



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0058965  
(43) 공개일자 2023년05월03일

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)<br/> <i>G01R 31/367</i> (2019.01) <i>G01N 23/2251</i> (2018.01)<br/> <i>G01N 27/02</i> (2006.01) <i>G01R 25/04</i> (2006.01)<br/> <i>G01R 29/02</i> (2006.01) <i>G01R 31/378</i> (2019.01)<br/> <i>G06N 3/08</i> (2023.01)</p> <p>(52) CPC특허분류<br/> <i>G01R 31/367</i> (2019.01)<br/> <i>G01N 23/2251</i> (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2021-0142862<br/> (22) 출원일자 2021년10월25일<br/> 심사청구일자 2021년10월25일</p> | <p>(71) 출원인<br/> <b>연세대학교 산학협력단</b><br/> 서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)<br/> <b>한국전자기술연구원</b><br/> 경기도 성남시 분당구 새나리로 25 (야탑동)</p> <p>(72) 발명자<br/> <b>최정일</b><br/> 경기도 고양시 일산서구 대산로 142, 307동 1302호(주엽동, 문촌마을3단지아파트)<br/> <b>김경현</b><br/> 서울특별시 중구 동호로10길 30, 112동 1101호(신당동, 약수하이츠)<br/> (뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인<br/> <b>민영준</b></p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

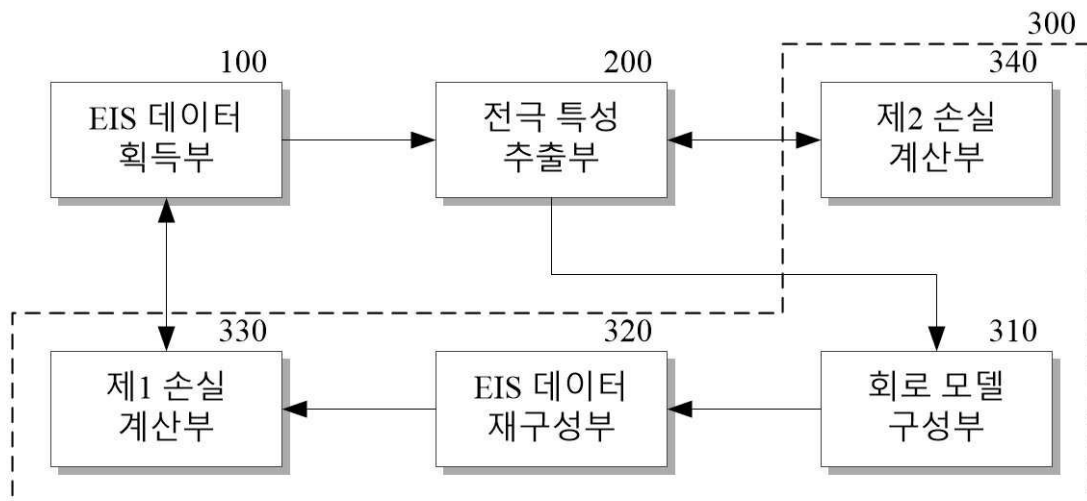
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 전극 특성 검출 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 분석 대상인 배터리에 대해 전기화학 임피던스 분광법(이하 EIS)를 수행하여 수집된 EIS 데이터를 획득하는 EIS 데이터 획득부 및 미리 학습되고 다수의 연산 레이어를 포함하는 인공 신경망으로 구현되어 EIS 데이터를 인가받고, 학습된 방식에 따라 신경망 연산을 수행하여 배터리의 전극 특성을 출력하고, 다수의 연산 레이어 중 중간에 위치하는 하나의 레이어에 포함된 다수의 노드 중 기지정된 개수의 노드는 배터리에 대응하는 등가 회로 모델의 구성 요소별 임피던스인 EIS 파라미터를 출력하는 전극 특성 추출부를 포함하여, EIS 데이터만으로도 SEM을 이용하여 추정할 수 있는 데이터뿐만 아니라 EIS나 SEM으로 추정할 수 없는 다양한 전극 특성을 저비용으로 빠르게 검출할 수 있는 전극 특성 검출 장치 및 방법을 제공한다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

*G01N 27/026* (2013.01)

*G01R 25/04* (2013.01)

*G01R 29/023* (2013.01)

*G01R 31/38* (2019.01)

*G06N 3/08* (2023.01)

(72) 발명자

**김성윤**

인천광역시 부평구 길주남로10번길 21, 102동 401  
호(부평동, 래미안부평)

**김영권**

경기도 성남시 분당구 발이봉북로31번길 13, 101  
호(수내동)

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

분석 대상인 배터리에 대해 전기화학 임피던스 분광법(이하 EIS)를 수행하여 수집된 EIS 데이터를 획득하는 EIS 데이터 획득부; 및

미리 학습되고 다수의 연산 레이어를 포함하는 인공 신경망으로 구현되어 상기 EIS 데이터를 인가받고, 학습된 방식에 따라 신경망 연산을 수행하여 상기 배터리의 전극 특성을 출력하고, 상기 다수의 연산 레이어 중 중간에 위치하는 하나의 레이어에 포함된 다수의 노드 중 기지정된 개수의 노드는 상기 배터리에 대응하는 등가 회로 모델의 구성 요소별 임피던스인 EIS 파라미터를 출력하는 전극 특성 추출부를 포함하는 전극 특성 검출 장치.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 전극 특성 추출부는

학습 시에 배터리에 대해 미리 EIS를 수행하여 획득된 학습 EIS 데이터와 사전에 별도의 방식으로 획득된 학습 전극 특성 각각과 상기 EIS 파라미터로부터 재구성되는 재구성 EIS 데이터와 상기 전극 특성 사이의 차이에 따른 손실을 계산하여 역전파함으로써 학습되는 전극 특성 검출 장치.

