



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0131041
(43) 공개일자 2024년08월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01M 3/16 (2006.01) G01M 3/40 (2006.01)
G01N 27/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01M 3/165 (2019.01)
G01M 3/40 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0024268
(22) 출원일자 2023년02월23일
심사청구일자 2023년02월23일

(71) 출원인
국립한밭대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
(72) 발명자
이창석
대전광역시 유성구 학하로 33 학하리슈빌 학의뜰
아파트, 106동 1601호
(74) 대리인
맹성재

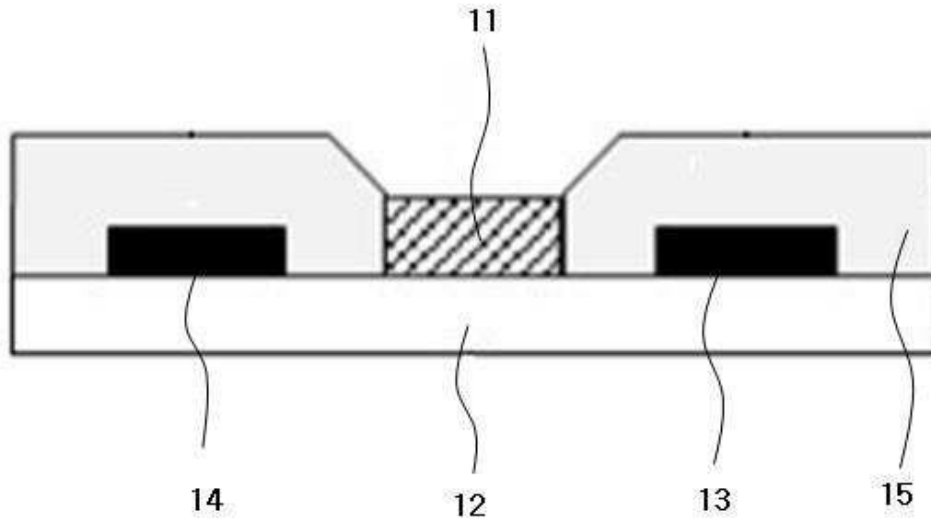
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 고손실 전송선 모델을 이용한 거리측정 센서 및 측정 방법

(57) 요약

본 발명에 따른 고손실 전송선 모델을 이용한 거리측정 센서는, 플렉서블 유전체 기판, 플렉서블 상기 유전체 기판상에 저항성 물질로 형성된 센서물질 신호선, 상기 신호선과 소정 간격으로 이격된 접지선 또는 전원선을 포함하는 센서 스트립 및 상기 센서 스트립의 소정 길이마다 측정 모듈들이 배치된 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G01N 27/02 (2021.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345356233
과제번호	2021RIS-004
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	지자체대학협력기반지역혁신사업
연구과제명	(대전세종충남지역혁신플랫폼)충남대학교
기 여 율	1/1
과제수행기관명	(대전세종충남지역혁신플랫폼)충남대학교
연구기간	2022.05.01 ~ 2023.03.31

명세서

청구범위

청구항 1

플렉시블 유전체 기관, 상기 플렉시블 유전체 기관상에 저항성 물질로 형성된 센서물질 신호선, 상기 센서물질 신호선과 소정 간격으로 이격된 접지선 또는 전원선을 포함하는 센서 스트립 및

상기 센서 스트립의 소정 길이마다 측정 모듈들이 배치된 것을 특징으로 하는 고손실 전송선 모델을 이용한 거리측정 센서.

청구항 2

제1항의 고손실 전송선 모델을 이용한 거리측정 센서를 이용하여 화학물질 누액으로 신호선이 단선되는 누액 지점을 측정하는 방법은,

센서 스트립을 고손실 전송선 모델로 모델링하는 단계;

센서 스트립을 설치 후 DC 저항과 고주파 임피던스를 측정하여 단위 길이당 저항값과 단위 길이당 커패시턴스 값을 추출하는 단계;

지속적으로 DC 저항 또는 저주파 임피던스를 측정하여 단선여부를 파악하는 단계 및

단선으로 판단하였을 때 저주파 임피던스를 측정값을 상기 전송선 모델에 적용하여 누액 지점을 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 누액 지점 측정 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

전송선 모델은 하기 수식으로 특성임피던스 Z_0 와 전파상수는 γ 로 모델링하는 것을 특징으로 하는 누액 지점 측정 방법.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R}{j\omega C}}$$

$$\gamma = \sqrt{j\omega CR}$$

여기서 R은 신호선의 단위 길이당 저항, C는 단위 길이당 커패시턴스이다.

