



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0056725
(43) 공개일자 2025년04월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06F 30/20 (2020.01) B41J 2/045 (2006.01)
G06F 111/04 (2020.01) G06F 113/08 (2020.01)
G06F 30/17 (2020.01) G06F 30/18 (2020.01)

(52) CPC특허분류

G06F 30/20 (2020.01)
B41J 2/045 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0140769

(22) 출원일자 2023년10월19일

심사청구일자 2023년10월19일

(71) 출원인

경상국립대학교산학협력단

경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)

(72) 발명자

김준영

경상남도 진주시 진주대로 501, 경상국립대학교
405동 314호

신동열

경상남도 진주시 진주대로815번길 11, 108동 601
호

(74) 대리인

특허법인더웨이브

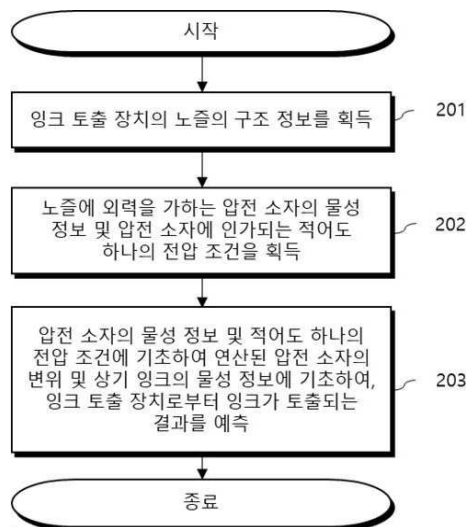
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 잉크 토출 장치로부터 잉크가 토출되는 결과를 예측하는 방법 및 장치

(57) 요약

일 측면에 따른 잉크 토출 장치의 동작 결과를 예측하는 방법은, 상기 잉크 토출 장치의 노즐의 구조 정보를 획득하는 단계; 상기 노즐에 외력을 가하는 압전 소자의 물성 정보 및 상기 압전 소자에 인가되는 적어도 하나의 전압 조건을 획득하는 단계; 및 상기 압전 소자의 물성 정보 및 상기 적어도 하나의 전압 조건에 기초하여 상기 연산된 압전 소자의 변위 및 상기 잉크의 물성 정보에 기초하여, 상기 잉크 토출 장치로부터 상기 잉크가 토출되는 결과를 예측하는 단계;를 포함한다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류

G06F 30/17 (2020.01)

G06F 30/18 (2020.01)

G06F 2111/04 (2020.01)

G06F 2113/08 (2020.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415185931
과제번호	K_G012001046404
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술기획평가원
연구사업명	전자부품산업기술개발(R&D)
연구과제명	잉크젯 기술을 적용한 300PPI급 OLED 인쇄 장비 및 공정 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	그린에너지융합연구소
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

잉크 토출 장치의 동작 결과를 컴퓨팅 장치에 의해 예측하는 방법으로서,

상기 잉크 토출 장치의 노즐의 구조 정보를 획득하는 단계;

상기 노즐에 외력을 가하는 압전 소자의 물성 정보 및 상기 압전 소자에 인가되는 적어도 하나의 전압 조건을 획득하는 단계; 및

상기 압전 소자의 물성 정보 및 상기 적어도 하나의 전압 조건에 기초하여 상기 연산된 압전 소자의 변위 및 상기 잉크의 물성 정보에 기초하여, 상기 잉크 토출 장치로부터 상기 잉크가 토출되는 결과를 예측하는 단계;를 포함하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 노즐의 구조 정보는,

상기 노즐 내부에서 상기 잉크가 유동하는 경로, 상기 노즐의 외면, 상기 노즐에 부착되는 압전 소자 및 상기 잉크가 토출되는 잉크 토출구의 설계 디자인 및 설계 수치를 포함하는, 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 압전 소자의 물성 정보는,

상기 압전 소자를 구성하는 재료의 밀도, 압전 상수(piezo-electric constant), 탄성 계수(elastic constant) 및 비유전율(relative permittivity) 중 적어도 하나를 포함하는, 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 전압 조건은,

상기 전압이 최소 값에서 최대 값으로 상승하는 시간, 상기 최대 값, 상기 전압이 상기 최대 값을 유지하는 시간 및 상기 전압이 상기 최대 값에서 상기 최소 값으로 하강하는 시간의 변수로 구성되는 전압 파형을 포함하는, 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 잉크의 물성 정보는,

상기 잉크의 종류, 밀도, 전단 속도(shear rate)에 따른 점도(viscosity), 접촉각 및 표면 장력 중 적어도 하나를 포함하는, 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 예측하는 단계는,

상기 노즐의 구조 정보, 상기 압전 소자의 물성 정보 및 상기 잉크의 물성 정보를 연계하는 시뮬레이션 모델을 생성하는 단계; 및

상기 적어도 하나의 전압 조건에 따라 상기 시뮬레이션 모델을 실행함으로써 상기 잉크가 토출되는 결과를 예측하는 단계;를 포함하는, 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 시뮬레이션 모델을 실행하는 단계는,

상기 압전 소자의 변위를 연산하는 단계; 및

상기 연산된 압전 소자의 변위에 의한 상기 잉크의 토출 결과를 예측하는 단계;를 포함하는, 방법.

청구항 8

적어도 하나의 메모리; 및

적어도 하나의 프로세서;를 포함하고,

상기 적어도 하나의 프로세서는,

잉크 토출 장치의 노즐의 구조 정보, 상기 노즐에 외력을 가하는 압전 소자의 물성 정보 및 상기 압전 소자에 인가되는 적어도 하나의 전압 조건을 획득하고, 상기 압전 소자의 물성 정보 및 상기 적어도 하나의 전압 조건에 기초하여 상기 연산된 압전 소자의 변위 및 상기 잉크의 물성 정보에 기초하여, 상기 잉크 토출 장치로부터 상기 잉크가 토출되는 결과를 예측하는 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 노즐의 구조 정보는,

상기 노즐 내부에서 상기 잉크가 유동하는 경로, 상기 노즐의 외면, 상기 노즐에 부착되는 압전 소자 및 상기 잉크가 토출되는 잉크 토출구의 설계 디자인 및 설계 수치를 포함하는, 장치.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 압전 소자의 물성 정보는,

상기 압전 소자를 구성하는 재료의 밀도의, 압전 상수(piezo-electric constant), 탄성 계수(elastic constant) 및 비유전율(relative permittivity) 중 적어도 하나를 포함하는, 장치.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 전압 조건은,

상기 전압이 최소 값에서 최대 값으로 상승하는 시간, 상기 최대 값, 상기 전압이 상기 최대 값을 유지하는 시간 및 상기 전압이 상기 최대 값에서 상기 최소 값으로 하강하는 시간의 변수로 구성되는 전압 파형을 포함하는, 장치.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 잉크의 물성 정보는,

상기 잉크의 종류, 밀도, 전단 속도(shear rate)에 따른 점도(viscosity), 접촉각 및 표면 장력 중 적어도 하나 이상을 포함하는, 장치.

청구항 13

제8항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 노즐의 구조 정보, 상기 압전 소자의 물성 정보 및 상기 잉크의 물성 정보를 연계하는 시뮬레이션 모델을 생성하고, 상기 적어도 하나의 전압 조건에 따라 상기 시뮬레이션 모델을 실행함으로써 상기 잉크가 토출되는 결과를 예측하는, 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 압전 소자의 변위를 연산하고, 상기 연산된 압전 소자의 변위에 의한 상기 잉크의 토출 결과를 예측하는, 장치.

청구항 15

제1항에 따른 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는, 잉크 토출 장치로부터 잉크가 토출되는 결과를 예측하는 방법 및 장치에 관한다.

배경 기술

[0002] 잉크젯 인쇄장치는, 인쇄용 잉크의 미소한 액적(droplet)을 인쇄매체의 원하는 위치에 토출시켜 소정 색상의 화상으로 인쇄하는 장치이다. 잉크젯 인쇄장치는 잉크를 토출하기 위한 잉크젯 프린트헤드를 구비한다. 잉크젯 프린트 헤드는 잉크를 토출하는 방식에 따라 크게 두 가지로 나뉘 수 있다. 그 하나는 열원을 이용하여 잉크에 버블(bubble)을 발생시켜 그 버블의 팽창력에 의해 잉크를 토출시키는 열 구동 방식의 잉크젯 프린트 헤드이고,

다른 하나는 압전 소자인 액추에이터에 전압을 인가할 때 발생하는 액추에이터의 변형을 이용하여 잉크에 압력을 발생시켜 그 압력에 의해 잉크를 토출시키는 압전 방식의 잉크젯 프린트 헤드이다.

[0003] 압전 방식의 잉크젯 프린트 헤드를 이용한 잉크젯 인쇄 방식은 액정표시장치(LCD)의 칼라 필터의 제조공정, 유기발광다이오드(OLED)의 제조공정, 양자점을 활용한 디스플레이 제조공정 등 대화면 산업용 인쇄 공정 등 제조 공정에 응용되고 있다.

