



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년03월11일
 (11) 등록번호 10-1371099
 (24) 등록일자 2014년02월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G01R 31/34 (2006.01) G01R 31/08 (2006.01)
 G05B 23/02 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2012-0146507
 (22) 출원일자 2012년12월14일
 심사청구일자 2012년12월14일
 (56) 선행기술조사문헌
 KR1020130125588 A
 KR1020090087710 A
 KR1020090032570 A
 KR101074472 B1

(73) 특허권자
한국전기연구원
 경상남도 창원시 성산구 불모산로10번길 12 (성주동)
 (72) 발명자
조창희
 경남 창원시 성산구 원이대로 495, 203동 1203호 (반림동, 트리비앙아파트)
김슬기
 경남 김해시 장유로 362, 201동 803호 (신문동, 장유2차쌍용예가)
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
특허법인명문

전체 청구항 수 : 총 6 항

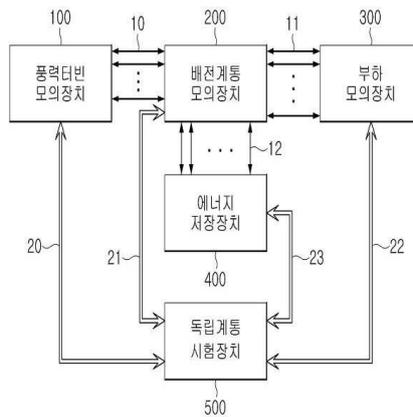
심사관 : 박근용

(54) 발명의 명칭 **풍력발전과 에너지 저장장치가 포함된 독립계통의 시험시스템 및 그 방법**

(57) 요약

본 발명은 풍력발전과 에너지 저장장치가 포함된 도서 지역이나 고립지 등 독립형 전력계통에 있어서 풍력발전의 변동이나 수용가 부하의 급변에 따른 전력계통의 다이내믹 응답 특성을 실제 시스템과 근사하게 모의하여 시험하기 위한 시험시스템과 그 방법에 관한 것이다.

대표도



(72) 발명자

김중율

경상남도 김해시 장유면 관동리 팔판마을 대우푸르지오아파트5단지 504-1501

전진홍

경남 김해시 팔판로 93, 404동 1101호 (관동동, 팔판마을4단지푸르지오)

김응상

경상남도 창원시 의창구 대원동 121 더시티7팔라조 2002호

도주철

경상북도 청도군 각남면 구곡길 151-1번지

특허청구의 범위

청구항 1

독립형 전력계통에 있어서 풍력발전이나 수용가 부하의 변동에 따른 전력계통의 응답 특성을 실제 시스템과 근사하게 모의하여 시험하기 위한 독립계통의 시험시스템에 있어서,

풍력발전을 모의하기 위해 분산 배치된, 다수의 풍력터빈 모의모듈을 갖는 풍력터빈모의장치; 수용가 부하를 모의하기 위해 분산 배치된, 다수의 부하 모의모듈을 갖는 부하모의장치; 저장된 에너지를 수용가 부하로 제공하기 위해 분산 배치된, 다수의 에너지 저장장치 모듈을 갖는 에너지저장장치; 상기 다수의 풍력터빈 모의모듈 및 상기 다수의 에너지 저장장치 모듈을 상기 다수의 부하 모의모듈로 연결시키되, 각각의 단자함을 거쳐 다수의 배전선 모듈을 통해 연결시키는 배전계통모의장치; 및

상기 다수의 풍력터빈 모의모듈, 상기 다수의 에너지 저장장치 모듈, 상기 다수의 부하 모의모듈, 및 상기 다수의 배전선 모듈과 통신 네트워크 배선을 통해 연결되어, 각 모듈의 운전 상태를 모니터링하고 제어하기 위한 독립계통시험장치를 포함하고,

상기 독립계통시험장치는 독립계통 시험 프로그램을 실행하여, 시간에 따라서 변동하는 바람 패턴을 상기 다수의 풍력터빈 모의모듈의 각 제어기로 전송하고, 시간에 따라서 변동하는 수용가 부하 패턴을 상기 다수의 부하 모의모듈의 각 제어기로 전송하여, 상기 바람 패턴 및 상기 수용가 부하 패턴에 따른 상기 다수의 풍력터빈 모의모듈, 상기 다수의 에너지 저장장치 모듈, 상기 다수의 배전선 모듈, 또는 상기 다수의 부하 모의모듈의 각 출력 상태를 시험하는 것을 특징으로 하는 독립계통의 시험시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 배전계통 모의장치의 상기 다수의 배전선 모듈 각각은, 양측 단자함 사이에 순차 연결된 3상의 가변 저항, 가변 인덕터, 및 전력 계측장치를 포함하고, 상기 전력 계측장치가 계측하는 배전선의 전압, 전류, 전력, 및 주파수를 포함하는 정보를 상기 독립계통시험장치로 전송하여 전력 품질을 원격 모니터링하도록 하는 것을 특징으로 하는 독립계통의 시험시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 풍력터빈모의장치의 상기 다수의 풍력터빈 모의모듈 각각은, 풍력터빈 모의 제어기와 순차 연결된 인버터, 모터, 발전기, 풍력 PCS(Power Conversion System)를 포함하며, 상기 독립계통 시험 프로그램을 실행하여 구동되는 상기 독립계통시험장치의 제어를 받는 상기 풍력터빈 모의 제어기에 의해 구동된 상기 인버터, 상기 모터, 상기 발전기, 상기 풍력 PCS의 동작에 따른 상기 풍력 PCS의 출력을 상기 배전계통모의장치의 해당 배전선 모듈로 전달하고, 상기 풍력 PCS의 출력 상태를 시험하는 것을 특징으로 하는 독립계통의 시험시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 부하모의장치의 상기 다수의 부하 모의모듈 각각은, 부하모의 제어기와, 상기 배전계통모의장치의 해당 배전선 모듈과 순차 연결된 3상의 저항 모듈, 인덕터 모듈, 콘덴서 모듈을 포함하며, 상기 독립계통 시험 프로그램을 실행하여 구동되는 상기 독립계통시험장치의 제어를 받는 상기 부하모의 제어기에 의해 구동된 상기 저항 모듈, 상기 인덕터 모듈, 상기 콘덴서 모듈의 동작에 따른 각 부하 모의모듈의 출력 상태를 시험하는 것을 특징으로 하는 독립계통의 시험시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 에너지저장장치의 상기 다수의 에너지 저장장치 모듈 각각은,

에너지 저장장치 제어기와, 상기 배전계통모의장치의 해당 배전선 모듈과 순차 연결된 인버터, DC 링크, DC/DC 변환기, 이차전지를 포함하며,

상기 독립계통 시험 프로그램을 실행하여 구동되는 상기 독립계통시험장치의 제어를 받는 상기 에너지 저장장치 제어기에 의해 구동된 상기 이차전지, 상기 DC/DC 변환기, 상기 DC 링크, 상기 인버터의 동작에 따른 상기 이차전지의 충전 및 방전 상태를 원격에서 모니터링하고 시험하는 것을 특징으로 하는 독립계통의 시험시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 독립계통시험장치는, 상기 출력 상태 중 주파수 또는 전압 샘플의 측정 샘플값 M_{samp} 에 대한 적합 또는 부적합 여부를 수학적

$$M_{samp} = \begin{cases} \text{적합} & , \text{ 만약 } abs(M_{samp} - M_{norm}) \leq M_{limit} \text{ 경우} \\ \text{부적합} & , \text{ 만약 } abs(M_{samp} - M_{norm}) > M_{limit} \text{ 경우} \end{cases}$$

에 기초하여 판단하며,

상기 주파수에 대한 안정도 평가 지표 SI_f 또는 상기 전압에 대한 안정도 평가 지표 SI_v 을 수학적

$$SI_f = \frac{NS_{fGood}}{NS_{fTotal}} \times 100 \quad [\%]$$

$$SI_v = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{NS_{vkGood}}{NS_{vkTotal}} \times 100 \right) \quad [\%]$$

