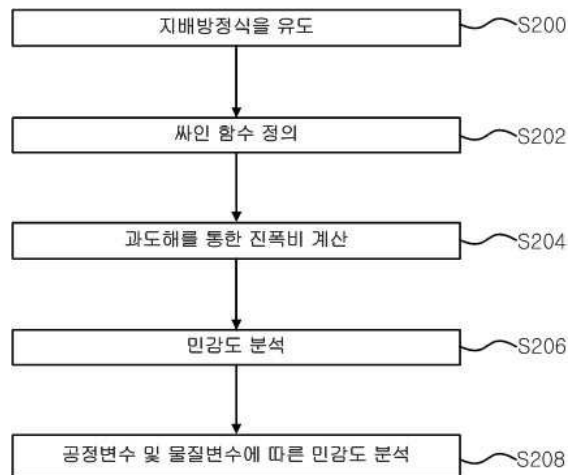
[0074] 도 8은 점탄성 유체(extension thickening 유체)가 도입된 시스템에서 데보라 수(Deborah number)가 민감도에 미치는 영향을 나타낸 도면.

도면

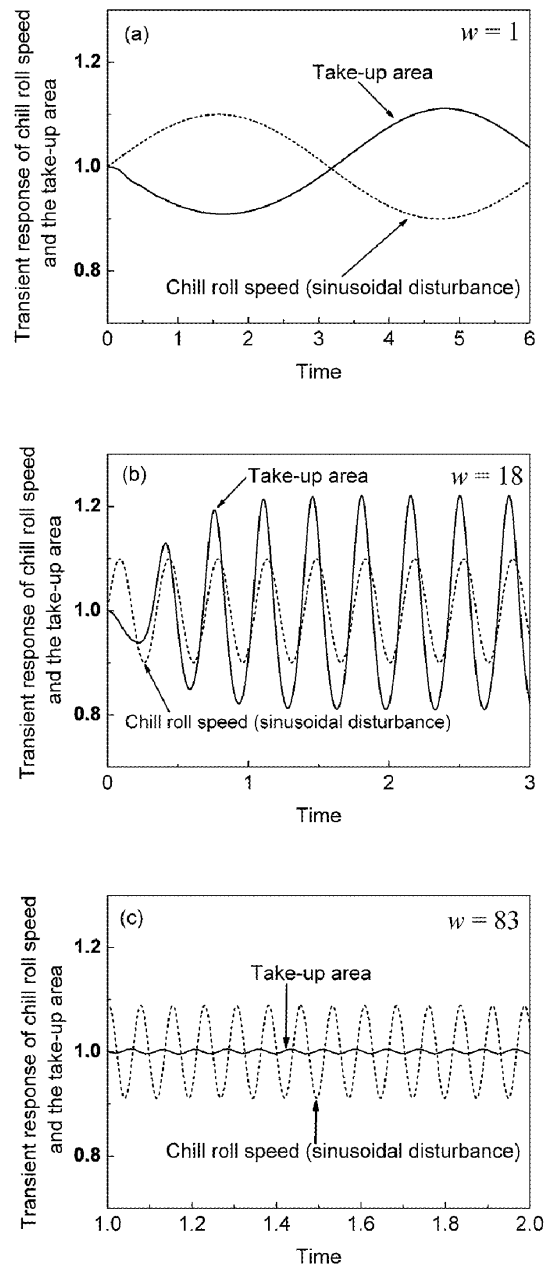
도면1