[0004] 잉크젯 공정은 미세 액적을 원하는 위치에 적층할 수 있으며 용액 공정 측면에서 경제성이 뛰어난 공정 방법으로 다양한 분야에서 각광받고 있다. 하지만 사용하는 잉크의 한계가 존재하며 액적 토출 특성을 설정하는데 어려움을 가지고 있는 등의 한계점을 가지고 있다.

[0005] 압전 방식의 잉크젯 헤드는 압전 소자(Piezoelectric)에 인가되는 공급전압 신호에 따라 잉크 액적이 분사되는데, 이 때, 공급전압 신호는 압전 소자에 직접 인가되는 신호로써 전압의 크기와 작용되는 시간이 잉크 액적의 토출 특성 즉, 분사되는 잉크의 방울크기(Dot size)와 분사 속도에 영향을 주게 된다.

[0006] 따라서, 압전 방식의 잉크젯 프린트 작업에서, 반도체 잉크 관리 인자인 점도, 표면장력, 농도만으로는 잉크 토출 특성을 예측할 수 없다.

[0007] 잉크 토출에 불량이 생기거나 잉크 토출량이 균일하지 않은 경우, 화소간 박막 불균형을 초래할 수 있고, 목표 화소의 인접 화소에 잉크가 토출될 가능성이 존재한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 상술한 문제점을 해결하고 안정적인 잉크 토출을 위한 프린팅 조건을 파악하기 위하여 잉크 물성과 토출성의 상관 관계를 표준화할 필요가 있다.

[0009] 본 발명은 노즐 및 압전 소자의 구조 해석과 잉크의 유체 해석을 연계하는 시뮬레이션 모델을 실행함으로써 잉크 토출 장치로부터 잉크가 토출되는 결과를 예측할 수 있는 방법 및 장치를 제공하고자 한다.

[0010] 또한, 상기 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공하고자 한다.

[0011] 해결하려는 기술적 과제는 상기된 바와 같은 기술적 과제들로 한정되지 않으며, 또 다른 기술적 과제들이 존재할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 개시의 일 측면에 따른 잉크 토출 장치의 동작 결과를 컴퓨팅 장치에 의해 예측하는 방법은 상기 잉크 토출 장치의 노즐의 구조 정보를 획득하는 단계; 상기 노즐에 외력을 가하는 압전 소자의 물성 정보 및 상기 압전 소자에 인가되는 적어도 하나의 전압 조건을 획득하는 단계; 및 상기 압전 소자의 물성 정보 및 상기 적어도 하나의 전압 조건에 기초하여 상기 연산된 압전 소자의 변위 및 상기 잉크의 물성 정보에 기초하여, 상기 잉크 토출 장치로부터 상기 잉크가 토출되는 결과를 예측하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0013] 본 개시의 다른 측면에 따른 잉크 토출 장치로부터 상기 잉크가 토출되는 결과를 예측하는 장치는 적어도 하나의 메모리; 및 적어도 하나의 프로세서;를 포함하고, 상기 적어도 하나의 프로세서는, 잉크 토출 장치의 노즐의 구조 정보, 상기 노즐에 외력을 가하는 압전 소자의 물성 정보 및 상기 압전 소자에 인가되는 적어도 하나의 전압 조건을 획득하고, 상기 압전 소자의 물성 정보 및 상기 적어도 하나의 전압 조건에 기초하여 상기 연산된 압전 소자의 변위 및 상기 잉크의 물성 정보에 기초하여 잉크가 토출되는 결과를 예측할 수 있다.

[0014] 본 개시의 또 다른 측면에 따른 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체는 상술한 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 기록매체를 포함한다.

발명의 효과

[0015] 진술한 본 발명의 과제 해결 수단에 의하면, 압전 소자에 인가되는 전압 조건에 따른 압전소자의 변위를 연산하고 압전 소자의 변위에 의한 잉크 토출 결과를 예측할 수 있다.

[0016] 또한, 본 발명의 과제 해결 수단에 의하면, 안정적인 잉크 토출을 위한 잉크 재료의 물성 범위를 확보할 수 있

다.

[0017] 또한, 본 발명의 과제 해결 수단에 의하면, 안정적인 잉크 토출을 위한 전압 조건을 확보할 수 있다.

[0018] 실시예들에 의한 효과가 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 본 발명의 기재로부터 당해 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 일 실시예에 따른 잉크 토출 장치로부터 잉크가 토출되는 결과를 예측하는 장치의 일 예를 도시한 구성도이다.

도 2는 일 실시예에 따른 잉크 토출 장치의 동작 결과를 컴퓨팅 장치에 의해 예측하는 방법을 도시하기 위한 예시적인 도면이다.

도 3은 일 실시예에 따른 노즐의 구조 정보에 기초한 노즐 구조의 모델링을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 일 실시예에 따른 압전 소자의 물성 정보를 설명하기 위한 도면이다.

도 5 및 6은 압전 소자에 인가되는 전압 조건을 설명하기 위한 도면들이다.

도 5는 압전 소자에 인가되는 전압의 파형 조건의 예시를 나타내는 도면이다.

도 6은 일 실시예에 따른 전압 파형의 전압 조건을 설명하기 위한 예시적인 도면이다.

도 7a 내지 도 7e는 일 실시예에 따라 압전 소자의 물성 정보에 기초하여 노즐 구조를 모델링하는 방법을 설명하기 위한 예시적인 도면들이다.

도 8a 내지 8e는 일 실시예에 따른 잉크의 유체 해석 방법을 설명하기 위한 예시적인 도면들이다.

도 9는 일 실시예에 따른 노즐의 구조 정보, 압전 소자의 물성 정보 및 잉크의 물성 정보를 연계하는 시뮬레이션 모델을 설명하기 위한 예시적인 도면이다.

도 10은 일 실시예에 따라 잉크 토출 장치로부터 잉크가 토출되는 결과를 예측한 시뮬레이션 모델의 실행 결과를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 실시 예들에서 사용되는 용어는 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 당 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 판례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 설명 부분에서 상세히 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 명세서에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지는 의미와 명세서의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.

[0021] 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있음을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "~유닛", "~모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0022] 또한, 명세서에서 사용되는 "제 1" 또는 "제 2" 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용할 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로 사용될 수 있다.

[0023] 이하 첨부된 도면을 참고하여 본 개시를 상세히 설명하기로 한다. 그러나 실시 예는 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 예에 한정되지 않는다.

[0024] 도 1은 일 실시예에 따른 잉크 토출 장치로부터 잉크가 토출되는 결과를 예측하는 장치의 일 예를 도시한 구성도이다.

[0025] 도 1을 참조하면, 잉크 토출 장치로부터 잉크가 토출되는 결과를 예측하는 장치(100)는 프로세서(110) 및 메모리(120)를 포함한다. 설명의 편의를 위하여, 도 1에는 본 발명과 관련된 구성요소들만이 도시되어 있다.

[0026] 따라서, 도 1에 도시된 구성요소들 외에 다른 범용적인 구성요소들이 장치(100)에 더 포함될 수 있다. 또한, 도

1에 도시된 프로세서(110) 및 메모리(120)는 독립된 장치로 구현될 수도 있음은 본 발명과 관련된 기술 분야에서의 통상의 지식을 가진 자에게 자명하다.

[0027] 프로세서(110)는 잉크 토출 장치의 노즐의 구조 정보, 노즐에 외력을 가하는 압전 소자의 물성 정보 및 압전 소자에 인가되는 적어도 하나의 전압 조건을 획득할 수 있다. 그리고, 프로세서(110)는 압전 소자의 물성 정보 및 적어도 하나의 전압 조건에 기초하여 연산된 압전 소자의 변위 및 잉크의 물성 정보에 기초하여, 잉크 토출 장치로부터 잉크가 토출되는 결과를 예측할 수 있다.

[0028] 일 실시예에 따른 프로세서(110)는 잉크 토출 장치의 노즐의 구조 정보를 획득하여, 노즐 구조의 모델링을 수행할 수 있다. 노즐 구조의 모델링은 노즐의 구조 영역의 형성, 고정 영역의 지정 및 유체-구조 상호작용 영역의 지정을 포함하는 것일 수 있다. 여기서 구조 영역은 노즐 내부, 노즐의 외면을 형성하는 글라스 튜브, 노즐의 외면을 감싸고 있는 압전 소자 및 잉크가 토출되는 잉크 토출구를 포함하는 영역일 수 있다. 구조 영역의 형성은 도 7a 및 도 7b에서 상세히 설명한다. 고정 영역은 압전 소자에 전압이 인가되더라도 구조 영역에 변형 및 변위가 일어나지 않는 영역을 의미할 수 있다. 고정 영역의 지정은 도 7c에서 상세히 설명한다. 유체-구조 상호작용 영역은 구조 영역과 유체 영역이 맞닿는 영역을 의미할 수 있다. 유체-구조 상호작용 영역의 지정은 도 7e에서 상세히 설명한다.

[0029] 일 실시예에 따르면, 프로세서(110)는 노즐 구조의 모델링 결과, 압전 소자의 물성 정보 및 압전 소자에 인가되는 적어도 하나의 전압 조건에 기초하여, 노즐 구조에 대한 구조 해석을 수행할 수 있다. 일 실시예에 따르면, 노즐 구조의 모델링 및 구조 해석은 Ansys Mechanical 소프트웨어에 의하여 구현될 수 있다.

