(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0090761
(43) 공개일자 2012년08월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F03D 7/00 (2006.01) *F03D 7/04* (2006.01)
F03D 11/00 (2006.01) *F03D 11/02* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-7009936
(22) 출원일자(국제) 2010년11월30일
심사청구일자 2011년04월29일
(85) 번역문제출일자 2011년04월29일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2010/006978
(87) 국제공개번호 WO 2012/073278
국제공개일자 2012년06월07일

(71) 출원인
미츠비시 쥬고교 가부시키가이샤
일본 도꾜도 미나또꾸 고난 2쵸메 16방 5고
(72) 발명자
쯔쯔미 가즈히사
일본 1088215 도꾜도 미나또꾸 고난 2쵸메 16방 5고 미츠비시 쥬고교 가부시키가이샤 내
시미즈 마사유끼
일본 1088215 도꾜도 미나또꾸 고난 2쵸메 16방 5고 미츠비시 쥬고교 가부시키가이샤 내
덤노브 대니얼
영국 이에이치209티비 로씨언 미드로씨언 론헤드 에지필드 로드 에지필드 인더스트리얼 에스테이트 유닛 3 아테미스 인텔리전트 파워 리미티드 내
(74) 대리인
성재동, 장수길

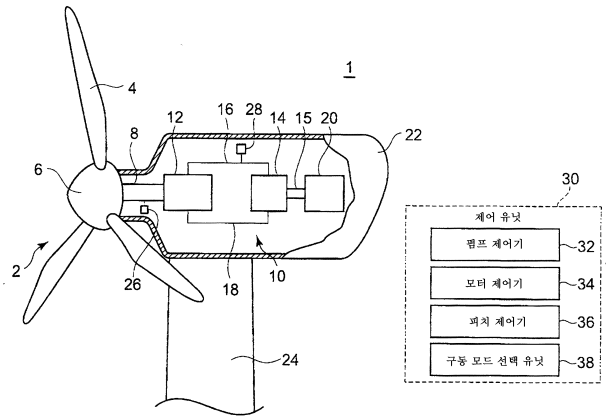
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **풍력 발전기**

(57) 요 약

본 발명의 목적은 소음, 조류 충돌 및 베어링 샤프트의 마찰열 등과 같은 문제점에 대한 조치를 취하는 풍력 발전기 및 그 제어 방법을 제공하는 것이다. 풍력 발전기(1)는 메인 샤프트(8)에 의해 회전되는 가변 용량형의 유압 펌프(12), 발전기(20)에 연결된 가변 용량형의 유압 모터(14), 및 유압 펌프(12)와 유압 모터(14) 사이에 배치된 고압 오일 라인(16) 및 저압 오일 라인(18)을 포함한다. 작동 모드 선택 유닛(38)은 정상 작동 모드와 저속 회전 작동 모드 사이에서 작동 모드를 전환한다. 저속 회전 작동 모드는 정상 작동 모드의 것보다 낮은 메인 샤프트(8)의 정격 회전 속도를 가지고, 유압 펌프(12)의 정격 용량 및 고압 오일 라인의 정격 압력 중 적어도 하나는 정상 작동 모드의 것 보다 크고 발전기(20)의 정격 출력은 정사 작동 모드의 것과 실질적으로 동일하다. 작동 모드 선택 유닛(38)은 환경 조건에 따라서 정상 작동 모드 또는 저속 회전 작동 모드를 선택한다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

허브와,

상기 허브에 결합된 메인 샤프트와,

상기 메인 샤프트로부터 전달된 회전 에너지를 전력으로 변환하는 발전기와,

상기 메인 샤프트에 의해 회전되는 가변 용량형의 유압 펌프와,

상기 발전기에 연결된 가변 용량형의 유압 모터와,

유압 펌프의 배출측과 유압 모터의 유입측 사이에 배치된 고압 오일 라인과,

유압 펌프의 유입측과 유압 모터의 배출측 사이에 배치된 저압 오일 라인과,

유압 펌프의 용량(D_p)을 조정하는 펌프 제어기와, 유압 모터의 용량(D_m)을 조정하는 모터 제어기를 가지는 제어 유닛과,

정상 작동 모드와 저속 회전 작동 모드 사이에서 작동 모드를 전환하는 작동 모드 선택 유닛을 포함하며,

상기 저속 회전 작동 모드는 정상 작동 모드 보다 낮은 메인 샤프트의 정격 회전 속도를 가지는, 풍력 발전기.

청구항 2

제1항에 있어서, 저속 회전 작동 모드에서, 유압 펌프의 정격 용량과 고압 오일 라인의 정격 압력 중 적어도 하나는 정상 작동 모드의 것보다 큰, 풍력 발전기.

청구항 3

제1항에 있어서, 저속 회전 작동 모드의 전력의 정격 출력은 정상 작동 모드의 것과 실질적으로 동일한, 풍력 발전기.

청구항 4

제1항에 있어서, 작동 모드 선택 유닛은 환경 조건에 따라서 정상 작동 모드 또는 저속 회전 작동 모드를 선택하는, 풍력 발전기.

청구항 5

제1항에 있어서, 정상 작동 모드 및 저속 회전 작동 모드의 양측 모두에 대해서, 메인 샤프트의 회전 속도가 저속 회전 작동 모드의 정격 회전 속도 이하일 때 펌프 제어기는 전력 계수가 최대가 되는 유압 펌프의 목표 토크를 얻고, 이후에 목표 토크와 고압 오일 라인 내의 작동 오일의 유압 압력에 기초하여 유압 펌프의 용량(D_p)을 설정하는, 풍력 발전기.

청구항 6

제5항에 있어서, 메인 샤프트의 회전 속도를 측정하는 회전 속도 센서를 더 포함하고,

펌프 제어기는 회전 속도 센서에 의해 측정된 메인 샤프트의 회전 속도에 따라서 전력 계수가 최대가 되는 목표 토크를 얻는, 풍력 발전기.

청구항 7

제5항에 있어서, 풍속을 측정하는 풍속계를 더 포함하고,

펌프 제어기는 측정된 풍속으로부터 전력 계수가 최대가 되는 목표 토크를 얻는, 풍력 발전기.

청구항 8

제5항에 있어서, 모터 제어기는 발전기의 회전 속도가 일정하게 되도록 유압 펌프의 배출량(Q_p)에 기초하여 유압 모터의 용량(D_m)을 설정하며, 유압 펌프의 배출량(Q_p)은 용량(D_p)으로부터 얻어지는, 풍력 발전기.

청구항 9

제8항에 있어서, 각각의 유압 펌프 및 유압 모터는, 각각 실린더와 상기 실린더 내를 활주식으로 이동하는 피스톤에 의해 둘러싸인 복수의 오일 챔버와, 피스톤과 체결되는 캠 프로파일을 가지는 캠과, 각각의 오일 챔버와 고압 오일 라인 사이의 연통 경로를 각각 개폐하는 고압 밸브와, 각각의 오일 챔버와 저압 오일 라인 사이의 연통 경로를 각각 개폐하는 저압 밸브를 포함하고,

펌프 제어기는 유압 펌프의 비작동 오일 챔버 대 전체 오일 챔버의 비에 의해 유압 펌프의 용량(D_p)을 조정하고, 하사점에서 시작하여 상사점에 도달하고 하사점으로 복귀하는 유압 펌프의 피스톤의 사이클 동안 유압 펌프의 고압 밸브는 폐쇄되고 저압 밸브는 개방된 상태로 유지되도록 비작동 오일 챔버가 유지되고,

모터 제어기는 유압 모터의 비작동 오일 챔버 대 전체 오일 챔버의 비에 의해 유압 모터의 용량(D_m)을 조정하고, 하사점에서 시작하여 상사점에 도달하고 하사점으로 복귀하는 유압 펌프의 피스톤의 사이클 동안 유압 펌프의 고압 밸브는 폐쇄되고 저압 밸브는 개방된 상태로 유지되도록 비작동 오일 챔버가 유지되게 조정하는, 풍력 발전기.

청구항 10

제9항에 있어서, 유압 펌프의 캠은, 메인 샤프트 주연부 둘레로 배치되고 메인 샤프트의 둘레로 교대로 배치된 복수의 오목부와 볼록부를 구비한 복수의 파형을 형성하는 캠 프로파일을 가지는 링 캠이며, 유압 모터의 캠은 편심 캠인, 풍력 발전기.

청구항 11

제1항에 있어서, 허브 상에 장착된 블레이드의 피치 각도를 조정하는 피치 구동 기구를 더 포함하며,

제어 유닛은 일단 발전기의 출력이 정격 출력에 도달하면 발전기의 정격 출력을 유지하도록 피치 구동 기구를 제어하는, 풍력 발전기.

청구항 12

허브와, 상기 허브에 결합된 메인 샤프트와, 상기 메인 샤프트로부터 전달된 회전 에너지를 전력으로 변환하는 발전기와, 상기 메인 샤프트에 의해 회전되는 유압 펌프와, 상기 발전기에 연결된 가변 용량형의 유압 모터와, 유압 펌프의 배출측과 유압 모터의 유입측 사이에 배치된 고압 오일 라인과, 유압 펌프의 유입측과 유압 모터의 배출측 사이에 배치된 저압 오일 라인을 포함하는 풍력 발전기의 작동 방법이며,

환경 조건에 따라서 정상 작동 모드와, 상기 정상 작동 모드의 것보다 낮은 메인 샤프트의 정격 회전 속도를 가지는 저속 회전 작동 모드 사이에서 작동 모드를 선택하는 모드 선택 단계와,

모드 선택 단계에서 선택된 작동 모드에 기초하여 유압 펌프와 유압 모터의 용량을 조정하는 용량 조정단계를 포함하는, 풍력 발전기의 작동 방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 유압 펌프의 정격 용량과 고압 오일 라인의 정격 압력 중 적어도 하나는 저속 회전 작동 모드에서 정상 작동 모드의 것보다 큰, 풍력 발전기의 작동 방법.

청구항 14

제12항에 있어서, 저속 회전 작동 모드에서의 전력의 정격 출력은 정상 작동 모드의 것과 실질적으로 동일한, 풍력 발전기의 작동 방법.

청구항 15

제12항에 있어서, 모드 선택 단계에서 정상 작동 모드 또는 저속 회전 작동 모드는 환경 조건에 따라서 선택되는, 풍력 발전기의 작동 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 로터의 회전을 유압 펌프와 유압 모터의 조합을 가지는 유체 변속기를 경유하여 발전기에 전달하는 풍력 발전기와, 상기 풍력 발전기의 작동 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 근년에, 환경 보존의 관점에서, 재생 에너지의 한 형태인 풍력을 이용하는 풍력 발전기를 사용하는 것이 대중화되고 있다.

