

실시간 바람데이터 생성을 적용한 풍력터빈 시뮬레이터용 DC MOTOR의 토크 제어시스템

Torque Control System of DC-MOTOR for a Wind Turbine Simulator using Wind Generation Systems on Real Time

오성남*, 윤기돈**, 김갑일***, 손영익****
(Sung Nam Oh, Ki Don Yun, Gab Il Kim and Young Ik Son)

- * 명지대학교 전기공학과(전화:(031)330-6356, 팩스:(031)321-0721, E-mail : rats296@hanmail.net)
- ** 명지대학교 전기공학과(전화:(031)330-6356, 팩스:(031)321-0721, E-mail : ykeidy@hanmail.net)
- *** 명지대학교 전기공학과(전화:(031)330-6356, 팩스:(031)321-0721, E-mail : kkl@mju.ac.kr)
- **** 명지대학교 전기공학과(전화:(031)330-6358, 팩스:(031)321-0721, E-mail : sonyi@mju.ac.kr)

Abstract - 새로운 에너지원인 풍력 발전에 대한 연구가 세계적으로 활발히 진행되고 있는 가운데 본 논문에서는 풍력 발전의 핵심 부분인 풍력 터빈에 관한 모의실험을 다루고자 한다. 실제 기상조건과 유사한 바람데이터를 실시간으로 생성, 이를 이용하여 풍력터빈 시뮬레이터용 DC motor의 토크제어 시스템을 설계·구현하였다. 본 연구는 기존의 단순 토크제어 시스템과는 달리 실시간으로 생성되는 데이터를 이용하여 보다 실제 풍력발전에 가까운 모의실험을 가능하게 한다. M/G Set를 기반으로한 DC motor 토크 제어 시스템은 바람데이터의 변화에 따른 풍력터빈의 토크와 발전단의 부하의 상관관계를 명확히 하는데 크게 이바지 할 것이며 더 나아가 발전기로의 정확한 토크 전달로써 계통 연계 연구에 많은 기여를 하고자 한다.

Key Words : 풍력터빈, DC motor, M/G Set, 제어 시스템

1. 서론

한정된 화석에너지의 소비로 인해 대체에너지의 개발에 세계적으로 많은 연구가 진행되고 있다. 수많은 대체에너지가 연구 대상으로 선정되지만 그중 생산비용, 환경파괴 및 유지관리 등의 효율성을 계산하였을 때 과연 최고의 대체에너지원은 무엇인가?

화력발전은 석탄, 석유와 같은 한정된 자원의 사용과 환경파괴를 가져오며 핵 발전은 사고 시 엄청난 환경파괴를 유발한다. 수력발전은 입지 선정 시 많은 제약이 따르고 매몰로 인한 환경 파괴가 심각하다. 그에 비해 풍력 발전 시스템은 환경친화적이고, 무한한 자원을 가진 대체에너지원이다.

1970년대부터 독일, 네덜란드 등 여러 나라에서는 활발한 연구가 진행되어 이미 대단위 발전시스템으로 수 MW급 풍력 발전 시스템을 상용화 하였다. 그러나 우리나라의 풍력 발전 시스템 연구는 초기 단계에 지나지 않아 선진국의 풍력 발전 시스템을 사용하는 수준에 머무르고 있다. 풍력 발전 시스템의 발전기를 비롯한 전력변환 시스템의 특성을 파악하고 고효율 시스템을 개발하기 위해서는 블레이드와 동력 전달부의 특성을 모의할 수 있는 모의실험 장비가 필수적이다. 그러나 실제 블레이드, 전달장치 및 발전기 등을 축소 모델로 제작하여 시험을 수행하는 것이 필요하지만 국내에서는

시험이 어렵고 비용도 많이 든다.

