(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0055353
(43) 공개일자 2008년06월19일

(51) Int. Cl.
H04N 5/225 (2006.01) *H04N 17/00* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2006-0128589
(22) 출원일자 2006년12월15일
심사청구일자 2006년12월15일

(71) 출원인
경상대학교산학협력단
경상남도 진주시 가좌동 900
(72) 발명자
김형범
경남 진주시 호탄동 631-5번지 한울타리빌라 402호
진 허츠버그
23 웬더린 웨이, 볼더, 콜로라도 80302 미국
(74) 대리인
이범일, 이세진

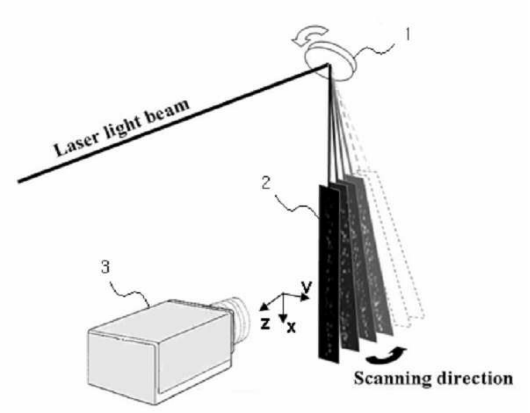
전체 청구항 수 : 총 2 항

(54) 평면 스캔 입자화상속도계 기법

(57) 요 약

본 발명은 평면 스캔 PIV 기법에 관한 것으로, 하나의 입자영상을 획득하기 위해서 회전 미러장치나 혹은 AOM같은 빔 스캔 장치만을 이용하여 레이저빔을 이동시켜 임의로 측정하고자 하는 특정 구간을 1~n개로 스캔하고 단일의 카메라로 대응되는 1~n개의 빔 스캔 영상을 동시에 획득하는 제 1 단계와 상기 제 1 단계 후 획득한 1~n개의 빔 스캔 영상을 부채꼴 또는 사각 형태의 2D 영상을 만들어 카메라의 영상기록면에 수직하는 평면(x, z)에서의 속도성분을 측정하는 제 2 단계를 포함하여 수행하는 것을 특징으로 하며, 하나의 카메라와 단순한 광학계를 이용하여 영상기록면에 수직인 평면에서의 속도를 측정할 수 있다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

하나의 입자영상을 획득하기 위해서 회전 미러장치나 혹은 AOM같은 빔 스캔 장치(1)만을 이용하여 레이저빔을 이동시켜 임의로 측정하고자 하는 특정 구간(2)을 1~n개로 스캔하고 단일의 카메라(3)로 대응되는 1~n개의 빔 스캔 영상을 동시에 획득하는 제 1 단계(ST1)와 상기 제 1 단계(ST1) 후 획득한 1~n개의 빔 스캔 영상을 부채꼴 또는 사각 형태의 2D 영상을 만들어 카메라의 영상기록면에 수직하는 평면(x, z)에서의 속도성분을 측정하는 제 2 단계(ST2)를 포함하여 수행하는 것을 특징으로 하는 평면 스캔 PIV 기법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 단계는 하나의 선으로 된 라인 영상(1차원 영상)만을 획득하게 되고 실제 레이저 빔은 원통형 구조로 되어있어, 이 하나의 선을 레이저 빔의 폭만큼 확장시켜 확장된 라인 영상을 획득하며, 다음에 획득한 라인 영상도 마찬가지로 폭을 확장시킨후 미리 설정된 겹침비에 따라 서로 겹친 후 이 과정을 획득한 모든 라인 영상에 반복적으로 적용해 전체 측정 구간의 재구성된 카메라의 영상기록면에 수직하는 2차원 영상을 얻게 되는 것을 특징으로 하는 평면 스캔 PIV 기법.