[0030] 일 실시예에 따르면, 프로세서(110)는 압전 소자의 물성 정보 및 적어도 하나의 전압 조건에 기초하여, 전압 조건에 따른 압전 소자의 변형(Deformation) 또는 변위 (Displacement)를 연산할 수 있다. 일 실시예에 따른, 압전 소자의 변위는 구조 해석 프로그램인 엔시스(Ansys)를 통해서 연산될 수 있다. 인가 전압과 같은 외부 요인에 의한 압전 소자의 변위는 하기의 수학식 1에 기반하여 연산될 수 있다.

수학식 1

[0031] $\{D\} = [d]^T \{T\} + [\epsilon^T] \{E\}$

[0032] 상기 식에서 중괄호는 벡터를 나타내며, 대괄호는 행렬을 나타낸다.

[0033] 여기서, $[d]$ 는 변형률 및 전기장에 관한 압전 행렬(piezoelectric matrix)이고, $[d]^T$ 는 변형률 및 전기장에 관한 압전 행렬의 전치행렬이다. $\{T\}$ 는 응력 벡터(stress vector)이고, 6차원의 벡터(x, y, z, yz, xz, xy)이다. $[\epsilon^T]$ 는 일정한 응력에서 측정된 유전 매트릭스(dielectric matrix)이다. $\{E\}$ 는 전기장 벡터(electric field vector)이고, 3차원의 벡터(x, y, z)이다.

[0034] 상기 수학식 1에 하기의 수학식 2를 대입함으로써, 응력 벡터에 따른 변위 벡터를 연산할 수 있다.

수학식 2

[0035] $\{S\} = [s^E] \{T\} + [d] \{E\}$

[0036] 여기서 $\{S\}$ 는 변형률 벡터(strain vector)이고, 6차원의 벡터(x, y, z, yz, xz, xy)이다. $[s^E]$ 는 일정한 전기장에서의 컴플라이언스 행렬(compliance matrix)을 나타낸다.

[0037] 상기 수학식 2는 다음 과정을 거쳐 수학식 3의 형태로 수학식 1에 대입될 수 있다.

[0038] $\{S\} = [s^E] \{T\} + [d] \{E\}$

[0039] $\rightarrow [s^E] \{T\} = \{S\} - [d] \{E\}$

[0040] $\rightarrow \{T\} = [s^E]^{-1} \{S\} - [s^E]^{-1} [d] \{E\}$

수학식 3

$$[0041] \quad \{T\} = [s^E]^{-1}\{S\} - [s^E]^{-1}[d]\{E\}$$

[0042] 상기 수학식 1에 수학식 3를 대입하면, 하기의 과정을 거쳐 수학식 4가 도출될 수 있다.

$$[0043] \quad \{D\} = [d]^T\{T\} + [\varepsilon^T]\{E\}$$

$$[0044] \quad \rightarrow \{D\} = [d]^T([s^E]^{-1}\{S\} - [s^E]^{-1}[d]\{E\}) + [\varepsilon^T]\{E\}$$

$$[0045] \quad \rightarrow \{D\} = [d]^T[s^E]^{-1}\{S\} + ([\varepsilon^T] - [d]^T[s^E]^{-1}[d])\{E\}$$

수학식 4

$$[0046] \quad \{D\} = [d]^T[s^E]^{-1}\{S\} + ([\varepsilon^T] - [d]^T[s^E]^{-1}[d])\{E\}$$

[0047] 일 실시예에 따른 프로세서는 수학식 4를 이용하여 전압 인가에 따른 압전 소자의 변위를 연산할 수 있다.

[0048] 압전 소자의 전기적 특성은 아래의 수학식 5 내지 7의 관계를 가진다.

수학식 5

$$[0049] \quad [c^E] = [s^E]^{-1}$$

수학식 6

$$[0050] \quad [e] = [c^E] \times [d]$$

수학식 7

$$[0051] \quad [\varepsilon^S] = [\varepsilon^T] - [d]^T[s^E]^{-1}[d] = [\varepsilon^T] - [d]^T \times [e]$$

[0052] 여기서, $[c^E]$ 는 일정한 전기장에서 평가된 강성 행렬(stiffness matrix)이다. $[e]$ 는 응력 및 전기장에 관한 압전 행렬이다. $[\varepsilon^S]$ 는 일정한 변형률에서 평가된 유전 행렬이고, $[\varepsilon^T]$ 는 응력에 관한 압전 행렬이다.

[0053] 수학식 5 내지 7을 이용하여, 수학식 3 및 수학식 4를 치환하면 하기의 수학식 8 및 수학식9가 도출된다.

수학식 8

$$[0054] \quad \{T\} = [c^E]\{S\} - [e]\{E\}$$

수학식 9

$$[0055] \quad \{D\} = [e]^T\{S\} + [\varepsilon^S]\{E\}$$

[0056] 일 실시예에 따른 프로세서는 수학식 9를 이용하여 전압 인가에 따른 압전 소자의 변위를 연산할 수 있다.

[0057] 컴플라이언스 행렬($[s^E]$)의 z축 분극은 하기의 수학식 10과 같다.

수학식 10

$$[s^E]_z = \begin{bmatrix} S_{11}^E & S_{12}^E & S_{13}^E & 0 & 0 & 0 \\ S_{12}^E & S_{11}^E & S_{13}^E & 0 & 0 & 0 \\ S_{13}^E & S_{13}^E & S_{33}^E & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44}^E & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55}^E & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66}^E \end{bmatrix}$$

[0059] 그러나, Ansys에서 요구하는 행렬은 하기의 수학식 11으로 표현된다.

수학식 11

$$[s^E]_z = \begin{bmatrix} S_{11}^E & S_{12}^E & S_{13}^E & 0 & 0 & 0 \\ S_{12}^E & S_{11}^E & S_{13}^E & 0 & 0 & 0 \\ S_{13}^E & S_{13}^E & S_{33}^E & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{66}^E & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{44}^E & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{44}^E \end{bmatrix}$$

[0061] 수학식 11의 행렬은 수학식 10의 행렬과 S_{66}^E 및 S_{44}^E 의 위치가 상이하다. 또한, 수학식 11의 행렬에서는 S_{55}^E 가 S_{44}^E 와 동일하다.

[0062] S_{66}^E 은 하기의 수학식 12에 의하여, S_{11}^E 및 S_{12}^E 로 계산할 수 있다.

수학식 12

$$S_{66}^E = 2(S_{11}^E - S_{12}^E)$$

[0064] z축 분극의 변형률 및 전기장에 관한 압전 행렬($[d]$)은 컴플라이언스 행렬($[s^E]$)을 이용하여 하기의 수학식 13과 같이 응력 및 전기장에 관한 압전 행렬을 계산하는데 이용된다.

수학식 13

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & e_{31} \\ 0 & 0 & e_{31} \\ 0 & 0 & e_{33} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_{15} & 0 \\ e_{15} & 0 & 0 \end{bmatrix}_z = \begin{bmatrix} S_{11}^E & S_{12}^E & S_{13}^E & 0 & 0 & 0 \\ S_{12}^E & S_{11}^E & S_{13}^E & 0 & 0 & 0 \\ S_{13}^E & S_{13}^E & S_{33}^E & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{66}^E & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{44}^E & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{44}^E \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} 0 & 0 & d_{31} \\ 0 & 0 & d_{31} \\ 0 & 0 & d_{33} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & d_{15} & 0 \\ d_{15} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

[0065]

[0066] z축 분극의 일정한 변형률에서 평가된 유전 행렬($[\epsilon^S]$)은 수학식 6을 이용하여 하기의 수학식 14와 같이 계산된다.

수학식 14

$$\begin{bmatrix} \epsilon_{11}^s & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_{11}^s & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{33}^s \end{bmatrix}_z = \begin{bmatrix} 0 & 0 & d_{31} \\ 0 & 0 & d_{31} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & d_{15} & 0 \\ d_{15} & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \times \begin{bmatrix} 0 & 0 & e_{31} \\ 0 & 0 & e_{31} \\ 0 & 0 & e_{33} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & e_{15} & 0 \\ e_{15} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

[0067]

[0068]

프로세서(110)는 연산된 압전 소자의 변위 및 잉크의 물성 정보에 기초하여, 잉크 토출 장치로부터 잉크가 토출되는 결과를 예측할 수 있다.

[0069]

일 실시예에 따르면, 프로세서(110)는 연산된 압전 소자의 변위에 기초하여 노즐 내부 압력 변화에 의한 잉크의 유체 해석을 수행할 수 있다. 프로세서(110)는 잉크가 위치하는 유체 영역을 형성할 수 있다. 예를 들어, 프로세서(110)는 ANSYS Fluent 소프트웨어를 이용하여 유체 영역의 메쉬를 형성할 수 있다. 이 때 프로세서(110)는 노즐 구조 모델링 결과의 기하학적 구조를 활용할 수 있다. 즉, 프로세서(110)는 노즐의 구조 영역에 포함되는 노즐 내부의 영역을 유체 영역으로 지정할 수 있다.

