



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년01월31일  
(11) 등록번호 10-1944324  
(24) 등록일자 2019년01월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01V 1/28 (2006.01) G01S 13/89 (2006.01)  
G01V 1/30 (2006.01) G01V 3/12 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G01V 1/28 (2013.01)  
G01S 13/88 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2017-0138636  
(22) 출원일자 2017년10월24일  
심사청구일자 2017년10월24일  
(65) 공개번호 10-2017-0124984  
(43) 공개일자 2017년11월13일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020120022747 A\*  
US20040225444 A1  
US20050128125 A1  
US20140125508 A1  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
세종대학교산학협력단  
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)  
(72) 발명자  
이종재  
서울특별시 광진구 능동로 209, 충무관 710호 (군자동)  
이현중  
서울특별시 광진구 능동로 209, 충무관 712호 (군자동)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
유병욱, 한승범

전체 청구항 수 : 총 8 항

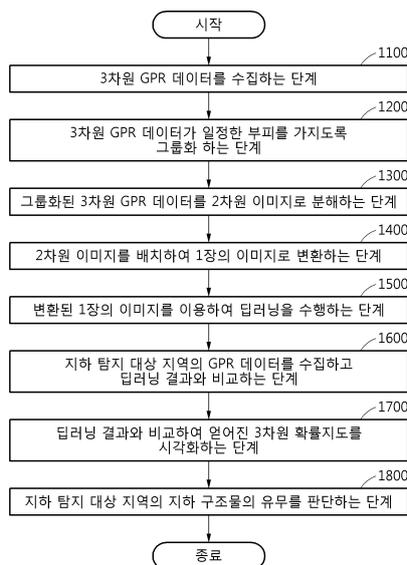
심사관 : 권민정

(54) 발명의 명칭 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법은, 지하 구조물을 탐지하기 위해 수집한 지표 투과 레이더의 데이터를 처리하는 방법에 있어서, 상기 지표 투과 레이더에서 수집한 3차원 데이터를 2차원 이미지로 분해하고, 상기 2차원 이미지에 딥러닝을 적용하여, 지하 구조물의 유무를 정확하게 판단할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

**G01S 13/89** (2013.01)  
**G01V 1/30** (2013.01)  
**G01V 3/12** (2013.01)  
G01V 2210/1295 (2013.01)  
G01V 2210/1429 (2013.01)

**김남규**

서울특별시 광진구 능동로 209, 충무관 710A호 (군자동)

(72) 발명자

**안윤규**

서울특별시 광진구 능동로 209, 새날관 222호 (군자동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1615009201
부처명	국토교통부
연구관리전문기관	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	교통물류연구사업
연구과제명	도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발
기여율	1/1
주관기관	세종대학교산학협력단
연구기간	2017.03.14 ~ 2018.01.13

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

지하 구조물을 탐지하기 위해 수집한 지표 투과 레이더의 데이터를 처리하는 방법에 있어서,

상기 지표 투과 레이더로부터 3차원 데이터를 수집하는 단계;

상기 3차원 데이터의 x-y-z 방향의 해상도에 따라 크기가 결정되는 3차원 커널을 이용하여 3차원 데이터가 일정한 부피를 가지도록 그룹화하는 단계;

그룹화된 3차원 데이터를 2차원 이미지로 분해하는 단계; 및

분해된 2차원 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하는 단계;를 포함하고,

상기 3차원 커널의 x 방향 크기는 상기 3차원 데이터의 포물선 형상을 포함하는 크기로 결정되고, 상기 3차원 커널의 y 방향 크기는 상기 지표 투과 레이더의 채널 개수 및 채널 간격에 따라 결정되며, 상기 3차원 커널의 z 방향 크기는 상기 지표 투과 레이더의 주파수에 따라 결정되거나 상기 3차원 커널의 x 방향 크기와 동일하게 결정되며,

상기 그룹화된 3차원 데이터를 2차원 이미지로 분해하는 단계는,

상기 그룹화된 3차원 데이터를 폭방향으로 연속되는 B 스캔 2차원 이미지 및 깊이방향으로 연속되는 C 스캔 2차원 이미지를 포함하도록 분해하는, 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법.

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

삭제

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

삭제

**청구항 6**

삭제

**청구항 7**

제1항에 있어서,

상기 그룹화된 3차원 데이터를 2차원 이미지로 분해하는 단계 및 상기 분해된 2차원 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하는 단계 사이에는,

상기 2차원 이미지를 배치하여 1장의 이미지로 변환하는 단계가 포함되고,

상기 분해된 2차원 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하는 단계는 상기 변환된 1장의 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하는, 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법.

**청구항 8**

제7항에 있어서,

상기 2차원 이미지를 배치하여 1장의 이미지로 변환하는 단계는, 폭방향 정보 및 깊이방향 정보가 동시에 포함 되도록 B 스캔 2차원 이미지 및 C 스캔 2차원 이미지를 배치하여 1장의 이미지로 변환하는, 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법.

**청구항 9**

제8항에 있어서,

상기 분해된 2차원 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하는 단계는,

B 스캔 2차원 이미지 및 C 스캔 2차원 이미지를 배치하여 형성된 1장의 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하고 그에 따른 트레이닝 된 네트워크를 형성하는, 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법.

**청구항 10**

제9항에 있어서,

상기 분해된 2차원 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하는 단계 이후에,

지하 탐지 대상 지역에 대해서 지표 투과 레이더의 데이터를 수집하여 딥러닝 결과와 비교하는 단계;

딥러닝 결과와 비교하여 얻어진 3차원 확률지도를 시각화하는 단계; 및

지하 탐지 대상 지역의 지하 구조물을 판단하거나 분석하는 단계;

를 더 포함하는, 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법.

**청구항 11**

제10항에 있어서,

상기 지하 탐지 대상 지역에 대해서 지표 투과 레이더의 데이터를 수집하여 딥러닝 결과와 비교하는 단계는,

상기 딥러닝 수행을 위한 트레이닝 세트를 형성한 후에, 네트워크를 트레이닝 하고, 지하 탐지 대상 지역에 대한 지표 투과 레이더의 3차원 데이터를 트레이닝에 사용된 것과 동일한 크기의 커널을 이용하여 분할하고, 픽셀 단위로 커널을 이동하면서 각 픽셀에서의 확률값을 획득하는, 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법.

**청구항 12**

제11항에 있어서,

상기 딥러닝 결과와 비교하여 얻어진 3차원 확률지도를 시각화하는 단계는,

픽셀 단위로 커널을 이동하면서 얻은 각 픽셀에서의 확률값을 이용하여 3차원 확률지도를 시각화하는, 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법.

**청구항 13**

제12항에 있어서,

상기 지하 탐지 대상 지역의 지하 구조물을 판단하거나 분석하는 단계는,

상기 3차원 확률지도를 이용하여 지표 투과 레이더의 데이터에서 지하 구조물의 유무를 판단하거나 형태를 분석하는, 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 지표 투과 레이더의 3차원 데이터를 B 스캔 이미지와 C 스캔 이미지를 조합하여 이차원화하고 이를 이용하여 딥러닝(Deep Learning)을 수행함으로써, 지하 구조물, 지반의 구조, 동공의 유무 등에 대한 판단 정확도를 향상시킬 수 있는 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 최근 도심부의 도로가 갑자기 함몰되어 인명 및 재산 피해는 물론 시민들에게 불안감을 야기하는 싱크홀(sink hole)이 빈번하게 발생하여 중요한 사회적 문제로 대두되고 있다. 따라서, 지면 또는 도로의 함몰 또는 동공으로 인한 싱크홀의 발생을 사전에 탐지하고 다양한 환경조건에 따른 함몰 위험도 평가 기술을 개발하여 선제적 재해 방지 시스템을 구축할 필요가 있다.

[0003] 대표적인 비파괴 탐사 방법으로는 지표 투과 레이더 탐사 방법이 주로 활용되고 있는데, 대상 지반 또는 지하에 대해 전자기파를 방사하고 반사된 전자기파를 해석하는 과정을 통하여 지하에 대한 탐사를 진행하는 방법이다. 그러나, 종래의 지표 투과 레이더 탐사 방법은 지반의 습윤 상태, 매질물 및 이완 정도 등 여러 가지 요인에 영향을 받을 수 있는 전자기파의 특성상 지하 상태에 대한 정확도를 높이기 위한 보정이 필요하다는 한계가 있다.

[0004] 최근에는, 지하 상태 판독에 대한 정확도를 높이기 위해서, 지표 투과 레이더를 딥러닝에 적용하는 시도가 나타나고 있다. 일반적으로 지표 투과 레이더(Ground Penetrating Radar)를 딥러닝에 적용할 때는 한 장의 B 스캔(scan) 이미지가 사용된다. 이때 B 스캔 이미지에는 탐지 또는 판독의 대상인 지하 구조물의 특징이 포함되는데, 주로 포물선 형상을 많이 포함하게 된다. 하지만, 일부 지표 투과 레이더 신호의 경우에는 유사한 B 스캔 이미지를 가지기 때문에, B 스캔만을 이용하여 지하 구조물을 구분하기 어려운 경우가 많다. 특히, 지하 구조물이 동공(cavity)과 배관(pipe)인 경우, 매우 유사한 B 스캔 이미지를 가지기 때문에, 육안으로는 그 구분이 매우 어려운 문제가 있다.