에 기초하여 산출하여 제공하며,

여기서, $abs()$: 절대치 함수, M_{norm} : 전압 또는 주파수의 정격 값, M_{limit} : 전압 또는 주파수의 제한 값, NS_{fGood} : 상기 적합에 해당하는 주파수 샘플의 수, NS_{fTotal} : 전체 주파수 샘플의 수, n : 전압 샘플을 측정한 배전망의 측정지점 수, NS_{vkGood} : k번 측정점에서 상기 적합에 해당하는 전압 샘플의 수, $NS_{vkTotal}$: k번 측정점에서 전체 전압 샘플의 수인 것을 특징으로 하는 독립계통의 시험시스템.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 풍력발전과 에너지 저장장치가 포함된 도서 지역이나 고립지 등 독립형 전력계통에 있어서 풍력발전의 변동이나 수용가 부하의 급변에 따른 전력계통의 다이내믹 응답 특성을 실제 시스템과 근사하게 모의하여 시험하기 위한 시험시스템과 그 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 변동하는 풍력발전을 모의하기 위한 풍력터빈 모의장치, 그리고 다양한 독립형 전력계통의 배전망을 구성하기 위한 배전계통 모의장치, 수용가 부하를 모의하기 위한 부하 모의장치, 그리고 독립계통의 수요/공급 밸런스와 전력 품질을 높이기 위한 에너지 저장장치, 그리고 각각의 구성 장치를 통신으로 연계하여 전체 시험시스템을 통합하여 제어하는 독립계통 시험장치로 구성된 독립계통 시험시스템과 그 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 지구 온난화를 방지를 위한 CO₂ 저감에 있어서 필수적 발전 수단인 신재생 에너지 전원 중 풍력발전은 가장 빠른 속도로 보급이 이루어지고 있는 에너지원이다. 그러나 본질적으로 풍력발전이나 태양광 발전 등 신재생에너지 전원은 근본적으로 자연 환경에 의존할 수밖에 없으므로 그 출력이 환경 변동에 따라서 급변하는 문제가 있다. 이러한 발전 출력의 급격한 변동은 전력계통의 안정도를 낮추고 동시에 전력의 품질도 저하되는 문제를 일으킨다. 특히 우수한 풍황을 바탕으로 최근 풍력발전의 설치가 활발한 도서 지역이나 원격지 등의 독립된 전력계통에 있어서 풍력발전의 출력변동과 동시에 수용가 부하 변동은 독립계통의 전력 품질의 문제를 발생시킴으로써

안정적인 전력공급을 방해하며 신재생 에너지 전원의 확산 보급에 커다란 방해요소로 작용한다.

[0003] 이러한 독립계통의 전력 품질 문제나 풍력발전 순간 탈락에 의한 전력계통 안정도 문제를 해결하기 위한 해결 방안으로서 전력품질 보상기구나 에너지 저장장치를 추가하는 방법이 적용되고 있다. 풍력발전기의 한계 용량 결정이나 설치 위치 선정 그리고 에너지 저장장치의 용량 선정 등 고립 계통의 설계에 있어서 기존에는 전력계통 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하였으며 실제 시스템과 소프트웨어 시뮬레이션의 차이를 없애기 위한 노력으로 HILS(Hardware In the Loop Simulation) 기법을 적용하는 사례를 찾아볼 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 따라서, 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명의 목적은, 풍력발전이 포함된 고립 전력계통 시스템에 있어서 급격한 출력 변동으로 인한 전기품질 문제점이나 전력계통의 안정도를 개선하기 위한 시험시스템과 그 방법에 대한 것으로서, 기존의 소프트웨어 시뮬레이션 기법으로 해결하기 어려운 전력 변환의 잡음 문제, 비선형 제어기 기법, 다이내믹 응답 특성 차이 등을 위해서 실제의 독립계통 시스템과 최대한 근사화된 하드웨어 모의시험 시스템을 구축하여 해당 문제를 해결하는데 그 목적이 있다.

[0005] 이를 위하여, 풍력터빈 모의장치, 배전계통 모의장치, 부하 모의장치, 에너지 저장장치, 그리고 독립계통 시험장치로 구성된 독립계통 시험시스템을 구현하여 풍력터빈의 투입을 제한이나 새로운 풍력터빈 제어기법 적용 연구, 수용가 부하의 수요 응답 제어, 또는 에너지 저장장치의 용량 선정과 전압/주파수 보조 제어 기능 시험 등 독립계통에 있어서의 다양한 시험 조건을 모의하고 그에 따른 독립계통 전력품질 평가와 각 제어장치의 파라미터 선정과 제어기 조정 등을 구현할 수 있는 시험시스템 및 그 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0006] 먼저, 본 발명의 특징을 요약하면, 본 발명의 일면에 따른, 독립형 전력계통에 있어서 풍력발전이나 수용가 부하의 변동에 따른 전력계통의 응답 특성을 실제 시스템과 근사하게 모의하여 시험하기 위한 독립계통의 시험시스템에 있어서, 풍력발전을 모의하기 위해 분산 배치된, 다수의 풍력터빈 모의모듈을 갖는 풍력터빈모의장치; 수용가 부하를 모의하기 위해 분산 배치된, 다수의 부하 모의모듈을 갖는 부하모의장치; 저장된 에너지를 수용가 부하로 제공하기 위해 분산 배치된, 다수의 에너지 저장장치 모듈을 갖는 에너지저장장치; 상기 다수의 풍력터빈 모의모듈 및 상기 다수의 에너지 저장장치 모듈을 상기 다수의 부하 모의모듈로 연결시키되, 각각의 단자함을 거쳐 다수의 배전선 모듈을 통해 연결시키는 배전계통모의장치; 및 상기 다수의 풍력터빈 모의모듈, 상기 다수의 에너지 저장장치 모듈, 상기 다수의 부하 모의모듈, 및 상기 다수의 배전선 모듈과 통신 네트워크 배선을 통해 연결되어, 각 모듈의 운전 상태를 모니터링하고 제어하기 위한 독립계통시험장치를 포함하고, 상기 독립계통시험장치는 독립계통 시험 프로그램을 실행하여, 시간에 따라서 변동하는 바람 패턴을 상기 다수의 풍력터빈 모의모듈의 각 제어기로 전송하고, 시간에 따라서 변동하는 수용가 부하 패턴을 상기 다수의 부하 모의모듈의 각 제어기로 전송하여, 상기 바람 패턴 및 상기 수용가 부하 패턴에 따른 상기 다수의 풍력터빈 모의모듈, 상기 다수의 에너지 저장장치 모듈, 상기 다수의 배전선 모듈, 또는 상기 다수의 부하 모의모듈의 각 출력 상태를 시험하는 것을 특징으로 한다.

[0007] 상기 배전계통 모의장치의 상기 다수의 배전선 모듈 각각은, 양측 단자함 사이에 순차 연결된 3상의 가변 저항, 가변 인덕터, 및 전력 계측장치를 포함하고, 상기 전력 계측장치가 계측하는 배전선의 전압, 전류, 전력, 및 주파수를 포함하는 정보를 상기 독립계통시험장치로 전송하여 전력 품질을 원격 모니터링하도록 하는 것을 특징으로 한다.

[0008] 상기 풍력터빈모의장치의 상기 다수의 풍력터빈 모의모듈 각각은, 풍력터빈 모의 제어기와 순차 연결된 인버터, 모터, 발전기, 풍력 PCS(Power Conversion System)를 포함하며, 상기 독립계통 시험 프로그램을 실행하여 구동되는 상기 독립계통시험장치의 제어를 받는 상기 풍력터빈 모의 제어기에 의해 구동된 상기 인버터, 상기 모터, 상기 발전기, 상기 풍력 PCS의 동작에 따른 상기 풍력 PCS의 출력을 상기 배전계통모의장치의 해당 배전선 모듈로 전달하고, 상기 풍력 PCS의 출력 상태를 시험하는 것을 특징으로 한다.

[0009] 상기 부하모의장치의 상기 다수의 부하 모의모듈 각각은, 부하모의 제어기와, 상기 배전계통모의장치의 해당 배전선 모듈과 순차 연결된 3상의 저항 모듈, 인덕터 모듈, 콘덴서 모듈을 포함하며, 상기 독립계통 시험 프로그램을 실행하여 구동되는 상기 독립계통시험장치의 제어를 받는 상기 부하모의 제어기에 의해 구동된 상기 저항 모듈, 상기 인덕터 모듈, 상기 콘덴서 모듈의 동작에 따른 각 부하 모의 모듈의 출력 상태를 시험하는 것을 특

징으로 한다. 이와 더불어 상기 부하모의 제어기는 3상 부하의 투입/차단을 동시에 하는 것은 물론 각 상 별로 투입/차단 제어가 가능하여, 그 결과로 3상 평형 부하는 물론 3상 불평형 부하의 모의도 가능한 것이 특징이다.

