



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년07월28일
(11) 등록번호 10-2425267
(24) 등록일자 2022년07월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F03D 7/04 (2006.01) F03D 7/02 (2006.01)
G06N 3/08 (2006.01) H02J 3/00 (2006.01)
H02P 9/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F03D 7/048 (2013.01)
F03D 7/028 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0039807
(22) 출원일자 2021년03월26일
심사청구일자 2021년03월26일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020190122840 A
KR102213386 B1
KR101475486 B1
KR1020090055061 A

(73) 특허권자
창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대학로 20(퇴촌동)
(72) 발명자
박민원
경상남도 김해시 덕정로12번길 24 (관동동)
단민차우
경상남도 김해시 관동로 138, 1401동 1201호 (관동동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김중선, 이형석

전체 청구항 수 : 총 10 항

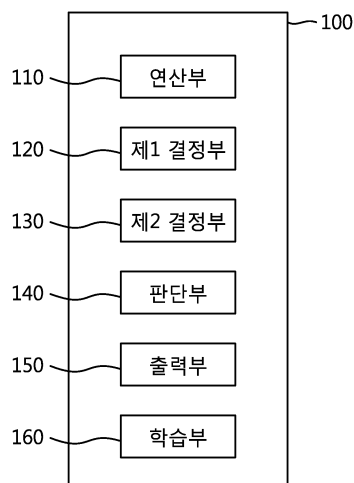
심사관 : 박종오

(54) 발명의 명칭 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치는 예측 날씨 데이터와 디지털 트윈 모델을 사용하여 풍력단지의 가용 총 전력을 계산하는 연산부, 상기 풍력단지의 가용 총 전력을 이용하여 기설정된 가중치에 따라 풍력단지의 최적 출력전력을 결정하는 제1 결정부, 상기 풍력단지의 최적 출력전력을 이용하여 풍력발전기들 각각의 최적 설정값(set-point)을 결정하는 제2 결정부 및 목적함수를 이용하여 상기 최적 출력전력 및 최적 설정값에 대한 안정화 여부를 판단하는 판단부를 포함하여 구성된다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

F03D 7/045 (2013.01)
F03D 7/046 (2013.01)
G06N 3/08 (2013.01)
H02J 3/004 (2020.01)
H02P 9/04 (2013.01)
F05B 2240/93 (2013.01)
F05B 2270/30 (2013.01)
F05B 2270/404 (2013.01)
F05B 2270/709 (2013.01)

(72) 발명자

성해진

경상남도 창원시 마산회원구 구암북18길 39 (구암동)

정가은

경상남도 창원시 성산구 반송로29번길 33 (반지동)

박진제

부산광역시 강서구 명지국제5로 141, 105동 1302호
 (명지동, 협성휴포레)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415169780
과제번호	20203010020050
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	신재생에너지핵심기술개발(R&D)
연구과제명	디지털트윈 기술에 기반한 부유식 해상풍력 시스템의 예지적 유지보수 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	창원대학교 산학협력단
연구기간	2020.10.01 ~ 2021.03.31

명세서

청구범위

청구항 1

예측 날씨 데이터와 디지털 트윈 모델을 사용하여 풍력단지의 가용 총 전력을 계산하는 연산부;

상기 풍력단지의 가용 총 전력을 이용하여 기설정된 가중치에 따라 풍력단지의 최적 출력전력을 결정하는 제1 결정부;

상기 풍력단지의 최적 출력전력을 이용하여 풍력발전기들 각각의 최적 설정값(set-point)을 결정하는 제2 결정부; 및

목적함수를 이용하여 상기 최적 출력전력 및 최적 설정값에 대한 안정화 여부를 판단하는 판단부를 포함하고,

상기 판단부는,

하기의 [수학식 1]에 따른 목적함수를 이용하는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치.

