(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년06월28일
(11) 등록번호 10-1871893
(24) 등록일자 2018년06월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01M 7/02 (2006.01) *E02D 33/00* (2006.01)
G06F 17/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01M 7/02 (2013.01)
E02D 33/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0075022
(22) 출원일자 2017년06월14일
심사청구일자 2017년06월14일
(56) 선행기술조사문헌
KR101614138 B1*
KR1020110060041 A*
KR1020100003648 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
편석준
인천광역시 남구 매소홀로309번길 32, 103동 1302호(학익동, 엑슬루타워)
최우창
인천광역시 남구 길파로35번길 58, B01호(주안동, 성도빌라)
(74) 대리인
이은철, 이수찬

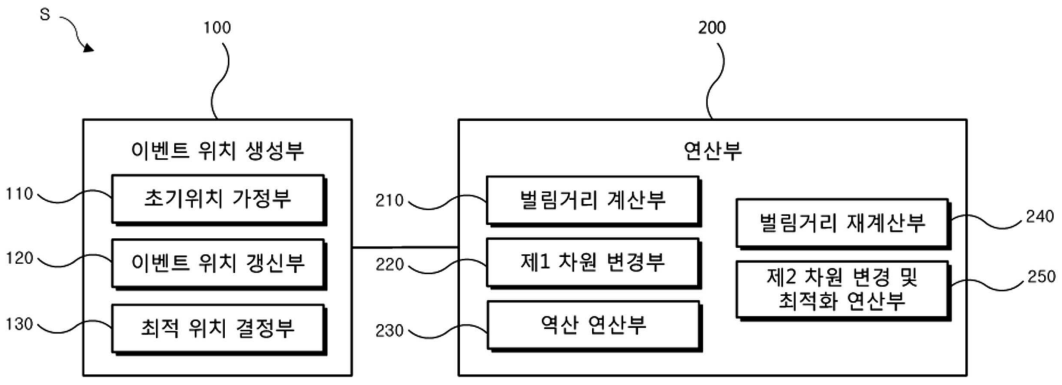
전체 청구항 수 : 총 10 항 심사관 : 홍기정

(54) 발명의 명칭 **미소진동 이벤트 위치 결정장치, 방법 및 컴퓨터 판독 가능한 기록매체**

(57) 요 약

본 발명은 미소진동 이벤트 위치 결정장치에 관한 것으로서, 지반 내부의 미소진동 이벤트가 발생된 3차원 구조 상의 위치를 미소진동 이벤트 초기위치로서 가정하고, 미소진동 이벤트 초기위치를 이용하여 연산된 위치를 전달받아 미소진동 이벤트 최적 위치로서 저장하는 이벤트 위치 생성부, 그리고 상기 이벤트 위치 생성부로부터 미소진동 이벤트 초기위치를 전달받아 2차원 구조 상의 위치로 변경하고, 최적화 연산을 수행한 2차원 구조 상의 위치를 3차원 구조 상의 미소진동 이벤트 최적 위치로 연산하여 상기 이벤트 위치 생성부로 전달하는 연산부를 포함하여 상기 미소진동 이벤트를 발생한 위치를 결정한다. 이로 인해, 선회파선을 이용하는 2차원 단면에서의 미소진동 이벤트 위치 결정 알고리즘으로부터 미소진동 이벤트 위치를 3차원 좌표로 얻을 수 있어, 미소진동 이벤트 위치를 얻는 데 소요되는 비용 및 시간을 효율적으로 절감할 수 있는 효과가 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G06F 17/10 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415151072
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국에너지기술평가원
연구사업명 에너지인력양성(에특)
연구과제명 한국에너지기술평가원
기 여 율 1/2
주관기관 인하대학교 산학협력단
연구기간 2016.03.01 ~ 2016.12.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415148460
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국에너지기술평가원
연구사업명 자원개발기술개발
연구과제명 트러스트 벨트 지역 육상 유가스전 무선 탄성파탐사 실증연구
기 여 율 1/2
주관기관 한국지질자원연구원
연구기간 2016.10.01 ~ 2017.09.30
공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

지반 내부의 미소진동 이벤트를 발생한 3차원 구조 상의 위치를 미소진동 이벤트 초기위치로서 가정하고, 미소진동 이벤트 초기위치를 이용하여 연산된 위치를 전달받아 미소진동 이벤트 최적 위치로서 저장하는 이벤트 위치 생성부, 그리고

상기 이벤트 위치 생성부로부터 미소진동 이벤트 초기위치를 전달받아 2차원 구조 상의 가상의 좌표로 변경하고, 상기 2차원 구조 상의 가상의 좌표를 3차원 구조 상의 좌표로 연산하여 상기 이벤트 위치 생성부로 전달하며, 상기 지반의 표면에 형성되어 상기 미소진동 이벤트를 수신하는 지표 수진기로부터 이벤트 수신 결과를 전달받고 상기 미소진동 이벤트 초기위치와 상기 지표 수진기 사이의 벌림거리를 계산하는 벌림거리 계산부와, 상기 벌림거리 계산부에서 계산된 벌림거리를 이용하여 3차원 구조 상의 미소진동 이벤트 초기위치를 2차원 구조로 변경하는 제1 차원 변경부를 포함하는 연산부

를 포함하여 상기 미소진동 이벤트를 발생한 위치를 결정하는 것을 특징으로 하는 미소진동 이벤트 위치 결정장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 벌림거리 계산부는 상기 지반의 표면과 수직으로 시추된 시추공에 형성되어 상기 미소진동 이벤트를 수신하는 시추공 수진기로부터 이벤트 수신 결과를 전달받고, 상기 미소진동 이벤트 초기위치와 상기 시추공 수진기 사이의 벌림거리를 계산하여 상기 제1 차원 변경부로 이를 제공하는 것을 특징으로 하는 미소진동 이벤트 위치 결정장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 연산부는,

상기 제1 차원 변경부로부터 2차원 구조의 미소진동 이벤트 초기위치를 전달받아, 식 1을 이용하여 갱신하여, 갱신된 좌표를 상기 이벤트 위치 생성부로 전달하는 역산 연산부

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 미소진동 이벤트 위치 결정장치.