[0070]

프로세서(110)는 용액의 점도, 접촉각, 표면장력 중 적어도 하나를 포함하는 잉크의 물성 정보에 기초하여, 노즐 내부의 압력 변화에 따른 잉크의 토출 결과를 예측할 수 있다. 여기서 잉크가 토출되는 결과는 잉크 액적의 낙하속도, 잉크 액적의 길이, 폭, 부피, 형태를 포함하는 것일 수 있다.

[0071]

일 실시예에 따르면, 프로세서(110)는 유체 흐름의 지배 방정식을 이용하여 잉크의 토출 결과를 연산할 수 있다. 유체 흐름의 지배 방정식은 하기의 수학식 15와 같은 Navier-Stokes 방정식이다.

수학식 15

$$\rho \left[\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla)u - \mu \nabla^2 u \right] = -\nabla P + g$$

[0072]

[0073]

여기서 ρ 는 유체의 밀도이고, u 는 유속이고, μ 는 점도이고, P 는 유체에 가해지는 압력이고, g 는 중력이다. 수학식 15는 뉴턴 유체가 일정한 밀도와 점도를 가지고, 압력이나 유속이 변화더라도 부피가 거의 변하지 않는 비압축성 유체라고 가정한다.

[0074]

일 실시예에 따르면, 프로세서(110)는 노즐의 구조 정보, 압전 소자의 물성 정보 및 잉크의 물성 정보를 연계하는 시뮬레이션 모델을 생성할 수 있다. 즉, 프로세서(110)는 노즐의 구조 해석 및 노즐 구조와 상호작용하는 노즐 내부의 유체 해석을 통합적으로 수행하는 시뮬레이션 모델을 생성할 수 있다.

[0075]

일 실시예에 따르면, 상기 시뮬레이션 모델은 노즐 구조의 모델링 결과에 기초하여, 압전 소자의 물성 정보 및 전압 조건에 따른 압전 소자의 변위를 연산할 수 있다. 또한, 시뮬레이션 모델의 시스템 커플링(System coupling) 틀에 의하여, 구조 해석에 따라 연산된 변위가 유체-구조 상호작용 (Fluid Structural Interface) 영역을 통하여 유체 해석을 위한 데이터로 전달될 수 있다. 프로세서(110)는 적어도 하나의 전압 조건에 따라 시뮬레이션 모델을 실행함으로써 잉크가 토출되는 결과를 예측할 수 있다.

[0076]

일 실시예에 따른 시뮬레이션 모델은 Ansys Mechanical 과 Ansys Fluent를 연계하는 유체-구조 상호 작용 시뮬레이션 (Fluid Structural Interaction (FSI)) 기술을 적용하여 생성된 것일 수 있다.

[0077]

잉크 토출 장치로부터 잉크가 토출되는 결과를 예측하는 장치(100)는 디스플레이 장치 및 사용자 입력을 수신하는 장치(예를 들어, 키보드, 마우스 등)를 구비하고, 메모리와 프로세서를 포함하는 컴퓨팅 장치일 수 있다. 예를 들어, 장치(100)는 노트북(notebook) PC, 데스크탑(desktop) PC, 랩탑(laptop), 테블릿 컴퓨터(tablet computer), 스마트 폰 등이 해당될 수 있으나, 이에 한정되지 않는다.

[0078]

도 2는 일 실시예에 따른 잉크 토출 장치의 동작 결과를 컴퓨팅 장치에 의해 예측하는 방법을 도시하기 위한 예

시적인 도면이다.

- [0079] 도 2를 참조하면, 단계 201에서, 프로세서(110)는 잉크 토출 장치의 노즐의 구조 정보를 획득할 수 있다. 노즐의 구조 정보는 노즐 내부에서 잉크가 유동하는 경로, 노즐의 외면, 노즐에 부착되는 압전 소자 및 잉크가 토출되는 잉크 토출구의 설계 디자인 및 설계 수치를 포함할 수 있다. 일 실시예에 따르면, 노즐의 구조 정보는 노즐의 형태, 노즐의 길이, 노즐의 내부 직경, 노즐의 외부 직경, 노즐 상에 배치되는 압전 소자의 위치 및 노즐과 압전 소자를 포함하는 외부 직경에 대한 정보 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 프로세서(110)는 잉크 토출 장치의 노즐의 구조 정보를 획득하여, 노즐 구조의 모델링을 수행할 수 있다.
- [0080] 노즐의 형태는 노즐 내부에서 유체가 유동하는 경로의 단면의 형태를 포함할 수 있다. 상기 단면의 형태는 원형, 타원형, 또는 경주용 트랙과 같은 형태일 수 있으나, 이에 한정되지 않으며, 다양한 형태일 수 있다. 노즐의 형태는 잉크 유동의 저항성에 영향을 줄 수 있다.
- [0081] 도 3은 일 실시예에 따른 노즐의 구조 정보에 기초한 노즐 구조의 모델링을 설명하기 위한 도면이다.
- [0082] 도 3을 참조하면, 노즐 구조란, 노즐 내부(310), 노즐의 외면을 형성하는 글라스 튜브(320), 노즐의 외면을 감싸고 있는 압전 소자(330) 및 잉크가 토출되는 잉크 토출구(340)를 포함하는 구조일 수 있다. 도 3을 참조하면, 노즐의 구조 정보는 노즐의 외부 직경(301), 노즐의 외면에 형성되어 있는 글라스 튜브(320)의 두께(302), 노즐의 외면을 감싸고 있는 압전 소자(330)의 외부 직경(303), 압전 소자(330)의 길이(304), 노즐 전체의 길이(305), 압전 소자(330)의 위치와 노즐 헤드 사이의 간격(306)을 나타내는 수치를 포함하는 것일 수 있다. 도 3에 기재되어 있는 수치는 일 실시예에 불과하며, 본 개시는 기재된 수치에 한정되는 것은 아니다.
- [0083] 단계 202에서, 프로세서(110)는 노즐에 외력을 가하는 압전 소자의 물성 정보 및 압전 소자에 인가되는 적어도 하나의 전압 조건을 획득할 수 있다.
- [0084] 일 실시예에 따르면, 압전 소자의 물성 정보는, 압전 소자를 구성하는 재료의 밀도, 압전 상수(piezo-electric constant), 탄성 계수(elastic constant) 및 비유전율(relative permittivity) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 압전 소자의 물성 정보는 도 4에서 구체적으로 설명한다.
- [0085] 일 실시예에 따르면, 압전 소자에 인가되는 적어도 하나의 전압 조건은, 전압이 최소 값에서 최대 값으로 상승하는 시간, 상기 최대 값, 전압이 최대 값을 유지하는 시간 및 전압이 최대 값에서 상기 최소 값으로 하강하는 시간 등의 다양한 변수로 구성되는 전압 파형을 포함할 수 있다. 전압 파형은 단일 파형일 수도 있고, 복수의 단일 파형이 합쳐진 복합 파형일 수도 있다. 전압 조건은 토출되는 잉크의 액적 사이즈와 토출 속도에 큰 영향을 미친다. 압전 소자에 인가되는 적어도 하나의 전압 조건은 도 5 및 도 6에서 구체적으로 설명한다.
- [0086] 도 4는 일 실시예에 따른 압전 소자의 물성 정보를 설명하기 위한 도면이다.
- [0087] 도 4를 참조하면, 압전 소자의 물성 정보(401)는, 압전 소자를 구성하는 재료의 밀도(410), 압전 상수(piezo-electric constant, 420), 탄성 계수(elastic constant, 430) 및 비유전율(relative permittivity, 440) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0088] 압전 소자를 구성하는 재료의 밀도(410)의 단위는 kg/m^3 , 압전 상수(420)의 단위는 m/V , 압전 상수의 단위는 m^2/N 일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0089] 일 실시예에 따르면, 압전 소자의 물성 정보(401)는 압전 소자 물성치일 수 있고, 물성치를 Ansys APDL 코드로 변환한 것일 수 있다.
- [0090] 도 4에 기재된 수치는 일 실시예에 불과하며, 본 개시는 기재된 수치에 한정되는 것은 아니다.
- [0091] 도 5 및 6은 압전 소자에 인가되는 전압 조건을 설명하기 위한 도면들이다.
- [0092] 도 5는 압전 소자에 인가되는 전압의 파형 조건의 예시들을 나타내는 도면이다.
- [0093] 도 5를 참조하면, 압전 소자에 인가되는 전압의 파형은 sinusoidal load(a), pulse load(b), exponential load(c) 또는 piecewise linear load(d) 일 수 있으나, 상기 파형들에 한정되지 않고 다양한 형태가 가능하다.
- [0094] 도 6은 일 실시예에 따른 전압 파형의 전압 조건을 설명하기 위한 예시적인 도면이다.
- [0095] 도 6을 참조하면, 전압 조건은 제1 시구간(601), 전압의 최대 값(602), 제2 시구간(603), 제3 시구간(604) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 제1 시구간(601)은 전압이 최소 값에서 최대 값으로 상승하는 시구간(Rising

time)을 의미한다. 제1 시구간(601)은 압전 소자가 팽창하는 시구간일 수 있다. 제2 시구간(603)은 전압이 최대 값을 유지하는 시구간(Dwell time)을 의미한다. 제2 시구간(603)은 압전 소자가 팽창된 상태를 유지하는 시구간 일 수 있다. 제3 시구간(604)은 전압이 최대 값에서 최소 값으로 하강하는 시구간(falling time)을 의미한다. 제3 시구간(604)은 압전 소자가 다시 수축하는 시구간일 수 있다.