[수학식 1]

$$\text{Max} \left\{ \alpha \cdot \sum_{t=1}^T PR_{sell,t} \cdot P_{out,t} - \beta \cdot \sum_{t=1}^T pen_t \cdot |P_{out,t} - P_{out,t-1}| \right\}$$

여기서, $PR_{sell,t}$ 는 시간(t)에서의 전력 판매 가격, $P_{out,t}$ 는 시간(t)에서 풍력단지의 출력전력, pen_t 는 페널티, $P_{out,t} - P_{out,t-1}$ 는 시간(t)와 (t-1) 사이 풍력단지의 출력전력 편차, α 및 β 는 가중치를 의미한다.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 연산부는,

예측된 각 풍력발전기의 가용전력을 이용하여 풍력단지의 가용 총 전력을 연산하는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 결정부는,

상기 풍력발전기의 최적 출력전력이 상기 풍력단지의 가용 총 전력을 전력보다 작거나 같은 최적 출력전력을 결정하는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제2 결정부는,

상기 풍력발전기의 최적 설정값이 각 풍력발전기의 가용 전력보다 작거나 같도록 최적 설정값을 결정하는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 제2 결정부는,

상기 풍력발전기의 최적 설정값에 대한 총량이 상기 풍력단지의 가용 총 전력과 동일하도록 최적 출력전력을 결정하는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치.

청구항 6

삭제

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 안정화된 최적 출력전력 및 최적 설정값을 실제 풍력단지 및 풍력발전기의 작동 기준값으로 출력하는 출력부를 더 포함하는 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

환경에 따른 상기 최적 출력전력 및 최적 설정값을 강화 학습하는 학습부를 더 포함하는 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치.

청구항 9

예측 날씨 데이터와 디지털 트윈 모델을 사용하여 풍력단지의 가용 총 전력을 계산하는 계산 단계;

상기 풍력단지의 가용 총 전력을 이용하여 기설정된 가중치에 따라 풍력단지의 최적 출력전력을 결정하는 제1 결정 단계;

상기 풍력단지의 최적 출력전력을 이용하여 풍력발전기들 각각의 최적 설정값(set-point)을 결정하는 제2 결정 단계; 및

목적함수를 이용하여 상기 최적 출력전력 및 최적 설정값에 대한 안정화 여부를 판단하는 판단 단계를 포함하고,

상기 판단 단계는,

하기의 [수학식 1]의 목적함수를 이용하는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 방법.

[수학식 1]

$$\text{Max} \left\{ \alpha \cdot \sum_{t=1}^T PR_{sell,t} \cdot P_{out,t} - \beta \cdot \sum_{t=1}^T pen_t \cdot |P_{out,t} - P_{out,t-1}| \right\}$$

여기서, $PR_{sell,t}$ 는 시간(t)에서의 전력 판매 가격, $P_{out,t}$ 는 시간(t)에서 풍력단지의 출력전력, pen_t 는 페널티, $P_{out,t} - P_{out,t-1}$ 는 시간(t)와 (t-1) 사이 풍력단지의 출력전력 편차, α 및 β 는 가중치를 의미한다.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 계산 단계는,

예측된 각 풍력발전기의 가용전력을 합산하여 풍력단지의 가용 총 전력을 계산하는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 방법.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 안정화된 최적 출력전력 및 최적 설정값을 실제 풍력단지 및 풍력발전기의 작동 기준값으로 출력하는 출력 단계를 더 포함하는 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 방법.

청구항 12

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 해상 풍력단지의 제어 장치 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 디지털 트윈 기술을 기반으로 한 부유식 해상 풍력단지의 제어 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 산업통상자원부는 재생 에너지 발전량 비중을 2016년 2.2%에서 2030년 20%로 확대하여 석탄 화력 및 원자력 발전 비중을 줄이는 '재생 에너지 2030 계획'을 발표하였다. 재생에너지원 중에서도 가장 청정에너지로 꼽히는 태양광 및 풍력 발전의 확대를 계획하고 있다.

[0003] 풍력 발전 중 해상 풍력 에너지가 주목받고 있으며, 특히 부유식 해상 풍력 에너지는 평균 풍속 및 풍질 향상으로 인해 연간 에너지 생산량(AEP; Annual Energy Production)의 개선, 수백 MW ~ GW 규모의 대규모 단지 구축 가능, 조선 기술 및 해양 과학 관련 중공업 플랫폼 활용할 수 있어 부유식 해상 풍력 에너지에 대한 관심과 개발이 집중되고 있는 실정이다.

[0004] 도 1에 도시된 바와 같이, 종래의 풍력 에너지 발전에 대한 제어 시스템은 시간 흐름에 따라 풍력단지 시스템의 최적 출력 값과 최대 출력 값의 차이(dP_{12} , dP_{23} , dP_{34})가 급격하게 증가되며, 이는 풍력 발전 시스템의 운전 에 대한 안전성 문제를 발생하게 된다. 또, 해상 풍력 발전 단지의 출력 전력이 풍속 변화에 따라 변동하기 때

문에 전력망에 통합되는 해상 풍력 에너지는 상당 부분이 한국 전력망의 신뢰성과 안정성을 위협할 수 있다.

