(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2020 년 7 월 2 일 (02.07.2020)

WIPO | PCT

(10) 국제공개번호
WO 2020/138549 A1

(51) 국제특허분류:
G01N 29/14 (2006.01) *G06N 3/08* (2006.01)
G01N 29/22 (2006.01) *G06N 20/00* (2019.01)
G01N 29/44 (2006.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2018/016791

(22) 국제출원일: 2018 년 12 월 27 일 (27.12.2018)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보:
10-2018-0170667 2018 년 12 월 27 일 (27.12.2018) KR

(71) 출원인: 울산대학교 산학협력단 (**UNIVERSITY OF ULSAN FOUNDATION FOR INDUSTRY COOPERATION**) [KR/KR]; 44610 울산시 남구 대학로 93 (무거동), Ulsan (KR). 주식회사 코인텍 (**KOINTEC CO., LTD.**) [KR/KR]; 44962 울산시 울주군 웅촌면 웅촌로 642-6, Ulsan (KR).

(72) 발명자: 김종면 (**KIM, Jong Myon**); 44932 울산시 울주군 범서읍 장검길 60, 105동 1902호, Ulsan (KR). 김재영 (**KIM, Jae Young**); 48202 부산시 수영구 과정로73번길 30, 2층 (망미동), Busan (KR). 김영태 (**KIM, Young Tae**); 44930 울산시 울주군 범서읍 천상길 55, 102동 109호, Ulsan (KR). 조기형 (**CHO, Ki Hyung**); 44602 울산시 남구 대학로 147, 201호 (무거동), Ulsan (KR).

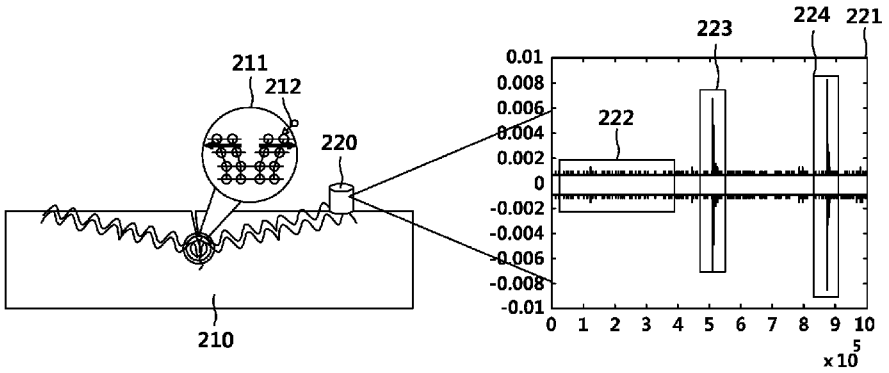
(74) 대리인: 김종선 (**KIM, Jong Sun**); 06242 서울시 강남구 역삼로3길 11, 12층 (역삼동, 광성빌딩), Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(54) **Title:** ACOUSTIC EMISSION-BASED DEFECT SIGNAL DETECTION DEVICE AND METHOD

(54) **발명의 명칭:** 음향 방출 결함 신호 검출 장치 및 방법



(57) **Abstract:** A method for evaluating the degree of abnormality in facility data according to an embodiment of the present invention includes: a step for generating boundary data, which is distinguishable from normal data, through a boundary data generation algorithm; a step for generating an evaluation model which learns the boundary data and evaluates the degree of deviation from the normal data; a step for generating a two-dimensional map for visualizing the degree of evaluation of the evaluation model; a step for generating a two-dimensional evaluation map by evaluating, for each position, the data mapped onto the two-dimensional map; and a step for determining a two-dimensional map position for an input signal, and evaluating the degree of abnormality of the input signal.

(57) **요약서:** 본 발명의 일 실시예에 따른 설비 데이터의 이상 정도 평가 방법은 경계 데이터 생성 알고리즘을 통해 정상 데이터와 구분되는 경계 데이터를 생성하는 단계, 경계 데이터를 학습하여 정상 데이터에서 벗어나는 정도를 평가하는 평가 모델을 생성하는 단계, 평가 모델의 평가 정도를 시각화하는 2 차원 맵을 생성하는 단계, 2 차원 맵에 매핑된 데이터의 각 위치별 평가를 통해 2 차원 평가 맵을 생성하는 단계 및 입력 신호에 대한 2 차원 맵 위치를 결정하고, 입력 신호의 이상 정도를 평가하는 단계를 포함한다.

WO 2020/138549 A1

[다음 쪽 계속]

공개:
— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

명세서

발명의 명칭: 음향 방출 결함 신호 검출 장치 및 방법

기술분야

[1] 본 발명은 압력 용기 혹은 압력 탱크의 결함을 비파괴 방식으로 검출하는 장치 및 방법에 관한 것으로, 좀 더 구체적으로는 기계 학습을 이용하여 음향 방출 결함 신호를 검출하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경기술

[2] 현존하는 설비 데이터의 고장 검출 프로세스는 통상적으로 하드웨어 리던던시 원리나 분석적 리던던시 원리에 기초하여 수행된다. 하드웨어 리던던시 방식은 센서를 이용하여 고장을 진단하는 반면, 분석적 리던던시 방식은 시스템의 수학적 모델에 기초하여 고장을 진단할 수 있다.

[3] 분석적 리던던시 방식에서 시스템의 수학적 모델은 정상 값의 기준치를 가지며, 기준치로부터의 편차를 통해 고장을 진단한다. 종래에는 고장 데이터와 정상 데이터를 학습하여 과거 데이터로부터의 기계 학습을 기반으로 고장을 진단할 수 있었다.

[4] 재료 내부나 표면에서의 결함(크랙(crack)이나 보이드(void))을, 피검사물을 물리적으로 파괴하는 일 없이 검출하는 검사 방법은 비파괴 검사라고 일컬어지고 있다. 비파괴 검사에는 방사선 투과 시험, 초음파 탐상 시험 등이 있다. 음향 방출 신호의 검출도 비파괴 검사에 이용되는 검사 방법의 하나이다. 음향방출에서는 크랙 발생의 초기 미세 징조의 검출이 가능하고, 특히 설비의 운전 중의 크랙 발생 또는 크랙 진행 상태의 감시에 사용되고 있다.

[5] 우선, 음향방출의 계측과 그 처리에 대해서 설명한다. 음향방출은 재료 중의 균열 발생, 진전에 따라 생기는 탄성파이다. 하나의 음향방출 신호는 단기간에 연속적으로 발생하는 복수의 주파수의 탄성파로 구성되고 있고, 그 강도와 크기는 균열의 크기에 따라 다르다.

[6] 음향방출 신호를 이용한 비파괴 검사 기술은 수없이 많이 제안되어 있다. 예를 들면, 특허 문헌 1에는, 탱크 등의 구조물을 음향방출에 의해 비파괴 시험하는 구조물의 파괴 하중의 예측적 특정법이 개시되어 있다. 이 예측적 특정법은 탱크의 파괴 프로세스에 따라서 발생하는 음향방출 에너지의 히트 수를 카운트하고, 이 카운트 수의 누적값에 기초하여 파괴 하중의 예측값을 특정하고 있다. 즉, 에너지의 적분값을 이용하여 파괴 하중의 예측값을 특정하는 것이다.

[7] 특허 문헌 2에는, 액체나 기체를 저장하는 금속제의 탱크의 저판에 발생하는 부식에 의해 손상 위치를 표시하여 특정하는 탱크 검사 장치가 개시되어 있다. 이 탱크 검사 장치는 음향방출 센서를 이용하여, 부식 손상의 발생 위치를 표시하여 특정하고 있다. 검출 파형의 각 시간에 있어서, 시간-주파수 변환을 실시하고, 주파수 대역마다의 신호 강도를 시계열적으로 구하고 있다. 이에 의해

특정의 주파수에 있어서의 특정 모드의 파(wave)의 도달 시간의 정보가 얻어져, 예를 들면 음원 위치를 고정밀로 표시하여 특정하는 것이 가능하게 된다.

[8] <특허 문헌 1> 일본국 특허공개 1996-54330호 공보.

[9] <특허 문헌 2> 일본국 특허공개 2005-17089호 공보

발명의 상세한 설명

기술적 과제

[10] 본 발명의 일실시예에 따르면, 압력 용기 및 압력 탱크에서 결함의 성장을 음향 방출 결함 신호를 통해서 미리 파악할 수 있는 방법을 제공하고자 한다.

[11] 본 발명의 다른 일실시예에 따르면, 압력 용기 및 압력 탱크의 결함을 보다 정확하게 검출할 수 있는 결함 검출 장치 및 방법을 제공하기 위함이다.

과제 해결 수단

[12] 본 발명의 일실시예에 따른 결함 신호 검출 방법은, 결함 발생에 의한 1차원 데이터를 2차원 데이터로 변환하는 데이터 변환 단계, 상기 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터로부터 추출된 특징을 기계 학습 알고리즘에 학습시키는 단계 및 상기 학습된 알고리즘을 통해 실시간으로 발생하는 결함 신호를 검출하는 단계를 포함할 수 있다.

