



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년11월10일
 (11) 등록번호 10-0925724
 (24) 등록일자 2009년11월02일

(51) Int. Cl.
 G01C 7/06 (2006.01) G01B 11/00 (2006.01)
 G01B 11/30 (2006.01) G06F 19/00 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2007-0017864
 (22) 출원일자 2007년02월22일
 심사청구일자 2007년02월22일
 (65) 공개번호 10-2008-0078167
 (43) 공개일자 2008년08월27일
 (56) 선행기술조사문헌
 KR100640000 B1*
 JP2004053293 A
 JP09284749 A
 KR1020010079120 A
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 한국철도기술연구원
 경기도 의왕시 월암동 360-1
 (72) 발명자
 사공 명
 경기 의왕시 월암동 360-1
 이준석
 경기 의왕시 월암동 360-1
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
 김국진

전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 김명찬

(54) 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 시설물 검측 장치 및 그방법과 그를 이용한 터널 관리 시스템 및 그 방법

(57) 요약

1. 청구범위에 기재된 발명이 속한 기술분야

본 발명은 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 시설물 검측 장치 및 그 방법과 그를 이용한 터널 관리 시스템 및 그 방법에 관한 것임.

2. 발명이 해결하려고 하는 기술적 과제

본 발명은 3차원 레이저 스캐너를 활용하여 특히 터널 내부 등을 스캐닝한 후, 스캐닝 데이터로부터 터널내 콘크리트 라이닝 부분과 터널내 부착된 시설물(전차선로, 레일, 파이프라인 등)을 분리하고, 이렇게 분리된 데이터를 이용하여 터널내 시설물의 상태변화 및 유지보수 여부를 결정할 수 있는, 시설물 검측 장치 및 그 방법과, 그를 이용한 터널 관리 시스템 및 그 방법을 제공하는데 그 목적이 있음.

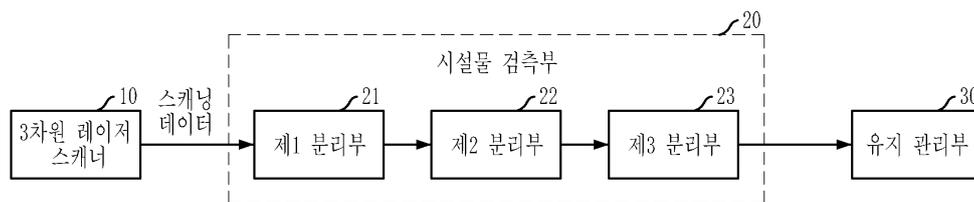
3. 발명의 해결방법의 요지

본 발명은, 시설물 검측 장치에 있어서, 레이저 스캐너에 의해 프로파일(profile) 방식으로 기 촬영된 스캐닝 데이터를 반사강도의 분포 특성에 따라, 각 프로파일 내에서 라이닝 부분과 시설물 부분으로 분리하기 위한 제1 분리수단; 상기 제1 분리수단에 의해 분리된 시설물이 존재하는 스캐닝 데이터에서, 반사강도의 광학적 특성과 시설물의 위치에 따른 기하학적 특성을 이용하여 시설물을 분리 및 제거하기 위한 제2 분리수단; 및 상기 제2 분리수단에 의해 시설물이 분리된 스캐닝 라이닝 데이터 전체 프로파일을 세그먼트별로 기준이 되는 면을 형성하여, 이 면을 기준으로 남아 있는 시설물 및/또는 손상부위를 분리하기 위한 제3 분리수단을 포함한다.

4. 발명의 중요한 용도

본 발명은 터널내 시설물의 상태변화 및 유지보수 여부를 결정하는 등에 이용됨.

대표도 - 도2



(72) 발명자

윤정숙

인천 남구 용현동 인하대학교 4호관 312호

이규성

인천 남구 용현동 인하대학교 4호관 308호

특허청구의 범위

청구항 1

시설물 검측 장치에 있어서,

빛의 속도와 시간과의 관계를 통하여 거리를 측정하는 Time-of-Flight 방식을 사용하여 레이저 광선이 반사되어 돌아오는 지점의 3차원 좌표와 그 지점의 반사강도를 기록하는 레이저 스캐너에 의해 프로파일(profile) 방식으로 기 촬영된 스캐닝 데이터를 반사강도에 따라, 각 프로파일 내에서 라이닝 부분과 시설물 부분으로 분리하기 위한 제1 분리수단;

상기 제1 분리수단에 의해 분리된 시설물이 존재하는 스캐닝 데이터에서, 터널의 라이닝과 시설물의 반사강도가 다르게 나타나는 광학적 특성과 터널의 라이닝과 시설물의 위치에 따른 스캐닝 데이터의 분포에 따른 기하학적 특성을 이용하여 시설물을 분리 및 제거하기 위한 제2 분리수단; 및

상기 제2 분리수단에 의해 시설물이 분리된 스캐닝 라이닝 데이터 전체 프로파일을 세그먼트별로 기준이 되는 면을 형성하여, 이 면을 기준으로 남아 있는 시설물 및 손상부위를 분리하기 위한 제3 분리수단

을 포함하는 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 시설물 검측 장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 시설물 검측 장치는,

터널내 상태변화 및 유지보수 여부를 결정하는데 이용되는 것을 특징으로 하는 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 시설물 검측 장치.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 스캐닝 데이터는,

공간적 위치를 나타내는 터널의 폭(수평방향)(X), 터널의 높이(수직방향)(Y), 터널의 축(스캐너의 이동방향)(Z)에 관한 좌표값(X,Y,Z)과, 광학적 정보인 반사강도(intensity) 정보를 포함하는 것을 특징으로 하는 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 시설물 검측 장치.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 제2 분리수단은,

터널의 폭 방향(X축)과 높이 방향(Y축)의 상관관계를 이용하여 시설물이 존재하는 구간을 판단하되, 구간별 상관계수를 계산한 후 계수가 낮은 구간을 시설물이 존재하는 구간으로 구분하고, 그외의 구간은 시설물이 없는 것으로 판단하여 시설물을 탐지 및 분리하는 과정에서 제외하는 것을 특징으로 하는 스캐닝 데이터를 이용한 시설물 검측 장치.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 제2 분리수단은,

시설물이 있는 구간에 대해, 터널 라이닝과 시설물의 데이터를 명확히 구분할 수 있는 반사강도와 터널의 수평 방향(X축) 위치 정보를 이용하여 계산한 거리를 바탕으로, 터널 라이닝과 시설물을 분리하는 것을 특징으로 하

는 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 시설물 검측 장치.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제3 분리수단은,

터널의 라이닝이 성립하는 면을 기준으로 근접성을 바탕으로 터널의 라이닝 상에서 나타나는 시설물 또는 물리적인 손상부위나 균열을 탐지하는 것을 특징으로 하는 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 시설물 검측 장치.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 제3 분리수단을 통해, 시설물이 완전하게 분리된 라이닝만의 데이터와 시설물 또는 물리적인 손상으로 고려되는 데이터들로 분리되는 것을 특징으로 하는 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 시설물 검측 장치.

