



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년11월19일
(11) 등록번호 10-2180748
(24) 등록일자 2020년11월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
GO1R 31/50 (2020.01) GO1R 31/11 (2006.01)
GO6N 20/00 (2019.01) GO6N 3/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
GO1R 31/60 (2020.01)
GO1R 31/11 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0102640
(22) 출원일자 2019년08월21일
심사청구일자 2019년08월21일
(56) 선행기술조사문헌
KR101926995 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
신용준
서울특별시 서대문구 연세로 50, 제3공학관 511호
방수식
서울특별시 서대문구 연세로 50, 제2공학관 729호
(74) 대리인
오위환, 나성곤, 정기택

전체 청구항 수 : 총 14 항

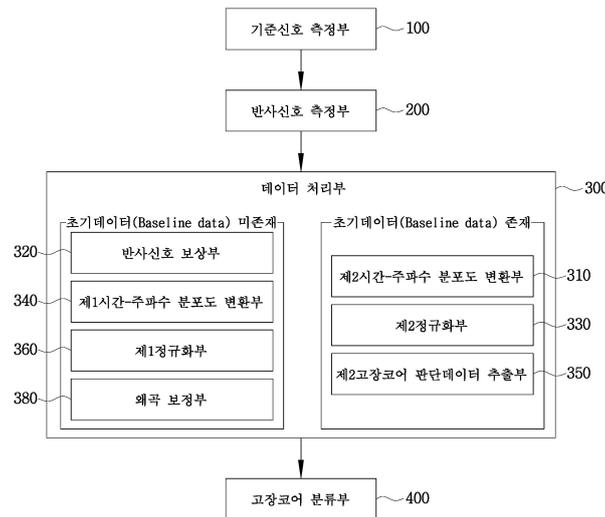
심사관 : 조지은

(54) 발명의 명칭 멀티코어 케이블 결함 분류 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은 적어도 두 개 이상 코어를 가진 멀티코어 케이블에 전자기 신호를 인가하여 생성된 각 코어별 기준신호를 측정하는 기준신호 측정부, 상기 생성된 기준신호가 상기 멀티코어 케이블의 임의의 지점에서 반사되어 생성된 각 코어별 반사신호를 측정하는 반사신호 측정부, 상기 측정된 각 코어별 반사신호에 대한 시계열 데이터로부터 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터(Baseline data) 존재 여부에 기초한 각 코어별 부분적 시계열 데이터를 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환하여 고장코어 판단 데이터를 추출하는 데이터 처리부, 상기 추출된 고장코어 판단데이터를 신경망에 입력하여 상기 멀티코어 케이블로부터 고장코어를 분류하는 고장코어 분류부를 포함할 수 있다. 이를 통해 컴퓨터를 활용한 머신러닝, 인공지능망 등을 통해 멀티코어 케이블의 결함분류를 자동화할 수 있는 효과를 가진다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G06N 20/00 (2019.01)

G06N 3/08 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2017R1A2A1A05001022
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	중견연구자지원사업
연구과제명	(후속)수퍼 그리드 구현을 위한 차세대 전력망 진단 및 모니터링 기술 개발(3/3)
기 여 율	1/2
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2019.03.01 ~ 2020.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2016K2A9A1A03905116
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	글로벌연구협력지원사업
연구과제명	한국-헝가리 간 국제 협력 연구를 통한 원전 제어계측 케이블 상태기반 정비기술 개발 (3/3)
기 여 율	1/2
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2019.01.01 ~ 2019.12.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

적어도 두 개 이상 코어를 가진 멀티코어 케이블에 전자기 신호를 인가하여 생성된 각 코어별 기준신호를 측정하는 기준신호 측정부;

상기 생성된 기준신호가 상기 멀티코어 케이블의 임의의 지점에서 반사되어 생성된 각 코어별 반사신호를 측정하는 반사신호 측정부;

상기 측정된 각 코어별 반사신호에 대한 시계열 데이터로부터 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터(Baseline data) 존재 여부에 기초한 각 코어별 부분적 시계열 데이터를 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환하여 고장코어 판단 데이터를 추출하는 데이터 처리부; 및

상기 추출된 고장코어 판단데이터를 신경망에 입력하여 상기 멀티코어 케이블로부터 고장코어를 분류하는 고장코어 분류부;를 포함하고,

상기 멀티코어 케이블의 초기데이터가 존재하지 않을 경우,

상기 데이터 처리부는,

상기 측정된 각 코어별 반사신호를 상기 멀티코어 케이블의 기 실험 데이터에 기초하여 보상하는 반사신호 보상부;

상기 보상된 반사신호에 해당하는 부분적 시계열 데이터를 각 코어별로 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환하는 제1시간-주파수 분포도 변환부;

상기 변환된 각 코어별 시간-주파수 분포도를 정규화하는 제1정규화부; 및

상기 정규화된 각 코어별 시간-주파수 분포도에 대한 왜곡을 보정하는 왜곡 보정부;를 포함하는 멀티코어 케이블 결함 분류 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터는,

상기 멀티코어 케이블에서 결함이 발생하지 않았을 때 측정된 반사신호에 대한 데이터인 멀티코어 케이블 결함 분류 시스템.

청구항 3

삭제

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 반사신호 보상부는,

아래 수학적 식 1로 표현되는 신호 왜곡정도 산출식에 따라 상기 측정된 각 코어별 반사신호를 기 실험 데이터에 기초하여 보상하는 멀티코어 케이블 결함 분류 시스템.

<수학적 식 1>

$$\zeta(t) = \frac{|H(S_r(t))|}{|H(S_o(t))|}$$

$\zeta(t)$: 시계열 상에서의 감쇄 비율 값, H 은 Hilbert 변환, r 은 반사신호 값, o 은 기준신호 값, $S_r(t)$: 시계열 상에서의 반사신호 값, $S_o(t)$: 시계열 상에서의 기준신호 값, $H(S_r(t))$: 반사신호의 Hilbert 변환 값, $H(S_o(t))$: 기준신호의 Hilbert 변환 값)

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 왜곡 보정부는, 상기 정규화된 각 코어별 시간-주파수 분포도에 칼럼 시프트(Column shift)를 적용하여 상기 각 코어별 시간-주파수 분포도를 이동시키는 시프트부; 상기 이동시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도의 기울기를 주성분 분석법(PCA)을 통해 추정하고, 상기 추정된 기울기를 기초로 상기 각 코어별 시간-주파수 분포도를 회전시키는 회전부; 상기 회전시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도로부터 윤곽선을 추출하는 윤곽선 추출부; 상기 추출된 각 코어별 윤곽선이 포함된 시간-주파수 분포도를 하나의 영상으로 병합하는 영상 병합부; 및 상기 병합된 하나의 영상을 통해 각 코어별 윤곽선이 겹치는 점, 선, 영역 중 적어도 어느 하나의 정보로부터 고장코어 판단 데이터를 추출하는 제1고장코어 판단 데이터 추출부;를 포함하는 멀티코어 케이블 결함 분류 시스템.

청구항 6

제 5 항에 있어서, 상기 회전부는, 아래 수학적 식 2로 표현되는 회전각도 산출식에 따라 상기 이동시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도를 회전시키는 멀티코어 케이블 결함 분류 시스템.

<수학적 식 2>

$$\theta_i = \frac{\pi}{N}(i - 1)$$

θ_i : i 번째 코어의 회전시켜야하는 각도, N : 멀티코어 케이블의 코어 개수, i : 회전시키고자 하는 코어 번호)

청구항 7

제 5 항에 있어서, 상기 윤곽선 추출부는, 아래 수학적 식 3으로 표현되는 윤곽선 추출식에 따라 상기 회전시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도로부터 윤곽선을 추출하는 멀티코어 케이블 결함 분류 시스템.

<수학적 식 3>

$$I_{new}(m, n) = e^{-a|I_{old}(m, n) - \sigma|}$$

$I_{new}(m, n)$: 새로운 이미지(윤곽선 이미지), $I_{old}(m, n)$: 기존 이미지(윤곽선 추출 전 이미지), m 및 n : 시간-주파수 분포도 이미지 상에서의 행과 열 번호, a : 윤곽선의 두께를 결정하는 파라미터 값, σ : 타원의 넓이를 결정하는 파라미터 값)

청구항 8

제 1 항에 있어서, 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터가 존재할 경우,

상기 데이터 처리부는,

상기 측정된 각 코어별 반사신호와 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터를 비교하여 차이가 발생하는 부분적 시계열 데이터를 각 코어별로 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환하는 제2시간-주파수 분포도 변환부;

상기 변환된 각 코어별 시간-주파수 분포도를 하나의 영상으로 배열한 후, 상기 배열된 영상에서 가장 큰 값을 기준으로 정규화하는 제2정규화부; 및

상기 정규화된 영상에 맥스폴딩을 수행하여 고장코어 판단 데이터를 추출하는 제2고장코어 판단 데이터 추출부;를 포함하는 멀티코어 케이블 결함 분류 시스템.

청구항 9

기준신호 측정부에서 적어도 두 개 이상 코어를 가진 멀티코어 케이블에 전자기 신호를 인가하여 생성된 각 코어별 기준신호를 측정하는 기준신호 측정단계;

반사신호 측정부에서 상기 생성된 기준신호가 상기 멀티코어 케이블의 임의의 지점에서 반사되어 생성된 각 코어별 반사신호를 측정하는 반사신호 측정단계;

데이터 처리부에서 상기 측정된 각 코어별 반사신호에 대한 시계열 데이터로부터 상기 멀티코어 케이블의 초기 데이터(Baseline data) 존재 여부에 기초한 각 코어별 부분적 시계열 데이터를 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환하여 고장코어 판단 데이터를 추출하는 데이터 처리단계; 및

고장코어 분류부에서 상기 추출된 고장코어 판단데이터를 신경망에 입력하여 상기 멀티코어 케이블로부터 고장코어를 분류하는 고장코어 분류단계;를 포함하고,

상기 멀티코어 케이블의 초기데이터가 존재하지 않을 경우,

상기 데이터 처리단계는,

반사신호 보상부에서 상기 측정된 각 코어별 반사신호를 상기 멀티코어 케이블의 기 실험 데이터에 기초하여 보상하는 반사신호 보상단계;

제1시간-주파수 분포도 변환부에서 상기 보상된 반사신호에 해당하는 부분적 시계열 데이터를 각 코어별로 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환하는 제1시간-주파수 분포도 변환단계;

제1정규화부에서 상기 변환된 각 코어별 시간-주파수 분포도를 정규화하는 제1정규화단계; 및

왜곡 보정부에서 상기 정규화된 각 코어별 시간-주파수 분포도에 대한 왜곡을 보정하는 왜곡 보정단계;를 포함하는 멀티코어 케이블 결함 분류 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서, 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터는,

상기 멀티코어 케이블에서 결함이 발생하지 않았을 때 측정된 반사신호에 대한 데이터인 멀티코어 케이블 결함 분류 방법.

청구항 11

삭제

청구항 12

제 9 항에 있어서, 상기 반사신호 보상단계는,

아래 수학적 식 1로 표현되는 신호 왜곡정도 산출식에 따라 상기 측정된 각 코어별 반사신호를 기 실험 데이터에 기초하여 보상하는 멀티코어 케이블 결함 분류 방법.

