



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년01월11일  
(11) 등록번호 10-1817441  
(24) 등록일자 2018년01월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01N 21/47 (2006.01) G01N 21/01 (2006.01)  
G01N 3/56 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G01N 21/4788 (2013.01)  
G01N 21/01 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2016-0125816  
(22) 출원일자 2016년09월29일  
심사청구일자 2016년09월29일  
(56) 선행기술조사문헌  
JP2008209233 A  
KR1020100099040 A  
JP2015031623 A  
US06563129 B1

(73) 특허권자  
울산과학기술원  
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50  
단국대학교 천안캠퍼스 산학협력단  
충청남도 천안시 동남구 단대로 119, 단국대학교 천안캠퍼스내(안서동)  
한국건설기술연구원  
경기도 고양시 일산서구 고양대로 283 (대화동)  
(72) 발명자  
마르코 토볼  
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50  
김세환  
경기도 용인시 수지구 진산로 90, 511동 1403호  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
특허법인 무한

전체 청구항 수 : 총 19 항

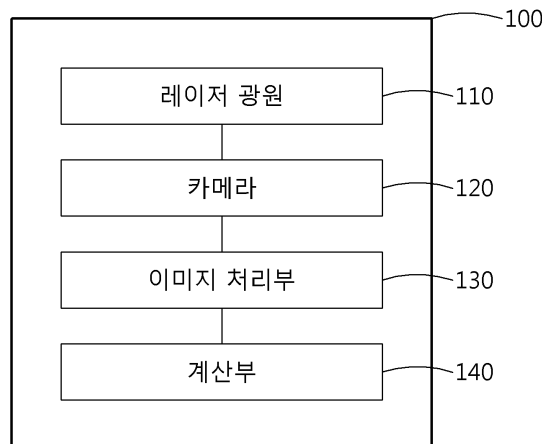
심사관 : 조병주

(54) 발명의 명칭 구조물의 노후도 모니터링 장치 및 방법

(57) 요약

일실시예에서, 구조물 노후도 모니터링 장치는 대상 객체에 대한 복수의 프레임의 스펙클 이미지에 대하여 각 프레임 내의 대상 객체 상에 하나 이상의 클러스터를 형성하는 이미지 처리부, 및 상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위를 계산하는 계산부를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

**G01N 3/56** (2013.01)

G01N 2021/479 (2013.01)

(72) 발명자

**이상윤**

경기도 고양시 일산서구 하이파크3로 61, 413동  
1605호

**송재준**

서울특별시 영등포구 여의동로3길 10, 301동 3104  
호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345247475

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 이공학개인지초연구지원

연구과제명 GPGPU 기반 병렬연산을 이용한 사회기반시설물의 실시간 신뢰성 해석 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 울산과학기술원

연구기간 2016.05.01 ~ 2017.04.30

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

대상 객체에 대한 복수의 프레임의 스펙클 이미지에 대하여 각 프레임 내의 대상 객체 상에 하나 이상의 클러스터를 형성하는 이미지 처리부; 및

상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위를 계산하는 계산부

를 포함하는, 구조물 노후도 모니터링 장치.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 이미지 처리부는 상기 각 프레임 내의 적어도 하나의 픽셀에 대한 스펙클 플로우 값에 기초하여 상기 대상 객체 상에 상기 하나 이상의 클러스터를 형성하는,

구조물 노후도 모니터링 장치.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 이미지 처리부는 상기 각 프레임 내의 적어도 하나의 픽셀에 대한 스펙클 콘트라스트 값을 계산하고, 상기 적어도 하나의 픽셀에 대한 스펙클 콘트라스트 값에 기초하여 상기 적어도 하나의 픽셀에 대한 스펙클 플로우 값을 계산하는,

구조물 노후도 모니터링 장치.

#### 청구항 4

제2항에 있어서,

상기 이미지 처리부는 상기 스펙클 플로우 값에 기초하여 상기 적어도 하나의 픽셀을 클러스터화하여 상기 하나 이상의 클러스터를 형성하는,

구조물 노후도 모니터링 장치.

#### 청구항 5

제2항에 있어서,

상기 이미지 처리부는 k-평균 알고리즘을 이용하여 상기 하나 이상의 클러스터를 형성하는,

구조물 노후도 모니터링 장치.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 계산부는 상기 하나 이상의 클러스터의 중심점의 프레임 간 변위를 이용하여 상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위를 계산하는,

구조물 노후도 모니터링 장치.

#### 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 계산부는 상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위에 대한 푸리에 변환을 이용하여 상기 대상 객체의

진동 주파수를 획득하는,  
구조물 노후도 모니터링 장치.

#### 청구항 8

제7항에 있어서,  
상기 계산부는 상기 대상 객체의 진동 주파수를 상기 대상 객체의 고유 주파수와 비교하여 상기 대상 객체의 노후도를 결정하는,  
구조물 노후도 모니터링 장치.

#### 청구항 9

대상 객체에 레이저를 조사하는 레이저 광원;  
상기 대상 객체에 대한 복수의 프레임의 스펙클 이미지를 획득하는 카메라;  
대상 객체에 대한 복수의 프레임의 스펙클 이미지에 대하여 각 프레임 내의 대상 객체 상에 하나 이상의 클러스터를 형성하는 이미지 처리부; 및  
상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위를 계산하는 계산부  
를 포함하는,  
구조물 노후도 모니터링 시스템.