청구항 9

시설물 검측 방법에 있어서,

레이저 스캐너에 의해 프로파일(profile) 방식으로 기 촬영된, 공간적 위치를 나타내는 터널의 폭(수평방향)(X), 터널의 높이(수직방향)(Y), 터널의 축(스캐너의 이동방향)(Z)에 관한 좌표값(X,Y,Z)과, 광학적 정보인 반사강도(intensity) 정보를 포함하는 스캐닝 데이터를 반사강도에 따라, 각 프로파일 내에서 라이닝 부분과 시설물 부분으로 분리하는 제1 분리 단계;

상기 제1 분리 단계에 의해 분리된 시설물이 존재하는 스캐닝 데이터에서, 터널의 라이닝과 시설물의 반사강도가 다르게 나타나는 광학적 특성과 터널의 라이닝과 시설물의 위치에 따른 스캐닝 데이터의 분포에 따른 기하학적 특성을 이용하여 시설물을 분리 및 제거하는 제2 분리 단계; 및

상기 제2 분리 단계에 의해 시설물이 분리된 스캐닝 라이닝 데이터 전체 프로파일을 세그먼트별로 기준이 되는 면을 형성하여, 이 면을 기준으로 남아 있는 시설물 및 손상부위를 분리하는 제3 분리 단계

를 포함하는 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 시설물 검측 방법.

청구항 10

삭제

청구항 11

제 9 항에 있어서,

상기 제2 분리 단계에서는,

터널의 폭 방향(X축)과 높이 방향(Y축)의 상관관계를 이용하여 시설물이 존재하는 구간을 판단하며, 시설물이 있는 구간에 대해, 터널 라이닝과 시설물의 데이터를 명확히 구분할 수 있는 반사강도와 터널의 수평방향(X축) 위치 정보를 이용하여 계산한 거리를 바탕으로, 터널 라이닝과 시설물을 분리하는 것을 특징으로 하는 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 시설물 검측 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 제3 분리 단계에서는,

터널의 라이닝이 성립하는 면을 기준으로 근접성을 바탕으로 터널의 라이닝 상에서 나타나는 시설물 또는 물리적인 손상부위나 균열을 탐지하되, 시설물이 완전하게 분리된 라이닝만의 데이터와 시설물 또는 물리적인 손상으로 고려되는 데이터들로 분리되는 것을 특징으로 하는 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 시설물 검측 방법.

청구항 13

제 3 항의 시설물 검측 장치에 의해 터널의 라이닝 부분과 시설물 및 손상된 부분이 분리된 데이터를 이용하여 터널내 시설물의 상태변화 및 유지보수 여부를 결정하는 터널 관리 시스템에 있어서,

레이저 스캐너를 사용하여 촬영된 터널의 데이터를 이용하여 데이터의 구조적, 광학적 특성의 분석을 바탕으로 터널내 라이닝 상의 시설물 및 손상부위를 탐지하여, 시설물이 분리된 결과 및 손상부위가 탐지된 결과를 보여주는 것을 특징으로 하는 터널 관리 시스템.

청구항 14

삭제

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <16> 본 발명은 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 시설물 검측 장치 및 그 방법과 그를 이용한 터널 관리 시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 3차원 레이저 스캐너를 활용하여 특히 터널 내부 등을 스캐닝한 후, 스캐닝 데이터로부터 터널내 콘크리트 라이닝 부분과 터널내 부착된 시설물(전차선로, 레일, 파이프라인 등)을 분리하고, 이렇게 분리된 데이터를 이용하여 터널내 시설물의 상태변화 및 유지보수 여부를 결정할 수 있는, 시설물 검측 장치 및 그 방법과, 그를 이용한 터널 관리 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.
- <17> 시설물의 안전성을 위한 유지관리는 시간과 인력에 따라 경비가 상당히 소모되는 작업이다. 현재, 시간이 경과함에 따라 주변의 시설물에 나타나는 외관의 손상과 같은 물리적 변화를 미리 감지하고 상태를 보존 및 보완하는데 많은 인력과 경비가 소모되고 있다. 특히, 인력에 의한 육안 검사에 의해 이루어지는 터널과 같은 시설물 관리에는 많은 시간과 경비가 요구되고 있으며, 데이터의 보관이나 저장 등에 어려움이 많다.
- <18> 이러한 비효율적인 관리 방법을 보완하기 위하여 최근 빠르게 발전하는 기술을 도입 및 활용하여 시설물을 보다 효율적이고 객관적인 방법으로 유지관리하고자 하는 노력이 계속되고 있다. 과학기술의 발달에 힘입어 시설물 검측 방법이 다양화되고 있다.
- <19> 시설물 유지관리에 있어서 활용되고 있는 과학기술 방법의 일례로, 고가의 고성능 카메라가 필요한 광학적 영상을 이용하는 방법(터널 스캐닝에 대한 종래기술의 일례로, 영상을 활용한 방법)이 있다.
- <20> 종래기술에 따라, 영상장비를 이용한 터널 스캐너 및 영상 스캐너 측정결과가 도 1a 및 도 1b에 도시되었다.
- <21> 영상촬영에 의한 종래의 터널 스캐닝 방법은, 도 1a에 도시된 바와 같이 터널의 크기 및 형상에 적합한 조명 설비를 설치하여 일정한 속도로 터널 라이닝 벽면을 라인 카메라나 비디오 카메라로 촬영하는 형식을 띠고 있다.
- <22> 하지만, 영상을 활용한 터널 스캐너의 경우에는 조명의 설치 등 사전작업(도 1a 참조)이 요구되고, 영상 스캐너의 촬영결과물은 2차원 영상으로 표현(도 1b 참조)되므로 터널 라이닝 상에 발생하는 크랙에 대한 검측 등에는 활용성이 높을 수 있으나, 터널내 시설물의 유지관리 및 터널내공의 변화양상에 대한 추적 등에는 한계가 있다.
- <23> 한편, 시설물 유지관리에 있어서 활용되고 있는 과학기술 방법의 다른 예로서, 영상처리 기술 이외의 방법으로, 레이저 스캐닝 방법이 도입되고 있다.
- <24> 영상처리 기술 이외의 방법으로 최근에 레이저 스캐닝 방법이 도입되고 있다.
- <25> 레이저 스캐너는 촬영시 빛을 필요로 하지 않는 능동 시스템(active system)의 한 종류로서, 고밀도의 공간 정보를 획득할 수 있는 기술이며, 태양의 빛이 닿지 않는 터널과 같은 공간에서 효과적으로 사용될 수 있다. 또한, 레이저 스캐닝 방법은 거리 측정의 정확도가 높다는 장점이 있으므로, 계측용 목적으로 사용된다. 이러한 장점들과 더불어 레이저 시스템은 고정밀도의 3차원 위치 정보 이외에 반사 강도(intensity)의 광학적 정보를 함께 공급함으로써 그 이용가치가 크다.
- <26> 최근 레이저 스캐닝 기술은 계측 분야에서 급부상하는 기술로서, 그 영역이 점점 확장되고 있으며, 여러 분야에서 그 응용에 대한 연구가 진행되고 있다.