[0003] 풍력 발전기는 바람의 운동 에너지를 로터의 회전 에너지로 변환하고, 또한 로터의 회전 에너지를 발전기에 의해 전력으로 변환한다. 통상의 풍력 발전기에서, 로터의 회전 속도는 대략 분당 수 회전 내지 분당 수십 회전이다. 반면에, 발전기의 정격 속도는 정상적으로 1500rpm 또는 1800rpm이며, 따라서 로터와 발전기 사이에는 기계식 변속장치가 제공된다. 구체적으로, 로터의 회전 속도는 변속장치에 의해 발전기의 정격 속도로 증가되고 이후에 발전기에 입력된다. "정격"이라는 용어는 의도된 최대 작동 조건을 의미하며, 예컨대 속도, 압력, 유동, 용량(displacement) 또는 전력에 적용될 수 있다. 정격 조건은 사용시에 짧은 기간 동안 과잉이 될 수 있으며, 일반적으로 수 분 이하이고, 간헐적이다.

[0004] 근년에, 풍력 발전기가 전력 발전 효율을 향상시키기 위해 대형화됨에 따라 변속장치는 점점 더 무거워지고 고비용화되는 경향이 있다. 따라서, 가변 용량형의 유압 펌프와 유압 모터의 조합을 채택하는 유압 변속기를 구비한 풍력 발전기가 많은 주목을 받고 있다.

[0005] 예를 들어, 특허문헌 1은 로터에 의해 회전되는 유압 펌프와 발전기에 연결되는 유압 모터를 구비하는 유압 변속기를 이용하는 풍력 발전기를 개시하고 있다. 이 풍력 발전기의 유압 변속기에서, 유압 펌프와 유압 모터는 고압 저장조 및 저압 저장조를 거쳐서 연결된다. 이로 인해, 로터의 회전 에너지는 유압 변속기를 거쳐서 발전기에 전달된다. 또한, 유압 펌프는 복수의 피스톤 및 실린더 세트, 및 실린더 내에서 피스톤을 주기적으로 왕복시키는 캠으로 구성된다.

[0006] 또한, 특허문헌 2는 로터에 의해 회전되는 유압 펌프, 발전기에 연결되는 유압 모터, 및 상기 유압 펌프와 유압 모터 사이에 배치되는 작동 오일 경로로 구성되는 유압 변속기를 채택한 풍력 발전기를 기재하고 있다. 이 풍력 발전기의 유압 변속기에서, 유압 펌프는 복수의 피스톤 및 실린더 세트, 실린더 내에서 피스톤을 주기적으로 왕복시키는 캠, 및 상기 피스톤의 왕복에 의해 개폐되는 고압 밸브와 저압 밸브로 구성된다. 피스톤을 상사점 근처에서 래칭시킴으로써, 실린더와 피스톤에 의해 둘러싸인 작업 챔버가 비작동되고, 이후 유압 펌프의 용량이 변경된다.

[0007] 유압 펌프와 유압 모터가 가변 용량형이 아니지만, 특허문헌 3은 유압 펌프와 유압 모터를 갖는 풍력 발전기를 개시하고 있다. 특허문헌 3의 풍력 발전기는 유압 펌프로부터 유압 모터에 공급되는 작동 오일의 압력을 조정함으로써 발전기의 회전 속도를 일정하게 유지한다. 이 풍력 발전기에서, 유압 펌프의 배출측은 고압 탱크로서 기능하는 타워의 내부 공간을 거쳐서 유압 모터의 유입측에 연결되며, 유압 펌프의 유입측은 타워 아래에 배치된 저압 탱크를 거쳐서 유압 모터의 배출측에 연결된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) US 2010/0032959

(특허문헌 0002) US 2010/0040470

(특허문헌 0003) US 7436086 B

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 발전 효율을 개선하기 위해 대형 풍력 발전기를 만드는 경향이 있다. 그렇지만, 대향 풍력 발전기에서는 블레이드의 선단 주연부 속도도 역시 빨라진다. 이는 소음(블레이드의 바람 소음), 조류 충돌(블레이드와 충돌하는 야생 조류)과 같은 문제점을 가진다. 그리고, 고속 회전은 베어링 샤프트의 마찰열로 인한 온도 상승의 문제점을 야기한다. 그렇지만, 특허문헌 1, 2, 및 3 중 어느 것에도 소음, 조류 충돌, 및 샤프트 베어링의 마찰열과 같은 문제점에 대한 조치를 취하는 방법에 대해서 개시하고 있지 않다.

[0010] 전술된 문제점의 관점에서, 본 발명의 목적은 소음, 조류 충돌 및 베어링 샤프트의 마찰열 등과 같은 문제점에 대한 조치를 취하는 풍력 발전기 및 그 작동 제어 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 본 발명은 허브와, 상기 허브에 결합된 메인 샤프트와, 상기 메인 샤프트로부터 전달된 회전 에너지를 전력으로 변환하는 발전기와, 상기 메인 샤프트에 의해 회전되는 가변 용량형의 유압 펌프와, 상기 발전기에 연결된 가변 용량형의 유압 모터와, 유압 펌프의 배출측과 유압 모터의 유입측 사이에 배치된 고압 오일 라인과, 유압 펌프의 유입측과 유압 모터의 배출측 사이에 배치된 저압 오일 라인과, 유압 펌프의 용량(D_p)을 조정하는 펌프 제어기와, 유압 모터의 용량(D_m)을 조정하는 모터 제어기를 가지는 제어 유닛과, 정상 작동 모드와 저속 회전 작동 모드 사이에서 작동 모드를 전환하는 작동 모드 선택 유닛을 포함하며, 상기 저속 회전 작동 모드는 정상 작동 모드 보다 낮은 메인 샤프트의 정격 회전 속도를 가지는, 풍력 발전기를 제공한다.

[0012] 상기 풍력 발전기에서, 작동 모드 선택 유닛은 정상 작동 모드 또는 메인 샤프트의 정격 회전 속도가 낮은 저속 회전 작동 모드를 선택한다. 저속 회전 작동 모드는 소음, 조류 충돌, 샤프트 베어링의 마찰열 등과 같은 문제점에 대한 조치를 취할 필요가 있을 때 선택될 수 있다.

[0013] 상기 풍력 발전기에서, 저속 회전 작동 모드에서의 유압 펌프의 정격 용량과 고압 오일 라인의 정격 압력 중 적어도 하나는 정상 작동 모드의 것보다 클 수 있다. 또한, 저속 회전 작동 모드의 전력의 정격 출력은 정상 작동 모드의 것과 실질적으로 동일할 수 있다. 또한, 작동 모드 선택 유닛은 환경 조건에 따라서 정상 작동 모드 또는 저속 회전 작동 모드를 선택할 수 있다.

[0014] 전술된 바와 같이, 유압 펌프의 정격 용량 및 고압 오일 라인의 정격 압력 중 적어도 하나가 정상 작동 모드에서 보다 크고, 전력의 정격 출력은 정상 작동 모드에서와 실질적으로 동일한 저속 회전 작동 모드를 사용함으로써, 저속 회전 작동 모드가 정상 작동 모드에서 보다 낮은 메인 샤프트의 정격 회전 속도를 가지더라도, 정상 작동 모드에서와 실질적으로 동일한 발전기의 정격 출력을 얻을 수 있다. 그러므로, 저속 회전 작동 모드를 채택함으로써, 발전기의 낮은 정격 출력을 겪지 않고 메인 샤프트의 정격 회전 속도가 감소될 수 있다.

[0015] 본 명세서에서, "환경 조건"은 풍력 발전기를 둘러싸는 시간적/지리적 조건을 의미하며, 이는 소음, 조류 충돌, 및 샤프트 베어링의 마찰열에 대한 조치를 취할 필요성에 영향을 준다. 예컨대, 환경 조건은 소음 규제가 있는 야간 시간 등과 같은 소정 시간인지 여부, 풍력 발전기가 철새의 비행길 상에 설치되었는지 여부, 및 메인 샤프트를 지지하는 샤프트 베어링의 온도가 허용 범위 내에 있는지 여부를 포함한다.

[0016] 전술된 풍력 발전기에서, 정상 작동 모드 및 저속 회전 작동 모드의 양측 모두에 대해서, 메인 샤프트의 회전 속도가 정격 회전 속도 이하일 때 펌프 제어기는 전력 계수가 최대가 되는 유압 펌프의 목표 토크를 얻고, 이후에 목표 토크와 고압 오일 라인 내의 작동 오일의 유압 압력에 기초하여 유압 펌프의 용량(D_p)을 설정하는 것이 바람직하다.

[0017] 전술된 바와 같이, 정상 작동 모드와 저속 회전 작동 모드의 양측 모두에 대해서, 펌프 제어기는 메인 샤프트의 회전 속도가 정격 회전 속도 이하일 때 펌프 제어기는 전력 계수가 최대가 되는 유압 펌프의 목표 토크를 얻고, 이후에 목표 토크와 고압 오일 라인 내의 작동 오일의 유압 압력에 기초하여 유압 펌프의 용량(D_p)을 설정한다. 이러한 방식으로 유압 펌프를 제어함으로써, 발전 효율이 개선될 수 있다.

[0018] 이러한 경우에, 풍력 발전기는 메인 샤프트의 회전 속도를 측정하는 회전 속도 센서를 더 포함하고, 펌프 제어기는 회전 속도 센서에 의해 측정된 메인 샤프트의 회전 속도에 따라서 전력 계수가 최대가 되는 목표 토크를 얻을 수 있다.

[0019] 또는, 풍력 발전기는 풍속을 측정하는 풍속계를 더 포함하고, 펌프 제어기는 측정된 풍속으로부터 전력 계수가 최대가 되는 목표 토크를 얻을 수 있다.

[0020] 또한, 풍력 발전기에서, 모터 제어기는 발전기의 회전 속도가 일정하게 되도록 유압 펌프의 배출량(Q_p)에 기초하여 유압 모터의 용량(D_m)을 설정하며, 유압 펌프의 배출량(Q_p)은 용량(D_p)으로부터 얻어지는 것이 바람직하다.

[0021] 전술된 바와 같이, 발전기의 회전 속도는 유압 펌프의 목표 토크가 변할 때에도 일정하게 유지될 수 있다. 따라서, 일정한 주파수를 가지는 전력이 발전기(20)에서 생산될 수 있다.