[0010] 상기 에너지저장장치의 상기 다수의 에너지 저장장치 모듈 각각은, 에너지 저장장치 제어기와, 상기 배전계통모의장치의 해당 배전선 모듈과 순차 연결된 인버터, DC 링크, DC/DC 변환기, 이차전지를 포함하며, 상기 독립계통 시험 프로그램을 실행하여 구동되는 상기 독립계통시험장치의 제어를 받는 상기 에너지 저장장치 제어기에 의해 구동된 상기 이차전지, 상기 DC/DC 변환기, 상기 DC 링크, 상기 인버터의 동작에 따른 상기 이차전지의 충전 및 방전 상태를 원격에서 모니터링하고 시험하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 상기 독립계통시험장치는, 상기 출력 상태 중 주파수 또는 전압 샘플의 측정 샘플값 M_{samp} 에 대한 적합 또는 부적합 여부를 수학식

$$M_{samp} = \begin{cases} \text{적합} & , \text{만약 } abs(M_{samp} - M_{norm}) \leq M_{limit} \text{ 경우} \\ \text{부적합} & , \text{만약 } abs(M_{samp} - M_{norm}) > M_{limit} \text{ 경우} \end{cases}$$

[0013] 에 기초하여 판단하며, 상기 주파수에 대한 안정도 평가 지표 SI_f 또는 상기 전압에 대한 안정도 평가 지표 SI_v 을 수학식

$$SI_f = \frac{NS_{fGood}}{NS_{fTotal}} \times 100 \quad [\%]$$

[0014]

$$SI_v = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{NS_{vkGood}}{NS_{vkTotal}} \times 100 \right) \quad [\%]$$

[0015]

[0016] 에 기초하여 산출하여 제공하며, 여기서, $abs()$: 절대치 함수, M_{norm} : 전압 또는 주파수의 정격 값, M_{limit} : 전압 또는 주파수의 제한 값, NS_{fGood} : 상기 적합에 해당하는 주파수 샘플의 수, NS_{fTotal} : 전체 주파수 샘플의 수, n : 전압 샘플을 측정한 배전망의 측정지점 수, NS_{vkGood} : k번 측정점에서 상기 적합에 해당하는 전압 샘플의 수, $NS_{vkTotal}$: k번 측정점에서 전체 전압 샘플의 수이다.

발명의 효과

[0017] 본 발명에 따른 풍력발전과 에너지 저장장치가 포함된 독립계통의 시험시스템 및 그 방법에 따르면, 다수의 풍력발전기와 에너지 저장장치들이 포함된 독립형 전력계통을 구성함에 있어서 최적의 용량설계 및 안정도 해석을 통해서 값 비싼 풍력발전기와 에너지 저장장치의 낭비 요소를 제거함으로써 해당 독립 전력계통을 경제적으로 최적화하여 구현이 가능하다. 또한 중앙의 독립계통 시험장치는 데이터 통신을 통하여 개별 구성 모듈을 통합 제어함으로써 독립계통의 안정도 해석과 전력 품질 문제를 시험하기 위한 기본적인 안정도 평가 지표를 제시하고 다양한 시험 절차를 손쉽게 진행함으로써 풍력발전과 에너지 저장장치가 포함된 독립계통 설계를 보다 용이하고 효율적으로 수행할 수 있는 효과가 있다.

[0018] 또한, 점차 강화되는 전력계통 연계 규정에 따라서 풍력단지 및 개별 풍력터빈도 기존의 대형 발전소와 마찬가지로 정격출력의 한계 내에서 출력제어가 필수적으로 요구되는 상황에서 본 발명에 따른 독립계통 시험시스템을 이용함으로써 풍력터빈의 출력 증발률 제어, 출력 제한제어, 출력 수급 균형제어, 시스템 보호제어 등을 시험할 수 있으므로 풍력터빈의 제어기 및 제어 알고리즘 개발에 활용 가능하다.

[0019] 또한, 독립계통의 수요/공급 균형을 위해서 설치하는 에너지 저장장치의 기본 제어성능의 시험과 독립계통의 전력 품질 제고를 위한 전압/주파수 보조 제어기능 시험을 위해 본 발명에 따른 독립계통 시험시스템의 활용이 가능하다.

[0020] 이와 더불어, 실제의 독립계통 시스템을 구성하기에 앞서서 다양한 시험 조건을 구현하여 장기간의 실증 시험을 수행함으로써 독자 개발한 풍력터빈의 제어기나 에너지 저장장치의 상용화 개발에 도움을 줌으로써 국산화 개발의 테스트베드로 활용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 본 발명에 따른 풍력 발전과 에너지 저장장치가 포함된 독립계통의 시험시스템을 개략적으로 도시한 블록도이다.
- 도 2는 도 1의 독립계통 시험시스템에 있어서 배전계통 모의장치의 구성을 개략적으로 도시한 블록도이다.
- 도 3은 도 1의 독립계통 시험시스템에 있어서 풍력터빈 모의장치의 구성을 개략적으로 도시한 블록도이다.
- 도 4는 도 1의 독립계통 시험시스템에 있어서 부하 모의장치의 구성을 개략적으로 도시한 블록도이다.
- 도 5는 도 1의 독립계통 시험시스템에 있어서 에너지 저장장치의 구성을 개략적으로 도시한 블록도이다.
- 도 6은 도 1의 독립계통 시험시스템에 있어서 독립계통 시험장치의 구성을 개략적으로 도시한 블록도이다.
- 도 7은 도 1의 독립계통 시험시스템에 있어서 독립계통 시험 프로그램의 실시 예이다.
- 도 8은 도 1의 독립계통 시험시스템에 있어서 구현할 수 있는 독립계통의 3가지 구성에 대한 실시 예이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.
- [0023] 도 1은 본 발명에 따른 풍력 발전과 에너지 저장장치가 포함된 독립계통의 시험시스템을 개략적으로 도시한 블록도이다. 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 시험시스템은 풍력터빈 모의장치(100), 배전계통 모의장치(200), 부하 모의장치(300), 에너지 저장장치(400), 및 독립계통 시험장치(500)를 포함한다.
- [0024] 전력을 수수하는 구성 장치들(100, 300 400)은 배전계통 모의장치(200)를 중심으로 각각의 모듈 수에 따라서 서로 다른 수의 3상 전력선(10, 11, 12)을 통해서 연결되며 생산된 전력을 부하에 전달하거나 저장하는 통로를 구성한다.
- [0025] 그리고 모든 구성품은 중앙의 독립계통 시험장치(500)와 다수의 직렬통신 네트워크 배선(20, 21, 22, 23)을 통해서 연결되며, 이를 통해 독립계통 시험장치(500)는 모니터링을 위한 각 장치의 상태 데이터나 아날로그 데이터 취득을 수행하며 시험시스템의 운전을 위한 제어 명령 등을 각 장치로 전달할 수 있다.
- [0026] 도 2는 도 1의 독립계통 시험시스템에 있어서 배전계통 모의장치(200)의 구성을 개략적으로 도시한 블록도이다. 도 2를 참조하면, 배전계통 모의장치(200)는 배전계통을 모의하는 배전선 모의 블록(210)과 외부 장치와의 연결을 위한 3 개의 단자함들(220, 230, 240)로 구성된다.
- [0027] 배전계통 모의장치(200)의 단자함들(220, 230, 240)은 각각의 외부 장치(100, 300 400)와 3상 전력선을 연결하기 위한 다수의 단자대(예, 220)들로 구성되어 있는데, 외부 장치들(100, 300, 400)의 배선(10, 11, 12)과 연결되는 외측 단자대 블록(예, 220에서 222)와 내부 배전선 모의 블록(210)과 연결되는 내측 단자대 블록(예, 220에서 223)으로 구성되며, 내측과 외측 단자대 블록을 임의로 연결함으로써 다수의 풍력터빈 모듈이나 부하 모듈 그리고 에너지 저장장치 모듈들을 시험하고자 하는 독립형 배전계통의 임의 위치에 배치하는 것이 가능하다.
- [0028] 배전계통 모의장치(200)의 배전선 모의 블록(210)은 다수의 배전선 모듈(211)들로 구성되는데, 각각의 배전선 모듈(211)은 배전선의 공장(Line Length)에 따라서 달라지는 임피던스 값을 모의하기 위한 3상의 가변 저항(213), 3상의 가변 인덕터(214), 배전선의 전압, 전류, 전력, 주파수 등을 측정하기 위한 전력 측정장치(215), 그리고 배전선 모듈(211)을 다른 배전선 모듈과 연결하기 위한 양단의 단자대(212, 216)로 구성된다.
- [0029] 배전계통 모의장치(200)에 있는 각각의 배전선 모듈(211)에 포함된 각각의 전력 측정장치(215)는 중앙의 독립계통 시험장치(500)와 멀티드롭(multi drop) 직렬방식의 통신 네트워크 배선(21)로 연결되어, 각 배전선의 전압, 전류, 전력, 주파수, 하모닉스 등 전력 품질 상황을 원격 측정하여 독립계통 시험장치(500)로 전송할 수 있다.
- [0030] 이와 같이 배전계통 모의장치(200)는 다수의 풍력터빈 모의모듈(110) 및 다수의 에너지 저장장치 모듈(410)을 다수의 부하 모의모듈(310)로 연결시키되, 각각의 단자함(220, 230, 240)을 거쳐 다수의 배전선 모듈(221)을 통해 연결시킬 수 있게 된다.
- [0031] 위와 같이 배전계통 모의장치(200)는 모듈 형태로 구성되어 각 모듈(211)의 단자대 연결을 여러 가지 방식으로 조합함으로써 다양한 형태의 독립계통 배전망을 구현하는 것이 가능하다. 그리고 개별적으로는 각각 다수의 모듈로 구성된 풍력터빈 모의장치(100), 부하 모의장치(300) 그리고 에너지 저장장치(400)에 있어서 개별 모듈을 배전계통 모의장치(200)의 임의의 단자에 연결하여서 개별 장치(풍력터빈모의장치, 부하모의장치, 에너지 저장

장치 등)를 독립계통 배전망의 어떤 위치에라도 배치가 가능하고, 시험할 수 있게 한다.

