



등록특허 10-2245812



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년04월30일
(11) 등록번호 10-2245812
(24) 등록일자 2021년04월22일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23K 26/08 (2014.01) *B23K 26/03* (2014.01)
B23K 26/0622 (2014.01) *B23K 26/38* (2014.01)
B23K 26/386 (2014.01) *B23K 26/388* (2014.01)
G02B 26/10 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
B23K 26/082 (2015.10)
B23K 26/032 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7022813
- (22) 출원일자(국제) 2014년03월14일
심사청구일자 2019년03월14일
- (85) 번역문제출일자 2015년08월21일
- (65) 공개번호 10-2015-0130278
- (43) 공개일자 2015년11월23일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2014/027439
- (87) 국제공개번호 WO 2014/152526
국제공개일자 2014년09월25일
- (30) 우선권주장
61/791,160 2013년03월15일 미국(US)
61/791,656 2013년03월15일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
JP2000351087 A*
KR1020070039582 A*
KR1020120023828 A*
- *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 12 항

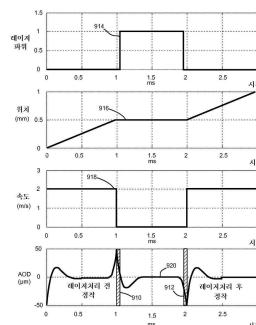
심사관 : 우귀애

(54) 발명의 명칭 AOD 이동 저감을 위한 AOD 틀 정착을 위한 레이저 시스템 및 방법

(57) 요약

레이저 시스템 및 방법은 각 틀링 작업 전후에 정착 시간을 삽입한다. 퍼크 AOD 편위는 일반적으로 피쳐간 이동과 틀링 이동 간의 속도 변이를 일으킨다. 이 변이는 틀링 전(틀링 개소에 대한 접근 시)과 틀링 후(완료된 틀링 개소에서 다른 개소로의 출발 시) 둘 다에서 일어난다. 틀링 기간의 각 말기에 정착 시간을 부가함으로써, AOD

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도9

편위는 하한값으로 정착되도록 허용된다. 이것은 이어서 시스템의 AOD 구성의 경계 내에서 AOD 이동 편위를 유지하면서 (높은 처리량을 위하여) 더 높은 터링간 속도를 허용한다.

(52) CPC특허분류

B23K 26/0622 (2015.10)

B23K 26/0853 (2013.01)

B23K 26/38 (2013.01)

B23K 26/386 (2013.01)

B23K 26/388 (2013.01)

G02B 26/101 (2013.01)

G02B 26/105 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

레이저 툴(laser tool)의 동작에 의한 가공물 가공 방법으로서, 상기 레이저 툴은 빔 축을 따라 레이저 빔을 전파하도록 구성되며, 상기 방법은:

상기 빔 축을 상기 가공물의 제1 표적 개소 쪽으로 지향시키기 위하여, 제1 속도에서 상기 빔 축과 상기 가공물의 표면 사이를 상대 이동시키는 것;

상기 제1 표적 개소에 혹은 그 근방에 도달하면, 상기 상대 이동의 속도를 상기 제1 속도로부터 제2 속도로 변경하는 것;

상기 제2 속도로의 상기 변경에 응답하여, 레이저 펄스의 개시부가 제1 정착 기간(first settle period)의 완료 후에 상기 제1 표적 개소에서 입사되도록 상기 레이저 펄스의 방출을 지연시키기 위한 제1 정착 기간을 개시하는 것;

상기 제1 표적 개소에 입사하는 상기 레이저 펄스의 방출의 완료 시 제2 정착 기간(second settle period)을 개시하는 것; 및

상기 제2 정착 기간의 완료 이후에, 상기 빔 축을 상기 가공물의 제1 표적 개소로부터 제2 표적 개소 쪽으로 지향시키도록, 상기 빔 축과 상기 가공물의 상기 표면 사이를 제3 속도로 상대 이동시키기 위해, 상기 제2 속도로부터 상기 제3 속도로 변경하는 것을 포함하고,

상기 빔 축과 상기 가공물의 상기 표면 사이를 상대 이동시키는 것은,

(a) 제1 위치결정 시스템을 이용하여, 상기 상대 이동을 통해 상기 가공물의 상기 표면에 대하여 제1 부분 내에서 상기 빔 축이 위치하도록 하는 것; 및

(b) 적용된 위치 명령에 응답하는 제2 위치결정 시스템을 이용하여, 상기 상대 이동을 통해 상기 가공물의 상기 표면에 대하여 제2 부분 내에서 상기 빔 축이 위치하도록 하는 것을 포함하며,

상기 방법은,

상기 적용된 위치 명령에 대한 상기 제2 위치결정 시스템의 과도적 응답(transient response)의 피크 값을 상기 제1 정착 기간 및 상기 제2 정착 기간 중 적어도 하나와 시간상(in time) 정렬하는 것을 더 포함하는, 레이저 툴의 동작에 의한 가공물 가공 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제2 부분은 상기 제1 부분 상에 중첩되는, 레이저 툴의 동작에 의한 가공물 가공 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 적용된 위치 명령에 대한 상기 제2 위치결정 시스템의 상기 과도적 응답에 기초하여 상기 제1 정착 기간과 상기 제2 정착 기간을 선택하는 것을 더 포함하는, 레이저 툴의 동작에 의한 가공물 가공 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제2 위치결정 시스템은 음향-광학 편향기(acousto-optic deflector: AOD), 음향-광학 변조기(acousto-optic modulator: AOM), 전기-광학 편향기(electro-optic deflector: EOD), 전기-광학 변조기(electro-optic modulator: EOM) 및 고속 조향 미러(fast steering mirror: FSM)를 포함하는 군으로부터 선택된 하나 이상의 편향 디바이스를 포함하고,

상기 방법은 상기 적용된 위치 명령을 생성하도록 구성된 필터에 기초하여 상기 과도적 응답을 결정하는 것을 더 포함하는, 레이저 툴의 동작에 의한 가공물 가공 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 적용된 위치 명령에 대한 상기 제2 위치결정 시스템의 상기 과도적 응답의 제1 피크 값을 상기 제1 정착 기간과 시간상 정렬하는 것, 및 상기 적용된 위치 명령에 대한 상기 제2 위치결정 시스템의 상기 과도적 응답의 제2 피크 값을 상기 제2 정착 기간과 시간상 정렬하는 것을 더 포함하여, 상기 적용된 위치 명령에 응답하는데 필요한 편향 범위를 저감시키는, 레이저 툴의 동작에 의한 가공물 가공 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 제1 속도와 상기 제3 속도는 상기 제2 속도보다 큰, 레이저 툴의 동작에 의한 가공물 가공 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 제3 속도는 상기 제1 속도와는 상이하고, 상기 제1 속도와 상기 제3 속도는 상기 제2 속도보다 큰, 레이저 툴의 동작에 의한 가공물 가공 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 제2 속도는, 상기 레이저 펄스의 적어도 일부가 입사되는 동안 상기 제1 표적 개소에서 상기 빔 축이 체류하도록 0(zero) 인, 레이저 툴의 동작에 의한 가공물 가공 방법.

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 제1 속도로부터 제2 속도로 변경하는 것 또는 상기 제2 속도로부터 제3 속도로 변경하는 것은, 단계 변화(step change), 경사 변화(ramped change) 및 사인 윤곽 변화(sine profiled change)를 포함하는 군으로부터 선택된 속도 변화를 포함하는, 레이저 툴의 동작에 의한 가공물 가공 방법.

청구항 12

가공물의 하나 이상의 재료 내에 피처(feature)들을 형성하거나 가공하기 위한 레이저 가공 장치로서, 상기 레이저 가공 장치는,

레이저 펄스의 빔을 발생시키는 레이저 시스템;

상기 빔의 빔 축과 상기 가공물의 표면 사이의 상대 이동을 통해 제1 부분 내에 상기 빔 축이 위치하도록 하는 제1 위치결정 시스템;

적용된 위치 명령에 응답하여, 상기 빔 축과 상기 가공물의 상기 표면 사이의 상기 상대 이동을 통해 제2 부분 내에 상기 빔 축이 위치하도록 하는 제2 위치결정 시스템; 및

상기 레이저 시스템을 상기 제1 위치결정 시스템 및 상기 제2 위치결정 시스템에 의해 부여된 상기 상대 이동과 조화시키는 제어기를 포함하되, 상기 제어기는:

(a) 제1 정착 기간 동안, 상기 가공물의 상기 표면에 대한 표적 개소에 상기 빔 축이 도달한 후에 상기 레이저 시스템이 상기 레이저 펄스의 빔을 방출하는 것을 지연시키고;

(b) 제2 정착 기간 동안, 상기 표적 개소가 상기 레이저 펄스의 빔에 의해 가공된 후에 상기 제1 위치결정 시스템 및 상기 제2 위치결정 시스템이 상기 표적 개소로부터 상기 빔 축을 멀리 이동시키는 것을 지연시

키도록 구성되며,

상기 적용된 위치 명령에 대한 상기 제2 위치결정 시스템의 과도적 응답의 피크 값은, 상기 제1 정착 기간 및 상기 제2 정착 기간 중 적어도 하나와 시간상 정렬되는, 레이저 가공 장치.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 제2 위치결정 시스템은 음향-광학 편향기(AOD), 음향-광학 변조기(AOM), 전기-광학 편향기(EOD) 및 전기-광학 변조기(EOM)를 포함하는 군으로부터 선택된 하나 이상의 편향 기기를 포함하고, 상기 제어기는 상기 적용된 위치 명령을 생성하도록 구성된 필터에 기초하여 상기 과도적 응답을 결정하도록 더 구성되는, 레이저 가공 장치.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 제어기는, 상기 적용된 위치 명령에 대한 상기 제2 위치결정 시스템의 상기 과도적 응답의 제1 피크 값을 상기 제1 정착 기간과 시간상 정렬하고, 상기 적용된 위치 명령에 대한 상기 제2 위치결정 시스템의 상기 과도적 응답의 제2 피크 값을 상기 제2 정착 기간과 시간상 정렬해서, 상기 제2 위치결정 시스템에 필요한 편향 범위를 저감시키도록 더 구성된, 레이저 가공 장치.

