



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년01월26일

(11) 등록번호 10-1485409

(24) 등록일자 2015년01월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B41J 29/38 (2006.01) *B41J 29/393* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-7027701

(22) 출원일자(국제) 2007년04월06일

심사청구일자 2012년04월03일

(85) 번역문제출일자 2008년11월12일

(65) 공개번호 10-2008-0109089

(43) 공개일자 2008년12월16일

(86) 국제출원번호 PCT/US2007/066159

(87) 국제공개번호 WO 2007/121120

국제공개일자 2007년10월25일

(30) 우선권주장

11/279,496 2006년04월12일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

US4523200 A

US20030122888 A1

US6099103 A

US6572210 B2

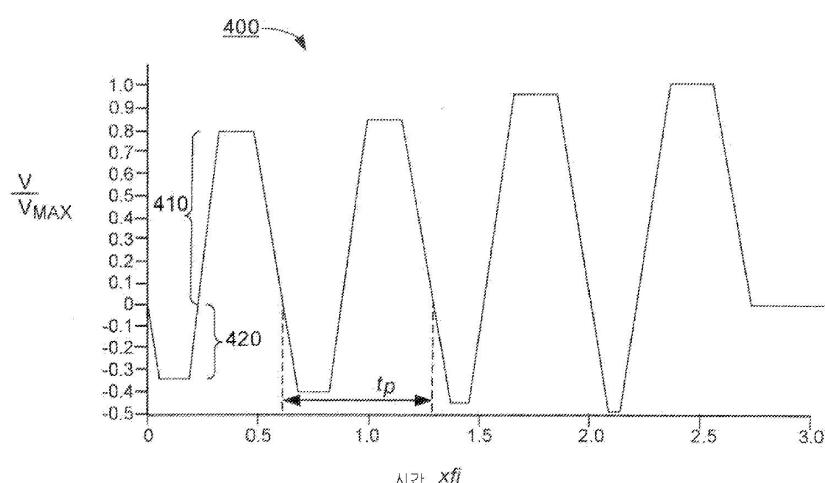
전체 청구항 수 : 총 26 항

심사관 : 조춘근

(54) 발명의 명칭 유체 액적 분사 장치 및 방법

(57) 요약

액추에이터를 갖는 액적 분사 장치 구동 방법은 액적 분사 장치가 분출 방향으로 유체의 액적을 분사하게 하도록 액추에이터에 제 1 구동 펄스를 인가하는 단계 및 상기 액추에이터에 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스를 인가하는 단계를 포함하며, 상기 제 2 구동 펄스는 액적의 부피를 실질적으로 변화시키지 않으면서 분출 방향으로 액적의 길이를 감소시킨다.

대 표 도

특허청구의 범위

청구항 1

액추에이터를 갖는 액적 분사 장치의 구동 방법으로서:

액적 분사 장치가 분출 방향으로 유체의 액적을 분사하게 하도록, 액추에이터에 제 1 구동 펄스를 인가하는 단계; 및

상기 액추에이터에 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스들을 인가하는 단계;를 포함하며,

상기 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스들은 액적의 부피를 변화시키지 않으면서 분출 방향으로 액적의 길이를 감소시키며,

상기 액적 분사 장치는 100 kHz 이상의 고유 주파수(f_j)를 포함하고,

상기 고유 주파수(f_j)는 상기 액적 분사 장치의 분사기의 길이를 통해 전파되는 음파의 주기의 역함수인,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스들은 제 1 구동 펄스 이후에 인가되는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

제 1 구동 펄스 이후에 인가되는 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스들 중 첫 번째 제 2 구동 펄스는 상기 액적 분사 장치의 고유 주파수(f_j)에 대응하는 주기보다 더 긴 시간만큼 지연되는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스들은 상기 제 1 구동 펄스 이전에 인가되는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스들은 제 1 구동 펄스 이전 및 이후에 인가되는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스들 각각은 상기 제 1 구동 펄스의 진폭보다 작은 진폭을 갖는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 페스들 각각은 상기 제 1 구동 페스의 페스 폭보다 작은 페스 폭을 갖는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 유체는 10^3 이상의 분자량을 갖는 고 분자량 물질을 포함하는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 고 분자량 물질은 폴리머를 포함하는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 폴리머는 발광 폴리머를 포함하는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

액추에이터를 갖는 액적 분사 장치의 구동 방법으로서:

액적 분사 장치가 분출 방향으로 유체의 액적을 분사하게 하도록, 액추에이터에 제 1 구동 페스를 인가하는 단계; 및

상기 액추에이터에 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 페스들을 인가하는 단계;를 포함하며,

상기 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 페스들은 액적의 부피를 변화시키지 않으면서 액적의 형상을 변화시키며,

상기 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 페스들 각각의 주파수는 상기 액적 분사 장치의 고유 주파수(f_j)보다 더 크며,

상기 고유 주파수(f_j)는 상기 액적 분사 장치의 분사기의 길이를 통해 전파되는 음파의 주기의 역함수인,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스들은 분출 방향으로 액적의 길이를 변화시키는,
액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스들은 분출 방향으로 액적의 길이를 감소시키는,
액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 17

액추에이터를 갖는 액적 분사 장치의 구동 방법으로서:

액적 분사 장치가 10^3 또는 그보다 큰 분자량을 갖는 고 분자량 물질을 포함하는 유체의 단일(single) 액적을
분사하게 하도록, 둘 또는 그보다 많은 구동 펄스들을 포함하는 다중 펄스 패형을 액추에이터에 인가하는 단계;를 포함하며,

상기 둘 또는 그보다 많은 구동 펄스들 각각의 주파수는 30 kHz보다 더 큰,
액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 18

액추에이터를 갖는 액적 분사 장치의 구동 방법으로서:

액적 분사 장치가 분출 방향으로 유체의 액적을 분사하게 하도록, 복수의 구동 펄스들을 액추에이터에 인가하는 단계;를 포함하며,

상기 복수의 구동 펄스들 각각은 30 kHz보다 더 큰 주파수를 갖고, 상기 유체는 10^3 또는 그보다 큰 분자량을
갖는 물질을 포함하는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 19

액추에이터를 갖는 액적 분사 장치의 구동 방법으로서:

액적 분사 장치가 10^3 또는 그보다 큰 분자량을 갖는 고 분자량 물질을 포함하는 유체의 액적을 분사하게
하도록, 둘 또는 그보다 많은 구동 펄스들을 포함하는 다중 펄스 패형을 액추에이터에 인가하는 단계;를 포함하
며,

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 m_d}{4\pi \rho}}$$

상기 액적의 질량의 60% 이상이 액적 내의 한 점의 반경(r) 이내에 포함되며, 이때 r 은
구형 액적의 반경에 대응하고, 이때 m_d 는 액적의 질량이며, ρ 는 유체의 밀도인,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 20

액추에이터를 갖는 액적 분사 장치의 구동 방법으로서:

액적 분사 장치가 분출 방향으로 유체의 액적을 분사하게 하도록, 액추에이터에 제 1 구동 펄스를 인가하는 단
계; 및

상기 액적의 부피를 변화시키지 않으면서 분출 방향으로 액적의 길이를 감소시키도록, 상기 액추에이터에 하나
또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스들을 인가하는 단계;를 포함하며,

상기 액적의 길이는 분출 방향으로 10 % 또는 그보다 많이 감소되는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 21

제 20 항에 있어서,

상기 액적의 길이는 분출 방향으로 25 % 또는 그보다 많이 감소되는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 22

제 20 항에 있어서,

상기 액적의 길이는 분출 방향으로 50 % 또는 그보다 많이 감소되는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 23

제 20 항에 있어서,

상기 유체는 10^3 이상의 분자량을 갖는 고 분자량 물질을 포함하는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 24

제 20 항에 있어서,

상기 액적 분사 장치는 100 kHz 이상의 고유 주파수(f_j)를 포함하며,

상기 고유 주파수(f_j)는 상기 액적 분사 장치의 분사기의 길이를 통해 전파되는 음파의 주기의 역함수(inverse)인,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 25

액추에이터를 갖는 액적 분사 장치의 구동 방법으로서:

액적 분사 장치가 분출 방향으로 유체의 액적을 분사하게 하도록, 액추에이터에 제 1 구동 펄스를 인가하는 단계; 및

상기 액추에이터에 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스들을 인가하는 단계;를 포함하며,

상기 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스들은 상기 액적의 부피를 변화시키지 않으면서 상기 액적의 후미를 감소시키며, 상기 액적의 질량의 20 % 미만이 상기 후미 내에 위치하는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 26

제 25 항에 있어서,

상기 액적의 질량의 10 % 미만이 상기 후미 내에 위치되는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 27

제 25 항에 있어서,

상기 액적의 질량의 5 % 미만이 상기 후미 내에 위치되는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 28

제 25 항에 있어서,

상기 액적은 4 ms^{-1} 보다 큰 속도를 갖는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

청구항 29

제 25 항에 있어서,

상기 액적은 6 ms^{-1} 보다 큰 속도를 갖는,

액적 분사 장치의 구동 방법.

명세서

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은 본 명세서에 전체 내용이 통합되고, 2004년 3월 15일에 제출되었으며, 제목이 "HIGH FREQUENCY DROPLET EJECTION DEVICE AND METHOD"인, U.S.출원번호 제10/800,467호에 대한 우선권을 주장하며 이의 부분 계속 출원인, 2006년 4월 12일에 제출된 U.S.출원번호 제11/279,496호에 대한 우선권을 주장한다.

[0003] 본 발명은 유체 액적 분사 장치를 구동시키기 위한 유체 액적 분사 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0004] 액적 분사 장치는 여러가지 목적을 위해 다양한 매체상에 이미지를 프린트하는데 가장 일반적으로 사용된다. 액적 분사 장치는 잉크 제트 또는 잉크 제트 프린터로 종종 지칭된다. 드롭-온-디맨드(Drop-on-demand) 액적 분사 장치는 융통성 및 경제성으로 인해 많은 경우에 사용된다. 드롭-온-디맨드 장치는 특정한 신호, 일반적으로 전기 파형("waveform")에 응답하여 단일한 액적(droplet)을 분사한다.

[0005] 통상적으로 액적 분사 장치는 유체 공급부로부터 노즐 경로까지의 유체 경로를 포함한다. 노즐 경로는 노즐 개구에서 종결되며, 노즐 개구로부터 접적(drop)이 분사된다. 액적 분사는 액추에이터를 이용하여 유체 경로에서 유체를 가압함으로써 제어되며, 액추에이터는 예를 들면 압전식 디플렉터, 열기포 제트 발생기(thermal bubble jet generator), 또는 정전식으로 편향된 요소일 수 있다.

[0006] 통상적인 프린트 헤드, 예를 들면 잉크 제트 프린트 헤드는 대응하는 노즐 개구 및 연관된 액추에이터를 갖는 유체 경로 배열을 가지며, 각각의 노즐 개구로부터의 액적 분사는 독립적으로 제어될 수 있다. 드롭-온-디맨드 프린트 헤드에서, 각각의 액추에이터는, 프린트 헤드와 기판이 서로 상대적으로 이동될 때, 특정한 타겟 팩셀 위치에서 선택적으로 액적을 분사하도록 시동된다. 고성능 프린트 헤드에서, 노즐 개구는 통상적으로 50 미크론 또는 그 미만, 예를 들면 약 25 미크론의 직경을 갖고, 100 내지 300 노즐/인치의 피치(pitch)로 분리되며, 100 내지 300 dpi 또는 그보다 큰 해상도를 가지며, 약 1 내지 100 피코리터(p1) 또는 그 미만의 액적 크기를 제공한다. 액적 분사 주파수는 통상적으로 10 내지 100 kHz 또는 그보다 높지만, 일부 경우에는 그보다 낮을 수 있다.

[0007] 전체 내용이 본 명세서에 통합되는 Hoisington 등의 U.S.5,265,315는 반도체 프린트 헤드 본체 및 압전식 액추에이터를 갖는 프린트 헤드를 설명한다. 프린트 헤드 본체는 유체 챔버를 형성하도록 식각되며 실리콘으로 제조된다. 노즐 개구는 실리콘 본체에 부착되는 분리된 노즐 플레이트에 의해 형성된다. 압전식 액추에이터는 압전 물질 층을 가지며, 압전 물질 층은 인가된 전압에 응답하여 기하학적 구조 또는 굴곡(bends)이 변화한다. 압전 층의 굽힘은 잉크 경로를 따라 위치되는 펌핑 챔버 내의 잉크를 가압한다. 중착 정확성은 다수의 요인에 의해 영향을 받는데, 다수의 요인은 장치내의 복수의 헤드 사이에서 헤드의 노즐에 의해 분사된 접적의 속도 균일성 및 크기를 포함한다. 액적 크기 및 액적 속도 균일성은 또한 잉크 경로의 치수 균일성, 음향 간섭 효과,

잉크 유동 경로내의 오염물, 및 액추에이터의 작동 균일성과 같은 요인에 의해 영향을 받는다.

[0008] 드롭-온-디맨드 분사기는 이동하는 타겟 또는 이동하는 분사기를 사용하여 종종 작동되기 때문에, 액적 속도의 변화는 매체상에서 점적의 위치의 변화를 초래한다. 이러한 변화는 이미지화 적용시 이미지의 품질을 떨어뜨릴 수 있으며, 다른 적용시 시스템의 성능을 떨어뜨릴 수 있다. 액적의 부피 및/또는 형상의 변화는 다른 적용시 성능의 하락 또는 이미지 내의 점의 크기의 변화를 초래한다. 이러한 이유로, 일반적으로 액적의 속도, 액적의 부피, 및 액적의 조성 특성은 분사기의 작동 범위에 걸쳐서 가능한 일정한 것이 바람직하다.

[0009] 액적 분사기 제작자는 주파수 응답을 향상시키기 위해 다양한 기술을 적용하지만, 드롭-온-디맨드 분사기에서 점적을 분사하는 물리적 요구조건은 주파수 응답이 향상될 수 있는 범위를 제한할 수 있다. "주파수 응답"은 고유의 물리적 특성에 의해 결정되는 분사기의 특성적인 성질을 지칭하며, 이러한 고유의 물리적 특성은 액적 분사 주파수 범위에 걸쳐서 분사기 성능을 결정한다. 통상적으로, 액적의 속도, 액적의 질량, 및 액적의 부피는 작동 주파수에 따라 변화하며; 종종 액적의 조성이 영향을 받는다. 주파수 응답 향상에 대한 통상적인 접근은, 분사기 내의 유동 통로의 길이를 감소시켜, 공진 주파수, 댐핑을 증가시키기 위해 유동 통로의 유체 저항의 증가, 및 제한기(restrictors) 및 노즐과 같은 내부 요소의 임피던스 동조(impedance tuning)를 증가시키는 것을 포함할 수 있다.