[13] 일실시예에 따르면, 상기 2차원 데이터로 변환하는 데이터 변환 단계는,

[14] 상기 1차원 데이터인 음향 방출 신호에 로우패스 필터(Low Pass Filter)를 사용하고, 다운 샘플링 신호를 계산하여 음향 방출 이미지로 변환하는 단계를 포함할 수 있다.

[15] 일실시예에 따르면, 상기 음향 방출 이미지로 변환하는 단계는, 상기 다운 샘플링 신호를 병렬로 적층시켜 음향 방출 이미지로 변환할 수 있다.

[16] 일실시예에 따르면, 상기 기계 학습 알고리즘에 학습시키는 단계는, 상기 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터를 동일 간격의 시간을 기초로 분할하고, 결함의 위치 및 길이에 대한 정보를 학습시키는 것을 특징으로 하는 결함 신호 검출 방법.

[17] 일실시예에 따르면, 상기 기계 학습 알고리즘은, 동일한 시간의 상기 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터를 입력으로 하고, 결함 신호의 존재 확률과 결함 발생 위치 및 크기를 출력으로 할 수 있다.

[18] 일실시예에 따르면, 상기 결함 신호를 검출하는 단계는, 상기 기계 학습 알고리즘에 따른 검출 모델에 음향 방출 신호 및 음향 방출 이미지를 입력시키고, 결함의 위치 및 길이를 추정할 수 있다.

[19] 본 발명의 일실시예에 따른 결함 신호 검출 장치는 탱크의 결함 발생에 의한 1차원 데이터를 2차원 데이터로 변환하는 데이터 변환부, 상기 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터를 시간을 기초로 분할하여 기계 학습 알고리즘에 학습시키는 학습부 및 상기 알고리즘을 기초로 실시간으로 발생하는 결함 신호를 검출하는 결함 검출부를 포함할 수 있다.

[20] 일실시예에 따르면, 상기 데이터 변환부는, 상기 1차원 데이터인 음향 방출 신호를 로우패스 필터링(Low Pass Filtering)하고, 다운 샘플링 신호를 계산하여 음향 방출 이미지로 변환할 수 있다.

[21] 일실시예에 따르면, 상기 데이터 변환부는, 상기 다운 샘플링 신호를 병렬로 적층시켜 음향 방출 이미지로 변환할 수 있다.

[22] 일실시예에 따르면, 상기 학습부는, 상기 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터를 동일 간격의 시간을 기초로 분할하고, 결함의 위치 및 길이에 대한 정보를 학습시킬 수 있다.

[23] 일실시예에 따르면, 상기 기계 학습 알고리즘은, 동일한 시간의 상기 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터를 입력으로 하고, 결함 신호의 존재 확률과 결함 발생 위치 및 크기를 출력으로 할 수 있다.

[24] 일실시예에 따르면, 상기 결함 검출부는, 상기 기계 학습 알고리즘에 따른 검출 모델에 음향 방출 신호 및 음향 방출 이미지를 입력시키고, 결함의 위치 및 길이를 추정할 수 있다.

발명의 효과

[25] 개시된 기술은 다음의 효과를 가질 수 있다. 다만, 특정 실시예가 다음의 효과를 전부 포함하여야 한다거나 다음의 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 개시된 기술의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.

[26] 본 발명의 일실시예에 따르면, 압력 용기 및 압력 탱크에서 결함의 성장을 음향 방출 결함 신호를 통해서 미리 파악할 수 있다.

[27] 본 발명의 다른 일실시예에 따르면, 압력 용기 및 압력 탱크의 결함을 보다 정확하게 검출할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[28] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 결함 검출 장치를 포함하는 결함 검출 시스템을 설명하기 위한 도면이다.

[29] 도 2는 결함 발생에 따른 음향 방출 신호의 1차원 데이터를 설명하기 위한 도면이다.

[30] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 결함 검출 장치를 설명하기 위한 도면이다.

[31] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 결함 발생에 의한 1차원 데이터를 2차원 데이터로 변환하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[32] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 음향 방출 이미지를 설명하기 위한 도면이다.

[33] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 음향 방출 이미지 및 음향 방출 신호를 분할하는 방법에 대해 설명하기 위한 도면이다.

[34] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 결함 검출 장치 및 방법에서 기계 학습 알고리즘을 설명하기 위한 도면이다.

[35] 도 8 및 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 결함 검출 장치 및 방법에서 결함 신호의 추정 값과 실제 값의 정확도에 대해 설명하기 위한 도면이다.

[36] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 결함 검출 장치 및 방법에서 결함 신호를 검출하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[37] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 결함 검출 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

발명의 실시를 위한 형태

[38] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 실시예들을 상세하게 설명한다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[39] 아래 설명하는 실시예들에는 다양한 변경이 가해질 수 있다. 아래 설명하는 실시예들은 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 이들에 대한 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[40] 실시예에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 실시예를 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[41] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 실시예가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[42] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성요소는 동일한 참조 부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 실시예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[43] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 결함 검출 장치 및 방법의 바람직한 실시예를 서술하도록 한다. 단, 제시된 실시예는 본 발명의 예시적인 목적일 뿐 본 발명의 기술적 사상이 이들 실시예로부터 한정되는 것은 아니다.

[44] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 결함 검출 장치를 포함하는 결함 검출 시스템을 설명하기 위한 도면이다.

[45] 도 1을 참조하면, 결함 검출 시스템은 검출 대상이 되는 탱크(110), 탱크(110)의

결함에서 발생하는 신호를 센싱하는 센서(120) 및 센서(120)로부터 신호를 수신하여 기계 학습을 수행하고, 이를 통해서 결함을 검출하는 결함 검출 장치(130)를 포함할 수 있다.

[46] 일실시예에 따르면, 탱크(110)는 압력 용기, 압력 탱크, 에어 탱크, 화학 제품 용기 또는 저장 탱크 등을 포함할 수 있으며, 상기 기재된 내용에 한정되지 않고 모든 형태의 탱크나 용기, 공장 설비를 포함할 수 있다.

[47] 일실시예에 따르면, 센서(120)는 음향 방출 신호(Acoustic Emission : AE)를 감지할 수 있는 센서를 포함할 수 있다.

[48] 음향 방출 신호(Acoustic Emission : AE)를 이용한 결함 검출 방법은 대상물의 변형 또는 균열에 수반되는 탄성파(elastic wave) 중에서도 특정 주파수 대역의 음향 방출 신호(AE)를 이용하여 결함유무를 판단할 수 있다. 이 때문에 엄밀하게는 초음파영역의 비파괴검사방법에 해당 되지만 상대적으로 감도가 높고 지속적인 검사가 가능하며 대상물의 구조, 결함크기, 방향 등에 구애 받지 않아 접근이 제한된 경우라도 적용이 가능하다.

[49] 센서(120) 및 결함 검출 장치(130)에 대한 구체적인 설명은 도 2와 도 3을 통해서 하도록 한다.

[50] 도 2는 결함 발생에 따른 음향 방출 신호의 1차원 데이터를 설명하기 위한 도면이다.

[51] 도 2를 참조하면, 센싱 대상체(210)의 결함(211)은 시간이 갈수록 결함이 성장하게 된다. 이때, 결함이 성장하면서 분자 간에 결합 상태가 달라지며, 매질의 결합 상태 변형으로 인해 분자(212)의 이동으로 음향 방출 신호가 생성된다. 이때 방출되는 음향 방출 신호는 충격파 형태의 신호이며, 음향 방출 센서(220)를 통해서 센싱할 수 있다. 센서(220)에서 센싱된 신호(221)는 평소에는 잔잔한 노이즈 신호(222) 정도이지만, 결함 성장에 따른 음향 방출 신호는 충격파(223, 224)로 검출될 수 있다.

[52] 본 발명의 일실시예에 따르면, 센서(220)에서 획득한 음향 방출 신호(221)를 본 발명의 일실시예에 따른 결함 검출 장치에 입력하면 결함의 발생 위치 및 결함의 크기를 알아낼 수 있다.

[53] 이하 도 3에서 결함 검출 장치에 대한 구체적인 설명을 하도록 한다.

[54] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 결함 검출 장치를 설명하기 위한 도면이다.

[55] 도 3을 참조하면, 센서(310)는 획득한 음향 방출 신호를 결함 검출 장치(320)에 송신할 수 있다. 결함 검출 장치(320)는 데이터 수신부(321), 데이터 변환부(322), 학습부(323) 및 결함 검출부(324)를 포함할 수 있으며, 상기 데이터 수신부(321), 데이터 변환부(322), 학습부(323) 및 결함 검출부(324)는 하나 또는 별개의 프로세서에서 구현될 수 있다.

[56] 센서(310)는 결함이 성장하면서 발생하는 음향 방출 신호를 센싱할 수 있다.

[57] 일실시예에 따르면, 데이터 수신부(321)는 센서(310)로부터 음향 방출 신호를 수신할 수 있다. 이때, 센서(310)는 결함 검출 장치(320)에 포함될 수도 있으며,

별개의 장치로 구현될 수도 있다.

[58] 일실시예에 따르면, 데이터 변환부(322)는 탱크의 결함 발생에 의한 음향 방출 신호의 1차원 데이터를 음향 방출 이미지의 2차원 데이터로 변환할 수 있다.

[59] 일실시예에 따르면, 데이터 변환부(322)는, 상기 1차원 데이터인 음향 방출 신호를 로우패스 필터링(Low Pass Filtering)하고, 다운 샘플링 신호를 계산하여 음향 방출 이미지로 변환할 수 있다.