<수학식 1>

$$\zeta(t) = \frac{|H(S_r(t))|}{|H(S_o(t))|}$$

($\zeta(t)$: 시계열 상에서의 감쇄 비율 값, H은 Hilbert 변환, r은 반사신호 값, o은 기준신호 값, $S_r(t)$: 시계열 상에서의 반사신호 값, $S_o(t)$: 시계열 상에서의 기준신호 값, $H(S_r(t))$: 반사신호의 Hilbert 변환 값, $H(S_o(t))$: 기준신호의 Hilbert 변환 값)

청구항 13

제 9 항에 있어서, 상기 왜곡 보정단계는,

시프트부에서 상기 정규화된 각 코어별 시간-주파수 분포도에 칼럼 시프트(Column shift)를 적용하여 상기 각 코어별 시간-주파수 분포도를 이동시키는 시프트단계;

회전부에서 상기 이동시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도의 기울기를 주성분 분석법(PCA)을 통해 추정하고, 상기 추정된 기울기를 기초로 상기 각 코어별 시간-주파수 분포도를 회전시키는 회전단계;

윤곽선 추출부에서 상기 회전시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도로부터 윤곽선을 추출하는 윤곽선 추출단계;

영상 병합부에서 상기 추출된 각 코어별 윤곽선이 포함된 시간-주파수 분포도를 하나의 영상으로 병합하는 영상 병합단계; 및

제1고장코어 판단데이터 추출부에서 상기 병합된 하나의 영상을 통해 각 코어별 윤곽선이 겹치는 점, 선, 영역 중 적어도 어느 하나의 정보로부터 고장코어 판단 데이터를 추출하는 제1고장코어 판단데이터 추출단계;를 포함하는 멀티코어 케이블 결함 분류 방법.

청구항 14

제 13 항에 있어서, 상기 회전단계는,

아래 수학식 2로 표현되는 회전각도 산출식에 따라 상기 이동시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도를 회전시키는 멀티코어 케이블 결함 분류 방법.

<수학식 2>

$$\theta_i = \frac{\pi}{N}(i - 1)$$

(θ_i : i번째 코어의 회전시켜야하는 각도, N: 멀티코어 케이블의 코어 개수, i: 회전시키고자 하는 코어 번호)

청구항 15

제 13 항에 있어서, 상기 윤곽선 추출단계는,

아래 수학식 3으로 표현되는 윤곽선 추출식에 따라 상기 회전시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도로부터 윤곽선을 추출하는 멀티코어 케이블 결함 분류 방법.

<수학식 3>

$$I_{new}(m, n) = e^{-a|I_{old}(m, n) - \sigma|}$$

$I_{new}(m, n)$: 새로운 이미지(윤곽선 이미지), $I_{old}(m, n)$: 기존 이미지(윤곽선 추출 전 이미지), m 및 n : 시간-주파수 분포도 이미지 상에서의 행과 열 번호, a : 윤곽선의 두께를 결정하는 파라미터 값, σ : 타원의 넓이를 결정하는 파라미터 값)

청구항 16

제 9 항에 있어서, 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터가 존재할 경우, 상기 데이터 처리단계는,

제2시간-주파수 분포도 변환부에서 상기 측정된 각 코어별 반사신호와 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터를 비교하여 차이가 발생하는 부분적 시계열 데이터를 각 코어별로 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환하는 제2시간-주파수 분포도 변환단계;

제2정규화부에서 상기 변환된 각 코어별 시간-주파수 분포도를 하나의 영상으로 배열한 후, 상기 배열된 영상에서 가장 큰 값을 기준으로 정규화하는 제2정규화단계; 및

제2고장코어 판단데이터 추출부에서 상기 정규화된 영상에 맥스폴링을 수행하여 고장코어 판단 데이터를 추출하는 제2고장코어 판단데이터 추출단계;를 포함하는 멀티코어 케이블 결함 분류 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 케이블 결함 분류에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 시간-주파수 영역 반사파 계측법(TFDR)을 이용하여 멀티코어 케이블에서 어떤 코어에서 결함이 발생하였는지를 판단하고 이를 분류하는 멀티코어 케이블 결함 분류 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 산업의 고도화로 멀티코어 케이블의 사용(네트워크 케이블, 제어 및 계측 케이블 등)이 증대됨에 따라 멀티코어 케이블의 결함 위치 추정은 물론, 어떤 코어에 문제가 있는지 판단하는 기술이 요구되고 있다.

[0003] 일반적으로 케이블의 결함 판단에 이용되는 반사파 계측법의 경우, 결함의 위치를 추정하거나 또는 멀티코어 케이블에 있어서 어떤 코어에 문제가 있는지 판단할 수 있으나 이는 사람이 직접 일일이 측정하여 판단해야하는 한계점을 안고 있다.

[0004] 이에, 멀티코어 케이블의 결함 코어 판단 및 분류 기술에 있어서 케이블의 어느 위치에, 어떤 코어에 문제가 발생했는지 자동으로 판단 및 분류하는 기술을 개발할 필요성이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 미국등록특허공보 제4651084호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 이에 본 발명은 상기와 같은 제반 사항을 고려하여 제안된 것으로, 컴퓨터를 활용한 머신러닝, 인공지능망 등을 통해 멀티코어 케이블의 결함분류를 자동화하는 것을 목적으로 한다.

[0007] 또한, 본 발명은 멀티코어 케이블에 있어서 어떤 코어에 결함이 발생했는지 자동으로 판단 및 분류하는 것을 목적으로 한다.

[0008] 또한, 본 발명은 멀티코어 케이블의 초기데이터(Baseline data), 즉 결함이 발생하지 않을 때에 측정한 데이터

의 존재 여부와 상관없이 영상 처리를 통해 결합 판단 및 분류 기술을 구현하는 것을 목적으로 한다.

- [0009] 또한, 본 발명은 전파거리에 따른 반사신호의 왜곡을 보상함으로써, 결합 판단 및 분류의 정확도를 높이는 것을 목적으로 한다.
- [0010] 또한, 본 발명은 컴퓨터가 인지 가능한 명확한 특징(점, 선, 영역 등)을 도출함으로써, 결합 판단 및 분류의 정확도를 높이는 것을 목적으로 한다.
- [0011] 또한, 본 발명은 코어에 인가하는 (+)극성 및 (-)극성의 개수 및 위치를 조정하여 결합 측정의 효율성을 높이는 것을 목적으로 한다.
- [0012] 본 발명의 목적들은 이상에서 언급한 목적들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해할 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0013] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 기술적 사상에 의한 멀티코어 케이블 결합 분류 시스템은 적어도 두 개 이상 코어를 가진 멀티코어 케이블에 전자기 신호를 인가하여 생성된 각 코어별 기준신호를 측정하는 기준신호 측정부, 상기 생성된 기준신호가 상기 멀티코어 케이블의 임의의 지점에서 반사되어 생성된 각 코어별 반사신호를 측정하는 반사신호 측정부, 상기 측정된 각 코어별 반사신호에 대한 시계열 데이터로부터 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터(Baseline data) 존재 여부에 기초한 각 코어별 부분적 시계열 데이터를 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환하여 고장코어 판단 데이터를 추출하는 데이터 처리부, 상기 추출된 고장코어 판단데이터를 신경망에 입력하여 상기 멀티코어 케이블로부터 고장코어를 분류하는 고장코어 분류부를 포함할 수 있다.
- [0014] 이 때 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터는 상기 멀티코어 케이블에서 결합이 발생하지 않았을 때 측정된 반사신호에 대한 데이터라 할 수 있다.
- [0015] 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터가 존재하지 않을 경우, 상기 데이터 처리부는 상기 측정된 각 코어별 반사신호를 상기 멀티코어 케이블의 기 실험 데이터에 기초하여 보상하는 반사신호 보상부, 상기 보상된 반사신호에 해당하는 부분적 시계열 데이터를 각 코어별로 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환하는 제1시간-주파수 분포도 변환부, 상기 변환된 각 코어별 시간-주파수 분포도를 정규화하는 제1정규화부, 상기 정규화된 각 코어별 시간-주파수 분포도에 대한 왜곡을 보정하는 왜곡 보정부를 포함할 수 있다.
- [0016] 상기 반사신호 보상부는 아래 수학적 식 1로 표현되는 신호 왜곡정도 산출식에 따라 상기 측정된 각 코어별 반사신호를 기 실험 데이터에 기초하여 보상할 수 있다.

[0017] <수학적 식 1>

$$\zeta(t) = \frac{|H(S_r(t))|}{|H(S_o(t))|}$$

- [0018]
- [0019] ($\zeta(t)$: 시계열 상에서의 감쇄 비율 값, H 은 Hilbert 변환, r 은 반사신호 값, o 은 기준신호 값, $S_r(t)$: 시계열 상에서의 반사신호 값, $S_o(t)$: 시계열 상에서의 기준신호 값, $H(S_r(t))$: 반사신호의 Hilbert 변환 값, $H(S_o(t))$: 기준신호의 Hilbert 변환 값)

- [0020] 상기 왜곡 보정부는 상기 정규화된 각 코어별 시간-주파수 분포도에 칼럼 시프트(Column shift)를 적용하여 상기 각 코어별 시간-주파수 분포도를 이동시키는 시프트부, 상기 이동시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도의 기울기를 주성분 분석법(PCA)을 통해 추정하고, 상기 추정된 기울기를 기초로 상기 각 코어별 시간-주파수 분포도를 회전시키는 회전부, 상기 회전시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도로부터 윤곽선을 추출하는 윤곽선 추출부, 상기 추출된 각 코어별 윤곽선이 포함된 시간-주파수 분포도를 하나의 영상으로 병합하는 영상 병합부, 상기 병합된 하나의 영상을 통해 각 코어별 윤곽선이 겹치는 점, 선, 영역 중 적어도 어느 하나의 정보로부터 고장코어

판단 데이터를 추출하는 제1고장코어 판단 데이터 추출부를 포함할 수 있다.

[0021] 상기 회전부는 아래 수학적 식 2로 표현되는 회전각도 산출식에 따라 상기 이동시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도를 회전시킬 수 있다.

[0022] <수학적 식 2>

$$\theta_i = \frac{\pi}{N}(i - 1)$$

[0023]

[0024] θ_i : i번째 코어의 회전시켜야하는 각도, N: 멀티코어 케이블의 코어 개수, i: 회전시키고자 하는 코어 번호)

[0025] 상기 윤곽선 추출부는 아래 수학적 식 3으로 표현되는 윤곽선 추출식에 따라 상기 회전시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도로부터 윤곽선을 추출할 수 있다.

[0026] <수학적 식 3>

$$I_{new}(m, n) = e^{-a|I_{old}(m, n) - \sigma|}$$

[0027]

[0028] $I_{new}(m, n)$: 새로운 이미지(윤곽선 이미지), $I_{old}(m, n)$: 기존 이미지(윤곽선 추출 전 이미지), m 및 n: 시간-주파수 분포도 이미지 상에서의 행과 열 번호, a: 윤곽선의 두께를 결정하는 파라미터 값, σ : 타원의 넓이를 결정하는 파라미터 값)

[0029] 한편, 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터가 존재할 경우, 상기 데이터 처리부는 상기 측정된 각 코어별 반사신호와 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터를 비교하여 차이가 발생하는 부분적 시계열 데이터를 각 코어별로 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환하는 제2시간-주파수 분포도 변환부, 상기 변환된 각 코어별 시간-주파수 분포도를 하나의 영상으로 배열한 후, 상기 배열된 영상에서 가장 큰 값을 기준으로 정규화하는 제2정규화부, 상기 정규화된 영상에 맥스폴딩을 수행하여 고장코어 판단 데이터를 추출하는 제2고장코어 판단 데이터 추출부를 포함할 수 있다.

[0030] 상기과 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 기술적 사상에 의한 멀티코어 케이블 결함 분류 방법은 기준신호 측정부에서 적어도 두 개 이상 코어를 가진 멀티코어 케이블에 전자기 신호를 인가하여 생성된 각 코어별 기준신호를 측정하는 기준신호 측정단계, 반사신호 측정부에서 상기 생성된 기준신호가 상기 멀티코어 케이블의 임의의 지점에서 반사되어 생성된 각 코어별 반사신호를 측정하는 반사신호 측정단계, 데이터 처리부에서 상기 측정된 각 코어별 반사신호에 대한 시계열 데이터로부터 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터(Baseline data) 존재 여부에 기초한 각 코어별 부분적 시계열 데이터를 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환하여 고장코어 판단 데이터를 추출하는 데이터 처리단계, 고장코어 분류부에서 상기 추출된 고장코어 판단데이터를 신경망에 입력하여 상기 멀티코어 케이블로부터 고장코어를 분류하는 고장코어 분류단계를 포함할 수 있다.