청구항 4

제2항에 있어서,

입력단 임피던스 Z_m 와 입력단 커패시턴스 C_m 는 하기 수식으로 구하는 것을 특징으로 하는 누액 지점 측정 방법.

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1}{\tanh(\gamma l)}$$

$$C_m = \frac{-1}{\omega \operatorname{Im}[Z_m]}$$

여기서 l 은 단선거리이다.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 고손실 전송선 모델을 이용한 거리측정 센서로서, 더욱 상세하게는 대형 화학공장에 사용되고 있는 스트립 타입의 화학물질 누액센서의 누출지점 예측함에 있어서 센서 스트립을 고손실 전송선으로 모델링하여 누출지점의 예측 정확성을 향상시킨 거리측정 센서에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 현대 산업에 사용되는 다양한 화학물질은 해당 산업기준에 의하여 철저히 관리되고 있지만 다양한 요인으로 인체에 해로운 화학물질의 누출이 발생하기도 한다. 최근 유해화학물질 누출을 조기에 감지할 수 있는 스마트 화학센서를 개발, 실내 또는 실외에 설치하여 유해 화학물질의 누출 시 이를 곧바로 감지하고 IoT 센서 네트워크를 이용해 그 위치를 전송하여 더 큰 사고로 이어지기 전에 위험에 대한 정보를 제공하는 스마트 센서 시스템의 개발이 활발히 진행되고 있다.
- [0003] 일반적으로 화학물질 센서 구조는 유전체 박막 위에 저항성 센서 물질과 금속성 그라운드 라인이 평행하게 인쇄된 스트립 형태이다. 화학물질 이송 파이프를 따라 파이프 외부에 장착되고 그 외부에 다시 테이핑이 되어있어 누출 여부를 육안으로 확인하기 어려운 구조이다. 누출지점의 위치를 예측하기 위하여 일정 길이마다 센서의 저항을 측정하고 보고하는 모듈을 배치하여 사용하고 있으나, 최근 모듈 간 커패시턴스를 측정함으로써 모듈 사이에서의 누액위치를 예측하는 방법이 제안되었다. 이 방법은 누액 거리와 커패시턴스 간의 비선형성을 추세선 수식을 만들어 적용해야 한다. 센서 스트립은 금속성 이송 파이프에 붙여서 사용하므로 금속성 이송 파이프와의 접촉 정도에 따라 단위 길이당 커패시턴스가 달라지므로 예측하기 어렵다는 단점이 있다.
- [0004] 또한, 센서 스트립의 길이가 길어지면 커패시턴스가 선형적으로 변하지 않아 위치 예측의 정확성이 떨어지는 단점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0005] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1884905호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 극복하여 본 발명에서는 센서 스트립을 고손실 전송선으로 모델링하고, 센서 스트립 설치공사 완료 후, DC 저항 측정과 고주파 특성 임피던스를 이용해 단위 길이당 커패시턴스를 계산하여 고손실 전송선 모델을 결정하고, 그 모델과 저주파 커패시턴스 측정을 통해 누액 지점을 계산하는 방법을 제안한다.

과제의 해결 수단

- [0007] 상기의 해결하고자 하는 과제를 위한 본 발명에 따른 고손실 전송선 모델을 이용한 거리측정 센서는, 플렉시블 유전체 기판, 상기 플렉시블 유전체 기판상에 저항성 물질로 형성된 센서물질 신호선, 상기 센서물질 신호선과 소정 간격으로 이격된 접지선 또는 전원선을 포함하는 센서 스트립 및 상기 센서 스트립의 소정 길이마다 측정 모듈들이 배치된 것을 특징으로 한다.
- [0008] 본 발명의 다른 실시예로서 고손실 전송선 모델을 이용한 거리측정 센서를 이용하여 화학물질 누액으로 신호선이 단선되는 누액 지점을 측정하는 방법은, 센서 스트립을 고손실 전송선 모델로 모델링하는 단계; 센서 스트립을 설치 후 DC 저항과 고주파 임피던스를 측정하여 단위 길이당 저항값과 단위 길이당 커패시턴스 값을 추출하는 단계; 지속적으로 DC 저항 또는 저주파 임피던스를 측정하여 단선여부를 파악하는 단계 및 단선으로 판단하였을 때 저주파 임피던스를 측정값을 상기 전송선 모델에 적용하여 누액 지점을 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0009] 상기 전송선 모델은 하기 수식으로 특성임피던스 Z_0 와 전파상수는 γ 로 모델링하는 것을 특징으로 한다.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R}{j\omega C}}$$

[0010]

$$\gamma = \sqrt{j\omega CR}$$

[0011]

[0012] 여기서 R은 신호선의 단위 길이당 저항, C는 단위 길이당 커패시턴스이다.