#### 청구항 10

대상 객체에 대한 복수의 프레임의 스펙클 이미지에 대하여 각 프레임 내의 대상 객체 상에 하나 이상의 클러스터를 형성하는 단계; 및  
상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위를 계산하는 단계  
를 포함하는,  
구조물 노후도 모니터링 방법.

#### 청구항 11

제10항에 있어서,  
상기 하나 이상의 클러스터를 형성하는 단계는,  
상기 각 프레임 내의 적어도 하나의 픽셀에 대한 스펙클 플로우 값에 기초하여 상기 대상 객체 상에 상기 하나 이상의 클러스터를 형성하는 단계를 포함하는,  
구조물 노후도 모니터링 방법.

#### 청구항 12

제11항에 있어서,  
상기 하나 이상의 클러스터를 형성하는 단계는,  
상기 각 프레임 내의 적어도 하나의 픽셀에 대한 스펙클 콘트라스트 값을 계산하는 단계; 및  
상기 적어도 하나의 픽셀에 대한 스펙클 콘트라스트 값에 기초하여 상기 적어도 하나의 픽셀에 대한 스펙클 플로우 값을 계산하는 단계  
를 더 포함하는,  
구조물 노후도 모니터링 방법.

#### 청구항 13

제11항에 있어서,

상기 하나 이상의 클러스터를 형성하는 단계는,

상기 스펙클 플로우 값에 기초하여 상기 적어도 하나의 픽셀을 클러스터화하여 상기 하나 이상의 클러스터를 형성하는,

구조물 노후도 모니터링 방법.

#### 청구항 14

제11항에 있어서,

상기 하나 이상의 클러스터를 형성하는 단계는,

k-평균 알고리즘을 이용하여 상기 하나 이상의 클러스터를 형성하는,

구조물 노후도 모니터링 방법.

#### 청구항 15

제10항에 있어서,

상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위를 계산하는 단계는,

상기 하나 이상의 클러스터의 중심점의 프레임 간 변위를 이용하여 상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위를 계산하는,

구조물 노후도 모니터링 방법.

#### 청구항 16

제10항에 있어서,

상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위에 대한 푸리에 변환을 이용하여 상기 대상 객체의 진동 주파수를 획득하는 단계

를 더 포함하는,

구조물 노후도 모니터링 방법.

#### 청구항 17

제16항에 있어서,

상기 대상 객체의 진동 주파수를 상기 대상 객체의 고유 주파수와 비교하여 상기 대상 객체의 노후도를 결정하는 단계

를 더 포함하는,

구조물 노후도 모니터링 방법.

#### 청구항 18

제10항에 있어서,

상기 대상 객체에 레이저를 조사하는 단계; 및

상기 대상 객체에 대한 복수의 프레임의 스펙클 이미지를 획득하는 단계

를 더 포함하는, 구조물 노후도 모니터링 방법.

#### 청구항 19

구조물 노후도 모니터링 방법을 실행하는 프로그램을 수록한 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 있어서, 상기 프로그램은:

대상 객체에 대한 복수의 프레임의 스펙클 이미지에 대하여 각 프레임 내의 대상 객체 상에 하나 이상의 클러스터를 형성하는 단계; 및

상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위를 계산하는 단계

를 포함하는, 컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 구조물의 노후도 모니터링하는 장치 및 방법에 연관되며, 보다 구체적으로는 레이저 스펙클 이미지를 이용하여 비접촉 방식으로 구조물의 상태를 진단하는 장치 및 방법에 연관된다.

### 배경 기술

[0003] 건축 및 토목 분야에서, 구조물의 노후도를 모니터링하는 기술은 매우 중요하다. 구체적으로, 건축물 기타 구조물의 상태 및 손상 정도를 신뢰성 있는 방식으로 진단하거나 예측하는 기술은 건축물의 안전성을 담보하기 위하여 필수적이라 할 수 있다.

[0004] 레이저 스펙클 이미지를 이용한 진단 방식은 비접촉 및 비침습적으로 이루어진다는 장점이 있다. 레이저 스펙클 이미지를 이용한 진단 방식은 주로 생화학 분야에서 다양한 파라미터를 모니터링하는 데 주로 이용되었다.

[0005] 이러한 레이저 스펙클 이미지를 이용한 진단 방식의 이미지 프로세싱 알고리즘을 개선하여 구조물의 노후도를 모니터링하는 기술에 적용함으로써, 구조물 상태 진단에 요구되는 인력 및 비용을 현저하게 감소시킬 수 있다.

### 발명의 내용

#### 과제의 해결 수단

[0007] 일측에 따르면, 구조물 노후도 모니터링 장치는 대상 객체에 대한 복수의 프레임의 스펙클 이미지에 대하여 각 프레임 내의 대상 객체 상에 하나 이상의 클러스터를 형성하는 이미지 처리부, 및 상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위를 계산하는 계산부를 포함한다.

[0008] 일실시예에서, 상기 이미지 처리부는 상기 각 프레임 내의 적어도 하나의 픽셀에 대한 스펙클 플로우 값을 기초하여 상기 대상 객체 상에 상기 하나 이상의 클러스터를 형성한다.

[0009] 일실시예에서, 상기 이미지 처리부는 상기 각 프레임 내의 적어도 하나의 픽셀에 대한 스펙클 콘트라스트 값을 계산하고, 상기 적어도 하나의 픽셀에 대한 스펙클 콘트라스트 값에 기초하여 상기 적어도 하나의 픽셀에 대한 스펙클 플로우 값을 계산한다.