[0022] 이 경우에, 또한 각각의 유압 펌프 및 유압 모터는, 각각 실린더와 상기 실린더 내를 활주식으로 이동하는 피스톤에 의해 둘러싸인 복수의 오일 챔버와, 피스톤과 체결되는 캠 프로파일을 가지는 캠과, 각각의 오일 챔버와 고압 오일 라인 사이의 연통 경로를 각각 개폐하는 고압 밸브와, 각각의 오일 챔버와 저압 오일 라인 사이의 연통 경로를 각각 개폐하는 저압 밸브를 포함하고, 펌프 제어기는 유압 펌프의 비작동 오일 챔버 대 전체 오일 챔버의 비에 의해 유압 펌프의 용량(D_p)을 조정하고, 하사점에서 시작하여 상사점에 도달하고 하사점으로 복귀하는 유압 펌프의 피스톤의 사이클 동안 유압 펌프의 고압 밸브는 폐쇄되고 저압 밸브는 개방되도록 비작동 오일 챔버가 유지되고, 모터 제어기는 유압 모터의 비작동 오일 챔버 대 전체 오일 챔버의 비에 의해 유압 모터의 용량(D_m)을 조정하고, 하사점에서 시작하여 상사점에 도달하고 하사점으로 복귀하는 유압 펌프의 피스톤의 사이클 동안 유압 펌프의 고압 밸브는 폐쇄되고 저압 밸브는 개방된 상태로 유지되도록 비작동 오일 챔버가 유지되게 조정하는 것이 바람직하다.

[0023] 유압 펌프 및 유압 모터의 오일 챔버(작업 챔버 또는 비작동 챔버)의 상태는 피스톤이 1세트의 상하 운동을 완료하는 매 사이클마다 전환될 수 있다. 그러므로, 유압 펌프 및 유압 모터의 용량은 비작동 챔버 대 전체 오일 챔버의 비를 변경함으로써 즉각적으로 변경될 수 있다.

[0024] 또한, 유압 펌프의 캠은, 메인 샤프트 주연부 둘레로 배치되고 메인 샤프트의 둘레로 교대로 배치된 복수의 오목부와 볼록부를 구비한 복수의 파형을 형성하는 캠 프로파일을 가지는 링 캠이며, 유압 모터의 캠은 편심 캠인 것이 바람직하다.

[0025] 통상의 풍력 발전기에서, 로터의 회전 속도는 약 분당 수 회전에서 분당 수십 회전이다. 한편, 발전기의 정격 속도는 정상적으로 1500rpm 또는 1800rpm이다. 이 경우, 유압 펌프 및 유압 모터를 가지는 유압 변속기에서, 로터의 회전 속도는 발전기에 전달되기 위해 대략 100배 정도 증가될 필요가 있다. 여기서, 유압 변속기의 증속비는 유압 펌프의 용량(D_p) 대 유압 모터의 용량(D_m)의 비에 의해 결정된다. 이는 유압 펌프의 용량(D_p)은 유압 모터의 용량(D_m) 보다 대략 100배 크게 설정될 필요가 있다는 것을 의미한다. 유압 펌프의 용량(D_p)은 실린더 당 커패시티를 변화시키거나 실린더의 수를 증가시킴으로써 증가될 수 있다. 그렇지만, 유압 펌프의 크기가 커지게 되는 것은 불가피하다.

[0026] 그러므로, 메인 샤프트 둘레로 교대로 배치된 오목부와 볼록부를 구비한 복수의 파형을 형성하는 캠 프로파일을 가지는 유압 펌프의 링 캠을 사용함으로써, 링캠이 1회전을 완료하는 동안 링 캠은 각각의 피스톤을 상하 방향으로 수차례 이동시킨다. 이로 인하여, 유압 펌프의 크기를 크게 만들지 않고 유압 펌프의 용량(D_p)을 증가시킬 수 있다. 유압 모터의 캠에 대해서, 유압 모터의 출력 샤프트의 샤프트 중심(O)에 대해서 편심으로 배치된 편심 캠을 사용함으로써, 유압 모터의 용량(D_m)이 유압 펌프의 용량보다 작아지고, 이로 인해 유압 변속기의 높은 증속비를 달성한다.

[0027] 상기 풍력 발전기는, 허브 상에 장착된 블레이드의 피치 각도를 조정하는 피치 구동 기구를 더 포함할 수 있고, 제어 유닛은 일단 발전기의 출력이 정격 출력에 도달하면 발전기의 정격 출력을 유지하도록 피치 구동 기구를 제어할 수 있다.

[0028] 이로 인하여, 발전기는 정격 작동시에 전력의 소정량의 출력(정격 출력)을 발생시킬 수 있고, 전력 발전은 정격 풍속 이상 및 컷 아웃 풍속 미만의 풍속에서 수행된다.

[0029] 또한, 정격 풍속은 발전기로부터 정격 출력을 얻기위해 요구되는 풍속을 의미하며, 컷 아웃 풍속은 풍력 발전기의 보호를 보장하기 위해 전력 발전이 정지되는 풍속을 의미한다. 예컨대, 정격 풍속은 대략 10m/s로 설정될 수 있고, 컷 아웃 풍속은 25m/s로 설정될 수 있다.

[0030] 본 발명은 또한, 허브와, 상기 허브에 결합된 메인 샤프트와, 상기 메인 샤프트로부터 전달된 회전 에너지를 전력으로 변환하는 발전기와, 상기 메인 샤프트에 의해 회전되는 유압 펌프와, 상기 발전기에 연결된 가변 용량형의 유압 모터와, 유압 펌프의 배출측과 유압 모터의 유입측 사이에 배치된 고압 오일 라인과, 유압 펌프의 유입측과 유압 모터의 배출측 사이에 배치된 저압 오일 라인을 포함하는 풍력 발전기의 작동 방법이며, 정상 작동 모드와, 상기 정상 작동 모드의 것보다 낮은 메인 샤프트의 정격 회전 속도를 가지는 저속 회전 작동 모드 사이에서 작동 모드를 선택하는 모드 선택 단계와, 모드 선택 단계에서 선택된 작동 모드에 기초하여 유압 펌프와 유압 모터의 용량을 조정하는 용량 조정단계를 포함하는, 풍력 발전기의 작동 방법을 제안한다.

[0031] 풍력 발전기의 작동 제어 방법에 따르면, 작동 모드 선택 유닛이 정상 작동 모드 또는 메인 샤프트의 정격 회전 속도가 낮은 저속 회전 작동 모드를 선택한다. 저속 회전 작동 모드는 소음, 조류 충돌, 샤프트 베어링의 마찰열 등과 같은 문제점에 대한 조치를 취하기 위해 선택될 수 있다.

[0032] 풍력 발전기의 작동 제어 방법에 따르면, 유압 펌프의 정격 용량과 고압 오일 라인의 정격 압력 중 적어도 하나는 저속 회전 작동 모드에서 정상 작동 모드의 것보다 클 수 있다. 또한 풍력 발전기의 작동 제어 방법에 따르면, 저속 회전 작동 모드에서의 전력의 정격 출력은 정상 작동 모드의 것과 실질적으로 동일할 수 있다. 또한, 모드 선택 단계에서, 정상 작동 모드 또는 저속 회전 작동 모드를 환경 조건에 따라서 선택할 수 있다.

발명의 효과

[0033] 본 발명에 따르면, 정상 작동 모드 또는 메인 샤프트의 정격 회전 속도가 낮은 저속 회전 작동 모드를 환경 조건에 따라서 선택할 수 있다. 저속 회전 작동 모드는 소음, 조류 충돌, 샤프트 베어링의 마찰열 등과 같은 문제점에 대한 조치를 취할 필요가 있을 때 선택될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 풍력 발전기의 예시적인 구조를 도시한 도면이다.

도 2는 피치 구동 기구의 구조를 도시한 도면이다.

도 3은 유압 펌프의 구조를 도시한 도면이다.

도 4는 유압 펌프의 세부적인 구조를 도시한 도면이다.

도 5는 풍력 발전기의 작동 제어 방법을 도시한 플로우 차트이다.

도 6은 발전기 출력 및 메인 샤프트의 화전 속도와 관련하여, 정상 작동 모드 및 저속 회전 작동 모드를 비교한 결과를 도시한 그래프이다.

도 7은 발전기 출력 및 전력 계수(C_p)와 관련하여, 정상 작동 모드 및 저속 회전 작동 모드를 비교한 결과를 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 이제 본 발명의 양호한 실시예가 첨부 도면을 참조하여 상세하게 설명될 것이다. 그렇지만, 특별하게 특정되지 않았다면, 치수, 재료, 형상, 상대 위치 등은 예시적인 것으로만 해석되어야 하며, 본 발명의 범위를 제한하는 것으로 해석되어서는 안된다.

[0036] 양호한 실시예와 관련된 풍력 발전기의 전체적인 구조가 이하의 명세서에서 설명된다. 풍력 발전기의 예로서 3 날개 풍력 터빈이 사용된다. 그렇지만, 이 양호한 실시예는 상기 예로 한정되지 않으며, 다양한 유형의 풍력 터빈에 적용될 수 있다.

[0037] 도 1은 풍력 발전기의 예시적인 구조를 도시한 도면이다. 도 2는 피치 구동 기구의 구조를 도시한 도면이다.

[0038] 도 1에 도시된 바와 같이, 풍력 발전기(1)는 바람에 의해 회전되는 로터(2), 로터(2)의 회전 속도를 증가시키기 위한 유압 변속기(10), 전력을 발생시키기 위한 발전기(20), 나셀(22), 나셀(24)을 지지하기 위한 타워(24) 및 상기 풍력 발전기의 각 유닛을 제어하기 위한 제어 유닛(30)을 포함한다.

[0039] 로터(2)는 메인 샤프트(8)가 블레이드(4)를 가지는 허브(6)에 연결되도록 구성된다. 구체적으로, 3개의 블레이드(4)는 허브(6)로부터 반경방향으로 연장되고, 각각의 블레이드(4)는 메인 샤프트(8)에 연결된 허브(6) 상에 장착된다. 이렇게 함으로써, 블레이드(4) 상에 작용하는 풍력이 전체 로터(2)를 회전시키고, 로터(2)의

회전은 메인 샤프트(8)를 경유하여 유압 변속기(10)로 입력된다. 메인 샤프트(8)의 회전 속도는 회전 속도계(26)에 의해 측정되고, 제어 유닛(30)에 의해 제어를 위해 사용된다.

[0040] 도 2에 도시된 바와 같이, 허브(6)는 피치 구동 기구(40)를 수납한다. 피치 구동 기구(40)는 유압 실린더(42), 서보 밸브(44), 오일 압력 공급원(46), 및 어큐뮬레이터(48)에 의해 구성된다. 피치 제어기(36)의 제어 하에, 블레이드의 피치 각도가 원하는 각도가 되도록, 서보 밸브는 오일 압력 공급원(46)에 의해 생성되는 고압 오일 및 어큐뮬레이터(48) 내에 저장된 고압 오일의 유압 실린더(42)로의 공급량을 조절한다.

[0041] 도 1에 도시된 유압 변속기(10)는 메인 샤프트(8)에 의해 회전되는 가변 용량형의 유압 펌프(12), 발전기(20)에 연결되는 가변 용량형의 유압 모터(14), 및 유압 펌프(12)와 유압 모터(14)의 사이에 배치된 고압 오일 라인(16) 및 저압 오일 라인(18)을 포함한다.