- [0096] 일 실시예에 따르면, 전압 조건은 제1 시구간(601), 최대 값(602), 제2 시구간(603) 및 제3 시구간(604)의 수치 일 수 있고, 상기 수치를 CIRCU94 기반의 Ansys APDL 코드로 변환한 것일 수 있다.
- [0097] 단계 203에서, 프로세서(110)는 압전 소자의 물성 정보 및 적어도 하나의 전압 조건에 기초하여 연산된 압전 소자의 변위 및 잉크의 물성 정보에 기초하여, 잉크 토출 장치로부터 잉크가 토출되는 결과를 예측할 수 있다.
- [0098] 일 실시예에 따르면, 프로세서(110)는 노즐의 구조 정보, 압전 소자의 물성 정보 및 잉크의 물성 정보를 연계하는 시뮬레이션 모델을 생성하고, 적어도 하나의 전압 조건에 따라 시뮬레이션 모델을 실행함으로써 잉크가 토출되는 결과를 예측할 수 있다.
- [0099] 일 실시예에 따르면, 잉크의 물성 정보는, 잉크의 종류, 밀도, 전단 속도(shear rate)에 따른 점도(viscosity), 접착각 및 표면 장력 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 여기서 잉크의 종류는 단일 잉크인지 또는 혼합 잉크인지를 포함할 수 있다. 여기서 전단 속도(shear rate)에 따른 점도(viscosity), 접착각 및 표면 장력은 실측 값을 입력한 정보일 수 있다.
- [0100] 일 실시예에 따르면, 프로세서(110)는 압전 소자에 전압을 인가함에 따른 압전 소자의 변위를 연산하고, 연산된 압전 소자의 변위에 의한 잉크의 토출 결과를 예측할 수 있다.
- [0101] 도 7a 내지 도 7e는 일 실시예에 따라 압전 소자의 물성 정보에 기초하여 노즐 구조를 모델링하는 방법을 설명하기 위한 예시적인 도면들이다.
- [0102] 노즐 구조의 모델링은 노즐의 구조 영역의 형성, 고정 영역의 지정 및 유체-구조 상호작용 영역의 지정을 포함하는 것일 수 있다.
- [0103] 도 7a는 일 실시예에 따라 노즐의 구조 영역을 형성하는 방법을 설명하기 위한 예시적인 도면이다.
- [0104] 도 7a를 참조하면, 프로세서(110)는 노즐의 구조 정보에 기초하여 노즐의 구조 영역(700)을 나타내는 메쉬를 형성할 수 있다. 노즐의 구조 영역이란, 노즐 내부, 노즐의 외면을 형성하는 글라스 튜브, 노즐의 외면을 감싸고 있는 압전 소자 및 잉크가 토출되는 잉크 토출구를 포함하는 영역일 수 있다.
- [0105] 도 7b는 일 실시예에 따라 구조 영역의 메쉬 품질을 확인할 수 있는 그래프이다.
- [0106] 도 7b를 참조하면, 프로세서(110)는 형성된 구조 영역 메쉬의 품질을 확인할 수 있다. 메쉬의 품질은 0 이상 1 이하의 숫자로 나타낼 수 있으며, 1에 가까울수록 품질이 높은 것으로 해석된다.
- [0107] 도 7c는 일 실시예에 따라 노즐의 구조 영역에서 고정 영역을 지정하는 방법을 설명하기 위한 예시적인 도면이다.
- [0108] 도 7c를 참조하면, 프로세서(110)는 압전 소자에 전압이 인가되더라도 구조 영역에 변위가 일어나지 않는 영역을 고정 영역(701a, 701b, 701c, 701d)으로 지정할 수 있다. 프로세서(110)는 노즐 구조에 대한 구조 해석 시 고정 영역(701a, 701b, 701c, 701d)에는 변형 및 변위가 일어나지 않는 것으로 해석할 수 있다.
- [0109] 도 7d는 일 실시예에 따라 구조 해석 시 대칭 영역을 지정하는 방법을 설명하기 위한 예시적인 도면이다.
- [0110] 도 7d를 참조하면, 프로세서(110)는 구조 해석 시 대칭 영역(702)을 기준으로 동일한 구조 형상이 있다고 가정함으로써, 구조 해석을 위해 소요되는 시간을 단축할 수 있다. 즉, 대칭 영역(702)을 기준으로, 대칭 영역(702)의 일 측에 형성되는 노즐의 구조 영역만으로 대칭 영역(702)의 일 측에 위치하는 압전 소자의 변형 및 변위를 연산할 수 있다. 프로세서(110)는 연산된 변형 및 변위가 대칭 영역(702)의 다른 일 측에 위치하는 압전 소자의 변형 및 변위와 동일한 것으로 가정하여 전체 압전 소자의 변형 및 변위를 예측할 수 있다.
- [0111] 도 7e는 일 실시예에 따라 유체-구조 상호작용 영역을 지정하는 방법을 설명하기 위한 예시적인 도면이다.
- [0112] 도 7e를 참조하면, 프로세서(110)는 유체-구조 상호작용 시뮬레이션을 적용하기 위한 유체-구조 상호작용 영역(703)을 지정할 수 있다. 유체-구조 상호작용 영역(703)은 노즐의 구조 영역이 유체 영역과 맞닿는 영역일 수 있다. 일 실시예에 따르면 Ansys Mechanical 소프트웨어에 의해 구현된 노즐 구조의 모델링 결과는 유체-구조

상호작용 영역(703)을 통하여, Ansys Fluent 소프트웨어에 의한 잉크 유동의 해석에 이용될 수 있다.

- [0113] 도 8a 내지 8e는 일 실시예에 따른 잉크의 유체 해석 방법을 설명하기 위한 예시적인 도면들이다.
- [0114] 도 8a는 일 실시예에 따라 유체 영역의 메쉬를 형성하는 방법을 설명하기 위한 예시적인 도면이다.
- [0115] 도 8a를 참조하면, 일 실시예에 따른 프로세서(110)는 ANSYS Fluent 소프트웨어를 이용하여 유체 영역의 메쉬를 형성할 수 있다. 프로세서(110)는 잉크젯 방울을 추적하기 위하여, 유체 영역의 메쉬를 매우 작은 크기로 형성할 수 있다. 프로세서(110)는 노즐의 구조 영역에 포함되는 노즐 내부의 영역을 유체 영역으로 지정하고, 유체 영역의 메쉬를 형성할 수 있다.
- [0116] 도 8b는 일 실시예에 따라 유체 영역의 메쉬 품질을 확인할 수 있는 그래프이다.
- [0117] 도 8b를 참조하면, 프로세서(110)는 형성된 유체 영역 메쉬의 품질을 확인할 수 있다. 메쉬의 품질은 0 이상 1 이하의 숫자로 나타낼 수 있으며, 1에 가까울수록 품질이 높은 것으로 해석된다.
- [0118] 도 8c는 일 실시예에 따라 유체 해석 시 대칭 영역을 지정하는 방법을 설명하기 위한 예시적인 도면이다.
- [0119] 도 8c를 참조하면, 프로세서(110)는 유체 해석 시 대칭 영역(801)을 기준으로 유체 형상이 동일하게 존재한다고 가정함으로써, 유체 해석을 위해 소요되는 시간을 단축할 수 있다. 즉, 프로세서(110)는 대칭 영역(801)을 기준으로, 대칭 영역(801)의 일 측에 형성되는 위치하는 유체 영역에 대하여, 잉크의 유동을 해석할 수 있다. 프로세서(110)는 일 측면의 잉크의 유동이 다른 일 측의 잉크의 유동이 동일한 것으로 가정하여 전체 유체 영역에 대한 잉크의 유동을 예측할 수 있다.
- [0120] 도 8d는 일 실시예에 따라 유체 영역이 유체-구조 상호작용 영역과 맞닿는 영역을 다이나믹 메쉬로 지정하는 방법을 설명하기 위한 예시적인 도면이다.
- [0121] 도 8d를 참조하면, 프로세서(110)는 유체 영역 메쉬가 노즐 구조 모델링에서 지정된 유체-구조 상호작용 영역과 맞닿는 영역을 다이나믹 메쉬 영역(802)으로 지정할 수 있다. 다이나믹 메쉬 영역(802)은 리지드 메쉬(Rigid mesh)가 아닌 동적인 메쉬로서, 압전 소자에 의한 노즐 내부의 변형을 구현할 수 있다.
- [0122] 도 8e는 일 실시예에 따른 잉크의 물성을 설명하기 위한 예시적인 도면이다.
- [0123] 도 8e를 참조하면, 잉크의 물성 정보는, 전단 속도에 따른 점도(a), 접촉각(b) 및 표면 장력(c) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 프로세서(110)는 잉크의 물성에 기초하여 유체 영역의 유동을 해석하는 유체 해석을 수행할 수 있다.
- [0124] 도 9는 일 실시예에 따른 노즐의 구조 정보, 압전 소자의 물성 정보 및 잉크의 물성 정보를 연계하는 시뮬레이션 모델을 설명하기 위한 예시적인 도면이다.
- [0125] 도 9를 참조하면, 프로세서(110)는 노즐의 구조 해석 및 노즐 구조와 상호작용하는 노즐 내부의 유체 해석을 통합적으로 수행하는 시뮬레이션 모델을 생성할 수 있다.
- [0126] 도 9를 참조하면, 시뮬레이션 모델은 노즐 구조의 모델링 결과에 기초하여, 압전 소자의 물성 정보 및 전압 조건에 따른 압전 소자의 변위를 연산하는 구조해석을 수행할 수 있다.
- [0127] 노즐 구조에 대한 구조 해석을 통해 연산된 압전 소자의 변위는 유체-구조 상호작용 (Fluid Structural Interface) 영역을 통하여 잉크의 유체 해석을 위하여 전달될 수 있다. 유체-구조 상호작용은 System coupling 툴에 의하여 구현될 수 있다. 프로세서(110)는 압전 소자의 변위를 기반으로, 노즐 내부 압력 변화에 의한 노즐 헤드 내부의 잉크의 유체 해석을 수행할 수 있다. 프로세서(110)는 적어도 하나의 전압 조건에 따라 시뮬레이션 모델을 실행함으로써 잉크가 토출되는 결과를 예측할 수 있다.
- [0128] 일 실시예에 따른 시뮬레이션 모델은 Ansys Mechanical 과 Ansys Fluent를 연계하는 유체-구조 상호 작용 시뮬레이션 (Fluid Structural Interaction (FSI)) 기술을 적용하여 생성된 것일 수 있다.
- [0129] 도 10은 일 실시예에 따라 잉크 토출 장치로부터 잉크가 토출되는 결과를 예측한 시뮬레이션 모델의 실행 결과를 나타내는 도면이다.
- [0130] 도 10을 참조하면, 적어도 하나의 전압 조건(c)에 따라 일 실시예에 따른 장치(100)가 예측한 잉크 토출 결과(a)가 실제 잉크 토출 결과(b)와 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.
- [0131] 본 발명에 따르면, 특정 잉크의 전압 조건에 따른 토출 경향성을 확보할 수 있고, 토출 형태 원인을 분석할 수