[0013] 입력단 임피던스 Z_{in} 와 입력단 커패시턴스 C_{in} 는 하기 수식으로 구하는 것을 특징으로 한다.

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1}{\tanh(\gamma l)}$$

[0014]

$$C_{in} = \frac{-1}{\omega \operatorname{Im}[Z_{in}]}$$

[0015]

[0016] 여기서 l 은 단선거리이다.

발명의 효과

[0017] 본 발명에 따른 고손실 전송선 모델을 이용한 거리측정 센서는, 화학물질 누액 센서 스트립을 고손실 전송선으로 모델링하고, 설치 후 DC 저항과 고주파 임피던스를 측정하여 단위 길이당 저항값과 단위 길이당 커패시턴스 값을 추출하고, 지속적으로 저주파 임피던스를 측정하여 누액 지점을 계산한다.

[0018] 본 발명에 따른 고손실 전송선 모델을 이용한 거리측정 센서는, 센서 스트립의 설치 환경에 의한 단위 거리당 커패시턴스 값의 변화가 고려된 특성을 측정하여 모델링하고 그 모델을 이용하여 거리를 예측함으로써 설치 환경과 관계없이 거리 예측이 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명에 따른 고손실 전송선 모델을 이용한 거리측정 센서의 사진이다.

도 2는 본 발명에 따른 센서 스트립의 수직 단면도이다.

도 3은 γl 에 따른 $\tanh(\gamma l)$ 값을 보여준다.

도 4는 단위 길이당 커패시턴스에 따른 단선 거리별 입력단 커패시턴스 그래프이다.

도 5는 신호선의 단위 길이당 저항에 따른 단선 거리별 입력단 커패시턴스 그래프이다.

도 6은 주파수에 따른 단선 거리별 입력단 커패시턴스 그래프이다.

도 7은 본 발명에 따른 측정 시험 사진이다.

도 8은 본 발명에 따른 측정값과 계산값의 비교 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 이하, 본 발명의 실시를 위한 구체적인 실시예와 도면을 참고하여 설명한다. 본 발명의 실시예는 하나의 발명을 설명하기 위한 것으로서 권리범위는 예시된 실시예에 한정되지 아니하고, 예시된 도면은 발명의 명확성을 위하여 핵심적인 내용만 확대 도시하고 부수적인 것을 생략하였으므로 도면에 한정하여 해석하여서는 아니 된다.

[0021] 도 1은 본 발명에 따른 스트립 타입의 누액센서(1)로서 센서 스트립(10)의 소정 길이마다 측정 모듈(20)들이 배치되며, 각 측정 모듈에 전원을 공급하기 위해 전원선과 통신을 위한 통신선을 포함한다. 전원선과 통신선은 은(silver) 박막 또는 알루미늄 박막으로 제작되며 저항성 센서 라인과 같은 평면에 배치된다.

[0022] 도 2는 센서 스트립(10)의 수직 단면이다. 본 발명에 예시된 센서는 저항성 물질로 형성된 신호선(11)의 폭은 5

mm이고, 접지선(13)과의 간극이 2 mm인 신호선과 접지선이 동일 평면에 있는 CPW(coplanar waveguide) 구조로서 기판은 플렉시블한 유전체(12) 테이프로 두께가 0.1 mm이다.

[0023] CPW 전송선의 특성임피던스 Z_0 와 전파상수는 γ 는 수식 (1)과 (2)로 모델링된다.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (1)$$

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (2)$$

[0026] 여기서 R은 신호선의 단위 길이당 저항, L은 단위 길이당 직렬 인덕턴스, G는 단위 길이당 컨덕턴스, C는 단위 길이당 커패시턴스이다.

