



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0036777
(43) 공개일자 2023년03월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06Q 50/06 (2012.01) G01D 21/02 (2006.01)
G06F 11/30 (2006.01) G06F 119/06 (2020.01)
G06F 30/20 (2020.01) G06Q 50/10 (2012.01)
G08B 21/18 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G06Q 50/06 (2013.01)
G01D 21/02 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0119650

(22) 출원일자 2021년09월08일

심사청구일자 2021년09월08일

(71) 출원인

울산대학교 산학협력단

울산광역시 남구 대학로 93(무거동)

(72) 발명자

안경관

울산광역시 남구 대공원로 207, 102동 402호(신정동, 대공원 월드메르디앙)

도, 치 크영

울산광역시 남구 대학로 93(무거동, 울산대학교)

(74) 대리인

김정수

전체 청구항 수 : 총 15 항

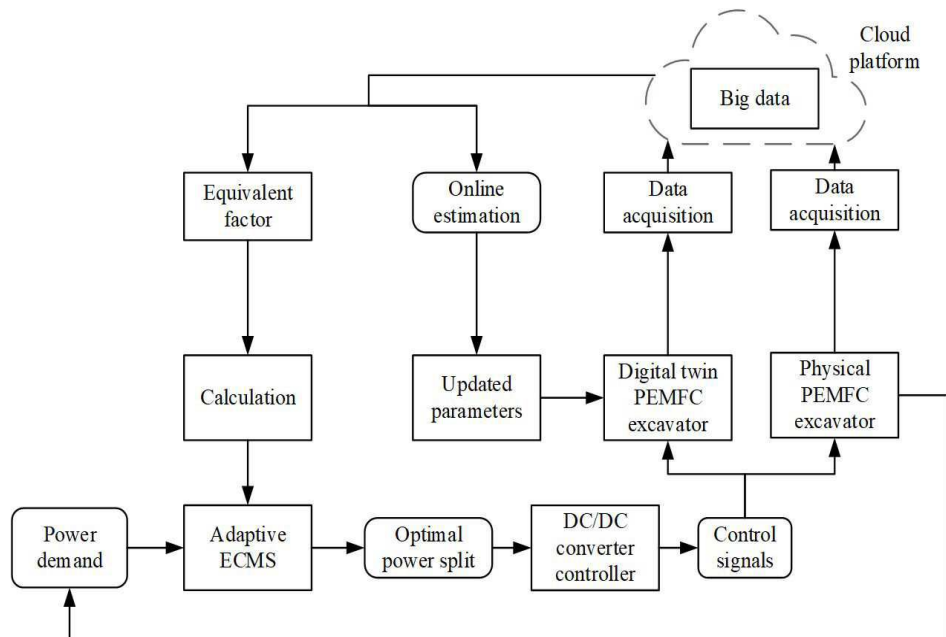
(54) 발명의 명칭 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은 양성자 교환막 연료전지(Proton Exchange Membrane Fuel Cell ; PEM FC)와 같은 연료전지 시스템의 에너지 관리계획(Energy Management Strategy ; EMS)에 관한 것으로, 본 발명에 따르면, 연료전지 시스템에 대한 최적의 에너지 관리계획(EMS)을 수립하기 위한 방법이 제시된 바 없었던 종래기술의 연료전지 시스템들의 문

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



제점을 해결하기 위해, 실제 PEM FC 굴착기(Excavator)의 동작에 대한 각종 파라미터를 센서로 측정하여 수집하고, 수집된 데이터를 클라우드와 같은 온라인 플랫폼으로 전송하여 저장하며, 디지털 트윈 PEM FC 굴착기 모델을 통해 각각의 파라미터 값을 추정하고, 시뮬레이션 결과를 클라우드로 업로드하여 실제 데이터와 비교하는 작업을 반복 수행하여 최적의 파라미터 값을 결정하는 적응형 등가 에너지소비 최소화 전략(Adaptive Equivalent Consumption Minimization Strategy ; A-ECMS)에 의해 최적화된 에너지 관리계획(EMS)을 수립하여, 연료전지 시스템에 대한 최적의 에너지 관리가 이루어질 수 있도록 구성되는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법이 제공된다.

(52) CPC특허분류

G06F 11/3065 (2013.01)

G06F 30/20 (2020.01)

G06Q 50/10 (2015.01)

G08B 21/18 (2013.01)

G06F 2119/06 (2020.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711110290
과제번호	2020R1A2B5B03001480
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	중견연구자지원사업
연구과제명	유체마찰전기 기반의 고효율 에너지 수확장치 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	울산대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2023.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345341781
과제번호	2021RIS-003
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	지자체-대학 협력기반 지역혁신사업
연구과제명	수소 건설기계 가상화 시스템 및 응용 기술 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	울산대학교
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

디지털 트윈(Digital Twin)을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템에 있어서,

연료전지(Fuel Cell ; FC)를 이용하여 구동되는 실제 물리적(physical) 연료전지 시스템의 각 부분에 대하여 센서를 통해 측정된 각각의 측정값 및 상기 연료전지 시스템의 동작에 대한 모니터링을 통해 얻어지는 각종 파라미터를 포함하는 데이터를 수집하는 처리가 수행되는 데이터 수집부;

디지털 트윈 기술을 이용하여, 상기 연료전지 시스템에 대한 디지털 트윈 모델을 생성하고 각각의 파라미터에 대한 추정값을 산출하는 처리가 수행되는 디지털 트윈 처리부;

상기 데이터 수집부 및 상기 디지털 트윈 처리부로부터 각각 전송되는 데이터를 수신하여 데이터베이스를 구축하고 상기 연료전지 시스템에 대한 각각의 파라미터를 업데이트하는 처리가 수행되는 클라우드 플랫폼;

상기 클라우드 플랫폼으로부터 수신된 업데이트된 파라미터를 이용하여 상기 연료전지 시스템의 동작을 최적화하는 처리가 수행되는 최적화 처리부; 및

상기 에너지 관리시스템의 전체적인 동작을 제어하는 제어부를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 데이터 수집부는,

상기 연료전지 시스템에 대하여 센서를 통해 측정된 전원 전압, 수소 및 산소 포트의 유량(flow rate)과 압력(pressure), 연료전지 스택의 온도와 습도, 액추에이터의 전력, 실린더(cylinder)의 변위(displacement), 스윙 모터(swing motor) 및 주행모터(travelling motor)의 속도(speed)와 토크(torque)를 포함하는 각종 측정값을 수집하여 상기 클라우드 플랫폼으로 전송하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 디지털 트윈 처리부는,

디지털 트윈 기술을 이용하여 상기 연료전지 시스템에 대한 디지털 트윈 모델을 생성하고, 생성된 상기 디지털 트윈 모델을 통해 상기 연료전지 시스템의 동작에 대한 시뮬레이션을 수행하여 각각의 파라미터에 대한 추정값을 산출하며,

산출결과를 포함하는 각종 데이터를 미리 정해진 설정에 따라 상기 클라우드 플랫폼으로 전송하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 클라우드 플랫폼은

상기 데이터 수집부 및 상기 디지털 트윈 처리부로부터 각각 전송된 데이터를 수집하여 데이터베이스의 형태로 저장하는 것에 의해 상기 연료전지 시스템에 대한 데이터베이스 및 빅데이터를 구축하고,

상기 데이터 수집부 및 상기 디지털 트윈 처리부로부터 각각 전송되는 센서 측정값과 디지털 트윈을 통한 시뮬레이션 결과 추정값을 비교하는 과정을 미리 정해진 설정에 따라 지정된 간격으로 반복 수행하는 것에 의해 상기 디지털 트윈 모델의 각각의 출력 파라미터가 실제 측정값에 최대한 근접하도록 최적화된 값으로 업데이트하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 클라우드 플랫폼은,

상기 데이터 수집부 및 상기 디지털 트윈 처리부로부터 전송되는 각종 데이터를 저장하고 처리하기 위해, 썬스피크(Thingspeak) 클라우드 플랫폼을 이용하여 구성되는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 클라우드 플랫폼은,

상기 썬스피크(Thingspeak) 클라우드 플랫폼에서 업데이트된 각각의 파라미터를 썬스피크(Thingspeak)의 입력터미널을 통해 상기 디지털 트윈 처리부에서 생성된 상기 디지털 트윈 모델에 적용하며,

상기 디지털 트윈 처리부는,

신경망(neural network)을 이용한 연료전지 그레이박스(gray box) 및 Ansys CFD를 이용한 3D 물리모델(physical model)로 상기 디지털 트윈 모델을 훈련하고 업데이트하며, 업데이트된 상기 디지털 트윈 모델의 출력데이터를 썬스피크(Thingspeak)의 출력터미널을 통해 상기 클라우드 플랫폼으로 전송하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 최적화 처리부는,

상기 클라우드 플랫폼으로부터 상기 디지털 트윈 모델의 업데이트된 출력데이터를 수신하고, 적응형 등가 에너지소비 최소화 전략(Adaptive Equivalent Consumption Minimization Strategy ; A-ECMS)을 이용하여 상기 연료전지 시스템에 대하여 최적화된 에너지 관리계획(Energy Management Strategy ; EMS)을 수립하며,

수립된 상기 에너지 관리계획(EMS)에 따라 상기 연료전지 시스템의 전력분배를 제어하는 것에 의해 상기 연료전지 시스템의 동작을 최적화하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 연료전지는,

양성자 교환막 연료전지(Proton Exchange Membrane Fuel Cell ; PEM FC), 고체산화물 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell ; SOFC), 인산 연료전지(Phosphoric Acid Fuel Cell ; PAFC) 중 적어도 하나를 이용하여 구성되는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템.