[0031] 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터는 상기 멀티코어 케이블에서 결함이 발생하지 않았을 때 측정된 반사신호에 대한 데이터라 할 수 있다.

[0032] 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터가 존재하지 않을 경우, 상기 데이터 처리단계는 반사신호 보상부에서 상기 측정된 각 코어별 반사신호를 상기 멀티코어 케이블의 기 실험 데이터에 기초하여 보상하는 반사신호 보상단계, 제1시간-주파수 분포도 변환부에서 상기 보상된 반사신호에 해당하는 부분적 시계열 데이터를 각 코어별로 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환하는 제1시간-주파수 분포도 변환단계, 제1정규화부에서 상기 변환된 각 코어별 시간-주파수 분포도를 정규화하는 제1정규화단계, 왜곡 보정부에서 상기 정규화된 각 코어별 시간-주파수 분포도에 대한 왜곡을 보정하는 왜곡 보정단계를 포함할 수 있다.

[0033] 상기 반사신호 보상단계는 아래 수학적 식 1로 표현되는 신호 왜곡정도 산출식에 따라 상기 측정된 각 코어별 반사신호를 기 실험 데이터에 기초하여 보정할 수 있다.

[0034] <수학식 1>

$$\zeta(t) = \frac{|H(S_r(t))|}{|H(S_o(t))|}$$

[0035]

[0036] ($\zeta(t)$: 시계열 상에서의 감쇄 비율 값, H은 Hilbert 변환, r은 반사신호 값, o은 기준신호 값, $S_r(t)$: 시계열 상에서의 반사신호 값, $S_o(t)$: 시계열 상에서의 기준신호 값, $H(S_r(t))$: 반사신호의 Hilbert 변환 값, $H(S_o(t))$: 기준신호의 Hilbert 변환 값)

[0037] 상기 왜곡 보정단계는 시프트부에서 상기 정규화된 각 코어별 시간-주파수 분포도에 칼럼 시프트(Column shift)를 적용하여 상기 각 코어별 시간-주파수 분포도를 이동시키는 시프트단계, 회전부에서 상기 이동시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도의 기울기를 주성분 분석법(PCA)을 통해 추정하고, 상기 추정된 기울기를 기초로 상기 각 코어별 시간-주파수 분포도를 회전시키는 회전단계, 윤곽선 추출부에서 상기 회전시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도로부터 윤곽선을 추출하는 윤곽선 추출단계, 영상 병합부에서 상기 추출된 각 코어별 윤곽선이 포함된 시간-주파수 분포도를 하나의 영상으로 병합하는 영상 병합단계, 제1고장코어 판단데이터 추출부에서 상기 병합된 하나의 영상을 통해 각 코어별 윤곽선이 겹치는 점, 선, 영역 중 적어도 어느 하나의 정보로부터 고장코어 판단 데이터를 추출하는 제1고장코어 판단데이터 추출단계를 포함할 수 있다.

[0038] 상기 회전단계는 아래 수학식 2로 표현되는 회전각도 산출식에 따라 상기 이동시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도를 회전시킬 수 있다.

[0039] <수학식 2>

$$\theta_i = \frac{\pi}{N}(i - 1)$$

[0040]

[0041] (θ_i : i번째 코어의 회전시켜야하는 각도, N: 멀티코어 케이블의 코어 개수, i: 회전시키고자 하는 코어 번호)

[0042] 상기 윤곽선 추출단계는 아래 수학식 3으로 표현되는 윤곽선 추출식에 따라 상기 회전시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도로부터 윤곽선을 추출할 수 있다.

[0043] <수학식 3>

$$I_{new}(m, n) = e^{-a|I_{old}(m, n) - \sigma|}$$

[0044]

[0045] ($I_{new}(m, n)$: 새로운 이미지(윤곽선 이미지), $I_{old}(m, n)$: 기존 이미지(윤곽선 추출 전 이미지), m 및 n: 시간-주파수 분포도 이미지 상에서의 행과 열 번호, a: 윤곽선의 두께를 결정하는 파라미터 값, σ : 타원의 넓이를 결정하는 파라미터 값)

[0046] 한편, 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터가 존재할 경우, 상기 데이터 처리단계는 제2시간-주파수 분포도 변환부에서 상기 측정된 각 코어별 반사신호와 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터를 비교하여 차이가 발생하는 부분적 시계열 데이터를 각 코어별로 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환하는 제2시간-주파수 분포도 변환단계, 제2정규화부에서 상기 변환된 각 코어별 시간-주파수 분포도를 하나의 영상으로 배열한 후, 상기 배열된 영상에서 가장 큰 값을 기준으로 정규화하는 제2정규화단계, 제2고장코어 판단데이터 추출부에서 상기 정규화된 영상에 맥스폴링을 수행하여 고장코어 판단 데이터를 추출하는 제2고장코어 판단데이터 추출단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0047] 이상에서 설명한 바와 같은 멀티코어 케이블 결함 분류 시스템 및 방법에 따르면,
- [0048] 첫째, 컴퓨터를 활용한 머신러닝, 인공지능망 등을 통해 멀티코어 케이블의 결함분류를 자동화할 수 있는 효과를 가진다.
- [0049] 둘째, 멀티코어 케이블에 있어서 어떤 코어에 결함이 발생했는지 자동으로 판단 및 분류할 수 있는 효과를 가진다.
- [0050] 셋째, 멀티코어 케이블의 초기데이터(Baseline data), 즉 결함이 발생하지 않을 때에 측정된 데이터의 존재 여부와 상관없이 영상 처리를 통해 결함 판단 및 분류 기술을 구현할 수 있는 효과를 가진다.
- [0051] 넷째, 전과거리에 따른 반사신호의 왜곡을 보상함으로써, 결함 판단 및 분류의 정확도를 높일 수 있는 효과를 가진다.
- [0052] 다섯째, 컴퓨터가 인지 가능한 명확한 특징(점, 선, 영역 등)을 도출함으로써, 결함 판단 및 분류의 정확도를 높일 수 있는 효과를 가진다.
- [0053] 여섯째, 코어에 인가하는 (+)극성 및 (-)극성의 개수 및 위치를 조정하여 결함 측정의 효율성을 높일 수 있는 효과를 가진다.

도면의 간단한 설명

- [0054] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 멀티코어 케이블 결함 분류 시스템을 나타낸 구성도.
- 도 2는 도 1에 따른 왜곡 보정부(380)를 나타낸 도면.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 멀티코어 케이블 결함 분류 방법을 나타낸 순서도.
- 도 4는 도 2에 따른 데이터 처리단계(S300)를 나타낸 도면.
- 도 5는 도 3에 따른 왜곡 보정단계(S380)를 나타낸 도면.
- 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 실험 설정(Experimental setup)을 나타낸 도면.
- 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 GELC(Gaussian-enveloped linear chirp) 신호의 전파 특성을 나타낸 도면.
- 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 반사신호 보상 결과를 나타낸 도면.
- 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 100MHz의 중심 주파수, 180MHz의 주파수 대역폭, 25ns의 지속시간으로 설계된 GELC 신호의 시간-주파수 분포도를 나타낸 도면.
- 도 10 및 도 11은 본 발명의 실시예로서, 멀티코어 케이블의 초기데이터(Baseline data)가 존재하지 않을 경우 시간-주파수 분포도의 이미지 처리를 나타낸 도면.
- 도 12는 본 발명의 실시예로서, 멀티코어 케이블의 초기데이터(Baseline data)가 존재할 경우 시간-주파수 분포도의 이미지 처리를 나타낸 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0055] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다. 본 발명의 특징 및 이점들은 첨부 도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 발명자가 그 자신의 발명의 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야 할 것이다. 또한 본 발명과 관련된 공지 기능 및 그 구성에 대한 구체적인 설명은 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우, 그 구체적인 설명을 생략하였음에 유의해야 할 것이다.
- [0056] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 멀티코어 케이블 결함 분류 시스템을 나타낸 구성도이고, 도 2는 도 1에 따른 왜곡 보정부(380)를 나타낸 도면이다.
- [0057] 먼저 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 멀티코어 케이블 결함 분류 시스템은 기준신호 측정부(100),

반사신호 측정부(200), 데이터 처리부(300), 고장코어 분류부(400)를 포함할 수 있다.

[0058] 기준신호 측정부(100)는 적어도 두 개 이상 코어를 가진 멀티코어 케이블에 전자기 신호를 인가하여 생성된 각 코어별 기준신호를 측정할 수 있다. 이는 멀티코어 케이블의 고장코어를 판단 및 분류하기 위해 이용되는 신호 데이터 중 하나인 기준신호를 측정하기 위한 구성요소라 할 수 있다.

[0059] 반사신호 측정부(200)는 상기 전자기 신호를 인가하여 생성된 기준신호가 상기 멀티코어 케이블의 임의의 지점에서 반사되어 생성된 각 코어별 반사신호를 측정할 수 있다. 이는 멀티코어 케이블의 고장코어를 판단 및 분류하기 위해 이용되는 신호 데이터 중 하나인 반사신호를 측정하기 위한 구성요소라 할 수 있다.

[0060] 데이터 처리부(300)는 상기 반사신호 측정부(200)에 의해 측정된 각 코어별 반사신호에 대한 시계열 데이터로부터 각 코어별 부분적 시계열 데이터를 추출할 수 있다. 그리고 이를 시간-주파수 분포도로 변환하여 고장코어 판단 데이터를 추출할 수 있다.

[0061] 이 때 데이터 처리부(300)는 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터(Baseline data) 존재 여부에 기초하여 각 코어별 부분적 시계열 데이터를 추출하고, 이를 시간-주파수 분포도로 변환하여 고장코어를 판단할 수 있다.

[0062] 멀티코어 케이블의 초기데이터는 멀티코어 케이블에서 결함이 발생하지 않았을 때 측정된 반사신호에 대한 데이터라 할 수 있다. 즉, 멀티코어 케이블의 초기데이터는 멀티코어 케이블에서 결함이 발생하지 않았을 때, 해당 케이블에 전자기 신호를 인가하여 생성된 기준신호가 케이블의 임의의 지점에서 반사되어 생성된 반사신호에 대한 데이터라 할 수 있다.

[0063] 보다 상세하게 데이터 처리부(300)는 제2시간-주파수 분포도 변환부(310), 반사신호 보상부(320), 제2정규화부(330), 제1시간-주파수 분포도 변환부(340), 제2고장코어 판단데이터 추출부(350), 제1정규화부(360), 왜곡 보정부(380)를 포함하는데, 멀티코어 케이블의 초기데이터가 존재하지 않을 때와, 존재할 때 다르게 진행될 수 있다.

[0064] 멀티코어 케이블의 초기데이터가 존재하지 않을 경우, 데이터 처리부(300)는 반사신호 보상부(320), 제1시간-주파수 분포도 변환부(340), 제1정규화부(360), 왜곡 보정부(380)를 포함하여 진행될 수 있다.

[0065] 반사신호 보상부(320)는 상기 반사신호 측정부(200)에 의해 측정된 각 코어별 반사신호를 상기 멀티코어 케이블의 기 실험 데이터에 기초하여 보상할 수 있다. 이는 반사파계측법에서의 반사신호가 전파거리에 따라 신호가 왜곡되는 문제점을 보완하기 위해 반사신호를 보상하기 위한 구성요소라 할 수 있다.

