



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년01월07일

(11) 등록번호 10-2751380

(24) 등록일자 2025년01월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01M 17/007 (2019.01) G06F 30/15 (2020.01)
G06F 30/27 (2020.01) G06N 3/08 (2023.01)

(52) CPC특허분류
G01M 17/007 (2019.01)
G06F 30/15 (2020.01)

(21) 출원번호 10-2023-0156333

(22) 출원일자 2023년11월13일

심사청구일자 2023년11월13일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020230036776 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

울산대학교 산학협력단

울산광역시 남구 대학로 93(무거동)

(72) 발명자

안경관

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

관 반 두

울산광역시 남구 대학로33번길 30-29, 103호 (무거동)

(74) 대리인

특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 2 항

심사관 : 선우용진

(54) 발명의 명칭 디지털 트윈 기반 수소차 결함 진단 시스템

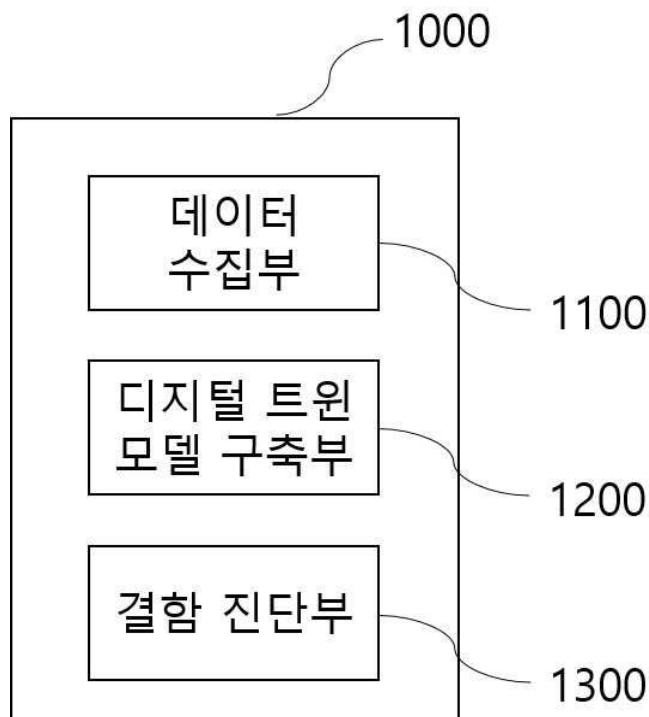
(57) 요약

본 발명은, 디지털 트윈 기반 수소차 결함 진단 시스템에 관한 것이다.

본 발명에 따르면, 디지털 트윈 기반 수소차 결함 진단 시스템은 물리적인 공간에 존재하는 양성자 교환막 연료 전지(PEMFC: Proton exchange membrane fuel cells)를 구비한 수소자동차 시스템의 운용 데이터 및 제어 입력

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



신호(Signal control inputs) 데이터를 수집하여 기 설정된 클라우드에 저장하는 데이터 수집부; 상기 물리적 공간에 존재하는 PEMFC 수소자동차 시스템의 운용 데이터와 제어 입력 데이터를 사용하여 물리적 PEMFC 수소자동차 시스템과 동일한 디지털 트윈 모델을 구축하는 디지털 트윈 모델 구축부; 및 딥러닝 기반 결함 진단 알고리즘을 사용하여 상기 디지털 트윈 모델의 데이터와 상기 물리적 PEMFC 수소자동차 시스템의 데이터를 분석하여 결함을 감지하고 PEMFC 수소자동차 시스템의 상태를 진단하는 결함 진단부를 포함한다.

이와 같이 본 발명에 따르면, 딥러닝과 클라우드 서비스의 통합으로 안정적인 시스템의 유연성이 향상되고, 오작동 모드가 식별되면 오류의 심각도를 판단하여 그 심각도에 따라 적절한 예방 조치 일정을 예약할 수 있으며, 그에 따라 PEMFC 수소자동차가 동적 작업 일정과 환경 변화(예를 들어, 결함, 이상 현상)에 더 잘 적응하도록 할 수 있다.