청구항 9

제 1항에 있어서,

상기 연료전지 시스템은,

PEM FC 굴착기(Excavator)를 포함하는 연료전지를 이용하여 구동되는 장치로 구성되는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템.

청구항 10

제 1항에 있어서,

상기 에너지 관리시스템은,

상기 연료전지 시스템의 현재 상태 및 동작을 측정하기 위해 상기 연료전지 시스템의 미리 정해진 위치에 각각 설치되는 다수의 측정센서를 포함하여 이루어지는 센서부;

상기 데이터 수집부, 상기 디지털 트윈 처리부, 상기 클라우드 플랫폼, 상기 최적화 처리부 및 상기 제어부 사이의 데이터 전송 및 서버를 포함하는 외부 기기나 다른 에너지 관리시스템들과 각종 데이터를 주고받기 위해 유선 또는 무선 통신 중 적어도 하나의 방식으로 통신을 수행하도록 이루어지는 통신부; 및

상기 에너지 관리시스템의 각 부분의 현재 상태 및 동작과 처리결과를 포함하는 각종 데이터를 표시하기 위한 디스플레이를 포함하는 표시수단을 포함하여 이루어지는 출력부를 더 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템.

청구항 11

제 1항에 있어서,

상기 에너지 관리시스템은,

상기 에너지 관리시스템의 전체적인 동작을 모니터링하고 각각의 측정값에 근거하여 이상발생을 판단하며, 이상 발생시 알람(alarm)을 발생하고 미리 설정된 연락처에 해당 사실을 통지하거나 미리 정해진 담당자나 관계기관에 연락하여 대응하도록 하는 처리가 수행되도록 이루어지는 이상발생 감지부를 더 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템.

청구항 12

제 1항에 있어서,

상기 에너지 관리시스템은,

상기 에너지 관리시스템을 각각의 설비별 또는 지역별로 다수개 설치하고, 각각의 상기 에너지 관리시스템을 통해 취득되는 모니터링 데이터를 중앙의 서버로 전송하도록 구성됨으로써,

광범위한 지역에 대하여도 모니터링 작업이 용이하게 이루어질 수 있도록 구성되는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템.

청구항 13

연료전지 시스템의 에너지 관리방법에 있어서,

연료전지 시스템의 에너지 관리를 위한 관리시스템을 구현하는 처리가 수행되는 시스템 구축단계; 및

상기 관리시스템을 이용하여 상기 연료전지 시스템의 상태 및 동작을 모니터링하고 제어하는 처리가 수행되는 관리단계를 포함하여 구성되고,

상기 관리시스템은,

청구항 1항 내지 청구항 12항 중 어느 한 항에 기재된 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템을 이용하여 구성되는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리방법.

청구항 14

연료전지 모니터링 시스템에 있어서,

각각의 설비나 지역별로 설치되는 복수의 연료전지 관리시스템;

각각의 설비 또는 지역별로 설치되어 있는 각각의 상기 연료전지 관리시스템들로부터 모니터링 정보를 각각 수신하여 각각의 연료전지 시스템의 운전에 대한 빅데이터를 구축하고, 사용자의 요청에 따라 해당하는 각종 정보를 맞춤형으로 제공하는 처리가 수행되도록 이루어지는 관제서버; 및

사용자가 원하는 정보를 상기 연료전지 관리시스템이나 상기 관제서버에 요청하고 전달받기 위한 사용자 단말기를 포함하여 구성되고,

상기 연료전지 관리시스템은,

청구항 1항 내지 청구항 12항 중 어느 한 항에 기재된 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템을 이용하여 구성되는 것을 특징으로 하는 연료전지 모니터링 시스템.

청구항 15

제 14항에 있어서,

상기 사용자 단말기는,

PC를 포함하는 정보처리장치를 이용하여 구성되거나,

또는, 스마트폰이나 태블릿 PC, 또는, 노트북을 포함하는 개인이 휴대 가능한 정보통신 단말기에 전용의 어플리케이션을 설치하여 구성되는 것을 특징으로 하는 연료전지 모니터링 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 연료전지(Fuel Cell ; FC)를 이용하는 시스템의 에너지 관리계획(Energy Management Strategy ; EMS)을 수립하기 위한 장치 및 방법에 관한 것으로, 더 상세하게는, 예를 들면, 양성자 교환막 연료전지(Proton Exchange Membrane Fuel Cell ; PEM FC)와 같이, 연료전지로 구동되는 시스템의 원활한 작동 및 고성능을 보장하기 위하여는 전력 요구를 적절하게 분배하는 것이 요구되나, 이와 같이 최적의 에너지 관리계획(EMS)을 수립하기 위한 방법에 대하여는 제시된 바 없었던 종래기술의 연료전지 시스템들의 문제점을 해결하기 위해, 디지털 트윈(Digital Twin) 모델을 이용하여 최적의 에너지 관리계획(EMS)을 수립하고 수립된 계획에 따라 연료전지 시스템에 대하여 최적의 에너지 관리가 이루어질 수 있도록 구성되는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법에 관한 것이다.

[0003] 또한, 본 발명은, 상기한 바와 같이 연료전지 시스템에 대하여 최적의 에너지 관리계획(EMS)을 수립하기 위한 장치 및 방법에 대하여 제시된 바 없었던 종래기술의 연료전지 시스템들의 문제점을 해결하기 위해, 실제 PEM FC 굴착기(Excavator)의 동작에 대한 각종 파라미터를 센서로 측정하여 수집하고, 수집된 데이터를 클라우드와 같은 온라인 플랫폼으로 전송하여 저장하며, 디지털 트윈 PEM FC 굴착기 모델을 통해 각각의 파라미터 값을 추정하고, 시뮬레이션 결과를 클라우드로 업로드하여 실제 데이터와 비교하는 작업을 반복 수행하여 최적의 파라미터 값을 결정하는 적응형 등가 에너지소비 최소화 전략(Adaptive Equivalent Consumption Minimization Strategy ; A-ECMS)에 의해 최적화된 에너지 관리계획(EMS)을 수립하도록 구성됨으로써, 수립된 계획에 따라 해당 PEM FC 굴착기에 대하여 최적의 에너지 관리가 이루어질 수 있도록 구성되는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 일반적으로, 연료전지(Fuel Cell ; FC)는, 연소과정을 통한 기존의 에너지 변환과 달리 화학에너지를 전기에너지로 변환하는 전기화학 장치의 일종으로, 최근, 에너지 소비의 증가 및 그에 따라 날로 심각해지는 환경오염 문제로 인해 친환경 기술에 대한 요구가 높아지는 추세에 따라 미래 전력 응용분야에서 새로운 대체 에너지로 주목받고 있다.

[0007] 즉, 종래의 화석연료 플랜트(fossil fuel plant)의 효율이 대략 33% 정도인 반면 연료전지는 45% ~ 60%의 효율을 가지며, 비교적 높은 에너지 밀도와 높은 변환효율 및 배기가스가 발생하지 않는 등의 장점과, 물 및 열 관리가 열악한 장치의 동작조건에 대하여 신뢰성, 내구성 및 안정성을 가지는 특성으로 인해 휴대용 전원, 차량용 전원공급 장치 및 발전소 등에서 가장 유망한 미래 에너지로 주목받고 있다.