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원

본 출원은 미국 가특허 출원 제61/791,656호(출원일: 2013년 3월 15일) 및 미국 가특허 출원 제61/791,160호(출원일: 2013년 3월 15일)의 35 U.S.C. § 119(e) 하의 유익을 주장하며, 이를 기초 출원은 둘 다 그들의 전문이 참고로 본 명세서에 편입된다.

[0003] 기술 분야

본 개시는 일반적으로 레이저 가공 장치, 및 이를 이용하는 가공물의 가공 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 가공물을 미세기계가공하기 위한 레이저 가공 시스템은 가공물 내의 피처(feature)를 가공하기 위하여 레이저 펄스를 발생하는 레이저원(laser source), 및 가공물의 표면에 관하여 가공 궤적을 따라 레이저 빔 스팟 위치의 제1 상대 이동을 부여하는 갈바노미터-구동(갈보(galvo)) 서브시스템을 포함할 수 있다. 레이저 가공 시스템은 또한, 예를 들어, 갈보 오류 위치 정정, 래스터링(rastering), 파워 변조 및/또는 디더링(dithering)을 제공하는 음향-광학 편향기(acousto-optic deflector: AOD) 서브시스템을 포함할 수 있다. AOD 서브시스템은 AOD와 전기-광학 편향기의 조합을 포함할 수 있다.

[0006] 3차 필터링(tertiary filtering)을 통한 AOD 명령(command)의 발생은, 목적으로 하는 혹은 이용 가능한 AOD 동작 범위를 넘는 AOD 편위를 초래할 수 있다. 이것은, 예를 들어, 가공 피처들 간의 이동이 (높은 피처간 속도에서) 매우 신속할 때 일어날 수 있다. 일반적으로, 처리량을 향상시키기 위하여 높은 피처간 빔 속도를 유지하는 것이 바람직하지만, AOD 편위(excursion)의 제약은 통상 이를 속도를 제한할 수 있다.

발명의 내용

[0007] 본원에서 기재된 예로서의 본 개시의 실시형태들은, 위에 논의된 제한 및 가공물의 레이저 가공 루트 및 기타 피처의 통상의 방법과 연관된 기타 제한을 해결한다. 이하에 논의된 바와 같이, 소정의 실시형태는 레이저 시스템의 동적 한계를 초과하는 것을 피하기 위하여 상기 루트 혹은 기타 피처의 가공 속도를 최적화 혹은 향상시킨

다.

[0008] 소정의 실시형태에 있어서, 레이저 시스템 및 방법은 각 툴링 작업(tooling action) 전후에 정착 시간(settling time)을 삽입한다. 피크 AOD 편위[3차 필터 구성에서]는 일반적으로 피처간 이동과 툴링 이동 간의 속도 변이를 일으킨다. 이 변이는 툴링 전(툴링 개소에 대한 접근 시)과 툴링 후(완료된 툴링 개소에서 다른 개소로의 출발 시) 둘 다에서 일어난다. 툴링 기간(tooling period)의 각 말기에 정착 시간을 부가함으로써, AOD 편위는 하한 값으로 정착되도록 허용된다. 이것은 이어서 시스템의 AOD 구성의 경계 내에서 AOD 이동 편위를 유지하면서 (높은 처리량을 위하여) 더 높은 툴링간 속도를 허용한다.

[0009] 추가적인 양상들 및 이점들은 첨부 도면과 관련하여 진행되는 이하의 바람직한 실시형태들의 상세한 설명으로부터 명백해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 본 개시의 일 실시형태에 따른 레이저 가공 장치를 개략적으로 도시한 도면;

도 2는 도 1에 도시된 장치의 각종 구성요소 혹은 시스템과 연관된 주사 필드를 개략적으로 도시한 도면;

도 3 및 도 4는, 본 개시의 소정의 실시형태에 따른, 가공물에 대한 빔 위치를 주사함으로써 형성된 스팟들의 패턴들을 그래픽으로 나타낸 도면;

도 5는 도 4에 도시된 스팟들의 패턴을 형성하는 과정의 일 실시형태를 개략적으로 도시한 차트;

도 6은 일 실시형태에 따른 3차 프로파일링 서브시스템을 개략적으로 도시한 도면;

도 7은 일 실시형태에 따른 속도 변화에 대한 3차 필터 응답을 그래픽으로 나타낸 도면;

도 8은 일 실시형태에 따른 빔 속도의 단계 변화에 응하여 과도적인 AOD 명령을 그래픽으로 나타낸 도면;

도 9는 일 실시형태에 따른 피처 가공 동안 레이저 발사(laser firing)의 맥락에서 정착 공정을 그래픽으로 나타낸 도면;

도 10은 일 실시형태에 따른 원형 툴 패턴 빔 경로를 개략적으로 도시한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 예시적인 실시형태들이 첨부 도면을 참조하여 이하에서 설명된다. 많은 상이한 형태와 실시형태가 본 발명의 진의와 교시로부터 벗어나는 일 없이 가능하므로, 본 개시는 본 명세서에 기술된 예시적인 실시형태로 제한되는 것으로 해석되어서는 안 된다. 오히려, 이들 예시적인 실시형태는, 본 개시가 철두철미하고 완전하게 되고 본 발명의 범위를 당해 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 전달하게끔 제공된다. 도면에서, 구성요소들의 크기와 상대적인 크기는 명료화를 위해 과장되어 있을 수도 있다. 본 명세서에 사용된 용어는 특정 예시적인 실시형태를 단지 설명하기 위한 것일 뿐 본 발명을 제한하려고 의도된 것은 아니다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 단수 형태 표현인 "하나의(a, an)" 및 "그(the)"는 문맥이 달리 지시하지 않는 한, 복수의 형태도 포함하는 것으로 의도된다. 나아가 "포함한다" 및/또는 "포함하는"이라는 용어는, 본 명세서에 사용될 때, 기술된 특징, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분의 존재를 나타내는 것일 뿐, 하나 이상의 다른 특징, 정수, 단계, 동작, 요소, 성분 및/또는 이들의 군의 존재 혹은 추가를 배제하지 않는 것임이 이해될 것이다. 달리 특정되지 않는 한, 값의 범위는, 열거된 경우, 그 범위의 상한과 하한뿐만 아니라 이들 사이에 있는 임의의 서브 범위도 모두 포함한다.

[0012] 위에서 논의된 바와 같이, 3차 필터링을 통한 AOD 명령의 발생은 목적으로 하는 또는 이용 가능한 AOD 동작 범위를 넘는 AOD 편위를 초래할 수 있다. 이것은, 예를 들어, 가공 피처들 간의 이동이 (높은 피처간 속도에서) 매우 신속한 경우 일어날 수 있다. 일반적으로, 처리량을 향상시키기 위하여 높은 피처간 빔 속도를 유지하는 것이 바람직하지만, AOD 편위의 제약은 통상적으로 이들 속도를 제한할 수 있다.

[0013] 3차 필터링에 의해 부여되는 가공 속도의 제한을 회피 혹은 저감시키기 위하여, 본 명세서에 개시된 소정의 실시형태는 각 툴링 작업 전후에 정착 시간을 삽입한다. 이하에서 논의되는 바와 같이, 피크 AOD 편위는 피처간 이동(전형적으로 고속)과 툴링 이동(전형적으로 저속) 간에 속도 변이를 일으킨다. 이 변이는 툴링 전(툴링 개소로의 접근 시)과 툴링 후(완료된 툴링 개소로부터 다음 개소로 출발 시) 둘 다에서 일어난다. 툴링 기간의 각 말기에 정착 지연을 부가함으로써, AOD 편위는 보다 낮은 값으로 결정되도록 허용된다. 이것은 이어서 시스템의

AOD 구성의 경계 내에 AOD 이동 편위를 유지시키면서, (높은 처리량을 위하여) 보다 높은 터링간 속도를 허용한다.

[0014] 위에서 논의된 소정의 실시형태에 있어서, 터링 속도 및 궤적에서의 "정착" 방법은 AOD 이동 저감 정착을 위하여 적합하다. 이것은, 예를 들어, 커다란 직경 혹은 속도로 터링 궤적을 가공할 경우 유용할 수 있고, 이에 따라 피쳐 개소에서 제로 속도에서 체류 후에도 그 자체로 커다란 AOD 과도기를 형성할 수 있다.