[0010] 일실시예에서, 상기 이미지 처리부는 상기 스펙클 플로우 값에 기초하여 상기 적어도 하나의 픽셀을 클러스터화하여 상기 하나 이상의 클러스터를 형성한다.

[0011] 일실시예에서, 상기 이미지 처리부는 k-평균 알고리즘을 이용하여 상기 하나 이상의 클러스터를 형성한다.

[0012] 일실시예에서, 상기 계산부는 상기 하나 이상의 클러스터의 중심점의 프레임 간 변위를 이용하여 상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위를 계산한다.

[0013] 일실시예에서, 상기 계산부는 상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위에 대한 푸리에 변환을 이용하여 상기 대상 객체의 진동 주파수를 획득한다.

[0014] 일실시예에서, 상기 계산부는 상기 대상 객체의 진동 주파수를 상기 대상 객체의 고유 주파수와 비교하여 상기 대상 객체의 노후도를 결정한다.

[0015] 다른 일측에 따르면, 구조물 노후도 모니터링 시스템은 대상 객체에 레이저를 조사하는 레이저 광원, 상기 대상 객체에 대한 복수의 프레임의 스펙클 이미지를 획득하는 카메라, 대상 객체에 대한 복수의 프레임의 스펙클 이미지에 대하여 각 프레임 내의 대상 객체 상에 하나 이상의 클러스터를 형성하는 이미지 처리부, 및 상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위를 계산하는 계산부를 포함한다.

- [0016] 다른 일측에 따르면, 구조물 노후도 모니터링 방법은 대상 객체에 대한 복수의 프레임의 스펙클 이미지에 대하여 각 프레임 내의 대상 객체 상에 하나 이상의 클러스터를 형성하는 단계, 및 상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위를 계산하는 단계를 포함한다.
- [0017] 일실시예에서, 상기 하나 이상의 클러스터를 형성하는 단계는, 상기 각 프레임 내의 적어도 하나의 픽셀에 대한 스펙클 플로우 값에 기초하여 상기 대상 객체 상에 상기 하나 이상의 클러스터를 형성하는 단계를 포함한다.
- [0018] 일실시예에서, 상기 하나 이상의 클러스터를 형성하는 단계는, 상기 각 프레임 내의 적어도 하나의 픽셀에 대한 스펙클 콘트라스트 값을 계산하는 단계, 및 상기 적어도 하나의 픽셀에 대한 스펙클 콘트라스트 값에 기초하여 상기 적어도 하나의 픽셀에 대한 스펙클 플로우 값을 계산하는 단계를 더 포함한다.
- [0019] 일실시예에서, 상기 하나 이상의 클러스터를 형성하는 단계는, 상기 스펙클 플로우 값에 기초하여 상기 적어도 하나의 픽셀을 클러스터화하여 상기 하나 이상의 클러스터를 형성한다.
- [0020] 일실시예에서, 상기 하나 이상의 클러스터를 형성하는 단계는, k-평균 알고리즘을 이용하여 상기 하나 이상의 클러스터를 형성한다.
- [0021] 일실시예에서, 상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위를 계산하는 단계는, 상기 하나 이상의 클러스터의 중심점의 프레임 간 변위를 이용하여 상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위를 계산한다.
- [0022] 일실시예에서, 구조물 노후도 모니터링 방법은 상기 하나 이상의 클러스터의 프레임 간 변위에 대한 푸리에 변환을 이용하여 상기 대상 객체의 진동 주파수를 획득하는 단계를 더 포함한다.
- [0023] 일실시예에서, 구조물 노후도 모니터링 방법은 상기 대상 객체의 진동 주파수를 상기 대상 객체의 고유 주파수와 비교하여 상기 대상 객체의 노후도를 결정하는 단계를 더 포함한다.
- [0024] 일실시예에서, 구조물 노후도 모니터링 방법은 상기 대상 객체에 레이저를 조사하는 단계, 및 상기 대상 객체에 대한 복수의 프레임의 스펙클 이미지를 획득하는 단계를 더 포함한다.

### 도면의 간단한 설명

- [0026] 도 1은 일실시예에 따른 구조물 노후도 모니터링 시스템의 부분 블록도이다.
- 도 2는 일실시예에 따른 구조물 노후도 모니터링 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- 도 3은 일실시예에 따른 구조물 노후도 모니터링 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4는 일실시예에 따른 구조물 노후도 모니터링 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5는 일실시예에 따른 구조물 노후도 모니터링 방법의 모니터링 결과를 설명하기 위한 그래프이다.
- 도 6은 일실시예에 따른 구조물 노후도 모니터링 방법의 모니터링 결과를 설명하기 위한 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0027] 실시예들에 대한 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 예시를 위한 목적으로 개시된 것으로서, 다양한 형태로 변경되어 실시될 수 있다. 따라서, 실시예들은 특정한 개시형태로 한정되는 것이 아니며, 본 명세서의 범위는 기술적 사상에 포함되는 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.
- [0028] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 이런 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 해석되어야 한다. 예를 들어, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.
- [0029] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.
- [0030] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 설명된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함으로써 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0031] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 해당 기술