[0009] 또한, 연료전지의 종류로는 양성자 교환막 연료전지(Proton Exchange Membrane Fuel Cell ; PEM FC), 고체산화물 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell ; SOFC), 인산 연료전지(Phosphoric Acid Fuel Cell ; PAFC) 등이 있으며, 각 연료전지의 특성상 발전용량이 크고 기저전력을 공급하는 용도로는 PAFC가 적합하고, 전력사용량 변동이 잦은 건물 발전이나 이동식 발전 등에는 PEM FC가 유리하다.

[0011] 아울러, 최근에는, 이러한 연료전지를 일반 차량뿐만 아니라 굴삭기와 같은 건설장비 등에도 적용하여, 예를 들면, PEM FC 굴착기(Excavator)와 같이, 기존의 내연기관이 아닌 전기로 구동되는 전기식 굴착기에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있다.

[0013] 여기서, 상기한 바와 같은 전기식 굴착기에 대한 종래기술의 예로는, 예를 들면, 한국 공개특허공보 제10-2021-0075258호에 제시된 바와 같은 "에너지 저장장치를 이용한 전기식 굴착기"가 있다.

[0015] 더 상세하게는, 상기한 한국 공개특허공보 제10-2021-0075258호는, 실린더계 작동부에 제공되는 동력을 발생시키는 메인 전기모터와; 메인 전기모터에 의해 작동되어 유압을 제공하는 유압펌프와; 유압펌프에서 발생된 유압을 조절하여 실린더계 작동부에 인가하는 메인 컨트롤밸브와; 회전계 작동부에 제공되는 동력을 발생시키는 회전계 전기모터; 및 메인 전기모터와 회전계 전기모터에 각각 전력을 공급하는 에너지 저장장치를 포함하여, 실린더에 의해 실린더 구동이 이루어지는 실린더계 작동부와 전기모터에 의해 회전 구동이 이루어지는 회전계 작동부가 분리되어 구성되는 에너지 저장장치를 이용한 전기식 굴착기에 관한 것이다.

[0017] 상기한 바와 같이, 종래, 전기식 굴착기에 대하여 다양한 장치 및 방법들이 제시된 바 있으나, 상기한 바와 같은 종래기술의 내용들은 다음과 같은 한계가 있는 것이었다.

- [0019] 즉, PEM FC 굴착기를 개발하기 위한 연구는 결합감지, 잔여 유효수명, 플랜트 제어의 균형, 특히, 연료전지 스택, 배터리 유닛 및 슈퍼커패시터 뱅크의 에너지 흐름을 효율적으로 조절하도록 설계된 에너지 관리계획(Energy Management Strategy ; EMS) 등과 같은 다양한 분야에 대하여 이루어지며, 시스템의 원활한 작동 및 고성능을 보장하기 위하여는 전원 간에 전력 요구를 어떻게 분배할지를 적절하게 결정하는 최적의 에너지 관리계획(EMS)이 요구된다.
- [0021] 더욱이, 에너지 관리계획(EMS)에 따라 최적의 에너지 관리가 이루어진다면 연료소비 최소화나 전원유지 등과 같은 여러 관련 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대되며, 이와 같이 최적의 EMS를 수립하기 위하여는 수립된 EMS를 실제 테스트 벤치에 적용하기 전에 각 장비의 안전성과 내구성을 보장하기 위해, 수학적 모델이나, 또는, 예를 들면, 디지털 트윈(Digital Twin) 시스템과 같은 시뮬레이션 시스템에서 설계 및 테스트를 수행해야 한다.
- [0023] 여기서, 수학적 공식을 기반으로 구축된 수학적 모델은 물리적 PEM FC 굴착기의 모든 속성을 표현할 수 없으나, 디지털 트윈은 물리적 시스템이 변경됨에 따라 지속적으로 업데이트될 수 있는 물리적 시스템의 가상모델로 해석될 수 있으므로 수학적 모델보다 더 현실적이고 정확하다.
- [0025] 그러나 상기한 바와 같은 종래기술의 전기식 굴착기들에서는 상기한 바와 같이 최적의 에너지 관리계획(EMS)을 수립하기 위한 방법이나 디지털 트윈을 이용한 시뮬레이션을 수행하기 위한 장치 및 방법에 대하여는 제시된 바 없었다.
- [0027] 따라서 상기한 바와 같은 종래기술의 전기식 굴착기들의 한계를 해결하기 위하여는, 디지털 트윈 기술을 이용하여 연료전지를 이용하는 시스템에 대하여 최적의 에너지 관리계획(EMS)을 수립할 수 있도록 구성되는 새로운 구성의 연료전지 시스템에 대한 에너지 관리시스템 및 방법을 제시하는 것이 바람직하나, 아직까지 그러한 요구를 모두 만족시키는 장치나 방법은 제시되지 못하고 있는 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0029] (특허문헌 0001) 한국 공개특허공보 제10-2021-0075258호 (2021.06.23.)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0030] 본 발명은 상기한 바와 같은 종래기술의 문제점을 해결하고자 하는 것으로, 따라서 본 발명의 목적은, 예를 들면, 양성자 교환막 연료전지(Proton Exchange Membrane Fuel Cell ; PEM FC)와 같이, 연료전지(FC)로 구동되는 시스템의 원활한 작동 및 고성능을 보장하기 위하여는 전력 요구를 적절하게 분배하는 것이 요구되나, 연료전지 시스템에 대한 최적의 에너지 관리계획(EMS)을 수립하기 위한 방법에 대하여는 제시된 바 없었던 종래기술의 연료전지 시스템들의 문제점을 해결하기 위해, 디지털 트윈(Digital Twin) 모델을 이용하여 최적의 에너지 관리계획(EMS)을 수립하고 수립된 계획에 따라 연료전지 시스템에 대하여 최적의 에너지 관리가 이루어질 수 있도록 구성되는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법을 제시하고자 하는 것이다.
- [0032] 또한, 본 발명의 다른 목적은, 상기한 바와 같이 연료전지 시스템에 대하여 최적의 에너지 관리계획(EMS)을 수립하기 위한 장치 및 방법에 대하여 제시된 바 없었던 종래기술의 연료전지 시스템들의 문제점을 해결하기 위해, 실제 PEM FC 굴착기(Excavator)의 동작에 대한 각종 파라미터를 센서로 측정하여 수집하고, 수집된 데이터를 클라우드와 같은 온라인 플랫폼으로 전송하여 저장하며, 디지털 트윈 PEM FC 굴착기 모델을 통해 각각의