명 세 서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

<15> 본 발명은 평면 스캔 입자화상속도계(Particle Image Velocimetry, 이하 PIV라 함) 기법에 관한 것으로, 특히 단순한 구성만으로 영상기록면에 수직인 평면에서의 속도성분을 측정하기에 적당하도록 한 평면 스캔 PIV 기법에 관한 것이다.

<16> 일반적으로, 광학기술을 이용한 유동 해석은 주어진 유동의 전체적인 속도장 또는 온도장 변화를 순간적으로 측정할 수 있고, 또한 순간 속도장과 온도장 결과들을 통계 처리하여 난류구조를 정확하게 해석함으로써 난류유동 문제를 진단하고 유동제어에 필요한 정보를 제공할 수 있다.

<17> 또한, 입자화상속도계라고 불리는 속도 측정방법은 이러한 레이저 광학과 영상 처리기술을 이용한 대표적인 속도장 측정방법으로 산란입자에 의해 반사된 레이저광을 카메라에 담아 그 입자영상으로부터 알려진 시간간격(Δt)동안 움직인 입자의 변위를 구하는 방법으로 속도장을 측정할 수 있다.

<18> 또한, PIV측정기법은 1980년에 개발되어 현재까지 성능향상을 위한 연구가 계속 진행되고 있으며, 최근에는 고해상도 CCD 카메라와 PIV 전용 펄스 레이저를 도입함으로써, 측정 정확도와 속도측정범위(dynamic range)를 향상시켰고 난류유동 측정에 적합한 새로운 PIV 알고리즘(algorithm)도 계속 개발되고 있다.

<19> 종래의 PIV 기법은 도 6에서 보는 바와 같이 입자영상을 획득하기 위하여 레이저 빔이 광학장치(11)를 통과해 고정된 거울(12)에 반사되어 레이저 평면광(13)이 생성되고 산란입자가 들어있는 유체의 흐름(14)에서 상기 레이저 평면광(13)이 측정할 측정단면(15)을 조사하면, CCD 카메라의 영상획득렌즈(16)에 의해 그 영상이 영상기록면(17)에 기록되고 시간 t에서 기록된 입자와 시간 t+Δt에서 기록된 입자들을 사용하여 영상기록면에 평행한 평면(x, y)에서의 속도성분을 측정하였다.

<20> 이와 같은 구성은 PIV 기법의 장점이라고 할 수 있는 스냅샷(snapshot)영상획득을 가능하게 하였다. 즉, 레이저와 동기된 카메라는 순간적으로 동일 시간에 레이저 평면광이 조사된 측정 단면 내 유동 전체의 입자영상을 획득하여 저장한다. 또한 도 7에 도시된 바와 같이, 레이저의 발광시간 간격을 짧게 하고 카메라의 노출시간을 조정하는 기법(frame straddling)을 이용하여 고속유동측정도 가능하게 되었다.

<21> 도 7에서 F1, F2는 F첫번째와 두번째 레이저 발광시간, I1, I2는 첫번째와 두번째 영상의 노출시간, T1은 첫번째 영상의 노출시간, T2는 첫번째 영상의 저장시간 및 Δt는 두 레이저 발광사이의 시간간격을 나타낸다.

<22> 일반적인 입자화상속도계는 일정한 시간간격(Δt)을 갖는 두개의 영상속에 촬영된 입자의 상대적인 변위를 측정한 후, 시간간격으로 나누어 속도를 측정하는 방법이 사용되었다.

<23> 우선 영상이 획득될 때, 카메라에 주어진 정해진 노출시간인 I1, I2라는 시간동안 카메라의 셔터가 열려있고 그 동안의 빛이 저장되며, 상기 노출시간은 입자의 움직임보다 상대적으로 길기때문에 I1, 또는 I2 시간동안 계속해서 입자영상이 저장된다면 이 입자영상은 하나의 점을 표시하는 대신에 길게 궤적을 그리게 된다.