[식 1]

$$O(x_s^*, z_s) = \sum_{i=1}^{nrecv} \left\{ (T_{obs,i} - T_0) - T_{cal,i}(x_s^*, z_s) \right\}^2$$

(위의 식 1에서, x_s^*는 2차원의 가상 단면에서 미소진동 이벤트 송신원의 수평 좌표(x축), z_s는 미소진동 이벤트 송신원의 수직 좌표(z축), i는 수진기의 번호, nrecv는 수진기의 개수, $T_{obs,i}$는 i번째 수진기

의 관측시간, T_0는 미소진동 이벤트의 발생 시간, $T_{cal,i}$는 i번째 수진기에 대한 계산 주시임.)

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 연산부는,

상기 갱신된 좌표에 대해, 상기 식 1에서 $T_{obs,i}$와 $T_{cal,i}$의 차이 값이 설정된 값에 부합할 때까지 상기 지표 수진기 사이의 벌림거리를 재계산하는 벌림거리 재계산부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 미소진동 이벤트 위치 결정장치.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 연산부는,

식 2를 이용하여 상기 갱신된 좌표를 3차원 구조 상의 좌표로 변환하고, 미소진동 이벤트 최적 위치로서 상기 이벤트 위치 생성부로 전달하는 제2 차원 변경 및 최적화 연산부

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 미소진동 이벤트 위치 결정장치.

[식 2]

$$O(x_s, y_s) = \sum_{i=1}^{nrecv} \left[d_i^2 - \left\{ (x_s - x_i)^2 + (y_s - y_i)^2 \right\} \right]^2$$

(식 2에서, x_i 및 y_i는 i번째 수진기의 수평 좌표이고, x_s 및 y_s는 갱신된 송신원의 수평 좌표이며, d_i는 벌림거리임.)

청구항 7

(a) 미소진동 이벤트 초기위치를 3차원 구조 상의 좌표로 가정하는 단계,

(b) 초기위치와 수진기 사이의 벌림 거리를 고려하여 상기 (a) 단계에서 설정된 3차원 구조 상의 좌표를 2차원 구조 상의 가상의 좌표로 변환하는 단계,

(c) 2차원 위치 역산 알고리즘을 적용하여 상기 (b) 단계에서 변환된 2차원 구조 상의 가상의 좌표를 갱신하는 단계, 그리고

(d) 갱신된 이벤트 위치를 이용하여 벌림 거리를 재계산하고, 상기 (c) 단계에서 갱신된 상기 변환된 2차원 구조 상의 가상의 좌표와 벌림 거리 재계산 값을 이용하여 상기 (c) 단계에서 갱신된 상기 변환된 2차원 구조 상의 가상의 좌표를 3차원 구조 상의 좌표로 변환하는 단계

를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 미소진동 이벤트 위치 결정방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 (c) 단계는 식 1로부터 이루어지는 것을 특징으로 하는 미소진동 이벤트 위치 결정방법.

[식 1]

$$O(x_s^*, z_s) = \sum_{i=1}^{nrecv} \left\{ (T_{obs,i} - T_0) - T_{cal,i}(x_s^*, z_s) \right\}^2$$

(위의 식 1에서, x_s^*는 2차원의 가상 단면에서 미소진동 이벤트 송신원의 수평 좌표(x축), z_s는 미소진동 이벤트 송신원의 수직 좌표(z축), i는 수진기의 번호, nrecv는 수진기의 개수, $T_{obs,i}$는 i번째 수진기의 관측시간, T_0는 미소진동 이벤트의 발생 시간, $T_{cal,i}$는 i번째 수진기에 대한 계산 주시임.)

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 (c) 단계는 상기 갱신된 이벤트 위치 좌표에 대해, 상기 식 1에서 $T_{obs,i}$와 $T_{cal,i}$의 차이 값이 설정된 값에 부합할 때까지 반복되어 수행되는 것을 특징으로 하는 미소진동 이벤트 위치 결정방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 (d) 단계는 식 2로부터 이루어지는 것을 특징으로 하는 미소진동 이벤트 위치 결정방법.

[식 2]

$$O(x_s, y_s) = \sum_{i=1}^{nrecv} \left[d_i^2 - \left\{ (x_s - x_i)^2 + (y_s - y_i)^2 \right\} \right]^2$$

(식 2에서, x_i 및 y_i는 i번째 수진기의 수평 좌표이고, x_s 및 y_s는 갱신된 송신원의 수평 좌표이며, d_i는 벌림거리임.)

청구항 11

제7항 내지 제10항 중 어느 한 항에 따른 방법을 수행하기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 미소진동 이벤트 위치 결정장치, 방법 및 컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 관한 것으로, 좀더 자세하게는 미소진동 이벤트의 위치를 검출하기 위한 장치, 방법 및 컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 지반의 균열이 발생할 수 있는 미소진동을 모니터링하는 것은 지반의 균열을 특성화하는 데 중요한 부분으로서, 대한민국 등록특허공보 제10-1241860호(보 구조물의 크랙 검출 방법)에서 크랙의 위치 및 크기를 검출하는 내용

을 제시하고 있다.

[0003] 그러나, 이러한 선행문헌의 경우 크랙의 위치 및 크기 검출을 위해 크랙의 영향을 포함하는 강성항이 포함된 운동방정식을 유도하여 크랙의 위치와 깊이의 관계식을 획득하는 내용을 기재하고 있어, 간소화된 미소진동 이벤트 검출식의 개발이 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 미소진동 이벤트의 위치를 2차원 구조를 이용하여 검출하는 연산을 통해 미소진동 이벤트의 위치를 검출하는 데 소요되는 비용 및 시간을 감소시키기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 한 실시예에 따른 미소진동 이벤트 위치 결정장치는 지반 내부의 미소진동 이벤트를 발생한 3차원 구조 상의 위치를 미소진동 이벤트 초기위치로서 가정하고, 미소진동 이벤트 초기위치를 이용하여 연산된 위치를 전달받아 미소진동 이벤트 최적 위치로서 저장하는 이벤트 위치 생성부, 그리고 상기 이벤트 위치 생성부로부터 미소진동 이벤트 초기위치를 전달받아 2차원 구조 상의 위치로 변경하고, 최적화 연산을 수행한 2차원 구조 상의 위치를 3차원 구조 상의 미소진동 이벤트 최적 위치로 연산하여 상기 이벤트 위치 생성부로 전달하는 연산부를 포함하여 상기 미소진동 이벤트를 발생한 위치를 결정한다.