파라미터 값을 추정하고, 시뮬레이션 결과를 클라우드로 업로드하여 실제 데이터와 비교하는 작업을 반복 수행하여 최적의 파라미터 값을 결정하는 적응형 등가 에너지소비 최소화 전략(Adaptive Equivalent Consumption Minimization Strategy ; A-ECMS)에 의해 최적화된 에너지 관리계획(EMS)을 수립하도록 구성됨으로써, 수립된 계획에 따라 해당 PEM FC 굴착기에 대하여 최적의 에너지 관리가 이루어질 수 있도록 구성되는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법을 제시하고자 하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0034] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위해, 본 발명에 따르면, 디지털 트윈(Digital Twin)을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템에 있어서, 연료전지(Fuel Cell ; FC)를 이용하여 구동되는 실제 물리적(physical) 연료전지 시스템의 각 부분에 대하여 센서를 통해 측정된 각각의 측정값 및 상기 연료전지 시스템의 동작에 대한 모니터링을 통해 얻어지는 각종 파라미터를 포함하는 데이터를 수집하는 처리가 수행되는 데이터 수집부; 디지털 트윈 기술을 이용하여, 상기 연료전지 시스템에 대한 디지털 트윈 모델을 생성하고 각각의 파라미터에 대한 추정값을 산출하는 처리가 수행되는 디지털 트윈 처리부; 상기 데이터 수집부 및 상기 디지털 트윈 처리부로부터 각각 전송되는 데이터를 수신하여 데이터베이스를 구축하고 상기 연료전지 시스템에 대한 각각의 파라미터를 업데이트하는 처리가 수행되는 클라우드 플랫폼; 상기 클라우드 플랫폼으로부터 수신된 업데이트된 파라미터를 이용하여 상기 연료전지 시스템의 동작을 최적화하는 처리가 수행되는 최적화 처리부; 및 상기 에너지 관리 시스템의 전체적인 동작을 제어하는 제어부를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템이 제공된다.
- [0036] 여기서, 상기 데이터 수집부는, 상기 연료전지 시스템에 대하여 센서를 통해 측정된 전원 전압, 수소 및 산소 포트의 유량(flow rate)과 압력(pressure), 연료전지 스택의 온도와 습도, 액추에이터의 전력, 실린더(cylinder)의 변위(displacement), 스윙모터(swing motor) 및 주행모터(travelling motor)의 속도(speed)와 토크(torque)를 포함하는 각종 측정값을 수집하여 상기 클라우드 플랫폼으로 전송하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0038] 또한, 상기 디지털 트윈 처리부는, 디지털 트윈 기술을 이용하여 상기 연료전지 시스템에 대한 디지털 트윈 모델을 생성하고, 생성된 상기 디지털 트윈 모델을 통해 상기 연료전지 시스템의 동작에 대한 시뮬레이션을 수행하여 각각의 파라미터에 대한 추정값을 산출하며, 산출결과를 포함하는 각종 데이터를 미리 정해진 설정에 따라 상기 클라우드 플랫폼으로 전송하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0040] 아울러, 상기 클라우드 플랫폼은 상기 데이터 수집부 및 상기 디지털 트윈 처리부로부터 각각 전송된 데이터를 수집하여 데이터베이스의 형태로 저장하는 것에 의해 상기 연료전지 시스템에 대한 데이터베이스 및 빅데이터를 구축하고, 상기 데이터 수집부 및 상기 디지털 트윈 처리부로부터 각각 전송되는 센서 측정값과 디지털 트윈을 통한 시뮬레이션 결과 추정값을 비교하는 과정을 미리 정해진 설정에 따라 지정한 간격으로 반복 수행하는 것에 의해 상기 디지털 트윈 모델의 각각의 출력 파라미터가 실제 측정값에 최대한 근접하도록 최적화된 값으로 업데이트하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0042] 여기서, 상기 클라우드 플랫폼은, 상기 데이터 수집부 및 상기 디지털 트윈 처리부로부터 전송되는 각종 데이터를 저장하고 처리하기 위해, 썬스피크(Thingspeak) 클라우드 플랫폼을 이용하여 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0044] 더욱이, 상기 클라우드 플랫폼은, 상기 썬스피크(Thingspeak) 클라우드 플랫폼에서 업데이트된 각각의 파라미터를 썬스피크(Thingspeak)의 입력터미널을 통해 상기 디지털 트윈 처리부에서 생성된 상기 디지털 트윈 모델에 적용하며, 상기 디지털 트윈 처리부는, 신경망(neural network)을 이용한 연료전지 그레이박스(gray box) 및 Ansys CFD를 이용한 3D 물리모델(physical model)로 상기 디지털 트윈 모델을 훈련하고 업데이트하며, 업데이트된 상기 디지털 트윈 모델의 출력데이터를 썬스피크(Thingspeak)의 출력터미널을 통해 상기 클라우드 플랫폼으

로 전송하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

- [0046] 또한, 상기 최적화 처리부는, 상기 클라우드 플랫폼으로부터 상기 디지털 트윈 모델의 업데이트된 출력데이터를 수신하고, 적응형 등가 에너지소비 최소화 전략(Adaptive Equivalent Consumption Minimization Strategy ; A-ECMS)을 이용하여 상기 연료전지 시스템에 대하여 최적화된 에너지 관리계획(Energy Management Strategy ; EMS)을 수립하며, 수립된 상기 에너지 관리계획(EMS)에 따라 상기 연료전지 시스템의 전력분배를 제어하는 것에 의해 상기 연료전지 시스템의 동작을 최적화하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0048] 여기서, 상기 연료전지는, 양성자 교환막 연료전지(Proton Exchange Membrane Fuel Cell ; PEM FC), 고체산화물 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell ; SOFC), 인산 연료전지(Phosphoric Acid Fuel Cell ; PAFC) 중 적어도 하나를 이용하여 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0050] 아울러, 상기 연료전지 시스템은, PEM FC 굴착기(Excavator)를 포함하는 연료전지를 이용하여 구동되는 장치로 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0052] 더욱이, 상기 에너지 관리시스템은, 상기 연료전지 시스템의 현재 상태 및 동작을 측정하기 위해 상기 연료전지 시스템의 미리 정해진 위치에 각각 설치되는 다수의 측정센서를 포함하여 이루어지는 센서부; 상기 데이터 수집부, 상기 디지털 트윈 처리부, 상기 클라우드 플랫폼, 상기 최적화 처리부 및 상기 제어부 사이의 데이터 전송 및 서버를 포함하는 외부 기기나 다른 에너지 관리시스템들과 각종 데이터를 주고받기 위해 유선 또는 무선 통신 중 적어도 하나의 방식으로 통신을 수행하도록 이루어지는 통신부; 및 상기 에너지 관리시스템의 각 부분의 현재 상태 및 동작과 처리결과를 포함하는 각종 데이터를 표시하기 위한 디스플레이를 포함하는 표시수단을 포함하여 이루어지는 출력부를 더 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0054] 또한, 상기 에너지 관리시스템은, 상기 에너지 관리시스템의 전체적인 동작을 모니터링하고 각각의 측정값에 근거하여 이상발생을 판단하며, 이상발생시 알람(alarm)을 발생하고 미리 설정된 연락처에 해당 사실을 통지하거나 미리 정해진 담당자나 관계기관에 연락하여 대응하도록 하는 처리가 수행되도록 이루어지는 이상발생 감지부를 더 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0056] 아울러, 상기 에너지 관리시스템은, 상기 에너지 관리시스템을 각각의 설비별 또는 지역별로 다수개 설치하고, 각각의 상기 에너지 관리시스템을 통해 취득되는 모니터링 데이터를 중앙의 서버로 전송하도록 구성됨으로써, 광범위한 지역에 대하여도 모니터링 작업이 용이하게 이루어질 수 있도록 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0058] 더욱이, 본 발명에 따르면, 연료전지 시스템의 에너지 관리방법에 있어서, 연료전지 시스템의 에너지 관리를 위한 관리시스템을 구현하는 처리가 수행되는 시스템 구축단계; 및 상기 관리시스템을 이용하여 상기 연료전지 시스템의 상태 및 동작을 모니터링하고 제어하는 처리가 수행되는 관리단계를 포함하여 구성되고, 상기 관리시스템은, 상기에 기재된 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템을 이용하여 구성되는 것을 특징으로 하는 연료전지 시스템의 에너지 관리방법이 제공된다.
- [0060] 또한, 본 발명에 따르면, 연료전지 모니터링 시스템에 있어서, 각각의 설비나 지역별로 설치되는 복수의 연료전지 관리시스템; 각각의 설비 또는 지역별로 설치되어 있는 각각의 상기 연료전지 관리시스템들로부터 모니터링 정보를 각각 수신하여 각각의 연료전지 시스템의 운전에 대한 빅데이터를 구축하고, 사용자의 요청에 따라 해당하는 각종 정보를 맞춤형으로 제공하는 처리가 수행되도록 이루어지는 관제서버; 및 사용자가 원하는 정보를 상기 연료전지 관리시스템이나 상기 관제서버에 요청하고 전달받기 위한 사용자 단말기를 포함하여 구성되고, 상기 연료전지 관리시스템은, 상기에 기재된 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템을 이용

하여 구성되는 것을 특징으로 하는 연료전지 모니터링 시스템이 제공된다.

[0062] 여기서, 상기 사용자 단말기는, PC를 포함하는 정보처리장치를 이용하여 구성되거나, 또는, 스마트폰이나 태블릿 PC, 또는, 노트북을 포함하는 개인이 휴대 가능한 정보통신 단말기에 전용의 어플리케이션을 설치하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0064] 상기한 바와 같이, 본 발명에 따르면, 실제 PEM FC 굴착기의 동작에 대한 각종 파라미터를 센서로 측정하여 수집하고, 수집된 데이터를 클라우드와 같은 온라인 플랫폼으로 전송하여 저장하며, 디지털 트윈 PEM FC 굴착기 모델을 통해 각각의 파라미터 값을 추정하고, 시뮬레이션 결과를 클라우드로 업로드하여 실제 데이터와 비교하는 작업을 반복 수행하여 최적의 파라미터 값을 결정하는 적응형 등가 에너지소비 최소화 전략(Adaptive ECMS)에 의해 최적화된 에너지 관리계획(EMS)을 수립하도록 구성되는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법을 제공됨으로써, PEM FC와 같은 연료전지로 구동되는 전기식 굴착기에 대하여 항상 최적의 에너지 관리가 이루어질 수 있다.