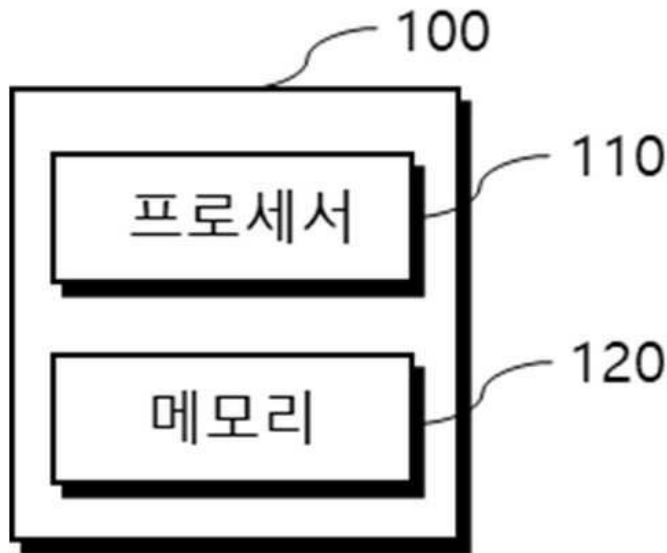
있다. 또한, 안정적인 잉크 토출을 위한 전압 조건을 확보할 수 있다. 또한, 안정적인 토출을 보일 수 있는 잉크 물성의 범위 (점도, 표면장력, 밀도 등)를 확보할 수 있다.

[0132] 한편, 상술한 방법은 컴퓨터에서 실행될 수 있는 프로그램으로 작성 가능하고, 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 이용하여 상기 프로그램을 동작시키는 범용 디지털 컴퓨터에서 구현될 수 있다. 또한, 상술한 방법에서 사용된 데이터의 구조는 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 여러 수단을 통하여 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체는 마그네틱 저장매체(예를 들면, 롬, 램, USB, 플로피 디스크, 하드 디스크 등), 광학적 판독 매체(예를 들면, 시디롬, 디브이디 등)와 같은 저장매체를 포함한다.

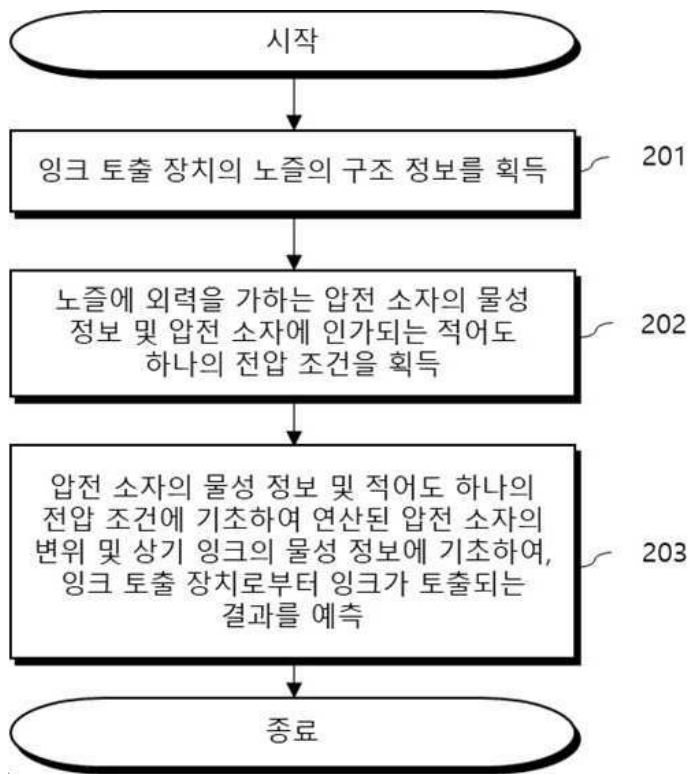
[0133] 본 실시예와 관련된 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상기된 기재의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 방법들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 하며, 권리 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점을 포함하는 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