(52) CPC특허분류

G06F 30/27 (2020.01)

G06N 3/08 (2023.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345341781
과제번호	2021RIS-003
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	지자체-대학협력기반지역혁신사업
연구과제명	수소건설기계 가상화시스템 및 응용기술개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	울산대학교
연구기간	2021.11.01 ~ 2023.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415177548
과제번호	P0018648
부처명	산업통산자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술진흥원
연구사업명	수소전기트램실증
연구과제명	수소전기트램 실주행 환경 실증 및 운영기술 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	(재)울산테크노파크
연구기간	2021.07.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

물리적인 공간에 존재하는 양성자 교환막 연료전지(PEMFC: Proton exchange membrane fuel cells)를 구비한 수소자동차 시스템의 운용 데이터 및 제어 입력 신호(Signal control inputs) 데이터를 수집하여 기 설정된 클라우드에 저장하는 데이터 수집부;

상기 물리적 공간에 존재하는 PEMFC를 구비한 수소자동차 시스템의 운용 데이터와 제어 입력 데이터를 사용하여 물리적 PEMFC 수소자동차 시스템과 동일한 디지털 트윈 모델을 구축하는 디지털 트윈 모델 구축부; 및

딥러닝 기반 결함 진단 알고리즘을 사용하여 상기 디지털 트윈 모델의 데이터와 상기 물리적 PEMFC 수소자동차 시스템의 데이터를 분석하여 결함을 감지하고 PEMFC 수소자동차 시스템의 상태를 진단하는 결함 진단부를 포함하고,

상기 결함 진단부는,

결함이 진단된 후, 획득한 결함 정보를 클라우드를 통해 물리적 PEMFC 수소자동차 시스템으로 전송하고, 유지보수 일정을 결정하며,

결함 탐지 및 결함 진단을 위한 디지털 트윈 모델의 데이터와 물리적 PEMFC 수소자동차 시스템의 최대 평균 불일치(Maximum Mean Discrepancy, M2D)는 하기의 수학적식과 같이 계산되는 디지털 트윈 기반 수소차 결함 진단 시스템:

$$M2D(X_M, X_P) = \left\| \frac{1}{n_m} \sum_{i=1}^{n_m} \xi(x_i^m) - \frac{1}{n_p} \sum_{j=1}^{n_p} \xi(x_j^p) \right\|_H$$

$$X_P = (x_1^p, \dots, x_{n_p}^p)$$

$$X_M = (x_i^m, \dots, x_{n_p}^m)$$

이 때,

는 물리적 PEMFC 수소자동차 시스템의 입력 데이터이고,

는 디지털

트윈 모델의 입력데이터이며, $\xi(\cdot)$ 는 비선형 특징 매핑 함수이다.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 PEMFC 수소자동차 시스템의 운용 데이터 및 제어 입력 신호 데이터는,

실시간으로 수집되는 디지털 트윈 기반 수소차 결함 진단 시스템.

청구항 3

삭제

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 디지털 트윈 기반 수소차 결함 진단 시스템에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 딥러닝 기술과 디지털 트윈을 이용하여 PEMFC 수소자동차의 결함을 진단함으로써 실제 수소자동차 시스템의 안정성을 강화하는 디지털 트윈 기반 수소차 결함 진단 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0001]

- [0002] 최근 환경문제의 심각성이 대두되면서 차량의 내연기관 대신 친환경적인 대체에너지의 도입에 대한 요구가 높아지고 있으며, 이에, 이러한 친환경적인 대체에너지로서 연료전지(Fuel Cell; FC)를 동력원으로 이용하는 연료전지 시스템이 주목받고 있다.
- [0003] 특히, 양성자 교환막 연료전지(PEMFC: Proton exchange membrane fuel cells)를 이용한 수소자동차는 친환경성, 높은 전력 밀도 및 낮은 유지보수 요구사항으로 인하여, 최근 몇 년 동안 점점 더 관심을 받아왔다.
- [0004] 하지만 PEMFC 수소자동차는 부품 제조 과정에서 발생한 결함, 장시간 사용으로 인한 마모나 마찰로 인한 결함, 측정 신호의 오프셋 및 제어 설계 문제와 같은 요인들로 인해 과열, 침수, 건조, 공기 공급 부족과 같은 고장이 발생할 수 있다.
- [0005] 이러한 문제의 발생은 불가피한 현상이지만 방지하면 PEMFC 시스템 성능에 이상이 생기거나 PEMFC 시스템이 완전히 손상될 수 있다.
- [0006] 따라서, PEMFC 수소자동차의 조기진단과 결함제거는 현재 PEMFC 시스템의 중요한 과제이다.
- [0007] 종래에도 연료전지 시스템의 결함 진단 시스템이 연구되고 있지만 종래기술의 결함 진단 및 예측 시스템의 한계를 해결하기 위해 오류나 결함 발생을 즉각적으로 감지하여 대처할 수 있도록 구성되는 새로운 구성의 결함 진단 및 예측 시스템은 아직 제시되지 못하고 있는 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명에 따르면, 딥러닝 기술과 디지털 트윈을 이용하여 PEMFC 수소자동차의 결함을 진단함으로써 실제 수소자동차 시스템의 안정성을 강화하는 디지털 트윈 기반 수소차 결함 진단 시스템을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