분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

- [0032] 이하에서, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나, 권리범위는 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0034] 도 1은 일실시예에 따른 구조물 노후도 모니터링 시스템의 부분 블록도이다. 일실시예에서, 구조물 노후도 모니터링 시스템(100)은 레이저 광원(110), 카메라(120), 이미지 처리부(130) 및 계산부(140)를 포함할 수 있다.
- [0035] 일실시예에서, 레이저 광원(110)은 모니터링하고자 하는 대상 객체에 레이저 광을 조사하는 데 이용될 수 있다. 레이저 광원(110)은 구조물 노후도 모니터링 시스템의 내부에 포함될 수도 있고, 별도의 외부 장치로 제공될 수도 있다. 레이저 광원(110)은 스펙클 이미지 생성을 위하여 가간섭성의 광을 생성하는 임의의 다른 장치로 치환될 수 있다.
- [0036] 일실시예에서, 카메라(120)는 대상 객체에 대한 복수의 프레임의 스펙클 이미지를 획득하는 데 이용될 수 있다. 카메라(120)는 구조물 노후도 모니터링 시스템의 내부에 포함될 수도 있고, 별도의 외부 장치로 제공될 수도 있다. 카메라(120)는 복수의 프레임의 스펙클 이미지를 획득할 수 있는 센서 또는 검출기 등의 다른 장치로 치환될 수 있다.
- [0037] 이미지 처리부(130)는 카메라(120)에 의해 획득된 대상 객체에 대한 복수의 프레임의 스펙클 이미지에 대하여 각 프레임별 연산을 수행하는 데 이용될 수 있다. 예를 들어, 이미지 처리부(130)는 각 프레임 내의 픽셀에 대한 스펙클 콘트라스트 값 및 스펙클 플로우 값을 계산하는 동작을 수행할 수 있다. 또한, 이미지 처리부(130)는 각 프레임 내의 대상 객체 상에 클러스터를 형성하는 동작을 수행할 수 있다. 이미지 처리부(130)의 구체적인 동작은 아래에서 도 2 내지 도 4를 참조하여 더 상세하게 설명된다.
- [0038] 계산부(140)는 이미지 처리부(130)에 의해 처리된 데이터를 이용하여 프레임 간 연산을 수행하는 데 이용될 수 있다. 예를 들어, 계산부(140)는 이미지 처리부(130)에 의해 형성된 각 프레임 내의 클러스터 및 그 중심점을 기준으로 클러스터의 프레임 간 변위를 계산하고, 클러스터의 프레임 간 변위에 대한 고속 푸리에 변환을 수행하고, 고속 푸리에 변환의 결과로부터 대상 객체의 진동 주파수를 획득하는 동작을 수행할 수 있다. 또한, 계산부(140)는 대상 객체의 진동 주파수를 대상 객체의 고유 주파수와 비교하여 대상 객체의 노후도를 결정하는 동작을 수행할 수 있다. 계산부(140)의 구체적인 동작은 아래에서 도 2 내지 도 4를 참조하여 더 상세하게 설명된다.
- [0040] 도 2는 일실시예에 따른 구조물 노후도 모니터링 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 도 2에 도시된 구조물 노후도 모니터링 방법은 예를 들어 도 1의 구조물 노후도 모니터링 시스템을 이용하여 수행될 수 있다.
- [0041] 단계(210)에서, 레이저 광원을 이용하여 노후도를 모니터링하고자 하는 대상 객체에 레이저 광을 조사할 수 있다. 가간섭성의 레이저 광이 대상 객체에 조사되면 레이저 광이 대상 객체의 표면에서 산란되어 스펙클 패턴을 형성할 수 있다.
- [0042] 단계(220)에서, 카메라를 이용하여 대상 객체에 대한 복수의 프레임의 스펙클 이미지를 획득할 수 있다. 단계(210)에서 조사된 레이저 광으로 인하여 형성된 대상 객체에 대한 레이저 스펙클 패턴을 카메라로 촬영하여 스펙클 이미지를 획득할 수 있다. 스펙클 이미지의 획득은 카메라 대신 센서 또는 검출기를 이용하여 수행될 수도 있다.
- [0043] 단계(230)에서, 획득된 스펙클 이미지의 각 프레임 내의 픽셀에 대한 스펙클 콘트라스트 값을 계산할 수 있다. 움직이는 대상 객체의 동적 스펙클 패턴은 각 프레임 상에서 픽셀 이동으로서 식별될 수 있고, 대상 객체의 반사면이 블러링(blurring)되는 정도를 나타내는 스펙클 콘트라스트 C는 예를 들어 아래의 수학적 식과 같이 정의될 수 있다.

### 수학식 1

$$C \equiv \frac{\sigma_I}{\langle I \rangle}$$

[0045]

[0047]

여기서,  $\langle I \rangle$  는 픽셀 윈도우 내의 스펙클 강도의 평균을 의미하고,  $\sigma_I$  는 제한된 픽셀 집합의 표준 편차를 의미한다. 상대적으로 작은 스펙클 콘트라스트 값은 대상 객체의 프레임 간 움직임의 정도가 크다는 것을 의미한다. 반대로, 상대적으로 큰 스펙클 콘트라스트 값은 대상 객체의 프레임 간 움직임의 정도가 작거나 움직임이 없다는 것을 의미한다.

[0048]

한편, 스펙클 강도의 확률 밀도는 음의 지수 분포(negative exponential distribution)에 따르기 때문에, 정지해 있는 스펙클 입자의 스펙클 콘트라스트 값은 1 이 된다. 스펙클 강도의 확률 밀도  $p(I)$  를 수식으로 표현하면 아래의 수학식 2와 같다.