[0005] 상기의 문제점을 해결하기 위해 풍력 발전 시스템에서 풍력 발전 단지가 전력망에 미치는 영향을 줄이고 해상 풍력 단지의 출력 전력을 극대화하도록 풍력 단지의 출력 전력을 최대화하고 출력 전력 변동을 최소화해야 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명은 디지털 트윈을 기반으로 풍력단지의 최적 출력전력과 최적 설정값을 풍력단지 및 풍력발전기의 작동 기준값으로 사용하는 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0007] 본 발명은 풍력단지에 대해 출력전력을 최대화하고 출력전력 변동을 최소화하여 목표기능에 대한 균형을 조절하는 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0008] 본 발명의 목적은 이상에서 언급한 것으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게 명확히 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 이와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 예측 날씨 데이터와 디지털 트윈 모델을 사용하여 풍력단지의 가용 총 전력을 계산하는 연산부, 상기 풍력단지의 가용 총 전력을 이용하여 기설정된 가중치에 따라 풍력단지의 최적 출력전력을 결정하는 제1 결정부, 상기 풍력단지의 최적 출력전력을 이용하여 풍력발전기 각각의 최적 설정값(set-point)을 결정하는 제2 결정부 및 목적함수를 이용하여 상기 최적 출력전력 및 최적 설정값에 대한 안정화 여부를 판단하는 판단부를 포함하는 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치를 제공한다.

[0010] 상기 연산부는 예측된 각 풍력발전기의 가용전력을 이용하여 풍력단지의 가용 총 전력을 연산하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 상기 제1 결정부는 상기 풍력발전기의 최적 출력전력이 상기 풍력단지의 가용 총 전력을 전력보다 작거나 같은 최적 출력전력을 결정하는 것을 특징으로 한다.

[0012] 상기 제2 결정부는 상기 풍력발전기의 최적 설정값이 각 풍력발전기의 가용 전력보다 작거나 같도록 최적 설정값을 결정하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 제2 결정부는 상기 풍력발전기의 최적 설정값에 대한 총량이 상기 풍력단지의 가용 총 전력과 동일하도록 최적 출력전력을 결정하는 것을 특징으로 한다.

[0014] 상기 판단부는 하기의 [수학식 1]에 따른 목적함수를 이용하는 것을 특징으로 한다.

[0015] [수학식 1]

$$\text{Max} \left\{ \alpha \cdot \sum_{t=1}^T PR_{\text{sell},t} \cdot P_{\text{out},t} - \beta \cdot \sum_{t=1}^T \text{pen}_t \cdot |P_{\text{out},t} - P_{\text{out},t-1}| \right\}$$

[0016]

[0017] 여기서, $PR_{\text{sell},t}$ 는 시간(t)에서의 전력 판매 가격, $P_{\text{out},t}$ 는 시간(t)에서 풍력단지의 출력전력, pen_t 는 페널티, $P_{\text{out},t} - P_{\text{out},t-1}$ 는 시간(t)와 (t-1) 사이 풍력단지의 출력전력 편차, α 및 β 는 가중치들의 의미한다.

[0018] 상기 안정화된 최적 출력전력 및 최적 설정값을 실제 풍력단지 및 풍력발전기의 작동 기준값으로 출력하는 출력부를 더 포함한다.

[0019] 상기 풍력단지의 환경에 따른 최적 출력전력 및 최적 설정값을 강화 학습하는 학습부를 더 포함한다.

[0020] 본 발명의 다른 특징에 따르면, 예측 날씨 데이터와 디지털 트윈 모델을 사용하여 풍력단지의 가용 총 전력을

계산하는 계산 단계, 상기 풍력단지의 가용 총 전력을 이용하여 기설정된 가중치에 따라 풍력단지의 최적 출력 전력을 결정하는 제1 결정 단계, 상기 풍력단지의 최적 출력전력을 이용하여 풍력발전기 각각의 최적 설정값(set-point)을 결정하는 제2 결정 단계 및 목적함수를 이용하여 상기 최적 출력전력 및 최적 설정값에 대한 안정화 여부를 판단하는 판단 단계를 포함하는 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 방법을 제공한다.

[0021] 상기 계산 단계는, 예측된 각 풍력발전기의 가용전력을 합산하여 풍력단지의 가용 총 전력을 계산하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 상기 안정화된 최적 출력전력 및 최적 설정값을 실제 풍력단지 및 풍력발전기의 작동 기준값으로 출력하는 출력 단계를 더 포함한다.