#### 청구항 3

제2항에 있어서, 상기 전극 특성 추출부는

학습 시에 상기 EIS 파라미터를 상기 배터리의 구조에 대응하도록 미리 구성된 회로 모델의 각 구성 요소의 임피던스로 적용하여 상기 배터리에 대한 등가 회로 모델을 획득하고, 획득된 등가 회로 모델을 이용하여 EIS 데이터를 재구성함으로써 획득된 상기 재구성 EIS 데이터와 상기 EIS 데이터 사이의 차이에 따른 제1 손실을 계산하여 학습되는 전극 특성 검출 장치.

#### 청구항 4

제3항에 있어서, 상기 전극 특성 추출부는

학습 시에 상기 제1 손실은 상기 다수의 연산 레이어에서 상기 EIS 파라미터를 출력하는 연산 레이어의 다수의 노드로 역전파되고, 상기 학습 전극 특성과 상기 전극 특성 사이의 차이에 따라 계산되는 제2 손실은 상기 전극 특성이 출력되는 최종단의 연산 레이어로 역전파되어 학습되는 전극 특성 검출 장치.

#### 청구항 5

제1항에 있어서, 상기 전극 특성은

상기 배터리의 전극에 대해 주사 전자 현미경(SEM)을 이용하여 관측되는 SEM 이미지를 기반으로 획득할 수 있는 입자 크기 분포와 EIS나 SEM 이외의 방식으로 획득되어야 하는 전극의 기공도(porosity), 굴곡도(tortuosity), 입자 네트워크의 상호 연결성, 이온 전도도, 그리고 활물질과 전해질 간 접촉율 중 적어도 하나 이상을 포함하는 전극 특성 검출 장치.

#### 청구항 6

분석 대상인 배터리에 대해 전기화학 임피던스 분광법(이하 EIS)를 수행하여 수집된 EIS 데이터를 획득하는 단계; 및

미리 학습되고 다수의 연산 레이어를 포함하는 인공 신경망으로 구현되어 상기 EIS 데이터를 인가받고, 학습된 방식에 따라 신경망 연산을 수행하여 상기 배터리의 전극 특성을 출력하며, 상기 다수의 연산 레이어 중 중간에 위치하는 하나의 레이어에 포함된 다수의 노드 중 기지정된 개수의 노드는 상기 배터리에 대응하는 등가 회로 모델의 구성 요소별 임피던스인 EIS 파라미터를 출력하는 단계를 포함하는 전극 특성 검출 방법.

**청구항 7**

제6항에 있어서, 상기 전극 특성 검출 방법은

상기 EIS 데이터를 획득하는 단계 이전, 상기 배터리에 대해 미리 EIS를 수행하여 획득된 학습 EIS 데이터와 사전에 별도의 방식으로 획득된 학습 전극 특성 각각과 상기 EIS 파라미터로부터 재구성되는 재구성 EIS 데이터와 상기 전극 특성 사이의 차이에 따른 손실을 계산하여 역전파함으로써 상기 인공 신경망에 대한 학습을 수행하는 단계를 더 포함하는 전극 특성 검출 방법.

**청구항 8**

제7항에 있어서, 상기 학습을 수행하는 단계는

상기 EIS 파라미터로부터 상기 재구성 EIS 데이터를 획득하고, 상기 재구성 EIS 데이터와 상기 EIS 데이터 사이의 차이에 따른 제1 손실을 계산하는 단계;

상기 학습 전극 특성과 상기 전극 특성 사이의 차이에 따른 제2 손실을 계산하는 단계; 및

상기 제1 손실을 상기 다수의 연산 레이어에서 상기 EIS 파라미터를 출력하는 연산 레이어의 다수의 노드로 역전파하고, 상기 제2 손실을 상기 전극 특성이 출력되는 최종단의 연산 레이어로 역전파하는 단계를 포함하는 전극 특성 검출 방법.

**청구항 9**

제8항에 있어서, 상기 제1 손실을 계산하는 단계는

상기 EIS 파라미터를 상기 배터리의 구조에 대응하도록 미리 구성된 회로 모델의 각 구성 요소의 임피던스로 적용하여 상기 배터리에 대한 등가 회로 모델을 획득하는 단계; 및

획득된 등가 회로 모델을 이용하여 EIS 데이터를 재구성하여 상기 재구성 EIS 데이터를 획득하는 단계를 포함하는 전극 특성 검출 방법.

**청구항 10**

제6항에 있어서, 상기 전극 특성은

상기 배터리의 전극에 대해 주사 전자 현미경(SEM)을 이용하여 관측되는 SEM 이미지를 기반으로 획득할 수 있는 입자 크기 분포와 EIS나 SEM 이외의 방식으로 획득되어야 하는 전극의 기공도(porosity), 굴곡도(tortuosity), 입자 네트워크의 상호 연결성, 이온 전도도, 그리고 활물질과 전해질 간 접촉율 중 적어도 하나 이상을 포함하는 전극 특성 검출 방법.

**발명의 설명****기술 분야**

[0001] 본 발명은 전극 특성 검출 장치 및 방법에 관한 것으로, 전기화학 임피던스 분광법을 이용하여 다양한 전극 특성을 검출할 수 있는 전극 특성 검출 장치 및 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 최근 들어, 리튬이온 배터리의 성능을 향상시키기 위한 다양한 연구가 진행 중에 있으며, 이로 인해 전극의 구조가 배터리의 성능에 큰 영향을 미친다는 점은 잘 알려져 있다. 전극의 구조는 크게 4가지로 나뉘게 되는데 나노 크기에서의 계면 상태, 미세 크기에서의 입자 분포, 메조 크기에서의 입자 집적상태, 그리고 매크로 크기에서의 셀 구성을 나타낸다. 특히 메조 크기에서의 전극 특성은 전극의 제조 상태에 따라 달라지기 때문에, 제조 최적화가 요구된다. 그러나 제조 최적화는 복잡한 다중 변수 문제로 다양한 제조 파라미터, 즉 전극 특성에 대한 분석이 필요하다.