### 수학식 2

$$p(I) = \frac{1}{\langle I \rangle} e^{-\frac{I}{\langle I \rangle}}, I \geq 0$$

[0050]

[0052]

단계(240)에서, 단계(230)을 통해 계산된 스펙클 콘트라스트 값에 기초하여 스펙클 이미지의 각 프레임 내의 픽셀에 대한 스펙클 플로우 값을 계산할 수 있다. 스펙클의 플로우 속도를 정량화하기 위하여, 카메라의 노출 시간이 고려되어야 한다. 카메라의 노출 시간을  $T$  라고 할 때, 스펙클 플로우 값은 예를 들어 아래의 수학식 3과 같이 정의될 수 있다.

### 수학식 3

$$SFI(i, j) = \frac{1}{\tau_c} = \frac{1}{TC(i, j)^2}$$

[0054]

[0056]

여기서,  $C(i, j)$  는 좌표  $(i, j)$ 에서의 스펙클 콘트라스트 값을 의미하고,  $SFI(i, j)$  는 좌표  $(i, j)$ 에서의 스펙클 플로우 값을 의미한다.

[0057]

단계(250)에서, 단계(240)을 통해 계산된 스펙클 플로우 값에 기초하여 각 프레임 내의 대상 객체 상에 클러스터를 형성할 수 있다. 스펙클 플로우 값 자체만으로는 대상 객체의 프레임 간 변위를 예측할 수 있는 기준이 되는 노드를 결정할 수 없으므로, 각 프레임 내의 대상 객체 상에 클러스터를 형성하여 이를 가상 노드로 간주할 수 있다.

[0058]

각 프레임 내의 대상 객체 상에 클러스터를 형성하기 위한 클러스터링 알고리즘으로는 예를 들어 k-평균 알고리즘이 적용될 수 있다. k-평균 알고리즘은 주어진 데이터를 k개의 클러스터로 묶는 알고리즘으로, 각 클러스터와 거리 차이의 분산을 최소화하는 방식으로 동작한다. 구체적으로, k-평균 알고리즘은 데이터 오브젝트들을

각 집합 내 오브젝트 간 응집도를 최대화 하는 k 개의 집합  $S_i$ 로 분할한다. 이를 수식으로 표현하면 아래의 수식 4와 같다.

#### 수학식 4

$$\arg \min_S \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} \|x - \mu_i\|^2$$

[0060]

[0062]

여기서,  $x$ 는 각 픽셀에 대응하는 개별 데이터를 의미하고,  $\mu_i$ 는 집합  $S_i$ 의 중심점을 의미한다.

[0063]

이와 같이 k-평균 알고리즘을 이용하여, 각 프레임 내의 대상 객체 상에 하나 이상의 클러스터를 형성할 수 있으며, 클러스터는 대상 객체의 프레임 간 변위를 예측할 수 있는 기준이 되는 가상 노드로서 이용된다.

[0064]

단계(260)에서, 클러스터의 중심점의 프레임 간 위치 이동을 식별하여 클러스터의 중심점의 프레임 간 변위를 계산할 수 있다. 단계(250)에서 각 클러스터의 중심점이 설정되므로 각 프레임에서 클러스터의 중심점을 식별함으로써 클러스터의 중심점의 프레임 간 변위를 얻을 수 있다. 이러한 방식으로 획득된 클러스터의 중심점의 변위를 클러스터의 프레임 간 변위로 간주할 수 있다. 이 때, 클러스터의 프레임 간 변위는 시간 영역 상에서의 데이터의 형태를 가진다.

[0065]

단계(270)에서, 단계(260)을 통해 계산된 클러스터의 프레임 간 변위에 대하여 고속 푸리에 변환을 수행할 수 있다. 단계(260)에서 정규화된 클러스터의 프레임 간 변위가 획득되는 경우 주파수 영역 성분분리(frequency domain decomposition)를 위하여 고속 푸리에 변환을 수행할 수 있다. 클러스터의 프레임 간 변위에 대한 고속 푸리에 변환의 결과는 주파수 영역에서의 데이터의 형태를 가진다. 이러한 주파수 영역에서의 데이터로부터, 피크와 같은 특이점 검출을 통해 촬영된 스펙클 이미지에 기초한 대상 객체의 진동 주파수를 획득할 수 있다.

[0066]

단계(280)에서, 단계(270)에서 획득된 대상 객체의 진동 주파수를 대상 객체의 고유 주파수와 비교하여 대상 객체의 노후도를 결정할 수 있다. 대상 객체의 고유 주파수는 노후되지 않은 양호한 상태의 구조물이 가질 것으로 예상되는 주파수 값으로, 미리 측정 또는 예측되어 저장될 수 있다. 예를 들어, 대상 객체의 진동 주파수가 대상 객체의 고유 주파수와 근접한 값을 가질수록, 구조물의 상태가 양호한 것으로 판단될 수 있다. 객체의 노후도는 등급 형식 또는 수치 형식을 포함하는 임의의 적합한 형식에 따라 결정될 수 있다.

[0068]

도 3은 일실시예에 따른 구조물 노후도 모니터링 방법을 설명하기 위한 도면이다. 도 3에는 스펙클 콘트라스트 값을 계산하는 과정의 일부가 예시적으로 도시되어 있다.