[0006] 상기 연산부는, 상기 지반의 표면에 형성되어 상기 미소진동 이벤트를 수신하는 지표 수진기로부터 이벤트 수신 결과를 전달받고, 상기 미소진동 이벤트 초기위치와 상기 지표 수진기 사이의 벌림거리를 계산하는 벌림거리 계산부, 그리고 상기 벌림거리 계산부에서 계산된 벌림거리를 이용하여 3차원 구조 상의 미소진동 이벤트 초기위치를 2차원 구조로 변경하는 제1 차원 변경부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0007] 상기 벌림거리 계산부는 상기 지반의 표면과 수직으로 시추된 시추공에 형성되어 상기 미소진동 이벤트를 수신하는 시추공 수진기로부터 이벤트 수신 결과를 전달받고, 상기 미소진동 이벤트 초기위치와 상기 시추공 수진기 사이의 벌림거리를 계산하여 상기 제1 차원 변경부로 이를 제공하는 것을 특징으로 한다.

[0008] 상기 연산부는, 상기 제1 차원 변경부로부터 2차원 구조의 미소진동 이벤트 초기위치를 전달받아, 식 1을 이용하여 갱신하여, 갱신된 좌표를 상기 이벤트 위치 생성부로 전달하는 역산 연산부를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0009] [식 1]

[0010] $$O(x_s^*, z_s) = \sum_{i=1}^{nrecv} \left\{ (T_{obs,i} - T_0) - T_{cal,i}(x_s^*, z_s) \right\}^2$$

[0011] (위의 식 1에서, x_s^*는 2차원의 가상 단면에서 미소진동 이벤트 송신원의 수평 좌표(x축), z_s는 미소진동 이벤트 송신원의 수직 좌표(z축), i는 수진기의 번호, nrecv는 수진기의 개수, $T_{obs,i}$는 i번째 수진기의 관측시간, T_0는 미소진동 이벤트의 발생 시간, $T_{cal,i}$는 i번째 수진기에 대한 계산 주시임.)

[0012] 상기 연산부는, 상기 갱신된 좌표에 대해, 상기 식 1에서 $T_{obs,i}$와 $T_{cal,i}$의 차이 값이 설정된 값에 부합할 때까지 상기 지표 수진기 사이의 벌림거리를 재계산하는 벌림거리 재계산부를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 상기 연산부는, 식 2를 이용하여 상기 갱신된 좌표를 3차원 구조 상의 좌표로 변환하고, 미소진동 이벤트 최적 위치로서 상기 이벤트 위치 생성부로 전달하는 제2 차원 변경 및 최적화 연산부를 더 포함하는 것을 특징으로

한다.

[0014] [식 2]

$$O(x_s, y_s) = \sum_{i=1}^{nrecv} \left[d_i^2 - \left\{ (x_s - x_i)^2 + (y_s - y_i)^2 \right\} \right]^2$$

[0015]

[0016] (식 2에서, x_i 및 y_i는 i번째 수진기의 수평 좌표이고, x_s 및 y_s는 갱신된 송신원의 수평 좌표이며, d_i는 벌림거리임.)

[0017] 본 발명의 한 실시예에 따른 미소진동 이벤트 위치 결정방법은 (a) 미소진동 이벤트 초기위치를 3차원 구조 상에 가정하는 단계, (b) 초기위치와 수진기 사이의 벌림 거리를 고려하여 설정된 3차원 상의 초기위치를 2차원 구조로 변경하는 단계, (c) 2차원 위치 역산 알고리즘을 적용하여 이벤트 위치를 갱신하는 단계, 그리고 (d) 갱신된 이벤트 위치를 이용하여 벌림 거리를 재계산하고, 최적화 연산을 수행하여 이벤트 위치를 3차원 좌표로 변환하는 단계를 포함하여 이루어진다.

[0018] 상기 (c) 단계는 식 1로부터 이루어지는 것을 특징으로 한다.

$$O(x_s^*, z_s) = \sum_{i=1}^{nrecv} \left\{ (T_{obs,i} - T_0) - T_{cal,i}(x_s^*, z_s) \right\}^2$$

[0019]

[0020] (위의 식 1에서, x_s^*는 2차원의 가상 단면에서 미소진동 이벤트 송신원의 수평 좌표(x축), z_s는 미소진동 이벤트 송신원의 수직 좌표(z축), i는 수진기의 번호, nrecv는 수진기의 개수, $T_{obs,i}$는 i번째 수진기의 관측시간, T_0는 미소진동 이벤트의 발생 시간, $T_{cal,i}$는 i번째 수진기에 대한 계산 주시임.)

[0021] 상기 (c) 단계는 상기 갱신된 이벤트 위치 좌표에 대해, 상기 식 1에서 $T_{obs,i}$와 $T_{cal,i}$의 차이 값이 설정된 값에 부합할 때까지 반복되어 수행되는 것을 특징으로 한다.

[0022] 상기 (d) 단계는 식 2로부터 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0023] [식 2]

$$O(x_s, y_s) = \sum_{i=1}^{nrecv} \left[d_i^2 - \left\{ (x_s - x_i)^2 + (y_s - y_i)^2 \right\} \right]^2$$

[0024]

[0025] (식 2에서, x_i 및 y_i는 i번째 수진기의 수평 좌표이고, x_s 및 y_s는 갱신된 송신원의 수평 좌표이며, d_i는 벌림거리임.)