[0042] 고압 오일 라인(16)은 유압 펌프(12)의 배출측을 유압 모터(14)의 유입측에 연결한다. 저압 오일 라인(18)은 유압 펌프(12)의 유입측을 유압 모터(14)의 배출측에 연결한다. 유압 펌프로부터 배출된 작동 오일(저압 오일)은 고압 오일 라인을 경유하여 유압 모터 내로 유동한다. 유압 모터(14) 내에서 작업을 마친 작동 오일은 저압 오일 라인(18)을 경유하여 유압 펌프(12) 내로 유동하고, 이후에 그 압력이 유압 펌프(12)에 의해 상승되고 최종적으로 작동 오일은 유압 모터(14) 내로 유동한다. 이후에 유압 펌프(12) 및 유압 모터(14)의 세부적인 구조가 설명된다.

[0043] 또한, 고압 오일 라인(16)의 압력이 압력 센서(28)에 의해 측정되고 제어 유닛(30)에 의해 제어를 위해 사용된다.

[0044] 발전기(20)는 유압 모터(14)의 출력 샤프트(15)에 연결되고, 유압 모터(14)로부터 입력된 토크를 사용함으로써 전력을 생성한다. 발전기(20)는 유압 변속기(10)의 유압 모터(14)에 연결된다. 기존의 동기 발전기 또는 기존의 비동기 발전기가 발전기(20)로서 사용될 수 있다. 발전기(20)의 회전 속도는 풍력 발전기(1) 내의 유압 변속기(10)의 제어 하에 일정하게 유지될 수 있다. 따라서, 발전기(20)로서 동기 발전기를 사용함으로써, 전력은 동기 발전기(20)로부터 변압기를 경유하여 그리드로 직접 공급될 수 있고(AC 링크법), 가변 속도 작동을 달성하기 위한 고가의 인버터를 필요로 하지 않는다.

[0045] 나셀(22)은 로터(2)의 허브를 회전식으로 지지하고 유압 변속기(10) 및 발전기(20)와 같은 다양한 장치를 수납한다. 나셀(22)은 또한 타워(24)에 의해 회전식으로 지지되고 도시되지 않은 요 모터에 의해 바람 방향에 따라서 선회될 수 있다.

[0046] 제어 유닛(30)은 유압 펌프(12)를 제어하기 위한 펌프 제어기(32), 유압 모터(14)를 제어하기 위한 모터 제어기(34), 및 풍력 발전기의 작동 모드를 선택하기 위한 작동 모드 선택기(38)를 포함한다. 하나 이상의 제어 유닛(30) 성분(32 내지 38)이 나셀(22)의 내측 또는 외측 중 어느 한쪽의 상이한 위치에 위치될 수 있고, 이로 인해 제어 유닛(30)은 분산 제어 시스템을 형성할 수 있다.

[0047] 펌프 제어기(32)는, 메인 샤프트(8)의 회전 속도가 정격 회전 속도 이하일 때 전력 계수가 최대가 되는 유압 펌프(12)의 목표 토크를 얻고, 이후에 목표 토크 및 고압 오일 라인(16) 내의 작동 오일의 유압 압력에 기초하여 유압 펌프(12)의 용량(D_p)을 설정한다. 한편, 모터 제어기(34)는 발전기의 회전 속도가 일정하게 되도록 유압 펌프(12)의 용량(D_p)으로부터 얻어진 유압 펌프의 배출량(Q_p)에 기초하여 유압 펌프(14)의 용량(D_m)을 설정한다.

[0048] 피치 제어기(36)는 일단 발전기(20)의 출력이 정격 출력에 도달하면 발전기(20)의 정격 출력을 유지하도록 피치 구동 기구(40)의 서보 밸브(44)를 제어하고, 블레이드(4)의 피치 각도를 피더링 위치로 변경한다. 이렇게 함으로써, 발전기(20)는 정격 작동시에 전력의 소정량의 출력(정격 출력)을 발생시킬 수 있고, 전력 발전은 정격 풍속 이상 및 컷 아웃 풍속 미만인 풍속에서 수행된다. 본 명세서에서, 정격 풍속은 발전기(20)로부터 정격 출력을 얻기 위해 필요한 풍속을 의미하며, 컷 아웃 풍속은 풍력 발전기(1)의 보호를 보장하기 위해 발전기가 정지되는 풍속을 의미한다. 예를 들면, 정격 풍속은 대략 10m/s로 설정될 수 있고, 컷 아웃 풍속은 25m/s로 설정될 수 있다.

[0049] 작동 모드 선택기(38)는 환경 조건에 따라서 정상 작동 모드와 저속 회전 작동 모드 중 하나를 선택한다. 저속 회전 작동 모드는 정상 작동 모드에 비해 낮은 메인 샤프트(8)의 정격 회전 속도와 정상 작동 모드에 비해 높은 유압 펌프(12)의 정격 용량을 가진다. 메인 샤프트(8)의 저속 회전에 대한 응답으로 유압 펌프의 정격 용량이 크기 때문에 저속 회전 작동 모드에서의 발전기의 정격 출력은 실질적으로 정상 작동 모드에서와 동일

하다. 그러므로, 정상 작동 모드와 저속 회전 작동 모드 중 어느 하나에서, 발전기(20)에 의해 얻어지는 전력은 정격 작동에서와 대략 동일하다.

[0050] 환경 조건은 예컨대, 소음 규제가 있는 야간 시간인 경우, 풍력 발전기(1)가 철새의 비행길에 설치된 경우, 및 메인 샤프트(8)를 지지하는 샤프트 베어링의 온도가 허용가능한 범위 내에 있는 경우 등이다.

[0051] 구체적으로, 작동 모드 선택기(38)는 소음이 제한될 때의 야간 시간 등의 시간인 경우, 풍력 발전기(1)의 위치가 철새의 비행길 상에 있으며 철새가 이동하는 계절인 경우, 또는 메인 샤프트(8)의 샤프트 베어링의 온도가 허용가능한 범위를 벗어난 경우에, 저속 회전 작동 모드를 선택한다.

[0052] 이제, 풍력 발전기(1)의 유압 펌프(12) 및 유압 모터(14)의 상세한 구조가 설명된다. 도 3은 유압 펌프(12)의 상세한 구조를 도시한 도면이다. 도 4는 유압 모터(14)의 상세한 구조를 도시한 도면이다.

[0053] 도 3에 도시된 바와 같이, 유압 펌프(12)는 각각 실린더(50) 및 피스톤(52)에 의해 형성된 복수의 오일 챔버(53), 피스톤(52)과 체결되는 캠 프로파일을 가지는 캠(54), 및 각각의 오일 챔버(53)를 위해 제공된 고압 밸브(56) 및 저압 밸브(58)를 포함한다.

[0054] 캠(54)의 캠 프로파일을 따라서 원활하게 피스톤(52)을 작동시키는 관점으로부터, 각각의 피스톤(52)은 실린더(50) 내에서 활주식으로 이동하는 피스톤 본체(52A)와, 피스톤 본체(52A) 상에 장착되어 캠(54)의 캠 프로파일과 체결되는 피스톤 롤러 또는 피스톤 슈를 포함하는 것이 바람직하다. 도 3은 피스톤(52)이 피스톤 본체(52A)와 피스톤 롤러(52B)로 구성된 예를 도시한다.

[0055] 캠(54)은 캠 마운트(55)를 경유하여 메인 샤프트(8)의 외주연부 상에 설치된다. 메인 샤프트(8)의 1회전에 대하여, 캠(54)은 각각의 피스톤(52)을 상하 방향으로 수차례 이동시키고, 이로 인해 토크(5)를 증가시킨다. 이러한 관점으로부터, 캠(54)은 메인 샤프트의 둘레로 교대로 배치된 오목부(54A) 및 볼록부(54B)를 구비한 복수개의 파형을 형성하는 캠 프로파일을 가지는 링 캠인 것이 바람직하다.

[0056] 고압 밸브(56)가 고압 오일 라인(16)과 각각의 오일 챔버(53) 사이의 고압 연통 경로(57) 내에 구성된다. 한편, 저압 밸브(58)는 저압 오일 라인(18)과 각각의 오일 챔버(53) 사이의 저압 연통 경로(59) 내에 구성된다. 펌프 제어기(32)가 고압 밸브(56) 및 저압 밸브(58)의 개폐 시기를 제어한다.

[0057] 고압 오일 라인(16)으로 고압 오일을 배출하지 않는 오일 챔버(53)의 비작동 오일 챔버에 대해서, 펌프 제어기(32)는 하사점에서부터 개시하여 상사점에 도달하고, 하사점으로 복귀하는 피스톤(52)의 1사이클 동안 고압 밸브(56)를 개방된 상태로, 저압 밸브를 폐쇄된 상태로 유지한다. 반면에, 고압 오일 라인에 고압 오일을 배출하는 오일 챔버(53)의 작동 챔버에 대해서는, 펌프 제어기는 하사점에서부터 개시하여 상사점에 도달하는 오일 챔버(53)의 펌프 사이클 중에 고압 밸브(56)를 개방하고, 저압 밸브(58)를 폐쇄하며, 상사점에서부터 개시하여 하사점에 도달하는 피스톤(52)의 흡입 사이클 중에 고압 밸브(56)를 폐쇄하고 저압 밸브를 개방한다.

[0058] 펌프 제어기(32)는 유압 펌프(12)의 용량(Dp)을 조정하도록 비작동 오일 챔버 대 전체 오일 챔버(53)의 비를 변경한다.

[0059] 펌프 제어기(32)가 고압 밸브(56) 및 저압 밸브(58)의 양측 모두의 개폐를 제어하는 것이 예시되었다. 그렇지만, 고압 밸브(56)는 작동 오일을 고압 오일 라인(16)에로만 허용하는 체크 밸브로 구성될 수 있다. 이러한 경우, 유압 펌프(12)의 피스톤(52)이 하사점으로부터 상사점으로 이동하는 동안, 오일 챔버(53) 내의 작동 오일은 압축되고 오일 챔버(53) 내의 압력은 고압 오일 라인 내의 압력 보다 높아진다. 이후에 고압 밸브는 자동으로 개방되고, 따라서 고압 밸브(56)를 점진적으로 제어할 필요가 없다.

[0060] 도 4에 도시된 바와 같이, 유압 모터(14)는 실린더(60)와 피스톤(62) 사이에 형성된 복수의 유압 챔버(63), 피스톤(62)과 체결하는 캠 프로파일을 가지는 캠(64), 및 각각의 유압 챔버(63)를 위하여 제공된 고압 밸브(66) 및 저압 밸브(68)를 포함한다.

