

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2017년 8월 10일 (10.08.2017)

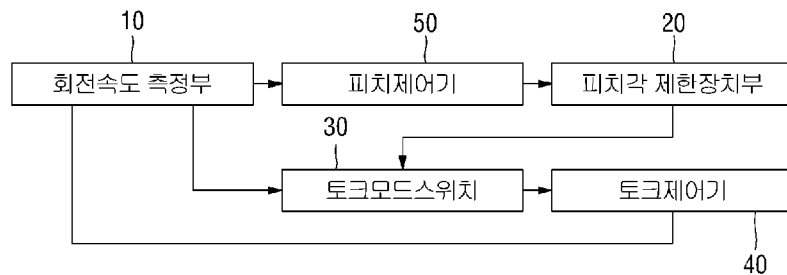


(10) 국제공개번호
WO 2017/135657 A1

- (51) 국제특허분류: *F03D 7/02* (2006.01) *H02P 9/04* (2006.01)
F03D 9/25 (2016.01)
 - (21) 국제출원번호: PCT/KR2017/001044
 - (22) 국제출원일: 2017년 2월 1일 (01.02.2017)
 - (25) 출원언어: 한국어
 - (26) 공개언어: 한국어
 - (30) 우선권정보:
10-2016-0013943 2016년 2월 4일 (04.02.2016) KR
10-2016-0013944 2016년 2월 4일 (04.02.2016) KR
 - (71) 출원인: 한밭대학교 산학협력단 (HANBAT NATIONAL UNIVERSITY INDUSTRY-ACADEMIC CO-OPERATION FOUNDATION) [KR/KR]; 34158 대전시 유성구 동서대로 125, Daejeon (KR).
 - (72) 발명자: 임채욱 (LIM, Chae Wook); 35210 대전시 서구 월평동로 83, 110 동 1506 호, Daejeon (KR).
 - (74) 대리인: 특허법인 아이퍼스 (IPUS PATENT & LAW FIRM); 06234 서울시 강남구 논현로 85길 58 백림빌딩 6층, Seoul (KR).
 - (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
 - (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 공개:
— 국제조사보고서와 함께 (조약 제 21 조(3))

(54) Title: TORQUE MODE SWITCH CONTROL METHOD FOR MAINTAINING RATED OUTPUT OF WIND TURBINE AND SYSTEM THEREFOR

(54) 발명의 명칭 : 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법 및 그 시스템



- 10 ... Rotation speed measuring unit
- 20 ... Pitch angle limiting device unit
- 30 ... Torque mode switch
- 40 ... Torque controller
- 50 ... Pitch controller

(57) Abstract: The present invention relates to a torque mode switch control system for maintaining a rated output of a wind turbine and, more specifically, to a torque mode switch control system and method for a wind turbine, the system comprising: a rotation speed measuring unit for measuring the rotation speed of a generator in real time; a pitch controller for calculating the commanded pitch angle of a blade in real time; a pitch angle limiting device unit for determining the actual pitch angle of the blade by limiting the commanded pitch angle; a torque mode switch for selecting a mode value on the basis of the rotation speed measured by the rotation speed measuring unit and the pitch angle determined by the pitch controller and the pitch angle limiting device unit; and a torque controller for controlling the torque of the generator according to the mode value selected by the torque mode switch, thereby enabling a torque chattering problem, which is caused by the torque mode switch when a wind speed suddenly lowers from a level greater than or equal to a rated wind speed to a level less than or equal to the rated wind speed in the controlling of the torque of the wind turbine, to be prevented, and enabling the torque controller to be stably operated.

(57) 요약서:

[다음 쪽 계속]



WO 2017/135657 A1



본 발명은 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어시스템에 대한 것이다. 보다 상세하게는, 보다 상세하게는 발전기 회전속도를 실시간으로 측정하는 회전속도 측정부; 블레이드의 피치 명령각을 실시간으로 계산하는 피치제어기; 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정하는 피치각 제한장치부; 상기 회전속도 측정부에서 측정된 회전속도와 피치제어기와 피치각 제한장치부에서 결정된 피치각을 기준으로, 모드값을 선택하는 토크모드스위치; 및 상기 토크모드스위치에서 선택된 모드값에 따라 발전기의 토크를 제어하는 토크제어기를 포함하여, 풍력터빈의 토크제어 있어서 풍속이 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 급격히 떨어질 때 토크모드스위치로 인해 발생하는 토크채터링 문제를 방지할 수 있고, 안정적으로 토크제어기를 작동시킬 수 있는 풍력터빈의 토크모드스위치 제어 시스템 및 방법에 관한 것이다.

명세서

발명의 명칭: 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법 및 그 시스템

기술분야

- [1] 본 발명은 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법 및 그 시스템에 대한 것이다. 보다 상세하게는, 풍력터빈의 정격토크유지를 위한 토크모드스위치 제어방법 및 그 시스템, 그리고, 풍력터빈의 정격출력과 위 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법 및 그 시스템 관한 것이다.

배경기술

- [2] 일반적으로 풍력터빈은 바람이 가진 운동에너지를 블레이드 회전을 통하여 기계적인 에너지로 변화시키고 기계적인 에너지를 발전기를 이용하여 전기에너지로 변환시키는 기계이다.
- [3] 풍력터빈의 출력제어 방법은 개념적으로 발전기의 회전속도를 제어하는 토크제어와 피치각을 제어하는 피치제어 두 가지 방법으로 구분할 수 있다. 정격풍속 이하의 영역에서는 토크제어를 수행하고 정격풍속 이상의 영역에서는 피치제어를 수행한다.
- [4] 토크제어기는 정격풍속 이하의 영역에서 최대출력을 얻기 위하여 발전기의 토크크기를 제어하게 되고, 피치제어기에서는 정격풍속 이상의 영역에서 정격출력이 유지되도록 피치각을 조절하게 된다.
- [5] 풍력터빈의 토크제어기는 정격출력 이상인 경우 두 가지 제어로직을 가지고 있다. 그 중 하나는 발전기의 토크크기를 일정하게 정격토크크기로 유지하도록 하는 방법이고, 또 다른 하나는 발전기의 출력과위를 정격출력과위로 일정하게 유지하도록 하는 방법이다.
- [6] 이와 같은 풍력터빈의 토크제어에 있어서 중요하게 고려되어야 할 사항은 바람이 정격 이하로 불 때와 정격이상으로 불 때 발전기의 토크크기를 다르게 사용해야 한다. 따라서 정격풍속 이하에서는 최대의 출력과위를 생산하고 정격풍속 이상에서는 정격출력과위를 생산하기 위하여 발전기의 토크크기를 변화시키기 위한 토크모드스위치를 적절하게 제어하는 방법이 필요하다.
- [7] 일반적인 풍력터빈의 토크모드스위치 제어방법에서는 발전기 회전속도와 블레이드 피치각 두 가지 정보를 고려한다. 발전기의 회전속도는 정격회전속도 이상이고 피치각이 파인피치각(Fine Pitch Angle)보다 크면, 정격풍속 이상인 경우라고 판단하여 토크모드스위치를 이용하여 정격출력과위를 유지하도록 발전기의 토크크기를 조절한다.
- [8] 같은 이치로 발전기의 회전속도는 정격회전속도보다 작고 피치각이 파인피치각(Fine Pitch Angle)이면, 정격풍속 이하인 경우라고 판단하고 토크모드스위치를 이용하여 미리 연산된 순람표(lookup table)를 따라서 발전기

토크를 조절한다.

- [9] 이러한 방법을 통하여 토크모드스위치를 이용하지 않은 경우보다 더 좋은 출력과위를 얻을 수 있다. 하지만 토크모드스위치를 이용할 경우 바람에너지가 정격출력 이상에서 정격출력 이하로 떨어질 때 토크모드스위치를 사용함으로써 토크캐터링이 발생하는 문제점이 있다. 즉, 최적의 출력과위를 생산함에 있어서 기존 풍력터빈의 토크모드스위치를 적용하면 바람에너지가 정격출력 이상에서 정격출력 이하로 떨어질 때 토크캐터링이 발생하게 되고, 이러한 토크캐터링이 발생하기 때문에 출력제어기 자체의 안정성 문제와 발전기 토크크기의 급격한 변화 및 출력과위의 급격한 변화로 풍력터빈의 실제 수명과 출력과위 생산이 감소할 가능성이 있다.
- [10] 따라서, 최적의 출력과위를 생산함에 있어서 이러한 토크캐터링 문제점을 극복할 수 있는 보완된 토크모드스위치 제어방법이 요구되었다.
- [11] [선행기술문헌]
- [12] [특허 문헌]
- [13] 한국등록특허 제1251285호
- [14] 한국공개특허 제2012-0130892호
- [15] 한국등록특허 제1264169호
- [16] 한국등록특허 제1282540호

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [17] 따라서 본 발명은 상기와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 본 발명의 일실시예에 따르면, 풍력터빈의 토크제어 있어서 풍속이 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 급격히 떨어질 때 토크모드스위치로 인해 발생하는 토크캐터링 문제를 방지할 수 있고, 안정적으로 토크제어기를 작동시킬 수 있는 풍력터빈의 정격토크유지를 위한 토크모드스위치 제어방법 및 그 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [18] 또한, 본 발명의 일실시예 따르면, 발전기 회전속도와 블레이드 피치각의 두 가지 정보를 모두 고려하고, 풍속이 정격출력 이상에서 정격출력 이하로 급격히 변하는 경우에는 토크모드스위치의 값을 “이전 값”으로 사용하게 됨으로써, 토크캐터링을 방지할 수 있는 풍력터빈의 정격토크유지를 위한 토크모드스위치 제어방법 및 그 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [19] 그리고, 바람에너지가 풍력터빈의 정격출력 부근에서 변동할 때 정격출력 이상에서는 발전기의 정격출력은 유지하고 정격출력 이하에서는 최대출력을 생산하기 위하여 토크모드스위치를 이용할 때 발생하는 토크캐터링이 발생하지 않도록 토크제어기를 안정적으로 작동시킬 수 있는 풍력터빈의 정격출력과위 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법 및 그 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.

- [20] 또한, 본 발명의 일실시에 따르면, 발전기 회전속도와 블레이드 피치각의 두 가지 정보를 다 고려하고, 바람에너지가 정격출력 이상에서 정격출력 이하로 급격히 변하는 경우에는 토크모드스위치의 값을 “이전 값”으로 사용한다. 본 발명을 통하여 바람에너지가 정격출력 이상에서 정격출력 이하로 급격히 떨어질 때 토크모드스위치를 이용할 때 발생하는 토크채터링을 방지할 수 있는 풍력터빈의 정격출력과워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법 및 그 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [21] 한편, 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제 해결 수단

- [22] 본 발명의 제1목적은, 발전기 회전속도를 실시간으로 측정하는 회전속도 측정부; 블레이드의 피치 명령각을 실시간으로 계산하는 피치제어기; 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정하는 피치각 제한장치부; 상기 회전속도 측정부에서 측정된 회전속도와 피치제어기와 피치각 제한장치부에서 결정된 피치각을 기준으로, 모드값을 선택하는 토크모드스위치; 및 상기 토크모드스위치에서 선택된 모드값에 따라 발전기의 토크를 제어하는 토크제어기를 포함하고, 상기 토크모드스위치는 상기 회전속도와 상기 피치각을 기준으로 정격풍속이하라고 판단되면 제1모드값을 선택하고, 정격풍속이상이라고 판단되면 제2모드값을 선택하며, 상기 토크제어기는, 상기 제1모드값의 경우, 기 연산된 회전속도에 따른 토크값으로 상기 발전기토크를 제어하고, 상기 제2모드값의 경우, 정격토크크기로 상기 발전기 토크를 제어하고, 상기 토크모드스위치는, 상기 회전속도가 정격회전속도 이상이고 상기 피치각이 파인피치각을 초과하는 경우 상기 제2모드값을 선택하고, 상기 회전속도가 정격회전속도 이상이고, 상기 피치각이 파인피치각 이하인 경우 상기 제2모드값을 선택하며, 상기 회전속도가 정격회전속도 미만이고, 상기 피치각이 파인피치각을 초과하는 경우, 이전 선택된 모드값을 그대로 선택하고, 상기 회전속도가 정격회전속도 미만이고, 상기 피치각이 파인피치각 이하인 경우 제1모드값을 선택하는 것을 특징으로 하는 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어시스템으로서 달성될 수 있다.
- [23] 또한, 상기 기 연산된 회전속도에 따른 토크값은 이하의 수학식 1과 수학식 2에 의해 연산되는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [24] [수학식 1]
- [25]
$$T_g(t) = K_{opt} \Omega_g^2(t)$$
- [26] [수학식 2]

[27]

$$K_{opt} = \frac{\rho \pi R^5}{2 \lambda_{opt}^3 N_{gb}^3} C_{P,max}$$

[28]

Ω_g 는 발전기 회전속도, $T_g(t)$ 는 제1모드값에서 제어되는 발전기 토크, K_{opt} 는 최적모드계인, $C_{P,max}$ 는 최대출력계수, λ_{opt} 는 최적주속비, R 은 블레이드 길이, ρ 은 공기밀도, N_{gb} 는 기어비이다.

[29]

그리고, 상기 회전속도가 정격회전속도 이하인 경우 피치각을 파인피치각으로 유지하고, 피치제어기는 회전속도가 정격회전속도를 초과하는 경우 상기 회전속도와 상기 정격회전속도의 오차를 기반으로 상기 피치 명령각을 연산하고, 상기 피치각 제한장치부는 기설정된 최소피치각과 최대피치각 사이로 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[30]

본 발명의 제2목적은, 정격회전속도와, 파인피치각, 정격토크크기를 설정하는 단계; 회전속도 측정부가 발전기 회전속도를 실시간으로 측정하고, 피치제어기가 블레이드의 피치 명령각을 실시간으로 계산하고, 피치각 제한장치부가 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정하는 단계; 토크모드스위치가 상기 회전속도 측정부에서 측정된 회전속도와 피치제어기와 피치각 제한장치부에서 결정된 피치각을 기준으로, 모드값을 선택하는 단계; 및 토크제어기가 상기 토크모드스위치에서 선택된 모드값에 따라 발전기의 토크를 제어하는 단계;를 포함하고, 상기 선택하는 단계에서, 상기 토크모드스위치는 상기 회전속도와 상기 피치각을 기준으로 정격풍속이하라고 판단되면 제1모드값을 선택하고, 정격풍속이상이라고 판단되면 제2모드값을 선택하며, 상기 제어하는 단계에서, 상기 토크제어기는 상기 제1모드값의 경우, 기 연산된 회전속도에 따른 토크값으로 상기 발전기토크를 제어하고, 상기 제2모드값의 경우, 정격토크크기로 상기 발전기 토크를 제어하고, 상기 선택하는 단계에서, 상기 토크모드스위치는, 상기 회전속도가 정격회전속도 이상이고 상기 피치각이 파인피치각을 초과하는 경우 상기 제2모드값을 선택하고, 상기 회전속도가 정격회전속도 이상이고, 상기 피치각이 파인피치각 이하인 경우 상기 제2모드값을 선택하며, 상기 회전속도가 정격회전속도 미만이고, 상기 피치각이 파인피치각을 초과하는 경우, 이전 선택된 모드값을 그대로 선택하고, 상기 회전속도가 정격회전속도 미만이고, 상기 피치각이 파인피치각 이하인 경우 제1모드값을 선택하는 것을 특징으로 하는 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법으로서 달성될 수 있다.

[31]

또한, 상기 기 연산된 회전속도에 따른 토크값은 이하의 수학식 1과 수학식 2에 의해 연산되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[32]

[수학식 1]

[33]

$$T_g(t) = K_{opt} \Omega_g^2(t)$$

[34] [수학식 2]

$$[35] \quad K_{opt} = \frac{\rho \pi R^5}{2 \lambda_{opt}^3 N_{gb}^3} C_{P,max}$$

[36] 수학식 1에서, Ω_g 는 발전기 회전속도, $T_g(t)$ 는 제1모드값에서 제어되는 발전기 토크, K_{opt} 는 최적모드계인이고, 수학식 2에서, $C_{P,max}$ 는 최대출력계수, λ_{opt} 는 최적주속비, R 은 블레이드 길이, ρ 은 공기밀도, N_{gb} 는 기어비이다.

[37] 그리고, 상기 회전속도가 정격회전속도 이하인 경우 피치각을 파인피치각으로 유지하고, 피치제어기는 회전속도가 정격회전속도를 초과하는 경우 상기 회전속도와 상기 정격회전속도의 오차를 기반으로 상기 피치 명령각을 연산하고, 상기 피치각 제한장치부는 기설정된 최소피치각과 최대피치각 사이로 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[38] 본 발명의 제3목적은 발전기 회전속도를 실시간으로 측정하는 회전속도 측정부; 블레이드의 피치 명령각을 실시간으로 계산하는 피치제어기; 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정하는 피치각 제한장치부; 회전속도 측정부에서 측정된 회전속도와 피치제어기와 피치각 제한장치부에서 결정된 피치각을 기준으로, 바람에너지가 정격출력미만이라고 판단되면 제1모드값을 선택하고, 정격출력이상이라고 판단되면 제2모드값을 선택하는 토크모드스위치; 및 상기 토크모드스위치에서 선택된 모드값이 상기 제1모드값의 경우, 기 연산된 회전속도에 따른 토크값으로 발전기 토크크기를 제어하고, 상기 제2모드값의 경우, 정격출력파워로 일정하게 유지되는 발전기 토크크기로 상기 발전기 토크를 제어하는 토크제어기를 포함하고, 상기 제2모드값이 선택된 경우 발전기를 제어하게 되는 발전기 토크크기는 이하의 수학식 4로 정의되며, 상기 토크모드스위치는, 상기 회전속도가 정격회전속도 이상이고 상기 피치각이 파인피치각을 초과하는 경우 상기 제2모드값을 선택하고, 상기 회전속도가 정격회전속도 이상이고, 상기 피치각이 파인피치각 이하인 경우 상기 제2모드값을 선택하며, 상기 회전속도가 정격회전속도 미만이고, 상기 피치각이 파인피치각을 초과하는 경우, 이전 선택된 모드값을 그대로 선택하고, 상기 회전속도가 정격회전속도 미만이고, 상기 피치각이 파인피치각 이하인 경우 제1모드값을 선택하는 것을 특징으로 하는 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어시스템으로서 달성될 수 있다.

[39] [수학식 4]

$$[40] \quad T_g(t) = \frac{P_{grat}}{\Omega_g(t)}$$

[41] 수학식 4에서, P_{grat} 는 정격출력파워이고, Ω_g 는 발전기 회전속도이다.

[42] 또한, 상기 기 연산된 회전속도에 따른 토크값은 이하의 수학식 1과 수학식 2에 의해 연산되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[43] [수학식 1]

$$[44] \quad T_g(t) = K_{opt} \Omega_g^2(t)$$

[45] [수학식 2]

$$[46] \quad K_{opt} = \frac{\rho \pi R^5}{2 \lambda_{opt}^3 N_{gb}^3} C_{P,max}$$

[47] 수학식 1에서 Ω_g 는 발전기 회전속도, $T_g(t)$ 는 제1모드값에서 제어되는 발전기 토크, K_{opt} 는 최적모드계인이고, 수학식 2에서 $C_{P,max}$ 는 최대출력계수, λ_{opt} 는 최적주속비, R 은 블레이드 길이, ρ 은 공기밀도, N_{gb} 는 기어비이다.

[48] 또한, 상기 회전속도가 정격회전속도 이하인 경우 피치각을 파인피치각으로 유지하고, 피치제어기는 회전속도가 정격회전속도를 초과하는 경우 상기 회전속도와 상기 정격회전속도의 오차를 기반으로 상기 피치 명령각을 연산하고, 상기 피치각 제한장치부는 기설정된 최소피치각과 최대피치각 사이로 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[49] 본 발명의 제4목적은, 정격출력파워와, 정격회전속도와, 파인피치각을 설정하는 단계; 회전속도 측정부가 발전기 회전속도를 실시간으로 측정하고, 피치제어기가 블레이드의 피치 명령각을 실시간으로 계산하고, 피치각 제한장치부가 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정하는 단계; 토크모드스위치가 상기 회전속도 측정부에서 측정된 회전속도와 상기 피치제어기와 상기 피치각 제한장치부에서 결정된 피치각을 기준으로, 모드값을 선택하는 단계; 및 토크제어기가 상기 토크모드스위치에서 선택된 모드값에 따라 발전기의 토크를 제어하는 단계;를 포함하고, 상기 선택하는 단계에서, 상기 토크모드스위치는 상기 회전속도와 상기 피치각을 기준으로 바람에너지가 정격출력이하라고 판단되면 제1모드값을 선택하고, 정격출력이상이라고 판단되면 제2모드값을 선택하며, 상기 제어하는 단계에서, 상기 토크제어기는, 상기 제1모드값의 경우, 기 연산된 회전속도에 따른 토크값으로 상기 발전기 토크크기를 제어하고, 상기 제2모드값의 경우, 정격출력파워로 일정하게 유지되는 발전기 토크크기로 상기 발전기 토크를 제어하며, 상기 제2모드값이 선택된 경우 발전기를 제어하게 되는 발전기 토크크기는 이하의 수학식 4로 정의되고, 상기 선택하는 단계에서, 상기 토크모드스위치는, 상기 회전속도가 정격회전속도 이상이고 상기 피치각이 파인피치각을 초과하는 경우 상기 제2모드값을 선택하고, 상기 회전속도가 정격회전속도 이상이고, 상기 피치각이 파인피치각 이하인 경우 상기 제2모드값을 선택하며, 상기 회전속도가 정격회전속도 미만이고, 상기 피치각이 파인피치각을 초과하는 경우, 이전 선택된 모드값을 그대로 선택하고, 상기 회전속도가 정격회전속도 미만이고, 상기 피치각이 파인피치각 이하인 경우 제1모드값을 선택하는 것을 특징으로 하는 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한

토크모드스위치 제어방법으로서 달성될 수 있다.

[50] [수학식 4]

$$[51] \quad T_g(t) = \frac{P_{grat}}{\Omega_g(t)}$$

[52] 수학식 4에서, P_{grat} 는 정격출력파워이고, Ω_g 는 발전기 회전속도이다.

[53] 그리고, 상기 기 연산된 회전속도에 따른 토크값은 이하의 수학식 1과 수학식 2에 의해 연산되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[54] [수학식 1]

$$[55] \quad T_g(t) = K_{opt} \Omega_g^2(t)$$

[56] [수학식 2]

$$[57] \quad K_{opt} = \frac{\rho \pi R^5}{2 \lambda_{opt}^3 N_{gb}^3} C_{P,max}$$

[58] 수학식 1에서, Ω_g 는 발전기 회전속도, $T_g(t)$ 는 제1모드값에서 제어되는 발전기 토크, K_{opt} 는 최적모드게인이고 수학식 2에서, $C_{P,max}$ 는 최대출력계수, λ_{opt} 는 최적주속비, R 은 블레이드 길이, ρ 은 공기밀도, N_{gb} 는 기어비이다.

[59] 그리고, 상기 회전속도가 정격회전속도 이하인 경우 피치각을 파인피치각으로 유지하고, 피치제어기는 회전속도가 정격회전속도를 초과하는 경우 상기 회전속도와 상기 정격회전속도의 오차를 기반으로 상기 피치 명령각을 연산하고, 상기 피치각 제한장치부는 기설정된 최소피치각과 최대피치각 사이로 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정하는 것을 특징으로 할 수 있다.

발명의 효과

[60] 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격토크유지를 위한 토크모드스위치 제어방법에 의해, 풍력터빈의 토크제어 있어서 풍속이 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 급격히 떨어질 때 토크모드스위치로 인해 발생하는 토크채터링 문제를 방지할 수 있고, 안정적으로 토크제어기를 작동할 수 있는 효과를 갖는다.

[61] 또한, 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격토크유지를 위한 토크모드스위치 제어방법에 의해, 발전기 회전속도와 블레이드 피치각의 두 가지 정보를 모두 고려하고, 풍속이 정격출력 이상에서 정격출력 이하로 급격히 변하는 경우에는 토크모드스위치의 값을 “이전 값”으로 사용하게 됨으로써, 토크채터링을 방지할 수 있는 효과를 갖는다.

[62] 그리고, 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법에 의해, 바람에너지가 풍력터빈의 정격출력 부근에서 변동할 때 정격출력 이상에서는 발전기의 정격출력은 유지하고 정격출력 이하에서는 최대출력을 생산하기 위하여 토크모드스위치를 이용할 때 발생하는

토크채터링이 발생하지 않도록 토크제어기를 안정적으로 작동시킬 수 있는 효과를 갖는다.