[0005] 본 출원인은, 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명을 제안하게 되었다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0006] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 제10-1372739호(2014.03.04.)

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0007] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 제안된 것으로, 3차원인 지표 투과 레이더의 데이터를 2차원 이미지로 분해하고, 이를 딥러닝에 적용함으로써 지하 구조물 탐사의 정확성을 높일 수 있는 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법을 제공한다.

[0008] 본 발명은 B 스캔 이미지와 C 스캔 이미지를 모두 이용함으로써, 폭방향 또는 길이방향으로 진행되는 지하 구조물을 판독하고 구분할 수 있는 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법을 제공한다.

**과제의 해결 수단**

[0009] 상기한 바와 같은 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법은, 지하 구조물을 탐지하기 위해 수집한 지표 투과 레이더의 데이터를 처리하는 방법에 있어서, 상기 지표 투과 레이더에서 수집한 3차원 데이터를 2차원 이미지로 분해하고, 상기 2차원 이미지에 딥러닝을 적용할 수 있다.

- [0010] 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법은, 상기 지표 투과 레이더로부터 3차원 데이터를 수집하는 단계; 3차원 데이터가 일정한 부피를 가지도록 그룹화하는 단계; 그룹화된 3차원 데이터를 2차원 이미지로 분해하는 단계; 및 분해된 2차원 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0011] 상기 3차원 데이터가 일정한 부피를 가지도록 그룹화하는 단계는, 3차원 커널을 이용하여 상기 3차원 데이터가 일정한 부피를 가지도록 그룹화할 수 있다.
- [0012] 상기 3차원 커널의 크기는 상기 3차원 데이터의 x-y-z 방향의 해상도에 따라 결정될 수 있다.
- [0013] 상기 3차원 커널의 x 방향 크기는 상기 3차원 데이터의 포물선 형상을 포함하는 크기로 결정되고, 상기 3차원 커널의 y 방향 크기는 상기 지표 투과 레이더의 채널 개수 및 채널 간격에 따라 결정되며, 상기 3차원 커널의 z 방향 크기는 상기 지표 투과 레이더의 주파수에 따라 결정되거나 상기 3차원 커널의 x 방향 크기와 동일하게 결정될 수 있다.
- [0014] 상기 그룹화된 3차원 데이터를 2차원 이미지로 분해하는 단계는, 상기 그룹화된 3차원 데이터를 폭방향으로 연속되는 B 스캔 2차원 이미지 및 깊이방향으로 연속되는 C 스캔 2차원 이미지를 포함하도록 분해할 수 있다.
- [0015] 상기 그룹화된 3차원 데이터를 2차원 이미지로 분해하는 단계 및 상기 분해된 2차원 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하는 단계 사이에는, 상기 2차원 이미지를 배치하여 1장의 이미지로 변환하는 단계가 포함되고, 상기 분해된 2차원 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하는 단계는 상기 변환된 1장의 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행할 수 있다.
- [0016] 상기 2차원 이미지를 배치하여 1장의 이미지로 변환하는 단계는, 폭방향 정보 및 깊이방향 정보가 동시에 포함되도록 B 스캔 2차원 이미지 및 C 스캔 2차원 이미지를 배치하여 1장의 이미지로 변환할 수 있다.
- [0017] 상기 분해된 2차원 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하는 단계는, B 스캔 2차원 이미지 및 C 스캔 2차원 이미지를 배치하여 형성된 1장의 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하고 그에 따른 트레이닝 된 네트워크를 형성할 수 있다.
- [0018] 상기 분해된 2차원 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하는 단계 이후에, 지하 탐지 대상 지역에 대해서 지표 투과 레이더의 데이터를 수집하여 딥러닝 결과와 비교하는 단계; 딥러닝 결과와 비교하여 얻어진 3차원 확률지도를 시각화하는 단계; 및 지하 탐지 대상 지역의 지하 구조물을 판단하거나 분석하는 단계;를 더 포함할 수 있다.
- [0019] 상기 지하 탐지 대상 지역에 대해서 지표 투과 레이더의 데이터를 수집하여 딥러닝 결과와 비교하는 단계는, 상기 딥러닝 수행을 위한 트레이닝 세트를 형성한 후에, 네트워크를 트레이닝 하고, 지하 탐지 대상 지역에 대한 지표 투과 레이더의 3차원 데이터를 트레이닝에 사용된 것과 동일한 크기의 커널을 이용하여 분할하고, 픽셀 단위로 커널을 이동하면서 각 픽셀에서의 확률값을 획득할 수 있다.
- [0020] 상기 딥러닝 결과와 비교하여 얻어진 3차원 확률지도를 시각화하는 단계는, 픽셀 단위로 커널을 이동하면서 얻은 각 픽셀에서의 확률값을 이용하여 3차원 확률지도를 시각화할 수 있다.
- [0021] 상기 지하 탐지 대상 지역의 지하 구조물을 판단하거나 분석하는 단계는, 상기 3차원 확률지도를 이용하여 지표 투과 레이더의 데이터에서 지하 구조물의 유무를 판단하거나 형태를 분석할 수 있다.

**발명의 효과**

- [0022] 본 발명에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법은 3차원인 지표 투과 레이더의 데이터를 2차원 이미지로 분해하고, 이를 딥러닝에 적용함으로써 지하 구조물 탐사의 정확성을 높일 수 있다.
- [0023] 본 발명에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법은 B 스캔 이미지와 C 스캔 이미지를 모두 이용함으로써, 폭방향 또는 깊이방향으로 진행되는 지하 구조물을 판독하고 구분할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더 탐지 시스템의 구성을 보여주는 도면이다.
- 도 2는 도 1에 따른 시스템을 이용한 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 3차원 데이터를 보여주는 도면이다.

도 4는 도 3에 따른 3차원 데이터에서 B 스캔 이미지와 C 스캔 이미지를 보여주는 도면이다.

도 5는 도 3에 따른 3차원 데이터를 폭방향으로 연속되는 B 스캔 이미지와 깊이방향으로 연속되는 C 스캔 이미지로 분해한 것을 보여주는 도면이다.

도 6은 도 5에 따른 분해된 B 스캔 이미지와 C 스캔 이미지를 배치하여 얻어진 1장의 이미지를 보여주는 도면이다.

도 7은 도 6에 따른 1장의 이미지에 딥러닝을 적용하여 얻어진 3차원 확률지도를 보여주는 도면이다.

도 8 내지 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법 및 시스템의 성능을 설명하기 위한 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0025] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예들을 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명이 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더 탐지 시스템의 구성을 보여주는 도면, 도 2는 도 1에 따른 시스템을 이용한 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법을 설명하기 위한 순서도, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 3차원 데이터를 보여주는 도면, 도 4는 도 3에 따른 3차원 데이터에서 B 스캔 이미지와 C 스캔 이미지를 보여주는 도면, 도 5는 도 3에 따른 3차원 데이터를 폭방향으로 연속되는 B 스캔 이미지와 깊이방향으로 연속되는 C 스캔 이미지로 분해한 것을 보여주는 도면, 도 6은 도 5에 따른 분해된 B 스캔 이미지와 C 스캔 이미지를 배치하여 얻어진 1장의 이미지를 보여주는 도면, 도 7은 도 6에 따른 1장의 이미지에 딥러닝을 적용하여 얻어진 3차원 확률지도를 보여주는 도면, 도 8 내지 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법 및 시스템의 성능을 설명하기 위한 도면이다.

[0027] 이하에서 설명하는 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법은 지표 투과 레이더에서 얻은 3차원 데이터를 딥러닝에 적용하는 방법을 포함하는데, 딥러닝 방법은 일반적인 딥러닝 방법과 동일하므로 딥러닝에 대한 자세한 설명은 생략한다.

[0028] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더 탐지 시스템(100)은, 지표 투과 레이더(110, GPR), 지표 투과 레이더(110)에서 획득한 데이터를 처리하는 데이터 처리부(120), 지표 투과 레이더(110)에서 획득한 데이터 또는 처리된 데이터가 저장되는 GPR 데이터 저장부(160), 지표 투과 레이더(110)에서 획득한 지하 탐지 대상 지역의 데이터를 분석하거나 판정하는 판독부(180) 및 판독 결과 등을 시각적으로 보여주는 표시부(170)를 포함할 수 있다.

[0029] 지표 투과 레이더(110)는 임펄스 지표 투과 레이더, 스텝 주파수 지표 투과 레이더 등이 이용될 수 있고, 단채널 및 다채널 지표 투과 레이더가 이용될 수 있다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더 탐지 시스템(100)은 다양한 형태의 지표 투과 레이더(110)가 이용될 수 있으며, 그 형태에 대한 제한은 없다.

[0030] 지표 투과 레이더 탐지 시스템(100)의 데이터 처리부(120)는 2차원 이미지 생성부(130), 딥러닝 수행부(140) 및 학습된 네트워크 생성부(150)를 포함할 수 있다.