- [0009] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 일 실시예에 따르면 디지털 트윈 기반 수소차 결함 진단 시스템은 물리적인 공간에 존재하는 양성자 교환막 연료전지(PEMFC: Proton exchange membrane fuel cells)를 구비한 수소자동차 시스템의 운용 데이터 및 제어 입력 신호(Signal control inputs) 데이터를 수집하여 기 설정된 클라우드에 저장하는 데이터 수집부; 상기 물리적 공간에 존재하는 PEMFC 수소자동차 시스템의 운용 데이터와 제어 입력 데이터를 사용하여 물리적 PEMFC 수소자동차 시스템과 동일한 디지털 트윈 모델을 구축하는 디지털 트윈 모델 구축부; 및 딥러닝 기반 결함 진단 알고리즘을 사용하여 상기 디지털 트윈 모델의 데이터와 상기 물리적 PEMFC 수소자동차 시스템의 데이터를 분석하여 결함을 감지하고 PEMFC 수소자동차 시스템의 상태를 진단하는 결함 진단부를 포함한다.

발명의 효과

- [0010] 이와 같이 본 발명에 따르면, 딥러닝과 클라우드 서비스의 통합으로 안정적인 시스템의 유연성이 향상되고, 오작동 모드가 식별되면 오류의 심각도를 판단하여 그 심각도에 따라 적절한 예방 조치 일정을 예약할 수 있으며, 그에 따라 PEMFC 수소자동차가 동적 작업 일정과 환경 변화(예를 들어, 결함, 이상 현상)에 더 잘 적응하도록 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0011] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 디지털 트윈 기반 수소차 결함 진단 시스템이다
 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 디지털 트윈 기반 수소차 결함 진단 시스템의 구성도이다.
 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 결함 진단 알고리즘을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0012] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다.
- [0013] 또한 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는