[0015] 터링 속도 및 궤적에서 정착을 위하여 예시적인 AOD 터 정착 실시형태 및 예시적인 실시형태를 논의하기 전에, 예시적인 레이저 가공 장치 및 예시적인 3차 프로파일링 실시형태가 제공된다.

I. 예시적인 시스템 개요

[0017] 도 1을 참조하면, 레이저 가공 장치(100)는 가공물(102)에 충돌하도록 경로(P)를 따라 레이저 펄스의 빔(105)을 지향시킴으로써 가공물(102)의 하나 이상의 재료 내에 루트 및 기타 피쳐(예컨대, 관통-비아(through-via), 블라인드-비아, 트렌치 및 커프)들을 형성하도록 구성되어 있다. 피쳐는 라우팅 작업 및/또는 기타 터링 작업(예컨대, 충격식 천공 작업, 트레판 천공 작업, 스카이빙(skiving) 작업 및 커팅 작업)을 수행하도록 레이저 가공 장치(100)를 제어함으로써 형성될 수 있고, 이때 각 터링 작업은 하나 이상의 단계를 포함할 수 있다. 예시된 바와 같이, 레이저 가공 장치(100)는 레이저 시스템(104), 척(chuck)(106), 가공물 위치결정 시스템(108), 빔 위치결정 시스템(110) 및 빔 변조 시스템(112)을 포함할 수 있다. 예시되어 있는 않지만, 레이저 가공 장치(100)는 경로(P)를 따라 임의의 지점에서 레이저 펄스의 빔(105)을 정형화, 확대, 포커싱, 반사 및/또는 시준하도록 구성된 1개 이상의 보조 시스템(예컨대, 광학기기, 미러, 빔 스플리터, 빔 익스팬더 및/또는 빔 시준기)을 더 포함할 수 있다. 일 실시형태에 있어서, 1개 이상의 보조 시스템의 세트는 "광학기기 열"(optics train)이라고 지칭될 수도 있다.

[0018] 일 실시형태에 있어서, 가공물 위치결정 시스템(108), 빔 위치결정 시스템(110) 및 빔 변조 시스템(112)의 하나 이상 또는 전부의 동작은, 레이저 펄스의 빔(105)이 가공물(102)에 충돌하는 위치(즉, 가공물(102)에 대한 빔 위치)를 변화시키도록 제어될 수 있다. 추가로 혹은 다른 실시형태에 있어서, 가공물 위치결정 시스템(108), 빔 위치결정 시스템(110) 및 빔 변조 시스템(112)의 하나 이상 또는 전부의 동작은, 빔 위치가 가공물(102)에 대해서 변하는 속도 및/또는 가속도를 변화시키도록 제어될 수 있다.

[0019] 레이저 시스템(104)은 레이저 펄스의 빔(105)을 생성하도록 구성된다. 빔(105) 내의 레이저 펄스는, 예를 들어, 적외선, 가시광선 혹은 자외선 스펙트럼의 파장을 지닐 수 있다. 예를 들어, 빔(105) 내의 레이저 펄스는 1064 nm, 532nm, 355nm, 266nm 등과 같은 파장을 지닐 수 있다. 빔(105) 내의 레이저 펄스는 일반적으로 약 20kHz 내지 약 2000kHz의 범위의 PRF에서 발생될 수 있다. 그러나, PRF는 20kHz 미만 또는 2000kHz 초과일 수 있는 것을 알 수 있을 것이다. 예를 들어, 모드-고정 레이저는 200kHz까지 가동될 수 있다.

[0020] 척(106)은 가공물(102)을 적절하게 혹은 유익하게 지지할 수 있는 임의의 척으로서 제공될 수 있다. 일 실시형태에 있어서, 척(106)은 진공 척, 정전 척, 기계식 척 등 또는 이들의 조합으로서 제공될 수 있다.

[0021] 가공물 위치결정 시스템(108)은, X축, Y축, 및/또는 Z축 중 하나 이상 등 또는 이들의 조합에 대해서 척(106)을 회전시키기 위하여, X축, Y축, 및/또는 Z축(여기서 Z축은 척(106)의 표면에 적어도 실질적으로 수직이고, X축, Y축 및 Z축은 서로에 대해 상호 직교함)에 평행한 하나 이상의 방향을 따라서 가공물(102)을 지지하는 척(106)을 옮기도록 구성된다. 일 실시형태에 있어서, 가공물 위치결정 시스템(108)은 위에서 논의된 바와 같이 척을 이동시키도록 구성된 1개 이상의 스테이지를 포함할 수 있다. 가공물(102)이 척(106)에 의해 지지될 경우, 가공물 위치결정 시스템(108)은, 경로(P)에 대해서 제1 주사 필드(예컨대, 도 2에 도시된 바와 같은 제1 주사 필드(200)) 내에서 (예컨대, X축 및 Y축을 따라서) 가공물(102)을 이동 또는 주사시키도록 작동될 수 있다. 일 실시형태에 있어서, 가공물 위치결정 시스템(108)은, 약 400 내지 약 700mm 범위(예컨대, 약 635mm)의 거리에 대해서 X축을 따른 임의의 방향에서, 약 400mm 내지 약 700mm 범위(예컨대, 약 533 mm)의 거리에 대해서 Y축을 따른 임의의 방향에서 또는 이들의 조합에서 가공물(102)을 주사하도록 작동될 수 있다.

[0022] 빔 위치결정 시스템(110)은, 가공물(102)에 대해서 제2 주사 필드(예컨대, 도 2에 도시된 바와 같은 제2 주사 필드(202)) 내에서 빔 위치를 주사하기 위하여 레이저 펄스의 빔(105)의 편향, 반사, 굴절, 회절 등 또는 이들의 조합을 실시하도록 구성된다. 일 실시형태에 있어서, 빔 위치결정 시스템(110)은, 약 1mm 내지 약 50mm 범위(예컨대, 약 30mm)의 거리에 대해서 X축을 따른 임의의 방향에서, 약 1mm 내지 약 50mm 범위(예컨대, 약 30mm)의 거리에 대해서 Y축을 따른 임의의 방향에서 또는 이들의 조합에서 빔 위치를 주사하도록 작동될 수 있다. 일반적으로, 빔 위치결정 시스템(110)의 동작은, 가공물 위치결정 시스템(108)이 제1 주사 필드(200) 내에서 가

공물(102)을 주사할 수 있는 것보다 큰 속도 및/또는 가속도에서 가공물(102)에 대해서 빔 위치를 주사하도록 제어될 수 있다. 예시된 실시형태에 있어서, 빔 위치결정 시스템(110)은, 경로(P) 내에 배치된 1쌍의 갈바노미터-기반 미러(갈보)(110a 및 110b)의 쌍을 포함한다. 갈보(110a, 110b)는 (예컨대, X축 또는 Y축에 대해) 회전되도록 구성됨으로써, 경로(P)를 편향시키고, 제2 주사 필드(202) 내에 빔 위치를 주사시킨다. 그러나, 빔 위치결정 시스템(110)은 임의의 다른 적절한 혹은 유익한 방식으로 구성될 수도 있음이 이해될 것이다.

[0023] 빔 변조 시스템(112)은, 가공물(102)에 대해서 제3 주사 필드(예컨대, 도 2에 도시된 바와 같은 제3 주사 필드(204)) 내의 빔 위치를 주사하기 위하여 레이저 펄스의 빔의 편향, 반사, 굴절, 회절 등 또는 이들의 조합을 실시하도록 구성된다. 일 실시형태에 있어서, 빔 변조 시스템(110)은, 약 0.05mm 내지 약 0.2mm 범위(예컨대, 약 0.1mm)의 거리에 대해서 X축을 따른 임의의 방향에서, 약 0.05mm 내지 약 0.2mm 범위(예컨대, 약 0.1mm)의 거리에 대해서 Y축을 따른 임의의 방향에서, 또는 이들의 조합에서 빔 위치를 주사시키도록 작동될 수 있다. 당업자라면, 이들 범위는 예로써 제공될 뿐, 빔 위치는 보다 작거나 또는 보다 큰 범위 내에서 주사될 수 있는 것을 인지할 것이다. 일반적으로, 빔 변조 시스템(112)의 동작은 빔 위치결정 시스템(110)이 제2 주사 필드 내에서 빔 위치를 주사할 수 있는 것보다 큰 속도 및/또는 가속도에서 가공물(102)에 대해서 빔 위치를 주사하도록 제어될 수 있다.

[0024] 일 실시형태에 있어서, 빔 변조 시스템(112)은, 제3 주사 필드(204) 내의 단일축을 따라서 빔 위치를 주사하도록 레이저 펄스의 빔(105)을 편향시키도록 구성된 단일의 음향-광학 편향기(AOD)를 포함한다. 다른 실시형태에 있어서, 빔 변조 시스템(112)은 2개의 AOD를 포함하되, 여기서 제1 AOD는 레이저 펄스의 빔(105)을 편향시키고, X축을 따라 제3 주사 필드(204) 내에서 빔 위치를 주사하도록 구성되고, 제2 AOD는 레이저 펄스의 빔(105)을 편향시키고, Y축을 따라 제3 주사 필드(204) 내에서 빔 위치를 주사하도록 구성된다. 그러나, 빔 변조 시스템(112)은 기타 임의의 적절한 혹은 유익한 방식으로 구성될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 예를 들어, 빔 변조 시스템(112)은, AOD에 부가해서 혹은 이에 대한 대체로서, 1개 이상의 음향-광학 변조기(acousto-optic modulator: AOM), 전기-광학 편향기(electro-optic deflector: EOD), 전기-광학 변조기(electro-optic modulator: EOM), 고속 조향 미러(fast steering mirror: FSM)(예컨대, 고-대역폭(약 10kHz 초과)의 FSM) 등 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.

