



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년06월17일
(11) 등록번호 10-1275278
(24) 등록일자 2013년06월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06F 19/00 (2011.01) G06F 17/10 (2006.01)
F03D 11/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2011-0146996

(22) 출원일자 2011년12월30일

심사청구일자 2011년12월30일

(56) 선행기술조사문헌

풍력발전을 고려한 전력계통의 확률론적인 신뢰도
평가에 관한 연구

풍력발전기를 고려한 새로운 설비예비율 산정방법

신재생에너지전원을 고려한 새로운 유효설비예비
율 평가방법의 개발

(73) 특허권자

경상대학교산학협력단

경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)

(72) 발명자

최재석

경상남도 진주시 평거동 191-1 들말홍한아파트
106-1401

조경희

경상남도 진해시 자은동 주공3차아파트 305동
1101호

(74) 대리인

오세준, 권혁수, 송윤호

전체 청구항 수 : 총 10 항

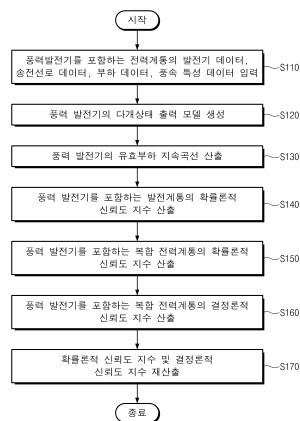
심사관 : 이강하

(54) 발명의 명칭 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법 및 산출 장치

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법은 상기 풍력 발전기의 다개상태 출력모델을 생성하는 단계, 상기 풍력발전기의 다개상태 출력모델을 이용하여 상기 풍력 발전기의 유효 부하 지속곡선을 산출하는 단계, 상기 풍력 발전기를 포함하는 복합전력계통의 확률론적 신뢰도 지수를 산출하는 단계, 상기 풍력 발전기를 포함하는 복합전력계통의 결정론적 신뢰도 지수를 산출하는 단계, 그리고 수요 부하의 변화에 기초하여 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수를 재산출하는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2009T100100545

부처명 지식경제부

연구사업명 전력산업원천기술개발사업

연구과제명 철강 용융 슬래그 기능재료전력에너지 공급신뢰도의 웹기반 실시간 온라인통합정보시스템

구축 제조기술 개발

주관기관 경상대학교 산학협력단

연구기간 2009.06.01 ~ 2011.05.31

특허청구의 범위

청구항 1

풍력 발전기의 다개상태 출력모델을 생성하는 단계;

상기 풍력발전기의 다개상태 출력모델을 이용하여 상기 풍력 발전기의 유효부하 지속곡선을 산출하는 단계;

상기 풍력 발전기를 포함하는 복합전력계통의 확률론적 신뢰도 지수를 산출하는 단계;

상기 풍력 발전기를 포함하는 복합전력계통의 결정론적 신뢰도 지수를 산출하는 단계; 그리고

소정의 기준운용예비율을 만족하도록 산출된 부하감축량에 기초하여 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수를 재산출하는 단계를 포함하는 부하관리를 고려한 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 풍력 발전기의 유효부하 지속곡선을 산출하는 단계는

상기 풍력 발전기의 상기 다개상태 출력모델로부터 가용용량 확률분포함수를 산출하는 단계;

상기 가용용량 확률분포함수를 이용하여 사고용량 확률분포함수를 산출하는 단계; 그리고

상기 사고용량 확률분포함수를 이용하여 상기 유효부하 지속곡선을 산출하는 단계를 포함하는 부하관리를 고려한 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수를 재산출하는 단계는

상기 부하감축량에 따라 풍력 발전기를 포함하는 발전계통의 확률론적 신뢰도 지수, 풍력 발전기를 포함하는 복합 전력계통의 확률론적 신뢰도 지수 및 풍력 발전기를 포함하는 복합 전력계통의 결정론적 신뢰도 지수를 재산출하는 단계;

를 포함하는 부하관리를 고려한 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 풍력 발전기를 포함하는 발전계통의 확률론적 신뢰도 지수를 산출하는 단계를 더 포함하는 부하관리를 고려한 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법.

청구항 6

제1 항에 있어서,

상기 확률론적 신뢰도 지수는

공급 지장 시간 기대치(Loss of Load Expectation, LOLE), 공급 지장 에너지 기대치(Expected Energy Not Served, EENS) 및 상대적 신뢰도 지수(Energy Index of Reliability, EIR) 중 적어도 어느 하나인 부하관리를 고려한 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법.

청구항 7

제1 항에 있어서,

상기 결정론적 신뢰도 지수는

유효 설비 예비율(Effective Install Reserve Rate, EIRR), 유효 공급 예비율(Effective Supply Reserve Rate, ESRR) 및 유효 운용 예비율(Effective Operating Reserve Rate, EORR) 중 적어도 어느 하나인 풍력 발전기를 포함하는 부하관리를 고려한 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법.

청구항 8

풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 발전기 데이터, 송전선로 데이터, 부하 데이터 및 풍속 특성 데이터를 입력 받는 데이터 입력부; 그리고

상기 풍력 발전기의 다개상태 출력모델을 생성하고, 상기 다개상태 출력모델을 이용하여 상기 풍력 발전기의 유효부하 지속곡선을 산출하고, 상기 풍력 발전기를 포함하는 복합 전력계통의 확률론적 신뢰도 지수 및 결정론적 신뢰도 지수를 산출하고, 소정의 기준운용예비율을 만족하도록 산출된 부하감축량에 기초하여 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수를 재산출하는 데이터 처리부를 포함하는 부하관리를 고려한 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 장치.

청구항 9

제8 항에 있어서,

상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수 중 적어도 어느 하나를 출력하는 디스플레이부를 더 포함하는 부하관리를 고려한 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 장치.

청구항 10

제8 항에 있어서,

상기 발전기 데이터, 송전선로 데이터, 부하 데이터 및 풍속 특성 데이터를 외부 기기로부터 수신하고,

상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수 중 적어도 어느 하나를 상기 외부 기기로부터 송신하는 통신부를 더 포함하는 부하관리를 고려한 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 장치.

청구항 11

제1 항 내지 제3항 및 제5항 내지 제7 항 중 어느 한 항의 방법을 수행하기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 판독 가능한 기록 매체.

명 세 서

기술 분야

[0001] 본 발명은 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법 및 산출 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 전 세계적으로 환경 문제에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 따라, 신재생에너지 개발에 대한 논의가 활발히 이루어지고 있으며, 풍력, 태양광, 연료 전지 및 조력발전 등이 그 대상이 되고 있다. 그 중에서 풍력 발전은 다른 신재생에너지에 비해 경제성 면에서 우수하고, 상용화가 쉬운 장점이 있다. 하지만, 풍력 발전의 경우 자원에 해당하는 풍속의 불확실성 때문에 풍속을 예측하는 것이 중요한 문제가 된다. 즉, 풍력 발전은 기존의 화력, 원자력 등의 에너지원을 이용한 발전과 비교할 때 에너지원(ex. 풍속)의 공급 및 이에 따른 출력제어가 상대적으로 매우 어렵다. 특히, 이러한 에너지원의 공급중단은 전력공급 중단으로 이어져 막대한 국가적 손실을 발생시킬 수 있다. 따라서, 풍력 발전기를 포함하는 전력계통에 대한 신뢰도를 산출하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

[0003] 하지만 일반적으로, 풍력 발전기를 포함하는 전력계통에 대한 신뢰도 지수 산출 방법에 대한 연구는 연간 단위

의 장기 발전 계획 또는 월간 단위의 중기 발전 계획을 위한 신뢰도 지수 산출 수준에 그치고 있다. 또한, 일반적인 신뢰도 지수 산출 방법들은 수요에 따른 부하의 변화를 고려하지 않고 신뢰도 지수를 산출하고 있다. 따라서, 풍력 발전기를 포함하는 전력계통에 대한 일반적인 신뢰도 지수 산출 방법들은 실시간으로 변화하는 발전 상황을 고려한 신뢰도 지수 산출이 어렵고, 수요에 따른 부하의 변화를 고려하지 않아 결과적으로 전력 공급의 신뢰성이 떨어지는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0004] 이에, 본 발명의 일 실시예가 이루고자 하는 기술적 과제는 실시간으로 변화하는 발전 상황을 반영할 수 있는 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법 및 산출 장치를 제공하는 데 있다.
- [0005] 본 발명의 일 실시예가 이루고자 하는 기술적 과제는 수요에 따른 부하의 변화를 고려할 수 있는 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법 및 산출 장치를 제공하는 데 있다.
- [0006] 본 발명의 기술적 과제는 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0007] 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법은 상기 풍력 발전기의 다개상태 출력모델을 생성하는 단계, 상기 풍력발전기의 다개상태 출력모델을 이용하여 상기 풍력 발전기의 유효부하 지속곡선을 산출하는 단계, 상기 풍력 발전기를 포함하는 복합전력계통의 확률론적 신뢰도 지수를 산출하는 단계, 상기 풍력 발전기를 포함하는 복합전력계통의 결정론적 신뢰도 지수를 산출하는 단계, 그리고 수요 부하의 변화에 기초하여 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수를 재산출하는 단계를 포함한다.
- [0008] 일 실시예에서, 상기 풍력 발전기의 유효부하 지속곡선을 산출하는 단계는 상기 풍력 발전기의 상기 다개상태 출력모델로부터 가용용량 확률분포함수를 산출하는 단계, 상기 가용용량 확률분포함수를 이용하여 사고용량 확률분포함수를 산출하는 단계, 그리고 상기 사고용량 확률분포함수를 이용하여 상기 유효부하 지속곡선을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0009] 일 실시예에서, 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수를 재산출하는 단계는 수요 관리 방법 선택값에 따라 기준부하 만족 부하관리법 또는 기준운용예비율 만족 부하관리법을 이용하여 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수를 재산출할 수 있다.
- [0010] 일 실시예에서, 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수를 재산출하는 단계는 상기 기준부하 만족 부하관리법 또는 상기 기준운용예비율 만족 부하관리법에 따른 상기 수요 부하의 변화에 기초하여 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수를 재산출할 수 있다.
- [0011] 일 실시예에서, 상기 풍력 발전기를 포함하는 발전계통의 확률론적 신뢰도 지수를 산출하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0012] 일 실시예에서, 상기 확률론적 신뢰도 지수는 공급 지장 시간 기대치(Loss of Load Expectation, LOLE), 공급 지장 에너지 기대치(Expected Energy Not Served, EENS) 및 상대적 신뢰도 지수(Energy Index of Reliability, EIR) 중 적어도 어느 하나일 수 있다.
- [0013] 일 실시예에서, 상기 결정론적 신뢰도 지수는 유효 설비 예비율(Effective Install Reserve Rate, EIRR), 유효 공급 예비율(Effective Supply Reserve Rate, ESRR) 및 유효 운용 예비율(Effective Operating Reserve Rate, EORR) 중 적어도 어느 하나일 수 있다.
- [0014] 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 산출 장치는 상기 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 발전기 데이터, 송전선로 데이터, 부하 데이터 및 풍속 특성 데이터를 입력받는 데이터 입력부, 그리고 상기 풍력 발전기의 다개상태 출력모델을 생성하고, 상기 다개상태 출력모델을 이용하여 상기 풍력 발전기의 유효부하 지속곡선을 산출하고, 상기 풍력 발전기를 포함하는 복합 전력계통의 확률론적 신뢰도 지수 및 결정론적 신뢰도 지수를 산출하고, 수요 부하의 변화에 기초하여 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수를 재산출하는 데이터 처리부를 포함하는 풍력 발전기를 포함한다.