[0066] 이 때 기 실험 데이터는 사전실험을 통해 얻은 데이터로서, 시간-주파수 영역 반사파 계측법(TFDR)에서의 기준신호의 왜곡정도, 즉 감쇠특성(Attenuation characteristic)을 측정된 데이터라 할 수 있다. 반사신호 보상부(320)는 상기 기 실험 데이터를 기초로 반사신호의 왜곡을 보상하여 복원할 수 있다.

[0067] 반사신호 보상부(320)는 아래 수학적 식 1로 표현되는 신호 왜곡정도 산출식에 따라 상기 반사신호 측정부(200)에 의해 측정된 각 코어별 반사신호를 기 실험 데이터에 기초하여 보상할 수 있다.

[0068] <수학적 식 1>

$$\zeta(t) = \frac{|H(S_r(t))|}{|H(S_o(t))|}$$

[0069] $\zeta(t)$: 시계열 상에서의 감쇄 비율 값, H 은 Hilbert 변환, r 은 반사신호 값, o 은 기준신호 값, $S_r(t)$: 시계열 상에서의 반사신호 값, $S_o(t)$: 시계열 상에서의 기준신호 값, $H(S_r(t))$: 반사신호의 Hilbert 변환 값, $H(S_o(t))$: 기준신호의 Hilbert 변환 값)

[0071] 제1시간-주파수 분포도 변환부(340)는 상기 반사신호 보상부(320)로부터 보상된 반사신호에 해당하는 부분적 시계열 데이터를 각 코어별로 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환할 수 있다. 이는 신호의 전체적인 시계열 데이터 중에서도 고장코어에서 돌아오는 반사신호가 정상코어에서 돌아오는 반사신호와 구별되는 특징을 가

진다는 점을 이용하여 고장판단에 필요한 요소 데이터만을 추출 및 변환하기 위한 구성요소라 할 수 있다.

[0072] 제1정규화부(360)는 상기 제1시간-주파수 분포도 변환부(340)로부터 변환된 각 코어별 시간-주파수 분포도를 정규화할 수 있다.

[0073] 왜곡 보정부(380)는 상기 제1정규화부(360)에 의해 정규화된 각 코어별 시간-주파수 분포도에 대한 왜곡을 보정하여 고장코어를 판단할 수 있다.

[0074] 보다 상세하게, 도 2에 도시된 바와 같이 왜곡 보정부(380)는 시프트부(381), 회전부(383), 윤곽선 추출부(385), 영상 병합부(387) 및 제1고장코어 판단데이터 추출부(389)를 포함하여 왜곡을 보정하고, 고장코어를 판단할 수 있다.

[0075] 시프트부(381)는 상기 제1정규화부(360)에 의해 정규화된 각 코어별 시간-주파수 분포도에 칼럼 시프트(Column shift)를 적용하여 상기 각 코어별 시간-주파수 분포도를 이동시킬 수 있다. 이는 정규화된 각 코어별 시간-주파수 분포도의 왜곡을 보정해주기 위한 이미지 처리 구성요소 중 하나라 할 수 있다.

[0076] 회전부(383)는 상기 시프트부(381)에 의해 이동시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도의 기울기를 주성분 분석법(PCA)을 통해 추정하고, 상기 추정된 기울기를 기초로 상기 각 코어별 시간-주파수 분포도를 회전시킬 수 있다. 이는 정규화된 각 코어별 시간-주파수 분포도의 기울기 왜곡을 보정해주기 위한 이미지 처리 구성요소 중 하나라 할 수 있다.

[0077] 보다 상세하게, 회전부(383)는 이미지 상에서의 각 코어별 시간-주파수 분포도의 기울기를 주성분 분석법(PCA)을 통해 추정한 다음, 추정한 기울기만큼 각 코어별 시간-주파수 분포도를 회전시킬 수 있다.

[0078] 이 때 회전부(383)는 아래 수학적 식 2로 표현되는 회전각도 산출식에 따라 상기 이동시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도를 회전시킬 수 있다.

[0079] <수학적 식 2>

$$\theta_i = \frac{\pi}{N}(i - 1)$$

[0080]

$$\theta_i$$

[0081] (θ_i : i번째 코어의 회전시켜야하는 각도, N: 멀티코어 케이블의 코어 개수, i: 회전시키고자 하는 코어 번호)

[0082] 윤곽선 추출부(385)는 상기 회전부(383)에 의해 회전시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도로부터 윤곽선을 추출할 수 있다. 이는 컴퓨터가 인지 가능한 명확한 특징(점, 선, 영역 등)을 도출하기 위한 구성요소라 할 수 있다.

[0083] 이 때 윤곽선 추출부(385)는 아래 수학적 식 3으로 표현되는 윤곽선 추출식에 따라 상기 회전시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도로부터 윤곽선을 추출할 수 있다.

[0084] <수학적 식 3>

$$I_{new}(m, n) = e^{-a|I_{old}(m, n) - \sigma|}$$

[0085]

$$I_{new}(m, n)$$

$$I_{old}(m, n)$$

[0086] ($I_{new}(m, n)$: 새로운 이미지(윤곽선 이미지), $I_{old}(m, n)$: 기존 이미지(윤곽선 추출 전 이미지), m 및 n: 시간-주파수 분포도 이미지 상에서의 행과 열 번호, a: 윤곽선의 두께를 결정하는 파라미터 값, σ : 타원의 넓이를 결정하는 파라미터 값)

[0087] 이 때 a의 값이 클수록 윤곽선의 두께는 얇아질 수 있다. 또한, σ 의 파라미터 값은 0에서 1 사이의 값을 가질 수 있다. 그 이유는 이미지 픽셀 값들이 0에서 1 사이의 값으로 정규화되어있기 때문이다. σ 의 값이 작아질수록 추출하는 윤곽선에 해당하는 타원의 넓이가 넓어질 수 있다. 다만, σ 의 값이 너무 작으면 타원의 모양이 너무 커지며, σ 의 값이 너무 크면 타원의 모양이 너무 작아져서 이미지 병합 시 겹치는 점들이 없는 등 제대

로 된 특징 형성이 어려워질 수 있다.

- [0088] 영상 병합부(387)는 상기 윤곽선 추출부(385)에 의해 추출된 각 코어별 윤곽선이 포함된 시간-주파수 분포도를 하나의 영상으로 병합할 수 있다. 이는 각 코어별 윤곽선이 서로 겹치게 하여, 이로부터 발생하는 점, 선, 영역 등을 도출하기 위한 구성요소라 할 수 있다.
- [0089] 제1고장코어 판단데이터 추출부(389)는 상기 영상 병합부(387)에 의해 병합된 하나의 영상을 통해 각 코어별 윤곽선이 겹치는 점, 선, 영역 중 적어도 어느 하나의 정보로부터 고장코어 판단 데이터를 추출할 수 있다. 이는 각 코어별 윤곽선이 겹침으로써 도출된 점, 선, 영역 등을 컴퓨터가 인지하도록 하여 결함 판단 및 분류의 정확도를 높이기 위해 데이터를 추출하기 위한 구성요소라 할 수 있다.
- [0090] 한편, 멀티코어 케이블의 초기데이터가 존재할 경우, 데이터 처리부(300)는 제2시간-주파수 분포도 변환부(310), 제2정규화부(330) 및 제2고장코어 판단데이터 추출부(350)를 포함하여 진행될 수 있다.
- [0091] 제2시간-주파수 분포도 변환부(310)는 상기 반사신호 측정부(200)에 의해 측정된 각 코어별 반사신호와 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터를 비교하여 차이가 발생하는 부분적 시계열 데이터를 각 코어별로 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환할 수 있다. 이는 신호의 전체적인 시계열 데이터 중에서도 측정된 각 코어별 반사신호와, 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터에서 차이가 발생하는 부분적 시계열 데이터, 즉 고장판단에 필요한 요소 데이터만을 추출 및 변환하기 위한 구성요소라 할 수 있다.
- [0092] 제2정규화부(330)는 상기 제2시간-주파수 분포도 변환부(310)에 의해 변환된 각 코어별 시간-주파수 분포도를 하나의 영상으로 배열한 후, 상기 배열된 영상에서 가장 큰 값을 기준으로 정규화할 수 있다. 이는 신경망을 이용하여 고장코어를 분류하기 위해 전처리하기 위한 구성요소라 할 수 있다. 즉, 제2정규화부(330)는 어떠한 코어에 발생한 결함이 다른 코어에도 미치는 영향을 최소화하기 위해, 하나의 영상으로 배열한 후 가장 큰 값을 기준으로 정규화하는 것이라 할 수 있다. 만약 초기데이터가 없는 경우와 동일하게 각 코어별로 정규화한 이후에 하나의 영상으로 합친 후 맥스풀링을 수행하면 모든 코어가 큰 값을 가지므로 결함코어를 분류할 수 없다.
- [0093] 제2고장코어 판단데이터 추출부(350)는 상기 제2정규화부(330)에 의해 정규화된 영상에 맥스풀링(Max-pooling)을 수행하여 고장코어 판단데이터를 추출할 수 있다. 이는 컴퓨터를 이용한 결함 판단 및 분류의 정확도를 높이기 위해, 컴퓨터가 인지 가능한 고장코어 판단데이터를 추출하기 위한 구성요소라 할 수 있다.
- [0094] 고장코어 분류부(400)는 상기 제1고장코어 판단데이터 추출부(389) 또는 제2고장코어 판단데이터 추출부(350)로부터 추출된 고장코어 판단데이터를 신경망에 입력하여 상기 멀티코어 케이블로부터 고장코어를 분류할 수 있다. 이는 컴퓨터를 활용한 머신러닝, 인공신경망 등을 통해 멀티코어 케이블의 결함분류를 자동화하기 위한 구성요소라 할 수 있다.
- [0095] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 멀티코어 케이블 결함 분류 방법을 나타낸 순서도이고, 도 4는 도 2에 따른 데이터 처리단계(S300)를 나타낸 도면이고, 도 5는 도 3에 따른 왜곡 보정단계(S380)를 나타낸 도면이다.
- [0096] 도 3을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 멀티코어 케이블 결함 분류 방법은 기준신호 측정단계(S100), 반사신호 측정단계(S200), 데이터 처리단계(S300), 고장코어 분류단계(S400)를 포함할 수 있다.
- [0097] 기준신호 측정단계는 기준신호 측정부(100)에서 적어도 두 개 이상 코어를 가진 멀티코어 케이블에 전자기 신호를 인가하여 생성된 각 코어별 기준신호를 측정할 수 있다(S100). 이는 멀티코어 케이블의 고장코어를 판단 및 분류하기 위해 이용되는 신호 데이터 중 하나인 기준신호를 측정하기 위한 단계라 할 수 있다.
- [0098] 반사신호 측정단계는 반사신호 측정부(200)에서 상기 전자기 신호를 인가하여 생성된 기준신호가 상기 멀티코어 케이블의 임의의 지점에서 반사되어 생성된 각 코어별 반사신호를 측정할 수 있다(S200). 이는 멀티코어 케이블의 고장코어를 판단 및 분류하기 위해 이용되는 신호 데이터 중 하나인 반사신호를 측정하기 위한 단계라 할 수 있다.
- [0099] 데이터 처리단계는 데이터 처리부(300)에서 상기 S200에 의해 측정된 각 코어별 반사신호에 대한 시계열 데이터로부터 각 코어별 부분적 시계열 데이터를 추출할 수 있다(S300). 그리고 이를 시간-주파수 분포도로 변환하여 고장코어 판단 데이터를 추출할 수 있다(S300).
- [0100] 이 때 데이터 처리단계(S300)는 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터(Baseline data) 존재 여부에 기초하여 각 코어별 부분적 시계열 데이터를 추출하고, 이를 시간-주파수 분포도로 변환하여 고장코어를 판단할 수 있다.
- [0101] 멀티코어 케이블의 초기데이터는 멀티코어 케이블에서 결함이 발생하지 않았을 때 측정된 반사신호에 대한 데이

터라 할 수 있다. 즉, 멀티코어 케이블의 초기데이터는 멀티코어 케이블에서 결함이 발생하기 않았을 때, 해당 케이블에 전자기 신호를 인가하여 생성된 기준신호가 케이블의 임의의 지점에서 반사되어 생성된 반사신호에 대한 데이터라 할 수 있다.