[0025] 레이저 가공 장치(100)는 가공물 위치결정 시스템(108), 빔 위치결정 시스템(110), 빔 변조 시스템(112) 및 레이저 시스템(104)에 통신 가능하게 결합된 시스템 제어기(114)를 더 포함할 수 있다. 시스템 제어기(114)는, 가공물(102) 내의 피처(예컨대, 라우트(rout), 관통-비아, 블라인드-비아, 트렌치, 커프 및 기타 피처)들을 형성하기 위하여 이들 시스템(가공물 위치결정 시스템(108), 빔 위치결정 시스템(110), 빔 변조 시스템(112) 및/또는 레이저 시스템(104)) 중 하나 이상 또는 전부의 상기 동작을 제어하도록 구성된다. 일 실시형태에 있어서, 시스템 제어기(114)는, 레이저 시스템(104)에 의해 발생된 펄스의 PRF(예컨대, 약 20kHz 내지 약 2000kHz의 범위내)를 변화시키기 위하여 레이저 시스템(104)의 동작을 제어할 수 있다.

[0026] 일 실시형태에 있어서, 시스템 제어기(114)는, 가공물(102)에 대해서 빔 위치를 주사하고 가공물(102) 내의 "높은 피처-밀도 영역"(예컨대, 500μm 이하 또는 대략 그 수치의 피치만큼 떨어진 피처들을 포함하는 영역)을 형성하도록 빔 변조 시스템(112)의 동작을 제어할 수 있다. 시스템 제어기(114)는 높은 피처-밀도 영역을 형성하면서 빔 위치결정 시스템(110) 및/또는 가공물 위치결정 시스템(108)의 동작을 더욱 제어할 수 있다.

[0027] 다른 실시형태에 있어서, 시스템 제어기(114)는, 가공물(102)에 대해서 빔 위치를 주사하고 가공물(102) 내의 가공물(102) 내의 "중간 피처-밀도 영역"(예컨대, 500μm 초과 또는 대략 그 수치, 예컨대, 약 1000μm의 피치만큼 떨어진 피처들을 포함하는 영역)을 형성하도록 빔 위치결정 시스템(110)의 동작을 제어할 수 있다. 시스템 제어기(114)는 이러한 중간 피처-밀도 영역을 형성하면서 빔 변조 시스템(112) 및/또는 가공물 위치결정 시스템(108)의 동작을 더욱 제어할 수 있다.

[0028] 또 다른 실시형태에 있어서, 시스템 제어기(114)는 빔 위치결정 시스템(110)의 동작을 제어할 수 있고, 빔 위치결정 시스템(110)의 고속 속도 제한, 소형-면적 위치결정 오류 및 대역폭 제한을 극복하기 위하여 조율된 방식으로 빔 변조 시스템(112)의 동작을 더욱 제어할 수 있다. 예를 들어, 레이저 가공 장치(100)가 빔 변조 시스템(112)을 포함하지 않는다면, 빔 위치결정 시스템(110)은 도 3에 도시된 바와 같은 등근 패턴(도시된 바와 같이, 스팟들의 원형 패턴은 약 600μm의 최대 폭을 지님)을 형성하기 위하여 빔 내의 레이저 펄스가 가공물(102) 상에 순차로 충돌하게끔 가공물(102)에 대해서 빔 위치를 조사하도록 제어될 수 있었다. 그러나, 빔 위치결정 시스템(110)과 함께 빔 변조 시스템(112)의 동작을 조율함으로써, 레이저 가공 장치(100)는, 도 4에 도시된 바와 같은 스팟들의 사각형 패턴(도시된 바와 같이, 스팟들의 사각형 패턴은 약 600μm × 약 600μm의 치수를 지님)을 형성

하도록 구성될 수 있다.

[0029] 일 실시형태에 있어서, 그리고 도 5를 참조하면, 도 4에 도시된 스팟들의 패턴이 선(500)과 같은 선을 따라서 제2 주사 필드(202) 내에 빔 위치를 주사하기 위하여 빔 위치결정 시스템(110)를 제어함으로써 형성될 수 있고, 빔 변조 시스템(112)은, 스팟들(504)의 사각형 패턴(예컨대, 도 4에 도시된 도시된 것)을 형성하기 위하여 가공물(102)에 레이저 펄스가 순차로 충돌하게끔, 하나의 방향(예컨대, 제3 주사 필드(204) 내에 센터링된 선(502)로 표시됨)을 따라서 제3 주사 필드(204)(선(500)의 말단부에서 센터링됨) 내에 빔 위치를 더욱 주사하도록 제어될 수 있다. 도 5에 관하여 위에서 논의된 바와 같은 예시적인 처리를 적용함으로써, 빔 위치는, 갈보 용량에 따라서, 약 5 미터/초(m/s) 또는 심지어 그 이상의 비율로 가공물 위에 주사될 수 있다. 그러나, 빔 위치결정 시스템(110)과 함께 빔 변조 시스템(112)의 동작은 가공물(102) 상의 스팟들의 임의의 적절한 혹은 유익한 패턴을 형성하도록 임의의 방식으로 조율될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0030] 일반적으로, 시스템 제어기(114)는 각종 제어 기능을 규정하는 연산 로직(operating logic)(도시 생략)을 포함할 수 있고, 전용 하드웨어, 예컨대, 하드와이어 상태 머신, 프로그래밍 명령들을 실행하는 프로세서의 형태 및 /또는 당업자에게 떠오를 수도 있는 상이한 형태일 수 있다. 연산 로직은 디지털 회로, 아날로그 회로, 소프트웨어 또는 이들 유형의 임의의 것의 혼성 조합을 포함할 수 있다. 일 실시형태에 있어서, 시스템 제어기(114)는 연산 로직에 따라서 메모리에 저장된 명령들을 실행시키도록 배열된 하나 이상의 처리 장치를 포함할 수 있는, 프로그램 가능한 마이크로제어기, 마이크로프로세서 혹은 기타 프로세서를 포함할 수 있다. 메모리(예컨대, 컴퓨터-판독 가능 매체)는 반도체, 자성 및/또는 광학 변형체를 포함하는 1개 이상의 유형을 포함할 수 있고/있거나 휘발성 및/또는 비휘발성 변형체일 수도 있다. 일 실시형태에 있어서, 메모리는 연산 로직에 의해 실행될 수 있는 명령들을 저장한다. 대안적으로 혹은 부가적으로, 메모리는 연산 로직에 의해 조작되는 데이터를 저장할 수 있다. 하나의 배열에 있어서, 연산 로직 및 메모리가 가공물 위치결정 시스템(108), 빔 위치결정 시스템(110) 및/또는 빔 변조 시스템(112)의 연산 측면들을 관리하고 제어하는 연산 로직의 제어기/프로세서 형태로 포함되지만, 다른 배열에서는 이들이 분리되어 있을 수도 있다.

[0031] 본 명세서에서 기재된 바와 같이, 레이저 가공 장치(100)는, 고속에서 고위치 정확도로 피쳐들을 형성하기 위하여 빔 위치결정 시스템(110) 및 빔 변조 시스템(112)의 조율된 동작을 가능하게 하도록 구성된다. 소정의 실시 형태에 있어서, 레이저 가공 장치(100)는, 예를 들어, 빔 변조 시스템(112)과 시스템 제어기(114)뿐만 아니라, 레이저 에너지 모니터(LEM)(116) 등과 같은 기타 시스템을 구비하는 레이저 파워 제어(LPC) 시스템을 더 포함할 수 있다. 일반적으로, LPC 시스템은, 개별적인 레이저 펄스(예컨대, 품질 및 제어 목적을 위하여)의 펄스 에너지를 측정하거나, 개별적인 레이저 펄스의 펄스 에너지를 제어하거나, 펄스 에너지 및 PRF로의 신속한 변화를 용이하게 하거나, 개별적인 레이저 펄스의 펄스 에너지 제어를 빔 위치와 조율시키거나, 레이저 펄스의 발생 및 변조를 조율하는 등, 또는 이들의 조합을 행하도록 구성될 수 있다.

II. 예시적인 3차 프로파일링 실시형태

[0033] 도 6은 일 실시형태에 따른 3차 프로파일링 서브시스템(600)을 개략적으로 도시하고 있다. 3차 프로파일링에 있어서, 빔 위치결정은 빔 위치결정 시스템(110)(갈보(110a 및 110b)를 구비함)과 빔 변조 시스템(112)(하나 이상의 AOD를 구비함) 간에 분할된다. 3차 프로파일링이란, (예컨대, XY 스테이지 및 갈보(110a, 110b)에 부가해서) 3차 위치결정기로서 AOD를 이용하는 것을 의미한다. AOD를 이용하는 3차 프로파일링은 (예컨대, 타이밍 해상도를 제공하기 위하여 약 1μs에서 업데이트를 이용해서) 고속에서 빔 경로의 프로파일링을 허용하며, 이때 AOD 명령들은 이산적인 타이밍 경계에서 발생된다. 3차 프로파일링 서브시스템(600)은 프로파일링 필터(604), 지연 요소(606) 및 감산기(608)를 포함한다.