본 논문에서는 실시간으로 생성되는 풍속데이터를 사용해 블레이드를 대신하여 발전기에 토크를 공급할 수 있는 시스템을 설계, 구현 하였다. 컴퓨터에 의해 실시간으로 생성된 바람데이터는 풍력 터빈의 출력 토크로 계산되며 제어기는 MG set의 DC motor를 토크 제어하여 MG set의 발전기에 토크를 공급한다. 기존 컴퓨터상의 시뮬레이션에서만 구현 되었던 모의실험과 고정된 토크의 입력을 이용한 시뮬레이터와는 달리 컴퓨터 상에서 실시간으로 생성된 풍 속을 실제 시뮬레이터에 적용하였다. 그리고 발전기의 부하를 가변하여 풍력 터빈에 해당하는 모터에 간접 부하를 가하는 실험이 가능하다. 이로써 계통 연계 시스템 연구에 까지 많은 기여가 가능하게 되었다.

II. 시스템 구성

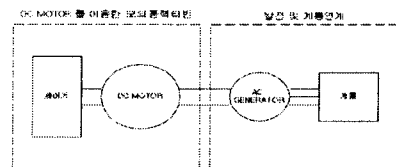


그림 1 M/G Set 전체 구성도

	DC motor	Generator
P	2000[W]	2000[W]
V	120[V]	120[V]
I	23[A]	20[A]
RPM	1800[rpm]	

표 1 M/G Set 사양

그림 1의 M/G Set는 풍력 터빈에 해당하는 DC motor와 발전기의 기능을 하는 AC Generator로 구성되어 있다.

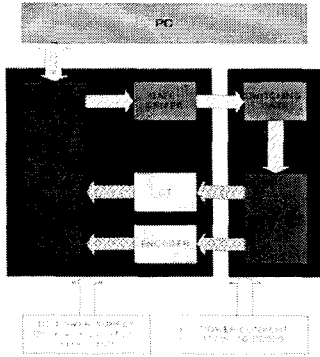


그림 2 제어기 전체 구성도

그림 2는 제어기의 전체 시스템도이다. 상위의 PC는 Pentium 4로 실시간으로 풍속을 생성하고 생성된 바람데이터를 수식 (1)과 (2)를 적용하여 풍력 터빈 토크로 산출한다. 산출된 토크는 다시 DC motor용 출력 토크로 환산되어 하위의 제어기로 전송된다. 이때 사용된 전송 라인은 RS232 Serial이고 전송 속도는 115200bps이다.

하위 제어기는 ARM7인 S3C3410으로 32-bit RISC processor이다. PWM을 이용하여 DC motor의 독립적인 PI제어가 가능하며 주 기능인 속도제어와 토크제어를 선택할 수 있도록 설계하였다. 또한 10Bit AD 컨버터로 제어전압과 전류의 흐름을 실시간으로 측정하여 소비 전력량을 산출하고 과부하시나 전체 시스템의 이상 시 자동 차단 및 알람기능을 추가로 설계하여 안전 문제에 대비하였다. 하위 제어기의 모든 정보는 상위 PC로 다시 전송되어 화면상에서 그래프로 나타내어진다.

III 풍력과 풍력터빈의 토크 산출

풍력 발전 시스템의 출력은 풍속과 TSR(Tip Speed Ratio), Cp(Power Coefficient)에 의해 결정된다. 따라서 풍속에 의한 풍력 터빈의 출력과 풍력터빈에 의해 발생하는 토크는 다음과 같다.

$$P_{wind} = \frac{1}{2} A \rho V_{wind}^3 C_p [W] \quad (1)$$

$$T_{wind} = \frac{P_{wind}}{W_m} [Nm] \quad (2)$$

P_{wind} : 바람의 에너지

A : 블레이드의 면적

ρ : 공기 밀도

V_{wind} : 풍속

C_p : 회전자가 받는 에너지의 비율

T_{wind} : 풍력터빈에 의해 발생한 토크

W_m : 블레이드의 회전속도

풍속으로 풍력터빈의 출력 토크를 산출하는데 여러 래퍼런스가 영향을 미친다. 그러나 풍력 발전 시스템에서 핵심은 바로 풍속이므로 본 논문에서는 풍력 발전 시스템의 출력 산출 시 풍속을 제외한 나머지 조건은 모두 일정 값을 사용하였다. 이러한 조건에서 수식(1)과 수식(2)를 다시 정리하면 다음과 같다.