[0066] 또한, 본 발명에 따르면, 상기한 바와 같이 디지털 트윈 모델을 이용하여 최적의 에너지 관리계획(EMS)을 수립하고 수립된 계획에 따라 연료전지 시스템에 대하여 최적의 에너지 관리가 이루어질 수 있도록 구성되는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법을 제공됨으로써, 연료전지로 구동되는 시스템의 원활한 작동 및 고성능을 보장하기 위하여는 전력 요구를 적절하게 분배하는 것이 요구되나 연료전지 시스템에 대한 최적의 에너지 관리계획(EMS)을 수립하기 위한 방법에 대하여는 제시된 바 없었던 종래기술의 연료전지 시스템들의 문제점을 해결할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0068] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법의 전체적인 구조 및 처리과정을 개략적으로 나타내는 개념도이다.

도 2는 물리적 PEM FC 굴착기에 대한 데이터 측정 및 수집 처리과정의 구체적인 구성을 개략적으로 나타내는 개념도이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 적용된 디지털 트윈 PEM FC 굴착기 모델의 전체적인 구성을 개략적으로 나타내는 블록도이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템의 전체적인 구성을 개략적으로 나타내는 블록도이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템을 이용한 연료전지 모니터링 시스템의 전체적인 구성을 개략적으로 나타내는 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0069] 이하, 첨부된 도면을 참조하여, 본 발명에 따른 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법의 구체적인 실시예에 대하여 설명한다.

[0071] 여기서, 이하에 설명하는 내용은 본 발명을 실시하기 위한 하나의 실시예일 뿐이며, 본 발명은 이하에 설명하는 실시예의 내용으로만 한정되는 것은 아니라는 사실에 유념해야 한다.

[0073] 또한, 이하의 본 발명의 실시예에 대한 설명에 있어서, 종래기술의 내용과 동일 또는 유사하거나 당업자의 수준

에서 용이하게 이해하고 실시할 수 있다고 판단되는 부분에 대하여는, 설명을 간략히 하기 위해 그 상세한 설명을 생략하였음에 유념해야 한다.

[0075] 즉, 본 발명은, 후술하는 바와 같이, 예를 들면, 양성자 교환막 연료전지(PEM FC)와 같이, 연료전지(FC)로 구동되는 시스템의 원활한 작동 및 고성능을 보장하기 위하여는 전력 요구를 적절하게 분배하는 것이 요구되나, 연료전지 시스템에 대한 최적의 에너지 관리계획(EMS)을 수립하기 위한 방법에 대하여는 제시된 바 없었던 종래기술의 연료전지 시스템들의 문제점을 해결하기 위해, 디지털 트윈(Digital Twin) 모델을 이용하여 최적의 에너지 관리계획(EMS)을 수립하고, 수립된 계획에 따라 연료전지 시스템에 대하여 최적의 에너지 관리가 이루어질 수 있도록 구성되는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법에 관한 것이다.

[0077] 아울러, 본 발명은, 후술하는 바와 같이, 연료전지 시스템에 대하여 최적의 에너지 관리계획(EMS)을 수립하기 위한 장치 및 방법에 대하여 제시된 바 없었던 종래기술의 연료전지 시스템들의 문제점을 해결하기 위해, 실제 PEM FC 굴착기(Excavator)의 동작에 대한 각종 파라미터를 센서로 측정하여 수집하고, 수집된 데이터를 클라우드와 같은 온라인 플랫폼으로 전송하여 저장하며, 디지털 트윈 PEM FC 굴착기 모델을 통해 각각의 파라미터 값을 추정하고, 시뮬레이션 결과를 클라우드로 업로드하여 실제 데이터와 비교하는 작업을 반복 수행하여 최적의 파라미터 값을 결정하는 적응형 등가 에너지소비 최소화 전략(Adaptive ECMS)에 의해 최적화된 에너지 관리계획(EMS)을 수립하도록 구성됨으로써, 수립된 계획에 따라 해당 PEM FC 굴착기에 대하여 최적의 에너지 관리가 이루어질 수 있도록 구성되는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법에 관한 것이다.

[0079] 계속해서, 도면을 참조하여, 본 발명에 따른 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법의 구체적인 내용에 대하여 설명한다.

[0081] 여기서, 이하에 설명하는 본 발명의 실시예에서는, 연료전지를 이용하여 구동되는 시스템의 예로서 PEM FC 굴착기에 본 발명이 적용되는 경우를 예로 하여 본 발명을 설명하였으나, 본 발명은 반드시 이하에 나타내는 실시예의 경우로만 한정되는 것은 아니며, 즉, 본 발명은, 상기한 PEM FC 굴착기 이외에 다른 연료전지 시스템에도 동일 내지 유사하게 하여 적용될 수 있는 등, 본 발명의 취지 및 본질을 벗어나지 않는 범위 내에서 당업자에 의해 필요에 따라 다양하게 수정 및 변경하여 적용될 수 있는 것임에 유념해야 한다.

[0083] 더 상세하게는, 먼저, 도 1을 참조하면, 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법의 전체적인 구조 및 처리과정을 개략적으로 나타내는 개념도로서, 디지털 트윈 PEM FC 굴착기 모델을 통해 온라인으로 실제 물리적 PEM FC 굴착기에 대한 에너지 관리가 수행되는 구성을 나타내고 있다.

[0085] 도 1에 나타난 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법은, 먼저, 실제(물리적) PEM FC 굴착기의 각 부분에 대하여 각각의 센서를 통해 상태 및 동작에 대한 데이터를 수집하여 온라인상의 클라우드 플랫폼으로 전송하고, 이와 함께, PEM FC 굴착기에 대한 디지털 트윈 PEM FC 굴착기 모델을 생성하여 시뮬레이션을 통해 각각의 파라미터를 추정하고 시뮬레이션 결과를 포함하는 각종 데이터를 클라우드 플랫폼으로 전송한다.

[0087] 또한, 클라우드 플랫폼에서는 전송된 각각의 데이터를 수집하여 PEM FC 굴착기에 대한 빅데이터를 구축하고, 실제 측정값과 디지털 트윈을 통한 시뮬레이션 결과 추정값을 비교하는 과정을 미리 정해진 설정에 따라 디지털 트윈 모델의 출력 파라미터가 실제 측정값에 최대한 근접하도록 지정된 간격으로 반복 수행하여 각각의 파라미터를 최적화된 값으로 업데이트 한다.

[0089] 아울러, 각각의 파라미터에 대하여 산출된 최적값에 근거하여 실제 PEM FC 굴착기에 적응형 등가 에너지소비 최소화 전략(Adaptive Equivalent Consumption Minimization Strategy ; A-ECMS)을 적용하여 전력 분배에 대한 제어를 수행함으로써 PEM FC 굴착기의 에너지 소비를 최적화할 수 있다.

[0091] 여기서, 등가 에너지소비 최소화 전략(ECMS)은 즉각적인 최적 제어를 나타내므로 계산적으로(computationally) 매우 효율적이며, ECMS는 특정 조건에서 연료소비를 최소화하는 것으로 알려져 있다.

[0093] 즉, 수소 소비를 최소화하기 위해, 배터리와 슈퍼커패시터에서 순간적으로(instantaneously) 소비되는 전기에너지와 연료전지에서 나오는 화학에너지가 동일해질 수 있으며, 순간 수소 소비량은 연료전지 시스템의 직접 수소 소비량과 배터리 및 슈퍼커패시터의 간접 등가 수소 소비량으로 구성되며, 이하의 [수학식 1]과 같이 나타낼 수 있다.

[0095] [수학식 1]

$$\begin{aligned} m_{total}(t) &= m_{fc}(t) + m_{BA}(t) + m_{sc}(t) \\ &= m_{fc}(t) + \lambda_{ba} P_{ba}(t) + \lambda_{sc} P_{sc}(t) \end{aligned}$$

[0096]

[0098] 여기서, $m_{total}(t)$ 는 총 수소 소비량이고, $m_{fc}(t)$ 는 연료전지의 수소 소비량이며, $m_{BA}(t)$ 는 배터리의 등가 수소 소비량이고, $m_{sc}(t)$ 는 슈퍼커패시터의 등가 수소 소비량이며, λ_{ba} 및 λ_{sc} 는 각각 등가 수소 소비량에 대한 배터리 및 슈퍼커패시터의 등가계수(equivalent factor)이다.