발명의 상세한 설명

[0010] 드롭-온-디맨드 액적 분사 장치는 임의의 주파수에서, 또는 분사 장치의 최대 용량까지의 주파수들의 조합에서 점적을 분사할 수 있다. 그러나 주파수의 넓은 범위에 걸쳐서 작동할 때, 장치의 성능은 분사기의 주파수 응답에 의해 영향을 받을 수 있다.

[0011] 액적 분사기의 주파수 응답을 향상시키는 한가지 방법은 충분히 높은 주파수를 갖는 다중 펄스 파형을 사용하여, 이 파형에 응답하여 단일한 액적을 형성하는 것이다. 통상적으로 다중 펄스 파형 주파수는, 초기에 언급된 액적 분사 주파수와 달리, "주파수 응답"이 속하는 파형내의 펄스 주기(pulse periods)의 역함수(inverse function)를 지칭함에 주의한다. 이러한 유형의 다중 펄스 파형은 많은 분사기에서 단일한 점적을 형성하는데, 이는 펄스 주파수가 높고, 펄스 사이의 시간이 액적 형성 시간 파라미터에 비해 짧기 때문이다.

[0012] 주파수 응답을 향상시키기 위해, 파형은 다중 펄스 파형에 응답하여 형성할 수 있는 복수의 더 작은 점적과 달리, 단일하고 큰 액적을 발생시켜야 한다. 단일하고 큰 액적이 형성될 때, 개별적인 펄스로부터의 에너지 입력은 다중 펄스 파형에 걸쳐서 평균화된다. 그 결과 각각의 펄스로부터 유체에 전해지는 에너지에서 파동의 영향이 감소된다. 따라서, 액적 속도 및 부피가 작동 범위에 걸쳐서 보다 일정하게 유지된다.

[0013] 또한, 일부 실시예에서, 다중 펄스 파형은, 예를 들면 액적 후미의 길이를 감소시킴으로써, 액적의 형상을 향상시켜서 보다 구형의 액적이 되게 하는데 사용될 수 있다. 예를 들면, 다중 펄스 파형을 사용하여, 비교적 큰 신장 점도(extensional viscosity)를 갖는 유체 또는 분자량이 높은 성분을 포함하는 유체를 분출하면 액적 후미의 길이를 감소시킬 수 있다. 일부 실시예에서, 다중 펄스 파형은 하나의 제 1 펄스 및 하나 또는 그보다 많은 제 2 펄스를 포함할 수 있고, 제 2 펄스는 제 1 펄스에 응답하여 분사된 유체의 부피에 크게 영향을 미치지 않지만, 분사된 액적의 후미 길이를 감소시킨다. 제 2 펄스는 제 1 펄스 이전 및/또는 이후에 인가될 수 있다.

[0014] 몇몇 펄스 설계 파라미터는 다중 펄스 파형에 응답하여 단일한 액적이 형성되는 것을 보장하도록 최적화될 수 있다. 일반적으로, 이를 파라미터는 각각의 펄스의 개별적인 세그먼트(segments)의 상대 진폭, 각각의 세그먼트의 상대 펄스폭, 및 파형의 각 부분의 회전율(slew rate)을 포함한다. 일부 실시예에서, 단일한 점적은, 각각의 펄스의 전압 진폭이 점진적으로 커지게 되는 다중 펄스 파형으로부터 형성될 수 있다. 대안적으로 또는 추가로, 단일한 점적은 연속적인 펄스 사이의 시간이 전체 펄스 폭에 비해 짧은 다중 펄스 파형으로부터 얻어질 수 있다. 다중 펄스 파형은 제트 고유 주파수(jet natural frequency) 및 그 고조파(harmonics)에 상응하는 주파수에서 에너지가 거의 없거나 없을 수 있다.

[0015] 일 양태에서, 액추에이터를 갖는 액적 분사 장치 구동 방법은 액적 분사 장치가 분출(jetting) 방향으로 유체의 액적을 분사하게 하도록 액추에이터에 제 1 구동 펄스(primary drive pulse)를 인가하는 단계 및 상기 액추에이터에 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스를 인가하는 단계를 포함하며, 상기 제 2 구동 펄스가 액적의 부피를 실질적으로 변화시키지 않으면서 분출 방향으로 액적의 길이를 감소시킨다.

[0016] 다른 실행예가 하나 또는 그보다 많은 하기의 특징을 포함할 수 있다. 액적 분사 장치 구동 방법은 제 1 구동 펄스 이후에 인가되는 상기 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스를 포함한다. 이 방법은 또한 제 1 구동 펄

스 이후에, 제 2 구동 펄스 중 첫 번째 구동 펄스가 액적 분사 장치의 고유 주파수(f_j)에 대응하는 주기보다 더 긴 시간만큼 지연되는 단계를 포함할 수도 있다. 상기 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스는 상기 제 1 구동 펄스 이전에 인가될 수 있거나, 상기 제 2 구동 펄스는 제 1 구동 펄스 이전 및 이후에 인가될 수 있다. 상기 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스는 상기 제 1 구동 펄스의 진폭보다 작은 진폭을 가질 수 있다.

[0017] 다른 실행예가 하나 또는 그보다 많은 하기의 특징을 포함할 수 있다. 이 방법은 상기 제 1 구동 펄스의 폭보다 작은 펄스폭을 갖는 상기 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스를 포함할 수 있다. 상기 유체는 고 분자량 물질(즉, 발광 폴리머와 같은 폴리머)을 포함할 수 있다. 상기 액적의 길이는 분출 방향에서 약 10% 또는 그보다 많이, 약 25% 또는 그보다 많이, 또는 약 50% 또는 그보다 많이 감소될 수 있다.

[0018] 다른 양태에서, 액추에이터를 갖는 액적 분사 장치 구동 방법은 액적 분사 장치가 분출 방향으로 유체의 액적을 분사하게 하도록 액추에이터에 제 1 구동 펄스를 인가하는 단계 및 상기 액추에이터에 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스를 인가하는 단계를 포함하며, 상기 제 2 구동 펄스는 액적의 부피를 실질적으로 변화시키지 않으면서 액적의 형상을 변화시키며, 상기 제 2 구동 펄스의 주파수는 액적 분사 장치의 고유 주파수(f_j)보다 더 크다.

[0019] 실행예는 하나 또는 그보다 많은 하기의 특징들을 포함할 수 있다. 이 방법은 분출 방향에서 액적의 길이를 변화시키는 상기 제 2 구동 펄스, 또는 분출 방향에서 액적의 길이를 감소시키는 상기 제 2 구동 펄스를 가질 수 있다.

[0020] 다른 양태에서, 액추에이터를 갖는 액적 분사 장치 구동 방법은 액적 분사 장치가 고 분자량 물질을 포함하는 단일한 유체의 액적을 분사하게 하도록, 둘 또는 그보다 많은 구동 펄스를 포함하는 다중 펄스 패형을 액추에이터에 인가하는 단계를 포함하며, 상기 구동 펄스의 주파수는 액적 분사 장치의 고유 주파수(f_j)보다 더 크다.

[0021] 다른 양태에서, 액추에이터를 갖는 액적 분사 장치 구동 방법은 액적 분사 장치가 고 분자량 물질을 포함하는 유체의 액적을 분사하게 하도록 복수의 구동 펄스를 액추에이터에 인가하는 단계를 포함하며, 상기 구동 펄스의 적어도 일부는 액적 분사 장치의 고유 주파수(f_j)보다 더 큰 주파수를 갖고, 상기 유체는 약 10^3 또는 그보다 큰 분자량을 갖는 물질을 포함한다.

[0022] 또 다른 양태에서, 액추에이터를 갖는 액적 분사 장치 구동 방법은 액적 분사 장치가 고 분자량 물질을 포함하는 유체의 액적을 분사하게 하도록 둘 또는 그보다 많은 구동 펄스를 포함하는 다중 펄스 패형을 액추에이터에 인가하는 단계를 포함하며, 상기 액적의 질량의 약 60% 이상이 액적내의 한 점의 반경(r) 이내에 포함되며, 이

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 m_d}{4\pi \rho}}$$

때 r 은 주어진 구형 액적의 반경에 대응하고, 이때 m_d 는 액적의 질량이며, ρ 는 유체의 밀도이다.

[0023] 본 발명의 실시예는 하나 또는 그보다 많은 하기의 이점을 가질 수 있다.

[0024] 본 명세서에 개시된 기술은 액적 분사 장치의 주파수 응답 성능을 향상시키는데 사용될 수 있다. 액적 분사기 또는 제트로부터 분사된 점적의 속도 변화는 발사율(firing rate)에 따라 상당히 감소될 수 있다. 액적 분사기로부터 분사된 점적의 부피 변화는 발사율에 따라 상당히 감소될 수 있다. 속도 오차의 감소는 액적 배치 오류를 감소시키고 이미지화 적용시 이미지를 향상시킬 수 있다. 부피 변화의 감소는 비-이미지화 적용시 향상된 품질 및 이미지화 적용시 향상된 이미지를 이끌 수 있다.

[0025] 또한 이들 방법은 액적 분사기 설계를 특정화함으로써, 적용시 주파수에 종속적인 분사기의 성능을 향상시키는데 사용될 수 있으며, 액적 분사기 설계는 적용시 요구되는 것보다, 예를 들면 1.5 내지 4 배 또는 그보다 큰 배수만큼 (부피가) 작은 점적을 발생시킨다. 그 후 이들 기술을 적용시킴으로써, 분사기는 적용에 요구되는 액적 크기를 만들 수 있다. 따라서, 본 명세서에 개시되는 기술은 소형의 액적 분사 장치로부터 큰 액적 크기를 제공하는데 사용될 수 있고, 액적 분사 장치로부터 광범위한 액적 크기를 발생시키는데 사용될 수 있다. 개시된 기술을 이용하여 달성할 수 있는 광범위한 액적 크기는 잉크 제트 프린팅 적용시 광범위한 그레이 레벨(gray levels)을 갖는 그레이 스케일 이미지(gray scale images)를 용이하게 할 수 있다.

[0026] 일부 실시예에서, 기술은 액적 후미 길이를 감소시킴으로써, 예를 들면 잉크 제트 프린팅 적용시에 큰 잉크 액적 후미와 연관된 액적 배치의 부정확성으로 인해 발생할 수 있는 이미지 저하(image degradation)를 감소시킬

수 있다. 이들 기술은 복수의 점적을 갖지 않는 큰 액적 부피를 달성함으로써 부정확성을 감소시킬 수 있는데, 이는 기관이 분사 장치에 대해 이동할 때 복수의 위치와 반대로, 단일하고 큰 액적이 이동하는 기관상의 한 위치에 모든 유체를 놓을 것이기 때문이다. 단일하고 큰 점적은 몇몇 작은 점적보다 더 멀리 더 직선으로 이동할 수 있기 때문에 추가의 이점이 얻어질 수 있다.

[0027] 본 발명의 하나 또는 그보다 많은 실시예에 세부 사항은 첨부 도면 및 하기의 상세한 설명에서 설명된다. 본 발명의 다른 특징 및 이점은 상세한 설명, 도면, 및 특허청구범위로부터 명확해질 것이다.

실시예

[0053] 도 1을 참조하면, 프린트 헤드(12)는 복수의(예를 들면, 128개, 256개, 또는 그보다 많은) 잉크 제트(10)(도 1에는 하나만 도시됨)를 포함하고, 잉크 제트는 전기 구동 펄스에 의해 구동되며, 전기 구동 펄스는 신호 라인(14, 15)을 통해 제공되어 잉크 제트(10)의 발사(firing)를 제어하도록 내장 제어 회로(on-board control circuitry; 19)에 의해 분배된다. 외부 제어기(20)는 라인(14, 15)을 통해 구동 펄스를 공급하고, 추가의 라인(16)을 통해 내장 제어 회로(19)에 제어 데이터 및 로직 전력(logic power) 및 타이밍(timing)을 제공한다. 잉크 제트(10)에 의해 분출된 잉크는, 프린트 헤드(12)에 대해 (예를 들면, 화살표(21)로 지시된 방향으로) 이동하는 기관(18)상에 프린트 라인(17)을 형성하도록 전달될 수 있다. 일부 실시예에서, 기관(18)은 단일 패스 모드(single pass mode)로 정지된 프린트 헤드(12)를 지나 이동한다. 대안적으로 프린트 헤드(12)는 스캐닝 모드(scanning mode)로 기관(18)을 가로질러 이동할 수도 있다.

[0054] (개략적 수직 단면도인)도 2a를 참조하면, 각각의 잉크 제트(10)는 프린트 헤드(12)의 반도체 블록(21)의 상면에 긴 펌핑 챔버(30)를 포함한다. 펌핑 챔버(30)는 (측면을 따르는 잉크 소스(34)로부터의) 유입구(32)로부터 하행 통로(36)의 노즐 유동 경로로 연장하며, 하행 통로는 블록(21)의 상부 표면(22)으로부터 하부 층(29)의 노즐(28) 개구로 내려간다. 노즐 크기는 원하는 바에 따라 변화할 수 있다. 예를 들면, 노즐은 직경이 약 수 미크론(예를 들면, 약 5 미크론, 약 8 미크론, 10 미크론)일 수 있거나, 직경이 수십 또는 수백 미크론(예를 들면, 약 20 미크론, 30 미크론, 50 미크론, 80 미크론, 100 미크론, 200 미크론 또는 더 큰 미크론)일 수 있다. 각각의 펌핑 챔버(30)에 대한 유입구(32)에는 유동 제한 요소(40)가 제공된다. 각각의 펌핑 챔버(30)를 덮는 편평한 액추에이터(38)는 라인(14)으로부터 제공된 구동 펄스에 의해 작동되며, 그 타이밍은 내장 회로(19)로부터의 제어 신호에 의해 제어된다. 구동 펄스는 액추에이터 형상을 왜곡시켜서, 챔버(30) 내의 부피를 변화시키며, 챔버는 유입구로부터 챔버 내부로 유체를 끌어들이고 하행 통로(36)를 통해 노즐(28) 외부로 잉크를 끌어낸다. 각각의 프린트 주기(print cycle)에서 다중 펄스 구동 과정은 활성화된 제트로 전달되어 이들 각각의 제트가 그 노즐로부터 단일 액적을 분사하게 하며, 단일 액적은 프린트 헤드 장치(12)를 지나는 기관(18)의 상대 운동과 동기화되어 원하는 시간에 분사된다.