$$P_{wind} = K_p V_{wind}^3 [W] \quad (3)$$

$$T_{wind} = K_t P_{wind} [pu] \quad (4)$$

K_p : 풍력 에너지

K_t : 토크 산출용 비례 상수

그림 3은 T-N커브는 모터의 회전수 대 토크의 특성곡선이며 T-I커브는 모터의 토크 대 전류의 특성곡선으로 홀린 전류에 대해 직선형으로 토크가 비례한다. 즉, 큰 힘이 필요한 때는 많은 전류량을 흘려주어야 한다.

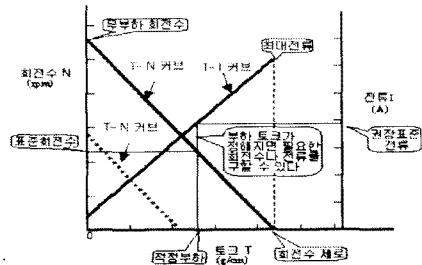


그림 3 모터의 토크와 전류

다음은 토크와 전류와의 특성 방정식이다.

$$T_m = K_a M_a [pu] \quad (5)$$

T_m : 모터의 토크

K_a : 비례 상수

M_a : 모터의 인가 전류

IV. 풍력 터빈 모델링

풍속의 변화 시점과 변화량을 제한한 조건에서 실시간으로 풍속을 생성한다. 즉 바람의 특성을 고려하여 변화율을 실제 바람과 유사하게 설정하는 것이다. 실시간으로 생성된 풍속데이터는 풍력 터빈의 간략화 한 특성방정식 (4)에 의해 풍력 터빈의 출력 토크로 산출된다. 풍력 터빈의 토크는 DC motor의 출력 토크로 환산되어 제어기에 전송된다. 다음 그림 4는 실시간 풍속 생성 및 토크 산출의 전 과정을 간략화 시킨 것으로 그림 2의 상위 PC에서 구현된다.

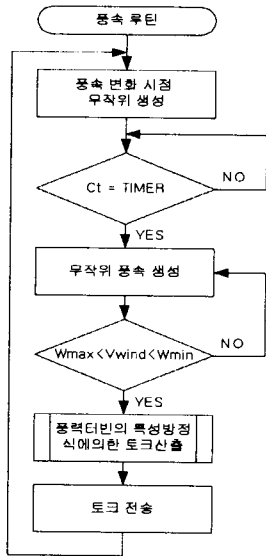


그림 4 실시간 토크산출

C_t : 풍속 생성 시점

V_{wind} : 풍속

W_{max} : Cut in wind speed

W_{min} : Cut out wind speed

그림 5는 하위 제어기의 주 기능을 간략화 시킨 것으로 토크제어를 위한 PI제어기까지 포함하고 있다. DC motor에 유입되는 전류와 제어 전압, 그리고 모터 속도와 소비 전력등을 검출한다

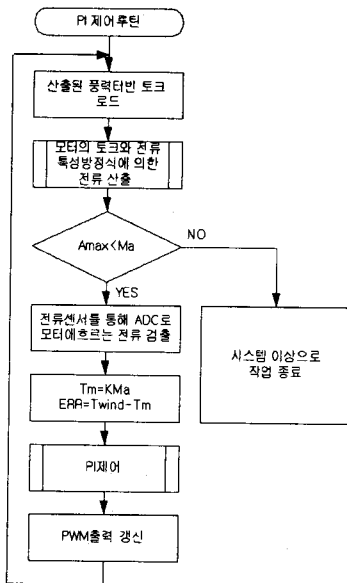


그림 5 DC motor 제어

A_{max} : 최대 허용 전류

M_a : 모터에 흐르는 전류

T_m : 모터 토크(현재 토크)

