

NREL 5 MW 풍력 발전기의 제어로직 설계 및 특성 조사

Investigation on Characteristics of Control Algorithm for NREL 5 MW Wind Turbine System

김중화† · 신운호* · 문석준* · 원문철**

Jong-hwa Kim, Yun-ho Shin, Seok-jun Moon and Moon-cheol Won

1. 서 론

본 논문에서는 미국 National Renewable Energy Laboratory(NREL)에서 제시하고 있는 기본 제어기(Baseline Controller)의 제어기 설계 방법을 소개하고, 5 MW 풍력발전기를 대상으로 설계된 제어기를 적용하는 절차 및 그 해석 결과에 대해서 논의한다. 정격풍속 이상의 구간에 대한 제어기 설계 방법은 출력과 토크를 각각 일정하게 유지하는 방식으로 분류되며, 이에 따른 풍력발전기의 출력 성능과 기계적 하중의 변화에 대해 고찰한다. 본 연구에서 제시하는 제어기의 적용 및 모사실험은 NREL에서 개발된 FAST(Fatigue, Aerodynamics, Structures, and Turbulence) 프로그램을 활용하여 수행한다.

2. 풍력 발전기 기본 제어기의 제어 로직

그림 1은 기본제어기를 5 MW 풍력발전기에 적용할 경우에 대한 속도-토크 곡선을 나타낸다. 가변 속도-가변피치 제어를 기반으로 하고 있으며, 정격 풍속이하에서는 최적곡선(그림 1에서 'optimal'로 표시)을 추종할 수 있는 제어로직이 적용된다(Region 2). 정격속도 이상의 구간에서는 정격출력을 유지하면서 발전할 수 있는 제어기를 적용하며(Region 3), 제어 구역 2와 구역 3 사이의 천이 구간은 대상 풍력발전기의 운전 효율 등을 고려하여 설계자가 결정한다. 표 1에는 대상 5 MW 풍력발전기에 대해 각 제어 구간 및 천이 구간에 대한 운전 및 제어 방침을 정리하여 나타내었다.

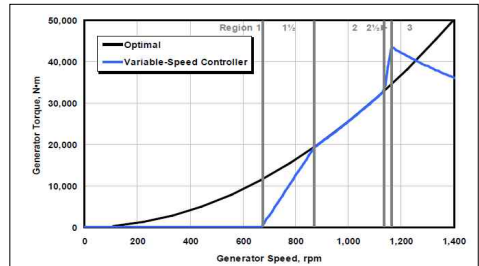


Figure 1. Operation Plan of 5 MW Wind Turbine: Torque-versus-Speed Response

Table 1 Operating Plan of Wind Turbine System for Each Control Region

Region		RPM
1	Before cut-in	0~670(Cut-in)
1 1/2	Start-up linear transition	670(cut-in, given)~871(130% cut-in)
2	Optimizing power capture	871(130% cut-in)~1162(99% rated)
2 1/2	linear transition with slope of an induction machine	1162(99% rated)~1173(rated, given)
3	1) Constant power 2) Constant torque	1173(rated, given)

3. 모사실험

3.1 최대출력 제어구간

그림 2는 정격풍속 이하에서 제어기의 성능을 검토하기 위해 난류를 포함하는 바람을 3~25m/s로 생성하여 모사실험을 수행한 결과를 나타낸다. 발전기 회전 속도에 따른 발전기 토크 변화를 나타내고 있으며, 각 제어 구간에 대한 천이 구간을 함께 도시하였다. 표 2에는 각 제어 구간의 기준 지점에 대해 제어기 설계 시 기준으로 잡은 회전 속도와 실제 모사실험 시 도출된 회전 속도를 비교하여 나타내었다. 급격하게 변화하는 일부 천이 구간을 제외하고

† 김중화; 충남대학교 메카트로닉스공학과
E-mail : kjwone@kimm.re.kr
Tel : 042-868-7428 , Fax : 042-868-7418

* 한국기계연구원

** 충남대학교 메카트로닉스공학과

설계된 제어기의 설계 기준에 따라 각 제어 구간에서의 운전이 원활하게 이루어짐을 확인할 수 있다.