- [0015] 일 실시예에서, 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수 중 적어도 어느 하나를 출력하는 디스플레이부를 더 포함할 수 있다.
- [0016] 일 실시예에서, 상기 발전기 데이터, 송전선로 데이터, 부하 데이터 및 풍속 특성 데이터를 외부 기기로부터 수신하고, 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수 중 적어도 어느 하나를 상기 외부 기기로 송신하는 통신부를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0017] 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법 및 산출 장치는 실시간으로 변하는 발전 상황을 반영하여 신뢰도 지수를 산출할 수 있다.
- [0018] 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법 및 산출 장치는 수요에 따른 부하의 변화를 고려하여 신뢰도 지수를 산출할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통을 개략적으로 나타낸 것이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법을 나타낸 흐름도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기의 다개상태 출력모델 생성단계를 설명하기 위한 그래프이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기의 유효부하 지속곡선 산출 단계를 더욱 상세하게 나타낸 흐름도이다.
- 도 5 및 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기의 다개상태 출력모델, 즉 가용용량 확률 분포함수를 나타낸 것이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기의 유효부하 지속곡선을 나타낸 것이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 확률론적 신뢰도 지수 및 결정론적 신뢰도 지수 재산출단계를 설명하기 위한 부하관리 방법을 나타낸 그래프이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 장치를 개략적으로 나타낸 것이다.
- 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 제주도의 전력계통을 모식적으로 나타낸 것이다.
- 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 행원(HWN) 풍력 단지의 출력용량 확률분포함수를 나타낸 것이다.
- 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 성산(SSN) 풍력 단지의 출력용량 확률분포함수를 나타낸 것이다.
- 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 한림(HLM) 풍력 단지의 출력용량 확률분포함수를 나타낸 것이다.
- 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 제주도 전력계통에 대한 결정론적 신뢰도 지수를 나타낸 것이다.
- 도 15 내지 도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 제주도 전력계통 및 각각의 부하에 대한 확률론적 신뢰도 지수를 나타낸 것이다.
- 도 18은 본 발명의 일 실시예에 따른 제주도 전력계통에 대하여 수요 관리 방법 선택값(IDDR)에 따른 수요 부하의 변화를 나타낸 것이다.
- 도 19는 본 발명의 일 실시예에 따른 제주도 전력계통에 대한 수요 관리 방법의 변화에 따라 재산출된 확률론적 신뢰도 지수를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.

- [0021] 제1, 제2, A, B 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.
- [0022] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0023] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0024] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0025] 본 발명의 일 실시예는 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법 및 산출 장치에 관한 것이다.
- [0026] 이하에서, 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법 및 산출 장치가 도면을 참조하여 상세히 설명된다.
- [0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통을 개략적으로 나타낸 것이다.
- [0028] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통(10)은 풍력 발전기(11), 화력 발전원(12) 및 원자력 발전원(13)을 포함하는 발전계통, 송전계통(14) 및 부하(15)를 포함하여 구성될 수 있다. 또한, 상기 발전계통은 상기 화력 발전원(12) 및 원자력 발전원(13) 외에도 수력 발전원, 조력 발전원 등을 더 포함하여 구성될 수 있다. 복합 전력계통은 상기 풍력 발전기(11), 화력 발전원(12), 원자력 발전원(13), 송전계통(14) 및 부하(15)를 포함하여 구성될 수 있다.
- [0029] 상기 풍력 발전기(11)는 도 1에서 예시적으로 하나가 도시되어 있지만, 상기 풍력 발전기(11)는 복수 개로 구성될 수도 있다.
- [0030] 풍력 발전기(11)의 경우, 공급 에너지원인 풍속의 시공간적인 변화가 크다. 따라서, 화력 발전원(12) 및 원자력 발전원(13) 등과 비교할 때 풍력 발전기(11)의 전력공급의 불확실성이 크다.
- [0031] 따라서, 본 발명의 실시예들에서 상기 풍력 발전기(11)는 다개상태로 출력모델이 설정될 수 있다. 이는 이하의 도 3을 통해 구체적으로 설명될 것이다.
- [0032] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법을 나타낸 흐름도이다.
- [0033] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법은 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 발전기 데이터, 송전선로 데이터, 부하 데이터 및 풍속 특성 데이터 등을 입력받는 단계(S110), 상기 풍력 발전기의 다개상태 출력모델을 생성하는 단계(S120), 상기 풍력 발전기의 유효부하 지속곡선을 산출하는 단계(S130), 상기 풍력 발전기를 포함하는 발전계통의 확률론적 신뢰도 지수를 산출하

는 단계(S140), 상기 풍력 발전기를 포함하는 복합 전력계통의 확률론적 신뢰도 지수를 산출하는 단계(S150), 상기 풍력 발전기를 포함하는 복합 전력계통의 결정론적 신뢰도 지수를 산출하는 단계(S160), 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 결정론적 신뢰도 지수를 재산출하는 단계(S170)를 포함하여 수행될 수 있다.

[0034] 상기 풍력 발전기를 포함하는 발전계통의 확률론적 신뢰도 지수를 산출하는 단계(S140), 상기 풍력 발전기를 포함하는 복합 전력계통의 확률론적 신뢰도 지수를 산출하는 단계(S150) 및 상기 풍력 발전기를 포함하는 복합 전력계통의 결정론적 신뢰도 지수를 산출하는 단계(S160)는 동시에 또는 순차적으로 수행될 수 있다.

[0035] 먼저, 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 발전기 데이터, 송전선로 데이터, 부하 데이터 및 풍속 특성 데이터 등을 입력받는 단계(S110)가 설명된다. 상기 발전기 데이터는 상기 풍력 발전기의 정격 용량, 고장 확률 및 상태 개수 등을 포함할 수 있다. 상기 송전선로 데이터는 시작 모선, 도착 모선, 용량, 고장 확률 및 상태 개수 등을 포함할 수 있다. 상기 부하 데이터는 연결 모선 및 용량 등을 포함할 수 있다. 상기 풍속 특성 데이터는 풍속, 평균 풍속, 표준 편차 등을 포함할 수 있다.

표 1

번호	이름	종류	연결 모선	대 수	정격용량 [MW]	고장 확률	상태 개수	지역
1	HWN1	WTG	2	1	50	0	11	Area 2
2	SSN2	WTG	2	1	30	0	7	Area 2
3	HLM3	WTG	1	1	20	0	5	Area 1
4	HVDC*	HVDC	1	2	150	0	3	Area 1
5	NMJ3	T/P	1	2	100	0.012	2	Area 1
6	JJU1	T/P	1	1	10	0.015	2	Area 1
7	JJU2	T/P	1	2	75	0.012	2	Area 1
8	HLM1	G/T	1	2	35	0.013	2	Area 1
9	HLM1	S/T	1	1	35	0.013	2	Area 1
10	JJU3	D/P	1	1	40	0.018	2	Area 1
11	NMJ1	D/P	1	4	10	0.018	2	Area 1
최대 용량 [MW]					945			

[0037] 상기 표 1은 예시적으로, 풍력 발전기를 포함하는 제주도 전력계통의 발전기 데이터를 나타낸다. HWN1, SSN2, HLM3는 풍력 발전기를 나타낸다. 번호 5 내지 번호 11 발전기는 화력 및 원자력 발전원으로서 고장과 운전이라는 2개 상태로 가정될 수 있다. HVDC*는 본토와 연결되는 연계선으로서 등가발전기로 가정되며, 보다 상세한 모델링을 위해 3개 상태로 가정될 수 있다.