- [63] 또한, 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법에 의해, 발전기 회전속도와 블레이드 피치각의 두 가지 정보를 다 고려하고, 바람에너지가 정격출력 이상에서 정격출력 이하로 급격히 변하는 경우에는 토크모드스위치의 값을 “이전 값”으로 사용한다. 본 발명을 통하여 바람에너지가 정격출력 이상에서 정격출력 이하로 급격히 떨어질 때 토크모드스위치를 이용할 때 발생하는 토크채터링을 방지할 수 있는 효과를 갖는다.
- [64] 한편, 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

- [65] 본 명세서에 첨부되는 다음의 도면들은 본 발명의 바람직한 일실시예를 예시하는 것이며, 발명의 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술적 사상을 더욱 이해시키는 역할을 하는 것이므로, 본 발명은 그러한 도면에 기재된 사항에만 한정되어 해석되어서는 아니 된다.
- [66] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어시스템의 구성을 나타낸 블록도,
- [67] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 흐름도,
- [68] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 흐름도,
- [69] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법에서, 발전기 회전속도에 대한 발전기 토크 그래프,
- [70] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법에서, 발전기 회전속도에 대한 발전기 토크 그래프,
- [71] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 피치제어기의 블록선도,
- [72] 도 7은 본 발명의 제1실시예에 따른 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법을 나타낸 블록도,
- [73] 도 8은 본 발명의 제1실시예에 따른 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어시스템의 토크모드스위치의 블록도,
- [74] 도 9는 계단풍속을 나타낸 시간에 대한 풍속 그래프,
- [75] 도 10은 본 발명의 제1실시예에 따른 계단 응답그래프,
- [76] 도 11은 본 발명인 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제1실시예에 따른 토크채터링 분석 그래프,
- [77] 도 12는 본 발명인 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치

- 제어방법의 제1실시예에 따른 피치각 응답 그래프,
- [78] 도 13은 본 발명인 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제2실시예에 따른 계단 응답그래프,
- [79] 도 14는 본 발명인 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제2실시예에 따른 토크채터링 분석 그래프,
- [80] 도 15는 본 발명인 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제1실시예와 제2실시예의 계단응답 비교 그래프,
- [81] 도 16은 본 발명인 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제2실시예에 따른 토크모드스위치의 블록도,
- [82] 도 17은 본 발명인 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 시간에 따른 난류풍속 그래프,
- [83] 도 18은 도 17에서 정격풍속 이하인 것을 표시한 그래프,
- [84] 도 19는 본 발명인 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제1실시예에 따른 난류풍속 수치실험 결과(1) 그래프,
- [85] 도 20은 본 발명인 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제1실시예에 따른 난류풍속 수치실험 결과(2) 그래프,
- [86] 도 21은 본 발명인 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제1실시예에 따른 난류풍속 수치실험 결과(3) 그래프,
- [87] 도 22는 본 발명인 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제2실시예에 따른 난류풍속 수치실험 결과(1) 그래프,
- [88] 도 23은 본 발명인 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제2실시예에 따른 난류풍속 수치실험 결과(2) 그래프,
- [89] 도 24는 본 발명인 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제2실시예에 따른 난류풍속 수치실험 결과(3) 그래프를 도시한 것이다.
- [90] 도 25는 본 발명의 제1실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법을 나타낸 블록도,
- [91] 도 26은 본 발명의 제1실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어시스템의 토크모드스위치의 블록도,
- [92] 도 27은 계단풍속을 나타낸 시간에 대한 풍속 그래프,
- [93] 도 28은 본 발명의 제1실시예에 따른 계단 응답그래프,
- [94] 도 29는 본 발명인 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제1실시예에 따른 토크채터링 분석 그래프,
- [95] 도 30은 본 발명인 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제1실시예에 따른 피치각 응답 그래프,
- [96] 도 31은 본 발명인 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제2실시예에 따른 계단 응답그래프,
- [97] 도 32는 본 발명인 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치

- 제어방법의 제2실시예에 따른 토크채터링 분석 그래프,
 [98] 도 33은 본 발명인 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제1실시예와 제2실시예의 계단응답 비교 그래프,
 [99] 도 34는 본 발명인 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제2실시예에 따른 토크모드스위치의 블록도,
 [100] 도 35는 본 발명인 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 시간에 따른 난류풍속 그래프,
 [101] 도 36은 도 35에서 정격풍속 이하인 것을 표시한 그래프,
 [102] 도 37은 본 발명인 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제1실시예에 따른 난류풍속 수치실험 결과(1) 그래프,
 [103] 도 38은 본 발명인 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제1실시예에 따른 난류풍속 수치실험 결과(2) 그래프,
 [104] 도 39는 본 발명인 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제1실시예에 따른 난류풍속 수치실험 결과(3) 그래프,
 [105] 도 40은 본 발명인 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제2실시예에 따른 난류풍속 수치실험 결과(1) 그래프,
 [106] 도 41은 본 발명인 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제2실시예에 따른 난류풍속 수치실험 결과(2) 그래프,
 [107] 도 42는 본 발명인 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제2실시예에 따른 난류풍속 수치실험 결과(3) 그래프를 도시한 것이다.

[108] <부호의 설명>

[109] 10:회전속도 측정부

[110] 20:피치각 제한장치부

[111] 30:토크모드스위치

[112] 40:토크제어기

[113] 50:피치제어기

발명의 실시를 위한 최선의 형태

[114] <구성>

[115] 이하에서는 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어시스템 및 제어방법의 구성 및 기능에 대해 설명하도록 한다. 본 발명의 일실시예에 따른 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어시스템과 제어방법은, 정격토크유지를 위한 토크모드스위치 제어시스템 및 제어방법, 그리고 정격출력파워유지를 위한 토크모드스위치 제어시스템 및 제어방법으로 구별된다.

[116] 먼저, 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어시스템의 구성을 나타낸 블록도를 도시한 것이고, 그리고,

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 흐름도를 도시한 것이다. 또한, 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 흐름도를 도시한 것이다.

- [117] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어시스템은, 회전속도 측정부(10), 피치각 제한장치부(20), 토크모드스위치(30), 토크제어기(40), 피치제어기(50) 등을 포함하여 구성될 수 있음을 알 수 있다.
- [118] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격토크 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법에서, 발전기 회전속도에 대한 발전기 토크 그래프를 도시한 것이다.
- [119] 풍력터빈의 토크제어기(40)는 정격출력 이상인 경우와 이하인 경우 두 가지로 나눌 수 있다. 도 4에 도시된 바와 같이, “토크모드 1”은 정격출력 이하인 경우와, “토크모드 2”는 정격출력 이상인 경우로 구분된다. 후에 설명되는 바와 같이, 토크모드스위치(30)에 의해 제1모드값이 선택될 때, 토크제어기(40)는 토크모드 1로, 제2모드값이 선택될 때, 토크모드 2로 발전기토크를 제어하게 된다.
- [120] 도 4에 도시된 바와 같이, “SpeedSet1”은 발전기 토크크기의 제어가 시작되는 발전기 회전속도이다. “SpeedSet2”는 발전기의 정격토크크기 또는 정격출력파워를 유지하기 시작할 때의 발전기 회전속도로써 일반적으로 발전기의 정격회전속도이다.
- [121] 정격출력 이하에서의 토크제어기(40)는 풍속의 크기에 따라 최적 주속비(λ_{opt})를 얻기 위하여 토크-속도의 정상상태 관계특성을 나타내는 이하의 수학적 식 1을 이용하여 발전기의 토크(T_g)를 발전기의 회전속도(Ω_g)의 제곱에 비례하도록 제어하는 것으로 비선형 제어방법이다. 정격출력 이하에서의 토크제어기(40)는 도 4에 도시된 “토크모드 1”에서 표시한 것과 같이 기 연산된 순람표(lookup table)를 사용하여 발전기 토크를 발생시킨다.
- [122] [수학적 식 1]
- [123]
$$T_g(t) = K_{opt} \Omega_g^2(t)$$
- [124] K_{opt} 는 최적모드계인으로 발전기의 토크와 발전기의 회전속도 사이의 이차특성을 나타내는 계수값으로 이하의 수학적 식 2와 같이 정의된다.
- [125] [수학적 식 2]
- [126]
$$K_{opt} = \frac{\rho \pi R^5}{2 \lambda_{opt}^3 N_{gb}^3} C_{P,max}$$
- [127] 여기서, $C_{P,max}$ 는 최대출력계수, λ_{opt} 는 최적주속비, R 은 블레이드 길이, ρ 은 공기밀도, N_{gb} 는 기어비이다.
- [128] 또한, 풍력터빈의 토크제어기(40)는 정격출력 이상인 경우 두 가지 제어로직을 가지고 있다. 하나는 발전기의 토크크기를 정격토크크기로 일정하게

유지하도록 하는 방법이고, 또 하나는 발전기의 출력파워를 정격출력파워로 일정하게 유지하도록 하는 방법이다. 본 발명의 정격토크크기로 유지하기 위한 일실시예에서는 도 4에서 “토크 모드 2”로 표시된 것과 같이 발전기의 토크크기를 일정하게 유지하는 제어방법을 사용한다. 발전기의 토크크기를 정격토크크기로 일정하게 유지하도록 하는 계산식은 이하의 수학적 식 3과 같다.

[129] [수학적 식 3]

$$[130] \quad T_g(t) = T_{g_{rat}}$$

[131] 여기서 $T_{g_{rat}}$ 는 일반적으로 발전기의 정격토크크기이다.

[132] 또한, 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법에서, 발전기 회전속도에 대한 발전기 토크 그래프를 도시한 것이다.

[133] 정격출력파워를 일정하게 유지시키기 위한 본 발명의 일실시예에서는 도 5에서 “토크 모드 2”로 표시된 것과 같이 발전기의 출력파워를 정격출력파워로 일정하게 유지하는 제어방법을 사용한다. 발전기의 출력파워를 정격출력파워로 일정하게 유지하도록 하는 계산식은 이하의 수학적 식 4와 같다. 수학적 식 4와 같이 발전기의 정격출력파워와 발전기의 회전속도는 반비례관계를 가지게 된다.

[134] [수학적 식 4]

$$[135] \quad T_g(t) = \frac{P_{g_{rat}}}{\Omega_g(t)}$$

[136] 여기서 $P_{g_{rat}}$ 는 발전기의 정격출력파워이다.

[137] 또한, 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격토크유지를 위한 토크모드스위치 제어방법은 전체적으로 먼저, 정격회전속도와, 피치각, 정격토크크기를 설정하게 된다(S1).

[138] 그리고, 회전속도 측정부(10)가 발전기 회전속도를 실시간으로 측정하고, 피치제어기(50)가 블레이드의 피치 명령각을 실시간으로 계산하고, 피치각 제한장치부(20)가 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정한다(S2). 그리고, 토크모드스위치(30)는 회전속도 측정부(10)에서 측정된 회전속도와 피치제어기(50)와 피치각 제한장치부(20)에서 결정된 피치각을 기준으로, 모드값을 선택하게 된다(S3). 그리고, 토크제어기(40)는 토크모드스위치(30)에서 선택된 모드값에 따라 발전기의 토크를 제어하게 된다(S4).

[139] 토크모드스위치(30)는 회전속도와 피치각을 기준으로 정격풍속이하라고 판단되면 제1모드값을 선택하고, 정격풍속이상이라고 판단되면 제2모드값을 선택하게 된다.

[140] 그리고, 토크제어기(40)는 앞서 언급한 바와 같이, 제1모드값의 경우, 기 연산된 회전속도에 따른 토크값으로 발전기토크를 제어하고, 제2모드값의 경우,

정격토크크기로 발전기 토크를 제어하게 된다.

- [141] 또한, 본 발명의 일실시예에 따른 제어시스템은 피치제어기(50)를 더 포함할 수 있다. 풍력터빈의 토크모드스위치(30)에서는 발전기의 회전속도만 고려하는 것이 아니라 블레이드의 피치각도 고려한다.
- [142] 정격이하의 풍속에서 블레이드의 피치각은 최대의 출력파워를 생산하기 위하여 최적의 일정한 값인 파인피치각(Fine Pitch Angle)으로 유지한다. 일반적으로 파인피치각은 “0도”가 대표적이다.
- [143] 여기서는 파인피치각은 “0도”로 두고 설정한다. 평균풍속이 정격이상인 경우에도 실제 풍속은 난류풍속이어서 발전기의 회전속도는 정격속도를 중심으로 변화하기 때문에 정격속도보다 작은 경우가 발생한다. 이런 상황에서도 출력파워를 향상하기 위하여 회전속도는 정격속도보다 작고 피치각은 파인피치보다 크면 토크모드스위치(30)를 이용하여 계속 정격토크크기를 유지한다. 이를 통해 더 많은 정격파워를 유지할 수 있게 된다.
- [144] 풍력터빈의 출력제어에 있어서 정격풍속 이상에서는 피치제어기(50)가 작동한다. 풍력터빈의 피치제어기(50)는 일반적으로 속도제어 루프 형태의 PI 제어기와 피치 게인-스케줄링을 사용하며, 피치제어기(50)는 발전기의 회전속도를 피드백하여 기준입력인 발전기 정격회전속도(SpeedSet2)와의 오차를 PI 제어기를 통해 정격 풍속이상에서 블레이드의 피치각을 조절하는 방법이다.
- [145] 피치 게인-스케줄링의 개념은 풍속이 증가할수록 피치각에 대한 공력토크의 비선형 파라미터의 절대값이 커져서 피치제어기(50)의 고유진동수를 증가시키기 때문에, 고정된 PI 게인값을 사용하는 것이 아니라 풍속이 증가할수록 작은 PI 게인값을 사용하기 위해 게인제수를 이용하여 PI 게인값을 줄여주는 방법이다.
- [146] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 피치제어기(50)의 블록선도를 도시한 것이다. 실제 전 풍속구간에서 피치제어기(50)의 시스템 형태는 도 6과 같은 블록선도로 표시된다. 도 6에 도시된 바와 같이, e_{Ω_g} 는 피드백 되는 발전기 회전속도(Ω_g)와 기준입력인 발전기 정격 회전속도(Ω_{ref})와의 오차이다.
- [147] 피치제어기(50)는 발전기 회전속도(Ω_g)를 피드백하여 기준입력인 발전기 정격 회전속도(Ω_{ref})와의 오차(e_{Ω_g})를 최소화하도록 피치 명령각(β_c)을 조절한다. 실제로 피치각(β)은 피치각 제한장치부(20)를 통하여 이하의 수학적 식 5와 같이 피치각의 최소값과 최대값 사이로 제한한다.
- [148] [수학적 식 5]
- [149] $\beta_{min} \leq \beta \leq \beta_{max}$
- [150] β_{min} 는 피치각의 최소값이고, 일반적으로 파인피치각(β_{fine}) 값을 이용한다. 여기서 파인피치각(β_{fine}) 값은 “0 도”이다. 정격풍속 이하에서 최대의 출력파워를

생산하기 위하여 파인피치각(β_{fine})으로 제한된다. 피치각의 최대값(β_{max})은 피치각의 최대값이고, 풍력터빈에 따라 임의로 설정할 수 있다.

- [151] 또한, 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워유지를 위한 토크모드스위치 제어방법은 전체적으로 전체적으로 먼저, 정격출력파워와, 정격회전속도와, 파인피치각을 설정하게 된다(S10).
- [152] 그리고, 회전속도 측정부(10)가 발전기 회전속도를 실시간으로 측정하고, 피치제어기(50)가 블레이드의 피치 명령각을 실시간으로 계산하고, 피치각 제한장치부(20)가 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정한다(S20). 그리고, 토크모드스위치(30)는 회전속도 측정부(10)에서 측정된 회전속도와 피치제어기(50)와 피치각 제한장치부(20)에서 결정된 피치각을 기준으로, 모드값을 선택하게 된다(S30).
- [153] 그리고, 토크제어기(40)는 토크모드스위치(30)에서 선택된 모드값에 따라 발전기의 토크를 제어하게 된다(S40).
- [154] 토크모드스위치(30)는 회전속도와 피치각을 기준으로 바람에너지가 정격출력이하라고 판단되면 제1모드값을 선택하고, 바람에너지가 정격출력 이상이라고 판단되면 제2모드값을 선택하게 된다.
- [155] 그리고, 토크제어기(40)는 앞서 언급한 바와 같이, 제1모드값의 경우, 기 연산된 회전속도에 따른 토크값으로 발전기토크를 제어하고, 제2모드값의 경우, 정격출력파워가 유지되도록 발전기 토크를 제어하게 된다.
- [156] 또한, 본 발명의 일실시예에 따른 정격출력파워를 유지하기 위한 토크모드스위치 제어시스템 역시 피치제어기(50)를 더 포함할 수 있다. 풍력터빈의 토크모드스위치(30)에서는 발전기의 회전속도만 고려하는 것이 아니라 블레이드의 피치각도 고려한다.
- [157] 정격이하의 풍속에서 블레이드의 피치각은 최대의 출력파워를 생산하기 위하여 최적의 일정한 값인 파인피치각(Fine Pitch Angle)으로 유지한다. 일반적으로 파인피치각은 “0도”가 대표적이다.
- [158] 여기서는 파인피치각은 “0도”로 두고 설정한다. 평균풍속이 정격이상인 경우에도 실제 풍속은 난류풍속이어서 발전기의 회전속도는 정격속도를 중심으로 변화하기 때문에 정격속도보다 작은 경우가 발생한다. 이런 상황에서도 출력파워를 향상하기 위하여 회전속도는 정격속도보다 작고 피치각은 파인피치보다 크면 토크모드스위치(30)를 이용하여 계속 정격출력파워를 유지한다. 이를 통해 더 많은 정격파워를 유지할 수 있게 된다.
- [159] 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어에 있어서 바람에너지가 정격출력 이상에서는 피치제어기(50)가 작동한다. 풍력터빈의 피치제어기(50)는 일반적으로 속도제어 루프 형태의 PI 제어기와 피치 게인-스케줄링을 사용하며, 피치제어기(50)는 발전기의 회전속도를 피드백하여 기준입력인 발전기 정격회전속도(SpeedSet2)와의 오차를 PI 제어를 통해 정격 풍속이상에서 블레이드의 피치각을 조절하는 방법이다.

- [160] 피치 게인-스케줄링의 개념은 풍속이 증가할수록 피치각에 대한 공력토크의 비선형 파라미터의 절대값이 커져서 피치제어기(50)의 고유진동수를 증가시키기 때문에, 고정된 PI 게인값을 사용하는 것이 아니라 풍속이 증가할수록 작은 PI 게인값을 사용하기 위해 게인제수를 이용하여 PI 게인값을 줄여주는 방법이다.
- [161] 실제 전 풍속구간에서 피치제어기(50)의 시스템 형태는 도 6과 같은 블록선도로 표시된다. 도 6에 도시된 바와 같이, e_{Ω_g} 는 피드백 되는 발전기 회전속도(Ω_g)와 기준입력인 발전기 정격 회전속도(Ω_{ref})와의 오차이다.
- [162] 피치제어기(50)는 발전기 회전속도(Ω_g)를 피드백하여 기준입력인 발전기 정격 회전속도(Ω_{ref})와의 오차(e_{Ω_g})를 최소화하도록 피치 명령각(β_c)을 조절한다. 실제로 피치각(β)은 피치각 제한장치를 통하여 이하의 수학식 5와 같이 피치각의 최소값과 최대값 사이로 제한한다.

[163] [수학식 5]

$$[164] \quad \beta_{min} \leq \beta \leq \beta_{max}$$

- [165] β_{min} 는 피치각의 최소값이고, 일반적으로 파인피치각(β_{fine}) 값을 이용한다. 여기서 파인피치각(β_{fine}) 값은 “0 도”이다. 바람에너지가 정격출력 이하에서 최대의 출력과위를 생산하기 위하여 파인피치각(β_{fine})으로 제한된다. 피치각의 최대값(β_{max})은 피치각의 최대값이고, 풍력터빈에 따라 임의로 설정할 수 있다.

발명의 실시를 위한 형태

[166] <정격토크유지를 위한 토크모드스위치 제어방법>

- [167] 이하에서는 앞서 언급한 정격토크유지를 위한 토크모드스위치(30)의 제어방법에 대해 설명하도록 한다. 즉, 어떠한 경우에 제1모드값(이하 ‘0’) 또는 제2모드값(이하 ‘1’)을 선택하게 되는지 설명하도록 한다.

- [168] 본 발명의 제1실시에 따른 정격토크유지를 위한 토크모드스위치 제어방법은, 발전기의 회전속도와 피치각에 따라 이하와 같이 네 가지 경우로 나눌 수 있다. 네 가지 경우는 다음과 같다.

[169] “경우1 (Case1)”:

$$[170] \quad \text{If } \Omega_g \geq \Omega_{grat} \text{ and } \beta > \beta_{fine}$$

[171] 토크모드스위치 모드값 = ‘1’(T_g = T_{grat})

[172] “경우2 (Case2)”:

$$[173] \quad \text{If } \Omega_g \geq \Omega_{grat} \text{ and } \beta \leq \beta_{fine}$$

[174] 토크모드스위치 모드값 = ‘1’(T_g = T_{grat})

[175] “경우3 (Case3)”:

$$[176] \quad \text{If } \Omega_g < \Omega_{grat} \text{ and } \beta > \beta_{fine}$$

[177] 토크모드스위치 모드값 = ‘1’(T_g = T_{grat})

[178] “경우4 (Case4)”:

- [179] If $\Omega_g < \Omega_{grat}$ and $\beta \leq \beta_{fine}$
- [180] 토크모드스위치 모드값 = '0' (T_g = Lookup Table)
- [181] 여기서, Ω_g 는 발전기 회전속도, Ω_{grat} 는 발전기 정격회전속도, β 는 블레이드의 피치각, β_{fine} 는 피치각의 파인피치각, T_g 는 발전기의 토크크기, T_{grat} 는 발전기의 정격토크크기이다.
- [182] 앞서 언급한 바와 같이, 토크모드스위치(30)의 모드값이 "1"인 경우 발전기의 토크는 정격 토크크기를 사용한다. 토크모드스위치(30)의 모드값이 "0"인 경우 미리 계산된 순람표(Lookup Table)를 사용한다.
- [183] 도 7은 본 발명의 제1실시예에 따른 풍력터빈의 정격토크유지를 위한 토크모드스위치(30)와 그 제어방법을 나타낸 블록도를 도시한 것이다. 도 8은 본 발명의 제1실시예에 따른 풍력터빈의 정격토크유지를 위한 토크모드스위치(30)의 블록도를 도시한 것이다. 정격풍속 이상일 때는 발전기의 정격 토크크기를 사용하도록 토크모드스위치(30)의 값을 "1"로 한다. 정격풍속 이하일 때는 최적모드게인을 이용하여 미리 계산된 순람표(Lookup Table)를 사용하여 발전기 토크를 발생시키도록 토크모드스위치(30)의 값을 "0"으로 한다. 상기의 네 가지 경우를 토크모드스위치(30)로 구현하는 방법은 여러 가지가 가능한데 그 중 하나가 로직회로 "OR"문을 이용하여 구현하는 방법이다.
- [184] 이 구현의 의미는 발전기의 회전속도가 정격회전속도 이상이고 피치각이 파인피치각(Fine Pitch Angle)보다 크면 정격풍속 이상인 경우라고 판단하고 토크모드스위치(30)를 통해 정격 토크크기의 발전기 토크를 발생시킨다. "OR"문의 구현은 도면 8과 같다. 이러한 본 발명의 제1실시예에 따른 풍력터빈의 정격토크유지를 위한 토크모드스위치 제어방법을 통하여 난류풍속 등의 영향으로 토크크기가 순간적으로 떨어지는 문제를 방지할 수 있게 된다.
- [185] 그러나, 앞서 언급한 제1실시예에 따른 풍력터빈의 정격토크유지를 위한 토크모드스위치 제어방법은, 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 떨어질 때 발전기의 토크크기에서 토크채터링이 발생하는 문제를 가지고 있다.
- [186] 이러한 토크채터링의 문제를 해결하기 위하여 우선 토크채터링이 발생하는 이유를 분석해 보기 위해, 2MW 풍력터빈을 예시로 설명하고자 한다. 풍력터빈의 수치실험 시 토크채터링이 발생하는 이유를 분석하기 위하여 계단풍속을 이용하였다. 도 9는 계단풍속을 나타낸 시간에 대한 풍속 그래프를 도시한 것이다.
- [187] 2MW 풍력터빈의 정격풍속은 약 12m/s(11.7m/s)이고 발전기의 정격회전속도는 1,500rpm이다. 풍력터빈의 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 급격하게 떨어지는 경우의 분석을 위하여 도 9에 도시된 바와 같이 13m/s에서 11m/s로 변하는 계단풍속을 사용하였다. 그 실험의 결과는 도 10과 도 12에 도시된 바와 같다. 도 9에서 V는 풍속이다.
- [188] 먼저, 정격풍속 이상과 정격풍속 이하에서의 정상상태를 구분하여 확인해보면, 그 수치실험 결과는 도 10과 같다. 도면 10에서 P_g 는 발전기의 출력파워, T_g 는

발전기의 토크 크기, ω_g 는 발전기의 회전속도, β 는 블레이드의 피치각이다. 도 12는 블레이드 피치각의 전체 범위를 보여준다. 도 10의 계단응답을 시간대 별로 그에 해당하는 경우(Case)를 구분하여 분석하면 도 11 및 이하의 표 1과 같다. 표 1에서 t는 시간을 나타낸다.

[189] [표 1]

[190]

Time (sec)	Case	Value of torque mode switch
$0 \leq t \leq 5$	Case1	"1"
$5 < t < 6.27$	Case3	"1"
$t = 6.27$	Case4	"0"
$6.27 < t \leq 7.67$	Case3 or Case4	"0" or "1"
$7.67 < t \leq 15$	Case4	"0"

[191] 정격풍속 이상에서의 정상상태를 설명하면, 0~5초 동안에는 풍속이 13m/s로 정격풍속 이상이어서 발전기의 회전속도는 정격회전속도인 1,500rpm이다. 이때 정격출력을 유지하기 위해서는 블레이드에서 발생하는 공력토크를 줄여야한다.

[192] 블레이드의 피치각이 파인피치각인 “0도”보다 커지면 공력토크는 줄어드는데, 풍속이 13m/s인 경우 피치각의 정상상태 값은 도 10에 도시된 바와 같이, 약 “6.5도”로 유지된다. 이때의 토크모드스위치(30)는 “경우 1”에 해당되고 발전기의 토크크기는 정격토크크기를 발생시킨다.

[193] 정격풍속 이하에서의 정상상태를 설명하면, 7.67~15초 동안에는 풍속이 11m/s로 정격풍속 이하이어서 발전기의 회전속도는 정격회전속도보다 작은 1,494rpm이다. 그리고 풍속이 정격풍속 이하로 떨어지기 때문에 더 많은 공력토크를 얻기 위하여 피치각이 파인피치각인 “0도”로 떨어진 후 유지된다. 이때의 토크모드스위치(30)는 “경우 4”에 해당되고 발전기의 토크크기는 발전기의 회전속도에 따라 발전기의 토크크기를 조절한다.

[194] 다음으로 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 급격히 떨어질 때 과도응답으로 인해 발생하는 토크채터링의 문제점을 확인해보도록 한다.

[195] 5~7.67초 동안에는 공력토크와 발전기 토크가 바뀌면 발전기의 회전속도가 변하는데 이에 따라서 풍력터빈의 동특성으로 인해 과도응답이 발생한다. 그러나 정격풍속 이하에서는 발전기의 회전속도가 항상 정격회전속도 이하이므로 토크채터링의 발생과는 상관이 없다. 블레이드 피치각 또한 피치제어기(50)의 동특성으로 인해 과도응답이 발생하는데, 피치각이 파인피치각인 “0도”로 되는 6.27초에서 바로 멈추지 않고 6.27초 이후에 “0도”를

중심으로 몇 차례 진동한 후에 “0도”로 유지된다. “0도”를 중심으로 진동할 때 피치각은 피치각 제한장치로 인해 파인피치각의 최솟값인 “0도”보다 작아지지는 않지만 “0도”보다 조금 커지는 경우가 발생하여 토크채터링에 영향을 미치게 된다.