[0100] 또한, 이러한 매개변수는 클라우드의 데이터에 근거하여 추정되고 동작중에 조정된다.

[0102] 아울러, 도 2를 참조하면, 도 2는 물리적 PEM FC 굴착기에 대한 데이터 측정 및 수집 처리과정의 구체적인 구성을 개략적으로 나타내는 개념도이다.

[0104] 도 2에 나타난 바와 같이, PEM FC 굴착기는, 크게 나누어, 전원(power source) 및 동적 액추에이터(dynamic actuator)의 두 부분으로 구성될 수 있다.

[0106] 더 상세하게는, 먼저, 전원은 연료전지, 배터리 및 출력전류를 가지는 슈퍼 커패시터를 포함하여 구성되고, 전압 데이터가 측정되어 데이터 측정부(Data sensing)로 전송된다.

[0108] 또한, PEM FC 시스템에 있어서, 데이터 수집을 위해 수소 및 산소 포트에 각각 센서를 배치하여 유량(flow rate)과 압력(pressure)에 대한 데이터를 수집하고, 온도와 습도를 측정하기 위한 온도 및 습도 센서는 연료전지 스택(fuel cell stack)에 각각 배치된다.

[0110] 아울러, 액추에이터 부분에 있어서, 인덕션 모터는 전원으로부터 전원을 공급받아 메인펌프를 구동하고, 전력수요를 측정하기 위해 두 장치의 연결샤프트(connection shaft)에 전력센서(power sensor)가 설치되며, 이러한 데이터는 적응형 ECMS를 설계하기 위해 매우 유용하므로 이들 센서는 매우 중요하다.

- [0112] 이에 더하여, 도 2에 나타난 바와 같이, 모션 데이터를 수집하기 위해 변위(displacement) 센서, 속도(speed) 센서, 토크(torque) 센서가 실린더(cylinder), 스윙모터(swing motor) 및 주행모터(travelling motor)에 각각 설치된다.
- [0114] 더욱이, 수집된 모든 데이터는, 예를 들면, 인터넷 연결 및 클라우드로 신호를 전송하는 기능을 가지는 아두이노(Arduino) 및 ESP 32 장치로 전송되며, 전송된 데이터를 저장하고 처리하기 위해 썬스피크(Thingspeak) 클라우드 플랫폼을 이용하도록 구성될 수 있다.
- [0116] 여기서, 상기한 썬스피크(Thingspeak) 클라우드 플랫폼은 매트랩/시뮬링크(Matlab/Simulink)와 협력하므로, 이들 소프트웨어를 활용할 수 있는 장점이 있다.
- [0118] 다음으로, 도 3을 참조하면, 도 3은 본 발명의 실시예에 적용된 디지털 트윈 PEM FC 굴착기 모델의 전체적인 구성을 개략적으로 나타내는 블록도이다.
- [0120] 도 3에 나타난 바와 같이, 상기한 썬스피크(Thingspeak) 클라우드 플랫폼에서 업데이트된 각각의 파라미터는 썬스피크(Thingspeak)의 입력터미널을 통해 디지털 트윈 모델에 적용된다.
- [0122] 또한, 디지털 트윈 PEM FC 굴착기는, 이들 데이터를 이용하여 신경망(neural network)을 이용한 연료전지 그레이박스(gray box) 및 Ansys CFD를 이용한 3D 물리모델(physical model)로 상기한 디지털 트윈 모델을 훈련하고 업데이트 하며, 디지털 트윈 모델의 출력데이터는 썬스피크(Thingspeak)의 출력터미널을 통해 클라우드로 전송된다.
- [0124] 따라서 상기한 바와 같은 내용으로부터 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법을 구현할 수 있으며, 즉, 도 4를 참조하면, 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템(10)의 전체적인 구성을 개략적으로 나타내는 블록도이다.
- [0126] 도 4에 나타난 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템(10)은, 크게 나누어, 연료전지 시스템의 각 부분에 대하여 센서를 통해 측정된 각각의 측정값 및 연료전지 시스템의 동작에 대한 모니터링을 통해 얻어지는 각종 파라미터를 포함하는 데이터를 수집하여 온라인상의 클라우드 플랫폼(13)으로 전송하는 처리가 수행되는 데이터 수집부(11)와, 디지털 트윈(Digital Twin) 기술을 이용하여 연료전지 시스템에 대한 디지털 트윈 모델을 생성하고, 생성된 디지털 트윈 모델을 통하여 연료전지 시스템의 동작에 대한 시뮬레이션을 수행하여 각각의 파라미터에 대한 추정값을 산출하며, 산출결과를 포함하는 각종 데이터를 클라우드 플랫폼(13)으로 전송하는 처리가 수행되는 디지털 트윈 처리부(12)와, 데이터 수집부(11) 및 디지털 트윈 처리부(12)로부터 각각 전송되는 데이터를 수신하여 데이터베이스의 형태로 저장하는 것에 의해 상기 연료전지 시스템에 대한 데이터베이스를 구축하고, 데이터 수집부(11) 및 디지털 트윈 처리부(12)로부터 각각 전송되는 센서 측정값과 디지털 트윈 기반 추정값을 비교하여 상기 연료전지 시스템에 대한 각각의 파라미터를 업데이트 하는 처리가 수행되는 클라우드 플랫폼(13)과, 클라우드 플랫폼(13)으로부터 수신된 업데이트된 파라미터를 디지털 트윈 처리부(12)의 디지털 트윈 모델에 입력하여 해당 디지털 트윈 모델의 훈련 및 업데이트를 수행하도록 하고, 적응형 등가 에너지소비 최소화 전략(A-ECMS)을 적용하여 연료전지 시스템의 전력분배를 제어하는 것에 의해 실제 물리적 연료전지 시스템의 동작을 최적화하는 처리가 수행되는 최적화 처리부(14) 및 상기한 각 부(11 ~ 14) 및 시스템(10)의 전체적인 동작을 제어하는 제어부(15)를 포함하여 구성될 수 있다.