K_a : 비례 상수

ERR : 토크의 오차

T_{wind} : 목표 토크

V. 실험 결과

시뮬레이터의 구성은 그림 6에서 보여주는 상위 PC와 그림 7의 위쪽의 MG Set, 그리고 아래쪽의 제어기로 되어있다. 상위 PC에서 실시간으로 생성된 풍속데이터와 motor의 출력 토크등을 그래프화 하는 제어 메뉴창을 그림 6에서 다시 한번 확인할 수 있다.

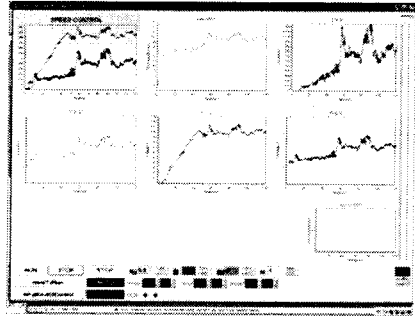


그림 6 PC의 제어 메뉴 창

그림 7의 위쪽 왼편의 DC motor는 Tachometer를 포함하고 있고 오른편의 발전기는 부하와 연결되어 있다.



그림 7 시뮬레이터 사진

실험은 3부분으로 나누어 [1]풍속이 일정할 때 발전기의 부하를 변화, [2]발전기의 부하를 고정시키고 풍속을 가변, [3]풍속과 부하를 동시에 변화시키는 실험을 수행하였다. 생성되는 풍속의 W_{max} (Cut in wind speed)는 11[m/s]이고 W_{min} (Cut out wind speed)는 7[m/s]로 하였으며, 발전기에 연결된 부하는 0.36Kw, 1Kw, 2Kw로 3가지 경우를 사용하였다.

그림 8과 같이 풍속이 고정되었을 때 발전기의 2Kw 부하를 45[sec]와 90[sec]에서 5초 동안 각각 0.36Kw와 1Kw로 변화 시켰다. 그림 10에서 DC motor의 출력토크는 순간 크소량이 변화 하였으나 그림 11에 나타나듯 DC motor 제어량이 급속히 상승하여 출력을 제어하는 것을 볼 수 있다. 제어량에 따라 그림 12의 전력량도 비례로 변화함을 확인할 수 있다.