상기 방법을 수행하기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능한 기록매체를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0026] 이러한 특징에 따르면, 본원 발명의 한 실시예에 따른 미소진동 이벤트 위치 결정장치, 방법 및 컴퓨터 판독 가능한 기록매체는 선회파선을 이용하는 2차원 단면 상에서의 미소진동 이벤트 위치 결정 알고리즘으로부터 미소

진동 이벤트 위치를 3차원 좌표로 얻을 수 있어, 미소진동 이벤트 위치를 얻는 데 소요되는 비용 및 시간을 효율적으로 절감할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명의 한 실시예에 따른 미소진동 이벤트 위치 결정장치의 개략적인 구조를 나타낸 블록도이다.

도 2는 본 발명의 한 실시예에 따른 미소진동 이벤트 위치 결정장치의 미소진동 이벤트 위치 탐색 흐름을 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 미소진동 이벤트 위치 결정장치를 이용한 모의 실험 구조를 나타낸 도면이다.

도 4는 도 3의 모의 실험결과를 나타낸 과정에 대한 도면이다.

도 5는 본 발명의 한 실시예에 따른 미소진동 이벤트 위치 결정방법의 흐름을 나타낸 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0029] 도 1은 본 발명의 한 실시예에 따른 미소진동 이벤트 위치 결정장치의 개략적인 구조를 나타낸 블록도이고, 도 2는 본 발명의 한 실시예에 따른 미소진동 이벤트 위치 결정장치의 미소진동 이벤트 위치 탐색 흐름을 나타낸 도면이다.

[0030] 본 실시예에서, 미소진동 이벤트 위치 결정장치(S)는 이벤트 위치 생성부(100)와 연산부(200)를 포함하여, 연산을 통해 미소진동 이벤트의 위치를 얻는 동작을 수행한다.

[0031] 미소진동 이벤트 위치 결정장치(S)는 미소진동 이벤트를 감지하는 수진기(1, 2)로부터 미소진동 이벤트 감지결과를 전달받아 연산을 수행하기 위해, 통신을 위한 구성, 저장을 위한 구성, 그리고 처리를 위한 프로세서 구성을 포함할 수 있다.

[0032] 이때, 미소진동 이벤트 위치 결정장치(S)는 지표면(10)에 형성되어 미소진동 이벤트를 감지하는 지표 수진기(1)와 지표면(10)의 수직 방향으로 지반 내부에 위치하는 시추공(2)에 형성되어 미소진동 이벤트를 감지하는 시추공 수진기(2)로부터 미소진동 이벤트 감지결과를 전달받아 석유 시추대상 지반의 미소진동 이벤트 위치를 결정하는 장치로 활용될 수 있다.

[0033] 이벤트 위치 생성부(100)는 미소진동 이벤트의 초기위치를 가정하는 초기위치 가정부(10), 이벤트 위치를 갱신하는 이벤트 위치 갱신부(120), 그리고 이벤트 위치를 최종 결정하는 최적 위치 결정부(130)를 포함한다.

[0034] 이때, 초기위치 가정부(110)는 미소진동 이벤트의 초기위치를 x축, y축, z축으로 구성된 3차원 구조 상의 한 좌표를 미소진동 이벤트 초기위치(31)로 가정한다. 초기위치 가정부(110)는 미소진동 이벤트 위치 결정 대상인 3차원 구조의 지반에 대해 미소진동 이벤트 초기위치(31)를 가정하여 이를 저장한다.

[0035] 초기위치 가정부(110)가 미소진동 이벤트 초기위치(31)를 가정함에 있어서, 미소진동 이벤트 초기위치(31)의 좌표는 무작위로 가정될 수 있다.

[0036] 그러나 이때, 초기위치 가정부(110)는 미소진동 이벤트 초기위치(31)를 지반에 삽입된 시추공(2) 주위에서 설정된 반경 이내의 지점으로 가정될 수 있으며, 이를 한정하지는 않는다.

[0037] 이벤트 위치 갱신부(120)는 초기위치 가정부(110)에서 가정한 미소진동 이벤트 초기위치(31)가 연산부(200)의 연산에 의해 갱신됨에 따라, 갱신된 이벤트 위치를 저장한다.

[0038] 그리고, 최적 위치 결정부(130)는 연산부(200)의 연산에 의해 최적화 연산 완료된 위치를 미소진동 이벤트 최적 위치(32)로서 결정하고, 미소진동 이벤트 최적 위치(32)를 저장한다.

[0039] 연산부(200)는 이벤트 위치 생성부(100)에서 가정한 미소진동 이벤트 초기위치(31)를 이용하여 이벤트 위치를

갱신하고, 갱신된 이벤트 위치를 이벤트 위치 생성부(100)로 전달한다. 그리고, 이벤트 위치 생성부(100)로부터 갱신된 이벤트 위치를 전달받아 미소진동 이벤트 최적위치(32)를 연산하여 미소진동 이벤트 최적위치를 이벤트 위치 생성부(100)로 전달한다.

[0040] 연산부(200)는 벌림거리 계산부(210), 제1 차원 변경부(220), 역산 연산부(230), 벌림거리 재계산부(240), 그리고 제2 차원 변경 및 최적화 연산부(250)를 포함하여 구성된다.

[0041] 벌림거리 계산부(210)는 이벤트 위치 생성부(100)의 초기위치 가정부(110)로부터 전달받은 미소진동 이벤트 초기위치(31)를 수진기(1, 2)들과의 벌림거리를 계산한다.

[0042] 이때, 벌림거리 계산부(210)는 이미 알고 있는 수진기(1, 2)들의 위치정보를 이용하여 수진기(1, 2)들과 3차원 구조 상의 미소진동 이벤트 초기위치(31)의 벌림거리를 계산한다.