- [196] 이러한 현상으로 인해 토크모드스위치(30)는 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 급격하게 떨어질 때 “경우 1”에서 “경우 4”로 바뀐 후 “경우 4”의 상태가 지속적으로 유지되지 않고 피치각이 파인피치각인 “0도”보다 큰 경우가 발생하여 다시 “경우 3”으로 바뀌고 또 다시 “경우 4”로 바뀌는 현상을 반복한다. 이때 “경우 3”에서는 정격토크크기를 발생시키고 “경우 4”에서는 발전기의 회전속도에 따라 발전기의 토크크기를 조절하는데, “경우 3”과 “경우 4”가 짧은 시간에 반복되는 현상 때문에 토크크기가 급격히 바뀌어 토크채터링이 발생된다.
- [197] 도 10은 풍속이 13m/s에서 11m/s로 급격히 바뀐 후 피치각 “0도”로 떨어지는 시점에서부터 약 1.5초 동안 토크채터링이 발생함을 보여준다. 이때 피치각은 약 1.5초 동안 “0~0.02도”사이에서 매우 작은 진동이 여러 번 발생한 후에 “0도”로 유지되는 것을 확인할 수 있다.
- [198] 상기와 같은 이유로 발생한 토크채터링의 문제는 토크모드스위치(30)의 “경우3”에서 나타나는 현상이므로 “경우3”을 보완할 필요성이 있다.
- [199] 이하에서 설명되는 본 발명의 제2실시예에 따른 정격토크유지를 위한 토크모드스위치(30)의 제어방법은 제1실시예에서 나타난 토크채터링 문제를 해결하기 위한 것이다. 본 발명의 제2실시예에 따라 정격토크유지를 위한 토크모드스위치(30)를 제어할 때 제1실시예와 동일하게 발전기의 회전속도와 블레이드의 피치각 두 가지 정보를 모두 고려한다.
- [200] 앞서 언급한 바와 같이, 제1실시예를 적용하면 풍속이 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 급격히 떨어질 때 피치각은 피치제어기(50)의 동특성으로 인해 발생하는 토크채터링 때문에 파인피치각인 “0도”를 중심으로 변동하는 매우 작은 진동이 발생한다.
- [201] 앞서 언급한 바와 같이, 발전기의 회전속도가 정격회전속도보다 작은 경우에 블레이드의 피치각이 “0도” 부근에서 진동하게 되면 토크모드스위치(30)의 네 가지 경우 중 “경우 3”으로 인해 토크채터링이 발생한다. 풍력터빈이 정격출력 이상에서 정격출력 이하로 급격히 떨어질 때 피치각이 “0도”부근에서 진동하는 현상은 물리적으로 피할 수 없지만 “경우 3”의 토크모드스위치 값은 제어가 가능하다.
- [202] 토크채터링을 방지하기 위하여 토크채터링의 발생과 관련이 있는 “경우 3”에서는 토크모드스위치(30)의 값을 항상 “1”로 사용하는 대신에 “1” 또는 “0”을 사용하는 것이 필요하다. “1” 과 “0”을 결정하기 위한 판단이 필요한데, 토크모드스위치(30)의 “이전 값”을 사용하면 “0” 과 “1”을 판단할 수 있다.
- [203] 토크채터링 문제를 해결하기 위해 제안되는 본 발명의 제2실시예에 따른

정격토크유지를 위한 토크모드스위치(30)의 제어방법은 다음과 같다. 발전기의 회전속도와 피치각에 따라서 네 가지 경우로 나눌 수 있다.

[204] “경우 1 (Case1)”:

[205] If $\Omega_g \geq \Omega_{grat}$ and $\beta > \beta_{fine}$

[206] 토크모드스위치 모드값 = ‘1’(T_g = T_{grat})

[207] “경우 2 (Case2)”:

[208] If $\Omega_g \geq \Omega_{grat}$ and $\beta \leq \beta_{fine}$

[209] 토크모드스위치 모드값 = ‘1’(T_g = T_{grat})

[210] “경우 3 (Case3)”:

[211] If $\Omega_g < \Omega_{grat}$ and $\beta > \beta_{fine}$

[212] 토크모드스위치 모드값(k) = 토크모드스위치 모드값(k-1)

[213] (‘1’ 또는 ‘0’)

[214] (T_g = T_{grat} 또는 T_g = Lookup Table)

[215] “경우 4 (Case4)”:

[216] If $\Omega_g < \Omega_{grat}$ and $\beta \leq \beta_{fine}$

[217] 토크모드스위치 모드값 = ‘0’(T_g = Lookup Table)

[218] 여기서 k는 “현재 상태”이고 k-1은 “이전 상태”를 의미한다.

[219] “경우3”에서 토크모드스위치(30)의 “이전 상태”를 사용한 결과에 대해 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 떨어지는 도 9의 계단풍속에 대하여 동일하게 살펴보도록 한다. 수치실험 결과는 도 13과 같다. 또한, 도 13의 계단응답을 시간대 별로 그에 해당하는 경우를 구분하여 분석하면 도 14 및 이하의 표 2와 같다. 표 2에서 t는 시간을 나타낸다.

[220] [표 2]

[221]

Time (sec)	Case	Value of torque mode switch
$0 \leq t \leq 5$	Case1	"1"
$5 < t < 6.27$	Case3	"1"
$t = 6.27$	Case4	"0"
$6.27 < t \leq 11.17$	Case3	"0"
$11.17 < t \leq 15$	Case4	"0"

[222] 먼저, 정격풍속 이상과 정격풍속 이하에서의 정상상태를 구분하여 확인해보도록 한다. 정격풍속 이상에서의 정상상태를 설명하면, 0~5초 동안에는 풍속이 13m/s로 정격풍속 이상이므로 발전기의 회전속도는 정격회전속도인 1,500rpm이고 피치각은 약 “6.5도”로 파인피치각보다 크다. 이는 “경우 1”에 해당되고 토크모드스위치(30)의 값은 “1”로 유지된다. 이는 제1실시예의 결과와

동일하다.

- [223] 정격풍속 이하에서의 정상상태를 설명하면, 11.17~15초 동안에는 풍속이 11m/s로 정격풍속 이하이어서 발전기의 회전속도는 1,494rpm으로 정격회전속도보다 작고 피치각은 “0도”로 파인피치각이다. 이는 “경우 4”에 해당되고 토크모드스위치(30)의 값은 “0”으로 유지된다. 이는 제1실시예의 결과와 동일하다.
- [224] 다음으로 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 급격히 떨어질 때 발생하는 과도응답에서의 토크모드스위치(30)의 작동을 확인해 보도록 한다.
- [225] 우선, 풍속이 11m/s로 바뀐 후 5~6.27초 동안의 과도응답을 살펴보면 발전기의 회전속도는 정격회전속도보다 작지만 피치각은 파인피치각보다 크다. 이는 “경우 3”에 해당되므로 토크모드스위치(30)의 값은 “1”과 “0”중에서 판단해야 한다.
- [226] 이 경우 토크모드스위치(30)의 “이전 값”이 “1”이므로 “1”로 판단되어 “1”로 유지된다. 다음으로, 6.27초일 때 피치각이 파인피치각인 “0도”로 떨어진다. 이때 발전기의 회전속도는 정격회전속도보다 작고 피치각은 파인피치각이기 때문에 “경우 4”에 해당되고 토크모드스위치(30)의 값은 “0”으로 바뀐다. 다음으로 6.27~11.17초 동안에는 피치제어기(50)의 동특성 때문에 피치각이 다시 파인피치각보다 커지기 된다.
- [227] 이는 “경우 3”에 해당되므로 토크모드스위치(30)의 값은 “1”과 “0”중에서 판단해야 한다. 이 경우 토크모드스위치(30)의 “이전 값”이 “0”이므로 “0”으로 판단되어 “1”로 바뀌지 않고 “0”으로 유지된다. 이때 발전기의 토크 크기는 정격토크 크기로 급격하게 바뀌지 않으므로 토크채터링을 방지할 수 있다.
- [228] 그러므로 이와 같이 피치각이 파인 피치각인 “0도”로 떨어진 후 피치제어기(50)의 동특성으로 인해 피치각이 “0도” 부근에서 진동하여도, 토크모드스위치(30)의 값을 “이전 값”으로 사용하면 기존 방법의 “경우3”에서 나타나는 토크채터링의 발생을 방지할 수 있게 됨을 알 수 있다.
- [229] 제1실시예의 정격토크유지를 위한 토크모드스위치 제어방법과 제2실시예의 정격토크유지를 위한 토크모드스위치 제어방법을 계단풍속으로 비교한 수치실험 결과는 도 15와 같다. 제2실시예에 따른 정격토크유지를 위한 토크모드스위치(30)의 제어방법을 적용하면 토크채터링이 방지되고 이로 인해 과도응답 특성이 향상됨을 확인할 수 있다.
- [230] 본 발명의 제2실시예에 따른 정격토크유지를 위한 토크모드스위치(30)의 제어방법을 상기와 같은 논리에 따라서 제안된 방법을 Matlab/Simulink로 구현한 것은 도 16과 같다. 이는 여러 가지 구현방법 중 하나이고 로직회로 “AND”와 정수지연(Integer Delay) z^{-1} 을 이용하여 구현되었다. 여기서 z^{-1} 은 “이전 값”을 의미한다.
- [231] 제안된 구현에서 발전기의 회전속도가 정격속도 이상이면 정격출력 이상으로 판단하여 토크모드스위치(30)의 값은 “1”이 된다. 발전기의 회전속도가

정격속도보다 작고 피치각이 파인피치각이면 정격출력 이하로 판단하여 토크모드스위치(30)의 값은 “0”이 된다. 또한 발전기의 회전속도가 정격속도보다 작고 피치각이 파인피치각보다 크면 정수지연(Integer Delay) 기능을 사용하여 토크모드스위치(30)의 값은 “이전 값”이 된다.

- [232] 이하에서는 풍력터빈의 정격토크유지를 위한 토크모드스위치 제어방법에서, 토크채터링 문제 해결여부를 비교한 제1실시예와 제2실시예의 수치실험데이터를 설명하도록 한다.
- [233] 실제와 유사한 풍속인 난류풍속을 사용하여 풍력터빈 제어시스템의 출력성능을 평가하는 것은 매우 중요하다. 풍속이 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 급격히 떨어질 때 발생하는 토크채터링의 문제를 확인하기 위하여 도 17과 같은 난류풍속을 사용하였다. 사용한 난류풍속은 IEC-61400-1의 규정에 따라서 생성되었는데 10분 동안의 평균풍속은 16m/s이고 난류강도는 17.6%이다.
- [234] 도 17에 도시된 바와 같이, 실제 난류풍속은 난류강도가 매우 커서 정격풍속(약 12m/s) 이상에서 정격풍속 이하로 떨어지는 경우가 여러 번 발생하므로 올바른 토크모드스위치(30)의 작동이 중요하다.
- [235] 도 18에서 표시한 것처럼 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 떨어지는 경우는 13.5초(1), 46.1초(2), 56.6초(3), 97.5초(4), 205.9초(5), 228.1초(6), 264.2초(7), 277.8초(8), 376.2초(9), 389.7초(10), 435.2초(11), 489.5초(12), 571.2초(13), 585.6초(14) 부근으로 총 14회 발생하였다. 난류풍속을 이용하여 제1실시예에 따른 토크모드스위치(30)의 제어방법을 적용한 수치실험의 결과는 도 19와 같고 토크채터링을 확인하기 위해 확대하여 표시한 도면은 도 20 및 도 21과 같다.
- [236] 풍속이 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 떨어지는 14회 중에서 세 번을 제외한 총 11회(도 18에서 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13의 경우에 해당하는 시간 부근)에서 피치각이 파인피치각인 “0도”로 떨어졌다. 이때 도 19를 보면 토크채터링이 여러 차례 발생하는 것을 확인할 수 있는데, 피치각이 파인피치각인 “0도”로 떨어지는 11회 중에서 토크채터링은 총 8회(도 18에서 1, 4, 6, 7, 9, 11, 12, 13의 경우에 해당하는 시간 부근) 발생하였다. 그중에 토크채터링의 정도가 큰 경우는 도 20 및 도 21에서 표시한 97.5초(4)와 489.5초(12) 부근에서 발생하였다.
- [237] 또한, 본 발명의 제2실시예에 따른 풍력터빈의 정격토크유지를 위한 토크모드스위치 제어방법을 적용한 수치실험의 결과는 도 22와 같고 토크채터링의 해결 효과를 확인하기 위해 확대하여 표시한 도면은 도 23 및 도 24와 같다. 이 경우에는 풍속이 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 급격히 떨어질 때 발생하는 토크채터링 문제를 방지할 수 있음을 확인할 수 있다.
- [238] 제1실시예에 따른 정격토크유지를 위한 토크모드스위치(30)의 제어방법을 적용한 경우 평균 출력파워는 1.97MW이고, 제2실시예에 따른 정격토크유지를 위한 토크모드스위치 제어방법을 적용한 경우의 평균 출력파워 또한 1.97MW로

동일하다. 그러므로 실제 난류풍속에서 제2실시에 따른 토크모드스위치(30)의 제어방법을 사용하면 제1실시에 따른 토크모드스위치 제어방법의 문제점인 토크채터링의 발생을 방지하면서 동일한 출력파워를 얻을 수 있는 이점이 있음을 알 수 있다.

[239] 따라서 본 발명의 제2실시에 따른 정격토크유지를 위한 토크모드스위치 제어방법에 따르면, 앞서 언급한 바와 같이, 풍력터빈이 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 급격히 떨어질 때 발생하는 토크채터링의 문제를 완전히 해결할 수 있었고, 또한 안정적으로 발전기의 토크크기를 제어할 수 있다.

[240]

[241] <풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법>

[242] 이하에서는 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법에 대해 설명하도록 한다. 즉, 어떠한 경우에 제1모드값(이하 '0') 또는 제2모드값(이하 '1')을 선택하게 되는지 설명하도록 한다.

[243] 본 발명의 제1실시에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법은, 발전기의 회전속도와 피치각에 따라 이하와 같이 네 가지 경우로 나눌 수 있다. 네 가지 경우는 다음과 같다.

[244] “경우1 (Case1)”:

[245] If $\Omega_g \geq \Omega_{grat}$ and $\beta > \beta_{fine}$

[246] 토크모드스위치 모드값 = '1' ($T_g = \frac{P_{grat}}{\Omega_g}$)

[247] “경우2 (Case2)”:

[248] If $\Omega_g \geq \Omega_{grat}$ and $\beta \leq \beta_{fine}$

[249] 토크모드스위치 모드값 = '1' ($T_g = \frac{P_{grat}}{\Omega_g}$)

[250] “경우3 (Case3)”:

[251] If $\Omega_g < \Omega_{grat}$ and $\beta > \beta_{fine}$

[252] 토크모드스위치 모드값 = '1' ($T_g = \frac{P_{grat}}{\Omega_g}$)

[253] “경우4 (Case4)”:

[254] If $\Omega_g < \Omega_{grat}$ and $\beta \leq \beta_{fine}$

[255] 토크모드스위치 모드값 = '0' ($T_g = \text{Lookup Table}$)

[256] 여기서, Ω_g 는 발전기 회전속도, Ω_{grat} 는 발전기 정격회전속도, β 는 블레이드의 피치각, β_{fine} 는 피치각의 파인피치각, T_g 는 발전기의 토크크기, P_{grat} 는 발전기의 정격출력파워이다.

[257] 앞서 언급한 바와 같이, 토크모드스위치(30)의 모드값이 “1”인 경우 발전기의 정격출력파워를 유지함으로써 발전기의 토크크기를 생산시킨다.

토크모드스위치(30)의 모드값이 “0”인 경우 미리 계산된 순람표(Lookup Table)를 사용한다.

- [258] 도 25는 본 발명의 제1실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치와 그 제어방법을 나타낸 블록도를 도시한 것이다. 도 26은 본 발명의 제1실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치(30)의 블록도를 도시한 것이다. 바람에너지가 정격출력 이상일 때는 발전기의 정격출력파워를 유지하도록 토크모드스위치(30)의 값을 “1”로 한다. 바람에너지가 정격출력 이하일 때는 최적모드게인을 이용하여 미리 계산된 순람표(Lookup Table)를 사용하여 발전기 토크를 발생시키도록 토크모드스위치(30)의 값을 “0”으로 한다. 상기의 네 가지 경우를 토크모드스위치(30)로 구현하는 방법은 여러 가지가 가능한데 그 중 하나가 로직회로 “OR”문을 이용하여 구현하는 방법이다.
- [259] 이 구현의 의미는 발전기의 회전속도가 정격회전속도 이상이고 피치각이 파인피치각(Fine Pitch Angle)보다 크면 바람에너지가 정격출력 이상인 경우라고 판단하고 토크모드스위치(30)를 통해 정격 토크크기의 발전기 토크를 발생시킨다. “OR”문의 구현은 도 26과 같다. 이러한 본 발명의 제1실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법을 통하여 난류풍속 등의 영향으로 토크크기가 순간적으로 떨어지는 문제를 방지할 수 있게 된다.
- [260] 그러나, 제1실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법은, 바람에너지가 정격출력 이상에서 바람에너지가 정격출력 이하로 떨어질 때 발전기의 토크크기에서 토크채터링이 발생하는 문제를 가지고 있다.
- [261] 이러한 토크채터링의 문제를 해결하기 위하여 우선 토크채터링이 발생하는 이유를 분석해 보기 위해, 2MW 풍력터빈을 예시로 설명하고자 한다. 풍력터빈의 수치실험 시 토크채터링이 발생하는 이유를 분석하기 위하여 계단풍속을 이용하였다. 도 27은 계단풍속을 나타낸 시간에 대한 풍속 그래프를 도시한 것이다.
- [262] 2MW 풍력터빈의 바람에너지가 정격출력은 약 12m/s(11.7m/s)이고 발전기의 정격회전속도는 1,500rpm이다. 풍력터빈의 바람에너지가 정격출력 이상에서 정격출력 이하로 급격하게 떨어지는 경우의 분석을 위하여 도 27에 도시된 바와 같이 13m/s에서 11m/s로 변하는 계단풍속을 사용하였다. 그 실험의 결과는 도 28과 도 30에 도시된 바와 같다. 도면 27에서 V는 풍속이다.
- [263] 먼저, 바람에너지가 정격출력 이상과 정격출력 이하에서의 정상상태를 구분하여 확인해보면, 그 수치실험 결과는 도 28과 같다. 도 28에서 P_g 는 발전기의 출력파워, T_g 는 발전기의 토크 크기, Ω_g 는 발전기의 회전속도, β 는 블레이드의 피치각이다. 도 30은 블레이드 피치각의 전체 범위를 보여준다. 도 28의 계단응답을 시간대 별로 그에 해당하는 경우(Case)를 구분하여 분석하면 도

29 및 이하의 표 3과 같다. 표 3에서 t는 시간을 나타낸다.

[264] [표 3]

[265]

Time (sec)	Case	Value of torque mode switch
$0 \leq t \leq 5$	Case1	"1"
$5 < t < 6.2$	Case3	"1"
$t = 6.2$	Case4	"0"
$6.2 < t \leq 7.51$	Case3 or Case4	"0" or "1"
$7.51 < t \leq 15$	Case4	"0"

[266] 바람에너지가 정격출력 이상에서의 정상상태를 설명하면, 0~5초 동안에는 풍속이 13m/s로 정격출력 이상이어서 발전기의 회전속도는 정격회전속도인 1,500rpm이다. 이때 정격출력을 유지하기 위해서는 블레이드에서 발생하는 공력토크를 줄여야한다.

[267]

[268] *블레이드의 피치각이 과인피치각인 "0도"보다 커지면 공력토크는 줄어드는데, 풍속이 13m/s인 경우 피치각의 정상상태 값은 도 10에 도시된 바와 같이, 약 "6.5도"로 유지된다. 이때의 토크모드스위치(30)는 "경우 1"에 해당되고 정격출력파워를 유지함으로써 발전기의 토크크기를 발생시킨다.

[269] 바람에너지가 정격출력 이하에서의 정상상태를 설명하면, 7.51~15초 동안에는 풍속이 11m/s로 바람에너지가 정격출력 이하이어서 발전기의 회전속도는 정격회전속도보다 작은 1,494rpm이다. 그리고 바람에너지가 정격출력 이하로 떨어지기 때문에 더 많은 공력토크를 얻기 위하여 피치각이 과인피치각인 "0도"로 떨어진 후 유지된다. 이때의 토크모드스위치(30)는 "경우 4"에 해당되고 발전기의 토크크기는 발전기의 회전속도에 따라 발전기의 토크크기를 조절한다.

[270] 다음으로 바람에너지가 정격출력 이상에서 정격출력 이하로 급격히 떨어질 때 과도응답으로 인해 발생하는 토크채터링의 문제점을 확인해보도록 한다.

[271] 5~7.51초 동안에는 공력토크와 발전기 토크가 바뀌면 발전기의 회전속도가 변하는데 이에 따라서 풍력터빈의 동특성으로 인해 과도응답이 발생한다. 그러나 바람에너지가 정격출력 이하에서는 발전기의 회전속도가 항상 정격회전속도 이하이므로 토크채터링의 발생과는 상관이 없다. 블레이드 피치각 또한 피치제어기(50)의 동특성으로 인해 과도응답이 발생하는데, 피치각이 과인피치각인 "0도"로 되는 6.2초에서 바로 멈추지 않고 6.2초 이후에

“0도”를 중심으로 몇 차례 진동한 후에 “0도”로 유지된다. “0도”를 중심으로 진동할 때 피치각은 피치각 제한장치로 인해 파인피치각의 최솟값인 “0도”보다 작아지지는 않지만 “0도”보다 조금 커지는 경우가 발생하여 토크채터링에 영향을 미치게 된다.

- [272] 이러한 현상으로 인해 토크모드스위치(30)는 바람에너지가 정격출력 이상에서 정격출력 이하로 급격하게 떨어질 때 “경우 1”에서 “경우 4”로 바뀐 후 “경우 4”의 상태가 지속적으로 유지되지 않고 피치각이 파인피치각인 “0도”보다 큰 경우가 발생하여 다시 “경우 3”으로 바뀌고 또 다시 “경우 4”로 바뀌는 현상을 반복한다. 이때 “경우 3”에서는 정격출력파워를 유지시키고 “경우 4”에서는 발전기의 회전속도에 따라 발전기의 토크크기를 조절하는데, “경우 3”과 “경우 4”가 짧은 시간에 반복되는 현상 때문에 토크크기가 급격히 바뀌어 토크채터링이 발생된다.
- [273] 도 28은 풍속이 13m/s에서 11m/s로 급격히 바뀐 후 피치각 “0도”로 떨어지는 시점에서부터 약 1.3초 동안 토크채터링이 발생함을 보여준다. 이때 피치각은 약 1.3초 동안 “0~0.02도”사이에서 매우 작은 진동이 여러 번 발생한 후에 “0도”로 유지되는 것을 확인할 수 있다.
- [274] 상기와 같은 이유로 발생한 토크채터링의 문제는 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치(30)의 “경우3”에서 나타나는 현상이므로 “경우3”을 보완할 필요성이 있다.
- [275] 이하에서 설명되는 본 발명의 제2실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법은 제1실시예에서 나타난 토크채터링 문제를 해결하기 위한 것이다. 본 발명의 제2실시예에 따라 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치를 제어할 때 제1실시예와 동일하게 발전기의 회전속도와 블레이드의 피치각 두 가지 정보를 모두 고려한다.
- [276] 앞서 언급한 바와 같이, 제1실시예를 적용하면 바람에너지가 정격출력 이상에서 정격출력 이하로 급격히 떨어질 때 피치각은 피치제어기(50)의 동특성으로 인해 발생하는 토크채터링 때문에 파인피치각인 “0도”를 중심으로 변동하는 매우 작은 진동이 발생한다.
- [277] 앞서 언급한 바와 같이, 발전기의 회전속도가 정격회전속도보다 작은 경우에 블레이드의 피치각이 “0도” 부근에서 진동하게 되면 토크모드스위치(30)의 네 가지 경우 중 “경우 3”으로 인해 토크채터링이 발생한다. 풍력터빈이 정격출력 이상에서 정격출력 이하로 급격히 떨어질 때 피치각이 “0도”부근에서 진동하는 현상은 물리적으로 피할 수 없지만 “경우 3”의 토크모드스위치(30) 값은 제어가 가능하다.
- [278] 토크채터링을 방지하기 위하여 토크채터링의 발생과 관련이 있는 “경우 3”에서는 토크모드스위치(30)의 값을 항상 “1”로 사용하는 대신에 “1” 또는 “0”을 사용하는 것이 필요하다. “1” 과 “0”을 결정하기 위한 판단이 필요한데, 토크모드스위치(30)의 “이전 값”을 사용하면 “0” 과 “1”을 판단할 수 있다.

[279] 토크채터링 문제를 해결하기 위해 제안되는 본 발명의 제2실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법은 다음과 같다. 발전기의 회전속도와 피치각에 따라서 네 가지 경우로 나눌 수 있다.

[280] “경우 1 (Case1)”:

[281] If $\Omega_g \geq \Omega_{grat}$ and $\beta > \beta_{fine}$

[282] 토크모드스위치 모드값 = ‘1’ ($T_g = \frac{P_{grat}}{\Omega_g}$)

[283] “경우 2 (Case2)”:

[284] If $\Omega_g \geq \Omega_{grat}$ and $\beta \leq \beta_{fine}$

[285] 토크모드스위치 모드값 = ‘1’ ($T_g = \frac{P_{grat}}{\Omega_g}$)

[286] “경우 3 (Case3)”:

[287] If $\Omega_g < \Omega_{grat}$ and $\beta > \beta_{fine}$

[288] 토크모드스위치 모드값(k) = 토크모드스위치 모드값(k-1)

[289] (‘1’ 또는 ‘0’)

[290] ($T_g = \frac{P_{grat}}{\Omega_g}$ 또는 $T_g = \text{Lookup Table}$)

[291] “경우 4 (Case4)”:

[292] If $\Omega_g < \Omega_{grat}$ and $\beta \leq \beta_{fine}$

[293] 토크모드스위치 모드값 = ‘0’ ($T_g = \text{Lookup Table}$)

[294] 여기서 k는 “현재 상태”이고 k-1은 “이전 상태”를 의미한다.