[0102] 보다 상세하게, 도 4에 도시된 바와 같이 데이터 처리단계(S300)는 제2시간-주파수 분포도 변환단계(S310), 반사신호 보상단계(S320), 제2정규화단계(S330), 제1시간-주파수 분포도 변환단계(S340), 제2고장코어 판단데이터 추출단계(S350), 제1정규화단계(S360), 왜곡 보정단계(S380)를 포함하는데, 이는 멀티코어 케이블의 초기데이터가 존재하지 않을 때와, 존재할 때 다르게 진행될 수 있다.

[0103] 멀티코어 케이블의 초기데이터가 존재하지 않을 경우, 데이터 처리단계(S300)는 반사신호 보상단계(S320), 제1시간-주파수 분포도 변환단계(S340), 제1정규화단계(S360), 왜곡 보정단계(S380)를 포함하여 진행될 수 있다.

[0104] 반사신호 보상단계는 상기 S200에 의해 측정된 각 코어별 반사신호를 상기 멀티코어 케이블의 기 실험 데이터에 기초하여 보상할 수 있다(S320). 이는 반사과계측법에서의 반사신호가 전파거리에 따라 신호가 왜곡되는 문제점을 보완하기 위해 반사신호를 보상하기 위한 단계라 할 수 있다.

[0105] 이 때 기 실험 데이터는 사전실험을 통해 얻은 데이터로서, 시간-주파수 영역 반사파 계측법(TFDR)에서의 기준신호의 왜곡정도, 즉 감쇠특성(Attenuation characteristic)을 측정한 데이터라 할 수 있다. 반사신호 보상부(320)는 상기 기 실험 데이터를 기초로 반사신호의 왜곡을 보상하여 복원할 수 있다.

[0106] 반사신호 보상단계는 아래 수학적 식 1로 표현되는 신호 왜곡정도 산출식에 따라 상기 S200에 의해 측정된 각 코어별 반사신호를 기 실험 데이터에 기초하여 보상할 수 있다(S320).

[0107] <수학적 식 1>

$$\zeta(t) = \frac{|H(S_r(t))|}{|H(S_o(t))|}$$

[0108]

[0109] ($\zeta(t)$: 시계열 상에서의 감쇠 비율 값, H은 Hilbert 변환, r은 반사신호 값, o은 기준신호 값, $S_r(t)$:

시계열 상에서의 반사신호 값, $S_o(t)$: 시계열 상에서의 기준신호 값, $H(S_r(t))$: 반사신호의 Hilbert

변환 값, $H(S_o(t))$: 기준신호의 Hilbert 변환 값)

[0110] 제1시간-주파수 분포도 변환단계는 상기 S320로부터 보상된 반사신호에 해당하는 부분적 시계열 데이터를 각 코어별로 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환할 수 있다(S340). 이는 신호의 전체적인 시계열 데이터 중에서도 고장코어에서 돌아오는 반사신호가 정상코어에서 돌아오는 반사신호와 구별되는 특징을 가진다는 점을 이용하여 고장판단에 필요한 요소 데이터만을 추출 및 변환하기 위한 단계라 할 수 있다.

[0111] 제1정규화단계는 상기 S340로부터 변환된 각 코어별 시간-주파수 분포도를 정규화할 수 있다(S360).

[0112] 왜곡 보정단계는 상기 S360에 의해 정규화된 각 코어별 시간-주파수 분포도에 대한 왜곡을 보정하여 고장코어를 판단할 수 있다(S380).

[0113] 보다 상세하게, 도 5에 도시된 바와 같이 왜곡 보정단계(S380)는 시프트단계(S381), 회전단계(S383), 윤곽선 추출단계(S385), 영상 병합단계(S387) 및 제1고장코어 판단데이터 추출단계(S389)를 포함하여 왜곡을 보정하고, 고장코어를 판단할 수 있다.

[0114] 시프트단계는 상기 S360에 의해 정규화된 각 코어별 시간-주파수 분포도에 칼럼 시프트(Column shift)를 적용하여 상기 각 코어별 시간-주파수 분포도를 이동시킬 수 있다(S381). 이는 정규화된 각 코어별 시간-주파수 분포도의 왜곡을 보정해주기 위한 이미지 처리 단계 중 하나라 할 수 있다.

[0115] 회전단계는 상기 S381에 의해 이동시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도에 주성분 분석법(PCA)을 적용하여 상기 각 코어별 시간-주파수 분포도를 회전시킬 수 있다(S383). 이는 정규화된 각 코어별 시간-주파수 분포도의 왜곡을 보정해주기 위한 이미지 처리 단계 중 하나라 할 수 있다.

[0116] 보다 상세하게, 회전단계(S383)는 이미지 상에서의 각 코어별 시간-주파수 분포도의 기울기를 주성분 분석법(PCA)을 통해 추정하고, 상기 추정된 기울기를 기초로 상기 각 코어별 시간-주파수 분포도를 회전시킬 수 있다. 이는 정규화된 각 코어별 시간-주파수 분포도의 기울기 왜곡을 보정해주기 위한 이미지 처리 단계 중 하나라 할 수 있다.

[0117] 보다 상세하게, 회전단계(S383)는 이미지 상에서의 각 코어별 시간-주파수 분포도의 기울기를 주성분 분석법(PCA)을 통해 추정된 다음, 추정된 기울기만큼 각 코어별 시간-주파수 분포도를 회전시킬 수 있다.

[0118] 이 때 회전단계(S383)는 아래 수학적 식 2로 표현되는 회전각도 산출식에 따라 상기 이동시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도를 회전시킬 수 있다.

[0119] <수학적 식 2>

$$\theta_i = \frac{\pi}{N}(i - 1)$$

[0120]

$$\theta_i$$

[0121] (: i번째 코어의 회전시켜야하는 각도, N: 멀티코어 케이블의 코어 개수, i: 회전시키고자 하는 코어 번호)

[0122] 윤곽선 추출단계는 상기 S383에 의해 회전시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도로부터 윤곽선을 추출할 수 있다(S385). 이는 컴퓨터가 인지 가능한 명확한 특징(점, 선, 영역 등)을 도출하기 위한 단계라 할 수 있다.

[0123] 이 때 윤곽선 추출단계(S385)는 아래 수학적 식 3으로 표현되는 윤곽선 추출식에 따라 상기 회전시킨 각 코어별 시간-주파수 분포도로부터 윤곽선을 추출할 수 있다.

[0124] <수학적 식 3>

$$I_{new}(m, n) = e^{-a|I_{old}(m, n) - \sigma|}$$

[0125]

$$I_{new}(m, n)$$

$$I_{old}(m, n)$$

[0126] (: 새로운 이미지(윤곽선 이미지), : 기존 이미지(윤곽선 추출 전 이미지), m 및 n: 시간-주파수 분포도 이미지 상에서의 행과 열 번호, a: 윤곽선의 두께를 결정하는 파라미터 값, σ : 타원의 넓이를 결정하는 파라미터 값)

[0127] 이 때 a의 값이 클수록 윤곽선의 두께는 얇아질 수 있다. 또한, σ 의 파라미터 값은 0에서 1 사이의 값을 가질 수 있다. 그 이유는 이미지 픽셀 값들이 0에서 1 사이의 값으로 정규화되어있기 때문이다. σ 의 값이 작아질수록 추출하는 윤곽선에 해당하는 타원의 넓이가 넓어질 수 있다. 다만, σ 의 값이 너무 작으면 타원의 모양이 너무 커지며, σ 의 값이 너무 크면 타원의 모양이 너무 작아져서 이미지 병합 시 겹치는 점들이 없는 등 제대로 된 특징 형성이 어려워질 수 있다.

[0128] 영상 병합단계는 상기 S385에 의해 추출된 각 코어별 윤곽선이 포함된 시간-주파수 분포도를 하나의 영상으로 병합할 수 있다(S387). 이는 각 코어별 윤곽선이 서로 겹치게 하여, 이로부터 발생하는 점, 선, 영역 등을 도출하기 위한 단계라 할 수 있다.

[0129] 제1고장코어 판단데이터 추출단계는 상기 S387에 의해 병합된 하나의 영상을 통해 각 코어별 윤곽선이 겹치는 점, 선, 영역 중 적어도 어느 하나의 정보로부터 고장코어 판단 데이터를 추출할 수 있다(S389). 이는 각 코어별 윤곽선이 겹침으로써 도출된 점, 선, 영역 등을 컴퓨터가 인지하도록 하여 결함 판단 및 분류의 정확도를 높이기 위해 데이터를 추출하기 위한 단계라 할 수 있다.

[0130] 한편, 멀티코어 케이블의 초기데이터가 존재할 경우, 데이터 처리단계(S300)는 제2시간-주파수 분포도 변환단계(S310), 제2정규화단계(S330) 및 제2고장코어 판단데이터 추출단계(S350)를 포함하여 진행될 수 있다.

[0131] 제2시간-주파수 분포도 변환단계는 상기 S200에 의해 측정된 각 코어별 반사신호와 상기 멀티코어 케이블의 초

기데이터를 비교하여 차이가 발생하는 부분적 시계열 데이터를 각 코어별로 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환할 수 있다(S310). 이는 신호의 전체적인 시계열 데이터 중에서도 측정된 각 코어별 반사신호와, 상기 멀티코어 케이블의 초기데이터에서 차이가 발생하는 부분적 시계열 데이터, 즉 고장판단에 필요한 요소 데이터만을 추출 및 변환하기 위한 단계라 할 수 있다.