[0061] 피스톤(62)의 상하 운동을 원활하게 캠(64)의 회전 운동으로 변환시키는 관점에서, 각각의 피스톤(62)은, 실린더(60) 내에서 활주식으로 이동하는 피스톤 본체(62A)와, 피스톤 본체(62A)에 장착되고 캠(64)의 캠 프로파일과 체결되는 피스톤 롤러 또는 피스톤 슈를 포함하는 것이 바람직하다. 도 4는 각각의 피스톤(62)이 피스톤 본체(62A)와 피스톤 롤러(62B)로 구성된 예를 도시한다.

[0062] 캠(64)은 발전기(20)에 연결된 유압 모터(14)의 출력 샤프트(크랭크 샤프트)(15)의 샤프트 중심(O)에 대해 편심으로 배치된 편심 캠이다. 피스톤(62)이 1세트의 상하 운동을 완료하는 동안, 캠(64) 및 캠(44)이 장착되

어 있는 출력 샤프트(15)는 1회전을 완료한다.

[0063] 전술된 바와 같이, 유압 펌프(12)의 캠(54)은 링 캠이고 유압 모터(14)의 캠(64)은 편심 캠이므로, 유압 모터(14)의 용량이 유압 펌프(12)의 것 보다 작아서 유압 변속기(10)의 높은 증속비를 달성한다.

[0064] 고압 밸브(66)가 고압 오일 라인(16)과 각각의 오일 챔버(63) 사이의 고압 연통 경로(67) 내에 배치된다. 저압 밸브(68)는 저압 오일 라인(18)과 각각의 오일 챔버(63) 사이의 저압 연통 경로(69) 내에 배치된다. 모터 제어기(34)는 고압 밸브(66) 및 저압 밸브(68)의 개폐 시기를 제어한다.

[0065] 고압 오일 라인(16)으로부터 고압 오일이 공급되지 않는 오일 챔버(63)의 비작동 오일 챔버에 대해서, 모터 제어기(34)는 피스톤(62)이 하사점에서 시작하여, 상사점에 도달하고, 하사점으로 복귀하는 사이클 동안, 고압 밸브(66)는 폐쇄 상태로, 저압 밸브(68)는 개방 상태로 유지한다. 반면에, 고압 오일 라인(16)으로부터 고압 오일이 공급되는 유압 챔버(63)의 작업 챔버에 대해서, 모터 제어기는 상사점에서 시작하여, 하사점에 도달하는 피스톤(62)의 모터 사이클 동안 고압 밸브(66)를 개방하고 저압 밸브(68)를 폐쇄하고, 하사점에서 시작하여 상사점에 도달하는 피스톤(62)의 배출 사이클 동안 고압 밸브(66)를 폐쇄하고 저압 밸브(68)를 개방한다.

[0066] 모터 제어기(34)는 유압 모터(14)의 용량(D_m)을 조정하도록 비작동 오일 챔버 대 전체 오일 챔버(63)의 비를 변경한다.

[0067] 다음에, 제어 유닛(30)에 의한 풍력 발전기(1)의 작동 제어 방법이 설명된다. 도 5는 풍력 발전기(1)의 작동 제어 방법의 플로우 차트이다.

[0068] 도 5에 도시된 바와 같이, 단계(S2)에서, 작동 모드 선택 유닛(38)은 환경 조건에 따라서 정상 작동 모드와 저속 회전 작동 모드 중에서 하나를 선택한다. 예컨대, 작동 모드 선택기(38)는 소음이 제한되는 야간 시간인 경우, 풍력 발전기(1)의 위치가 철새의 비행길 상에 있고 철새가 이동하는 계절인 경우, 또는 메인 샤프트(8)의 샤프트 베어링의 온도가 허용 범위를 넘은 경우에 저속 회전 작동 모드를 선택하고, 그밖의 경우에 정상 작동 모드를 선택한다.

[0069] 단계(S4)에서, 정상 작동 모드가 선택되었는지 여부가 판단된다. 정상 작동 모드가 선택되었다고 판단되면, 정상 작동 제어가 단계(S10 내지 S30)에서 수행된다. 반면에, 저속 회전 작동 모드가 선택되었다고 판단되면, 저속 회전 작동 제어가 단계(S40 내지 S68)에서 수행된다.

[0070] (정상 작동 제어)

[0071] 정상 작동 제어에 대해서, 단계(S10)에서, 발전기(20)의 출력이 정격 출력에 도달했는지 판단된다.

[0072] 발전기(20)의 출력이 정격 출력에 도달했다고 판단되면, 단계(S12)에서, 피치 제어기(36)는 발전기(20)의 출력이 정격 출력에 도달하도록 블레이드(4)의 피치 각도를 조정하기 위해 피치 구동 기구(40)의 서보 밸브(44)를 제어한다. 이후에 단계(S14)에서 발전기(20)의 출력과 정격 출력 사이의 차이가 허용 범위 내에 있는지 여부가 판단된다. 상기 차이가 허용 범위 내에 있지 않다면, 프로세스는 블레이드(4)의 피치 각도를 재조정하기 위해 단계(S12)로 복귀한다.

[0073] 반면에, 단계(S10)에서 발전기(20)의 출력이 정격 출력에 도달하지 않았다고 판단되면[단계(S10)에서 "아니오"], 프로세스는 단계(S16)로 진행한다. 단계(S16)에서, 회전 속도계(26)는 메인 샤프트(8)의 회전 속도(n)를 측정한다. 단계(S18)에서, 회전 속도(n)에 기초하여, 펌프 제어기는 전력 계수가 최대가 되는 유압 펌프(12)의 목표 토크(T_{p_target})를 설정한다. 예컨대, 메인 샤프트(8)의 회전 속도와 유압 펌프(12)의 목표 토크 사이의 관계가 사전에 설정된 표를 사용하여, 회전 속도계(26)에 의해 측정된 메인 샤프트의 회전 속도(n)에 상응하는 유압 펌프(12)의 목표 토크(T_{p_target})를 얻을 수 있다.

[0074] 또한, 단계(S20)에서, 압력 센서(28)는 고압 오일 라인(16) 내의 압력(P_H)을 측정한다.

[0075] 단계(S22)에서, 유압 펌프(12)의 목표 토크(T_{p_target}) 및 고압 오일 라인(16) 내의 압력(P_H)에 기초하여, 펌프 제어기(32)는 이하의 수학식 1에 따라서 유압 펌프(12)의 용량(D_p)을 설정한다.

[0076] [수학식 1]

[0077] 용량(D_p) = 목표 토크(T_{p_target}) / 압력(P_H)

[0078] 유압 펌프(12)의 용량(D_p)이 단계(S22)에서 설정된 후, 프로세스는 단계(S24)로 진행한다. 단계(S24)에서, 펌프 제어기(32)는 이하의 수학식 2에 따라서 용량(D_p)에 기초하여, 유압 펌프(12)의 배출량(Q_p)을 설정한다.

[0079] [수학식 2]

[0080] 배출량(Q_p) = 용량(D_p) X 회전 속도(n)

[0081] 다음에, 단계(S26)에서, 모터 제어기(34)는, 발전기(20)의 회전 속도가 일정하게 유지되도록, 유압 모터(14)의 용량(D_m)을 설정한다. 구체적으로, 모터 제어기(34)는 발전기(20)의 회전 속도가 소정의 값, 예컨대 1500rpm 또는 1800rpm이 되도록 수학식 3에 따라서 유압 모터(14)의 용량(D_m)을 설정한다.

[0082] [수학식 3]

[0083] 용량(D_m) = 배출량(Q_p) / 발전기(20)의 회전 속도(n_g)

[0084] 다음에, 단계(S28)에서, 유압 펌프(12)의 용량이 이하의 수학식 4에 따라서 D_p가 되도록 펌프 제어기(32)는 유압 펌프(12)의 작업 챔버의 수를 변경한다.

[0085] [수학식 4]

[0086] 용량(D_p) = m X V_p X F_{dp}

[0087] m은 캠(54)의 오목부 및 볼록부의 수이다. V_p는 전체 실린더(50)의 총 커패시티이다. F_{dp}는 작업 챔버 대 전체 오일 챔버(53)의 비이다.

[0088] 유사한 방식에서, 단계(S30)에서, 모터 제어기(34)는 유압 모터(14)의 용량이 이하의 수학식 5에 따라서 D_m이 되도록 유압 모터(14)의 작업 챔버의 수를 변경한다.

[0089] [수학식 5]

[0090] 용량(D_m) = V_m X F_{dm}

[0091] V_m은 전체 실린더(60)의 총 커패시티이고 F_{dm}은 작업 챔버 대 전체 오일 챔버(63)의 비이다.

[0092] 전술된 바와 같이, 정상 작동 모드의 단계(S18, S22 및 S28)에서, 펌프 제어기(32)는 전력 계수가 최대가 되는 유압 펌프(12)의 목표 토크(T_{p_target})를 얻고, 목표 토크(T_{p_target}) 및 고압 오일 라인(16) 내의 압력(PH)에 기초하여, 유압 펌프(12)의 용량(D_p)을 설정하고, 유압 펌프(12)를 제어한다. 결과로서, 발전 효율이 개선된다.

[0093] 또한, 정상 작동 모드의 단계(S26 및 S30)에서, 모터 제어기(34)는 발전기(20)의 회전 속도가 일정하게 되도록 유압 펌프(12)의 배출량(Q_p)에 기초하여 유압 모터(14)의 용량(D_m)을 설정하고, 유압 모터(14)를 제어한다. 결과로서, 유압 펌프(12)의 목표 토크(T_{p_target})가 변하더라도, 발전기의 회전 속도가 일정하게 유지될 수 있다. 따라서, 발전기(20)에서 일정한 주파수를 가지는 전력이 생산될 수 있다.

[0094] (저속 회전 작동 제어)

[0095] 저속 회전 작동 제어에서, 단계(S40)에서, 발전기(20)의 출력이 정격 출력에 도달했는지 여부가 판단된다. 발전기(20)의 출력이 정격 출력에 도달했다면, 단계(S42)에서 피치 제어기(36)는 발전기(20)의 출력이 정격 출력에 도달하도록 블레이드(4)의 피치 각도를 변경시키기 위해 피치 구동 기구(40)의 서보 밸브(44)를 제어한다. 그리고, 단계(S44)에서 발전기(20)의 출력과 정격 출력 사이의 차이가 허용 범위 내에 있는지 여부가

판단된다. 상기 차이가 허용 범위 내에 있지 않다면, 프로세스는 블레이드(4)의 피치 각도를 재조정하기 위해 단계(S42)로 복귀한다.

[0096] 반면에, 발전기(20)의 출력이 정격 출력에 도달하지 않았다면[단계(S40)에서 "아니오"로 판단된 경우], 단계(S46)에서 회전 속도계(26)는 메인 샤프트(8)의 회전 속도(n)를 측정한다. 단계(S48)에서 메인 샤프트(8)의 회전 속도(n)가 정격 회전 속도(n2)(<n1)에 도달했는지 여부가 판단된다. 본 명세서에서, n1은 정상 작동 모드에서의 메인 샤프트의 정격 회전 속도이고, n2는 저속 회전 작동 모드에서 메인 샤프트(8)의 정격 회전 속도이다.