표 2

번호	이름	선로 종류	시작 모선	도착 모선	용량 [MW]	고장확률	상태 개수
1	HGWN	T/L	1	2	200	0.004568	2
2	HASG	T/L	2	1	200	0.004568	2

[0039] 상기 표 2는 예시적으로, 풍력 발전기를 포함하는 제주도 전력계통의 송전선로 데이터를 나타낸다.

표 3

번호	부하 이름	연결 모선	용량[MW]	지역
1	제주(JEJU)	1	481	Area 1
2	성산(SUSN)	2	74	Area 2

[0040]

[0041] 상기 표 3은 예시적으로, 풍력 발전기를 포함하는 제주도 전력계통의 부하 데이터를 나타낸다.

표 4

풍속 특성데이터			
Wind farm	HWN1	SSN2	HLM3
Peak speed	45 m/s	40 m/s	35 m/s
Mean wind speed	8.5 m/s	7.6 m/s	6.4 m/s
Standard deviation	7 m/s	6 m/s	5 m/s
풍력발전기 특성데이터			
WTG capacity	50MW	30MW	20MW
Cut-in speed(V_{ci})	5 m/s	5 m/s	5 m/s
Rated speed(V_R)	16 m/s	15 m/s	14 m/s
Cut-out speed(V_{co})	25 m/s	25 m/s	25 m/s

[0042]

[0043] 상기 표 4는 예시적으로, 풍력 발전기를 포함하는 제주도 전력계통의 풍속 특성 데이터를 나타낸다.

[0044] 다음으로 풍력 발전기의 다개상태 출력모델을 생성하는 단계(S120)가 설명된다. 다개상태는 풍속의 변화에 따른 풍력 발전기의 운전상태를 복수의 구간으로 나누어 정의하는 것을 의미한다. 상기 S120 단계는 이하의 도 3을 참조하여 상세히 설명한다.

[0045] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기의 다개상태 출력모델 생성단계를 설명하기 위한 그래프이다.

[0046] 도 3을 참조하면, (a)는 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기의 출력특성곡선을 나타낸다. 풍력 발전기의 출력은 에너지원인 풍속에 의존적이다. 구체적으로, 풍력 발전기의 출력은 일정 이상의 풍속에서 출력을 내기 시작하여 정규 풍속에 도달하면 정격출력을 발생한다. 또한, 정규 풍속 이상의 풍속에서는 기기보호를 위해 전력을 발생하지 않는다. (b)는 풍속모델의 확률분포함수를 나타낸다. 풍속모델은 예시적으로, 공통풍속모델(common wind speed model)로 가정된다. 풍속의 평균 μ 와 표준편차 σ 는 정규확률분포로 가정된다. 0 m/s 좌측의 점선 부분은 기준 지점의 풍속과 반대방향을 의미한다. 상기 (a) 및 (b) 그래프를 결합하여 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기의 다개상태 출력모델을 생성할 수 있다. P_M 은 풍속 M에 대한 풍력 발전기의 출력율, P_{B_M} 은 풍속 M에 대한 풍속 모델의 확률율, μ 는 풍속의 평균을, σ 는 풍속의 표준편차를 나타낸다.

[0047] 다시 도 2를 참조하면, 다음으로, 풍력 발전기의 유효부하 지속곡선을 산출하는 단계(S130)가 설명된다. 상기 S130 단계는 이하의 도 4 내지 도 7을 참조하여 더욱 상세하게 설명된다.

[0048] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기의 유효부하 지속곡선 산출 단계를 더욱 상세하게 나타낸 흐름도이다.

[0049] 도 5 및 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기의 다개상태 출력모델, 즉 가용용량 확률 분포함수를 나타낸다.

[0050] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기의 유효부하 지속곡선 산출단계를 설명하기 위한 그래프이다.

[0051] 먼저, 도 4를 참조하면, 상기 S130 단계는 가용용량 확률분포함수를 산출하는 단계(S131), 상기 가용용량 확률

분포함수를 이용하여 사고용량 확률분포함수를 산출하는 단계(S132) 및 상기 사고용량 확률분포함수를 이용하여 상기 풍력 발전기의 유효부하 지속곡선을 산출하는 단계(S133)를 포함하여 수행될 수 있다.

[0052] 도 5를 참조하면, 상기 S131 단계는 도 3에서 설명된 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기의 다개상태 출력 모델로부터 상기 풍력 발전기의 출력과 확률의 선형 그래프를 산출할 수 있다. 산출된 상기 풍력 발전기의 출력에 따른 확률을 등간격으로 조정하기 위해 선형 보간법이 사용될 수 있다. 이는 이하의 수학식 1 및 수학식 2로 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$PB_k = \left(\frac{P_{k+1} - P_i}{\Delta P} \times PB_i \right)$$

[0053]

수학식 2

$$PB_{k+1} = \left(\frac{P_i - P_k}{\Delta P} \times PB_i \right)$$

[0054]

[0055] 여기서, $\Delta P = P_{k+1} - P_k$ [MW], i 는 원래의 다개상태 출력모델의 상태번호, k 는 선형 분할한 다개상태 출력모델의 상태번호를 나타낸다.

[0056] 도 6을 참조하면, 상기 수학식 1 및 수학식 2를 통해 산출되는 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기의 다개상태 확률분포함수가 도시된다. 상기 다개상태 확률분포함수는 가용용량 확률분포함수로 정의될 수 있다.

[0057] 상기 S132 단계는 상기 가용용량 확률분포함수를 이용하여 상기 사고용량 확률분포함수를 산출할 수 있다. 이는 이하의 수학식 3을 통해 수행될 수 있다.

수학식 3

$$f_{osi} = f(P_{oi}, PB_i)$$

[0058]

[0059] 여기서, f_{osi} 는 i 번째 풍력 발전기의 사고용량 확률분포함수, P_{oi} 는 i 번째 풍력 발전기의 사고용량 변수($P_{sni} - P_{ik}$) [MW], P_{sni} 는 i 번째 풍력 발전기의 정격용량 [MW], PB_i 는 i 번째 풍력 발전기의 사고용량 확률변수를 나타낸다.

[0060] 상기 S133 단계는 상기 사고용량 확률분포함수를 이용하여 상기 유효부하 지속곡선을 산출할 수 있다. 이는 이하의 수학식 4를 통해 수행될 수 있다.

수학식 4

$$\Phi_i = \Phi_{i-1} \otimes f_{osi}$$

[0061]

$$= \left(1 - \sum_{j=1}^{NS} q_{ij} \right) \Phi_{i-1}(x) + \sum_{j=1}^{NS} q_{ij} \Phi_{i-1}(x - C_{ij})$$

[0062]

[0063] 여기서, $\otimes$ 는 상승적분을 의미하는 연산자, Φ_0 는 원래의 부하지속곡선, Φ_{i-1} 은 첫번째 풍력 발전기에서 $i-1$ 번째 풍력 발전기까지 고려한 유효부하 지속곡선, f_{osi} 는 i 번째 풍력 발전기의 사고용량 확률분포함수, NS는 발전기의 상태 개수, C_{ij} 는 i 번째 풍력 발전기의 j 번째 상태의 사고용량 [MW], q_{ij} 는 i 번째 발전기의 j 번째 상태의 사고확률을 나타낸다. 도 7은 상술한 S133 단계를 통해 산출되는 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기의 유효부하 지속곡선을 나타낸 그래프이며, 이를 이용하여 확률론적 신뢰도 지수를 산출한다.

[0064] 다시 도 2를 참조하면, 상기 풍력 발전기를 포함하는 발전계통의 확률론적 신뢰도 지수를 산출하는 단계(S140)가 설명된다.

[0065] 상기 S140 단계는 상기 유효부하 지속곡선을 이용하여 상기 풍력 발전기를 포함하는 발전계통의 확률론적 신뢰도 지수를 산출할 수 있다. 상기 확률론적 신뢰도 지수는 공급 지장 시간 기대치(Loss of Load Expectation, LOLE), 공급 지장 에너지 기대치(Expected Energy Not Served, EENS) 및 상대적 신뢰도 지수(Energy Index of Reliability, EIR) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 상기 공급 지장 시간 기대치(Loss of Load Expectation, LOLE)는 다른 측면에서 정전률로 이해될 수 있다. 상기 공급 지장 에너지 기대치(Expected Energy Not Served, EENS) 다른 측면에서 공급 지장 전력량으로 이해될 수 있다.

[0066] 상기 공급 지장 시간 기대치(Loss of Load Expectation, LOLE), 공급 지장 에너지 기대치(Expected Energy Not Served, EENS) 및 상대적 신뢰도 지수(Energy Index of Reliability, EIR)는 이하의 수학적식 5 내지 수학적식 7을 통해 산출될 수 있다.

수학적식 5

$$LOLE_{HLI} = HLI\Phi(x) \big|_{x=IC} \quad [hours/year]$$

[0067]

수학적식 6

$$EENS_{HLI} = \int_{IC}^{IC+L_p} HLI\Phi(x)dx \quad [MWh/year]$$

[0068]

수학적식 7

$$EIR = 1 - EENS/DENG$$

[0069]

[0070] 여기서, L_p 는 최대부하량, IC는 총 설비용량, C_i 는 i 번째 풍력 발전기의 용량[MW], DENG는 총 수요에너지량[MW]을 나타낸다.

[0071] 다음으로, 상기 풍력 발전기를 포함하는 복합전력계통의 확률론적 신뢰도 지수를 산출하는 단계(S150)가 설명된다. 상기 복합전력계통은 도 1에서 설명된 바와 같이, 발전계통, 송전계통 및 부하를 고려한 전력계통을 의미한다. 복합전력계통의 확률론적 신뢰도 지수 산출 방법으로 상태누적법(Enumeration method)과 몬테카를로법(Monte Carlo method)가 사용될 수 있다. 본 실시예에서는 예시적으로, 상태누적법을 사용하여 설명한다.