[60] 보다 구체적으로, 데이터 변환부(322)는 음향 방출 센서로부터 수신한 음향 방출 신호의 절대값을 하기 수학식 1과 같이 계산할 수 있다.

[61] [수식1]

$$s_{abs} = |s|$$

[62] 다음으로 데이터 변환부(322)는 하기 수학식 2와 같이 d 레벨의 저대역 필터링을 수행할 수 있다. 여기서 d 레벨은 샘플링 개수에 대응하는 레벨을 의미한다.

[63] [수식2]

$$s_{low} = filter\left(s_{abs}, \frac{fs}{2d}\right)$$

[64] 여기서, filter 함수는 일반적인 저대역 필터링에 대한 함수로, 예를 들면, Butterworth filter를 사용한 Lowpass filter가 될 수 있다. fs는 샘플링 주파수이고, d는 샘플링 개수를 의미한다. 이때, 다운 샘플링시 엘리어싱(aliasing)을 방지하기 위해서 샘플링 주파수를 2로 나눌 수 있다. 따라서,

$$\frac{fs}{2d}$$

는 저대역 필터링의 통과대역 주파수를 의미할 수 있다.

[65] 데이터 변환부(322)는 하기 수학식 3과 같이 필터링된 신호로부터 d단계의 다운샘플링 신호를 계산할 수 있다.

[66] [수식3]

$$s_d(i) = s_{low}(1 + di), \qquad i = 1, \ldots, N$$

[67] 여기서 d는 샘플링 개수이고, i는 신호의 인덱스이다. 즉, 상기 수학식 3은 원 신호의 샘플들을 d 간격으로 건너뛰면서 샘플링하여 저장하는 것을 의미하며, d가 커질수록 샘플링 간격이 넓어지게 된다.

[68] 데이터 변환부(322)는 로우 패스 필터링 및 다운 샘플링 과정을 D 단계까지 반복할 수 있다. 여기서 D는 최대 다운샘플링 회수로, 미리 설정된 값이 될 수

있다.

[69] 데이터 변환부(322)는, 하기 수학식 4와 같이, 상기 다운 샘플링 신호를 병렬로 적층시켜 2차원 데이터인 음향 방출 이미지로 변환할 수 있다.

[70] [수식4]

$$img(d,:) = s_d, \qquad d = 1, \ldots, D$$

[71] 2차원 행렬 img에서, d는 샘플링 개수 중 d번째 샘플링의 행을 의미하고 콜론(:)은 열 전체를 의미한다. 즉, img 행렬의 d번째 행의 값들 모두를

s_d

로 대체할 수 있다.

[72] 병렬 적층에 대한 보다 구체적인 설명은 도 4를 통해서 하도록 한다.

[73] 일실시예에 따르면, 학습부(323)는 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터를 시간을 기초로 분할하여 기계 학습 알고리즘에 학습시킬 수 있다. 여기서 기계 학습 알고리즘은 결함의 위치, 결함의 종류 등의 분석에 활용할 수 있도록 학습할 수 있다.

[74] 일실시예에 따르면, 학습부(323)는, 상기 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터를 동일 간격의 시간을 기초로 분할하고, 결함의 위치 및 길이에 대한 정보를 학습시킬 수 있다. 여기서 1차원 데이터 및 2차원 데이터를 시간을 기초로 분할하는 방법은 도 6을 통해 상세히 하도록 한다.

[75] 기계 학습 알고리즘은, 동일한 시간의 상기 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터를 입력으로 하고, 결함 신호의 존재 확률과 결함 발생 위치 및 크기를 출력으로 할 수 있다.

[76] 일실시예에 따르면, 결함 검출부(324)는 기계 학습 알고리즘을 기초로 실시간으로 발생하는 결함 신호를 검출할 수 있다.

[77] 일실시예에 따른 결함 검출부(324)는, 상기 기계 학습 알고리즘에 따른 검출 모델에 음향 방출 신호 및 음향 방출 이미지를 입력시키고, 결함의 위치 및 길이를 추정할 수 있다.

[78] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 결함 발생에 의한 1차원 데이터를 2차원 데이터로 변환하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[79] 도 4를 참조하면, 결함 검출 장치의 데이터 변환부는 탱크의 결함 발생에 의한 음향 방출 신호인 1차원 데이터(411, 412, 쩐, 41n-1, 41n)를 음향 방출 이미지의 2차원 데이터(420)로 변환할 수 있다. n개의 샘플링 개수를 갖는 신호에 대해서, 병렬로 적층시키면, 2차원 데이터(420)가 될 수 있다. 이때, 2차원 데이터(420)는 음향 방출 이미지라고 할 수 있다.

[80] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 음향 방출 이미지를 설명하기 위한 도면이다.

[81] 도 5를 참조하면, 음향 방출 이미지에서 제1 결함 신호(510)와 제2 결함

신호(520)를 확인할 수 있다. 이때, 음향 방출 이미지에는 결함 신호의 발생 위치와 크기 정보를 내포할 수 있다. 즉, 음향 방출 이미지에서, 결함 신호에 해당되는 부분의 위치는 결함 신호의 발생 시점에 대응하고, 결함 신호의 크기는 결함의 정도에 대응할 수 있다.

[82] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 음향 방출 이미지 및 음향 방출 신호를 분할하는 방법에 대해 설명하기 위한 도면이다.

[83] 도 6(a)를 참조하면, 2차원 데이터인 음향 방출 이미지(611)를 분할하여 분할된 음향 방출 이미지(612)로 나타낼 수 있다. 분할된 음향 방출 이미지(612)는 하기 수학식 5와 같이 나타낼 수 있다.

[84] [수식5]

$$segimg(i,j) = img\big((i-1)\times g : i\times g, (j-1)\times g : j\times g\big)$$

[85] 도 6(b)를 참조하면, 1차원 데이터인 음향 방출 신호(621)를 분할하여 분할된 음향 방출 신호(622)로 나타낼 수 있다. 분할된 음향 방출 신호(622)는 하기 수학식 6과 같이 나타낼 수 있다.

[86] [수식6]

$$segsig(i) = s\big((i-1)\times g : i\times g\big)$$

[87] 음향 방출 이미지 및 음향 방출 신호는 결함 신호의 발생 시점 정보와 결함의 크기 정보를 포함하고 있는데, 음향 방출 이미지 및 음향 방출 신호 중에서 어느 부분이 결함 신호에 대한 내용인지를 정할 수 있다. 즉, 음향 방출 이미지 및 음향 방출 신호를 시간을 기초로 분할하여 어느 부분이 결함 신호인지, 결함의 크기가 어느 정도인지를 정할 수 있다. 이때, 음향 방출 이미지에서 결함 신호의 일부만 보고도 결함의 위치 및 크기를 알 수 있다.

[88] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 결함 검출 장치 및 방법에서 기계 학습 알고리즘을 설명하기 위한 도면이다.

[89] 본 발명의 일실시예에 따른 결함 검출 장치는 기계 학습 알고리즘을 통해서 결함 신호 검출 알고리즘을 학습할 수 있다. 예를 들면, 일실시예에 따른 결함 검출 장치는 기계 학습 알고리즘을 이용하여 사전에 취득한 음향 방출 신호와 결함 신호의 발생 시점 및 발생 길이에 대한 정보를 동시에 학습할 수 있다.

[90] 음향 방출 신호를 변환한 음향 방출 이미지에서 결함 신호에 해당하는 부분의 위치와 크기 정보를 저장할 수 있다. 이때, 음향 방출 이미지에서 결함 신호에 해당하는 부분의 위치는 결함 신호의 발생 시점을 의미할 수 있다.

[91] 도 7을 참조하면, 결함 검출 장치의 학습부는 분할된 음향 방출 이미지(711)를 제1 CNN(Convolutional Neural Network; 합성곱 신경망, 721)에 입력시키고, 분할된 음향 방출 신호(712)를 제2 CNN(722)에 입력시킬 수 있다. 제1 CNN(721) 및 제2 CNN(722)의 출력은 완전 연결 신경망(Fully Connected Neural Network,

730)에 입력되어, 추정된 컨피던스 값(741)과 추정된 위치 및 크기 값(751)을 출력할 수 있다.

[92] 합성곱 신경망(CNN)은 필터를 이동해 가면서 각 뉴런과 영역을 연결하는 과정이고, 완전 연결 신경망(Fully Connected Neural Network)은 일반적으로 합성곱 신경망의 모든 뉴런과 연결되어 출력 값이 어떤 클래스에 해당되는지 파악하는 역할을 수행할 수 있다.

[93] 학습부는 추정된 컨피던스 값(741)과 추정된 위치 및 크기 값(751)을 각각 실제 컨피던스 값(742)과 실제 위치 및 크기 값(752)과 비교하여 컨피던스 손실(lossc; 743)과 위치 및 크기 손실(lossp; 753)을 획득할 수 있다. 여기서 컨피던스 손실(743)은 분할된 음향 방출 신호 및 음향 방출 이미지에 대해 결함이 존재하는지에 대한 추정 값과 실제 결함이 존재하는지 여부에 대한 손실을 의미한다. 위치 및 크기 손실(753)은 분할된 음향 방출 신호 및 음향 방출 이미지에 대해 결함의 추정된 위치 및 크기와 결함의 실제 위치 및 크기에 대한 손실을 의미한다.