[0034] 도 6은 가공물로 커팅되는 것이 바람직한 트렌치에 상당하는 예시적인 빔 프로파일(610)(이것은 또한 본 명세서에서 예시적인 "빔 명령"이라 지칭될 수도 있음)을 도시하고 있다. 그러나, 기본적인 원리는, 복수개의 비아를 가공할 때 등과 같이, 하나의 가공 피쳐에서 다른 것으로 이동하는 실시형태에 적용될 수 있다.

[0035] 도 6에 도시된 예시적인 빔 프로파일(610)은 갈보(110a, 110b)를 이용해서 고속에서 추적하는 것이 어려울 수 있는 첨예한 턴들을 포함한다. 예시적인 빔 프로파일(610)은, 주사 필드 교정 변환(603)을 통과한 후, 프로파일링 필터(604)와 지연 요소(606)를 포함하는 3차 필터(605)에 제공된다. 프로파일링 필터(604)는 갈보(110a, 110b)가 추적하기 어려울 수 있는 고주파수 성분을 필터링 제거하는 저역통과 필터를 포함한다. 프로파일링 필터(604)의 출력은, 위치 프로파일(612)에 의해 도시된 바와 같이, 갈보 명령(갈보 제어 신호)으로서 사용될 수 있다. 도 6은 위치 프로파일(612)의 확대된 부분(613)을 도시하며, 이는 갈보(110a, 110b)에 의해 제공된 실제 위치(618)에 관하여 명령된 위치(616)를 도시한다. AOD들은 명령된 위치(616)와 실제 위치(618) 간의 차이를 보

정하는데 이용된다.

[0036] 일 실시형태에 있어서, 프로파일링 필터(604)는 무한 임펄스 응답(infinite impulse response: IIR) 필터를 포함한다. 다른 실시형태에 있어서, 프로파일링 필터(604)는 유한 임펄스 응답(finite impulse response: FIR) 필터를 포함한다. FIR 필터는 당연히 임의의 주파수 범위의 신호를 위하여 일정한 지연을 지닌다. 그러나, 당업자라면, 다른 유형의 필터가 또한 이용될 수 있다는 것을 본 개시내용으로부터 인식할 것이다. 지연 요소(606)는 프로파일링 필터(604)에 의해 도입된 대략 동일한 지연량만큼 예시적인 범 프로파일(610)을 지연시킨다. 감산기(608)는 갈보 명령으로부터 제거된 고주파수 성분을 얻기 위하여 프로파일링 필터(604)의 출력을 지연 요소(606)의 출력으로부터 감산한다. 감산기(608)에 의한 고주파수 성분 출력은 이어서 AOD들을 제어하기 위한 AOD 명령 신호로서 이용될 수 있다. 도 6은 예시적인 AOD 위치 명령 프로파일(614)을 도시한다. 도시하고 있지는 않지만, 위치 명령 프로파일(614)에 대한 차이분이 대응하는 속도 및 가속도 명령 프로파일을 계산하기 위하여 이용될 수 있다.

[0037] 예시적인 범 명령(610)은, "목적으로 하는" 좌표에서 패널 정렬 변환의 적용 후, 작업 표면 상의 범의 목적으로 하는 궤적이다. 위에서 논의된 바와 같이, 예시적인 범 프로파일(610)은, 주사 필드 교정 변환(603)에 (명령된 범 위치 신호로서) 제공된다. 데이터는 궤적을 저주파수 성분과 고주파수 성분으로 분할하도록 필터링되어, AOD들이 고주파, 저진폭 명령들을 추적할 수 있게 하여, 대역폭-제한된, 대형-진폭 명령을 갈보(110a, 110b)에 전달할 수 있다. 주사 필드 교정 변환(603)을 적용하는 것은 "원시 갈보" 좌표(raw galvo coordinate)들을 생성한다. 이것은 명령들이 3차 필터(605)에 의해 분할되기 전에 일어나므로, 3차 필터(605)의 출력들은 갈보 및 AOD 성분들이며, 이들의 각각은 동일한 원시 갈보 좌표들에 있다.

[0038] AOD들이 원시 갈보 좌표 프레임에서 범을 편향시키기 위하여 교정된다면, AOD 3차 변위를 위하여 어떠한 추가의 주사 필드 교정 변환도 요구되지 않는다. 이것은, 국소적인 AOD 필드 왜곡 정정이 필요하지 않은 것을 의미하므로 유용하다. 즉, 주사 필드 왜곡 효과는 주사 필드 교정 변환(603)이 적용된 경우에 이미 해명된다.

[0039] 이 접근법의 또 다른 해석은 3차 프로파일링 필터가 원시 갈보 좌표에서 갈보 명령을 목적으로 하는 명령으로부터 멀리 변위시킨다는 것이다. AOD들은 이 갈보 범 각도 변위를 조성하기 위하여 보상 변위를 단순히 제공한다.

[0040] "원시 갈보" 좌표에서 AOD 명령 출력은, 이어서 "원시 APD" 편향 명령을 생성하기 위하여 변환(규모조절 및 회전)된다. "원시 갈보" 좌표에 변환을 적용하는 것은 또한 AOD 오류 정정 항들을 3차 AOD 데이터에 부가할 기회를 제공한다. 이것은, 갈보 제어기 오류(AOD 오류 정정 데이터를 생성하기 위하여 필터링됨)가 원시 갈보 좌표에 있으므로 편리하다.

III. 처리 속도에 대한 3차 필터

[0042] 3차 필터링의 처리는, 제한된 교정된 AOD 필드 크기를 고려해 볼 때, 처리 속도에 제한을 부여한다. 3차 필터링 동안, 처리 세그먼트들 간의 속도의 단계 변화는 AOD 명령의 과도적 응답을 생성한다. 예를 들어, 도 7은 일 실시형태에 따른 속도 변화에 대한 3차 필터 응답을 그래픽으로 나타내고 있다. 이 응답의 크기는 속도의 단계 변화에 비례하고, 붕괴 시간은 3차 필터 대역폭과 탬핑 비의 함수이다.

[0043] 도 7은 AOD 편위를 최대화하는 최악의 경우 속도 프로파일(710)을 도시하며, 이것은, 하나의 속도 변화(710)(2^*V_{max} 와 동일)에 이어서, 3차 필터의 오버슛(716)의 피크에서 시간조절된(3kHz 3차 필터에 대해서 속도 변화 후 약 0.12 밀리초), 동일한 크기이지만 부호가 반대인 제2 속도 변화(714)가 뒤따를 때 발생한다.

[0044] AOD 과도기 기준화 인수(scale factor)가 "Ktrans"로 정의된다면, 처리 세그먼트 속도 변화 ΔV 에 대해서,

$$\Delta V_{AOD} = K_{trans} \cdot \Delta V$$

[0046] K_{trans} 의 예시적인 수치는, 4번째 3kHz 3차 필터에 대해서 $26.6 \mu\text{m}/(\text{m}/\text{초})$ 이다. 따라서, 예를 들어, +2 내지 -2 $\text{m}/\text{초}$ 속도 변화를 만들 수도 있는 $2 \text{ m}/\text{초}$ 처리 속도를 이용하는 세그먼트에 대해서, ΔV_{AOD} 상의 경계 = $2 * (2 \text{ m}/\text{s}) * (26.6 \mu\text{m}/(\text{m}/\text{s})) = 106.4 \mu\text{m}$ 이다.

IV. 예시적인 AOD 툴 정착 실시형태

[0048] 3차 필터링에 의해 부여되는 처리 속도에 대한 제한을 회피 혹은 저감시키기 위하여, 본 명세서에 개시된 소정의 실시형태는, 각 툴링 작업 전후에 정착 시간을 삽입한다. 피크 AOD 편위는 피처간 이동들(전형적으로 고속)과 툴링 이동들(전형적으로 저속) 간에 속도 변이를 발생한다. 이 변이는 툴링 전(툴링 개소에 대한 접근 시)과 툴링 후(완료된 툴링 개소로부터 다음 개소로 출발 시) 둘 다에서 발생한다. 툴링 기간의 각 말기에 정착 지연

을 부가함으로써, AOD 편위는 낮은 값으로 정착될 수 있다. 이것은 이어서 시스템의 AOD 구성의 경계 내에 AOD 이동 편위를 유지하면서 (높은 처리량을 위하여) 더 높은 툴링간 속도를 허용한다.

[0049] 도 8은 일 실시형태에 따른 범 속도의 단계 변화에 응하여 예시적인 과도적인 AOD 명령(810)을 그래프으로 나타내고 있다. 이 예에서, 첨예한 AOD 편향 과도기가 속도 변화 시간(도 8 t = 0) 주위에서 발생한다. 속도의 단계 변화는, 예를 들어, 범 궤적이 툴링을 시작하는 것을 중지할 경우, 또는 범 궤적이 툴링이 완료된 후에 다음 피처로의 고속 이동을 시작할 경우에 발생할 수 있다.