[0097] 단계(S48)에서 메인 샤프트(8)의 회전 속도(n)가 정격 회전 속도(n2) 이하라고 판단되면, 프로세스는 단계(S50)로 진행한다. 단계(S50)에서, 단계(S46)에서 측정된 메인 샤프트(8)의 회전 속도(n)에 기초하여 펌프 제어기(32)는 전력 계수가 최대가 되는 유압 펌프(12)의 목표 토크(T_{p_target})를 설정한다.

[0098] 다음에, 단계(S52 내지 S62)에서 펌프 제어기(32)는 목표 토크(T_{p_target}) 및 고압 오일 라인 내의 압력(PH)에 기초하여 유압 펌프(12)의 용량(D_p)을 설정하고, 유압 펌프(12)를 제어하며, 모터 제어기(34)는 발전기(20)의 회전 속도가 일정하게 되도록 유압 펌프의 배출량(Q_p)에 기초하여 유압 모터(14)의 용량(D_m)을 설정하고, 유압 모터(14)를 제어한다. 단계(S52 내지 S62)는 정상 작동 제어의 단계(S20 내지 S30)와 유사하며 따라서 더 이상 설명하지 않는다.

[0099] 단계(S48)에서 메인 샤프트(8)의 회전 속도가 정격 회전 속도(n2)에 도달[정격 회전 속도(n2)를 초과]했다고 판단되면, 프로세스는 단계(S64)로 진행한다. 단계(S64)에서 펌프 제어기(32)는 메인 샤프트의 회전 속도(n)가 정격 회전 속도(n2)에 도달하도록 유압 펌프의 작업 챔버의 수를 조정한다. 구체적으로, 유압 펌프(12)의 작업 챔버의 수는 증가되어 유압 펌프(12)를 구동하기 위해 필요한 토크를 증가시키고, 메인 샤프트(8)의 회전 속도(n)를 정격 회전 속도(n2)까지 감소시킨다.

[0100] 다음에, 단계(S66)에서 회전 속도계(26)가 다시 메인 샤프트(8)의 회전 속도(n)를 측정하고 단계(S68)에서 메인 샤프트(8)의 회전 속도(n)와 정격 회전 속도(n2) 사이의 차이가 허용 범위 내에 있는지 판단된다. 메인 샤프트(8)의 회전 속도(n)와 정격 회전 속도(n2) 사이의 차이가 허용 범위 내에 있지 않다면, 프로세스는 펌프 제어기(32)에 의해 유압 펌프(12)의 작업 챔버의 수를 재조정하기 위해 단계(S64)로 복귀한다.

[0101] 전술된 바와 같이, 정상 작동 모드와 유사한 방식의 저속 회전 작동 모드의 단계(S50, S54 및 S60)에서, 메인 샤프트(8)의 회전 속도(n)는 정격 회전 속도(n2) 이하이고, 펌프 제어기(32)는 전력 계수가 최대가 되는 유압 펌프(12)의 목표 토크(T_{p_target})를 얻고, 목표 토크(T_{p_target})와 고압 오일 라인(16) 내의 압력(P_H)에 기초하여 유압 펌프(12)의 용량(D_p)을 설정하고, 유압 펌프(12)를 제어한다. 결과로서, 발전 효율이 개선된다.

[0102] 또한, 단계(S58 및 S62)에서, 모터 제어기(34)는 발전기(20)의 회전 속도가 일정하게 되도록 유압 펌프(12)의 배출량(Q_p)에 기초하여 유압 모터(14)의 용량(D_m)을 설정하고 유압 펌프(14)를 제어한다. 결과로서, 유압 펌프(12)의 목표 토크(T_{p_target})가 변하더라도 발전기의 회전 속도가 일정하게 유지될 수 있다.

[0103] 또한, 저속 회전 작동 모드에서, 메인 샤프트(8)의 회전 속도(n)가 정격 회전 속도(n2)를 초과하는 경우, 정상 작동 모드의 메인 샤프트의 정격 회전 속도(n1) 보다 낮은 정격 회전 속도(n2)로 메인 샤프트(8)의 회전 속도를 유지하도록, 유압 펌프(12)의 작업 챔버의 수가 단계(S64)에서 증가된다.

[0104] (양호한 실시예)

[0105] 전술된 작동 제어 방법의 시뮬레이션이 실행되었다. 연산 조건은 정상 작동 모드의 메인 샤프트의 회전 속도(n1)는 12rpm[블레이드(4)의 선단 주연부 속도가 79m/s), 저속 회전 작동 모드의 메인 샤프트의 정격 회전 속도(n2)는 10.5rpm(선단 주연부 속도는 69m/s), 발전기(20)의 정격 출력은 3.5 MW이고 컷 인 풍속은 3.5m/s 이다.

[0106] 도 6은 발전기(20)의 출력과 메인 샤프트(8)의 회전 속도와 관련하여 정상 작동 모드와 저속 회전 작동 모드를 비교한 결과를 도시한 그래프이다. 도 7은 발전기(20)의 출력과 전력 계수(C_p)와 관련하여 정상 작동 모드와 저속 회전 작동 모드를 비교한 결과를 도시한 그래프이다.

[0107] 도 6에 도시된 바와 같이, 풍속이 대략 8.7m/s 이하일 때, 정상 작동 모드와 저속 회전 작동 모드 사이의 차이는 많지 않다. 양측의 작동 모드에서, 전력 계수(C_p)가 최대이고 발전기(20)의 회전 속도가 일정하도록 유

압 변속기(10)의 제어가 이루어진다. 그러므로, 양측의 작동 모드에서, 발전기(20)의 출력이 풍속의 증가에 따라서 증가하고, 메인 샤프트(8)의 회전 속도가 풍속의 증가에 따라서 증가한다.

[0108] 그렇지만, 풍속이 8.7m/s 근방에 도달할 때, 메인 샤프트(8)의 회전 속도는 저속 회전 작동 모드의 메인 샤프트(8)의 정격 회전 속도(n2)(10.5rpm)에 도달한다. 이 지점을 지나면 정상 작동 모드와 저속 회전 작동 모드 사이에서 발전기(20)의 출력에 미세한 차이가 발생한다. 이는, 저속 회전 작동 모드에서 제어는 메인 샤프트(8)의 회전 속도가 일정하게 유지되도록(도 5의 S64 내지 S68) 유압 펌프(12)의 토크를 증가시키도록 수행되는 한편, 정상 작동 모드에서 유압 변속기(10)의 제어는 전력 계수(C_p)가 최대이고 발전기(20)의 회전 속도는 일정하도록 수행되기 때문이다.

[0109] 풍속이 10.5m/s 근방에 도달할 때, 양측의 작동 모드에서 발전기(20)의 출력은 정격 출력(3.5 MW)에 도달한다. 따라서, 정상 작동 모드와 저속 회전 작동 모드 양측에서, 블레이드(4)의 피치 각도는 발전기의 출력이 정격 출력에서 유지되도록 조정된다(S12 내지 S14 및 S42 내지 S44). 그러므로, 양측의 작동 모드에서 발전기(20)의 출력은 정격 출력이 된다.

[0110] 도 7에 도시된 바와 같이, 일단 풍속이 컷 인 풍속(3.5m/s)에 도달하면, 전력 계수(C_p)는 극적으로 증가하고 양측의 작동 모드에서 최대가 된다. 이는 풍속이, 저속 회전 작동 모드에서 메인 샤프트(8)의 회전 속도가 정격 회전 속도(n2)(10.5rpm)에 도달하는, 대략 8.7m/s가 될 때까지 지속된다.

[0111] 풍속이 8.5m/s 근방일 때, 작동 모드들에서 전력 계수의 미세한 차이가 발생한다. 이는, 저속 회전 작동 모드에서 제어는 메인 샤프트(8)의 회전 속도가 일정하게 유지되도록(도 5의 S64 내지 S68) 유압 펌프(12)의 토크를 증가시키기 위해 수행되는 한편, 정상 작동 모드에서 전력 계수(C_p)가 최대이고, 발전기(20)의 회전 속도가 일정하도록(도 5의 S16 내지 S30), 유압 변속기(10)의 제어가 수행되기 때문이다.

[0112] 풍속이 10.5m/s 근방에 도달할 때, 양측의 작동 모드에서 발전기(20)의 출력은 정격 출력(3.5 MW)에 도달한다. 따라서, 정상 작동 모드와 저속 회전 작동 모드 양측에서, 블레이드(4)의 피치 각도는 발전기의 출력을 정격 출력으로 유지하도록 조정되고(도 5의 S12 내지 S14 및 S42 내지 S44), 바람은 부분적으로 빠져나갈 수 있게 되며, 따라서 전력 계수(C_p)는 감소한다.

[0113] 전술된 작동 제어 방법에 따르면, 작동 모드는 정상 작동 모드와 저속 회전 작동 모드 사이에서 선택될 수 있다. 풍속이 대략 8.7m/s와 10.5m/s 사이일 때, 발전기의 출력의 작은 감소 및 전력 계수(C_p)의 감소가 있지만, 거의 모든 풍속 영역에서 발전 효율의 손실 없이 정격 회전 속도를 12rpm(선단 주연부 속도 79m/s)에서 10.5rpm(선단 주연부 속도 69m/s)으로 감소시키는 것이 가능하다.

[0114] 전술된 바와 같이, 양호한 실시예에서, 작동 모드 선택 유닛(38)은 환경 조건에 따라서 정상 작동 모드 또는 메인 샤프트의 정격 회전 속도가 보다 낮은 저속 회전 작동 모드를 선택한다. 저속 회전 작동 모드는 소음, 조류 충돌, 샤프트 베어링의 마찰열 등과 같은 문제점에 대한 조치가 필요할 때 선택될 수 있다.

[0115] 저속 회전 작동 모드는 정상 작동 모드의 것 보다 낮은 메인 샤프트(8)의 정격 회전 속도를 가지며, 정상 작동 모드의 것 보다 큰 유압 펌프(12)의 정격 용량을 가진다. 따라서, 저속 회전 작동 모드는 정상 작동 모드와 실질적으로 동일한 발전기(20)의 정격 출력을 얻을 수 있다. 그러므로, 저속 회전 작동 모드를 채택함으로써, 발전기(20)의 정격 출력의 저하를 겪지 않고, 메인 샤프트(8)의 정격 회전 속도가 감소될 수 있다.

[0116] 본 발명은 예시적은 실시예를 참조하여 설명되었지만, 당업계의 숙련자들에게는 본 발명의 기술 사상의 범위를 벗어나지 않고 다양한 변경이 이루어질 수 있다는 것이 명백하다.