[0031] 딥러닝 수행부(140)에서는 기존의 딥러닝 기법을 이용하되, 지표 투과 레이더(110)에 획득한 지하 구조물의 데이터에 딥러닝 기법이 적용된다.

[0032] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더 시스템(100)을 사용한 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법에 대해서 설명한다. 또한, 필요한 경우 지표 투과 레이더 탐지 시스템(100)에 대한 설명과 함께 데이터 처리 방법에 대해서 설명한다.

[0033] 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법은, 지하 구조물을 탐지하기 위해 수집한 지표 투과 레이더의 데이터를 처리하는 방법에 있어서, 상기 지표 투과 레이더에서 수집한 3차원 데이터를 2차원 이미지로 분해하고, 상기 2차원 이미지에 딥러닝을 적용할 수 있다. 이와 같이, 지표 투과 레이더에서 얻은 3차원 이미지를 2차원 이미지로 분해하고, 분해된 2차원 이미지에 딥러닝을 적용함으로써 지하 구조물의 종류를 정확하게 구분하고 형태를 판독할 수 있다.

[0034] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법은, 3차원의 지표 투과 레이더 데이터를 B 스캔 이미지와 C 스캔 이미지로 분해하여 2차원화된 이미지를 만들고, 2차원화된 이미지에 딥러닝을 적용하여

지하 구조물, 지반의 구조, 동공의 유무 등을 판단할 때 그 추정 확률을 향상시킬 수 있다.

- [0035] 지표 투과 레이더의 데이터를 딥러닝에 적용할 때는 1장의 B 스캔 이미지가 사용된다. 이때 B 스캔 이미지에는 지하 구조물의 특징이 포함되는데, 주로 포물선 형상을 많이 포함된다. 그런데, 일부 지표 투과 레이더 신호의 경우, 유사한 B 스캔 이미지를 가지기 때문에, B 스캔 이미지만을 이용하여 대상물 즉, 지하 구조물을 구분하기 어려운 경우가 많다. 특히 동공(cavity)과 배관(pipe)의 경우, 매우 유사한 B 스캔 이미지를 갖기 때문에, 육안으로는 그 구분이 매우 어렵다. 그러나, 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터 처리 방법과 같이 C 스캔 이미지를 B 스캔 이미지와 같이 활용하면, 폭방향 또는 길이방향으로 진행되는 배관의 특성을 이용하여 동공과 배관을 보다 정확하게 구분할 수 있다.
- [0036] 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법에서는 3차원인 지표 투과 레이더 데이터를 2차원 이미지로 분해함으로써, B 스캔 이미지만을 적용한 기존 기술의 한계를 극복할 수 있다.
- [0037] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법은, 지표 투과 레이더(110)로부터 3차원 데이터를 수집하는 단계(1100); 3차원 데이터가 일정한 부피를 가지도록 그룹화하는 단계(1200); 그룹화된 3차원 데이터를 2차원 이미지로 분해하는 단계(1300); 및 분해된 2차원 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하는 단계(1500);를 포함할 수 있다.
- [0038] 지표 투과 레이더(110)는 도 3에 도시된 바와 같이 일정한 부피를 가지는 3차원의 데이터를 수집한다. 여기서, 도 3에 도시된 바와 같은 지표 투과 레이더(110)의 3차원 데이터는 다채널 GPR 뿐만 아니라 단채널 GPR에서도 얻을 수 있다.
- [0039] 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터 처리 방법은 딥러닝을 이용하여 지하 구조물의 추정 정확도를 높이기 위하여 3차원 GPR 데이터를 B 스캔 이미지와 C 스캔 이미지를 조합하여 2차원화하는 것이다. 다채널 GPR 시스템(100)을 통하여 수집된 GPR 데이터는 3차원 구조를 가지며, 이를 시각화하면 도 3에 도시된 바와 같다.
- [0040] 상기 3차원 데이터가 일정한 부피를 가지도록 그룹화하는 단계(1200)는, 3차원 커널을 이용하여 상기 3차원 데이터가 일정한 부피를 가지도록 그룹화할 수 있다.
- [0041] 상기 3차원 커널(Kernel)은 일정한 크기와 부피를 가지는데, 도 3에 도시된 것도 커널(K)의 일종이다. 커널(K)의 사이즈는 지표 투과 레이더의 해상도, 탐지 대상인 지하 구조물의 크기 등에 따라서 결정될 수 있다. 또한, B 스캔 이미지에 포함되는 지하 구조물의 특징 즉, 포물선 형상이 커널(K) 내에 들어오도록 커널(K)의 사이즈를 결정할 수도 있다.
- [0042] 상기한 바와 같이, 상기 3차원 데이터가 일정한 부피를 가지도록 그룹화하는 단계(1200)는, 3차원 커널(K)을 이용하여 상기 3차원 데이터가 일정한 부피를 가지도록 그룹화할 수 있는데, 이를 위해 3차원 커널(K)의 크기는 상기 3차원 데이터의 x-y-z 방향의 해상도에 따라 결정될 수 있다.
- [0043] 여기서, 3차원 커널(K)의 x 방향 크기는 상기 3차원 데이터의 포물선 형상을 포함할 수 있는 만큼 충분한 크기로 결정될 수 있다. 다만, x 방향 크기의 물리적 길이가 3 미터 이내에 형성될 수 있도록 픽셀(pixel)의 크기를 결정하는 것이 바람직하다. 예를 들면, 측정된 지표 투과 레이더(110) 신호의 길이방향(즉, x 방향) 해상도가 0.05 미터인 경우, 커널(K)의 x 방향 크기가 최대 60 픽셀이 선택될 수 있다.
- [0044] 또한, 상기 3차원 커널(K)의 y 방향 크기는 지표 투과 레이더(110)의 채널 개수 및 채널 간격에 따라 결정될 수 있다. 다만, y 방향 크기의 물리적 길이가 2 미터 이내에 형성될 수 있도록 픽셀의 크기를 결정하는 것이 바람직하다. 예를 들면, 다채널 지표 투과 레이더의 채널 간격이 0.05 미터인 경우, 커널(K)의 y 방향 크기는 최대 40 픽셀이 선택될 수 있다.
- [0045] 또한, 상기 3차원 커널(K)의 z 방향 크기는 지표 투과 레이더(110)의 주파수에 따라 결정되거나 상기 3차원 커널(K)의 x 방향 크기와 동일하게 결정될 수 있다. 다시 말하면, 상기 3차원 커널(K)의 z 방향 크기는 지표 투과 레이더(110)의 주파수에 따라 결정될 수 있는데, 상기 3차원 커널(K)의 x 방향 크기와 동일하게 결정되는 것이 바람직하다.
- [0046] 상기 그룹화된 3차원 데이터를 2차원 이미지로 분해하는 단계(1300)는, 상기 그룹화된 3차원 데이터를 폭방향으로 연속되는 B 스캔 2차원 이미지 및 길이방향으로 연속되는 C 스캔 2차원 이미지를 포함하도록 분해할 수 있다. 즉, 상기 그룹화된 3차원 데이터를 2차원 이미지로 분해하는 단계(1300)에서는, 3차원 커널(K)에서부터 폭방향으로 연속되는 B 스캔 2차원 이미지 및 길이방향으로 연속되는 C 스캔 2차원 이미지를 샘플링한다.