[0003] 이러한 전극 특성을 분석하기 위한 대표적인 방식으로 전기화학 임피던스 분광법(Electrochemical Impedance Spectroscopy: 이하 EIS)과 주사 전자 현미경(Scanning Electron Microscope: 이하 SEM)을 이용하는 방식이 잘 알려져 있다.

- [0004] EIS는 다양한 주파수 범위의 교류 전류를 측정 대상 시스템에 부여하여 주파수에 따른 진폭과 위상의 변화를 측정하고, 이를 지정된 방식으로 처리하여 임피던스를 분석하는 측정법으로 부식, 이차전지, 반도체, 바이오 센서 등 다양한 분야에서 활용되는 기법이다. 기존 연구에서 EIS는 측정 대상 시스템을 등가 회로 모델로 근사한 뒤, 얻어진 EIS 데이터를 바탕으로 등가 회로 모델의 각 구성별 임피던스를 구하는 방법이 많이 사용되고 있다.
- [0005] 현재 EIS에서는 획득된 EIS 데이터의 진폭과 위상을 주로 복소수 평면에 나타내는데, 이를 나이퀴스트(Nyquist) 법이라고 부른다.
- [0006] 도 1은 EIS 데이터에 따른 나이퀴스트 선도의 일 예를 나타내고, 도 2는 시스템 등가 회로의 일 예를 나타낸다.
- [0007] 도 1에 도시된 바와 같이, 일반적으로 EIS 데이터는 반원 형상으로 나타나게 된다. 그리고 도 1과 같이 나타난 EIS 데이터는 도 2와 같이 측정 대상 시스템에 대응하도록 표현된 등가 회로의 각 구성별 임피던스가 된다. 여기서 획득된 임피던스는 바이오 센서, 전극 표면 반응, 배터리 건강 상태 진단 등을 표현할 수 있다.
- [0008] 이와 같은 EIS 기반 전기화학적 등가회로 모델 파라미터는 전기적 모델 파라미터와 다르게 각 파라미터의 의미를 배터리 내부 물질의 변화와 함께 설명할 수 있다. 따라서 등가회로 모델의 특성 변수를 통해 배터리의 노화나 상태를 진단하는 연구가 진행되고 있다.
- [0009] 도 2는 측정 대상 시스템이 리튬 이온 배터리인 경우의 등가 회로 모델로서 도 2에서 L은 고주파에서 배터리와 연결된 전선에 의한 인덕턴스를 나타내고, R0는 전해질 및 접촉 저항을 의미한다. 그리고 도 1의 나이퀴스트 선도의 반원에서 추출할 수 있는 RC 병렬 회로에서 (R1, R2)와 (CPE1, CPE2)는 각각 전극 계면에서 산화 및 환원 반응 때문에 발생하는 전하전달과 이중층 캐패시턴스를 나타내며, W는 와버그 임피던스(Warburg impedance)이다.
- [0010] 도 3은 SEM을 이용하여 획득한 리튬 이온 배터리의 전극 이미지의 일 예를 나타낸다.
- [0011] SEM은 미세 전자빔을 시편의 정해진 영역에 주사하여, 시편의 표면의 3차원 미세형태, 미세조직, 화학조성, 원소분포 등을 분석할 수 있는 현미경이다. 도 3에 도시된 바와 같이, SEM을 이용하여 관찰 대상에 대한 이미지를 획득하는 경우, 관찰 대상의 원료로 사용되는 분말의 입자 크기, 절연 멤브레인에서의 기공 및 섬유 크기, 생산 공정 후 전극의 3차원 구조, 전기적 또는 열적 반응 및 배터리 하위층 오염 물질 등을 용이하게 분석할 수 있어, SEM은 매우 다용도적으로 활용되고 있다. 다만 EIS의 경우, 측정 대상 시스템에 교류 전류를 인가하는 비파괴 방식인 반면, SEM을 이용하는 경우, 실제적 관측을 위해 시스템을 분해해야 하는 파괴 방식이라는 한계가 있다. 따라서 분석을 위해 매번 관측 대상이 외부에서 관찰 가능하도록 대상 시스템을 파괴해야 하므로, 시간과 비용이 많이 소비된다는 단점으로 작용한다.
- [0012] 또한 EIS나 SEM으로도 추정하기 힘든 각종 파라미터가 존재한다는 문제가 있다. 예를 들어, 리튬 이온 배터리의 경우, 전극의 기공도(porosity), 굴곡도(tortuosity), 입자 네트워크의 상호 연결성, 이온 전도도, 그리고 활물질과 전해질 간 접촉을 등과 같은 특성(파라미터)은 EIS 또는 SEM과 같은 일반적인 방법으로는 검출하기 어렵다는 문제가 있다. 이와 같은 전극 파라미터들은 EIS나 SEM 이외에 또 다른 별도 여러 방식을 이용하여 검출해야 하므로, 배터리 제조를 어렵게 하는 요인이 되고 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