<24> 이렇게 되면 입자화상을 이용한 속도계는 속도를 측정할 수 없으므로, 이를 극복하기 위해서 위에 F1과 F2로 표시된 시간에만 레이저를 발광하여 그 순간의 입자 영상만을 기록하여 속도측정에 사용하며 나머지 노출시간동안에는 빛이 없기 때문에 저장되는 영상이 없다.

<25> 즉, I1의 노출시간동안 입자가 움직인 궤적대신에 첫번째 레이저 발광시간인F1에서의 입자의 위치가 저장되고, 마찬가지로 두번째 레이저 발광시간인 I2의 노출시간동안 F2에서의 입자 영상이 카메라에 의해 저장된다. 따라서 두 장의 입자영상은 레이저 발광시간의 차이인 Δt 동안 이동한 입자의 변위 정보를 담게 된다.

<26> 이러한 장점을 가지고 지금까지 개발되어 사용하고 있는 모든 광학 PIV 기법은 이러한 평행면 구성으로 입자영상을 획득하고 있다.

<27> 그러나 이러한 구성은 실험실과 같이 측정 대상 및 조건을 쉽게 조절할 수 있는 경우에는 문제가 없지만, 산업현장 등의 실제 유체관련 문제에서 측정을 할 경우 많은 어려움이 있다. 예를 들어 엔진의 실린더 내부, 터빈이나 압축기 등의 유동측정과 같은 내부유동실험이나 수중이나 대기유동과 같은 외부유동을 측정하고자 할 때, 측정단면과 영상기록단면을 평행으로 하는 구성을 만들기는 매우 어렵다. 이는 순간 속도장을 비접촉식으로 정확히 측정할 수 있는 PIV 기법의 응용분야를 제한하는 결과를 낳았다.

<28> 이와 함께 기존의 PIV 구성에서 영상기록면의 수직방향 속도를 측정하기 위해서는 다수의 카메라나 복잡한 광학계 등이 필요하고 이는 PIV 기법의 사용을 어렵게 하는 또 하나의 문제점이 되었다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<29> 이에 본 발명은 상기와 같은 종래 문제점을 해결하기 위해 발명된 것으로, 단순한 구성으로 영상 기록면에 수직인 평면에서의 속도성분을 측정하는 평면 스캔 PIV 기법을 제공함에 그 목적이 있다.

발명의 구성 및 작용

<30> 이하 본 발명의 실시예를 첨부된 도면에 의하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

<31> 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 평면 스캔 PIV 기법을 설명하기 위한 개략도이며, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 평면 스캔 PIV 기법의 흐름도이다.

<32> 도 1에 도시된 바와 같이, 레이저 빔이 빔 스캔장치(1)를 통해서 측정하고자 하는 부분의 단면인 측정구간(2)을 스캔한 후 그 영상은 카메라(3)를 통해 얻어진다.

<33> 또한, 도 2에 도시된 바와 같이, 하나의 입자영상을 획득하기 위해서 회전 미러장치나 혹은 AOM같은 빔 스캔장치(1)만을 이용하여 레이저빔을 이동시켜 임의로 측정하고자 하는 특정 구간(2)을 1~n개로 스캔하고 단일의 카메라(3)로 대응되는 1~n개의 빔 스캔 영상을 동시에 획득하는 제 1 단계(ST1)와 상기 제 1 단계(ST1) 후 획득한 1~n개의 빔 스캔 영상을 부채꼴 또는 사각 형태의 2D 영상을 만들어 카메라의 영상기록면에 수직하는 평면(x, z)에서의 속도성분을 측정하는 제 2 단계(ST2)를 포함한다.

<34> 도 3은 본 발명의 일 실시예에 의한 평면 스캔 기법의 두 종류를 설명하기 위한 개략도이다.