관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

- [0014] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 디지털 트윈 기반 수소차 결함 진단 시스템이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 디지털 트윈 기반 수소차 결함 진단 시스템의 구성도이다.
- [0015] 도 1 및 도 2에 도시된 바에 따르면, 디지털 트윈 기반 수소차 결함 진단 시스템(1000)은 데이터 수집부(1100), 디지털 트윈 모델 구축부(1200) 및 결함 진단부(1300)를 포함한다.
- [0016] 데이터 수집부(1100)는 물리적인 공간에 존재하는 양성자 교환막 연료전지(PEMFC: Proton exchange membrane fuel cells)를 구비한 수소자동차의 운용 데이터 및 제어 입력 신호(Signal control inputs) 데이터를 수집하여 기 설정된 클라우드에 저장한다.
- [0017] 이 때, PEMFC 수소자동차 시스템은 하나 이상의 모터 컨트롤러(Motor controller), 압축기(Compressor), 공급 매니폴드(Supply Manifold), 가습기(Humidifier), DC/DC 컨버터(DC/DC converter) 및 전자기계 변속기(Electromechanical Transmission)를 포함한다.
- [0018] 이 때, PEMFC 수소자동차 시스템의 운용 데이터 및 제어 입력 신호 데이터는 실시간으로 수집되어 디지털 트윈 모델이 물리적 PEMFC 수소자동차 시스템과 동기화 될 때 매우 높은 정확도와 신뢰성을 제공할 수 있다.
- [0019] 예를 들어, 데이터 수집부(1100)는 실시간으로 PEMFC 수소자동차 시스템의 각 구성에 설치된 각종 센서로부터 출력되는 센서 데이터, 즉, 운용 데이터 및 센서 데이터에 따른 시스템 제어를 위한 PEMFC 수소자동차 시스템으로 입력되는 제어 입력 신호 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 클라우드에 전송하여 저장시킬 수 있다.
- [0020] 이 때, 센서 데이터는 압력(pressure), 온도(temperature), 습도(humidity), 전압(voltage), 전류(current) 데이터를 포함한다.
- [0021] 디지털 트윈 모델 구축부(1200)는 물리적 공간에 존재하는 PEMFC 수소자동차 시스템의 운용 데이터와 제어 입력 데이터를 사용하여 물리적 PEMFC 수소자동차 시스템과 동일한 디지털 트윈 모델을 구축한다.
- [0022] 이 때, 디지털 트윈 모델은 물리적 공간에 존재하는 PEMFC 수소자동차 시스템의 엔티티, 동작 및 규칙이 동일하고, 물리적 PEMFC 수소자동차 시스템의 성능을 반영한다.
- [0023] 결함 진단부(1300)는 딥러닝 기반 결함 진단 알고리즘을 사용하여 디지털 트윈 모델의 데이터와 물리적 PEMFC 수소자동차 시스템의 데이터를 분석하여 결함을 감지하고 PEMFC 수소자동차 시스템의 상태를 진단한다.
- [0024] 이 때, 결함 진단 알고리즘은 레이블이 지정되지 않은 대규모 시뮬레이션 데이터에서 사전 지식 없이 대표 특성을 추출할 수 있다.
- [0025] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 결함 진단 알고리즘을 설명하기 위한 도면이다.
- [0026] 도 3에 도시된 바와 같이, 결함 진단 알고리즘은 입력 레이어(Input layer), 히든 레이어(Hidden layer) 및 출력 레이어(Output layer)로 구성되며, 히든 레이어는 입력 노드보다 히든 유닛의 개수가 많아도 입력의 압축된 표현을 학습할 수 있는 특징 추출 유닛으로 구성된다.

$$X_M = (x_i^m, \dots, x_{n_p}^m)$$

- [0027] 이 때, 입력 데이터는 디지털 트윈 모델로부터 입력받으며, 로 정의된다.

- [0028] 또한, 네트워크의 가중치(weight)는 (Φ_1, b) , 편향(bias)은 (Φ'_1, b') 이고, 인코더 네트워크의 출력은

$$A^{m1} = f(\Phi'_1 X_M + b), \text{ 디코더 네트워크의 출력은 } \bar{X}^{m1} = g(\Phi'_1 A^{m1} + b') \text{ 이다.}$$

- [0029] 또한, 추출된 특징은 다음 신경망의 입력으로 설정된다.

- [0030] 훈련 과정에서, 손실 함수는 학습을 통해 심층 신경망 레이어의 매개변수 세트를 최소화하며, 하기의 수학적 1과 같이 계산된다.

수학식 1

$$J_{DNN}(\boldsymbol{\varphi}, \boldsymbol{b}) = \Psi(\boldsymbol{x}, Y) + \beta \Phi(\boldsymbol{\sigma} \parallel \boldsymbol{\sigma}_k) + \mu \Gamma(\boldsymbol{\varphi}, \boldsymbol{b})$$

[0031]

[0032] 이 때, $\Psi(\cdot)$ 는 재구성 오류 패널티이고, $\Phi(\cdot)$ 는 은닉층 억제 뉴런의 대부분을 구현하는 쿨백-라이블러 발산(Kullback-Leibler divergence)이며, 매개변수 $\boldsymbol{\sigma} \approx \mathbf{0}$ 는 희소항(sparsity term)이다.

[0033] 또한, $\boldsymbol{\sigma}_k$ 는 히든 유닛의 평균 활성화이고, $\Gamma(\cdot)$ 는 가중치 감쇠(weight decay)이고, μ 와 β 는 각각 감쇠 및 희소 패널티 항의 가중치이다.

[0034] 기 설정된 수의 히든 레이어가 모두 훈련된 후, 출력의 각 레이블을 예측하여, 심층 신경망의 모든 가중치를 완전히 업데이트한다.