- [0013] (특허문헌 0001) 한국 등록 특허 제10-2178444호 (2020.11.09 등록)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0014] 본 발명의 목적은 EIS 데이터를 기반으로 EIS나 SEM으로 검출할 수 없는 배터리 전극 특성을 용이하게 검출할 수 있는 전극 특성 검출 장치 및 방법을 제공하는데 있다.
- [0015] 본 발명의 다른 목적은 저비용으로 빠르게 다양한 전극 특성을 검출할 수 있도록 하는 전극 특성 검출 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

## 과제의 해결 수단

- [0016] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 전극 특성 검출 장치는 분석 대상인 배터리에 대해 전기화학 임피던스 분광법(이하 EIS)를 수행하여 수집된 EIS 데이터를 획득하는 EIS 데이터 획득부; 및 미리 학습되고 다수의 연산 레이어를 포함하는 인공 신경망으로 구현되어 상기 EIS 데이터를 인가받고, 학습된 방식에 따라 신경망 연산을 수행하여 상기 배터리의 전극 특성을 출력하고, 상기 다수의 연산 레이어 중 중간에 위치하는 하나의 레이어에 포함된 다수의 노드 중 기지정된 개수의 노드는 상기 배터리에 대응하는 등가 회로 모델의 구성 요소별 임피던스인 EIS 파라미터를 출력하는 전극 특성 추출부를 포함한다.
- [0017] 상기 전극 특성 추출부는 학습 시에 배터리에 대해 미리 EIS를 수행하여 획득된 학습 EIS 데이터와 사전에 별도의 방식으로 획득된 학습 전극 특성 각각과 상기 EIS 파라미터로부터 재구성되는 재구성 EIS 데이터와 상기 전극 특성 사이의 차이에 따른 손실을 계산하여 역전파함으로써 학습될 수 있다.
- [0018] 상기 전극 특성 추출부는 학습 시에 상기 EIS 파라미터를 상기 배터리의 구조에 대응하도록 미리 구성된 회로 모델의 각 구성 요소의 임피던스로 적용하여 상기 배터리에 대한 등가 회로 모델을 획득하고, 획득된 등가 회로 모델을 이용하여 EIS 데이터를 재구성함으로써 획득된 상기 재구성 EIS 데이터와 상기 EIS 데이터 사이의 차이에 따른 제1 손실을 계산하여 학습될 수 있다.
- [0019] 상기 전극 특성 추출부는 학습 시에 상기 제1 손실은 상기 다수의 연산 레이어에서 상기 EIS 파라미터를 출력하는 연산 레이어의 다수의 노드로 역전파되고, 상기 학습 전극 특성과 상기 전극 특성 사이의 차이에 따라 계산되는 제2 손실은 상기 전극 특성이 출력되는 최종단의 연산 레이어로 역전파되어 학습될 수 있다.
- [0020] 상기 전극 특성은 상기 배터리의 전극에 대해 주사 전자 현미경(SEM)을 이용하여 관측되는 SEM 이미지를 기반으로 획득할 수 있는 입자 크기 분포와 EIS나 SEM 이외의 방식으로 획득되어야 하는 전극의 기공도(porosity), 굴곡도(tortuosity), 입자 네트워크의 상호 연결성, 이온 전도도, 그리고 활물질과 전해질 간 접촉율 중 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0021] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 전극 특성 검출 방법은 분석 대상인 배터리에 대해 전기화학 임피던스 분광법(이하 EIS)를 수행하여 수집된 EIS 데이터를 획득하는 단계; 및 미리 학습되고 다수의 연산 레이어를 포함하는 인공 신경망으로 구현되어 상기 EIS 데이터를 인가받고, 학습된 방식에 따라 신경망 연산을 수행하여 상기 배터리의 전극 특성을 출력하며, 상기 다수의 연산 레이어 중 중간에 위치하는 하나의 레이어에 포함된 다수의 노드 중 기지정된 개수의 노드는 상기 배터리에 대응하는 등가 회로 모델의 구성 요소별 임피던스인 EIS 파라미터를 출력하는 단계를 포함한다.

## 발명의 효과

- [0022] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 전극 특성 검출 장치 및 방법은 비파괴 방식인 EIS 기법을 이용하여 획득된 EIS 데이터를 기반으로 SEM으로 추정할 수 있는 데이터뿐만 아니라 EIS나 SEM으로 추정할 수 없는 다양한 전극 특성을 저비용으로 빠르게 검출할 수 있도록 하여 배터리를 제조 효율을 개선할 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 EIS 데이터에 따른 나이퀴스트 선도의 일 예를 나타낸다.
- 도 2는 시스템 등가 회로의 일 예를 나타낸다.
- 도 3은 SEM을 이용하여 획득한 리튬 이온 배터리의 전극 이미지의 일 예를 나타낸다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 전극 특성 검출 장치의 개략적 구조를 나타낸다.
- 도 5는 도 4의 전극 특성 추정부의 개략적 구조와 학습 방법을 나타낸다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 전극 특성 검출 방법을 나타낸다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시예에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.
- [0025] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써, 본 발명을 상세히 설명한다. 그러



나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.