<35> 도 3에 도시된 바와 같이, 레이저 빔이 측정구간(2)을 스캔하는 두 가지 방법이 있다. 첫 번째는 회전 미러(rotating mirror)장치나 혹은 AOM(acoustic optic module)등의 빔 스캔장치(beam stirring device)(1)만을 이용하여 레이저빔을 이동시킨다. 이 경우, 최종적으로 구성된 2 차원 영상은 초음파 영상에서 부채꼴 스캔(sector scan) 프로브를 이용한 것과 같이 파이(pie)형태를 얻게 된다. 두 번째는 빔 스캔장치에 비축 포물경(off axis parabolic mirror)(4)을 함께 사용할 경우에 최종적으로 구성된 2차원 영상은 초음파의 선형(linear)프로브를 사용한 것과 같이 사각형태의 평면영상을 얻게 된다.

<36> 도 4는 본 발명의 일 실시예에 의한 2D 영상을 재구성하는 과정을 나타낸 개략도이다.

<37> 구체적으로 하나의 빔영상으로부터 2D 영상을 만드는 방법을 설명하면 다음과 같다. 우선 하나의 레이저 빔 영

상을 라인스캔(line scan)이나 면 스캔(area scan)카메라 등을 이용하여 획득한다. 일반적으로 라인스캔 카메라의 초당 영상획득률(frame rate)이 빠르기 때문에 고속 유동의 측정에 유리하다.

<38> 도 4에 도시된 바와 같이, 라인스캔 카메라로부터 획득된 영상을 기준으로 설명하면 하나의 선으로 된 라인 영상(1차원 영상)만을 획득하게 된다. 실제 레이저 빔은 원통형 구조로 가정할 수 있으므로 이 하나의 선을 레이저 빔의 폭만큼 확장시켜 확장된 라인 영상을 획득하며, 다음에 획득한 라인 영상도 마찬가지로 폭을 확장시킨 후 미리 설정된 겹침비에 따라 서로 겹친다. 이 과정을 획득한 모든 라인 영상에 반복적으로 적용해 전체 측정 구간에서 재구성된 2차원 영상을 얻게 된다.

<39> 이러한 라인 스캔 방식의 이미지 획득방법에서는, 기존의 광학 PIV 기법과 같이 레이저의 두 펄스(pulse)사이의 발광시간을 바꿈으로써 두 장의 입자영상 사이의 시간간격(Δt)을 조절할 수 없다.

<40> 도 5는 본 발명의 일 실시예에 의한 평면 스캔 기법의 타이밍을 나타낸 개략도이다.

<41> 도 5에서 l1, l2는 첫번째와 두번째 영상의 노출시간, Δt는 스캔 시간을 n은 레이저 빔이 이동하면서 측정구간을 스캔한 수를 나타낸다.

<42> 도시된 바와 같이, 본 발명의 평면 스캔 PIV 기법은 하나의 입자영상을 획득하기 위해서 빔으로 측정 구간을 1~n개로 스캔하며, 이 스캔하는 시간(Δt)이 두 입자영상사이의 시간간격이 된다. 이것은 두번째 영상의 1번 위치의 입자 영상은 첫번째 입자영상의 총 n개로 스캔하는 데 걸린 시간(Δt)후에 다시 저장됨을 의미한다.

<43> 또한, 측정구간의 크기변화가 입자영상 사이의 시간간격에 영향을 준다는 것을 또한 알 수 있다. 즉, 측정구간이 커지면 측정구간을 스캔하는 레이저 빔 수가 증가하고 스캔 시간이 늘어나는 효과를 가져온다. 이는 PIV 기법의 속도측정범위(dynamic range)가 획득된 입자영상의 크기와 반비례함을 의미한다.

<44> 본 발명의 평면 스캔 PIV 기법에서 사용될 광원은 종래 PIV 기법과 달리 실린더형의 렌즈를 사용한 평면광을 사용하지 않고 단일 레이저 빔을 그대로 사용한다. 이는 고가의 고출력 레이저를 사용하지 않고 낮은 파워의 레이저로도 PIV 측정이 가능하고 이는 현장에서의 적용성을 높일 수 있다.