[295] “경우3”에서 토크모드스위치(30)의 “이전 상태”를 사용한 결과에 대해 바람에너지가 정격출력 이상에서 정격출력 이하로 떨어지는 도 27의 계단풍속에 대하여 동일하게 살펴보도록 한다. 수치실험 결과는 도 31과 같다. 또한, 도 31의 계단응답을 시간대 별로 그에 해당하는 경우를 구분하여 분석하면 도 32 및 이하의 표 4와 같다. 표 4에서 t는 시간을 나타낸다.

[296] [표 4]

[297]

Time (sec)	Case	Value of torque mode switch
$0 \leq t \leq 5$	Case1	"1"
$5 < t < 6.2$	Case3	"1"
$t = 6.2$	Case4	"0"
$6.2 < t \leq 11.21$	Case3	"0"
$11.21 < t \leq 15$	Case4	"0"

- [298] 먼저, 바람에너지가 정격출력 이상과 정격출력 이하에서의 정상상태를 구분하여 확인해보도록 한다. 바람에너지가 정격출력 이상에서의 정상상태를 설명하면, 0~5초 동안에는 풍속이 13m/s로 정격출력 이상이므로 발전기의 회전속도는 정격회전속도인 1,500rpm이고 피치각은 약 “6.5도”로 파인피치각보다 크다. 이는 “경우 1”에 해당되고 토크모드스위치(30)의 값은 “1”로 유지된다. 이는 제1실시예의 결과와 동일하다.
- [299] 바람에너지가 정격출력 이하에서의 정상상태를 설명하면, 11.21~15초 동안에는 풍속이 11m/s로 바람에너지가 정격출력 이하이어서 발전기의 회전속도는 1,494rpm으로 정격회전속도보다 작고 피치각은 “0도”로 파인피치각이다. 이는 “경우 4”에 해당되고 토크모드스위치(30)의 값은 “0”으로 유지된다. 이는 제1실시예의 결과와 동일하다.
- [300] 다음으로 바람에너지가 정격출력 이상에서 정격출력 이하로 급격히 떨어질 때 발생하는 과도응답에서의 토크모드스위치(30)의 작동을 확인해 보도록 한다.
- [301] 우선, 풍속이 11m/s로 바뀐 후 5~6.2초 동안의 과도응답을 살펴보면 발전기의 회전속도는 정격회전속도보다 작지만 피치각은 파인피치각보다 크다. 이는 “경우 3”에 해당되므로 토크모드스위치(30)의 값은 “1” 과 “0”중에서 판단해야한다.
- [302] 이 경우 토크모드스위치(30)의 “이전 값”이 “1”이므로 “1”로 판단되어 “1”로 유지된다. 다음으로, 6.2초일 때 피치각이 파인피치각인 “0도”로 떨어진다. 이때 발전기의 회전속도는 정격회전속도보다 작고 피치각은 파인피치각이기 때문에 “경우 4”에 해당되고 토크모드스위치(30)의 값은 “0”으로 바뀐다. 다음으로 6.2~11.21초 동안에는 피치제어기(50)의 동특성 때문에 피치각이 다시 파인피치각보다 커지기 된다.
- [303] 이는 “경우 3”에 해당되므로 토크모드스위치(30)의 값은 “1” 과 “0” 중에서 판단해야한다. 이 경우 토크모드스위치(30)의 “이전 값”이 “0”이므로 “0”으로 판단되어 “1”로 바뀌지 않고 “0”으로 유지된다. 이때 발전기의 토크 크기는 정격출력파워로 급격하게 바뀌지 않으므로 토크채터링을 방지할 수 있다.
- [304] 그러므로 이와 같이 피치각이 파인 피치각인 “0도”로 떨어진 후 피치제어기(50)의 동특성으로 인해 피치각이 “0도” 부근에서 진동하여도, 토크모드스위치(30)의 값을 “이전 값”으로 사용하면 기존 방법의 “경우3”에서 나타나는 토크채터링의 발생을 방지할 수 있게 됨을 알 수 있다.
- [305] 제1실시예의 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법과 제2실시예의 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법을 계단풍속으로 비교한 수치실험 결과는 도 33과 같다. 제2실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법을 적용하면 토크채터링이 방지되고 이로 인해 과도응답 특성이 향상됨을 확인할 수 있다.
- [306] 본 발명의 제2실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한

토크모드스위치 제어방법을 상기와 같은 논리에 따라서 제안된 방법을 Matlab/Simulink로 구현한 것은 도 34와 같다. 이는 여러 가지 구현방법 중 하나이고 로직회로 “AND”와 정수지연(Integer Delay) 기능을 이용하여 구현되었다. 여기서 z^{-1} 은 “이전 값”을 의미한다.

- [307] 제안된 구현에서 발전기의 회전속도가 정격속도 이상이면 정격출력 이상으로 판단하여 토크모드스위치(30)의 값은 “1”이 된다. 발전기의 회전속도가 정격속도보다 작고 피치각이 파인피치각이면 정격출력 이하로 판단하여 토크모드스위치(30)의 값은 “0”이 된다. 또한 발전기의 회전속도가 정격속도보다 작고 피치각이 파인피치각보다 크면 정수지연(Integer Delay) 기능을 사용하여 토크모드스위치(30)의 값은 “이전 값”이 된다.
- [308] 이하에서는 토크채터링 문제 해결여부를 비교한 풍력터빈의 정격출력과 위 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 제1실시예와 제2실시예 간의 비교데이터를 설명하도록 한다. 실제와 유사한 풍속인 난류풍속을 사용하여 풍력터빈 제어시스템의 출력성능을 평가하는 것은 매우 중요하다. 바람에너지가 정격출력 이상에서 정격출력 이하로 급격히 떨어질 때 발생하는 토크채터링의 문제를 확인하기 위하여 도 35와 같은 난류풍속을 사용하였다. 사용한 난류풍속은 IEC-61400-1의 규정에 따라서 생성되었는데 10분 동안의 평균풍속은 16m/s이고 난류강도는 17.6%이다.
- [309] 도 35에 도시된 바와 같이, 실제 난류풍속은 난류강도가 매우 커서 정격풍속(약 12m/s) 이상에서 정격풍속 이하로 떨어지는 경우가 여러 번 발생하므로 올바른 토크모드스위치(30)의 작동이 중요하다.
- [310] 도 36에서 표시한 것처럼 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 떨어지는 경우는 13.5초(1), 46.1초(2), 56.6초(3), 97.5초(4), 205.9초(5), 228.1초(6), 264.2초(7), 277.8초(8), 376.2초(9), 389.7초(10), 435.2초(11), 489.5초(12), 571.2초(13), 585.6초(14) 부근으로 총 14회 발생하였다. 난류풍속을 이용하여 제1실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력과 위 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법을 적용한 수치실험의 결과는 도 37과 같고 토크채터링을 확인하기 위해 확대하여 표시한 도면은 도 38 및 도 39와 같다.
- [311] 풍속이 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 떨어지는 14회 중에서 세 번을 제외한 총 11회(도 36에서 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13의 경우에 해당하는 시간 부근)에서 피치각이 파인피치각인 “0도”로 떨어졌다. 이때 도 37을 보면 토크채터링이 여러 차례 발생하는 것을 확인할 수 있는데, 피치각이 파인피치각인 “0도”로 떨어지는 11회 중에서 토크채터링은 총 8회(도 36에서 1, 4, 6, 7, 9, 11, 12, 13의 경우에 해당하는 시간 부근) 발생하였다. 그중에 토크채터링의 정도가 큰 경우는 도 38 및 도 39에서 표시한 97.5초(4)와 435.2초(11) 부근에서 발생하였다.
- [312] 또한, 본 발명의 제2실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력과 위 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법을 적용한 수치실험의 결과는 도 40과 같고

토크채터링의 해결 효과를 확인하기 위해 확대하여 표시한 도면은 도 41 및 도 42과 같다. 이 경우에는 풍속이 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 급격히 떨어질 때 발생하는 토크채터링 문제를 방지하여 안정적으로 정격출력파워를 유지할 수 있음을 알 수 있다.

- [313] 제1실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법을 적용한 경우 평균 출력파워는 1.97MW이고, 제2실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법을 적용한 경우의 평균 출력파워 또한 1.97MW로 동일하다. 그러므로 실제 난류풍속에서 제2실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법을 사용하면 제1실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법의 문제점인 토크채터링의 발생을 방지하면서 동일한 출력파워를 얻을 수 있는 이점이 있음을 알 수 있다.
- [314] 따라서 본 발명의 제2실시예에 따른 풍력터빈의 정격출력파워 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법에 의하면, 앞서 언급한 바와 같이, 풍력터빈이 정격풍속 이상에서 정격풍속 이하로 급격히 떨어질 때 발생하는 토크채터링의 문제를 완전히 해결할 수 있었고, 또한 안정적으로 정격출력파워를 유지하면서 발전기의 토크크기를 제어할 수 있다.
- [315]
- [316] 또한, 상기와 같이 설명된 장치 및 방법은 상기 설명된 실시예들의 구성과 방법이 한정되게 적용될 수 있는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.

청구범위

[청구항 1] 발전기 회전속도를 실시간으로 측정하는 회전속도 측정부;
 블레이드의 피치 명령각을 실시간으로 계산하는 피치제어기;
 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정하는 피치각
 제한장치부;
 상기 회전속도 측정부에서 측정된 회전속도와 피치제어기와 피치각
 제한장치부에서 결정된 피치각을 기준으로, 모드값을 선택하는
 토크모드스위치; 및
 상기 토크모드스위치에서 선택된 모드값에 따라 발전기의 토크를
 제어하는 토크제어기를 포함하고,
 상기 토크모드스witch는 상기 회전속도와 상기 피치각을 기준으로
 정격풍속이하라고 판단되면 제1모드값을 선택하고, 정격풍속이상이라고
 판단되면 제2모드값을 선택하며,
 상기 토크제어기는, 상기 제1모드값의 경우, 기 연산된 회전속도에 따른
 토크값으로 상기 발전기토크를 제어하고, 상기 제2모드값의 경우,
 정격토크크기로 상기 발전기 토크를 제어하고,
 상기 토크모드스witch는, 상기 회전속도가 정격회전속도 이상이고 상기
 피치각이 파인피치각을 초과하는 경우 상기 제2모드값을 선택하고, 상기
 회전속도가 정격회전속도 이상이고, 상기 피치각이 파인피치각 이하인
 경우 상기 제2모드값을 선택하며, 상기 회전속도가 정격회전속도
 미만이고, 상기 피치각이 파인피치각을 초과하는 경우, 이전 선택된
 모드값을 그대로 선택하고, 상기 회전속도가 정격회전속도 미만이고,
 상기 피치각이 파인피치각 이하인 경우 제1모드값을 선택하는 것을
 특징으로 하는 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치
 제어시스템.

[청구항 2] 제 1항에 있어서,
 상기 기 연산된 회전속도에 따른 토크값은 이하의 수학식 1과 수학식 2에
 의해 연산되는 것을 특징으로 하는 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한
 토크모드스위치 제어시스템:

[수학식 1]

$$T_g(t) = K_{opt} \Omega_g^2(t)$$

[수학식 2]

$$K_{opt} = \frac{\rho \pi R^5}{2 \lambda_{opt}^3 N_{gb}^3} C_{P,max}$$

Ω_g 는 발전기 회전속도, $T_g(t)$ 는 제1모드값에서 제어되는 발전기 토크, K_{opt}
 는 최적모드게인, $C_{P,max}$ 는 최대출력계수, λ_{opt} 는 최적주속비, R 은 블레이드

길이, ρ 은 공기밀도, N_{gb} 는 기어비이다.

[청구항 3]

제 1항에 있어서,

상기 회전속도가 정격회전속도 이하인 경우 피치각을 파인피치각으로 유지하고, 피치제어기는 회전속도가 정격회전속도를 초과하는 경우 상기 회전속도와 상기 정격회전속도의 오차를 기반으로 상기 피치 명령각을 연산하고, 상기 피치각 제한장치부는 기설정된 최소피치각과 최대피치각 사이로 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정하는 것을 특징으로 하는 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어시스템.

[청구항 4]

정격회전속도와, 파인피치각, 정격토크크기를 설정하는 단계;

회전속도 측정부가 발전기 회전속도를 실시간으로 측정하고,

피치제어기가 블레이드의 피치 명령각을 실시간으로 계산하고, 피치각 제한장치부가 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정하는 단계;

토크모드스위치가 상기 회전속도 측정부에서 측정된 회전속도와 피치제어기와 피치각 제한장치부에서 결정된 피치각을 기준으로, 모드값을 선택하는 단계; 및

토크제어기가 상기 토크모드스위치에서 선택된 모드값에 따라 발전기의 토크를 제어하는 단계;를 포함하고,

상기 선택하는 단계에서, 상기 토크모드스위치는 상기 회전속도와 상기 피치각을 기준으로 정격풍속이하라고 판단되면 제1모드값을 선택하고, 정격풍속이상이라고 판단되면 제2모드값을 선택하며,

상기 제어하는 단계에서, 상기 토크제어기는 상기 제1모드값의 경우, 기 연산된 회전속도에 따른 토크값으로 상기 발전기토크를 제어하고, 상기 제2모드값의 경우, 정격토크크기로 상기 발전기 토크를 제어하고,

상기 선택하는 단계에서, 상기 토크모드스위치는, 상기 회전속도가 정격회전속도 이상이고 상기 피치각이 파인피치각을 초과하는 경우 상기 제2모드값을 선택하고, 상기 회전속도가 정격회전속도 이상이고, 상기 피치각이 파인피치각 이하인 경우 상기 제2모드값을 선택하며, 상기 회전속도가 정격회전속도 미만이고, 상기 피치각이 파인피치각을 초과하는 경우, 이전 선택된 모드값을 그대로 선택하고, 상기 회전속도가 정격회전속도 미만이고, 상기 피치각이 파인피치각 이하인 경우 제1모드값을 선택하는 것을 특징으로 하는 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법.

[청구항 5]

제 4항에 있어서,

상기 기 연산된 회전속도에 따른 토크값은 이하의 수학식 1과 수학식 2에 의해 연산되는 것을 특징으로 하는 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법:

[수학식 1]

$$T_g(t) = K_{opt} \Omega_g^2(t)$$

[수학식 2]

$$K_{opt} = \frac{\rho \pi R^5}{2 \lambda_{opt}^3 N_{gb}^3} C_{P,max}$$

수학식 1에서, Ω_g 는 발전기 회전속도, $T_g(t)$ 는 제1모드값에서 제어되는 발전기 토크, K_{opt} 는 최적모드계인이고, 수학식 2에서, $C_{P,max}$ 는 최대출력계수, λ_{opt} 는 최적주속비, R 은 블레이드 길이, ρ 은 공기밀도, N_{gb} 는 기어비이다.

[청구항 6]

제 4항에 있어서,

상기 회전속도가 정격회전속도 이하인 경우 피치각을 파인피치각으로 유지하고, 피치제어기는 회전속도가 정격회전속도를 초과하는 경우 상기 회전속도와 상기 정격회전속도의 오차를 기반으로 상기 피치 명령각을 연산하고, 상기 피치각 제한장치부는 기설정된 최소피치각과 최대피치각 사이로 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정하는 것을 특징으로 하는 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법.

[청구항 7]

발전기 회전속도를 실시간으로 측정하는 회전속도 측정부;

블레이드의 피치 명령각을 실시간으로 계산하는 피치제어기;

피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정하는 피치각 제한장치부;

상기 회전속도 측정부에서 측정된 회전속도와 피치제어기와 피치각 제한장치부에서 결정된 피치각을 기준으로, 바람에너지가

정격출력미만이라고 판단되면 제1모드값을 선택하고,

정격출력이상이라고 판단되면 제2모드값을 선택하는 토크모드스위치;

및

상기 토크모드스위치에서 선택된 모드값이 상기 제1모드값의 경우, 기 연산된 회전속도에 따른 토크값으로 발전기 토크크기를 제어하고, 상기

제2모드값의 경우, 정격출력파워로 일정하게 유지되는 발전기

토크크기로 상기 발전기 토크를 제어하는 토크제어기를 포함하고,

상기 제2모드값이 선택된 경우 발전기를 제어하게 되는 발전기

토크크기는 이하의 수학식 4로 정의되며,

상기 토크모드스위치는, 상기 회전속도가 정격회전속도 이상이고 상기

피치각이 파인피치각을 초과하는 경우 상기 제2모드값을 선택하고, 상기

회전속도가 정격회전속도 이상이고, 상기 피치각이 파인피치각 이하인

경우 상기 제2모드값을 선택하며, 상기 회전속도가 정격회전속도

미만이고, 상기 피치각이 파인피치각을 초과하는 경우, 이전 선택된

모드값을 그대로 선택하고, 상기 회전속도가 정격회전속도 미만이고, 상기 피치각이 파인피치각 이하인 경우 제1모드값을 선택하는 것을 특징으로 하는 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어시스템:

[수학식 4]

$$T_g(t) = \frac{P_{grat}}{\Omega_g(t)}$$

수학식 4에서, P_{grat} 는 정격출력파워이고, Ω_g 는 발전기 회전속도이다.

[청구항 8]

제 7항에 있어서,

상기 기 연산된 회전속도에 따른 토크값은 이하의 수학식 1과 수학식 2에 의해 연산되는 것을 특징으로 하는 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어시스템:

[수학식 1]

$$T_g(t) = K_{opt} \Omega_g^2(t)$$

[수학식 2]

$$K_{opt} = \frac{\rho \pi R^5}{2 \lambda_{opt}^3 N_{gb}^3} C_{P,max}$$

수학식 1에서 Ω_g 는 발전기 회전속도, $T_g(t)$ 는 제1모드값에서 제어되는 발전기 토크, K_{opt} 는 최적모드계수이고, 수학식 2에서 $C_{P,max}$ 는 최대출력계수, λ_{opt} 는 최적주속비, R 은 블레이드 길이, ρ 은 공기밀도, N_{gb} 는 기어비이다.

[청구항 9]

제 7항에 있어서,

상기 회전속도가 정격회전속도 이하인 경우 피치각을 파인피치각으로 유지하고, 피치제어기는 회전속도가 정격회전속도를 초과하는 경우 상기 회전속도와 상기 정격회전속도의 오차를 기반으로 상기 피치 명령각을 연산하고, 상기 피치각 제한장치부는 기설정된 최소피치각과 최대피치각 사이로 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정하는 것을 특징으로 하는 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어시스템.

[청구항 10]

정격출력파워와, 정격회전속도와, 파인피치각을 설정하는 단계;

회전속도 측정부가 발전기 회전속도를 실시간으로 측정하고,

피치제어기가 블레이드의 피치 명령각을 실시간으로 계산하고, 피치각 제한장치부가 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정하는 단계;

토크모드스위치가 상기 회전속도 측정부에서 측정된 회전속도와 상기 피치제어기와 상기 피치각 제한장치부에서 결정된 피치각을 기준으로,

모드값을 선택하는 단계; 및
 토크제어기가 상기 토크모드스위치에서 선택된 모드값에 따라 발전기의 토크를 제어하는 단계;를 포함하고,
 상기 선택하는 단계에서, 상기 토크모드스witch는 상기 회전속도와 상기 피치각을 기준으로 바람에너지가 정격출력이하라고 판단되면 제1모드값을 선택하고, 정격출력이상이라고 판단되면 제2모드값을 선택하며,
 상기 제어하는 단계에서, 상기 토크제어기는, 상기 제1모드값의 경우, 기연산된 회전속도에 따른 토크값으로 상기 발전기 토크크기를 제어하고, 상기 제2모드값의 경우, 정격출력파워로 일정하게 유지되는 발전기 토크크기로 상기 발전기 토크를 제어하며,
 상기 제2모드값이 선택된 경우 발전기를 제어하게 되는 발전기 토크크기는 이하의 수학식 4로 정의되고,
 상기 선택하는 단계에서, 상기 토크모드스witch는, 상기 회전속도가 정격회전속도 이상이고 상기 피치각이 파인피치각을 초과하는 경우 상기 제2모드값을 선택하고, 상기 회전속도가 정격회전속도 이상이고, 상기 피치각이 파인피치각 이하인 경우 상기 제2모드값을 선택하며, 상기 회전속도가 정격회전속도 미만이고, 상기 피치각이 파인피치각을 초과하는 경우, 이전 선택된 모드값을 그대로 선택하고, 상기 회전속도가 정격회전속도 미만이고, 상기 피치각이 파인피치각 이하인 경우 제1모드값을 선택하는 것을 특징으로 하는 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법:

[수학식 4]

$$T_g(t) = \frac{P_{grat}}{\Omega_g(t)}$$

수학식 4에서, P_{grat} 는 정격출력파워이고, Ω_g 는 발전기 회전속도이다.

[청구항 11]

제 10항에 있어서,

상기 기연산된 회전속도에 따른 토크값은 이하의 수학식 1과 수학식 2에 의해 연산되는 것을 특징으로 하는 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법:

[수학식 1]

$$T_g(t) = K_{opt} \Omega_g^2(t)$$

[수학식 2]

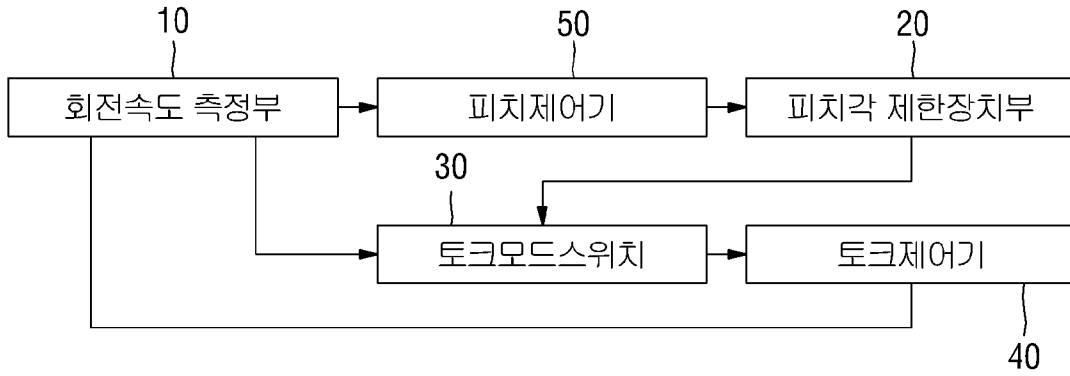
$$K_{opt} = \frac{\rho \pi R^5}{2 \lambda_{opt}^3 N_{gb}^3} C_{P,max}$$

수학식 1에서, Ω_g 는 발전기 회전속도, $T_g(t)$ 는 제1모드값에서 제어되는

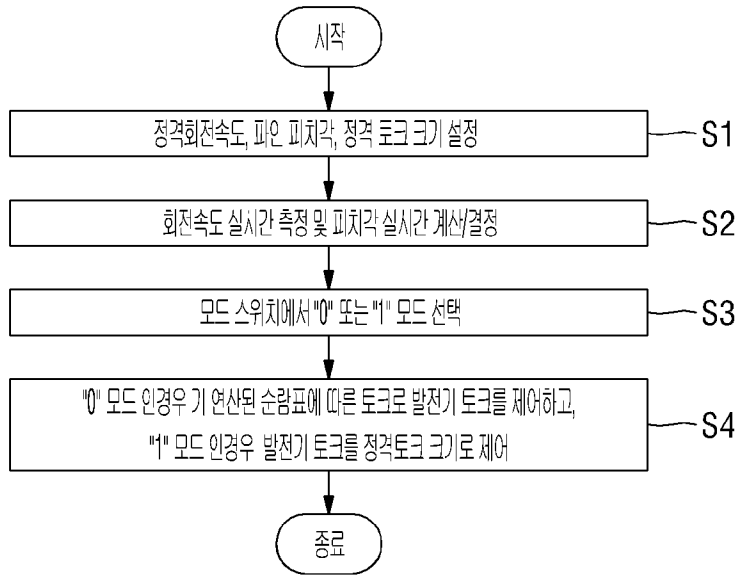
발전기 토크, K_{opt} 는 최적모드계인이고 수학식 2에서, $C_{P,max}$ 는 최대출력계수, λ_{opt} 는 최적주속비, R 은 블레이드 길이, ρ 은 공기밀도, N_{gb} 는 기어비이다.

- [청구항 12] 제 10항에 있어서,
 상기 회전속도가 정격회전속도 이하인 경우 피치각을 파인피치각으로 유지하고, 피치제어기는 회전속도가 정격회전속도를 초과하는 경우 상기 회전속도와 상기 정격회전속도의 오차를 기반으로 상기 피치 명령각을 연산하고, 상기 피치각 제한장치부는 기설정된 최소피치각과 최대피치각 사이로 피치 명령각을 제한하여 실제 블레이드의 피치각을 결정하는 것을 특징으로 하는 풍력터빈의 정격출력 유지를 위한 토크모드스위치 제어방법.