<27> 따라서, 현재의 기술분야에서는 레이저 스캐너로 촬영한 터널의 데이터를 바탕으로 객관적이고 효율적으로 터널을 관리할 수 있는 방안이 절실히 요구된다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<28> 본 발명은 상기 문제점을 해결하기 위하여 제안된 것으로, 3차원 레이저 스캐너를 활용하여 특히 터널 내부 등을 스캐닝한 후, 스캐닝 데이터로부터 터널내 콘크리트 라이닝 부분과 터널내 부착된 시설물(전차선로, 레일, 파이프라인 등)을 분리하고, 이렇게 분리된 데이터를 이용하여 터널내 시설물의 상태변화 및 유지보수 여부를 결정할 수 있는, 시설물 검측 장치 및 그 방법과, 그를 이용한 터널 관리 시스템 및 그 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

<29> 본 발명의 다른 목적 및 장점들은 하기의 설명에 의해서 이해될 수 있으며, 본 발명의 실시예에 의해 보다 분명하게 알게 될 것이다. 또한, 본 발명의 목적 및 장점들은 특허 청구 범위에 나타낸 수단 및 그 조합에 의해 실현될 수 있음을 쉽게 알 수 있을 것이다.

발명의 구성 및 작용

<30> 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 시설물 검측 장치에 있어서, 레이저 스캐너에 의해 프로파일(profile) 방식으로 기 촬영된 스캐닝 데이터를 반사강도의 분포 특성에 따라, 각 프로파일 내에서 라이닝 부분과 시설물 부분으로 분리하기 위한 제1 분리수단; 상기 제1 분리수단에 의해 분리된 시설물이 존재하는 스캐닝 데이터에서, 반사강도의 광학적 특성과 시설물의 위치에 따른 기하학적 특성을 이용하여 시설물을 분리 및 제거하기 위한 제2 분리수단; 및 상기 제2 분리수단에 의해 시설물이 분리된 스캐닝 라이닝 데이터 전체 프로파일을 세그먼트별로 기준이 되는 면을 형성하여, 이 면을 기준으로 남아 있는 시설물 및 손상부위를 분리하기 위한 제3 분리수단을 포함하여 이루어진 것을 특징으로 한다.

<31> 그리고, 본 발명은, 시설물 검측 방법에 있어서, 레이저 스캐너에 의해 프로파일(profile) 방식으로 기 촬영된 스캐닝 데이터를 반사강도의 분포 특성에 따라, 각 프로파일 내에서 라이닝 부분과 시설물 부분으로 분리하는 제1 분리 단계; 상기 제1 분리 단계에 의해 분리된 시설물이 존재하는 스캐닝 데이터에서, 반사강도의 광학적 특성과 시설물의 위치에 따른 기하학적 특성을 이용하여 시설물을 분리 및 제거하는 제2 분리 단계; 및 상기 제2 분리 단계에 의해 시설물이 분리된 스캐닝 라이닝 데이터 전체 프로파일을 세그먼트별로 기준이 되는 면을 형성하여, 이 면을 기준으로 남아 있는 시설물 및 손상부위를 분리하는 제3 분리 단계를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 한다.

<32> 한편, 본 발명은, 상기 시설물 검측 장치에 의해 터널의 라이닝 부분과 시설물 및 손상된 부분이 분리된 데이터를 이용하여 터널내 시설물의 상태변화 및 유지보수 여부를 결정하는 터널 관리 시스템에 있어서, 레이저 스캐너를 사용하여 촬영된 터널의 데이터를 이용하여 데이터의 구조적, 광학적 특성의 분석을 바탕으로 터널내 라이닝 상의 시설물 및 손상부위를 탐지하여, 시설물이 분리된 결과 및 손상부위가 탐지된 결과를 보여주는 것을 특징으로 한다.

<33> 그리고, 본 발명은, 터널 관리 방법에 있어서, 레이저 스캐너에 의해 프로파일(profile) 방식으로 기 촬영된 터널 스캐닝 데이터를 반사강도의 분포 특성에 따라, 각 프로파일 내에서 라이닝 부분과 시설물 부분으로 제1 분리 단계; 상기 제1 분리 단계에 의해 분리된 시설물이 존재하는 터널 스캐닝 데이터에서, 반사강도의 광학적 특성과 시설물의 위치에 따른 기하학적 특성을 이용하여 터널의 시설물을 분리 및 제거하는 제2 분리 단계; 상기 제2 분리 단계에 의해 터널 스캐닝 라이닝 데이터 전체 프로파일을 세그먼트별로 기준이 되는 면을 형성하여, 이 면을 기준으로 남아 있는 시설물 및 손상부위를 분리하는 제3 분리 단계; 및 터널의 라이닝 부분과 시설물 및 손상된 부분이 분리된 데이터를 이용하여 터널내 시설물의 상태변화 및 유지보수 여부를 결정하는 터널 관리 단계를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 한다.

<34> 본 발명은 3차원 레이저 스캐너를 통해서 획득되는 데이터를 이용하여 스캐닝 데이터로부터 터널의 라이닝과 터널내 부착된 시설물을 분리하고, 이렇게 분리된 데이터를 분석하여 터널의 손상 및 균열된 위치 및 정도를 파악하며 이를 시각화하여 레이저 데이터를 이용한 터널의 효율적인 유지관리에 활용하고자 한다.