[0072] 상기 S150 단계에서는 송전계통 및 부하를 고려하여 임의의 부하지점에서의 유효부하 지속곡선을 산출할 수 있

다. 즉, 복합 전력계통의 경우 복수의 부하를 포함할 수 있고, 먼저 각 부하지점을 기준으로 한 유효부하 지속 곡선의 출력용량 확률분포함수가 산출될 수 있다. 이는 이하의 수학식 8로 나타낼 수 있다.

수학식 8

[0073]

$${}_k\Phi_i(x_e) = {}_k\Phi_0(x_e) \otimes {}_kf_{osi}(x_{oi})$$

[0074]

$$= \int_{{}_k\Phi_0(x_e - x_{oi})} {}_kf_{osi}(x_{oi}) dx_{oi}$$

[0075]

여기서, $\otimes$ 는 상승적분을 나타내는 연산자, ${}_k\Phi_0$ 는 k부하지점에서의 부하변동곡선, ${}_kf_{osi}(x_{oi})$ 는 k 부하지점에 1번째 발전기부터 i번째 발전기까지 투입된 사고용량 확률분포함수를 나타낸다.

[0076]

상기 k부하지점에서의 유효부하 지속곡선의 확률분포함수를 이용하여 상기 풍력 발전기를 포함하는 복합전력계통의 k부하지점에서의 확률론적 신뢰도 지수를 산출할 수 있다. 상기 확률론적 신뢰도 지수는 공급 지장 시간 기대치(Loss of Load Expectation, LOLE), 공급 지장 에너지 기대치(Expected Energy Not Served, EENS) 및 상대적 신뢰도 지수(Energy Index of Reliability, EIR) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 이는 이하의 수학식 9 및 수학식 10을 통해 수행될 수 있다.

수학식 9

[0077]

$$LOLE_k = {}_k\Phi(x) \mid_{x=AP_k} \quad [hours/year]$$

수학식 10

[0078]

$$EENS_k = \int_{AP_k}^{AP_k + L_{pk}} {}_k\Phi(x) dx \quad [MWh/year]$$

[0079]

여기서, L_{pk} 는 k부하지점에서의 최대부하치[MW], AP_k 는 k부하지점에서의 최고 도달 전력[MW]을 나타낸다.

[0080]

상기 풍력 발전기를 포함하는 복합전력계통의 k부하지점에서의 확률론적 신뢰도 지수를 이용하여 복합전력계통 전체의 확률론적 신뢰도 지수를 산출할 수 있다. 구체적으로, 상기 복합전력계통 전체의 확률론적 신뢰도 지수 중 $EENS_{HL11}$ 는 부하지점별 $EENS_k$ 를 합하여 산출할 수 있다. 또한, 상기 복합전력계통 전체의 확률론적 신뢰도 지수 중 $LOLE_{HL11}$ 는 신뢰도 지수 ELC_k 를 정의하고, 상기 ELC_k 를 각 부하지점별로 합하여 산출된 ELC_{HL11} 로 상기 $EENS_{HL11}$ 를 나누어서 산출할 수 있다. 이는 이하의 수학식 11 내지 수학식 14로 나타낼 수 있다.

수학식 11

$$EENS_{HLII} = \sum_{k=1}^{NL} EENS_k \quad [MWh/year]$$

수학식 12

$$ELC_{HLII} = \sum_{k=1}^{NL} ELC_k$$

수학식 13

$$LOLE_{HLII} = EENS_{HLII} / ELC_{HLII} \quad [hours/year]$$

수학식 14

$$EIR_k = 1 - EENS_k / DENG_k$$

여기서, NL은 부하지점의 수, $ELC_k = EENS_k / ELC_k$, $DENG_k$ 는 k부하지점의 수요에너지를 나타낸다.

다음으로, 상기 풍력 발전기를 포함하는 복합전력계통의 결정론적 신뢰도 지수를 산출하는 단계(S160)가 설명된다. 상기 결정론적 신뢰도 지수는 상기 풍력 발전기의 가용률을 고려한 유효 설비 예비율(Effective Install Reserve Rate, EIRR), 유효 공급 예비율(Effective Supply Reserve Rate, ESRR) 및 유효 운용 예비율(Effective Operating Reserve Rate, EORR) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 상기 유효 설비 예비율은 다른 측면에서, 연도별 신뢰도 지수를 의미할 수 있다. 상기 유효 공급 예비율은 다른 측면에서, 일별 신뢰도 지수를 의미할 수 있다. 상기 유효 운용 예비율은 다른 측면에서, 시간당 신뢰도 지수를 의미할 수 있다. 상기 유효 설비 예비율, 유효 공급 예비율 및 상기 유효 운용 예비율은 하기의 수학식 15 내지 21을 통해 산출될 수 있다.

수학식 15

$$EIRR = \frac{ETIC_y - L_{Py}}{L_{Py}} \times 100[\%]$$

수학식 16

[0088]

$$ESRR = \frac{ESC_d - L_{Pd}}{L_{Pd}} \times 100[\%]$$

수학식 17

[0089]

$$EORR = \frac{EOP(t) - L_{Pt}}{L_{Pt}} \times 100[\%]$$

수학식 18

[0090]

$$ETIC_y = \sum_{i \in \rho 1} CG_i + \sum_{k \in \rho 2} WTG_k \times AVR_{ky}$$

수학식 19

[0091]

$$ESC_d = \sum_{i \in \rho 1MS} CG_i + \sum_{k \in \rho 2MS} WTG_k \times AVR_{kd}$$

수학식 20

[0092]

$$EOP(t) = \sum_{i \in \zeta 1} CG_i(t) + \sum_{k \in \zeta 2} WTG_k(t) \times AVR_k(t)$$

수학식 21

[0093]

$$AVR_k = 1 - EFOR_k$$

[0094]

여기서, $ETIC_y$ 는 연간 유효 설비용량[MW], ESC_d 는 일별 유효 공급용량[MW], $EOP(t)$ 는 시간별 유효 운용용량[MW], L_{Py} 는 연간 최대부하[MW], L_{Pd} 는 일별 최대부하[MW], L_{Pt} 는 시간별 최대부하[MW], CG_i 는 i 번째 발전기(ex. 화력 발전원, 원자력 발전원)의 용량[MW], WTG_k 는 k 번째 풍력 발전기의 용량[MW], $EFOR_k$ 는 k 번째 발전기의 유효 고장확률을 나타낸다.

[0095]

다음으로, 수요 부하의 변화에 기초하여 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수를 재산출하는 단계(S170)가 설명된다. 상기 S170단계는 기준부하 만족 부하관리법 또는 기준운용예비율 만족 부하관리법을 사용하여 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수를 재산출할 수 있다. 상기 S170단계는 수요

관리 방법 선택값(IDDR값)에 따라 상기 기준부하 만족 부하관리법 또는 상기 기준운용예비율 만족 부하관리법을 사용할 수 있다. 예를 들어, 상기 수요 관리 방법 선택값(IDDR값)이 1인 경우 상기 기준부하 만족 부하관리법을 사용하여 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수를 재산출할 수 있다. 예를 들어, 상기 수요 관리 방법 선택값(IDDR값)이 2인 경우 상기 기준운용예비율 만족 부하관리법을 사용하여 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수를 재산출할 수 있다.

[0096] 상기 기준부하 만족 부하관리법은 일정한 전력공급 신뢰도를 유지할 수 있도록 최대부하량을 설정하여 수요를 억제하는 방법을 의미한다. 상기 기준부하 만족 부하관리법은 이하의 도 8을 참조하여 설명한다.

[0097] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 확률론적 신뢰도 지수 및 결정론적 신뢰도 지수 재산출단계를 설명하기 위한 그래프이다.

[0098] 구체적으로, 도 8은 상기 기준부하 만족 부하관리법을 설명하기 위한 도면이다. 도 8을 참조하면, 예를 들어 제주(JEJU) 부하는 500 [MW], 성산(SSN) 부하는 80 [MW]의 기준부하가 설정될 수 있다.

[0099] 설정된 상기 기준부하를 이용하여 상기 S140 단계의 확률론적 신뢰도 지수가 재산출될 수 있다. 구체적으로, 상기 수학적 4의 부하지속곡선 및 최대부하량 L_p 이 상기 기준부하에 따라 변하고, 변화된 상기 유효부하 지속곡선을 상기 수학적 5 및 수학적 6에 대입하여 상기 확률론적 신뢰도 지수를 재산출할 수 있다.

[0100] 또한, 상기 설정된 기준부하를 이용하여 상기 S150 단계의 확률론적 신뢰도 지수가 재산출될 수 있다. 구체적으로, 상기 수학적 10의 k 부하지점에서의 부하지속곡선 및 최대부하량 L_{pk} 가 상기 기준부하에 따라 변하고, 변화된 상기 k 부하지점에서의 유효부하 지속곡선 및 최대부하량 L_{pk} 를 상기 수학적 10에 대입하여 상기 확률론적 신뢰도 지수를 재산출할 수 있다.

[0101] 또한, 설정된 상기 기준부하를 이용하여 상기 S160 단계의 결정론적 신뢰도 지수가 재산출될 수 있다. 구체적으로, 상기 수학적 15 내지 17의 연간 최대부하량 L_{py} , 일별 최대부하량 L_{pd} , 시간별 최대부하량 L_{pt} 이 상기 기준부하에 따라 변하고, 변화된 상기 연간 최대부하량 L_{py} , 일별 최대부하량 L_{pd} , 시간별 최대부하량 L_{pt} 을 상기 수학적 15 내지 17에 각각 대입하여 상기 결정론적 신뢰도 지수를 재산출할 수 있다.