<45> 또한, 평면 스캔 기법을 통해 획득된 입자영상은 기존의 입자 추적 속도계나 PIV 기법과 유사한 속도추적 알고리즘을 사용하여 속도장 결과를 얻는다. 이러한 본 발명의 평면 스캔 PIV 기법은 종래 PIV 기법이 사용될 수 없는 실제 환경에서 매우 우수한 속도장 측정 방법이 될 것이다.

<46> 본 발명의 평면 스캔 PIV 기법의 성능 최적화를 위하여 컴퓨터로 모사된 영상을 이용하여 측정결과에 영향을 주는 변수들에 대한 연구를 수행하였다.

<47> 우선, 32x32x128(pixel) 공간의 임의의 위치에 입자를 배열시키고 강체회전을 모사하여 입자의 위치를 변경시켰다. 최적화 연구를 위해 선택한 변수는 입자 크기, 입자 수, 그리고 빔 겹침비(overlapping ratio)이다.

<48> 빔 폭은 공간해상도를 결정하는 중요한 변수로서 b로 나타내고, 이 빔 폭을 기준으로 위의 변수값들을 결정하였다. 본 연구에서는 빔 폭의 크기는 8pixel 로 정하고 연구를 수행하였다.

<49> 입자의 크기는 각각, 0.25b(2 pixel), 0.38b(3 pixel), 0.5b(4 pixel)를 사용하였고 겹침비는 0.25b, 0.5b, 0.75b, 0.875b 를 선택하였다. 겹침비는 레이저 빔 영상으로부터 2D영상을 만들 때, 이웃한 빔간의 겹침정도를 나타낸다.

<50> 도 4의 확장된 라인 영상에서 보이는 바와 같이, 파이 모양의 스캔 기법에서는 빔의 진행방향으로 겹침비가 달라진다. 즉, 측정면의 위쪽으로 갈수록 겹침비는 선택된 겹침비보다 더 커지게 된다. 본 연구에서는 측정단면의 가장 아래쪽의 겹침비를 변수로 결정하였다. 입자수는 가상공간 안에서 만들어진 입자수를 의미하고 본 연구에서는 각각 400, 600, 800 그리고 1000개의 입자수 변화를 연구하였다.

<51> 최적화 연구에 사용된 매개변수에 따른 속도측정 결과는 하기의 [표 1]에 나타내었다.

표 1. 매개변수들에 따른 스캔 PIV기법의 성공도 (○:성공,X:실패)

		Particle number															
		400				600				800				1000			
Overlapping ratio (%)		87.5	75	50	25	87.5	75	50	25	87.5	75	50	25	87.5	75	50	25
Particle diameter (×w)	0.25	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×
	0.375	○	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	0.5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

<52>

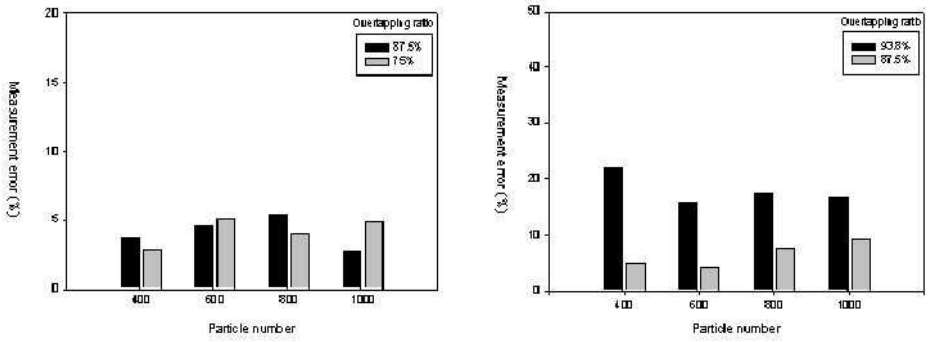
<53> 스캔 PIV 기법의 성공 및 실패는 정량적 결과에 상관없이 정성적으로 모사된 회전유동과 유사한 속도결과를 얻게 되면 측정 성공으로 가정하고 속도벡터의 정성적 추출에 실패하면 X로 표시하였다.