<35> 레이저 스캐너를 이용하여 터널 내부를 스캐닝할 경우, 터널내 콘크리트 라이닝 부분과 터널내 부착된 시설물(전차선로, 레일, 파이프라인 등)이 같이 측정된다. 따라서, 본 발명에서는 라이닝 부분과 터널 시설물의 검측 알고리즘을 적용하여 측정된 3차원 레이저 스캐닝 데이터 상에서 터널 라이닝 부분과 터널 시설물의 분리를 시도하고(즉, 터널의 스캐닝 데이터의 기하학, 광학적 특성을 이용하여 터널 내부에 장착된 시설물들을 제거한

후), 터널의 라이닝 상에 나타나는 물리적인 손상부위나 균열을 탐지한다. 이때, 물리적인 손상부위는 터널의 라이닝이 성립하는 면을 기준으로 근접성을 바탕으로 탐지된다.

- <36> 따라서, 본 발명은 현재 주관적이며 경험적으로 수행되고 있는 터널 유지관리를 보다 효과적이며 객관적인 방법을 통해 수행 가능하도록 하는 기초단계라 할 수 있다.
- <37> 상술한 목적, 특징 및 장점은 첨부된 도면과 관련한 다음의 상세한 설명을 통하여 보다 분명해 질 것이며, 그에 따라 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있을 것이다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 본 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에 그 상세한 설명을 생략하기로 한다. 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 일실시예를 상세히 설명하기로 한다.
- <38> 도 2 는 본 발명에 따른 시설물 검측 장치 및 그를 이용한 터널 관리 시스템의 일실시예 구성도이다. 이하에서는 설명의 편의를 위하여 도 3을 함께 설명하기로 한다.
- <39> 3차원 레이저 스캐너(10)를 이용할 경우, 터널내 콘크리트 라이닝과 터널내에 설치된 시설물(부착물)이 동시에 스캐닝된다. 따라서, 시설물(부착물)과 라이닝에 대한 모니터링을 위해서는, 두 개체에 대한 분리 작업이 요구된다.
- <40> 따라서, 본 발명에 따른 시설물 검측부(시설물 검측 장치)(20)에서는 레이저 스캐너(10)를 통하여 터널 내부를 스캐닝한 데이터로부터 터널 내부에 설치된 부착물 및 시설물을 터널 라이닝으로부터 분리한다.
- <41> 예를 들어, 도 4a 및 4b의 터널 내부(예로서, 천정부, 측부)를 3차원 레이저스캐너(10)로 스캐닝하면, 도 5(레이저 스캐너를 이용한 터널 스캐닝 결과)와 같은 형태가 된다. 따라서, 시설물 검측부(20)는 터널 내부를 프로파일(profile) 방식으로 촬영한 레이저 스캐닝 데이터의 기하학적 및 광학적 특성을 이용하여 손상 부위를 찾는다. 이때, 사용되는 터널 레이저 스캐닝 데이터는 레이저 스캐너(10)를 이용하여 촬영된 값으로, 아스키(ASCII) 파일로 저장된 정밀도가 높은 점 데이터들을 말한다.
- <42> 여기서, 사용되는 '레이저 스캐너(10)'는, 촬영시 조명을 필요로 하지 않는 능동 시스템이며, 정확한 기하학적 위치 정보와 함께 광학적 정보를 함께 제공함으로써 터널과 같은 시설물의 관리에 있어 이용가치가 크다. 이는 Time-of-Flight 방식의 거리 측정계인 'Laser Range Finder'와 회전 거울이 부착되어 있는 'Liner scanner'와의 조합으로 터널 내부를 거울이 회전하면서 프로파일(profile) 방식으로 데이터를 기록한다. 즉, 스캐닝한 터널의 데이터는 스캐너(10)의 이동 방향에 따라 프로파일 방식으로 스캐너 내부의 회전 거울이 회전하면서 촬영이 된다. Time-of-Flight 방식은 레이저 거리 계측 방법 중 하나로 빛의 속도와 시간과의 관계를 통하여 거리를 측정하는 방식이며, 레이저 광선이 반사되어 돌아오는 지점의 3차원 좌표와 그 지점의 반사 강도를 기록한다.
- <43> Time-of-Flight 방식의 레이저 스캐닝 데이터는 점(point) 데이터로 구성되며, 상당한 수의 데이터가 저장되기에 'point clouds'라는 용어로서 표현되기도 한다.
- <44> 터널을 촬영한 레이저 스캐닝 데이터는 전처리 과정을 거쳐 ASCII 파일 형태로 X, Y, Z와 반사강도의 4개의 데이터로 구성된다. 이때, 각 점 데이터의 X축은 터널의 폭 방향(수평 방향)이 되며, Y축은 터널의 높이 방향(수직 방향), 그리고 Z축은 스캐너(10)의 이동 방향으로서, 터널의 축 방향에 해당된다. 그리고, Time-of-Flight 방식의 레이저 스캐닝 데이터에는 공간적 위치를 나타내는 좌표를 기록하는 동시에, 광학적 정보인 반사강도(intensity)가 기록된다.
- <45> 반사강도는 레이저 신호가 반사되는 지점의 물체 표면의 반사 특성(reflectance)의 영향을 가장 많이 받는다. 터널의 레이저 스캐닝 데이터에 대한 반사강도의 분포 특성(도 6 참조)은 이항 분포(Binomial Distribution)로, 반사강도 70~80 사이의 분기점(전체 반사강도의 평균은 86.636)을 기준으로 100~130에 이르는 높은 반사강도를 나타내는 부분과 분기점을 기준으로 이보다 낮은 쪽에 많은 데이터들이 분포되어 있음을 알 수 있다. 이러한 두 부분으로 히스토그램이 분리되는 현상은 콘크리트로 구성된 터널 라이닝 부분(높은 반사강도를 보임)과 터널 내부에 장착된 시설물들(낮은 반사강도를 보임)의 영향으로 나타난다.
- <46> 즉, 터널내 레이저 스캐닝 데이터의 반사강도는 도 6과 같은 특성을 보인다. 예를 들면, 터널내 시설물의 경우 철과 플라스틱의 재질로 되어 있어, 콘크리트로 구성되어 있는 라이닝 부분과는 다른 반사강도 특성을 보인다.
- <47> 스캐닝한 터널의 데이터는 스캐너(10)의 이동방향에 따라 프로파일 방식으로 스캐너(10) 내부의 회전 거울이 회전하면서 예를 들면 80cm가 촬영된다. 이때, 80cm의 터널 길이는 여러 개의 터널 모양(나선형)의 프로파일들로

구성되는데, 예를 들면 터널을 촬영한 스캐너(10)가 하나의 프로파일을 형성하는데 8mm 정도 진행하며, 터널 스캐닝된 각 프로파일 데이터는 나선형으로 이루어진다.