[0023] 상기 판단 단계는, 하기의 [수학식 1]의 목적함수를 이용하여 것을 특징으로 한다.

[0024] [수학식 1]

$$\text{Max} \left\{ \alpha \cdot \sum_{t=1}^T PR_{\text{sell},t} \cdot P_{\text{out},t} - \beta \cdot \sum_{t=1}^T \text{pen}_t \cdot |P_{\text{out},t} - P_{\text{out},t-1}| \right\}$$

[0025] 여기서, $PR_{\text{sell},t}$ 는 시간(t)에서의 전력 판매 가격, $P_{\text{out},t}$ 는 시간(t)에서 풍력단지의 출력전력, pen_t 는 페널티, $P_{\text{out},t} - P_{\text{out},t-1}$ 는 시간(t)와 (t-1) 사이 풍력단지의 출력전력 편차, α 및 β 는 가중치를 의미한다.

발명의 효과

[0027] 이상과 같은 본 발명의 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치 및 방법에 따르면, 디지털 트윈을 기반으로 풍력단지의 최적 출력전력과 최적 설정값을 실제 풍력단지 및 풍력발전기의 작동 기준값으로 적용함으로써, 실제 부유식 풍력 발전기를 최적으로 운영할 수 있다. 또한, 풍력 발전기에 대한 연간 에너지 생산량(AEP; Annual Energy Production)를 증가시키고 풍력 에너지의 발생 비용 절감시킬 수 있다.

[0028] 본 발명은 풍력단지에 대해 출력전력을 최대화하고 출력전력 변동을 최소화하도록 하여 목표기능에 대한 균형을 조절함으로써, 전력 계통 안정성에 대한 풍력단지의 영향을 최소화시킬 수 있다. 즉, 실제 풍력단지 및 풍력발전기의 출력전력에 대한 안전성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

[0029] 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 종래의 풍력 에너지 제어 시스템에서 풍력단지의 출력전력 그래프

도 2는 본 발명에 따른 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치를 설명하기 위한 블록도

도 3는 본 발명에 따른 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 방법을 설명하기 위한 흐름도

도 4는 도 3의 예시도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 본 발명의 목적 및 효과, 그리고 그것들을 달성하기 위한 기술적 구성들은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시 예들을 참조하면 명확해질 것이다. 본 발명을 설명함에 있어서 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다.

[0032] 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다.