[0035] 다음으로, 결합 탐지 및 결합 진단을 위한 디지털 트윈 모델의 데이터와 물리적 PEMFC 수소자동차 시스템의 최대 평균 불일치(Maximum Mean Discrepancy, M2D)는 하기의 수학식 2와 같이 계산된다.

수학식 2

$$M2D(\boldsymbol{X}_M, \boldsymbol{X}_P) = \left\| \frac{1}{n_m} \sum_{i=1}^{n_m} \xi(\boldsymbol{x}_i^m) - \frac{1}{n_p} \sum_{j=1}^{n_p} \xi(\boldsymbol{x}_j^p) \right\|_H$$

[0036]

[0037] 이 때, $\boldsymbol{X}_P = (\boldsymbol{x}_1^p, \dots, \boldsymbol{x}_{n_p}^p)$ 는 물리적 PEMFC 수소자동차 시스템의 입력 데이터이고, $\xi(\cdot)$ 는 비선형 특징 매핑 함수이다.

[0038] 획득한 M2D는 임계값 T_h 와 비교하여 $T_h = 0$ 일 경우, 소스 도메인과 타겟 도메인 간의 분포 불일치로 진단한다.

[0039] 반면, $T_h \neq 0$ 일 경우, PEMFC 수소자동차 시스템의 결합이 있는 상태로 진단한다.

[0040] 결합이 진단된 후, 디지털 모델의 시뮬레이션 데이터에서 획득한 결합 정보를 클라우드를 통해 물리적 PEMFC 수소자동차 시스템으로 전송할 수 있고, 유지보수 일정을 결정한다.

[0041] 또한, 결합 진단부(1300)는 딥러닝 기반 결합 진단 알고리즘을 사용하여 PEMFC 수소자동차 시스템이 물리적 공간에서 경험하지 않은 하나 이상의 요인에 대한 생산 시뮬레이션을 통해 발생할 수 있는 결합을 탐색하고, 그에 따른 예방책을 제공할 수 있다.

[0042] 또한, 결합 진단부(1300)는 실시간 모니터링, 성능 변화 예측, 고장 감지, 일정 재조정, 지식 업데이트 및 유지보수 의사 결정이 가능하다.

[0043] 이와 같이 본 발명에 따르면, 딥러닝과 클라우드 서비스의 통합으로 안정적인 시스템의 유연성이 향상되고, 오작동 모드가 식별되면 오류의 심각도를 판단하여 그 심각도에 따라 적절한 예방 조치 일정을 예약할 수 있으며, 그에 따라 PEMFC 수소자동차가 동적 작업 일정과 환경 변화(예를 들어, 결합, 이상 현상)에 더 잘 적응하도록

할 수 있다.

[0044]

본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 하여 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0045]