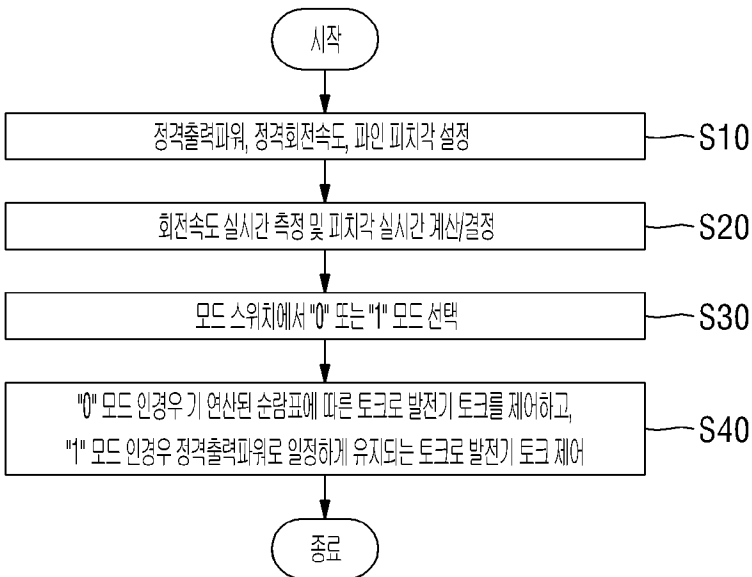
[도1]



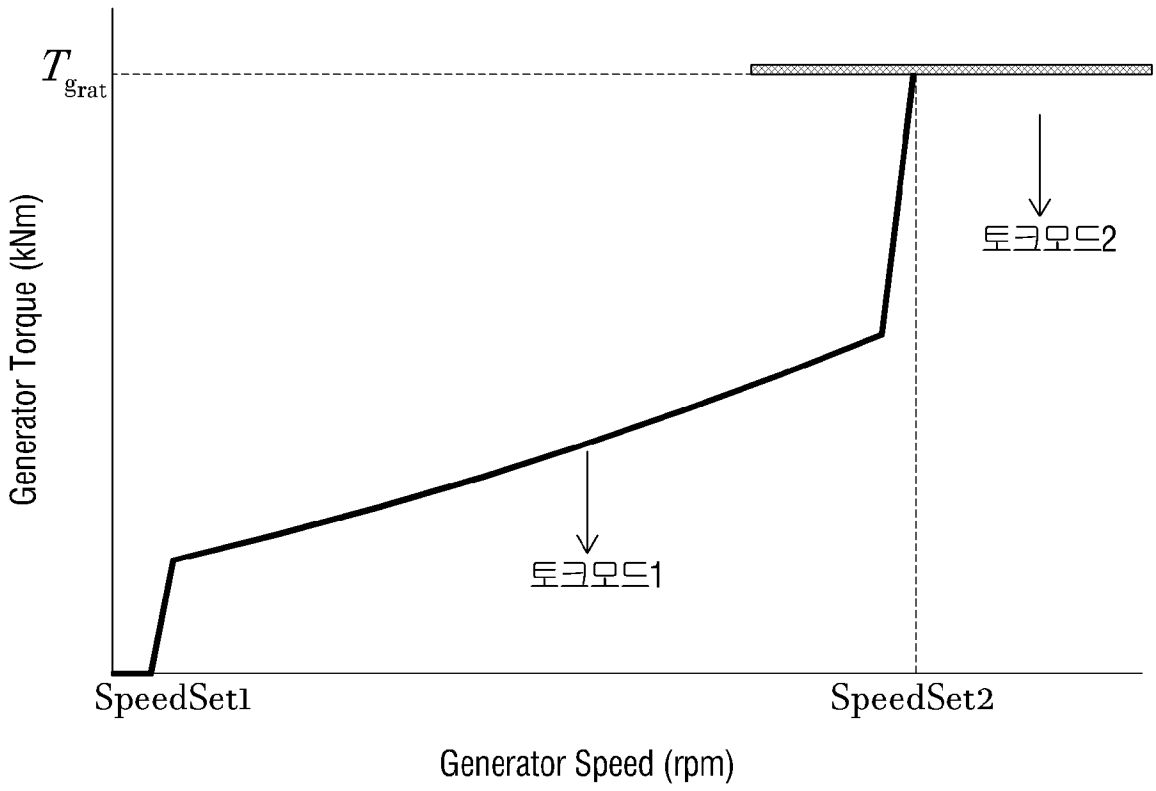
[도2]



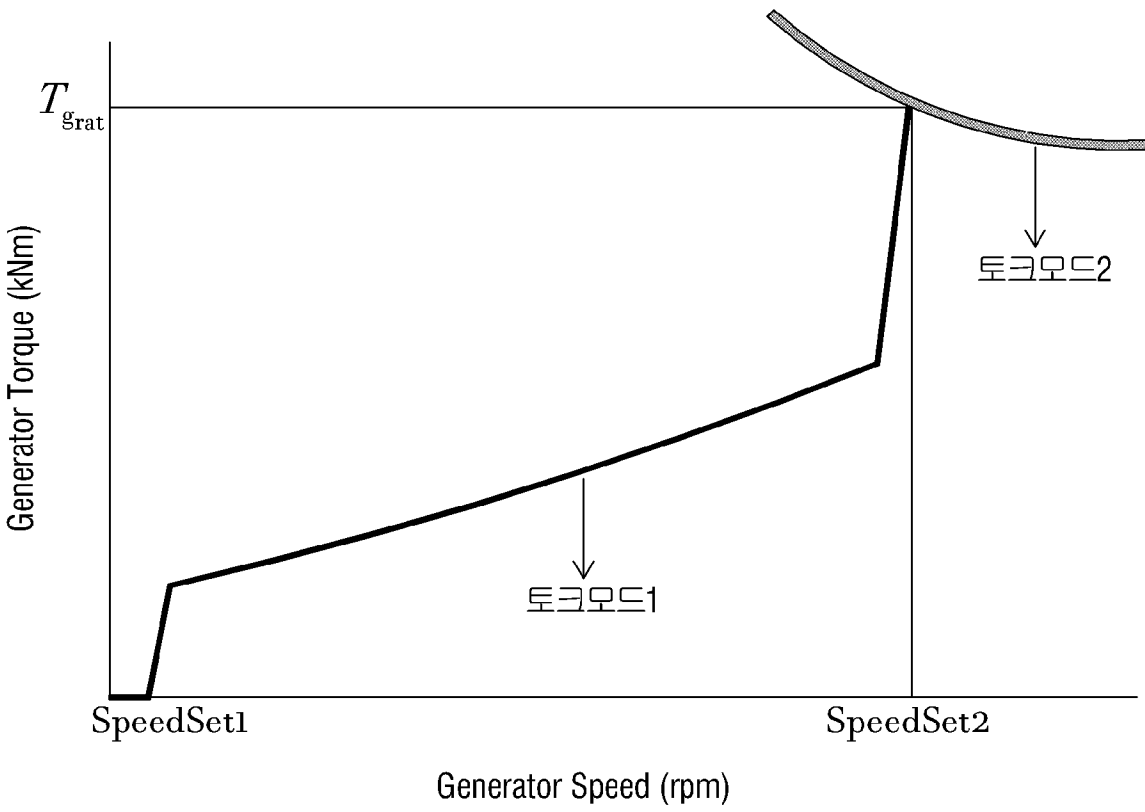
[도3]



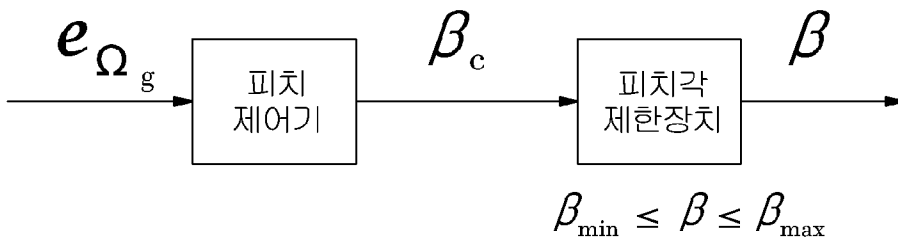
[도4]



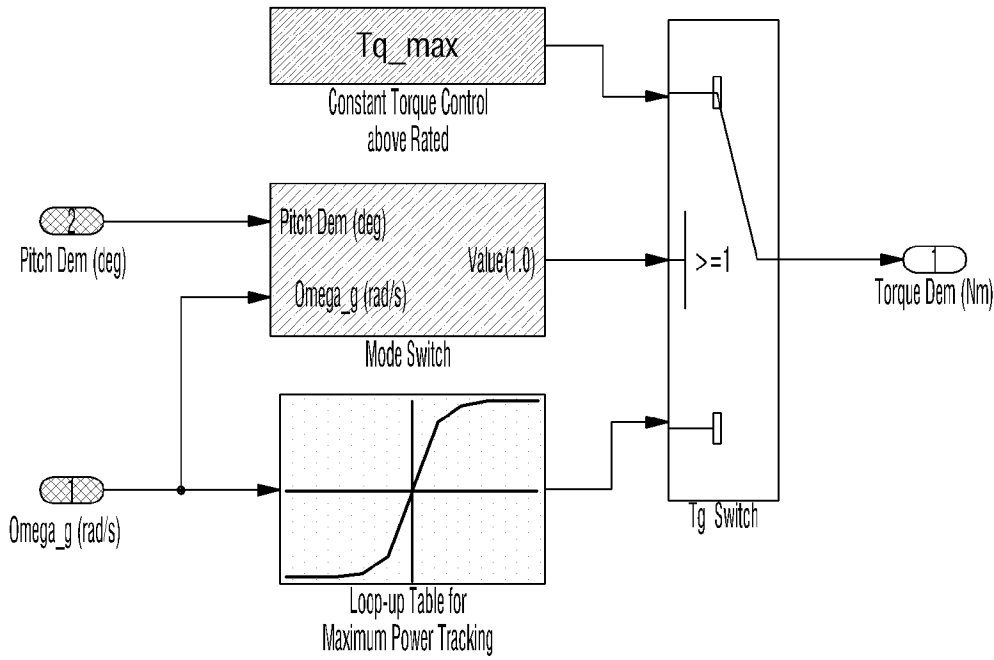
[도5]



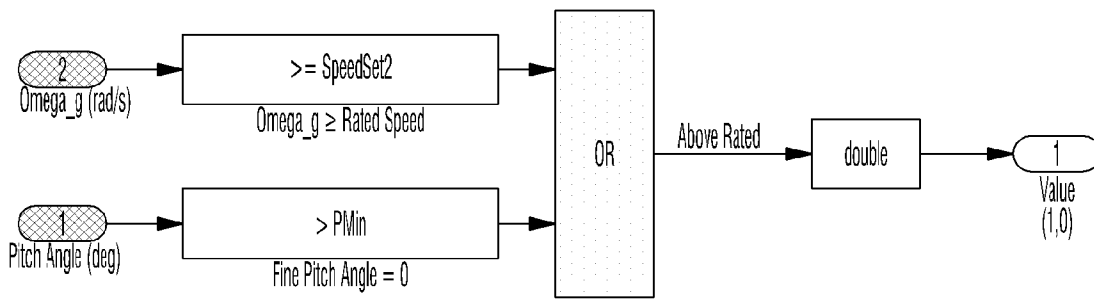
[도6]



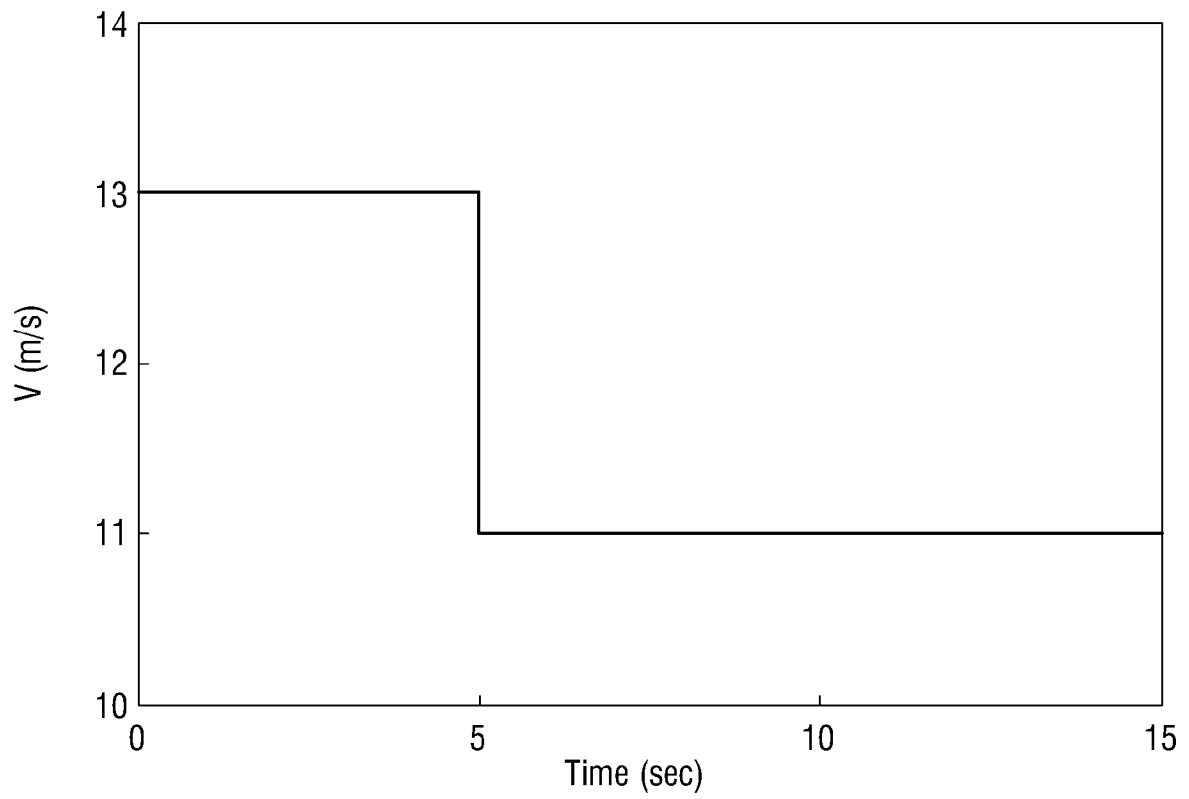
[도7]



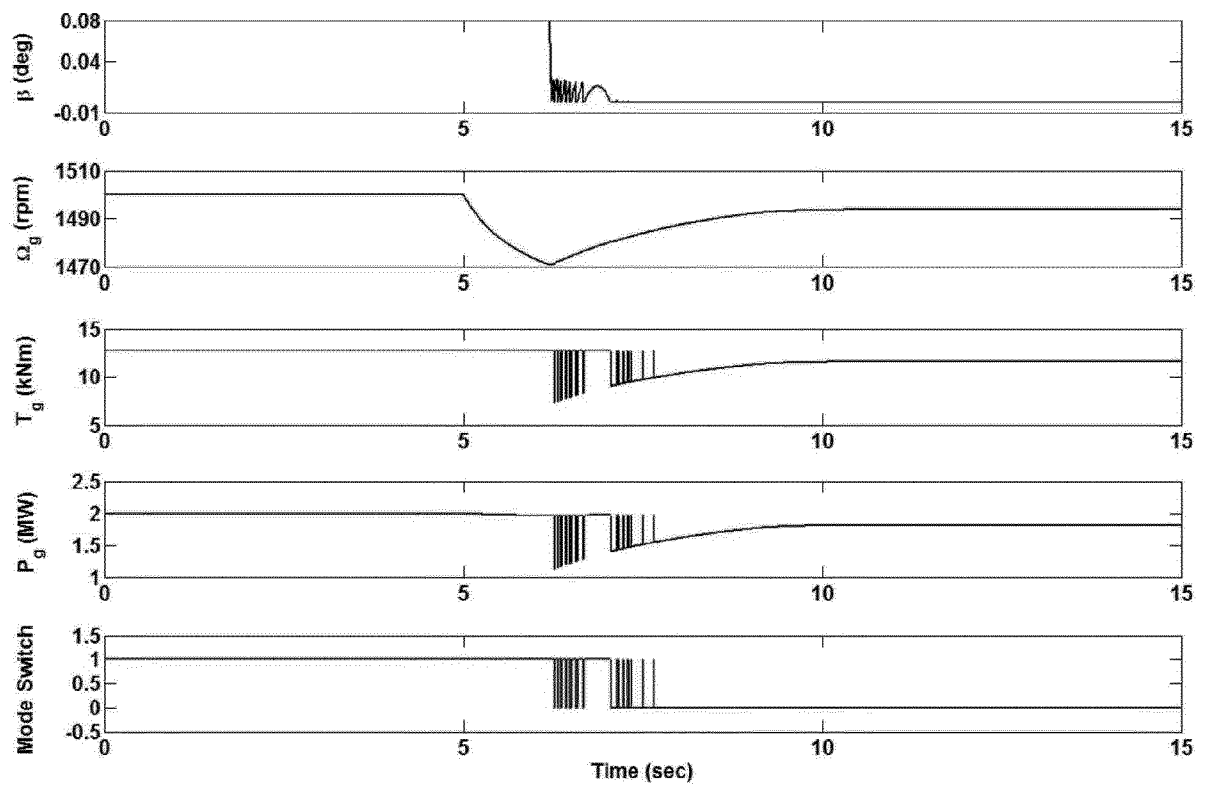
[도8]



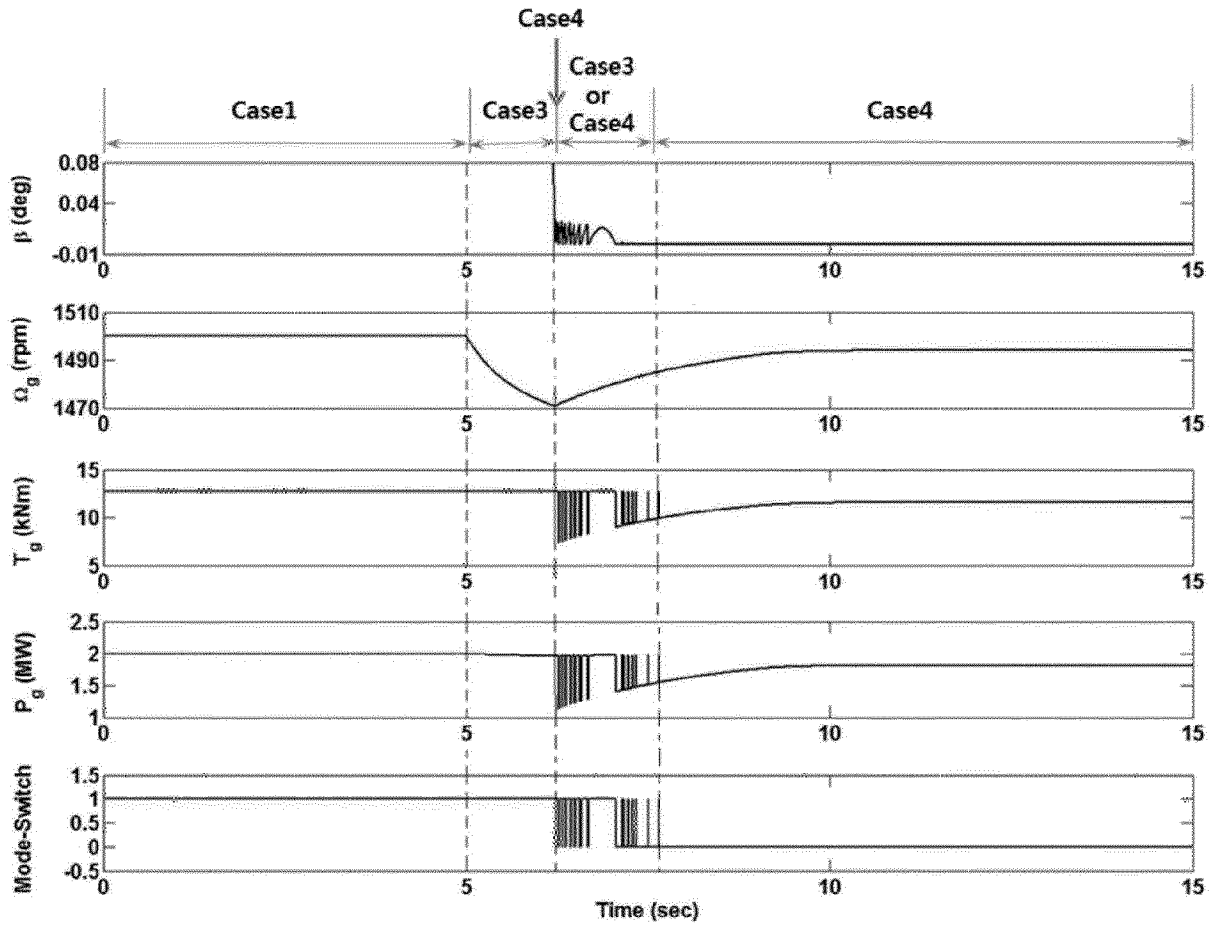
[도9]



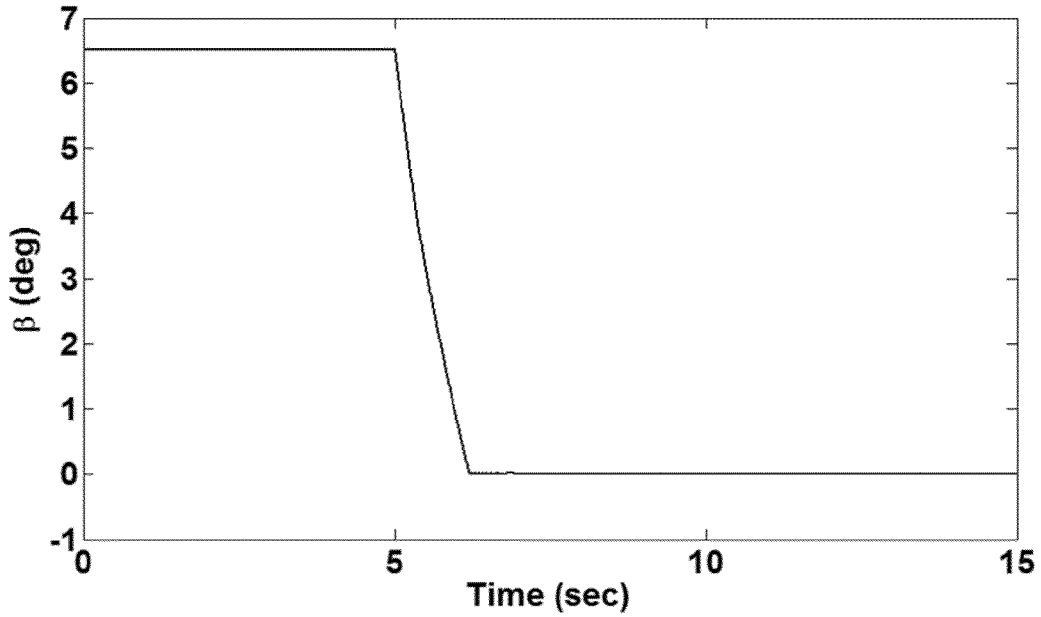
[도10]



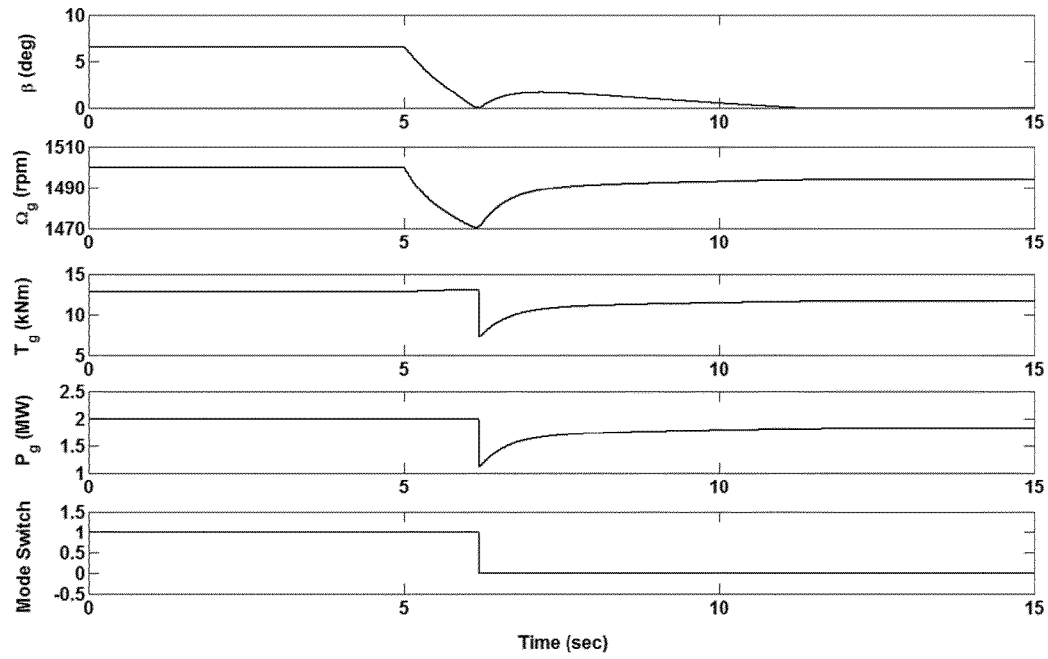
[도11]



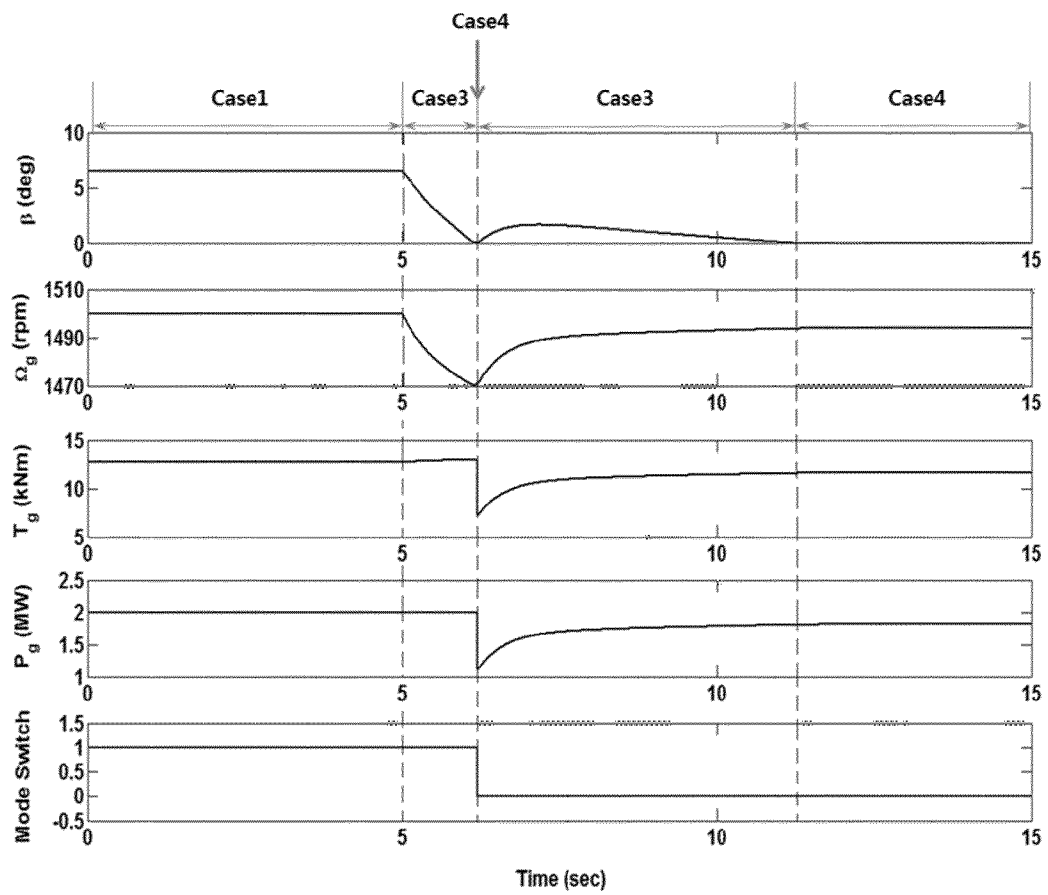
[도12]