- [0026] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "블록" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0027] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 전극 특성 검출 장치의 개략적 구조를 나타내고, 도 5는 도 4의 전극 특성 추정부의 개략적 구조와 학습 방법을 나타낸다.
- [0028] 도 4를 참조하면, 본 실시예에 따른 전극 특성 검출 장치는 EIS 데이터 획득부(100)와 전극 특성 추출부(200)를 포함한다.
- [0029] EIS 데이터 획득부(100)는 기존과 동일하게 분석 대상이 되는 배터리에 기지정된 다양한 주파수 범위의 교류 전류를 인가하여, 주파수에 따른 진폭과 위상의 변화를 측정하여 EIS 데이터(X)를 획득한다. EIS 데이터 획득부(100)는 분석 대상 배터리에 대해 EIS를 수행하는 EIS 검사 장치로 구현될 수도 있으나, 미리 획득된 EIS 데이터(X)가 저장된 저장 장치 또는 EIS 데이터(X)를 인가받는 통신 모듈 등으로 구현될 수도 있다.
- [0030] 전극 특성 추출부(200)는 미리 학습된 인공 신경망으로 구현되어, EIS 데이터(X)가 인가되면 학습 방식에 따라 신경망 연산을 수행하여 기지정된 다수의 전극 특성( $\hat{Y}$ )을 추정하여 획득한다. 여기서 전극 특성 추출부(200)는 EIS로 획득할 수 없는 전극 특성( $\hat{Y}$ )을 획득할 수 있으며, SEM을 이용하여 획득할 수 있는 전극 특성과 EIS나 SEM을 이용하여 획득할 수 없는 전극 특성( $\hat{Y}$ ) 또한 획득할 수 있다. 예로서 전극 특성 추출부(200)는 SEM을 이용하여 획득할 수 있는 전극 특징( $\hat{Y}$ )으로 입자 크기 분포와 함께 EIS나 SEM으로도 획득할 수 없는 전극 특징( $\hat{Y}$ )인 고체 및 액체상에서의 굴곡도, 활물질과 전해질 접촉 비율, 활물질 및 도전재로 덮인 집전체 비율 등을 추정하여 획득할 수 있다.
- [0031] 특히 본 실시예에서 전극 특성 추출부(200)는 기지정된 다수의 전극 특성( $\hat{Y}$ )을 추출하는 과정에서 배터리 회로 모델에 대한 EIS 파라미터를 함께 추정하여 획득할 수 있다.
- [0032] 도 5를 참조하면, 본 실시예에 따른 전극 특성 추출부(200)는 각각 다수의 노드를 포함하는 n개의 연산 레이어( $l_1 \sim l_n$ )로 구성되는 인공 신경망으로 구현될 수 있다. 여기서 n개의 연산 레이어( $l_1 \sim l_n$ )로 구성되는 전극 특성 추출부(200)에서 제1 연산 레이어( $l_1$ )는 입력 레이어로서 EIS 데이터 획득부(100)에서 획득된 EIS 데이터(X)가 입력되고, 최종단에 위치하는 제n 연산 레이어( $l_n$ )는 출력 레이어로서 학습된 방식에 따라 요구되는 다수의 서로 다른 전극 특성( $\hat{Y}$ )을 출력할 수 있다. 그리고 n개의 연산 레이어( $l_1 \sim l_n$ ) 중 중간에 위치하는 연산 레이어는 은닉 레이어로서 제1 연산 레이어( $l_1$ )에 인가된 EIS 데이터로부터 제n 연산 레이어( $l_n$ )에서 출력되어야 하는 전극 특성( $\hat{Y}$ )을 추출하기 위한 중간 연산을 수행한다.
- [0033] 다만 본 실시예에서 전극 특성 추출부(200)는 중간 연산 레이어( $l_2 \sim l_{n-1}$ ) 중 기지정된 위치의 하나 연산 레이어(여기서는 일 예로 제n-1 연산 레이어( $l_{n-1}$ ))는 포함된 다수의 노드 중 기지정된 개수의 노드로 구성된 제1 노드 그룹( $N_1$ )이 EIS 데이터를 기반으로 회로 모델로 표현 가능한 EIS 파라미터들을 출력하도록 미리 학습된다. 여기서 회로 모델로 표현 가능한 EIS 파라미터는 상기한 바와 같이, 회로 모델의 각 구성 요소에 대한 임피던스일 수 있다. 제1 노드 그룹에 포함되지 않은 노드들로 구성된 나머지 노드들은 제2 노드 그룹( $N_2$ )에 포함되어 EIS 파라미터와 무관한 특성을 도출하도록 학습된다.
- [0034] 전극 특성 추출부(200)가 중간 연산 레이어( $l_2 \sim l_{n-1}$ ) 중 하나의 레이어에서 기지정된 제1 노드 그룹( $N_1$ )의 노드들이 EIS 파라미터를 추정하도록 하는 것은 EIS 데이터(X)만을 기반으로 기존에 EIS 데이터로 추정할 수 없는 다른 전극 특성( $\hat{Y}$ )을 추출할 때, 전극 특성 추출부(200)가 정상적으로 전극 특성( $\hat{Y}$ )을 추출하는지 부가적으로 확인할 수 있도록 하기 위함이다. 비록 명시적으로 EIS 데이터와 연관성이 명시적으로 밝혀지지 않은 전극 특

성( $\hat{Y}$ )에서도 EIS 데이터(X)에 대한 의존성이 포함되어 있다고 볼 수 있으므로, 제1 노드 그룹( $N_1$ )은 EIS 파라미터를 추출하도록 하여 EIS 데이터(X)와 연관된 특성이 제n 연산 레이어( $l_n$ )에서 출력되는 전극 특성( $\hat{Y}$ )에 반영되도록 하고, 제2 노드 그룹( $N_2$ )은 EIS 데이터(X)와 연관된 특성이 전극 특성( $\hat{Y}$ )에 반영되도록 하기 위함이다.

[0035] 여기서 제1 노드 그룹( $N_1$ )에 포함되는 노드들과 제2 노드 그룹( $N_2$ )에 포함되는 노드들은 별도로 구분되어 구성되는 것이 아니며, 제1 노드 그룹( $N_1$ )에 포함되는 노드들은 인공 신경망으로 구성되는 전극 특성 추출부(200)의 학습 과정에서 임의로 선택되는 노드이다. 그리고 도 4에서는 EIS 파라미터가 출력되는 레이어가 일 예로 n-1번째 연산 레이어( $l_{n-1}$ )인 것으로 도시하였으나, EIS 파라미터는 다른 중간 연산 레이어에서 출력되도록 구성될 수도 있다.