- [0032] 도 3은 도 1의 독립계통 시험시스템에 있어서 풍력터빈 모의장치(100)의 구성을 개략적으로 도시한 블록도이다. 풍력터빈 모의장치(100)는 다수의 풍력터빈 모의모듈(110)들로 구성되며, 각각의 풍력터빈 모의모듈(110)은 배전계통 모의장치(200)의 해당 단자함을 거쳐 각 배전선 모듈에 3상 전력선(10)을 통해서 연결되어 독립형 배전계통에 연계된 풍력 발전기의 특성을 모의한다.
- [0033] 각 풍력터빈 모의모듈(110)은 하나의 커플링 수단(114)에 의해서 직결된 모터(113)와 발전기(115)를 포함하며, 풍력터빈 모의 제어기(111) 내부의 프로그램 가능한 바람 패턴과 풍력터빈 모델에 의해서 만들어진 풍력터빈의 속도제어 명령은 인버터(112)를 통해서 모터(113) 구동신호를 발생시킨다. 이에 따라 모터(113)가 구동되고 모터(113)와 커플링 수단(114)에 의해 직결된 발전기(115)에서 생산된 전력은 풍력 PCS(Power Conversion System)(116)을 통해서 전력 변환되어 배전계통 모의장치(200)의 해당 단자함을 거쳐 각 배전선 모듈로 전달된다.
- [0034] 각 풍력터빈 모의모듈(110)의 풍력 PCS(116)와 연결된 풍력터빈 모의 제어기(111)는 중앙의 독립계통 시험장치(500)와 멀티드롭 직렬방식의 통신 네트워크 배선(20)으로 연결되고, 독립계통 시험장치(500)는 각 풍력터빈모의모듈(110)의 운전 상태와 출력상황 등을 원격 계측할 수 있고 풍력터빈의 기동/정지, 운전모드 변경 등의 제어 명령의 전송이 가능하다.
- [0035] 풍력터빈 모의장치(110)는 다양한 풍속 패턴을 풍력터빈 모의 제어기(110)에 입력하여 풍력터빈을 모의함으로써 여러 가지 바람 조건에서의 출력 변동을 모의할 수 있으며 풍력터빈의 비상정지로 인한 출력 급변 조건에 대한 시험도 가능하다. 또한 풍력터빈 모의장치(110)를 독립계통 시험시스템(500)에 연계하여 시험함으로써 풍력터빈 모의 제어기(110)의 제어기 성능시험이나 다수 풍력터빈의 출력 제어 시험에도 응용이 가능하다. 즉, 이와 같이, 풍력터빈모의장치(110)의 다수의 풍력터빈 모의모듈(110) 각각은, 풍력터빈 모의 제어기(111), 순차 연결된 인버터(112), 모터(113), 발전기(115), 풍력 PCS(Power Conversion System)(116)를 포함하며, 독립계통 시험 프로그램을 실행하여 구동되는 독립계통 시험장치(500)의 제어를 받는 풍력터빈 모의 제어기(111)에 의해 구동된 인버터(112), 모터(113), 발전기(115), 풍력 PCS(116)의 동작에 따른 풍력 PCS(116)의 출력을 배전계통모의장치(200)의 해당 배전선 모듈(211)로 전달하고, 풍력 PCS(116)의 출력 상태를 시험함으로써, 독립계통 시험장치(500)에서의 풍력터빈의 기동/정지, 운전모드 변경 등의 제어 명령에 따른 그 영향을 원격 모니터링할 수 있게 된다.
- [0036] 도 4는 도 1의 독립계통 시험시스템에 있어서 부하 모의장치(300)의 구성을 개략적으로 도시한 블록도이다. 부하 모의장치(300)는 변동하는 수용가 부하를 모의하기 위한 장치로, 다수의 부하 모의모듈(310)로 구성되어 각 모듈은 배전계통 모의장치(200)의 해당 단자함을 거쳐 각 배전선 모듈에 3상 전력선(11)들을 통해서 연결되어 독립형 배전계통에 분산 배치되며 시간에 따라서 변동하는 수용가 부하를 모의한다. 각 부하 모의모듈(310)의 부하 모의 제어기(315)에 의해서 정해진 패턴의 부하 변동을 발생시킨다.
- [0037] 부하 모의모듈(310)은 3상으로 구성된 다수의 저항 모듈(312), 인덕터 모듈(313), 콘덴서 모듈(314)을 포함하며, 각각의 모듈(312, 313, 314)은 다수의 소자들이 병렬로 전자 스위치를 통해서 연결되어 있으며 부하 모의 제어기(315)와 배선(316)으로 연결되어 개별 소자들의 투입/차단이 제어되어 부하의 크기와 진상, 지상 정도가 자유롭게 조절된다.
- [0038] 부하 모의장치(300)의 각각의 부하 모의 제어기들(315)과 부하 모의모듈 내부의 전력 계측장치(311)들은 중앙의 독립계통 시험장치(500)와 멀티드롭 직렬방식의 통신 네트워크 배선(22)으로 연결되어, 독립계통 시험장치(500)는 각 부하 모의모듈(310)의 전력부하 소비현황을 원격에서 계측하며 현재 부하 설정치를 전송하거나 시변 부하 패턴을 전송하여 변동하는 수용가 부하를 모의할 수 있다.
- [0039] 이와 같이 임의의 배전선 길이를 모의하기 위한 가변 수동소자 모듈들(312, 313, 314), 그리고 그 모듈들의 임의의 연결과 계통을 구성하는 외부 장치들(100, 200, 400 등)과의 임의의 연결을 통해서 다양한 형태의 독립계통 배전망을 구성할 수 있고, 독립계통시험장치(500)의 제어를 받는 부하모의 제어기(315)에 의해 독립계통의 전력 부하의 크기, 진상/지상 정도, 역률, 불평형 부하의 인가 등이 자유롭게 조절될 수 있다.
- [0040] 부하 모의장치(300)는 풍력터빈 모의장치(100)와 유사하게 다양한 시간별 수용가 부하 패턴을 부하모의 제어기(315)에 입력하여 실행함으로써 시간에 따라 변동하는 다양한 수용가 부하를 모의하는 것이 가능하다. 자세하게 설명하자면, 부하 모의 제어기(315)의 제어에 의해 온/오프 제어 가능한 전자 스위치를 통해서 직, 병렬로 연결된 저항 모듈(312), 인덕터 모듈(313), 콘덴서 모듈(314)의 투입/차단을 제어함으로써 유효전력 부하의 크기는

물론 진상, 지상의 부하 역률 조정과 무효전력 조정이 가능하다. 이와 더불어 본 발명에 따른 부하 모의장치(300)는 3상 부하의 투입/차단을 동시에 하는 것은 물론 각 상별로 투입/차단 제어가 가능하게 설계하여서, 그 결과로 3상 평형 부하는 물론 3상 불평형 부하의 모의도 가능하다. 부하 모의장치(300)가 모의하는 실시간 부하 패턴은 중앙의 독립계통 시험장치(500)의 모니터링 및 노트북 PC와 같은 제어장치(520)에서 사용자가 프로그램 하여 부하 모의장치(300)의 각 부하모의 제어기(315)에 다운로드 하는 것이 바람직하다.

[0041] 이와 같이 부하모의장치(300)의 다수의 부하 모의모듈(310) 각각은, 부하모의 제어기(315)와, 배전계통모의장치(200)의 해당 배전선 모듈과 순차 연결된 3상의 저항 모듈(312), 인덕터 모듈(313), 콘덴서 모듈(314)을 포함하며, 독립계통 시험 프로그램을 실행하여 구동되는 독립계통시험장치(500)의 제어를 받는 부하모의 제어기(315)에 의해 구동된 저항 모듈(312), 인덕터 모듈(313), 콘덴서 모듈(314)의 동작에 따른 각 부하 모의 모듈(310)의 출력 상태를 시험할 수 있게 된다.