- <48> 따라서, 시설물 검측부(시설물 검측 장치)(20)의 제1 분리부(21)에서는 레이저 스캐너(10)에 의해 프로파일(profile) 방식으로 촬영된 스캐닝 데이터를 반사강도의 분포 특성(도 6 참조)에 따라 각 프로파일 내에서 라이닝 부분과 시설물 부분으로 일차적으로 분리한다(301,302).
- <49> 이후, 제2 분리부(22)에서는 반사강도의 광학적 특성과 시설물의 위치에 따른 기하학적 특성을 이용하여, 시설물이 존재하는 스캐닝 데이터에서 시설물을 분리 및 제거한다(303).
- <50> 즉, 제2 분리부(22)에서는 터널의 형상과 반사강도 특성을 동시에 활용할 수 있다. 터널의 높이 방향으로 50cm를 한 세그먼트로 분리할 경우, 시설물이 위치하지 않는 구간에서의 X(터널 폭 방향), Y(터널 높이 방향)의 데이터는 도 7a에 도시된 바와 같이 높은 상관성을 보이며, 반대로 시설물이 있는 경우에는 도 7b에 도시된 바와 같이 낮은 상관성을 보인다.
- <51> 따라서, 상관성이 낮은 세그먼트는 시설물이 위치해 있는 부분으로 이해할 수 있으며, 이 경우에는 반사강도와 기하학적 특성을 도 9와 같이 적용할 수 있다.
- <52> 시설물이 있는 경우 해당 세그먼트에서 시설물과 콘크리트 라이닝에 대한 X와 반사강도의 평균값을 산정하여 도 9에서와 같이 이 두 점을 기준점으로 각 점의 X축 데이터와 반사강도의 위치를 계산하여 시설물과 콘크리트 라이닝 부분으로 그룹화할 수 있을 것이다.
- <53> 즉, 제2 분리부(22)에서 시설물을 분리하는 과정(303)을 보다 상세하게 살펴보면 다음과 같다.
- <54> 터널 스캐닝 데이터의 특성을 바탕으로 라이닝 상의 물리적 손상 부위를 탐지하기 위하여, 터널 내부에 장착된 터널의 시설물들을 분리 및 제거한다. 이러한 과정은 터널 전체의 데이터를 모두 처리하는 것이 아니라, 구간별 처리함으로써 데이터 처리의 효율성을 도모한다. 그러므로, 시설물 탐지를 위하여 나누는 구간의 길이는 터널의 수직(Y 축) 방향으로 예를 들면 50cm로 설정하며, 이 구간에서 존재하는 X축과 Y축 좌표 사이의 상관관계를 이용하여 시설물이 존재하는 구간을 판단하도록 한다.
- <55> 일반적으로, 상관계수는 자료의 선형 관계에 따라 -1에서 1까지로 계산되며, 시설물이 존재하지 않는 터널 라이닝만 존재하는 구간일 경우 도 7a에 도시된 바와 같이 X축과 Y축의 좌표의 상관계수가 상당히 높게 나오는 반면, 시설물이 포함된 부위는 도 7b에 도시된 바와 같이 낮은 상관계수를 보이게 된다.
- <56> 즉, 도 7a는 시설물이 존재하지 않는 터널의 라이닝 구간으로, 각 점들이 밀집되게 분포되어 있어 높은 상관계수(절대값)를 보인다. 다시 말하면, 터널의 라이닝 구간에 다른 물체가 없기 때문에 측정된 데이터값들이 분산되지 않고 밀집되게 분포되는 것이다. 반면, 도 7b는 시설물이 존재하는 터널의 구간으로, 각 점들이 밀집되지 않고 분산되게 분포되어 낮은 상관계수(절대값)를 보이게 되는데, 터널의 라이닝 구간에 시설물이 설치되어 있기 때문에 라이닝 구간의 데이터값과 시설물의 데이터값이 같이 나타나므로 각 점들이 밀집되지 않고 분산되게 분포되게 된다.
- <57> 그러므로, 구간별 상관계수를 계산한 후 상관계수가 낮은 구간은 시설물이 존재하는 구간으로 구분되며, 그 외의 구간은 시설물이 없는 곳으로 판단되어, 시설물을 탐지 및 분리하는 과정에서 제외된다.
- <58> 상관계수를 이용하여 시설물이 있는 구간을 분리한 후, 시설물들을 정확하게 분리해 내기 위해서는 터널 라이닝과 시설물들의 데이터를 선별해 낼 수 있는 특성을 이용하는 것이 분리 정확도를 높일 수 있다.
- <59> 도 8a 및 8b는 시설물이 존재하는 구간에서 반사강도와 시설물의 위치에 따른 특징을 보여준다. 도 8a는 X와 Y의 상관관계에 의하여 시설물이 존재하는 부위로 선정된 곳이며, 이 구간에 포함되는 데이터의 반사 강도와 X축 좌표의 그래프(도 8b 참조)를 살펴보면 거리상 뚜렷하게 구분될 수 있음을 볼 수 있다. 이것은 시설물과 터널 라이닝이 가지는 뚜렷한 반사강도의 차이와 시설물이 터널 내부에 장착되는 X축 좌표에 대한 기하학적 특성차이 때문이다. 그러므로, 시설물과 터널 라이닝 데이터를 구분할 수 있는 반사강도의 광학적 특성과 시설물의 위치에 따른 기하학적 특성을 이용한다.
- <60> 시설물을 분리하는데 이용하는 방법은 반사강도와 X축 좌표를 이용하여 각 데이터와 데이터가 속한 구간의 시설물과 터널 라이닝을 대표하는 데이터와의 거리를 계산하는 것이다. 계산된 거리를 이용하여 하기의 [수학식 1]과 같이 각 데이터들은 시설물과 터널 라이닝 그룹으로 각각 분류된다.

수학식 1

$$P_i = \begin{cases} \text{터널라이닝} & \text{if } d_1 < d_2 \\ \text{시설물} & \text{otherwise} \end{cases}$$

<61>

<62> 도 9는 한 구간의 레이저 스캐닝 데이터들과 이 구간에서 이용하는 시설물과 터널 라이닝의 반사강도와 X축 좌표의 대표값을 보여준다. 즉, 하나의 데이터는 한 구간에서 터널 라이닝과 시설물의 대표값까지의 두 개의 거리로 계산되며, 이 중 가까운 거리의 그룹으로 i번째 데이터의 그룹이 결정된다.