[0055] 또한, 도 2b를 참조하면, 편평한 액추에이터(38)는 구동 전극(42)과 접지 전극(44) 사이에 배치되는 압전 층(40)을 포함한다. 접지 전극(44)은 접합 층(46)에 의해 멤브레인(48)(예를 들면, 실리카, 유리, 또는 실리콘 멤브레인)에 접합된다. 작동중에, 구동 펄스는 구동 전극(42)과 접지 전극(44) 사이의 전위차를 이용함으로써, 압전 층(40) 내에 전기장을 발생시킨다. 압전 층(40)은 전기장에 응답하여 액추에이터(38)를 왜곡시켜서, 챔버(30)의 부피를 변화시킨다.

[0056] 각각의 잉크 제트는 고유 주파수(f_i)를 가지며, 고유 주파수는 분사기(또는 제트)의 길이를 통하여 퍼지는 음파(sound wave)의 주기(period)의 역함수에 관한 것이다. 제트의 고유 주파수는 많은 양태의 제트의 성능에 영향을 미칠 수 있다. 예를 들면, 제트의 고유 주파수는 통상적으로 프린트 헤드의 주파수 응답에 영향을 준다. 통상적으로, 제트 속도는 실질적으로 고유 주파수 미만(예를 들면, 평균 속도의 5% 이내)으로부터 제트의 고유 주파수의 약 25%까지의 주파수 범위에 대해 일정하게(예를 들면, 평균 속도의 5% 이내) 유지된다. 주파수가 이 범위를 넘어서 증가할 때, 제트 속도는 양을 증가시킴으로써 변화하기 시작한다. 이러한 변화는 부분적으로 이전의 구동 펄스(들)로부터의 잔류 압력 및 유동에 의해 야기되는 것으로 생각된다. 이들 압력 및 유동은 현재 구동 펄스와 상호 작용하며, 보강 또는 상쇄 간섭(constructive or destructive interference)을 야기할 수 있으며, 보강 또는 상쇄 간섭은 그렇지 않은 경우 발사될 것보다 액적 발사를 더 빠르거나 더 느리게 한다. 보강 간섭은 구동 펄스의 유효 진폭(effective amplitude)을 증가시켜 액적 속도를 증가시킨다. 반대로, 상쇄 간섭은 구동 펄스의 유효 진폭을 감소시켜 액적 속도를 감소시킨다.

[0057] 구동 펄스에 의해 발생된 압력파는 제트의 고유 또는 공명 주파수에서 제트의 앞뒤로 반사한다. 압력파는 명목 상 펌핑 챔버 내의 그 시작점으로부터 제트의 단부로 및 다시 펌핑 챔버 아래로 이동하며, 이 점에서 압력파는

후속 구동 펄스에 영향을 미칠 것이다. 그러나 제트의 여러 부분은 응답의 복잡성을 증가시키는 부분 반사를 제공할 수 있다.

[0058] 일반적으로, 잉크 제트의 고유 주파수는 분출되는 잉크의 물리적 특성 및 잉크 제트의 설계에 따라 변화한다. 일부 실시예에서, 잉크 제트(10)의 고유 주파수는 약 15 kHz보다 높다. 다른 실시예에서, 잉크 제트(10)의 고유 주파수는 약 30 내지 100 kHz, 예를 들면 약 60 kHz 또는 80 kHz이다. 또 다른 실시예에서, 고유 주파수는 약 100 kHz와 같거나, 약 120 kHz 또는 약 160 kHz와 같이 약 100 kHz보다 더 높다.

[0059] 제트 고유 주파수를 결정하는 한가지 방법은, 용이하게 측정될 수 있는 제트 응답 속도로부터이다. 액적 속도 변화의 주기성은 제트의 고유 주파수에 대응한다. 도 3을 참조하면, 액적 속도 변화의 주기성은 액적 속도 대 펄스 주파수의 역함수를 도표화한 후 정점들 사이의 시간을 측정함으로써 측정될 수 있다. 고유 주파수는 $1/\tau$ 이며, 이때, τ 는 속도 대 시간의 국부 최대값 사이(즉, 인접하는 극대값 또는 인접하는 극소값 사이)의 시간이다. 이 방법은 실제로 데이터를 도표화하지 않고, 전자적인 데이터 축소 기술을 사용하여 이용될 수 있다.

[0060] 액적 속도는 여러가지 방법으로 측정될 수 있다. 한가지 방법은 LED와 같은 스트로브 라이트(strobe light)에 의해 조명되는 고속 카메라의 전방에서 잉크 제트를 발사하는 것이다. 스트로브는 액적 발사 주파수와 동기화되어, 점적은 이미지의 영상으로 정지된 것으로 보인다. 이미지는 통상적인 이미지 분석 기술을 사용하여 처리되어 액적 헤드의 위치를 결정한다. 이는 유효 액적 속도를 결정하도록 액적이 발사되었기 때문에 시간에 따라 비교된다. 통상적인 시스템은 파일 시스템(file system)의 주파수에 따라 속도에 대한 데이터를 저장한다. 이 데이터는 연산방식(algorithm)에 의해 분석되어 정점을 골라낼 수 있거나, 분석적으로 도출된 곡선이 (예를 들면, 주파수, 댐핑, 및/또는 속도에 의해 파라미터로 나타내진) 데이터에 맞춰질 수 있다. 제트의 고유 주파수를 결정하는데 푸리에 분석(Fourier analysis)이 사용될 수도 있다.

[0061] 작동중에, 각각의 잉크 제트는 다중 펄스 패형에 응답하는 단일한 액적을 분출할 수 있다. 다중 펄스 패형의 일례는 도 4a에 도시된다. 이 예시에서, 다중 펄스 패형(400)은 4개의 펄스를 갖는다. 각각의 다중 펄스 패형은, 분출 주기(즉, 분출 주파수에 대응하는 주기)의 정수배(integer multiple)에 대응하는 주기에 의해 후속 패형으로부터 통상적으로 분리될 것이다. 각각의 펄스는, 펌핑 요소의 부피가 증가할 때에 대응하는 "채움" 만곡부("fill" ramp), 및 펌핑 요소의 부피가 감소할 때에 대응하는 (채움 만곡부에 대향하는 기울기의) "발사" 만곡부("fire" ramp)를 갖는 것을 특징으로 할 수 있다. 다중 펄스 패형(400)에는 잇따른 채움 및 발사 만곡부가 존재한다. 통상적으로, 펌핑 요소의 부피의 팽창 및 수축은 펌핑 챔버 내의 압력 변화를 일으키며, 압력 변화는 노즐의 외부로 유체를 몰아내는 경향이 있다.

[0062] 각각의 펄스는 개별적인 펄스 세그먼트의 시작으로부터 이 펄스 세그먼트의 단부까지의 시간에 대응하는 펄스 주기(τ_p)를 갖는다. 다중 펄스 패형의 전체 주기는 4개의 펄스 주기의 합이다. 패형 주파수는, 대략 전체 다중 펄스 주기에 의해 분할되는 펄스의 개수와 같이 결정될 수 있다. 대안적으로 또는 추가로, 푸리에 분석이 사용되어 펄스 주파수에 대한 값을 제공할 수 있다. 푸리에 분석은 다중 펄스 패형의 고조파 함유량(harmonic content)의 측정을 제공한다. 펄스는 주파수(f_{max})에 대응하며, 이 주파수에서 고조파 함유량이 최대(즉, 푸리에 스펙트럼에서 0이 아닌 최고 에너지 정점)이다. 바람직하게 구동 패형의 펄스 주파수는 제트의 고유 주파수(f_j)보다 더 크다. 예를 들면, 펄스 주파수는, 약 1.3 내지 2.5배(예를 들면, 약 2배의 고유 주파수(f_j)와 같은, 약 1.8 내지 2.3 배의 고유 주파수(f_j))의 고유 주파수(f_j)와 같이, 제트 고유 주파수의 약 1.1 내지 5배일 수 있다. 일부 실시예에서, 펄스 주파수는 제트의 고유 주파수의 대략 2배, 3배, 또는 4배와 같이, 제트 고유 주파수의 배수와 동일할 수 있다.

[0063] 본 발명의 실시예에서, 펄스는 양극성이다. 즉, 다중 펄스 패형(400)은 음의 부분(예를 들면, 부분(410)) 및 양의 극성(예를 들면, 부분(420))을 포함한다. 일부 패형은 DC 오프셋을 포함할 수 있다. 예를 들면, 도 4b는 단극성 펄스만을 포함하는 다중 펄스 패형을 도시한다. 이러한 패형에서, 펄스의 진폭 및 폭은 각각의 펄스에 대해 점진적으로 증가한다.

[0064] 다중 펄스 패형에 응답하여 제트에 의해 분사된 단일한 잉크 액적의 부피는 각각의 후속 펄스에 대해 증가한다. 다중 펄스 패형에 응답하는 노즐로부터의 잉크의 분사 및 축적은 도 5a 내지 도 5e에 도시된다. 최초 펄스 이전에, 잉크 제트(10) 내의 잉크는 메니스커스(510)에서 종료되며, 메니스커스는 (내부 압력으로 인해) 노즐(28)의 오리피스(528)로부터 약간 안쪽으로 만곡된다(도 5a 참고). 오리피스(528)는 최소 치수(D)를 갖는다. 오리피스(528)가 원형인 실시예에서, 예를 들면, 치수(D)는 오리피스 직경이다. 일반적으로, 치수(D)는 제트 설계 및 액적 크기 요구조건에 따라 변화할 수 있다. 통상적으로, 치수(D)는 약 10 μm 내지 200 μm , 예를 들면,

약 20 μm 내지 50 μm 이다. 제 1 펄스는 오리피스(528)에 대해 잉크의 초기 부피를 밀어내어, 잉크 표면(520)을 노즐(28)로부터 약간 돌출하게 한다(도 5b 참고). 제 1 부분 액적이 분리되거나 수축되기 전에, 제 2 펄스가 노즐(28)을 통해 잉크의 다른 부피를 밀어내며, 다른 부피는 노즐(28)로부터 돌출하는 잉크에 추가된다. 도 5c 및 도 5d에 도시된 바와 같이, 제 2 및 제 3 펄스로부터의 잉크는 각각 액적의 부피를 증가시키고, 모멘트(momentum)를 추가한다. 일반적으로, 연속적인 펄스로부터의 잉크 부피는 도 5c 및 도 5d에 도시된 바와 같이, 형성중인 액적에서 팽창으로 보여질 수 있다. 궁극적으로, 노즐(28)은 4개의 펄스를 갖는 단일한 액적(530)을 분사하며, 메니스커스(510)는 초기 위치(도 5e)로 되돌아간다. 또한, 도 5e는 액적 헤드를 노즐에 연결하는 매우 얇은 후미(544)를 도시한다. 이 후미의 크기는 단일한 펄스 및 더 큰 노즐을 사용하여 형성되는 점적에 대해 발생할 것보다 실질적으로 더 작을 수 있다.

[0065] 액적 분사를 도시하는 일련의 사진이 도 6a 내지 도 6i에 도시된다. 이 예시에서, 잉크 제트는 50 μm 의 직경을 갖는 원형 오리피스를 갖는다. 잉크 제트는 250 피코리터(picoliter)의 액적을 발생시키는 약 60 kHz의 펄스 주파수에서 4개의 펄스인 다중 펄스 파형에 의해 구동된다. 이미지는 6 마이크로초마다 포착되었다. 오리피스로부터 돌출하는 잉크의 부피는 각각의 연속적인 펄스로 인해 증가한다(도 6a 내지 도 6g). 도 6h 내지 도 6i는 분사된 액적의 궤도를 도시한다. 잉크 제트 표면은 반사적이어서, 각 이미지의 상부 절반에 액적의 거울 이미지(mirror image)를 발생시킴에 주의한다.

[0066] 복수의 발사 펄스(multiple fire pulses)를 갖는 단일하고 큰 액적의 형성은 후미에서 유체의 부피를 감소시킬 수 있다. 액적 "후미"는, 후미 중단(tail breakoff)이 발생할 때까지, 액적 헤드에 이어지거나 액적의 일부를 노즐로 안내하는 유체의 필라멘트(filament)를 지칭한다. 일부 경우, 액적 후미는 부수체(satellites) 또는 분리된 액적을 형성할 수 있으며, 이러한 부수체 또는 분리된 액적은 액적의 본체와 동일한 위치에 떨어지지 않는다. 따라서, 액적 후미는 전체 분사기 성능을 저하시킬 수 있다.

[0067] 액적 후미는, 유체의 연속적인 부피의 충돌이 액적 형성의 특성을 변화시키기 때문에, 다중 펄스 액적 발사에 의해 감소될 수 있는 것으로 생각된다. 다중 펄스 파형의 후기 펄스는, 다중 펄스 파형의 초기 펄스에 의해 구동되며 노즐 배출구에 있는 유체 내부로 유체를 구동시켜서, 이들의 상이한 속도로 인해 유체 부피를 혼합 및 확장시킨다. 이러한 혼합 및 확장은 액적 헤드의 최대 직경에서의 연결로부터 다시 노즐까지 유체의 얇은 필라멘트를 방지할 수 있다. 다중 펄스 점적은 단일 펄스 점적에서 종종 관찰되는 원뿔형 후미와 반대로, 매우 얇은 필라멘트 또는 후미를 갖지 않는다. 도 15a 및 도 15b는 8 ms^{-1} 의 액적 속도 및 10 kHz의 발사 속도에서, 80 피코리터의 제트 설계의 단일한 펄싱(pulsing) 및 20 피코리터의 제트 설계의 다중 펄싱(multipulsing)을 이용하는 80 피코리터의 점적의 액적 형성을 비교한다. 유사하게, 도 16a 및 도 16b는 8 ms^{-1} 의 액적 속도 및 20 kHz의 발사 속도에서, 80 피코리터의 제트 설계의 단일한 펄싱 및 20 피코리터의 제트 설계의 다중 펄싱을 이용하는 80 피코리터의 점적의 액적 형성을 비교한다. 이를 도면은 다중 펄싱된 액적에 대한 감소된 후미 형성을 도시한다.

[0068] 이미 논의된 바와 같이, 제트의 고유 주파수를 결정하는 한가지 방법은 제트 주파수 응답 데이터의 푸리에 분석을 실행하는 것이다. 액적 분사기의 액적 속도 응답의 비선형적 특성으로 인해, 주파수 응답은, 하기에 설명되는 바와 같이, 선형화되어 푸리에 분석의 정확도를 향상시킨다.