[0042] 도 5는 도 1의 독립계통 시험시스템에 있어서 에너지 저장장치(400)의 구성을 개략적으로 도시한 블록도이다. 에너지 저장장치(100)는 독립 전력계통의 전력 수요와 전력 공급의 불일치를 해결해 주는 전력 장치로서 독립계통의 전력품질을 유지해주는 역할을 한다. 이를 위하여 에너지 저장장치(400)는 다수의 에너지 저장장치 모듈(410)로 구성되며 각각의 모듈(410)은 배전계통 모의장치(200)의 해당 단자함을 거쳐 각 배전선 모듈에 3상 전력선(12)들을 통해서 연결되어 독립형 배전계통에 분산 배치된다.

[0043] 에너지 저장장치 모듈(410)은 에너지를 저장하기 위한 이차전지(414), DC/DC 변환기(413), DC 링크(412), 인버터(411)(또는 AC/DC 변환기)로 구성된 전력 변환장치와 에너지 저장장치 제어기(415)로 구성된다.

[0044] 각 에너지 저장장치 모듈(410) 내부의 개별 에너지 저장장치 제어기(415)들은 중앙의 독립계통 시험장치(500)와 멀티드롭 직렬방식의 통신 네트워크 배선(23)로 연결되고, 독립계통 시험장치(500)는 각 에너지 저장장치 모듈(410)의 충전 및 방전 상태를 원격에서 계측할 수 있으며 에너지 저장장치의 출력 기준 값의 설정이나 운전 모드의 변경 등을 원격에서 제어할 수 있다.

[0045] 이와 같이, 에너지저장장치(400)의 다수의 에너지 저장장치 모듈(410) 각각은, 에너지 저장장치 제어기(415)와, 배전계통모의장치(200)의 해당 배전선 모듈과 순차 연결된 인버터(411), DC 링크(412), DC/DC 변환기(413), 이차전지(414)를 포함하며, 독립계통 시험 프로그램을 실행하여 구동되는 독립계통시험장치(500)의 제어를 받는 상기 에너지 저장장치 제어기(415)에 의해 구동된 이차전지(414), DC/DC 변환기(413), DC 링크(412), 인버터(411)의 동작에 따른 이차전지(414)의 충전 및 방전 상태를 원격에서 모니터링하고 시험할 수 있다.

[0046] 또한, 이와 같은 에너지 저장장치(400)는 풍력발전, 즉, 풍력터빈 모의장치(110)에서 생산된 에너지와 부하모의 장치(300)의 수용가 부하에서 소비되는 에너지의 불균형을 해결하여 독립형 전력계통의 전압 및 주파수를 일정하게 유지하는 완충장치 역할을 한다. 빠른 속도로 변동하는 풍력발전의 출력변동을 일차적으로 완화시키기 위하여 수퍼 커패시터 또는 리튬이온 배터리와 같은 이차전지(414)를 에너지 저장 소스로 사용하는 단기 에너지 저장장치가 담당하며, 일간의 전력 생산/소비 양의 불균형은 비교적 낮은 가격으로 대용량의 에너지 저장을 구현할 수 있는 납축전지 또는 플로우 전지를 기반으로 하는 장기 에너지 저장장치를 이차전지(414)로 이용하여 해결하는 것이 바람직하다. 에너지 저장을 위한 이차전지(414)와 전력 변환장치(414, 413, 412, 411), 그리고 에너지 저장장치 제어기(415)로 구성된 다수의 에너지 저장장치 모듈(410)과 각 모듈(410)을 독립계통의 임의의 위치에 분산 배치되어 독립계통의 전압 및 주파수 안정도를 높이는 역할을 할 수 있다.

[0047] 도 6은 도 1의 독립계통 시험시스템에 있어서 독립계통 시험장치(500)의 구성을 개략적으로 도시한 블록도이다.

[0048] 독립계통 시험장치(500)는 독립계통 시험 프로그램(521)을 실행하는 노트북 PC등 모니터링 및 제어장치(520), 다수의 외부 장치(100, 200, 300, 400)와 통신 연결을 제공하는 다채널 멀티드롭 직렬통신 모듈(510), 그리고 통신모듈(510)과 모니터링 및 제어장치(520)를 연결하는 USB 케이블(511)로 구성된다.

[0049] 독립계통 시험장치(500)는 다채널 멀티드롭 직렬통신 모듈(510)과 각각의 통신 케이블(20, 21, 22, 23)을 통해서 풍력터빈 모의장치(100), 배전계통 모의장치(200), 부하 모의장치(300), 그리고 에너지 저장장치(400)와 연결된다.

[0050] 도 7은 도 1의 독립계통 시험시스템에 있어서 독립계통 시험 프로그램(521)의 실시 예이다. 독립계통 시험 프로그램(521)의 실행을 통하여 각 배전선 모듈(211), 각 풍력터빈 모의모듈(110), 각 부하 모의모듈(310), 각 에너지 저장장치 모듈(410)의 각 부의 상태를 일괄적으로 디스플레이 장치에 표시해 줄 수 있으며, 계통의 안정도를 평가하기 위한 전압 유지율과 주파수 유지율, 신재생 에너지 비율 등의 정보를 표시하며 실시간으로 기록하여 보여준다. 또한 독립계통 시험 프로그램(521)은 외부 장치(100, 200, 300, 400)들의 각 제어기의 운전모드 변경

이나 설정치 변경이 가능하고, 특히, 시간에 따라서 변동하는 바람 패턴과 수용가 부하 패턴을 각각 풍력터빈 모의 제어기(111)와 부하 모의 제어기(315)에 전송하여 독립 계통의 시험 절차의 진행을 용이하고 효율적으로 수행한다.

[0051] 이에 따라, 독립계통시험장치(500)는 각각의 외부 장치(100, 200, 300, 400)와 통신으로 연결하여 중앙에서 감시 및 제어함으로써 독립계통에서 발생할 수 있는 시험 조건을 구현하고 정해진 평가 지표에 따라서 전력계통의 안정도를 평가할 수 있으며, 특히, 독립계통시험장치(500)는 이와 같이 독립계통 시험 프로그램을 실행하여, 시간에 따라서 변동하는 바람 패턴을 다수의 풍력터빈 모의모듈(110)의 각 제어기(111)로 전송하고, 시간에 따라서 변동하는 수용가 부하 패턴을 다수의 부하 모의모듈(310)의 각 제어기(315)로 전송하여, 해당 바람 패턴 및 수용가 부하 패턴에 따른 다수의 풍력터빈 모의모듈(110), 다수의 에너지 저장장치 모듈(410), 다수의 배전선 모듈(211), 다수의 부하 모의모듈(310)의 출력 상태를 시험할 수 있게 된다. 즉, 풍력 발전의 급격한 출력 변동과 수용가 부하의 변동에 따른 독립계통의 안정도를 평가하고 에너지 저장장치의 제어에 의하여 전력 품질의 개선 정도를 시험할 수 있는 것이다.

[0052] 독립계통시험장치(500)는 다채널 멀티드롭 직렬통신 모듈을 통해서 독립계통을 구성하는 개별 장치들(100, 200, 300, 400)과의 원격 데이터 통신을 수행하며 독립계통 시험 프로그램을 이용하여 전체 시스템의 운전 상태 감시, 실시간 모니터링, 시험 데이터 로깅 등의 감시 기능과 풍력터빈모의장치(100) 제어를 위한 바람 패턴 다운로드 제공, 부하 모의장치(300)의 제어를 위한 부하 패턴 다운로드 제공, 에너지 저장장치(400)의 운전 모드 변경, 출력 기준 값 설정 등 시험 조건의 설정을 제어할 수 있다.

[0053] 독립계통시험장치(500)는 위와 같은 다수의 풍력터빈 모의모듈(110), 다수의 에너지 저장장치 모듈(410), 다수의 배전선 모듈(211), 다수의 부하 모의모듈(310) 등의 출력 상태에 대한 주파수 및 전압에 대한 안정도 평가를 위하여 하기의 [수학식1], [수학식2]에 기초한 계산 결과에 따라 평가하고 디스플레이 장치에 제공할 수 있다. 독립계통의 전력품질을 평가하는 기준은 여러 가지가 있지만 그 중 가장 기본적인 전압의 크기와 전압의 주파수를 측정하여 독립계통의 안정도 평가를 수행한다. 독립계통의 주파수는 독립계통의 배전망 어디에서나 동일하므로 특정의 여러 장소에서 검출한 주파수를 이용하여 [수학식1], [수학식2]과 같은 안정도 평가 지표를 계산한다.