[0117] 소정의 실시예에서, (유압 오일 라인의 정격 압력 또는 펌프의 정격 용량으로 인해) 저속 회전 작동 모드에서의 펌프(12)의 정격 토크가 정상 작동 모드에서와 유사하다. 이러한 실시예에서, 블레이드(4)의 피치 각도는 저속 회전 작동 모드의 정격 속도 상(즉, 그 위로 어쨌든 감소되는 정상 작동 모드의 정격 속도 아래)의 토크(T_{p_target}) 및 전력 계수(C_p)를 점진적으로 감소시키도록 조정된다. 따라서 소정의 실시예에서, 풍력 터빈의 정격 전력은 정상 작동 모드에 비해 저속 회전 작동 모드에서 감소될 수 있다.

[0118] 상기 실시예에서, 회전 속도계(26)는 메인 샤프트의 회전 속도(n)를 측정하고, 메인 샤프트(8)의 회전 속도(n)에 기초하여, 유압 펌프의 목표 토크가 얻어진다. 그렇지만, 풍속계에 의해 측정된 풍속(V)에 기초하여 유압 펌프(12)의 목표 토크를 얻는 것도 가능하다. 이러한 경우에, 1개의 풍속계가 각각의 풍력 발전기를 위해 제공될 수 있거나 1개의 풍속계가 복수의 풍력 발전기(1)를 위해 사용될 수 있다. 그리고, 풍속계는 나셀

(22) 상에 장착될 수 있다.

[0119] 또한, 전술된 양호한 실시예에서, 유압 펌프(12) 및 유압 모터(14)의 용량을 조정하기 위해 비작동 챔버 대 모든 오일 챔버(53, 63)의 비가 변경된다. 그러나, 피스톤 사이클 동안에 고압 밸브(56, 66)의 개방 시기를 변경함으로써 유압 펌프(12) 및 유압 모터(14)의 용량을 변경하는 것이 또한 가능하다.

[0120] 또한, 양호한 실시예는 저속 회전 작동 모드의 용량이 정상 작동 모드의 것 보다 크게 설정된 예시적인 경우를 보여준다. 그러나 저속 회전 작동 모드가 정상 작동 모드 보다 낮은 메인 샤프트(8)의 정격 회전 속도 및 정상 작동 모드와 실질적으로 동일한 발전기(20)의 정격 출력을 가지는 한, 이에 한정되지 않는다.

[0121] 예컨대, 저속 회전 작동 모드에서, 고압 오일 라인의 정격 압력은, 정상 작동 모드와 동일한 발전기의 정격 출력을 얻기 위해, 정상 작동 모드와 비교하여 메인 샤프트(8)의 낮은 정격 회전 속도에 대해 높게 설정될 수 있다[고압 오일 라인의 정격 압력은 메인 샤프트(8)의 낮은 정격 회전 속도와 반비례하여 높게 설정된다]. 대안으로서, 메인 샤프트(8)의 낮은 정격 회전 속도에 대해, 유압 펌프(12)의 정격 용량 및 고압 오일 라인(16)의 정격 압력의 양측 모두가 정상 작동 모드에 비해 저속 회전 작동 모드에서 높게 설정될 수 있다.