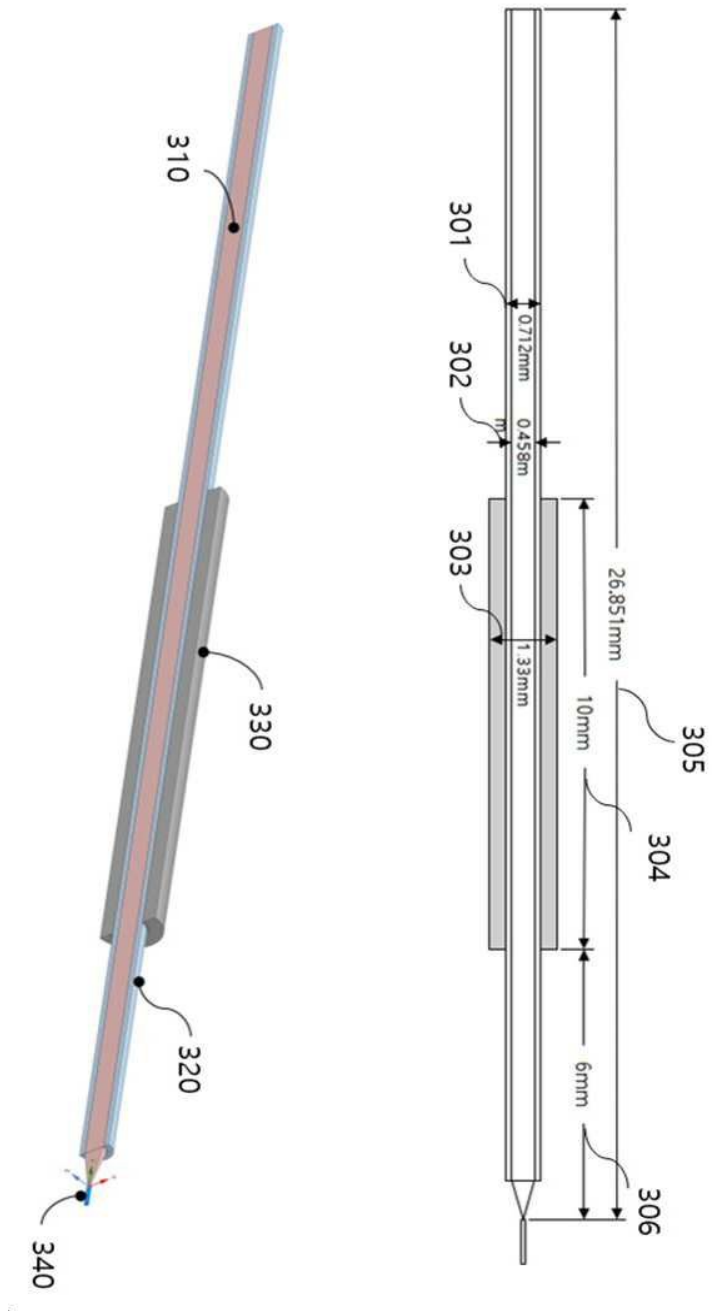
도면1



도면2



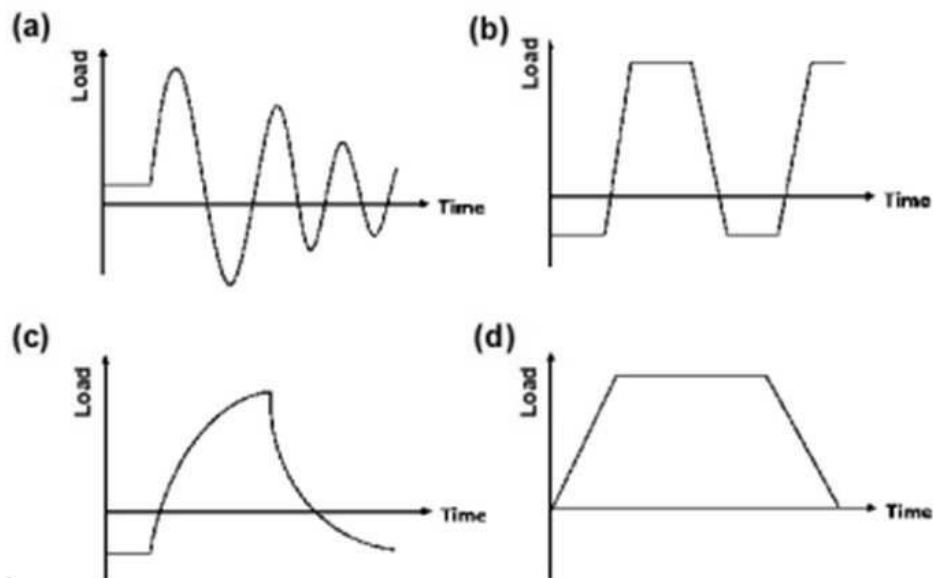
도면3



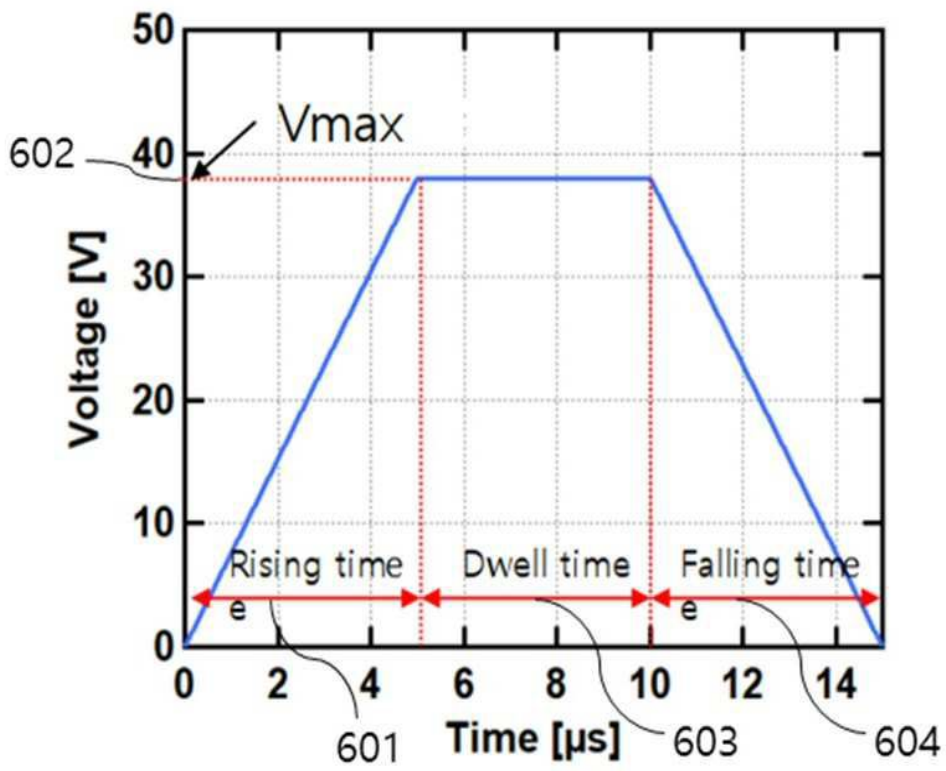
도면4

401				
Property		Symbol	Value	Unit
410	Density	ρ	5500	kg/m ³
420	Piezoelectric constant	d_{31}	-5.80×10^{-11}	m/V
		d_{33}	1.49×10^{-10}	
		d_{15}	2.42×10^{-10}	
430	Elastic constant	s_{11}^E	8.60×10^{-12}	m ² /N
		s_{33}^E	9.10×10^{-12}	
		s_{12}^E	-2.60×10^{-12}	
		s_{13}^E	-2.70×10^{-12}	
		s_{44}^E	2.22×10^{-11}	
		s_{66}^E	2.24×10^{-11}	
440	Relative permittivity	ϵ_{11}/ϵ_0	1300	-
		ϵ_{33}/ϵ_0	1200	