[0036] 이와 같이 전극 특성 추출부(200)가 EIS 데이터(X)만을 인가받아 SEM을 이용하여 획득할 수 있거나, EIS나 SEM으로도 획득할 수 없는 전극 특성( $\hat{Y}$ )을 추출하기 위해서는 다수의 학습 데이터를 기반으로 미리 학습되어야 한다. 이에 본 실시예의 전극 특성 검출 장치는 학습부(300)를 더 포함할 수 있다.

[0037] 도 4에 도시된 바와 같이, 학습부(300)는 회로 모델 구성부(310), EIS 데이터 재구성부(320), 제1 손실 계산부(330) 및 제2 손실 계산부(340)를 포함할 수 있다.

[0038] 회로 모델 구성부(310)는 도 2에 도시된 바와 같이, 분석 대상이 되는 배터리에 대한 회로 모델이 미리 획득되어 저장된다. 그리고 회로 모델 구성부(310)는 전극 특성 추출부(200)의 중간 연산 레이어( $l_2 \sim l_{n-1}$ ) 중 하나의 연산 레이어로부터 EIS 파라미터를 인가받아 회로 모델에 적용한다.

[0039] EIS 데이터 재구성부(320)는 EIS 파라미터가 적용된 회로 모델을 이용하여 재구성 EIS 데이터( $\hat{X}$ )를 획득한다. 상기한 바와 같이, EIS를 수행하여 획득된 EIS 데이터(X)에서는 등가 회로 모델의 각 구성의 임피던스가 도출될 수 있다. 따라서 정상적으로 학습된 EIS 파라미터가 회로 모델의 각 구성 요소에 대한 임피던스로 적용되면, 해당 회로 모델은 분석 대상 배터리의 등가 회로 모델인 것으로 볼 수 있다. 이에 EIS 파라미터가 적용된 등가 회로 모델을 기반으로 EIS 데이터(X)를 재구성하여 재구성 EIS 데이터( $\hat{X}$ )를 획득할 수 있다. 만일 전극 특성 추출부(200)가 정상적으로 학습되었다면, EIS 데이터(X)와 재구성 EIS 데이터( $\hat{X}$ )는 동일해야 한다.

[0040] 따라서 제1 손실 계산부(330)는 EIS 데이터(X)와 재구성 EIS 데이터( $\hat{X}$ ) 사이의 차이를 기지정된 방식으로 계산하여 제1 손실( $L_1$ )을 획득하고, 획득된 제1 손실( $L_1$ )을 전극 특성 추출부(200)에서 EIS 파라미터를 출력하는 연산 레이어의 제1 노드 그룹( $N_1$ )으로 인가하여 역전파시킴으로써, 전극 특성 추출부(200)를 학습시킨다.

[0041] 한편, 제2 손실 계산부(340)는 분석 대상인 배터리에 대해 다양한 방식으로 미리 획득된 학습 전극 특성(Y)과 전극 특성 추출부(200)가 EIS 데이터를 인가받아 출력하는 전극 특성( $\hat{Y}$ ) 사이의 차이를 기지정된 방식으로 계산하여 제2 손실( $L_2$ )을 획득하고, 획득된 제2 손실( $L_2$ )을 최종 연산 레이어( $l_n$ )로 인가하여 역전파 시킴으로써, 전극 특성 추출부(200)를 학습시킨다.

[0042] 즉 본 실시예에서 전극 특성 추출부(200)는 학습 시에 제1 손실( $L_1$ )은 EIS 파라미터를 출력하는 연산 레이어의 제1 노드 그룹( $N_1$ )으로 인가되고, 제2 손실( $L_2$ )은 최종 연산 레이어( $l_n$ )로 인가되어 역전파됨으로써 학습된다. 여기서 제1 손실( $L_1$ )과 제2 손실( $L_2$ )은 학습 시에 동시에 인가될 수 있다.

[0043] 이와 같은 학습 방식에 의해, 전극 특성 추출부(200)는 상기한 바와 같이, EIS 데이터에 연관되는 특성과 연관되지 않은 특성을 추정하여 최종적으로 요구되는 전극 특성을 도출할 수 있도록 학습된다.

[0044] 따라서 본 실시예의 전극 특성 검출 장치는 배터리에 대해 비파괴 방식으로 EIS를 수행하여 획득된 EIS 데이터만을 인가받아 SEM을 수행하여 획득할 수 있는 전극 특성과 EIS나 SEM으로도 획득할 수 없는 전극 특성을 모두 추정하여 획득할 수 있다. 뿐만 아니라, EIS 데이터로부터 별도로 구성된 회로 모델을 이용하지 않고서도 EIS 파라미터를 함께 획득할 수 있다. 결과적으로 분석 대상 배터리에 대해 EIS를 수행하여 획득된 EIS 데이터만으



로 EIS 파라미터와 다양한 전극 특성을 용이하게 획득할 수 있다.