- [0047] 도 4에는 지표 투과 레이더(110)의 3차원 데이터의 B 스캔 이미지(BS)와 C 스캔 이미지(CS)가 도시되어 있다. B 스캔 이미지(BS)는 탐지 대상 지하 구조물의 폭방향으로 스캔하면서 얻어지는 2차원 이미지로서, 지하 구조물의 포물선 형상을 포함하게 된다. 지표 투과 레이더(110)가 지하 구조물에 접근함에 따라 둘 사이의 거리가 점차 가까워진 후 점차 멀어지기 때문에 탐지 결과가 포물선 형태로 나타나게 된다. 따라서, 대부분의 지하 구조물에 대한 B 스캔 이미지는 포물선 형태를 포함하게 된다.
- [0048] C 스캔 이미지(CS)는 지하 구조물의 깊이방향으로 스캔하면서 얻어지는 2차원 이미지이다. B 스캔 이미지(BS)와 달리 C 스캔 이미지(CS)는 포물선 형상을 포함하지 않고 지하 구조물에 따라서 각각 다른 형상을 포함한다.
- [0049] 앞서 언급한 바와 같이, 그룹화된 3차원 데이터를 2차원 이미지로 분해하는 단계(1300)는, 도 5에 도시된 바와 같이, 상기 그룹화된 3차원 데이터를 폭방향으로 연속되는 다수개의 B 스캔 2차원 이미지와 깊이방향으로 연속되는 다수개의 C 스캔 2차원 이미지를 포함하도록 분해할 수 있다. 도 5의 (a)는 폭방향으로 연속되는 다수개의 B 스캔 이미지(BS)를 나타내고, 도 5의 (b)는 깊이방향으로 연속되는 다수개의 C 스캔 이미지(CS)를 나타낸다.
- [0050] 한편, B 스캔 이미지(BS)는 지하 구조물에 상관 없이 대부분 포물선 형상을 포함하기 때문에 이러한 포물선 형상만으로는 지하 구조물의 형태를 정확하게 판독하기 어렵다. 이러한 한계를 극복하기 위해서, 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법에서는 C 스캔 이미지를 B 스캔 이미지와 함께 이용하여 얻어진 1장의 2차원 이미지에 딥러닝을 적용하는 것이다.
- [0051] 이를 위해, 상기 그룹화된 3차원 데이터를 2차원 이미지로 분해하는 단계(1300) 및 상기 분해된 2차원 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하는 단계(1500) 사이에는, 상기 2차원 이미지를 배치하여 1장의 이미지로 변환하는 단계(1400)가 포함되고, 상기 분해된 2차원 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하는 단계(1500)는 상기 변환된 1장의 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행할 수 있다.
- [0052] 한편, 상기 2차원 이미지 생성부(130)에서 그룹화된 3차원 데이터를 2차원 이미지로 분해하는 단계(1300) 및 상기 2차원 이미지를 배치하여 1장의 이미지로 변환하는 단계(1400)가 수행될 수 있다.
- [0053] 또한, 딥러닝 수행부(140)에서 상기 분해된 2차원 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하는 단계(1500)가 수행될 수 있다.
- [0054] 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법에서는, 지하 구조물의 판독 정확성을 높이기 위해 컴퓨터에 의한 딥러닝 기법을 사용하는데, 딥러닝을 위해 컴퓨터에 입력되는 1장의 이미지 정보에 지하 구조물의 폭방향 정보와 깊이방향 정보가 모두 있어야 딥러닝을 통한 컴퓨터의 판독 결과가 정확해 질 수 있다. 따라서, 3차원 데이터에서 분해된 2차원 이미지 즉 폭방향 B 스캔 이미지(BS)와 깊이방향 C 스캔 이미지(CS)를 조합하여 1장의 이미지로 만드는 과정이 필요하다.
- [0055] 이를 위해, 상기 2차원 이미지를 배치하여 1장의 이미지로 변환하는 단계(1400)에서는, 폭방향 정보 및 깊이방향 정보가 동시에 포함되도록 B 스캔 2차원 이미지(BS) 및 C 스캔 2차원 이미지(CS)를 배치하여 1장의 이미지로 변환할 수 있다.
- [0056] 도 6에는, 폭방향 정보 및 깊이방향 정보가 동시에 포함되도록 B 스캔 2차원 이미지(BS) 및 C 스캔 2차원 이미지(CS)를 배치하여 얻어진 1장의 이미지가 예시적으로 도시되어 있다. 도 6을 참조하면, B 스캔 이미지(BS)에는 포물선 형상이 포함되어 있고 C 스캔 이미지(CS)는 동그란 형상이 포함되어 있다. 또한, 8개의 B 스캔 이미지(BS)와 24개의 C 스캔 이미지(CS)를 배치하여 1장의 이미지로 변환되었음을 알 수 있다. 이때, B 스캔 이미지(BS)는 위쪽에 배치되어 있고 C 스캔 이미지(CS)는 아래쪽에 배치되어 있다.
- [0057] 딥러닝에 사용되는 컴퓨터에 도 6에 도시된 바와 같은 1장의 이미지가 입력되는데, 딥러닝 컴퓨터는 1장의 이미지에 있는 B 스캔 이미지(BS)와 C 스캔 이미지(CS)를 각각의 정보로 인식하는 것이 아니라, 도 6과 같이 B 스캔 이미지(BS)와 C 스캔 이미지(CS)가 배치되어 있는 1장의 이미지를 정보로 인식하게 된다. 따라서, 3차원 커널(K)에서 폭방향으로 연속되는 B 스캔 2차원 이미지 및 깊이방향으로 연속되는 C 스캔 2차원 이미지를 샘플링할 때 어떠한 2차원 이미지를 샘플링하는지에 대한 샘플링 기준, 그리고 샘플링된 B 스캔 이미지와 C 스캔 이미지를 1장의 이미지 내에서 어떠한 위치로 배치하는지 중요하다.
- [0058] 도 6의 경우에 대해서 예시적으로 설명하면, 도 6에 도시된 1장의 이미지를 만들기 위해서 사용된 8개의 B 스캔 이미지(BS)는 3차원 커널(K)에서 분해된 연속되는 다수개의 B 스캔 이미지 중에서 8개를 샘플링한 것이고, 24개의 C 스캔 이미지(CS)는 3차원 커널(K)에서 분해된 연속되는 다수개의 C 스캔 이미지 중에서 24개를 샘플링한 것이다.

- [0059] 만약, 3차원 커널(K)에서 분해된 연속되는 다수개의 B 스캔 이미지(BS)가 20개이고 연속되는 다수개의 C 스캔 이미지(CS)가 50개라고 하면, 20개 중에서 8개의 B 스캔 이미지를 샘플링하고, 50개 중에서 24개의 C 스캔 이미지를 샘플링해서 1장의 이미지로 변환하게 된다. 이 때, 20개 중에서 8개, 50개 중에서 24개를 샘플링하는 기준은 정해진 기준을 따르는 것 보다 탐지하고자 하는 지하 구조물의 크기 또는 형태에 따라 적절한 샘플링 기준을 정하고 이를 따르는 것이 바람직하다. 예를 들면, 20개의 B 스캔 이미지 중에서 등간격으로 8개의 B 스캔 이미지를 샘플링할 수도 있고, 이웃하는 이미지의 평균 이미지를 샘플링하는 것도 가능하다.
- [0060] 또한, 분할된 다수개의 연속된 B 스캔 이미지(BS)와 C 스캔 이미지(CS) 중에서 충분히 공간적 분해능(Resolution)을 가질 정도의 간격을 두고 1장의 이미지에 사용할 B 스캔 이미지와 C 스캔 이미지를 샘플링할 수도 있다.
- [0061] 한편, B 스캔 이미지(BS)와 C 스캔 이미지(CS)를 1장의 이미지 내에서 어떻게 배치시키느냐 하는 것도 딥러닝의 결과 또는 지하 구조물 판독의 정확성에 중요한 영향을 미칠 수 있다.
- [0062] 본 출원인은 B 스캔 이미지와 C 스캔 이미지의 배치에 대해서 많은 테스트를 해 보았다. 그 결과, B 스캔 이미지(BS)와 C 스캔 이미지(CS)를 상하로 배치하는 경우(도 8 참조)와, B 스캔 이미지(BS)와 C 스캔 이미지(CS)를 좌우로 배치하는 경우(도 10 참조)가 다른 경우 보다 상대적으로 지하 구조물의 판독 정확도가 높다는 것을 확인할 수 있었다.
- [0063] 또한, 1장의 이미지 내에서 B 스캔 이미지(BS)와 C 스캔 이미지(CS)의 배치관계 내지 위치관계에 무관하게, 1장의 이미지를 만들기 위해서 사용되는 B 스캔 이미지(BS)의 개수가 C 스캔 이미지(CS)의 개수 보다 적은 것이 바람직하다. 즉, 도 8 및 도 10을 참조하면, 1장의 이미지를 구성하는 C 스캔 이미지(CS)의 개수가 B 스캔 이미지(BS)의 개수 보다 많은 것을 알 수 있다.
- [0064] 이와 같이 얻어진 1장의 이미지를 이용하여 딥러닝 수행부(140)에서는 딥러닝을 수행하게 된다. 상기 분해된 2차원 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하는 단계(1500)는, B 스캔 2차원 이미지(BS) 및 C 스캔 2차원 이미지(CS)를 배치하여 형성된 1장의 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하고 그에 따른 학습된 네트워크 또는 트레이닝된 네트워크를 형성할 수 있다. 상기 학습된 네트워크 생성부(150)가 딥러닝의 결과인 학습된 네트워크 또는 트레이닝된 네트워크를 형성할 수 있다.
- [0065] 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법에서는, 3차원 데이터를 분해하여 얻은 2차원 이미지를 배치하여 1장의 이미지를 만들고 이를 딥러닝 알고리즘에 입력하여 트레이닝함으로써, 지하 구조물의 형상에 따른 딥러닝 수행 결과 즉, 학습된 네트워크 또는 트레이닝된 네트워크를 구축할 수 있다.
- [0066] 도 8 내지 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법 및 시스템의 성능을 설명하기 위한 도면이 도시되어 있다.
- [0067] 도 8에는, 지하 구조물이 동공(cavity)인 경우(a), 지하 구조물이 배관(pipe)인 경우(b), 지하 구조물이 맨홀인 경우(c), 지하 구조물이 일반 지반인 경우(d)에 대해 딥러닝에 사용하는 1장의 이미지가 도시되어 있다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더 탐지 시스템(100)을 사용하여 동공, 배관, 맨홀, 일반 지반을 탐지하기 위해 얻은 3차원 데이터를 B 스캔 이미지와 C 스캔 이미지로 분해하여 얻어진 1장의 2차원 이미지가 도 8에 도시되어 있다.
- [0068] 도 8의 경우에는 B 스캔 이미지(BS)가 위쪽에, C 스캔 이미지(CS)가 아래쪽에 배치되어 있다. 도 8에 도시된 1장의 이미지를 딥러닝에 적용한 결과가 도 9의 (a)에 도시되어 있다. 도 9의 (b)는 C 스캔 이미지(CS)가 위쪽에, B 스캔 이미지(BS)가 아래쪽에 배치된 1장의 이미지를 딥러닝에 적용한 결과이다.
- [0069] 도 9의 (a) 및 (b)에서, 좌측에서부터 첫 번째는 지하 구조물이 동공인 경우, 두 번째는 지하 구조물이 파이프인 경우, 세 번째는 지하 구조물이 맨홀인 경우, 네 번째는 지하 구조물이 일반 지반인 경우에 대한 딥러닝 정답 확률을 보여준다. 도 9의 (a)에서, 지하 구조물이 동공인 경우(Cavity case)를 보면, 딥러닝 성능 평가결과를 보면, 82.5%의 확률로 동공일 것으로 추정되었고 17.5%의 확률로 배관일 것으로 추정되고, 지하 구조물이 배관인 경우(Pipe case)에도 84.1%의 확률로 배관일 것으로 추정되고, 지하 구조물이 맨홀인 경우(Manhole case)와 일반 지반인 경우(Ground case)에는 100%의 확률로 정확하게 추정하는 것을 확인할 수 있다.
- [0070] 또한, 도 9의 (b)에서, 지하 구조물이 동공인 경우(Cavity case)를 보면, 딥러닝 성능 평가결과를 보면, 83.3%의 확률로 동공일 것으로 추정되었고 16.7%의 확률로 배관일 것으로 추정되고, 지하 구조물이 배관인 경우(Pipe case)에도 86.5%의 확률로 배관일 것으로 추정되고, 지하 구조물이 맨홀(Manhole case)인 경우 일반 지반인 경