- [0033] 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있다. 단지 본 실시 예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0034] 이와 같은 본 발명은 비록 한정된 실시 예와 도면에 의해 설명되나, 본 발명은 이것에 의해 한정되지 않으며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 본 발명의 기술 사상과 아래에 기재될 청구범위의 균등 범위 내에서 다양한 수정 및 변형이 가능함은 물론이다.
- [0035] 이하에서는 도면에 도시한 실시 예에 기초하면서 본 발명에 대하여 더욱 상세하게 설명하기로 한다. 그러나, 본원이 이러한 실시 예와 도면에 제한되는 것은 아니다.
- [0036] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 구성에 대하여 상세히 설명한다.
- [0037] 도 1은 본 발명에 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치(100)를 설명하기 위한 블록도이다.
- [0038] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치(100)는 풍력단지의 가용 총 전력을 계산하는 연산부(110), 풍력단지의 최적 출력전력을 결정하는 제1 결정부(120), 풍력발전기의 최적 설정값(set-point)을 결정하는 제2 결정부(130), 최적 출력전력 및 최적 설정값에 대해 안정화 여부를 판단하는 판단부(140), 최적 출력전력 및 최적 설정값을 작동 기준값으로 출력하는 출력부(150), 최적 출력전력 및 최적 설정값을 강화 학습하는 학습부(160)을 포함한다.
- [0039] 연산부(110)는 예측 날씨 데이터와 디지털 트윈 모델을 사용하여 복수개의 풍력발전기(WT, wind turbine)로 구성된 풍력단지(WF, wind farm)의 가용 총 전력을 계산한다. 연산부(110)는 예측 날씨 데이터와 디지털 트윈 모델을 통해 예측된 각 풍력발전기마다 사용 가능한 가용전력(AP, available power)을 합산하여 풍력단지의 가용 총 전력을 연산한다.
- [0040] 예측 날씨 데이터는 실제의 해상 풍력단지가 위치한 장소의 풍속 및 풍향(바람), 파고(파도)에 대한 장단기 상태 예측 데이터일 수 있고, 디지털 트윈 모델은 실제 풍력발전기들로 형성된 풍력단지를 시뮬레이션하기 위해 가상의 공간에 모델링된 모델일 수 있다. 예를 들어, 연산부(110)는 실제 해상 풍력단지 주변의 주간, 일간, 각 시간별 바람과 파도 예측 데이터와 실제 풍력단지 및 풍력발전기를 모델링한 디지털 트윈 모델을 이용할 수 있다.
- [0041] 그리고, 연산부(110)는 각 풍력단지에 대하여 특정 시간 사이의 출력전력의 편차를 연산할 수 있다. 예를들어, 출력전력 편차는 시간(t)의 출력전력($P_{out,t}$)와 (t-1)의 출력전력($P_{out,t-1}$) 사이의 차이를 나타내는 수치이며, $P_{out,t} - P_{out,t-1}$ 와 같이 표현될 수 있다.
- [0042] 제1 결정부(120)는 연산부(110)에서 연산된 풍력단지의 가용 총 전력을 이용하여 풍력단지의 최적 출력전력을 결정한다. 이때 제1 결정부(120)는 사용자에게 의해 기설정된 가중치에 따라 풍력단지의 최적 출력전력을 결정하게 된다.
- [0043] 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 결정부(120)는 가중치에 따라 풍력단지의 출력전력 또는 출력전력 편차를 최대화, 최소화하도록 결정할 수 있다. 여기서 가중치는 0 과 1 사이의 값을 갖는 제1 가중치(α)와 제2 가중치(β)로 구성된다.
- [0044] 예를 들어, 제1 가중치(α)이 1 일 경우 풍력단지의 최적 출력전력이 가용 총 전력과 동일하도록 풍력단지의 출력전력을 최소화할 수 있고, 제1 가중치(α)이 0 일 경우 풍력단지의 출력전력 변동을 최소화할 수 있다. 또, 제1 가중치(α)이 0.8 일 경우 풍력단지의 최적 출력전력이 상기 풍력단지의 가용 총 전력을 전력보다 작거나 같을 수 있다.
- [0045] 제2 결정부(130)는 상기 최적 출력전력을 이용하여 상기 풍력발전기의 최적 설정값(set-point)을 결정하는 역할이며, 모든 풍력발전기의 최적 설정값의 총량이 풍력단지의 최적 출력전력과 동일하도록 최적 설정값(set-point)을 결정하는 것이다.

[0046] 그리고, 상기 제2 결정부(130)는 상기 풍력발전기의 최적 설정값이 각 풍력발전기의 가용 전력보다 작거나 같도록 최적 설정값을 결정한다. 예를들어, 제2 결정부(130)는 제1 가중치(α)이 0.8이고 2 가중치(β)는 0.2인 풍력발전기의 최적 설정값(set-point)을 결정할 수 있다.

[0047] 제2 결정부(130)는 가중치에 따라 최적 설정값을 결정함으로써 풍력발전기의 출력전력의 그래프가 부드럽게 형성되도록 하며 풍력단지 내의 불필요한 내부 변동을 방지할 수 있다.

[0048] 판단부(140)는 목적함수를 이용하여 제1 결정부(120)의 최적 출력전력과 제2 결정부(130)의 최적 설정값에 대한 안정성을 판단한다.

[0049] 판단부(140)는 안정성이 우수한 최적 출력전력 및 최적 설정값을 출력하도록 목적함수의 해를 반복하여 구하고, 향상된 목적함수의 해를 가지는 최적 출력전력 및 최적 설정값으로 안정성을 판단할 수 있다.

[0050] 상기 목적함수는 하기의 [수학식 1]과 같다.

수학식 1

$$\text{Max} \left\{ \alpha \cdot \sum_{t=1}^T PR_{sell,t} \cdot P_{out,t} - \beta \cdot \sum_{t=1}^T pen_t \cdot |P_{out,t} - P_{out,t-1}| \right\}$$

[0051]

[0052] 여기서, $PR_{sell,t}$ 는 시간(t)에서의 전력 판매 가격, $P_{out,t}$ 는 시간(t)에서 풍력단지의 출력전력, pen_t 는 페널티, $P_{out,t} - P_{out,t-1}$ 는 시간(t)와 (t-1) 사이 풍력단지의 출력전력 편차, α 및 β 는 가중치를 의미한다.