- [0045] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 전극 특성 검출 방법을 나타낸다.
- [0046] 도 4 및 도 5를 참조하여, 도 6의 전극 특성 검출 방법을 설명하면, 우선 EIS 데이터를 인가받아 전극 특성을 추출하는 인공 신경망인 전극 특성 추출부(200)를 학습시키는 학습 단계(S10)를 수행한다.
- [0047] 학습 단계(S10)에서는 먼저 미리 획득된 학습 EIS 데이터(X)를 전극 특성 추출부(200)로 인가한다(S11). 여기서 학습 EIS 데이터(X)는 다양한 방식에 따라 전극 특성이 미리 획득된 다수의 배터리에 각각 대해 EIS를 수행하여 획득된 데이터이며, 획득된 전극 특성이 학습 전극 특성으로 매칭된 데이터이다.
- [0048] 다수의 연산 레이어를 포함하는 인공 신경망으로 구현된 전극 특성 추출부(200)는 인가된 학습 EIS 데이터(X)로부터 EIS 파라미터와 전극 특성을 추출한다(S12). 이때, 전극 특성은 다수의 연산 레이어 중 최종 연산 레이어에서 출력되며, EIS 파라미터는 다수의 연산 레이어 중 중간 연산 레이어 중 지정된 하나의 연산 레이어에 포함된 다수의 노드 중 기지정된 개수의 노드로부터 출력된다.
- [0049] 전극 특성 추출부(200)로부터 EIS 파라미터와 전극 특성이 추출되면, 추출된 EIS 파라미터를 배터리에 대응하여 미리 설정된 회로 모델에 적용하여 등가 회로 모델을 획득한다(S13). 그리고 획득된 등가 회로 모델을 이용하여 EIS 데이터를 재구성하여 재구성 EIS 데이터를 획득한다(S14).
- [0050] 재구성 EIS 데이터가 획득되면, 학습 EIS 데이터(X)와 재구성 EIS 데이터( $\hat{X}$ ) 사이의 차이를 기지정된 방식으로 계산하여 제1 손실( $L_1$ )을 획득한다(S15). 이와 함께 미리 획득된 학습 전극 특성(Y)과 전극 특성 추출부(200)에서 출력된 전극 특성( $\hat{Y}$ ) 사이의 차이를 기지정된 방식으로 계산하여 제2 손실( $L_2$ )을 획득한다(S16). 이후 획득된 제1 손실( $L_1$ )을 전극 특성 추출부(200)에서 EIS 파라미터를 출력하는 연산 레이어의 노드들로 인가하고, 제2 손실( $L_2$ )을 최종 연산 레이어( $l_n$ )로 인가하여 역전파 시킴으로써 전극 특성 추출부(200)를 학습시킨다(S17).
- [0051] 이후 학습을 종료할지 여부를 판별한다(S18). 학습은 기지정된 횟수만큼 수행되거나, 제1 및 제2 손실( $L_1, L_2$ )이 기지정된 기준 손실 이하인 경우 종료될 수 있다. 만일 학습을 종료하지 않는 것으로 판별되면, 다시 학습 EIS 데이터(X)를 전극 특성 추출부(200)로 인가하여 학습 단계를 반복 수행한다. 그러나 학습을 종료하는 것으로 판별되면, 전극 특성 검출 단계(S20)를 수행한다.
- [0052] 전극 특성 검출 단계(S20)에서는 분석 대상이 되는, 즉 전극 특성을 검출하고자 하는 배터리에 대해 EIS를 수행하여 획득된 EIS 데이터를 학습된 인공 신경망으로 구현된 전극 특성 추출부(200)로 인가한다(S21).
- [0053] 이에 학습 단계에서 학습된 인공 신경망으로 구현된 전극 특성 추출부(200)는 학습된 방식에 따라 신경망 연산을 수행하여 전극 특성을 추출하여 획득한다(S22). 이때, 전극 특성 추출부(200)는 전극 특성을 추출하는 과정에서 중간 레이어가 획득하는 EIS 파라미터를 함께 출력할 수도 있다.
- [0054] 본 발명에 따른 방법은 컴퓨터에서 실행시키기 위한 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 여기서 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스 될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 또한 컴퓨터 저장 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함하며, ROM(판독 전용 메모리), RAM(랜덤 액세스 메모리), CD(컴팩트 디스크)-ROM, DVD(디지털 비디오 디스크)-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광데이터 저장장치 등을 포함할 수 있다.
- [0055] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.
- [0056] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

## 부호의 설명

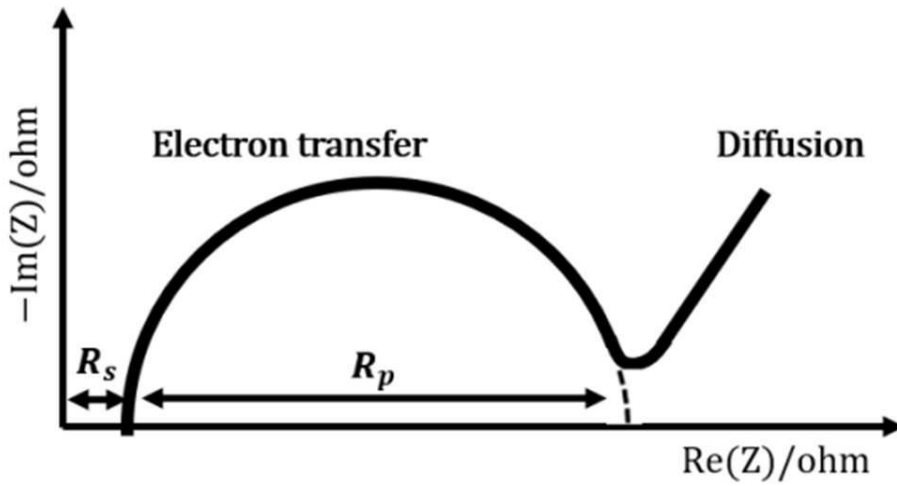
- [0057] 100: EIS 데이터 획득부    200: 전극 특성 추출부  
300: 학습부            310: 회로 모델 구성부