우(Ground case)에는 100%의 확률로 정확하게 추정하는 것을 확인할 수 있다.

- [0071] 한편, 도 10의 경우에는 B 스캔 이미지(BS)가 좌측에, C 스캔 이미지(CS)가 우측에 배치되어 있다. 도 10에 도시된 1장의 이미지를 딥러닝에 적용한 결과가 도 10의 (a)에 도시되어 있다. 도 10의 (b)는 C 스캔 이미지(CS)가 좌측에, B 스캔 이미지(BS)가 우측에 배치된 1장의 이미지를 딥러닝에 적용한 결과이다.
- [0072] 도 11의 (a) 및 (b)에서, 좌측에서부터 첫 번째는 지하 구조물이 동공인 경우, 두 번째는 지하 구조물이 파이프인 경우, 세 번째는 지하 구조물이 맨홀인 경우, 네 번째는 지하 구조물이 일반 지반인 경우에 대한 딥러닝 정답 확률을 보여준다. 도 11의 (a)에서, 지하 구조물이 동공인 경우(Cavity case)를 보면, 딥러닝 성능 평가결과를 보면, 79.4%의 확률로 동공일 것으로 추정되었고 20.6%의 확률로 배관일 것으로 추정되고, 지하 구조물이 배관인 경우(Pipe case)에도 83.3%의 확률로 배관일 것으로 추정되고, 지하 구조물이 맨홀인 경우(Manhole case)와 일반 지반인 경우(Ground case)에는 100%의 확률로 정확하게 추정하는 것을 확인할 수 있다.
- [0073] 또한, 도 11의 (b)에서, 지하 구조물이 동공인 경우(Cavity case)를 보면, 딥러닝 성능 평가결과를 보면, 77.8%의 확률로 동공일 것으로 추정되었고 22.2%의 확률로 배관일 것으로 추정되고, 지하 구조물이 배관인 경우(Pipe case)에도 86.5%의 확률로 배관일 것으로 추정되고, 지하 구조물이 맨홀(Manhole case)인 경우 일반 지반인 경우(Ground case)에는 100%의 확률로 정확하게 추정하는 것을 확인할 수 있다.
- [0074] 도 8 내지 도 11의 결과를 통하여, 3차원 정보(부피 개념)를 가지는 지표 투과 레이더의 데이터를 B 스캔 이미지와 C 스캔 이미지를 조합하여 2차원 GPR 이미지를 만들 경우, B 스캔 이미지만 사용하거나 C 스캔 이미지만을 사용할 경우보다 높은 확률로 지하 구조물을 찾는 것을 확인할 수 있다.
- [0075] 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더 탐지 시스템(100)의 GPR 데이터 저장부(160)에는 3차원 데이터, 2차원으로 분해된 다수의 연속하는 B 스캔 이미지(BS) 및 C 스캔 이미지(CS), 그리고 1장의 2차원 이미지 등이 저장될 수 있다.
- [0076] 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더 시스템(100) 및 데이터 처리 방법에서는, 딥러닝 트레이닝의 결과인 지하 구조물에 관한 판독 기준을 데이터 베이스화 하여 GPR 데이터 저장부(160)에 저장하게 된다. GPR 데이터 저장부(160)에 저장된 지하 구조물에 대한 판독 기준은 실제 지하 구조물을 탐지할 때 얻은 지표 투과 레이더의 데이터와 비교할 때 사용된다. 판독 기준과 실제 지하 구조물의 데이터 비교 및 판독은 판독부(180)에서 수행될 수 있다.
- [0077] 한편, 상기 분해된 2차원 이미지를 이용하여 딥러닝을 수행하는 단계(1500) 이후에, 지하 탐지 대상 지역에 대해서 지표 투과 레이더(110)의 데이터를 수집하여 딥러닝 결과와 비교하는 단계(1600); 딥러닝 결과와 비교하여 얻어진 3차원 확률지도를 시각화하는 단계(1700); 및 지하 탐지 대상 지역의 지하 구조물을 판단하거나 분석하는 단계(1800);를 더 포함할 수 있다.
- [0078] 지하 탐지 대상 지역에 대해서 지표 투과 레이더(110)의 데이터를 수집하여 딥러닝 결과와 비교하는 단계(1600)는 판독부(180)에서 수행될 수 있다.
- [0079] 예를 들면, 도로 아래에 동공이 있는지 탐지하려는 경우, 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더 탐지 시스템(100)이 해당 도로의 지하를 스캔하여 3차원 데이터를 획득한 후, 3차원 데이터로부터 B 스캔 이미지와 C 스캔 이미지로 된 1장의 2차원 이미지를 생성하여, 그 결과를 동공에 대한 딥러닝 판독 기준과 비교함으로써, 도로 아래에 동공이 있는지 여부를 정확하게 판단할 수 있다. 이 때, 실제 도로에서 얻은 동공에 대한 B 스캔 이미지 및 C 스캔 이미지에 대한 샘플링 기준은, 동공에 대한 딥러닝 판독 기준에 사용된 B 스캔 이미지 및 C 스캔 이미지에 대한 샘플링 기준과 동일해야 한다.
- [0080] 또한, 상기 지하 탐지 대상 지역에 대해서 지표 투과 레이더(110)의 데이터를 수집하여 딥러닝 결과와 비교하는 단계(1600)는, 상기 딥러닝 수행을 위한 트레이닝 세트를 형성한 후에, 네트워크를 트레이닝 하고, 지하 탐지 대상 지역에 대한 지표 투과 레이더의 3차원 데이터를 트레이닝에 사용된 것과 동일한 크기의 커널을 이용하여 분할하고, 픽셀 단위로 커널을 이동하면서 각 픽셀에서의 확률값을 획득할 수 있다. 즉, 딥러닝에 의한 트레이닝이 완료된 이후에는, 지하 구조물의 유무를 판단하고자 하는 대상 지역의 3차원 지표 투과 레이더(110)의 데이터를 트레이닝에 사용된 것과 동일한 크기의 커널(K)을 이용하여 분할하고, 픽셀 단위로 커널을 옮겨가며 각 픽셀의 확률(Probability)값을 얻는다.
- [0081] 상기 딥러닝 결과와 비교하여 얻어진 3차원 확률지도를 시각화하는 단계(1700)는, 픽셀 단위로 커널을 이동하면서 얻은 각 픽셀에서의 확률값을 이용하여 3차원 확률지도를 시각화할 수 있다. 이러한 시각화는 표시부(170)에

서 수행될 수 있다.