- [0128] 여기서, 상기한 연료전지 시스템은, 예를 들면, 상기한 PEM FC 굴착기 등과 같이, 연료전지를 이용하여 구동되는 시스템이면 크게 제한은 없으며, 또한, 상기한 연료전지는, 예를 들면, 양성자 교환막 연료전지(PEM FC), 고체산화물 연료전지(SOFC), 인산 연료전지(PAFC) 등의 연료전지가 적용될 수 있는 등, 본 발명은 필요에 따라 다양하게 적용될 수 있는 것임에 유념해야 한다.
- [0130] 아울러, 상기한 에너지 관리시스템(10)은, 도시되지는 않았으나, 상기한 PEM FC 굴착기 등과 같이 연료전지를 이용하여 구동되는 시스템의 현재 상태 및 동작을 측정하기 위해 미리 정해진 위치에 각각 설치되는 다수의 각종 측정센서를 포함하여 이루어지는 센서부와, 데이터 수집부(11), 디지털 트윈 처리부(12), 클라우드 플랫폼(13), 최적화 처리부(14) 및 제어부(15) 사이의 데이터 전송 및 서버 등과 같은 외부 기기나 다른 관리시스템(10)들과 각종 데이터를 주고받기 위해 유선 또는 무선 통신 중 적어도 하나의 방식으로 통신을 수행하도록 이루어지는 통신부 및 시스템의 각 부의 현재 상태 및 동작과 처리결과를 포함하는 각종 데이터를 표시하기 위한 디스플레이 등의 표시수단을 포함하여 이루어지는 출력부를 더 포함하여 구성될 수 있다.
- [0132] 더욱이, 상기한 에너지 관리시스템(10)은, 도시되지는 않았으나, 시스템의 전체적인 동작을 모니터링하고 각각의 측정값에 근거하여 이상발생을 판단하며, 이상발생시 알람(alarm)을 발생하고 미리 설정된 연락처에 해당 사실을 통지하거나 미리 정해진 담당자나 관계기관에 연락하여 대응하도록 하는 처리가 수행되도록 이루어지는 이상발생 감지부를 더 포함하여 구성될 수 있다.
- [0134] 이때, 상기한 이상발생 감지부의 처리는 상기한 제어부(15)에 의해 수행되도록 구성될 수도 있고, 또는, 예를 들면, 딥러닝(Deep Learning) 이나 머신러닝(Machine Learning) 등과 같은 인공지능 학습 알고리즘이나 인공신경망(Artificial Neural Network ; ANN) 등을 이용하여, 상기한 바와 같은 일련의 처리과정이 인공지능 학습을 통해 자동으로 수행되도록 구성될 수도 있는 등, 본 발명은 필요에 따라 다양하게 구성될 수 있는 것임에 유념해야 한다.
- [0136] 또한, 상기한 데이터 수집부(11)는, 상기한 PEM FC 굴착기 등과 같은 물리적 연료전지 시스템에 대하여 센서를 통해 직접 측정된 전원 전압, 수소 및 산소 포트의 유량(flow rate)과 압력(pressure), 연료전지 스택의 온도와 습도, 액추에이터의 전력, 실린더(cylinder)의 변위(displacement), 스윙모터(swing motor) 및 주행모터(travelling motor)의 속도(speed)와 토크(torque)를 포함하는 각종 측정값을 수집하여 클라우드 플랫폼(13)으로 전송하는 처리가 수행되도록 구성될 수 있다.
- [0138] 아울러, 상기한 디지털 트윈 처리부(12)는, 디지털 트윈(Digital Twin) 기술을 이용하여 상기한 PEM FC 굴착기 등과 같은 물리적 연료전지 시스템에 대한 디지털 트윈 모델을 구축하고 시뮬레이션을 통해 각종 파라미터를 추정하여 산출결과를 포함하는 각종 데이터를 클라우드 플랫폼(13)으로 전송하는 처리가 수행되도록 구성될 수 있다.
- [0140] 여기서, 상기한 바와 같이 디지털 트윈 기술을 이용하여 디지털 트윈 모델을 구축하는 과정 및 디지털 트윈 모델을 이용하여 시뮬레이션을 통해 각종 파라미터를 추정하는 과정 등에 대한 보다 구체적인 내용에 대하여는, 기존의 디지털 트윈 기술에 관련된 종래기술의 내용 등을 참조하여 당업자가 용이하게 구현할 수 있으므로, 이에, 본 발명에서는, 설명을 간략히 하기 위해, 상기한 바와 같이 종래기술의 문헌 등을 참조하여 당업자가 용이하게 이해하고 실시할 수 있는 내용에 대하여는 그 상세한 설명을 생략하였음에 유념해야 한다.
- [0142] 더욱이, 클라우드 플랫폼(13)은 데이터 수집부(11) 및 디지털 트윈 처리부(12)로부터 각각 전송된 데이터를 수집하여 연료전지 시스템에 대한 빅데이터를 구축하고, 실제 측정값과 디지털 트윈을 통한 시뮬레이션 결과 추정값을 비교하는 과정을 미리 정해진 설정에 따라 지정된 간격으로 반복 수행하는 것에 의해 디지털 트윈 모델의 각각의 출력 파라미터가 실제 측정값에 최대한 근접하도록 최적화된 값으로 업데이트 하는 처리가 수행되도록

구성될 수 있다.

- [0144] 여기서, 상기한 클라우드 플랫폼(13)은, 데이터 수집부(11) 및 디지털 트윈 처리부(12)로부터 전송되는 각종 데이터를 저장하고 처리하기 위해, 예를 들면, 썬스피크(Thingspeak) 클라우드 플랫폼을 이용하여 구성될 수 있다.
- [0146] 또한, 썬스피크(Thingspeak) 클라우드 플랫폼에서 업데이트된 각각의 파라미터는 썬스피크(Thingspeak)의 입력 터미널을 통해 디지털 트윈 처리부(12)에서 생성된 디지털 트윈 모델에 적용되고, 디지털 트윈 처리부(12)는, 이들 데이터를 이용하여 신경망(neural network)을 이용한 연료전지 그레이박스(gray box) 및 Ansys CFD를 이용한 3D 물리모델(physical model)로 디지털 트윈 모델을 훈련하고 업데이트하며, 업데이트된 디지털 트윈 모델의 출력데이터는 썬스피크(Thingspeak)의 출력터미널을 통해 클라우드 플랫폼(13)으로 전송된다.
- [0148] 아울러, 최적화 처리부(14)는, 상기한 바와 같이 클라우드 플랫폼(13)으로부터 디지털 트윈 모델의 업데이트된 출력데이터를 수신하고, 적응형 등가 에너지소비 최소화 전략(A-ECMS)을 적용하여 실제 물리적 연료전지 시스템의 전력분배를 제어하여 연료전지 시스템의 동작, 즉, 에너지 소비를 최적화하는 처리가 수행되도록 구성될 수 있다.
- [0150] 따라서 상기한 바와 같이 하여 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리 시스템(10) 및 방법을 용이하게 구현할 수 있으며, 이를 이용하여, 전국 단위의 광범위한 지역에 대하여도 연료전지 시스템의 관리를 위한 모니터링 시스템을 용이하게 구축할 수 있다.
- [0152] 더 상세하게는, 도 5를 참조하면, 도 5는 도 4에 나타난 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템(10)을 이용한 연료전지 모니터링 시스템(50)의 전체적인 구성을 개략적으로 나타내는 블록도이다.
- [0154] 도 5에 나타난 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 연료전지 모니터링 시스템(50)은, 각각의 설비나 지역별로 설치되어 있는 복수의 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템(10)과, 각 설비 또는 지역별로 설치되어 있는 각각의 에너지 관리시스템(10)으로부터 모니터링 정보를 각각 수신하여 연료전지 시스템의 운전에 대한 빅데이터를 구축하고, 사용자의 요청에 따라 해당하는 각종 정보를 맞춤형으로 제공하는 처리가 수행되도록 구성되는 관제 서버(51)를 포함하여 구성될 수 있다.
- [0156] 아울러, 이를 위해, 본 발명의 실시예에 따른 연료전지 모니터링 시스템(50)은, 도 5에 나타난 바와 같이, 상기한 바와 같은 모니터링 정보를 사용자가 요청하고 전달받기 위한 사용자 단말기(52)를 더 포함하여 구성될 수 있다.
- [0158] 여기서, 상기한 사용자 단말기(52)는, 예를 들면, PC와 같은 단말장치를 이용하여 구성될 수 있고, 바람직하게는, 스마트폰이나 태블릿 PC 또는 노트북 등과 같이, 개인이 휴대 가능한 정보통신 단말기에 전용의 어플리케이션을 설치하여 구성될 수도 있으나, 본 발명은 반드시 이러한 구성으로만 한정되는 것은 아니며, 즉, 본 발명은 본 발명의 취지 및 본질을 벗어나지 않는 범위 내에서 당업자에 의해 필요에 따라 다양하게 수정 및 변경하여 구성될 수 있는 것임에 유념해야 한다.
- [0160] 상기한 바와 같은 구성으로부터, 본 발명에 따르면, 상기한 바와 같이 구성되는 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템(10)을 각각의 설비별 또는 지역별로 다수개 설치하고,

각각의 관리시스템(10)들이 서로 통신하여 각종 데이터를 주고받도록 하는 동시에, 관제서버(51)의 요청에 따라, 또는, 미리 정해진 설정에 따라 주기적으로 모니터링 데이터를 관제서버(51)로 각각 전송하도록 구성됨으로써, 예를 들면, 전국 단위의 광범위한 지역에 대하여도 대규모의 연료전지 모니터링 시스템(50)을 용이하게 구축할 수 있다.

[0162] 따라서 상기한 바와 같이 하여 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리 시스템 및 방법을 구현할 수 있으며, 그것에 의해, 본 발명에 따르면, 실제 PEM FC 굴착기의 동작에 대한 각종 파라미터를 센서로 측정하여 수집하고, 수집된 데이터를 클라우드와 같은 온라인 플랫폼으로 전송하여 저장하며, 디지털 트윈 PEM FC 굴착기 모델을 통해 각각의 파라미터 값을 추정하고, 시뮬레이션 결과를 클라우드로 업로드하여 실제 데이터와 비교하는 작업을 반복 수행하여 최적의 파라미터 값을 결정하는 적응형 등가 에너지소비 최소화 전략(Adaptive ECMS)에 의해 최적화된 에너지 관리계획(EMS)을 수립하도록 구성되는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법을 제공됨으로써, PEM FC와 같은 연료전지로 구동되는 전기식 굴착기에 대하여 항상 최적의 에너지 관리가 이루어질 수 있다.