부호의 설명

[0122] 1:풍력 발전기

2:로터

4:블레이드

6:허브

8:메인 샤프트

10:유압 변속기

12:유압 펌프

14:유압 모터

15:출력 샤프트

16:고압 오일 라인

18:저압 오일 라인

20:발전기

22:나셀

24:타워

26:회전 속도계

28:압력 센서

30:제어 유닛

32:펌프 제어기

34:모터 제어기

36:피치 제어기

38:구동 모드 선택 유닛

40:피치 구동 기구

42:유압 실린더

44:서보 밸브

46:오일 압력 공급원

48:어큐뮬레이터

50:실린더

52:피스톤

52A:피스톤 본체

52B:피스톤 롤러

53:오일 챔버

54:캠

56:압력 밸브

57:고압 연통 경로

58:저압 밸브

59:저압 연통 경로

60:실린더

62:피스톤

62A:피스톤 본체

62B:피스톤 롤러

63:오일 챔버

64:캠

66:고압 밸브

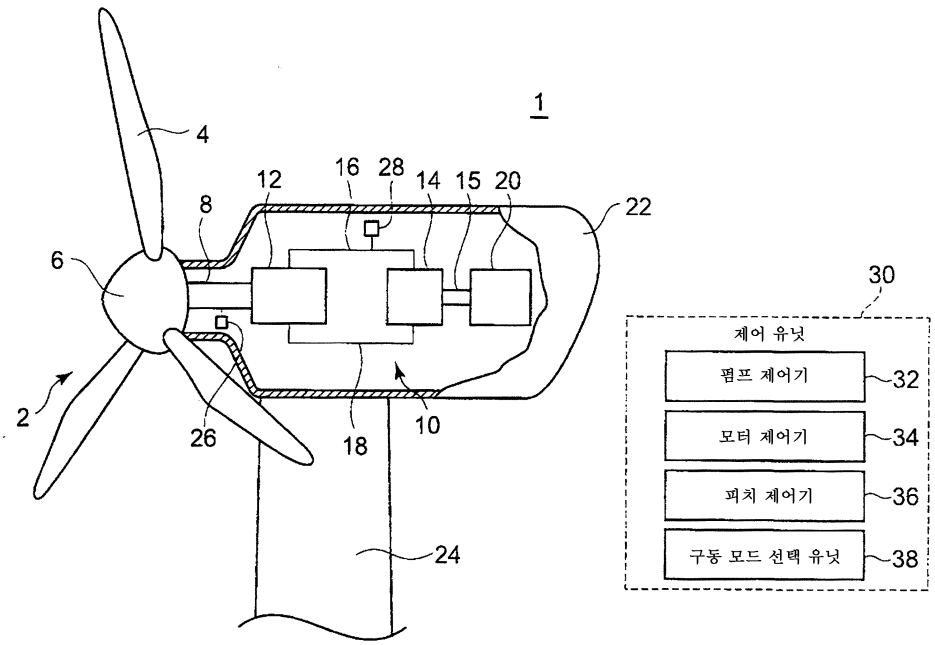
67:고압 연통 경로

68:저압 밸브

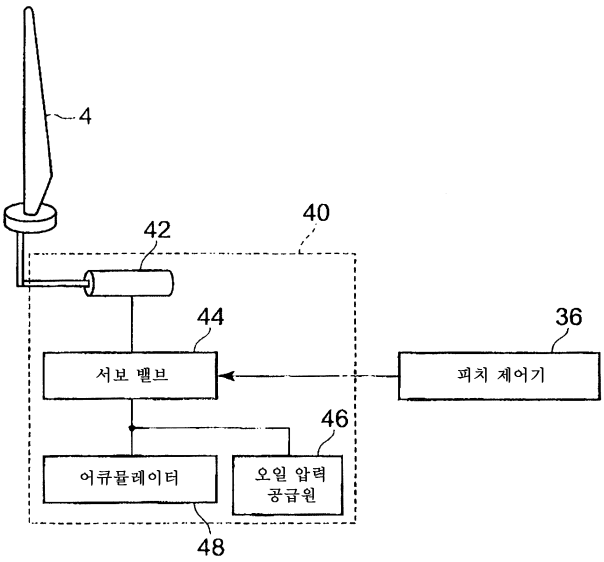
69:저압 연통 경로

도면

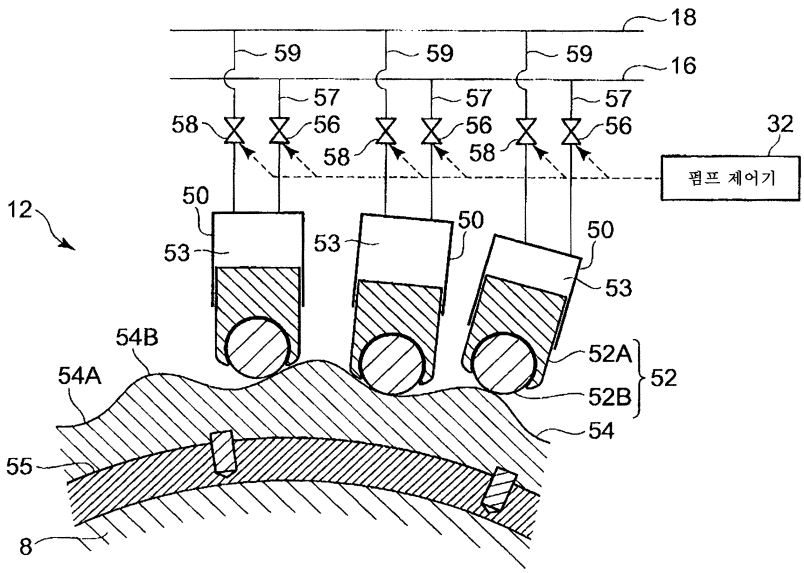
도면1



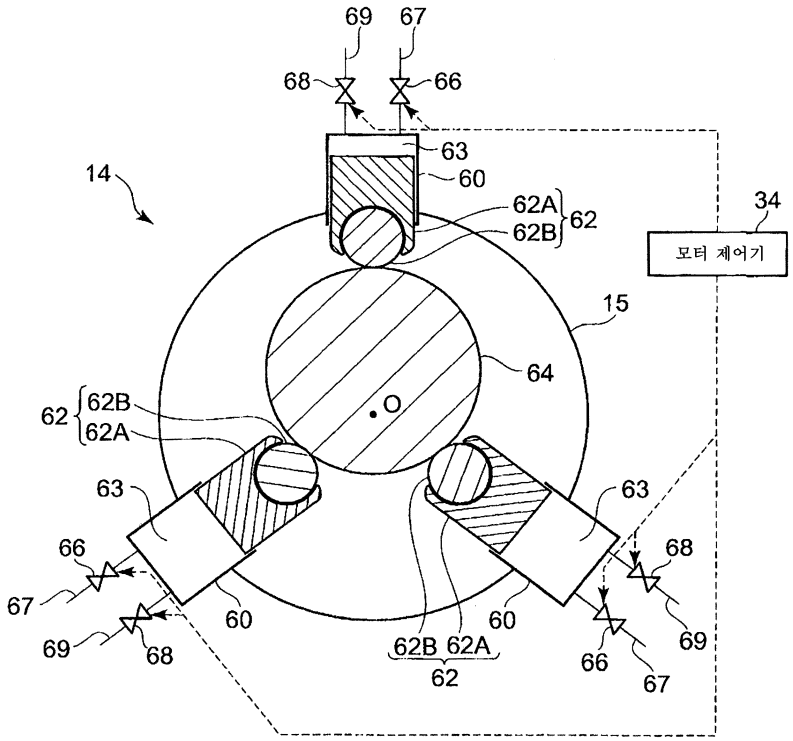
도면2


4
42
40
44
36
서보 밸브
피치 제어기
46
어큐뮬레이터
오일 압력
공급원
48

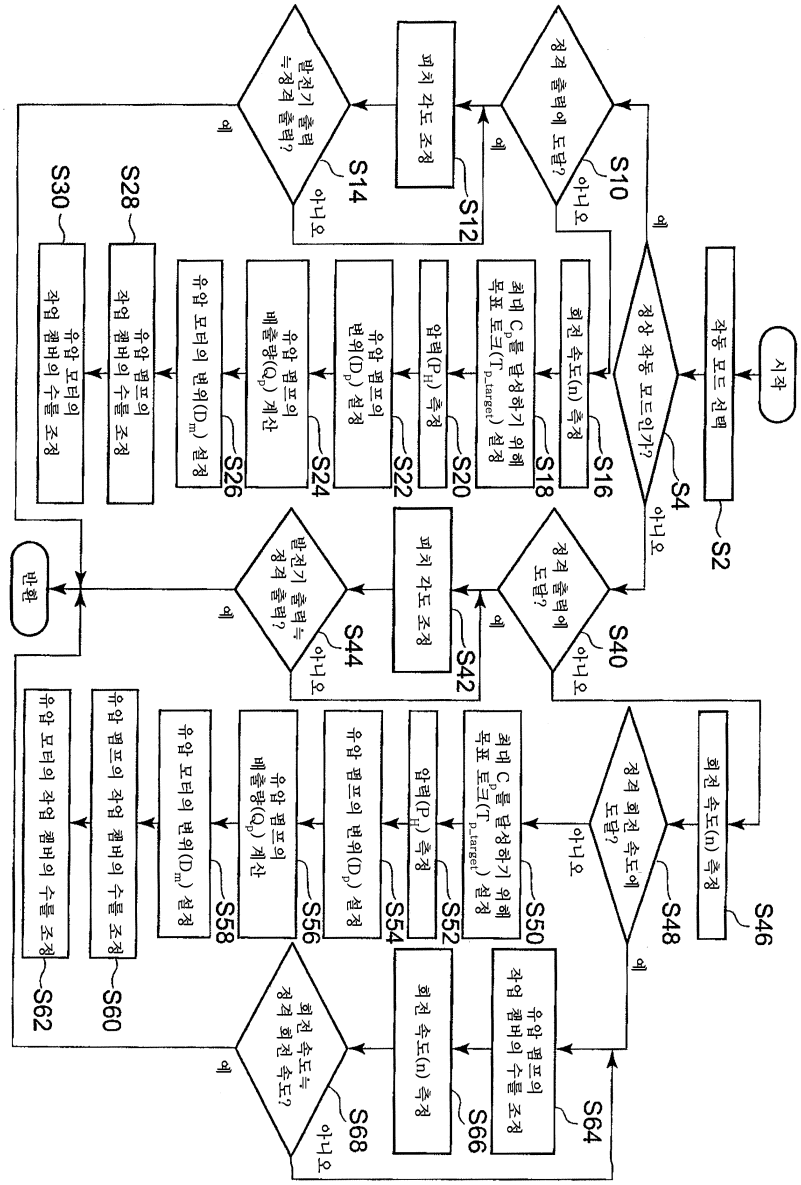
도면3


18
59
59
59
16
57
57
57
58
56
56
56
58
58
32
펌프 제어기
12
50
50
50
53
53
53
54B
52A
52
54A
52B
54
55
8

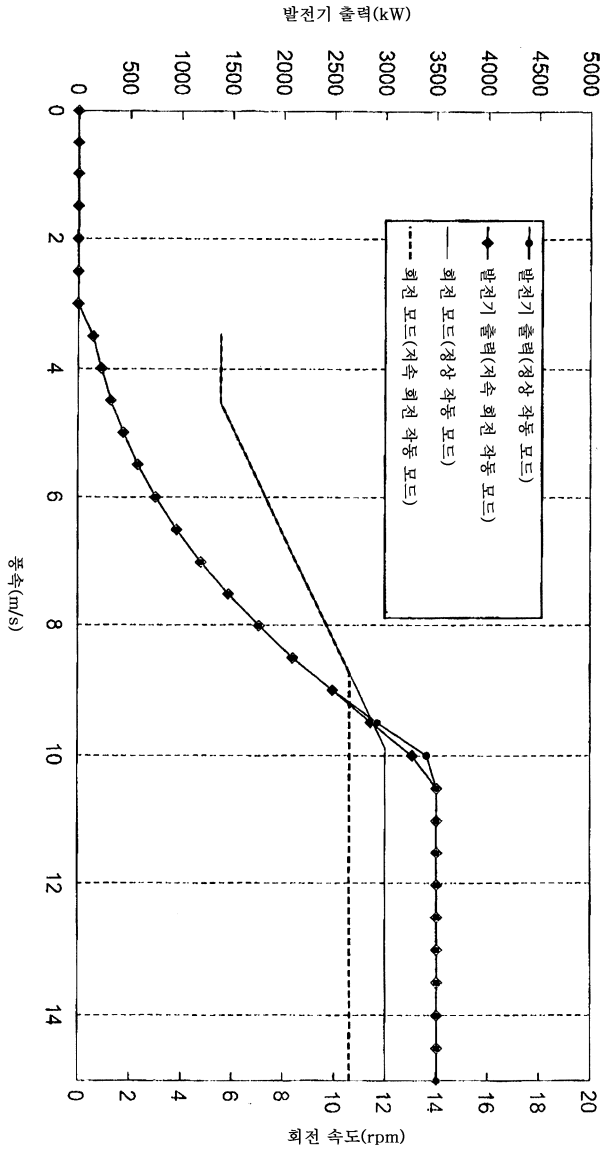
도면4


69
67
68
66
63
60
62A
62B
62
14
34
모터 제어기
15
64
O
62
62B
62A
63
63
66
68
67
69
60
60
62B 62A
62
66
68
69
67

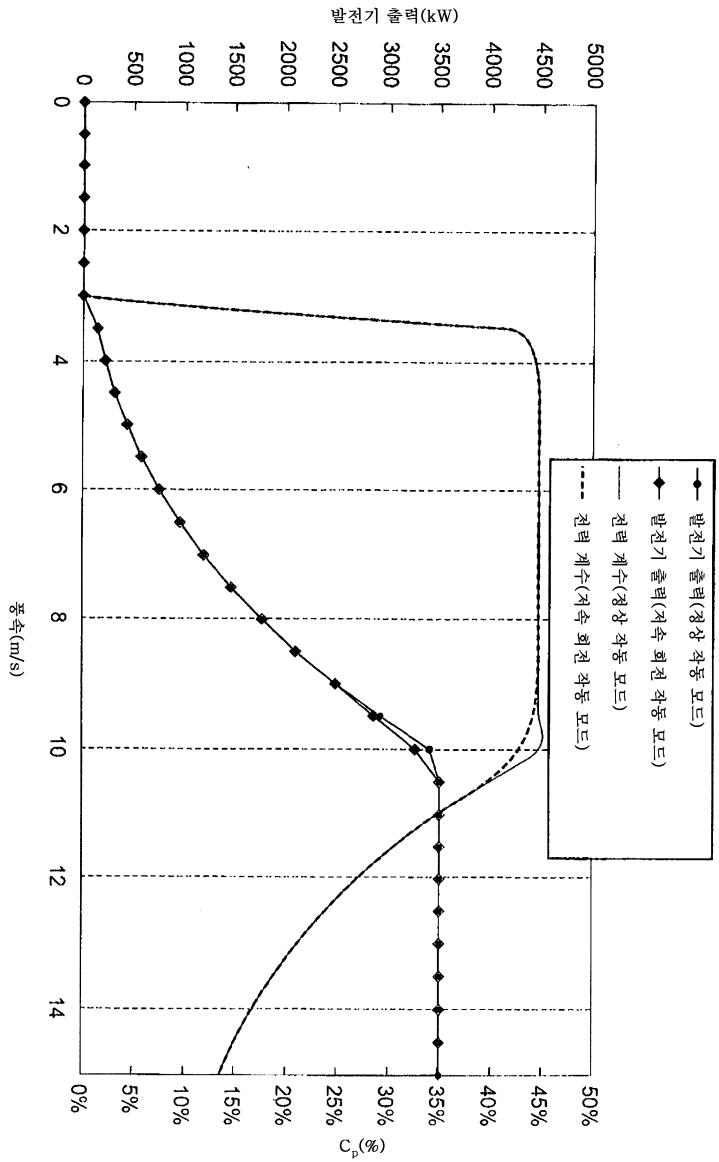
도면5


시작
작동 모드 선택
S2
정상 작동 모드인가?
S4
예
아니오
회전 속도(n) 측정
S46
정격 회전 속도에 도달?
S48
아니오
예
최대 C_p를 달성하기 위해 목표 토크(T_{p_target}) 설정
S50
압력(P_H) 측정
S52
유압 펌프의 변위(D_p) 설정
S54
유압 펌프의 배출량(Q_p) 계산
S56
유압 모터의 변위(D_m) 설정
S58
유압 펌프의 작업 챔버의 수를 조정
S60
유압 모터의 작업 챔버의 수를 조정
S62
회전 속도(n) 측정
S64
유압 펌프의 작업 챔버의 수를 조정
S66
회전 속도가 정격 회전 속도?
S68
아니오
예
정격 출력에 도달?
S40
아니오
예
피치 각도 조정
S42
발전기 출력이 정격 출력?
S44
아니오
예
최대 C_p를 달성하기 위해 목표 토크(T_{p_target}) 설정
S18
회전 속도(n) 측정
S16
정격 출력에 도달?
S10
아니오
예
피치 각도 조정
S12
발전기 출력이 정격 출력?
S14
아니오
예
압력(P_H) 측정
S20
유압 펌프의 변위(D_p) 설정
S22
유압 펌프의 배출량(Q_p) 계산
S24
유압 모터의 변위(D_m) 설정
S26
유압 펌프의 작업 챔버의 수를 조정
S28
유압 모터의 작업 챔버의 수를 조정
S30
반환

도면6


발전기 출력(kW)
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
풍속(m/s)
0
2
4
6
8
10
12
14
회전 속도(rpm)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
발전기 출력(정상 작동 모드)
발전기 출력(계속 회전 작동 모드)
회전 모드(정상 작동 모드)
회전 모드(계속 회전 작동 모드)

도면7


발전기 출력(kW)
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
풍속(m/s)
0
2
4
6
8
10
12
14
C_p(%)
0%
5%
10%
15%
20%
25%
30%
35%
40%
45%
50%
발전기 출력(정상 작동 모드)
발전기 출력(저속 회전 작동 모드)
전력 계수(정상 작동 모드)
전력 계수(저속 회전 작동 모드)