[0054] [수학식1]

$$M_{samp} = \begin{cases} \text{적합} & , \text{만약 } abs(M_{samp} - M_{norm}) \leq M_{limit} \text{ 경우} \\ \text{부적합} & , \text{만약 } abs(M_{samp} - M_{norm}) > M_{limit} \text{ 경우} \end{cases}$$

[0056] [수학식2]

$$SI_f = \frac{NS_{fGood}}{NS_{fTotal}} \times 100 \quad [\%]$$

[0057]

$$SI_v = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{NS_{vkGood}}{NS_{vkTotal}} \times 100 \right) \quad [\%]$$

[0058]

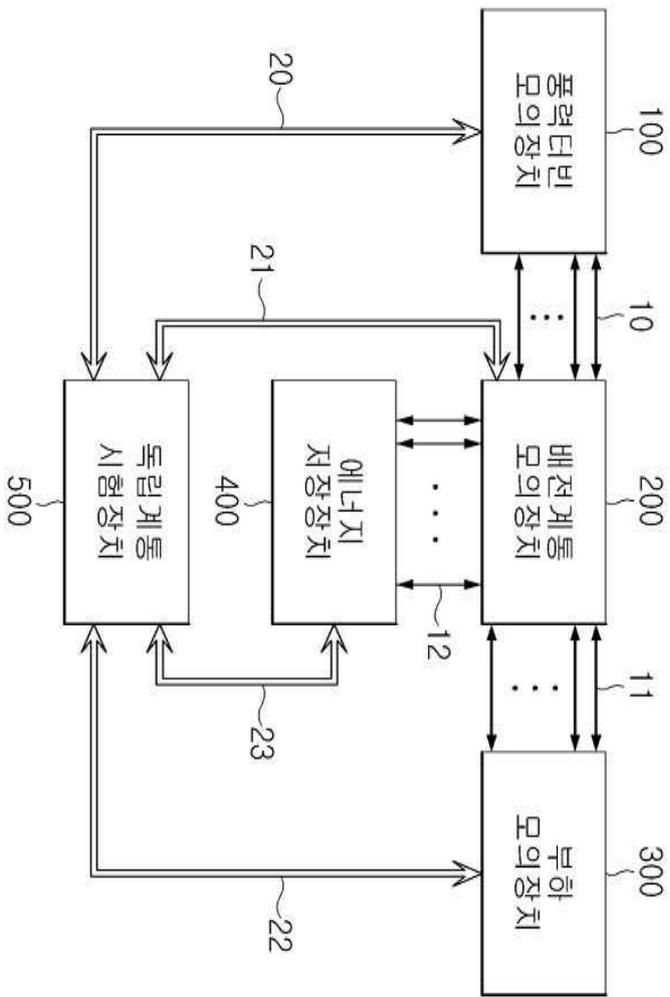
[0059] 위와 같은 전력 품질을 측정하는 방법으로는 전력 품질 측정 방법의 국제 표준인 IEC 61000-4-30를 적용하는 것이 바람직하다. 그리고 측정된 주파수 및 전압 샘플의 적합 여부를 판단하기 위해서는 [수학식1]과 같은 기준을 사용하여 적합, 부적합을 판정할 수 있다. [수학식1]에서, M_{samp} : 전압 또는 주파수의 측정 샘플값(Measured Sample), $abs()$: 절대치 함수, M_{norm} : 전압 또는 주파수의 정격 값(Normal Value), M_{limit} : 전압 또는 주파수의 제한 값(Limit Value)이다.

[0060] 또한, [수학식2]와 같이 주파수 및 전압의 안정도 평가값이 백분율로 산출될 수 있으며, [수학식2]에서 SI_f : 주파수 안정도 평가 지표(Stability Index of Frequency), NS_{fGood} : [수학식1]의 판정기준 중 적합에 해당하는 주파수 샘플의 수, NS_{fTotal} : 전체 주파수 샘플의 수, SI_v : 전압 안정도 평가 지표(Stability Index of Voltage), n : 전압 샘플을 측정한 배전망의 측정지점 수, NS_{vkGood} : k번 측정점에서 [수학식1]의 판정기준 중 적합에 해당하는 전압 샘플의 수, $NS_{vkTotal}$: k번 측정점에서 전체 전압 샘플의 수이다.

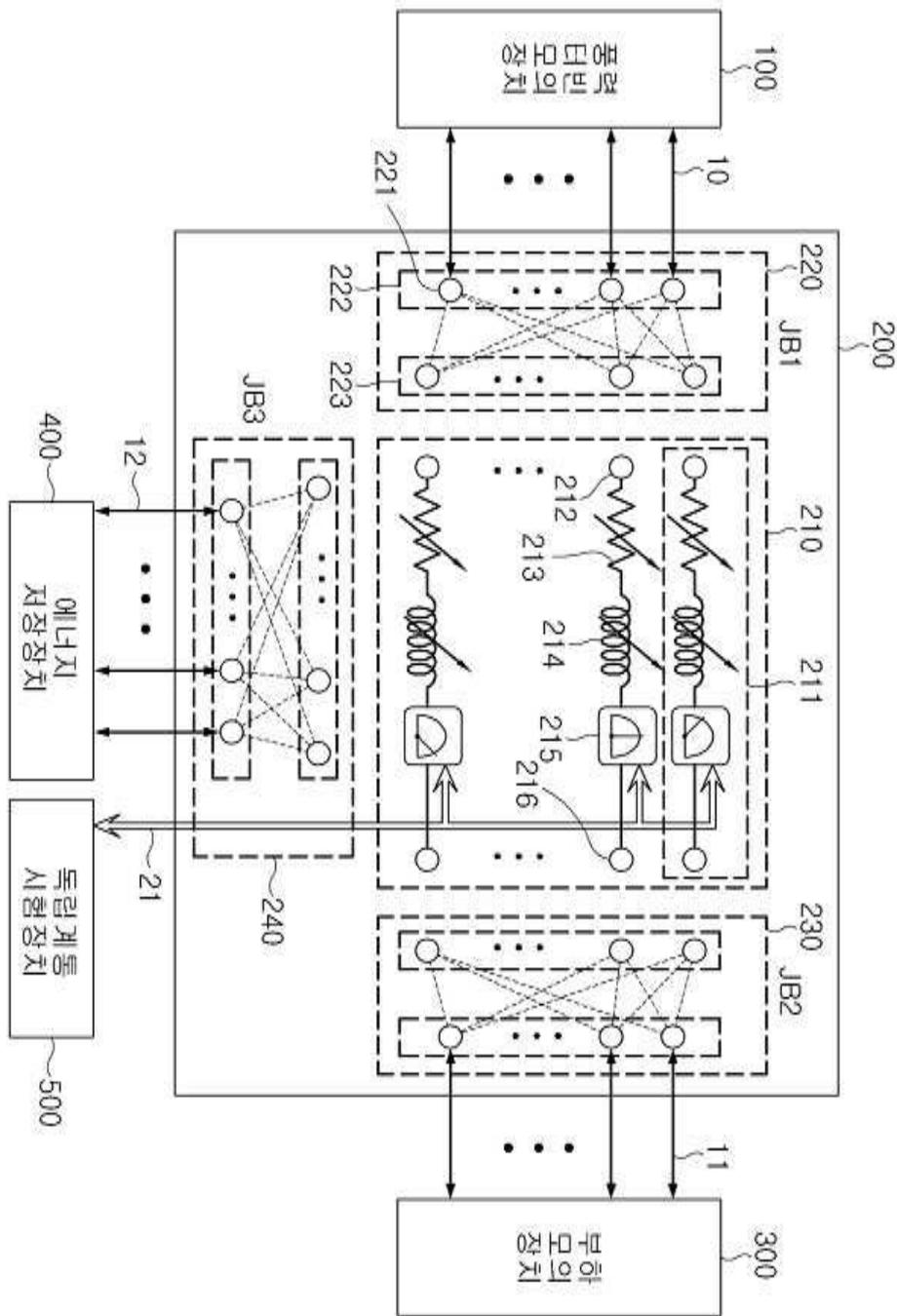
- [0061] 도 8은 도 1의 독립계통 시험시스템에 있어서 구현할 수 있는 독립계통의 3가지 구성에 대한 실시 예이다.
- [0062] 예를 들어, 수지형 배전계통(600)은 단일 피더(feeder)로 구성된 배전선에 다수의 풍력터빈들과 에너지 저장장치들 그리고 분산 배치된 부하들이 연결된 형태일 수 있다.
- [0063] 또한, 성형 배전계통(610)은 흔히 볼 수 있는 소규모 도서 지역의 배전 구성으로서, 섬 도로 등을 통해 분산 배치되는 배전선, 각 외곽 지역에 배치되어 각 배전선과 연결된 풍력터빈과 부하, 그리고 중앙에 설치된 에너지 저장장치나 부하 등을 갖는 형태일 수 있다.
- [0064] 그리고, 루프형 배전계통(620)은 원형으로 배전선에 의해 연결되는 배전계통으로서, 도서지역의 순환 도로를 따라서 배치된 배전선망과 각 지역별 분산 배치된 풍력터빈들, 에너지 저장장치들 및 부하들을 포함하는 형태일 수 있다.
- [0065] 이와 같은 다양한 배전 계통 형태의 독립계통들에 대한 모의 시험을 위한 본 발명에 따른 독립계통 시험장치는, 다채널의 통신 모듈을 통해서 시험시스템의 개별 장치 모듈들과 직접적인 데이터 송수신을 함으로써 전체 시스템의 운전 상태나 전력의 흐름, 전기 품질에 대한 통합 모니터링이 가능하다. 또한 각종 제어 목표치의 설정이나 운전 모드의 변경 그리고 운전 파라미터의 변경 등이 독립계통 시험장치의 독립계통 시험 프로그램을 통해서 조작 가능하여서 시험시스템의 운영이 편리하며 시험 조건과 절차를 일관 작업으로 수행하는 편의성을 제공할 수 있다.
- [0066] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