[0069] 피에조 구동된 드롭-온-디멘드 잉크 제트와 같이 기계적으로 작동되는 액적 분사기에서, 주파수 응답 동작(frequency response behavior)은 통상적으로 발사되었던 이전 점적으로부터 제트 내의 잔류 압력(및 유동)의 결과인 것으로 가정된다. 이상적인 조건하에서, 채널 내에서 이동하는 압력파는 시간에 대해 선형적으로 감쇠된다. 압력파의 진폭이 속도 데이터로부터 근사화될 수 있을 때, 제트 내에서 보다 선형적으로 작용하는 압력파를 나타내는 동등한 주파수 응답이 도출될 수 있다.

[0070] 챔버 내의 압력 변화를 결정하는 다수의 방법이 존재한다. 피에조 구동된 분사기와 같은 일부 액적 분사기에서, 인가된 전압과 펌핑 챔버 내에서 발생된 압력 사이의 관계는 종종 선형으로 추정될 수 있다. 비선형성이 존재하는 경우, 비 선형성은 예를 들면 피에조 편향(piezo deflection)의 측정을 특징으로 할 수 있다. 일부 실시예에서, 압력은 직접 측정될 수 있다.

[0071] 대안적으로 또는 추가로, 제트 내의 잔류 압력을 제트의 속도 응답으로부터 결정될 수 있다. 이러한 접근에서, 속도 응답은 미리 결정된 함수로부터 측정된 속도에서 액적을 발사하는데 요구되는 전압을 결정함으로써 전압 등가 주파수 응답(voltage equivalent frequency response)으로 전환된다. 이러한 함수의 일례는 하기와 같은 다항식이며,

$$V = Av^2 + Bv + C$$

[0072] 이때, V 는 전압이고, v 는 속도이며, A , B , 및 C 는 실험적으로 결정될 수 있는 계수이다. 이러한 전환은 실제 발사 전압과 비교될 수 있는 등가 발사 전압(equivalent firing voltage)을 제공한다. 등가 발사 전압과 실제 발사 전압 사이의 차이는 제트 내의 잔류 압력의 크기(measure)이다.

[0073] 임의의 특정한 분출 주파수에서 연속적으로 구동될 때, 제트 내의 잔류 압력은, 과거의 가장 최근 펄스의 하나의 발사 주기를 가지며 발사 주기당 시간 간격을 둔 일련의 펄스 입력의 결과(즉, 발사 주파수의 역함수)이다. 주파수 응답의 전압 등가 진폭(voltage equivalent amplitude)은 과형의 주파수의 역함수에 대해 도표화된다. 이는 발사로 인해 속도 응답과 시간을 비교하는 것에 상당하다. 전압 등가 대 펄스 사이의 시간의 도면은 따라서 시간에 따른 제트 내의 압력파의 감쇠를 나타낸다. 전압 등가 응답 대 시간 도표의 각 점에서의 실제 구동 함수는 이 점에서 증가하는 시간의 역함수와 같은 주파수에서의 일련의 펄스이다. 주파수 응답 데이터가 주파수의 적합한 간격에서 취해지면, 데이터는 단일한 펄스에 대한 응답을 나타내도록 교정될 수 있다.

[0074] [0075] 응답은 하기에 따라 수학적으로 나타내어질 수 있으며,

$$R(t) = P(t) + P(2t) + P(3t) + \dots$$

[0076] [0077] 이때, $R(t)$ 는 주기에 의해 분리된 일련의 펄스에 대한 제트 응답이고, $P(t)$ 는 시간(t)에서 단일한 펄스 입력에 대한 제트 응답이다. $R(t)$ 가 입력의 선형 함수라고 가정할 때, 응답 방정식은 $P(t)$ 에 대해 주어진 측정값 $R(t)$ 를 풀도록 대수학적으로 처리될 수 있다. 통상적으로, 제트 내의 잔류 응력이 시간에 따라 감쇠하기 때문에, 제한된 수의 응답 시간을 계산하는 것은 충분히 정확한 결과를 제공한다.

[0078] [0079] 상기 분석은 스트로보스코픽 라이트(stroboscopic light)로 액적을 조명하는 시험대 상에서 취해진 주파수 응답 데이터를 기초로 할 수 있으며, 제트는 연속적으로 발사되어 이미지/측정 시스템은 주어진 주파수에서 발사되는 일련의 펄스를 측정한다. 대안적으로, 펄스 쌍이 이들 사이에 특정한 시간 충분을 두고 제트가 반복적으로 발사될 수 있다. 펄스 쌍이 이들 사이에 충분한 지연을 두고 발사되어서, 제트 내의 잔류 에너지는 다음 쌍이 발사되기 전에 실질적으로 소멸한다. 이 방법은 단일한 펄스에 대한 응답을 도출할 때, 초기 펄스를 밝힐 필요성을 배제할 수 있다.

[0080] [0081] 도출된 주파수 응답은 통상적으로 전달 함수에 대한 타당한 근사법이다. 이들 테스트를 위해, 제트에 대한 펄스 입력은 측정되어야 하는 주파수에 대해 정밀하다. 통상적으로, 펄스의 푸리에 변환은 펄스폭의 역함수 이하의 모든 주파수에서의 주파수 양(frequency content)을 나타낸다. 이들 주파수의 진폭은, 펄스가 대칭 형상을 갖는 것으로 가정할 때, 펄스폭의 역함수와 같은 주파수에서 0으로 감소한다. 예를 들면, 도 7은 약 250 kHz에서 0으로 감쇠되는 4 마이크로초 사다리꼴 과형의 푸리에 변환을 나타낸다.

[0082] 푸리에 변환을 사용하여 분사기의 주파수 응답을 결정하기 위해, 데이터는 주파수에 따라 분사기 액적 속도로 얻어져야 한다. 분사기는 단일한 발사 펄스로 구동되어야 하며, 이 펄스폭은 예상된 분사기의 고유 주기에 대해 가능한 짧으며, 이러한 고유 주기는 분사기의 고유 주파수의 역함수와 동일하다. 발사 펄스의 짧은 주기는 발사 펄스의 고조파 함유량이 높은 주파수로 확대되는 것을 보장하여, 제트는 충격에 의해 구동되는 것과 같이 응답할 것이며, 주파수 응답 데이터는 발사 펄스 자체에 의해 실질적으로 영향을 받지 않을 것이다. 도 8은 80 피코리터의 액적 분사기의 특정한 구성에 대한 주파수 응답 곡선의 일례를 도시한다.

[0083] [0084] 접적의 속도에 따라 접적에 요구되는 전압에 관한 데이터가 또한 획득되어야 한다. 이 데이터는 분사기 반응을 선형화하는데 사용된다. 대부분의 액적 분사기에서, 액적 속도와 전압 사이의 관계는 특히 저 전압에서(즉, 저 전압에 대해) 비선형적이다. 푸리에 분석이 속도 데이터에 대해 직접적으로 실행되는 경우, 주파수 양은 제트 내의 압력 에너지와 액적 속도 사이의 비선형적인 관계에 의해 왜곡될 것이다. 다항식과 같은 곡선 맞춤(curve-fit)은 전압 속도 관계를 나타내도록 형성될 수 있으며, 결과적인 방정식은 속도 응답을 전압 등가 응답으로 변환하는데 사용될 수 있다.

[0085] 속도 주파수 응답을 전압으로 변환한 후에, 기준선(저 주파수) 전압이 감해진다. 결과 값은 제트 내의 잔류 구동 에너지를 나타낸다. 이는 이미 설명된 바와 같이, 시간 응답으로도 변환된다. 도 9는 펄스 지연 시간에 따른 전압 등가 응답의 일례를 도시한다. 이 곡선은 주파수 응답의 지수형 감쇠 외형(exponential decay envelope)을 나타낸다.

[0086] 전압 등가 시간 응답 데이터는 푸리에 변환을 사용하여 분석될 수 있다. 도 10은 4 펄스 과형의 푸리에 분석 및 분사기 시간 응답에 대한 푸리에 분석의 결과를 나타낸다. 어두운 선은 액적 분사기(제트)의 시간 응답의

푸리에 변환을 나타낸다. 이 예시에서, 이는 이 분사기에 대한 기본적인 고유 주파수인 30 kHz에서 강한 응답을 나타낸다. 또한, 이 예시는 60 kHz에서 상당한 제 2 고조파를 나타낸다.

[0084] 도 10은 동일한 분사기를 구동시키도록 설계된 4 펠스 파형의 푸리에 변환을 나타낸다. 도면에 도시된 바와 같이, 파형은 분사기의 기본적인 고유 주파수에서 낮은 에너지를 갖는다. 파형의 에너지가 분사기의 고유 주파수에서 낮기 때문에, 분사기의 공명 응답(resonant response)은 파형에 의해 실질적으로 예기되지 않는다.

[0085] 도 11은 2개의 상이한 분사기에 대한 주파수 응답 데이터를 도시한다. 분사기는 동일한 크기의 접적을 발사한다. 더 어두운 선이 4 펠스 파형으로 발사된 상기의 예시에 사용된 분사기에 대한 데이터이다. 더 밝은 선은 단일한 펠스 파형으로 유사한 크기의 액적을 발사하는 분사기에 대한 데이터를 도시한다. 단일한 펠스 파형은 다중 펠스 파형보다 상당히 많이 변화한다.

[0086] 특정한 잉크를 갖는 일부 잉크 제트 구성은, 고유 주파수의 결정을 용이하게 돋는 속도 대 시간 곡선을 산출하지 않는다. 예를 들면, 크게 감쇠하는 잉크 반사 압력파(inks that heavily damp reflected pressure waves) (예를 들면, 고점성 잉크)는 잔류 펠스의 진폭을 속도 대 시간 곡선에서 진동이 거의 또는 전혀 관찰되지 않는 레벨로 감소시킬 수 있다. 일부 경우, 크게 감쇠되는 제트는 매우 낮은 주파수에서만 발사될 것이다. 일부 제트 발사 조건은 매우 불규칙한 주파수 응답 도면을 산출하거나, 우세한 고유 주파수를 확인하는 것이 어렵도록 상호작용하는 2개의 강한 주파수를 나타낸다. 이러한 경우, 다른 방법으로 고유 주파수를 결정할 필요가 있을 수 있다. 한가지 이러한 방법은, 예를 들면 제트 및 잉크의 유체 특성, 물질 특성 및 물리적 차원으로부터 제트의 고유 주파수를 계산하도록 이론적인 모델을 사용하는 것이다.

[0087] 고유 주파수를 계산하는 것은 제트의 각각의 섹션에서 음향의 속도를 결정한 후, 각 섹션의 길이를 기초로 음파에 대한 이동 시간을 계산하는 것을 수반한다. 전체 이동 시간(τ_{travel})은 모든 시간을 합산한 후 각 섹션을 통해 압력파가 형성하는 왕복 이동을 고려하도록 전체값을 두배로 함으로써 결정된다. 이동 시간의 역함수(τ_{travel}^{-1})는 고유 주파수(f_j)이다.

[0088] 유체 내의 음향의 속도는 유체의 밀도 및 부피 탄성률(bulk modulus)의 함수이며, 하기의 방정식으로부터 결정될 수 있으며,

$$c_{\text{sound}} = \sqrt{\frac{B_{\text{mod}}}{\rho}}$$

[0089]

[0090] 이때 c_{sound} 은 ms^{-1} 단위의 음향 속도이고, B_{mod} 는 파스칼 단위의 부피 탄성률이며, ρ 는 kg/m^3 단위의 밀도이다. 대안적으로 부피 탄성률은 측정이 보다 용이할 수 있는 밀도 및 음향의 속도로부터 추론될 수 있다.

[0091] 구조적 컴플라이언스(structural compliance)가 큰 잉크 제트의 일부에서, 유체의 유효한 부피 탄성률을 결정하기 위해 음향 속도의 계산시 컴플라이언스를 포함하여야 한다. 통상적으로, 매우 순응적인(compliant) 부분은 펌핑 챔버를 포함하는데, 이는 펌핑 요소(예를 들면, 액추에이터)가 일반적으로 반드시 순응적이기 때문이다. 또한, 얇은 벽을 갖거나 그렇지 않은 경우 유체를 둘러싸는 순응적인 구조를 갖는 제트의 임의의 다른 부분을 포함할 수 있다. 구조적 컴플라이언스는 예를 들면, ANSYS® 소프트웨어(펜실베이니아, 캐년즈버그에 소재한 Ansys Inc.로부터 시판됨)와 같은, 예를 들면 유한 요소 프로그램을 사용하여, 또는 면밀한 수동 계산에 의해 계산될 수 있다.

[0092] 유동 채널에서, 유체의 컴플라이언스(C_F)는 채널 부피(V) 및 유체의 실제 부피 탄성률로부터 계산될 수 있으며, 이는 하기와 같다.

$$C_F = \frac{V}{B_{\text{mod}}}$$

[0093] [0094] 유체 컴플라이언스의 단위는 세제곱 미터당 파스칼이다.

[0095] 유체 컴플라이언스 외에도, 채널 내의 음향의 유효 속도는 채널 구조의 임의의 컴플라이언스를 고려하여 조정되어야 한다. 채널 구조의 컴플라이언스(예를 들면, 채널 벽)는 다양한 표준 기계공학 공식에 의해 계산될 수 있다. 또한, 유한 요소법은 특히 구조가 복잡할 때 이러한 계산을 위해 사용될 수 있다. 유체의 전체 컴플라이

언스(C_{TOTAL})는 다음과 같이 주어지며:

$$C_{TOTAL} = C_F + C_s$$

[0096]

[0097] 이때, C_s 는 구조의 컴플라이언스이다. 각각의 분사 셕션 내의 유체의 음향의 유효 속도($C_{soundEff}$)는 다음으로부터 결정될 수 있으며,

$$c_{soundEff} = \sqrt{\frac{B_{modEff}}{\rho}}$$

[0098]

[0099] 이때, B_{modEff} 는 유효 부피 탄성을이며, 이는 하기의 유동 채널의 부피 및 전체 컴플라이언스로부터 계산될 수 있다. :

$$B_{modEff} = \frac{V}{C_{TOTAL}}$$

[0100]

[0101] 액적 분사기의 주파수 응답은 분사기를 구동시키는데 사용되는 과형의 적합한 설계를 통해 향상될 수 있다. 주파수 응답의 향상은, 액적이 분사된 후에, 분사기 내의 잔류 에너지를 감소 또는 제거하도록 조정되는 발사 펄스로 액적 분사기를 구동시킴으로써 얻어질 수 있다. 이를 얻기 위한 한가지 방법은 기본 주파수가 복수의 분사기의 공명 주파수인 일련의 펄스로 분사기를 구동시키는 것이다. 예를 들면, 다중 펄스 주파수는 제트의 공명 주파수의 대략 2배로 설정될 수 있다. 펄스 주파수가 제트의 공명 주파수의 2배 내지 4배인 일련의 펄스(예를 들면, 2 내지 4 펄스)는 제트의 공명 주파수에서 극도로 낮은 에너지 양을 갖는다. 도 10에 도시된 바와 같이, 제트의 공명 주파수에서 과형의 푸리에 변환의 진폭은 과형 내의 상대 에너지의 우수한 표시기이다. 이 경우, 다중 펄스 과형은 제트 고유 주파수에서, 푸리에 변환에서 정점으로 정의된, 외형의 진폭의 약 20 %를 갖는다.