- [0132] 제2정규화단계는 상기 S310에 의해 변환된 각 코어별 시간-주파수 분포도를 하나의 영상으로 배열한 후, 상기 배열된 영상에서 가장 큰 값을 기준으로 정규화할 수 있다(S330). 이는 신경망을 이용하여 고장코어를 분류하기 위해 전처리하기 위한 단계라 할 수 있다. 즉, 제2정규화단계는 어떠한 코어에 발생한 결함이 다른 코어에도 미치는 영향을 최소화하기 위해, 하나의 영상으로 배열한 후 가장 큰 값을 기준으로 정규화하는 단계라 할 수 있다. 만약 초기데이터가 없는 경우와 동일하게 각 코어별로 정규화한 이후에 하나의 영상으로 합친 후 맥스풀링을 수행하면 모든 코어가 큰 값을 가지므로 결함코어를 분류할 수 없다.
- [0133] 제2고장코어 판단데이터 추출단계는 상기 S330에 의해 정규화된 영상에 맥스풀링(Max-pooling)을 수행하여 고장코어 판단데이터를 추출할 수 있다(S350). 이는 컴퓨터를 이용한 결함 판단 및 분류의 정확도를 높이기 위해, 컴퓨터가 인지 가능한 고장코어 판단데이터를 추출하기 위한 단계라 할 수 있다.
- [0134] 고장코어 분류단계는 상기 S389 또는 S350로부터 추출된 고장코어 판단데이터를 신경망에 입력하여 상기 멀티코어 케이블로부터 고장코어를 분류할 수 있다(S400). 이는 컴퓨터를 활용한 머신러닝, 인공신경망 등을 통해 멀티코어 케이블의 결함분류를 자동화하기 위한 단계라 할 수 있다.
- [0135] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 실험 설정(Experimental setup)을 나타낸 도면이다.
- [0136] 도 6을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 실험은 멀티코어 케이블의 코어가 4개로 설정할 수 있다. 각각의 코어에 대해 시간-주파수 반사파 계측법을 적용하여 측정하면, 하나의 결함 유형에 대해 4개의 반사신호 데이터(코어 1에 대한 데이터, 코어 2에 대한 데이터, 코어 3에 대한 데이터, 코어 4에 대한 데이터)를 취득할 수 있다. 이는 상기 본 발명의 기준신호 측정부(100) 및 반사신호 측정부(200)에 의해 측정된 각 코어별 반사신호에 대한 데이터라 할 수 있다.
- [0137] 보다 상세하게, 각 코어별 데이터를 얻는 방법은 다음과 같다. 시간-주파수 반사파 계측법을 적용하기 위해서는 (+) 극성과 (-) 극성을 각각의 코어에 1개씩 인가하여야하기 때문에, 기존 방법에서는 (+) 극성과 (-) 극성을 각각 1개의 코어에만 인가하였다.
- [0138] 반면, 본 발명에서는 (+) 극성을 1개의 코어에 인가하고, (-) 극성을 나머지 코어에 인가하는 방법으로 데이터를 취득할 수 있다. 이를 N개의 코어를 가진 멀티코어 케이블에 적용하여 고려한다면, 기존 방법에서는 1번의 실험을 수행하기 위해 총 N(N-1)번의 측정이 이루어져야하는 데에 반해 본 발명에서는 여러 번의 실험을 수행하여도 총 N번만의 측정으로 데이터를 취득할 수 있다.
- [0139] 이는 코어에 인가하는 (+)극성 및 (-)극성의 개수 및 위치를 조정하여 결함 측정의 효율성을 높일 수 있는 효과를 가진다.
- [0140] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 GELC(Gaussian-enveloped linear chirp) 신호의 전파 특성을 나타낸 도면이다. 이 때 도 7(a)은 신호의 전파에 따른 GELC의 신호 감쇠를 시계열 데이터 상으로 나타낸 도면이다.
- [0141] 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 반사신호 보상 결과를 나타낸 도면이다. 이 때 도 8(a)은 보상된 반사신호의 측정 전압 결과, 도 8(b)은 보상된 반사신호의 교차-상관(Cross-correlation) 결과를 나타낸 도면이다.
- [0142] 먼저 도 7을 참조하면, 본 발명은 멀티코어 케이블에서 어떤 코어에 결함이 발생하였는지를 판단 및 분류하는 것이 주 특징인 기술로서, 멀티코어 중 특정 코어에서 결함이 발생했을 경우 결함이 발생한 코어에서 돌아오는 반사신호는 정상코어와 구별되는 특징을 가진다는 점을 이용하여 해당 특징을 추출하고 신경망을 통해 결함을 분류한다.
- [0143] 특히, 본 발명은 반사파계측법 중 시간 및 주파수 영역 모두에서 특징을 가지기 위해 시간-주파수 영역 반사파 계측법(TFDR)을 이용하는데 이 때 반사파계측법에서의 반사신호는 도 7(a)에 도시된 바와 같이 전파거리에 따라 신호가 왜곡되는 문제점을 안고 있다.
- [0144] 이에 본 발명은 결함 분류의 정확도를 높이기 위해 거리에 따른 신호 보상을 수행한다. 신호 보상은 도 7(b)에 도시된 바와 같이 전파거리에 따른 기준신호의 왜곡정도를 측정된 후, 도 8에 도시된 바와 같이 실제 결함에서 반사되어 돌아온 반사신호를 보상해줄 수 있다. 이 때 도 7(b)은 전파거리에 따른 기준신호의 왜곡정도는 사전

실험(기 실험)을 통해 얻은 데이터라 할 수 있다.

- [0145] 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 100MHz의 중심 주파수, 180MHz의 주파수 대역폭, 25ns의 지속시간으로 설계된 GELC 신호의 시간-주파수 분포도를 나타낸 도면이다. 이 때 도 9(a)은 기준신호의 WVD(위그너빌 분포도: Wigner-Vile distribution), 도 9(b)은 케이블의 6m 지점에서 반사된 반사신호(보상 X)의 WVD, 도 9(c)은 케이블의 6m 지점에서 반사된 반사신호(보상 0)의 WVD, 도 9(d)은 케이블의 10m 지점에서 반사된 반사신호(보상 X)의 WVD, 도 9(e)은 케이블의 10m 지점에서 반사된 반사신호(보상 0)의 WVD, 도 9(f)은 기준신호의 COWVD(Contours of WVD), 도 9(g)은 케이블의 6m 지점에서 반사된 반사신호(보상 X)의 COWVD, 도 9(h)은 케이블의 6m 지점에서 반사된 반사신호(보상 0)의 COWVD, 도 9(i)은 케이블의 10m 지점에서 반사된 반사신호(보상 X)의 COWVD, 도 9(j)은 케이블의 10m 지점에서 반사된 반사신호(보상 0)의 COWVD이다.
- [0146] 도 9에 도시된 바와 같이, 본 발명은 멀티코어 케이블에서 결함이 발생한 지점에서 반사된 반사신호를 시간-주파수 영역에서 분석할 수 있으며, 시계열 데이터 상에서 이루어진 신호의 보상이 적절하게 이루어졌는지를 WVD를 통해서 확인할 수 있다. 특히, WVD에서의 타원모양이 기준신호와 비슷해야 머신러닝과 같은 신경망을 통한 자동분류 과정에서 오류가 적게 발생하기 때문이다.
- [0147] 도 10 및 도 11은 본 발명의 실시예로서, 멀티코어 케이블의 초기데이터(Baseline data)가 존재하지 않을 경우 시간-주파수 분포도의 이미지 처리를 나타낸 도면이다.
- [0148] 이 때 도 10(a)은 시간-주파수 분포도에 칼럼 시프트(Column shift)를 적용하여 시간-주파수 분포도를 이동한 결과, 도 10(b)은 시간-주파수 분포도에 주성분 분석법(PCA)을 적용하여 시간-주파수 분포도를 회전시킨 결과, 도 10(c)은 코어 1에서 결함이 있는 ATI(Arranged transformation image), 도 10(d)은 코어 1에서 결함이 있는 ACI(Arranged contour image), 도 10(e)은 코어 2 및 코어 3에서 결함이 있는 ATI, 도 10(f)은 코어 2 및 코어 3에서 결함이 있는 ACI를 나타낸 도면이다.
- [0149] 도 10을 참조하면, 멀티코어 케이블의 초기데이터가 존재하지 않을 경우에는 정상상태인 케이블의 반사신호와 결함이 있는 상태의 케이블의 반사신호와의 차이를 구할 수 없기 때문에, 시간-주파수 분포도의 이미지 처리가 필요하다.
- [0150] 위그너빌 분포도(WVD)로 변환한 반사신호 분포도에 대한 왜곡도를 주파수 영역에서 보정해주기 위해, 반사신호 분포도를 도 10(a)에 도시된 바와 같이 이미지 상에서 Column shift를 해준 다음, 이미지 상에서의 반사신호 분포도를 회전시킬 수 있다. 이 때 이미지 상에서의 기울기는 주성분 분석법을 통해 추정할 수 있다. 이를 이미지 상에서의 반사신호 분포도를 회전시킨 결과는 도 10(b)에서 확인할 수 있다.
- [0151] 그리고 도 10(d) 및 도 10(e)에 도시된 바와 같이 상기 회전시킨 분포도로부터 외곽의 특정 윤곽선, 즉 타원 꼴의 이미지를 추출할 수 있다.
- [0152] 도 11(a)은 ATI의 IF rotation(Instaneous Frequency: WVD 이미지 상에서 타원의 기울기 측), 도 11(b)은 ACI의 IF rotation, 도 11(c)은 코어 1에서 결함이 있는 CRTI(Combined Rotational Transformation Image), 도 11(d)은 코어 2 및 코어 3에서 결함이 있는 CRCI(Combined Rotational Contour Image), 도 11(e)은 코어 2 및 코어 3에서 결함이 있는 CRTI, 도 11(f)은 코어 2 및 코어 3에서 결함이 있는 CRCI를 나타낸 도면이다.
- [0153] 도 11(b)에 도시된 바와 같이, 4-코어 케이블에 대해서 각 코어별 상이한 각도(이는 수학식 2로부터 산출 가능)만큼 분포도를 회전시킬 수 있고, 도 11(d) 및 도 11(f)에 도시된 바와 같이 각각의 코어에 대한 분포도를 하나의 영상으로 병합할 수 있다.
- [0154] 도 11(d)은 코어 1에서 결함이 발생하였을 때로서 코어 1이 고장코어임을 확인할 수 있고, 도 11(f)은 코어 2 및 코어 3이 쇼트되었을 때로서 코어 2 및 코어 3이 고장코어임을 확인할 수 있다.
- [0155] 도 11에 도시된 바와 같이, 분포도를 일정 각도만큼 회전시킨 후, 이를 병합할 경우에는 다음과 같은 이점을 가질 수 있다. 먼저, 각각의 윤곽선이 겹치게 되는데 이 위치는 결함에 따라 달라져 어느 코어에 결함이 발생하였는지를 파악할 수 있는 이점을 가질 수 있다. 또한, N개의 이미지를 병합함으로써, 데이터 수가 1/N으로 줄어드는데 이는 데이터처리 효율성이 증가한다는 이점을 가질 수 있다.
- [0156] 도 11과 같은 과정을 거치는 이유는 컴퓨터를 활용한 머신러닝, 인공신경망은 타원의 모양을 인식하는 데에 있어서 미세한 변화를 감지하기 어렵기 때문이다. 이에 상기 과정은 윤곽선이 서로 겹침에 따라 발생하는 점의 위치를 새롭게 도출함으로써, 컴퓨터가 그 특징을 인지하기 쉽게 하도록 할 수 있다. 이와 같이 처리한 이미지를

CNN에 적용하여 분류하면 아래 표 1과 같이 매우 높은 정확도로 분류가 가능하다.

[0157] <표 1>

Training set	data-6			data-8			data-10			Total Average	
Test set	data-6	data-8	data-10	data-6	data-8	data-10	data-6	data-8	data-10	[%]	
ATI [%]	wo Compensation	100	78.8	70.2	93.6	100	98.2	64.5	97.1	100	85.9
	Average		77.8		96.4				83.3		
	with Compensation	100	99.0	86.2	85.4	100	92.7	78.8	95.2	100	
	Average		93.6		90.5				88.7		
ACI [%]	wo Compensation	100	81.3	42.1	91.6	100	99.2	56.8	94.5	100	80.5
	Average		66.7		96.0				78.8		
	with Compensation	100	99.2	85.6	86.2	100	94.6	80.9	97.0	100	
	Average		93.4		91.7				90.4		
CRTI [%]	wo Compensation	100	69.9	53.8	55.3	100	92.2	54.7	93.0	100	73.8
	Average		66.9		77.2				77.3		
	with Compensation	100	89.8	72.4	88.1	100	90.8	75.6	92.1	100	
	Average		83.6		90.8				86.0		
CRCI [%]	wo Compensation	100	79.4	44.4	93.0	100	91.4	69.1	92.4	100	81.1
	Average		66.8		93.2				83.3		
	with Compensation	100	99.2	93.0	93.8	100	97.8	89.1	99.6	100	
	Average		96.6		96.3				95.1		

본 발명의 실시예에 따른 실험 결과

[0158]

[0159] 표 1은 멀티코어 케이블의 초기데이터(Baseline data)가 존재하지 않을 경우에 실험한 결과로서, 분류의 정확도를 나타낸 표이다.