[0102] 한편, 상기 기준운용예비율 만족 부하관리법은 일정 운용예비율을 유지하도록 수요 부하를 차단하는 방법을 의미한다. 구체적으로, 상기 기준운용예비율 만족 부하관리법은 유효 운용 예비율을 설정하여 이를 만족하도록 수요 부하를 감축하는 것을 의미한다. 감축되는 수요 부하량은 이하의 수학적 22 내지 수학적 25를 통해 산출될 수 있다.

수학적 22

$$\frac{EOP(t) - \sum (L_{pk}(t) - \Delta x_k(t))}{\sum (L_{pk}(t) - \Delta x_k(t))} \geq EORR^*$$

수학적 23

$$\Delta x_k(t) = \frac{EORR^* \times \sum L_{pk}(t) - EOP(t) + \sum L_{pk}(t)}{1 + EORR^*}$$

수학식 24

$$\sum \Delta x_k(t) = \frac{(1 + EORR^*) \times \sum L_{pk}(t) - EOP(t)}{1 + EORR^*}$$

[0105]

수학식 25

$$\Delta x_k(t) = TDX(t) \times \frac{L_{pk}(t)}{\sum L_{pk}(t)}$$

[0106]

[0107] 여기서, t 는 시간, k 는 부하지점 번호, $TDX(t) = \sum \Delta x_k(t)$ 는 총 부하 감축량[MW], $\Delta x_k(t)$ 는 t 시간대의 k 부하지점에서의 피크부하 감축량[MW], $L_{pk}(t)$ 는 t 시간대의 k 부하지점에서의 부하량[MW], $EOP(t)$ 는 t 시간대의 유효운용 전력[MW], $EOOR^*$ 는 기준운용예비율[%]을 나타낸다. 상기 수학식 23 및 수학식 24는 상기 수학식 22를 수식 정리한 것이다.

[0108] 산출된 상기 총 부하감축량을 이용하여 상기 S140 단계의 확률론적 신뢰도 지수가 재산출될 수 있다. 구체적으로, 상기 수학식 4의 부하지속곡선 및 최대부하량 L_p 이 상기 총 부하감축량에 따라 변하고, 변화된 상기 유효부하 지속곡선을 상기 수학식 5 및 수학식 6에 대입하여 상기 확률론적 신뢰도 지수를 재산출할 수 있다.

[0109] 또한, 상기 산출된 총 부하감축량을 이용하여 상기 S150 단계의 확률론적 신뢰도 지수가 재산출될 수 있다. 구체적으로, 상기 수학식 10의 k 부하지점에서의 부하지속곡선 및 최대부하량 L_{pk} 가 상기 총 부하감축량에 따라 변하고, 변화된 상기 k 부하지점에서의 유효부하 지속곡선 및 최대부하량 L_{pk} 를 상기 수학식 10에 대입하여 상기 확률론적 신뢰도 지수를 재산출할 수 있다.

[0110] 또한, 산출된 상기 총 부하감축량을 이용하여 상기 S160 단계의 결정론적 신뢰도 지수가 재산출될 수 있다. 구체적으로, 상기 수학식 15 내지 17의 연간 최대부하량 L_{py} , 일별 최대부하량 L_{pd} , 시간별 최대부하량 L_{pt} 이 상기 총 부하감축량에 따라 변하고, 변화된 상기 연간 최대부하량 L_{py} , 일별 최대부하량 L_{pd} , 시간별 최대부하량 L_{pt} 을 상기 수학식 15 내지 17에 각각 대입하여 상기 결정론적 신뢰도 지수를 재산출할 수 있다.

[0111] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 장치를 개략적으로 나타낸 것이다.

[0112] 도 9를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 장치는 저장부(110), 데이터 입력부(120), 데이터 처리부(130), 통신부(140) 및 디스플레이부(150)를 포함하여 구성될 수 있다.

[0113] 상기 저장부(110)는 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 상기 발전기 데이터, 송전선로 데이터, 부하 데이터 및 풍속 특성 데이터 등을 저장할 수 있다. 구체적으로, 저장부(110)는 특정 지역에 대한 상기 발전기 데이터, 송전선로 데이터, 부하 데이터 및 풍속 특성 데이터 등을 저장할 수 있다. 저장부(110)는 RAM, ROM, 플래쉬 메모리 등 다양한 기억 장치로 구성될 수 있다.

[0114] 상기 데이터 입력부(120)는 상기 발전기 데이터, 송전선로 데이터, 부하 데이터 및 풍속 특성 데이터 등을 외부 기기로부터 입력받을 수 있다. 상기 외부 기기는 예를 들어, 스마트폰, 태블릿 PC, 데스크톱 PC, 노트북 PC 등일 수 있다. 상기 외부 기기는 상기 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 장치와 직접 연결될 수 있다. 또한, 상기 외부 기기는 상기 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 장치와 무선 통신 또는 클라우드 컴퓨팅 시스템을 통해 연결될 수 있다. 한편, 데이터 입력부(120)는 상기 저장부(110)에 액세스

하여 상기 저장부(110)에 저장된 상기 발전기 데이터, 송전선로 데이터, 부하 데이터 및 풍속 특성 데이터 등을 로딩할 수도 있다.

[0115] 상기 데이터 처리부(130)는 상기 데이터 입력부(120)로부터 전달받는 상기 발전기 데이터 중 풍력 발전기의 출력특성과 풍속 특성 데이터를 이용하여, 상기 풍력 발전기의 다개상태 출력모델을 생성할 수 있다. 또한, 상기 다개상태 출력모델을 이용하여 상기 풍력 발전기의 유효부하 지속곡선을 산출할 수 있다. 그리하여, 상기 풍력 발전기를 포함하는 복합전력계통의 확률론적 신뢰도 지수 및 결정론적 신뢰도 지수를 산출할 수 있다. 또한, 상기 풍력 발전기를 포함하는 발전계통의 확률론적 신뢰도 지수를 산출할 수 있다. 또한, 수요 부하의 변화에 기초하여 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수를 재산출할 수 있다.

[0116] 상기 통신부(140)는 상기 발전기 데이터, 송전선로 데이터, 부하 데이터 및 풍속 특성 데이터 등을 상기 외부 기기로부터 수신하고, 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수 중 적어도 어느 하나를 상기 외부 기기로 송신할 수 있다. 상기 통신부(140)는 WAN, 인터넷 등 다양한 통신 프로토콜을 통해 상기 외부 기기와 통신할 수 있다.

[0117] 상기 디스플레이부(150)는 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수 중 적어도 어느 하나를 출력할 수 있다. 상기 디스플레이부(150)는 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 상기 결정론적 신뢰도 지수를 시각적으로 디스플레이하는 디스플레이 패널을 포함하며, 상기 디스플레이 패널은 LCD(Liquid Crystal Display), PDP(Plasma Display Panel), OLED(Organic Light Emitting Diode), 브라운관 등을 포함할 수 있다.

[0118] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 제주도의 전력계통을 모식적으로 나타낸 것이다.

[0119] 도 10을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법 및 산출 장치를 적용한 제주도의 전력계통이 도시된다. Area2는 2010년도 제주도 스마트그리드 실증단지 영역을 나타내고, Area1은 그 외의 제주도 영역을 나타낸다. 전체계통의 총 발전용량은 945 MW이고, 최대부하는 555 MW로 가정하였다.

[0120] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 행원(HWN) 풍력 단지의 출력용량 확률분포함수를 나타낸 것이다.

[0121] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 성산(SSN) 풍력 단지의 출력용량 확률분포함수를 나타낸 것이다.

[0122] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 한림(HLM) 풍력 단지의 출력용량 확률분포함수를 나타낸 것이다.

[0123] 구체적으로, 도 11 내지 도 13은, 상기의 표 4의 풍속 특성데이터, 풍력 발전기의 특성 데이터를 이용하여 각 풍력 단지의 출력특성곡선을 구하고, 도 3과 같이 풍속의 확률분포함수와 결합하여 사고용량 확률분포함수를 산출한 것이다. 상기 행원 풍력 단지(HWN1), 성산 풍력 단지(SSN2) 및 한림 풍력 단지(HLM3)는 각각 하나의 등가 풍력 발전기로 가정된다. 또한, 상기 행원 풍력 단지(HWN1) 및 성산 풍력 단지(SSN2)는 상기 Area2에 위치한다. 상기 한림 풍력 단지(HLM3)는 Area1에 위치한다. 도 11을 참조하면, 행원 풍력 단지(HWN1)는 11개의 다개상태로 설정된다. 도 12를 참조하면, 성산 풍력 단지(SSN2)는 7개의 다개상태로 설정된다. 도 13을 참조하면, 한림 풍력 단지(HLM3)는 5개의 다개상태로 설정된다.

[0124] 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 제주도 전력계통에 대한 결정론적 신뢰도 지수를 나타낸 것이다.

[0125] 도 14를 참조하면, 결정론적 신뢰도 지수인 유효 설비 예비율(EIRR, 회색) 및 유효 운용 예비율(EORR, 녹색)이 도시된다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 산출 방법 및 산출 장치에 따르면, 전력계통에 대한 결정론적 신뢰도 지수들을 시각적으로 확인할 수 있다. 또한, 이를 통해 전력 공급의 추이를 파악, 분석할 수 있다.

[0126] 도 15 내지 도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 제주도 전력계통 및 각 부하에 대한 확률론적 신뢰도 지수를 나타낸 것이다.