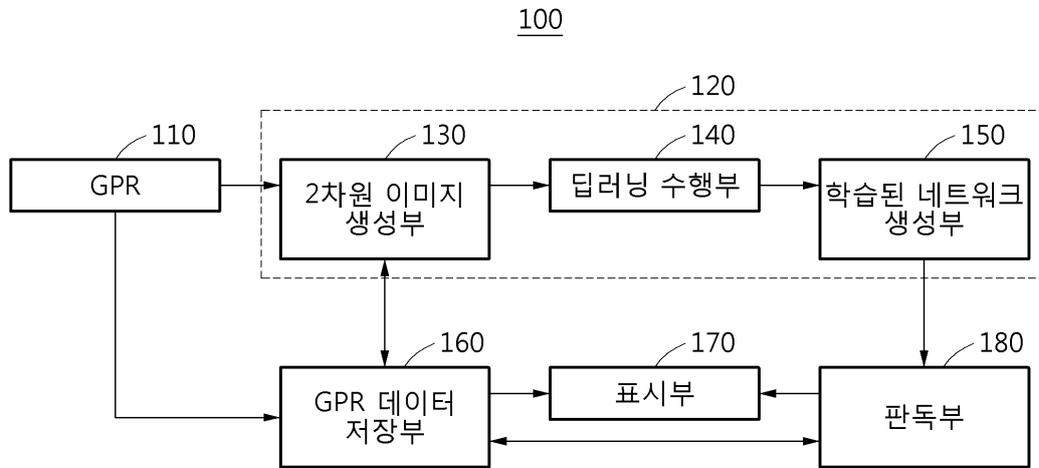
- [0082] 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더 탐지 시스템(100)의 표시부(170)는 도 7에 도시된 바와 같이 지하 구조물을 3차원적으로 표현하여 시각적으로 보여줄 수 있다. 도 7의 (a)는 지하 구조물이 동공과 배관인 경우를 시각적으로 보여주고 있고, 도 7의 (b)는 지하 구조물이 맨홀인 경우를 시각적으로 보여주고 있다.
- [0083] 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더 탐지 시스템(100)은 실제 탐지 지역에서 얻은 딥러닝 결과인 확률값 또는 확률지도(Probability map)를 3차원적으로 시각화함으로써 해당 지표 투과 레이더(110)의 데이터에서부터 지하 구조물의 유무를 시각적으로 판단하고 구별할 수 있다.
- [0084] 즉, 상기 지하 탐지 대상 지역의 지하 구조물을 판단하거나 분석하는 단계(1800)는, 상기 3차원 확률지도를 이용하여 지표 투과 레이더(110)의 데이터에서 지하 구조물의 유무를 판단하거나 형태를 분석할 수 있다.
- [0085] 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더 탐지 시스템(100) 및 이를 이용한 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법은, 실제 탐지 지역에서 얻은 지표 투과 레이더의 3차원 데이터를 2차원화하고 2차원화된 1장의 이미지에 딥러닝을 적용한 결과로부터 지하 구조물의 유무를 판독할 수 있을 뿐만 아니라 표시부(170)에 나타나는 지하 구조물에 대한 시각적 정보도 이용하여 지하 구조물의 유무를 보다 정확하게 판독할 수 있다.
- [0086] 상기한 본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법은 지하 구조물의 탐지 뿐만 아니라 MRI 판독 등과 같은 의료분야 또는 비파괴 검사분야 등에도 이용될 수 있다.
- [0088] 이상과 같이 본 발명의 일 실시예에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 청구범위뿐 아니라 이 청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

**부호의 설명**

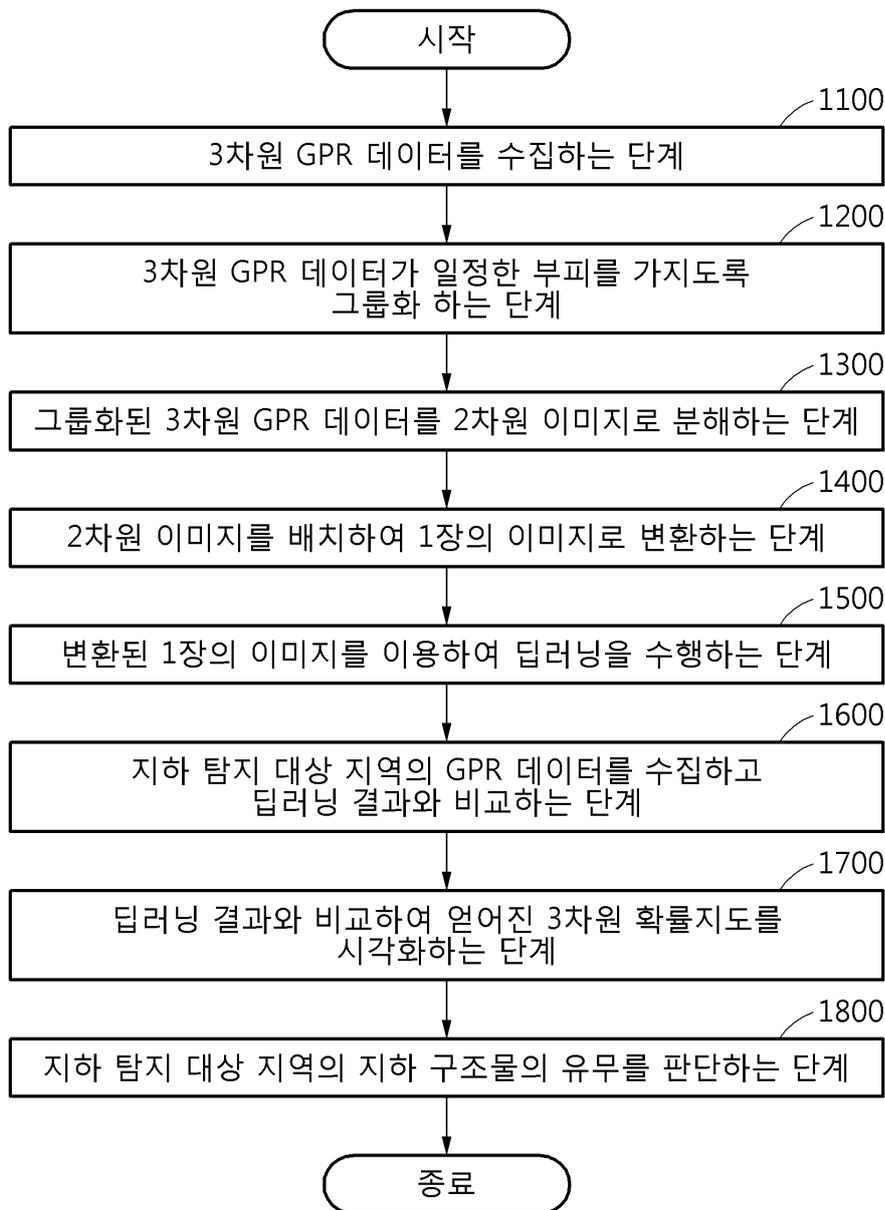
- [0089] 100: 지표 투과 레이더 탐지 시스템
- 110: 지표 투과 레이더
- 120: 데이터 처리부
- 130: 2차원 이미지 생성부
- 140: 딥러닝 수행부
- 150: 학습된 네트워크 생성부
- 160: GPR 데이터 저장부
- 170: 표시부
- 180: 판독부