<63> 도 9에서 계산된 두 개의 거리를 비교해보면, $d_1 > d_2$ 이므로, 점 P는 터널 라이닝 그룹보다는 시설물 그룹에 더 가까운 거리 및 특성을 가지므로 점 P는 시설물 쪽으로 결정이 된다.

<64> 이와 같이 반사강도의 광학적 특성과 시설물의 위치에 따른 기하학적 특성을 이용하여, 시설물이 존재하는 스캐닝 데이터에서 시설물을 분리 및 제거한 후(303), 제3 분리부(23)에서는 터널 라이닝 상의 물리적 손상부위 탐지를 위해 라이닝을 하나의 면(plane)으로 고려하여 면 표면에서 발생된 기하학적인 변화를 탐지한다(304). 그러므로, 시설물 탐지 및 분리의 과정이 하나의 프로파일(profile) 내에서 구간별로 처리가 되었다면, 물리적 손상 부위의 탐지는 모든 프로파일(profile)이 이루는 구간을 면 단위로 처리하게 된다. 이때, 처리 구간을 시설물 탐지와 같은 터널의 수직 방향(Y축 방향)으로 예를 들면 50cm로 결정하는 경우, 손상부위 검측을 위한 하나의 구간 크기는 80×50cm가 된다. 전체 터널의 모양은 완만한 곡선형태를 보이지만, 각 50cm에 해당하는 구간으로 나누었을 때, 각 구간은 하나의 평면으로 간주될 수 있다. 그러므로, 이러한 구간은 하나의 평면의 방정식으로 표현할 수 있다. 면은 각 데이터의 X, Y, Z축 좌표를 이용하여 하기의 [수학식 2](일반적인 면의 방정식)처럼 하나의 평면(plane)을 성립하는 계수를 결정하게 된다.

수학식 2

$$ax + by + cz + d = 0$$

<65>

<66> 상기 [수학식 2]에 의하여 성립된 평면을 기준으로 각 데이터들과의 거리를 계산할 수 있다. 물리적으로 손상이 된 부분, 즉 터널의 라이닝의 콘크리트가 충격에 의하여 떨어져 나간 경우나, 균열이 발생한 경우, 레이저 데이터에서 터널 라이닝의 면까지의 거리는 커지게 된다. 거리 계산은 방향성을 유지하기 위하여 하기의 [수학식 3]과 같이 계산한다.

수학식 3

$$d_i = \frac{ax_i + by_i + cz_i + d}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}$$

<67>

<68> 상기 [수학식 3]에 의하여 계산되는 거리는 하기의 [수학식 4]에서 설명되듯이 임계치에 의하여 터널의 라이닝 부분과 시설물 또는 손상부로 분류된다. 상기 [수학식 3]에서 계산된 거리가 임계치보다 작은 경우 터널 라이닝으로 데이터는 터널 라이닝으로 분류되며, 거리가 임계치보다 큰 경우는 시설물이나 손상부에 해당하는 데이터로 분류된다.

수학식 4

$$P_i = \begin{cases} \text{터널라이닝} & \text{if } d_i < \text{임계치} \\ \text{시설물 또는 손상부} & \text{otherwise} \end{cases}$$

<69>

<70> 이와 같이, 도 9에서 나타난 각 세그먼트는 3차원상의 데이터를 가지고 있으므로 하나의 평면의 형태를 띠고 있다. 그러므로, 3차원 데이터로부터 평면 피팅(fitting)을 수행하여 해당 평면에서의 법선 방향의 거리(상기 [수학식 3] 참조)가 20mm 이상인 점을 시설물로 간주한다(도 10 참조).

<71> 이상의 방법을 바탕으로, 도 5와 같은 3차원 스캐닝 데이터로부터 터널 시설물을 추출한 결과는 도 11과 같다.

<72> 이처럼, 시설물을 분리하는 과정(303)은 터널 라이닝에서 손상부를 탐지하고자 할 때, 평면의 방정식을 유도하는 접근 방법을 도입하기 위한 이상점(outlier)을 제거하는 과정이라고 할 수 있다. 획득된 데이터를 이용하여 선이나 평면의 방정식으로 유도하는 경우, 이상점들을 최대한 제거해 주는 것이 좋은 결과를 기대할 수 있다.

그러므로, 손상부 탐지를 위한 평면의 방정식 유도를 위하여 터널 라이닝으로부터 시설물 데이터의 분리가 선행되어야 한다. 본 발명에서는 시설물을 분리하기 위하여 터널 라이닝과 시설물의 데이터를 명확히 구분할 수 있는 반사강도와 터널의 수평방향(X축) 위치 정보를 이용하여 계산한 거리를 이용하였다.

- <73> 한편, 물리적 손상 부위의 검측 과정(304)은, 레이저 스캐닝한 터널의 데이터에서 대부분의 시설물들을 제거한 후에 진행된다. 시설물이 대부분 제거된 후 80cm 길이에 해당하는 전체 데이터를 수직 방향으로 50cm 구간으로 구분하여 처리한다. 이때, 물리적 손상을 탐지하는데 필요한 임계치는 터널 라이닝이 형성하는 평면과 데이터의 연직 거리를 계산하여 결정되는데, 하나의 구간에 계산되어지는 거리의 분포를 바탕으로 설정된다. 거리의 분포는 평면으로부터의 연직 거리는 평균이 0으로, 평균을 기점으로 거의 대칭의 분포를 보인다. 터널의 라이닝을 바탕으로 성립되는 평면을 기준으로 시설물은 터널 내부에, 손상부는 터널 외부에 나타나게 되므로 연직 거리의 방향성을 고려하면 시설물과 손상부의 분리를 할 수 있게 된다. 계산된 거리의 분포를 살펴보면, 시설물이 존재하지 않는 구간에서 대부분의 데이터는 유도된 평면에서부터 -30 ~ 30mm 사이에 위치하는 것을 알 수 있다. 그러므로, 거리의 분포를 바탕으로 시설물과 손상부를 결정하는 임계치를 설정할 수 있다.
- <74> 임계치를 여러 가지 수치로 설정하여 탐지되는 결과를 살펴 보면, 임계치가 작아질수록 손상부 및 시설물로 분류되는 데이터의 수가 많아지게 되므로 터널 라이닝에 해당하는 상당한 수의 데이터들도 시설물로 분리될 수 있다. 따라서, 본 발명에서는 보다 바람직하게는 시설물과 손상부의 임계치를 달리하여, 시설물에 대해서는 상기 수학식2에 의하여 측정된 평면으로부터 내측으로 20mm 정도 떨어진 데이터부터 시설물로 판단하며, 손상부에 대해서는 상기 수학식2에 의하여 측정된 평면에서 외측으로 30mm 정도 떨어진 데이터부터 손상부로 판단한다.
- <75> 물리적 손상 부위를 검측하는 과정(304)을 거치면, 터널의 레이저 스캐닝 데이터는 시설물이 완전하게 분리된 터널 라이닝만의 데이터와 물리적인 손상으로 고려되는 데이터들로 분리된다.
- <76> 이와 같이 탐지된 터널의 라이닝 상의 손상부는 2차원의 표현으로 시각화될 수 있다(305). 예로서, 터널의 스캐닝 데이터의 반사강도를 이용하여 표시한 2차원 터널 전체 모습에, 그 위에 탐지된 터널 라이닝 상의 손상부를 보여준다.
- <77> 상술한 바와 같은 본 발명의 방법은 프로그램으로 구현되어 컴퓨터로 읽을 수 있는 형태로 기록매체(씨디롬, 램, 롬, 플로피 디스크, 하드 디스크, 광자기 디스크 등)에 저장될 수 있다. 이러한 과정은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있으므로 더 이상 상세히 설명하지 않기로 한다.
- <78> 이상에서 설명한 본 발명은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하므로 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니다.