[94] 컨피던스 손실(743)과 위치 및 크기 손실(753)을 합산하여 통합 로스(loss; 760)를 구할 수 있으며, 이는 다시 기계 학습 알고리즘의 합성곱 신경망(721, 722)에 반영되어 시간이 지날수록 정확도를 높일 수 있도록 한다.

[95] 컨피던스 손실(lossc; 743)과 위치 및 크기 손실(lossp; 753)에 대해서는 도 8 및 도 9를 통해서 보다 구체적으로 설명하도록 한다.

[96] 도 8 및 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 결함 검출 장치 및 방법에서 결함 신호의 추정 값과 실제 값의 정확도에 대해 설명하기 위한 도면이다.

[97] 일실시예에 따른 기계 학습 알고리즘에서, 인공 신경망의 입력은 음향 방출 이미지의 분할 이미지(segimg)와 음향 방출 신호의 분할 신호(segsig)이며, 출력은 입력 데이터가 결함 신호일 확률을 의미하는 컨피던스(confidence)값과 입력 데이터에서 결함 신호의 발생 시점과 크기가 될 수 있다. 여기서, 입력 데이터에서 결함 신호의 발생 시점은 위치가 될 수 있다.

[98] 일 실시예에 따른 결함 검출 장치는 분할된 데이터가 포함되어 있는 결함 신호의 위치와 크기를 출력하도록 학습하기 위한 손실값을 계산할 수 있다.

[99] 도 8을 참조하면, 손실 값을 계산하기 위해서, 오버랩 영역(810)과 통합 영역(820)을 도출할 수 있다. 여기서, 실선 사각형은 실제 값을 의미하고, 점선 사각형은 추정된 값을 의미하며, 실선 사각형과 점선 사각형이 겹치는 오버랩 영역이 클수록 추정 값과 실제 값이 일치한다는 의미를 갖는다.

[100] 컨피던스 손실(lossc)은 입력 신호가 결함 일부인지 아닌지 평가하는 함수로, 하기 수학식 7을 통해서 구할 수 있다.

[101] [수식7]

$$loss_c = \begin{cases} (f_c(segimg, segsig) - 0)^2, & if\ \ non - fault\ data \\ (f_c(segimg, segsig) - 1)^2, & if\ fault\ data \end{cases}$$

[102] 기계 학습 알고리즘에서, 음향 방출 이미지가 격자로 분할된 분할 이미지(segimg)와 동일한 위치의 음향 방출 신호의 분할 신호(segsig)를 함께 인공 신경망에 입력할 수 있다. 즉, 2차원 데이터와 대응하는 1차원 데이터를 인공 신경망에 동시에 입력할 수 있다.

[103] 분할된 데이터가 결함 신호의 일부일 경우, 컨피던스 값을 1로하고, 분할된 데이터가 결함 신호의 일부가 아닐 경우, 컨피던스 값을 0으로 출력하도록 학습하기 위한 손실 값(lossc)을 계산할 수 있다.

[104] 먼저, 기계 학습 알고리즘을 통해 추정된 위치 및 크기 값은 하기 수학식 8과 같이 정의될 수 있다.

[105] [수식8]

$$[\hat{a}, \hat{p}] = f_p(segimg, segsig)$$

[106] 위치 및 크기 손실(lossp)은 입력된 신호에 대해서 결함이 추정되는 위치 및 크기에 대한 정확도를 평가하는 함수로, 하기 수학식 9를 통해서 구할 수 있다.

[107] [수식9]

$$loss_p = \begin{cases} \left(1 - \dfrac{Overlap\ Area}{Union\ Area}\right)^2, & if \quad right - left > 0 \\ 1, & else \end{cases}$$

[108] 추정된 값과 실제 값의 정확도가 높을수록 겹치는 영역(Overlap Area)이 크고, 이에 따라, 통합 영역(Union Area)이 작아지게 된다. 따라서, 기계 학습 알고리즘의 정확도가 올라갈수록 위치 및 크기 손실(lossp)은 0에 가까워지고, 정확도가 완전히 없는 경우에는 위치 및 크기 손실(lossp)은 1이 된다.

[109] 여기서, Union Area는 실제 영역과 추정 영역의 합집합으로, 실제 값과 추정된 값의 합이고, Overlap Area는 실제 영역과 추정된 영역의 교집합으로 하기 수학식 10으로 정의될 수 있다.

[110] [수식10]

$$Overlap\ Area = right - left$$

[111] 여기서, right는 p + a와

$\hat{p} + \hat{a}$

중 작은 값이고, left는 p와

$\hat{p}$

중 큰 값을 말한다. p는 실제 신호의 위치이고, a는 실제 신호의 영역이고,

$\hat{p}$

은 추정된 신호의 위치이고,

$\hat{a}$

은 추정된 신호의 영역이다.

[112] 도 9(a)를 참조하면, 실제 영역(실선 부분)과 추정된 영역(점선 영역)이 겹치는 영역(Overlap Area)이 큰 경우를 확인할 수 있다. 이때, 추정 영역과 실제 영역이 겹치는 경우에는

$\hat{p}$

가 p보다 크므로, left(910)는

$\hat{p}$

이 되고,

$\hat{p} + \hat{a}$

가 p + a보다 크므로, right(920)는 p + a가 된다.

[113] 따라서, right - left가 0보다 크므로, 상기 수학식 9를 적용하여 위치 및 크기 손실(lossp)을 계산할 수 있다.

[114] 도 9(b)를 참조하면, 실제 영역(실선 부분)과 추정된 영역(점선 영역)이 겹치는 영역(Overlap Area)이 없는 경우를 확인할 수 있다. 이때, 추정 영역과 실제 영역이 겹치지 않는 경우에는 p가

$\hat{p}$

보다 크므로, left(930)는 p가 되고, p + a가

$\hat{p} + \hat{a}$

보다 크므로, right(940)는

$\hat{p} + \hat{a}$

가 된다.

[115] 따라서, right - left가 0보다 작으므로, 상기 수학식 9를 적용하여 위치 및 크기 손실(lossp)을 1로 계산할 수 있다.

[116] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 결함 검출 장치 및 방법에서 결함 신호를 검출하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[117] 도 10을 참조하면, 음향 방출 센서로부터 수신된 음향 방출 신호(1010)를 일실시예에 따른 결함 검출 장치에서 학습된 기계 학습 알고리즘(1020)에 넣으면, 결함 신호의 발생 시점과 발생 길이(1030)를 실시간으로 추정할 수 있다. 이때, 결함 검출 장치를 통해서 추출된 결함 신호(1040)를 출력할 수 있다.

[118] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 결함 검출 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[119] 도 11을 참조하면, 단계(S1101)에서, 결함 검출 장치는 결함 발생에 의한 음향 방출 신호의 1차원 데이터를 음향 방출 이미지의 2차원 데이터로 변환할 수 있다.

[120] 일실시예에 따르면, 결함 검출 장치는, 상기 1차원 데이터인 음향 방출 신호를 로우패스 필터링(Low Pass Filtering)하고, 다운 샘플링 신호를 계산하여 음향 방출 이미지로 변환할 수 있다.

[121] 단계(S1102)에서, 결함 검출 장치는 1차원 데이터 및 2차원 데이터로부터 추출된 특징을 기계 학습 알고리즘에 학습시킬 수 있다.

[122] 일실시예에 따르면, 결함 검출 장치는 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터를 시간을 기초로 분할하여 기계 학습 알고리즘에 학습시킬 수 있다. 여기서 기계 학습 알고리즘은 결함의 위치, 결함의 종류 등의 분석에 활용할 수 있도록 학습할 수 있다.

[123] 일실시예에 따르면, 결함 검출 장치는 상기 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터를 동일 간격의 시간을 기초로 분할하고, 결함의 위치 및 길이에 대한 정보를 학습시킬 수 있다. 기계 학습 알고리즘은, 동일한 시간의 상기 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터를 입력으로 하고, 결함 신호의 존재 확률과 결함 발생 위치 및 크기를 출력으로 할 수 있다.

[124] 단계(S1103)에서, 결함 검출 장치는 학습된 기계 학습 알고리즘을 통해 실시간으로 발생하는 결함 신호를 검출할 수 있다.

[125] 일실시예에 따른 결함 검출 장치는 상기 기계 학습 알고리즘에 따른 검출 모델에 음향 방출 신호 및 음향 방출 이미지를 입력시키고, 결함의 위치 및 길이를 추정할 수 있다.

[126] 이상에서 설명된 서버는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 서버는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPA(field programmable 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. 프로세서는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 프로세서는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 프로세서는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 프로세서가 복수의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 프로세서는 복수의 프로세서 또는 하나의

프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[127] 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.

[128] 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.

[129] 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.

[130] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

[131]

청구범위

[청구항 1] 결함 발생에 의한 1차원 데이터를 2차원 데이터로 변환하는 데이터 변환 단계;
상기 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터로부터 추출된 특징을 기계 학습 알고리즘에 학습시키는 단계; 및
상기 학습된 기계 학습 알고리즘을 통해 실시간으로 발생하는 결함 신호를 검출하는 단계
를 포함하는 결함 신호 검출 방법.