[0102]

[0102] 이미 논의된 바와 같이, 바람직하게 다중 펄스 과형은 단일한 액적의 형성을 가져온다. 단일한 액적의 형성은 개별적인 펄스의 분리된 구동 에너지가 형성되는 액적 내에서 평균화되는 것을 보장한다. 펄스의 구동 에너지의 평균화는 부분적으로 액적 분사기의 주파수 응답의 직선교정(flattening)의 원인이 된다. 펄스가 분사기의 공명 주기의 배수로 조절될 때(예를 들어 공명 주기의 2 내지 4배), 복수의 펄스는 분사기의 공명 주기의 정수 배인 주기에 미친다. 이러한 타이밍으로 인해, 이전의 액적 발사로부터의 잔류 에너지는 대부분 자체 상쇄되어, 현재의 액적의 형성의 거의 영향을 미치지 않는다.

[0103]

[0103] 다중 펄스 과형으로부터의 단일한 액적의 형성은 펄스의 타이밍 및 진폭에 좌우된다. 어떠한 개별적인 액적 펄스열(pulse train)의 제 1 펄스에 의해 분사되어서는 안되고, 최종 펄스에 의해 구동되는 유체의 최종 부피는 충분한 에너지로 노즐에서 형성하는 최초 부피와 합체하여 단일한 액적의 형성 및 노즐로부터의 액적의 중단을 보장하여야 한다. 개별적인 펄스폭은 개별적인 액적 형성 시간에 대해 짧아야 한다. 펄스 주파수는 액적 분리 기준(droplet breakup criteria)에 대해 높아야 한다.

[0104]

[0104] 펄스열의 제 1 펄스는 후기 펄스보다 지속성이 더 짧을 수 있다. 더 짧은 펄스는 동일한 진폭의 더 긴 펄스보다 더 적은 구동 에너지를 갖는다. 펄스가 (최대 액적 속도에 대응하는) 최적 펄스 폭에 비해 짧은 경우, 후기 (더 긴) 펄스에 의해 구동된 유체의 부피는 초기 펄스보다 더 많은 에너지를 가질 것이다. 후기에 발사된 부피의 더 높은 에너지는 이들이 초기에 발사된 부피와 합체하여 단일한 액적을 만드는 것을 의미한다. 예를 들면, 4 펄스 과형에서, 펄스 폭은 하기의 타이밍을 가질 수 있으며: 제 1 펄스 폭(0.15 내지 0.25); 제 2 펄스 폭(0.2 내지 0.3); 제 3 펄스 폭(0.2 내지 0.3); 및 제 4 펄스 폭(0.2 내지 0.3), 이때, 펄스 폭은 전체 펄스 폭의 소수(decimal fractions)를 나타낸다.

[0105]

[0105] 일부 실시예에서, 펄스는 동일한 폭을 갖지만 상이한 진폭을 갖는다. 펄스 진폭은 제 1 펄스로부터 마지막 펄스까지 증가할 수 있다. 이는 노즐로 전달된 유체의 제 1 부피의 에너지가 후기 부피의 에너지보다 더 낮을 것임을 의미한다. 유체의 각각의 부피는 점진적으로 더 큰 에너지를 가질 수 있다. 예를 들면, 4 펄스 과형에서, 개별적인 발사 펄스의 상대 진폭은 하기의 값을 가질 수 있다.: 제 1 펄스 진폭(0.25 내지 1.0)(예를 들면, 0.73); 제 2 펄스 진폭(0.5 내지 1.0)(예를 들면, 0.91); 제 3 펄스 진폭(0.5 내지 1.0)(예를 들면, 0.95); 및 제 4 펄스 진폭(0.75 내지 1.0)(예를 들면, 1.0).

[0106] 다른 관계도 또한 가능하다. 예를 들면, 일부 실시예에서, 후기 펄스는 제 1 펄스보다 더 낮은 진폭을 가질 수 있다.

[0107] 펄스 폭 및 진폭에 대한 값들은 액적 형성, 전압 및 전류 요구조건, 제트 유지성, 결과 제트 주파수 응답 및 파형의 평가에 대한 기준을 사용하여 경험적으로 결정될 수 있다. 분석 방법은 단일한 액적 및 액적 분리 기준에 대한 액적 형성 시간을 판단하는데 사용될 수도 있다.

[0108] 바람직하게 후미 중단 시간은 발사 펄스들 사이의 주기보다 실질적으로 더 길다. 그 결과 액적 형성 시간이 펄스 시간보다 상당히 더 길어서 개별적인 점적이 형성되지 않을 것이다.

[0109] 특히, 단일한 액적 형성에 대해서, 후미 중단 시간 또는 액적 형성 시간을 판단하도록 2개의 기준이 평가될 수 있다. 시간 파라미터(T_0)는 에너지 기하학적 구조 및 유체 특성으로부터 계산될 수 있다(예를 들면, Fromm, J. E.의 1984년 5월, IBM J. Res. Develop. Vol.28 No.3의 "Numerical Calculation of the Fluid Dynamics of Drop-on-demand Jets" 참고). 이러한 파라미터는 액적 형성 시간에 대한 유체 특성 및 노즐 기하학적 구조에 관한 척도 인자(scaling factor)를 나타내며, 액적 형성의 수치 모델링을 사용하여 도출된다.

[0110] T_0 는 하기의 방정식에 의해 정해진다.:

$$T_0 = (\rho r^3 / \sigma)^{1/2}$$

[0111] 이때, r 은 노즐 반경(예를 들면, 50 미크론)이고, ρ 는 유체 밀도(예를 들면, 1 gm/cm³)이며, σ 는 유체 표면 장력(예를 들면, 30 dyn/cm)이다. 이들 값은 통상적인 테스트 유체(예를 들면 물과 글리콜의 혼합물)에 대한 80 피코리터의 액적을 산출할 제트의 크기(dimensions)에 대응한다. 통상적으로, 핀치-오프(pinch-off) 시간은 Fromm의 참고문헌에서 설명된 바와 같이, 약 2 내지 4배의 시간(T_0)으로 변화한다. 따라서, 이러한 기준에 의해, 분리 시간은 언급된 파라미터값 예시에 대해 130 내지 260 마이크로초일 것이다.

[0112] Mills, R. N., Lee F. C. 및 Talke F. E.의 "Drop-on-demand Ink Jet Technology for color Printing" SID 82 Digest, 13, 156-157(1982)에 의해 언급된 후미 중단 시간의 다른 계산이 하기의 식에 의해 주어진 후미 분리 시간(T_b)에 대해 경험적으로 도출된 파라미터를 사용하며,

$$T_b = A + B(\mu d)/\sigma,$$

[0113] 이때, d 는 노즐 직경이고, μ 는 유체 점성이며, A 와 B 는 계수(fitting parameters)이다. 일례에서, A 는 47.71이고 B 는 2.13으로 결정되었다. 이 예시에서, 50 미크론의 노즐 직경, 10 센티포아즈(centipoise)의 점성, 및 30 dyn/cm의 표면 장력에 대해, 후미 중단 시간은 약 83 마이크로초이다.

[0114] 유체의 박층 제트(laminar jet)의 안정성에 대하여 레일리 기준(Rayleigh criterion)이 개별적인 액적 형성이 최적화될 수 있는 발사 주파수의 범위를 판단하는데 사용될 수 있다. 이 기준은 다음과 같이 수학적으로 표현될 수 있다.

$$k = \pi d/\lambda$$

[0115] 이때, k 는 유체의 원통형 제트에 대한 안정성 방정식으로부터 도출된 파라미터이다. 제트의 안정성은 (펄스에 의해 생성된 교란과 같은) 표면 섭동(surface perturbation)이 진폭을 증대시킬지 여부에 의해 결정된다. λ 는 분사기의 표면파의 파장이다. 파라미터 k 는 분리된 점적의 형성에 대해 0 내지 1이어야 한다. λ 가 펄스 주파수(f)에 의해 나누어진 액적 속도(v)와 동일하기 때문에, 이 방정식은 주파수와 속도의 항으로 다시 계산될 수 있다. 따라서, 분리된 액적의 형성에 대하여 하기와 같다.

$$f \leq v/(\pi d)$$

[0116] 예를 들면, 이 분석에 따라 $d = 50$ 미크론이고 $v = 8 \text{ ms}^{-1}$ 인 분사기에서, f 는 유효 액적 분리에 대해 약 50 kHz 보다 작아야 한다. 이 예시에서, 약 60 kHz의 다중 펄스 발사 주파수는 다중 펄스 파형에 대해 단일한 액적을 제공하도록 도와야 한다.

[0117] 각각의 액적의 질량은 다중 펄스 파형 내의 펄스의 개수를 변화시킴으로써 변화될 수 있다. 각각의 다중 펄스

파형은 분출된 각각의 액적에 대해 요구되는 액적 질량에 따라 선택된 임의의 개수의 펄스(예를 들면, 2, 3, 4, 5, 또는 그보다 많은 펄스)를 포함할 수 있다.

[0122] 일반적으로, 액적 질량은 희망에 따라 변화할 수 있다. 더 큰 점적은 펄스 진폭, 펄스 폭 및/또는 다중 펄스 파형 내의 발사 펄스의 개수를 증가시킴으로써 발생될 수 있다. 일부 실시예에서 각각의 분사기는 점적을 분사 할 수 있는데, 이 점적은 가능한 가장 작은 액적의 질량이 가능한 가장 큰 액적 질량(예를 들면, 약 20 %, 50 %)의 약 10 %가 되도록 부피 범위에 걸쳐서 변화한다. 일부 실시예에서 분사기는 약 10 내지 20 피코리터와 같 이, 약 10 내지 40 피코리터의 액적 질량의 범위내에서 점적을 분사할 수 있다. 다른 실시예에서 액적 질량은 80 내지 300 피코리터에서 변화될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 액적 질량은 25 내지 120 피코리터에서 변화 할 수 있다. 가능한 액적 크기내에서 큰 변화는 그레이 스키얼 프린팅을 활용하는 적용시 다양한 그레이 레벨 을 제공할 때 특히 유리할 수 있다. 일부 적용시, 2개의 질량 레벨을 갖는 약 1 내지 4의 범위의 액적 질량은 유효 그레이 스키얼에 충분하다.

[0123] 펄스열 프로파일은 추가적으로 또는 대안적으로 액적 질량에 대한 추가의 액적 특성에 맞도록 선택될 수 있다. 예를 들면, 액적 후미의 부피 및 길이는 적합한 펄스열 프로파일을 선택함으로써 실질적으로 감소될 수 있다. 액적 후미는, 액적의 선단(leading edge) 뒤에 실질적으로 늘어지며(예를 들면, 액적 형상을 본질적으로 구형과 상이하게 하는 유체의 임의의 양과 같음), 성능 저하를 일으킬 수 있는 액적 내의 잉크의 부피를 지칭한다. 통상적으로 액적의 선단 뒤의 2 노즐 직경보다 큰 유체는 성능에 해로운 충격을 가한다. 액적 후미는 통상적으로 액적이 분사된 후에 노즐의 외부의 유체의 최종 양을 끌어당기는 점성 및 표면 장력의 작용으로부터 발생한다. 액적의 후미는 액적의 상이한 부분들 사이의 속도 차이의 결과일 수 있는데, 이는 더 빠르게 이동하는 잉크와 동시에 또는 더 나중에 오리피스로부터 분사된 더 느리게 이동하는 잉크가 더 빠르게 이동하는 잉크를 늘어뜨릴 것이기 때문이다. 많은 경우에, 큰 후미를 갖는 것은 액적의 선단보다 이동하는 기관의 상이한 부분에 부딪힘으로써 프린트된 이미지의 품질을 떨어뜨릴 수 있다.

[0124] 일부 실시예에서 후미가 충분히 감소되어, 분출된 점적은 오리피스의 짧은 간격 내에서 실질적으로 구형일 수 있다. 예를 들면, 액적의 질량의 약 60 % 이상(예를 들면, 약 80 % 이상)은 액적 내의 한 점의 반경(r) 내에 포함될 수 있으며, 이때 r 은 완전하게 구형인 액적의 반경에 대응하고, 하기의 식으로 주어지며,

$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \frac{m_d}{\rho}}$$

[0125] [0126] 이때, m_d 는 액적의 질량이고, ρ 는 잉크 밀도이다. 즉, 액적 질량의 약 60 % 이상은 액적의 한 점의 반경(r) 내에 위치되고, 액적의 질량의 약 40 % 미만은 후미 내에 위치된다. 일부 실시예에서 액적 질량의 약 30 % 미만(예를 들면, 약 20 %, 10 %, 5 % 미만)은 액적의 후미 내에 위치된다. 액적 질량의 약 30 % 미만(예를 들면, 약 20 %, 10 %, 5 % 미만)은 약 4 ms^{-1} 보다 큰(예를 들면, 약 5 ms^{-1} , 6 ms^{-1} , 7 ms^{-1} , 8 ms^{-1} 보다 큰) 액적 속도를 위해 액적 후미 내에 위치될 수 있다.

[0127] 액적 후미 내의 유체의 비율은 도 15a와 도 15b 및 도 16a와 도 16b에 도시된 바와 같이, 액적의 사진 이미지로부터 결정될 수 있다. 특히, 액적 후미 내의 유체의 비율은 이미지 내의 액적 후미 및 액적 본체의 상대 면적 으로부터 추정될 수 있다.

[0128] 액적 특성에 영향을 미치는 펄스 파라미터들은 통상적으로 서로 관계된다. 또한, 액적 특성은 액적 분사기(예를 들면, 챔버 부피)의 다른 특성 및 유체 특성(예를 들면, 점성 및 밀도)에 좌우될 수도 있다. 따라서, 특정 한 질량, 형상 및 속도를 갖는 액적을 발생시키기 위한 다중 펄스 파형은 상이한 유형의 유체에 대해 분사기마다 변화할 수 있다.