[0069]

도 3에 도시된 예에서는, 대상 픽셀(310)의 스펙클 콘트라스트 값을 계산하기 위하여 7X7 크기의 픽셀 윈도우(320)가 이용될 수 있다. 대상 픽셀(310)의 스펙클 콘트라스트 값은 수학식 1에 나타나는 바와 같이 픽셀 윈도우(320) 내의 스펙클 강도의 평균 값을 이용하여 계산될 수 있다.

[0070]

위에서도 설명된 바와 같이, 상대적으로 작은 스펙클 콘트라스트 값은 대상 객체의 프레임 간 움직임의 정도가 크다는 것을 의미한다. 반대로, 상대적으로 큰 스펙클 콘트라스트 값은 대상 객체의 프레임 간 움직임의 정도가 작거나 움직임이 없다는 것을 의미한다.

[0072]

도 4는 일실시예에 따른 구조물 노후도 모니터링 방법을 설명하기 위한 도면이다. 도 4에는 스펙클 콘트라스트 값에 기초하여 스펙클 플로우 값을 계산하는 과정의 일부가 예시적으로 도시되어 있다.

[0073]

도 4에 도시된 예에서는, 7X7 크기의 픽셀 윈도우를 이용하여 스펙클 콘트라스트 값이 계산되기 때문에, 원본 스펙클 이미지 최외곽 3개의 픽셀 라인의 경우 유효한 스펙클 콘트라스트 값을 얻을 수 없다. 따라서, 각 픽셀(410) 별로 수학식 3에 따라 스펙클 플로우 값을 계산하는 경우 최외곽 3개의 픽셀 라인을 제외한 영역(420)에 대하여 스펙클 플로우 값을 계산할 수 있다.

[0075]

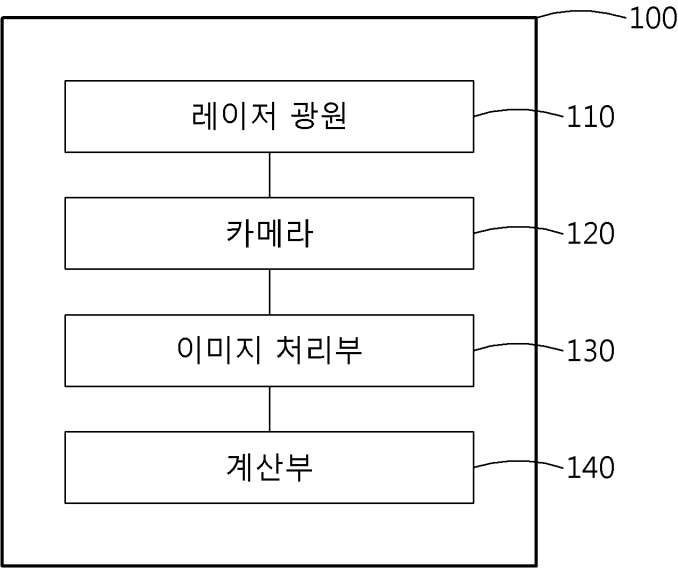
도 5는 일실시예에 따른 구조물 노후도 모니터링 방법의 모니터링 결과를 설명하기 위한 그래프이다. 도 5에는 구조물 노후도 모니터링 방법에 따라 계산된 대상 객체의 프레임 간 변위가 예시적으로 도시되어 있다.

- [0076] 도 5에 도시된 그래프는 예를 들어, 도 2의 구조물 노후도 모니터링 방법의 단계(260)에서와 같이 클러스터의 중심점의 프레임 간 위치 이동을 식별하여 클러스터의 중심점의 프레임 간 변위를 계산한 결과일 수 있다. 이러한 클러스터의 중심점의 프레임 간 변위는 다른 방식으로 분석 및 처리될 수도 있으나, 여기에서는 주파수 영역에서의 분석을 위하여 고속 푸리에 변환될 수 있다.
- [0078] 도 6은 일실시예에 따른 구조물 노후도 모니터링 방법의 모니터링 결과를 설명하기 위한 그래프이다. 도 6에는 구조물 노후도 모니터링 방법에 따라 획득된 클러스터의 프레임 간 변위에 대한 주파수 영역 성분분석이 예시적으로 도시되어 있다.
- [0079] 도 6에 도시된 그래프는 예를 들어, 도 2의 구조물 노후도 모니터링 방법의 단계(270)에서와 같이 계산된 클러스터의 프레임 간 변위에 대하여 고속 푸리에 변환을 수행한 결과일 수 있다. 클러스터의 프레임 간 변위에 대한 고속 푸리에 변환의 결과로부터, 피크와 같은 특이점 검출을 통해 촬영된 스펙클 이미지에 기초한 대상 객체의 진동 주파수를 획득할 수 있으며, 이는 위에서 설명된 바와 같이 대상 객체의 노후도 결정에 있어 중요한 요소가 될 수 있다.
- [0081] 이상에서 설명된 실시예들은 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치, 방법 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.
- [0082] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.
- [0083] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0084] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다. 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의