[0027] 일반적인 전송선에서는 R의 크기가 $j\omega L$ 의 크기보다 매우 작아서 무시되고, G의 크기가 $j\omega C$ 의 크기보다 매우 작아서 무시되지만, 누액센서의 경우에는 센서물질의 저항값이 커서 R의 크기가 $j\omega L$ 의 크기보다 매우커서 $j\omega L$ 의 영향이 무시된다. 예시된 센서의 경우, 신호선 물질의 저항값은 825 kΩ/m 정도이고 인덕턴스는 300 nH/m 정도이므로 100 kHz의 주파수에서도 인덕터의 영향은 0.2 ppm 수준으로 충분히 무시할 수 있다. 따라서 수식 (1), (2)는 다음 수식(3), (4)로 쓸 수 있다.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R}{j\omega C}} \quad (3)$$

$$\gamma = \sqrt{j\omega CR} \quad (4)$$

[0030] 신호선 스트립을 형성하는 저항성 물질이 화학물질에 의해 끊어지면 전송선의 한쪽 끝이 길이 l인 지점에서 단선된 구조가 되며 이때의 입력단 임피던스 Z_{in} 은 다음 수식 (5)와 같다.

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1}{\tanh(\gamma l)} \quad (5)$$

[0032] 수식 (4)에서 알 수 있듯이 γ 는 R, C, ω 의 크기에 관계없이 실수값과 허수값이 같은 값이며, 주파수를 높이면 γ 의 크기를 키울 수 있는데 γl 의 크기가 3 이상 커지면 식 (5)에서 $\tanh(\gamma l)$ 의 크기가 1이라고 볼 수 있다. 즉, 높은 주파수에서 측정하면 특성임피던스를 측정할 수 있다. 도 3은 γl 에 따른 $\tanh(\gamma l)$ 값을 보여준다.

[0033] 입력단 임피던스 Z_{in} 은 복소수이며 허수부를 이용하면 입력단 직렬 커패시턴스 C_m 을 수식 (6)으로부터 알 수 있다.

$$C_m = \frac{-1}{\omega \text{Im}[Z_{in}]} \quad (6)$$

[0035] 도 4는 주파수 100 Hz에서, 단위 길이당 저항값이 825 kΩ/m으로 일정하고, 단위 길이당 커패시턴스 C가 10, 40, 160, 640 pF/m 일 때, 단선 거리에 따라 계산한 입력단 커패시턴스 C_m 을 나타냈다. 도 5에 주파수 100 Hz에서, 단위 길이당 커패시턴스가 35.45 pF/m로 일정하고, 단위 길이당 저항값 R이 0.5, 1, 2, 4 MΩ/m일 때 거리에 따라 계산한 입력단 커패시턴스 C_m 을 나타냈다.

[0036] 도 6에는 단위 길이당 저항값이 825 kΩ/m이고, 단위 길이당 커패시턴스가 35.45 pF/m일 때 주파수 0.1, 1, 10, 100 kHz에서 계산한 입력단 커패시턴스 C_m 을 나타냈다.

[0037] 신호선 스트립의 입력 임피던스는 센서 물질의 저항값과 신호선 스트립 주변 물질의 거리 및 유전율 그리고 측정 주파수에 따라 그 경향이 다르므로 입력 임피던스 측정만으로 누액 지점을 예측하는 것은 부정확하다. 이송용 금속관에 센서 스트립을 부착할 때 0.5 mm 두께의 폴리에틸렌으로 분리하였을 경우와 1 mm 두께로 분리하였을 경우 특성 임피던스가 57% 증가하는 것을 계산할 수 있으며, 이는 단위 길이당 커패시턴스가 25% 감소하는 것이므로, 추세식을 이용하는 기존의 방법으로는 25% 이상의 측정 에러가 발생할 수 있다.

[0038] 그러나 설치 후 단위 길이당 저항 R과 단위 길이당 커패시턴스 C를 측정할 수 있다면, 설치 환경에 따른 에러 요인은 제거할 수 있다. DC 측정 값으로 고주파 측정 결과와 수식 (3)을 이용하여 특성임피던스 Z_0 를 계산할 수 있고, 수식 (4)를 이용하여 전파상수를 계산할 수 있으므로 수식 (5)와 수식 (6)을 이용하여 단선거리 l 을 계산할 수 있다.