[0129] 이미 설명된 다중 펄스 파형은 연속 펄스로 이루어지지만, 일부 실시예에서 분사기는 불연속적인 펄스를 포함하는 다중 펄스 파형으로 액적을 발생시킬 수 있다. 도 12를 참조하면, 불연속적인 펄스를 포함하는 다중 펄스 파형의 일례는 펄스(510, 520, 530, 540)를 포함하는 다중 펄스 파형(500)이다. 전체 파형의 제 1 펄스(510)는 휴지기(512)에 의해 전체 파형의 제 2 펄스(520)로부터 분리된다. 제 2 펄스(520)는 휴지기(522)에 의해 제 3 펄스(530)로부터 분리된다. 유사하게, 제 4 펄스(540)는 휴지기(532)에 의해 제 3 펄스(530)로부터 분리된다. 펄스 주기와 지연 주기 사이의 관계를 특징짓는 한가지 방법은 펄스 라운드 사이클(pulse round cycle)에 의한 것이다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 각 펄스의 라운드 사이클은 펄스들 사이의 주기(예를 들면, 펄스 주기 및 지연 주기)에 대한 펄스 주기의 비율을 지칭한다. 하나의 라운드 사이클은, 예를 들면 도 4a에 도시된 바와 같은

0의 지연 주기를 갖는 펄스에 대응한다. 유한 지연 주기(finite delay period)에 의해 펄스가 분리될 때, 둑티 사이클은 1 미만이다. 일부 실시예에서, 다중 펄스 패형의 펄스는 약 0.8, 0.6, 0.5, 또는 그 미만과 같이 1보다 작은 둑티 사이클을 가질 수 있다. 일부 실시예에서 지연 주기는 초기 펄스와 후속 펄스 사이의 간섭의 영향을 감소시키도록 패형들 사이에서 사용될 수 있다. 예를 들면, 반사된 펄스의 감쇠가 낮을 때(예를 들면, 잉크 점성이 낮을 때), 이들 간섭의 영향을 감소시키도록 적기에 인접한 펄스들을 오프셋시키는 것이 바람직할 수 있다.

[0130] 도 13 및 도 14를 참조하면, 잉크 제트 프린트 헤드를 사용하는 프린팅 중에, 복수의 점적은 복수의 다중 펄스 패형으로 잉크 제트를 구동시킴으로써 각각의 잉크 제트로부터 분출된다. 도 13에 도시된 바와 같이, 다중 펄스 패형(810, 820)에는 지연 주기(812, 822)가 각각 후속된다. 하나의 액적이 다중 펄스 패형(810)에 응답하여 분사되며, 다른 액적이 다중 펄스 패형(820)에 응답하여 분출된다. 일반적으로, 인접하는 다중 펄스 패형의 프로파일은 유사한 점적이 요구되는지 여부에 따라 동일하거나 상이할 수 있다.

[0131] 통상적으로 다중 펄스 패형들 사이의 최소 지연 주기는 프린팅 해상도 및 다중 펄스 패형 지속에 좌우된다. 예를 들면, 약 1 ms^{-1} 의 상대 기관 속도에 대해, 다중 펄스 패형 주파수는 600 dpi의 프린팅 해상도를 제공하도록 23.6 kHz이어야 한다. 따라서, 이 경우, 인접하는 다중 펄스 패형은 42.3 마이크로초마다 분리되어야 한다. 각각의 지연 주기는 따라서 42.3 마이크로초와 다중 펄스 패형의 지속 사이의 차이이다.

[0132] 도 14는 23 μm 의 직경을 갖는 원형 오리피스로부터 복수의 점적을 분출하는 잉크 제트의 일례를 도시한다. 이 실시예에서 구동 펄스는 40 kHz의 발사 속도로 인해, 약 16 마이크로초 지속되고 25 마이크로초 간격을 두었다.

[0133] 도 15a와 도 15b 및 도 16a와 도 16b는 2가지 상이한 주파수에서 80 피코리터의 점적을 발사하는 2개의 제트의 비교를 도시한다. 도 15a 및 도 16a에 도시된 한가지 제트는 더 작은 제트(공칭적으로 20 피코리터)이고, 80 피코리터의 액적을 분사하기 위해 4 펄스 패형을 사용한다. 도 15b 및 도 16b에 도시된 다른 제트는 단일한 펄스 패형을 사용하는 80 피코리터의 제트이다. 다중 펄스 패형으로 형성된 액적은 또한 단일한 펄스 패형으로 형성된 것에 비해 감소된 후미 질량을 나타낸다.

[0134] 일부 실시예에서 액적 분사 장치는, 분사되는 유체 부피에 영향을 주는 하나 또는 그보다 많은 제 1 구동 펄스, 즉 제 1 펄스 및 분사되는 유체 부피에 크게 영향을 미치지 않는 하나 또는 그보다 많은 제 2 구동 펄스, 즉 제 2 펄스를 포함하는 다중 펄스 패형에 의해 구동될 수 있다. 예를 들면, 도 17a를 참조하면, 다중 펄스 패형(1700)은 4개의 제 2 펄스(1702 내지 1705)가 후속하는 제 1 펄스(1701)를 포함할 수 있다. 액적 분사 장치는 제 1 펄스(1701)에 응답하여 다량의 유체를 분사한다. 후속하는 제 2 펄스(1702 내지 1705)는 분사되는 유체 부피를 크게 변화시키지 않는다. 그러나 제 2 펄스(1702 내지 1705)는 분사되는 액적의 형상에 영향을 줄 수 있다.

[0135] 제 1 펄스(1701)는 t_0 으로부터 t_1 까지의 기간에 대해 사다리꼴 펄스이다. 제 1 펄스(1701)는 피크 전압(V_1)을 갖는다. $t_2 - t_1$ 의 지연은 제 1 펄스(1701)를 또한 사다리꼴 형상인 첫 번째 제 1 펄스(1702)로부터 분리시킨다. 제 2 펄스(1702)는 t_2 로부터 t_3 까지의 지속 기간, 피크 전압(V_2) 및 $t_4 - t_2$ 의 펄스 주기를 갖는다. 제 2 펄스(1703 내지 1705)는 제 2 펄스(1702)와 동일한 형상(즉, 사다리꼴), 주기, 및 피크 전압을 갖는다.

[0136] 일반적으로, 제 1 펄스(1701)와 제 2 펄스(1702) 사이의 지연($t_2 - t_1$)은 희망에 따라 변화될 수 있다. 일부 실시예에서 $t_2 - t_1$ 은 충분히 길어서 제 2 펄스(1702)가 분사되는 유체 부피를 크게 변화시키지 않는다. 지연 시간($t_2 - t_1$)은 (예를 들면, 약 $1.1 f_j^{-1}$ 또는 그보다 더 크고, 약 $1.2 f_j^{-1}$ 또는 그보다 더 크며, 약 $1.3 f_j^{-1}$ 또는 그보다 더 크며, 약 $1.5 f_j^{-1}$ 또는 그보다 더 크며, 약 $1.8 f_j^{-1}$ 또는 그보다 더 큰)제트 고유 주파수에 대응하는 주기보다 더 클 수 있다. 일부 실시예에서 지연 시간($t_2 - t_1$)은 약 $10 \mu\text{s}$ 또는 그보다 더 크다(예를 들면, 약 $15 \mu\text{s}$ 또는 그보다 더 크고, 약 $20 \mu\text{s}$ 또는 그보다 더 크며, 약 $30 \mu\text{s}$ 또는 그보다 더 크며, 약 $50 \mu\text{s}$ 또는 그보다 더 크다). 일반적으로 $t_2 - t_1$ 은 노즐 내의 잔류 유체로부터 분리하기 위해 액적의 후미에 이용하는 시간보다 더 길지 않아야 한다.

[0137] 다중 펄스 패형(1700)에서 V_1 은 V_2 보다 더 크지만, 일반적으로 다중 펄스 패형에서 제 1 및 제 2 펄스에 대한 상대 피크 전압은 변화할 수 있다. 제 1 펄스의 피크 전압은 다량의 유체를 노즐로부터 분사시키기에 충분하여야 하지만, 제 2 펄스의 피크 전압은 실질적으로 유체 분사를 일으키지 않아야 한다(유체 분사는 하기에 논의되는

펄스 지속 기간에 또한 좌우된다). 일부 실시예에서 V_1 은 약 50 V 또는 그보다 큰(예를 들면, 약 60 V 또는 그보다 크고, 약 70 V 또는 그보다 큼며, 약 80 V 또는 그보다 큼, 약 90 V 또는 그보다 큼) 것과 같이, 비교적 높을 수 있다. V_2 는 (예를 들면, 약 50 V 또는 그보다 크고, 약 60 V 또는 그보다 큼, 약 70 V 또는 그보다 큼, 약 80 V 또는 그보다 큼 것과 같이) 비교적 높거나, (예를 들면, 약 30 V 또는 그 미만, 약 20 V 또는 그 미만과 같이) 비교적 낮을 수 있다. 또한, 각각의 제 2 펄스(1702 내지 1705)는 동일한 피크 전압(V_2)을 갖지만, 일반적으로 각각의 제 2 펄스의 상대 피크 전압은 변화할 수 있다.

[0138] 다중 펄스 패형(1700)에서, 제 1 펄스(1701)의 지속 기간은 후속하는 제 2 펄스(1702 내지 1705)의 지속 기간보다 더 크다. 그러나 일반적으로 제 1 펄스 및 제 2 펄스의 상대 지속 기간은 희망에 따라 변화할 수 있다. 또한, 일반적으로, 제 1 및 제 2 펄스의 주파수는 희망에 따라 변화할 수 있다. 제 1 펄스의 주파수는 원하는 부피로 액적을 제공하도록 선택될 수 있다. 제 2 펄스의 주파수는 제 1 펄스에 응답하여 노즐로부터 분사되는 유체의 부피에 크게 영향을 주지 않으면서, 제 2 펄스가 챔버내의 유체에 압력파를 도입할 수 있도록 선택될 수 있다. 일부 실시예에서 제 1 펄스의 주파수는 약 f_j , 제트 고유 주파수 또는 그보다 더 크다(예를 들면, 약 1.2 f_j 또는 그보다 큼, 약 1.5 f_j 또는 그보다 큼, 약 2 f_j 또는 그보다 큼, 약 3 f_j 또는 그보다 큼)이다. 대안적으로 또는 추가로, 제 2 펄스의 주파수는 약 f_j 또는 그보다 큼(예를 들면, 약 2 f_j 또는 그보다 큼, 약 3 f_j 또는 그보다 큼, 약 4 f_j 또는 그보다 큼, 약 5 f_j 또는 그보다 큼).

[0139] 다중 펄스 패형(1700)은 1개의 제 1 펄스 및 4개의 제 2 펄스를 포함하지만, 일반적으로, 제 1 펄스 및 제 2 펄스의 개수는 희망에 따라 변화할 수 있다. 예를 들면, 다중 펄스 패형은 2개, 3개, 4개, 또는 그보다 많은 펄스를 포함할 수 있으며, 이는 원하는 액적 부피를 제공하도록 선택될 수 있다. 다중 펄스 패형은 (예를 들면, 원하는 후미 길이를 제공하도록) 원하는 액적 형상을 제공하도록 형성된, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 또는 그보다 많은 제 2 펄스를 포함할 수 있다.

[0140] 특정한 실시예에서, 제 2 펄스는 액적 후미의 길이를 감소시키는데 사용될 수 있다. 예를 들면, 유체가 분자량이 높은 폴리머와 같이, 고 분자량 물질(이하, 고 분자량 유체)을 포함하는 적용시, 다중 펄스 패형은 유체의 분사되는 부피에서 액적 차단을 일으킴으로써 후미 길이를 감소시킬 수 있다. 일반적으로, 고 분자량 물질은 약 1,000 또는 그보다 큼(예를 들면, 약 5,000 또는 그보다 큼, 약 10,000 또는 그보다 큼, 약 50,000 또는 그보다 큼) 분자량을 갖는다. 일부 경우, 고 분자량 물질은 약 500,000 또는 그보다 큼 것과 같이, 약 100,000 또는 그보다 큼 분자량을 갖는 분자를 포함할 수 있다.

[0141] 고 분자량 유체는 문자로 된 액체, 폴리머 용해물, 고 분자량 물질로 된 용액, 콜로이드(colloids), 또는 에멀전(emulsions)을 포함한다. 고 분자량 유체의 일례는 (Dow Chemical의) 발광 폴리머인 DOW Green K2이다. 고 분자량 유체의 다른 예는 유기 유체(즉, DNA, PEDOT(poly(3,4-ethylenedioxythiophene) poly(styrenesulfonate) aqueous dispersion)), 및 다른 폴리아미드 또는 폴리머 용액을 포함한다.

[0142] 제 2 펄스는, 12 내지 30 센티푸아즈 또는 10 내지 50 센티푸아즈 또는 그보다 큼 것과 같이 통상적으로 잉크 분출된(즉, 2 내지 20 센티푸아즈) 유체의 점성보다 약 1.5 내지 2배 또는 그보다 큼 신장 점도를 갖는 유체와 같이, 비교적 높은 신장 점도를 갖는 유체에서 액적 후미의 길이를 감소시키는데 사용될 수도 있다. 비교적 높은 신장 점도를 갖는 유체는 전술한 발광 폴리머 용액과 같이, 다양한 고 분자량 유체를 포함할 수 있다.

[0143] 이론적인 분석은 액적 형성 및 후미 중단을 연구하는데 사용될 수 있다. 예를 들면, 액적 분리에 대한 레일리 기준을 사용하는 분석은 증기로부터 액적을 형성하도록 유체의 증기를 일으키기 위한 최적 주파수에 대한 공식을 제시한다. 이 공식은 하기와 같이 표현될 수 있으며,

$$\lambda = 4.508D_j$$

[0145] 이때 λ 는 유체의 제트의 표면상에 가해지는 교란의 파장이며, D_j 는 제트의 직경이며, 이 직경은 유체가 오리피스와 동일한 직경을 가질 때, 오리피스로부터 유체의 연속적인 유동으로서 분출을 어렵힌다. 예로서, 오리피스가 약 25 μm 의 직경을 갖고 유체가 8 ms^{-1} 의 속도를 가질 때, λ 는 112 μm 이며, 이는 71 kHz의 주파수를 포함한다. 따라서, 이러한 계산은 약 4x71 kHz의 교란 주파수(예를 들면, 제 2 펄스 주파수)를 제안하며, 약 285 kHz는 형성된 액적의 직경의 약 0.25배인 후미가 바람직할 때 사용되어야 한다.