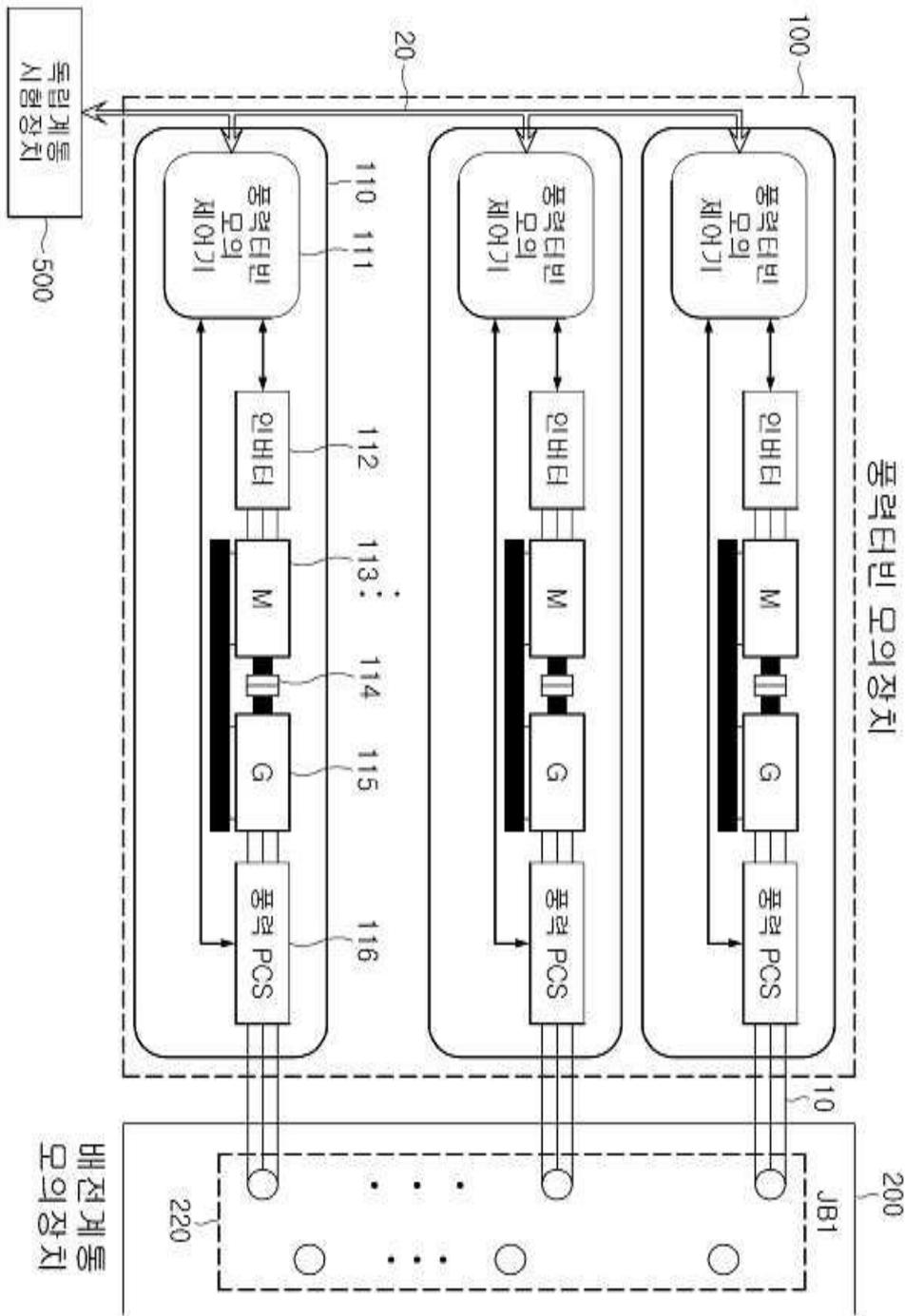
도면1



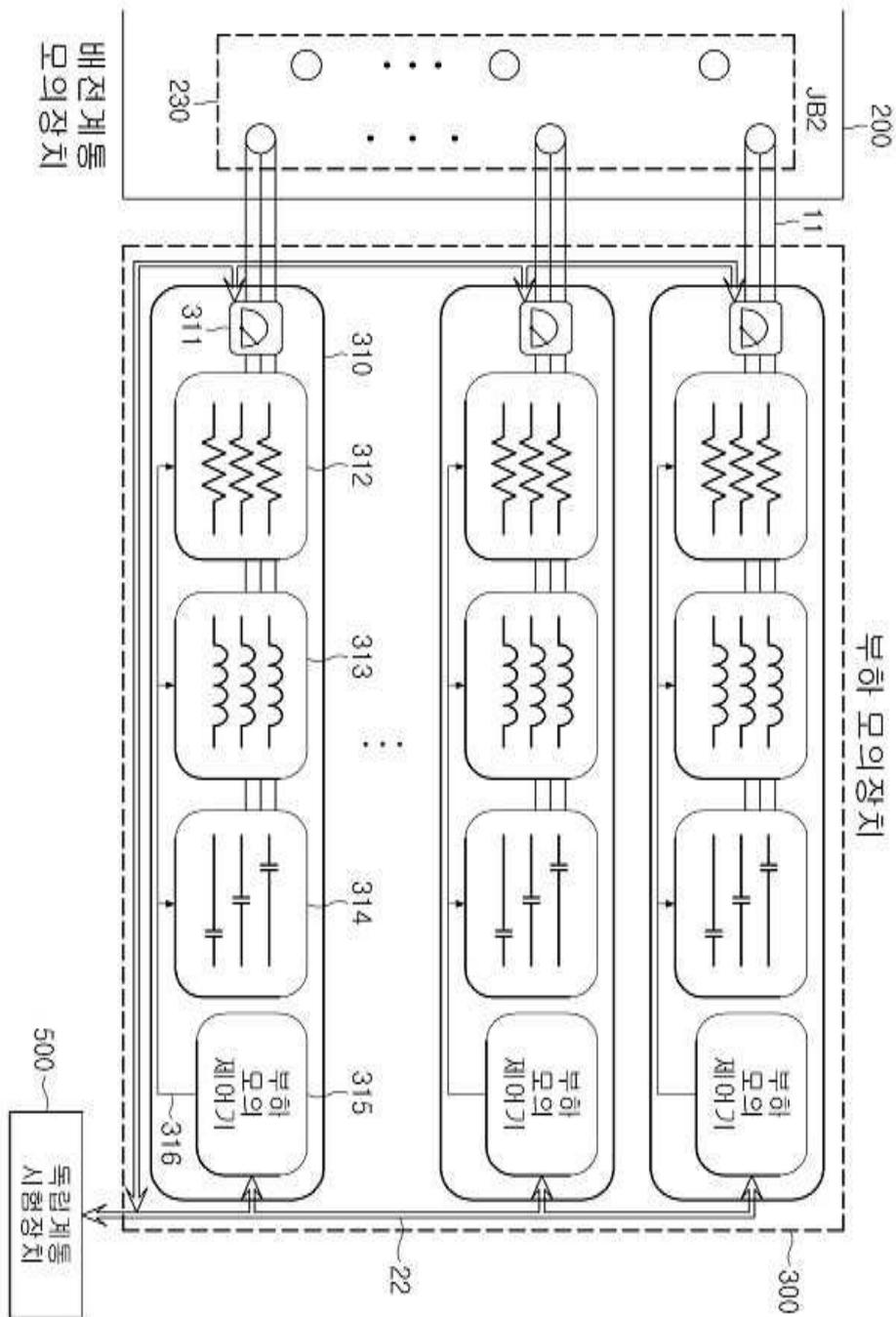
도면2



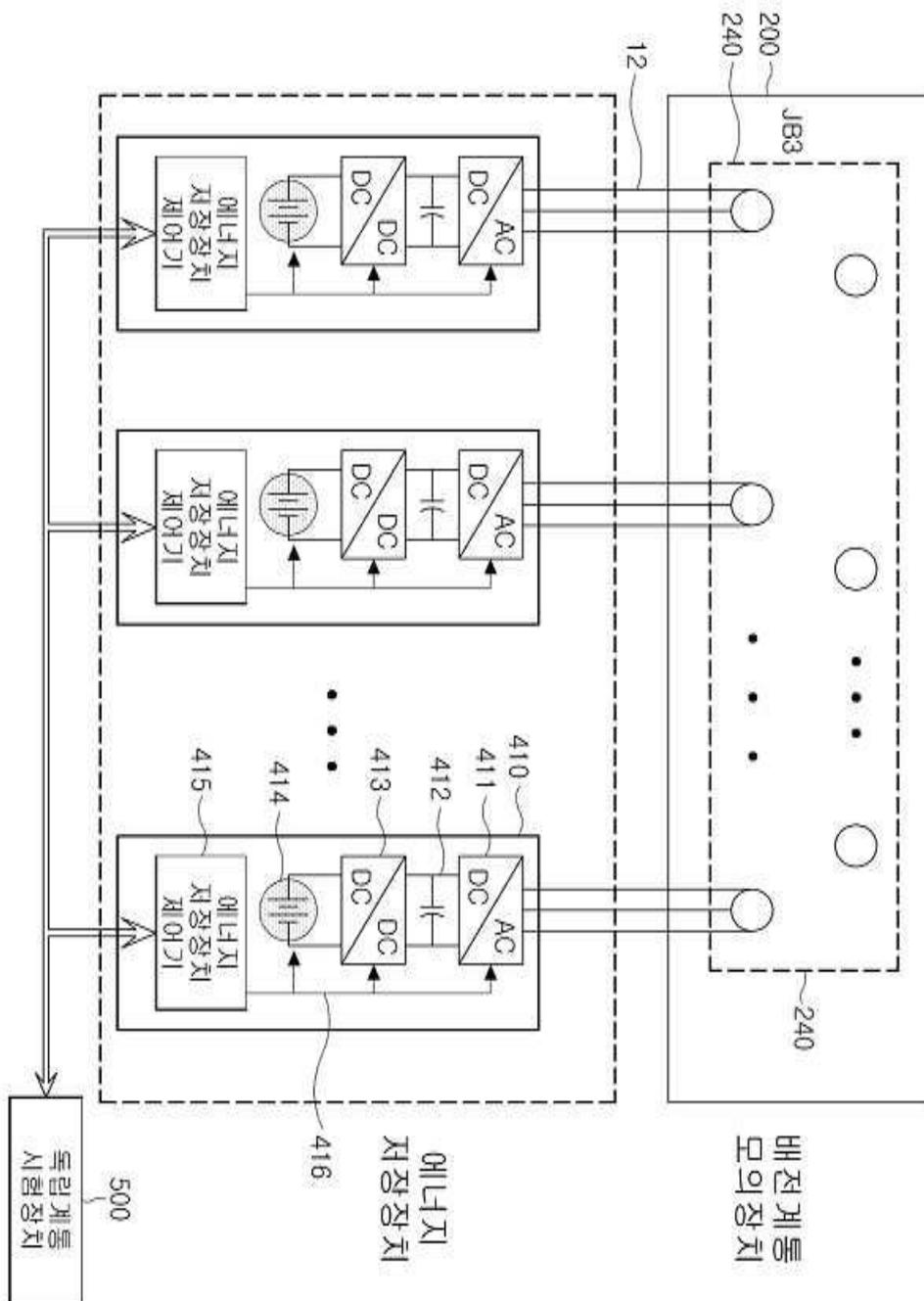