[0043] 한 예에서, 벌림거리 계산부(210)는 수진기(1, 2)들의 좌표를 3차원 구조 상의 좌표로 알고 있어, 수진기(1, 2)들과 미소진동 이벤트 초기위치(31) 간의 수평거리를 벌림거리로서 계산하며, 미소진동 이벤트 초기위치(31)와 수진기(1, 2)들 간에 계산된 벌림거리를 각 수진기(1, 2)들에 대한 벌림거리 계산 값으로서 저장하여 이를 제1 차원 변경부(220)로 전달한다.

[0044] 제1 차원 변경부(220)는 벌림거리 계산부(210)로부터 미소진동 이벤트 초기위치(31)와 수진기(1, 2)들과의 벌림거리 계산 값을 전달받아, 3차원 구조 상의 좌표인 미소진동 이벤트 초기위치(31)를 2차원 구조 상의 가상의 좌표로 변환하고, 변환된 2차원 구조 상의 가상의 좌표를 저장하며, 이를 이벤트 위치 생성부(100)의 이벤트 위치 갱신부(120)로 전달한다.

[0045] 이때, 제1 차원 변경부(220)는 x, y, z 축에 대한 좌표를 가상의 2차원인 x^*, z축에 대한 좌표로 변환한다.

[0046] 역산 연산부(230)는 식 1을 이용하여 제1 차원 변경부(220)에서 변환한 2차원 구조 상의 가상의 좌표를 갱신하여 저장하고, 갱신된 좌표를 이벤트 위치 갱신부(120)로 전달한다.

[0047] [식 1]

[0048]
$$O(x_s^*, z_s) = \sum_{i=1}^{nrecv} \left\{ (T_{obs,i} - T_0) - T_{cal,i}(x_s^*, z_s) \right\}^2$$

[0049] 식 1은 2차원 위치를 역산하는 목적함수로서, x_s^*는 2차원의 가상 단면에서 송신원의 수평 좌표(x축), z_s는 송신원의 수직 좌표(z축), i 수진기의 번호, nrecv는 수진기의 개수, $T_{obs,i}$는 i번째 수진기의 관측 시간, T_0는 미소진동 이벤트의 발생 시간, $T_{cal,i}$는 i번째 수진기에 대해 계산된 주시로서, 식 1의 목적함수는 관측 주시인 $T_{obs,i}$와 계산 주시인 $T_{cal,i}$의 차이가 최소가 되는 좌표를 찾기 위한 함수이다.

[0050] 역산 연산부(230)는 위의 식 1을 종료 판정 기준을 설정받아 이를 저장하고 있고, 위의 식 1의 연산결과가 설정된 종료 판정 기준에 부합할 때까지 위의 식 1을 반복 수행한다. 예로서, $T_{obs,i}$와 $T_{cal,i}$의 차이가 0.5 이하의 값이 되는 것을 종료 판정 기준으로 설정받은 경우, 역산 연산부(230)는 $T_{obs,i}$와 $T_{cal,i}$의 차이가 0.5 이하의 값이 될 때까지 식 1을 반복 수행할 수 있다.

[0051] 이때, 송신원은 미소진동 이벤트를 발생한 지점이고, 수진기는 지표면(10) 또는 시추공(2)에 형성된 수진기(1, 2)들이며, 수진기의 번호는 연산부(200)가 이미 알고 있는 수진기(1, 2)들의 위치정보에 각각 대응되어 저장하고 있는 번호일 수 있다.

[0052] 역산 연산부(230)는 제1 차원 변경부(220)에 의해 생성되어 이벤트 위치 갱신부(120)에 저장된 2차원 구조 상의 가상의 좌표를 이벤트 위치 갱신부(120)로부터 전달받아 좌표 갱신 연산을 수행할 수도 있다.

[0053] 벌림거리 재계산부(240)는 역산 연산부(230)에 의해 갱신된 2차원 구조 상의 가상의 좌표와 수진기(1, 2)들 간의 벌림거리를 재계산하고 그 값을 벌림거리 재계산 값으로서 저장하며 제2 차원 변경 및 최적화 연산부(250)로 전달한다.

[0054] 제2 차원 변경 및 최적화 연산부(250)는 벌림거리 재계산부(240)로부터 갱신된 2차원 구조 상의 가상의 좌표와 수진기(1, 2)들과의 벌림거리 재계산 값을 전달받아, 다음의 식 2를 이용하여 2차원 구조 상의 좌표를 3차원 구조 상의 좌표로 변환하고, 변환된 3차원 구조 상의 좌표를 저장하며, 이를 최적 위치 결정부(130)로 전달하여 미소진동 이벤트 최적 위치(32)로서 저장한다.

[0055] [식 2]

[0056] $$O(x_s, y_s) = \sum_{i=1}^{nrecv} \left[d_i^2 - \left\{ (x_s - x_i)^2 + (y_s - y_i)^2 \right\} \right]^2$$

[0057] 위의 식 2에서, x_i 및 y_i는 i번째 수진기의 수평 좌표이고, x_s 및 y_s는 갱신된 송신원의 수평 좌표이며, d_i는 벌림거리이다.

[0058] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 미소진동 이벤트 위치 결정장치(S)를 이용한 모의 실험 구조를 나타낸 도면이고, 도 4는 도 3의 모의 실험결과를 나타낸 과정에 대한 도면이다.

[0059] 도 3 및 도 4를 참고로 하는 본 발명의 한 실시예에 따른 미소진동 이벤트 위치 결정장치(S)의 모의 실험 결과에서, 미소진동이 발생한 미소진동 이벤트 실제 위치(SS)(30) 주변에 지표 수진기(SR)와 시추공 수진기(HR)들이 위치하는 구조에서, x,y,z축의 각 좌표를 갖는 지표 수진기(SR)들 및 시추공 수진기(HR)들은 다음의 표 1과 같이 이벤트 도착시간 정보를 취득한다.