[청구항 2] 제1항에 있어서,
상기 2차원 데이터로 변환하는 데이터 변환 단계는,
상기 1차원 데이터인 음향 방출 신호에 로우패스 필터(Low Pass Filter)를 사용하고, 다운 샘플링 신호를 계산하여 음향 방출 이미지로 변환하는 단계를 포함하는 결함 신호 검출 방법.

[청구항 3] 제2항에 있어서,
상기 음향 방출 이미지로 변환하는 단계는,
상기 다운 샘플링 신호를 병렬로 적층시켜 음향 방출 이미지로 변환하는 것을 특징으로 하는 결함 신호 검출 방법.

[청구항 4] 제1항에 있어서,
상기 기계 학습 알고리즘에 학습시키는 단계는,
상기 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터를 동일 간격의 시간을 기초로 분할하고, 결함의 위치 및 길이에 대한 정보를 학습시키는 것을 특징으로 하는 결함 신호 검출 방법.

[청구항 5] 제4항에 있어서,
상기 기계 학습 알고리즘은,
동일한 시간의 상기 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터를 입력으로 하고, 결함 신호의 존재 확률과 결함 발생 위치 및 크기를 출력으로 하는 것을 특징으로 하는 결함 신호 검출 방법.

[청구항 6] 제1항에 있어서,
상기 결함 신호를 검출하는 단계는,
상기 기계 학습 알고리즘에 따른 검출 모델에 음향 방출 신호 및 음향 방출 이미지를 입력시키고, 결함의 위치 및 길이를 추정하는 것을 특징으로 하는 결함 신호 검출 방법.

[청구항 7] 결함 발생에 의한 1차원 데이터를 2차원 데이터로 변환하는 데이터 변환부;
상기 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터를 시간을 기초로 분할하여 기계 학습 알고리즘에 학습시키는 학습부; 및
상기 기계 학습 알고리즘을 기초로 실시간으로 발생하는 결함 신호를

검출하는 결함 검출부를 포함하는 결함 신호 검출 장치.

[청구항 8] 제7항에 있어서,
상기 데이터 변환부는,
상기 1차원 데이터인 음향 방출 신호를 로우패스 필터링(Low Pass Filtering)하고, 다운 샘플링 신호를 계산하여 음향 방출 이미지로 변환하는 것을 특징으로 하는 결함 신호 검출 장치.

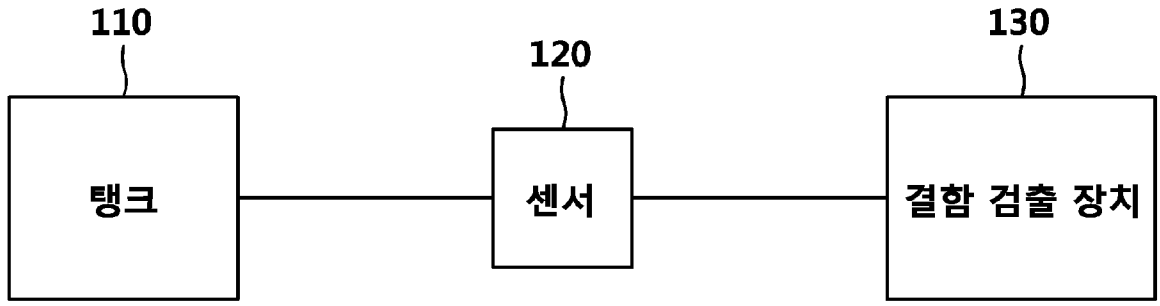
[청구항 9] 제8항에 있어서,
상기 데이터 변환부는,
상기 다운 샘플링 신호를 병렬로 적층시켜 음향 방출 이미지로 변환하는 것을 특징으로 하는 결함 신호 검출 장치.

[청구항 10] 제7항에 있어서,
상기 학습부는,
상기 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터를 동일 간격의 시간을 기초로 분할하고, 결함의 위치 및 길이에 대한 정보를 학습시키는 것을 특징으로 하는 결함 신호 검출 장치.

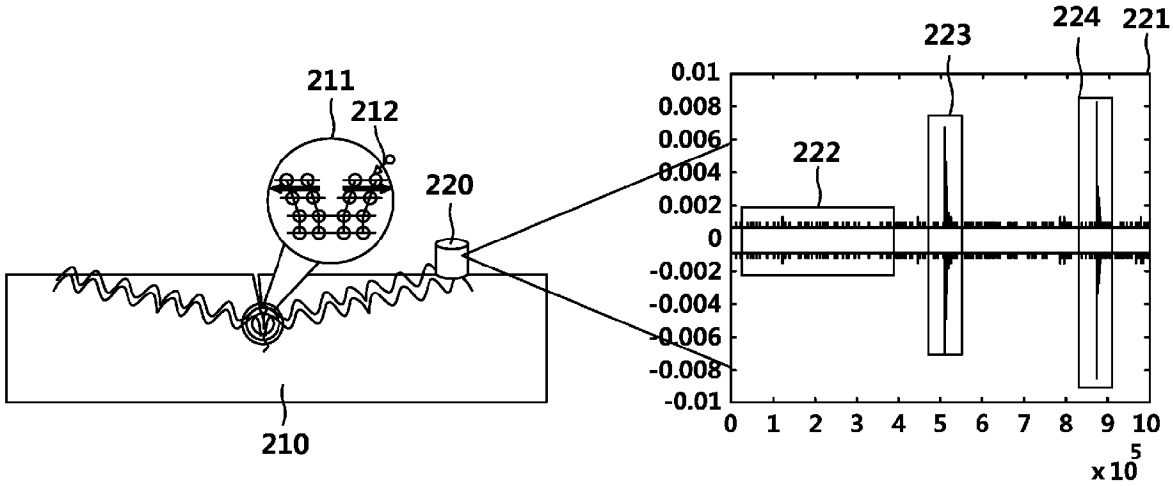
[청구항 11] 제10항에 있어서,
상기 기계 학습 알고리즘은,
동일한 시간의 상기 1차원 데이터 및 상기 2차원 데이터를 입력으로 하고, 결함 신호의 존재 확률과 결함 발생 위치 및 크기를 출력으로 하는 것을 특징으로 하는 결함 신호 검출 장치.

[청구항 12] 제7항에 있어서,
상기 결함 검출부는,
상기 기계 학습 알고리즘에 따른 검출 모델에 음향 방출 신호 및 음향 방출 이미지를 입력시키고, 결함의 위치 및 길이를 추정하는 것을 특징으로 하는 결함 신호 검출 장치.

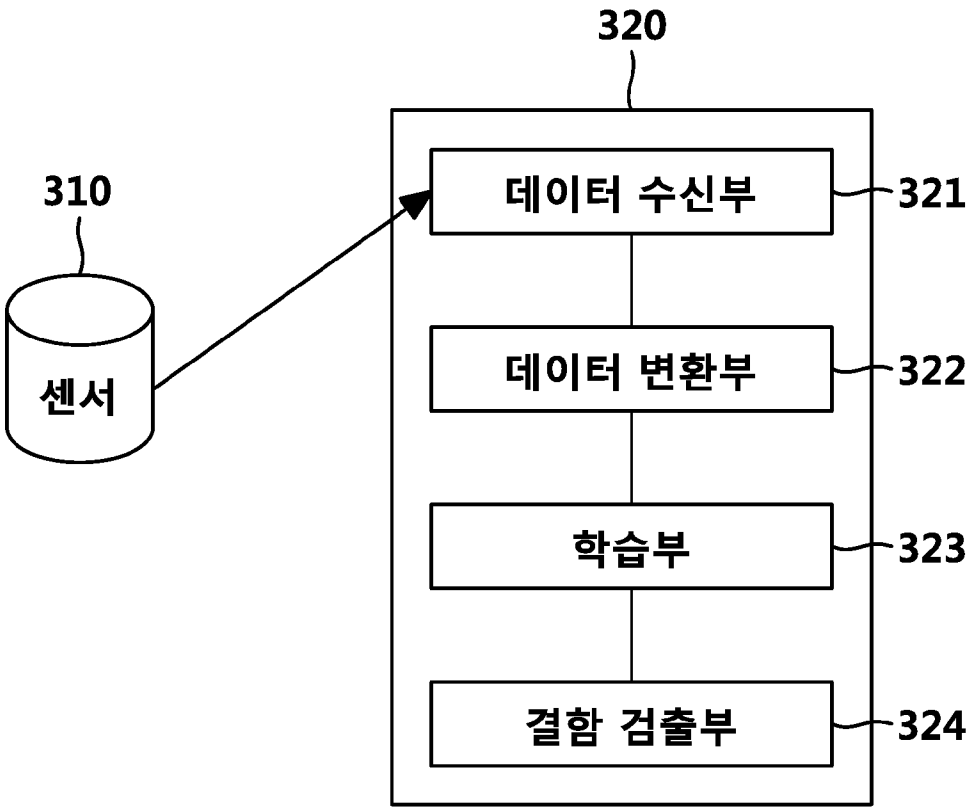
[도1]