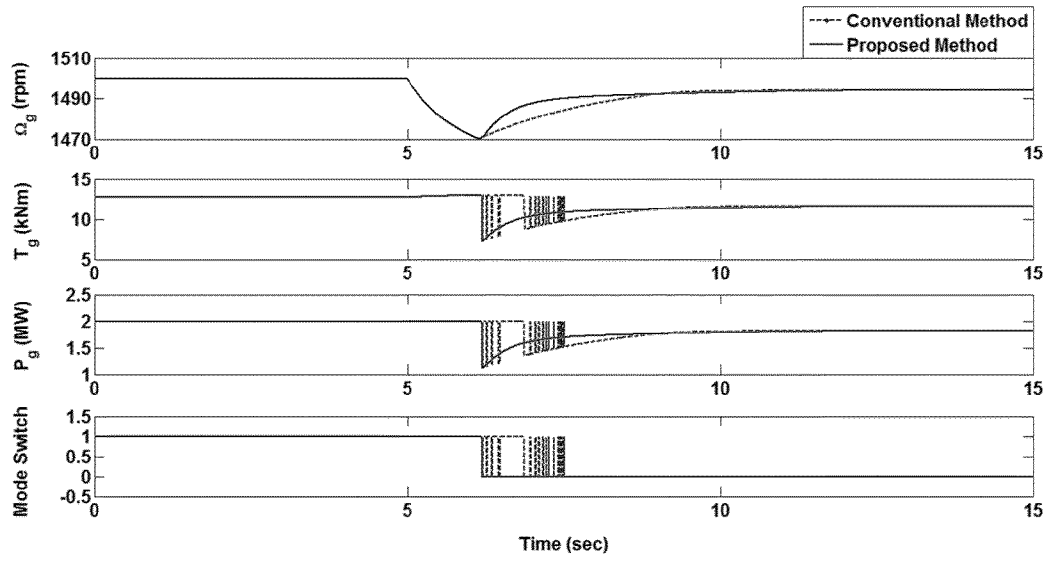
[도 13]



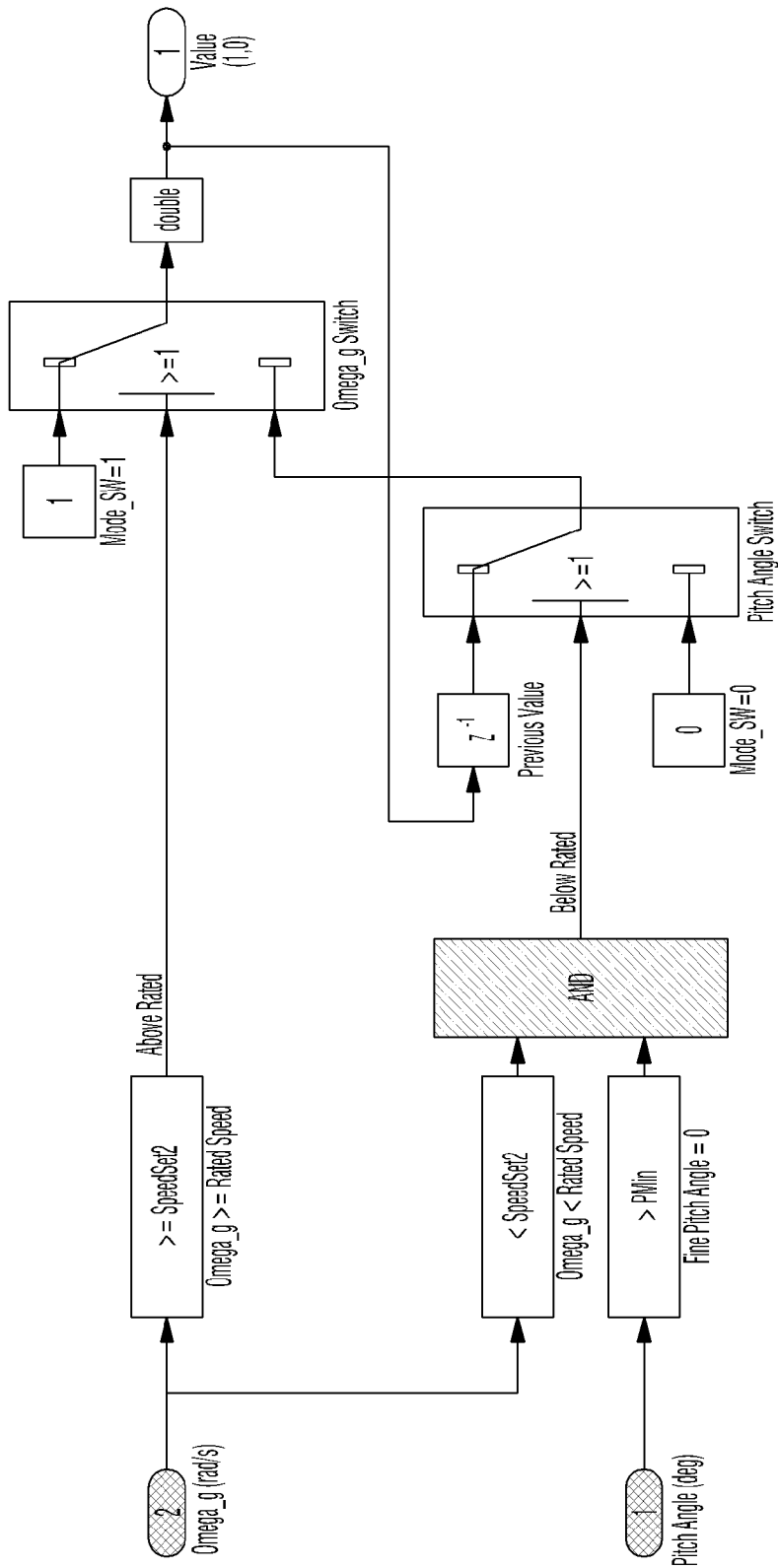
[도 14]



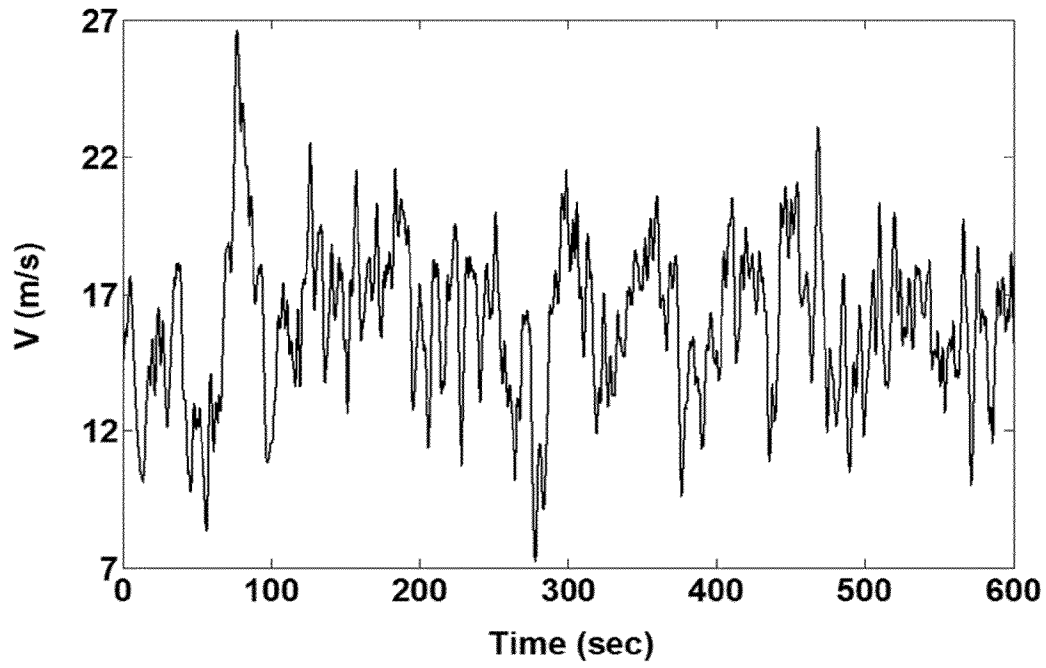
[도 15]



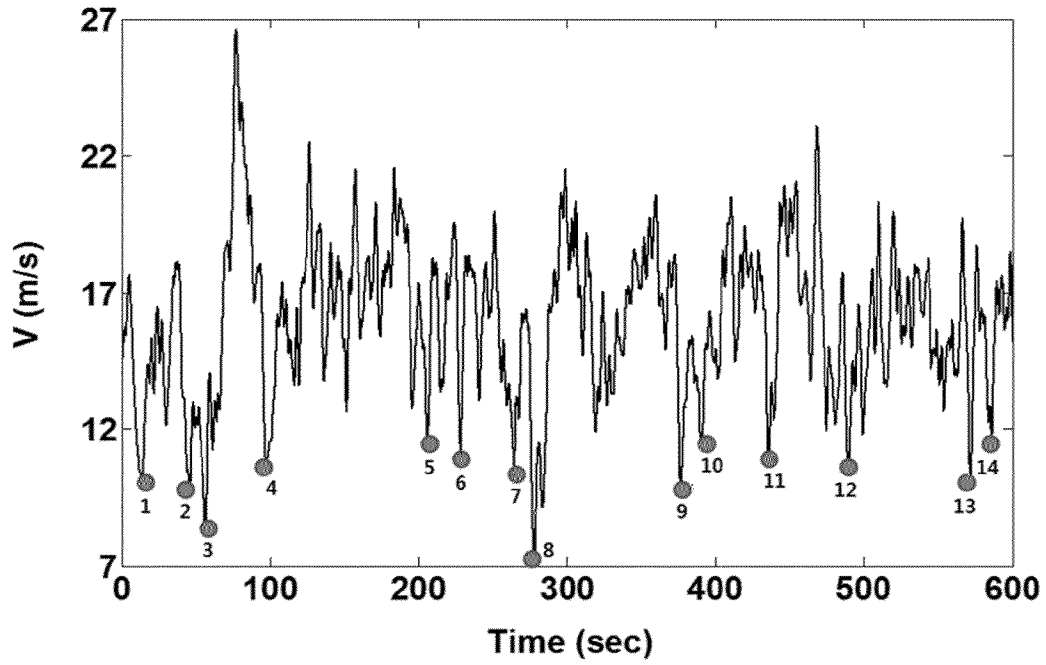
[도16]



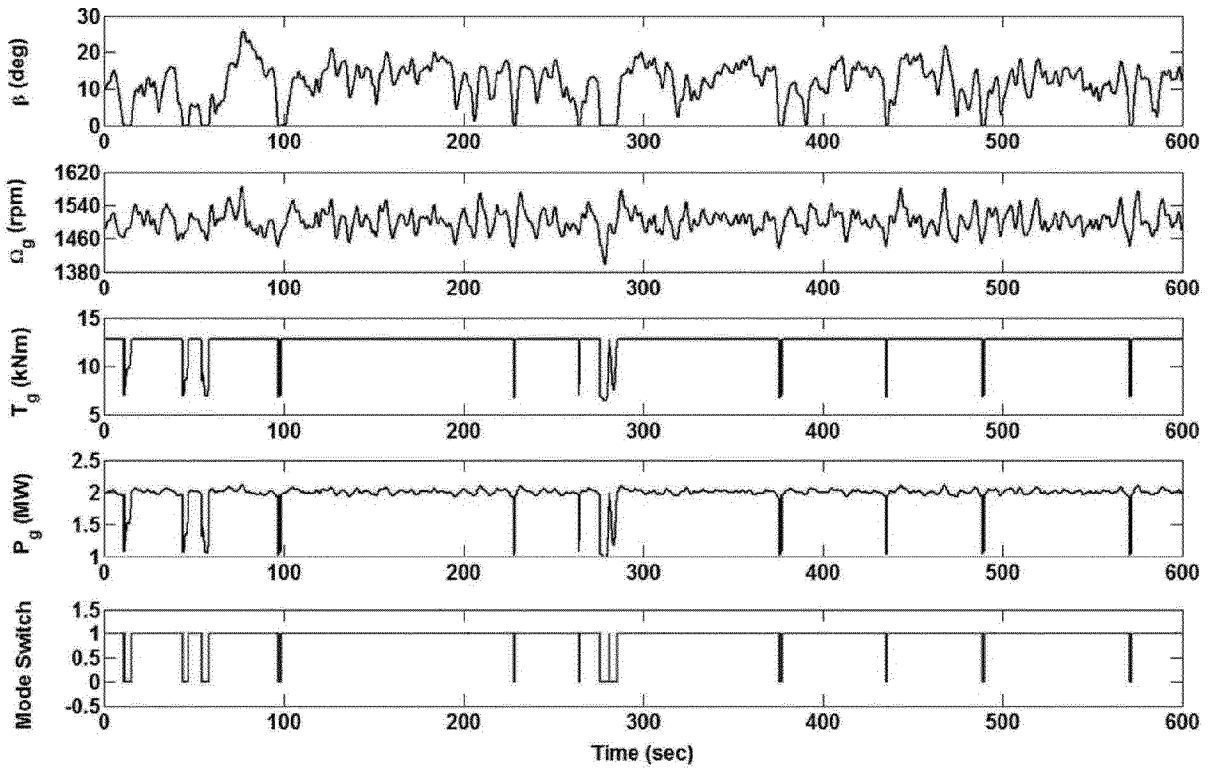
[도17]



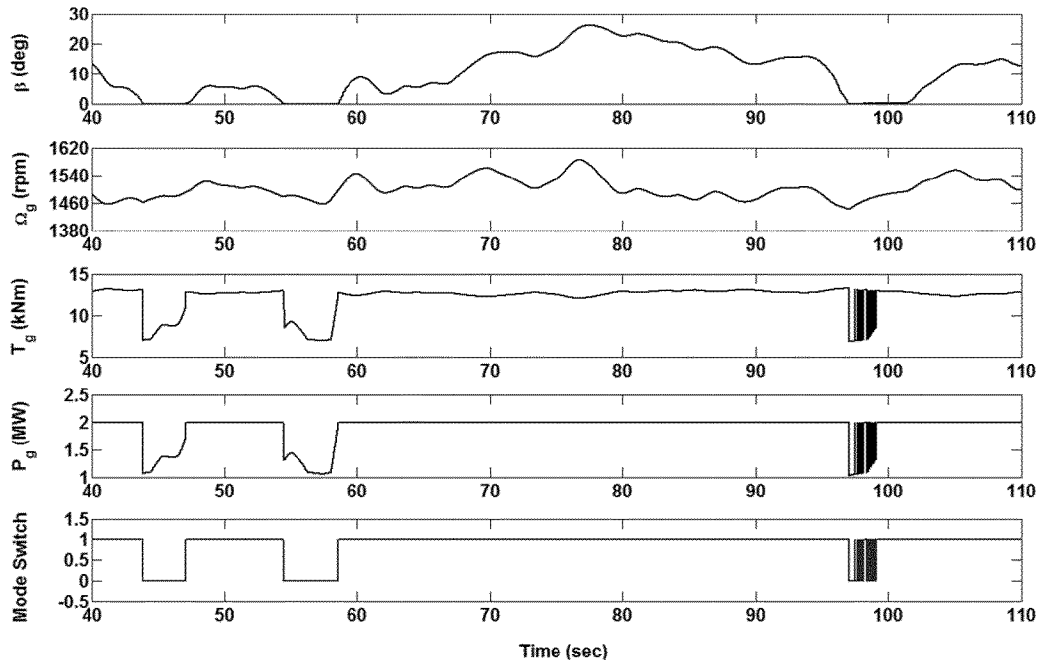
[도18]



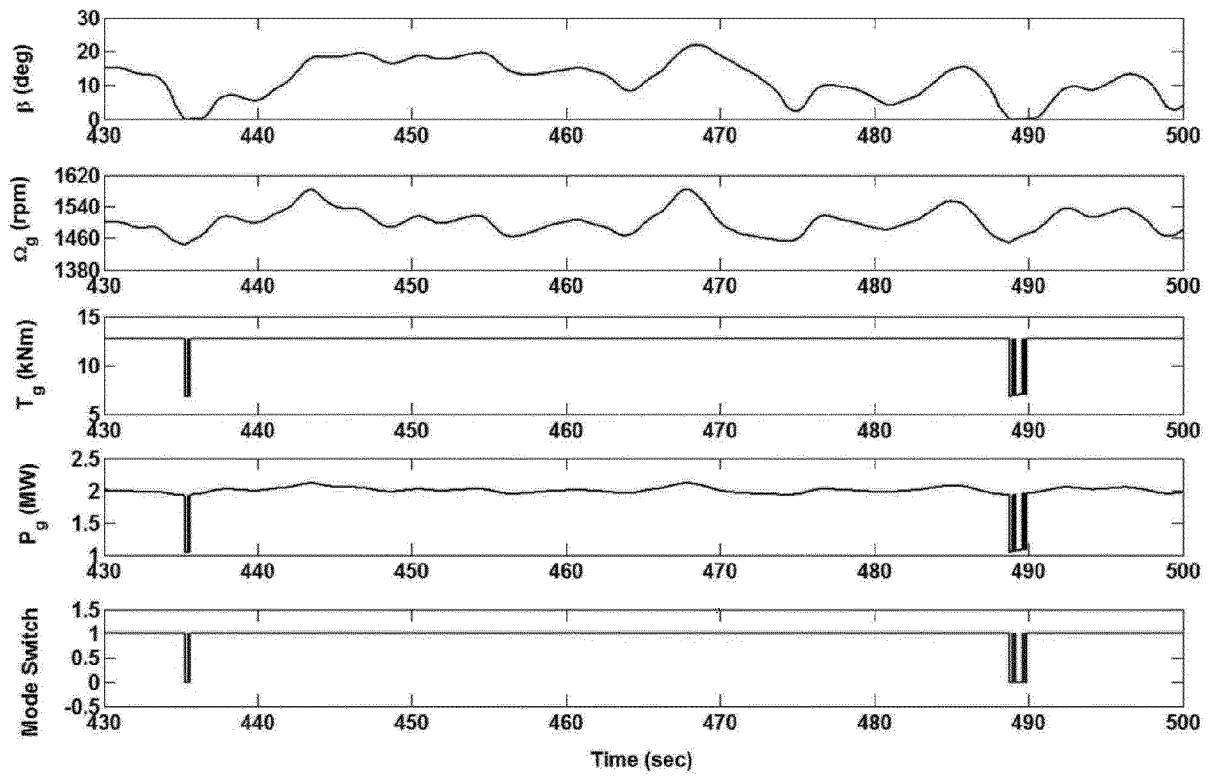
[도19]



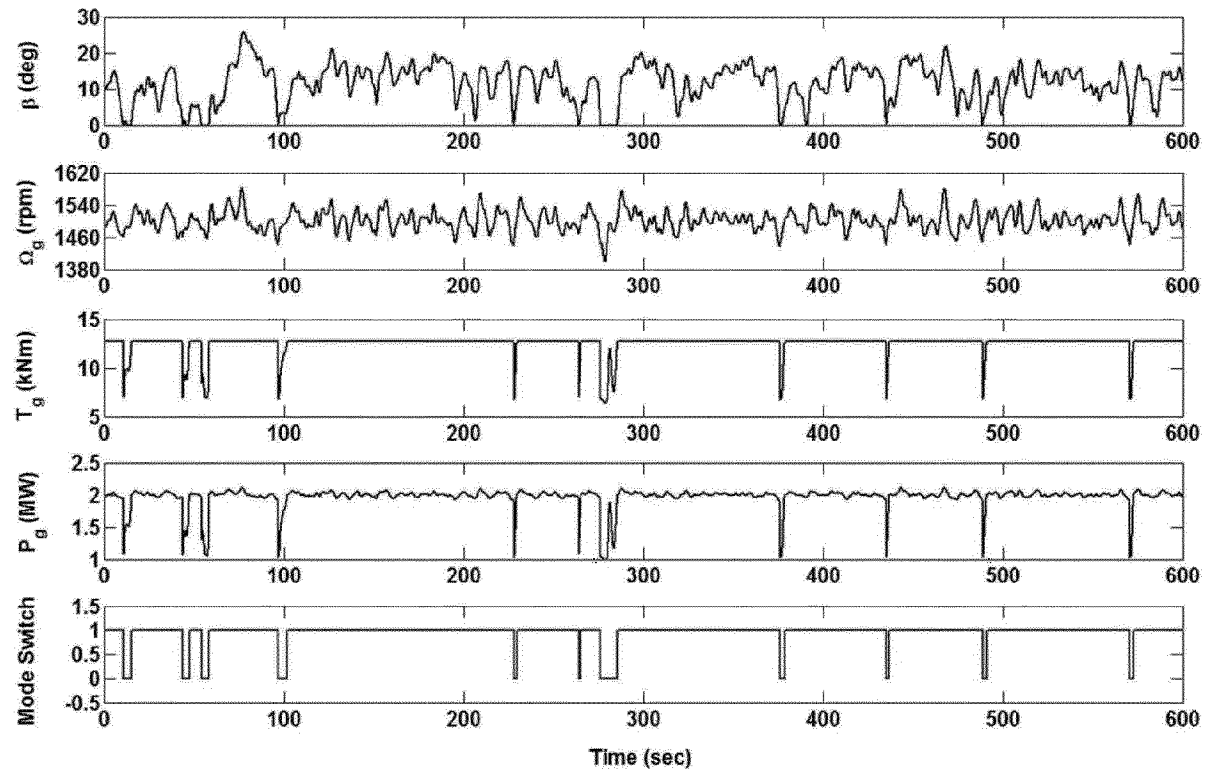
[도20]



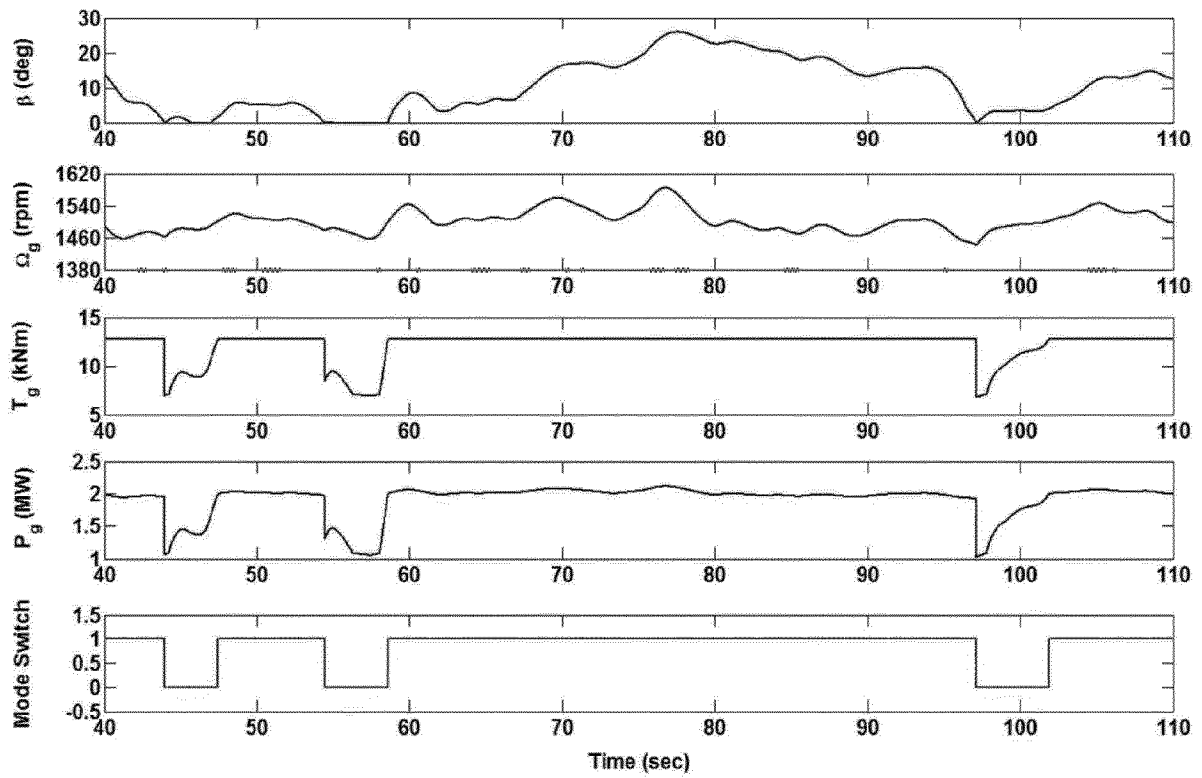
[도21]