발명의 효과

- <79> 상기와 같은 본 발명은, 3차원 레이저 스캐너의 활용을 확대할 수 있는 것으로서, 다양한 시설물의 유지관리에 적용할 수 있는 이점이 있다. 특히, 레이저 스캐너를 활용한 경우 3차원 위치정보를 획득할 수 있으므로 기존의 영상에 의한 방법에 비해 디지털화 및 가상공학적인 측면에서의 접근이 훨씬 용이한 효과가 있다.
- <80> 예를 들어, 터널 시설물의 경우, 시설물의 유지관리를 위하여 여러 형태의 시설물을 사전설치 및 시공을 가상적으로 구현할 수 있으며, 터널내 시설물 및 추가 지보재의 설치로 인하여 건축 한계가 의심스러운 경우 즉각적인 검사가 가능한 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- <1> 도 1a 및 1b 는 영상장비를 이용한 터널 스캐너 및 영상 스캐너 측정 결과를 보여주는 설명도,
- <2> 도 2 는 본 발명에 따른 시설물 검측 장치 및 그를 이용한 터널 관리 시스템의 일실시에 구성도,
- <3> 도 3 은 본 발명에 따른 시설물 검측 방법 및 그를 이용한 터널 관리 방법에 대한 일실시에 흐름도,
- <4> 도 4a 및 4b 는 터널 천정부 및 측부를 보여주는 설명도,
- <5> 도 5 는 레이저 스캐너를 이용한 터널 스캐닝 결과를 보여주는 일실시에 설명도,
- <6> 도 6 은 본 발명에 이용되는 터널내 시설물과 라이닝의 반사강도 특성을 보여주는 일실시에 설명도,
- <7> 도 7a 는 본 발명에 이용되는 X축과 Y축 좌표의 높은 상관관계를 보이는 터널 라이닝 구간을 보여주는 일실시에

설명도,

- <8> 도 7b 는 본 발명에 이용되는 X축과 Y축 좌표의 낮은 상관관계를 보이는 시설물이 존재하는 구간을 보여주는 일 실시예 설명도,
- <9> 도 8a 및 8b 는 본 발명에 이용되는 시설물이 포함된 구간과 X축 좌표 및 반사강도 그래프를 보여주는 일 실시예 설명도,
- <10> 도 9 는 본 발명에 이용되는 반사강도와 기하학적 특성을 활용한 시설물 분리 과정을 보여주는 일 실시예 설명도,
- <11> 도 10 은 본 발명에 이용되는 시설물 분리를 위한 법선방향 거리 측정 과정을 보여주는 일 실시예 설명도,
- <12> 도 11 은 본 발명에 따라 터널내 콘크리트 라이닝과 시설물의 분리 결과를 보여주는 일 실시예 설명도이다.
- <13> * 도면의 주요 부분에 대한 부호 설명
- <14> 10 : 3차원 레이저 스캐너 20 : 시설물 검측부
- <15> 21~23 : 분리부 30 : 유지관리부