110
120
130
탱크
센서
결함 검출 장치

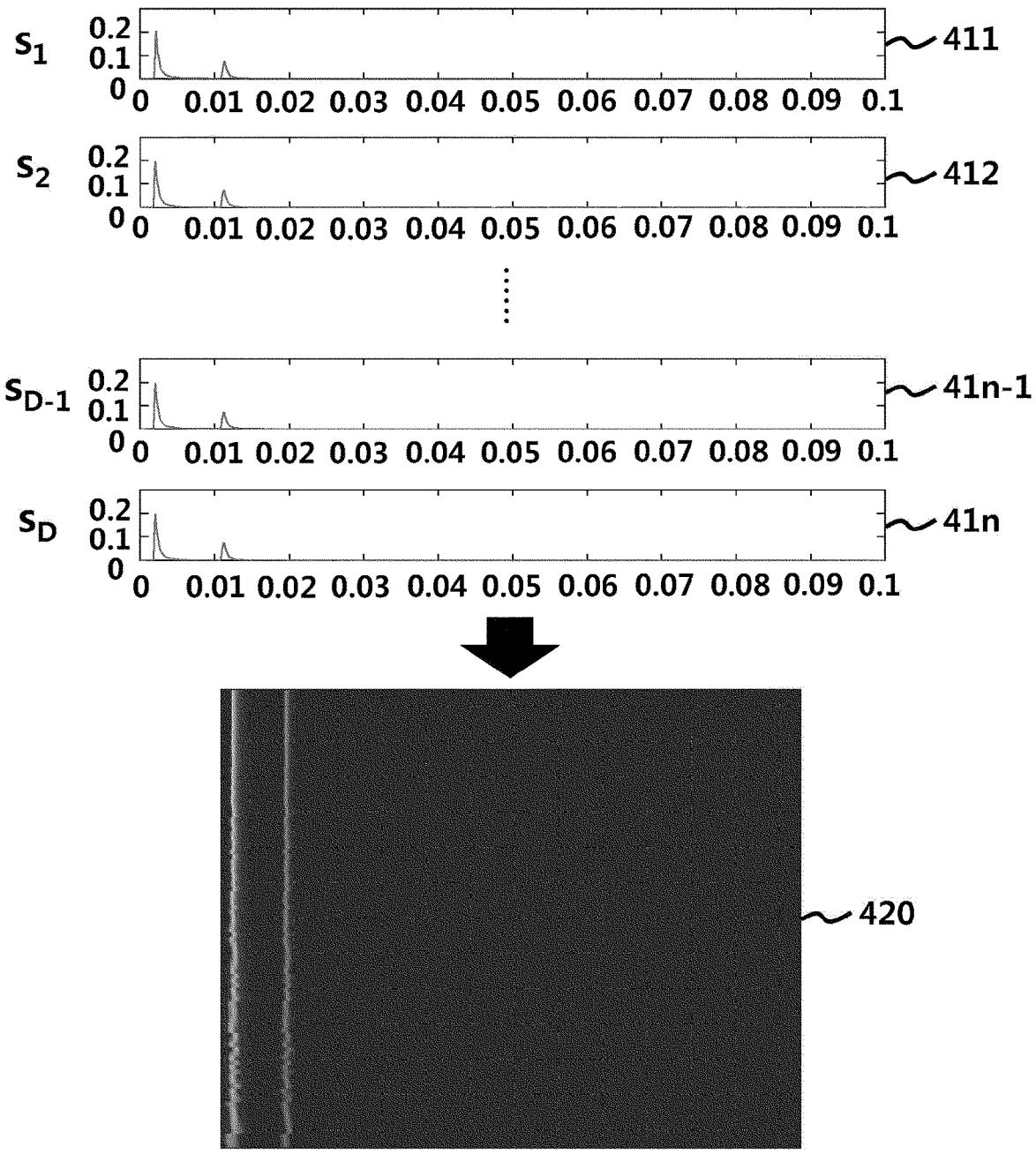
[도2]


211
212
220
210
223
224
221
222
0.01
0.008
0.006
0.004
0.002
0
-0.002
-0.004
-0.006
-0.008
-0.01
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
x 10^5

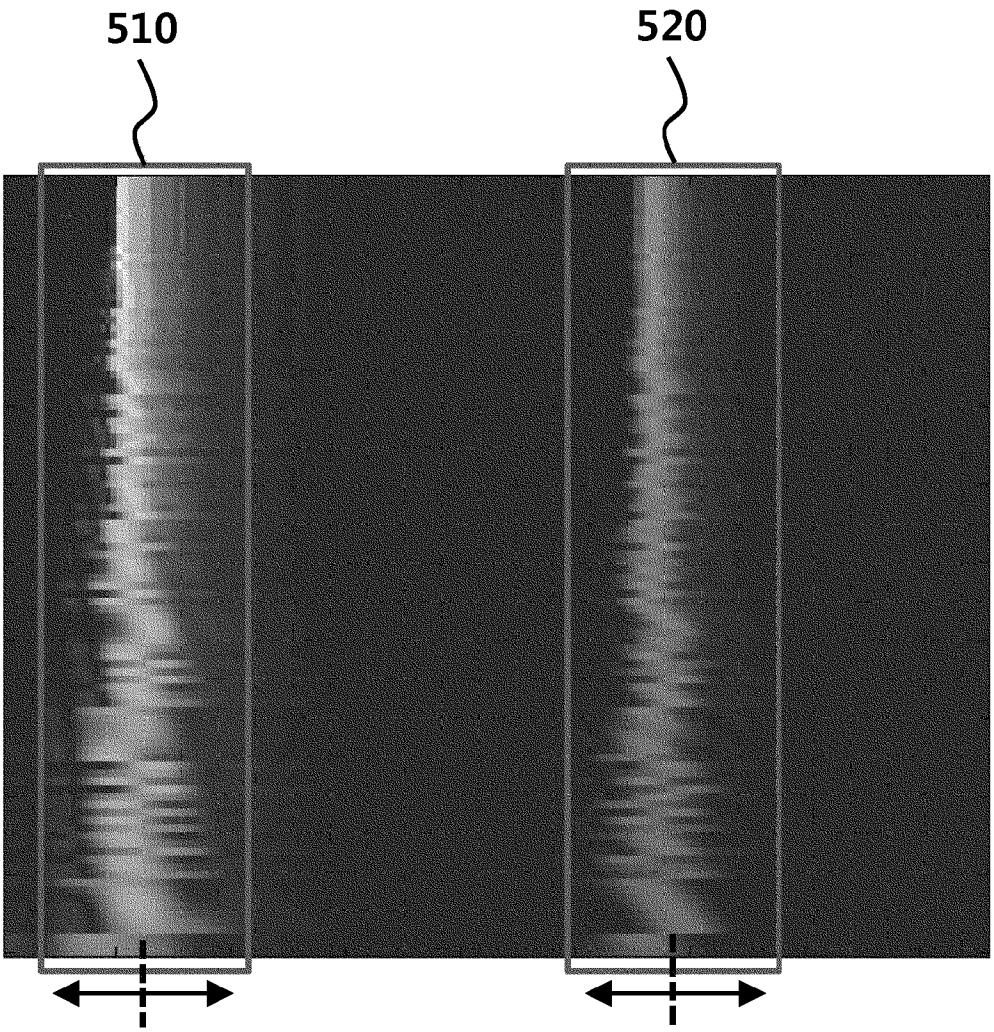
[도3]


320
310
센서
데이터 수신부
321
데이터 변환부
322
학습부
323
결함 검출부
324

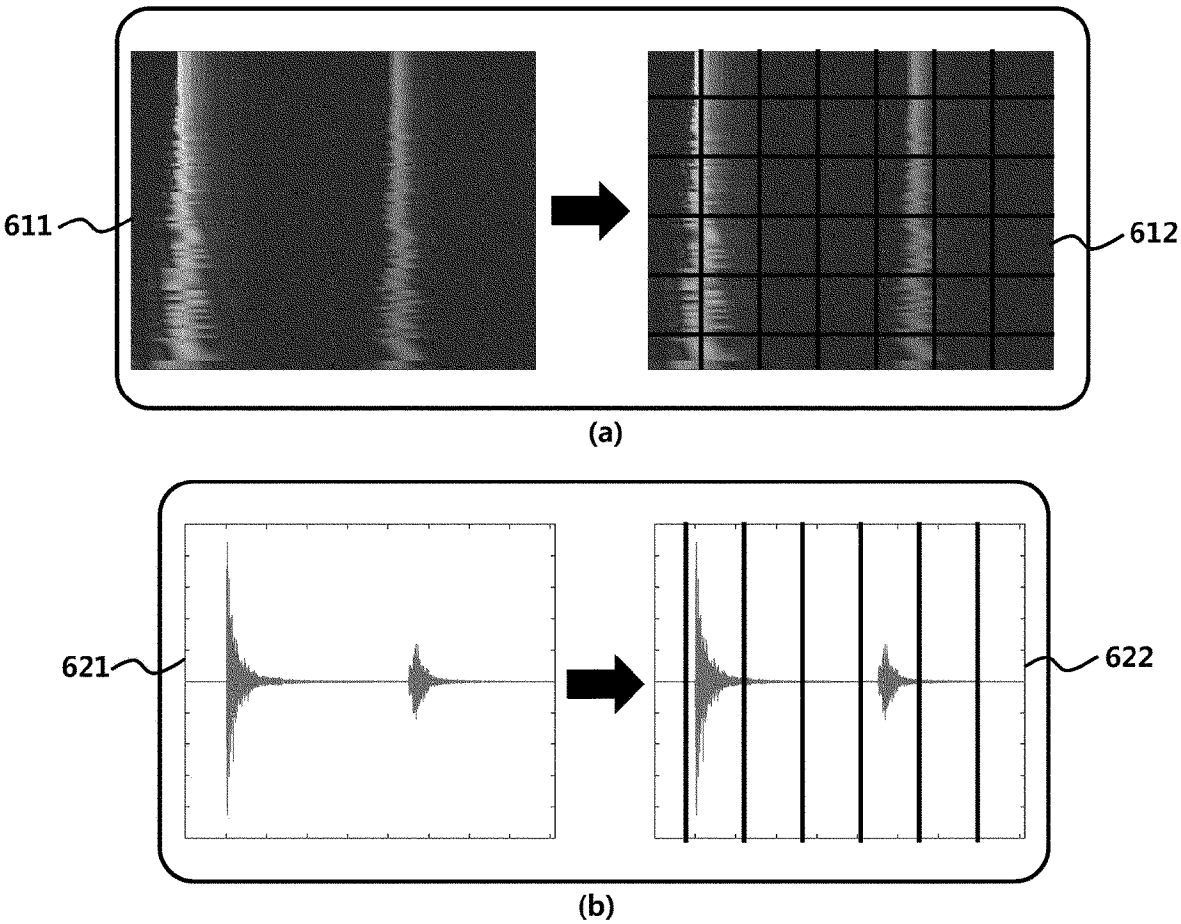
[도4]