<54> 본 결과로부터 겹침비가 50% 이하인 경우, 다른 매개변수들의 값에 상관없이 속도를 추출하는데 모두 실패하였다. 이는 스캔 PIV 의 성능에 가장 큰 영향을 주는 요소가 빔 겹침비임을 의미한다.

<55> 다음으로 속도 추출의 정확성에 영향을 주는 요소는 입자의 크기로 입자가 커질수록 입자간의 겹침도 증가하여 속도추출의 정확성이 떨어졌다. 상대적으로 입자수의 변화는 결과에 영향을 주지 않았다. 이는 본 연구에서 사용된 입자수의 범위가 측정에 영향을 주는 입자수 영역에 아직 포함되는 않았기 때문으로 입자수 변화를 더 크게 주어 입자수 범위의 극한값을 찾을 필요성이 있다.

<56> 이러한 정성적인 결과를 바탕으로 입자의 크기는 0.25b 이고 겹침비가 87.5%과 75%일 때의 오차비를 정량적으로 비교하였다. 여기서 겹침비의 빔 진행방향으로의 변화를 고려하여 회전축으로부터 가장 먼 쪽과 측정영역의 중간부분으로 각각 나누어 오차분석을 실시하였으며 그 결과를 하기의 [그래프 1]에 나타내었다.

<57> [그래프 1] 겹침수와 입자수에 따른 측정오차 비교



(a) 측정 단면 하단부 (b) 측정 단면 중단부

<58>

<59> [그래프 1]에서 (a)는 측정단면의 가장 아래쪽에서의 오차비교이다. 결과로부터 비교대상인 겹침비와 입자수에 상관없이 약 3에서 5%의 오차를 가짐을 보여준다.

<60> 또한, (b)는 과겹침 효과(oversampling)를 관찰하기 위하여 측정단면의 중앙부에서의 오차비교이며, 93.8%의 큰 겹침비를 가지면 오차가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다.

발명의 효과

<61> 이상에서와 같이 본 발명은 평면 스캔 PIV 기법을 사용함으로써, 평행구성이 불가능한 상황에서도 광학 PIV 기법의 사용이 가능하고 또한 단순한 광학시스템으로 영상기록면의 수직방향 속도를 쉽게 측정할 수 있는 효과가 있다.

<62> 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 한정하여 설명하였으나, 본 발명은 이에 한정되지 않고 다양한 변화와 변경 및 균등물을 사용할 수 있다. 따라서 본 발명은 상기 실시예를 적절히 변경하여 응용할 수 있고, 이러한

응용도 하기 특허청구범위에 기재된 기술적 사상을 바탕으로 하는 한 본 발명의 권리범위에 속하게 됨은 당연하다 할 것이다.

도면의 간단한 설명

<1> 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 평면 스캔 PIV 기법을 설명하기 위한 개략도이다.

<2> 도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 평면 스캔 PIV 기법의 흐름도이다.

<3> 도 3은 본 발명의 일 실시예에 의한 평면 스캔 기법의 두 종류를 설명하기 위한 개략도이다.

<4> 도 4는 본 발명의 일 실시예에 의한 2D 영상을 재구성하는 과정을 나타낸 개략도이다.

<5> 도 5는 본 발명의 일 실시예에 의한 평면 스캔 기법의 타이밍을 나타낸 개략도이다.

<6> 도 6은 종래의 광학 PIV 기법을 나타낸 개략도이다.

<7> 도 7은 종래의 광학 PIV의 스캔 타이밍을 나타낸 개략도이다.