[0160] 표 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 보상기법과 CRCI을 이용한 멀티코어 케이블의 결함 분류 기술은 타 기법 대비 매우 높은 정확도로 결함 분류가 가능한 것을 확인할 수 있다.

[0161] 한편, 도 12는 본 발명의 실시예로서, 멀티코어 케이블의 초기데이터(Baseline data)가 존재할 경우 시간-주파수 분포도의 이미지 처리를 나타낸 도면이다. 이 때 도 12(a)은 코어 1에서 결함이 있는 NAWVD(Normalization of the arranged WVD), 도 12(b)은 코어 2 및 코어 3에서 결함이 있는 NAWVD를 나타낸 도면이다.

[0162] 도 12를 참조하면, 각 코어별 반사신호와 멀티코어 케이블의 초기데이터를 비교하여 차이가 발생하는 부분적 시 계열 데이터를 각 코어별로 추출한 후, 이를 시간-주파수 분포도로 변환하여 코어의 순서에 따라 정리(배열)한 다음, 이를 정규화한 후 맥스폴링을 수행하여 고장코어 판단 데이터를 추출할 수 있다.

[0163] 맥스폴링을 수행한 시간-주파수 분포도는 특성 임피던스 변화 값이 가장 큰 시간-주파수 분포도에 해당하는 코어를 고장코어로 판단할 수 있는데, 도 12(a)에서는 코어 1을 고장코어로, 도 12(b)에서는 코어 2 및 코어 3을 고장코어로 판단할 수 있다.

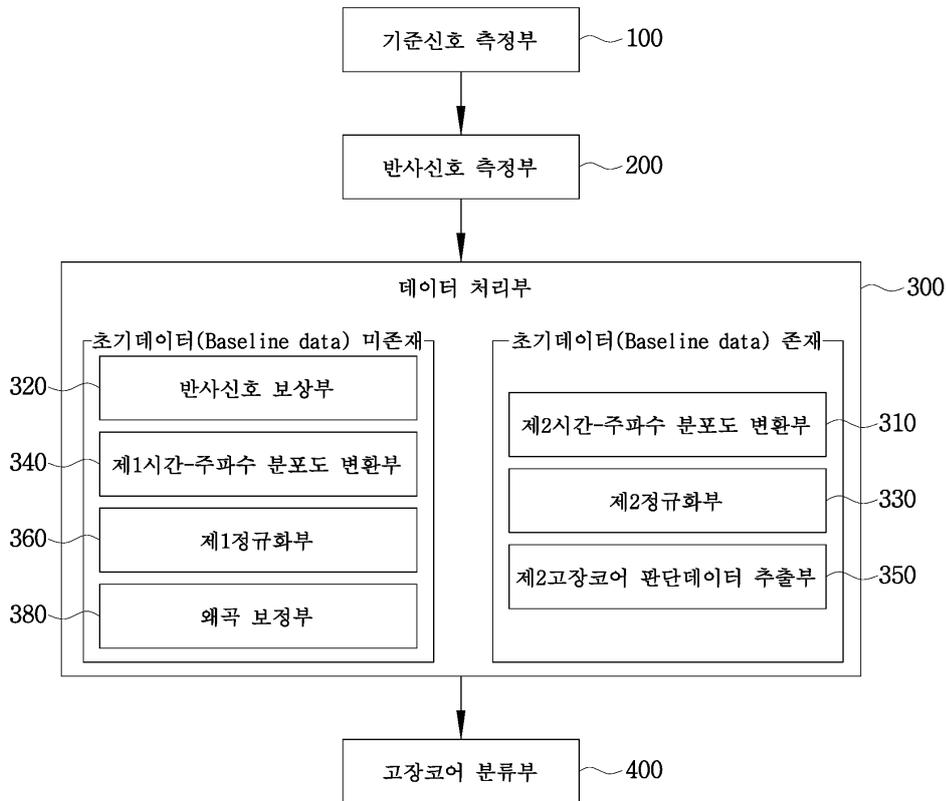
[0164] 이상에서 본 발명의 기술적 사상을 예시하기 위한 바람직한 실시예와 관련하여 설명하고 도시하였지만, 본 발명은 이와 같이 도시되고 설명된 그대로의 구성 및 작용에만 국한되는 것이 아니며, 기술적 사상의 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대해 다수의 변경 및 수정이 가능함을 당업자들은 잘 이해할 수 있을 것이다. 따라서 그러한 모든 적절한 변경 및 수정들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

부호의 설명

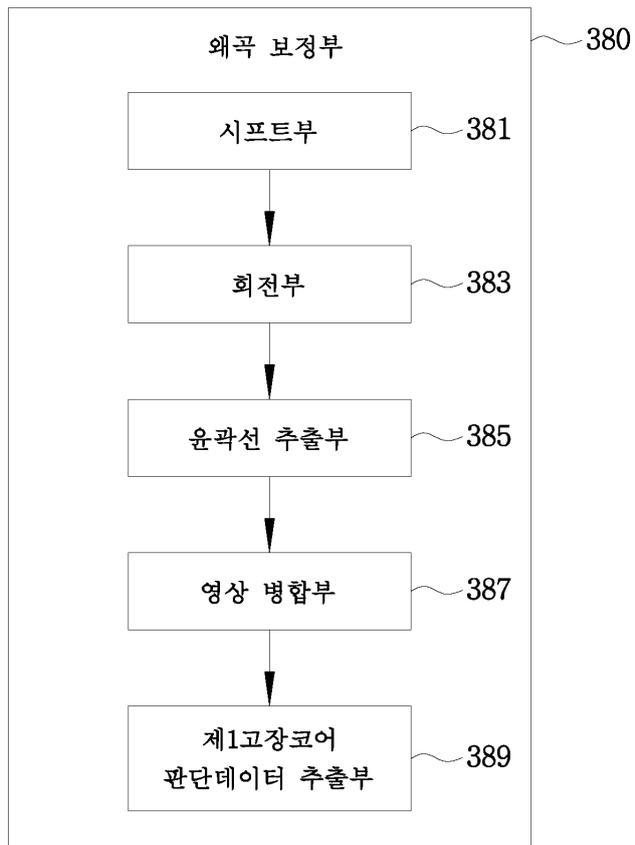
- [0165] 100 : 기준신호 측정부
- 200 : 반사신호 측정부
- 300 : 데이터 처리부
- 310 : 제2시간-주파수 분포도 변환부
- 320 : 반사신호 보상부
- 330 : 제2정규화부
- 340 : 제1시간-주파수 분포도 변환부
- 350 : 제2고장코어 판단데이터 추출부
- 360 : 제1정규화부
- 380 : 왜곡 보정부
- 381 : 시프트부
- 383 : 회전부
- 385 : 윤곽선 추출부
- 387 : 영상 병합부
- 389 : 제1고장코어 판단데이터 추출부
- 400 : 고장코어 분류부