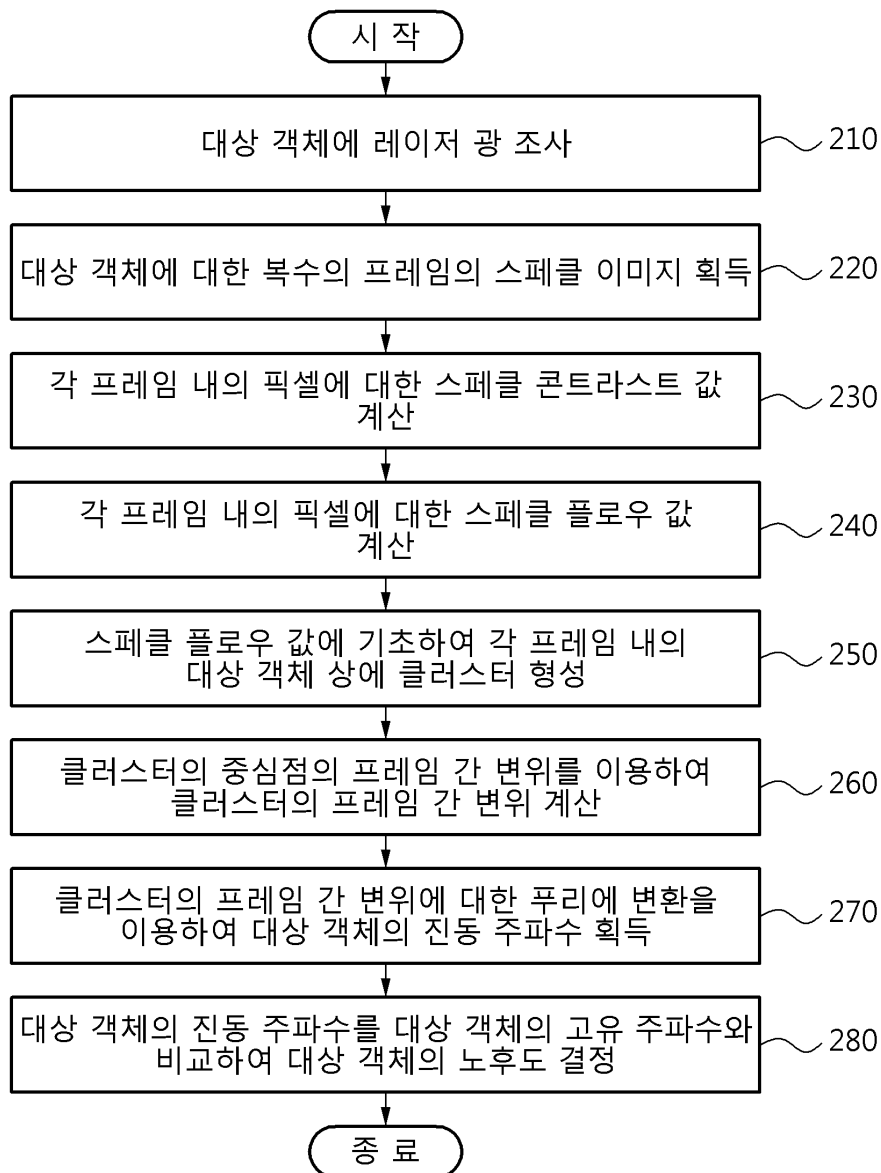
범위에 속한다.