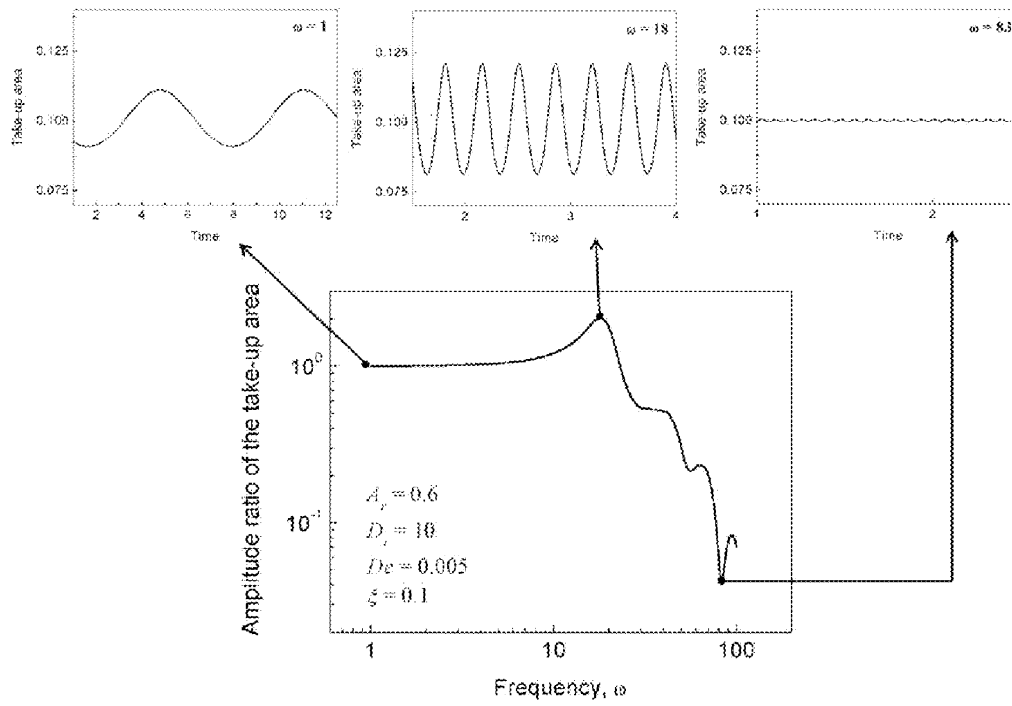
도면2



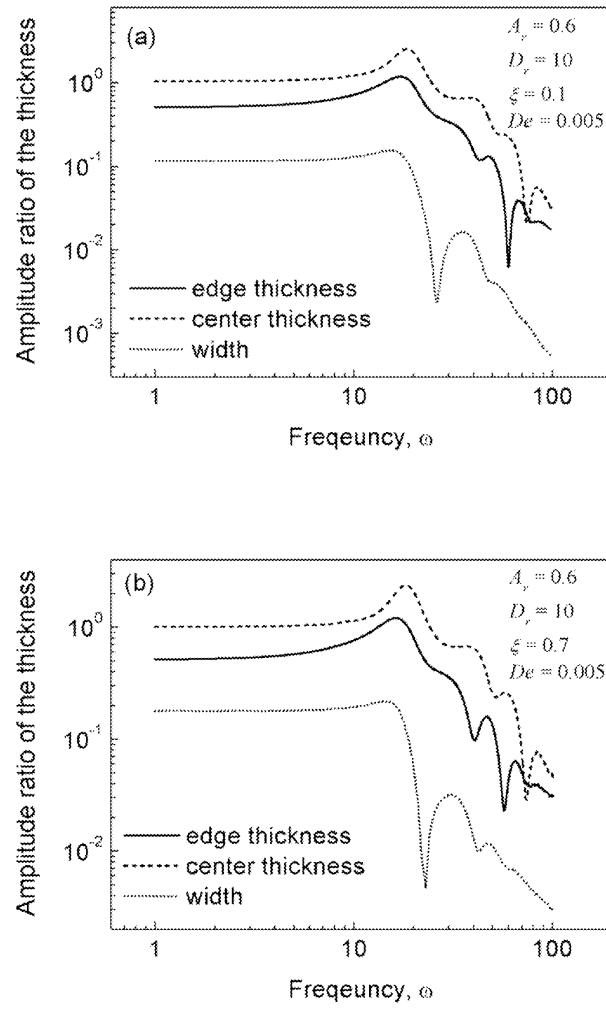
도면3



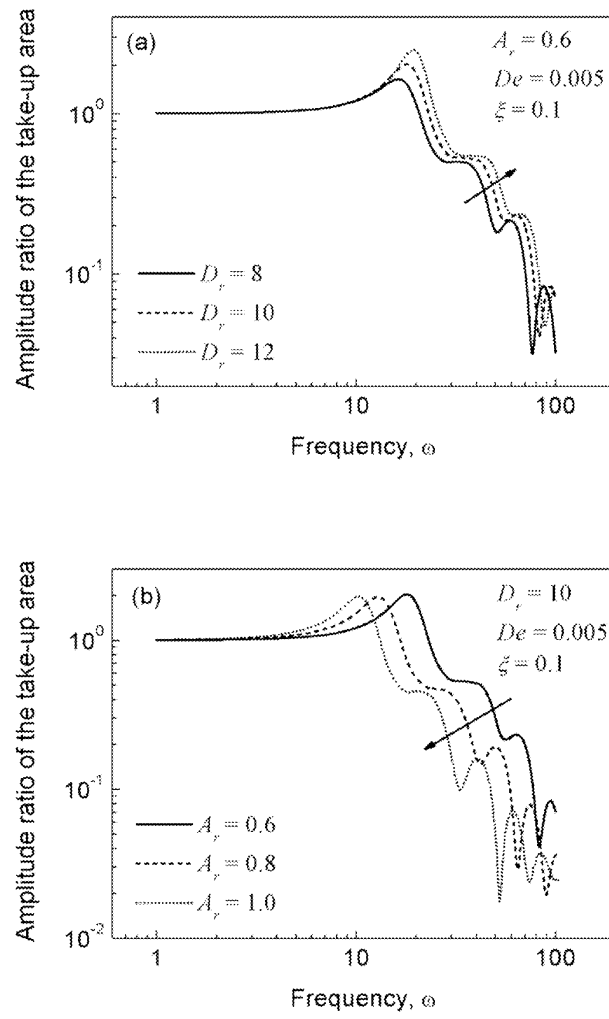
도면4



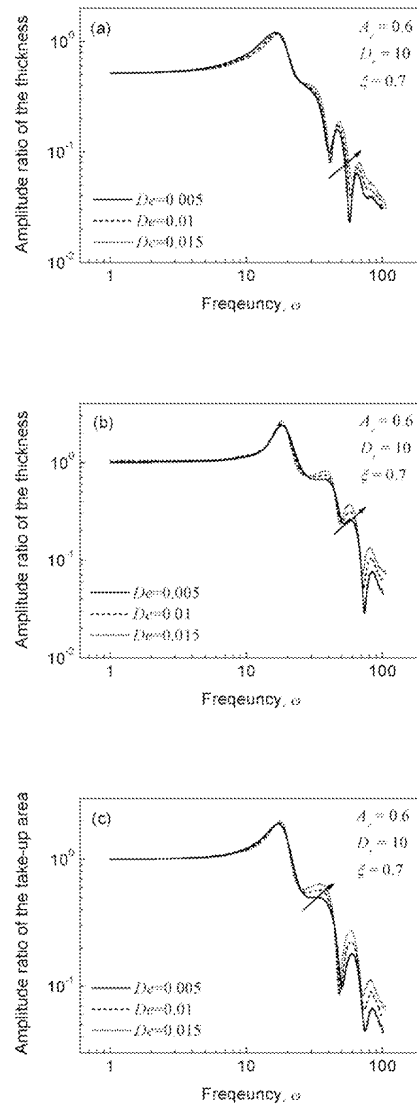
도면5



도면6



도면7



도면8