[0060] [표 1]

Name	*X coordinate(m)*	*Y coordinate(m)*	*Z coordinate(m)*	*Arrival time(s)*
SR80	12.80	58.08	4.09	0.1572
SR100	35.89	-90.27	3.26	0.1628
SR120	35.67	90.83	5.73	0.1648
SR150	-108.28	122.12	5.86	0.1708
HR30	0.00	0.00	30.00	0.1352
HR50	0.00	0.00	50.00	0.1348
HR75	0.00	0.00	75.00	0.1358
HR100	0.00	0.00	100.00	0.1392
HR125	0.00	0.00	125.00	0.1450
HR150	0.00	0.00	150.00	0.1484

[0061]

[0062] 본 실시예에서, 미소진동 이벤트 실제 발생시간이 0.1246s이고, 지표 속도가 3000m/s이고, 깊이에 따라 8.8103m/s/m의 속도 변화율로 증가하는 것으로 가정하여 모의 실험을 수행하였다.

[0063] 그런 다음, 초기위치 가정부(110)는 3차원 구조 상에 미소진동 이벤트 초기위치(31)를 (-80m, -80m, 85m)로 가정하고, 벌림거리 계산부(210)는 미소진동 이벤트 초기위치(31)와 수진기(SR, HR)들의 위치를 이용하여 미소진동 이벤트 초기위치(31)와 수진기(SR, HR)들 사이의 벌림거리를 계산하며, 제1 차원 변경부(220)는 도 4의 (a)와 같이 2차원 단면 상에 미소진동 이벤트 초기위치(31)를 위치시킨다.

[0064] 그리고, 역산 연산부(230)가 위의 표 1의 관측시간을 식 1에 적용하여 2차원 구조 상의 가상 좌표로 변환하고, 벌림거리 재계산부(240)에 의해 미소진동 이벤트 초기위치(31)가 갱신된 이벤트 위치(31')로 도 4의 (b)와 같이 갱신되고, 제2 차원 변경 및 최적화 연산부(250)에 의해 최적화 연산 완료된 위치가 미소진동 이벤트 최적 위치(32)로서 결정되어 미소진동 이벤트 실제 위치(30)와 근사한 것을 확인할 수 있다.

[0065] 이때, 역산 연산부(230) 및 벌림거리 재계산부(240)가 최적의 좌표값을 산출하여 제2 차원 변경 및 최적화 연산

부(250)로 갱신된 좌표를 전달할 때까지 갱신된 이벤트 위치(31')는 변경될 수 있으며, 재계산 횟수에 따른 갱신된 이벤트 위치(31')의 좌표 및 미소진동 이벤트 실제 위치(30)는 다음의 표 2와 같이 계산될 수 있다.

[0066] [표 2]

Iteration	*X coordinate*	*Y coordinate*	*Z coordinate*
0	-80	-80	85
1	-46.2366	-24.4053	70.91776
2	-35.8441	-11.8412	60.84441
3	-33.8271	-9.53943	59.00334
4	-33.3921	-9.04713	58.747
5	-33.2939	-8.93615	58.69682
6	-33.2715	-8.91091	58.68583
True value	-32.61	-8.89	57.65

[0067]

[0068] 도 1 내지 도 4를 참고로 하여 설명한 것과 같이, 본 발명의 한 실시예에 따른 미소진동 이벤트 위치 결정장치는 미소진동 이벤트 발생위치의 3차원 좌표를 용이하게 도출할 수 있어, 비용 절감의 효과가 있다.

[0069] 도 5는 본 발명의 한 실시예에 따른 미소진동 이벤트 위치 결정방법의 흐름을 나타낸 순서도이다. 본 실시예에서, 미소진동 이벤트 위치 결정방법은 미소진동 이벤트 초기위치를 3차원 구조 상에 가정하는 단계(S100), 초기위치와 수진기 사이의 벌림 거리를 고려하여 설정된 3차원 상의 초기위치를 2차원 구조로 변경하는 단계(S200), 2차원 위치 역산 알고리즘을 적용하여 이벤트 위치를 갱신하는 단계(S300), 그리고 갱신된 이벤트 위치를 이용하여 벌림 거리를 재계산하고, 최적화 연산을 수행하여 이벤트 위치를 3차원 좌표로 변환하는 단계(S400)를 포함하여 이루어진다.

[0070] 본 발명의 한 실시예에서, 위 방법을 수행하기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능한 기록매체를 포함한다.