[0050] 속도 변화에 상당하는, AOD 편향 과도기의 피크값에서의 정착 시간(812)(예컨대, 본 예에서 $70\mu\text{s}$)이 AOD 편향의 범위를 저감시킨다. 예를 들어, 도 8은 정착 시간(812)에 의해 제공된 저감된 편향 범위(816)에 비해서 정착 시간이 없는 편향 범위(814)를 도시한다. 도 8에서의 과도기가 속도의 단계 변화에 대한 응답을 나타내지만, 유사한 정착 접근법이 또한 단계 변화 이외의 속도 프로파일에 적용될 수 있다. 예를 들어, 이러한 정착은, 소정의 실시형태에 있어서, 속도의 경사 변화(ramped change)(일정한 가속도) 또는 속도의 적극적 프로파일링 변화(예컨대, 고 대역폭에서의 사인 프로파일링(sine profiled)), 또는 기타 속도의 변화를 위하여 이용된다.

[0051] 툴링 전후 둘 다(약 t = 0점)에서의 작은 정착 기간의 삽입은 피처간 속도 단계 변화에 응답하여 AOD 편향 범위를 상당히 저감시킨다. 이것은 주어진 AOD 범위에 대해서 보다 높은 피처간 속도의 이용을 허용함으로써 전체 처리량을 증가시킨다.

[0052] 도 9는 일 실시형태에 따른 피처 가공 동안 레이저 발사의 맥락에서 정착 공정을 그래프으로 나타내고 있다. 특히, 도 9는 주어진 피처간 범 속도에 대해서 요구되는 AOD 편향 범위를 저감시키는 레이저처리 전 정착 기간(910) 및 레이저처리 후 정착 기간(912) 둘 다를 도시하고 있다. 각 정착 기간(910, 912)의 타이밍은 레이저 펄스(914), 범 궤적 위치(916), 범 궤적 속도(918), 및 AOD 명령(920)의 과도기에 관하여 도시되어 있다. 도시된 바와 같이, 레이저처리 전 정착 기간(910)은 위치(916)가 표적 개소에 도달하고 속도(918)가 0 m/초로 단계적으로 감소될 때 시작한다. 레이저 펄스(914)는, 레이저처리 전 정착 기간(910)이 완료된 후까지 발사되지 않는다. 레이저처리 후 정착 기간(912)은 레이저 펄스(914)가 종료될 때 시작한다. 레이저처리 후 기간(912)의 완료 후에, 속도(918)는 0 m/초에서 2 m/초(예를 들어)로 단계적으로 상승되어 범 궤적 위치(916)를 다음 표적으로 이동시키기 시작한다. 레이저 펄스 전후 둘 다의 설정 기간(910, 912)은, 저감된 AOD 편향 범위를 허용하고, 이것은 이어서 연이은 표적 개소들 간의 보다 높은 속도 및 개선된 처리량을 허용한다.

V. 툴링 속도 및 궤적에서의 예시적인 AOD 툴 정착

[0054] 위에서 논의된 바와 같이, 몇몇 경우에 범 위치결정기 오류를 제로를 향하여 정착시킬 수 있도록, 가공물 피처에 대한 툴링 정착 시간을 포함하는 것이 바람직하다. 위에서 논의된 소정의 실시형태는, 목적으로 하는 정착 시간 동안, 제로 범 속도에서, 표적 혹은 피처 개소에서 체류한다. 이 접근법은 정적 툴링 작업(예컨대, 편치)에 대해서는 잘 작용하지만, 원형 궤적들(예컨대, 나선형, 트레판, 원형)을 이용하는 툴링 작업에 대해서는, 툴링 작업의 개시는 범 위치결정기에서 동적 과도기를 생성하여, 정착 시간이 회피되는 것을 의미하는 범 위치결정 오류를 발생할 가능성이 있다.

[0055] 원형 궤적들을 이용한 툴링 작업을 위하여, 다른 실시형태는 특정된 정착 시간 동안 개시 툴링 궤적을 실행함으로써 툴링 개소에서 "정착"하는 것이다. 예를 들어, 원형 툴 궤적은 임의의 수의 전부 혹은 일부 회전(revolutions)에 대해서 명령될 수 있다. 이러한 소정의 실시형태에 있어서, 가변-궤적 툴들은 그들의 개시 이동으로 시작한다. 예를 들어, 내경으로부터 시작하는 나선형 툴에 대해서, 정착 시간은 내경 궤적의 부분 혹은 전체 반복을 포함한다.

[0056] 도 10은 일 실시형태에 따른 원형 툴 패턴 범 경로(1014)를 개략적으로 도시하고 있다. 범 경로(1014)는 시작 개소(1016)(도트로 표시됨)에서 시작하여, 유입 세그먼트(1018), 360도 원형 세그먼트(1020)(과선으로 표시됨), 유출 세그먼트(1022), 및 종료 개소(1024)(도트로 표시됨)(이것은 또한 원형 세그먼트(1020)의 중앙(1025)에 있음)를 포함한다. 원형 세그먼트(1020)는 직경 D를 지니고, 가공될 구멍의 주위 혹은 주변에 상당하며, 360도 정도 이외의 것을 지닐 수 있다. 이 예에서, 유입 세그먼트(1018)의 가속도는 제로(일정 속도)이지만, 유출 세그먼트(1022)의 가속도는 원형 세그먼트(1020)의 가속도의 2배이다. 일 실시형태에 있어서, 범 경로는 레이저를 온 상태로 하기 전 제1 정착 기간 동안 1회 이상 원형 세그먼트(1020)를 따라가고, 범 경로는 레이저 가공 후 제2 정착 기간 동안 1회 이상 원형 세그먼트(1020)를 따라간다.

[0057] 원형 궤적 정착의 이점은, 피처-대-피처 이동 궤적에서 툴링 궤적 동작으로의 변이에서 발생되는 비사인파형 과도기가 붕괴될 수 있어, 툴링 작업 내에서 추적 오류를 저감시키고, 따라서 가공 피처의 품질을 향상시킬 수 있

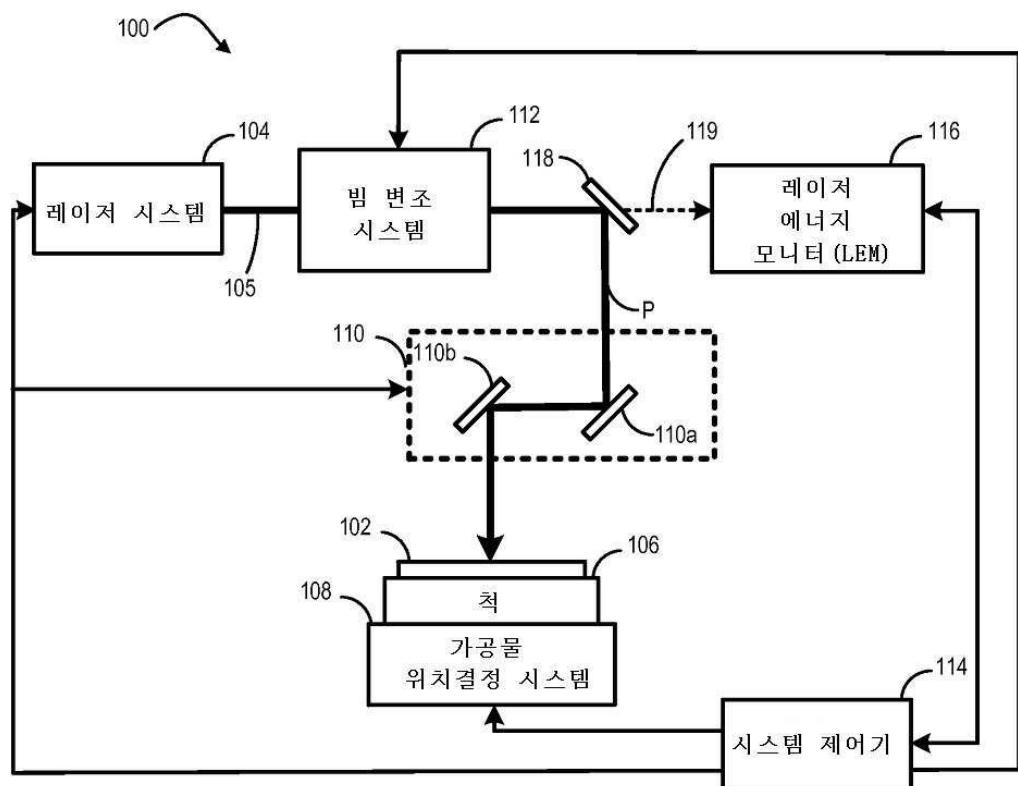
다는 점이다. 일반적으로, 빔 위치결정 구성요소(갈보 및 스테이지)는 초기 과도 빔 명령보다 훨씬 양호한 반복적 사인파형 빔 명령을 추적할 수 있다.

[0058] 부가적으로 혹은 기타 실시형태에 있어서, 초기 사인 움직임은, 목적으로 하는 정착 시간 동안 초기 터링 속도(크기 및 방향)를 단순히 유지하기보다 오히려 반복된다. 초고속 터링(예컨대, 약 1 m/초 내지 2 m/초) 및 커다란 정착 시간(예컨대, 약 100 밀리초) 동안, 이것은 빔 위치결정기에 대해서 번잡하게 되는 매우 커다란 접근거리를 필요로 한다 - 긴 셋업 이동을 요구하고 바람직하게는 단일 갈보 필드 내에서 가공처리되는 적용 분야에서 갈보 필드 크기를 초과한다.