<8> -도면의 주요부분에 대한 부호의 설명-

<9> 1 : 빔 스캔 장치 2 : 측정구간

<10> 3 : 카메라 4 : 비축 포물경

<11> 11 : 광학장치 12 : 거울

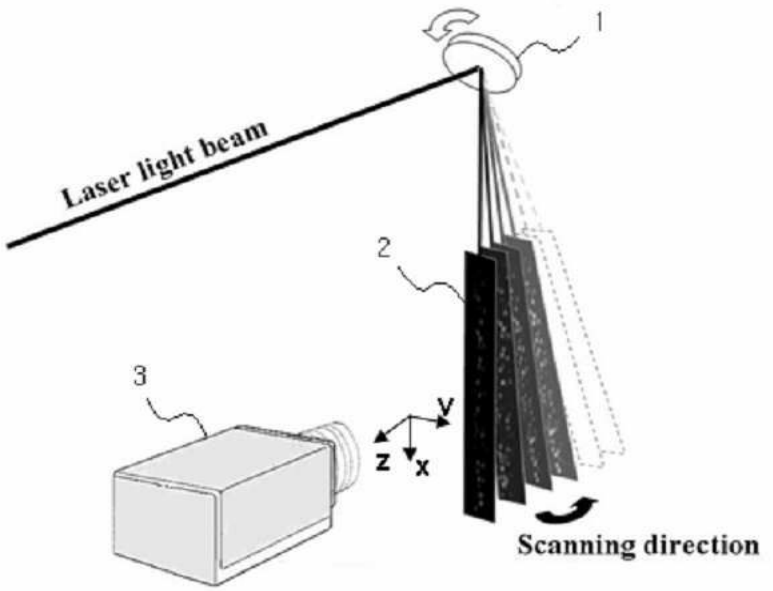
<12> 13 : 레이저 평면광 14 : 유체 흐름

<13> 15 : 측정단면 16 : 영상획득렌즈

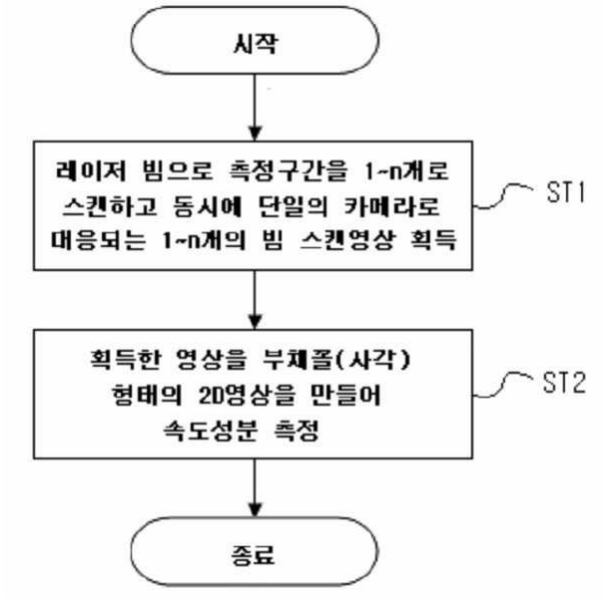
<14> 17 : 영상기록면

도면

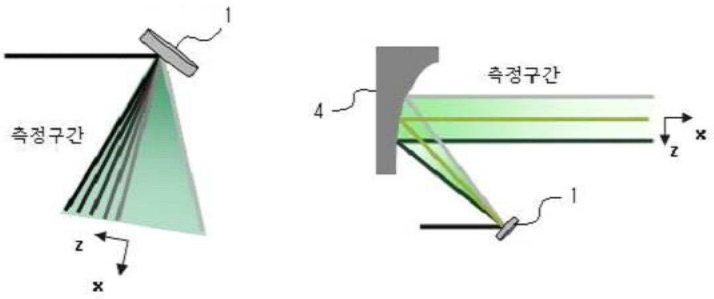
도면1