[0053] 이때 제1 가중치(α)와 제2 가중치(β)의 합은 1을 만족해야 한다. 즉 $\alpha + \beta = 1$ 와 같이 표현될 수 있다. 이는 풍력단지의 출력전력($P_{out,t}$)과 풍력단지의 출력전력 편차($P_{out,t} - P_{out,t-1}$) 사이의 균형을 이루기 위함이다.

[0054] 본 발명에 따른 목적함수는 높은 풍속으로 인하여 함수의 충돌을 방지하기 위해 하기의 [수학식 2], [수학식 3]과 가중치 합법(weighted sum method)을 통해 구성될 수 있다. 상기 [수학식 2]는 전력계통에 전력을 판매하여 발생하는 출력전력의 이익에 대한 함수, [수학식 3]는 출력전력의 변동으로 발생하는 출력전력 편차에 대한 손실 함수이다.

수학식 2

$$\text{Profit of WF} = \sum_{t=1}^T PR_{sell,t} \cdot P_{out,t}$$

[0055]

[0056] 여기서, $PR_{sell,t}$ 는 시간(t)에서의 전력 판매 가격, $P_{out,t}$ 는 시간(t)에서 풍력단지의 출력전력을 의미한다.

수학식 3

$$\text{Penalty for power deviation} = \sum_{t=1}^T \text{pen}_t \cdot |P_{out,t} - P_{out,t-1}|$$

[0057]

[0058] 여기서, pen_t 는 페널티, $P_{out,t} - P_{out,t-1}$ 는 시간(t)와 (t-1) 사이 풍력단지의 출력전력 편차를 의미한다.

[0059] 본 발명의 일 실시예에 따른 판단부(140)는 목표기능을 수행하도록 안정성 있는 최적 출력전력과 최적 설정값을 출력하기 위해 상기 [수학식 1]의 목적함수를 반복 계산하여 목적함수의 최대값을 획득할 수 있다.

[0060] 출력부(150)는 안정화된 최적 출력전력 및 최적 설정값을 실제 풍력단지 및 풍력발전기가 작동하기 위한 작동 기준값으로 출력한다.

[0061] 학습부(160)는 심층 신경망(DNN, Deep Neural Network)을 이용하여 기설정된 목표기능의 안정화를 최적화하면서 상기 풍력단지의 환경에 따른 최적 출력전력 및 최적 설정값을 강화 학습한다. 학습부(160)는 목표기능을 달성하며 새로운 환경 변화에 따라 적용할 수 있도록 자가 학습할 수 있다.

[0062] 도 3는 본 발명에 따른 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 방법을 설명하기 위한 흐름도이며, 도 4는 본 발명에 따른 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 방법의 예시도이다.

[0063] 먼저, 연산부(110)는 주간, 일간, 각 시간별로 예측 날씨 데이터(weather forecast)와 실제 풍력단지를 모델링한 디지털 트윈 모델을 통해 예측된 풍력단지의 각 풍력발전기(Digital twin Wind Turbine #n)의 가용전력을 합산하여 풍력단지의 가용 총 전력을 연산한다(S100).

[0064] 도 4에 도시된 바와 같이, 연산부(110)는 예측된 풍력발전기(Digital twin WT1, WT2, ..., WTn)에서 사용 가능한 가용전력들(AP1, AP2, ..., APn)을 통해 풍력단지의 사용 가능한 출력전력으로 연산할 수 있다.

[0065] 그리고 나서, 제1결정부(120)는 풍력단지의 가용 총 전력을 이용하여 기설정된 가중치에 따라 최적 출력전력을 결정한다(S200). 이때 제1결정부(120)는 풍력발전기의 최적 출력전력이 상기 풍력단지의 가용 총 전력을 전력보다 작거나 같도록 최적 출력전력을 결정한다.

[0066] 제2 결정부(130)는 제1 결정부(120)의 최적 출력전력을 이용하여 상기 풍력발전기의 최적 설정값(set-point)을 결정한다(S300). 제2 결정부(130)는 풍력발전기의 최적 설정값이 각 풍력발전기의 가용 전력보다 작거나 같고, 풍력발전기의 최적 설정값에 대한 총량이 상기 풍력단지의 가용 총 전력과 동일하도록 최적 설정값을 결정한다.

[0067] 판단부(140)는 목적함수를 이용하여 제1 결정부(120)의 최적 출력전력 및 제2 결정부(130)의 최적 설정값에 대해 목표기능을 수행할 수 있는지 안정화 여부를 판단한다(S500).