[0039] 수식 (5)에 사용된 $\tanh(\gamma l)$ 의 값은 복소수인 γl 의 크기가 커지면 실수값은 1로 허수값은 0으로 수렴하는 특성이 있으며 수식 (4)에서 알 수 있듯이, 전파상수 γ 는 주파수를 높여서 키울 수 있다. $|\tanh(\gamma l)|$ 가 1이 되면 수식 (5)에 나타난 바와 같이 입력 임피던스가 특성임피던스가 되고, DC 측정을 통해 R값을 알고 있으므로 수식 (3)을 이용해 단위 길이당 커패시턴스 C를 계산할 수 있다.

[0040] 도 7은 측정을 위한 테스트 셋업을 보여준다. 12 m의 센서 스트립을 1 m 씩 자르면서 측정하였다. 측정에 사용한 장비는 HP사의 4263B LCR 측정기이며, 이 기기의 측정 가능 주파수는 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz이다.

[0041] 도 8에 측정 결과와 모델링을 통해 계산한 결과를 나타냈다. 모델링을 통해 계산한 결과는 점선으로 나타냈으며, 길이별로 측정한 커패시턴스는 마크로 표시하였다. 12 m 센서 스트립의 DC 저항은 9.9 MΩ이었으며, 따라서 단위 길이당 저항값은 825 kΩ/m이다. 고주파에 해당하는 10 kHz와 100 kHz에서 측정한 12 m 스트립의 입력 임피던스 값으로부터 특성임피던스를 측정하고 수식 (6)을 이용하여 단위 길이당 커패시턴스를 추출하여 표 1에 나타냈다. 측정값으로부터 커넥터의 기생성분인 병렬 커패시턴스 9.27 pF를 제거한 후 이후 계산을 진행하였다.

표 1

단위 길이당 커패시턴스 추출 결과

주파수 [kHz]	Re(Z0) [kΩ]	Im(Z0) [kΩ]	C [pF/m]
10	131	140	35.8
100	133	141	35.1

[0042]

[0043] 100 Hz에서 측정한 임피던스 결과로부터 계산한 길이와 실제 길이의 오차를 표 2에 나타냈다. 12 m 범위에서 5 %이내의 정확도로 측정할 수 있음을 알 수 있다.

표 2

누액 거리 측정 오차

길이[m]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
오차[%]	-3.2	4.4	4.6	1.9	0.1	3.7	0.1	-0.1	0.5	-3.1	-3.6	-4.9

[0044]

[0045] 화학물질 누액 센서 스트립을 고손실 전송선으로 모델링하고, 설치 후 DC 저항과 고주파 임피던스를 측정하여 단위 길이당 저항값과 단위 길이당 커패시턴스 값을 추출하고, 지속적으로 저주파 임피던스를 측정하여 누액 지점을 계산한다. 센서 스트립의 설치 환경에 의한 단위 거리당 커패시턴스 값의 변화가 고려된 특성을 측정하여

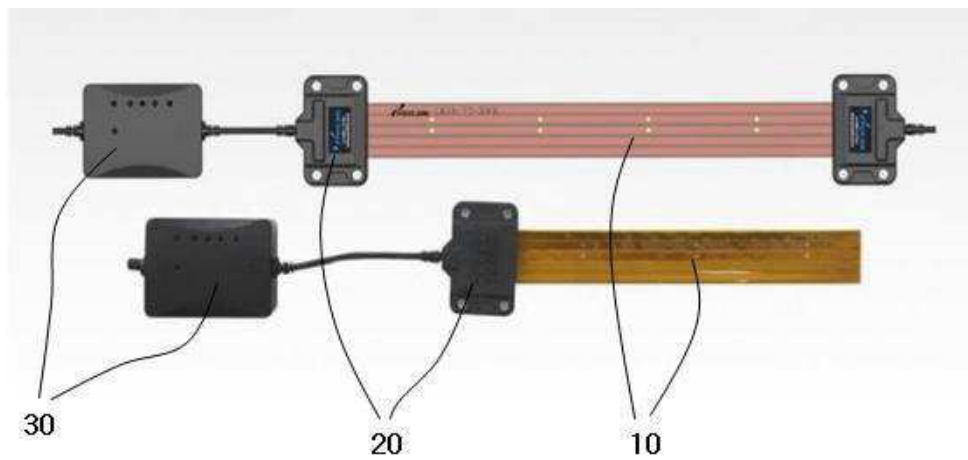
모델링하고 그 모델을 이용하여 거리를 예측함으로써 설치 환경과 관계없이 거리 예측이 가능하다.