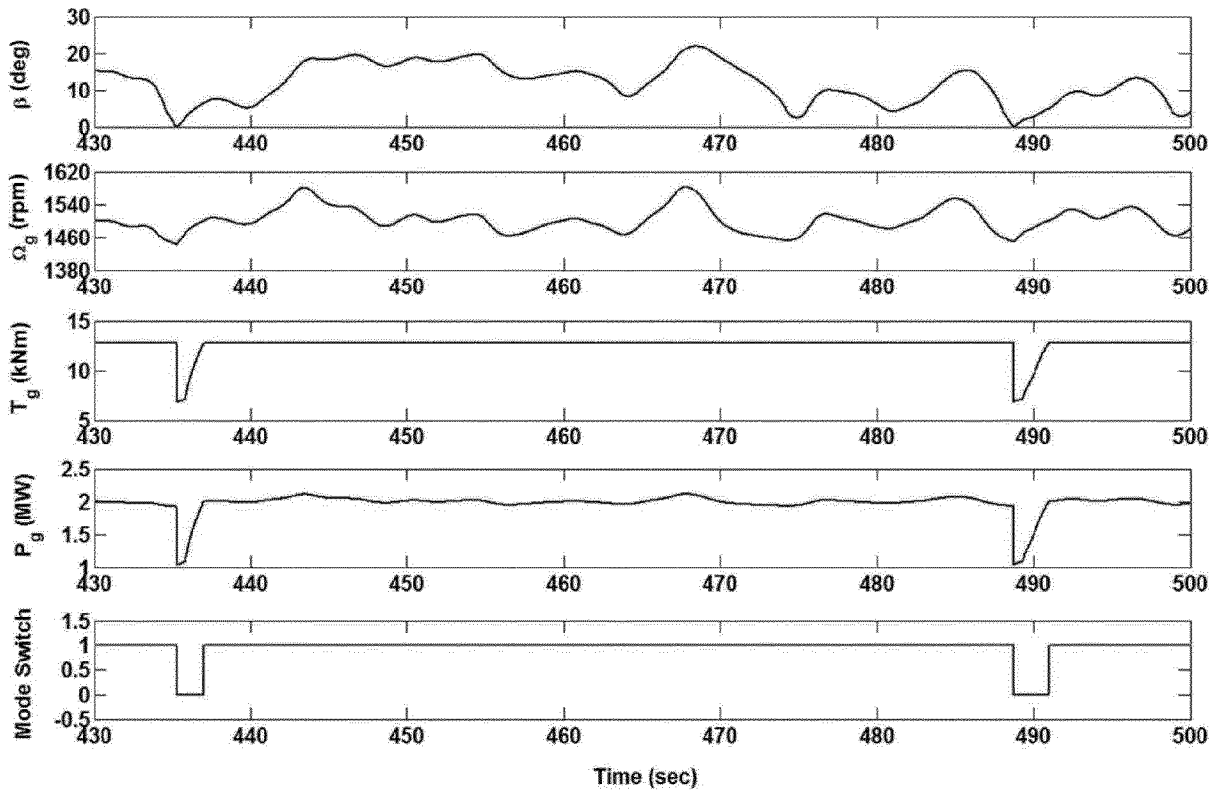
[도22]



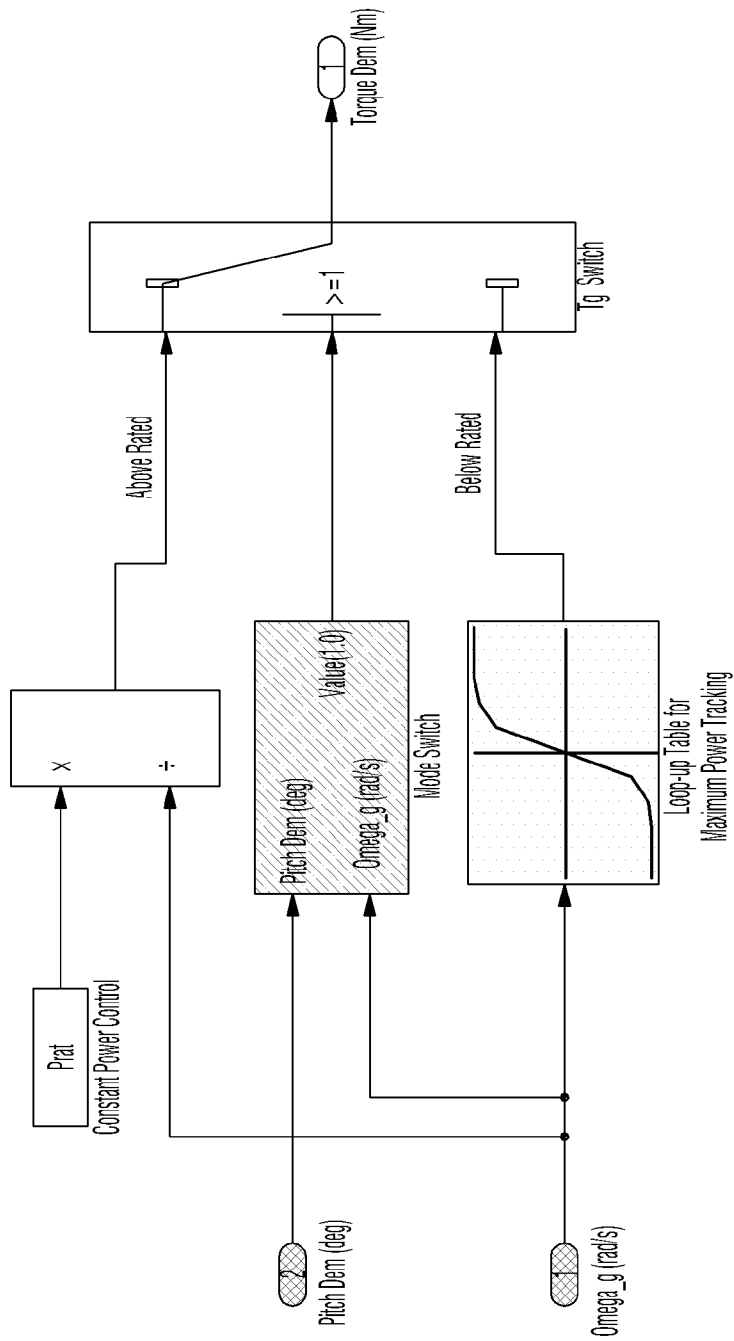
[도23]



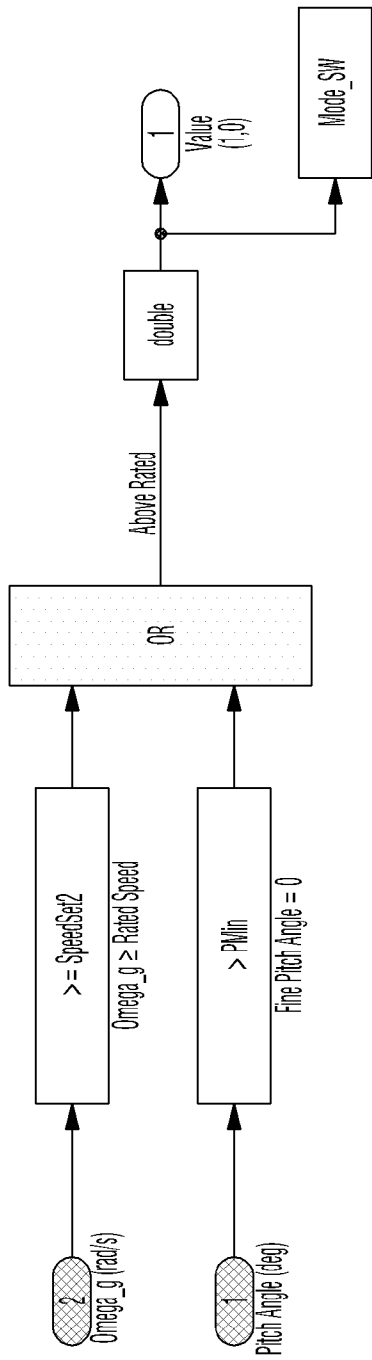
[도24]



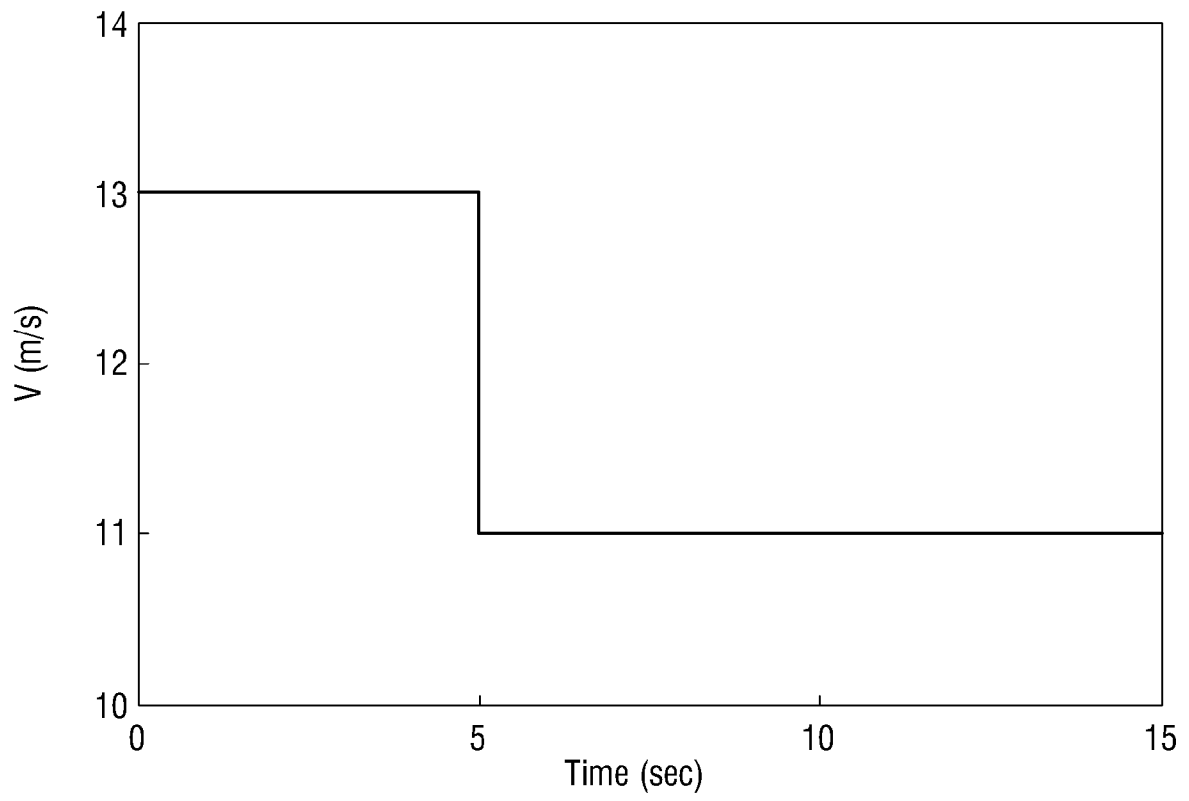
[도25]



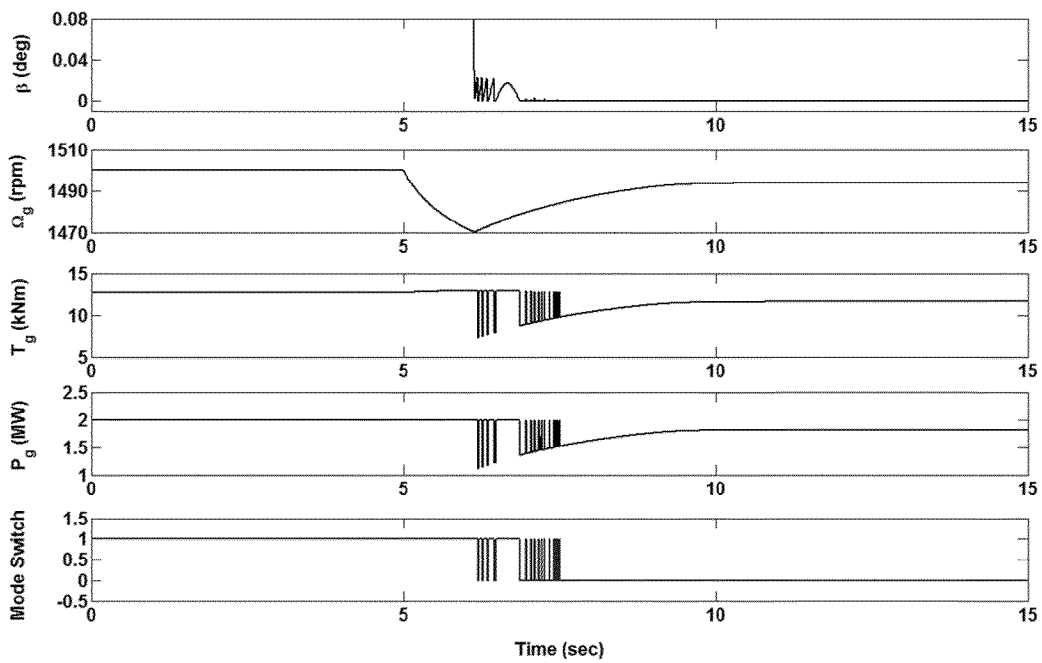
[도26]



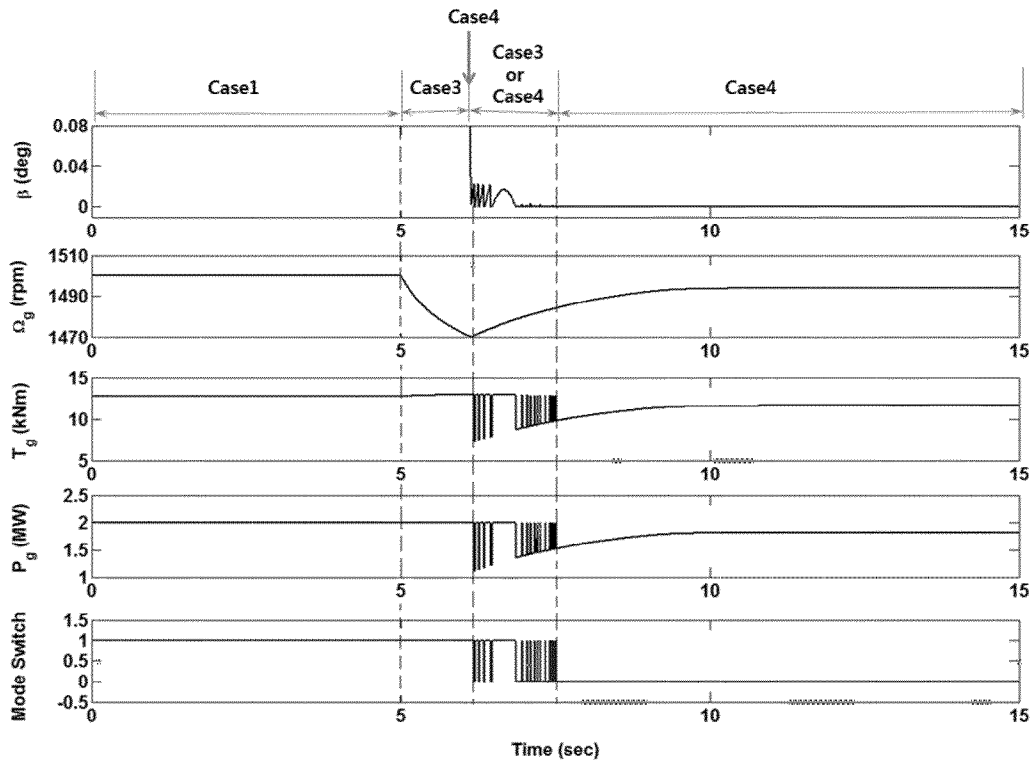
[도27]



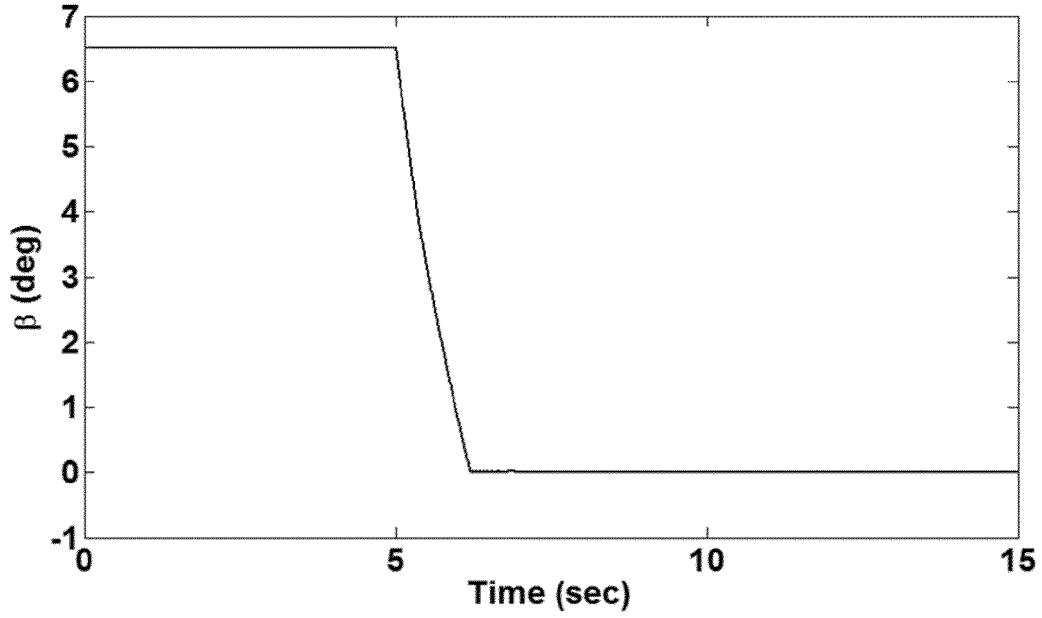
[도28]



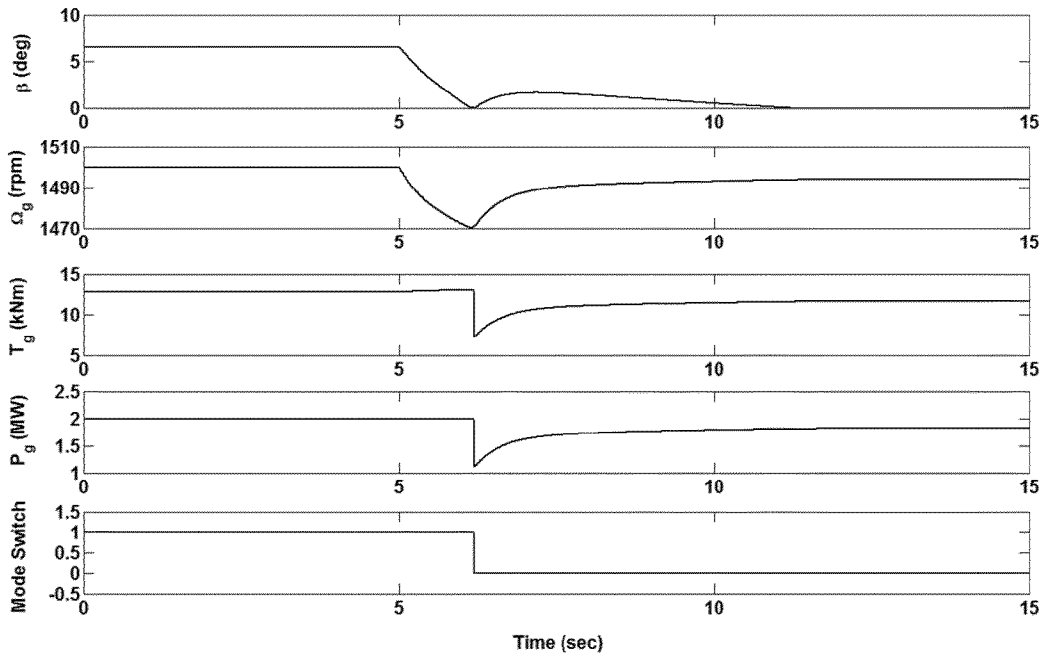
[도29]



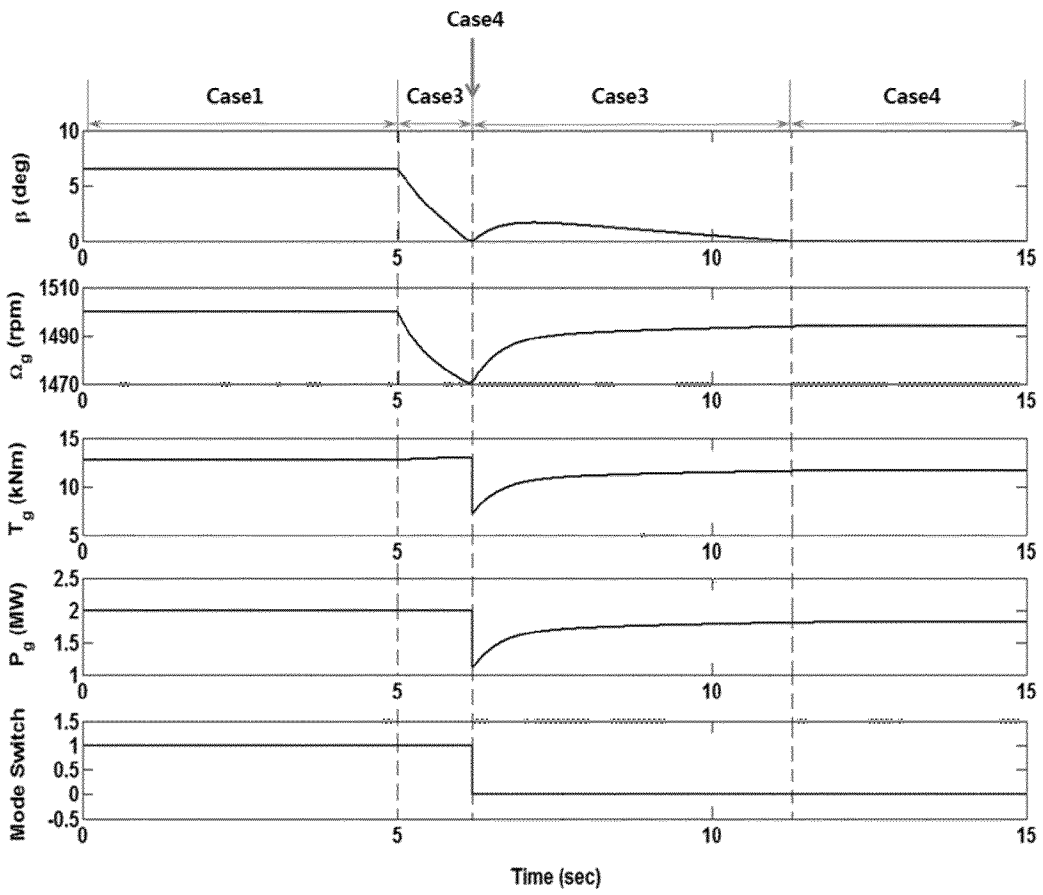
[도30]



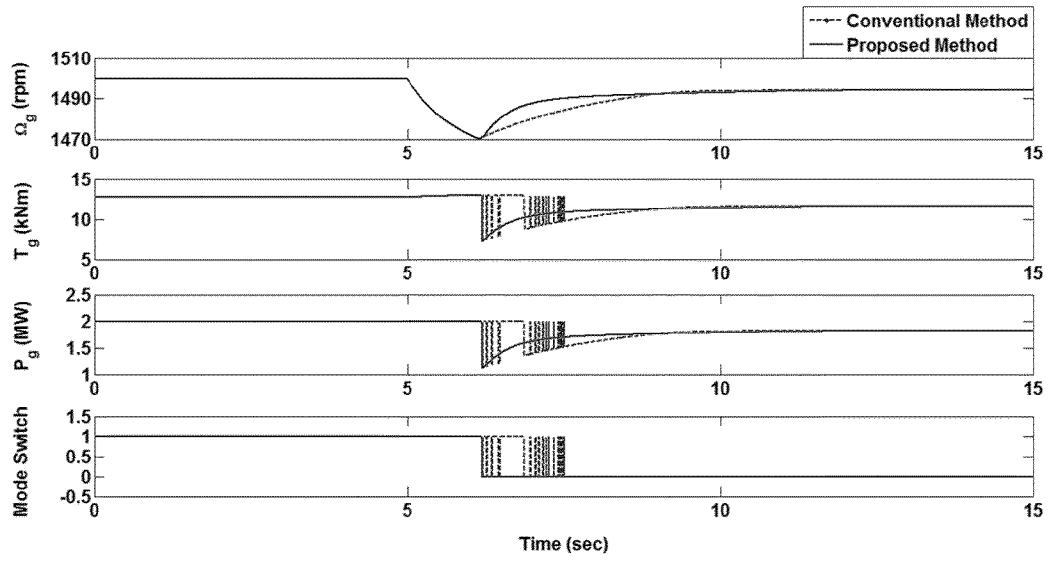
[도31]



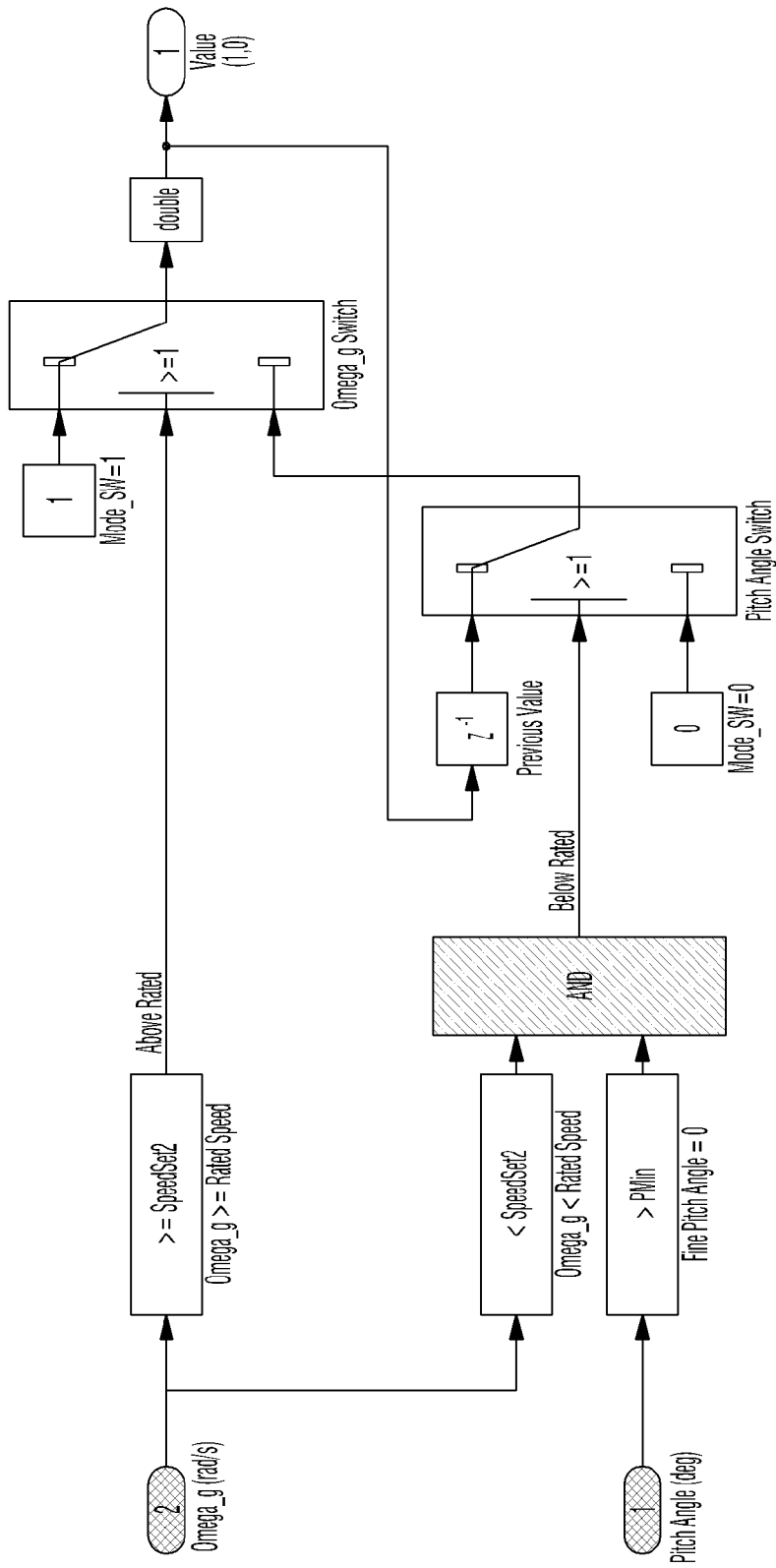
[도32]