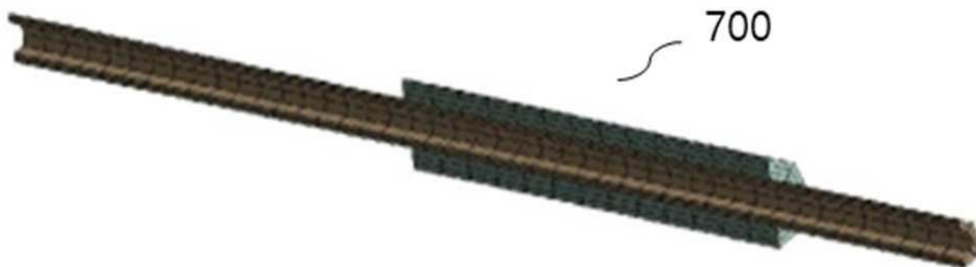
도면5



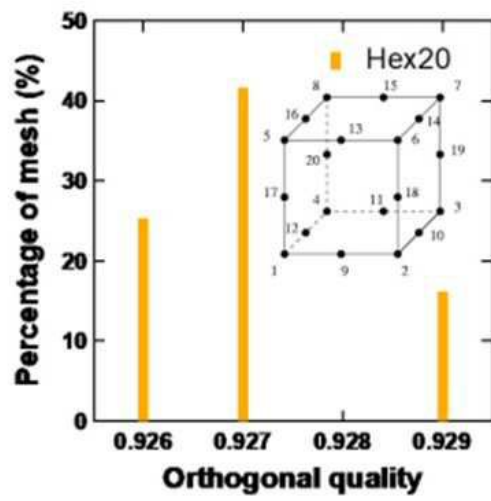
도면6



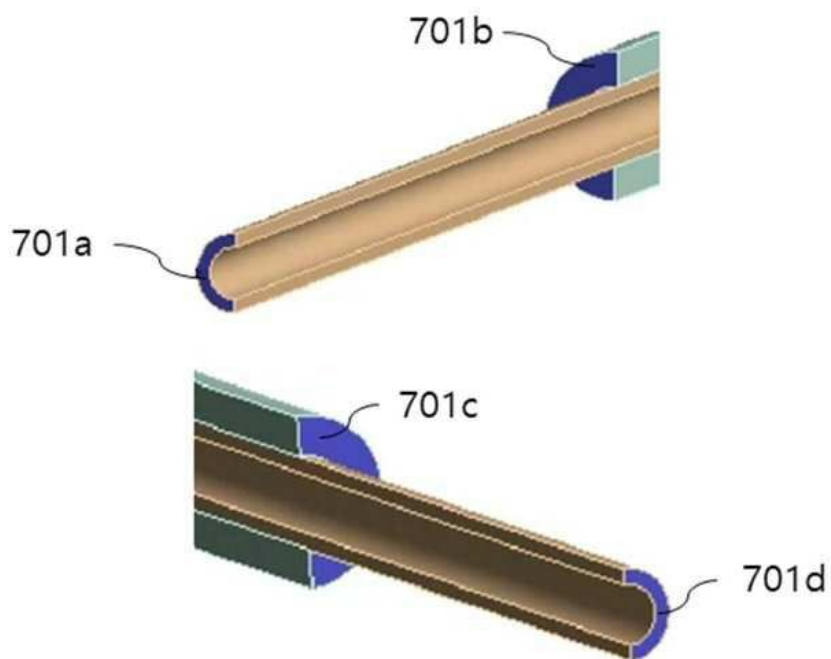
도면7a



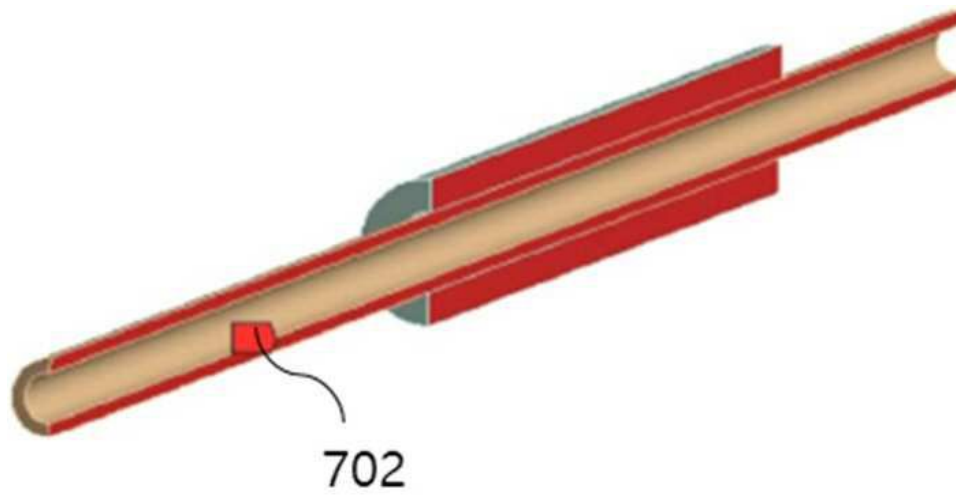
도면7b



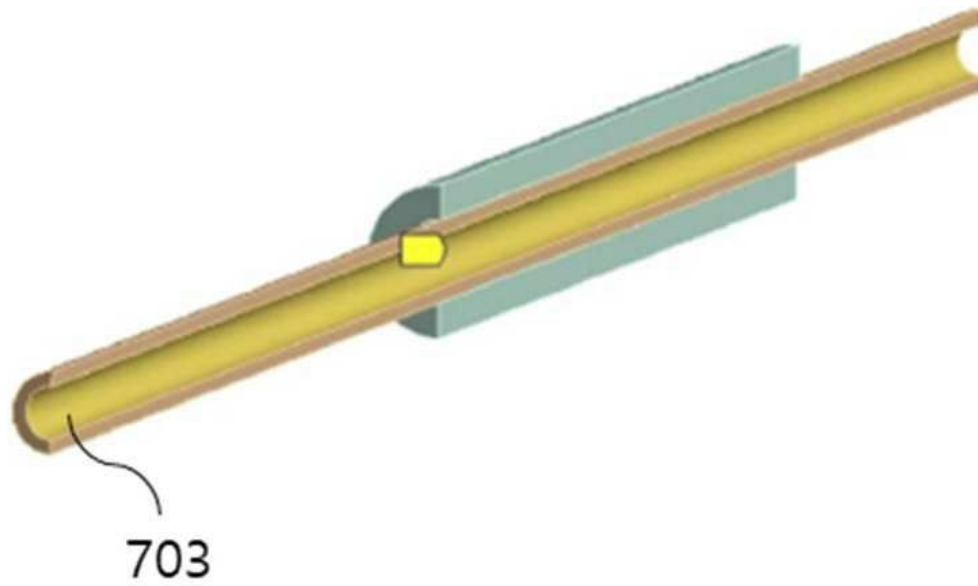
도면7c



도면7d



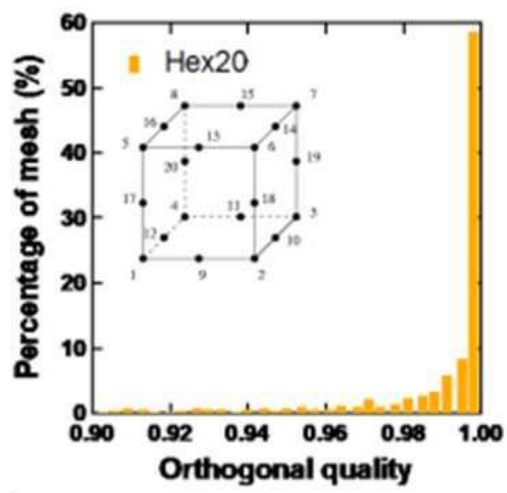
도면7e



도면8a



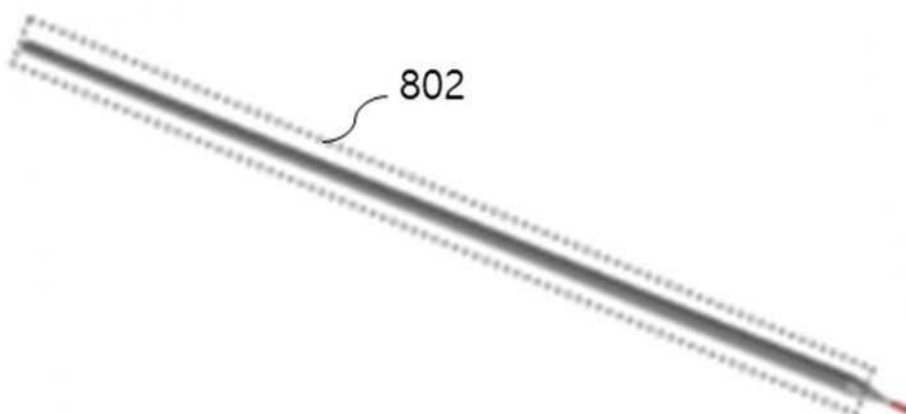
도면8b



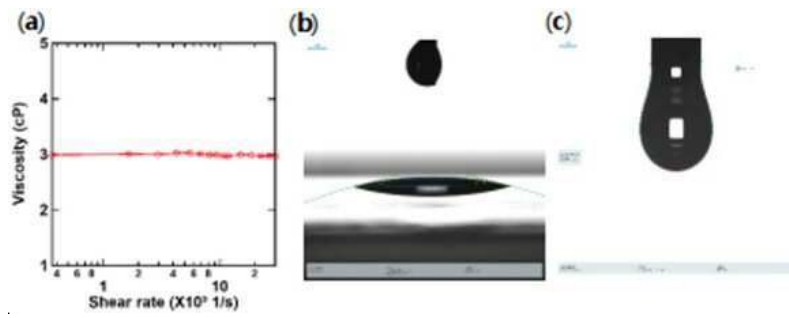
도면8c



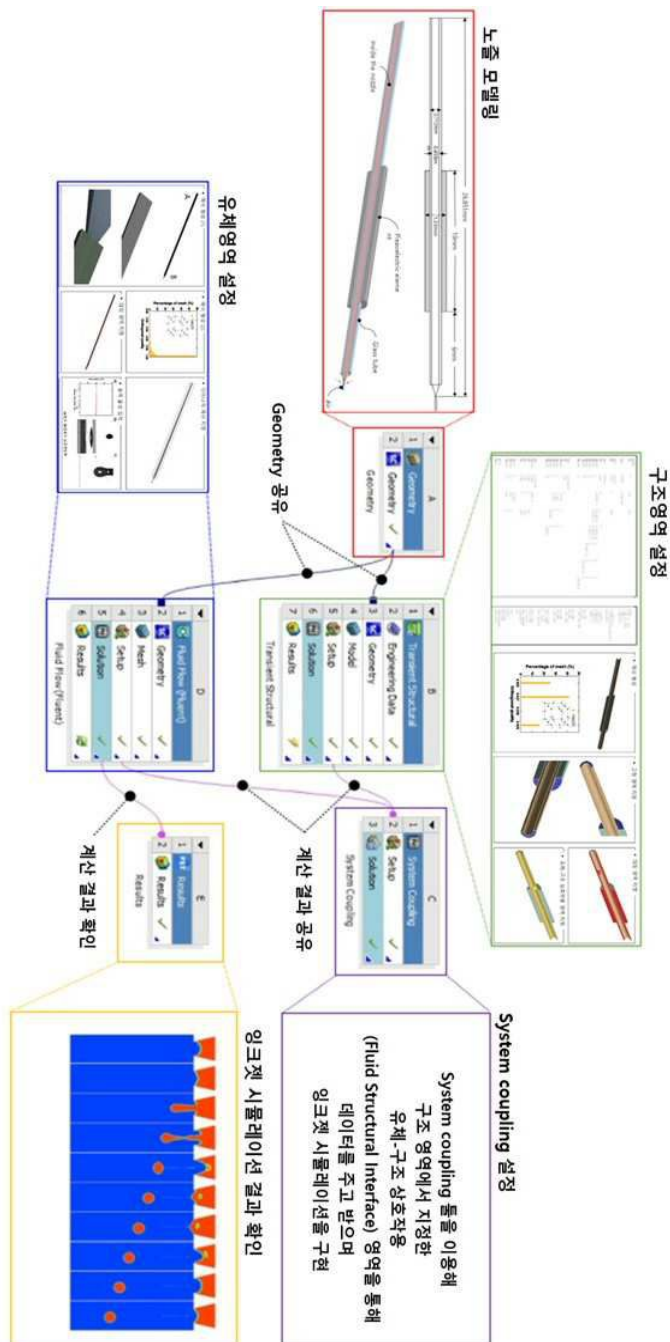
도면8d



도면8e



도면9



도면10