[0068] 안정화된 최적 출력전력 및 최적 설정값일 경우, 판단부(140)는 하기의 [수학식 1]을 반복하여 안정화 여부를 판단할 수 있다.

[0069] [수학식 1]

$$\text{Max} \left\{ \alpha \cdot \sum_{t=1}^T \text{PR}_{sell,t} \cdot P_{out,t} - \beta \cdot \sum_{t=1}^T \text{pen}_t \cdot |P_{out,t} - P_{out,t-1}| \right\}$$

[0070]

[0071] 여기서, $\text{PR}_{sell,t}$ 는 시간(t)에서의 전력 판매 가격, $P_{out,t}$ 는 시간(t)에서 풍력단지의 출력전력, pen_t 는 페널티, $P_{out,t} - P_{out,t-1}$ 는 시간(t)와 (t-1) 사이 풍력단지의 출력전력 편차, α 및 β 는 가중치를 의미한다.

[0072] 이때, 가중치 α 및 β 는 $\alpha + \beta = 1$ 조건을 만족한다.

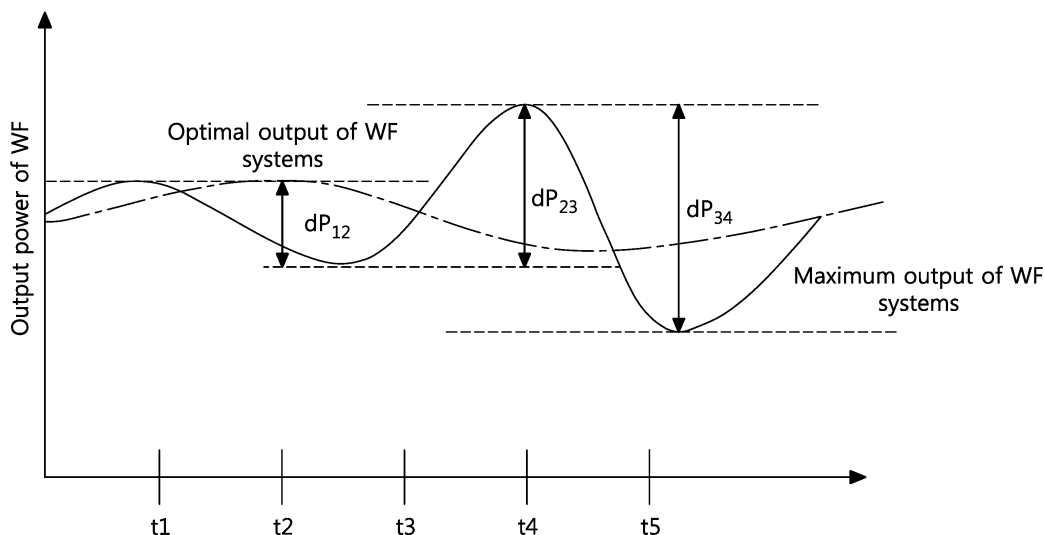
- [0073] 불안정화된 최적 출력전력 및 최적 설정값일 경우, 판단부(140)는 단계S200으로 전달시켜 최적 출력전력 및 최적 설정값을 다시 결정하도록 할 수 있다.
- [0074] 그리고 나서 출력부(150)는 안정화된 최적 출력전력 및 최적 설정값을 실제 풍력단지 및 풍력발전기의 작동하기 위한 작동 기준값으로 출력한다(S500).
- [0075] 이와 같이 본 발명에 따르면, 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치 및 방법은 디지털 트윈을 기반으로 풍력단지의 최적 출력전력과 최적 설정값을 실제 풍력단지 및 풍력발전기의 작동 기준값으로 적용함으로써, 실제 부유식 풍력 발전기를 최적으로 운영할 수 있고 전력 계통 안정성에 대한 풍력단지의 영향을 최소화시켜 실제 풍력단지 및 풍력발전기의 출력전력에 대한 안전성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다.
- [0076] 이상과 같이 본 발명의 도시된 실시 예를 참고하여 설명하고 있으나, 이는 예시적인 것들에 불과하며, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 요지 및 범위에 벗어나지 않으면서도 다양한 변형, 변경 및 균등한 타 실시 예들이 가능하다는 것을 명백하게 알 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적인 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