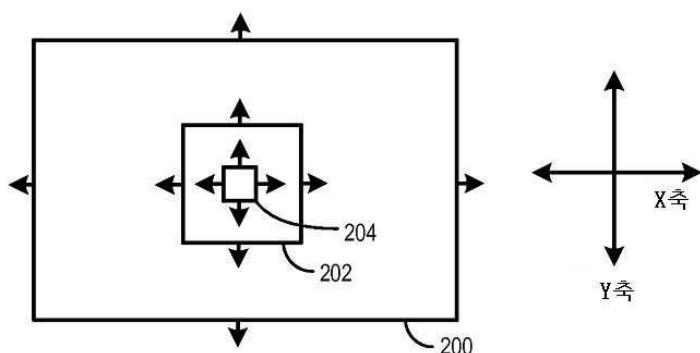
[0059] 본 발명의 기본적인 원리로부터 벗어나는 일 없이 위에서 기재된 실시형태들의 상세에 대해서 많은 변화가 이루어질 수 있다는 것을 당업자라면 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 범위는 단지 이하의 청구범위에 의해서만 결정되어야 한다.

도면

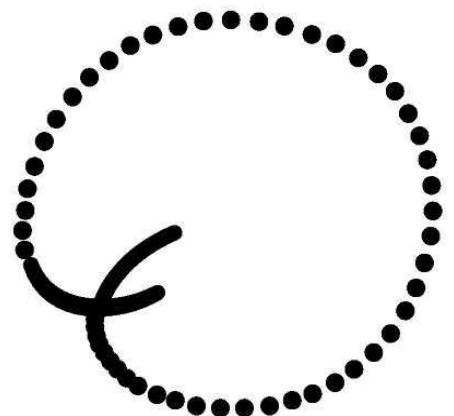
도면1



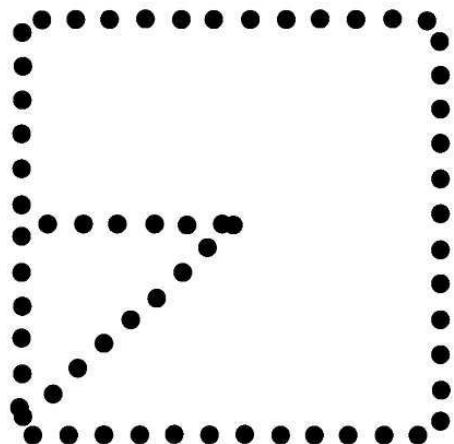