부호의 설명

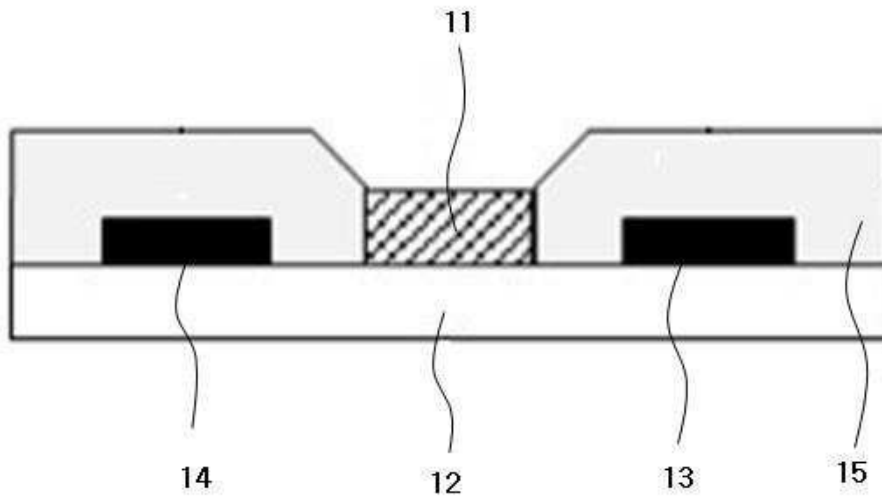
- [0046]
- 1: 센서 10: 센서 스트립
 11: 신호선 12: 유전체
 13: 접지선 14: 전원선
 15: 보호막 20: 측정 모듈
 30: 측정기