S1
0.2
0.1
0
0 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.1
411
S2
412
SD-1
41n-1
SD
41n
420

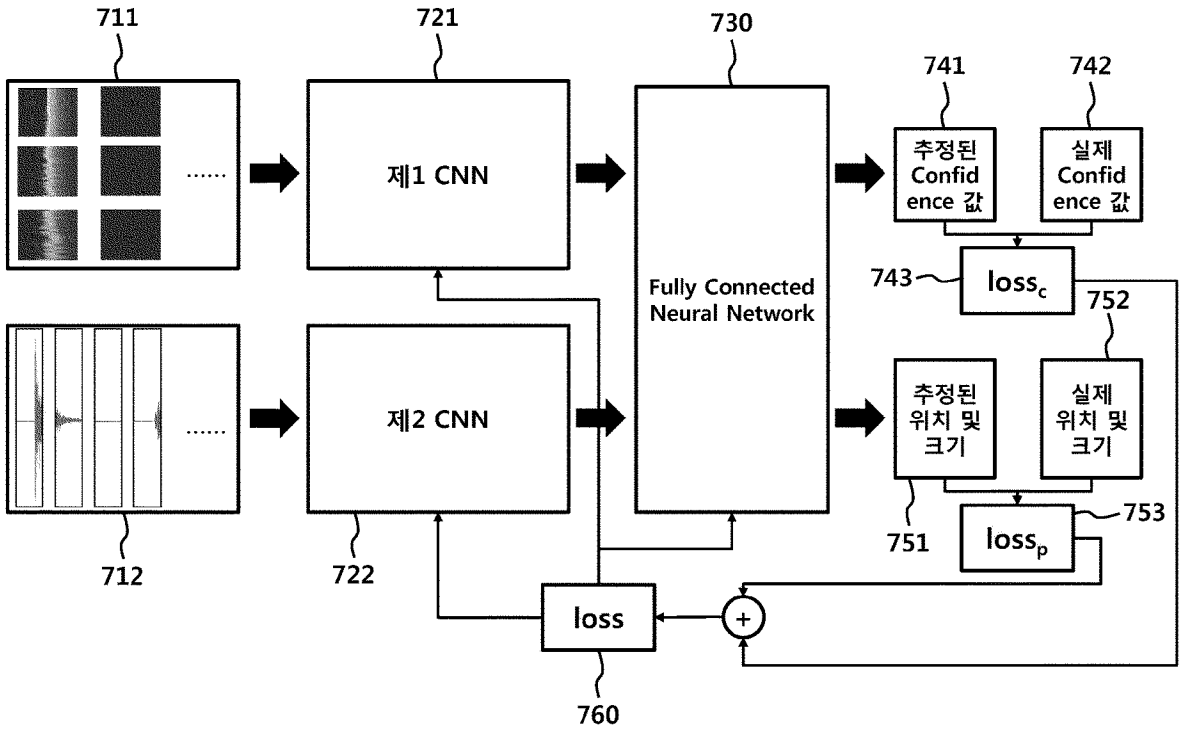
[도5]



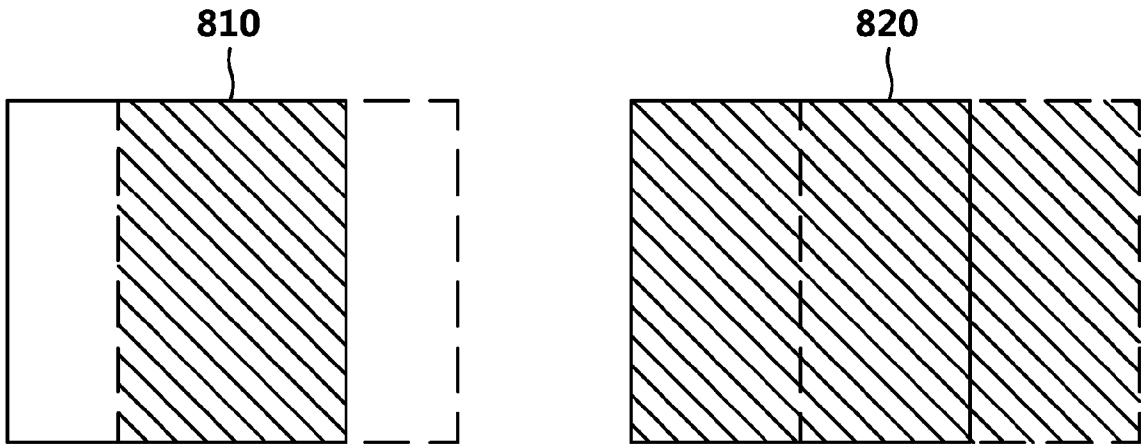
[도6]


611
612
(a)
621
622
(b)

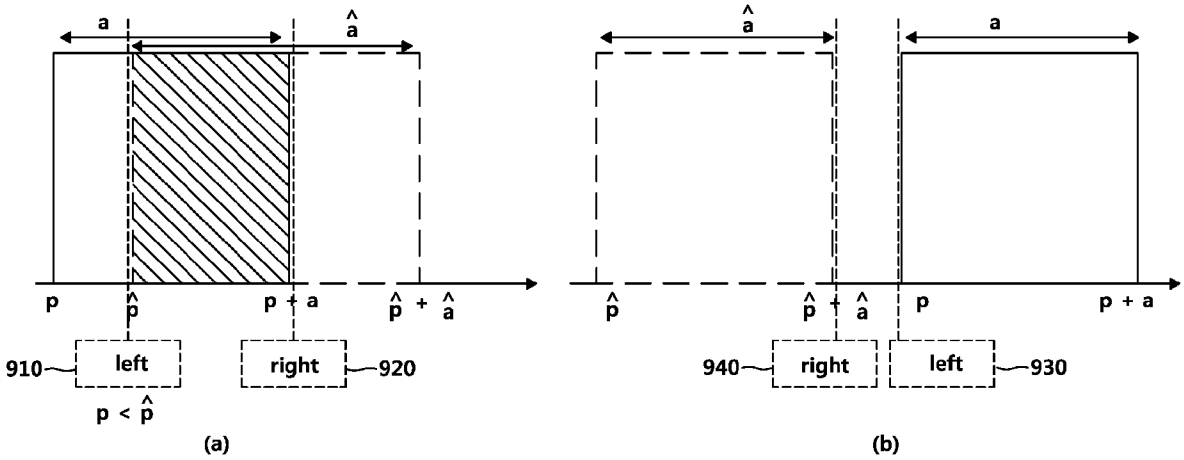
[도7]


711
721
730
741
742
제1 CNN
추정된 Confidence 값
실제 Confidence 값
743
$loss_c$
752
Fully Connected Neural Network
712
722
제2 CNN
추정된 위치 및 크기
실제 위치 및 크기
751
753
$loss_p$
loss
760