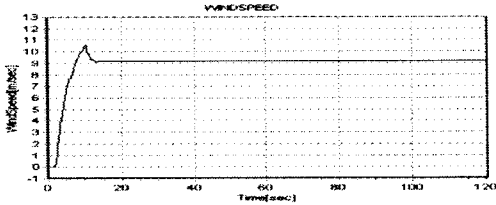


그림 8 실시간으로 생성된 풍속

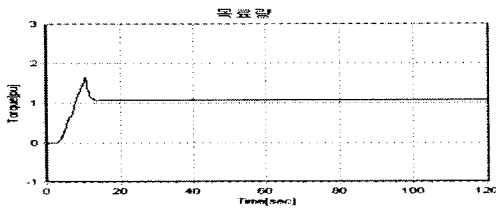


그림 9 풍속을 이용한 풍력터빈의 토크

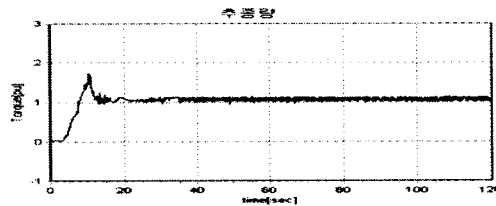


그림 10 실제 모터의 출력토크

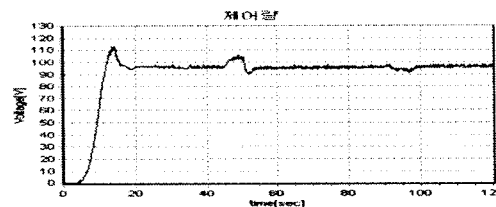


그림 11 모터의 출력 제어 전압

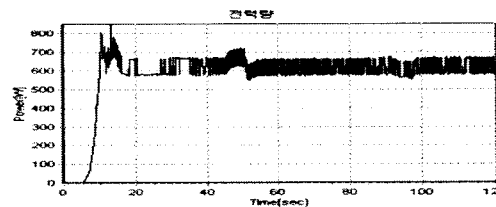


그림 12 모터의 소비 전력

다음은 고정된 부하를 가지고 풍속만을 변화 시킬 때의 실험 결과 이다. 풍속은 그림 13에서 나타내듯이 실시간으로 가변되어 생성된다. 산출된 출력토크와 DC motor의 실제 출력토크는 그림 14, 그림 15와 같다. DC motor 출력 토크를 증가 시키면 그림 16의 출력 제어량이 증가하고 그에 따라 motor가 소비하는 전력량도 증가한다. 전력량은 그림 17와 같다.

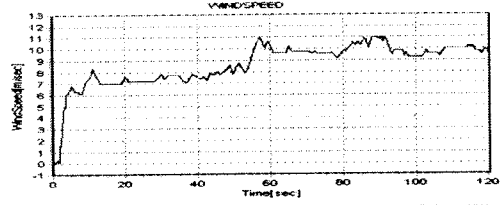


그림 13 실시간으로 생성된 풍속

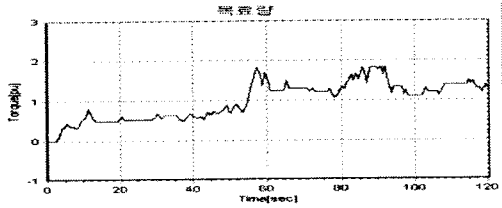


그림 14 풍속을 이용한 풍력터빈의 토크

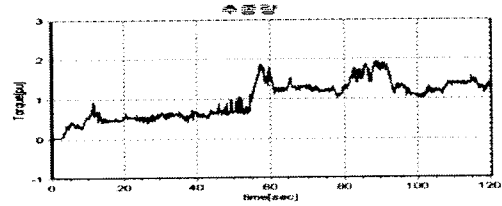


그림 15 실제 모터의 출력토크

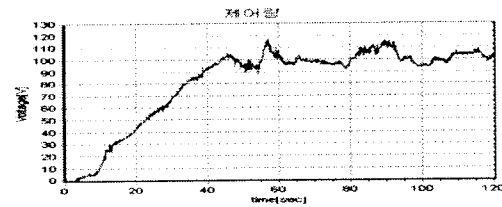


그림 16 모터의 출력 제어 전압

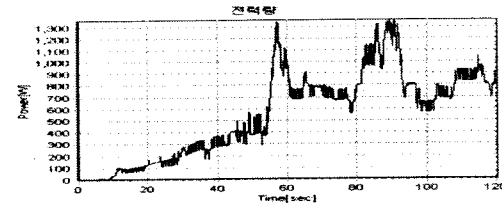


그림 17 모터의 소비 전력

다음은 풍속과 부하를 모두 가변 시킨 결과이다. 그림 18과 같이 변화하는 풍속에 고정되어있던 발전기의 2Kw부하를 45[sec]와 90[sec]에 5초 동안 각각 0.36Kw와 1Kw로 변화 시켰다. 그러자 그림 21에 나타나듯이 DC motor 제어량이 급속히 상승하는 것을 볼 수 있다. 결국 그림 20에서 DC motor의 출력토크는 확인하기 어려울 정도로 극소량이 변화하게 된다.