도면

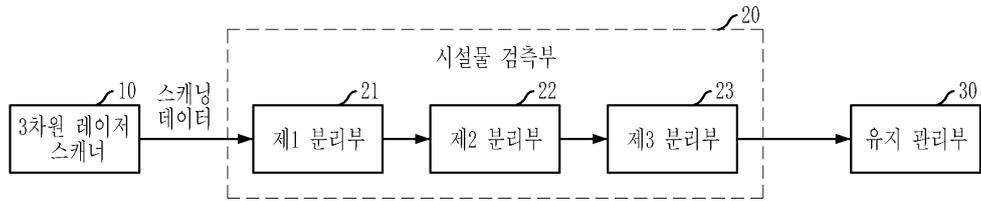
도면1a



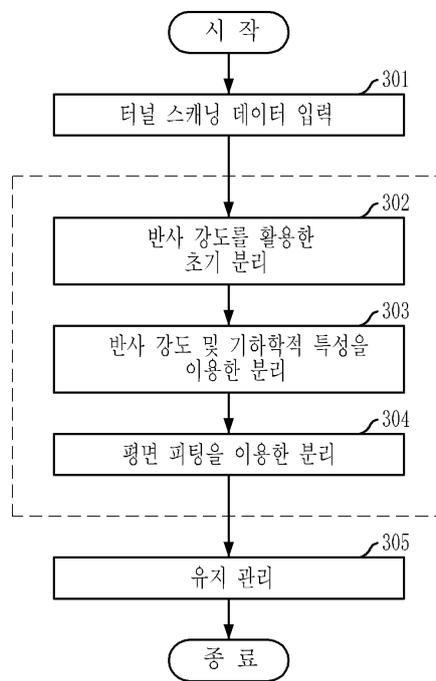
도면1b



도면2



도면3



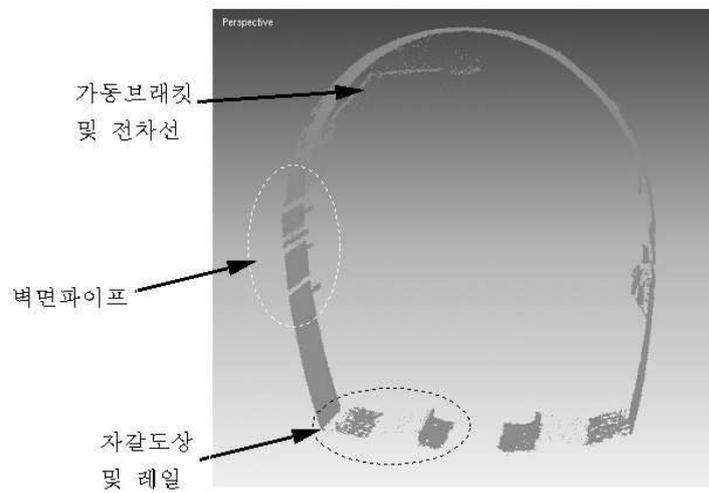
도면4a



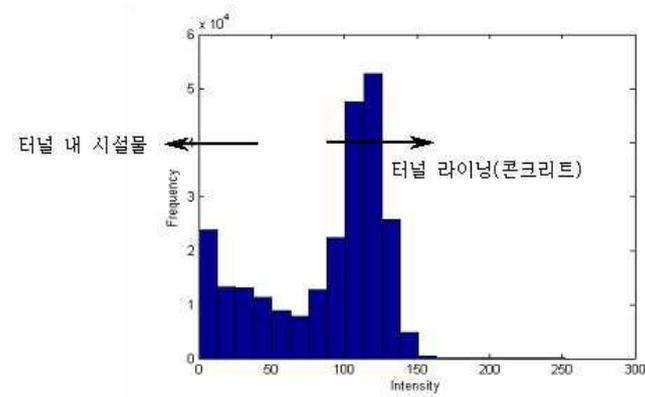
도면4b



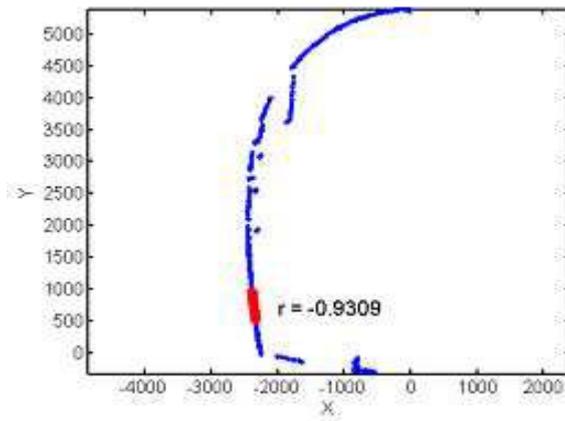
도면5



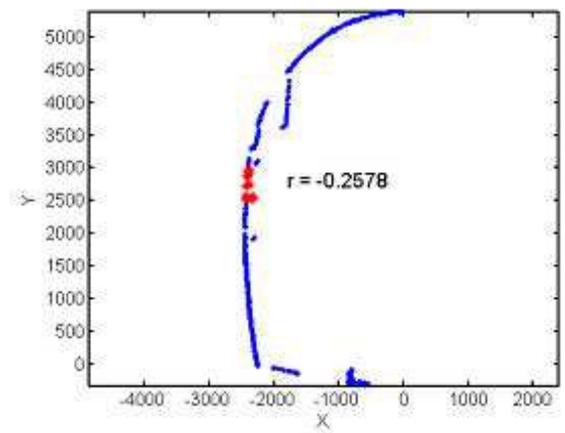
도면6



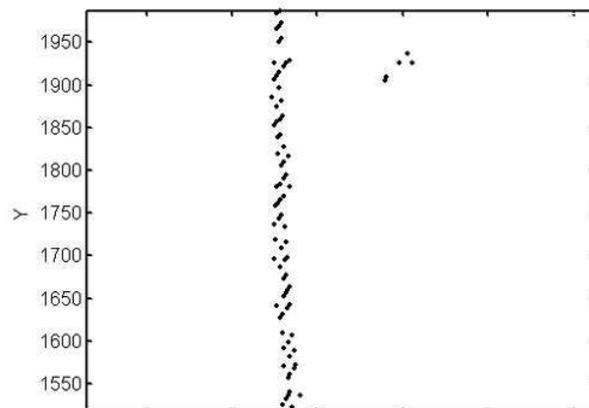
도면7a



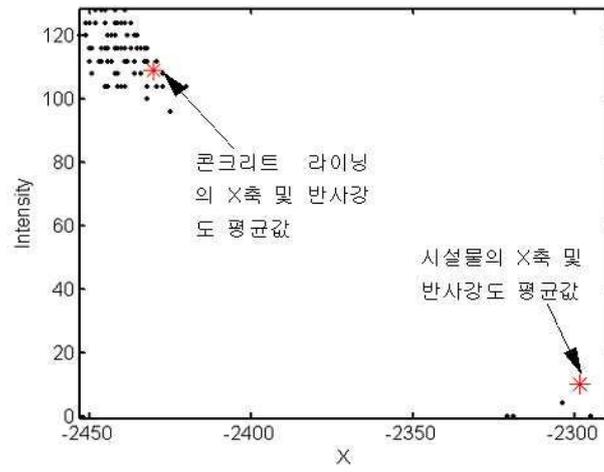
도면7b



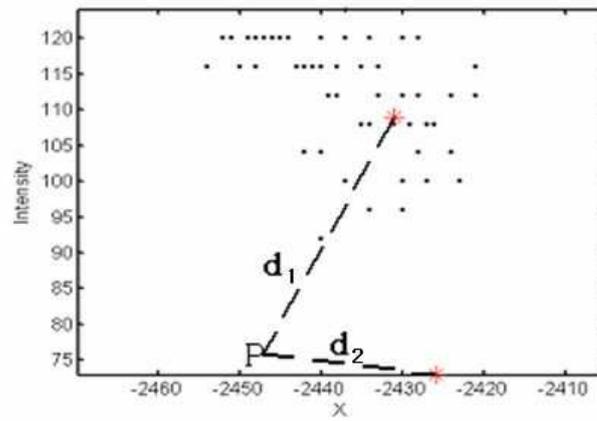
도면8a



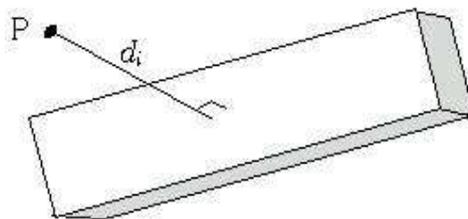
도면8b



도면9



도면10



도면11