[0146] 도 18을 참조하면, (제 2 펄스 주파수에 대응하는) 제 2 펄스 폭에 따른 액적 후미의 길이는 이전에 논의된 사

진 분석 기술을 사용하여 조사된다. 도 18에서, 단일한 펄스 파형에 응답하여 분사된 액적 후미의 길이에 대한 측정된 후미 길이의 비율로 표현된다. 액적 후미의 길이는 상이한 제 2 펄스 폭에 대해 도표화된다. 각각의 데이터 점에 대해, 후미 길이는 단일한 펄스 액적에 비해 감소된다.

[0147] 도 18에 도시된 데이터는 LEP 유체(Dow Chemical의 DOW Green K2)를 분출하는, (NH, Hanover에 소재한) Spectra, Inc.로부터 시판되는 SX-128 프린트 헤드를 사용하여 획득되었다. 프린트 헤드를 구동시키는데 사용된 다중 펄스 파형은, 4개의 사다리꼴 제 2 펄스가 후속되는 단일한 사다리꼴 제 1 펄스를 포함하였다. 제 1 펄스는 약 75 V의 최대 전압을 갖지만, 제 2 전압은 약 70 V의 최대 전압을 갖는다. 제 1 전압은 4.5 μ s의 지속 기간을 갖고, 약 4.5 μ s의 지연이 후속되었다.

[0148] 제 2 펄스는 다중 펄스 파형(1700)에서 제 1 펄스(1701)를 뒤따르지만, 일반적으로 제 2 펄스는 제 1 펄스에 선행 및/또는 후속할 수 있다. 예를 들면, 도 17b를 참조하면, 특정한 실시예에서 다중 펄스 파형(1710)은 제 1 펄스(1711)에 선행하는 제 2 펄스(1712)를 포함한다.

[0149] 일부 실시예에서 제 2 펄스는 제 1 펄스에 선행 및 후속할 수 있다. 예를 들면, 도 17c를 참조하면, 액적 분사 장치 내의 유체는 제 2 펄스(1722)에 의해 연속적으로 야기되며, 제 2 펄스는 유체 분사가 요구될 때, 제 1 펄스(1721)와 같은 하나 또는 그보다 많은 제 1 펄스에 의해 방해될 수 있다.

[0150] 일반적으로, 논의되는 구동 방식은 전술된 바 외에도 다른 액적 분사 장치에 적용될 수 있다. 예를 들면, 구동 방식은 전체 내용이 본 명세서에 참조로 통합되며, 2003년 7월 3일 제출되고 제목이 "PRINTHEAD"인 Andreas Bible과 동료들의 U.S.특허출원번호 제10/189,947호 및 1999년 10월 5일 제출되고 제목이 "PIEZOELECTRIC INK JET MODULE WITH SEAL"인 Edward R. Moynihan과 동료들의 U.S.특허출원번호 제09/412,827호에서 설명되는 잉크 제트에도 적용될 수 있다.

[0151] 또한, 전술된 바와 같이, 상기 구동 방식은 단지 잉크를 분사하는 액적 분사 장치에 대해서만 아니라 대체로 액적 분사 장치에 적용될 수 있다. 다른 액적 분사 장치의 예시는 전자 디스플레이(예를 들면, 유기 LED 물질)를 위한 패턴 물질 또는 패턴 점착물을 증착하는데 사용되는 장치를 포함한다.

[0152] 본 발명의 다수의 실시예가 설명되었다. 그럼에도 불구하고 본 발명의 사상 및 범주를 벗어나지 않고 다양한 변형예가 가능할 수 있음이 이해될 것이다. 따라서, 다른 실시예는 하기의 특허청구범위의 범주 내에 속한다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 프린트 헤드의 실시예의 개략적 도면이고,

[0029] 도 2a는 잉크 제트의 실시예의 횡단면도이며,

[0030] 도 2b는 도 2a에 도시된 잉크 제트의 액추에이터의 횡단면도이며,

[0031] 도 3은 일정한 속도로 발사되는 액적 분사기로부터의 액적 분사를 위한 발사 펄스(fire pulses) 사이의 정규화 액적 속도(normalized droplet velocity)대 시간의 도면이며,

[0032] 도 4a는 액적 분사기를 구동시키는 양극성 파형(bi-polar waveform)에 대한 전압 대 정규화 시간(normalized time)의 도면이며,

[0033] 도 4b는 액적 분사기를 구동시키는 단극성 파형(unipolar waveform)의 도면이며,

[0034] 도 5a 내지 도 5e는 다중 펄스 파형에 응답하여 잉크 제트의 오리피스로부터의 분사를 도시하는 개략적 도면이며,

[0035] 도 6a 내지도 6i는 다중 펄스 파형에 응답하여 잉크 제트의 오리피스로부터의 잉크의 분사를 나타내는 사진이며,

[0036] 도 7은 파형의 푸리에 변환을 사용하여 결정된 단일한 4 마이크로초(microsecond) 사다리꼴 파형의 진폭 대 주파수 크기의 도면이며,

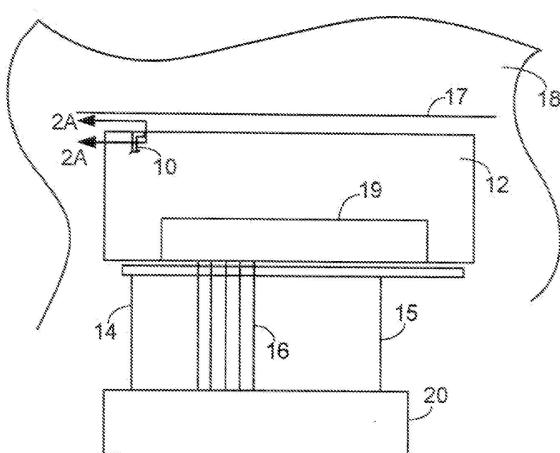
[0037] 도 8은 단일한 사다리꼴 파형으로 발사될 때의 액적 속도의 변화 대 4 내지 60 킬로헤르츠의 제트 분사 주파수(jet firing frequency)를 도시하는 80 피코리터 액적 분사기에 대한 주파수 응답을 나타내는 도면이며,

[0038] 도 9는 예시적인 80 피코리터 액적 분사기에 대해 계산된 전압 등가 시간 응답(voltage equivalent time response)의 도면이며,

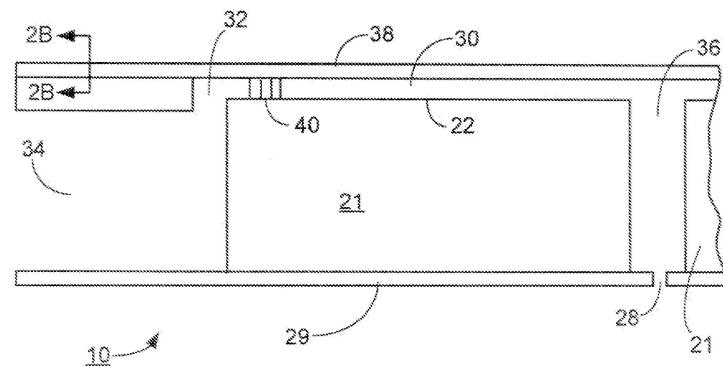
- [0039] 도 10은 예시적인 80 피코리터 액적 분사기에 대한 4 펄스 파형 및 분사기 시간 응답의 푸리에 변환의 도면이며,
- [0040] 도 11은 유사한 크기의 액적을 형성하는 2개의 분사기의 주파수 응답을 비교하는 도면이며,
- [0041] 도 12는 인접하는 펄스 사이의 지연 주기가 존재하는 다중 펄스 파형에 대한 전압 대 시간의 도면이며,
- [0042] 도 13은 복수의 다중 펄스 파형을 포함하는 구동 신호에 대한 전압 대 시간의 도면이며,
- [0043] 도 14는 다중 펄스 파형을 사용하는 잉크 제트 오리피스로부터의 복수의 점적의 분사를 도시하는 사진이며,
- [0044] 도 15a는 분사 주파수가 10 kHz이고 액적 속도가 약 8ms^{-1} 인 다중 펄스 파형을 사용하는 액적 분사를 도시하는 사진이며,
- [0045] 도 15b는 분사 주파수가 10 kHz이고 액적 속도가 약 8ms^{-1} 인 단일한 펄스 파형을 사용하는 액적 분사를 도시하는 사진이며,
- [0046] 도 16a는 분사 주파수가 20 kHz이고 액적 속도가 약 8ms^{-1} 인 다중 펄스 파형을 사용하는 액적 분사를 도시하는 사진이며,
- [0047] 도 16b는 분사 주파수가 20 kHz이고 액적 속도가 약 8ms^{-1} 인 단일한 펄스 파형을 사용하는 액적 분사를 도시하는 사진이며,
- [0048] 도 17a는 제 1 펄스 및 제 2 펄스를 포함하는 다중 펄스 파형에 대한 전압 대 시간의 도면이며,
- [0049] 도 17b는 제 1 펄스 및 제 2 펄스를 포함하는 다른 다중 펄스 파형에 대한 전압 대 시간의 도면이며,
- [0050] 도 17c는 제 1 펄스 및 제 2 펄스를 포함하는 또 다른 다중 펄스 파형에 대한 전압 대 시간의 도면이며,
- [0051] 도 18은 발광 폴리머를 함유하는 유체를 분출하는 프린트 헤드에 대하여 제 2 펄스에 따른 액적 후미 길이의 도면이다.
- [0052] 여러 도면에서 동일한 참조 부호는 동일한 요소를 지시한다.