320: EIS 데이터 재구성부 330: 제1 손실 계산부

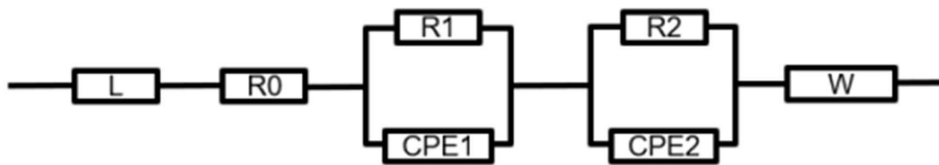
340: 제2 손실 계산부

도면

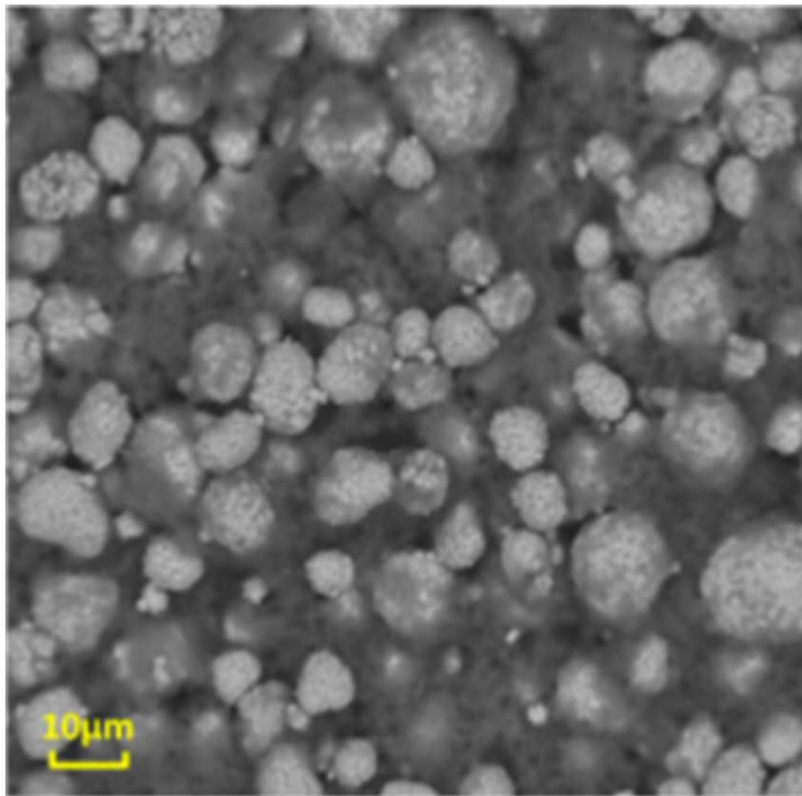
도면1



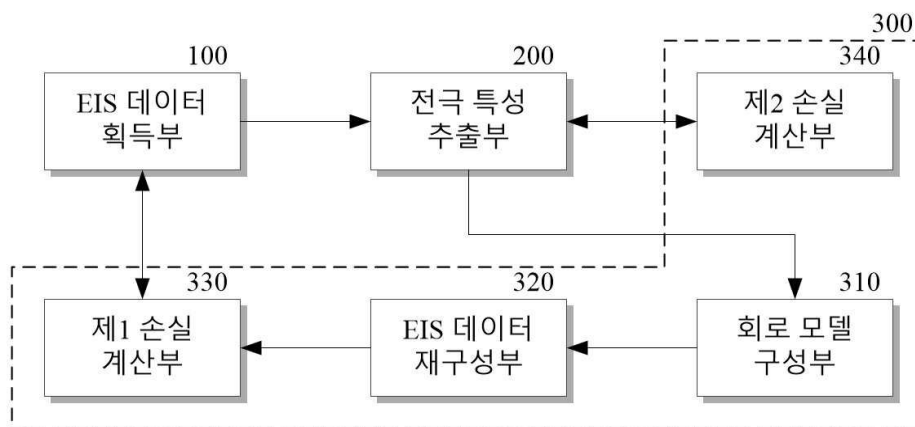
도면2



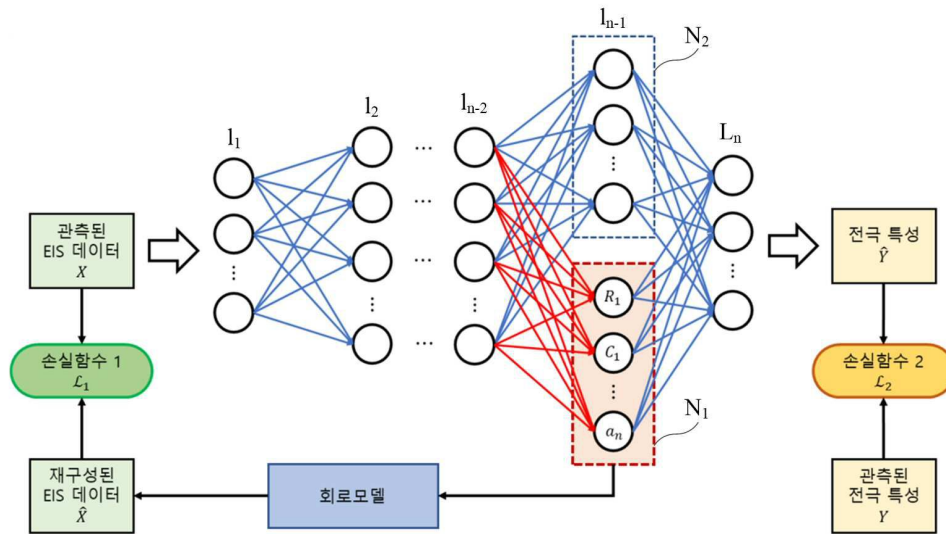
도면3



도면4



도면5



도면6