도면2

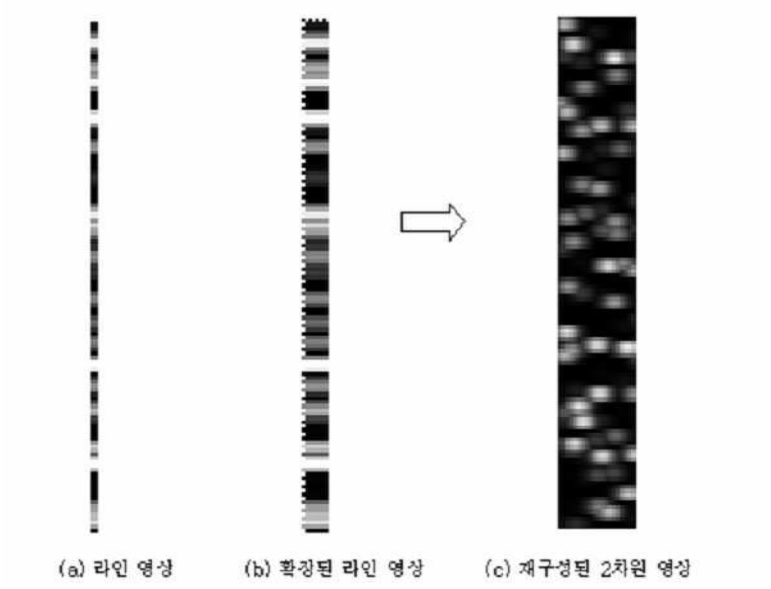


도면3

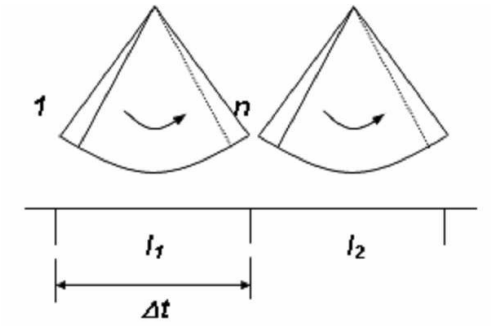


파이모양 스캔 선형 스캔

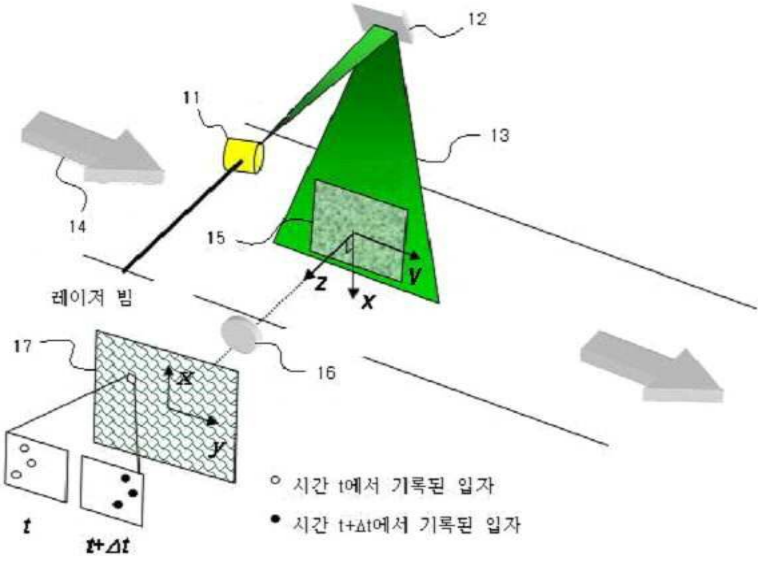
도면4


(a) 라인 영상
(b) 확장된 라인 영상
(c) 재구성된 2차원 영상

도면5


1
n
l_1
l_2
Δt

도면6


12
11
13
14
15
레이저 빔
z
y
x
17
16
x
y
t
t+Δt
○ 시간 t에서 기록된 입자
● 시간 t+Δt에서 기록된 입자

도면7