도면

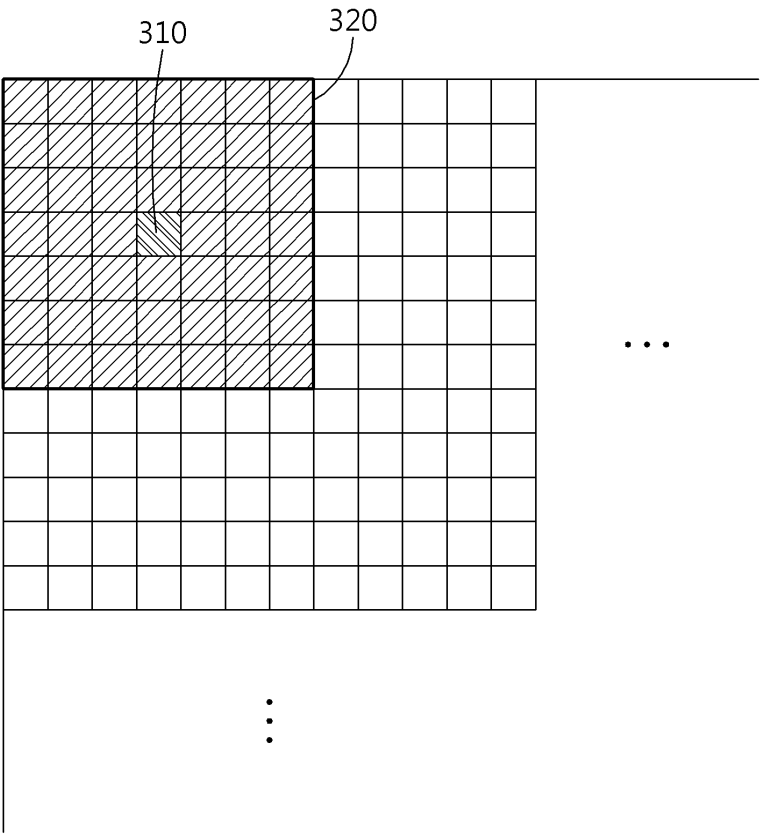
도면1



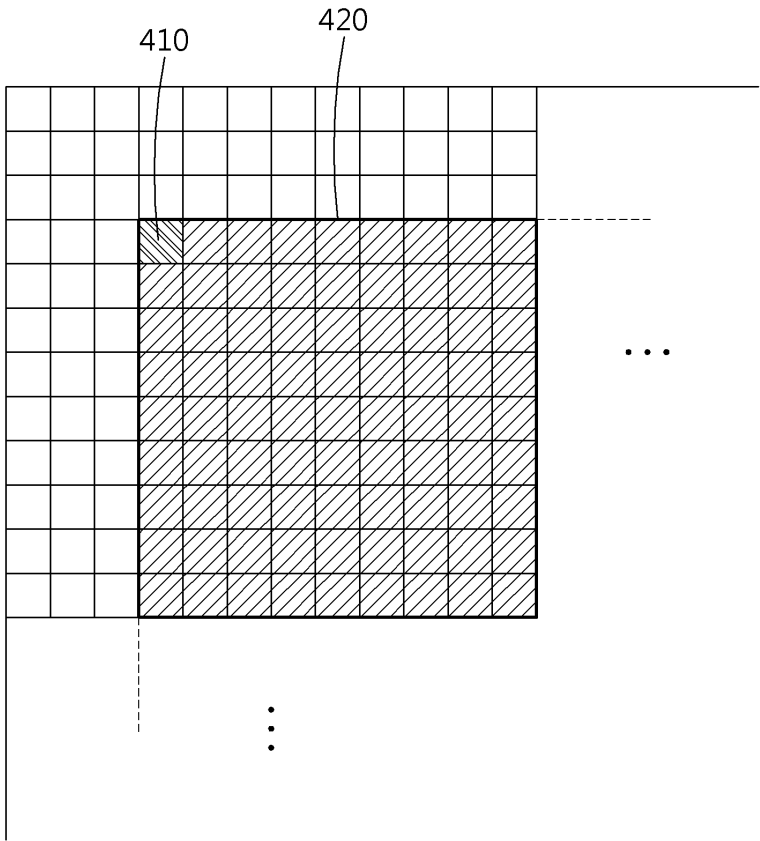
도면2



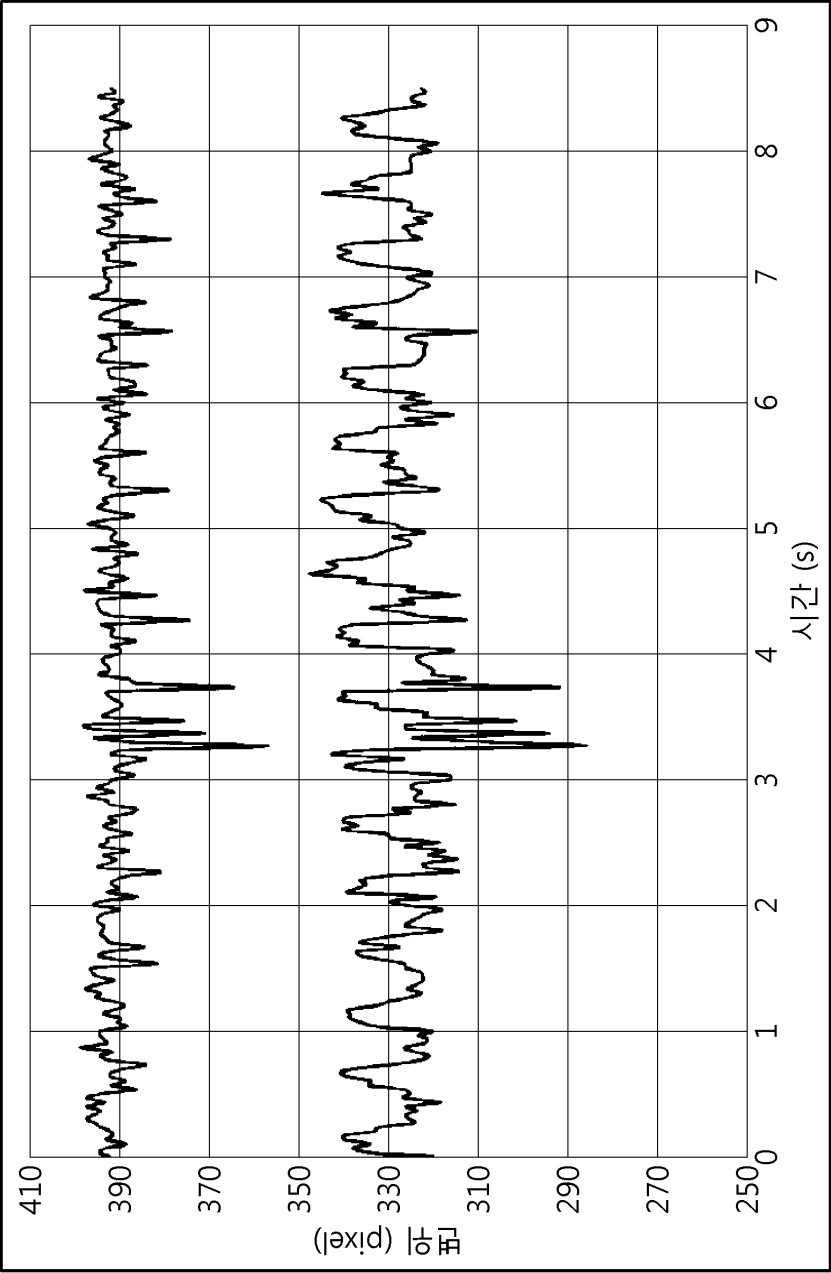
도면3



도면4



도면5



도면6