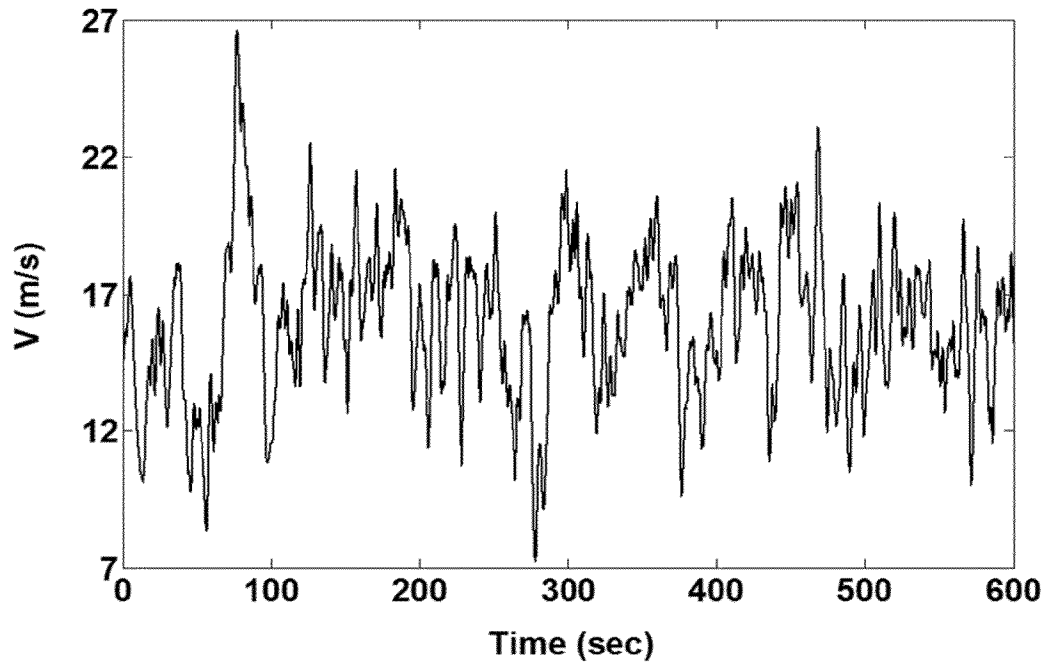
[도33]



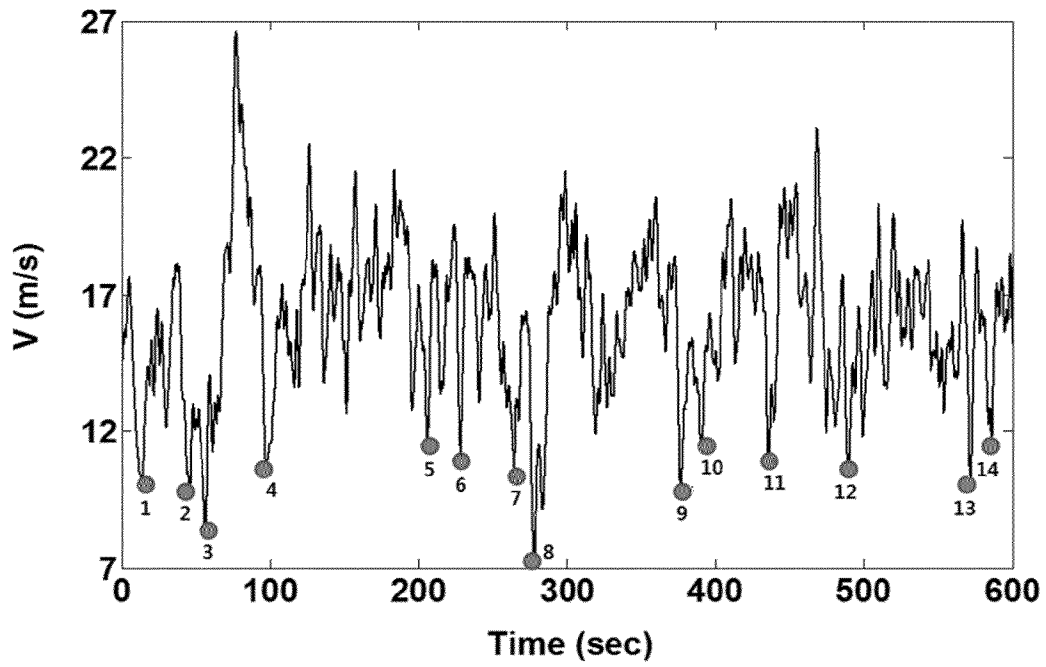
[도34]



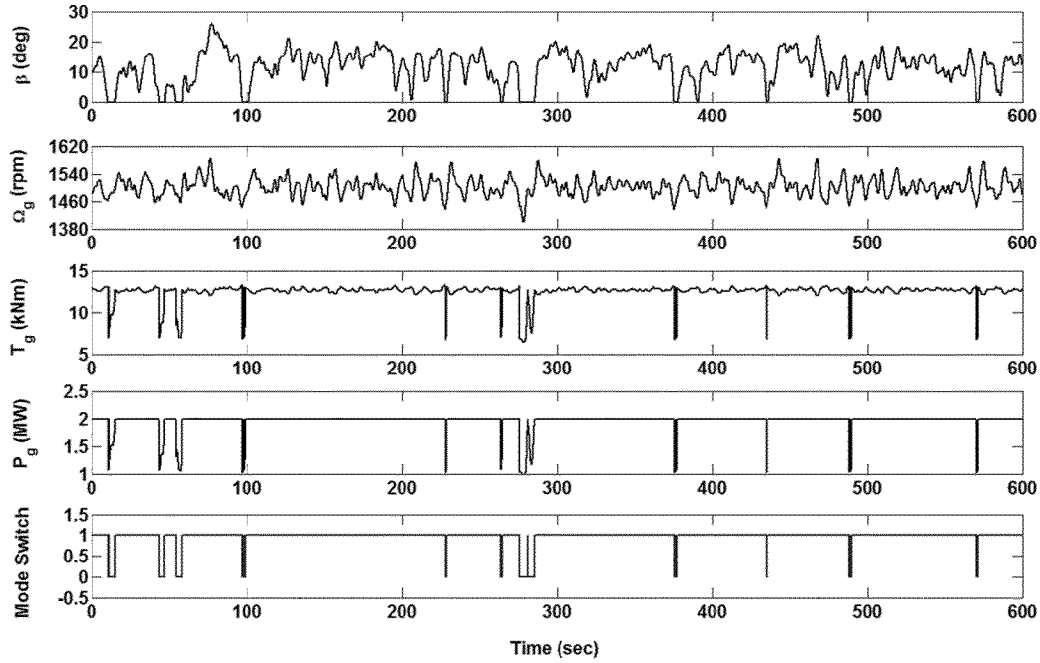
[도35]



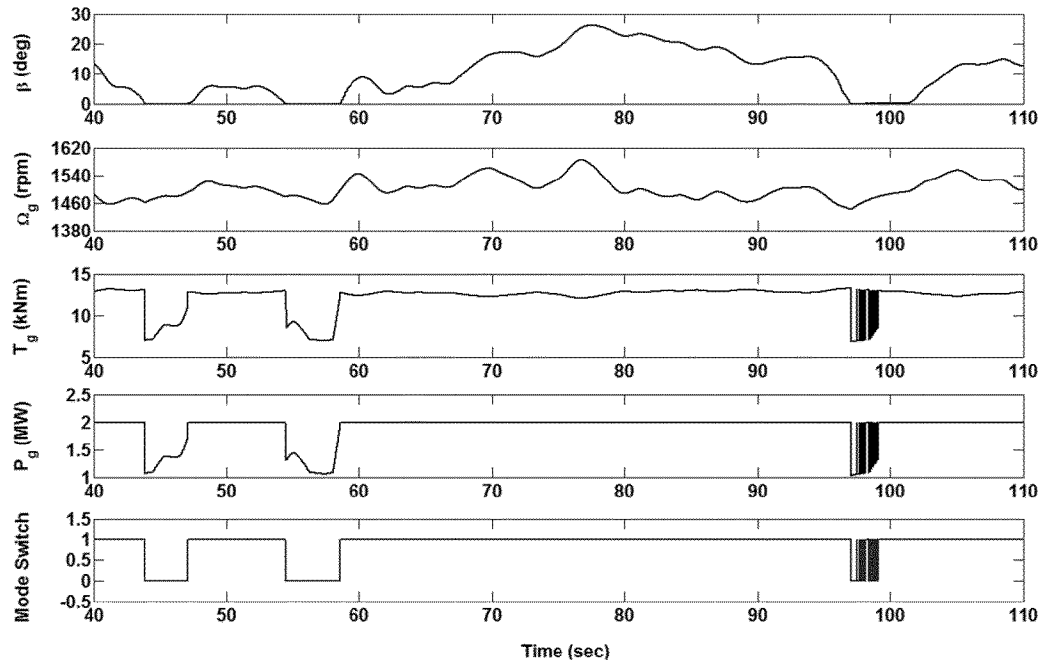
[도36]



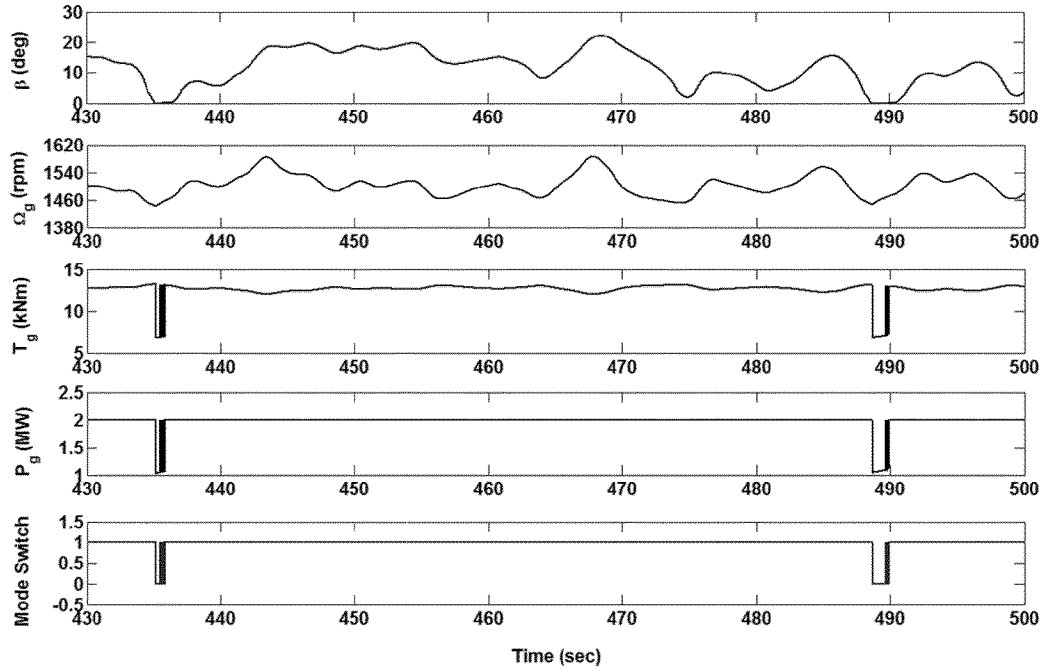
[도37]



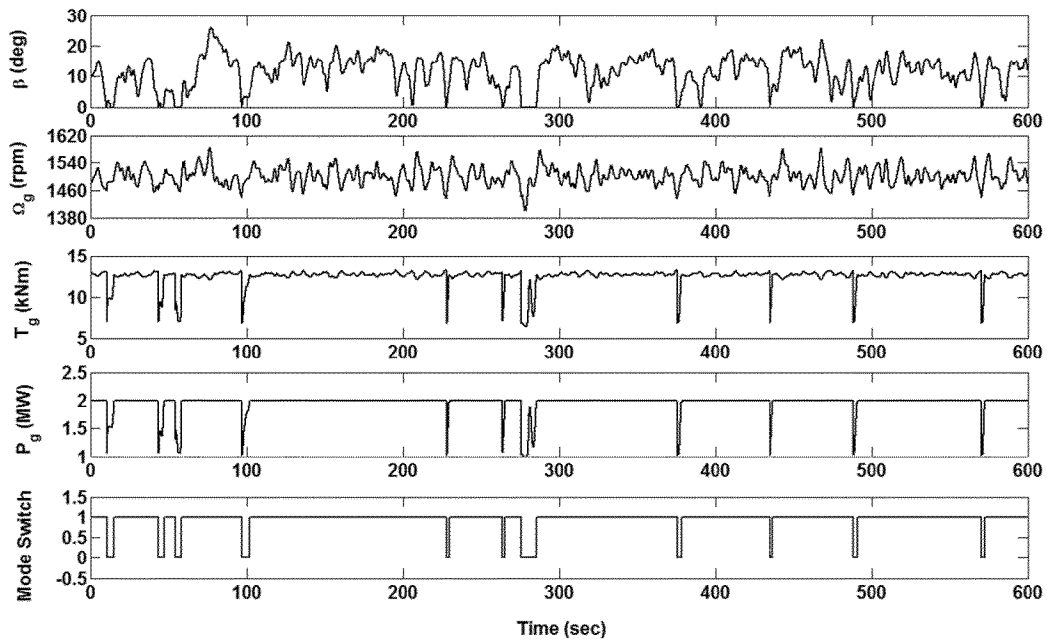
[도38]



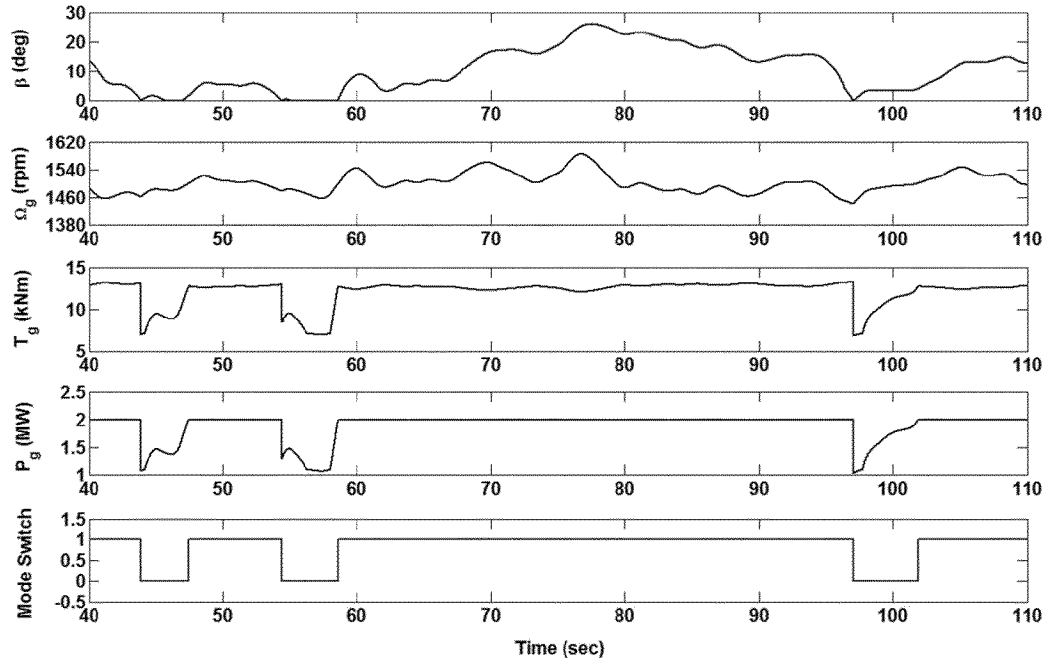
[도39]



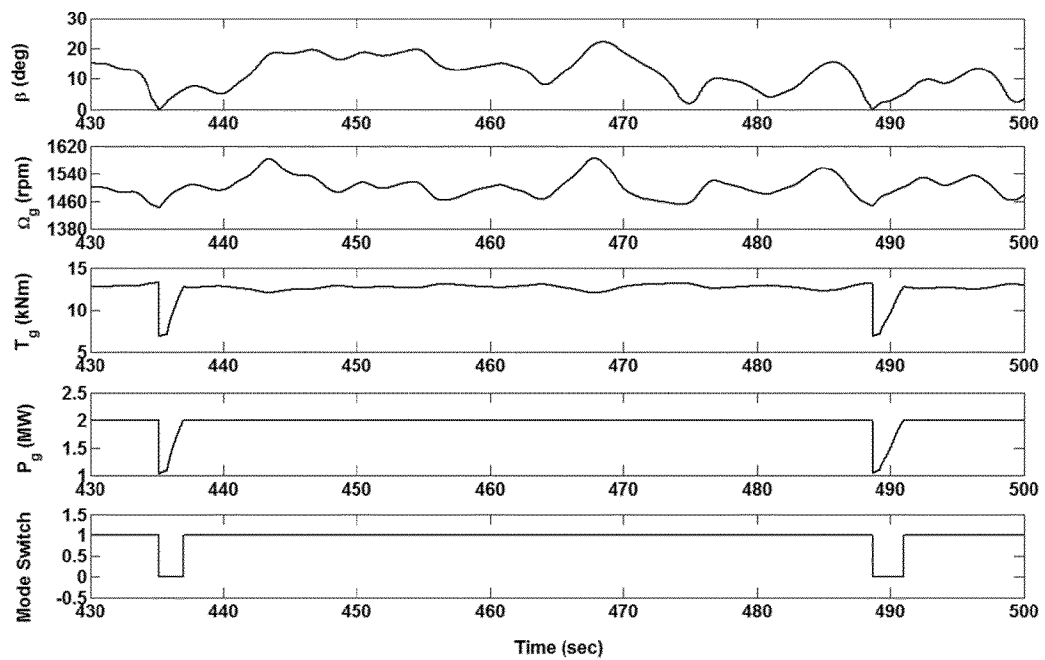
[도40]



[도41]



[도42]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2017/001044

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F03D 7/02(2006.01)i, F03D 9/25(2016.01)i, H02P 9/04(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F03D 7/02; F03D 7/00; F03D 7/04; H02P 9/00; F03D 9/25; H02P 9/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above
Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: wind force, turbine, generator, rotation speed, blade, pitch, torque mode, rated wind speed, fine pitch angle

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-2011-0028256 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 17 March 2011 See paragraphs [0005]-[0006], [0024]-[0084] and figures 1-7.	1-12
A	RHO, Joo-Hyun, A Sensitivity and Performance Analysis for Torque Mode Switching on 2MW Direct Drive Wind Turbine Generator, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, October 2014, vol. 63, no. 10, pages 1455-1460. See pages 1458-1459 and figures 9-13.	1-12
A	KR 10-2012-0018284 A (HYWIND AS.) 02 March 2012 See paragraphs [0028]-[0032].	1-12
A	LIM, Chae-Wook, Dynamic Response of a 2.75MW Wind Turbine Applying Torque Control Method Based on Torque-Mode, Journal Korean Society of Fluid Machinery, 2013, vol. 16, no. 6, pages 5-11. See pages 6-7 and figures 1-3.	1-12
A	KR 10-0667232 B1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 17 January 2007 See abstract, claim 1 and figure 6a.	1-12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is considered with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 APRIL 2017 (21.04.2017)

Date of mailing of the international search report

27 APRIL 2017 (27.04.2017)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 189 Sconsa-ro, Daejeon 302-701,
Republic of Korea

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2017/001044

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
KR 10-2011-0028256 A	17/03/2011	CA 2722848 A1	22/04/2010
		CN 102017392 A	13/04/2011
		CN 102017392 B	25/06/2014
		EP 2339743 A1	29/06/2011
		KR 10-1253854 B1	12/04/2013
		US 2011-0089694 A1	21/04/2011
		US 7982327 B2	19/07/2011
		WO 2010-044163 A1	22/04/2010
		KR 10-2012-0018284 A	02/03/2012
CA 2748685 C	12/04/2016		
CN 102308084 A	04/01/2012		
CN 102308084 B	25/02/2015		
EP 2370694 A2	05/10/2011		
EP 2370694 B1	08/04/2015		
JP 2012-514154 A	21/06/2012		
JP 5499047 B2	21/05/2014		
KR 10-1660553 B1	27/09/2016		
US 2011-0316277 A1	29/12/2011		
US 8487464 B2	16/07/2013		
WO 2010-076557 A2	08/07/2010		
WO 2010-076557 A3	14/04/2011		
KR 10-0667232 B1	17/01/2007		
		CA 2300201 A1	18/02/1999
		CA 2300201 C	20/03/2007
		CA 2571368 A1	18/02/1999
		CA 2571368 C	19/04/2011
		CN 1120297 C	03/09/2003
		CN 1270659 A	18/10/2000
		EP 1007844 A1	14/06/2000
		EP 1007844 B1	07/07/2004
		JP 2001-512804 A	28/08/2001
		KR 10-2001-0052057 A	25/06/2001
		US 2002-0105189 A1	08/08/2002
		US 2004-0094964 A1	20/05/2004
		US 2004-0207208 A1	21/10/2004
		US 2005-0253396 A1	17/11/2005
		US 6137187 A	24/10/2000
		US 6420795 B1	16/07/2002
		US 6600240 B2	29/07/2003
		US 6847128 B2	25/01/2005
		US 6856039 B2	15/02/2005
		US 7095131 B2	22/08/2006
		WO 99-07996 A1	18/02/1999

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) F03D 7/02(2006.01)i, F03D 9/25(2016.01)i, H02P 9/04(2006.01)i		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) F03D 7/02; F03D 7/00; F03D 7/04; H02P 9/00; F03D 9/25; H02P 9/04 조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC		
국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 풍력, 터빈, 발전기, 회전속도, 블레이드, 피치, 토크모드, 정격풍속, 파 인피치각		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	KR 10-2011-0028256 A (미즈비시 슈고교 가부시킴이이사) 2011.03.17 단락 [0005]-[0006], [0024]-[0084] 및 도면 1-7 참조.	1-12
A	노주현, 2MW급 직접구동형 풍력발전기의 풍황 민감도 및 토크모드 스위칭 성능해 석, 전기학회논문지, 2014.10, 63권, 10호, 페이지 1455-1460. 페이지 1458-1459 및 도면 9-13 참조.	1-12
A	KR 10-2012-0018284 A (하이윈드 에이에스) 2012.03.02 단락 [0028]-[0032] 참조.	1-12
A	임채욱, 토크모드 기반의 토크제어방법을 적용한 2.75MW 풍력터빈의 동적응답, 한국유체기계학회 논문집, 2013., 제16권, 제6호, 페이지 5-11. 페이지 6-7 및 도면 1-3 참조.	1-12
A	KR 10-0667232 B1 (제너럴 일렉트릭 캄파니) 2007.01.17 요약, 청구항 1 및 도면 6a 참조.	1-12
<input type="checkbox"/> 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. <input checked="" type="checkbox"/> 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.		
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: “A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 “E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후 에 공개된 선출원 또는 특허 문헌 “L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 “O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 “P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌 “T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌 “X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신 규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다. “Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명 은 진보성이 없는 것으로 본다. “&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌		
국제조사의 실제 완료일 2017년 04월 21일 (21.04.2017)	국제조사보고서 발송일 2017년 04월 27일 (27.04.2017)	
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578	심사관 이달경 전화번호 +82-42-481-8440	

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-2011-0028256 A	2011/03/17	CA 2722848 A1	2010/04/22
		CN 102017392 A	2011/04/13
		CN 102017392 B	2014/06/25
		EP 2339743 A1	2011/06/29
		KR 10-1253854 B1	2013/04/12
		US 2011-0089694 A1	2011/04/21
		US 7982327 B2	2011/07/19
		WO 2010-044163 A1	2010/04/22
		KR 10-2012-0018284 A	2012/03/02
CA 2748685 C	2016/04/12		
CN 102308084 A	2012/01/04		
CN 102308084 B	2015/02/25		
EP 2370694 A2	2011/10/05		
EP 2370694 B1	2015/04/08		
JP 2012-514154 A	2012/06/21		
JP 5499047 B2	2014/05/21		
KR 10-1660553 B1	2016/09/27		
US 2011-0316277 A1	2011/12/29		
US 8487464 B2	2013/07/16		
WO 2010-076557 A2	2010/07/08		
WO 2010-076557 A3	2011/04/14		
KR 10-0667232 B1	2007/01/17		
		CA 2300201 A1	1999/02/18
		CA 2300201 C	2007/03/20
		CA 2571368 A1	1999/02/18
		CA 2571368 C	2011/04/19
		CN 1120297 C	2003/09/03
		CN 1270659 A	2000/10/18
		EP 1007844 A1	2000/06/14
		EP 1007844 B1	2004/07/07
		JP 2001-512804 A	2001/08/28
		KR 10-2001-0052057 A	2001/06/25
		US 2002-0105189 A1	2002/08/08
		US 2004-0094964 A1	2004/05/20
		US 2004-0207208 A1	2004/10/21
		US 2005-0253396 A1	2005/11/17
		US 6137187 A	2000/10/24
		US 6420795 B1	2002/07/16
		US 6600240 B2	2003/07/29
		US 6847128 B2	2005/01/25
		US 6856039 B2	2005/02/15
		US 7095131 B2	2006/08/22
WO 99-07996 A1	1999/02/18		