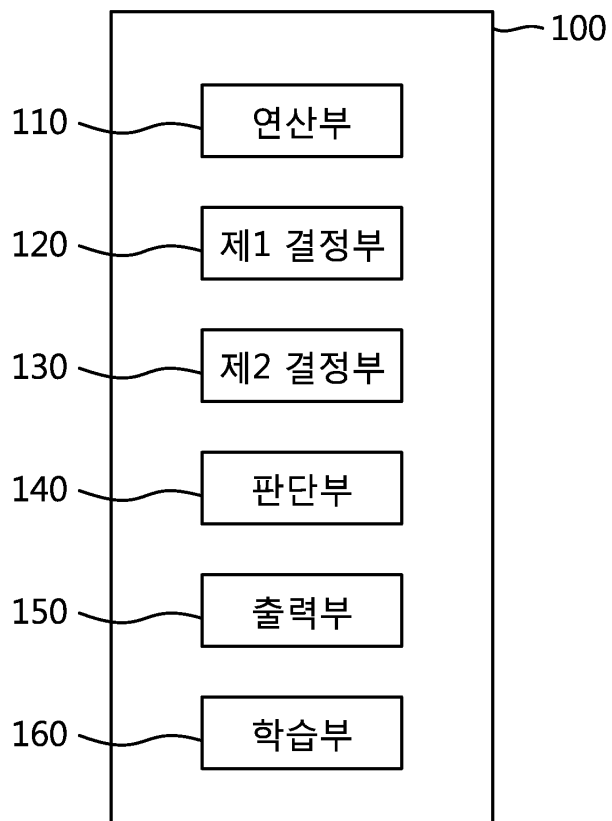
- [0077] 100: 디지털 트윈 기반의 해상 풍력단지의 제어 장치
- 110: 연산부
- 120: 제1 결정부
- 130: 제2 결정부
- 140: 판단부
- 150: 출력부
- 160: 학습부

도면

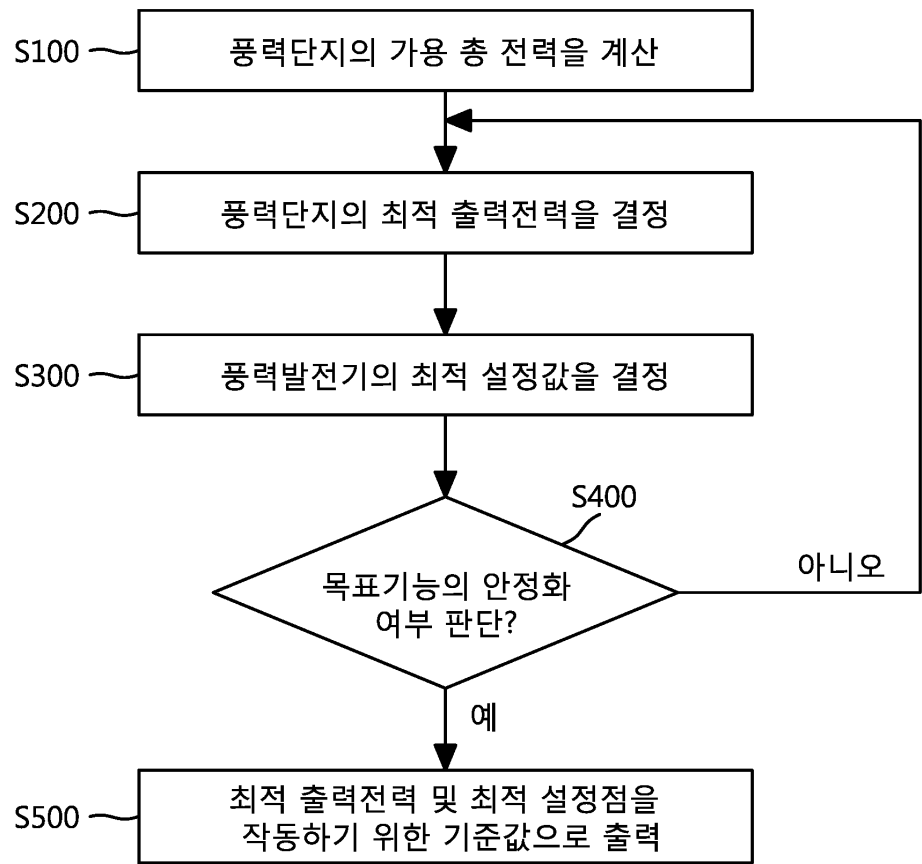
도면1



도면2



도면3



도면4