도면

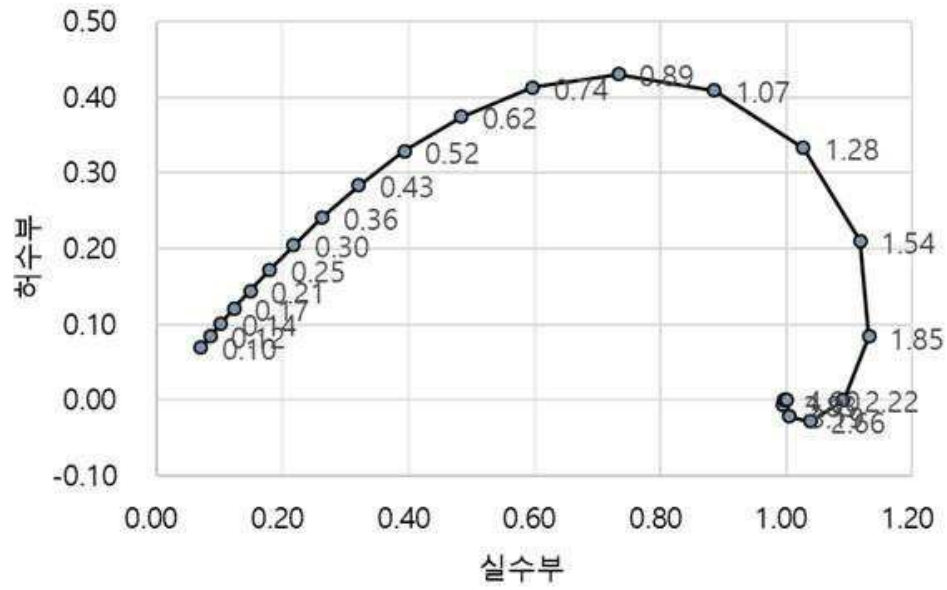
도면1



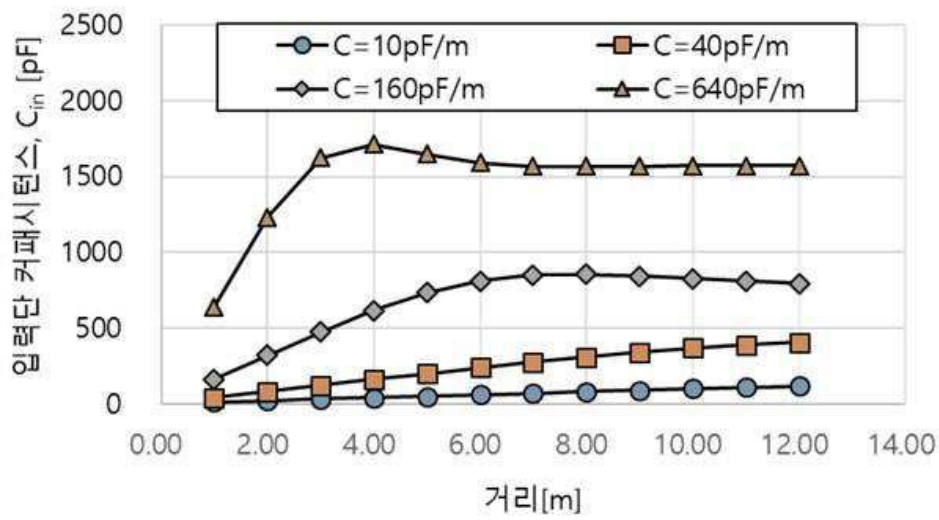
도면2



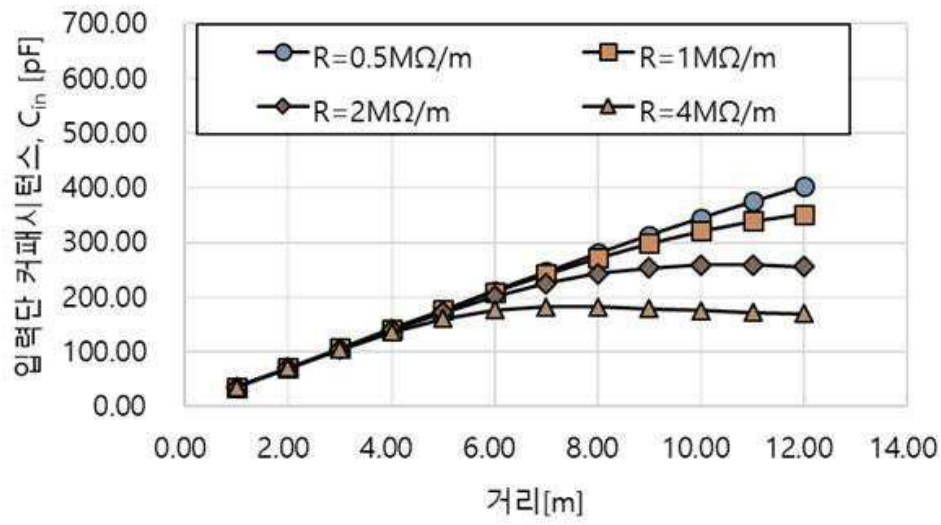
도면3



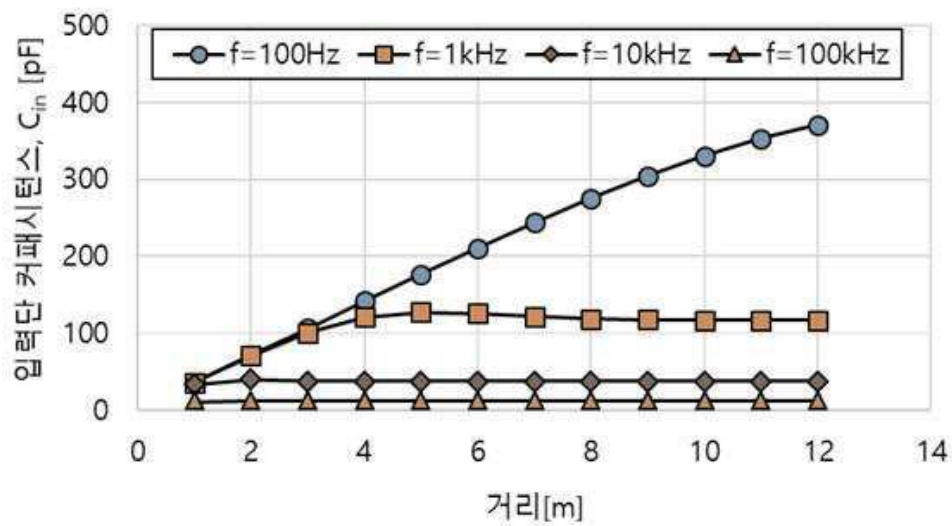
도면4



도면5



도면6



도면7



도면8