[0127] 도 15를 참조하면, 확률론적 신뢰도 지수인 공급 지장 시간 기대치(LOLE, 검정색), 공급 지장 에너지 기대치(EENS, 빨간색) 및 상대적 신뢰도 지수(EIR, 파란색)가 도시된다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 산출 방법 및 산출 장치에 따르면, 전력계통에 대한 확률론적 신뢰도 지수

들을 시각적으로 확인할 수 있다. 또한, 이를 통해 전력공급의 추이를 파악, 분석할 수 있다.

[0128] 구체적으로, 큰 값일수록 신뢰도가 낮음을 의미하는 음의 신뢰도 지수인 공급 지장 시간 기대치(LOLE)와 공급 지장 에너지 기대치(EENS)는 서로 상관계수가 1에 가깝고, 큰 값일수록 신뢰도가 높음을 의미하는 양의 신뢰도 지수인 상대적 신뢰도 지수(EIR)는 상기 LOLE 및 EENS와의 상관계수가 -1에 가까웠다.

[0129] 한편, 도 16은 상기 Area1에 대한 확률론적 신뢰도 지수만을 도시한 것이고, 도 17은 상기 Area2에 대한 확률론적 신뢰도 지수만을 도시한 것이다.

[0130] 도 18은 본 발명의 일 실시예에 따른 제주도 전력계통에 대하여 수요 반영 선택값(IDDR)에 따른 수요 부하의 변화를 나타낸 것이다.

[0131] 도 18을 참조하면, 수요 관리 방법 선택값(IDDR)에 따라 부하 감축량(DRX)의 변화를 확인할 수 있다. 예를 들어, 수요 관리 방법 선택값(IDDR)이 0인 경우, 수요 부하의 변화를 고려하지 않고, 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 결정론적 신뢰도 지수가 산출된다. 즉, 상기 수요 관리 방법 선택값(IDDR)이 0인 경우, 부하 감축량(DRX)은 0이다. 상기 수요 관리 방법 선택값(IDDR)이 1인 경우, 기준부하 만족 부하관리법에 따라 설정된 기준부하를 기초로 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 결정론적 신뢰도 지수가 산출된다. 상기 수요 관리 방법 선택값(IDDR)이 2인 경우, 기준운용예비율 만족 부하관리법에 따라 설정되는 유효운용예비율을 기초로 상기 확률론적 신뢰도 지수 및 결정론적 신뢰도 지수가 산출된다.

[0132] 상기 수요 반영 선택값(IDDR)이 1인 경우, 즉 상기 기준부하 만족 부하관리법을 사용하는 경우의 부하 감축량이 상기 기준운용예비율 만족 부하관리법을 사용하는 경우의 부하 감축량보다 더 큰 것을 확인할 수 있다.

[0133] 도 19는 본 발명의 일 실시예에 따른 제주도 전력계통에 대한 수요 부하의 변화에 따라 재산출된 확률론적 신뢰도 지수를 나타낸 것이다.

[0134] 도 19를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 제주도 전력계통에 대한 수요 관리 방법의 변화에 따라 재산출된 공급 지장 시간 기대치(LOLE)를 일별로 나타낸 그래프가 도시된다.

[0135] 상기 수요 관리 방법 선택값(IDDR)이 1인 경우, 즉 상기 기준부하 만족 부하관리법을 사용하는 경우의 부하 감축량이 상기 기준운용예비율 만족 부하관리법을 사용하는 경우의 부하 감축량보다 더 컸으므로, 상기 수요 관리 방법 선택값(IDDR)이 1인 경우, 상기 공급 지장 시간 기대치(LOLE)가 가장 낮고, 따라서 전력 공급 신뢰도가 가장 좋은 것을 확인할 수 있다.

[0136] 한편, 본 실시예에서는 수요 관리 방법의 변화에 따라 예시적으로 공급 지장 시간 기대치(LOLE)를 재산출하였으나, 공급 지장 시간 기대치(EENS) 및 결정론적 신뢰도 지수들에 대해서도 수요 관리 방법의 변화에 따른 재산출이 가능하다.

[0137] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전기를 포함하는 전력계통의 신뢰도 지수 산출 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터로 판독 가능한 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광 기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical media)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0138] 이상과 같이 본 발명에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