[0164] 또한, 본 발명에 따르면, 상기한 바와 같이 디지털 트윈 모델을 이용하여 최적의 에너지 관리계획(EMS)을 수립하고 수립된 계획에 따라 연료전지 시스템에 대하여 최적의 에너지 관리가 이루어질 수 있도록 구성되는 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법을 제공됨으로써, 연료전지로 구동되는 시스템의 원활한 작동 및 고성능을 보장하기 위하여는 전력 요구를 적절하게 분배하는 것이 요구되나 연료전지 시스템에 대한 최적의 에너지 관리계획(EMS)을 수립하기 위한 방법에 대하여는 제시된 바 없었던 종래기술의 연료전지 시스템들의 문제점을 해결할 수 있다.

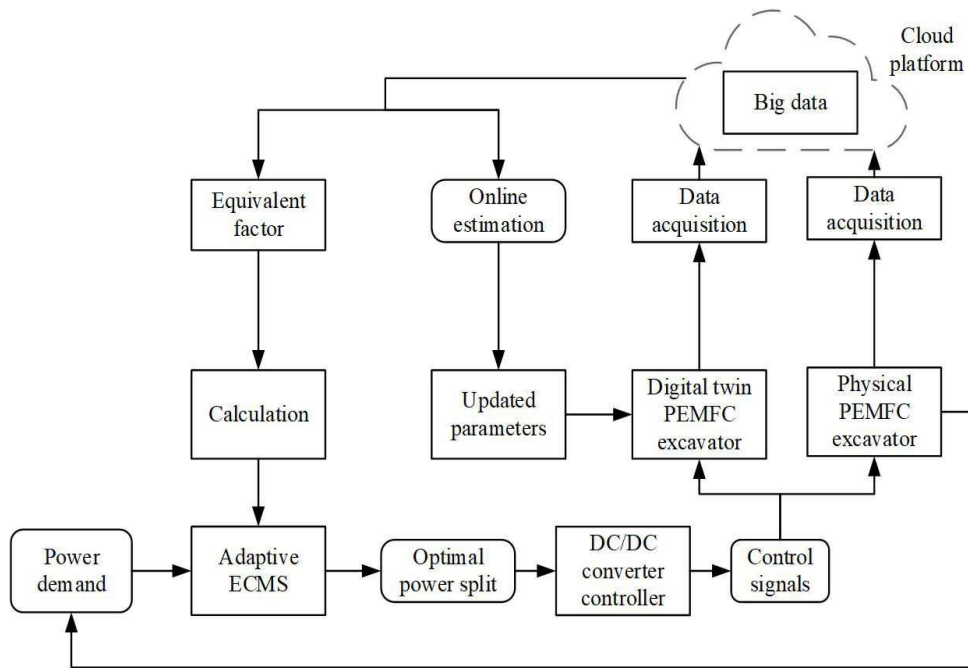
[0166] 이상, 상기한 바와 같은 본 발명의 실시예를 통하여 본 발명에 따른 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템 및 방법의 상세한 내용에 대하여 설명하였으나, 본 발명은 상기한 실시예에 기재된 내용으로만 한정되는 것은 아니며, 따라서 본 발명은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 설계상의 필요 및 기타 다양한 요인에 따라 여러 가지 수정, 변경, 결합 및 대체 등이 가능한 것임은 당연한 일이라 하겠다.

부호의 설명

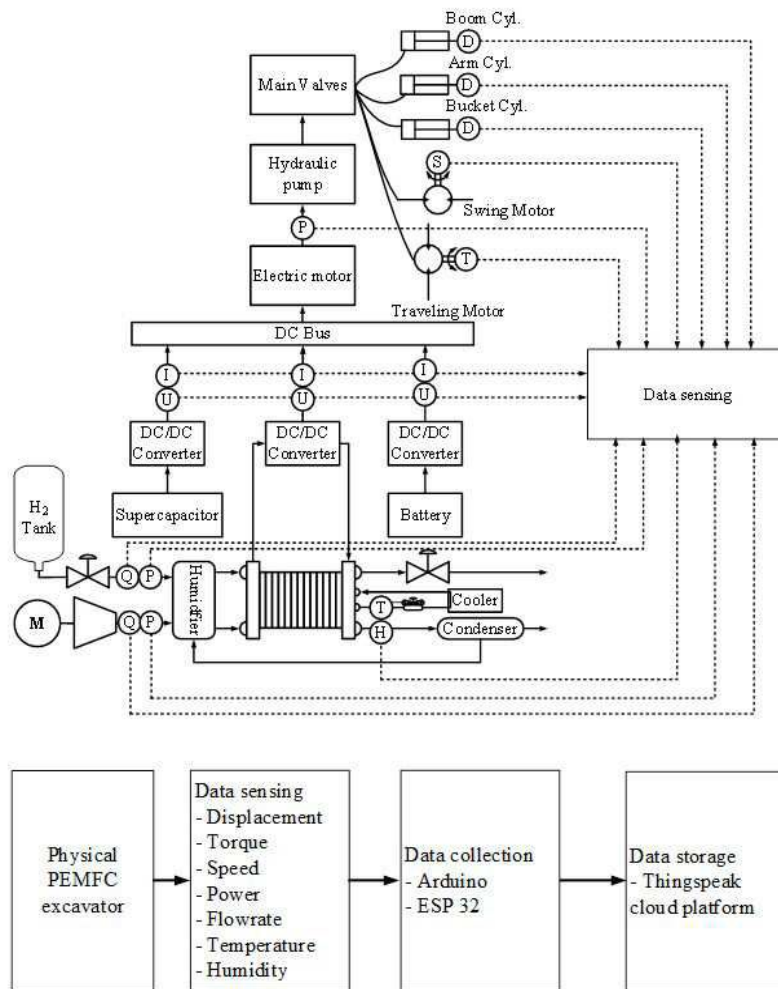
- [0168] 10. 디지털 트윈을 이용한 연료전지 시스템의 에너지 관리시스템
 11. 데이터 수집부 12. 디지털 트윈 처리부
 13. 클라우드 플랫폼 14. 최적화 처리부
 15. 제어부 50. 연료전지 모니터링 시스템
 51. 관제서버 52. 사용자 단말기

도면

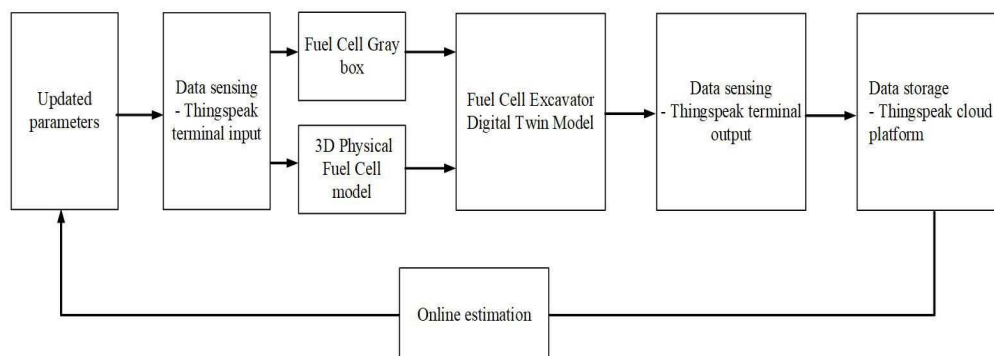
도면1



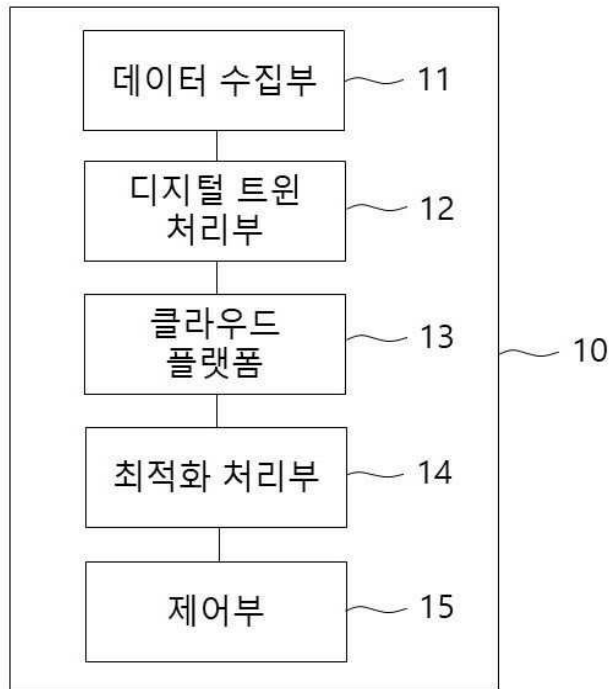
도면2



도면3



도면4



도면5