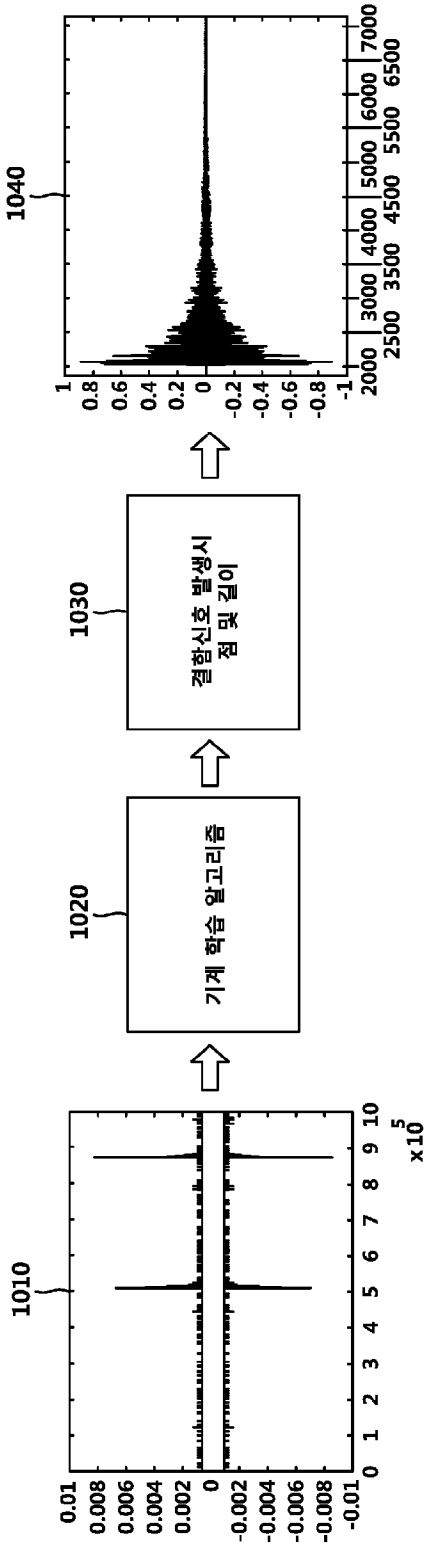
[도8]


810
820

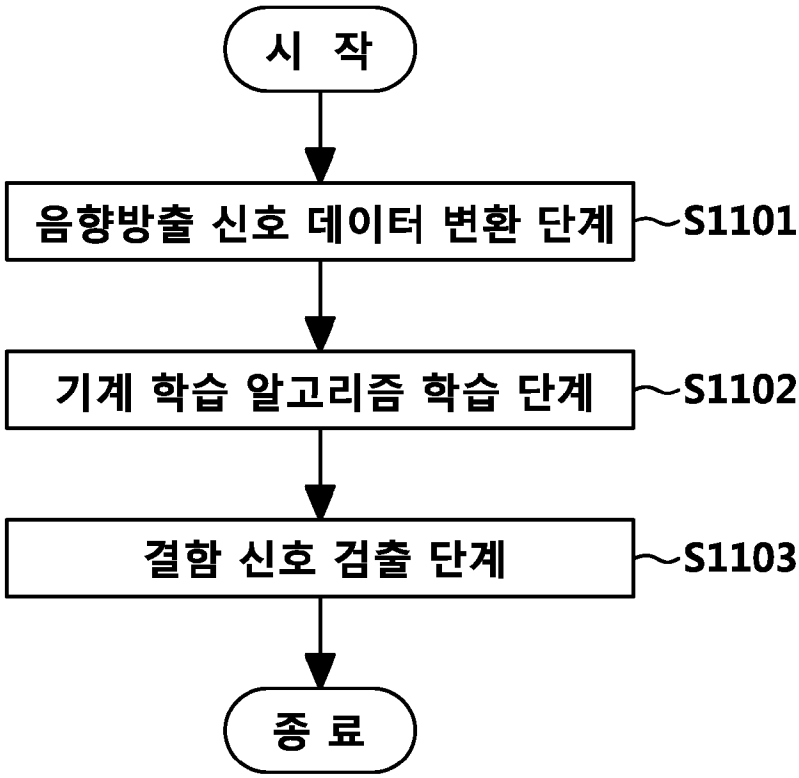
[도9]


a
â
p
p̂
p + a
p̂ + â
910
left
right
920
p < p̂
(a)
â
a
p̂
p̂ + â
p
p + a
940
right
left
930
(b)

[도10]



[도11]


시 작
음향방출 신호 데이터 변환 단계
S1101
기계 학습 알고리즘 학습 단계
S1102
결함 신호 검출 단계
S1103
종 료

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/KR2018/016791

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 29/14(2006.01)i, G01N 29/22(2006.01)i, G01N 29/44(2006.01)i, G06N 3/08(2006.01)i, G06N 20/00(2019.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N 29/14; G01N 29/04; G01N 29/44; G06K 9/62; G06N 3/08; G06N 5/04; G06N 99/00; G01N 29/22; G06N 20/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Korean utility models and applications for utility models: IPC as above
Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: acoustic emission, tank, crack, image, machine learning

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	KR 10-1818394 B1 (UNIVERSITY OF ULSAN FOUNDATION FOR INDUSTRY COOPERATION) 12 January 2018 See paragraphs [0034]-[0041], [0065]-[0069], claim 1 and figures 1-4.	1-12
Y	KR 10-2017-0093613 A (UNIVERSITY OF ULSAN FOUNDATION FOR INDUSTRY COOPERATION) 16 August 2017 See paragraphs [0029]-[0040] and figures 1, 2.	1-12
A	KR 10-2017-0126786 A (THE BOEING COMPANY) 20 November 2017 See paragraphs [0013]-[0017], claim 1 and figure 1.	1-12
A	US 2017-0168024 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 15 June 2017 See paragraphs [0030]-[0040] and figures 1, 2.	1-12
A	KR 10-2010-0060257 A (PUSAN NATIONAL UNIVERSITY INDUSTRY-UNIVERSITY COOPERATION FOUNDATION) 07 June 2010 See paragraphs [0019]-[0031] and figures 2-4.	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
18 SEPTEMBER 2019 (18.09.2019)	**18 SEPTEMBER 2019 (18.09.2019)**

Name and mailing address of the ISA/KR
Korean Intellectual Property Office
Government Complex Daejeon Building 4, 189, Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon, 35208, Republic of Korea
Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/KR2018/016791

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
KR 10-1818394 B1	12/01/2018	None	
KR 10-2017-0093613 A	16/08/2017	KR 10-1823746 B1	30/01/2018
KR 10-2017-0126786 A	20/11/2017	BR 102017005479 A2	03/04/2018
		CA 2955826 A1	10/11/2017
		CN 107356669 A	17/11/2017
		EP 3244204 A1	15/11/2017
		JP 2017-227624 A	28/12/2017
		US 2017-0328868 A1	16/11/2017
		US 9989501 B2	05/06/2018
US 2017-0168024 A1	15/06/2017	CN 107024654 A	08/08/2017
		EP 3182114 A1	21/06/2017
		JP 2017-111134 A	22/06/2017
		US 9976989 B2	22/05/2018
KR 10-2010-0060257 A	07/06/2010	None	

국제조사보고서

국제출원번호
PCT/KR2018/016791

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

G01N 29/14(2006.01)i, G01N 29/22(2006.01)i, G01N 29/44(2006.01)i, G06N 3/08(2006.01)i, G06N 20/00(2019.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)
G01N 29/14; G01N 29/04; G01N 29/44; G06K 9/62; G06N 3/08; G06N 5/04; G06N 99/00; G01N 29/22; G06N 20/00

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌
한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC
일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))
eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 음향 방출(acoustic emission), 탱크(tank), 결함(crack), 이미지(image), 기계 학습(machine learning)

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
Y	KR 10-1818394 B1 (울산대학교 산학협력단) 2018.01.12 단락 [0034]-[0041], [0065]-[0069], 청구항 1 및 도면 1-4 참조.	1-12
Y	KR 10-2017-0093613 A (울산대학교 산학협력단) 2017.08.16 단락 [0029]-[0040] 및 도면 1, 2 참조.	1-12
A	KR 10-2017-0126786 A (더 보잉 컴파니) 2017.11.20 단락 [0013]-[0017], 청구항 1 및 도면 1 참조.	1-12
A	US 2017-0168024 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 2017.06.15 단락 [0030]-[0040] 및 도면 1, 2 참조.	1-12
A	KR 10-2010-0060257 A (부산대학교 산학협력단) 2010.06.07 단락 [0019]-[0031] 및 도면 2-4 참조.	1-12

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

"A" 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

"D" 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌

"E" 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

"L" 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

"O" 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

"P" 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

"T" 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

"X" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

"Y" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

"&" 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

국제조사의 실제 완료일	국제조사보고서 발송일
2019년 09월 18일 (18.09.2019)	2019년 09월 18일 (18.09.2019)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소
대한민국 특허청
(35208) 대전광역시 서구 청사로 189,
4동 (둔산동, 정부대전청사)
팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관
이헌길
전화번호 +82-42-481-8525

국제조사보고서
대응특허에 관한 정보

국제출원번호
PCT/KR2018/016791

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-1818394 B1	2018/01/12	없음	
KR 10-2017-0093613 A	2017/08/16	KR 10-1823746 B1	2018/01/30
KR 10-2017-0126786 A	2017/11/20	BR 102017005479 A2	2018/04/03
		CA 2955826 A1	2017/11/10
		CN 107356669 A	2017/11/17
		EP 3244204 A1	2017/11/15
		JP 2017-227624 A	2017/12/28
		US 2017-0328868 A1	2017/11/16
		US 9989501 B2	2018/06/05
US 2017-0168024 A1	2017/06/15	CN 107024654 A	2017/08/08
		EP 3182114 A1	2017/06/21
		JP 2017-111134 A	2017/06/22
		US 9976989 B2	2018/05/22
KR 10-2010-0060257 A	2010/06/07	없음	