도면

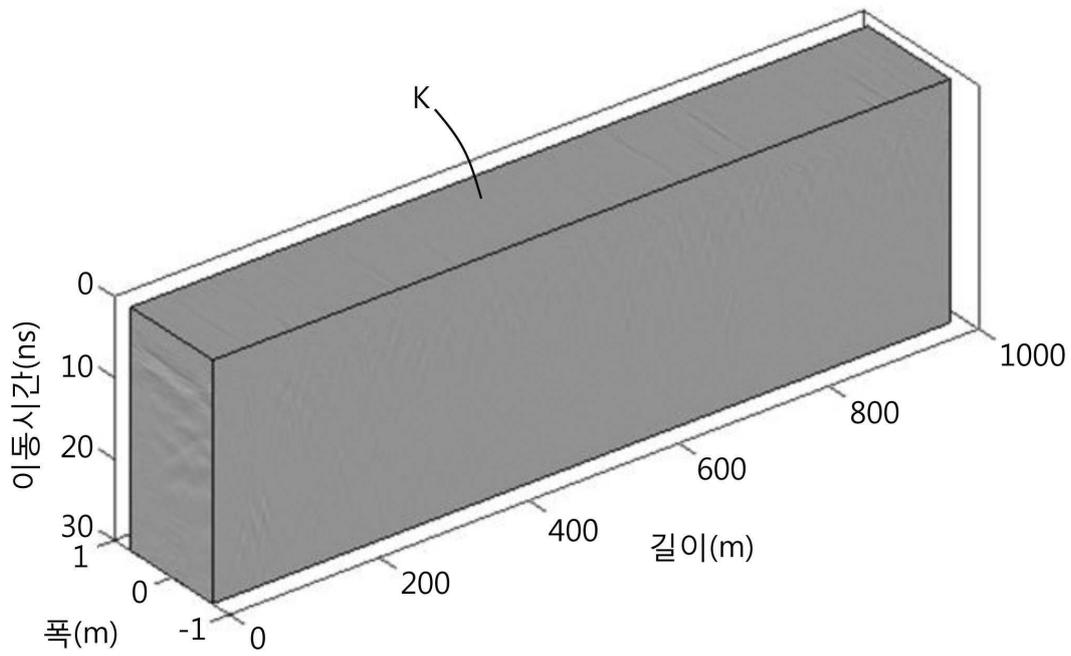
도면1



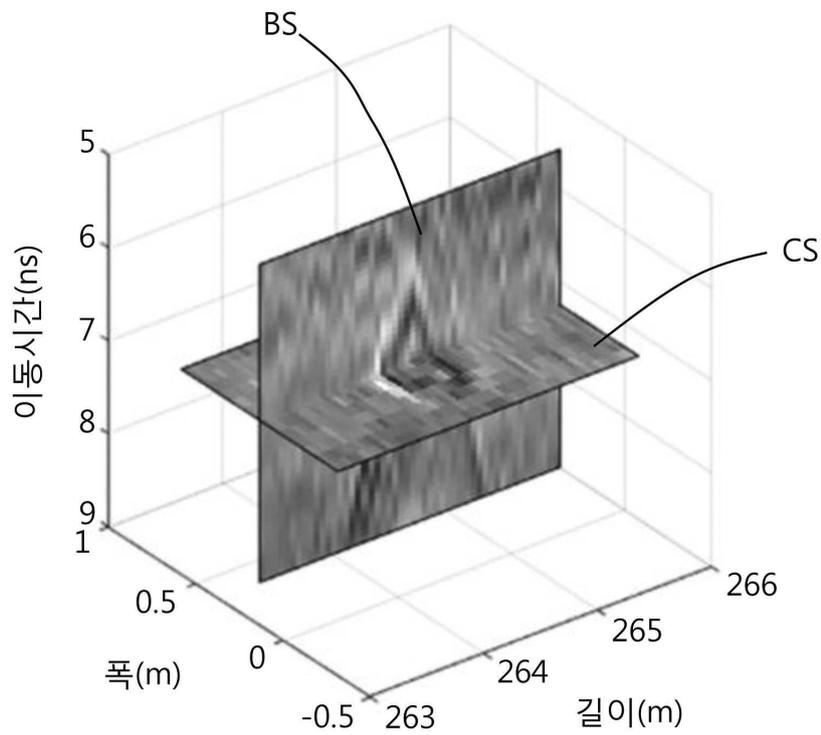
도면2



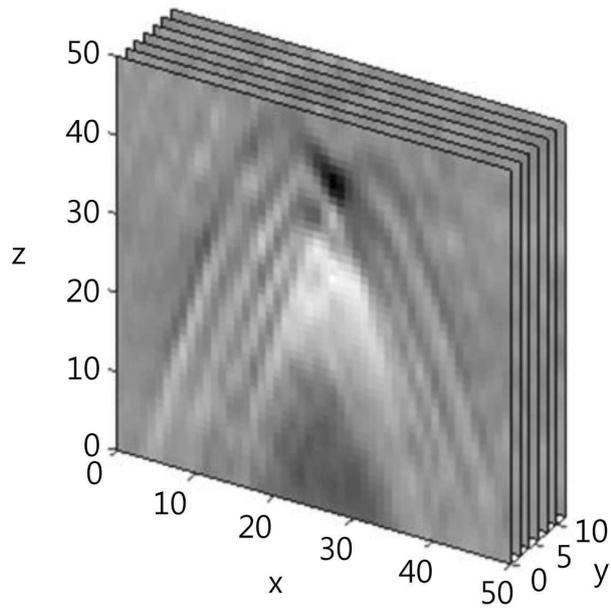
도면3



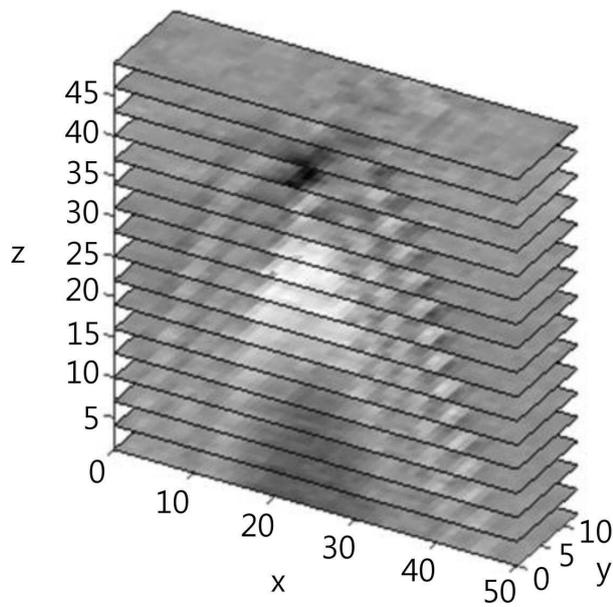
도면4



도면5

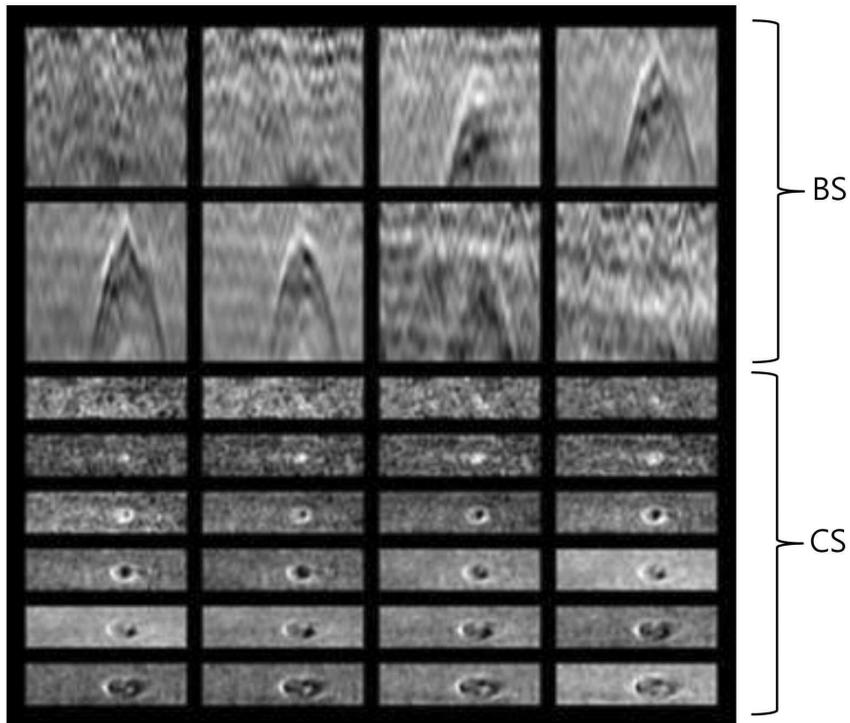


(a)

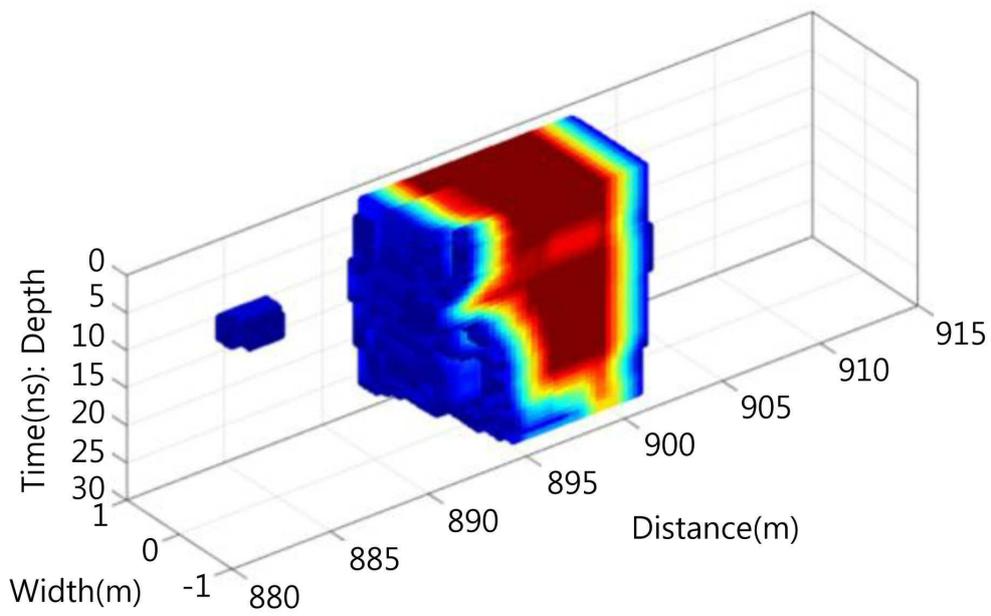
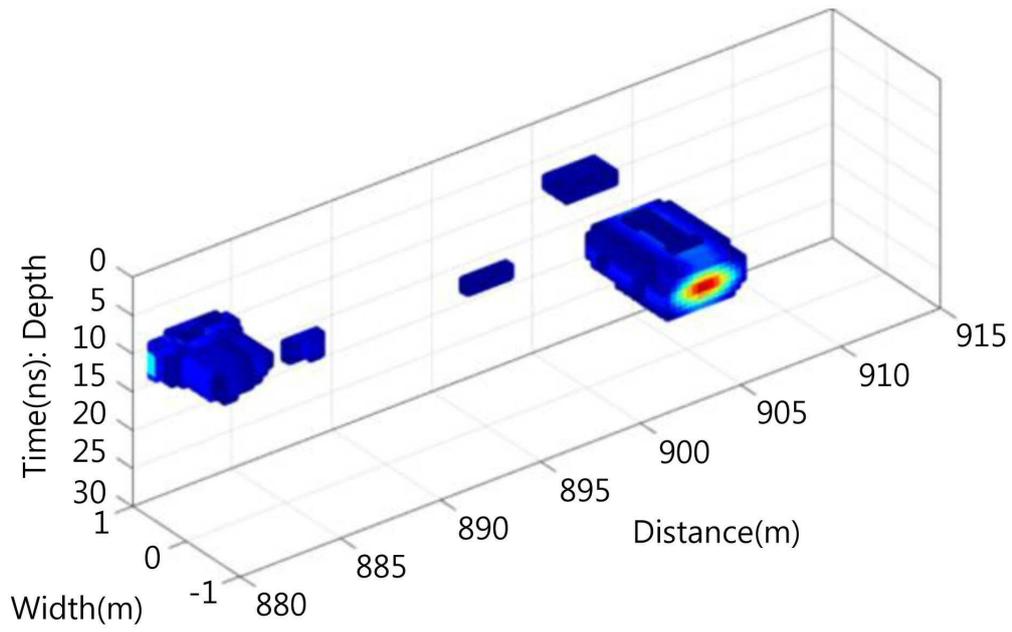