1000: 디지털 트윈 기반 수소차 결함 진단 시스템

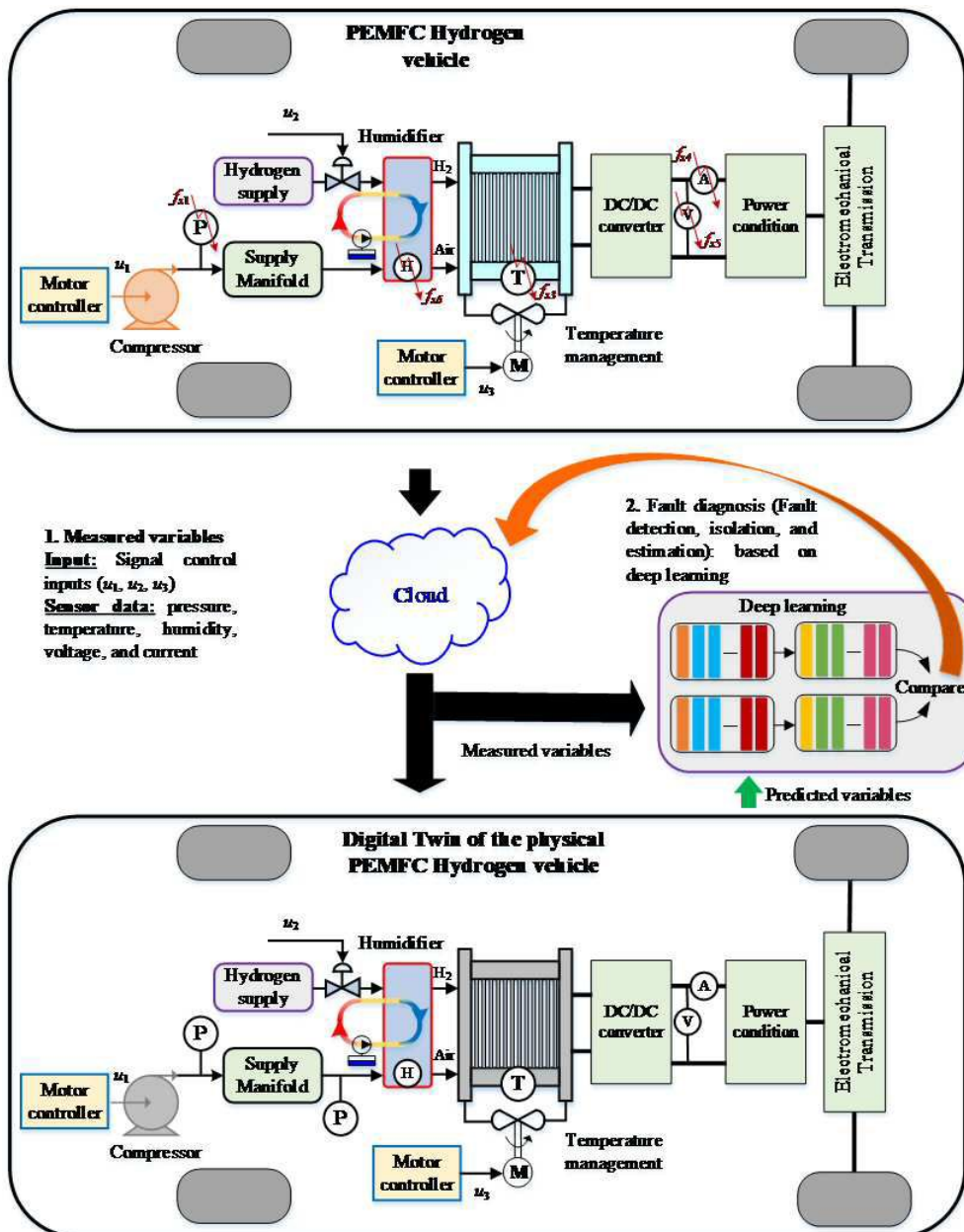
1100: 데이터 수집부

1200: 디지털 트윈 모델 구축부

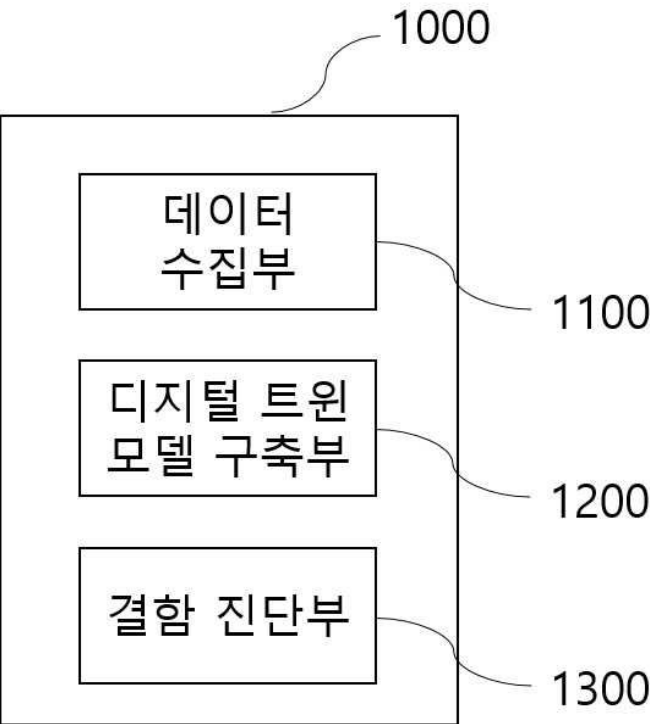
1300: 결함 진단부

도면

도면1



도면2



도면3