도면3



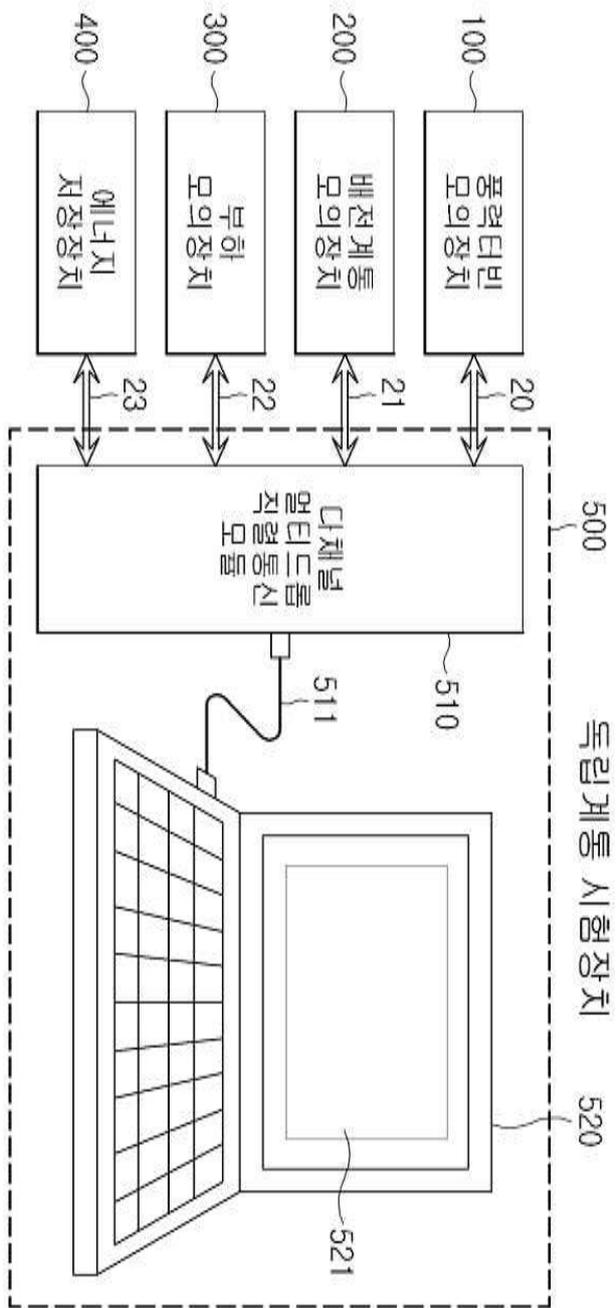
도면4



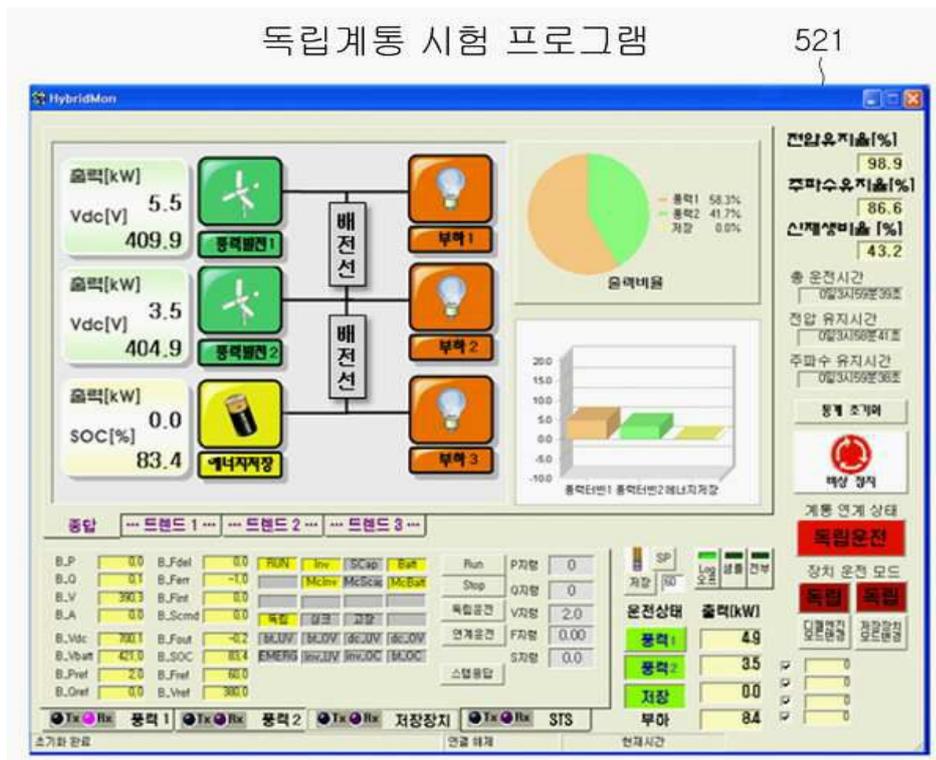
도면5



도면6



도면7



도면8