(b)

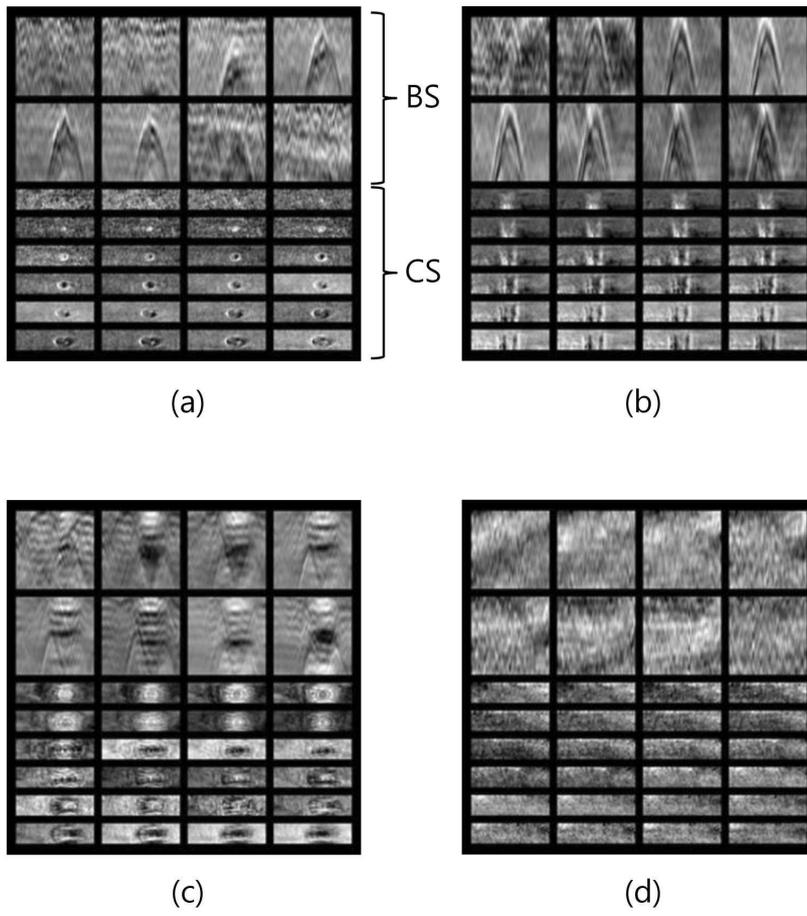
도면6



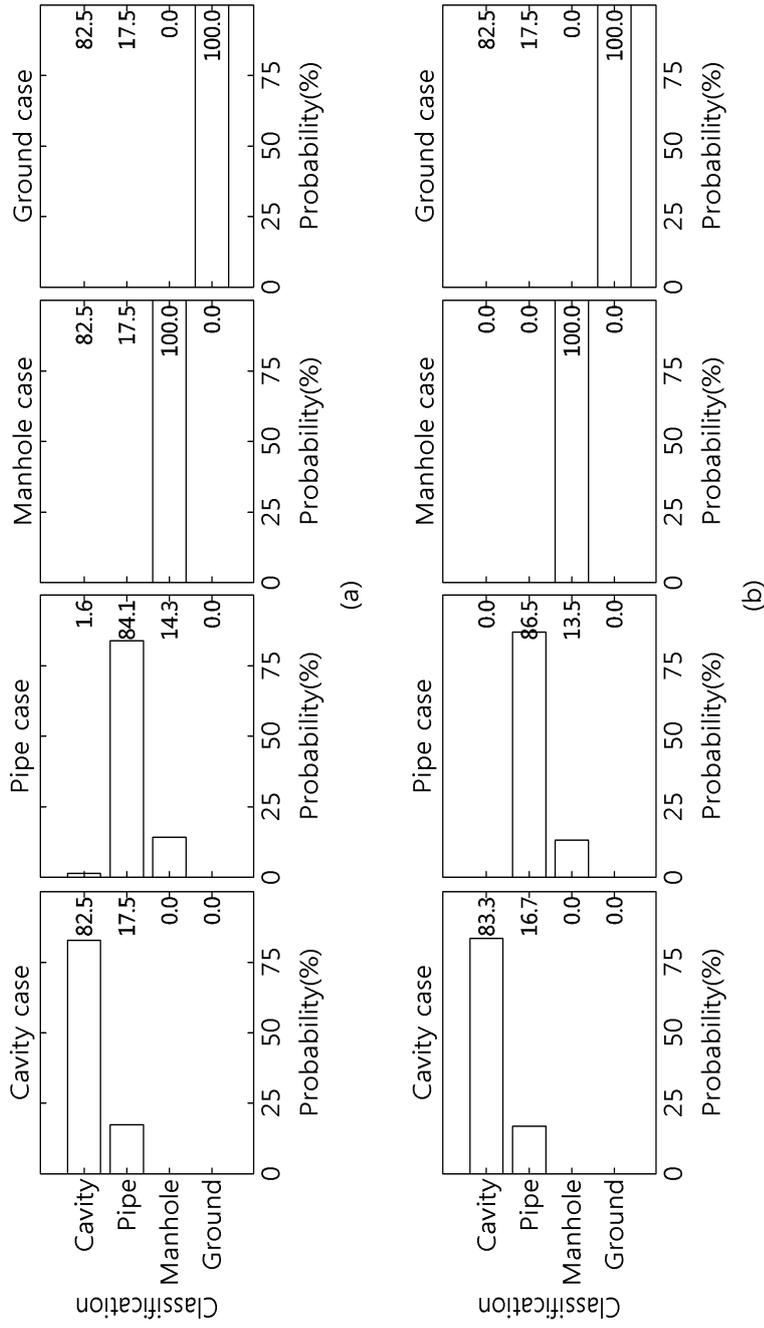
도면7



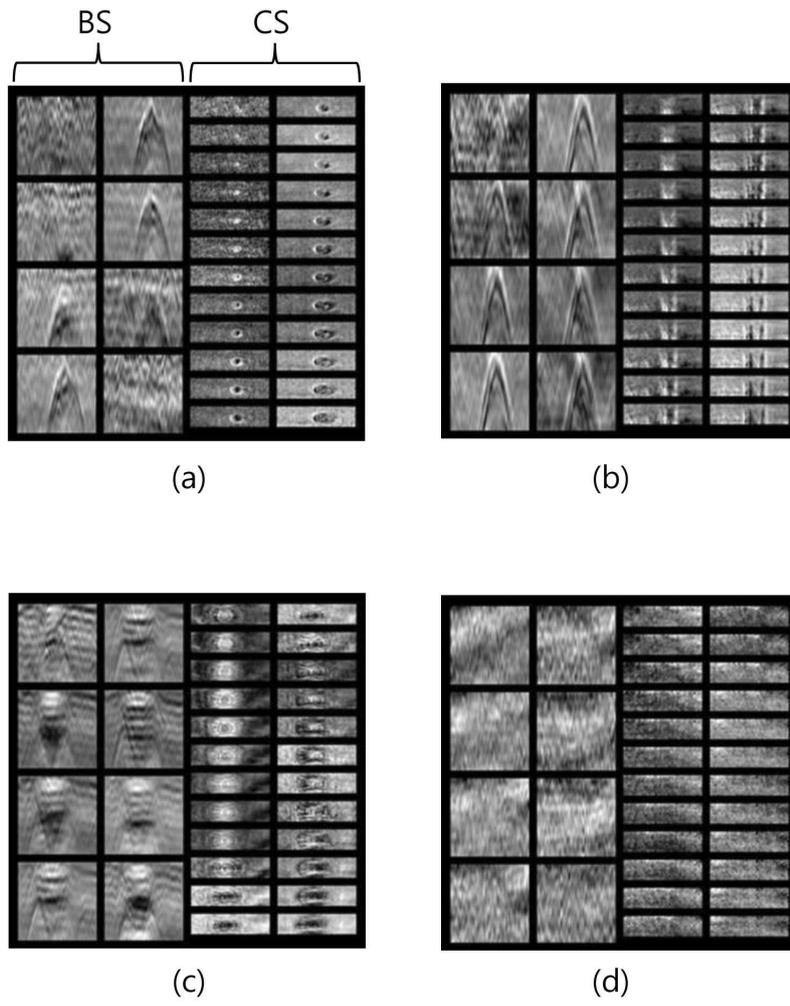
도면8



도면9



도면10



도면11