도면

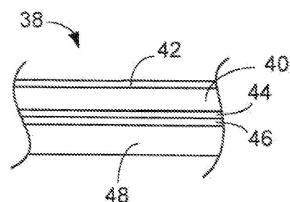
도면1



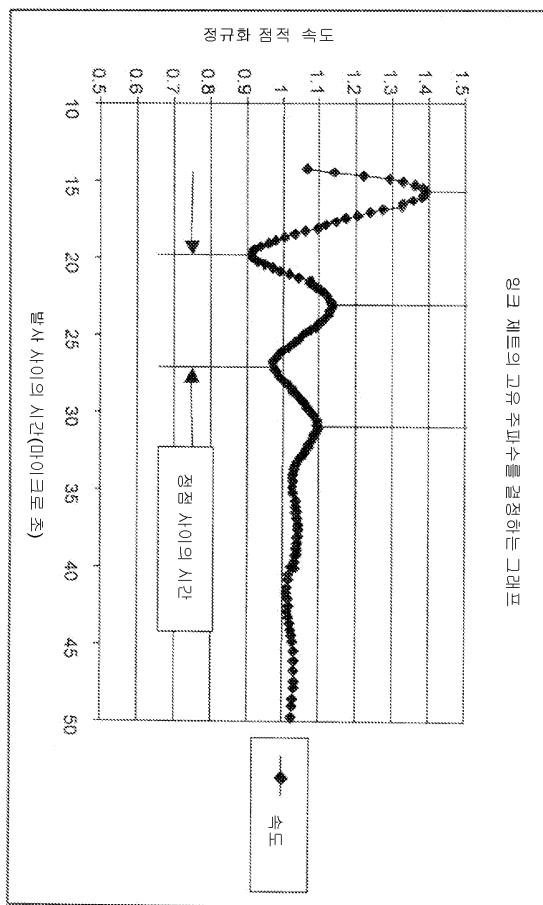
도면2a



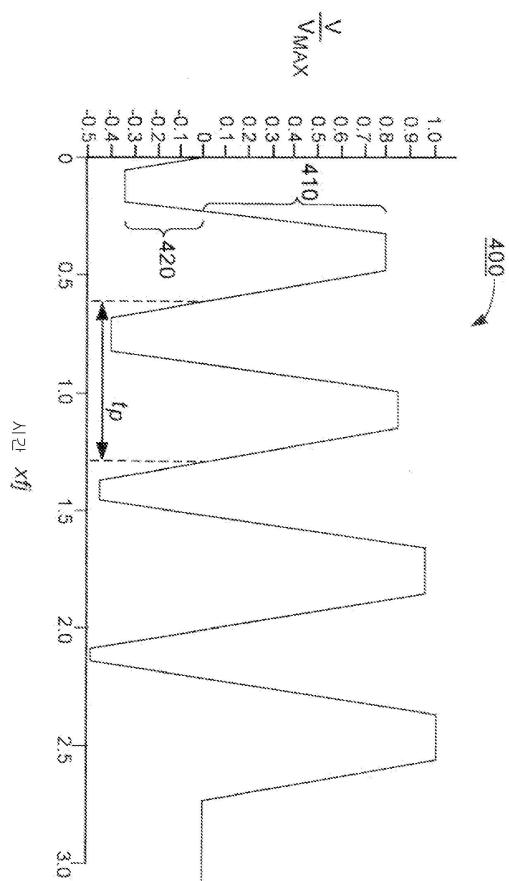
도면2b



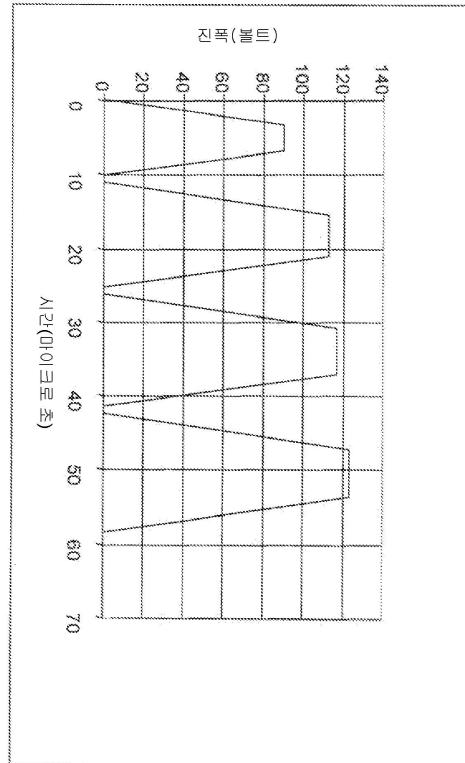
도면3



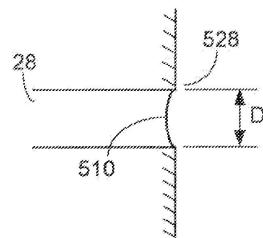
도면4a



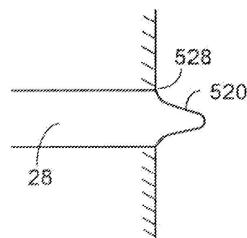
도면4b



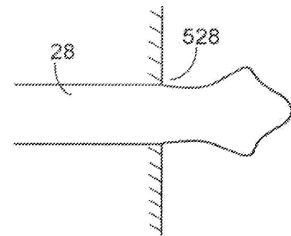
도면5a



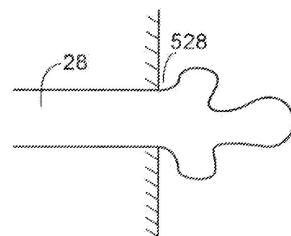
도면5b



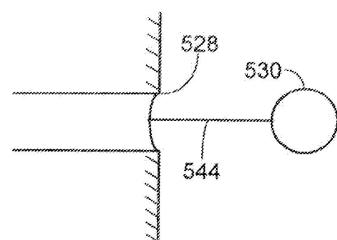
도면5c



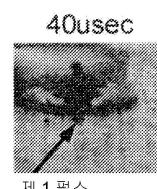
도면5d



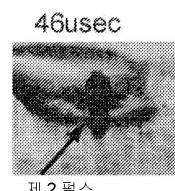
도면5e



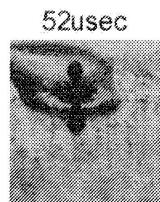
도면6a



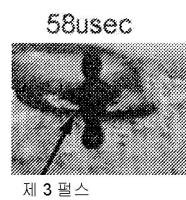
도면6b



도면6c

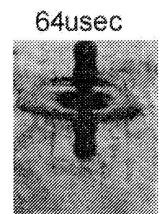


도면6d

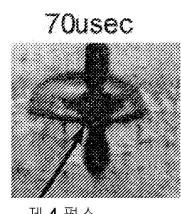


제 3 폴스

도면6e



도면6f



제 4 폴스

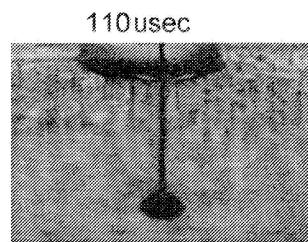
도면6g



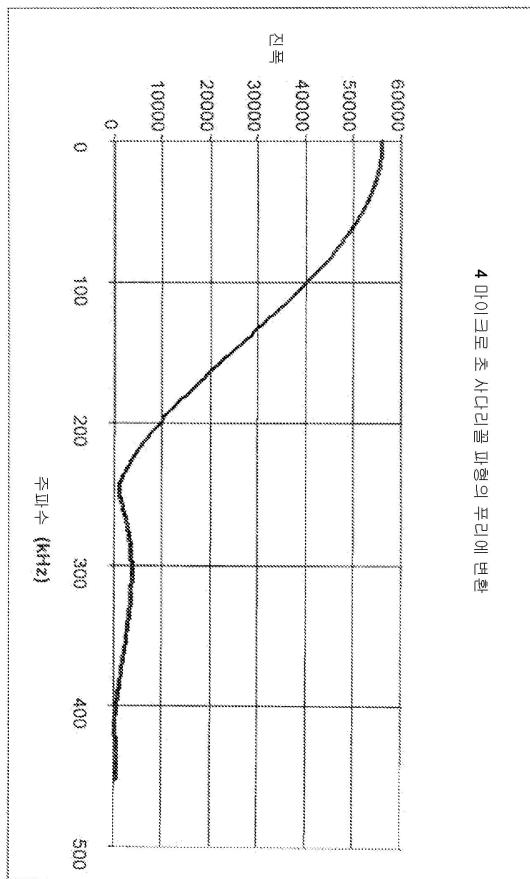
도면6h



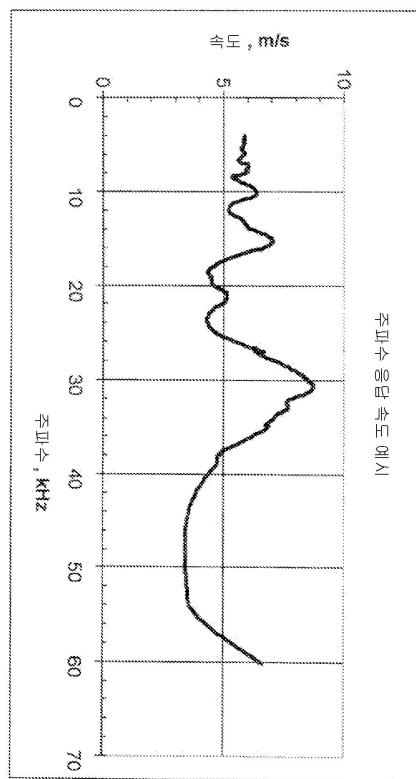
도면6i



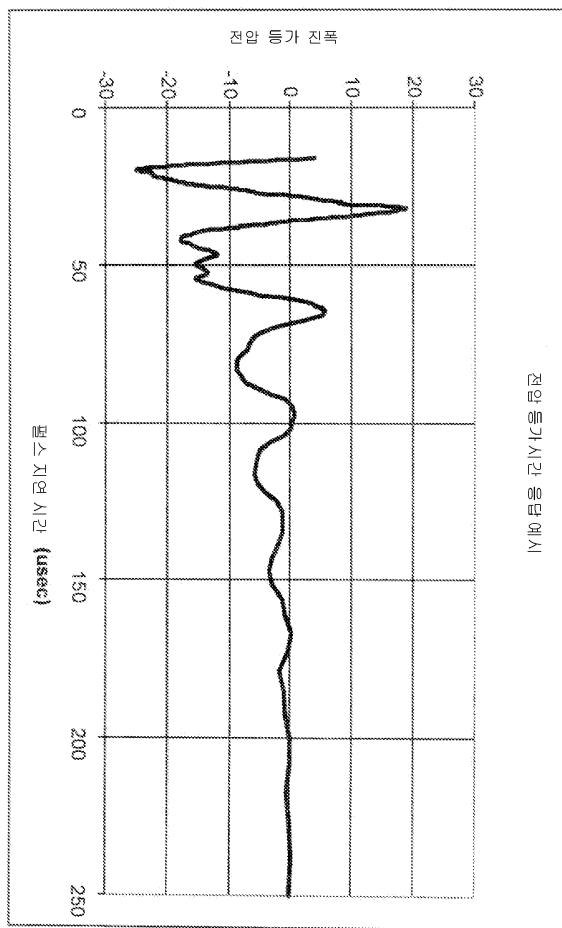
도면7



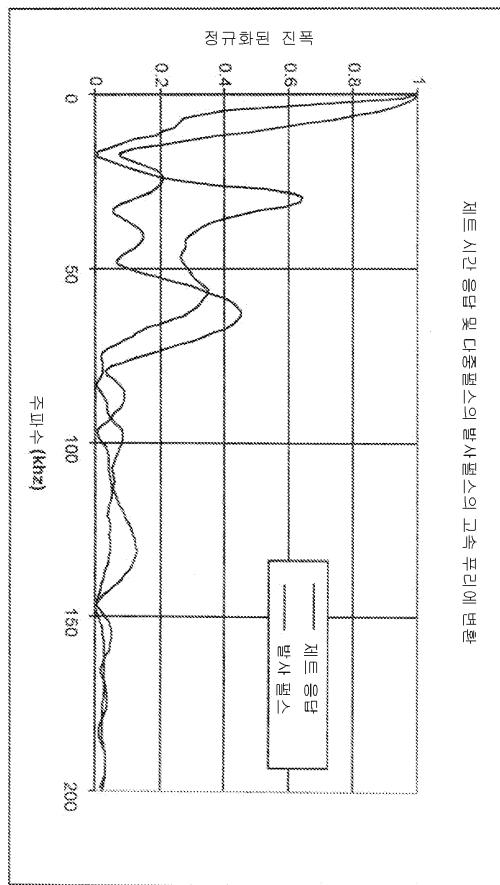
도면8



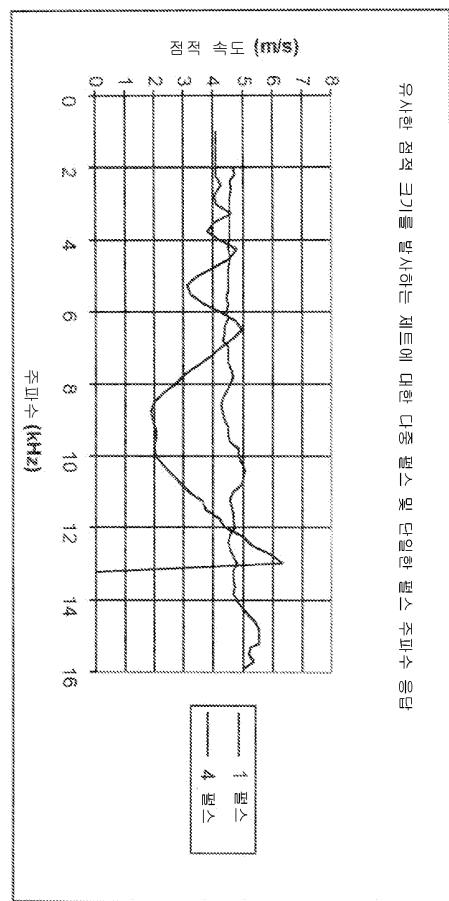
도면9



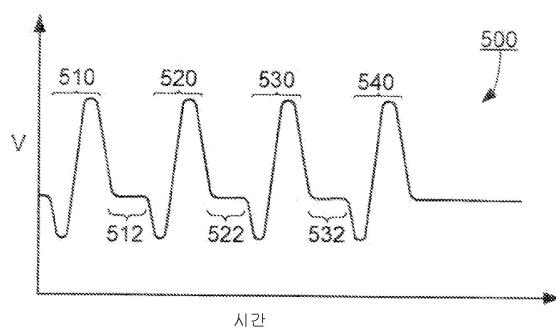
도면10



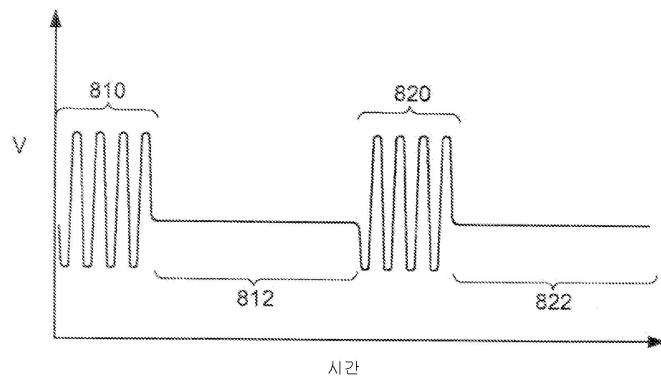
도면11



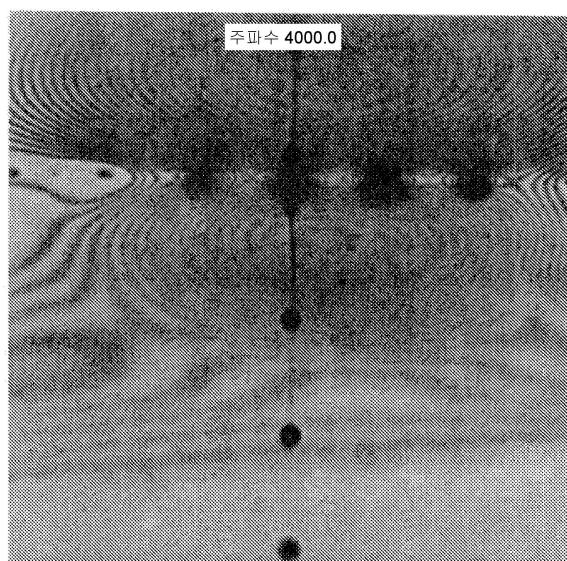
도면12



도면13



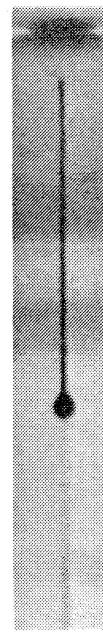
도면14



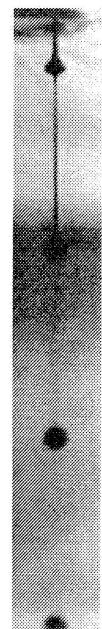
도면15a



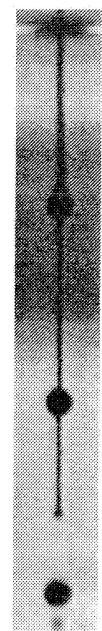
도면15b



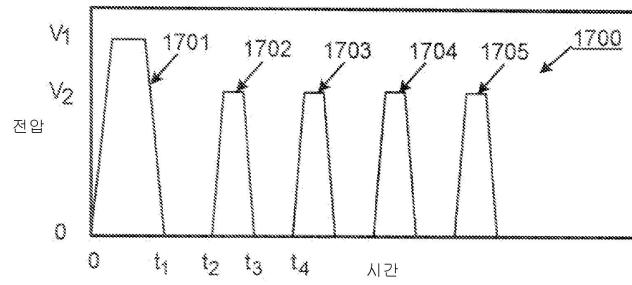
도면16a



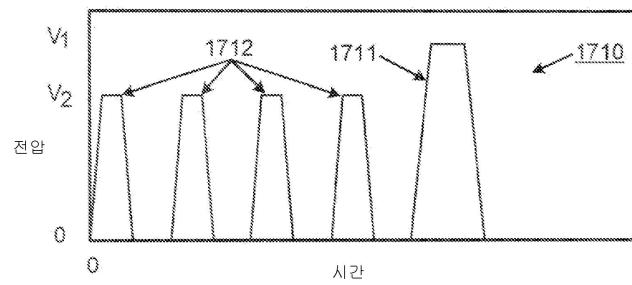
도면16b



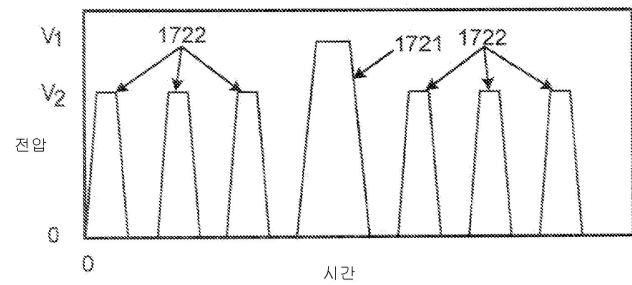
도면17a



도면17b



도면17c



도면18