도면

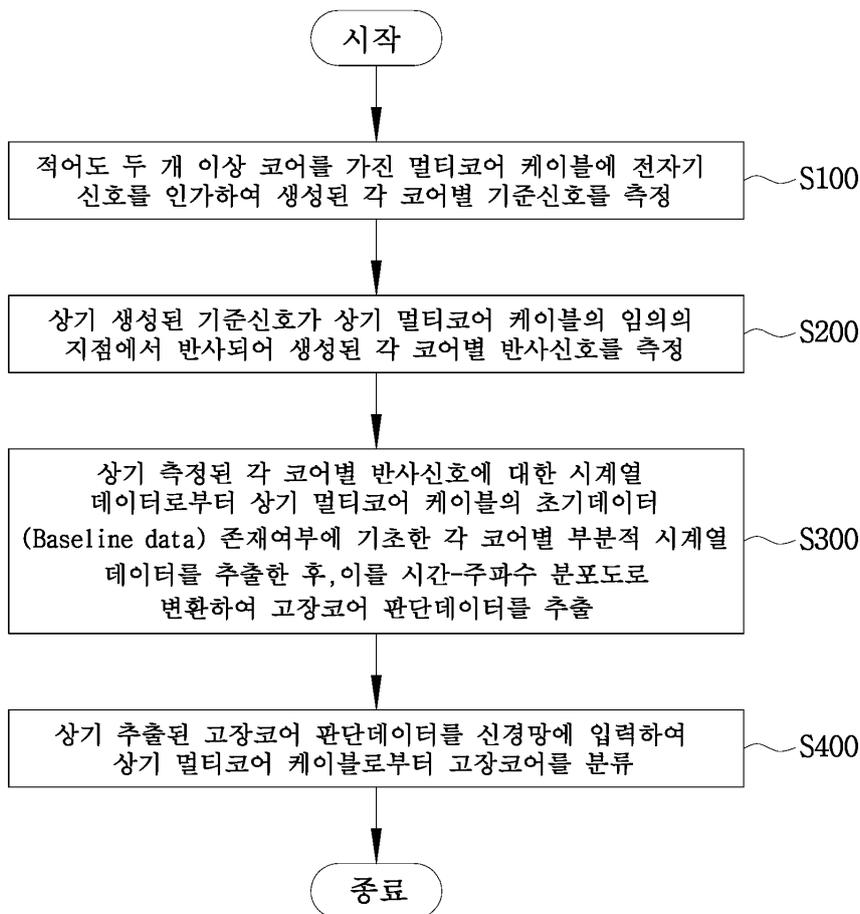
도면1



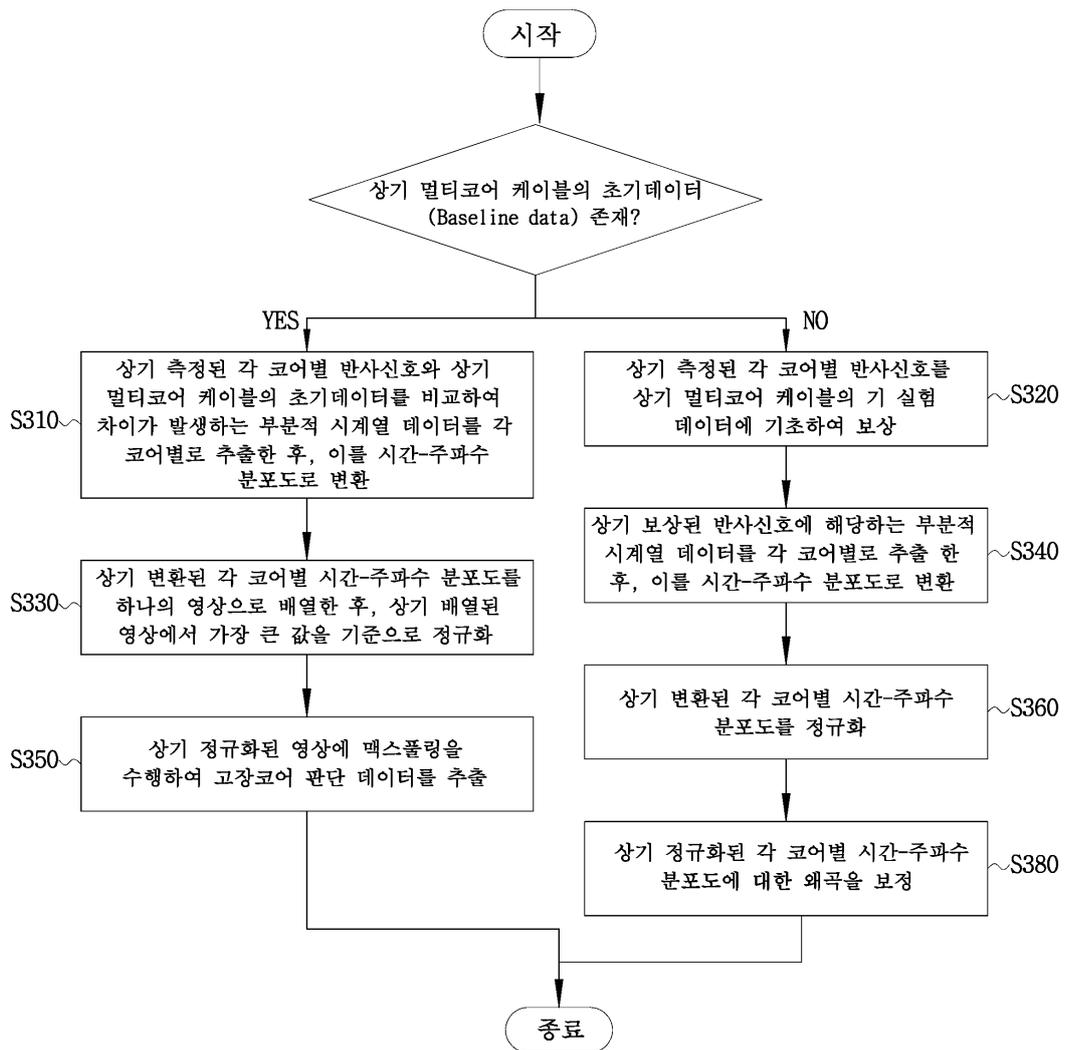
도면2



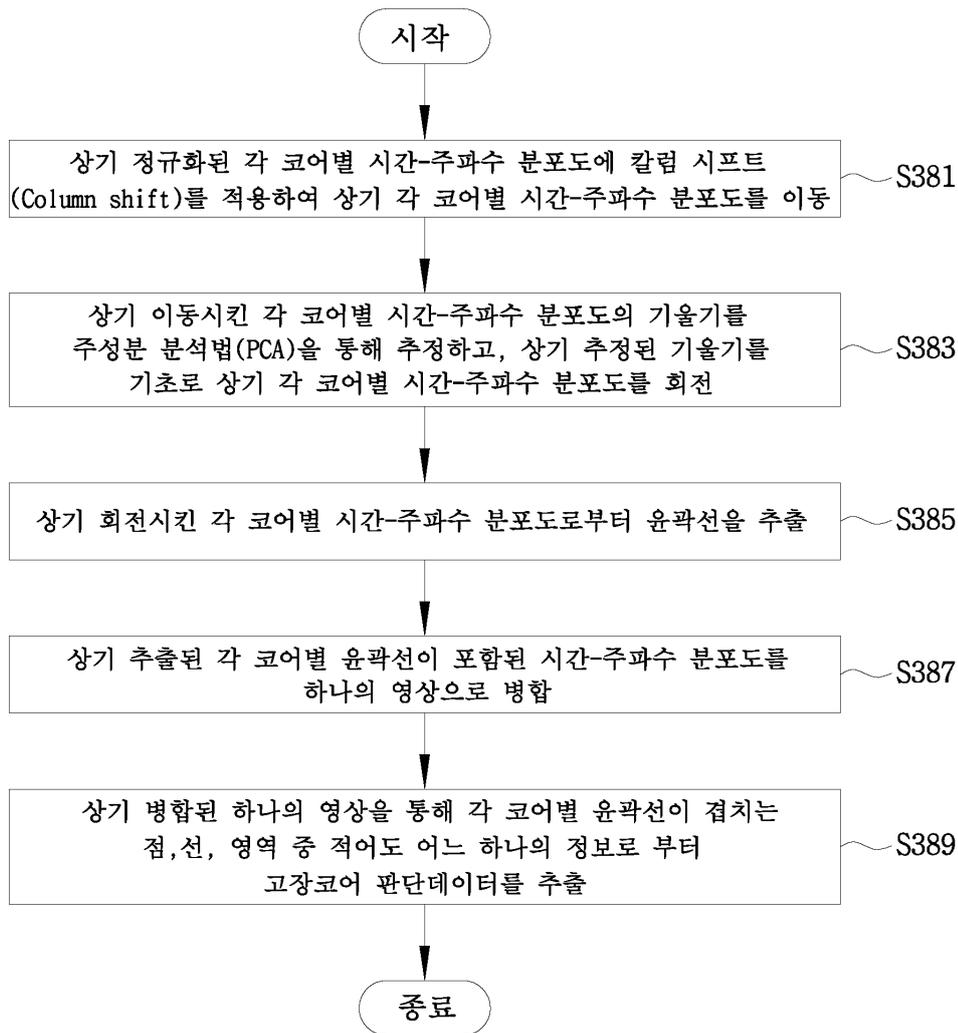
도면3



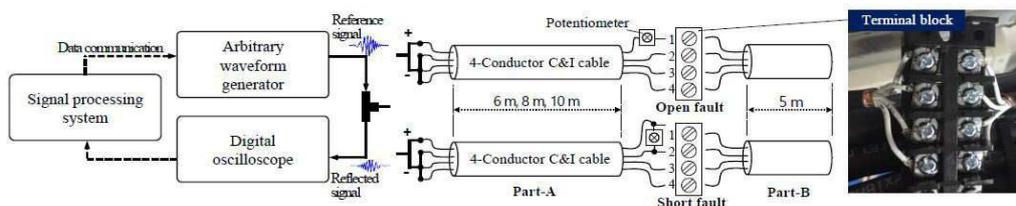
도면4



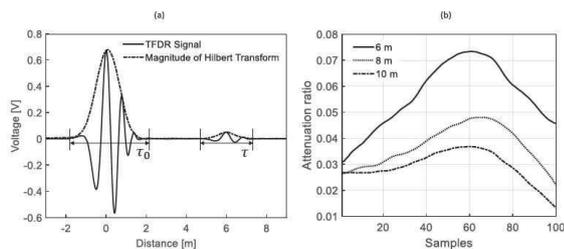
도면5



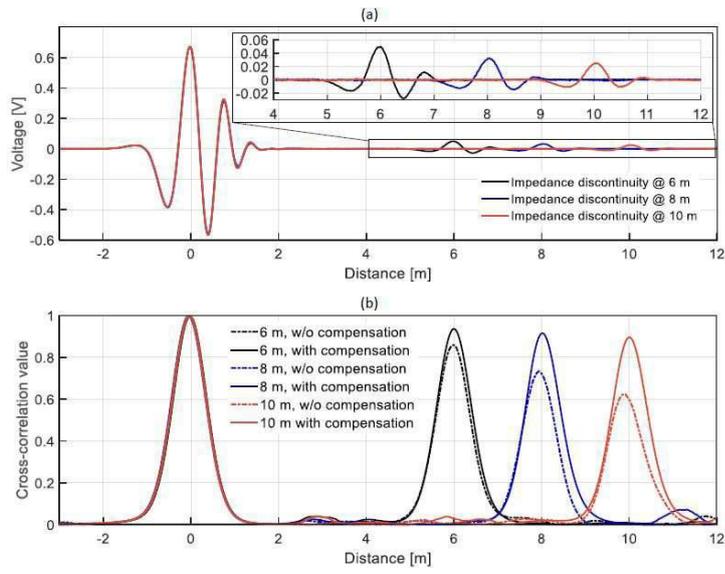
도면6



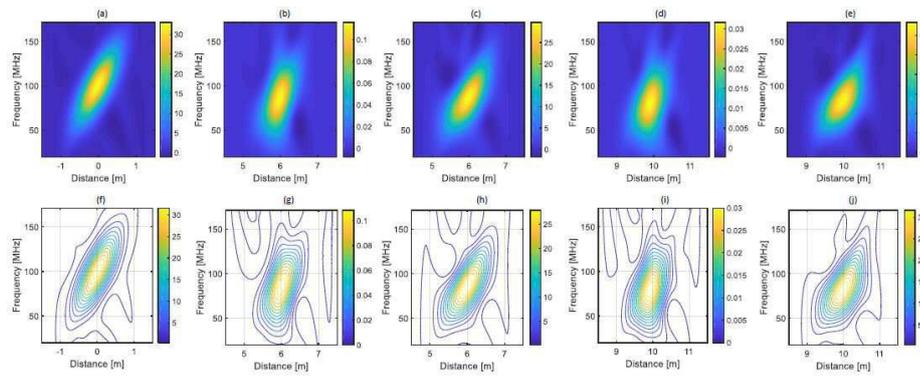
도면7



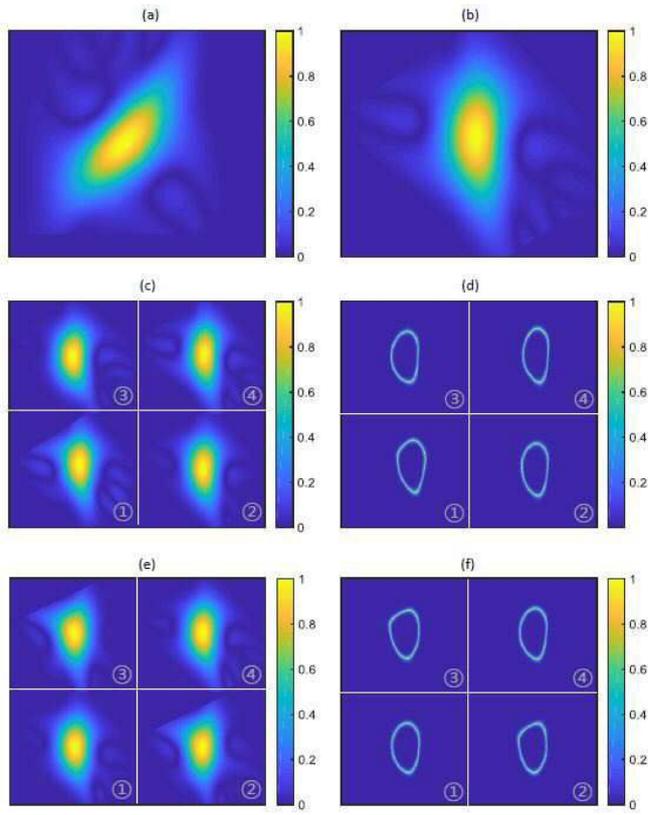
도면8



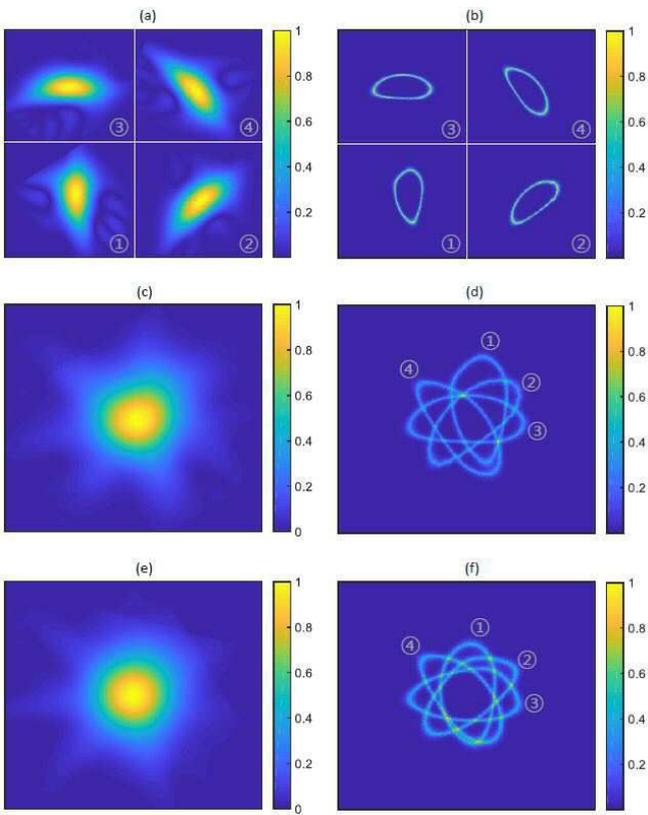
도면9



도면10



도면11



도면12