이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

부호의 설명

[0071] 1, 2 : 수진기 10 : 지표

30 : 미소진동 이벤트 실제 위치 31 : 미소진동 이벤트 초기위치

32 : 미소진동 이벤트 최적 위치

100 : 이벤트 위치 생성부 110 : 초기위치 가정부

120 : 이벤트 위치 갱신부 130 : 최적 위치 결정부

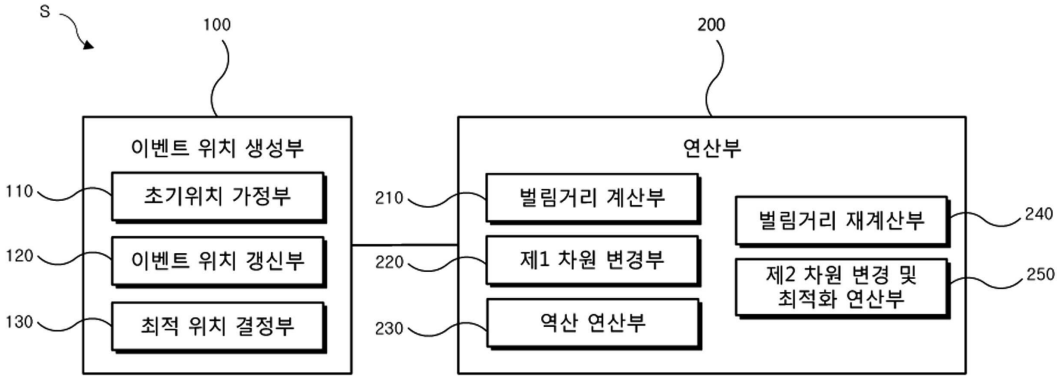
200 : 연산부 210 : 벌림거리 계산부

220 : 제1 차원 변경부 230 : 역산 연산부

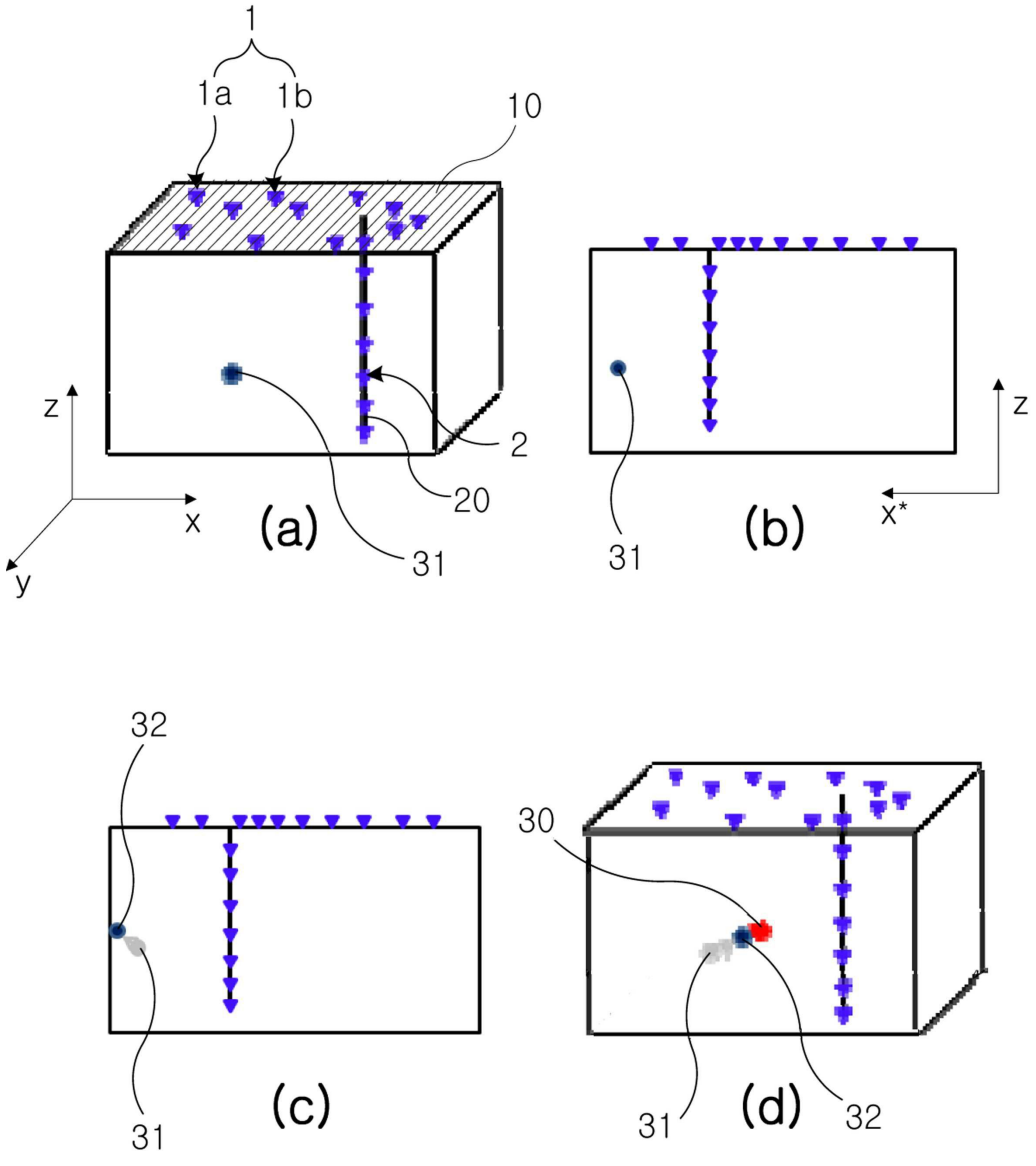
240 : 벌림거리 재계산부 250 : 제2 차원 변경 및 최적화 연산부

도면

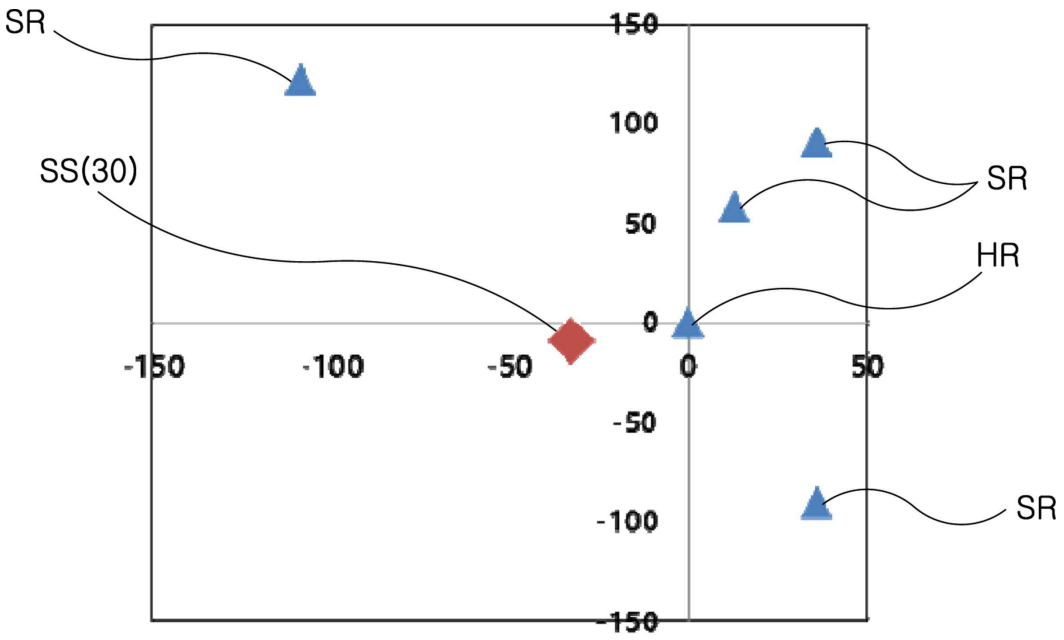
도면1


S
100
200
이벤트 위치 생성부
110
초기위치 가정부
120
이벤트 위치 갱신부
130
최적 위치 결정부
연산부
210
벌림거리 계산부
220
제1 차원 변경부
230
역산 연산부
벌림거리 재계산부
240
제2 차원 변경 및 최적화 연산부
250