[0139] 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

[0140] 10: 전력계통

110: 저장부

120: 데이터 입력부

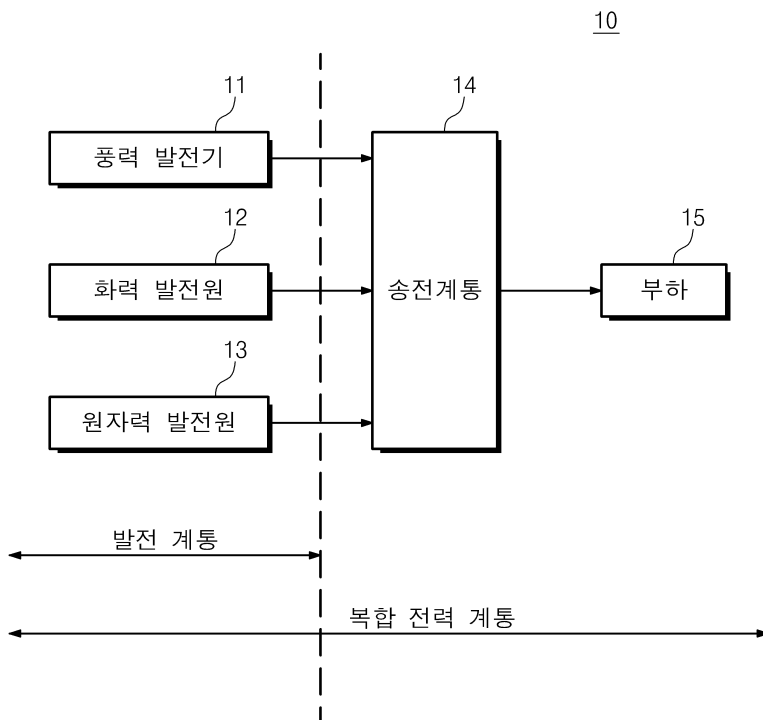
130: 데이터 처리부

140: 통신부

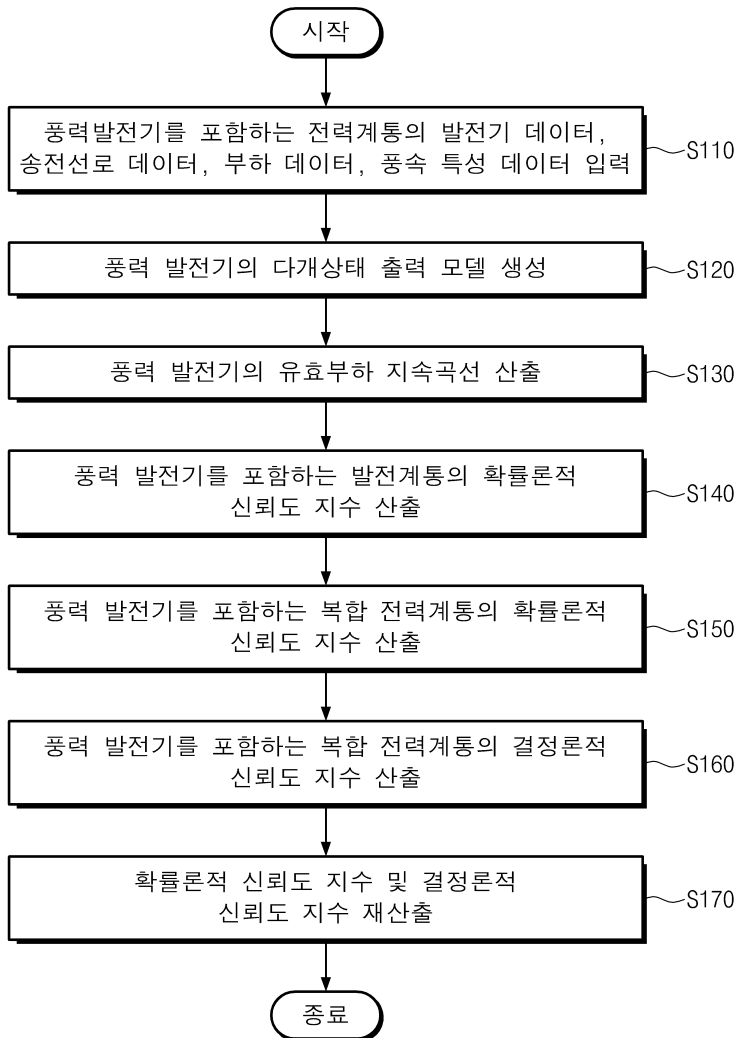
150: 디스플레이부

도면

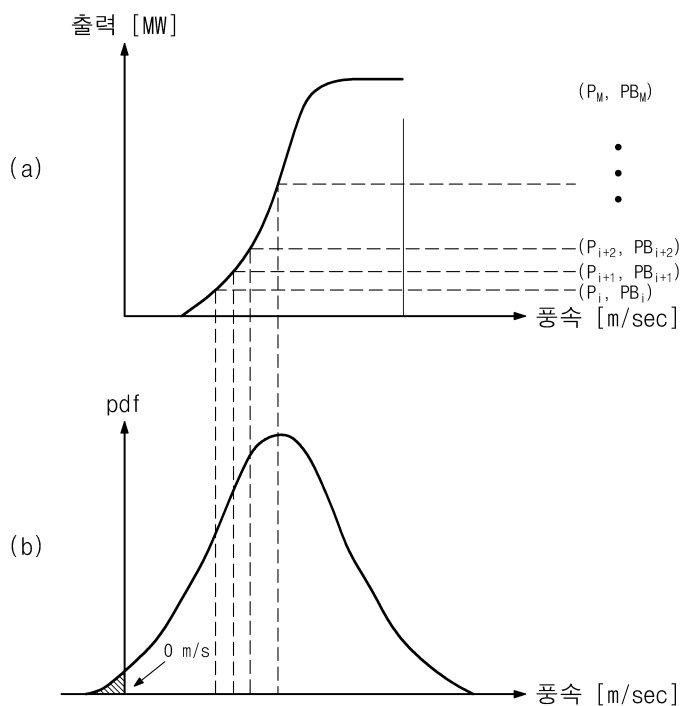
도면1



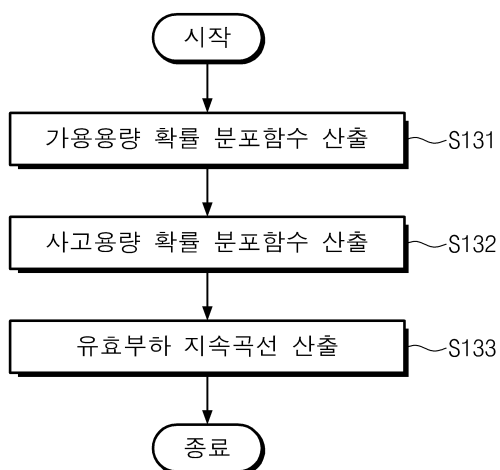
도면2



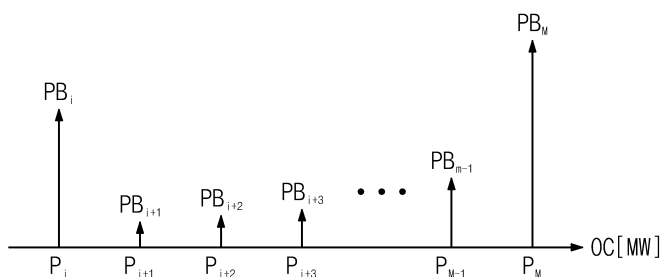
도면3



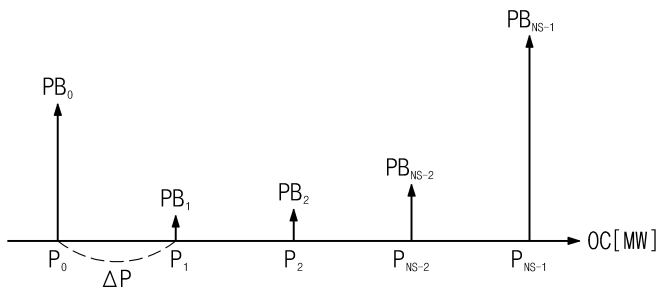
도면4



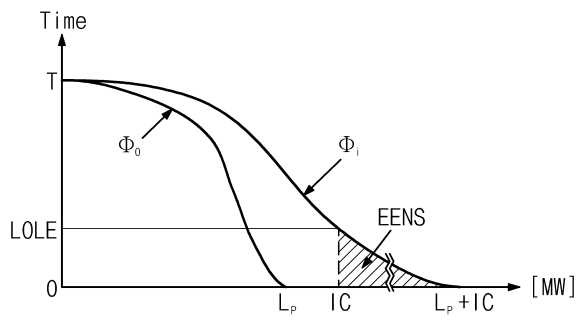
도면5



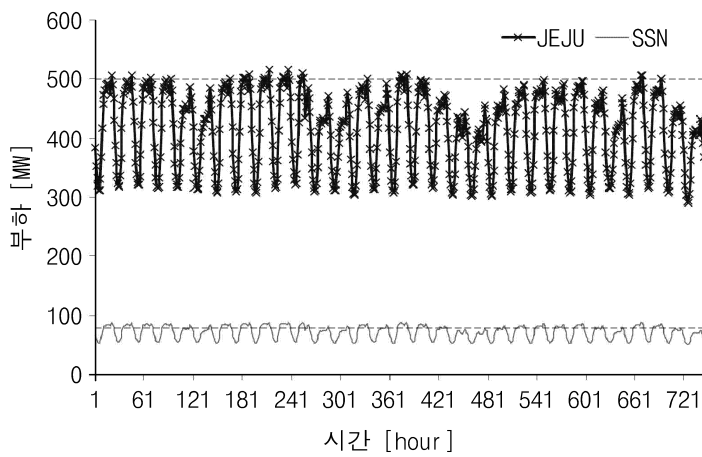
도면6