도면2



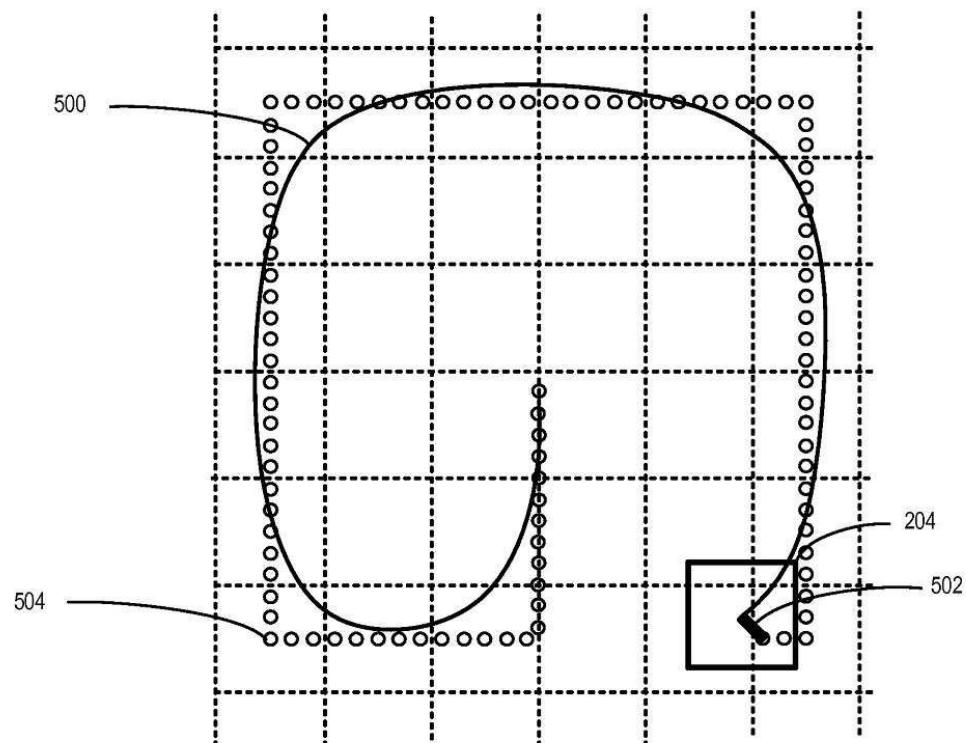
도면3



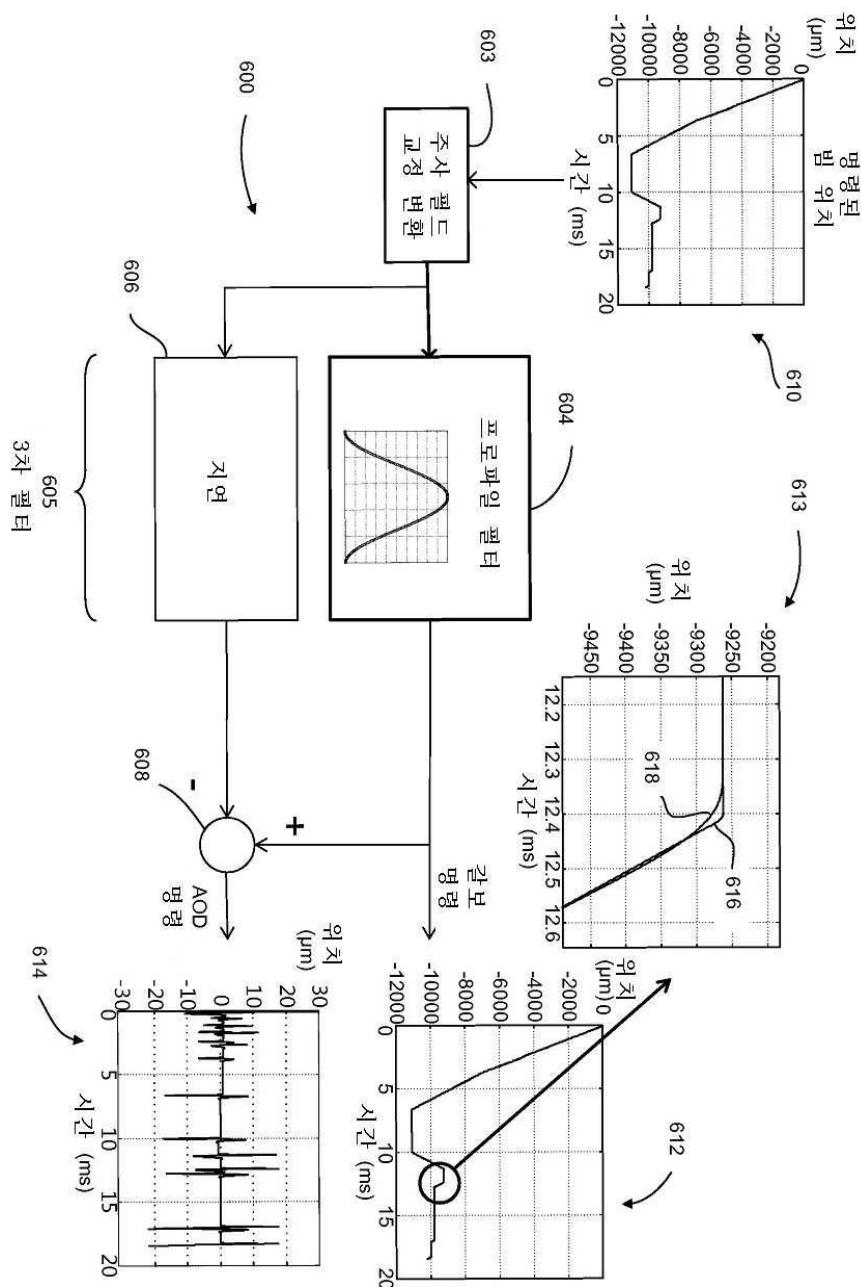
도면4



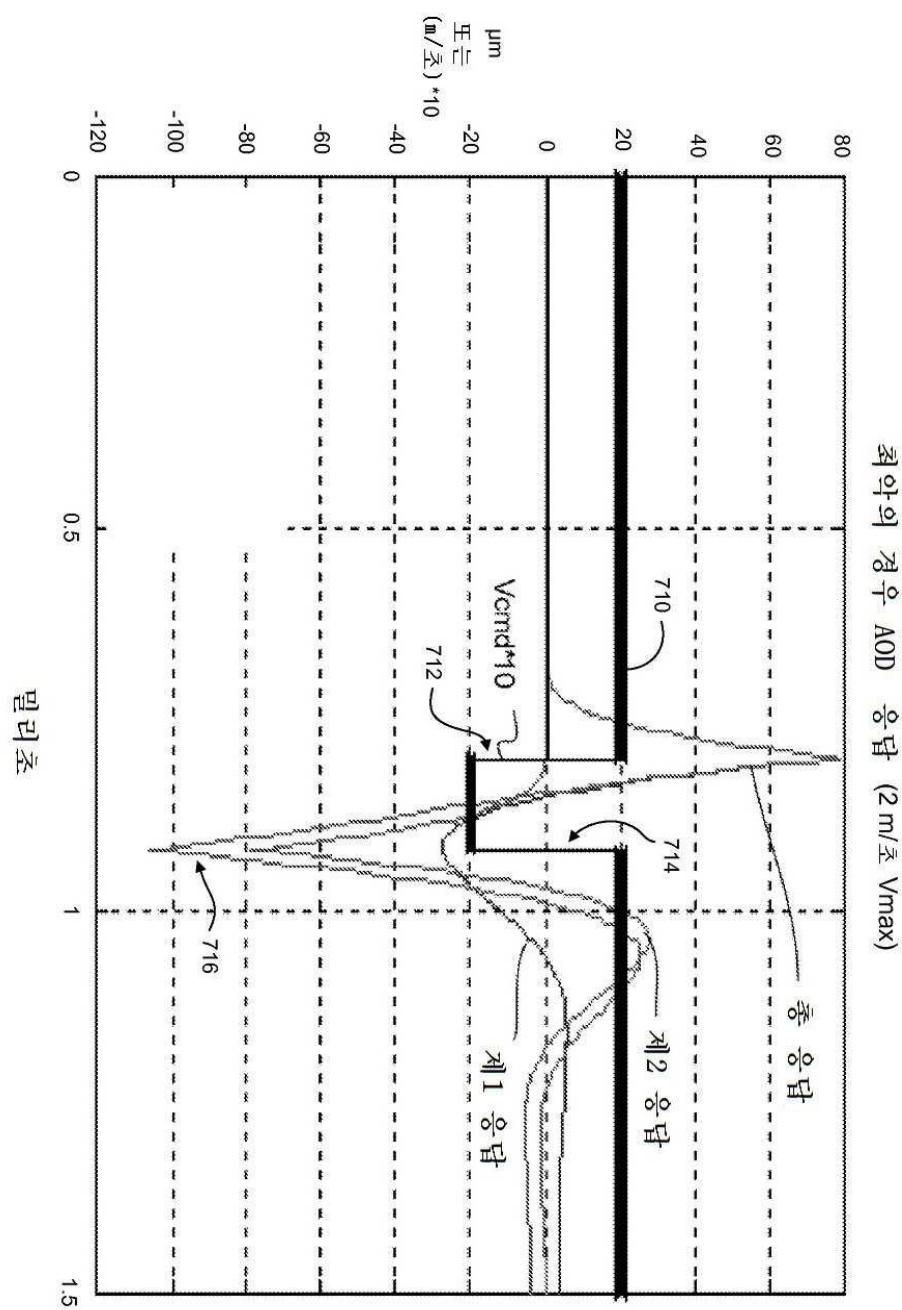
도면5



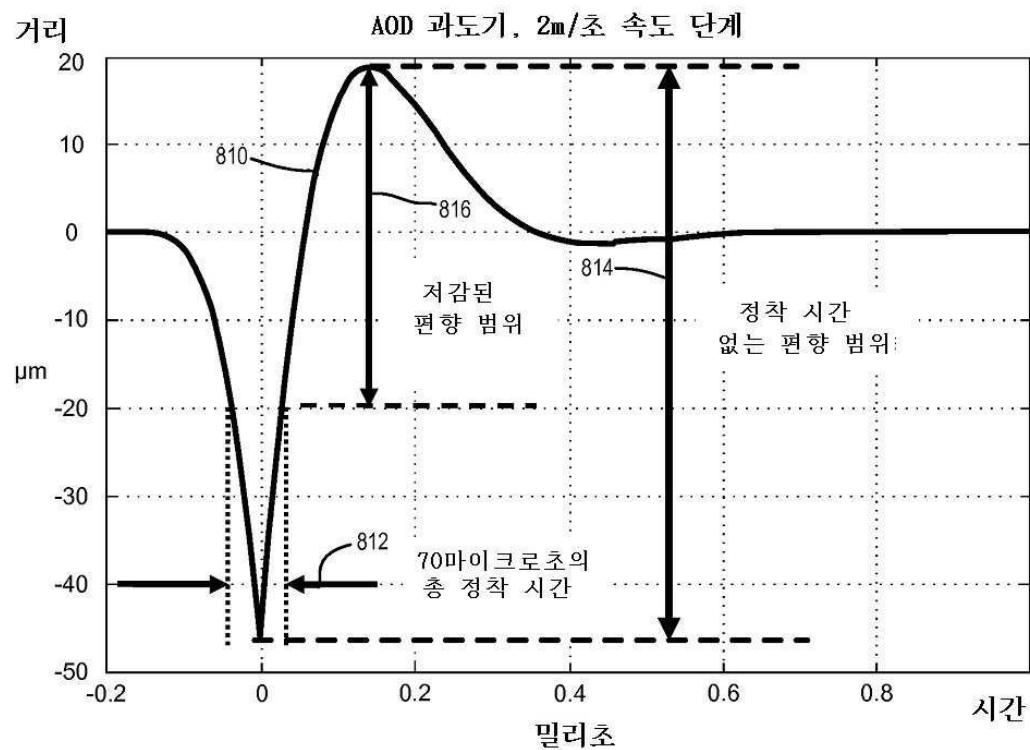
도면6



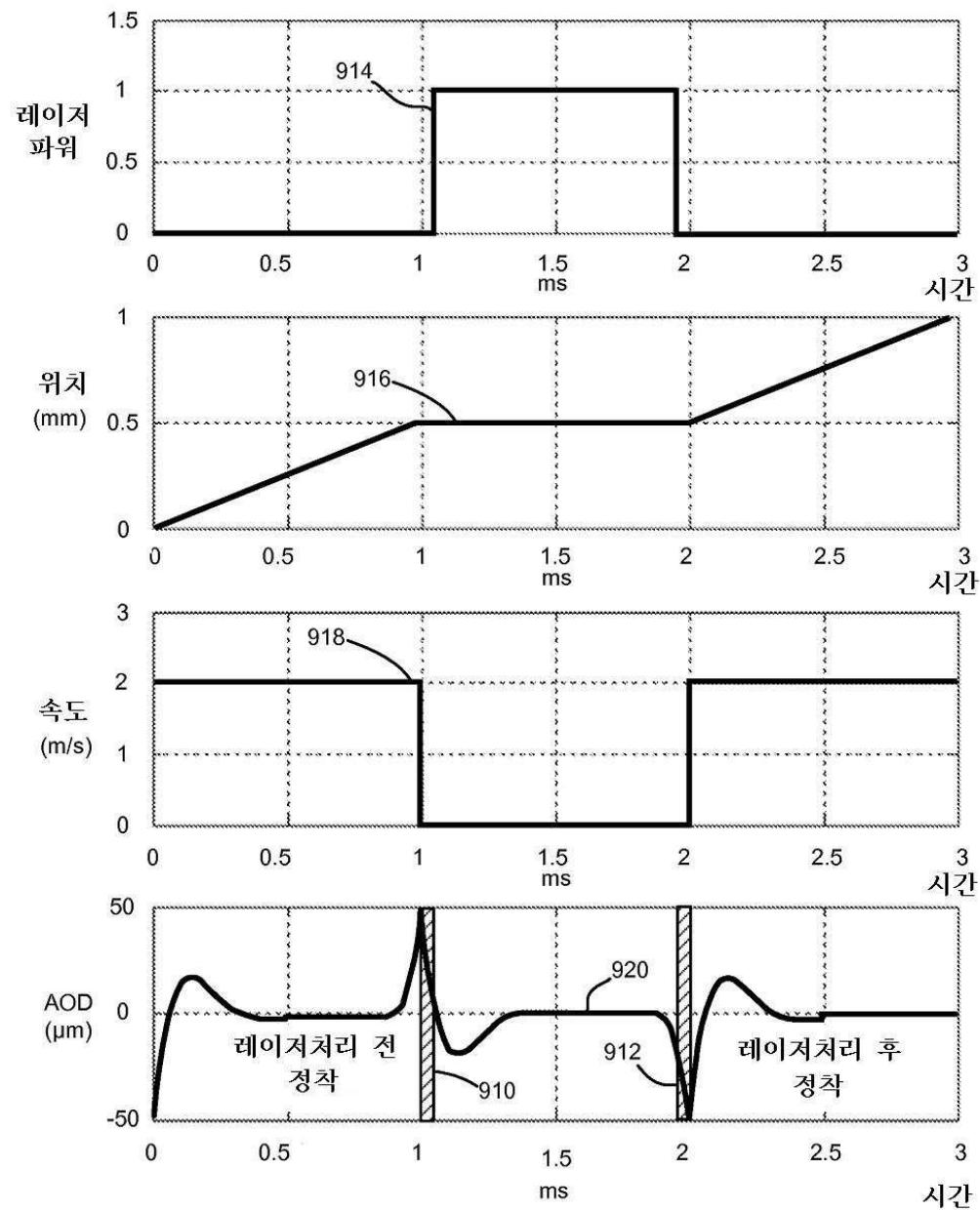
도면7



도면8



도면9



도면10