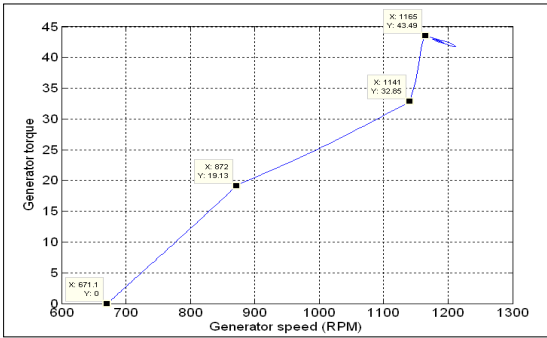


Figure 2. Generator Torque-versus-Speed response of 5 MW Wind Turbine in Wind Speed of 3~25m/s

Table 2 Review on Controller Design Scheme according to Generator Speed

	Design Value	Simulation Results
Cut-in	670 RPM	671.1 RPM
Region2 speed	871 RPM	872 RPM
Transition generation speed	1136.4 RPM	1141 RPM
Rated generation speed	1161.9 RPM	1165 RPM

3.2 정격풍속 이상의 제어구간

본 연구에서 관심을 가지는 정격풍속 이상에서의 풍력발전기 기본 제어 방식은 토크를 일정하게 유지하는 방식과 출력을 일정하게 유지하는 방식으로 구분한다. 두 가지 제어 방식을 비교하기 위해 평균풍속 18m/s, 난류강도 14.4%(Kaimal Spectrum)의 바람을 사용하였으며, 그림 3은 바람을 입력으로 날개의 피치각, 로터의 회전속도, 발전기의 토크/회수과 위/회전속도에 대한 모사실험 결과를 보여주고 있다.

출력을 일정하게 하는 제어 방식은 발전기 토크와 발전기 회전속도의 곱을 일정하게 유지하도록 제어하는 제어 방식이며, 발전기의 회전 속도에 대해 역위상의 토크를 인가하여 발전기의 출력을 일정하게 유지한다. 모사실험 결과에서 관찰되는 출력의 고주파수 성분들은 사용된 필터와 기계시스템의 응답 지연으로 인하여 발생하는 결과로 판단된다.

토크를 일정하게 하는 제어 방식은 발전기 회전 속도에 대해 설계되는 토크를 일정하게 함으로서 풍력 발전기 시스템에 가해지는 부하를 줄이고자 하는 목적으로 사용된다. 토크 제어 방식은 발전기 출력이 로터의 회전속도와 유사한 형상으로 거동하며 이

는 상대적으로 전력 품질 측면에서 단점을 가진다.

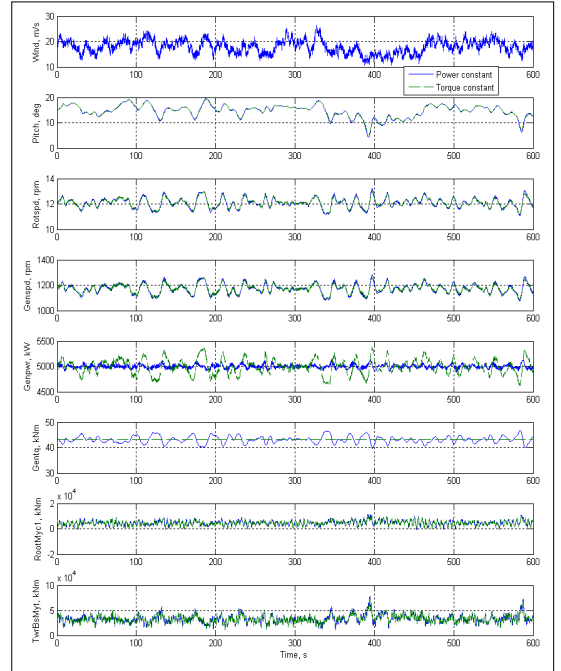


Figure 3. NREL 5 MW Wind Turbine System Simulation Results

Table 3 Comparison of Simulation Results

	Power Regulation		Torque Regulation	
	MEAN	DEV	MEAN	DEV
RotTorq(kNm)	4185.4	251.0	4179.8	201
GenTq(kNm)	43.1	1.3446	43	0
Genpower(kW)	499.911	38.8	4997.9	143.3
RootMyc1(kNm)	4582.4	1860.2	4562.8	1795.9
TwrBsMyt(kNm)	32923.1	8015.4	32827.6	7286.2

4. 결론

본 연구에서는 NREL 5 MW 풍력 발전기 시스템을 대상으로 정격풍속 이상에서 빈번하게 적용되어지는 토크 기준 제어기와 출력 기준 제어기의 거동 특성을 비교·정리하였다.

후 기

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제 결과의 일부입니다. ('풍력발전시스템용 제어 기술 및 기기개발', No. 20103010020040)