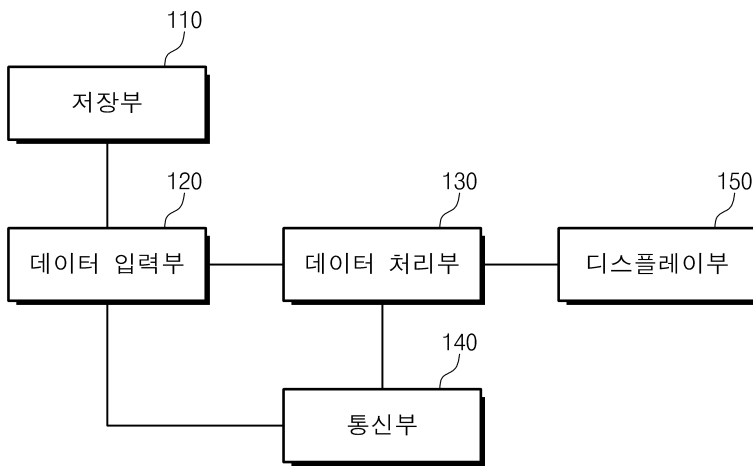
도면7



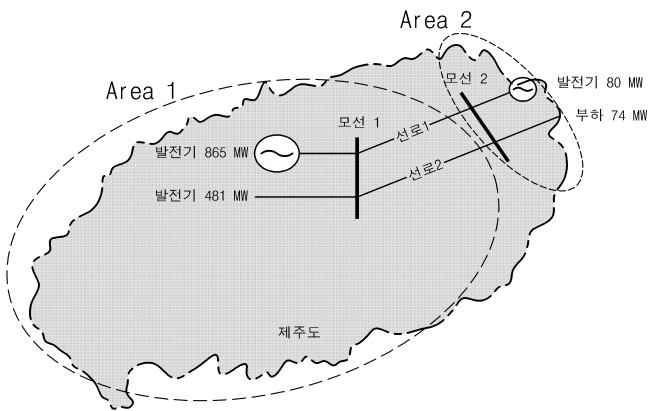
도면8



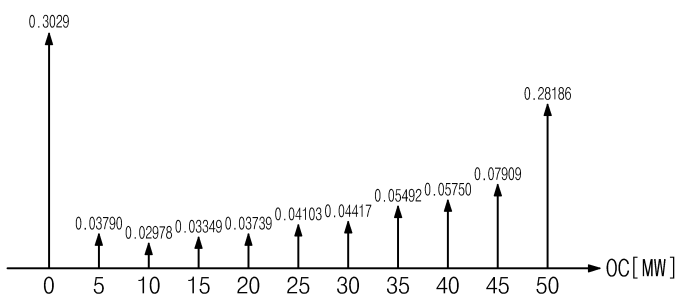
도면9



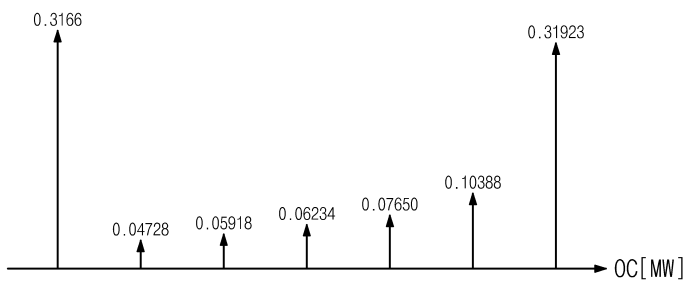
도면10



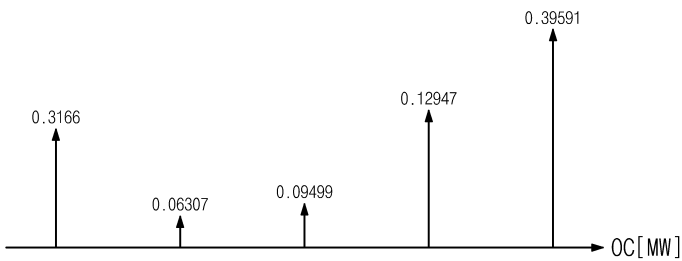
도면11



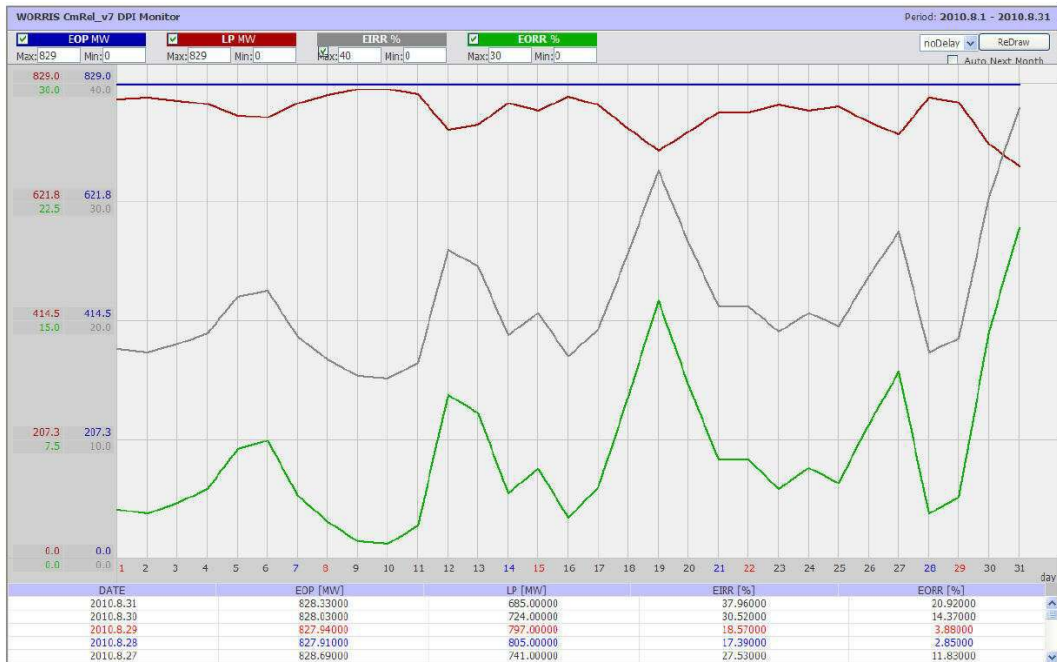
도면12



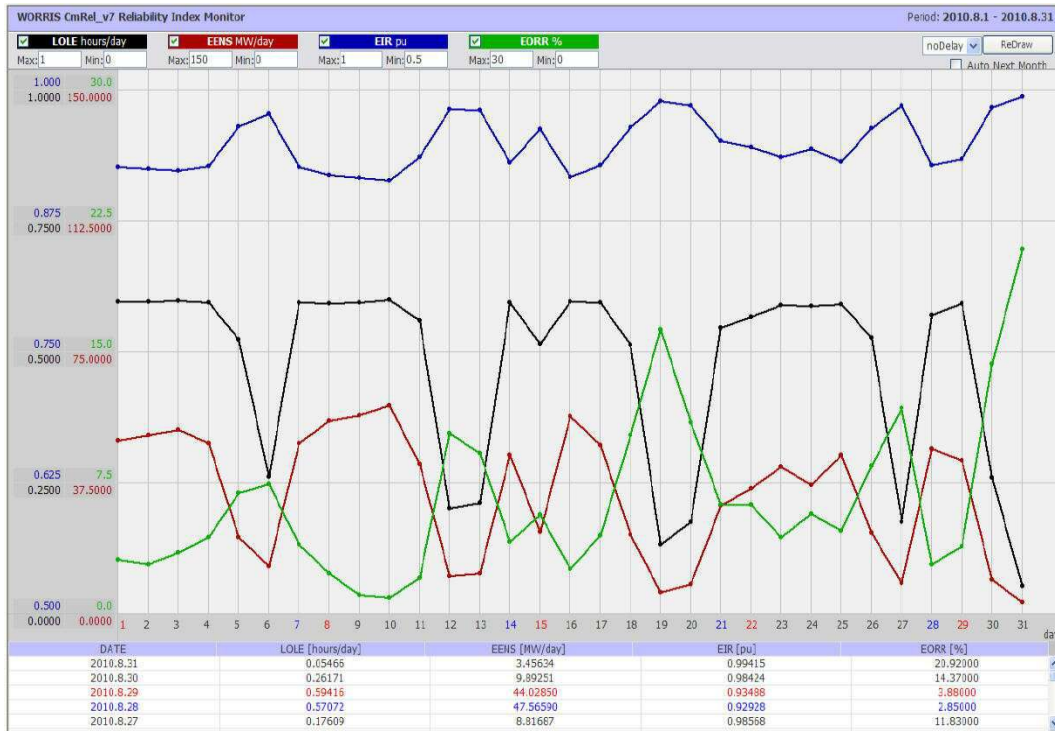
도면13



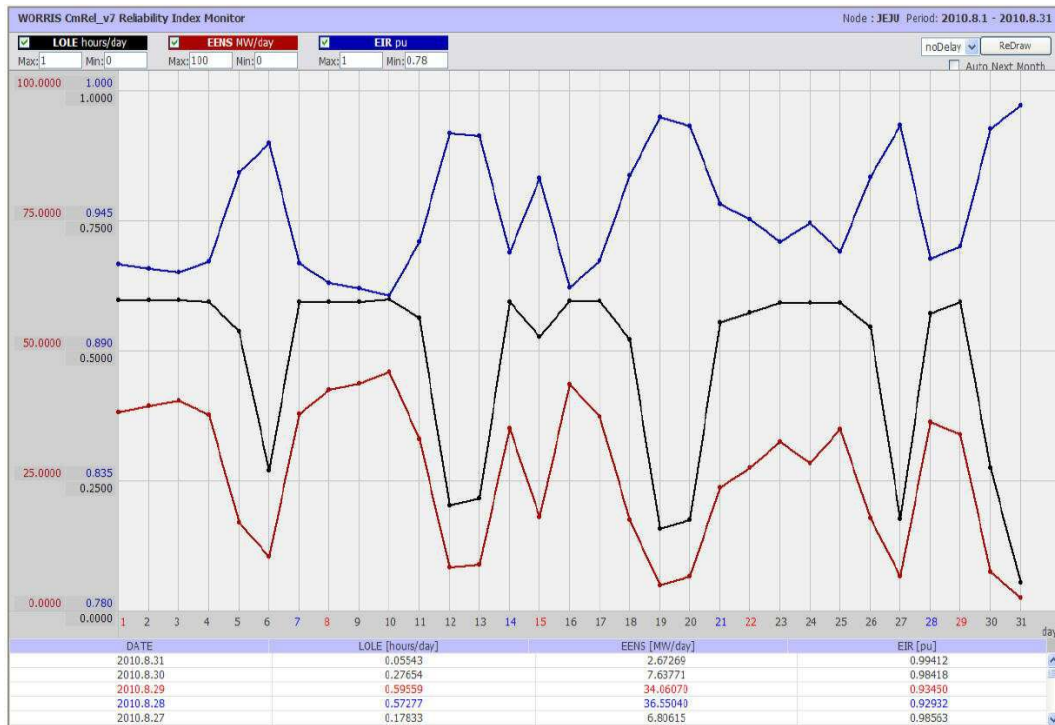
도면14



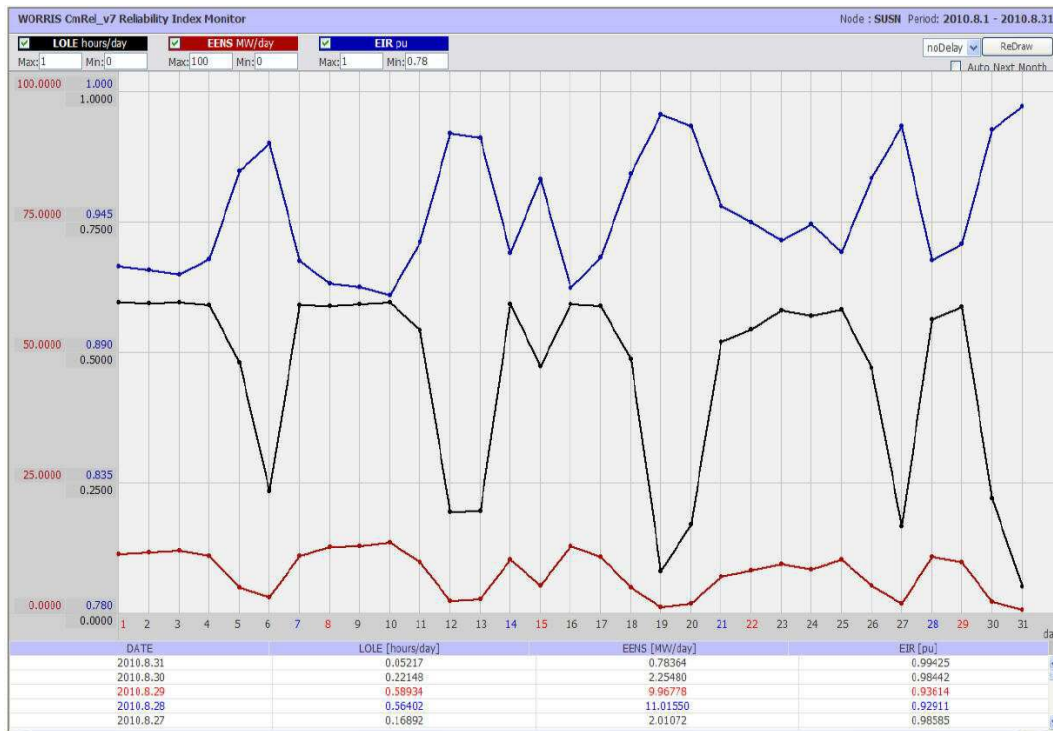
도면15



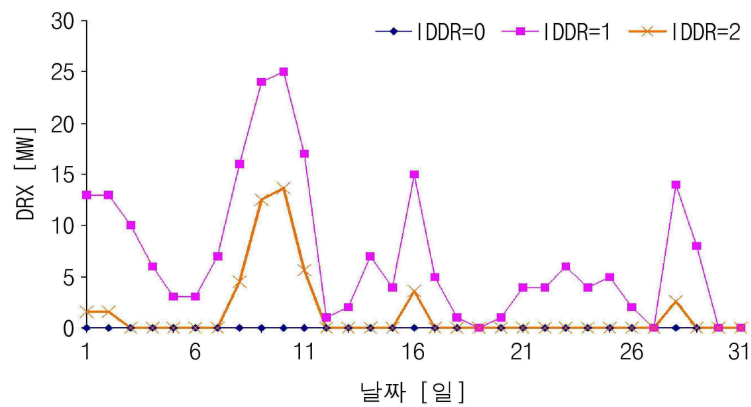
도면16



도면17



도면18



도면19