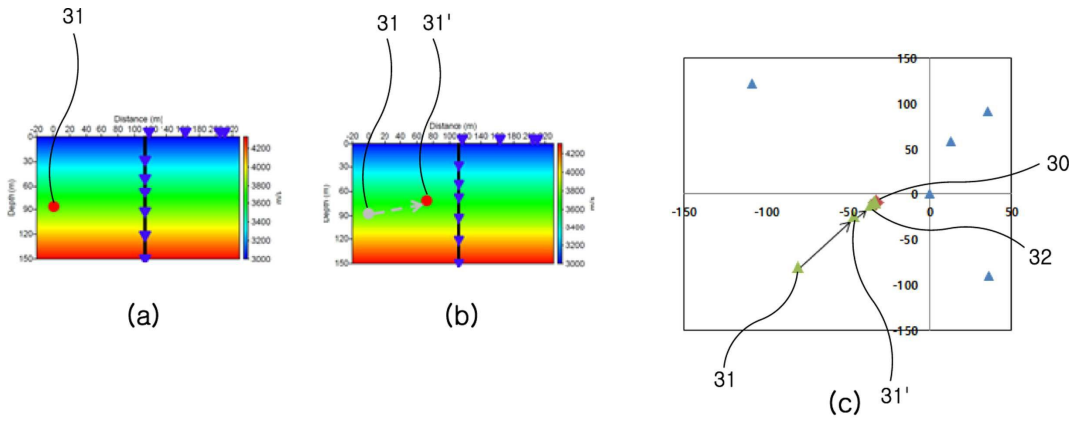
도면2


1
1a
1b
10
2
20
31
z
x
y
(a)
z
x*
31
(b)
32
31
(c)
30
31
32
(d)

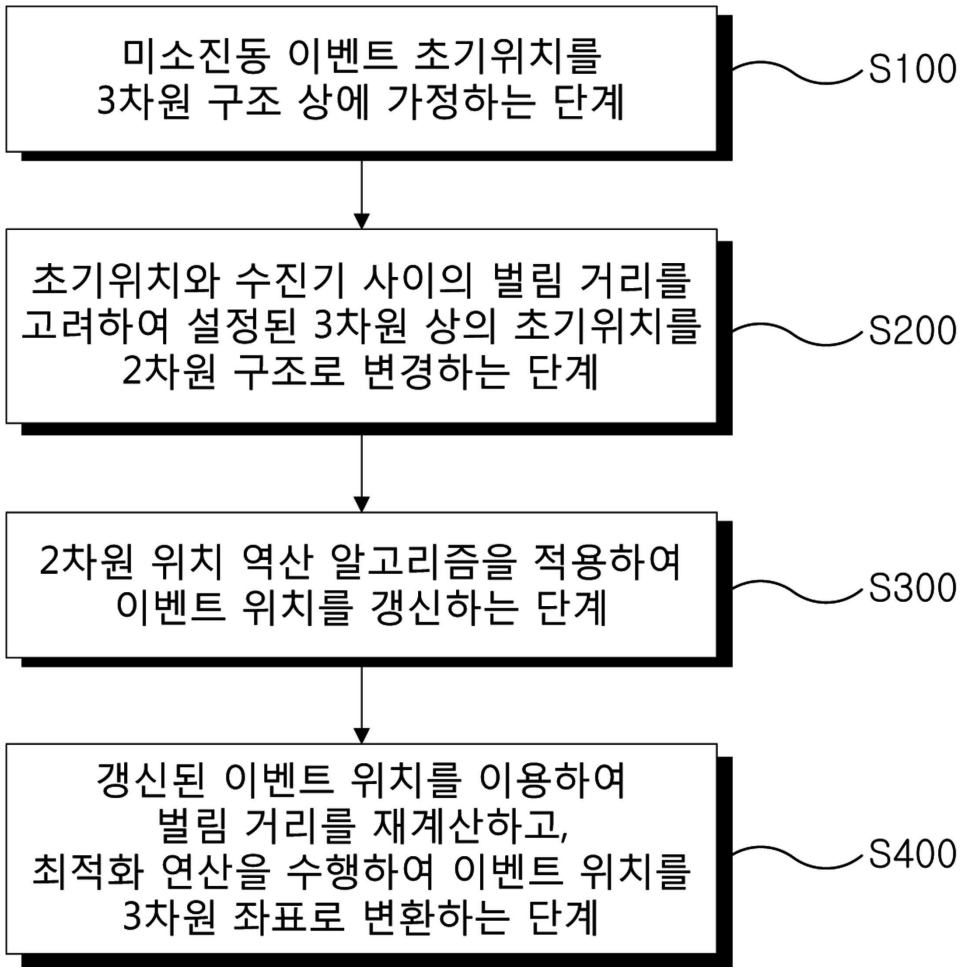
도면3


SR
SS(30)
SR
HR
SR
150
100
50
0
-50
-100
-150
-150
-100
-50
0
50

도면4


31
31
31'
30
32
31
31'
(a)
(b)
(c)

도면5


미소진동 이벤트 초기위치를
3차원 구조 상에 가정하는 단계
S100
초기위치와 수진기 사이의 벌림 거리를
고려하여 설정된 3차원 상의 초기위치를
2차원 구조로 변경하는 단계
S200
2차원 위치 역산 알고리즘을 적용하여
이벤트 위치를 갱신하는 단계
S300
갱신된 이벤트 위치를 이용하여
벌림 거리를 재계산하고,
최적화 연산을 수행하여 이벤트 위치를
3차원 좌표로 변환하는 단계
S400