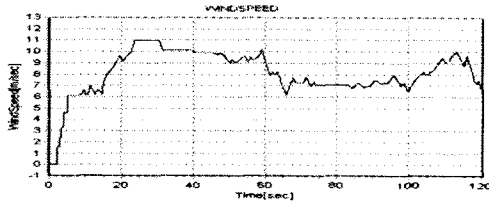


그림 18 실시간으로 생성된 풍속

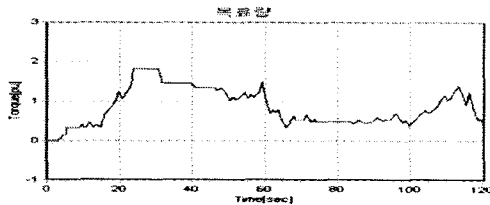


그림 19 풍속을 이용한 풍력터빈의 토크

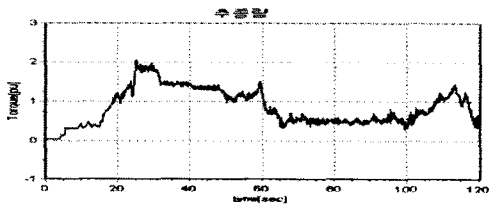


그림 20 실제 모터의 출력토크

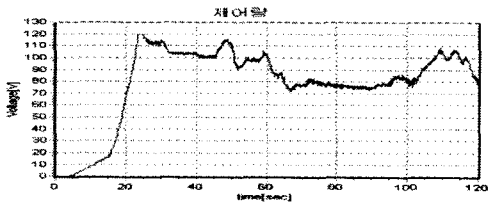


그림 21 모터의 출력 제어 전압

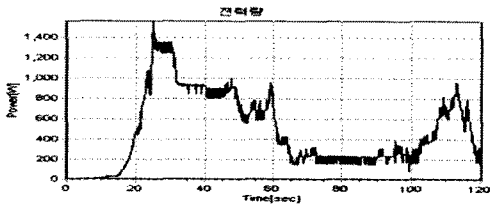


그림 22 모터의 소비 전력

VI. 결론

본 연구는 풍력터빈 시뮬레이터용 DC MOTOR 토크 제어기의 설계를 통하여 모의로 풍력터빈을 구현하였다. 메인 서버에서 바람의 구성 요소 중 풍속만을 가변으로 생성하여 풍력터빈 특성방정식을 이용, 바람의 토크를 산출하였다. 산출된 토크는 제어기에서 검출한 모터에 흐르는 전류를 모터의 구동 토크로 환산된 토크와 PI 제어에 적용되었다. 뿐만 아니라 M/G Set의 발전단의 부하를 가변하여 이때 변화하는 DC motor 제어성분을 분석하였다. 제어시스템은 메인 컴퓨터와 함께 연계되어 실제 풍력터빈과 유사한 성능을 냈으며 이로 인해 발전단과 계통연계단의 연구에 이전 보다 개선된 파급효과를 낳았다.

감사의 글

The authors would like to thank the Korea Ministry of Science and Technology and the Korea Science and Engineering Foundation for their support through the ERC program.

참고 문헌

- [1] Mukund R, Patel, "Wind and Solar Power Systems", CRC Press, 1999.
- [2] Minwon Park, "A Novel Simulation Method for PV Power Generation System using Real Field Weather Condition and its Application", Trans. IEE of Japan, Vol. 121-B, No. 1, Nov, 2001
- [3] 한상근, 박민원, 유인근, "실제 데이터를 이용한 가변속 풍력발전시스템의 시뮬레이션" 2002대한전기학회 하계학술대회, 1342-1344.
- [4] 정병창, 송승호, 노도환, 김동용, 김영민, 임종연, "풍력터빈 모의 실험을 위한 가변 토크 입력형 전동기-발전기 제어시스템 제작 및 실험", 2001대한전기학회 추계 학술대회 논문지, pp.346-348, 2001